

Research Paper

육상풍력 및 육상태양광의 환경적 가용입지 분석

이영준 · 박종윤

한국환경연구원 환경평가본부

Environmentally Available Potential of Renewable Energy in Korea: Onshore Wind and Photovoltaic

Young-Joon Lee · Jong-Yoon Park

Korea Environment Institute, Environmental Assessment Group

요약: 본 연구는 재생에너지 중 육상풍력발전사업 및 육상태양광발전사업의 환경현황 및 환경적 가용입지를 분석하여 신재생에너지 보급이 자연환경의 보존과 상호 공존할 수 있는 추진 방향성을 제시하였다. 2019년 6월까지 협의가 이루어진 환경평가 자료를 바탕으로 신재생에너지 중 가장 활발하게 보급되고 있는 육상풍력 및 육상태양광에 대한 규모, 위치 및 특성을 분석하였다. 재생에너지사업 입지와 관련된 주요 제약사항 및 환경평가 단계에서 요구되는 고려사항들을 도출하고 지역별 가용 면적 분포를 분석하고 이에 근거하여 잠재용량을 추정하였다.

환경영향평가 대상 육상풍력발전사업 총 80건을 분석한 결과, 80개 중 63개(79%) 사업이 산지에 입지하고 있는 것으로 파악되었다. 환경평가가 이루어진 육상태양광발전사업은 총 7,363건에 이르고 있다. 환경적 규제요소를 모두 고려한 육상풍력에 대한 환경적 가용 면적은 2,440km²이며, 육상태양광의 경우 비우량농지 등을 대상으로 산정된 환경적 가용 입지면적은 2,877km²로 산출되었다.

이러한 환경적 가용입지의 지역적 분포 및 특성은 해당 지자체가 지역에서 재생에너지개발사업을 추진하는 데 있어 가장 기본적으로 파악하고 있어야 하는 현황 자료가 될 수 있다.

현재까지 계획된 발전사업의 규모 및 향후 예상되는 증가와 환경평가를 통해 나타나는 환경가치 보전 및 사회·경제적 수용성을 고려한다고 하더라도 현시점에서 재생에너지 발전사업을 위한 가용한 입지용량이 부족하지는 않을 것으로 나타났다. 본 연구에서 도출되는 에너지원별 환경적 가용입지 자료와 같은 정량적이고 과학적인 결과를 토대로 지역별 자연환경 및 입지여건 등의 특성을 고려하여 재생에너지원별 보급 목표량(비율 및 잠재량)의 적정성을 검토할 필요가 있다. 태양광 및 풍력의 경우 해당 지역의 지형적, 환경적 특성을 고려하여 가장 잘 맞는 유형의 에너지원을 선택하는 것이 필요하다.

주요어: 환경평가, 육상풍력, 육상태양광, 환경적 가용입지, 신재생에너지

Abstract: The purpose of this study is to provide valuable information and data by analyzing the environmental status and potential for renewable energy projects (or plans) based on environmental

assessment (EA) data, so that more objective and scientific environmental assessments can be conducted. The study also suggests regional directions that could satisfy the goals of nature conservation and renewable energy. Based on the analysis of EA data that was conducted up until June 2019, the study analyzed the size, location and characteristics of both onshore wind power and onshore photovoltaic. The environmentally available potential by region was also derived by considering the main constraints and requirements related to the potential siting of renewable energy projects at the EA.

Based on EA data, 63 out of 80 (79%) onshore wind power projects are shown to be located in mountainous areas. For onshore photovoltaic projects, a total of 7,363 projects were subjected to environmental assessment over the country. The environmentally potential area for onshore wind power, considering all the environmental regulatory factors, is 2,440 km². For onshore photovoltaic, the environmentally available area estimated as idle farmland is 2,877 km².

The distribution and characteristics of the environmentally available potential of the region may be the most important factor that local governments should bear in mind in terms of promoting renewable energy development projects in the region. Based on the results of this study, even if we consider the national energy plan including the expected future increase, as well as environmental goals and socio-economic acceptance through an environmental assessment, the available resources for renewable energy projects are not insufficient. It is possible to examine the adequacy of the target distribution rate of renewable energy sources by region taking into consideration the quantitative and scientific results such as the environmentally available potential data derived from this study.

Keywords : Environmental Assessment, Onshore Wind Power, Onshore Photovoltaic, Environmentally Available Potential, Renewable Energy

I. 서론

산업통상자원부가 발표한 재생에너지 확대를 위한 『재생에너지 3020 이행계획』에 따르면 2030년까지 신재생에너지 비율을 20%로 늘리겠다는 에너지정책 목표를 제시하고 있다. 이를 위하여 목표 연도인 2030년까지 태양광 30.8GW, 풍력 16.5GW(육상 4.5GW, 해상 12GW) 등 총 48.7GW 규모의 신규 발전설비 보급이 전제되어야 한다(Ministry of Trade, Industry and Energy 2017; Park et al, 2017). 현재 확정공표된(2020. 12. 28) 『제9차 전력수급기본계획』에서도 2030년까지 신재생에너지 발전설비 비중을 30%까지 늘리는 것을 목표로 하고 있다. 농업인 참여 활성화를 위해 염해간척지, 농업진흥지역 외 농지 등에 태양광 설치도 2030년까지 10GW를 목표로 하고 있다(Ministry of Trade, Industry and Energy, 2017).

하지만 해상풍력발전사업을 제외한 두 가지 재생에너지원의 경우 현재 육지에서 보급이 가장 중점적으로 추진되고 있으나 산림생태계 훼손, 과다한 토지 이용, 수질 및 수 생태계 변화 우려 등 자연보존과 청정에너지원 확대의 명분이 입지하는 조건에 따라 상충하고 있는 상황이다. 이러한 신재생에너지 보급 관련 사업들에 대해서는 향후 사업 확대에 따라 발전자원 분포지역과 환경보전지역이 공간적으로 중첩될 수 있는 만큼, 이로 인해 발생할 수 있는 환경적 문제점을 최소화할 수 있는 방안이 필요하다(Park et al, 2017; Park et al, 2018).

우리나라의 경우 상대적으로 협소한 국토면적 때문에 넓은 대지를 요구하는 대규모 재생에너지 발전 시설 설치에 따른 다양한 사회·환경적 문제와 이로 인한 사회적 갈등이 심화되면서 정부의 『재생에너지 3020 이행계획』의 보급목표 달성을 낙관하기 어려운 상황이다. 이를 위해서는 신재생에너지 지원정책 시

행 시 환경 훼손, 주민수용성 및 계통 연계 등 다양한 관련 문제들을 해결하는 것이 필요하다.

Kim et al.(2013)는 육상풍력자원의 이론적 잠재량을 풍력밀도 $200\text{W}/\text{m}^2$ 이상인 국토 면적으로부터 127GW 로 산출하였고, 이중 국토환경성평가 1등급지를 제외할 경우 이론적 잠재량의 40%인 49GW 로 추정하였다. 이는 완충구역을 고려할 경우 최대 11GW 로 축소된다. 산업통상자원부가 정기적으로 발간하는 최신 신재생에너지백서에 따르면 태양광발전과 육상풍력발전의 시장잠재량은 각각 369GW 와 24GW 로 산정하고 있다(Ministry of Trade, Industry and Energy 2020).

이와 같이 육상풍력 발전에 요구되는 풍황자원과 사회·환경적 요인을 고려하여 입지 적합성을 평가하는 다수의 연구사례를 찾아볼 수 있다. Kwon et al.(2014)는 강원도를 대상으로 일정 개수 이상의 풍력발전기가 입지할 수 있는 잠재적 입지가능 면적을 도출하였는데, 이를 위해 입지선정 과정에 있어 주요하게 고려되는 풍속, 지형, 산림생태계 등의 영향요인을 도출하고 세부평가기준을 마련하여 입지 적합성 모델을 제시한바 있다. 국외 사례의 경우에는 풍황자원을 기준으로 경사도, 도로 및 전기 근접성, 전기수요 등과 같은 기술·경제적 요인과 더불어 자연환경보전지역, 조류, 경관 등을 포함하는 환경적 요인을 종합적으로 평가하여 입지 적합성을 평가하는데 초점을 맞추고 있다(Ramirez-Rosado et al. 2008; Tegou et al. 2010; Schallenberg-Rodríguez et al. 2014; Ayodele et al. 2018). 이들 사례들은 대부분 야생동물 서식지 및 자연생태환경이 우수하여 보호지역으로 지정된 지역과 그 주변지역을 입지 부적합 지역으로 평가하고 있다. 특히 국제적으로 보호가 요구되는 조류의 보호를 위해 주요 이동경로를 배제하였으며, 여기에 이격거리를 두어 입지 적합성을 판단하기도 하였다(Aydin et al. 2010; Gorsevski et al. 2013; Höfer et al. 2016; Jäger et al. 2016; Xu et al. 2020).

본 연구에서는 최근 활발하게 이루어지고 있는 육상풍력 및 육상태양광 발전사업에 대한 현황 및 환경적 가용입지에 대한 분석을 수행하였다. 이를 바탕으

로 환경적 측면에서 육상풍력 및 육상태양광발전의 개발 가능 입지와 잠재 규모를 분석·평가하고, 신재생에너지 보급이 자연환경의 보존과 상호 공존할 수 있는 추진 방향성을 제시하고자 하였다. 여기서 가용입지는 바람자원, 토지피복 상태와 같은 물리적 조건과 풍력 및 태양광 입지 관련 법제도적 규제사항 등을 제약요소로 간주하여 이러한 지역을 배제(exclusion)했을 때 도출된 지역으로 정의할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 제약요소를 환경적 측면에서 접근한 것으로, 경제·사회적 요소 및 개발행위 관련 기타 규제사항에 대해서는 고려하지 않았기 때문에 환경적 가용입지라 표현하였다.

육상풍력은 많은 개별사업이 입지하여 논란이 되고 있는 지역 및 광역생태축 기능을 하는 주요 산줄기(대간, 정맥, 기맥, 지맥 등)를 포함한 환경보존지역의 구분을 통하여 환경적으로 가용한 입지를 분석하였다. 태양광발전의 경우 가장 핵심적으로 논란이 되고 있는 산림 훼손을 최소화하기 위해 농경지로 개발을 유도한다는 측면에서 비우량농지(농업진흥구역 외 농지)와 염전, 채광지역을 대상으로 육상태양광의 개발 잠재 가능성을 가용입지 측면에서 평가하였다.

기존 연구결과와의 비교·검토를 통하여 대규모 토지 사용에 따른 환경적 차별성이 요구되는 재생에너지 발전사업 입지와 관련된 주요 제약사항 및 환경평가 단계에서 요구되는 고려사항들을 도출하고, 지역별 가용 면적의 분포를 분석하여 이를 기반으로 계획입지제도 등에서 활용 가능한 지역별 환경적 가용입지와 이에 근거한 개발 잠재량을 추정하였다.

II. 연구방법

1. 재생에너지원별 가용입지 도출 방법론

현재 추진되고 있는 육상풍력발전사업 및 육상태양광발전사업의 현황 및 규모를 파악하기 위하여 환경평가(전략환경영향평가, 환경영향평가, 소규모환경영향평가) 보고서 및 사업대상지 공간자료 등을 이용하여 실제 시행되거나 추진 중인 개발사업의 규모, 입지 특성 등을 분석하였다. 2019년 6월까지 협의된 육상풍력발전사업 80개 및 육상태양광발전사업

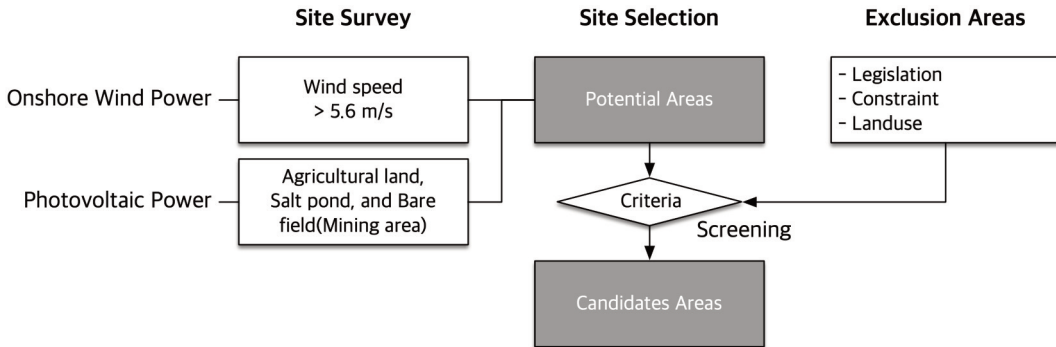


Figure 1. Extraction procedure of the candidate areas for onshore wind and photovoltaic power plants

6,700여건의 규모 및 입지조건을 분석하였다. 또한 환경평가 검토의견, 협의지침, 입지 가이드라인, 관련 연구자료 등을 통해 도출된 환경입지(제약사항 및 중점 검토사항) 요건을 토대로 공간적인 분석을 수행하였다.

환경적 가용입지 도출은 일반적인 입지선정 과정을 따른다. 여기서의 과정은 크게 2단계로 구분되는데, 가용 후보지 탐색과정과 입지평가이다. 이러한 입지평가는 환경영향평가와 유사하게 진행되는데, 다수의 후보지 중 우선순위가 높은 입지를 대상으로 현장조사, 영향예측 등의 정밀한 평가와 전문가 검토를 통해 최적의 입지를 선정하는 과정이다.

본 연구에서는 이러한 입지선정 방법론을 채택하였는데, 전술한 입지선정 과정 중 가용 후보지 탐색과 동일한 과정을 거쳐 재생에너지원별 가용입지를 도출하였다. Figure 1은 가용입지 분석과정을 도식화한 것으로, 가용입지는 잠재지역과 후보지역으로 구분할 수 있다. 잠재지역(Potential Site)은 재생에너지 발전에 요구되는 최소한의 요건을 갖춘 지역으로 정의하였다. 먼저, 풍력발전의 경우 지표면 50m 높이에서 평균풍속 5.6m/s 이상(Park et al., 2017)을 유지할 수 있는 지역을 일컫는다. 육상태양광의 경우에는 일사량 및 경사향 등은 고려하지 않았으며, 토지피복(농지, 염전, 나지) 상태에 따라 잠재지역을 도출하였다. 후보지역(Candidate Site)은 잠재지역 중 기술적, 경제적, 법제도적, 환경적 측면에서 입지요건을 만족하는 지역에 해당한다. 해상을 제외한 전국토를 대상으로 잠재지역과 후보지역에 해당하는 각

공간자료의 중첩을 통해 배제분석을 수행하였는데, 여기서의 입지요건 판단기준(Criteria)은 배제조건에 대한 해당 유무이다(Figure 1).

2. 가용입지 도출을 위한 규제요소 분석

본 연구에서는 전략환경영향평가 단계에서 요구되는 개발사업의 입지 타당성 검토와 관련된 주요 평가항목을 조사하고, 재생에너지 발전사업과 이들 평가요소 간의 관계를 정립하고자 하였다. 입지 타당성 관련 평가요소는 재생에너지 발전사업의 환경성평가 지침을 통해서도 알 수 있다. 환경부는 육상풍력, 육상태양광 발전사업에 대해 환경성평가 지침을 제정하며, 환경평가협의 시 일관성 있는 평가를 유도하고자 하였다 (Ministry of Environment 2016, 2018a, 2018b).

전략환경영향평가서 작성방법과 재생에너지 발전사업 환경성평가 지침을 바탕으로 환경평가 단계에서 입지 타당성과 관련하여 주요하게 다루는 환경항목은 ① 생물다양성·서식지 보전, ② 지형 및 생태축의 보전, ③ 수환경의 보전, ④ 주변 자연경관에 미치는 영향으로 구분할 수 있다. 이들 환경요소와 관련한 법의 종류와 각 법에서 명시하고 있는 보전기능 간의 관계를 법적항목으로 분류하여 분석하였다. 또한 개별 법령에서 입지구제요소로 적용되고 있지는 않으나 환경평가에서 재생에너지 발전사업의 입지 타당성 검토에 활용되고 있는 요소를 환경적 제약사항으로 분류하여 환경규제적 항목으로 분석에 사용하였다.

Table 1. Regulation acts related to environmental protection

Acts	Environmental protection			
	Biological diversity	Forest ecosystem	Natural scenery	Water environment
Natural Environment Conservation				
Natural Environment Conservation Act	○	○	○	—
Natural Parks Act	○	○	○	—
Wetlands Conservation Act	○	○	○	—
Wildlife Protection and Management Act	○	—	—	—
Special Act on the Conservation of the Ecosystems in Island Areas Including Dokdo	○	○	○	—
Water Quality Regulation				
Water Supply and Waterworks Installation Act	—	—	—	○
Act on the Improvement of Water Quality and Support for Residents of the Four River Basins	—	—	—	○
Forest Protection				
Baekdudaegan Protection Act	○	○	○	—
Forest Protection Act	○	○	○	○
Mountainous Districts Management Act	○	○	○	○
Land Use Regulation				
National Land Planning and Utilization Act				
— Special-Purpose Area: Green Areas	—	○	○	○
— Special-Purpose Area: Conservation and Control Areas	○	○	○	○
— Special-Purpose Area: Scenic Districts	—	—	○	—
— Special-Purpose Area: Protected Districts	○	—	○	—
Cultural Heritage Protection				
Cultural Heritage Protection Act	—	—	○	—

1) 법적 항목

입지 타당성 검토에서 요구되는 환경항목과 관련이 높은 총 5개 분야 12개 법률을 검토하였다(Table 1). 자연환경보전과 관련된 5개의 법률은 수환경보전을 제외하고 생물 서식지 및 산림생태계, 자연경관보전에 관한 사항을 담고 있다. 수환경보전 목적의 「수도법」과 「4대강 수계법」은 수질규제와 관련된 사항을 담고 있다. 「문화재보호법」은 문화재 보존을 목적으로 문화재의 보호물 또는 보호구역 지정에 관한 내용을 담고 있다.

2) 환경규제적 항목

환경평가 단계에서 입지 타당성 검토 시 생태자연도(Ecological and Natural Map, ENM)와 겨울철 조류동시센서스 조사지역, 능선축(Mountain ridge)

분포와 각 능선의 핵심구역은 가장 주요하게 다루고 있는 규제요소로 적용되고 있다.

생태자연도는 「자연환경보전법」 제34조에 의하여 작성된 지도로 산, 하천, 내륙습지, 호소, 농지, 도시 등에 대하여 자연환경을 생태적 가치, 자연성, 경관적 가치 등에 따라 등급화(1~3등급 및 별도관리지역)한 지도로 정의되며, 토지이용 및 개발 계획의 수립이나 시행에 있어 해당 입지의 환경성 평가에 활용되고 있다.

1999년부터 시작된 겨울철조류동시센서스 조사지역은 총 200개로 겨울철 국내의 습지에 도래하는 철새의 현황을 파악하여 철새와 서식지를 보호하기 위한 기초자료 확보를 목적으로 작성되고 있다. 조사결과(매년 1월)는 국내에서 월동하는 수조류의 지역별 분포와 변동, 종별 개체 수의 변동 및 멸종위기종의

Table 2. Classification and grade of mountain ridges (modified after Lee et al. 2008; Lee et al. 2017)

Grade	Criteria	name
Class 1	The best connectivity and the longest extension throughout the Korean Peninsula	Baekdu-daegan
Class 2	– Branched directly from Class 1 mountain ridge – Corresponding to the catchment boundary of major 10 rivers – Ridges with an extension of more than 100 km	Jeong-maeg
Class 3	– Branched from Class 1 & 2 and highly extensible – Corresponding to the catchment boundary of other major rivers – Ridges with an extension of more than 100 km excluding Class 1 & 2	Ki-maeg
Class 4	– Relatively good extended ridges other than the ridges above – Independent ridges with a good extension – Ridges with an extension of more than 30 km excluding Class 1, 2 & 3	Ji-maeg
Class 5	– Small ridges branched form Class 4 – Independent ridges with a small-scaled extension	

도래 현황을 보여주는 대표적인 자료로 활용되고 있다. 국제적으로도 동아시아·대양주 철새 이동경로에 따른 철새집단 변화를 파악할 수 있는 자료로 중요성이 매우 크다.

백두대간과 10대 강의 유역분수계에 해당하는 정맥을 비롯한 기맥 및 지맥 등 주요 산줄기(능선축)는 자연과 인문환경을 파악하기 위한 산지 개념으로 인식되고 있다(Yang 1993; Park 2010). 이는 「산지관리법」상 산지관리의 기본 틀로 활용되고 있다. 능선축에서 제시하는 백두대간, 정맥, 기맥, 지맥 등은 지역 및 광역생태축으로서 자연생태환경을 보존하는 데 있어 연결기능을 비롯한 중요한 역할을 하고 있다. 또한 능선축은 자연환경뿐만 아니라 지방의 문화나 생활권을 구분하는 인문·사회적 측면에서도 매우 중요한 기능 및 역할을 하고 있다. 능선축에 대한 체계적이고 과학적인 분석정보는 자연환경의 현황 파악, 환경영향평가 등에 활용될 수 있으며 동물의 이동성 및 서식처 확보 등 생태적 기능의 변화를 파악하기 위한 기초자료로 활용될 수 있다(Lee et al. 2017). 전통적인 능선축의 구분은 백두대간, 정맥, 기맥 및 지맥으로 구분된다(Table 2). 최근에는 앞서 설명한 바와 같이 능선축의 생태적·사회적 역할이 강조되면서 생태양상 및 연결망을 고려한 위계와 능선축의 체계를 더욱 세밀하게 구분하는 방안이 연구되고 있다(Jang & Park 2018).

3. 공간정보 구축 및 분포 현황

법제도적 항목 14개 요소와 환경규제적 항목 3개(생태자연도, 겨울철조류동시센서스 조사지역, 능선축) 요소에 대한 Vector 형태의 공간자료를 구축하였으며, 각 자료의 출처와 작성시기를 Table 3에 나타내었다. 자료는 환경공간정보서비스(Environmental Geographic Information Service, EGIS), 국가공간정보포털(National Spatial Data Infrastructure Portal, NSDI), 한국보호지역 통합DB관리 시스템(Korea Database on Protection Areas, KDPA)에서 제공하고 있으며, 실제 고시면적과 공간자료 작성 시기의 불일치 등으로 인해 도상 면적에 다소 차이가 있을 수 있다. 한편, Table 2에 따른 능선축 위계별 공간자료는 Lee & Park(2019)의 자료를 이용하였는데, 이는 신·산경표(Park 2010)를 토대로 On-screen digitizing 기법을 이용하여 작성된 자료이다.

최신화된 자료를 바탕으로 생태경관보전지역 등 5개 항목을 포함하는 자연환경보존과 관련한 주제도를 작성하였다. 총 지정면적은 9,390km²이며, 총 지정지구는 772개소로 나타난다. 국립공원 22개소 중 3개의 해상공원이 차지하는 면적이 전체의 47%를 차지하고 있다.

산림보호와 관련한 주제도는 백두대간보호지역 3,893km²와 산림보호구역 3,461km²에 대하여 작성되었다. 이들의 대부분은 강원지역에 분포하고 있으며, 보전산지는 총면적이 28,618km²로 경북, 강원,

Table 3. Spatial data collection for site suitability evaluation

Authority	Data	Year	Source	
Ministry of Environment	Natural Parks	National parks	2019	EGIS
		Provincial parks	2018	KDPA
		County parks		
	Special wildlife protection districts	2019	EGIS	
	Wildlife protection districts	2018	KDPA	
	Specific islands	2019	EGIS	
	Ecological and scenery conservation areas			
	Wetland protection areas			
	Water-source protection areas			
	Riparian zones			
Ministry of Land, Infrastructure and Transport	special-purpose areas	Conservation and control areas	2019	NSDI
	special-purpose districts	Scenic districts		
		Protected districts		
Culture Heritage Administration	Cultural heritage protection areas		2019	NSDI
Korea Forest Service	Baekdu-daegan Protection Areas			
	Forest conservation zone			
	Preserved mountainous districts			
National Institute of Ecology	Ecological and natural map	Grade Zone: 1~3	2019	EGIS
		Separately managed zone		
National Institute of Biological Resources	Monitoring areas for winter waterbird			

전북 순으로 분포하는 것으로 나타났다.

수환경과 관련한 상수원보호구역의 총 지점면적은 1,222km²이며 공간적으로는 경기, 전남, 경북 순으로 분포하고 있다. 수변구역은 총면적이 1,183km²이며 지역별로는 전남, 경북, 충북 순으로 분포하고 있으며, 수계별로는 금강, 낙동강, 영산강, 섬진강 순이다.

토지이용 및 문화재와 관련한 환경규제 면적은 보전관리지역, 보전녹지지역, 자연녹지지역에 해당하는 용도지역이 총 24,520km²이고, 용도지역의 제한을 강화 또는 완화하는 목적의 용도지구가 총 819km²로 나타난다. 문화재보호구역은 총 382km²로 지정되어 있다.

생태자연도 1등급지의 총면적은 9,736km²이며, 백두대간보호구역 등을 포함하는 별도관리지역의 총면적은 13,009km²이다. 겨울철조류동시센서스 조사지역의 경우 육상과 해상을 포함하여 총 14,958km²의 면적을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 능선축 핵심구역은 정맥, 기맥의 경우 좌우 150m로 정의되며 총

면적은 각각 607km², 252km²이다. 지맥의 핵심구역은 좌우 100m로 정의되며 총면적은 1,437km²이다.

III. 결과 및 고찰

1. 육상풍력 및 육상태양광 환경평가 협의현황

1) 육상풍력발전사업

2019년 6월까지 협의된 육상풍력발전사업 80개 중 약 79%에 해당하는 63건의 사업이 산지에 입지하고 있는 것으로 나타났다(Figure 2). 기타 해안가나 농지에 입지한 것은 7건으로 파악된다. 우리나라의 기상 및 지형적 특성상, 경제성을 고려한 풍력발전에 필요한 풍속이 예측되는 많은 지역이 산지에 해당하므로 주로 산 능선부를 따라 풍력발전사업이 입지하는 경향이 크다.

육상풍력발전의 경우 풍력발전시설이 조성되기 위한 바람 조건을 지표면 50m 높이에서 평균풍속 5.6m/s 이상 유지할 수 있는 지역의 상당수가 백두

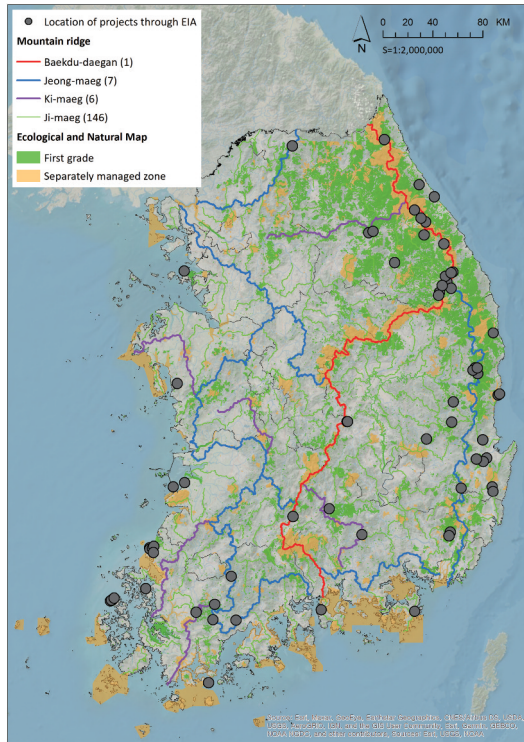


Figure 2. Map showing the locations of study area and onshore wind power projects through EIA process (n=78, 2002-2019), overlaid with mountain ridges and ENM

대간 및 정맥을 비롯한 기맥과 지맥 등 생태축 기능을 하는 우리나라의 주요 산줄기에 해당한다. 이들 지역의 상당 부분은 생태자연도 1등급, 주요 동식물 서식지 등 자연환경이 우수하여 정책적 차원에서 환경적으로 보전·관리되고 있으므로 이러한 지역에 풍력발전단지가 입지하는 것은 보다 신중한 접근이 요구된다 할 수 있다. 특히, 산지에 입지하는 풍력발전사업은 주로 능선축 마루금을 따라 풍력기가 설치되어 이를 연결하는 관리도로와 풍력기 운반을 위한 진입도로의 개설은 옹벽 등 과다한 절·성토에 따른 지형훼손을 야기하여 생태적 연결성에 영향을 미치는 주요 원인으로 작용하고 있다. 국내외적으로도 산줄기 능선을 따라 설치되는 풍력기와 관리도로(진입도로 포함)로 인하여 생태계 단절 및 지역 생태계 생물종 변화 등으로 인한 교란, 과다한 절·성토에 따른 지형 훼손과 이에 따른 토사 유출과 같은 영향이 발생할 수 있음이 나타나고 있다(Park et al., 2017). 풍력발전

기 블레이드와의 조류 충돌, 조류 이동경로에 미치는 영향 등도 제기되고 있는 중요한 환경적 이슈 중 하나이다(National Research Council, 2007).

또한 서남해 연안역을 따라 국제적인 철새의 이동 경로이자 법정보호종의 집단번식지 등 국내외적으로 보전가치가 매우 높은 공간역에 해당하는 도서지역을 포함한 겨울철조류동시센서스 조사지역이 분포하고 있으므로 이러한 생태환경적으로 민감한 지역에 대한 풍력발전사업의 입지선정 시에는 매우 신중한 영향예측과 평가가 최우선시되어야 한다(Kwon et al., 2008). 자연환경 훼손에 대한 영향과 함께 주변 지역에서의 풍력발전기 설치에 따른 찬반 갈등도 많이 발생하고 있는 실정이다.

산지에 입지하는 풍력발전사업의 40% 정도가 우리나라의 주요 능선축에 해당하는 대간, 정맥, 기맥, 지맥을 따라 입지해 있다. 특히 강원 및 경북 지역에 분포하는 백두대간 및 낙동정맥에 해당하는 고지대에 사업이 집중되어 있다. 정맥, 기맥의 경우 적어도 연장 100km 이상에서 수백km의 주요 산줄기에 해당한다.

2) 육상태양광발전사업

2004년 1월부터 2019년 6월까지 총 7,363건의 육상태양광발전사업이 접수되어 환경평가협의를 진행하였다. 이들 대부분의 사업은 「환경영향평가법」상 제43조 제1항 같은 법 시행령 제59조(별표 4)에 의한 대상사업에 해당되어 소규모 환경영향평가(90.2%, 6,642건)를 통해 추진되었다. 환경영향평가 대상사업의 경우 이들 사업은 「환경영향평가법」에서 정하는 에너지개발사업 대상사업의 규모(태양력발전소 10만 kW) 미만으로, 환경영향평가 대상에 해당하지 않으나 산지 전용면적이 20만²m 이상에 해당하여 환경영향평가 대상으로 협의가 진행되었다(Park et al., 2018). 0.1%에 해당하는 11개 계획은 도시관리계획(시설: 전기공급설비)의 개발기본계획에 해당하여 전략환경영향평가 형태로 추진되었다.

전체의 약 92%인 6,741건의 사업이 환경평가를 통해 동의 또는 조건부동의로 협의되어 사업이 추진되고 있는 것으로 나타났다. 협의 중(28건)이거나 부동

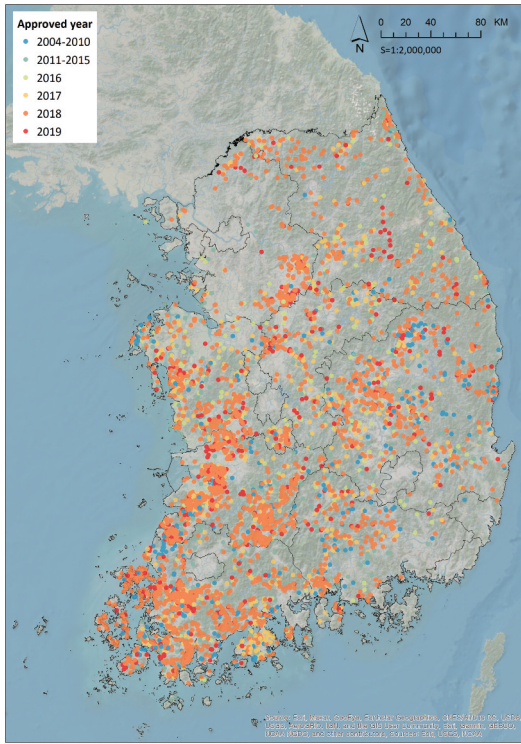


Figure 3. Distribution of photovoltaic power projects through EA process (n=6,447, 2004-2019)

의(207건) 또는 취하(387건)된 사업은 8.4%인 총 622건으로, 대부분이 2018년부터 2019년 상반기에 걸쳐 이와 관련한 협의가 집중적으로 이루어졌다.

이 중 위치가 파악되는 총 6,447건에 대한 각 사업지의 지역적 분포현황을 살펴보면 육상태양광발전사업이 서남해안 지역(충남, 전북, 전남 등)에 높은 밀도로 입지하는 분포를 보여주는 것을 알 수 있으며, 특히 2017년과 2018년에 집중적으로 사업이 추진되었다(Figure 3). 전북의 동남부 및 경북 서부에 해당하는 내륙지역에도 사업이 집중되고 있는 것으로 파악된다.

지역별로는 태양광발전사업이 집중된 전남지역이 절대면적이 가장 큰 것으로 나타나며, 경북, 전북, 충남의 순으로 그 뒤를 따르고 있다. 지목별 개발면적 중 임야면적이 전체에서 차지하는 비중이 가장 높게 나타나고 있다. 지역별 개발면적에서 임야가 차지하는 비율은 경북과 경남 지역에서 각각 80%와 76%로

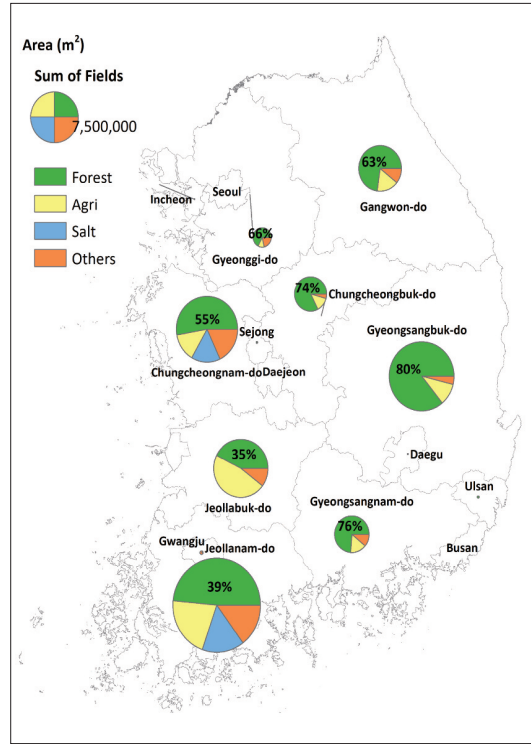


Figure 4. Proportion of each land category for total development area by region of photovoltaic power project (n=6,606, 2004-2019)

임야의 대부분이 산지에 해당함을 고려할 때 태양광발전시설이 타 지역에 비해 산지에 상대적으로 많이 계획된 것으로 나타난다. 전남과 전북을 제외한 모든 지역에서 산지비율은 55% 이상을 상회하고 있어 육상풍력과 같이 육상태양광발전사업의 산지 입지 경향이 뚜렷함을 알 수 있다(Figure 4).

재생에너지원별 개발사업의 환경적 문제는 에너지원이 아닌 개발입지에 관한 것으로 볼 수 있다. 이는 오염원 배출이 없는 시설이 지닌 장점에도 불구하고 부지조성 과정에서 대규모의 산림 훼손 등이 발생함에 따른 것이다. 즉, 재생에너지 발전사업의 핵심은 환경성 확보를 전제로 한 개발입지를 선정하는 것에 있으며, 그 과정에서의 판단기준은 환경적으로 엄격한 수준에서 입지 규제요소에 대한 관련 정책과의 정합성을 면밀하게 검토해야 한다. 그러므로 환경적으로 가용한 개발 가능 지역을 분석하여 입지의 우선순위를 통한 사업을 확대하는 것이 필요하다.

2. 재생에너지원별 환경적 가용입지

1) 육상풍력

연평균 풍속지도를 바탕으로 5.6m/s 이상의 부존 자원(바람조건) 요건을 만족하는 지역의 총면적은 7,490km²(Potential area)로 나타났다. 이는 잠재적 입지로서 국토면적의 약 8%에 해당한다.

이를 바탕으로 위에서 추출된 환경적 규제요소에 해당하는 지역을 제외하면 총 가용 면적은 2,440km²(Candidate area)로 줄어든다. 이는 전체 잠재면적의 32.6%에 해당한다(Figure 5).

가장 많은 규제지역에 해당하는 요소는 생태자연도상 별도관리지역에 해당하는 면적이 32.2%로 절반 이상을 차지하고 있으며, 다음으로 국립공원(17.0%), 백두대간보호구역(16.6%), 생태자연도 1등급(11.4%)이 잠재 입지와 중첩된다(Table 4). 이들 네 개 요소를 모두 합치면 규제지역 전체 면적의 77.1%에 이른다. 현재 환경평가 과정에서 입지와 관련하여 많은 논

란이 되고 있는 환경계약적 항목상의 주요 능선축의 분포비율은 핵심구역을 고려했을 때 4.3%로 상대적으로 낮은 편이다. 풍속이 상대적으로 높은 지역은 이러한 환경적 규제요소에 해당하는 지역과 중첩되는 비율이 육상풍력의 잠재적 가용입지의 62.7%와 중첩되므로 환경적으로 민감하고 보호되어야 하는 지역에 입지를 선정할 경우 신중히 검토할 필요가 있다.

우리나라에서 적용하고 있는 보수적인 입장에서 산출한 면적당 가용 풍력설비밀도 5MW/km²(Ministry of Trade, Industry and Energy 2020; Kim et al, 2013)를 환경적 가용 면적 2,440km²에 적용하면 12.2GW의 가용 용량이 산정된다. 이는 순수한 환경적 제약사항만을 고려한 것으로, 토지가격 등 경제적 개발 가능 요건을 고려하면 그 값이 훨씬 줄어들 것으로 예상된다. 하지만 『재생에너지 3020 이행계획』의 육상풍력 계획량 4.5GW을 고려할 때 2.7배 정도의 규모로 환경적인 영향을 최소화할 수 있는 입지검토가 충분히 가능할 것으로 추측할 수 있다(Figure 6).

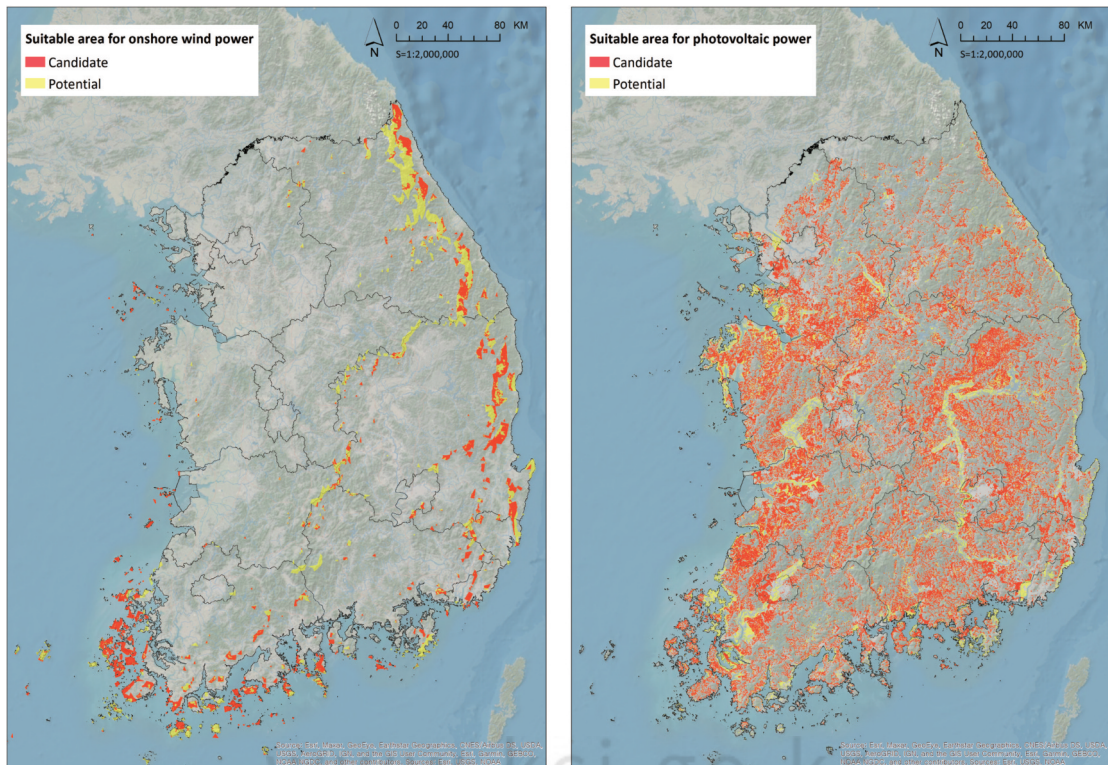


Figure 5. Distribution of suitable areas for onshore wind (left) and photovoltaic (right) powers

Table 4. Ratio of environmental restriction to natural resource (area-based) for onshore wind power

Type of constraint		Factor	Proportion of occupied area (%)	
Legal constraint	Natural environment conservation	Ecological and scenery conservation areas	0.7	17.7
		National parks	17.0	
		Wetland protection areas	0.1	
		Special wildlife protection districts	–	
		Specific islands	0.0	
	Water quality	Water-source protection areas	1.0	1.0
		Riparian zones	0.0	
	Forest protection	Baekdu-daegan Protection Areas	16.6	22.0
		Forest conservation zone	5.4	
	Land planning and utilization	Conservation and control areas	11.2	12.5
Scenic districts		1.2		
Protected districts		0.1		
Cultural heritage	Cultural heritage protection areas	1.4	1.4	
Analytical constraint	Ecological and natural map	First grade	11.4	43.6
		Separately managed zone	32.2	
	Mountain ridge (core zone)	Baekdu-daegan	1.6	4.3
		Jeong-maeg	1.2	
		Ki-maeg	0.3	
		Ji-maeg	1.3	
	Winter waterbird	Monitoring areas for winter waterbird	7.0	7.0

* Due to some overlapping, the sum of each factor does not exactly match the sum of the first and second categories of constraint.

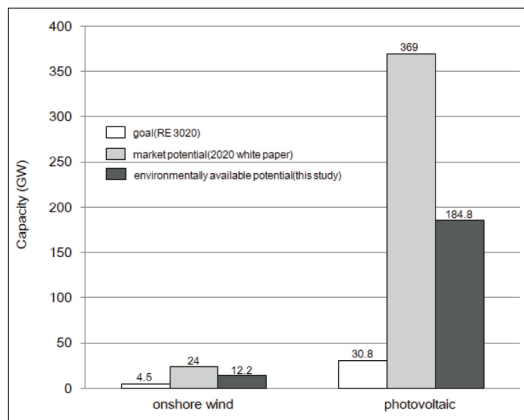


Figure 6. Comparison between estimated potentials relative to the national goals for onshore wind and photovoltaic powers

2020 신재생에너지 백서(Ministry of Trade, Industry and Energy 2020)에 나타난 육상풍력발전에 대한 실질적으로 활용할 가능한 시장 잠재량도 24GW로 산정하고 있다. 이는 경제적 영향요인과 생

태자연도 1등급, 백두대간보호구역 등 정책적 규제에 따른 영향요인을 적용할 때 실질적으로 활용 가능한 에너지의 양에 해당한다. 육상풍력발전의 계획목표 대비 거의 5배 수준의 입지가 가용하다고 할 수 있다.

2) 육상태양광

육상태양광의 환경적 가용 입지에 대한 공간적 범위는 제주도를 제외한 16개 광역시도를 대상으로 하였다. 여기서 사용된 토지피복자료는 환경공간정보서비스에서 제공하는 세분류 토지피복도로, 전국 12개 권역 17,278개 도엽에 대한 공간정보를 구축한 것이다. 본 연구에서는 환경적으로 훼손에 대한 논란이 많은 부존자원 요건에 해당하는 산림과 초지, 습지, 하천, 도로 등의 기개발지는 제외하고 토지피복도상 총 41개 세분류항목 중 농업지역과 염전 및 채광 지역을 부존자원을 지닌 지역으로 보고 이들 총 14,252 km²의 면적을 대상으로 분석하였다.

이 중 농업진흥구역을 우량농지로 간주하고 택지

Table 5. Ratio of environmental restriction to natural resource (area-based) for photovoltaic

Type of constraint		Factor	Proportion of occupied area (%)		
Legal constraint	Natural environment conservation	Ecological and scenery conservation areas	0.0	0.3	36.4
		National parks	0.2		
		Wetland protection areas	0.1		
		Special wildlife protection districts	0.0		
		Specific islands	-		
	Water quality	Water-source protection areas	0.5	1.3	
		Riparian zones	0.8		
	Forest protection	Baekdu-daegan Protection Areas	0.2	0.8	
		Forest conservation zone	0.6		
	Land planning and utilization	Conservation and control areas	20.6	21.4	
Scenic districts		0.3			
Protected districts		0.5			
Cultural heritage	Cultural heritage protection areas	0.1	0.1		
Analytical constraint	Ecological and natural map	First grade	0.5	2.6	
		Separately managed zone	2.1		
	Winter waterbird	Monitoring areas for winter waterbird	13.9	13.9	

* Due to some overlapping, the sum of each factor does not exactly match the sum of the first and second categories of constraint.

개발예정구역과 혁신도시개발예정지 등 도시개발예정지 등과 함께 대상에서 추가적으로 제외할 경우 잠재면적은 4,530km²(Potential area)로, 국토의 약 5%에 해당한다(Figure 5). 농업진흥구역 등의 제외로 인해 잠재적 부지의 68%가 감소하는 것으로 나타난다.

잠재적 부지 4,530km²를 바탕으로 위에서 추출된 환경적 규제요소에 해당하는 지역을 제외하면 총 가용 면적은 2,877km²(Candidate area)로 줄어든다(Table 5). 이는 잠재적 면적의 63.6%에 해당한다. 가장 많은 규제지역에 해당하는 요소는 육상풍력과는 달리 국토의 이용과 관련하여 법적으로 설정된 용도지역상 보전관리지역이 20.6%로 가장 많이 차지하고 있으며, 서남해안의 농경지나 염전과 인접하고 있는 겨울철조류동시센서스 조사지역이 13.9%로 그다음으로 높은 비율을 보여준다. 특히 현재 환경평가 과정에서 입지와 관련하여 많은 논란이 되고 있는 환경계약적 항목상의 주요 능선축의 분포는 비우량농지 등을 대상으로 하기 때문에 이미 산지가 제외됨으로써 1차 잠재적 부지에서 원천적으로 배제된 상황이다.

선형 연구의 분석에 따르면 환경평가 시 실제적으

로 협의가 이루어지고 있는 육상태양광사업의 단위면적당 발전설비의 비율은 산지의 경우 623.0kW/ha, 비산지의 경우 642.4kW/ha로 나타나고 있다(Park et al., 2018). 비우량농지는 대부분 비산지에 해당하므로 이를 환경적 가용 면적 2,877km²에 적용하면 184.8GW의 가용 용량이 산정된다. 풍력과 마찬가지로 이는 순수한 환경적 제약사항만을 고려한 것으로, 토지가격 등 경제적 개발 가능 요건을 고려하면 훨씬 줄어들 것으로 예상된다. 하지만 『재생에너지 3020 이행계획』의 육상태양광 계획량 30.8GW를 고려할 때 현재 문제가 되고 있는 산지태양광이 가지는 환경적인 영향을 최소화할 수 있는 충분한 입지가 가능할 것으로 예상된다(Figure 6).

3. 권역별 재생에너지의 환경적 가용입지 비교

각 에너지원별로 산출된 환경적 가용 입지면적이 이 값으로부터 가능한 최대 발전용량을 지역별로 비교분석하였다. 가용 면적으로는 경북과 전남이 각각 22.4%와 19.5%로 전체의 40% 이상을 차지하고 있다. 다음으로 강원 및 경남 지역에 환경적 가용입지가 상대적으로 높은 것으로 나타난다. 제주의 경우 육상풍

Table 6. Environmentally available potential of renewable energy by region

Region	Onshore wind		Photovoltaic		Total			
	Area (km ²)	Capacity (MW)	Area (km ²)	Capacity (MW)	Area		Capacity	
					(km ²)	(%)	(MW)	(%)
Gangwon	377	1,885	193	12,398	570	10.7	14,283	7.2
Gyeonggi	4	20	349	22,420	353	6.6	22,440	11.4
Gyeongnam	118	590	333	21,392	451	8.5	21,982	11.2
Gyeongbuk	621	3,105	570	36,617	1,191	22.4	39,722	20.2
Jeonnam	702	3,510	335	21,520	1,037	19.5	25,030	12.7
Jeonbuk	23	115	379	24,347	402	7.6	24,462	12.4
Chungnam	2	10	344	22,099	346	6.5	22,109	11.2
Chungbuk	19	95	179	11,499	198	3.7	11,594	5.9
Seoul	-	-	4	257	4	0.1	257	0.1
Sejong	-	-	19	1,221	19	0.4	1,221	0.6
Gwangju	-	-	40	2,570	40	0.8	2,570	1.3
Daegu	8	40	40	2,570	48	0.9	2,610	1.3
Daejeon	-	-	17	1,092	17	0.3	1,092	0.6
Busan	56	280	18	1,156	74	1.4	1,436	0.7
Ulsan	34	170	41	2,634	75	1.4	2,804	1.4
Incheon	44	220	16	1,028	60	1.1	1,248	0.6
Jeju	432	2,160	-	-	432	8.1	2,160	1.1
Total	2,440 (45.9%)	12,200 (6.2%)	2,877 (54.1%)	184,818 (93.8%)	5,317	100.0	197,018	100.0

력에 필요한 풍속의 부존자원이 풍부하여 가용입지가 제주도 전체 면적에 비해 상대적으로 높은 편이다 (Table 6).

재생에너지 사업이 가장 활발한 강원, 경북, 전남의 경우 육상풍력에 대한 환경적 가용 입지면적이 육상태양광보다 훨씬 우세한 것으로 나타난다. 기타 지역에서는 육상태양광에 대한 환경적 가용 입지면적이 육상풍력과 비교하여 절대적으로 우세하게 분포하는 것으로 분석된다. 이는 강원, 경북, 전남 지역에서 환경적 규제를 고려하더라도 육상풍력 사업의 입지 가능성이 타 지역에 비해 높은 것으로 해석할 수 있다.

단위면적당 설비용량의 비율을 보면 환경평가에서 협의를 요청하는 사업면적 1km²당 설비용량은 사용 면적 대비 전체 발전시설용량의 비가 육상풍력 279 MW, 육상태양광 65.6MW로 실제 설비밀도와는 차이가 있으나 육상태양광이 육상풍력보다 약 4배 정도 훨씬 넓은 사업면적을 필요로 하고 있다. 또한 산출된 면적에 대한 가용 발전용량을 산정할 때 활용한 육

상풍력 및 육상태양광에 적용되는 설비밀도 값은 각각 5MW/km², 642.4kW/ha(64.24MW/km²)로 면적당 비율이 다르기 때문에 환경적 가용입지 면적에 대한 실제적인 에너지 전환 가능 규모를 이해하기 위하여 이를 발전용량으로 환산하였다. 발전용량 규모에 있어서 경북이 20.2%로 육상풍력 및 육상태양광을 함께 고려할 때 용량이 가장 높은 것으로 나타난다. 그 다음으로 경기, 경남, 전남, 전북, 충남에서 10% 내외로 비율을 보여주고 있다. 강원은 면적의 비율에 비해 가용 용량은 상대적으로 낮은 7.3% 정도로 추정된다. 이는 비우량농지의 부족으로 육상태양광을 위한 부지 확보가 어렵고, 설비밀도가 낮은 육상풍력에 대한 입지면적이 상대적으로 넓은 것에 기인하는 것으로 해석할 수 있다.

그러므로 재생에너지원별 설비밀도에 따라, 지역별 환경적 가용입지 면적의 규모가 해당 면적에서 산출되는 실제적인 발전용량과 반드시 비례하는 것은 아님을 인식하고 실제 지자체에서 자료를 활용할 경

우에는 에너지원별로 면적에 대한 입지 가용 용량을 고려하여 에너지 전환 가능 규모를 추정하는 것이 필요하다. 그럼에도 불구하고 이러한 지역·환경적 가용입지의 분포 및 특성은 해당 지자체가 지역에서 재생에너지 사업을 추진하는 데 있어 가장 기본적으로 인식하고 있어야 하는 현황 자료가 될 수 있을 것으로 기대한다.

IV. 결론

본 연구에서는 재생에너지원별 가용입지를 도출함에 있어 우선 잠재지역을 재생에너지 발전에 필요한 최소한의 요건을 갖춘 지역으로 정의하여, 바람조건, 일사량 등의 부존자원 조사를 통해 우선 도출하였고, 잠재지역 중 기술·경제적, 법제도적, 환경적 측면에서 입지요건을 만족하는 지역을 후보지역으로 도출하였다.

육상풍력에 대한 환경적 가용 면적은 2,440km²이며, 이는 평균 풍속 5.6m/s를 유지하는 자원 잠재면적의 32.6%에 해당한다. 육상태양광의 경우 비우량농지 등을 대상으로 산정된 잠재적 부지 4,530km² 중 환경적 규제요소에 해당하는 지역을 제외하면 환경적 가용 입지면적은 2,877km²이다. 이는 육상풍력과 비교하여 환경적으로 제외되는 면적의 비율이 상대적으로 낮은 것을 알 수 있다.

이를 지역별로 비교할 때 경북, 전남 등이 면적과 에너지원별 입지 가용 용량이 가장 높은 것으로 나타났다. 하지만 지역별 환경적 가용 입지면적의 전체 규모가 재생에너지원별 설비밀도의 차이로 인해 실제적인 발전용량과는 일치하지 않으므로 실제 활용할 경우에는 개별 에너지원의 면적에 대한 입지 가용 용량을 고려할 필요가 있다. 이러한 지역·환경적 가용입지의 분포 및 특성은 해당 지자체가 지역에서 재생에너지 개발사업을 추진하는 데 있어 가장 기본적으로 파악하고 있어야 하는 현황 자료가 될 수 있다.

2020 신재생에너지 백서(Ministry of Trade, Industry and Energy 2020)에 나타난 육상풍력발전과 육상태양광발전에 대한 경제적 영향요인과 정책적(지원, 규제) 영향요인을 고려한 시장 잠재량은 각

각 24GW와 369GW로 추정되고 있다. 이는 경제적 영향요인과 생태자연도 1등급, 백두대간보호구역 등 정책적 규제에 따른 영향요인을 적용할 때 실질적으로 활용 가능한 에너지의 양에 해당한다. 그러므로 이와 함께 본 연구에서 산출되는 환경적 가용입지의 규모인 육상풍력 12.2GW, 육상태양광 184.8GW를 종합적으로 고려하면 『재생에너지 3020 계획』에서 목표로 하고 있는 육상풍력발전과 육상태양광발전의 목표인 각각 4.5GW와 30.8GW를 충분히 달성할 수 있는 가용입지의 도출이 가능할 것으로 예상된다.

이러한 결과는 현재까지 계획된 에너지원별 현황 및 향후 예상되는 사업의 증가와 환경평가 과정에서 중점적으로 검토되고 있는 환경보전 및 사회·경제적 수용성을 고려한다고 하더라도 재생에너지 발전사업의 추진이 가능한 입지와 조건이 현시점에서 부족하지는 않을 것임을 시사하고 있다. 그러므로 계획입지 제도 등을 도입하여 개발 가능 지역을 대상으로 자연보존 관점에서 상대적으로 중요성이 낮은 지역부터 입지의 우선순위를 정하여 사업을 추진하는 확대 전략이 가능할 것으로 판단된다.

산림을 훼손하는 재생에너지사업이 지속가능한 재생에너지 발전사업의 모델이 될 수 없다는 것에 대한 사회적 공감대도 확산되고 있다. 친환경에너지로서 재생에너지의 확대·보급을 위해서는 환경적, 경제적, 안전성, 수용성 측면을 고려한 입지와 규모를 파악하여 보급목표를 설정한 후 입지가 가능한 지역을 대상으로 사업을 추진할 필요가 있다.

본 연구에서 도출되는 에너지원별 환경적 가용 입지자료와 같은 정량적이고 과학적인 결과를 토대로 지역별 자연환경 및 입지여건 등 특성을 고려하여 재생에너지원별 보급 목표량(비율 및 잠재량)의 적정성을 검토할 필요가 있다. 태양광 및 풍력의 경우 해당 지역의 지형적, 환경적 특성을 고려하여 가장 맞는 유형의 에너지원을 선택해야 한다. 특히 대규모 면적이 요구되는 육상태양광의 경우 국토이용의 효율성 측면에서 신규 재생에너지 발전사업에 필요한 토지공급의 적절성 검토가 이루어져야 한다. 이를 통해 자연보존과 재생에너지 목표를 상호 만족할 수 있는 공존 방향을 모색하여야 한다.

사사

본 논문은 한국환경연구원의 2019년도 일반과제 「환경평가 지원을 위한 지역 환경현황 분석 시스템 구축 및 운영: 주요 재생에너지원별 현황 및 환경적 가용 입지 분석(GP2019-9)」의 지원으로 수행되었습니다.

References

- Aydin NY, Kentel E, Duzgun S. 2010. GIS-based environmental assessment of wind energy systems for spatial planning: A case study from Western Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14(1): 364-373.
- Ayodele TR, Ogunjuyigbe ASO, Amusan TO. 2018. Techno-economic analysis of utilizing wind energy for water pumping in some selected communities of Oyo state, Nigeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 91: 335-343.
- Gorsevski PV, Cathcart SC, Mirzaei G, Jamali MM, Ye X, Gomezdelcampo E. 2013. A group-based spatial decision support system for wind farm site selection in Northwest Ohio. *Energy Policy* 55: 374-385.
- Höfer T, Sunak Y, Siddique H, Madlener R. 2016. Wind farm siting using a spatial Analytic Hierarchy Process approach: A case study of the Städteregion Aachen. *Applied Energy* 163: 222-243.
- Jäger T, McKenna R, Fichtner W. 2016. The feasible onshore wind energy potential in Baden-Württemberg: a bottom-up methodology considering socio-economic constraints. *Renewable Energy* 96: 662-675.
- Jang HJ, Park SJ. 2018. Structural characteristics and meaning of the Sanjulgi (mountain ridge) network system based on network science. *Journal of the Korean Geographical Society* 53: 485-500. [Korean Literature]
- Kim HG, Hwang HJ, Kang YH. 2013. Evaluation of onshore wind resource potential according to environmental conservation value assessment. *Journal of Environmental Science International* 22(6): 717-721. [Korean Literature]
- Kwon YH, Kim JY, Lee MJ. 2008. Environmental considerations in the siting of solar and wind power plants. Korea Environment Institute. [Korean Literature]
- Kwon SD, Joo WY, Kim WK, Kim JH, Kim EH. 2014. Analyzing Site Characteristics and Suitability for Wind Farm Facilities in Forest Lands. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 17(4): 86-100. [Korean Literature]
- Lee SJ, Kwon YH, Choi HS, Lee MJ. 2008. Preliminary environmental evaluation method and guidelines for Baekdudaegan and Jeongmaeg. Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Lee YJ, Chun DJ, Lee MJ, Park JY, Eun J. 2017. Analysis system for regional environmental status to support environmental assessment: i) the status of development plan in major mountain ridges and ii) the assessment of watershed circulation health (the Geum River Watershed). Korea Environment Institute. [Korean Literature]
- Lee YJ, Park JY. 2019. Analysis system for regional environmental status to support environmental assessment: Status and Environmentally Available Potential of Renewable Energy. Korea Environment Institute. [Korean Literature]
- Ministry of Environment. 2016. Guidelines for environmental assessment of floating

- photovoltaic power generation project. [Korean Literature]
- Ministry of Environment. 2018a. Guidelines for environmental assessment of photovoltaic power generation project. [Korean Literature]
- Ministry of Environment. 2018b. Guidelines for environmental assessment of onshore wind power generation project. [Korean Literature]
- Ministry of Trade, Industry and Energy. 2017. Renewable Energy 3020 Action Plan. [Korean Literature]
- Ministry of Trade, Industry and Energy. 2020. 2020 White paper on renewable energy. [Korean Literature]
- National Research Council. 2007. Environmental impacts of wind-energy projects. Washington DC. The National Academies Press.
- Park JY, Lee YJ, Chun DJ, Lee MJ, Eun J. 2017. Analysis system for regional environmental status to support environmental assessment: status and potential of onshore wind power generation and floating photovoltaic power generation. Korea Environment Institute. [Korean Literature]
- Park JY, Lee YJ, Lee WS, Lee BK. 2018. Analysis system for regional environmental status to support environmental assessment: status of photovoltaic power plant installation projects proceeded through EIA and its environmental discussion. Korea Environment Institute. [Korean Literature]
- Park ST. 2010. New Sankyongpyo, Chosun Magazine. [Korean Literature]
- Ramírez-Rosado IJ, García-Garrido E, Fernández-Jiménez LA, Zorzano-Santamaría P, Monteiro B, Miranda V. 2008. Promotion of new wind farms based on a decision support system. *Renewable Energy* 33(4): 558-566.
- Schallenberg-Rodríguez J, Notario-del Pino J. 2014. Evaluation of on-shore wind techno-economical potential in regions and islands. *Applied Energy* 124: 117-129.
- Tegou LI, Polatidis H, Haralambopoulos DA. 2010. Environmental management framework for wind farm siting: Methodology and case study. *Journal of environmental management* 91(11): 2134-2147.
- Xu Y, Li Y, Zheng L, Cui L, Li S, Li W, Yanpeng C. 2020. Site selection of wind farms using GIS and multi-criteria decision making method in Wafangdian. China. *Energy* 207: 118222.
- Yang BK. 1993. A system of nature recognition in the Choseon Dynasty. *Citizens' Lecture in Korean History* 14: 70-97. [Korean Literature]