

신·재생에너지 알아보기

2차시. 풍력에너지

1. 풍력에너지

(1) 풍력의 이용

- 오랜 고대로부터 내려오고 있으며 물을 퍼 올리는 데 사용하였거나 간단한 수직축 풍차를 사용하여 곡식을 찧는 농기계로 사용하였고, 또한 관개에 응용하였다.
- 19세기에 들어와서 유럽이나 미국에서는 각기 지역 특성에 적합한 풍차를 개발하여 사용하였으며, 그 범위가 관개용, 농업용, 전력용 등 매우 다양하였다.
- 그 후 제 2차 세계대전을 전후하여 각국의 에너지 소비가 증대함에 따라 석유, 석탄 등의 화석연료가 출현하여 모든 에너지원이 대체되기 시작하면서 풍력에너지의 이용도 점차 감소하였다.
- 미국의 경우 19세기에 중엽까지 관개용, 전력용 등의 소형 풍차가 600만개 정도 운영되었으며 P.C putnam에 의해 대형 풍력발전이 전력생산에 경제성이 있다고 판정된 후 1.25MW 출력의 대형 풍력발전시스템이 그랜드파 언덕의 600m 산 위에 건설되었다.
- 그 후 이 시스템은 값싼 화석연료의 출현으로 점차 경제성을 잃게 되었다. 하지만 1970년대 중반부터 풍력 에너지를 이용한 발전 시스템에 관하여 집중적인 연구가 다시 시작되었으며 풍력발전시스템 개발 및 풍차의 특성을 연구 분석하여 발전시켰다.

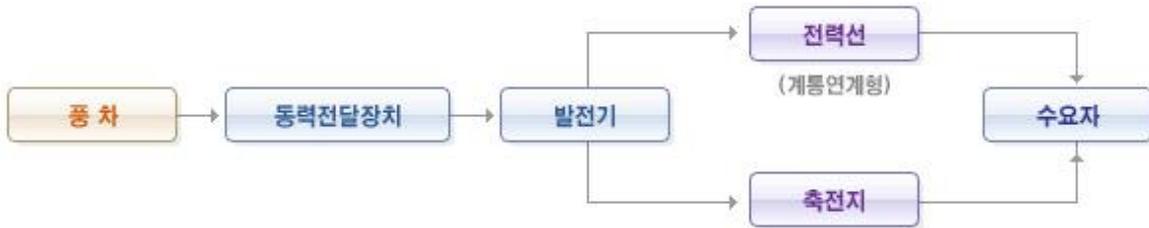
(2) 풍력에너지란?

- 풍력은 공기의 흐름인 바람에 의해 생기는 에너지이며, 바람이 가지는 힘을 회전력으로 전환시켜 실생활에서 사용할 수 있는 전기에너지로 바꿔주는 기술이다. 지구상에 존재하는 모든 바람의 근원은 태양에너지이다.
- 태양에너지의 지표면 차별복사가 대기의 대순환을 발생시키고 이와 연관된 대기 내의 기상현상이 우리가 느끼는 바람으로 나타나게 된다.
- 고대부터 사람들은 항해를 하거나 풍차를 돌려 곡식을 찧고 물을 퍼 올리는데 풍력을 이용했다. 최근에는 전기를 생산하는데 풍력을 이용하기 시작했다. 효율적으로 전기를 얻을 수 있으려면 초당 5m 이상의 바람이 지속적으로 불어야 가능하므로, 대체로 사막이나 바다에 접해 있는 지역이 풍력 발전소를 건설할 만한 곳이 많다.
- 풍력에너지는 환경오염원을 발생시키지 않아 대기오염에 의한 온실효과 및 수질오염의 염려가 없는 자연 친화적이고 무한정의 미래 에너지로서 유럽일대, 미국, 캐나다 등에서 활발히 이용되고, 최근 아시아를 비롯한 세계 각 국에서 대안에너지로서의 활용에 큰 관심을 보이고 있다.



(3) 풍력에너지의 원리

- 풍력발전이란 자연의 바람으로 풍차를 돌리고, 이것을 기구 등을 이용해 속도를 높여 발전기를 돌리는 발전방식을 말한다.
- 풍력발전은 발전기를 풍속에 관계없이 일정한 속도로 회전시킬 필요가 있기 때문에 제어를 하기 위해 풍속에 따라서 풍차날개의 기울기를 바꿔야 한다.
- 다시 말해 공기의 유동이 가진 운동 에너지의 공기역학적(aerodynamic) 특성을 이용하여 회전자(rotor)를 회전시켜 기계적 에너지로 변환시키고 이 기계적 에너지로 전기를 얻는 기술이다.



풍력발전의 원리

2. 풍력 에너지 가속화 배경

(1) 원가적 측면

- 바람은 무한정, 무비용의 청정 에너지원이라는 이점을 가지고 있다.
- 발전시스템 설치의 소요 면적이 최소화이고, 시스템의 대용량화 구현이 가능해짐으로써 발전원별 전력생산 단가의 가격 경쟁력이 향상이 영향을 미쳤음을 알 수 있다.

(2) 사회·환경적 측면

- 풍력에너지는 도시, 산간, 오지의 전력 공급을 가능하게 하고 농업과 공업 활동에의 비제한성으로 적합하였기 때문임을 알 수 있다.
- 화석에너지 고갈에 대한 대체에너지원으로서의 필요성과 화석에너지 산업 대체 효과를 기대하며 에너지 장기 공급의 안정성을 노렸고 지구환경보호, 지구온난화방지, 온실가스감축의무에 따라 개발이 불가피하였다. 풍력 발전은 공해 물질 저감 효과도 매우 커서 200kW급 풍력 발전기 1대가 1년간 운전하여 400,000kWh의 전력을 생산한다면 약 120 ~ 200t의 석탄을 대체하게 되며, 줄어드는 공해 물질의 배출량은 연간 SO₂는 2 ~ 3.2t, NO_x는 1.2 ~ 2.4t, CO₂는 300 ~ 500t, 슬래그(slag)와 분진(ash)은 16 ~ 28t에 달하며, 부유 물질은 연간 약 160 ~ 280kg정도 배출이 억제되는 효과가 있다.

(3) 경제적 측면

- 풍력에너지는 에너지 수입의존도 감소로 공급의 안정성을 이루었고 풍력단지(FARMS)조성으로 인한 관광산업 활성화를 누릴 수 있기 때문이다.
- 시스템의 대용량화와 기술개발로 인해 대형시장의 잠재력이 충분했기에 풍력 발전이 가속화가 가능했던 것으로 볼 수 있다.

3. 풍력에너지의 장·단점

- 풍력자원이 풍부하고 재생 가능한 에너지원으로서 많은 이점을 가지고 있다. 풍력은 공해물질 배출이 없어서 청정성, 환경친화성을 지닌다. 바람의 운동에너지 이용으로 화석 대체효과가 커 단기적으로 화석연료와 대등한 가격경쟁력을 확보할 수 있는 대체 에너지이다. 비용면에서도 초기 투자비가 높으나, 건설 및 설치기간이 짧다. 또한 연료비가 거의 없고, 대부분 무인 원격 운전되므로 유지보수 비용이 적다.
- 현재 외국의 경우 발전단가가 4~5¢/kWh로 핵 발전의 발전단가와 같은 수준에 와 있으며, 핵 발전의 폐기물 비용을 감안한다면 보다 경제적이고 친환경적인 에너지라고 할 수 있다. 활용도면에서도 설치높이가 높아 지상 토지를 농사, 목축 등과 같은 용도로 활용 가능하고 풍력단지의 관광자원화가 가능하다.
- 깨끗하고 고갈된 염려가 없지만, 에너지의 밀도가 낮아 바람이 희박할 경우 발전이 불가능하므로 특정 지역에 한정되어 설치 가능하다. 바람이 불 때만 발전을 할 수가 있으므로 추가적인 저장장치의 설치가 필요하다. 또한 방해물 등의 자연환경 변화에 매우 민감할 수 있어 개발이 진행 중인 지역에는 신중한 검토가 필요하다. 초기 투자비용이 아주 크고, 입지에 따라 다르나, 설비이용률이 타 발전원에 비해 낮다. 소음이 발생하므로 인가와와의 적정 이격 거리가 필요하다는 단점이 있다. 하지만 바람이 안 불면 발전을 할 수가 없으나 우리나라의 경우는 삼면이 바다로 되어 있어 풍력발전에 유리하다고 할 수 있다.
- 지속적 발전이 곤란한 문제에 대해서는 현재 기존의 발전시설이나 태양광발전 등과 병행하여 사용하는 것으로 해결 가능하다. 가장 큰 단점으로 지적되었던 소음 발생 문제는 최근 풍력발전기가 대형화되면서 소음문제를 해결했다.

4. 풍력에너지 발전기술의 현황

(1) 해외현황

가. 미국

- 미국의 풍력발전 공급량은 1998년 이래 매년 증가하는 추세를 나타내고 있다.
- 2008년 현재 미국의 풍력발전 공급량은 4,507천 toe로 미국 신·재생에너지 공급량의 3.7%를 차지
 - 2000년(486천 toe) 대비 약 9배가량 증가하여 태양광과 더불어 미국 내 신·재생에너지원 중 가장 높은 성장률을 기록
- 신·재생에너지 R&D 부문의 12.3%에 해당하는 62백만 달러의 예산을 투자
 - 미국의 에너지 분야에 대한 투자가 전반적으로 감소했던 2003~2006년 기간에는 두 부문에 대한 예산도 소폭 감소하였으나 2007년에는 다시 대폭 증가시켰으며, 특히 태양광의 경우 전년 대비 2배 이상 예산을 증액하여 기술 개발에 투자하였다.

나. 일본

- 2008년 일본의 풍력에너지 공급량은 251천 toe로 일본 신·재생에너지 공급량의 1.6%를 차지
- 2000년 대비 2008년 현재까지 26배 이상 증가하여 매우 높은 성장률을 기록
- 2004년 일본의 풍력발전 설비 용량은 총 927 MW로 독일, 스페인, 미국 등에 이어 세계 9위를 기록

- 동년도에 보급 목표를 설정하여 2010년까지 총 3GW(1,340 천 toe)의 풍력발전 설비를 건설함으로써 2004년 대비 4배 이상 풍력발전 설비를 확충하기로 계획함

일본의 풍력발전 보급 계획

구분	2004년		2010년 전망				비율
			BAU		정책 목표		
풍력	377 천 toe	927 MW	320 천 toe	780 MW	1,340 천 toe	3,000 MW	4.0 : 1

다. 독일

- 독일의 2008년 풍력발전 공급량은 약 3,474천 toe로, 신·재생에너지 공급량의 12.3%를 차지하고 있으며, 이는 독일 1차 에너지 소비량의 1%에 해당함
- 풍력발전 보급에 있어 세계 최고를 자랑하던 독일은 지난 2002년부터 시작된 미국의 급속한 풍력발전 보급 활성화로 인하여 선두 자리를 내주었으나, 현재 건설 중인 대규모 해상풍력발전이 완공되어 상업 운전을 시작하게 되면 다시 세계 1위의 풍력발전 보급국가로 자리매김할 전망
- 2000년부터 2008년까지 독일의 풍력발전 공급량은 3배 이상 증가한 것으로 나타났으며, 2000년의 생산량이 804천 toe였음을 감안할 때, 매우 높은 성장세를 지속하고 있음을 알 수 있다.
 - 향후 해상 풍력발전의 활성화에 의해 더욱 증가할 것으로 전망

라. 영국

- 풍력의 경우, 2008년 현재 612천 toe로 신·재생에너지 공급량의 약 11%를 차지하고 있으며, 2000년 대비 6배 이상 증가하였다. 영국은 해상풍력 보급을 중심으로 집중 투자를 실행
- 2008년 말 현재 590MW의 해상풍력발전 설비가 가동, 세계 1위의 해상풍력발전 국가로 올라서 향후 자국 영해 및 유럽 내 공동개발로 추진이 계획된 해상풍력발전 설비용량만 20GW 이상 됨에 따라, 향후 풍력발전에 의한 에너지 공급량의 증가 추세는 현재보다 더 늘어날 것으로 예상된다.
- 풍력발전 부문에 46%의 신·재생에너지 R&D 예산을 배정함으로써 이 두 분야를 중점적으로 육성하고 있다.

마. 프랑스

- 풍력은 2008년 현재 491천 toe의 공급량을 나타내고 있으며, 이는 신·재생에너지 공급량의 약 2.5%에 해당하는 수치이다.
- 2000년에서 2008년 사이 프랑스의 풍력에너지 공급량은 약 75배가량 증가한 것으로 나타나 매우 빠른 성장세를 나타내고 있으며, 특히 2004년 이후의 성장률은 매년 150% 이상을 기록하고 있다.
- 프랑스 정부는 또한 2007년 이전에 완공되는 육상풍력(500MW), 해상풍력(500MW), 바이오매스(200MW), 바이오가스(50MW)를 대상으로 경쟁 입찰을 도입하여 프랑스 발전사업자 이외에도 EU 회원국 및 프랑스와 국제에너지 협약을 맺은 국가의 개인도 참여할 수 있도록 하였다.

(2) 국내현황

가. 우리나라의 에너지 소비량

- 2008년 현재 우리나라의 1차 에너지 소비량은 약 241백만 toe로, 세계 1차 에너지 소비량의 약 2%를 차지하고 있으며, 2000년부터 2008년까지 약 25% 가량 증가하였다.

우리나라의 1차 에너지 소비량 추이

(단위 : M toe)

	2000년	2002년	2004년	2006년	2008년	00~08년 증가율(%)
1차 에너지 소비량	192.9	208.6	220.2	233.4	240.8	24.8

- 현재 BAU(Business as Usual) 기준안에 따르면, 우리나라의 1차 에너지 수요는 2006년 233백만 toe에서 연평균 1.6%씩 증가하여 2030년에는 343백만 toe가 될 것으로 전망
 - 신·재생에너지는 연평균 약 6.2%씩 증가하여 2030년 18백만 toe로 전체 1차 에너지 수요량 중 5.4%를 차지할 것으로 전망

국가에너지기본계획에 의한 풍력에너지 공급 목표

(단위 : 천toe)

구분	2008년	2010년	2015년	2020년	2030년	연평균 증가율
풍력	106 (1.7)	220 (2.9)	1,084 (9.2)	2,035 (11.6)	4,155 (12.6)	18.1

나. 우리나라의 재생에너지 자원 잠재량

- 우리나라의 자원지도 제작 연구를 수행하고 있는 한국에너지기술연구원의 자료에 따르면, 우리나라의 재생에너지 전체 잠재량은 2조 3,647억 toe이며, 이 중 실질적으로 사용 가능한 기술적 잠재량은 약 17억 5천만 toe정도인 것으로 나타남
- 가장 많은 부존 잠재량을 보인 것은 지열 에너지로, 무려 2조 3,528억 toe 가량을 나타내 재생에너지 전체 잠재량의 거의 대부분을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 실질적으로 이용 가능한 잠재량인 기술적 잠재량에 있어서는 풍력에너지는 육상 1천 2백만 toe, 해상 2천 2백만 toe로 비교적 풍부한 것으로 나타남

우리나라의 풍력에너지 잠재량

(단위 : 천 toe)

구분	부존 잠재량	가용 잠재량	기술적 잠재량	비고	
풍력 에너지	육상	246,750	24,675	12,338	2MW급 육상용 국산기기 적용
	해상	220,206	44,041	22,021	3MW급 해상용 국산기기 적용

◦ 육상풍력 산정 개요

부존 잠재량	육상(영토) 전 면적에 풍력발전기를 이론 설치밀도(4MW/km ²)로 설치한 경우(이론적으로 태양에너지 잠재량의 2% 수준)
가용 잠재량	영토 중 도시, 수계, 도로, 국립공원 면적 및 급경사지 등 개발 부적합 면적을 제외한 경우(전 영토의 10% 가용)
기술적 잠재량	바람등급 3 ¹⁾ 이상인 면적에 2MW 국산 풍력발전기를 설치한 경우(국가바람지도에서 산출된 설비이용률 등 적용)

◦ 해상풍력 산정 개요

부존 잠재량	해상(영해) 전 면적에 풍력발전기를 이론 설치밀도(4MW/km ²)로 설치한 경우(이론적으로 태양에너지 잠재량의 2% 수준)
가용 잠재량	영해 중 이안거리 5km 이내 또는 25km 이상, 수심 30m 이상 및 해상국립공원 면적을 제외한 경우(전 영해의 20% 가용)
기술적 잠재량	바람등급 3 이상인 면적에 3MW 국산 풍력발전기를 설치한 경우(국가바람지도에서 산출된 설비이용률 등 적용)

- 한국에너지기술연구원의 연구 결과에 따르면²⁾, 남한의 육·해상 풍력자원 부존 잠재량은 총 467백만 toe/년(설비용량 678GW)이며, 풍력발전 설비가 입지할 수 있는 지리적인 여건을 고려한 가용 잠재량은 부존 잠재량의 15%(육상 10%, 해상 20%)에 해당하는 69백만 toe/년(설비용량 100GW)으로 산정되었다.
- 기술적 잠재량은 가용 잠재량으로부터 바람등급 3 이상인 경우만을 선택한 것으로 가용 잠재량의 1/2, 부존 잠재량의 7.4%(육상 5%, 해상 10%)에 해당하는 34백만 toe/년(설비용량 50GW)으로 산정되었다.
- 실질적으로 보급되기 위하여 수반되는 여러 제약적 요소들에 대한 산정을 고려하여, 주어진 기간 내에 기술적, 산업적, 정책적 제약 조건 하에서 개발 가능한 양을 공급가능 잠재량으로 정의하고, 이를 풍력보급 선진국의 개발실적을 참조하여 산정하게 되면, 실질적으로 보급 가능한 잠재량은 이용 잠재량의 1/8 수준인 육상 4.6GW, 해상 7.9GW가 되는 것으로 나타났다.
- 육상 잠재량의 경우 고산지대인 강원도에, 해상 잠재량의 경우 수심이 낮은 서해안과 남해안에 걸쳐 있는 전라남도에 집중되어 있다.

5. 풍력에너지 발전의 전망

(1) 일반적으로 제기되는 환경적·사회적 문제점

가. 소음·저주파

- 풍력발전기에서 발생하는 소음은 기어박스나 발전기와 같은 기계 또는 전기 장치에서 나오는 기계적 소음(mechanical noise)과 날개와 공기와의 상호작용에 의해 야기되는 공기역학적 소음(aerodynamic noise)으로 나뉜다. 공기역학적 소음은 날개 형태, 날개와 탑(tower)간의 상호작용, 날개 끝부분(blade tailing

1) 바람등급 3 : 50m 높이에서 평균풍속 6.4m/s 이상, 풍력밀도 300W/m² 이상.

2) 신·재생에너지백서 2008. 에너지관리공단. 2008년.

edge)의 형태, tip shape, 날개가 stall conditions에서 작동하는지의 여부, turbulent wind conditions 등 다양한 변수에 의해 발생한다.

- 소음과 저주파에 의한 영향에 대해서는 아직까지 명확하게 밝혀져 있지 않다. 기존의 연구 결과에서는 풍력발전기에 의한 소음과 저주파는 매우 미약하기 때문에 일정 거리 이상을 두게 되면 아무런 영향을 미치지 않는다고 밝히고 있다. 그러나 최근 몇몇 연구 결과에 따르면, 풍력발전소 인근 주민을 조사한 결과 상당수가 심장질환, 편두통, 어지럼증, 이명, 공황 발작, 수면장애 등 일명 ‘풍력 터빈 신드롬(WTS)’을 앓고 있으며, 이는 풍력 터빈에서 발생하는 초저주파 불가청음과 저주파 소음이 내이 전정기관을 자극해 이런 이상증세가 나타난다고 주장하고 있다.³⁾

나. 조류에 대한 피해

- 풍력발전기에 의한 조류의 피해는 회전하는 날개와 새가 충돌하는 데에 가장 큰 원인이 있다. 풍력발전의 설비 크기는 점차 증가하는 추세이며, 이에 따라 조류의 서식지나 이동경로에 영향을 주어 더 큰 피해를 발생시킬 우려가 있다.
- 독일의 조류감시청이 보고한 바에 따르면⁴⁾, 1989년부터 2004년 11월까지 독일 내 풍력발전기에 충돌하여 죽은 새들의 숫자는 278마리였으며, 1998년부터 충돌하여 죽은 박쥐의 수는 285마리였다.

다. 경관의 변형

- 풍력발전설비의 규모가 나날이 커짐에 따라 시설물 및 설비 면적 증가에 따른 경관의 변형이나 위압감 등이 새로운 환경적 요소로 부각되고 있다. 실제로 산림이나 해안이 위치하는 곳에 높이 100m 이상의 풍력발전시설이 들어서면 경관의 변형이나 설비에 의한 위압감은 상당할 것이며, 풍력단지의 경우에는 더욱 그 정도가 심화될 것이다.
- 이러한 요소는 발전설비 해당 지역에서 오랜 세월 정착해 지역의 자연경관에 익숙해진 사람들이나, 해당 지역의 자연적 또는 지형적 가치를 높게 평가하는 사람들에게서 더욱 큰 문제점으로 부각된다. 이러한 경관의 변형이나 위압감은 객관적인 근거에 의한 것이 아닌 주관적인 감정에 근거하는 것이므로 해결책을 찾는 데에 더욱 어려움이 따른다.

라. 생태계 훼손

- 풍력발전기를 설치하기 위해서는 발전기 부지, 운영 시설, 변전소 건설에 필요한 면적뿐만 아니라 공사장비 진입을 위한 진입로, 크레인 부지, 안전 및 시야 확보 등을 위한 추가면적이 필요하며, 이러한 면적은 건설부지의 지형에 따라 다르다.
- 산지나 산림지역에 풍력발전기를 설치할 경우, 이러한 면적에 대하여 산림 훼손이 발생하게 되며, 산림 훼손은 수목 및 토양의 이산화탄소 저감능력, 서식지 파괴 및 파편화에 의한 생태계 교란 등 부정적인 영향을 발생시킨다.

마. 그림자에 의한 피해

3) www.independent.co.uk 2009년 8월 2일판.

4) 독일연방정부. Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten. Gefaehrung Heimischer.

- 풍력발전기에 의해 생성되는 그림자는 발전기 기둥과 회전날개에 의한 것이다. 풍력발전기 그림자에 의해 제기되는 피해 중 하나는 일조량 감소에 따른 농작물의 피해이나, 이에 의한 피해는 사실상 거의 없는 것으로 나타나고 있다. 보다 크게 문제가 되는 것은 날개의 회전에 따른 그림자의 주기적인 반복으로, 이는 인근 주민들에게 스트레스를 유발시켜 잦은 민원의 요인이 되고 있다.
- 독일의 연구결과에 따르면⁵⁾, 하루에 30분 이상, 일 년에 30시간 이상 이러한 움직임에 노출되면 인근 거주민들이 받는 스트레스가 심각하게 나타나므로, 풍력발전기를 거주지역 등으로부터 일정거리 이상 떨어져 건설해야 하며, 풍력발전기의 그림자가 인근 주거지역에 영향을 미치는 거리에 있을 경우 그림자가 크게 드리워지는 일출, 일몰시간대에는 풍력발전기 가동을 멈출 것을 권하고 있다.

바. 빛 반사

- 풍력발전기의 날개 회전에 의한 빛 반사는 사람이나 가축에게 스트레스를 줄 수 있다는 주장도 제기되고 있다. 이 빛은 빠르게 움직이면서 비치기 때문에 독일의 풍력발전 반대론자들은 이를 디스코 효과(Disko-Effekt)로 부르기도 한다.
- 그러나 날개에 의한 빛 반사 문제는 풍력발전기 보급 초기에 많이 지적되던 문제였으며, 현재는 풍력발전기의 재질 발달과 도료 처리를 통하여 크게 문제로 제기되고 있지는 않다.

사. 전력 계통의 불안정화

- 풍력발전은 풍속 및 발전 시간의 변동성에 의해 발전량의 영향을 크게 받으므로, 전력공급의 안정성이 떨어지는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점은 주로 기존 전력산업계에 의해 지속적으로 제기되고 있으며, 이를 위해서는 기 발전된 전력을 저장할 수 있는 시설이나 예비 발전소를 건설할 필요가 있다.
- 그러나 현재의 기술 수준으로 경제성을 갖추지 못한 풍력발전에 추가적인 시설 건설로 인한 비용이 소모될 경우 풍력발전의 경쟁력이 상당부분 약화되는 문제점도 발생한다.

아. 풍력발전기의 점멸등

- 모든 풍력발전기에는 비행체들의 주의를 위하여 점멸등을 설치하게 되며, 이 점멸등은 주기적으로 붉은 빛을 발산하여 특히 밤중에는 주변 거주민들에게 거부감을 유발시킬 수 있다. 특히 대규모 풍력단지 건설될 경우에 이러한 영향은 더 크게 나타날 수 있다.
- 그러나 풍력발전기의 점멸등이 사람들의 신체적·정신적 건강에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구는 아직 이루어지지 않고 있으며, 실제 이로 인해 피해가 발생한 사례도 아직까지 보고된 바 없다.

자. 결빙에 의한 피해

- 겨울철 회전 날개에 생성되는 얼음은 주변 보행자나 주민에게 피해를 끼칠 우려가 있다. 이와 관련된 독일의 연구에서는, 날개에 형성된 얼음이 발전기 높이의 최대 1.5배까지 날아가 피해를 발생시킬 수 있다고 밝히고 있다. 그러나 이러한 문제는 주거지역 등과의 이격거리 확보 및 제빙설비 설치로 인해 충분히 방지할 수 있다.

5) Deutscher Naturschutzring. Windkraft im Visier. 2005 - 풍력발전 확대보급을 위한 주민 수용성 제고 방안. 산업자원부. 2006.

차. 전자기 간섭(Electromagnetic interference)

- 풍력발전기에 의한 전자기 간섭은 날개의 재질과 tower의 표면형태(surface shape)에 영향을 받는다. 과거 영국 국방부에서 풍력발전기에 의해 야기될 수 있는 군용 레이더의 간섭과 군용기의 비행에 대한 영향 문제를 제기한 바 있으나, 아직까지 정확한 피해 사례나 이에 대한 연구가 이루어진 바는 없다.

(2) 국내 사례를 통한 환경적·사회적 갈등 원인 분석

- 우리나라는 기후 조건상 저풍속대에 속해 있으며, 인구밀도가 높고 지가가 비싸 풍력발전에 적합한 입지가 매우 제한적이다. 실제 우리나라에서 현재의 기술로 육상풍력발전기 가능한 지역은 강원도 및 경상도의 고산지대 남서해안 일부, 그리고 제주도 정도인 것으로 파악된다.
- 백두대간과 낙동정맥 산지 내에 풍력발전 건설로 인한 부지면적 확보, 진입도로 건설, 송전설비 설치 등으로 인한 산림 훼손이나 토사 유출, 생태계 교란 등이 심각한 수준으로 발생할 수 있다.
- 국내 갈등 사례의 주요 쟁점은 산지 건설에 따른 산림 훼손, 생태계 파괴, 토사 유출, 소음, 경관 훼손 등이며, 대부분의 건설사업에서 지역 이해관계자를 참여시키는 절차가 소홀하여 갈등과 마찰을 증폭시켰다.

가. 주요 쟁점 분석

1) 산지 개발(백두대간, 낙동정맥)

- 우리나라의 경우, 산지 개발에 따른 산림 훼손, 생태계 교란, 경관 변형 등의 문제에 가장 민감한 반응을 나타내었다.
- 특히 백두대간과 낙동정맥 지역에서의 개발의 경우 더욱 강한 거부감을 나타내고 있다. 현재 백두대간 및 낙동정맥에 건설 예정인 풍력발전단지 중 단 한 곳을 제외한 모든 지역에서 지역 주민 및 환경단체의 강한 반대에 직면하고 있음이 이를 반증한다. 또한 이를 통해 우리나라 산지의 환경적·경관적 가치가 시민들에게 매우 높게 인식되어 있음을 알 수 있다.

2) 발전기의 부정적인 영향에 의한 피해

- 주로 제주 지역에 건설된 풍력발전단지 사례에서 많이 나타나는 특징이다. 제주 지역에 건설된 풍력단지의 경우 대부분 주민들의 거주지역 또는 주요 활동지역에 인접하여 건설됨에 따라, 발전기에 의한 부정적인 영향을 지역 주민들이 직접적으로 받게 될 우려가 높다.

3) 주민 소외감

- 우리나라의 풍력발전단지 건설은 모두 기업체나 지자체에 의해 계획에서부터 운영까지 이루어짐에 따라 주민들이 이해당사자로서 참여할 기회가 주어지지 않는다.
- 입지 선정에서부터 건설 및 운영 단계에 이르기까지 해당 지역 주민들과의 의견 조율 과정을 걸쳐 사업이 진행되어야 함에도 불구하고, 대부분의 경우에는 지자체와의 협조 및 절차 수행에만 집중할 뿐 주민 의사를 수용하는 데 소홀한 경향이 있다.
- 지역 주민들은 사업자에 대한 반감뿐만 아니라 풍력발전 자체에도 부정적인 입장을 취하게 되는 경우

가 많았다.

4) 사전협의 불이행 및 사후 관리 미비

- 갈등이 나타난 대부분의 사례에서는 당초 사전 협의단계에서 제시한 개발면적을 초과하여 산림을 훼손하거나 설치 장소를 임의로 변경하는 일이 빈번히 나타났으며, 사후 관리 및 복원 작업이 제대로 이루어지지 않아 2차적인 환경 훼손이 발생하게 되어 지역 주민들이 이에 항의하는 상황이 많이 발생하였다.

나. 산지 입지에 따른 문제점

1) 풍력발전소 건설 입지 추이

- 풍력발전 건설 입지는 앞서 언급한 풍력발전이 잠재 가능한 조건을 만족한다는 전제하에, 건설 위치에 따라 육상과 해상으로 나눌 수 있다.
- 육상풍력(On-Shore)은 대개 풍력자원이 풍부한 산지나 지형 장애물이 없는 평지, 해안가, 도서 지역 등에 주로 건설
- 해상풍력(Off-Shore)은 선박 항로나 주요 어업지역, 군사 작전지역 등과 같은 특수 지역에 중복되지 않는 한 풍력자원이 풍부하다면 해상 어디에서나 가능

2) 풍력발전의 산지 입지에 따른 문제점

- 우리나라의 풍력발전 가능 잠재량은 약 12.5GW이며, 이 중 4.6GW가 육상에 잠재하고 있다. 정부의 2030년까지 보급 목표는 7.3GW로, 이의 달성을 위해서는 현재 상용화가 이루어진 육상풍력을 거의 모든 잠재지역에 보급하여야 하며, 상용화하기까지 많은 시간이 필요한 해상풍력도 향후 짧은 기간 내에 집중적으로 보급되어야 함을 알 수 있다.
 - 정부는 풍력자원이 풍부한 백두대간 산지 지역을 중심으로 풍력발전의 보급이 빠르게 확대
- 풍력발전에 있어 높은 산지는 사업성이 가장 좋은 입지에 해당한다.
 - 기본적으로 풍력자원이 풍부하고, 부지 매입 및 보상비용이 저렴하며, 대규모 설치가 가능하고, 소음·저주파, 빛 반사, 그림자 등에 의한 지역 주민들의 민원 발생 확률이 없기 때문이다.
- 우리나라의 풍력 잠재 가능 입지는 높은 산지와 서해안, 제주도 등에 주로 밀집되어 있다. 특히 풍력자원이 풍부한 산지 입지는 백두대간을 따라 형성
 - 이에 따라 2008년 말 우리나라에 건설된 풍력발전설비 중 77%에 해당하는 214MW가 백두대간에 위치하거나 이에 인접한 곳에 자리하고 있다. (2008년 말 풍력발전 건설을 위한 산림 전용 허가 면적은 0.34km²이며, 현재 산지에 건설된 용량의 세 배 이상인 약 701MW의 풍력발전설비가 백두대간을 중심으로 한 산지에 건설될 예정)
- 그러나 대규모 발전설비인 풍력발전이 산지에 입지하기 위해서는 발전소 부지 조성, 발전기 간의 연계도로 개설, 진입도로, 송전선로 건설 등의 기반 공사 작업이 필요하게 되고, 이로 인해 원시림에 가까운 식생 훼손 및 멸종위기종의 서식지 및 이동경로의 훼손, 공사 및 운영 시 생태계 교란(생태계 단절, 종 및 군락 조성의 변화, 외래종의 침입 등) 등 자연 생태·환경적으로 매우 부정적인 영향을 유발시킬 수 있다. 또한 잘 조성된 자연 녹지 풍경에 이질감을 주는 대형 인조 구조물이 들어섬에 따라 경관을 해치기도 한다.

- 우리나라의 풍력발전 보급 전망에 따른 산림 훼손 면적을 계산해 보면, 2008년 말 기준 전국에 설치된 풍력발전소의 설비용량은 약 278MW이며, 이 중 77%인 214MW가 산지에 건설
 - 현재 건설 중이거나 예정되어 있는 풍력발전 설비용량 1,680MW 가운데 42%인 701MW가 산지에 위치함에 따라, 전체 산지에 건설되는 풍력발전 설비용량은 전체 47%인 915MW이다. 이는 국가에너지 기본계획에서 제시된 2030년까지의 보급목표 7.3GW의 약 27%에 해당된다. 향후 산지 건설에 따른 산림 훼손 면적을 예측해 보기 위하여 다음과 같이 전제하였다.

- ☞ 보급되는 풍력발전기 평균 설비용량 1.5MW, 발전효율 30% (Boone,2006)
- ☞ 발전기 한 기당 평균 훼손 면적 : 2에이커(16,192㎡) (모든 추정치의 평균)
- ☞ 기 개발된 지역이 아닌 훼손되지 않은 산지에 건설
- ☞ 현재 건설되었거나 예정된 풍력발전 설비용량은 1,958MW로, 국가에너지 기본계획에서 제시된 2030년까지의 보급목표 7.3GW의 약 27%에 해당
- ☞ 해상풍력발전 도입에 따라 현재 산지 건설 예정지의 추세(42%)보다는 줄어들 것으로 예상. 향후 보급 예정인 5,342MW의 풍력발전설비 중 약 30%에 해당하는 1,600MW가 산지에 건설된다고 가정.
- ☞ 현재 산지 건설이 계획된 용량(915MW)과 보급 가정 용량(1,600MW)을 합친 풍력발전 건설예정지(총, 2,515MW)에 따른 산림 훼손 면적 계산

- 위의 전제에 따라 훼손 면적을 산정해본 결과, 약 1,677개의 풍력발전기가 건설이 되며 이에 따른 산림 훼손 면적은 13,574,293㎡ 로 여의도 면적(8.48km²)의 약 1.6배에 해당하며, 335km의 산지 능선이 필요한 것으로 나타났다.
 - 그러나 이는 Boone(2006)의 연구 결과와 마찬가지로 발전기에 의한 훼손 면적만을 계산한 것이며, 발전소 건설·운영을 위한 도로 건설 및 관련 시설 유지를 위한 훼손 면적은 제외한 것이다.

- 앞선 가정에 따른 발전기 설치 훼손 면적 : 13,574,293㎡
- 도로 건설에 의해 발생하는 훼손 면적을 포함한 최소치 : 27,148,586㎡
- 산림 훼손 및 도로 건설에 따른 생태계 교란 면적⁶⁾ : 101,807,198㎡

- 즉, 앞선 가정에 따라 산지에 풍력발전소가 건설되었을 경우, 생태계에 미치는 부정적 영향 범위는 101,807,198㎡ 이며, 이는 여의도 면적의 약 13배에 이르게 된다.
- 이와 같이, 식생이 잘 조성된 산지에 풍력발전을 보급하는 데에는 많은 부작용이 따르게 되며 그 부정적 파급 효과도 매우 큰 것을 알 수 있다. 이는 곧 풍력발전으로 얻을 수 있는 여러 가지 이익들이 환경적 측면에서의 손실로 인해 상당 부분 상쇄됨을 나타낸다고 할 수 있다.
- 특히 산림 및 경관 가치가 뛰어난 우리나라의 백두대간에 풍력발전을 건설하는 것은 환경적 측면에서 득보다 실이 더 많을 수도 있다. 따라서 풍력발전의 입지를 선택함에 있어 온실가스의 저감 효과뿐만 아니라 또 다른 환경적 요소들에 대한 종합적인 고려가 필요하다.

6) Trombulak, S.C., and C.A. Frissell. 2000. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. Conservation Biology.14: 18-30.

6. 풍력에너지 발전의 앞으로의 과제

- 우리나라 재생에너지의 핵심 동력이 될 해상풍력을 보급하기 위해서는 우선적으로 기술적 제약을 극복하여 해상풍력발전의 경제성을 확보하는 것이 무엇보다 시급하다.
- 현재의 기술 수준으로는 해상풍력 발전을 위해 소모되는 비용이 육상풍력의 수십 배에 달하여 경제성이 없어 보급이 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 향후 우리나라의 풍력발전 보급에 반드시 필요한 해상풍력 인 만큼, 이의 자체 기술 개발 및 효율 향상을 위하여 많은 투자가 필요하다.
- 자연보호지역 지정요건에 문제가 없는 곳은 자연보호지역으로 또는 자연보호대상지역으로 지정하여 풍력발전단지나 슈퍼 타워시설이 설치되지 못하도록 제도적 조치를 취해야 하며 풍력에너지시설 계획시 지역주민 참여를 제도화하여야 한다.
- 자연보전법적인 허가에서도 자연에 미치는 영향을 최소화하도록 하여야 한다. 시설설치사업계획을 수립하려고 할 때에 그 사업의 시행이 환경에 미치는 영향을 미리 조사·예측·평가하여 해로운 환경영향을 피하거나 줄일 수 있는 방안을 강구하는 환경영향평가뿐만 아니라, 시설계획시 자연환경의 보전을 위하여 환경에 영향을 미치는 개발사업이 환경적으로 지속가능하게 수립·시행될 수 있도록 사전환경성 검토를 실시하도록 하여야 한다.
- 자연과 경관의 침해가 불가피할 때에는 예를 들어 신규 식재 또는 부화지역의 신규 조성 등을 통하여 침해에 대한 대체조치를 제도화하여야 한다. 자연과 경관에 대한 침해를 대체할 수 없는 경우는, 설치자체를 고려해야 하며 자연보호지역에서는 다른 이익에 앞서 자연의 보호에 우선권이 주어져야 하고 환경친화적인 풍력에너지의 확대는 법률 및 조직 조건이 개선되어야 함을 전제로 해야 하겠다.

참고문헌

에너지관리공단, “신·재생에너지백서 2008”(2008)

이희선, “재생에너지의 환경성 평가 및 환경 친화적 개발(Ⅰ)-태양광 및 풍력 에너지를 중심으로”, 한국환경정책·평가연구원(2010)

지식경제부, “풍력발전 확대보급을 위한 주민 수용성 제고 방안”(2006)

Trombulak, S.C., and C.A. Frissell, “Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. Conservation Biology”(2000)