

풍력발전기 출력성능평가 패키지 개발

Development of a Package for Power Performance Evaluation of a Wind Turbine Generation system

*김준철¹, #임종현¹

*J. C. Kim¹, #J. H. Lim(jhlim@cheju.ac.kr)¹

¹ 제주대학교 메카트로닉스공학과

Key words : Evaluation of Wind Turbine Power Output, Wind Turbine, Power Output, Wind Turbulence, Turbulence Intensity

1. 서론

신. 재생 에너지 산업에서 가장 각광 받고 있는 풍력산업은 지난 5년간 발전 용량 기준으로 연평균 28.5% 성장으로 함으로서 약 60,000MW(2005년 기준)가 설치되어 운전되고 있으며, 향후 2010년 까지 평균 16.4%의 성장을 보일 것으로 예측되고 있다.¹⁾ 이에 따라 증가하는 단지 조성에 있어 반드시 선행되어야 하는 것이 풍력발전기에 대한 성능평가이다. 본 연구에서는 풍력발전시스템 성능평가를 수행 할 때 각 기종마다 운전 상태를 측정하고 데이터를 수집하는 불편함을 없애고자 성능평가 통합 모듈을 개발하였다. 출력 성능평가는 IEC 61400-12의 기술된 기준에 따라 수행, 프로그램화 하였다.

2. 패키지 개발

2.1 입력 파라메타

풍력발전기의 출력 성능 특성을 정확하게 평가하기 위해서는 충분한 양(quantity)과 질(quality)의 입력 파라메타들을 확보해야 한다. 입력(input)파라메타 값은 평균출력, 평균출력의 표준편차, 최대출력, 최소출력, 풍속, 풍향, 공기밀도이다. 측정 자료는 1Hz 또는 그 이상의 주기로 획득 및 저장되어야 한다. 자료군은 연속 측정된 자료의 10분 평균값을 기본으로 하며, 시동 풍속인 1.5m/s부터 풍력발전기의 정격출력이 생산되는 시점의 풍속에 1.5배에 이르는 풍속영역까지의 범위를 충족시켜야 한다.³⁾

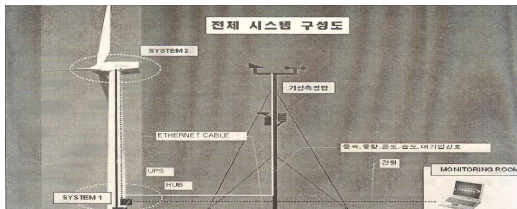


Fig.1 System Configuration

데이터 수집은 Fig.1과 같이 풍력발전기와 기상 탑에서 수집한다. 시험평가를 위한 분석에 사용된 자료는 풍력발전기가 정상운전중인 상태에서 획득되어야 하고 외부요인에 오염되지 않아야 한다. 이를 위해 다음 환경에서 획득된 자료는 고려하지 않는다.³⁾

- 풍속 이외의 외부조건에서 운전 범위를 벗어난 경우
- 장애로 인해 운전 불능인 경우
- 인위적으로 운전 중단 혹은 유지/보수 중인 경우

2.2 자료 보정

2.2.1 높이 보정

풍속은 지표높이 및 주변의 지형상태에 따라 값이 다르기 때문에 보정이 필요하다. 본 패키지 개발에 사용된 방법은 대수법칙을 이용해 풍속과 임의의 높이에서의 풍속을 구할 수 있다.

$$V_z = V_h \left(\frac{\ln \frac{z}{z_0}}{\ln \frac{h}{z_0}} \right) \quad (1)$$

여기서, V_z 는 높이 Z 에서의 풍속이고 V_h 는 h 높이에서

풍속이다. Z_0 는 조도계수로서 지표면 상태에 따라 정해진다. 식(1)을 통해 V_h 의 값으로 V_z 의 값을 구하게 된다. 하지만 복합지형에서는 위 법칙에 크게 벗어나므로 정확한 값은 실측을 통해서 구해야만 한다.

2.2.2 공기밀도 보정

측정된 데이터는 두 가지 기준 공기 밀도에 대하여 IEC61400-12에 의거 해 표준화 하여야 한다. 하나는 허용편차가 0.05kg/m^3 인 범위 내에서 사이트에서 측정된 공기 밀도의 평균이고 다른 하나는 ISO 표준대기(1.225kg/m^3) 표준 해수면 공기밀도이다. 표준화는 식(2)로 수행한다.

$$P_{10\text{min}} = \frac{B_{10\text{min}}}{R_0 T_{10\text{min}}} \quad (2)$$

$T_{10\text{min}}$: 10min Averaged Absolute Temperature[K]

$B_{10\text{min}}$: 10min Averaged Air Pressure [Pa]

R_0 : Specific Gas Constant 287.05[J/kg.K]

2.2.3 출력 값 보정

만약 출력성평가를 하고자하는 풍력발전기가 실속제어(Stall-Control)방식에 해당하면 출력 데이터를 식(3)로 표준화 시켜야한다.

$$P_n = P_{10\text{min}} \frac{\rho_0}{\rho_{10\text{min}}} \quad (3)$$

P_n : Normalized Power Output [kW]

ρ_0 : Reference Air Density 1.225[kg/m³]

$\rho_{10\text{min}}$: 10min Air Density[kg/m³]

2.2.4 풍속 값 보정

능동제어(Pitch-Control)방식의 풍력발전기를 사용할 때에 풍속의 표준화는 다음과 같다.

$$V_n = V_{10\text{min}} \left(\frac{\rho_{10\text{min}}}{\rho_0} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

V_n : Normalized Wind speed Output [m/s]

V_{10} : 10min Wind speed [m/s]

$\rho_{10\text{min}}$: 10min Air Density[kg/m³]

2.3 측정결과

2.3.1 출력곡선의 결정

측정 출력 곡선은 표준 자료 군에 대하여 0.5m/s 의 풍속구간으로 분류하고, 각 풍속구간에 대하여 표준화된 풍속과 출력의 평균값 계산에 의해 결정된다.

$$V_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} V_{n,i,j} \quad (5)$$

$$P_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} P_{n,i,j} \quad (6)$$

V_i : i번째 풍속구간에서의 표준평균풍속

- $V_{n,j,i}$: i번째 풍속구간에서 자료군j의 표준풍속
- P_i : i번째 풍속구간에서의 표준평균출력
- $P_{n,i,j}$: i번째 풍속구간에서 자료군j의 표준출력
- N_i : i번째 풍속구간에서 10분 자료군의 수

2.3.2 연간 에너지생산량(Annual Energy Production)

연간에너지 생산량은 다양한 풍속 확률밀도 함수에 대하여 측정된 출력 곡선을 적용함으로써 예상 할 수 있다. 형상계수(shape factor)가 2인 Weibull 과 일치하는 Rayleigh 분포가 풍속 확률밀도 함수로 사용되어진다.

$$AEP = N_h \sum_{i=1}^N [F(V_i) - F(V_{i-1})] \left(\frac{P_{i-1} + P_i}{2} \right) \quad (7)$$

- AEP :연간에너지생산량
- N_h : 년 시간 = 8760
- N : 풍속구간의 수
- V_i : i번째 풍속구간에서의 표준화된 평균 풍속
- P_i : i번째 풍속구간에서의 표준화된 평균 출력

$$F(V) = 1 - \exp\left[-\frac{\pi}{4} \left(\frac{V}{V_{ave}}\right)^2\right] \quad (8)$$

- $F(V)$:풍속에 대한 Rayleigh 누적확률분포 함수
- V_{ave} :허브높이에서의연평균풍속
- V :풍속

에너지의 합은 V_{i-1} 가 $V_i - 0.5m/s$, P_{i-1} 가 $0Kw$ 라 가정한다.

2.3.3 출력계수(Power Coefficient)

풍력발전기의 출력계수 C_p 도 출력과 풍속 측정 자료로부터 계산되어야 한다. C_p 는 식(9)을 통해 결정된다.

$$C_{p,i} = \frac{P_i}{\frac{1}{2} \rho_0 A V_i^3} \quad (9)$$

- $C_{p,i}$: 동력 계수
- V_i : i번째 풍속구간에 대해 표준화된 평균 풍속
- P_i : i번째 풍속구간에 대해 표준화된 평균출력
- A : 풍력발전기 회전자의 투영면적
- ρ_0 : 표준(reference)공기 밀도

3. 패키지 형태 및 적용

3.1 패키지 형태

본 연구에서 자체 제작한 프로그램은 C++로 제작하였으며 형태는 Fig.2와 같다.

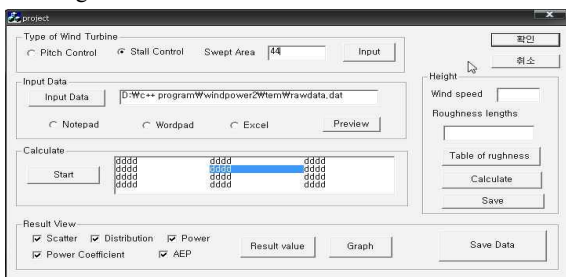


Fig.2 Form of Program

앞에서 언급했던 파라미터, 풍력발전기의 종류 그리고 회전자의 회전면적을 입력하면 위 식을 통해 출력곡선, 연간 생산량, 발전기 출력을 구할 수 있다.

3.2 패키지 적용

본 연구에서 개발한 패키지를 행원단지 내 가장용량이 큰 6호기(NEG-MICON 750w)에 적용해 성능을 분석해왔다. 이 때 기상탑 높이는 허브높이와 같은 높이에서 측정했기 때문에 높이 보정은 하지 않았다.

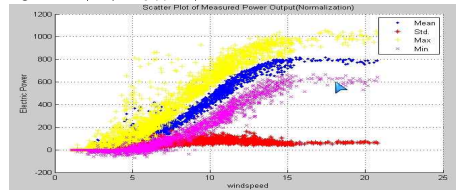


Fig.3 Scatter Plot (after normalization)

6호기는 실속제어(Stall Control)방식이기 때문에 출력데이터를 표준화시킨다. 표준화 된 출력은 Fig.3 과 같이 최대, 최소, 평균 그리고 편차 그래프로 표현한다. 이 때 앞에서 언급했던 조건의 잘못된 데이터는 고려하지 않았다.

Fig.4는 발전기의 파워곡선을 제조업체가 제공하는 파워곡선과 비교한 것이다.

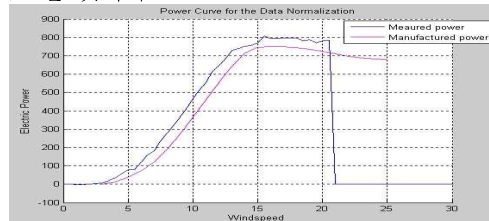


Fig.4 Power Curve for the data normalization

풍속에 따른 연간발전량은 Fig.5와 같다. 각 풍속에서의 높이가 그 풍속에서의 생산량이고, 면적의 합이 연간 발전 총 생산량이 된다.

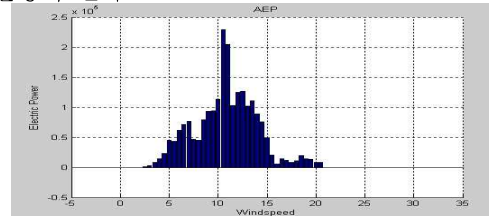


Fig.5 Annual energy production

발전기 성능을 평가 할 때 가장 중요한 출력계수 C_p 는 Fig.6그래프와 같다.



Fig.6 Wind Turbine Power Coefficient

4. 결론

본 연구를 통해 풍력발전기 성능을 종합 평가하는데 있어 좀 더 쉽고 간편하게 평가 할 수 있을 거라 사료된다. 또한 현재 상용화된 프로그램과 비교했을 때 상당히 비슷한 결과를 나타내고 있어서 자료의 신뢰성이 높게 나타났다.

참고문헌

1. BTM Consult Aps, March 2006
2. 허중철외,2004,“제주도내 풍력발전 단지 성능 모니터링 및 평가”, 제주도청
3. IEC 61400-12, Wind Turbine Generator Systems. Part12:"Wind Turbine Power Performance Testing", 2007
4. 고경남, 허중철, 풍력공학입문, 문운당, 2006