

풍력발전시스템 소음평가의 KS 규격화에 관한 연구

An Study KS Standardization for Acoustic noise measurement of the Wind Turbine Systems

손충렬* · 김준호** · 오동현*** · 박종빈****

C. Y. Son, J.H. Kim, D. H. Oh, J. V. Park,

Key Words : Noise Measurement(소음측정), Noise Evaluation(소음평가), Standard(표준), Certification(인증절차), Wind turbine(풍력 발전)

ABSTRACT

The wind turbine, Europe and the United States are different with the standards process each other when the manufacturing company which in order to demand the standards process to a construction in the multi country with interested parties of the corresponding nation to, always the re-agreement is difficult.

Korean wind turbine also detail there is not a standard, when it produces and establishes of wind turbine, the problem point occurs. It is like that investigation of international standards system it leads and when it prepares the Acoustic noise measurement of the Wind Turbine Systems of Korea, it prepares the base for industrial development wind turbine of Korea.

1. 서 론

풍력발전은 가장 경쟁력 있는 대체에너지원으로 세계 시장은 연간 40%이상 성장하고 있다. 세계풍력발전 비중 0.35%, 한국 0.004%(’02년 기준) 국내 풍력발전은 22MW 전력생산 판매 중이며 향후 2018년까지 2,250MW를 보급할 계획에 있고 우리나라는 풍력자원이 풍부한 국가중의 하나이다. 풍력발전은 국제표준화가 상당히 진행된 분야로 IEC/TC88(풍력 발전)을 중심으로 풍력발전시스템의 안전 요구사항, 출력성능, 소음 등에 관한 국제표준화가 진행중(4개의 WG)에 있다.

- 기 제정규격(10종)
- 용어 : 풍력발전시스템 용어정의 1종
- 안전 : 소형풍력발전시스템의 안전요구사항 등 3종
- 소음 : 소음측정기술 1종
- 계통연계 및 출력성능 : 풍력발전의 출력성능측정 등 2종
- 부품 : 로터 블레이드 시험방법 등 2종
- 인증 : 풍력발전시스템의 시험 및 인증절차 1종
 - 제정중인 규격(8종)
- NP 단계 : 해상풍력발전시스템의 설계요구사항 등 2종
- CD 단계 : 소음측정기술 등 3종
- CDV 단계 : 계통연계형 풍력발전의 출력성능 등 3종
 - 관련 KS규격(1종)
- 국제규격과 일치된 규격(IDT): 풍력발전용어 1종
- 제정중인규격 : 풍력발전시스템의 안전성요구사항 등 4종
 - 주요활동국가는 덴마크, 독일, 스웨덴, 미국, 영국이 있고
 - 간사국은 미국, 한국은 P멤버이다. 최근의 국제화 추세에 따라 국내의 규격을 국제IEC규격에 부합시키는 방향으로 나아가고 있다. 이에 본 논문에서는 소음평가에 관한 국제 규격을 고찰하고 설명하여 새로이 제정되는 규정에 방향을

* 인하대학교 기계공학부 정교수
E-mail : soncy@inha.ac.kr
Tel : (032)860-7338, Fax : (032) 864-5850

** 기술표준원 에너지자원표준과 연구사

*** 인하대학교 선박공학과 대학원

**** 인하대학교 선박공학과 대학원

본 연구는 기술표준원 "풍력발전 소음평가 및 인증평가 지침서 개발"의 연구결과의 일부임.

제안하고자 한다.

2. IEC 61400-1의 주요 내용

2.1 범위

IEC 61400-11은 풍력터빈에 의한 음향방사의 특정 지을 수 있는 측정법을 제공한다. 그러기 위해서는 음의 전반에 의한 오차를 피하기 위하여 기계에 가까이, 음원의 크기가 유한하다고 생각되는 충분히 떨어진 위치에서 음을 평가하기에 적합한 측정법이 필요하다. 이 순서는 어떤 범위의 풍속과 풍향에서의 풍력터빈 음을 쉽게 특징지어려고 하는 의도하고 있다. 또한 측정법의 표준화는 다른 풍력터빈의 비교를 용이하게 하게 된다.

2.2 인용 규격

- IEC 60651 : 1979, Sound level meters
- IEC 60804 :1985,Integrating-averaging sound level meters
- IEC 61260 : 1995, Electro-acoustics—Octave-band and fractional-octave-band filters
- IEC 60942 : 1997, Electro-acoustics_Sound calibrators
- IEC 61400-12 : 1998, Wind turbine generator systems — Part 12 : Wind turbine power performance testing

2.3 정의

2.3.1 음향기준풍속 $V_{ref}(m/s)$ 기준조건(10m 높이, 거칠기 길이가 0.05m와 같다.)에서의 풍속 8m/s이고 여러 가지 IEC 61400-11의 비교에 이용되는 겉보기 음향파위레벨의 계산에 사용한다.

2.3.2 겉보기의 음향파위레벨 LWA(dB) 음향기준풍속에서 바람 아래 방향에서 측정되는 풍력터빈의 음향방사출력과 같은 출력을 가지며 로터 중심에 있는 점음원의 1pW를 기준으로 하는 A특성음향파위레벨.

2.3.3 A특성 또는 C특성 음압레벨(dB) KS C 1505에 규정되어 있는 A 또는 C의 주파수보정회로에서 측정되는 음압레벨로 각각 L_A 또는 L_C 로 나타낸다.

2.3.4 지향성 $\Delta_i(dB)$ 측정위치 2, 3 및 4에서 측정된 A특성음압 레벨과 풍력터빈 바람 아래의 기준위치에서 측정된 A특성 음압레벨의 차로 각 위치는 IEC 61400-11의 로터 중심에서 동일거리에 있도록 보정된 것.

2.3.5 전망각 Ψ (도) 마이크로폰 부착판면 및 마이크로폰과 로터 중심을 잇는 선이 이루는 각도.

2.3.6 기준거리 $R_0(m)$ IEC 61400-11의 기초부 중심에서 규정한 마이크로폰의 각 위치까지의 공칭수평거리.

2.4 측정법 및 측정순서

2.4.1 측정위치 IEC 61400-11의 음향방사를 충분히 특징짓기 위하여 다음 측정위치를 만들어야 한다.

2.4.2 음향측정위치 4개소의 마이크로폰 위치를 이용한다. 4개소의 위치는 그림1과 같이 IEC 61400-11의 타워의 연직 중심선 주위에 배치하여야 한다. 바람 아래의 측정위치는 그림1과 같이 기준위치라고 정의한다. 그것들의 위치 방향은 측정 시의 바람 아래에 대하여 ± 15 도 이내이어야 한다. 풍력터빈 타워의 연직중심선에서 각 마이크로폰 위치까지의 수평거리는 그림1에 표시되어 있는 대로 $\pm 20\%$ 의 허용범위 내에 있고 $\pm 2\%$ 의 정밀도로 측정하여야 한다.

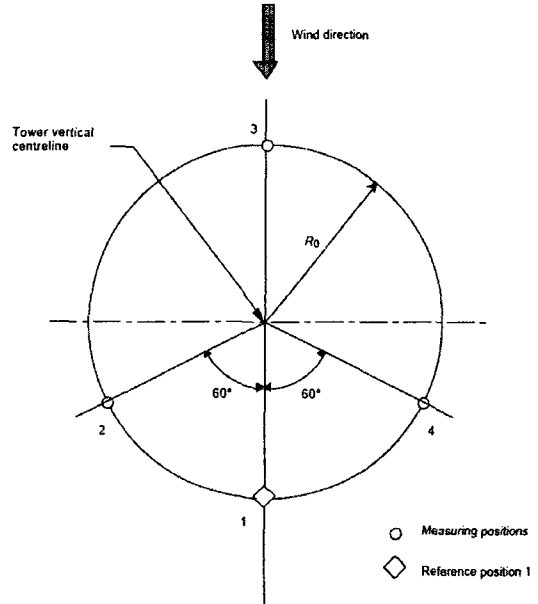


Figure1 - Standard pattern for microphone measurement positions(plan view)

그림2a와 같이 수평축 풍력터빈의 기준거리 R_0 은 다음 식에서 주어진다.

$$R_0 = H + \frac{D}{2} \dots\dots\dots (1)$$

여기에서 H 는 지표에서 로터중심까지의 연직거리, D 는 로터 지름이다.

그림2b에 나타나 있듯이 수직축 풍력터빈의 기준거리 R_0 는 다음 식에서 주어진다.

$$R_0 = H + D \dots\dots\dots (2)$$

여기에서 H 는 지표에서 로터중심까지의 연직거리, D 는 적도 지름이다.

2.4.2 음향 측정 IEC 61400-11의 음향방사를 충분히 특징짓기 위하여 다음의 음향측정이 필요하다.

2.4.2.1 음향측정의 요구사항 음향측정에 의해 IEC 61400-11의 음향방사에 대한 다음의 제량이 결정되어야 한다.

- 겉보기 음향파위레벨,

- 풍속의존성,
- 지향성,
- 옥타브 또는 1/3옥타브 밴드레벨.
- 순음성.

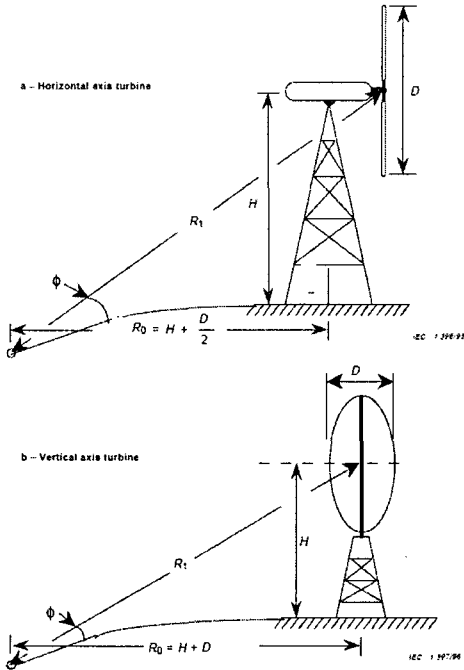


Figure2- Illustration of the definitions of R0 and slant distance R1

2.4.2.2 기준위치1에서의 음향측정 다음의 음향측정을 기준 위치1에서 실시하여야 한다.

- A특성 음압레벨 풍속의 측정과 동시에 일련의 적어도 30개의 IEC 61400-11의 등가소음레벨의 측정값이 기준위치에서 측정되어야 한다.

각 측정값은 적어도 1분간의 실측시간에 걸쳐 적분되는 것이어야 한다. 단속적인 암소음(보기를 들면 항공기로부터의 것)이 있는 시간대는 생략하여야 한다. 측정값은 커트인 풍속과 정격출력을 얻을 수 있는 풍속일 때의 폭넓은 풍속 범위를 가능한 한 커버하여야 한다. 그 범위는 적어도 4m/s(10m의 높이와 0.05m의 거칠기 길이에서의 풍속)이어야 한다. 충분한 풍속에서 2m/s 이상은 떨어져 있지 않은 풍속의 범위 내에 있어야 한다. 측정데이터수의 적어도 25%는 기준풍속의 이상과 이하에 있어야 한다.

- 옥타브 또는 1/3옥타브 밴드 측정 기준위치에서의 IEC 61400-11에서의 음의 옥타브 또는 1/3옥타브밴드 스펙트럼은 적어도 1분간 각 측정데이터의 5개의 에너지 평균에서 결정하여야 한다.

실효대역폭은 표1에 나타내는 값 이하이어야 한다.

표1 실효대역나비

순음의 주파수 Hz	20~63	63~200	200~630	630~ 2 000	2 000~ 5 000
실효대역 상대값	20Hz	20Hz	20Hz	22Hz	57Hz
상대값	32%	10%	3.5%	2.8%	2%

2.4.3 비음향측정 다음의 비음향측정을 하여야 한다.

2.4.3.1 풍속측정 풍속은 다음 두 가지 방법 중의 하나에 따라 결정하여야 한다. 방법1이 바람직한 방법이다.

- 방법1 : 출력과 출력곡선에 의한 풍속결정 풍속은 전력의 측정값에서 가능하면 IEC 61400-12에 따라 트레이서블하게 실측된 발전출력대 풍속곡선을 이용하여 얻어야 한다. 이 경우, 발전출력 대 풍속곡선은 같은 풍력터빈, 그렇지 않으면 같은 컴포넌트를 가진 똑같이 조정을 한 동형기의 것이 바람직하다.

전력은 소음측정과 같은 시간대에서 평균하여야 한다.

출력곡선은 출력과 로터회전면에서 평균한 풍속을 관련짓는다. 대부분의 IEC 61400-11에 대하여 풍속은 실측 전력에서 결정할 수 있다. 측정된 음의 레벨과 전력 사이의 상관은 최대출력점에 이르기까지 아주 높다.

IEC 61400-11의 출력을 기록할 때, 각 기록시간대에서 출력이 최대출력점의 95%를 넘지 않는다 것을 확인한다.

출력곡선은 로터중심높이의 풍속과 표준대기조건(15℃에서 101.3kPa)에서 풍력터빈이 발생하는 전력 사이의 관계를 부여한다. 소리의 측정 중에 얻어진 전력은 다음 식을 이용하여 표준대기조건으로 변환하여야 한다.

$$P_n = P_m \left[\frac{t_k}{t_{ref}} \right] \frac{P_{per}}{p} \dots\dots\dots (3)$$

여기에서 P_n 는 기준화한 전력(kW).

P_m 는 실측전력(kW),

t_k 는 대기온도(K), $t_k = t_c + 273$,

t_c 는 대기온도(℃)

t_{ref} 는 288K,

P 는 대기압(kPa),

P_{ref} 는 기준대기압으로 $P_{ref}=101.3kPa$

-방법2 : 풍속계에 의한 풍속의 결정 풍속측정에 풍속계를 이용하는 경우, 풍속의 측정값은 5.에 기술되는 데이터 처리순서에 따라 10m 높이와 기준거칠기 길이로 보정하여야 한다.

2.5 데이터처리방법

2.5.1 풍속 높이 z에서 측정된 풍속 또는 전력 측정에서 로터중심높이 H에서 결정한 풍속은 다음 식의 풍속 분포를 가정함으로써 기준조건의 풍속 V_s 로 보정하여야 한다.

$$V_s = V_z \left[\frac{\ln \frac{z_{ref}}{z_0} \ln \frac{H}{z_0}}{\ln \frac{H}{z_0} \ln \frac{z}{z_0}} \right] \dots\dots\dots (4)$$

V_s 는 표준화 풍속,

여기에서 V_z 는 높이 z 의 풍속계에서 측정된 풍속,

z_{ref} 는 0.05m의 기준거칠기 길이,

z_0 은 거칠기 길이,

H 는 로터중심높이,

z_{0ref} 는 기준높이 10m,

z 는 기준높이 10m

식(4)는 다음과 같은 원리를 이용하고 있다.

- 실측높이 z 의 로터중심높이 H 에 대한 보정에는 실제 사이트의 조건을 고려하기 위하여 사이트의 거칠기 길이 z_0 에 대응하는 대수풍속분포를 사용한다.
- 로터중심높이 H 에서 기준조건에 대한 보정에는 기준거칠기 길이 z_{0ref} 의 대수풍속분포를 사용한다. 이에 따라 지형에 의존하지 않는 음향 특성을 기술할 수 있다. 거칠기 길이 z_0 은 복수의 높이에서의 풍속측정에서 계산할 수 있거나 또는 표2에 따라 평가된다.

표2 거칠기 길이

지형의 타입	거칠기길이 z_0
수역, 눈이나 모래의 표면	0.001 m
열린 평탄지, 마른 풀, 맨땅	0.01 m
식물이 있는 농지	0.05 m
교외, 마을, 삼림, 다수의 수목과 덩굴	0.30 m

2.5.2 암소음의 보정 관련된 다음의 파라미터 5.3에서 5.7에서 기술되어 있는 방법을 이용하여 측정된 모든 음압레벨은 암소음의 영향을 보정하여야 한다. 평균 암소음의 레벨이 IEC 61400-11와 암소음의 합성레벨보다 6dB 이상 낮은 경우, 다음 식을 이용하여 보정값을 구할 수 있다.

$$L_s = 10 \lg [10^{(0.1L_{s+n})} - 10^{(0.1L_n)}] \dots\dots\dots (5)$$

여기에서 L_s 는 IEC 61400-11만의 운전 시의 등가음압레벨(dB), L_{s+n} 은 IEC 61400-11와 암소음을 더한 등가음압레벨(dB), L_n 은 암소음의 등가음압레벨(dB).

2.5.3 겐보기의 음향파워레벨 10개 또는 그것 이상의, 기준위치에서의 등가소음레벨과 풍속의 데이터 쌍을 이용하여 선형 회귀분석을 하여야 한다. 이 경우의 풍속은 음향기준 풍속에서 2m/s 이내의 풍속역을 커버하여야 한다. 이 분석에 의해 기준풍속에서의 L_{Aeq} 의 값을 결정하여야 한다.

암소음 측정값의 적어도 10조의 데이터쌍을 이용하여 똑같은 선형회귀분석을 하여야 한다. 음향기준풍속에서의

L_{Aeq} 의 값은 음향기준풍속에서의 암소음으로 보정하고, L_{Aeq} 로 표시하여야 한다.

겐보기 음향파워레벨 L_{WA} 은 기준위치에서의 음향기준풍속에서 암소음 보정한 음압레벨 L_{Aeq} 을 이용하여 다음 식에서 계산한다.

$$L_{WA} = L_{Aeq,c} - 6 + 10 \lg \left[\frac{4\pi R_1^2}{S_0} \right] \dots\dots\dots (6)$$

여기에서는 $L_{Aeq,c}$ 는 기준조건 아래에서 음향기준풍속에서 암소음보정한 등가소음레벨, R_1 은 그림4에 나타내는 로터중심에서 마이크로폰까지의 경사거리 S_0 은 기준면적에서 $S_0=1m^2$.

식(6)에서의 6dB의 상수는 지표설치판 위의 소리의 레벨 측정에서 생기는, 비슷한 음압배가를 고려한 것이다.

2.5.4 풍속의존성 기준위치에서 측정된 풍속과 등가소음레벨의 30조 이상의 데이터쌍의 전부를 풍속등급(빈)으로 분류하여야 한다. 이러한 등급은 1m/s 나비이며 오버랩이 없고 기준조건에서의 풍속의 정수값으로 모아야 한다. 각 등급마다 풍속의 산술평균과 에너지 평균한 소리의 레벨을 계산하여야 한다. 만약 하나의 등급이 3조 이하의 데이터쌍 밖에 포함하지 않고 있다면 그 평균은 추정값으로 간주하고 풍력터빈이 정지하고 있는 상태에서 측정된 암소음과 풍속데이터를 이용하여 똑같은 해석을 하여야 한다. 일반적으로 암소음 측정값의 각 등급 내에서의 풍속의 평균값은 IEC 61400-11의 소리의 측정에 대응하는 평균값과는 다를 것이다. IEC 61400-11 측정값의 등급 내 평균값에 대응하는 풍속에서의 암소음의 예상은 암소음의 측정값 근방의 등급 사이의 내삽에 의해 찾아내야 한다. 이렇게 해서 결정된 풍속에서의 암소음의 결과를 이용하여 암소음을 보정하여야 한다.

IEC 61400-11의 소리의 각 평균값은 대응하는 암소음값에 의해 보정하여야 한다. 보정된 평균값은 음향기준풍속에서의 L_{Aeq} 를 빼고 정규화된다.

대체법으로서 데이터점이 겐보기 상 선형의존성을 갖고 있는 경우, 데이터쌍 사이의 선형회귀분석(최소 제곱법, 즉, 최적선형적합)을 하여야 한다. 대응하는 암소음 측정데이터점에 대해서도 똑같은 선형회귀분석을 하여야 한다.

IEC 61400-11의 소리와 암소음의 합성 및 암소음의 양자에 대한 선형회귀분석에 의한 기대레벨은 측정에서 커버한 풍속의 모든 정수풍속값에 대응하여 얻어진다. IEC 61400-11의 소리와 암소음의 합성레벨은 암소음레벨에서 보정하고 8m/s에서의 보정값을 빼고 정규화된다.

2.6 보고사항

다음에 나타내는 풍력터빈의 외형과 그 운전조건을 보고하여야 한다.

2.6.1 풍력터빈의 특징기술 풍력터빈의 외형에는 다음 항

목을 포함하여야 한다.

- 풍력터빈의 상세(제조사, 기종번호, 제조번호)
 - 구조(수직축 또는 수평축 풍력터빈, 로터중심높이, 로터 중심에서 타워중심축까지의 수평거리, 로터지름)
 - 운전의 상세(스통&피치제어, 출력곡선, 고정&가변피치)
- 다음은 음향성능에 영향을 줄 수 있는 기타 항목으로 만약 그러한 구성이 보고되는 기종번호에서는 명확하지 않은 경우에는 제조자에 의해 신고되고, 보고되는 것이 바람직하다. (기하학적 구조, 운전의 상세, 기어 박스의 상세, 발전기의 상세)

2.6.2 자연환경 풍력터빈의 사이트와 그 근처 및 측정위치에서의 자연환경에 대한 다음 사항을 보고하여야 한다.

- 위치, 사이트의 지도 및 기타 관련된 정보를 포함하는 사이트의 상세,
- 주변지역(1~2km의 범위)에서의 지형/지세[구릉, 평지, 벼랑, 산 등]의 타입.
- 표면특성(보기를 들면 풀, 모래, 수목, 덩굴, 수면),
- 건물 또는 기타 구조물, 벼랑, 수목, 수면 등의 근처의 반사구조물,
- 기타 풍력터빈, 하이웨이, 산업용 설비, 공항 등의 압소음 레벨에 영향을 줄 가능성이 있는 근처의 음원,

2.6.3 계측기 다음 측정기의 항목을 보고하여야 한다.

- 제조자, 기기명과 형식, 제조번호, 기타 관련정보, 마이크로폰 부착관의 치수, 각 측정시리즈별 풍속계 위치와 측정높이.

2.6.4 음향 데이터 실제 측정에 포함되는, 음향데이터를 보고하여야 한다.

- 각 측정시리즈에서의 마이크로폰의 측정위치,
- L_{WA} 와 풍속의 결정방법의 표시,
- 위치2, 3 및 4의 지향 특성(Δ) 및 대응하는 시간대의 평균풍속.
- 각 측정의 날짜와 시간.
- 교정데이터를 포함하는, 기타 음향데이터, 등등

2.6.5 비음향 데이터 다음의 비음향 데이터를 보고하여야 한다. (대기온도, 대기압, 거칠기 길이등)

2.6.6 불확실성 다음의 보고하는 음향실의 불확실성을 평가하고 보고하여야 한다.

- 겉보기 음향파위레벨,
- 기준위치에서의 A특성 음압레벨의 풍속의존성,
- 음향기준풍속에서의 지향성, 등등

3. 결 론

우리나라는 신재생에너지 관련법에 따라 에너지보급확대와 제품신뢰성 확보를 위하여 국내인증제도를 시행하고 있으나, 향후 수출산업화를 위해서는 국제 상호인증제도로의 발전이 필수이다. 그러기 위해 국제적인 풍력발전시스템의 적합성평가 기반 구축하고 현재 운영중인 국내인증제도에 반영이 되면 국제인증제도 구축에 능동적 대처 기반을 마련할 수 있을 것이다. 본 연구로 인해 소음측정 평가에 대한 KS규격 제정 풍력발전시스템의 인증평가 지침서 보급에 도움을 주고자 하였다. 앞으로 실제 운영되는 풍력발전기의 소음측정 실험을 하고 기존의 실험된 자료를 통해서 보완하고 비교하는 작업이 필요하다.

참 고 문 헌

- (1) ISO Information Publication : 1995, ISBN 92-67-10188-9, Guide to the expression of uncertainty in measurement
- (2) ISO 7196 : 1995, Acoustics-Frequency-weighting characteristic for infrasound measurements
- (3) IEC 61400-11 : Wind turbine generator systems—Part 11 : Acoustic noise measurement techniques
- (4) 전오성 등, 2001 “진동 분야의 KS규격 제정” 01년 추계학술대회논문집, 한국소음진동공학회 II , pp.1353-1355