

ORIGINAL ARTICLE

국토환경성평가에 의한 육상 풍력자원 잠재량 산정

김현구 · 황효정 · 강용혁

한국에너지기술연구원 신재생에너지자원센터

Evaluation of Onshore Wind Resource Potential According to Environmental Conservation Value Assessment

Hyun-Goo Kim, Hyo-Jung Hwang, Young-Heaok Kang

New & Renewable Energy Resource Center, Korea Institute of Energy Research, Daejeon 305-343, Korea

Abstract

In order to analyze the effect of environmental protection on wind energy dissemination quantitatively, the onshore wind resource potential is estimated using Environmental Conservation Value Assessment Map and Korea Wind Resource Map. The onshore wind resource potential of 11 GW is calculated if wind farm development is prohibited within Class 1 area of Environmental Conservation Value Assessment plus 500 m buffer area. Therefore it is worried that environmental protection would be a practical barrier of accomplishing 4,155 thousand TOE target of wind energy dissemination until 2030.

Key words : Environmental conservation value assessment map(ECVAM), Korea wind resource map, Wind resource potential

1. 서 론

지식경제부의 ‘제3차 신·재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획(2009~2030)’에 따르면 2030년 까지 1차 에너지 대비 신재생에너지 공급비중을 11% 까지 달성한다는 목표를 제시하고 있으며, 풍력은 이중 12.6%인 4,155천TOE를 담당하여야 한다(Ministry of Knowledge Economy, 2008).

미국 Lazard사에서 발표한 2011년판 균등화 발전 원가(LCOE; levelized cost of energy) 분석결과에 따르면(Lazard, 2011) 풍력은 신재생에너지원 중 가장 경제성이 우수할 뿐 아니라 오히려 원자력보다도 발전원가가 저렴한 것으로 분석되었기 때문에 실질적으로 신재생에너지 공급비중 11%의 달성을 위해서는

풍력발전의 비중을 더욱 확대할 필요가 있다. 참고로 균등화 발전원가란 발전설비의 수명기간 동안에 매년 동일한 일정금액이 회수되는 것으로 가정하여 연도별 발전원가를 계산한 것이다.

한편 에너지관리공단 산하 신재생에너지센터의 ‘신재생에너지보급통계’에 따르면, 2010년말 기준으로 풍력발전의 보급목표는 220천TOE이지만 실제 보급 실적은 175.6천TOE(382 MW)로 목표의 80%를 달성한 수준이다. 중장기적으로 2015년까지는 2010년 보급목표의 5배(1,084천TOE), 2020년은 10배(2,035천TOE), 2030년에는 20배(4,115천TOE)로 기하급수적으로 보급목표가 상향 설정되어 있으며, 2012년말에는 누적 설비용량 기준으로 1.23 GW가 설치되어야 한다. 그러나 2012년말 현재 풍력 보급실적을 보면,

Received 4 December, 2012; Revised 7 March, 2013;

Accepted 15 March, 2013

*Corresponding author: Hyun-Goo Kim, New & Renewable Energy Resource Center, Korea Institute of Energy Research, Daejeon 305-343, Korea
Phone: +82-42-860-3376
E-mail: hyungoo@kier.re.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

육상풍력 438 MW, 해상풍력 5 MW에 불과하여 보급 목표 대비 36%로 목표를 크게 밀돌고 있다.

지식경제부에서는 2012년부터는 발전차액지원제도(FIT; Feed-In-Tariff)를 신재생에너지 공급의무화 제도(RPS; Renewable Portfolio Standard)로 변경하고, 서남해 2.5 GW 해상풍력 종합추진계획 발표하는 등 각종 신재생에너지 보급촉진 정책을 추진하고 있다. 그러나 풍력사업자들은 보급부진의 중요한 원인 중 하나로 환경규제를 꼽고 있으며, 실제로 2012년말 현재 인허가 단계에 있는 풍력단지 건설계획 중 43건(설비용량 1.53 GW)이 환경규제로 인하여 무산될 위기 상황에 직면해 있다(Energy economy, 2012).

이와 같이 녹색성장과 환경규제가 상충되는 상황에서 올바른 정책방향 설정을 위해서는 환경규제가 과연 풍력발전산업에 미치는 영향이 어떠한지 객관적인 정량자료를 근거로 고찰할 필요성이 있다.

이에 본 연구에서는 국토환경성평가지도와 국가풍력자원지도를 이용하여 환경규제 시나리오에 따른 육상 풍력자원 잠재량을 산출함으로써 환경규제가 풍력 보급에 미치는 영향을 정량적으로 평가하였다. 단, 제주도는 특별자치도로서 별도의 풍력단지 개발안을 시행하고 있으므로 본 연구의 해석대상에서 제외하였다. 또한 본토와 육로로 연결되지 않는 도서 또한 해석대상에서 제외하였다.

Table 1. Levelized cost of energy for conventional and renewable energy sources (2011)

| Energy source | Levelized cost (\$/MWh) | | |
|-------------------------------------|-------------------------|---------|-----|
| | Minimum | Maximum | |
| Renewable (No tax incentives) | Solar PV - Crystalline | 186 | 261 |
| | Solar PV - Thin film | 121 | 242 |
| | Solar thermal | 162 | 265 |
| | Fuel cell | 117 | 238 |
| | Biomass Direct | 87 | 141 |
| | Geothermal | 89 | 142 |
| | Wind - onshore | 50 | 92 |
| | Wind - offshore | 70 | 167 |
| Conventional | IGCC | 90 | 134 |
| | Nuclear | 76 | 115 |
| | Coal | 63 | 161 |
| | Gas combined cycle | 58 | 109 |

2. 연구자료 및 방법

2.1. 국토환경성평가지도

국토환경성평가지도란 환경정책기본법 제15조 2항(환경친화적계획기법 등의 작성·보급)에 의거하여 국토의 효율적인 보전과 이용을 위해 국토에 대한 환경적 가치를 등급화한 지도이다(Ministry of Environment, 2008).

국토환경성평가지도의 평가항목으로는 법령상 보전용도지역 57개 항목(생태경관보전지역, 자연유보지역, 야생동식물특별보호구역, 습지보호지역, 수변구역, 토양보전대책지역, 특정도서, 자연공원, 수변구역, 하천구역, 연안구역, 지하수보전구역, 상수원보호구역, 자연환경보전지역, 녹지지역, 개발제한구역, 도시공원, 보전산지, 천연보호구역, 농업진흥구역, 경지정리지역 등) 및 환경·생태적가치 8개 항목(다양성(종다양성 등), 자연성(영급, 생태자연도 등), 희귀성(보호종 및 멸종위기종 분포도 등), 취약성(도로인접성, 시가지인접성 등), 안정성(경급 등), 연계성, 잠재적가치 등)이다. 국토환경성평가지도의 등급은 평가항목별로 1~5등급(보전가치가 높은 경우 1등급)을 배정한 평가항목별 65개 주제도의 중첩계산을 통하여 최종적으로 지역별 평가등급을 부여하게 된다. 참고로 5등급은 기개발지역이다.

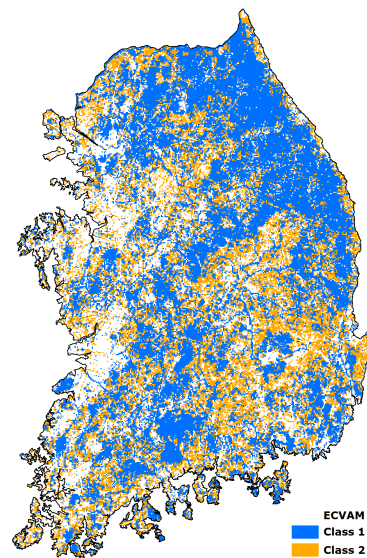


Fig. 1. Environmental conservation value assessment map.

Table 2. Corresponding area by ECVA(2011)

| ECVA Class | Area (km ²) | Ratio (%) |
|------------|-------------------------|-----------|
| Class 1 | 44,126 | 43.6 |
| Class 2 | 23,921 | 23.7 |
| Class 3 | 17,785 | 17.6 |
| Class 4 | 5,381 | 5.3 |
| Class 5 | 9,934 | 9.8 |
| Total | 101,148 | 100.0 |

* Jeju island and small islands are excluded.

2.2. 국가풍력자원지도

국가풍력자원지도란 ‘신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법’에 의거하여 풍력발전 보급지원을 위해 지식경제부 부처임무사업으로 한국에너지기술연구원에서 구축한 종합적 풍력자원평가 지리정보시스템이다(Korea Institute of Energy Research, 2007-2012).

국가풍력자원지도는 중규모(mesoscale) 수치기상 예측(NWP; Numerical Weather Prediction) 모델인 WRF(Weather Research and Forecasting)를 이용하여 한반도 전체에 대해 수평면 1 km, 연직방향 10 m의 공간해상도와 10분 간격의 시간해상도로 2000년부터 2010년까지 11년간에 대하여 구축되었다(Kim 등, 2011; Kim과 Kang, 2012).

육상에서는 한국에너지기술연구원에서 지난 15년 동안 전국 150여 지점에서 IEC 61400-12 풍력표준에 따라 수행한 풍황탐 측측자료를(Kim 등, 2008) 이용하여 국가풍력자원지도의 검증 및 보정을 실시하였으며, 특히 풍속연직구조에 대해서는 지상기반 원격탐사장비인 LIDAR 및 SODAR를 활용하여 검증하였다(Kim, 2012).

Table 3. Corresponding area by wind power density (at 70m above ground level)

| Wind power density (W/m ²) | Area (km ²) | Ratio (%) |
|--|-------------------------|-----------|
| < 100 | 18,733 | 19.6 |
| 100~200 | 51,563 | 53.9 |
| 200~300 | 16,412 | 17.2 |
| 300~400 | 4,671 | 4.9 |
| 400~500 | 2,058 | 2.2 |
| > 500 | 2,188 | 2.3 |
| Total | 95,625 | 100 |

* Jeju island and small islands are excluded.

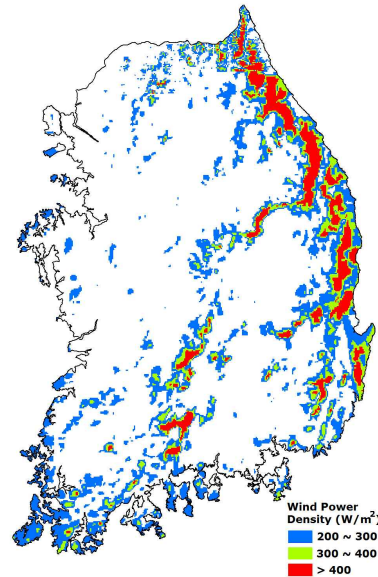


Fig. 2. Korea wind resource map(wind power density at 70m a.g.l.).

직접관측이 어려운 해상에서는 부이(buoy) 관측자료 및 SAR(Synthetic Aperture Radar) 인공위성영상 해상풍 추출자료를 이용하여 검증 및 보정을 수행하였다(Kim 등, 2009).

2.3. 풍력자원 잠재량

기본적으로 지상고도 70 m를 기준으로 풍력밀도 200 W/m² 이상이어야 풍력발전 단지개발을 위한 최소한의 경제성이 보장된다고 가정하였다. 이러한 가정의 타당성을 확인하기 위하여 국가풍력자원지도를 이용하여 분석한 바에 따르면, 현재 운영 중인 풍력단지 20개 단지 중(제주도 10단지 제외) 풍력밀도 100~200 W/m² 영역에 건설된 풍력단지가 3단지, 200~300 W/m² 영역이 9단지, 300 W/m² 이상 영역이 8단지인 것으로 집계되었다.

본 연구에서는 단위면적당 이론적으로 설치 가능한 풍력설비용량 즉 API(Average Power Intercepted, MW/km²)는 5 MW/km²를 적용하였다. Kim (2008)은 남한 풍력자원 잠재량 산정 시 Hoogwijk 등(2004)의 4 MW/km²을 사용하였으나 최근 풍력터빈 설비용량 증가를 고려할 때 US NREL의 Elliott 등(2010)이 제시한 5 MW/km²이 타당하다고 판단하였다.

2.4. 환경규제 시나리오

본 연구에서는 풍력단지 개발 시 다음과 같은 환경 규제 시나리오를 검토하였다. 즉,

- (1) 시나리오 1: 국토환경성평가 1등급지 개발 불가
- (2) 시나리오 2: 국토환경성평가 1등급지, 2등급지 개발 불가
- (3) 시나리오 3: 국토환경성평가 1등급지로부터 500 m 완충영역 내 개발 불가

참고로 세 번째 시나리오를 통하여 완충영역의 민감도를 파악할 수 있을 것으로 예상된다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 이론적 풍력자원 잠재량

풍력밀도 200 W/m^2 이상인 영역은 국토의 27%에 해당하며, 따라서 이에 해당하는 이론적 풍력자원 잠재량은 설비용량으로 127 GW가 된다. 통상 MW급 풍력터빈의 운전이 가능한 풍력밀도 하한값은 기술적 잠재량 산출 시 고려하나, 본 연구에서는 분석의 단순화를 위해 이를 이론적 잠재량 산출 시 고려하였다.

Table 4. Wind resource potential by wind power density

| Wind power density (W/m^2) | Area (km^2) | Wind Power Capacity (GW) |
|---------------------------------------|------------------------|--------------------------|
| < 100 | 18,733 | - |
| 100~200 | 51,563 | - |
| 200~300 | 16,412 | 82.1 |
| 300~400 | 4,671 | 23.4 |
| 400~500 | 2,058 | 10.3 |
| > 500 | 2,188 | 10.9 |
| Total | 95,625 | 126.6 |

3.2. 환경규제 시나리오별 풍력자원 잠재량

환경규제 시나리오 1, 2, 3에 따른 배제면적은 각각 국토의 43.5%, 71.8%, 85.6%에 해당하며, 풍력자원 잠재량은 각각 49 GW, 20 GW, 11 GW인 것으로 분석되었다. Kim(2008)에 따르면 풍력단지 개발 불가능 지역을 배제한 풍력자원 잠재량은 지리적 잠재량에 해당한다. 실제 보급가능 잠재량은 풍력 선도국의 경우 기술적 잠재량의 1/5 이하인 점을 고려할 때, 환경규제 시나리오 1, 2, 3에 따른 보급가능 잠재량은 각각 9.8 GW, 3.9 GW, 2.3 GW에 불과할 것으로 예상된다.

Table 5. Exclusion area by environmental protection scenario

| Wind power density (W/m^2) | Scenario 1 (km^2) | Scenario 2 (km^2) | Scenario 3 (km^2) |
|---------------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| < 100 | 5,676 | 11,000 | 14,687 |
| 100~200 | 20,403 | 36,198 | 44,123 |
| 200~300 | 8,859 | 13,190 | 14,557 |
| 300~400 | 3,253 | 4,203 | 4,398 |
| 400~500 | 1,625 | 1,941 | 1,981 |
| > 500 | 1,822 | 2,081 | 2,143 |
| Total | 41,638 | 68,613 | 81,888 |

Table 6. Wind resource potential by environmental protection scenario

| Wind power density (W/m^2) | Scenario 1 (GW) | Scenario 2 (GW) | Scenario 3 (GW) |
|---------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| < 100 | - | - | - |
| 100~200 | - | - | - |
| 200~300 | 37.8 | 16.1 | 9.3 |
| 300~400 | 7.1 | 2.3 | 1.4 |
| 400~500 | 2.2 | 0.6 | 0.4 |
| > 500 | 1.8 | 0.5 | 0.2 |
| Total | 48.9 | 19.6 | 11.3 |

4. 결론

본 연구에서는 환경부의 국토환경성평가지도와 지식경제부의 국가풍력자원지도를 이용하여 세 가지 환경규제 시나리오에 따른 육상 풍력자원 잠재량을 정량 산출하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 국가풍력자원지도에 의하면 풍력발전 단지개발을 위한 최소한의 경제성이 보장되는 풍력밀도 200 W/m^2 이상인 면적은 국토의 27%이며 이에 해당하는 이론적 잠재량은 127 GW로 산출되었다.

(2) 국토환경성평가 1등급지의 면적이 국토의 44%에 달하기 때문에 1등급지만을 제외하더라도 지리적 잠재량은 이론적 잠재량의 40% 이하인 49 GW로 줄어드는 것으로 분석되었다.

(3) 국토환경성평가 1등급지에 500 m 완충영역을 추가하여 풍력단지 입지를 규제할 경우, 풍력자원 잠재량은 완충영역을 고려하지 않은 경우의 1/4인 11 GW로 축소되어, 완충영역의 민감도가 매우 큰 것을 확인하였다.

2030년 신재생에너지 보급목표에 따르면 풍력은 설비용량으로 9 GW를 담당하여야 한다. 모든 지리적 배제요인을 제외한 단지 국토환경성평가 1등급지 만으로도 보급가능 풍력자원 잠재량은 9.8 GW에 불과하여 환경규제는 풍력보급에 실질적인 장애요인으로 작용함을 확인하였다.

녹색성장 및 신재생보급목표 달성은 에너지 안보에 극도로 취약한 우리나라의 생존과 관련된 문제이므로, 신재생 목표달성을 지원하기 위해서는 환경규제의 개념을 전면규제보다는 제한적인 허용 및 철저한 감시, 사후 복원노력을 규제하는 등의 발전적 방향으로 전환할 필요가 있다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국에너지기술연구원의 부처임무사업인 「신재생에너지 자원지도 활용시스템 구축」의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

Energy Economy, Panic of onshore wind power companies, September 26, 2012.
 Hoogwijk, M., Vries, B., Turkenburg, W., 2004, Assessment of the global and regional geographical, technical and economic potential of onshore wind energy, Energy Economics, 26, 889-919.
 Elliott, D., Schwartz, M., Haymes, S., Heimiller, D., Scott, G., Flowers, L., 2010, 80 and 100 meter wind energy resource potential for the United States,

WINDPOWER 2010 Conference & Exhibition, 23-26 May 2010, Dallas, Texas.
 Kim, H. G., 2008, Preliminary estimation of wind resource potential in South Korea, J. of the Korean Solar Energy Society, 28(6), 1-7.
 Kim, H. G., Jang, M. S., Lee, E. J., 2008, Meteorostatistical analysis for establishment of jeju wind resource database, J. of the Environmental Sciences, 17(6), 591-599.
 Kim, H. G., Hwang, H. J., Lee, H. W., Kim, D. H., Kim, D. J., 2009, Validation of numerical wind simulation by offshore wind extraction from satellite images, J. of the Environmental Sciences, 18(8), 847-856.
 Kim, H. G., 2012, Analysis on wind profile characteristics in a sublayer of atmospheric boundary layer over a semi-complex terrain - LIDAR remote sensing campaign at Pohang Accelerator Laboratory, J. of the Environmental Sciences, 21(2), 145-152.
 Kim, H. G., Kang, Y. H., 2012, The 2010 wind resource map of the Korean Peninsular, J. of the Wind Engineering Institute of Korea, 16(3) 1-6.
 Kim, H. G., Lee, H. W., Lee, S. H., 2012, Development of the Korea wind resource map and suitability assessment system for offshore wind farm, J. of Wind Energy, 2(2), 17-23.
 Korea Institute of Energy Research, 2007-2012, National wind map web service, KIER-WindMap™, www.kier-wind.org
 Lazard Ltd., 2011, Lazard's levelized cost of energy analysis - version 5.0, 15.
 Ministry of Environment, 2008, White paper of environmental conservation value assessment map (2001 ~2008), Korea Environment Institute, 302.
 Ministry of Knowledge Economy, 2008, The 3rd basic plan for technology development, application, and deployment of new & renewable energy(2009 ~ 2030), 52.