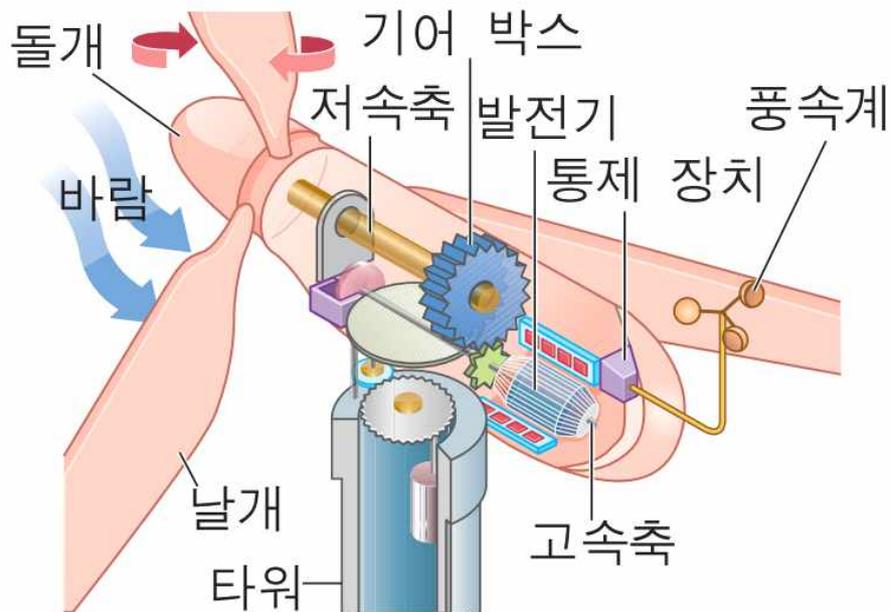


자연환경과 공존하는 재생에너지 확대전략

01 재생에너지 개발사업 추진현황과 주요 환경이슈 1 : 육상풍력

1. 풍력 발전

아래 사진과 같은 구조물에서 블레이드가 회전하면서 발생하는 기계에너지를 발전기를 통해 전기에너지로 변환하는 원리이다(그림 1). 자연의 바람으로 발전기에 달린 날개를 돌려 전기 에너지를 생산하는 발전으로, 대기오염이 발생하지 않으므로 온실가스 저감의 효과는 높으나, 바람의 양이 일정하지 않으므로 상시 발전이 불가능하며 이에 따라 발전량이 일정하지 않을 수 있다.



(그림 1) 풍력발전기 구조(사진출처: <http://study.zum.com/book/12694>)

풍력발전기의 구성은 다음과 같다.

1) 블레이드와 돌개

바람에 의해 날개와 돌개의 회전 운동 에너지가 발생한다. 날개의 반지름이 클수록, 바람의 속도가 빠를수록 회전 운동 에너지는 커진다.

2) 기어 박스

돌개의 회전이 발전기에 전달할 때 회전 속도를 조절하여 돌개의 저속 회전을 고속으로 바꾸어 주고, 돌개가 빨라지면 변속하여 발전기가 일정한 속력으로 돌게 한다.

3) 발전기

돌개의 회전 운동 에너지를 전기 에너지로 전환하여 전기를 발생시킨다. 회전 속도가 빠를수록 출력 전압과 주파수가 커진다.

4) 통제 장치

발전기의 회전 속력을 감지하여 기어 박스를 통해 발전기의 회전 속도가 일정하게 유지 되도록 조절하는 기능을 한다.

5) 타워

풍력기를 지상에서 일정 고도 이상에 설치하기 위한 지주로 대개 수 십m에서 100m 이

상의 기동 높이를 갖는다. 풍력발전은 공기의 유동이 가진 운동 에너지의 공기역학적 특성을 이용하여 회전자를 회전시켜 기계적 에너지로 변환시키고 이 기계적 에너지로 전기를 얻는 기술이다. 바람은 높이 올라갈수록 강하게 불기 때문에, 풍력 발전기의 크기가 크면 클수록 기동도 높아져야 한다.

[출처] 바람이 곧 "에너지"가 된다! 풍력발전기의 기본 원리|작성자 한국수력원자력

풍력발전기는 축의 방향에 따라 수평축(Horizontal Axis Wind Turbine)발전기와 수직축(VERTICAL Axis Wind Turbine) 발전기로 구분할 수 있다. 수평축발전기는 회전축이 바람이 불어오는 방향인 지면과 평행하게 설치되며, 우리나라에서 대부분의 풍력발전기에 해당한다, 블레이드 전면을 바람방향에 맞추기 위한 요잉(Yawing)장치가 필요하다(그림 2).



(그림 2) 수평축 발전기

수직축 발전기는 회전축이 바람이 불어오는 방향인 지면과 수직으로 설치된다. 바람의 방향에 영향을 받지 않기 때문에 요잉(Yawing)장치가 불필요하다. 하지만 블레이드가 작기 때문에 대규모 전기를 생산하는 데는 적합하지 않다(그림 3).

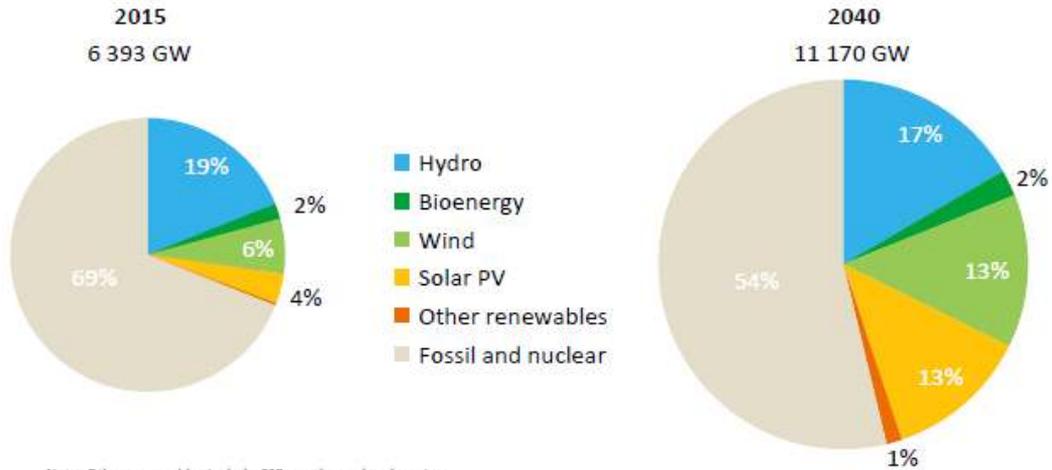


(그림 3) 수직축 발전기

2. 풍력발전 전망

기후변화 적응기술로 각광을 받고 있는 풍력발전은 2015년 전력거래소 통계에 따르면 전체 전력거래량의 7.5%를 점유하고 있다. 신재생에너지 의무할당제(RPS: Renewable Energy Portfolio Standard)가 2012년에 도입되고, 2014년 환경부의 풍력발전시설 입지 규제 완화 정책이 발표되면서 풍력발전 시장은 확대되고 있는 추세이다. 이러한 추세는 신정부의 신재생에너지 확대 정책에 따라 풍력발전 시장의 성장률이 급격하게 증가될 가능성이 높다 (박종윤 외, 2017).

세계적으로 재생에너지는 꾸준히 증가하고 있으며, 국내적으로도 탈원전과 기후변화 대응과 같은 정책 변화로 신재생에너지에 대한 보급과 수요는 지속적으로 증가 할 것으로 예상된다. World Energy Outlook 2016 보고서(IEA, 2016)에서도 재생에너지 발전설비가 2015년 기준 31%에서 2040년에 46%까지 확대될 것으로 전망하고 있다(그림 4).

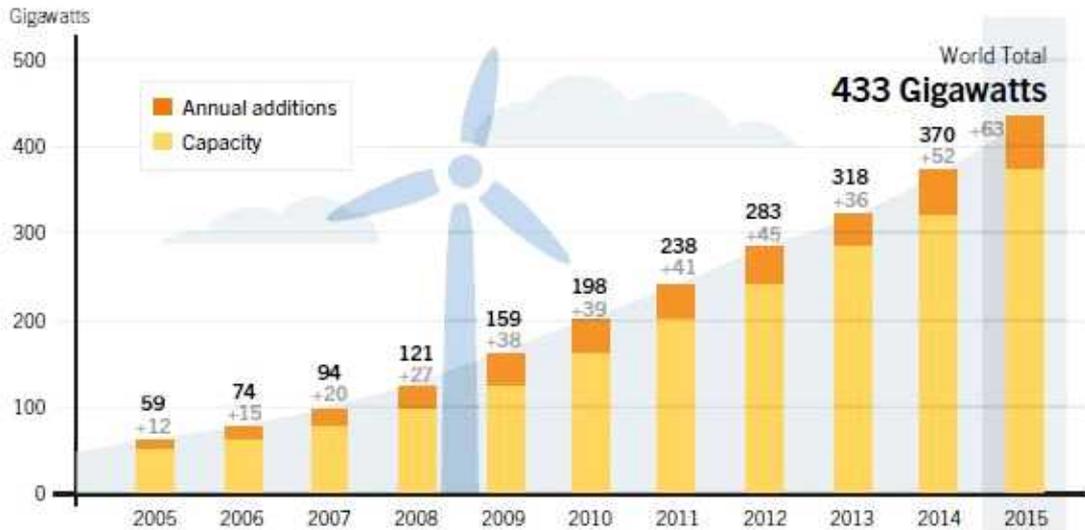


자료: IEA(2016).

(그림 4) 세계 전력생산량 전망(2015~2040년)

본격적으로 풍력을 이용한 것은 1890년대에 덴마크에서 시작되었다. 그리고 1970년, 석유파동 이후 세계적인 관심의 대상이 되었다. 이후 1992년 유엔 기후변화협약과 1997년 교토의정서 체결을 계기로 풍력발전이 화석연료(특히 석탄발전)를 대체하는 재생에너지원으로 급부상하게 되었으며, 2000년대 들어서 풍력발전은 풍력터빈의 대형화와 원가하락에 힘입어 매우 빠른 속도로 성장하였다.

오늘날 전세계 풍력발전 설비는 총 591GW에 달하며, 총 전력수요의 약 5.6%를 담당하고 있다. 매년 약 50GW~60GW의 풍력발전설비가 신규로 설치되고 있다. 특히 유럽지역은 양호한 바람자원 및 선진기술력을 바탕으로 전세계 풍력발전 시장과 산업을 선도하고 있다. EU28개국의 전체 전력소비량 2,645TWh 중 약 14%인 362TWh가 풍력에 의해서 커버되고 있으며, 국가별 풍력발전비중은 덴마크 41%, 아일랜드 28%, 포르투갈24%, 독일 21% 등이 매우 높은 수준을 보이고 있다. 유럽 외에도 중국, 미국, 인도, 브라질, 캐나다 등의 풍력보급율이 높으며, 최근에는 라틴아메리카, 중동 및 북아프리카지역, 동남아시아 지역 등 전세계적으로 풍력발전 설치가 확산되고 있다(박원서, 2019)(그림 5, 6).



: REN21(2016).

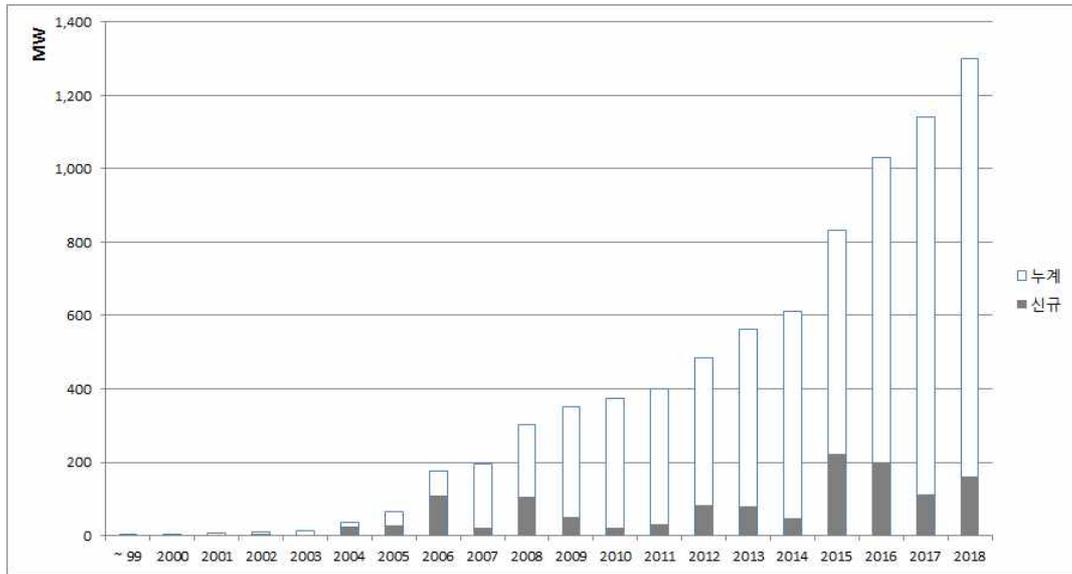
(그림 5) 전세계 풍력발전 용량 누적 통계(2005~2015년)



(그림 6) 세계 풍력발전시장을 주도하는 국가. 중국, 미국, 독일, 인도 등이 약 70% 차지
출처 : REN21, 2018, Renewables 2018 Global Status Report, p.110, p.212.

국내 풍력발전산업도 2006년부터 본격적으로 활성화되기 시작하여 설비용량 기준으로 2018년에 총 1,300MW 규모에 이르고 있다(그림 7). 2012년에 도입된 신재생에너지 의무할당제(RPS) 제도 등 정부의 신재생에너지 정책에 대한 적극적인 지원에 따라 2015년 이후에는 신규 풍력 설비도 매년 100-200MW 정도씩 꾸준히 늘어나고 있는 추세이다. 하지만 풍력발전 시설의 증가는 육상풍력의 경우 우리나라의 지형적 특성상 바람이 많이 부는 산지에 주로 입지하기 때문에 발생하는 자연환경에 대한 훼손과 경관 및 소음 등 주민 수용성 측면에서 청정에너지원 확대 정책과 국토환경보전 정책과의 갈등이라는 심각한 문제점을 유발하

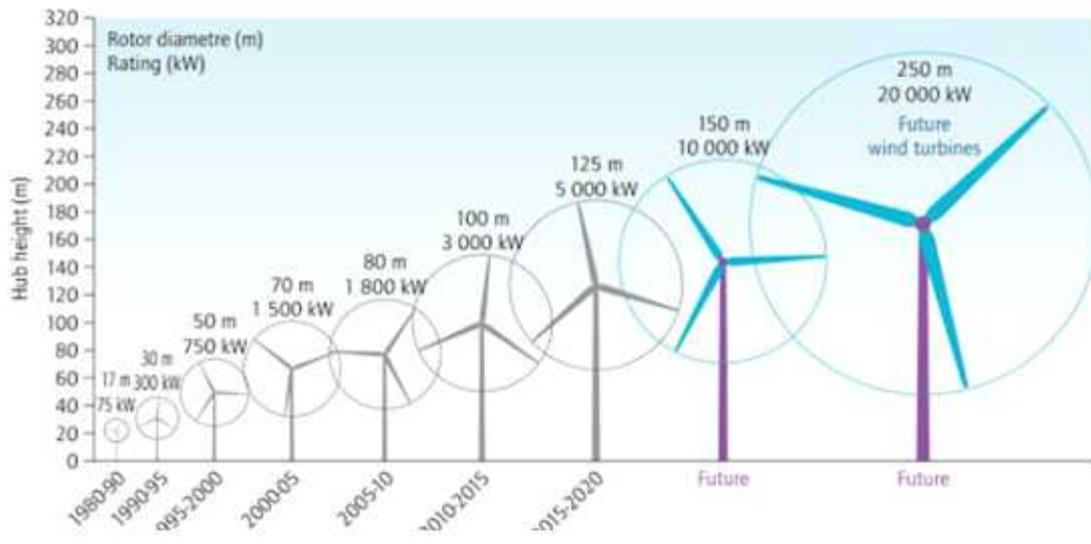
고 있다(박종윤 외, 2017). 그러므로 지역 광역축 등 우수한 자연생태환경의 보존과 지역수용성을 높이며 육상풍력발전사업을 확대해나가기 위해서는 실제 사업이 추진되고 있는 시공간적 현황을 구체적으로 분석하여 관련 정책들을 보다 현실적으로 구체화할 필요가 있다.



: 한국풍력산업협회, "풍력 발전현황 및 통계", http://www.kweia.or.kr/bbs/board.php?bo_table=sub03_03, 검색일: 2019.9.30. 자료 재구성.

(그림 7) 국내 풍력발전 연도별 용량 누적 통계(1999~2018년)

2000년대 들어 풍력터빈의 대형화로 인해 풍력발전 시장은 급성장하고 있으며, 단위면적당 설치되는 발전용량도 블레이드의 크기에 따라 증가하고 있다(그림 8). 현재 국내에서는 4.2MW 용량이 개발되어 상용화 단계에 있다.



출처 : 박완서(2019)
(그림 8) 풍력터빈의 블레이드 크기 및 발전용량

3. 육상풍력사업의 환경적 입지 특성 및 문제점

하지만 청정에너지원 확대의 명분 아래 정부의 에너지정책 변화에 따른 신재생에너지 보급과 관련한 육상풍력발전의 확대는 지역에 따라 자연보존과 상호 상충되고 있는 상황을 야기하고 있다. 우수한 풍력자원 분포지역과 자연보존지역이 공간적으로 중첩되기 때문에 발생할 수 있는 문제점을 최소화 할 수 있는 해결방안이 요구된다.

우리나라의 경우 육상풍력발전시설이 입지하는 고지대 능선부는 식생이 우수하고 산림생태계가 잘 보전되고 있으며, 지속가능 측면에서 행정적인 보호·관리를 받고 있는 지역이 대부분이다. 지형 훼손에 대한 이슈가 적은 외국과 달리 우리나라는 육상풍력발전의 경우 풍력발전시설이 조성되기 위한 바람조건을 지표면 50m 높이에서 평균풍속 5.6m/s 이상을 유지할 수 있는 많은 지역이 백두대간 및 정맥을 비롯한 기맥, 지맥 등의 광역생태축 기능을 하는 우리나라의 주요 산줄기에 해당한다.

정맥, 기맥의 경우 적어도 100km 이상에서 수 백km의 연장을 보여주는 주요 산줄기에 해당한다. 박성태(2010)의 신산경표에 따르면 남한에는 정맥 7개, 기맥 6개가 분포하며 주로 주요 하천의 유역경계를 이루며 발달하고 있다. 법으로 보호되고 있는 백두대간과 함께 정맥 및 기맥에 대해서도 능선축을 중심으로 좌우 150m를 핵심구역으로 설정하여 보존을 원칙으로 하고 있다(환경부, 2016)(표 1). 백두대간이나 정맥에서 주로 분지하고 있는 지맥의 경우에도 유역면적 300km² 이상의 집수역을 구분하는 분수령에 해당하고 최소한 30km 이상의 연장을 가진 광역생태축의 기능을 하는 주요 산줄기에 해당한다(이영준 외, 2017a). 남한에는 총 146개의 지맥이 분포하고 있으며 이 중 10개는 연장이 100km 이상에 이르고 있다(박성태, 2010). 백두대간, 정맥, 기맥, 지맥 등은 개발을 비롯한 인간의 간섭이 상대적으로 적고 연결성이 우수하여 광역생태축으로서 자연생태환경을 보존하는 데 있어 중요한 역할을 하고 있다. 또한 능선축은 자연환경뿐만 아니라 지방의 문화나 생활권을 구분하는 인문·사회적 측면에서도 매우 중요한 기능 및 역할을 가지고 있다(이영준 외, 2019).

<표 1> 능선축 위계 구분과 분류 기준

	분류기준	비고
1	한반도 전체를 통하여 연결성이 가장 양호하고 연장이 긴 것	백두대간
2급	- 1급 능선축에서 직접 분기함 - 주요 하천의 분수계를 이룸(10대강을 구획하는 산줄기) - 연장이 100km 이상인 주요 능선축	주요 정맥
3급	- 정맥에서 분기하고 연장성이 매우 양호한 것 - 위의 1, 2급 능선축 이외에 주요 하천의 분수계를 이루는 것 - 정맥에서 분기한 100km 이상의 산줄기	분기구간 및 기맥 등
4급	- 위의 능선축 이외의 능선축으로서 비교적 연장성이 양호한 것 - 독립 능선축으로서 연장성이 매우 양호한 것 - 대간, 정맥, 기맥을 제외한 30km 이상의 산줄기	지맥 등
5급	- 4급 능선축에서 분기한 소규모 능선축 - 독립 능선축으로서 규모가 매우 작은 것	도서지역 별도 ¹⁾

또한 이들 지역 상당 부분은 생태자연도 1등급 등 자연환경이 우수하여 정책적 차원에서 환경적으로 보전·관리되고 있어 풍력발전단지가 입지하는 데 많은 어려움이 있다. 주요 능선축에 인접한 육상풍력사업의 입지 특성상 지역 광역축과 이를 이루고 있는 우수한 자연 생태환경의 보존이 핵심 검토사항이라 할 수 있다.

생태자연도는 자연환경보전법 제34조에 의하여 작성된 지도로서 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(표 2).

<표 2> 생태자연도 등급 구분과 이용 현황

등급	특성	이용 현황
1등급	<ul style="list-style-type: none"> • 멸종위기 동·식물의 주된 서식지 • 생태계가 특히 우수하거나 경관이 수려한 지역 • 생물의 지리적 분포한계에 위치한 생태계 • 대표적인 주요 식생군락 등 	자연환경의 보전 및 복원
2등급	<ul style="list-style-type: none"> • 1등급에 준하는 지역 - 장차 보전의 가치가 있는 지역 - 1등급 지역의 외부 지역 	자연환경의 보전 및 개발이용에 따른 훼손의 최소화
3등급	<ul style="list-style-type: none"> • 1,2등급과 별도관리지역을 제외한 지역 • 개발 또는 이용 대상이 되는 지역 	체계적인 개발 및 이용
별도관리지역	<ul style="list-style-type: none"> • 다른 법률의 규정에 의하여 보전되는 지역 중 - 자연공원, 생태·경관보전지역 등 역사적, 문화적, • 경관적 가치가 있는 지역 - 도시의 녹지보전 등을 위하여 관리되고 있는 지역 	

: 국토환경정보센터, <http://www.neins.go.kr>, 검색일: 2019.12.10.

1) 도서지역은 능선축 체계 구분을 적용하지 않음.

특히 법정 보호종 서식지 및 생태자연도 1등급지는 보존을 원칙으로 하고 있으나, 발전기 위치와 관리·진입도로 노선 선정에 불가피성을 사유로 훼손하는 것에 대한 입지 타당성 검토가 주요 이슈이다. 산줄기를 따라 설치되는 풍력기와 관리도로에 의한 생태계 단절 및 교란, 절·성토에 따른 지형 훼손, 토사 유출의 피해, 지역 생태계 생물종 변화 등의 우려가 예상된다. 풍력발전기 블레이드와의 조류 충돌, 조류 이동경로에 미치는 영향 등도 제기되고 있는 중요한 환경적 이슈이다(이영준 외, 2017b).

국내외적으로도 산줄기를 따라 설치되는 풍력기와 관리도로에 의한 생태계 단절 및 교란, 절·성토에 따른 지형 훼손, 토사 유출의 피해, 지역 생태계 생물종 변화 등의 우려가 예상된다. 풍력발전기 블레이드와의 조류 충돌, 조류 이동경로에 미치는 영향 등도 제기되고 있는 중요한 환경적 이슈이다(National Research Council, 2007).

산지에 입지하는 풍력발전사업은 주로 능선축 마루금을 따라 풍력기가 설치되어 이를 연결하는 관리도로와 함께 지형변화에 따른 생태적 연결성의 단절을 야기하는 주요 원인으로 작용하고 있다(그림 9, 10).



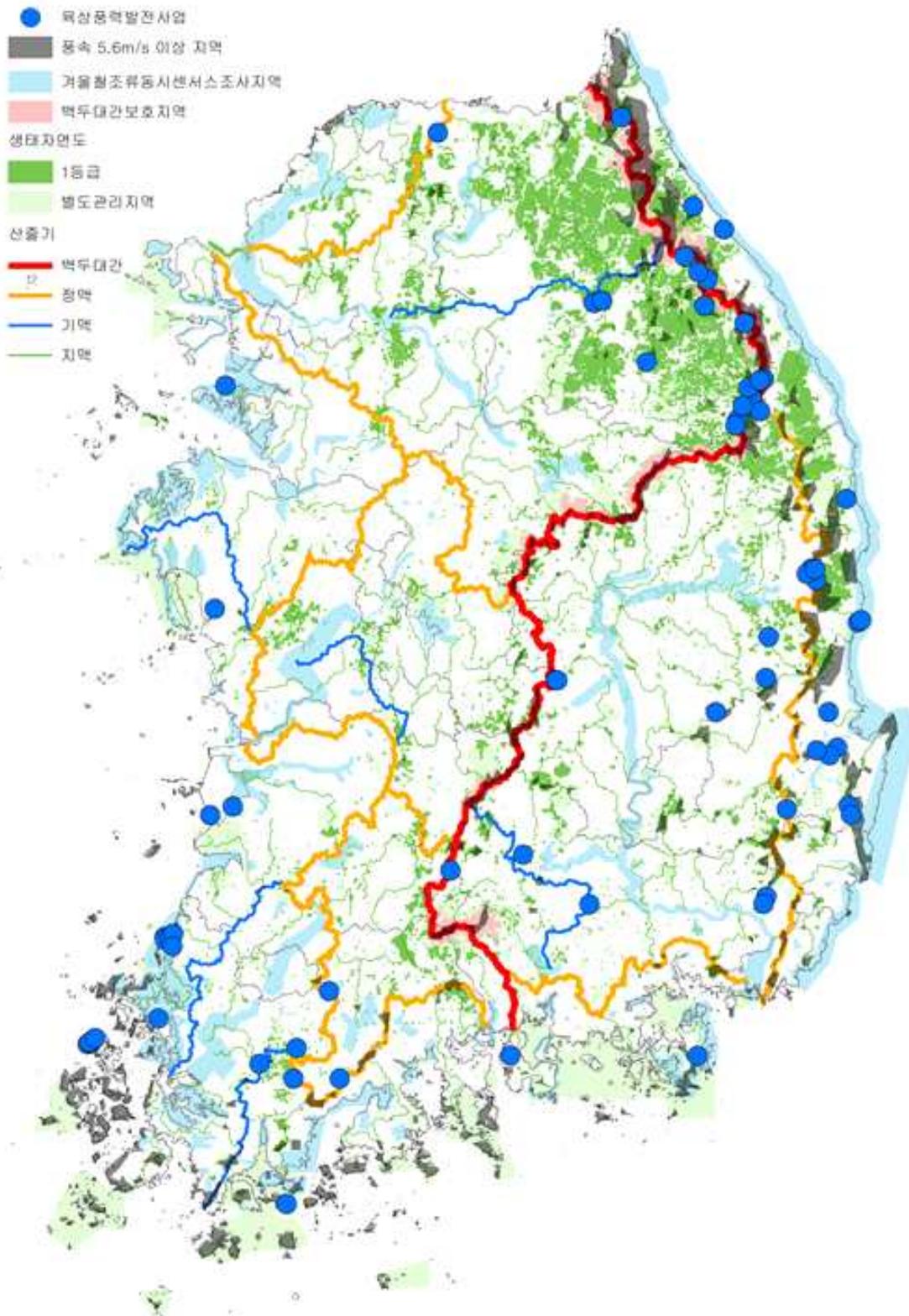
(그림 9) 경북 영양군 석보면 홍계리 주산의 능선을 따라서 풍력발전소 건설을 위한 임도가 파헤쳐져있다. 주산 건너편에는 이미 운영 중인 풍력발전소가 보인다(스카이데일리, 2017)



(그림 10) 경북 영양군 석보면 맹동산 능선에 수십기의 풍력발전기가 자연경관을 훼손(경향신문 자료사진, 2017)

또한 국제적인 철새의 이동경로에 해당하여 법정보호종의 집단번식지 등 국내외적으로 보전가치가 매우 높은 공간역에 해당하는 도서지역을 포함한 서남해 연안을 따라 조류동시 센서스조사지역이 분포하고 있어 이러한 생태환경적으로 민감한 지역에 대한 풍력발전사업의 입지에 있어 매우 신중한 영향예측과 평가가 최우선시 되어야 한다(권영한 외, 2011)(그림 11). 이와 함께 자연환경 훼손에 대한 영향과 더불어 설치 주변 지역에서의 풍력발전기 설치에 따른 찬반 갈등도 많이 발생하고 있는 실정이다.

향후 정부의 신재생에너지 확대정책과 연계하여 산능선부를 따라 집중되는 육상풍력사업의 입지 타당성에 대한 검토가 환경가치, 경제성, 사회적 수용성 등을 종합적으로 고려하여 체계적으로 이루질 필요가 있으며, 환경보존과 신재생에너지의 확대가 상호 공존할 수 있는 다양한 정책 및 해법이 필요하다.



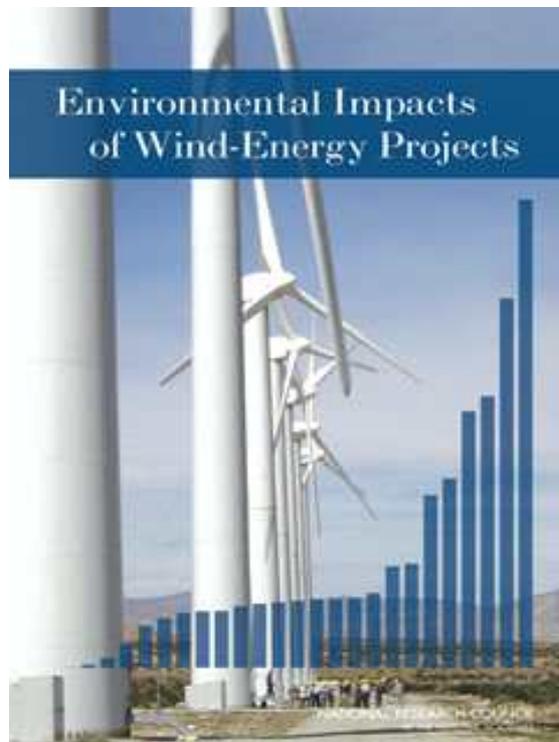
(그림 11) 전국 육상풍력발전사업 분포(2002~2019년 환경평가 대상 사업)

해외에서도 육상풍력발전이 산지에 입지함에 따라 발생하는 문제점에 대하여 200년대

초반부터 다양한 연구와 조사가 진행되고 있다(그림 12). 특히 서식지 훼손에 따른 물리적-생태적 단절이 가장 큰 이슈이다(World Bank, 2011; Ledec 2012).

조류 및 박쥐의 터빈 충돌을 비롯하여 도로 사면과 같은 직접적인 물리적 단절뿐만 아니라 기존 서식공간과 다른 서식환경이 만들어짐에 따른 동물 접근성 변화 등 서식환경에 미치는 영향이 발생할 가능성이 크다. 이로 인한 서식환경변화는 산림내부 서식공간을 선호하는 동물들의 접근과 이동을 방해하게 되며 외래종 침입 증가 등 추가적인 생태계 서식환경 훼손·단절이 발생시키게 된다.

특히 풍력 터빈이나 송전선로보다 풍력기 관리를 위해 설치되는 관리도로에서 가장 심각한 환경적 영향이 발생하는데 도로 폭 및 길이 확장에 따른 자연 서식지 상실, 숲 또는 기타 자연 서식지의 파괴, 토양 침식 및 산사태의 영향이 크다.



(그림 12) 풍력발전사업의 환경영향 관련 보고서(National Research Council, 2007)

'풍력 강국'으로 통하는 독일엔 해상·육지를 포함, 전국에 풍력발전기 2만8217기가 깔려 있다(그림 13). 독일의 풍력 발전 설비 용량은 50GW로 유럽 전체의 32.5%를 차지한다. 독일의 경우 대부분 평야나 저지대의 산림훼손이 없는 지역에 풍력단지가 설치되어 우리와 같은 생태계나 지형변화 관련 환경훼손에 따른 문제는 발생하지 않는다.



(그림 13) 독일 풍력단지(Renewable Energy World)

4. 국내 해상풍력발전 추진 현황

육상풍력발전과 달리 국내 해상풍력발전은 이제 초기 단계로 볼 수 있다. 정부는 서남해 지역에 대규모 해상풍력 발전단지 구축을 계획하고 있다. 유럽의 경우에도 북해를 중심으로 해상에 대규모 풍력발전단지를 개발함으로써 해상풍력중심으로 개발 및 보급이 확대될 것으로 전망된다.

국내 해상풍력산업은 서남해안, 제주도 등 연안지역에 소규모로 설치되어 '서남해 해상풍력 실증단지' 등이 시범적으로 운영 중에 있으며, 2019년에 처음으로 전남 영광에서 350MW 규모의 해상풍력발전단지에 대한 환경영향평가가 진행되고 있다. 하지만 사업대상지가 속한 한반도 서남해안 도서지역은 국제적인 철새의 이동경로에 해당하여 법정보호종의 집단번식지 등 국내외적으로 보전가치가 매우 높은 공간역이다. 그러므로 이러한 생태환경적으로 민감한 지역에 대한 해상풍력발전사업의 입지에 있어 매우 신중한 영향예측과 평가가 최우선시 되어야 한다(권영한, 2011).

아울러 대규모 해상풍력단지 개발로 인한 사회 수용성 문제가 지속적으로 제기되고 있다. 추진 과정에서 해당지역의 이용영역이 점차 확대됨에 따라 이를 이용하고 있는 이해당사자들과(예: 양식, 어패류 채취, 어선 운영을 비롯한 어업종사자, 해상풍력단지 인근 지역주민, 군사적 목적의 이용 관련 주체 등) 개발자 사이에 심각한 갈등이 야기되기도 한다. 그러므로 해상풍력은 육상풍력과 달리 이해당사자의 유형이 다양한 특징이 있고, 해당 이해당사자 간 입장이 상이한 경우가 많아서 이해당사자 별 쟁점사항 관련 의견 수렴이 주민 수용성 입장에서 중요한 요소라고 할 수 있다. 그러므로 풍력 및 기타 해양 자원을 다양한 목적으로 동시에 이용될 수 있도록 지원하는 공존방안 마련과 정책 수립이 필요하다.

5. 자연보존과 신재생에너지 목표를 상호 만족할 수 있는 육상풍력발전의 개발 방향성

재생에너지 3020의 성공적 시행을 위해서는 녹색 간 충돌 문제에 대한 해결이 선결 과제이다. 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, 우선순위에 따라 사업을 추진하는 것이 필요하다.

2018 신재생에너지백서(산업통상자원부, 2018)에 나타난 풍력발전에 대한 풍력설비밀도 5MW/km² 이상인 면적을 토대로 산출된 이론적 잠재량은 육상풍력의 경우 설비용량을 기준으로 499GW, 입지할 수 있는 지리적 요건을 고려한 기술적 잠재량은 352GW이다. 하지만 기술적 잠재량 중 실질적으로 활용 가능한 시장 잠재량은²⁾ 17GW로 추정되고 있다. 이는 경제적 영향요인과 생태자연도 1등급, 백두대간보호구역 등 정책적 규제에 따른 영향요인을 적용할 때 실질적으로 활용 가능한 에너지의 양에 해당한다. 하지만 재생에너지 3020 계획에서 목표하고 있는 육상풍력발전의 목표가 4.5GW이므로 아직도 거의 4배 수준의 입지가 가용하다고 할 수 있다.

그러므로 현재까지 계획된 풍력발전의 규모 및 향후 예상되는 증대와 환경평가 과정에서 제기되고 있는 환경가치 보전 및 사회·경제적 수용성을 고려한다고 하더라도 현 시점에서 풍력발전사업을 추진할 입지와 조건이 모자라거나 부족하지는 않을 것으로 예상된다. 그러므로 계획입지제도 등을 도입하여 개발가능지역을 대상으로 자연보존 등급이 상대적으로 낮은 지역부터 입지의 우선순위를 정하여 사업을 추진하는 확대 전략이 필요하다.

2) 양 잠재량 중 경제적 영향요인과 정책적(지원, 규제) 영향요인을 적용할 때 실질적으로 활용 가능한 에너지의 양