

750 kW 풍력발전기의 소음 실증

Noise Test and Evaluation of a 750 kW Wind Turbine Generator

김 석 현* · 김 태 형*

Seockhyun Kim and Taehyung Kim

(2005년 9월 12일 접수 ; 2006년 1월 26일 심사완료)

Key Words : Wind Turbine Generator(풍력발전기), Environmental Noise Evaluation(환경소음 평가), IEC 61400-11(국제전기위원회 소음실증기준), Integrated Monitoring System(통합 모니터링 시스템)

ABSTRACT

This study introduces an environmental noise evaluation procedure for wind turbines(W/T) and the evaluation result of a 750 kW wind turbine(W/T) system. Test and evaluation are performed according to the international standard IEC 61400-11 on J48 W/T which is under operation in Daekwanryung W/T test site. With the meteorological data and W/T operational data, noise data are monitored and analysed. An integrated monitoring system is constructed in the test site and is utilized for the evaluation. From the measured noise data, acoustic power level, directivity and tonality of the W/T are estimated under the wind speeds required by the international standard. The purpose of the study is to establish an W/T noise evaluating system satisfying the international standard and to obtain noise data for home made 750 kW W/T.

1. 서 론

온실가스 배출 증가에 따른 환경 문제는 전 세계적으로 신재생 에너지의 개발과 보급을 가속화시키고 있다. 신재생에너지 중에서도 풍력발전 분야는 독일을 선두로 미국, 스페인, 덴마크 등이 주도하는 가운데, 1996년 이후 세계 풍력 시장의 연평균 성장률은 무려 40%에 이르고 있다.⁽¹⁾ 국내의 경우, 지난 십수년간의 기상청 자료와 최근 수행된 풍력 자원 조사 결과, 태백 준령 및 해안, 그리고 제주 등의 섬 지역에 발전에 유리한 풍력 에너지가 분포하고 있음이 확인되었다.⁽²⁾ 최근 행원예⁽³⁾ 10 MW, 영덕에⁽⁴⁾ 40 MW 규모의 상업용 풍력발전단지가 가동되었고, 대

관령 지역에는 98 MW 규모의 상업용 풍력발전 단지가⁽⁴⁾ 조성중이다. 친환경적 산업임에도 불구하고, 풍력발전은 몇 가지 환경 문제를 발생시킨다. 소음, 미관 문제, 전자파 간섭을 발생시키고, 조류 충돌이나 동식물 생태계에도 영향을 미친다.^(5,6) 특히 소음 문제는 발전단지 주변의 거주지에 민원을 발생시킬 수도 있다. 따라서 소음 방출 특성은 풍력발전기의 중요한 성능의 하나로 간주되어, 시제품 개발 시 국제 기준인 IEC 61400-11⁽⁷⁾에 따라 평가하여 결과를 첨부하도록 되어 있다. 소음실증 결과는 풍력 발전기의 제작, 설치, 계획, 허가, 운영, 이용 및 규제에 중요한 근거 자료로 사용된다. 다양한 기상 환경 및 단지 조건하에서 평가의 신뢰성과 공정성을 보장하기 위하여, IEC 61400-11은 매우 구체적인 소음 실증의 방법, 절차 및 보고 내용을 규정한다. 그러나 이 기준에 부합되는 실증을 위해서는 IEC 기준에 맞는 실증 연구 단지를 조성함과 동시에, 기상 데이터의 통합 측정을 위한 고가의 기반 시스템이 구축되어야 한다. 뿐만 아니라 소음 데이터의 수집에는 열악한 환경 하

† 책임저자 ; 정희원, 강원대학교 기계메카트로닉스공학부
E-mail : seock@kangwon.ac.kr

Tel : (033) 252-2595, Fax : (033) 257-4190

* 강원대학교 대학원 기계메카트로닉스공학과

에서 장기간의 작업이 요구된다. 이러한 이유로 WINDTEST⁽⁸⁾와 같은 외국의 전문 실증기관은 관련 기술을 잘 공개하지 않으며, 고가의 실증 비용을 요구하므로, 소음 실증은 국산화 개발과정에서 매우 어려운 문제 중의 하나이다. 국내의 경우, 현재 750 kW 이상의 중대형 풍력발전기를 개발 중이므로, 국제기준에 맞는 종합적인 실증연구는 이제 시작하는 단계이다. 이 연구의 목적은 향후 국산 풍력발전기의 소음을 실증하기 위하여 국제기준에 맞는 소음 실증 시스템을 구축하는 데에 있다. 이는 고가의 실증 비용 절감과 실증 소요 기간 단축을 위하여, 그리고 국산 풍력발전기의 기술 보안 측면에서 반드시 필요한 과제이다. 이 연구에서는 대관령 풍력실증단지 내에 실증 시스템을 구축하였고, 750 kW 풍력발전기(J48, 프랑스 Jeumont 제작)를 대상으로 소음 실증을 수행한다. 음향 데이터와 함께, 풍향 및 발전기 작동 상태 등의 비 음향학적(non-acoustic) 데이터를 측정하기 위하여 풍향 원격 모니터링 시스템을 구축하였다. 이 연구를 통하여 조성된 실증 기반은 현재 개발중인 국산 풍력발전기의 실증에 효과적으로 활용될 것이다.

2. 실증 단지 및 풍력 발전기의 제원

이 연구가 수행된 풍력 실증 연구 단지는 강원도 평창군 구 대관령 휴게소 위치에 약 12,000평의 부지로 조성되었다.⁽⁹⁾ Fig.1은 실증 대상 풍력발전기인 J48 모델이 설치된 실증단지를 보이고, Fig.2는 실증 단지의 지형도이다. 풍향 분석 결과 주풍 방향은 WSW(west-south-west)로 나타났다.⁽¹⁰⁾ Table 1은 실증 모델의 주요 제원을 표시한다. 풍향 및 발전기의 작동 조건, 발전량 등 비 음향학적인 변수들을 중

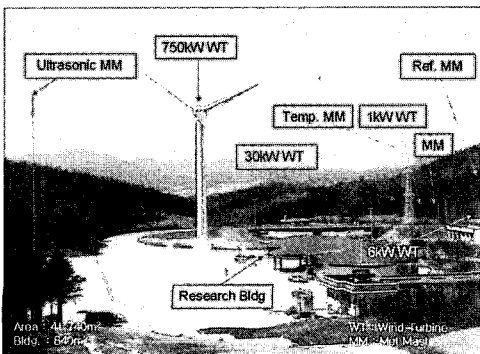


Fig. 1 View of the test site

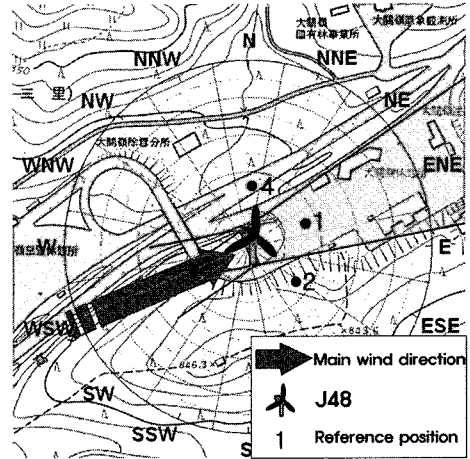


Fig. 2 Topographical map of the test site

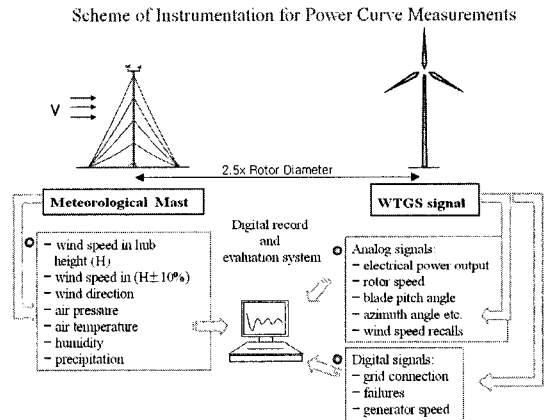


Fig. 3 Integrated remote monitoring system

Table 1 Specification of 750kW W/T

Model	J48(JEUMONT)
Rotor shaft	Horizontal
Hub height	46 m
Rotor diameter	48.2 m
Number of blades	3
Operation speed	8-26.5 rpm
Rated wind speed	14 m/s
Cut-in wind speed	4 m/s
Cut-out wind speed	25 m/s
Survival wind speed	59.5 m/s During 5 seconds
Power control system	Stall
Rotor-generator Coupling	Direct-gearless
Weights	Rotor with blades : 9000 kg Nacelle : 30000 kg Tower : 40000 kg

합적으로 모니터링 하기 위하여 Fig. 3의 종합 원격모니터링 시스템이 단지 내에 구축되었다.^(10~12) 지상 10 m 및 허브 높이에서의 풍속, 풍향 등의 데이터를 측정하기 위하여 기상 계측 타워(meteorological mast)가 설치되었고, 출력, 로터 회전속도 등 발전기 데이터도 종합적으로 수집되었다. 높이에 따른 풍속 보정은 IEC 61400-11에 따라 가능하다.^(7,13) 각종 센서로부터의 풍향 및 발전기 신호는 시스템 기본 제어장치인 NI8176(national Instrument)에 의하여 처리된다. 소프트웨어로는 LabVIEW를 사용하여 데이터 취득 시스템을 제어하고, 인터넷을 통하여 춘천의 풍력발전시스템 연구센터에서 원격 모니터링 할 수 있도록 구성되어 있다.

3. 소음 실증 방법

3.1 IEC 61400-11

이 기준의 목적은 풍력발전기 방출 소음의 측정 및 분석에서 일관성과 정확성을 보장하는 통일된 방법을 제공하는 데에 있다. 이 기준에서는 음향 측정 위치, 취득하여야 할 음향 인자, 기상 인자 및 발전기 작업 데이터, 그리고 취득한 데이터의 분석 방법 및 보고 내용을 규정한다.⁽⁷⁾

3.2 측정 위치

IEC 61400-11은 Fig. 4에서와 같이 4개 측정점을 지정한다. 타워 중심으로부터 측정점까지의 기준 거리는 다음과 같이 규정된다.

$$R_o = H + \frac{D}{2} \quad (1)$$

$$R_1 = \sqrt{R_o^2 + H^2} \quad (2)$$

연구 대상 발전기에서 $H=46\text{ m}$, $D=48\text{ m}$ 이므로, $R_o=70\text{ m}$, $R_1=83.8\text{ m}$ 가 된다. 그 결과 Fig. 2에서 표시된 바와 같이, 타워를 중심으로 반경 70 m의 원 주상에 4개 지점이 결정된다. 1번 지점은 기준점으로 가장 필수적인 측정점이고 다른 3개 지점은 지향성 평가를 위한 선택적 측정점이다.

3.3 측정 및 분석

기준 위치에서 1분 이상의 A-가중된 등가연속음압레벨을 지표면 10 m 높이에서의 풍속 6, 7, 8, 9, 10 m/s 하에서 각각 측정한다. 그 결과는 발전기 정지 상태

에서 동일한 풍속 하에서 측정된 압 소음으로 보정된다. 측정은 각 풍속 하에서 30회 이상 수행한다. 또한 각각의 풍속 하에서 1분 이상의 신호에 대한 1/3 옥타브 스펙트럼을 3개 이상 취하여 평균한다. 협대역 분석을 위해서는 매 풍속 당 2분 이상의 발전기 소음 및 압 소음을 취득한다. 마이크로폰은 Fig. 5에서와 같이 직경 1.0 m 이상, 두께 12 mm 목재 원판상에 설치하여 지면에서 소음레벨을 측정한다. 이는 측정 시 음 반사 조건의 일관성을 보장하기 위함이다. 측정을 위하여 휴대용 신호분석기(symponie, 01dB)를 사용하였으며, 측정된 소음 데이터로부터 다음의 거리감쇠 식을 사용하여 음향 파워레벨을 구한다.

$$L_{WA} = L_{Aeq,c} - 6 + 10 \log \left[\frac{4\pi R_1^2}{S_o} \right] \quad (3)$$

여기서, $L_{Aeq,c}$ 는 압소음 보정된 A 가중 등가연속음압레벨이고, S_o 는 기준 면적으로 1 m^2 를 사용한다. 이러한 소음레벨은 측정 지점에 따라 차이가 있으며,

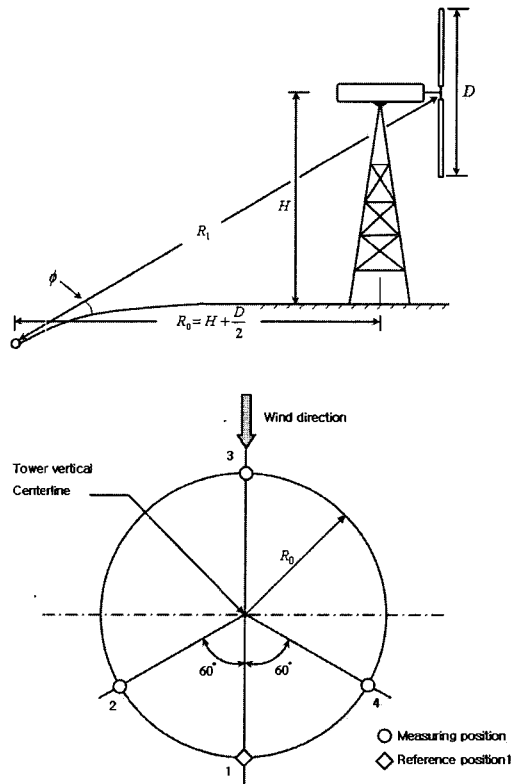


Fig. 4 Measurement positions⁽⁷⁾

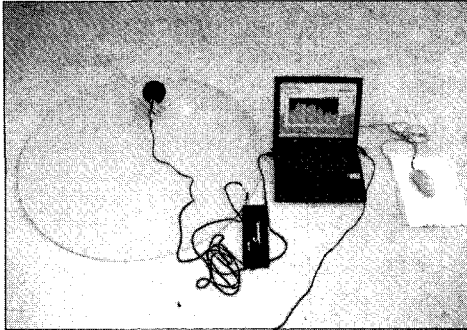


Fig. 5 Measurement devices

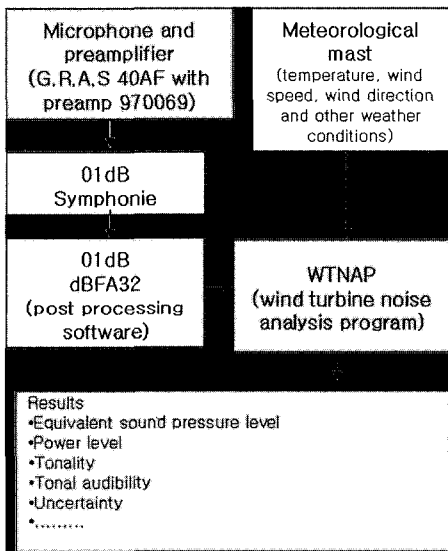


Fig. 6 Monitoring and analysis system for wind turbine noise

소음 출력의 방향성(directionality)을 평가할 수 있다. 필수적으로 보고되는 또 다른 음향인자로 음색(tonality)이 있다. 전술한 풍속 하에서 2분간의 신호를 취한 후, 10초씩 12개 구간으로 나누고, 각각의 협대역 스펙트럼을 사용하는데 그 구체적인 산정 과정은 결과 분석에서 기술한다.

Fig. 6은 마이크로폰으로부터 측정된 소음레벨과 스펙트럼의 음향 데이터, 그리고 풍속, 풍향 등의 비음향 데이터를 입력받아 전술한 성능평가 인자들을 결정하는 과정을 보인다. 음향 및 비음향 데이터를 입력받아 평가 인자의 반복 연산을 손쉽게 하도록 MatLab기반의 후처리프로그램 WTNAP(wind turbine noise analysis program)을 작성하였다.

4. 소음 실증 결과

4.1 파워레벨 및 지향성

Fig. 7은 기준 위치에서의 A 가중 등가연속 소음레벨을 사용하여 산출한 음향파워레벨을 보인다. 파워레벨 평가를 위하여 기준 위치에서 측정된 소음레벨은 풍속 6 m/s~10 m/s에서 50 dB(A)~65 dB(A) 범위이고, 암소음은 풍속 10 m/s에서도 이보다 훨씬 낮은 40 dB(A) 아래로 측정되어 암소음 보정은 별 의미가 없었다. 식 (3)을 사용하여 산정한 파워레벨은 Fig. 7에서와 같이 96 dB(A)~107 dB(A) 범위이다. 이 실증 모델의 경우, 풍속 8 m/s 이후에는 거의 비슷한 파워레벨을 보인다. 풍력발전기의 파워레벨에는 날개, 허브 및 타워 등 발전기의 구조뿐만 아니라 풍황, 주변 지형, 장애물 효과가 복합적으로 작용한다. 그 결과 현실적인 예측 모델을 구하기가 매우 어려운데, Lawson, Hau, Hagg 등은 개략적인 예측을 위하여 정격 속도하에서 단순 평가 모델을 제시한 바 있다.⁽⁵⁾ 파워레벨 측정치와 평가 모델에 의한 예측치와 비교해 본다.

$$\text{Lawson 식} : L_{WA} = 10 \log_{10} P_{WT} + 50 \quad (4)$$

여기서, L_{WA} 는 A가중된 파워레벨이며 P_{WT} 는 풍력발전기의 정격 출력이다.

$$\text{Hau 식} : L_{WA} = 22 \log_{10} D + 72 \quad (5)$$

여기서, D 는 대상 풍력발전기 로터의 지름이다.

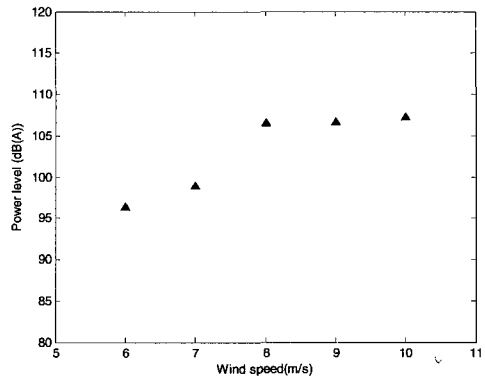


Fig. 7 Power levels vs. wind speed

$$\text{Hagg 식} : L_{wa} = 50 \log_{10} V_{tip} + 10 \log_{10} D - 4 \quad (6)$$

여기서, V_{tip} 은 날개 끝의 회전 속도로, J48모델의 정격 회전속도(22 rpm)에서 55.3 m/s이다. 각 평가 모델을 사용하여 평가한 결과를 Table 2에 보인다. 다른 예측치에 비해서 Hagg의 예측치와는 큰 차이를 보인다. 이러한 차이는 발전기의 크기와 구조에 따라 다르며, 시제품에 대한 소음 실증이 필요한 이유가 된다.

Table 3은 주풍 방향 하에서 위치별로 식 (3)을 사용하여 산정한 음향파위레벨이다. 발전기를 중심으로 순풍 및 역풍 방향에 위치한 1,3번 지점은 비슷한 소음레벨을 보이고 그 결과 파위레벨도 비슷하게 산정된다. 이러한 경향은 다른 연구에서도 유사하게 보

Table 2 Measured and predicted power levels

	Measured	Lowson	Hau	Hagg
Power level (dB(A))	107.2	108.8	109.0	100.0

Table 3 Power levels estimated at four positions

Wind speed (m/s)	Wind direction	Power level dB(A)			
		1	2	3	4
6	ws	96.3	-	95.5	99.5
7	ws	98.9	-	96.9	-
8	ws	106.5	-	106.5	100.2
9	ws	106.6	106.5	-	106.6
10	ws	107.2	107.1	107.7	105.2

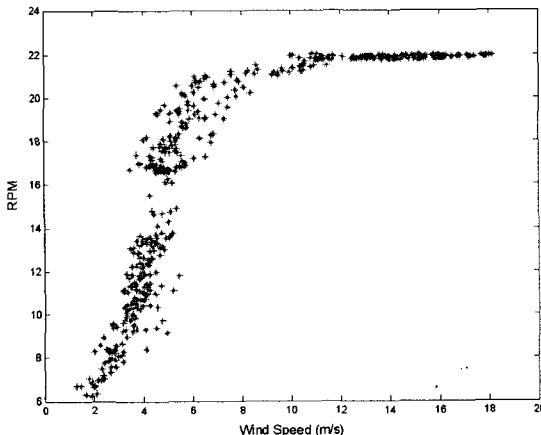


Fig. 8 Wind speed vs. rotor speed

고되고 있다.⁽¹⁴⁾ 횡방향 2,4번 지점의 소음레벨은 1,3번 지점보다 다소 낮게 나오는 것이 보통이나, 이 연구에서는 별 차이가 보이지 않는다. 이는 2번 위치 가까이 언덕이 있고, 4번 지점 주변에는 실험동 건물이 위치하는 실증단지 조건이 소음을 다소 증가시키는 효과를 준 것으로 보인다.

4.2 풍향 검토

풍력발전기의 소음은 풍향 및 발전기 작업조건과 연계시켜 고려하는 것이 필요하다. 풍향 분석을 위하여 2002.11~2004.10 2년간에 걸쳐 모니터링 작업이 수행되었다⁽⁹⁾. 그 결과 실증단지의 풍향은 Fig. 2에서 표시된 바와 같이 WSW 방향이 50%이상의 빈도를 보이는 것으로 나타났다. 측정 위치는 측정 당일의 풍향을 고려하여 결정되는데, 이 단지의 경우 주풍 방향이 수시로 바뀌지는 않으므로, 측정위치를 자주 이동시켜야하는 불편함은 자주 발생하지 않았다. Fig. 8은 풍속과 로터 속도를 모니터링 한 결과이다. 8 m/s 이후 로터 속도는 거의 일정한데, 이 범위에서는 소음출력도 Fig. 7에서와 같이 거의 일정하게 나타난다.

4.3 음색 특성

Fig. 9는 6 m/s의 풍속 하에서 구한 1/3옥타브 및 협대역 스펙트럼을 보인다. 저주파수, 중간 및 고주파수의 전 대역에 걸쳐 소음이 발생된다. 음색분석을 위하여 구한 협대역 스펙트럼 (b)에서 75 Hz와 3100 Hz의 성분이 음색 분석 대상 후보 피크(possible tones)로 확인되었다. 이 두 성분은 7 m/s에서도 비슷한 크기로 발생되었으나, 8 m/s 이상에서는 10 dB 이상 감소하는 것으로 확인되었다.

IEC 기준에 규정된 방식에 따라 다음과 같이 음색 분석을 수행하였다. Fig. 10은 음색 분석을 위한 주파수 스펙트럼이다. 가는 실선은 스펙트럼 에너지 평균의 70%값이며, 이보다 6 dB 높은 점선 아래를 매스킹(masking)부로 구분한다. 굵은 선은 가장 높은 값으로부터 10 dB 아래이며, 이보다 높은 부분을 톤으로 구분한다. 톤으로 결정된 부분의 합을 톤 레벨($L_{pt,i}$), 매스킹 부분의 합을 매스킹 레벨($L_{pm,i}$)로 구한 후, 다음과 같이 그 차이인 음색치($\Delta L_{tn,i}$)를 구한다.⁽⁷⁾

$$\Delta L_{tn,i} = L_{pt,i} - L_{pm,i} \quad (j=1, \dots, 12) \quad (7)$$

$j=1\sim 12$ 의 스펙트럼에 대하여 평균하면 각 풍속에서의 평균 음색치 ΔL_m 을 구할 수 있다. 또한, 다음과 같이 주파수 가중하여 음색 청음도(tonal audibility)를 구한다.

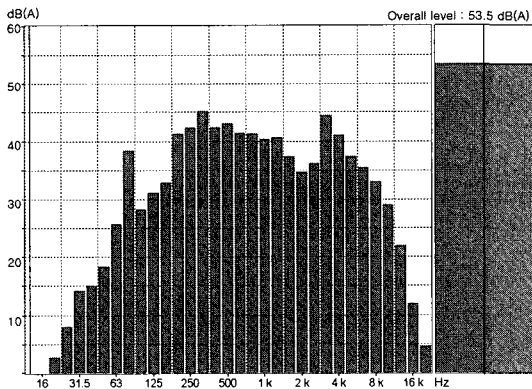
$$\Delta L_a = \Delta L_m + \log\left[1 + \left(\frac{f}{502}\right)^{2.5}\right] + 2 \quad (8)$$

IEC 기준에 따르면 음색 청음도가 -3.0 dB보다 크게 나오는 경우, 반드시 그 값을 보고하게 되어 있다. Table 4는 기준위치에서의 음색 분석 결과를 보인다. 풍속 6 m/s에서 75 Hz, 3100 Hz 피크가 뚜렷하게 관찰 되었으며, 청음도는 모두 7이상으로, 기준치를 훨씬 상회한다. 3100 Hz의 기계음은 감각적으로도 매우 불쾌하게 감지되었고, 풍속 7 m/s에서도 기준치 이상의 청음도를 보였다. 저속에서 뚜렷했던 피크음은 작업속도가 증가하면서 광대역 음에 비해 상

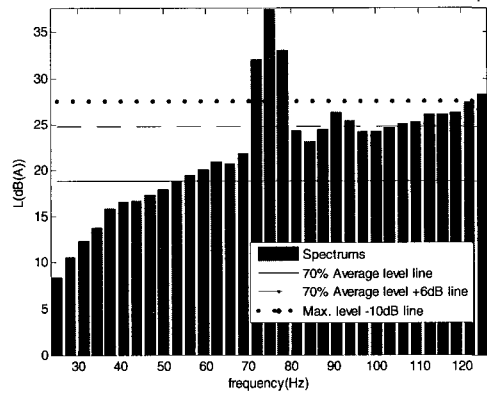
대적으로 약해져 8 m/s 이상에서는 청음도 산출이 어려워졌다.

4.4 문제점 검토

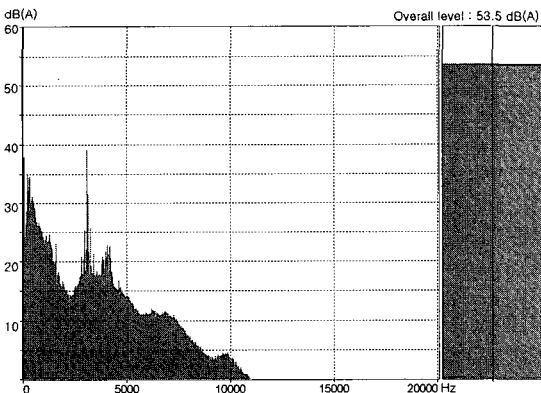
소음 실증 과정에서는 여러 가지 현실적인 어려움이 있다. 소음 측정을 풍향 모니터링에 통합시켜 전체 데이터의 취득을 원격 제어하는 것은 매우 어렵다. 실증 단지 주변을 지나는 자동차, 항공기의 통행과 관광객 등, 소음원의 발생 상황이 수시로 변하고, 측정 장비의 보호 문제도 있기 때문이다. 또한, 풍향에 따라 회전하는 발전기의 축 방향을 감시하여 측정 위치를 이동시킬 필요성도 발생한다. 이 연구 단지의 경우, 주풍 방향이 측정 당일 자주 바뀌는 문제는 없었으나, 풍향의 변화가 잦은 지역에서는 측정에 어려움을 줄 수도 있다. 이러한 현실을 감안할 때, 완전 통합 모니터링시스템보다는 측정자가 상황을 보면



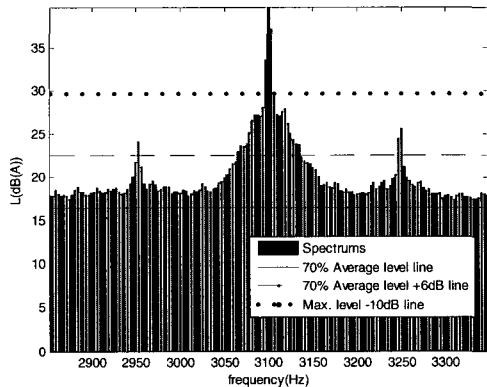
(a) 1/3 octave band



(a) 75 Hz tone



(b) Narrow band



(b) 3100 Hz tone

Fig. 9 1/3 octave band and narrow band spectrums at wind speed of 6 m/s

Fig. 10 Tonality analysis at the wind speed of 6 m/s

서 음향 데이터와 비 음향 데이터를 선택적으로 취득할 수 있는 간이 자동화 시스템의 구축이 현실적으로 보인다. 즉, 풍황 및 발전기 상태는 원격 모니터링하고 소음은 별도로 측정된 후, 시점을 맞추어 데이터를 취득하는 후처리 과정이 필요하다. 발전기의 소음 특성 관련해서, 주관적 평가에서 가장 거슬리는 성분은 3100 Hz 성분이었다. 이 성분은 Fig. 11에서와 같이 타워 내부에서 특히 크게 발생된다. 3100 Hz를 정점으로 많은 조화 성분들이 내부 장치로부터 발생되어 허브를 통하여 외부로 방사된다. 근거리에 주민이 거주한다면 심각한 민원 문제가 야기될 수도 있을 것이다. 또한, 풍속 8m/s 이상에서는 소음 출력이 별로 증가하지 않으며, 예상과 달리 지향성도 매우 약한 특성을 보인다. 이러한 소음 특성의 원인 규명이 실증 연구에서 다루기에는 한계가 있다. 시험 모델의 작업 상태를 진단하는데 필요한 기술 데이터도 필요하며, 앞으로 날개 공력 소음 해석 등 충분한 실험 및 이론적 연구도 뒷받침 되어야 할 것이다. 향후 개발 되는 동급의 국산 풍력발전기에서도 이러한 음향 출력 특성이 나오는지 주시할 필요가 있으며, 개발단계에서의 원인 규명과 대책이 따라야 할 것이다.

5. 결론 및 토론

대관령 풍력실증연구단지의 750 kW급 풍력발전기 (J48)의 소음실증 연구를 수행하였다. 실증은 IEC 61400-11에 따라 풍속 6 m/s~10 m/s 범위에서 수행되었다. 풍속 8 m/s 이상에서는 로터의 작업 속도가 22 rpm 정도로 일정하게 유지되었으며, 음향 파워 레벨도 106 dB(A) 정도로 일정하게 나왔다. 4개 지점 중 순풍 및 역풍 방향에서의 소음레벨은 비슷한 것으로 나타났다. 음색분석 결과 75 Hz의 저주파 소음과 3100 Hz의 기계적 소음성분이 6 m/s 및 7 m/s의 풍속에서 IEC 기준 청음도 7 이상으로, 국제 기준치를 훨씬 상회하는 지배적 성분으로 확인되었다. 이러한 실증 데이터는 소음의 원인 규명 및 대책 마련의 기초 자료로 활용될 수 있다. 구축된 통합 모니터링 시스템은 향후 국산 제품의 소음 실증 비용을 절감하고 실증 기간을 단축시키고 국산 제품의 기술 보안 측면에서 기여할 것으로 기대된다.

후 기

이 연구는 산업자원부 지원 '750kW급 풍력발전기 실증연구' 및 유니슨(주) 위탁 '750kW 풍력발전기의 전력 품질 및 소음실증 연구' 과제의 일환으로 수행되었다. 풍황 및 발전기 모니터링을 지원한 강원대학교 풍력발전시스템 연구센터에 감사드린다.

Table 4 Result of tonality analysis

Wind speed(m/s)	6		7	
Tone (Hz)	75	3100	75	3100
Tonality (dB)	5.7	3.2	-	1.7
Tonal audibility (dB)	7.7	7.2	-	5.7

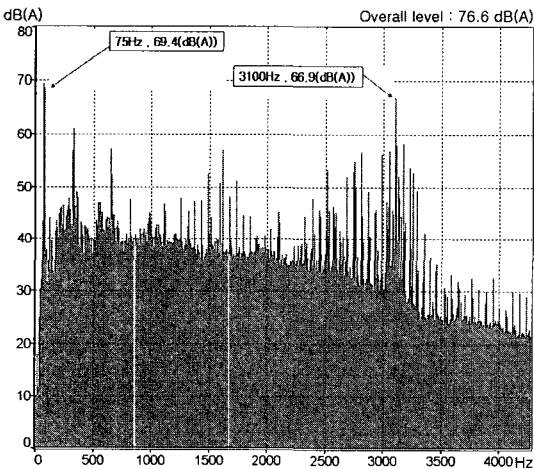


Fig. 11 Power spectrum in the tower at the wind speed of 6 m/s

참 고 문 헌

- (1) Wind Force 12, European Wind Energy Association and Green Peace.
- (2) Kangwon-do, 2001, "Feasibility Study on the Construction of Wind Power Plant in Kangwon area", Kangwon-do Government Report.
- (3) Kim, G. H., Joo, Y. C., Lee, D. H. and Yoo, S. D., 2002, "Considerations on the Performance Test Result of Jeju Haengwon Wind Power Plant", www.etis.net.
- (4) UNISON Ltd., www.unison.co.kr
- (5) Wanger, S., Bareiß, R. and Guidati, G., 1996, Wind Turbine Noise, Springer Verlag.
- (6) Spera, D. A., 1994, Wind Turbine Technology,

ASME Press.

(7) IEC 61400-11 ed.2, 2002, Wind Turbine Generator Systems-Part 11 : Acoustic Noise Measurement Techniques, International Electro Technical Commission.

(8) WINDTEST, www.windtest.de

(9) Yoo, N. S., "Field Test and Evaluation of 750kW Wind Turbine", MOCIE Research Report 2001-N-WD11-P-11, 2004.

(10) Kim, S. H. and etl., 2005, "Wind Power Technology Development, Transfer and Commercialisation, along with Construction of a Wind Turbine Test Site in Korea", International Journal of Technology Transfer and Commercialisation Vol. 4, No. 3, pp. 360~385.

(11) Nam, Y. S., Kim, H. G., Yoo, N. S. and

Lee, J. W., 2003, "Development of a Wind Turbine Monitoring System Using LabVIEW", Journal of KSPME, Vol. 20, No. 5, pp. 92~97.

(12) Kim, S. H., Nam, Y. S. and Eun, S. Y., 2004, "Vibration Characteristics of the Tower Structure of a 750 kW Wind Turbine Generator", Transactions of Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 15, No. 2, pp. 219~224.

(13) Yoo, N. S., Nam, Y. S. and Lee, J. W., 2005, 'A Study on the Methods of Wind Turbine Test Site Calibration' Proceedings of WWEA Conference, Melbourne, pp. 51~pp. 57.

(14) Shepherd, K. P. and Hubbard, H. H., 1989, Noise Radiation Characteristics of the Westing House WWG-600(600 kW) Wind Turbine Generator, NASA TM-101576, pp. 1~32.