



풍력터빈과 부품의 시험기술

Test Technology for Wind Turbines and Their Components

- 황 병 선 / 한국기계연구원 풍력핵심기술연구센터, hbs@kims.re.kr
- 이 희 원 / 한국기계연구원 풍력핵심기술연구센터
- 이 근 호 / 한국기계연구원 풍력핵심기술연구센터
- 조 한 욱 / 한국기계연구원 풍력핵심기술연구센터

풍력발전에 사용되는 풍력터빈의 개발에서 주요 핵심 부품의 시험과 풍력터빈시스템의 성능을 평가하기 위한 시험의 종류와 설비와 시험방법과 기술 등에 대하여 소개하고자 한다.

요약

지난 20년간 급속한 발전을 통하여 회전 블레이드의 직경이 126 m, 나셀까지의 높이가 약 130 m에 이르는 6,000 kW의 용량을 가지는 풍력발전기가 개발되었다. 세계적으로 풍력발전의 필요성과 중요성이 인식되어 2008년 현재 약 120,000 MW의 설치 용량을 기록하고 있다. 풍력터빈(wind turbine)과 그 부품의 기계적인 성능평가의 종류와 방법은 많은 사람들의 관심인 것으로 판단한다. 우선 풍력터빈을 구성하는 주요 핵심부품은 블레이드, 증속장치, 발전기 등이며, 세부 구성 부품으로 허브, 핏치와 요베어링, 주축베어링, 타워 등이 있다. 주요 핵심 부품인 블레이드, 증속기, 발전기 등의 성능평가가 중요한 이슈이다. 또한 모든 구성품을 조립하여 초기의 설계사양에 따라서 제조되고 최종성능이 발휘되는지 여부를 현장시험을 통하여 성능평가과정을 거치게 되는데 이 과정은 풍력터빈의 성능평가라고 하며 주요 평가대상은 출력성능(power performance), 소음(noise), 하중(load), 전력품질(power quality) 등 4가지 항목을 집중적으로 측정하여 개발된 풍력터빈의 전반적인 성능을 평가하게 된다. 본 투고에서는 핵심부품인 블레이드, 증속기, 발전기에 대한 시험기술과 풍력터빈의 성능평가 항목인 4개 측정 항목에 대하여 기술하였다.

서론

풍력터빈은 바람의 운동에너지를 기계적 변환과정을 거쳐서 전기에너지로 바꾸는 장치이다. 지난 20년간 급속한 발전을 통하여 회전 블레이드의 직경이 126 m, 나셀까지의 높이가 약 130 m에 이르는 6,000 kW의 용량을 가지는 풍력발전기가 개발되었다. 세계적으로 풍력발전의 필요성과 중요성이 인식되어 2008년 현재 약 120,000 MW의 설치 용량을 기록하고 있고, 지속적으로 증가할 것으로 보인다¹⁾.

대형기계는 복잡한 구조와 복잡한 성능 평가과정 등이 사용자가 직접 성능을 검증하기는 불가능하다. 따라서 선박과 항공기와 같이 제3자가 성능을 검증하는 인증(certification)절차를 도입하고 있고, 인증을 받기 위하여 절차에 따라 부품과 완제품의 성능평가를 수행한다.

본 투고에서 독자들의 관심은 풍력터빈과 그 부품의 기계적인 성능평가의 종류와 방법에 있는 것으로 판단한다. 우선 풍력터빈을 구성하는 주요 핵심부품은 블레이드(blade), 증속장치(gearbox), 발전기(generator) 등이며, 세부 구성 부품으로 허브(hub), 핏치(pitch)와 요베어링(yaw bearing), 주축베어링(main bearing), 타워(tower) 등이 있다. 주요 핵심 부품인 블레이드, 증속기, 발전기 등은 IEC(International Electrotechnical Commission)규정에서 시험방법 등을 규정하고 있어, 성능평가기관에서 이에 따라서 시험을 수행해야 인증서를 받을 수 있다. 또한 모든 구성품을 조립하여 초기의 설계사양에 따라서 제조되고 최종성능이 발휘되

는지 여부를 현장시험을 통하여 성능평가과정을 거치게 되는데 이 과정은 풍력터빈의 성능평가라고 하며 주요 평가대상은 출력성능(power performance), 소음(noise), 하중(load), 전력품질(power quality) 등 4가지 항목을 집중적으로 측정하여 개발된 풍력터빈의 전반적인 성능을 평가하게 된다.

본 투고에서는 주요핵심 부품의 성능평가와 풍력터빈의 4가지 성능평가를 위한 목적, 소요장비와 시험방법 등에 대하여 집중적으로 설명하고자 한다.

블레이드(blade) 시험

풍력터빈의 주요핵심 부품인 블레이드 시험의 목적은 블레이드 설계를 검증하고 성능을 향상시키기 위하여 수행하는데, 현장에서의 실증시험은 극한설계 하중조건을 만족하기 어렵기 때문에 설계 적합성을 미리 확인할 방법이 없다. 따라서 규격에 의거하여 정적 및 동적 하중시험을 거쳐서 제품의 신뢰성을 부여한다. 또한 시험을 통하여 얻어진 시험결과를 이용하여 블레이드의 구조적 특성을 분석하고 제조 공정에 반복적으로 반영하여 소재의 절감과 공정의 향상을 통하여 부품 및 시스템의 가격 경쟁력을 높일 수 있다.

정적 및 피로하중 시험은 아주 복잡한 시험설비를 수반하는 시험이다. 이러한 시험을 수행하는 이유는 시험을 거치지 않을 경우 설계는 안전율을 3~5 정도를 부여하는 매우 보수적인 설계가 된다.

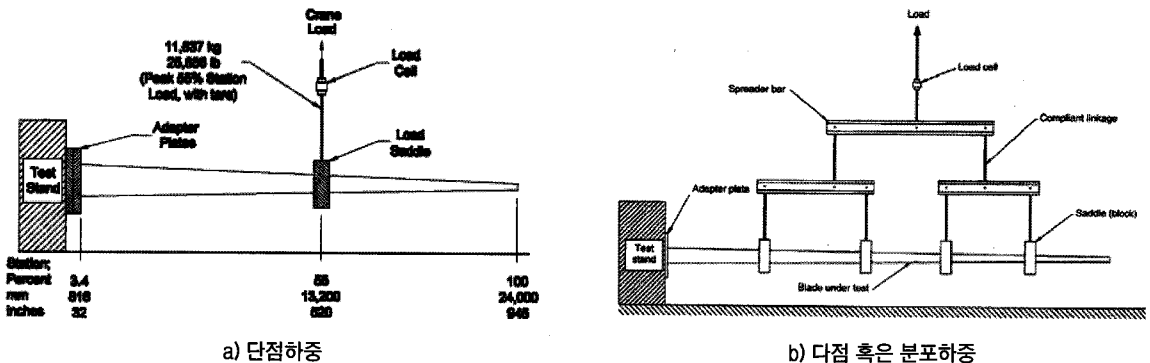
이에 따라서 최대의 성능을 가지는 최적화된 구조물을 만들 수 없고, 소재의 절약 등이 이루어지지 않는다^[2].

가장 많이 적용하고 있는 규정은 독일의 GL 규정^[3]과 IEC WT 01^[4]인데 IEC WT 01은 IEC 61400-1^[5] 시리즈를 참조하고 특히 블레이드 시험의 경우 IEC TS 61400-23^[6]과 IEC TR 61400-24^[7] 등에 따라 수행한다. 덴마크의 경우 독자적인 규정과 Danish Standard DS 472^[8]에 따라 시스템의 안전을 위한 하중해석 등에 대한 요구사항을 표준화하고 있다.

블레이드 정하중 시험설비와 시험

하중적용 방법 블레이드 정하중시험은 블레이드의 강도와 강성이 요구되는 설계하중을 충분히 감당할 수 있음을 입증하는 것으로써 블레이드 주요 부재의 하중 경로에 스트레인 게이지를 부착하여 정적인 하중을 가하여, 최대변위(displacement 혹은 deflection)와 극한강도(ultimate strength and strain)를 측정하고 좌굴안정성(buckling stability) 등을 검증한다. 하중을 부가하는 방식 중 하중점의 개수에 따라 단점하중(단일점하중), 다점하중(다중점하중)으로 구분되며, 하중장치의 종류에 따라 오버헤드크레인, 액츄에이터(actuator), 사하중(dead weight or blast weight), 윈치(winch) 등이 있고, 블레이드의 부위별로 분포된 하중을 가하기 위해서는 휘플트리(whiffle tree), 로커암과 레버, 풀리와 케이블 방식 등으로 구분 된다.

단점하중은 단일 액츄에이터(actuator)나 하중원



[그림 1] a) 단점하중과 b) 다점 혹은 분포하중 적용을 위한 휘플트리의 예시



(source)을 사용하여 하중을 단순화한다. 그림 1은 단점하중을 가해 정하중시험을 하는 것으로써 시험방식이 단순하고 시험시간이 빠르지만 전단하중이 높고 블레이드 전체의 극한하중을 알기 위해서는 여러 하중 점에 대해 반복적으로 시험을 수행해야 한다.

다점하중은 휘플트리, 윈치, 샌드백과 같은 시험장치를 사용하여 여러 하중 점에 하중을 가해 시험을 수행하는 방식이다. 이 중에서 윈치(winch system) 방식은 그림 2와 같이 윈치와 이를 고정시키는 고정틀(holding jig 혹은 saddle)로 구성되어 하중부가시스템을 이룬다. 윈치의 개수는 블레이드의 길이, 요구조건에 따라 자유롭게 조절할 수 있고, 각각의 윈치를 독립적으로 조작할 수 있기 때문에 블레이드가 필요로 하는 하중분포를 정확하게 구현할 수 있고, 블레이드의 변형이 커지는 경우에도 하중을 방향을 유지할 수 있다. 하지만 그림 3은 다소 불안정하기는 하지만 winch와 같은 완벽한 시험설비가 갖춰지지 않은 상태에서 간이적으로 사용할 수 있는 방법이다.

정하중시험 방법은 블레이드 고정장치(blade test stand)에 블레이드 root부분을 고정시키고, 각 블레이드 하중을 가할 지점에 고정치구(saddle)를 부착한다. 다음으로 와이어(wire)를 고정치구에 연결하여 당기면 된다. 최대 시험하중의 각 40%,

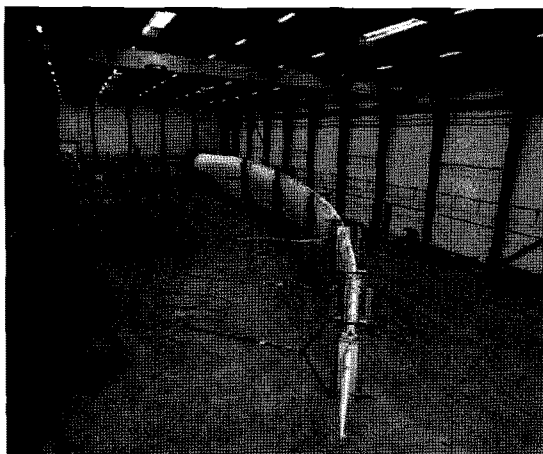
60%, 80%, 100% 하중을 사용하며 40% 하중의 시험이 종료되면 다음 레벨로 넘어가며 시험이 진행되며 마지막 최대하중 시험이 완료되면 정적시험은 종료된다.

블레이드 피로시험 설비와 시험

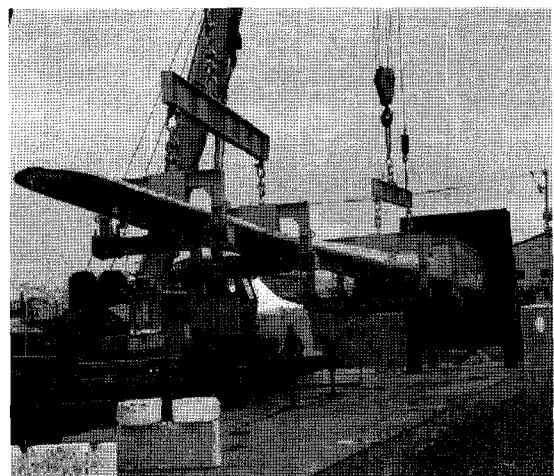
진동시험(modal test) 피로하중 시험은 설계수명 동안의 반복 하중에 대해 블레이드가 충분한 강도와 강성을 유지할 수 있음을 입증하기 위해 블레이드에 주기적인 반복하중을 가하면서 블레이드의 손상 여부와 변형량의 증가 여부 등을 측정한다.

피로시험은 블레이드의 고유진동수를 측정하기 위한 진동시험과 연속 작동하중을 모사한 피로시험(fatigue test)으로 나뉜다. 그리고 피로시험에는 축에 따라 단축하중과 다축하중으로 구분된다. 단축하중은 단일 액츄에이터(actuator)나 하중 원(source)을 사용하여 하중을 단순화하지만 하중방향을 변화시킬 수 없다. 피로하중 성분을 분리하여 가하거나 조합된 하중을 가하여 하나의 합성하중을 가할 수 있다. 분리하여 하중성분을 가하면 두 시험을 수행하여야 한다. 그러나 주 분리된 시험으로 다축 하중과 같이 하중을 동시에 가하는 경우와 같은 피로손상을 가져오지는 못한다.

피로하중의 방향 피로하중을 가하는 방법은 단일 점 혹은 다중점을 이용하는 방법이 있고 굽힘하중



[그림 2] 윈치(winch) 방식을 이용한 블레이드의 정하중시험(출처: LM glassfiber)



[그림 3] (주)KM사 2 MW급 블레이드 정하중시험

도 단축과 2축 이상으로 가할 수 있다⁹⁾. 다축 하중에서 플랩(flap)과 리드-래그(lead-sag) 혹은 에지(edge)굽힘과 같은 피로하중 성분은 분리된 하중 장치를 사용하여 독립적으로 가해진다. 하지만 하중 성분 간의 위상 관계를 시험이 진행되는 동안 알아야 하고, 제어해야 하는 점을 알아두어야 한다.

피로시험 하중부가장치로는 액츄에이터, 가진장치(exciter) 등이 있다. 그림 4는 가진장치를 사용하여 flap방향으로의 단축하중 피로시험을 수행하는 것을 보여준다.

피로하중의 적용방법 하중을 적용하는 방법에는 일정 진폭하중, 블록하중, 변동하중 등의 방법이 있으나 자세한 언급은 피하고 단축 및 다축하중을 적용하는 방법에 대하여 논한다. 단축하중을 적용하는 방안은 액츄에이터를 이용한 forced displacement 시험법과 공진하중(linear resonant force)를 가하는 방법이 있다. 단축방향의 경우는 비교적 간단하나



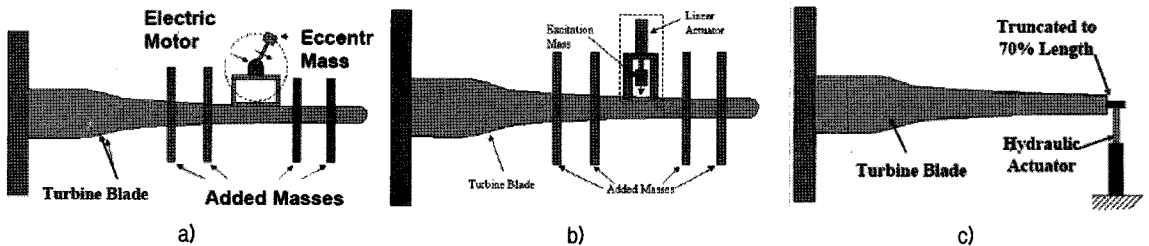
[그림 4] 가진장치(RISO, 덴마크)를 이용한 단일축 방향(flapwise) 피로시험

2축 이상의 경우 액츄에이터와 가진기(resonant exciter)를 적절히 조합하여 하중을 가하는 방법도 있다. 그림 5는 가진기와 액츄에이터에 의한 하중을 가하는 방법에 대한 도식을 나타내고 있다. Resonant exciter의 경우 모터와 편심추를 설치하는 방법(a)과 유압을 이용하는 방법(b)이 있다. 2축의 경우에는 NWTC(National Wind Technology Center, 미국)-NREL(National Renewable Energy Laboratory)에서 적용하는 방법인데 액츄에이터만을 활용하는 방법과 가진기와 조합하는 경우가 있고, WMC(Wind turbine Materials and Construction, Netherlands)에서는 지그에 액츄에이터를 부착하여 가진장치를 구성하는데 조립된 지그에 팔이 긴 액츄에이터를 부착하여 플랩(flap)방향을 직접 가진시키고 에지(edge)방향은 시소와 같은 장치를 구성하여 가진시키는 독특한 방식을 사용하고 있다.

단축하중 시험방식은 가진장비의 가격이 비교적 싸고, 블레이드 전체에 대해 시험을 수행할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 플랩(flap)방향과 리드-래그(lead-lag)방향 동시에 시험을 수행할 수 없는 단점을 가지고 있다.

그에 반해 다축하중 시험방식은 유압 액츄에이터(hydraulic actuator)를 사용하여 강제로 가진시키기 때문에 보다 정확한 하중응답을 기대할 수 있다. 하지만 시험장비의 가격이 비싸고, 시험기간이 길어지며, 장비들의 에너지소비가 큰 점이 단점이다.

다축하중(dual-axis loading) 시험방식으로써 미국 NWTC의 bell crank system이 에지(edge)방향으로 가진시키는 역할을 한다. 플랩(flap)방향은



[그림 5] 단일방향 하중 적용을 위한 가진기와 액츄에이터의 구성방법



팔이 긴 액츄에이터를 사용하여 가진시키거나 소형의 액츄에이터를 mass로 사용하여 가진시킨다.

연속적인 작동하중을 모사하여 설계자가 블레이드 재료와 설계의 구조적인 상세 항목을 이해하기 위해서는 피로시험이 필수적이다. 연결부위, 접합부, 복합재 층간응력, 기하학적인 변화에 대한 것은 해석 모델로는 정확하게 예측하기는 어렵기 때문이다.

일반적으로 동하중 시험은 블레이드가 20년간 경험할 피로하중을 모사한다. 대개 5백만 사이클 정도의 시험을 수행하며 5 ~ 6개월의 기간이 걸린다. 이후에 다시 정하중 시험을 수행하여 확인한다.

증속기(gearbox)의 시험평가 기술

시험평가의 목적은 설계에서 예측한 성능 특성을 시험을 통하여 입증하는 것이다. 증속기에 있어서 피로와 마모는 고장 원인 중에서 주요한 요소이다. 증속기는 기어를 비롯하여 여러 가지 부품이 조립되는 장치로서, 신뢰성을 확보하기 위해서는 각 부품에 대한 검사 및 시험평가가 이루어져야 한다. 또한, 조립된 증속기 자체에 대한 시험 및 평가와 최종적으로 풍력발전시스템에 조립된 전체 실체 운전시험을 통하여 증속기의 신뢰성을 평가해야 한다¹⁾.

시험장치

풍력 발전시스템용 증속기의 시험은 다이내모미터(dynamometer)에서 수행된다. 다이내모미터는 부하를 재현하는 방식에 따라 전기식, 유압식 및 기계식 등 여러 가지 방식이 있다. 표 1은 부하를 재현하는 방식에 따른 다이내모미터의 특징을 비교한 것이다. 전기식 다이내모미터는 높은 가격에도 불구하고 부하재현성의 정확성과 제어의 편리함에 따라 가장 일반적으로 사용되는 방식이며, 풍력발전시스템용 증속기의 시험용으로 가장 적절한 방식이다.

일반적으로 산업용 감속기나 변속기의 시험에서도 전기식 다이내모미터가 사용되는데, 풍력발전시스템용 증속기의 경우는 작동 특성인 입력 동력의 회전수가 낮고 높은 토크를 입력 모터에서 직접 구동하여 전달하는 것이 불가능하므로 입력축 다이내모미터에 감속용 증속기를 설치하여 풍력발전시스템용 증속기에 필요한 저속의 회전속도와 토크를 전달하여야 한다. 증속기 성능을 평가하는데 있어 기본이 되는 입력동력과 출력동력의 측정에서 풍력발전시스템용 증속기는 입력축에서 고 토크를 받게 됨으로 대부하 측정을 위한 측정기술 적용이 필요하다. 출력축의 동력측정에는 토크미터를 장착하여 직접 측정하거나, 출력축 다이내모미터로 사용되는 전기모터나 혹은 발전기의 동력을 측정함으로써 얻을 수 있다. 또한 풍력발전시스템

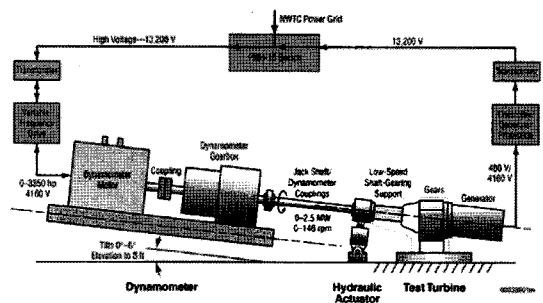
<표 1> Comparison of dynamometer type features

Features	Water Brake	Eddy Current	DC/AC	Back-to-Back	Hydraulic
Motoring Ability	No	No	Yes	Yes	Yes
Inertia	Low	Variable	High/Variable	Variable	Variable
Control Stability	Low	Good	Very Good / Excellent	Good	Very Good
Speed Capability	High	High	Moderate / High	Moderate	High
Power Line Regeneration	No	No	Yes	Yes	Yes
Control Response	Slow	Moderate	Fast/Fastest	Moderate	Fast
Cooling Requirements	High	High	Low	Low	Moderate
Electrical Requirements	None	Low	High	High	Low
Technology	Old	Old	Old / New	Old	Old
Power Range	High	High	Moderate	Moderate	Moderate
Price	20%	30%	100% / 120%	50%	70%

용 증속기는 풍력에 의한 부하의 순간 변위 등 풍력변동에 의한 영향이 매우 크므로 이 영향을 고려한 부하 재현 시험장치가 필요하다. 따라서 유압 액츄에이터나 전기식 크레인에 의하여 회전하는 입력 축에 횡하중 및 보조 부하를 부가하는 방식을 채택하고 있다. 그림 6은 미국 NREL의 다이노미터 시험장치의 개념도로서 3,350 HP급 입력축 다이노미터를 채택하여 100 kW에서 2 MW급 풍력발전시스템용 증속기를 포함한 파워트레인을 시험할 수 있는 시험 장비이다. 풍력발전시스템용 증속기의 입력회전수를 0에서 146 rpm으로 작동시키기 위하여 입력축 다이노미터측에 감속기를 채택하고 있으며 출력축 부하용으로는 풍력발전시스템의 발전기를 채택하여 발전된 전기 동력을 재사용하는 에너지 회생제어 시스템으로 구성되어 있다. 그리고 시험 장비를 6도까지 경사를 갖도록 하여 풍력발전시스템의 실작동 조건을 재현하도록 하였다. 또한, 바람의 변동에 의해 증속기에 전달되는 하중을 재현하기 위하여 증속기의 입력축에 유압실린더가 장착되어 있다.

시험방법

풍력발전시스템용 증속기의 시험은 증속기가 작동하는 조건과 사용수명 시간 등을 재현하여 확정하는 절차이다. 따라서 풍력발전시스템용 증속기에 가해지는 부하의 정확한 재현과 작동수명 시간에 따른 시험을 실시하여야 합리적인 평가 결과를 얻을 수 있다. 그림 7과 같이 부하재현을 위하여 증속기에 전달되는 시간별 부하를 측정하여 부하 프로파일을 얻는다. 이를 작용 응력별로 분류하여



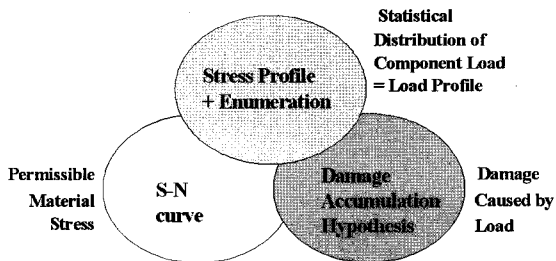
[그림 6] NREL의 증속기 시험 장비

부하 스펙트럼을 작성할 수 있다. 이때 응력별로 통계적 분류를 할 때 RFC(rain flow counting)나 LDD(load duration distribution) 방법을 적용한다. 그리고 증속기에 작용한 부하는 일정하게 누적된다는 누적손상이론과 재료의 허용가능 응력에 대한 S-N curve를 접목한 Miner's rule 해석을 통하여 등가부하 및 속도를 얻을 수 있고 이에 대한 결과로부터 강도설계를 기반으로 한 설계식 및 와이블 분포에 의한 통계적 수명 추정식을 적용하여 적절한 시험기간을 얻을 수 있다.

시험 하고자 하는 증속기의 총량적으로 가해지는 등가부하와 시험시간을 얻었다 하더라도 증속기의 개발을 위한 시험평가는 단순히 일정부하를 일정한 시간동안 시험함으로 수행될 수 없다. 증속기의 설계 시에 고려된 각 성능항목에 대하여 단시간의 성능확인 시험이 필요한 항목도 있으며, 전체 사용수명 동안 작동 후에 결과를 평가하여야 하는

<표 2> 풍력발전시스템용 증속기의 시험항목

NO.	Teating items
1	Run-in testing
2	Gearbox endurance testing
3	Functional testing
4	Transient load testing
5	Vibration testing
6	Turbulent wind simulation testing
7	Direct-drive(low speed) generator testing
8	High-speed generator testing
9	Acoustic emission testing



[그림 7] Calculation method of testing time and loads



경우도 있다. 또한 수명시험기간 동안 성능(효율, 진동, 온도 등)의 열화 정도를 지속적이고 주기적으로 확인하여 평가하는 것도 필요하다. 따라서 세부적인 시험항목과 각 성능에 대한 평가기준은 풍력발전시스템의 사용자와 증속기의 설계자 등이 국제평가 기준 등을 따라 합의하여 결정하여야 한다. 표 2는 풍력발전시스템용 증속기를 개발하는 경우 실시되는 시험항목에 대한 것이다. 일반적인 증속기의 시험항목과 다른 것은 풍력작동 환경을 고려한 transient load, turbulent wind simulation, direct-drive(low speed) generator 및 high-speed generator testing이 있다는 것이다.

발전기(generator)의 시험

시험항목과 목적

발전기의 개발과 함께 기본적인 성능을 측정하는 것 이외에, 발전기 권선의 제작 불량 여부를 확인하기 위하여 수행하는 절연저항 및 절연내력 시험이 있다. 권선수와 권선의 길이 및 기기의 형상에 따른 무부하 유효기전력을 검증하는 무부하 특성 시험을 수행한다. 유효기전력, 발전기 내부 임피던스 및 전류에 의한 단자 전압의 정상적인 발생 특성 확인(발전기의 출력 특성시험 해당)하기 위한 부하 특성시험이 있고, 발전기 출력전압의 THD와 각 차수별 고조파 함유량 측정을 위하여 수행 (발전기에 의한 출력전력 품질 시험에 해당)하는 전압 왜형을 측정시험이 대표적이다.

시험방법

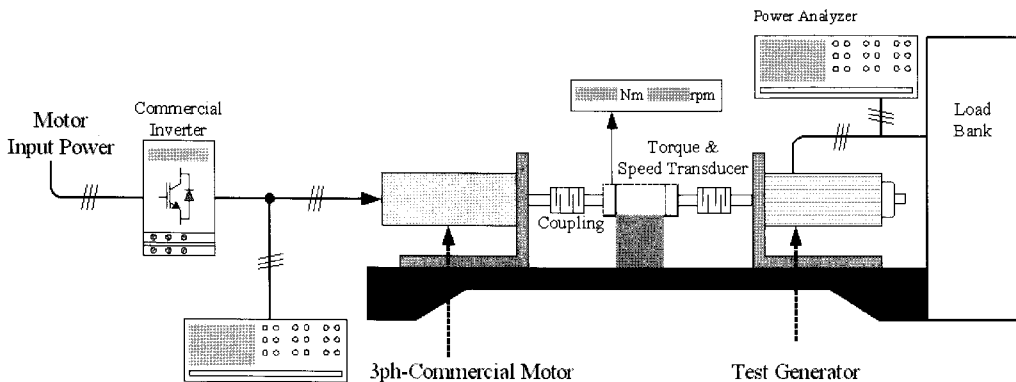
앞에서 언급한 4가지 항목에 대한 시험방법을 정리하면 아래와 같다.

- ① 절연저항 및 절연내력 시험
 - 절연저항 : 절연저항계(mega tester)를 이용하여 측정
 - 절연내력 : IEC 114-6에 의거, 1,500 V 60 Hz 교류전압을 1분간 가압하여 측정
- ② 무부하 특성시험
 - 다양한 회전속도에 대한 무부하 운전을 통하여 단자전압을 측정
- ③ 부하 특성 시험
 - 발전기의 출력단에 부하뱅크를 설치하여 발전기의 설계값과 측정값을 비교하여 측정
- ④ 전압 왜형을 측정
 - 무부하조건과 60% 부하조건에서 각각 측정
 - 전체 전압 왜형율과 각 차수별 고조파율 측정

그림 8은 발전기 시험을 위한 개념도를 그린 것이다.

풍력터빈의 성능시험

풍력터빈이 개발되는 과정에서 설계평가, 제조평가, 부품인증 등의 인증과정을 거쳐서 최종적으로 개발된 풍력터빈의 성능을 평가하는 과정이 인증 절차에서 남아 있다. 초기설계의 목표 성능이 도달하는지 여부와 안전성을 검증하기 위한 절차로써 IEC 규정에서 제시하고 있는 가이드라인으로 중요



[그림 8] 발전기 시험설비 예시

한 것이 출력성능측정(power performance test), 소음측정(noise measurement), 하중측정(load measurement), 전력품질측정(power quality measurement) 등이 그것이다.

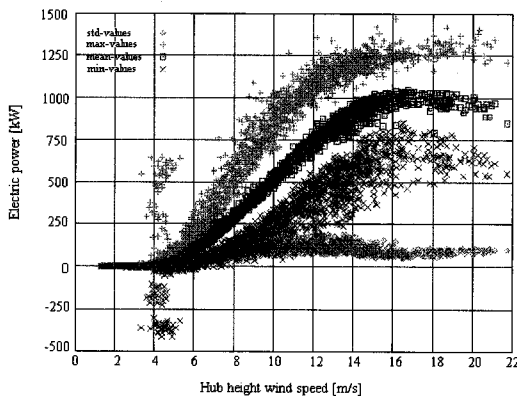
출력성능(power performance) 측정

출력성능측정은 단일 풍력 발전 시스템에 대한 측정이며 풍력발전시스템의 출력특성 곡선은 풍속에 대한 순 출력을 말한다. 성능측정을 위해 IEC에서 제시하는 시험사이트의 풍속과 측정 마스트의 연관성, 시험장비, 측정 방법 및 절차에 대한 최소 요구 조건에 따라 진행이 이루어지게 되며 각각의 요구 조건은 IEC 61400-12 내의 부속 규정에 명시되어 있다.

풍력발전기의 순 출력(net power)은 전력 측정 장비로 측정 가능하고 각 상에 대한 전류 및 전압 측정을 기초로 한 전력 측정 장비(예, 전력변환기)로 획득 가능하다. 그림 9와 같이 출력성능측정에 있어 특성을 정확하게 평가하기 위해서는 측정된 자료가 충분한 양(quantity)과 질(quality)을 갖고 있는지 확인함으로써 분명하게 정의된 기준들을 만족하는 자료를 수집하는 것이다.

소음(noise) 측정

신재생에너지 관련 개발 사업 중 풍력발전 분야가 급격히 대두되고 있으며 실환경 풍력발전시스템을 설치 시 몇 가지 환경적인 부분에 대한 문제



[그림 9] 출력 성능 시험 분포도 (IEC 61400-12)

점을 안고 있어 이러한 환경적인 문제점을 고려한 측정 및 평가법에 대한 연구 및 평가 개발이 중요시 되고 있다. 소음 측정의 목적은 풍력발전기의 소음의 일관된 절차 및 방법을 통하여 기준을 제시하는 데 있으며 이러한 규정을 IEC 61400-11에서 언급하고 있다.

소음측정을 위해서는 음향학적 측정과 음향 방사량과 직접적 연관성이 있는 비음향학적 측정이 있다. IEC 61400-11은 이를 구분하고 각각의 측정 장비에 대한 규격을 제시하고 있다. 음향 측정의 위치는 발전기의 규모에 따라 결정되며 기준이 되는 한 위치와 IEC에서 제시하는 선택적인 다른 세 곳의 위치를 선정하여 측정을 한다.

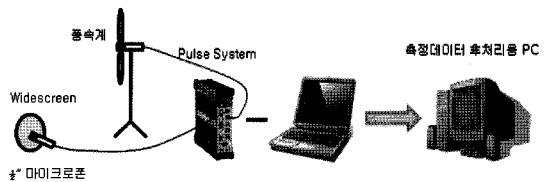
- 1) A- 보정 등가 음압 레벨을 결정하기 위한 장비
- 2) 1/3옥타브 밴드 스펙트럼을 결정하기 위한 장비
- 3) 협대역 스펙트럼을 결정하기 위한 장비
- 4) 측정판을 갖춘 마이크로폰과 방풍망
- 5) 음향 교정기
- 6) 자료 녹음/재생 시스템

그림 10은 소음 시험평가를 위한 시스템 구성도를 보여주고 있다.

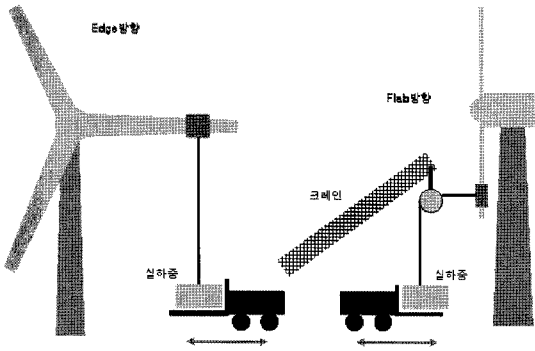
하중(load) 측정

하중측정은 풍력발전기의 설계 및 인증을 비롯한 실규모의 풍력발전기에 작용하는 기계적 하중과 관련 기술 검증 및 구조 하중의 신뢰성을 위한 측정을 그 목적으로 하며 IEC 61400-13^[11]와 MEASNET^[12]에서 측정 및 방법 그리고 관련 규격에 대해 설명하고 있다.

풍력터빈의 성능평가 및 하중분석을 위해 측정되어야 할 물리량으로 하중의 크기(예: 블레이드 하중, 로터 하중 타워 하중), 기상 변수(예: 풍속, 풍향, 기온, 대기압), 가동변수(예: 전력, 회전속도,



[그림 10] 소음 시험평가 시스템 구성도



[그림 11] 구조 하중 시험 개략도(출처: NICOM International)

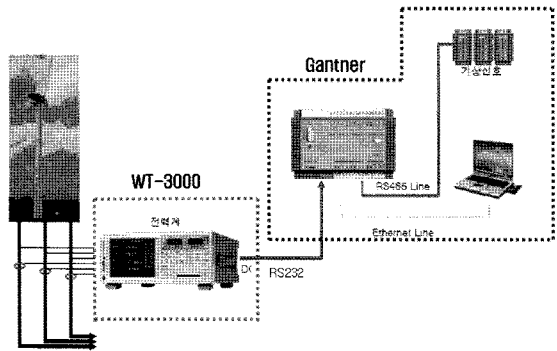
피치각, 요 위치, 방위각)가 측정이 되며 풍력발전기에 작용하는 기본적인 하중 관련 물리량은 블레이드 뿌리 하중 (blade root loads), 로터 하중 (rotor loads), 타워 하중 (tower loads)이다. 하중 측정을 위한 시험장치의 구성은 그림 11과 같다.

전력품질(power quality) 측정

전력품질측정은 풍력발전기의 전력품질특성을 측정하고 평가함으로써 풍력발전시스템과 연계된 전력 계통의 전압 특성에 영향을 미치는 전기적 특성을 포함하는 전력품질의 특성을 정확하고 일관된 기준을 제시하여 평가의 방향을 제시하는 것에 그 목적을 가진다. 그림 12는 IEC 61400-21에서 요구하는 측정시스템 구성 및 가정 요소의 예를 나타낸 것이다. 이 예시는 강제적인 사항은 아니며 데이터 획득 시스템의 소프트웨어의 기능 특성에 따라 필터 및 아날로그 변환기를 대체할 수 있다.

요약

녹색에너지로써의 풍력에너지에 대한 관심과 성장동력산업으로써의 풍력산업은 현재 세계적인 관심사이다. 본 투고를 통하여 풍력터빈의 개발을 수행하는 과정에서 필요한 핵심부품의 시험기술과 풍력터빈 완성품의 기본적인 성능평가기술에 대하여 알아보았다. 이 시험기술에 대한 지침은 세계적으로 통용되는 IEC규정에서 제시되고 있다. 선박이나 항공기 등, 타 대형 기계와 같이 정해진



[그림 12] 풍력발전 계통연계 시스템에 구축된 출력성능 측정 장비의 예시

규정에 의거하여 전문적인 설비와 기술력을 가진 시험기관이 참여해야 시험결과에 대한 신뢰성을 가질 수 있으며 국제적으로 인증을 받을 수 있다. 전문적인 설비는 설비의 구축과 운영에 많은 예산과 전문인력의 유지는 풍력산업계의 필수적인 요소임을 본 고찰을 통하여 확인하였다.

후기

본 결과물은 지식경제부의 출연금으로 수행한 풍력핵심기술연구센터사업과 풍력발전시스템 성능평가 기술기반구축사업의 연구결과입니다.

참고문헌

1. Steve Sawyer, "Climate, Wind & Carbon," World Energy Forum, Oct. 2008, Gyeongju, Korea.
2. Sara Black, "Static and fatigue testing prove out durability," High Performance Composites, Jan 2003, p26 - 31
3. Regulations for the Certification of Wind Energy Conversion Systems, Germanischer Lloyd, Edition 1999.
4. IEC WT 01, "IEC System for Conformity Testing and Certification of Wind Turbines, Rules and Procedures," International Electrotechnical Commission, Edition 2001

5. IEC 61400-1, "Wind turbine generator systems-Part 1: Safety Requirements," International Electrotechnical Commission, Edition 2005.
6. IEC TS 61400-23, "Wind turbine generator systems-Part 23: Full-scale structural testing of rotor blades," International Electrotechnical Commission, Edition 2004
7. IEC TS 61400-24, "Wind turbine generator systems-Part 24: Lightning Protection," International Electrotechnical Commission, Edition 2002
8. Load and Safety of Wind Turbine Construction, Danish Standard DS 472, Edition 1992
11. Gerd Wacker, "Requirements for the certification of rotor blades," Proceedings of SAMPE 2003, May 11-15, 2003, Long Beach Convention Center, Long Beach, CA. U.S.A
12. H. G. Busmann, et. al., "The wind energy sector goes offshore-Germany establishes a center of competence for wind energy," Proceedings of DEWEK 2006, Nov. 22, 2006, Bremen, Germany.
13. Scott Hughes, "Wind Turbine Blade Testing at NREL," Proceedings of 2008 Wind Turbine Blade Workshop, May 12-14, 2008 Albuquerque, NM, U.S.A
9. 한국선급, 풍력발전 시스템의 기술기준, 2008. 9, 대전광역시 유성구 장동 23-7
10. 이근호, 박영준, 이기훈, "중대형 풍력발전기 용 증속기 기술현황 및 개발현황," 기계와 재료, 19권 2호, 2007. 7
11. Germanischer Lloyd Wind Energie GmbH, 'Guideline for the Certification of Wind Turbine', Edition 2003 with Supplement 2004, chapter 10.6
12. MEASNET, International Network for Harmonized and Recognized Measurements in Wind Energy, <http://www.measnet.org>