

## 신안풍력발전소 풍력터빈의 성능저하 분석

### Analysis on Wind Turbine Degradation of the Shinan Wind Power Plant

김현구\*†

Kim Hyun-Goo\*†

(Submit date : 2013. 5. 13., Judgment date : 2013. 5. 13., Publication decide date : 2013. 7. 2.)

**Abstract :** This paper investigated wind turbine degradation quantitatively by analyzing the short-term operation records of the Shinan Wind Power Plant. Instead of a capacity factor which is needed to be normalized its variability due to monthly wind speed change, this study suggests an analysis method by taking the difference between the theoretical power output calculated from the nacelle wind speed and actual power output as the quantitative index of performance degradation. For three-year SCADA data analysis of the Shinan Wind Power Plant, it was confirmed that power output degradation rate of 0.54% per year. This value is within the average reduction rate 0.4%/year~0.9%/year of normalized capacity factor of the onshore wind power plants in U.K. and Denmark; however, lower than the rate 2%/year of Canadian wind power plants.

**Key Words :** 풍력터빈(Wind turbine), 성능저하(Performance degradation), 신안풍력발전소(Shinan wind power plant), 정규화 설비이용률(Normalized capacity factor)

#### 1. 서 론

풍력터빈의 설계요건을 제시하고 있는 IEC 61400-1에 의하면<sup>1) 2)</sup> 풍력터빈의 설계수명은 최소 20년 이상일 것을 요구하고 있다. 풍력터빈은 반복적인 피로하중 조건 하에서 지속적으로 가동되는 기계이기 때문에 20년의 수명 기간 동안 필연적으로 노화에 의한 성능저하

가 발생하게 된다.

일반적으로 풍력발전 사업타당성 평가시 풍력터빈의 노화에 의한 성능저하를 고려하지 않는다. 그러나 최근 영국의 5,600여 풍력터빈과 덴마크의 7,600여 풍력터빈에 대한 종합적인 분석결과에 의하면<sup>3)</sup> 풍력터빈의 노화에 의한 성능저하는 상당한 수치임이 확인된 바 있다. 즉, 영국 육상 풍력터빈의 경우 10년의 운

\*† 김현구 (교신저자) : 한국에너지기술연구원 신재생에너지자원센터  
E-mail : hyungoo@kier.re.kr, Tel : 042-860-3376

\*† Kim Hyun-Goo (corresponding author) : New & Renewable Energy Resource Center, Korea Institute of Energy Research.  
E-mail : hyungoo@kier.re.kr, Tel : +82-42-860-3376

전기간 동안 정규화 설비이용률(normalized capacity factor)이 24%에서 15%로 9%가, 덴마크 해상 풍력단지는 39%에서 11%로 무려 28%나 저하된 것으로 분석되었다. 단, 해상 풍력단지의 급속한 설비이용률 저하원인에 대해서는 현재 분석이 진행 중이라고 한다.

덴마크의 3,200여 풍력터빈의 30년간 운전 기록을 분석한 연구에 의하면<sup>4)</sup> 정규화 설비이용률의 감소율을 0.40%/year로 보고하고 있다. 또한 캐나다 온타리오주 소재 풍력단지에 대한 5년간의 분석결과에 의하면<sup>5)</sup> 매년 설비이용률 감소율은 2%로 덴마크보다 훨씬 높은 감소율을 보고하고 있다.

우리나라는 2002년 「발전차액지원제도」가 도입되고 2004년 12월에 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」이 강화됨에 따라 풍력발전 단지개발이 본격화 되었다. 2012년말 현재 MW급 풍력터빈의 누적 설치용량은 442 MW, 누적 설치대수는 270대이며, 이 중 57%인 153대는 운전경력이 5년 이하이다(Fig. 1).

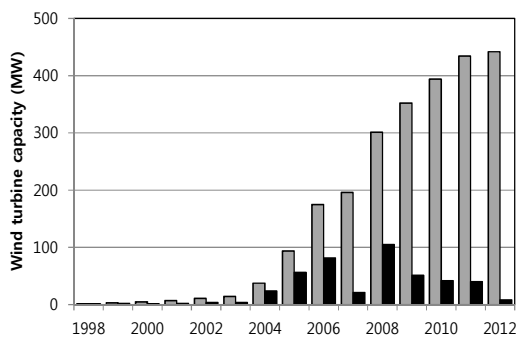


Fig. 1 Wind turbine installation capacity in Korea

본 연구에서는 국내 풍력단지 중 신안풍력발전소에 대한 풍력터빈 성능저하를 분석하고 해외의 분석결과와 비교하여 검증하였다. 해외에 비하여 운영기간이 상대적으로 짧기 때문

에 풍력터빈 성능저하 분석시 풍력터빈 SCADA 원시자료를 이용하였다. 그리고 월별 설비이용률을 정규화하는 과정에서 내포되는 통계오차를 최소화하기 위하여 나셀풍속(nacelle wind speed)을 풍력터빈 성능곡선(power curve)에 대입하여 계산한 이론 발전량 대비 실제 발전량의 차이를 분석지표로 사용하는 방법을 제안하였다.

## 2. 자료 및 방법

### 2.1 신안풍력발전소

신안풍력발전소는 세계 최대의 풍력터빈용 윈드타워(wind tower) 생산업체인 (주)동국S&C가 전라남도 신안군 비금면 구림리 명사십리해수욕장 인근에 조성한 3MW 규모의 해안 풍력단지이다. 2010년에는 신안풍력발전소가 UN 산하기관인 UNFCCC(유엔기후변화협약)로부터 연간 약 3,900톤의 탄소배출권(CERs) CDM(청정개발체제) 사업등록 승인을 받은 바 있다.

신안풍력발전소는 해안선을 따라 허브높이 69m, 블레이드 직경 61.4m, 시동풍속 3m/s인 IEC Class IIA급의 1MW급 풍력터빈인 일본 Mitsubishi MWT-1000A 3기가 동서로 일렬 배치되어 있다(Fig. 2).



Fig. 2 Landscape of the Shinan Wind Power Plant

신안풍력발전소는 2008년 12월 상업운전을 개시하였으나, 본 연구에서는 2009~2011년의 3년간 SCADA 자료를 활용하였다. 단, 기록 간격이 1초인 SCADA 자료를 1분-평균으로 변환하여 분석하였다.

## 2.2 풍력터빈 성능저하

서론에서 인용한 영국 및 덴마크의 풍력터빈 성능저하 통계분석에서는 월별 설비이용률을 분석지표로 사용되 바람의 변동성을 장기간 바람인덱스(wind index)로 보정하여 정규화 하였다. 이 경우, 월평균 이하의 시간단위의 통계오차가 불확도로 잔류하게 된다.

반면 자료기간이 상대적으로 짧은 본 연구에서는 불충분한 자료수의 제약을 극복함과 아울러 통계적 왜곡을 회피하기 위해 월평균이 아닌 1분-평균 실제 발전량과 나셀장착 풍속계의 풍속 측정값으로 계산한 이론 발전량의 차이를 분석지표로 사용하였다.

실제 발전량과 이론 발전량의 차이는 다음과 같은 순서로 계산한다.

- (1) 나셀장착 풍속계는 풍력터빈 나셀형상과 블레이드 회전에 의해 교란된 풍속을 측정한다. 이에 LIDAR 측정을 이용하여 도출한 나셀 풍속계 보정식<sup>6)</sup> 이용하여 자연풍 풍속으로 보정한다.
- (2) 풍력터빈 성능곡선 산출시의 공기밀도와 실제 공기밀도가 다르기 때문에 공기밀도를 보정한 유효풍속(effective wind speed;  $V_{eff}$ )을 산출한다. 아래 식에서  $\rho_o$ 는 풍력터빈 성능곡선 산출시의 표준 공기밀도이다.

$$V_{eff} = V \left( \frac{\rho}{\rho_o} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

- (3) Mitsubishi MWT-1000A 풍력터빈 성능곡선(Fig. 3)으로부터 유효풍속으로 변환된 나셀풍속을 대입하여 이론 발전량을 산출한다. 이때 제반 손실률을 고려하지 않은 이론적 최대 발전량을 산출한다.
- (4) 풍력터빈 유지보수 등의 이유로 실제 발전량이 0 이하인 경우를 제외한다. 또한 이론 발전량과 실제 발전량 차이의 통계분포로부터 95% 이내에 들지 않는 통계적 이상치를 제거한다.
- (5) 북풍 풍향구간인  $315^\circ \sim 360^\circ$ ,  $0^\circ \sim 45^\circ$  이외 자료는 제외한다. 북풍계열만을 선별한 이유는 지형지물에 의한 영향인자를 배제하기 위함이다. 참고로 신안풍력발전소의 북풍구간은 서해로부터 비금도 앞바다로 진입하는 해풍만을 고려하게 되므로 지형지물 및 지면거칠기에 의한 풍속분포의 변동요인을 최대한 제거할 수 있다.
- (6) 풍속구간  $5 \text{ m/s} \leq V_{eff} \leq 11 \text{ m/s}$ 에서 이론 발전량과 실제 발전량 차이의 월별 평균값을 산출한다. 풍속구간을 한정된 이유는 개시풍속(cut-in wind speed) 진입 및 정격풍속(rated wind speed) 진입 구간에서의 출력곡선 변곡구간을 피하기 위함이다.

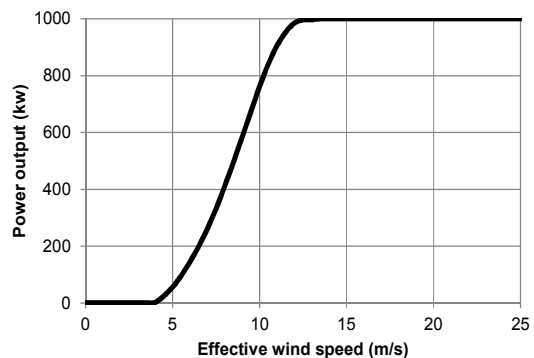


Fig. 3 Power curve of the Mitsubishi MWT-1000A

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 4는 이론 최대 발전량과 실제 발전량의 차이에 대한 월별 추세분석 결과이다. 3년간의 추세분석선 기울기가 0.45 kW/month로 산정되었으며, 이를 풍력터빈 성능저하에 의한 출력감소율(또는 설비이용률 감소율)로 환산하면 0.54%/year가 된다. 발전량 차이의 표준편차는 월별로 변화하며 그 평균은 16.7 kW이다. 참고로 ANOVA 분산분석을 수행하여 월별로 평균값에 유의한 차이가 있음을 검증하였다.

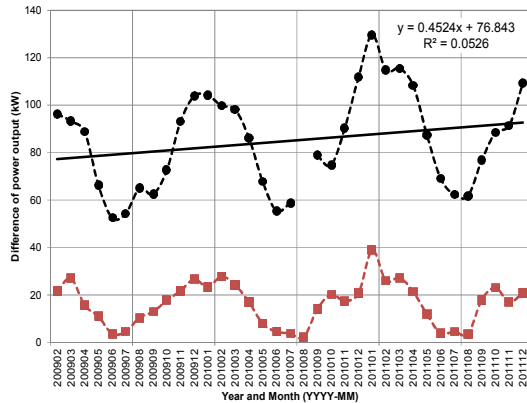


Fig. 4 Trend analysis on wind turbine degradation by power output difference with respect to ideal output (-●-: power output difference, -■-: standard deviation)

본 연구에서 산출한 신안풍력발전소 풍력터빈의 출력감소율 0.54%는 각각 영국, 덴마크 육상 풍력터빈의 정규화 설비이용률 감소율인 0.9%<sup>3)</sup>, 0.40%<sup>4)</sup>의 범위 내에 해당하는 수치이나 캐나다 육상 풍력단지 2%<sup>5)</sup>에 비해서는 낮은 수준이다.

참고로 본 연구는 신안풍력발전소에 설치된 Mitsubishi MWT-1000A 풍력터빈에 한정된 분석인 반면, 영국, 덴마크와 캐나다는 다양한 기종과 생산연도의 유럽산 풍력터빈에 대한

종합적인 분석결과이다.

영국, 덴마크와 캐나다 분석사례에서 공통적으로 설비이용률 감소형태가 선형적으로 진행되는 것으로 보아, 풍력터빈의 노화는 기계적 노화에 의한 점진적 성능저하인 것으로 추정되며 특정 연수에 급진적 노화가 발생하지는 않는 것으로 파악된다.

### 4. 결론

본 연구에서는 신안풍력발전소 단기간 운영기록을 이용하여 풍력터빈의 노화에 따른 성능저하를 정량분석하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 풍속의 변동성을 보정하여야 하는 정규화 설비이용률 대신 나셀풍속으로부터 산출한 이론 발전량 대비 실제 발전량의 차이를 성능저하 정량지표로 사용하는 분석방법을 제안하였다.
- (2) 3년간의 신안풍력발전소 운영기록을 분석한 결과, 0.54%/year의 풍력터빈 성능저하가 진행되고 있음을 확인하였다. 이는 영국, 덴마크 육상 풍력단지의 설비이용률 감소율 범위인 0.4%/year~0.9%/year 내의 수치이나 캐나다 육상 풍력단지의 2%/year 보다는 낮다.

풍력발전 선도국인 덴마크나 영국에서도 풍력터빈의 성능저하에 대한 정량분석이 최근에서야 이루어졌으며, 국내에는 이러한 분석사례가 전무하였다. 본 연구는 국내에서 운용 중인 풍력터빈의 노화에 따른 성능저하를 정량 분석한 국내 최초의 연구로서 시의적 의미가 있다.

향후 국산 풍력터빈의 운영기록 분석을 통

해 풍력터빈 성능향상에 필요한 분석자료를 피드백 할 수 있을 것으로 기대된다. 이를 위해서는 국산 풍력터빈 운영기록을 모니터링하고 전문적으로 분석할 수 있는 체계의 구성이 필요할 것으로 판단된다.

## 후 기

본 연구는 한국에너지기술연구원 부처임무 사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

본 연구수행에 필요한 자료를 제공해주신 (주)동국S&C(대표이사 양승주)와 신안풍력발전소(소장 박우재)에게 감사를 표합니다.

## 참 고 문 헌

1. International Electrotechnical Commission, Wind Turbine, Part 1: Design Requirement, IEC 61400-1, 3rd Ed., 35p., 2005.
2. International Electrotechnical Commission, Wind Turbine Generator Systems, Part 1: Safety Requirements, IEC 61400-1, 2nd Ed., 32p., 1999.
3. Hughes, G., The Performance of Wind Farms in the United Kingdom and Denmark, Renewable Energy Foundation, 48p., 2012.
4. Paul-Frederik Bach, Capacity Factor Degradation for Danish Wind Turbines, Paul-Frederik Bach Report, 4p., 2012.
5. Harrison, J., Financial Viability of the Ontario Wind Energy Generating System, Research, Association to Protect Amherst Island, 13p., 2011.
6. Kim, H.G., An, H.J., Yang, S.J., Park, W.J., Kim, S.W., Calibration Equation for Nacelle Anemometer Derived by LIDAR Measurements, Vol. 9, No. 1, pp. 12~16, 2013.