

풍력발전시스템에 대한 소음 진동의 시험분야 측정불확도

Measurement Uncertainty of Test for Noise and Vibration at Wind Power Generation System

이 규 배†

Kyu-Bae Lee

1. 서 론

에너지는 모든 산업과 더불어 환경 등의 인간이 활동하기 위한 모든 분야에 사용하고 있다. 에너지를 생산해내는 방법은 사용하는 자원에 따라 화석 연료인 석탄, 석유를 이용한 화력발전, 물의 낙차를 이용한 수력발전, 조수차를 이용한 조력발전, 지열을 이용한 지열발전, 태양에너지를 이용하는 태양열발전, 원자력을 이용한 원자력발전 및 바람의 운동에너지를 이용한 풍력발전에 이르기까지 매우 다양하게 활용하고 있다.

오늘날은 환경이나 공해로 인하여 청정에너지로 각광받는 태양이나 바람을 이용하여 에너지를 활용하게 된다. 풍력발전은 바람으로 풍차를 회전하여 전기를 일으키는 발전이며, 풍력발전 시스템은 설치되는 공간이 야외에서 지상 또는 해상에서 매우 높은 위치에 설치되고, 바람의 속도가 불규칙할 뿐 만 아니라 높은 풍속으로 인하여 진동과 소음에 영향을 많이 가지게 된다.

풍력발전시스템에 대한 소음과 진동의 크기에서 표현하는 물리량은 측정환경의 여건이 공간의 변화와 시간의 변화에 따라 다른 양상을 보이게 된다.

본 연구에서는 풍력 발전 시스템에 대한 소음과 진동의 감시를 위한, 시험분야의 측정불확도를 추정하는데 요구되는 불확도 인자와 방법을 파악하고자 한다.

2. 풍력발전시스템의 소음 진동의 불확도

2.1 소음 진동의 불확도와 오차

풍력발전시스템의 소음 진동에 대한 측정결과와 불확도는 측정량의 값을 정확하게 알 수 없다는 사실을 반영하고 있다. 소음 진동의 측정결과는 이미 알고 있는 계통효과를 적절하게 보정하여도 역시 추정값에 불과하다. 소음 진동의 계통효과에 대한 완전한 보정이 불가능하고 또 우연효과가

있기 때문에 측정결과에는 항상 불확도가 존재하기 때문이다.

측정결과와 반복성은 같은 측정 조건에서 같은 측정량을 연속적으로 측정하여 얻은 결과들 사이의 일치하는 정도이고, 측정결과와 재현성은 변경된 측정 조건에서 같은 측정량을 측정하여 얻은 결과들 사이의 일치하는 정도이다. 적절한 보정을 한 후의 풍력발전시스템 소음 진동의 측정결과는 우연히 측정량의 값에 매우 가까울 수도 있으며 따라서 오차는 매우 작을 수 있다. 소음 진동의 측정결과와 불확도는 매우 클 수도 있기 때문에 불확도와 오차는 구별하여야 한다.

풍력발전시스템의 소음 진동을 측정하는 측정자는 반복 관측으로 얻은 미지의 확률분포 또는 이용 가능한 정보에 근거한 주관적 또는 선형적 분포로부터, 인지된 계통효과에 대한 보정을 포함한, 입력량의 값과 표준불확도인 추정표준편차를 함께 추정한다.

풍력발전시스템의 소음 진동 입력량의 추정값으로부터 측정결과를 구하고, 그 추정값의 표준불확도로부터 합성표준불확도를 구한다. 이러한 모든 과정이 적절하게 이루어지고 주요한 계통효과를 빠뜨리지 않고 고려하였다면 측정결과는 측정량의 값에 대한 신뢰성 있는 추정값이 되며 합성표준불확도는 측정결과와 가능한 오차에 대한 신뢰성 있는 척도가 된다고 할 수 있다.

풍력발전시스템의 소음 진동 측정량의 정의가 불완전한 경우 측정량의 값이 여러 개가 존재할 수 있다. 이와 같이 측정량의 불완전한 정의로 인하여 생기는 불확도는 같은 방법과 같은 기기 등을 사용하여 측정량을 여러 번 측정할 다음 이를 평가할 수 있다.

2.2 불확도의 원인

풍력발전시스템의 소음 진동 측정에서 불확도의 요인이 많이 존재하며, 불확도의 요인을 보면, 측정량의 정의에 대한 불완전한 정의 및 실현, 대표성이 없는 표본추출, 측정환경의 효과에 대한 지식 부족 및 환경 조건에 대한 불완전한 측정, 아날로그 기기에서의 개인적인 판독 차이, 기기의 분해능과 검출 한계, 측정표준과 표준물질의 부정확한 값, 외부자료에서 인용하여 데이터 분석에 사용한 상수와 파라

† 교신저자; 정회원, 안산공과대학
E-mail : kblee@act.ac.kr
Tel : (031) 490-6161, Fax : (031) 495-7828

미터의 부정확한 값, 측정방법과 측정과정에서 사용되는 근사값과 여러 가지 가정, 외관상 같은 조건이지만 반복적인 측정에서 나타나는 변동이다. 소음 진동 시험과정 중에 인식되지 않은 계통효과는 불확도를 구하는데 고려되지 못할 수밖에 없지만 이것이 오차의 원인이 된다.

2.3 불확도 평가와 포함인자

풍력발전 시스템에서 소음 진동시험의 표준편차는 같은 측정량에 대하여 n 회 측정에서 결과의 분산의 특성을 나타내는 양 $s(a_k)$ 이다. 불확도에는 A형 불확도, B형 불확도, 합성표준불확도, 확장불확도로 구분하여 추정하여야 한다.

측정불확도(uncertainty of measurement)는 측정결과에 관련하여, 측정량을 합리적으로 추정한 값의 분산 특성을 나타내는 파라미터로 표준편차 또는 그의 배수, 또는 명시된 신뢰구간의 반너비 등이 될 수 있다. 측정불확도는 여러 번 측정된 결과의 통계적인 분포로부터 값이 결정되는 것으로 시험 표준편차로 나타낼 수 있고, 다른 부류는 마찬가지로 표준편차로 나타낼 수 있지만, 경험이나 다른 정보에 근거하여 가정한 확률분포로부터 그 값이 결정되는 것이다.

측정결과는 측정량의 값에 대한 최선의 추정값이라 할 수 있으며, 여러 가지 원인으로부터 오는 다양한 불확도 성분이 모두 분산의 원인이 되는데, 사용된 표준기와 표준물질, 보정 등에 관련된 성분처럼 계통효과에서 기인하는 성분도 포함된다.

불확도의 A형 평가(type A evaluation)는 일련의 관측값을 통계적으로 분석하여 불확도를 구하는 방법으로 분산과 표준편차를 활용한다. 불확도의 B형 평가는 일련의 관측값의 통계적인 분석이 아닌 다른 방법으로 불확도를 구하는 방법이다.

합성표준불확도(combined standard uncertainty)는 측정결과가 여러 개의 다른 입력량으로부터 구해질 때 이 측정결과의 표준불확도를 합성표준불확도라 한다. 합성표준불확도는 각 입력량의 변화가 측정결과에 미치는 영향에 따라 가중된 분산과 공분산의 합의 양의 제곱근과 같다.

확장불확도(expanded uncertainty)는 측정량의 합리적인 추정값이 이루는 분포의 대부분을 포함할 것으로 기대되는 측정결과 주위의 어떤 구간을 정의하는 양이다. 특정한 신뢰수준을 확장불확도에 의해 정의되는 구간과 관련짓기 위해서는 측정결과와 그 합성표준불확도로 결정되는 확률분포에 관한 명백하거나 함축적인 가정이 요구된다. 구간에 부여할 수 있는 신뢰수준은 그 가정이 성립되는 범위에서만 알 수 있다.

2.4 불확도 평가 요인

풍력발전시스템에 대한 소음 진동의 불확도 평가 요인은 풍속과 관련하여 m/s로 나타내고, 인버터는 kW로 시험한다. 그리고 정류와 과충전 보호를 위한 제어기, 프레임, 기

동, 지지대의 형상 및 지진과 관련한 사항이 있다.

풍력발전시스템에 대한 소음의 시험은 음압을 측정할 수 있는 마이크로폰으로 하고 측정 단위는 Pa, 또는 dB로 측정한다. 여기서 dB로 측정할 때는 청감보정을 A, B, C, D 중에서 인간의 청감 특성을 고려한 A 청감 보정을 하는 것이 유용하다. 풍력발전시스템에 대한 진동의 시험은 필요성에 따라 다양하게 구분할 수 있는데, 크게 제품의 성능을 위한 것인지 환경시험을 위한 것인지 또는 내구성을 위한 것인지를 목표가 분명하여야 한다. 진동을 측정하는 형태는 진동가속도, 진동속도, 진동변위 중에서 진동가속도로 표현하는 것이 효율적이지만 지진과 관련한 사항이라면 저주파수 대역의 표현이 좋은 진동변위가 유효하기도 하다.

진동가속도를 표현하는 단위는 m/s^2 으로 하는 것이 좋으며, dB로 나타낼 때는 기준값을 명기하여야 한다. 기준값이 국가에 따라 다르기 때문에 한국과 일본에서는 $10^{-5} m/s^2$ 이고, ISO와 유럽에서는 $10^{-6} m/s^2$ 을 기준으로 하고 있다.

포함인자(coverage factor)는 확장불확도를 구하기 위하여 합성표준불확도에 곱하는 수치인자이다. 포함인자 k 의 값은 신뢰수준에 따라 다르지만 보통 2와 3 사이에 있다.

3. 표준불확도의 평가

3.1 입력량의 A형 표준불확도

풍력시스템에서 소음 진동시험의 입력량에서 소음과 진동은 주파수 대역별로 하여야 한다. 소음과 진동을 주파수 대역별로 할 때 험대역일 경우에는 처리하는 데이터의 수가 무수히 많으므로 표현의 효율성을 위하여 1/3 또는 1/1 옥타브 밴드로 하는 것이 바람직하다.

A형 표준불확도 $u(x_i)$ 의 자유도를 A형 불확도 성분을 평가하여 보고할 때 명시해야 한다. 입력량을 관측할 때 우연변동을 일으키는 영향량들이 서로 상관관계가 있으면, 평균이나 평균의 시험표준편차가 부적합하게 추정될 수 있다. 이런 경우의 관측은 일련의 상관관계가 있는 우연변동 측정을 다룰 수 있는 통계법으로 분석되어야 한다. A형 표준불확도 평가에 대한 논의에서 모든 것이 다루어진 것은 아니며, 통계적 방법으로 처리되어야 하는 더 복잡한 경우가 많이 있다.

비교적 단순한 측정인 경우 측정값에 영향을 주는 많은 변량들에 대하여 지분시험법을 사용하며, 얻어진 자료들에 대하여 분산분석이라는 통계적 분석을 통하여 불확도 성분을 산출한다.

3.2 B형 표준불확도의 평가

반복된 관측으로부터 얻어지지 않은 입력량 X_i 의 추정값 x_i 에 대하여, 관련된 추정분산 $u^2(x_i)$ 혹은 표준불확도 $u(x_i)$ 는 X_i 의 변동성에 관하여 얻을 수 있는 모든 정보에

근거한 과학적 판단에 의해 평가된다. 이에 포함되는 정보는 과거 측정 데이터, 관련 재료와 기기의 거동 및 특성에 대한 경험이나 일반지식, 제작자의 규격, 교정 및 기타 인증서에 주어진 데이터, 핸드북에서 인용한 참고자료의 불확도이다. 이렇게 평가한 $u^2(x_i)$ 와 $u(x_i)$ 는 각각 B형 분산과 B형 표준불확도라고 한다.

표준불확도의 B형 평가를 위하여 얻을 수 있는 모든 정보를 적합하게 사용하려면 경험이나 일반지식에 바탕을 둔 통찰력이 필요하며, 이러한 기술은 많은 실습을 통하여 습득할 수 있다. 표준불확도의 B형 평가는 A형 평가만큼 신뢰성이 있으며, 특히 A형 평가가 독립된 관측의 수가 비교적 적을 때 얻어진 경우에는 더욱 그렇다.

추정값 x_i 가 제작자의 규격, 교정성적서, 핸드북, 혹은 다른 출처로부터 인용되고, 인용된 불확도가 표준편차의 특정 배수라는 것이 언급되어 있다면, 표준불확도 $u(x_i)$ 는 인용된 값을 그 배수로 나눈 값으로 하여야 하고 그 값을 제곱하면 추정분산 $u^2(x_i)$ 이 된다.

피스톤폰의 신호가 주파수 1 000Hz에서 발생 소음레벨 94.0 dB(A)에서 교정성적서에서 1 000.025 Hz 이고 불확도가 성적서에 질량값과 불확도가 3σ 수준에서 0.020 Hz로 명기되었다면, 피스톤폰의 표준불확도는 다음과 같다.

$$u(b_s) = \frac{0.021 \text{ Hz}}{3} = 0.007 \text{ Hz}$$

신뢰수준에 따른 표준불확도를 알기 위하여 추정값 x_i 의 인용된 불확도가 반드시 표준편차의 배수로 주어지는 것은 아니고, 신뢰수준 90%, 95%, 혹은 99%를 가지는 구간을 정하여 명시해주는 경우도 있다. 달리 명시되어 있지 않으면 정규분포를 사용하여 인용된 불확도를 계산한 것으로 가정하고 인용된 불확도를 정규분포의 적절한 인자로 나누어 x_i 의 표준불확도를 구할 수 있다. 신뢰수준 90%, 95%, 99%에 대응하는 적정인자는 각각 1.64, 1.96, 2.58이다. 인자 2.0을 적용하는 것은 약 95% 신뢰수준이라고 표현할 수 있다.

3.3 합성표준불확도와 확장불확도

소음 진동에 대한 측정량의 추정값 y 는 입력량의 추정값 x_1, x_2, \dots, x_N 들의 함수로 표현되기 때문에, y 의 표준불확도는 x_i 의 표준불확도를 적절한 방법으로 합성하여 얻을 수 있다. 이렇게 얻어진 측정량의 추정값 y 의 표준불확도를 합성표준불확도 $u_c(y)$ 로 표현하고, 측정량의 추정값인 y 에 대한 추정 표준편차이다. $u_c(y)$ 는 입력량들이 서로 상관관계가 없는 경우와 있는 경우 즉, 공분산이 0인 경우와 0이 아닌 경우에 각각 다르게 표현될 수 있으므로 각 경우에 대하여 합성표준불확도 $u_c(y)$ 를 구하고자 한다.

측정결과와 불확도를 표현하는데 보편적으로 합성표준불확도 $u_c(y)$ 를 사용할 수 있지만 상업이나 산업 분야의 특정

한 경우, 또는 규제에 적용할 경우 및 보건의 안전에 관련될 경우에는 측정량의 합리적인 추정값이 이루는 분포의 대부분을 포함할 것으로 기대되는 측정결과 주위의 어떤 구간을 정의해 줄 수 있는 불확도의 척도가 필요하다.

확장불확도는 U 라고 표현하고, 합성표준불확도 $u_c(y)$ 에 포함인자 k 를 곱하여 $U = k u_c(y)$ 로 결정한다. k 의 값은 $y-U$ 에서 $y+U$ 까지의 구간이 요구하는 신뢰수준에 따라 선택된다. k 의 값을 적절하게 선택할 수 있으면 측정결과를 사용해본 경험이 많고, 측정결과가 사용하는 용도에 대하여 완전한 지식이 있어야 한다.

U 는 어떤 측정결과에 대하여, 측정결과와 그 합성표준불확도로 특성 지어지는 확률분포의 대부분을 포함하는 구간을 정의하는 것으로 본다. P 는 포함확률 또는 그 구간의 신뢰의 수준이라 하며 통계학에서 정의된 신뢰수준과는 구별된다.

포함인자 k 를 구하기 위해서는 합성표준불확도 $u_c(y)$ 의 유효자유도를 추정하여야 하며 v_{eff} 라고 표현한다. 유효자유도를 구하는 방법은 Welch-Satterthwaite 공식을 이용하여 추정한다. 추정범위의 한계값에 대하여 100%의 확률 1, 또는 0%까지 신뢰할 수 있음이라고 추정될 때, $R=0\%$ 가 되며, 이때의 자유도는 무한대가 된다.

4. 결 론

풍력발전시스템에서 소음과 진동의 신호를 활용하여 감시를 하고자 할 때는 측정 결과에 대한 값에 대하여 신뢰도를 확보하기 위한 표현에 대하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

소음과 진동을 측정하고 시험하는 데이터에 대하여 소음 진동수준은 주파수에 따라 각각의 통계적 처리를 통한 A형 불확도 평가를 하고, 통계적 방법이 아닌 B형 불확도 평가를 하여야 하고, 이러한 두 가지 평가 결과를 통하여 합성표준불확도와 포함인자를 반영하여 확장불확도를 표현할 수 있다.

참 고 문 헌

- (1) Leo, L. B. and Eric, E. U., 1992, Noise and Vibration Control Engineering, John Wiley & Sons, Inc., NY
- (2) 한국인정기구, 2007, KOLAS-G-002 : 2007 측정결과와 불확도 추정 및 표현을 위한 지침
- (3) 한국인정기구, 2008, KOLAS-G-005 : 2008 시험분야 측정불확도 추정에 관한 지침
- (4) Cyril M. Harris and Allan G. Piersol, 2002, Shock and Vibration Handbook 5th ed., McGraw Hill
- (5) KS Q ISO/IEC 17025:2006, 시험기관 및 교정기관의 자격에 대한 일반 요구사항