풍력터빈 블레이드 시험기술 및 설비의 현황 분석

황병선, 박지상, 박중규 | 재료연구소

1. 서 론

1.1 세계 설치용량 및 시장 현황

현재 전세계적으로 풍력에너지의 설치 현황은 폭발적인 성장세를 보이고 있다. 풍력발전시스템의 설치량은 90년대부터 증가하기 시작하여 95년에 년간 1,000MW, '99년에 년간 4,000MW, 2003년에는 년간 8,133MW, 2005년에는 11,769MW가 설치 되었다. 최근 5년동안 연평균 28%의 증가율을 보여왔으며 2005년 한해동안 43%의 증가율 보여주었다. 그림 1에서 보는 바와 같이 2007년 현재 전 세계적으로 풍력발전 설치용량은 93,849MW이다. 단기적으로 2010년에는 170,000MW, 2020년에는 1,072,000MW, 2030년에는 2,106,000MW로 예측하고 있다[1].

국내의 설치현황은 2007년 말 196MW 정도에 이르고 있으며, 2012에는 1,145MW, 2020에는 2,000MW 설치용량을 갖출 계획을 가지고 있다. 상기와 같은 경향을 고려하여 풍력관련 업계에서 예측하고 있는 국내외 풍력발전기 관련 현재와 미래의 시장규모는 표 1과 같다.

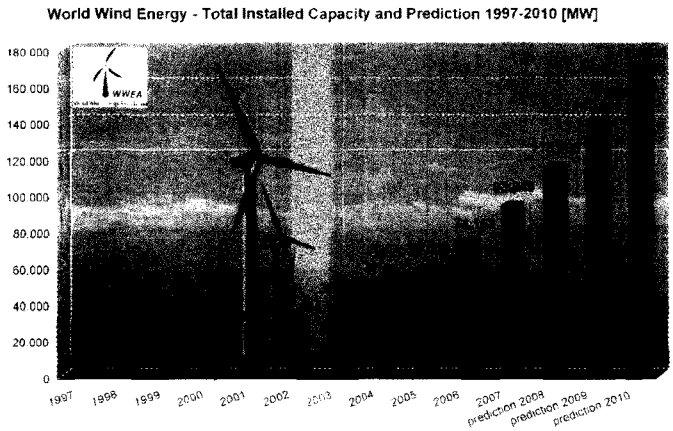


그림 1. 1997년 이후 년도별 설치용량과 2010년의 예측[1]

표 1. 풍력발전기 관련 시장규모†

구 분	현재의 시장규모(2006년)	예상 시장규모(2011년)
세계시장규모	300,000억원(30조원)	500,000억원(50조원)
한국시장규모	2,835억원(0.28조원)	10,000억원(1조원)

† 1. "'2017년까지의 세계풍력시장 전망보고서' 독일풍력연구소(DEWI), 2008.5.26"의 [Table 6. 풍력발전기 관련 시장규모]로부터 2007년 증가량인 2만MW*15억원으로 세계시장규모를 30조원으로 추정
2. Wind directions 2007.1~2월 edition page 32~33 참고

1.2 블레이드 시장

블레이드 시장은 풍력터빈시스템 시장의 성장과 동일하게 이루어진다. 블레이드는 풍력시스템의 구성 가격면에서 약 22%정도를 차지하는 핵심 부품이다. 따라서 상기 표 1에서 예측하는 전체시스템 시장에서 블레이드가 차지하는 시장의 규모를 짐작할 수 있다. 블레이드는 시스템의 성능을 예측하고 설계하는데 가장 기본적인 부품이므로 Vestas, Gamesa, Nordex, Simens, Enercon, Suzlon 등 주요 풍력시스템회사에서는 in-house 생산 혹은 계열회사로 연결되어 있는 부품이다.

현재 국내시스템 업체는 두산중공업, 효성, 유니슨 등의 기업이 750KW에서 3MW 모델까지 개발하였거나 개발중에 있고 고유모델 블레이드의 개발을 위하여 노력하고 있다. 위의 기업에서는 국내외에서 국내 모델의 상업화를 위해서는 전체 시스템 및 부품의 성능평가가 필수적이다. 이들 모델 및 부품(블레이드, 증속기, 기어트레인, 발전기 등)의 성능평가 시장은 향후 3~5년 이내에 상당히 발전 할 것으로 판단된다. 또한 현대중공업, 현대로템, 삼성중공업 등의 중공업업체에서도 풍력산업을 시작하고 있는 단계로써 성능평가 시장은 충분히 형성될 것으로 판단된다.

1.3 블레이드 시험의 목적 및 요구사항

블레이드는 풍력터빈에서 가장 핵심부품으로 고려된다. 따라서 그림 2에서 보는바와 같이 신뢰성이 있는 블레이드의 설계 및 제조는 풍력터빈이 시장에서 성공할 수 있는지 여부의 열쇠이다. 블레이드는 높은 응력을 받고 극한 하중, 주로 50년 주기의 돌풍과 20년 수명의 피로하중에 견딜 수 있도록 설계된다.

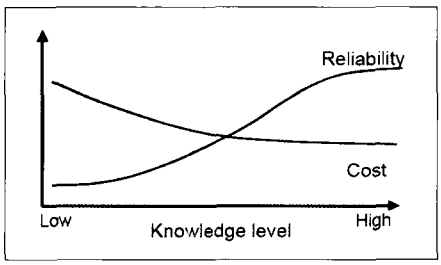


그림 2. Reliability and cost depend on knowledge level[3]

블레이드 시험의 목적은 블레이드 설계를 검증하고 성능을 향상시키기 위하여 수행하는데, 현장에서의 실증시험은 극한설계 하중조건을 만족하기 어렵기 때문에 설계적합성을 미리 확인할 방법이 없다. 따라서 규격에 의거하

여 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[4].

이러한 이유로 블레이드 개발 업체나 시스템기업에서는 블레이드 개발과정에서 필수적인 과정으로 여기고 있다. 대형의 구조물로써 수송의 문제점, 적기의 시험수행, 시험 중에 발생하는 자료의 보호 등의 이유로 블레이드 시험설비를 자체적으로 구축에 노력하고 있다. 그러나 고가의 설비구축 및 유지비용, 시험 전문인력의 활용 등의 어려운 사항이 있어, 대개 정부 주도의 시험센터에서 구축하여 업체에서 활용하도록 하고 있다.

이러한 기술적인 요인 이외에 해당국가의 정책 혹은 투자자와 금융분야에서 터빈의 인증을 필수적으로 요구하고 있다. 블레이드의 인증을 위해서는 강성, 강도, 안정성과 설계수명 등이 해석과 실규모(full-scale) 시험을 통하여 입증해야 한다.

가장 많이 적용하고 있는 규정은 독일의 GL 규정[5]과 IEC WT 01[6]인데 IEC WT 01은 IEC 61400-1[7]시리즈를 참조하고 특히 블레이드 시험의 경우 IEC TS 61400-23[8]과 IEC TR 61400-24[9] 등에 따라 수행한다. 덴마크의 경우 독자적인 규정과 Danish Standard DS 472[10]에 따라 시스템의 안전을 위한 하중해석 등에 대한 요구사항을 표준화하고 있다.

2. 블레이드의 실규모(Full-scale) 시험

2.1 정적하중 시험(Static testing) 하중

실규모 블레이드 시험은 성능평가기관이나 인증기관이 인지하는 설계하중에 기초를 두고 수행된다. 해석과정에서 결정한 최대하중을 측정하게 되는데, flap방향의 1, 2차 고유진동수와 edge(lead-lag)방향의 1차 진동수도 측정한다. 블레이드의 기능저하와 터빈의 안전에 영향을 주는 손상이 없는 정적 및 피로하중시험을 견디어 내야한다. 사용 중의 온도, 습도, 제작오차 등의 영향을 고려하여 블레이드의 설계하중보다 훨씬 높은 하중으로 시험을 수행하는데 일반적으로 시험하중은 Equation(1)과 같다.

$$\text{Static test load} = \gamma_{su} \cdot \gamma_{tu} \cdot \text{Design load} \qquad (1)$$

시험하중인자(test load factor)는 1.1과 1.21사이의 값을 취하는데 표 2에 적용하는 규격별로 정리하였다.

블레이드의 시험에서 측정 부위는 전체길이의 최소 70%까지는 측정하고 아래와 같이 5방향으로 시험이 이루어진다.

- Flapwise direction from suction to pressure side
- Flapwise direction from pressure to suction side
- Edgewise (lead-lag wise) direction from trailing to leading edge

표 2. Test load factor for the static blade test[11]

Regulation/Standard	GL	IEC	NVN	DS
Test load factor γ_{su}	1.10	1.10(recommended)	N/A	1.10
Test temperature factor, γ_{tu}	1.00* at 20℃ 1.10 at −30℃	N/A	N/A	is included in γ_{su}

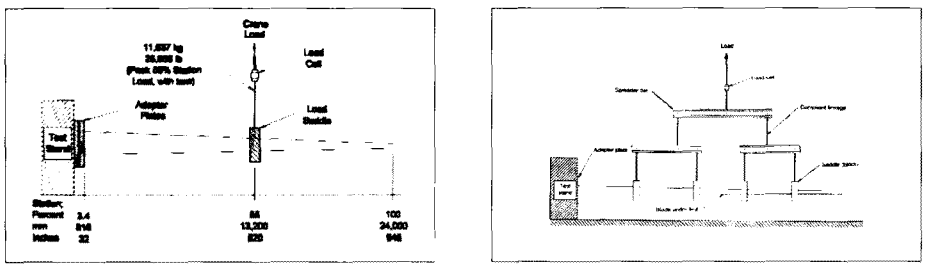
* In case the ambient temp. during the test is below 20℃ the factor increases to max. 1.10 for −30℃ A linear interpolation between 20℃ and −30℃ can be made.

- Edgewise (lead−lag wise) direction from leading to trailing edge
- Torsion−only stiffness distribution is determined

2.2 정하중 시험설비와 시험

2.2.1 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)을 측정하고 좌굴안정성(buckling stability) 등을 검증한다. 하중을 부가하는 방식 중 하중점의 개수에 따라 단점하중(단일점하중), 다점하중(다중점하중)으로 구분되며, 하중장치의 종류에 따라 오버헤드크레인, 엑츄에이터(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.



(a) (b)

그림 3. (a)단점하중과, (b)다점 혹은 분포하중 적용을 위한 휘플트리의 예시

단점하중은 단일 엑츄에이터나 하중원(source)을 사용하여 하중을 단순화한다. 그림 3은 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 4와 같이 윈치와 이를 고정시키는 고정틀(holding jig 혹은 saddle)로 구성하여 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 하중 방향을 유지할 수 있다.

그림 4. 윈치(Winch) 방식의 하중부가장치 (NaREC: New and Renewable Energy Center, 영국)

정하중시험 방법은 블레이드 고정치구(blade test stand)에 블레이드 root부분을 고정시키고, 각 블레이드 하중을 가할 지점에 고정틀(saddle)을 부착한다. 다음으로 와이어(wire)를 고정틀에 연결하여 당기면 된다. 최대 시험하중의 각 40%, 60%, 80%, 100%하중을 사용하며 40%하중의 시험이 종료되면 다음 레벨로 넘어가며 마지막 최대하중 시험이 완료되면 정적시험은 종료된다.

2.2.2 블레이드 고정 치구

블레이드 고정치구(blade test stand)는 시험을 시작하기에 앞서 블레이드를 고정시키는 역할을 한다. 그림 5에서는 여러 종류의 test stand를 보여준다. 영국 NaREC, 그림 5(a), 에서는 고강도 콘크리트로 test stand를 구축하였다. Post-tensioning 방법을 사용하여 큰 하중이나 모멘트가 걸려도 견딜 수 있게 하였다. 그림 5(b)의 test stand는 네덜란드의 WMC-ECN(Wind turbine Materials and Construction-Energy research Center of the Netherlands)와 인도의 Suzlon의 개념으로 강화바닥에 강구조물 형의 스탠드를 높이와 위치를 변경하여 블레이드를 설치할 수 있는 개념을 적용하였다. 그림 5(c)는 우리나라의 (주)KM사에서 블레이드 시험대를 I빔으로 시스템을 구성하여 하부 기초에 고정하여 만들었다. Test stand 하부기초 계산에 의한 큰 mass를 설치하여 하중과 모멘트를 지지한다.

(a) (b) (c)

그림 5. (a)고강도 콘크리트형, (b)이동형 강구조물형, (c)고정형 강구조물형 시험스텐드

그림 6은 독일 Fraunhofer-CWMT(Center fur Windenergie und Meerestechnik) 센터에서 블레이드의 root 부위의 고정판(mounting plate)의 설계를 실시한 예를 보여주고 있는데, 최대 정적하중이 10과 50 MNm의 경우를 나타내고 있다. 블레이드 고정치구는 구조시험 중 가장 큰 하중과 모멘트가 걸리는 구조물이다. 따라서 test

stand는 특수강화바닥(strong floor)에 고정하여 구축되어야 한다.

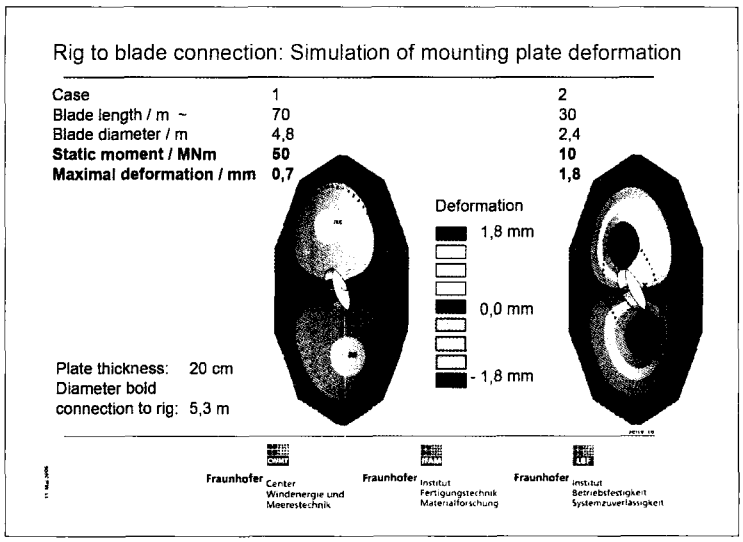


그림 6. Simulation of mounting plate[12]

2.2.3 데이터처리 DAQ(Data Acquisition System)

시험이 진행되는 동안 load, displacement, strain gage, accelerometers 센서를 통해 나오는 raw data는 DAQ에 수집되며, 이 수집된 데이터들은 연결되어 있는 컴퓨터 해석프로그램을 통해 데이터 변환 및 해석이 이루어진다.

일반적으로 블레이드 시험센터에서는 대형 구조물의 구조시험에 사용되는 DAQ를 블레이드 시험에 맞도록 조합하고 수정하여 기관별로 독자적인 자료수집시스템으로 변환하여 구축하고 있다. 예를 들면 NWTC-NREL(National Wind Technology Center-National Renewable Energy Laboratory, 미국)에서는 Labview software에 기반을 둔 BSTRAIN(Blade Structural Tesing Real-time Aquisition Interface Network)를 개발하여 사용하고 있다. 48 채널까지 측정이 가능한 이 시스템은 모니터링 및 자료 분석에 매우 유연하게 활용할 수 있다. 시험 중에 발생하는 블레이드의 문제점을 탐지하여 신호의 조정, 블레이드의 강성변화 등을 기록하는 기능도 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 또한 대형 구조물로써 센서와 데이터 수집장치와의 거리 때문에 발생하는 문제점을 해결하기 위하여 VDAS라는 scalable Ethernet 시스템을 활용하여 분산 A/D 배열(distributed A/D layout)로 케이블 길이에 의한 신호잡음 등을 효과적으로 제어하고 있다[13].

2.3 피로시험 하중

현재 피로하중시험은 DS(Danish Standard)와 IEC(International Electrotechnical Commission)규정에서만 요구하고 있으며, 다른 규정으로 확대하는 사항은 협의 중에 있다. 하지만, 궁극적으로는 안전성 및 경제성을 담보하기 위해서는 필수요구 조건으로 지정될 것으로 보인다.

피로시험도 설계하중보다 역시 상당히 높은 하중에서 시험하게 된다. IEC와 DS 규정에 따르면 Equation(2)에서와 같이 1.328의 안전계수를 적용한다[11].

$$\text{Fatigue test load} = 1.328 \cdot \text{Design load} \quad (2)$$

시험시간은 20년의 수명을 고려하여 하중을 증가시키고 사이클을 감소시켜서 적용한다. 피로사이클 수는 규정에 명확하게 나타나 있지 않지만 lead-lag(edgewise) 방향과 flapwise 방향으로 수백만에서 천만 사이클 정도를 요구하고 있다.

2.4 블레이드 피로시험 설비와 시험

2.4.1 진동시험(Modal Test)

피로하중 시험은 설계수명동안의 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 진동시험(modal test)과 연속 작동하중을 모사한 피로시험(fatigue test)으로 나뉜다. 그리고 피로시험에는 축에 따라 단축하중과 다축하중으로 구분된다. 단축하중은 단일 엑츄에이터(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.

2.4.2 피로하중의 방향

피로하중을 가하는 방법은 단일점 혹은 다중점을 이용하는 방법이 있고 굽힘하중도 단축과 2축 이상으로 가할 수 있다[14]. 다축 하중에서 플랩(flap)과 리드-래그(lead-lag) 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 엑츄에이터, 가진장치(exciter) 등이 있다. 그림 7은 가진장치를 사용하여 flap방향으로의 단축하중 피로시험을 수행하는 것을 보여준다.

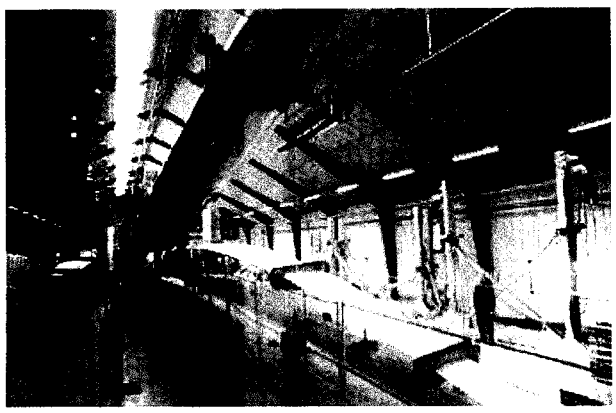
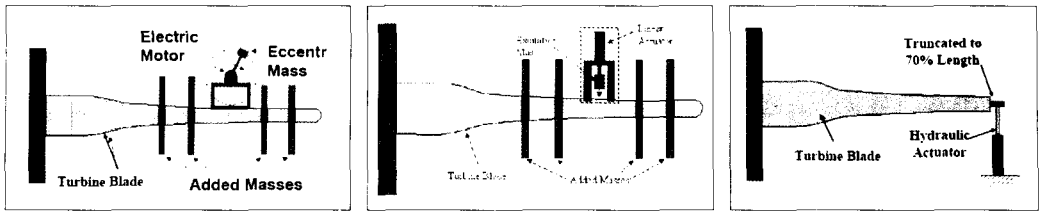


그림 7. 가진장치(RISO, 덴마크)를 이용한 단일축 방향(flapwise) 피로시험

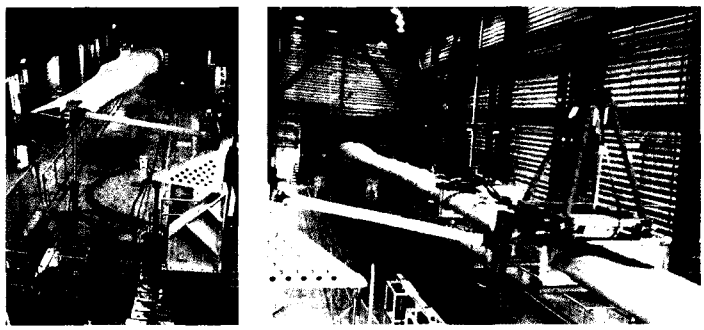


(a) (b) (c)

그림 8. 단일방향 하중 적용을 위한 가진기와 엑츄에이터의 구성방법

2.4.3 피로하중의 적용방법

하중을 적용하는 방법에는 일정진폭하중, 블록하중, 변동하중 등의 방법이 있으나 자세한 언급은 피하고 단축 및 다축하중을 적용하는 방법에 대하여 논한다. 단축하중을 적용하는 방안은 엑츄에이터를 이용한 forced displacement 시험법과 공진하중(linear resonant force)를 가하는 방법이 있다. 단축방향의 경우는 비교적 간단하나 2축이상의 경우 엑츄에이터와 가진기(resonant exciter)를 적절히 조합하여 하중을 가하는 방법도 있다. 그림 8은 가진기와 엑츄에이터에 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 그림 9과 같이 NWTC-NREL에서 적용하는 방법인데 엑츄에이터만을 활용하는 방법과 가진기와 조합하는 경우가 있고, WMC에서는 지그에 엑츄에이터를 부착하여 가진장치를 구성하였는데 그림 10은 개략도를 나타내었다. 조립된 지그에 팔이 긴 엑츄에이터를 부착하여 플랩(flap)방향을 직접 가진시키고 에지(edge)방향은 시소와 같은 장치를 구성하여 가진시키는 독특한 방식을 사용하고 있다.



(a) (b)

그림 9. (a)NREL의 엑츄에이터만을 활용하는 방법과, (b)가진기와 조합하는 경우

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 엑츄에이터(hydraulic actuator)를 사용하여 강제로 가진시키기 때문에 보다 정확한 하중응답을 기대할 수 있다. 하지만 시험장비의 가격이 비싸고, 시험기간이 길어지며, 장비들의 에너지 소비가 큰 점이 단점이다.

그림 9(a)는 다축하중(dual-axis loading) 시험방식으로써 Bell-crank system(그림에서 노란부분)이 에지

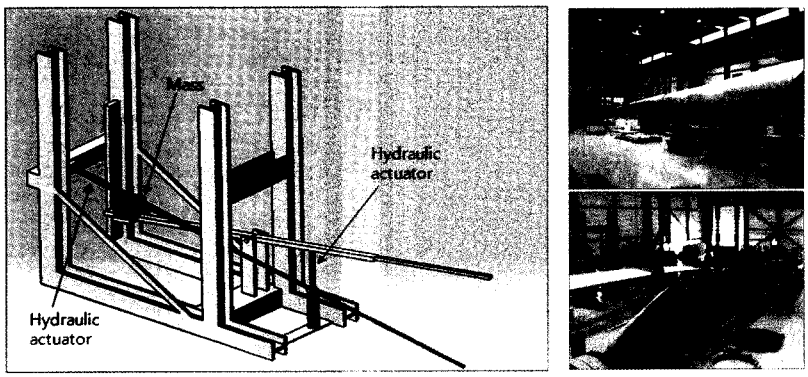


그림 10. WMC의 피로하중 부가 시스템

(edge)방향으로 가진시키는 역할을 한다. 플랩(flap)방향은 팔이 긴 엑츄에이터를 사용하여 가진시키거나 소형의 엑츄에이터를 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 예측하기 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.

3. 해외 블레이드 시험설비의 구축현황

3.1 지역별 시험설비

대형 풍력발전시스템 형식인증의 필수 요건인 블레이드 성능평가를 위해서는 대규모의 시험 설비와 함께 시험평가 및 분석에 많은 기술적 노하우가 필요하다. 독일, 덴마크 등 유럽의 풍력선진국은 높은 수준의 성능평가 및 인증 기술을 보유하고 있으며, 국제적으로도 이들 국가의 기술과 기준이 인정됨으로써 이 분야 기술 수준이 국가 풍력 기술력의 척도가 되는 실정이다.

표 3에서 요약한 바와 같이 최근 수MW급으로 블레이드가 대형화 되면서 대형의 시험평가 설비가 요구되고 있으며, 이들 대형 설비들은 풍력 기술을 주도하고 있는 유럽을 중심으로 구축되고 있으며, 기타 지역에서는 시험 설비의 부재로 새로운 블레이드 개발에 어려움이 있다. 현재 유럽지역에 설치된 대형설비들이 수용할 수 있는 블레이드 길이는 현재 100m급이 최대 규모이다.

현재 유럽의 블레이드 하중 시험 설비는 주로 공공성을 갖는 시험 센터를 중심으로 구축되어 있으며, 일부 블레이드 제조사가 보유하는 설비도 있다. 아시아지역에서는 2007년에 인도의 Suzlon사에서 최초로 대형 블레이드시험 설비를 네덜란드의 WMC기관과 협력하여 구축하였다.

표 3. 해외 시험 및 성능 평가 기관과 시험설비 현황[15]

Test Facility	Location	Year of start	Max. Blade Length	No. of Test Stand	Approx Test Bay Area(m²)	Approx Cost	Approx Staff
RISΦ	Sparkaer, Denmark	1995	50	5	1000	N/A	10
Blade Test Center A/S(BLAEST)	Viborg, Denmark	2005	100	N/A	N/A	N/A	N/A
WMC	Wieringermeer, Netherlands	2002	60	2	2000	N/A	15
New and Renewable Energy Center(NaREC)	Blythe, UK	2005	70	2	1750	$5M	6
CENER	Pamplona, Spain	2006	85	2	2000	N/A	N/A
LM-Glasfiber	Denmark	2005	42-80	6	1200	N/A	9
Vestas Blades	UK	N/A	40	N/A	N/A	N/A	N/A
Suzlon	Vadodara, Gujarat, India	June 2007	60	2	N/A	$6.5M	N/A
Fraunhofer-CWMT[12]	Bremerhaven, Germany	2008/9	70-90	1	N/A	N/A	N/A
NWTC/NREL	Denver, CO., USA	1996/ 2005	34/50	1	N/A	N/A	N/A
WTTC/MTC[16]	Boston, MA. USA	2010	70-100	2>	1500	$14M	N/A
Texas National Large Wind Turbine R&T Ctr	Ingleside, TX, USA	2010	-100	2>	N/A	$20M	N/A

3.2 정하중시험설비

정하중 시험설비 중에 blast weight형으로는 미국의 NWTC-NREL의 설비(그림 11(a))가 대표적이며, 윈치시스템은 LMglassfiber사의 설비(그림 11(b))가 잘 알려져 있다. 그림 11(c)는 독일의 정하중 설비로서 사하중과 윈치시스템의 중간형의 예이다. 유압에 의한 하중 부여방법은 NWTC-NREL (그림 11(d))에서 적용한 바가 있다.

3.3 피로하중시험설비

피로하중 설비는 그림 9와 10에서 설명한 설비가 대표적인 설비이다. 대형풍력발전 시스템사에서는 자체적으로 비교적 단순한 시험설비를 운영하고 있으며, 대표적인 예가 Simens사의 resonant exciter를 이용한 시험설비를 그림 12에서 볼 수 있으며, 모터에 의한 추의 회전을 이용한 편심가진장치를 사용하고 있다. 이 경우 대형 추의 회전으로 인한 축방향으로의 하중이 발생하는 문제점이 있으나 장비의 가격 및 운영면에서는 유리한 점이 있다.

연구목적으로 NWTC에서는 2축 공진장치(dual axis resonant testing)를 구성하여 시험을 수행하고 있다. 양방향으로 엑츄에이터를 설치하고 다른 주파수로 작동시키는 방법이다(그림 13).

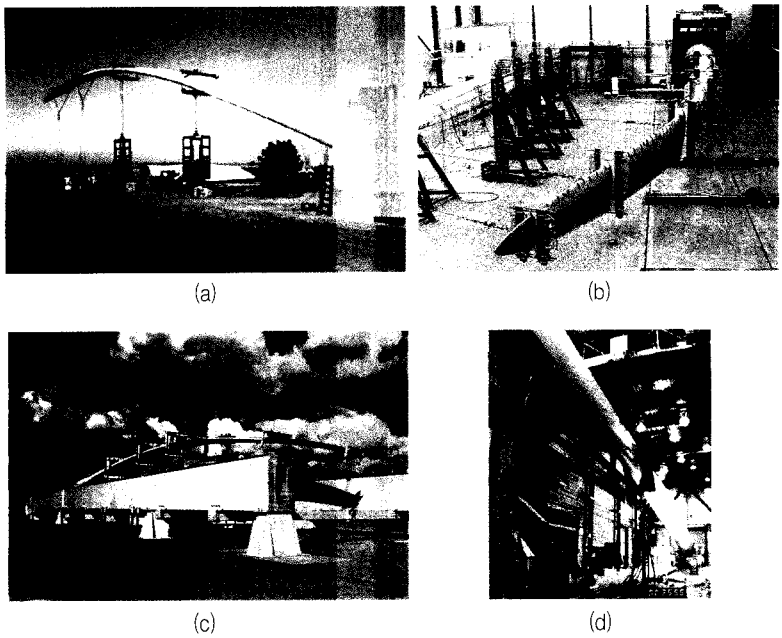


그림 11. 각 시험센터 (a)NWTC, (b)LMglassfiber, (c)독일, (d)NWTC의 Edge방향 엑츄에이터 정하중 시험설비의 예시

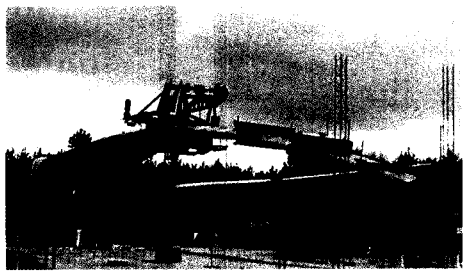


그림 12. Simens 사의 eccentric mass에 의한 가진 시스템 피로시험[17]

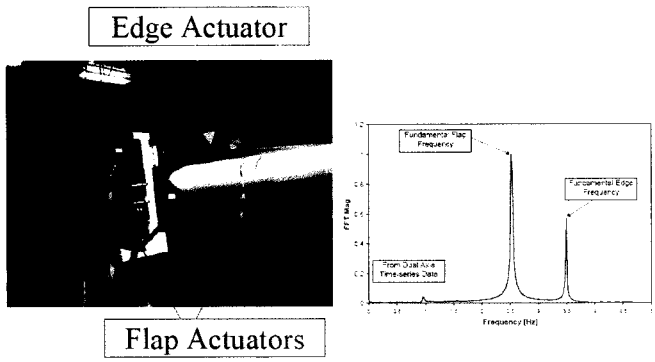


그림 13. 미국 NWTC-NREL 연구소에서 개발한 2축 공진시험법[13]

4. 국내 블레이드 시험설비의 구축현황

국내 블레이드 시험 설비의 경우는 300kW급 이하(10m급)는 한국기계연구원에, MW급 이하(약 25 ~ 30m, 그림 14) 규모를 시험할 수 있는 장치를 표준과학연구원, 한국화이버 등에서 보유하고 있고, MW급의 경우 블레이드 생산업체인 KM(구 애드컴텍)에서 정적 시험을 수행할 수 있는 시험장착 스텐드(그림 15)를 보유하고 있다. 현재 성능평가 설비를 보유하고 있는 기관의 측정시스템과 기술력은 외국의 30년 이상의 연구 기반을 고려할 때 일시에 외국기관들의 수준으로 갈 수 있는 상황이 아니며 일부 항목은 현재 외국기관의 수준에 근접한 것도 있지만 전반적으로 외국 수준에 못 미치고 있다. 특히 측정 결과의 획득 및 데이터 해석 기술 등은 긴급히 확보해야할 기술이다.

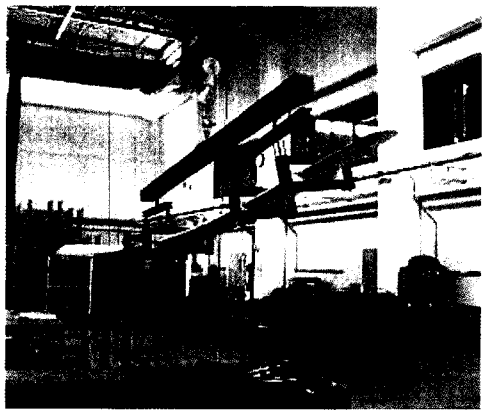


그림 14. 한국표준과학연구원의 25m급 정적 시험 장비[8]

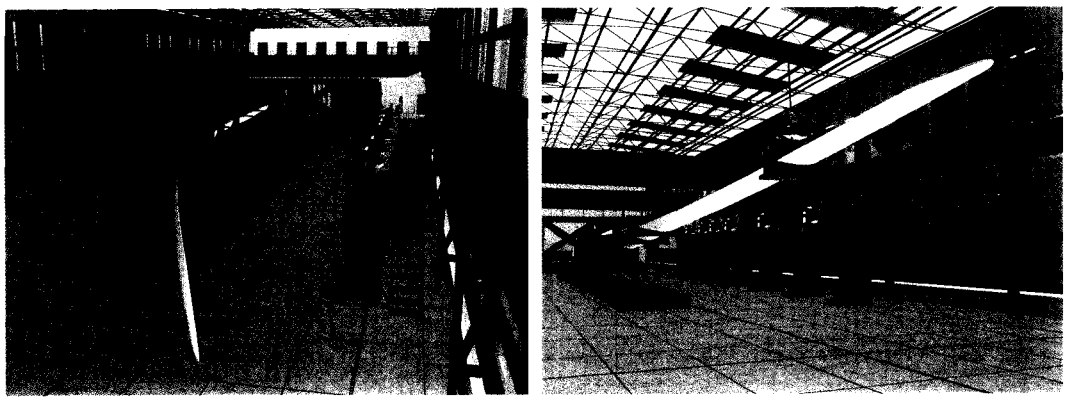
그림 15. (주)KM사(애드컴텍) 2MW급 정적 시험 Stand

지금까지 구축된 국내에 설치된 시험설비는 현장에서 제품의 초기 성능을 확인하기 위한 간이시험 시설로서 설계검증, 신뢰성시험을 위해서 필요한 전문시험장치와는 거리가 있으며, 2MW급 이상의 블레이드 개발이 세계적인 추세인 것에 비하여 국내의 대형 블레이드의 정적 시험 및 피로시험 설비와 시험 경험을 가진 전문 인력이 부족

하다. 표 3에 나타난 세계적인 성능평가 기관이 갖추어야하는 설비 및 검사능력 부분에서 많은 보완을 해야 할 것으로 판단된다.

한국기계연구원 풍력핵심기술연구센터에서는 현재 개발되거나 개발예정인 3MW ~ 5MW급, 40 ~ 60m의 블레이드 시험을 위하여 장비를 구축 중이며, 동시에 데이터 획득과 해석이 가능한 기술력의 확보를 위하여 노력하고 있다. 동 센터에서 구축할 시스템을 소개하면 그림 16과 같다.

정하중 시험설비의 경우 윈치시스템 방식의 정하중 시험 설비, 완벽한 프로파일 하중 구현 가능한 4~7개 하중점의 독립제어방식 electric winch를 구축할 예정이다.



(a) (b)

그림 16. (a)블레이드 정하중 시험장치, (b)가진기(resonant exciter) 피로시험 설비 구성도

동적시험에 대비한 피로시험 설비 구축은 그림 16(b)와 같고 구체적인 사양은, dual-axis fatigue system, flap loading unit은 resonant 방식으로 블레이드를 상하로 진동 가능하게 하며, edge loading unit는 하중-변위 방식으로 횡방향으로 블레이드 시험이 가능하며, 250kN, 0.3 ~ 0.7Hz 성능을 보유한 actuators 등을 가진 설비를 구축할 예정이다.

5. 요약 및 결론

세계 풍력 시장을 선도 하는 풍력 기술 선진국이 되기 위한 필수 요소로 국내에서도 성능평가 및 인증의 핵심 설비 기반을 구축하고 시험 및 분석 기술에 대한 기준을 구축함으로써 관련 핵심 기술을 개발하고 보유할 필요가 있다.

블레이드가 대형화 되고 구조적 신뢰성에 대한 검증 요구가 높아짐에 따라 고가의 피로하중 시험 설비에 대한 요구도 더욱 증가하여, GL, IEC, DS 규정 등에 따라 시험이 수행되고 있으며, 50 ~ 70m급의 시험설비가 유럽지역에 편재되어 있다. 또한 최근에는 70 ~ 100m급의 규모로 확장하거나 미국 등지에서는 신설하고 있다.

현재 풍력선진국과 비교하면 풍력발전시스템 기술 수준이 70~80%의 수준[3]이고 특히 multi-MW급의 대형 블레이드, 증속기 등의 성능평가 및 인증에 있어서는 국내 공동으로 활용할 수 있는 종합 시험 설비가 없어 관련 기술 개발에 장애가 되고 있다. 아시아권역의 풍력제품 시장은 확대일로에 있으나 성능평가를 위한 기반이 미비하

여 본문에서 제시한 국내의 성능평가기반의 구축은 아시아 시장의 선점효과가 있을 것으로 판단된다.

블레이드 시험설비는 대규모 설비로 민간 후발기업의 자체적인 구축/운용이 거의 불가능하여 시험 평가를 해외에 의존해야 하는 상황이며, 부품의 대형화, 장시간의 시험기간, 기업 기술 유출의 이유로 인해 해외 시험설비 사용도 많은 제약이 있기 때문에, 국내 관련 성능평가 및 인증의 핵심 설비와 기술 기반의 구축이 시급한 실정인바, 최근 국내의 인증 및 성능평가를 위한 준비가 활발하게 진행되고 있어 적어도 5년 이내에는 외국기관에 준하는 50 - 70m급의 시험설비, 시험절차 등이 마련될 것으로 전망한다.

풍력부품 및 시스템 성능평가 기술 분야는 기계/항공, 전기/전자, 기상, 재료, 토목, 해양 등 전반적인 산업 분야와 연결되어 있기 때문에 동반 성장 가능성을 보유하고 있으며, 국내의 인증절차 구축과 인증에 필수적인 성능평가 설비 및 기술 개발은 해외 주요 풍력업체로부터 국내 풍력 산업을 보호할 뿐만 아니라 국내 개발된 풍력시스템의 신뢰성을 높임으로써 국산 풍력발전기 보급 활성화에 기여하게 될 것으로 판단된다.

후기 : 본 결과물은 지식경제부의 출연금으로 수행한 풍력핵심기술연구센터사업과 풍력발전시스템 성능평가 기술기반구축(2단계)의 연구결과입니다.

⚜ 참고 문헌

[1] Steve Sawyer, "Climate, Wind & Carbon," World Energy Forum, Oct. 2008, Gyeongju, Korea.

[2] World Wind Energy Association 2008년 자료, www.wwindea.org

[3] J. Korsgaard and T. K. Jacobsen, Integrated Testing in Design of Large Wind Turbine Blades, Proceedings of EWEC 2003, Madrid, Spain, June 16-19, 2003

[4] Sara Black, "Static and fatigue testing prove out durability," High Performance Composites, Jan 2003, p26 - 31

[5] Regulations for the Certification of Wind Energy Conversion Systems, Germanischer Lloyd, Edition 1999.

[6] IEC WT 01, "IEC System for Conformity Testing and Certification of Wind Turbines, Rules and Procedures," International Electrotechnical Commission, Edition 2001

[7] IEC 61400-1, "Wind turbine generator systems-Part 1: Safety Requirements," International Electrotechnical Commission, Edition 2005.

[8] IEC TS 61400-23, "Wind turbine generator systems-Part 23: Full-scale structural testing of rotor blades," International Electrotechnical Commission, Edition 2004

[9] IEC TS 61400-24, "Wind turbine generator systems-Part 24: Lightning Protection," International Electrotechnical Commission, Edition 2002

[10] 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

[14] 한국선급, 풍력발전 시스템의 기술기준, 2008. 9, 대전광역시 유성구 장동 23-7

[15] J. Cotrell, W. Musial, and S. Hughes, Necessity and Requirements of a Collaborative Effort to Develop a Large Wind Turbine Blade Test Facility in North America, Technical Report NREL/TP-500-38044, May 2006

[16] Ian Springsteel, "The Massachusetts-NREL Wind Technology Testing Center-Development and Opportunities," Proceedings of 2008 Wind Turbine Blade Workshop, May 12-14, 2008 Albuquerque, NM, U.S.A

[17] Christian B. Christensen, "Blade Manufacturing at Simens Wind Power A/S," Proceedings of 2008 Wind Turbine Blade Workshop, May 12-14, 2008 Albuquerque, NM, U.S.A

[18] 정성수 외, "중대형 풍력발전시스템의 성능평가 기반 및 기술기준 확보," 한국표준과학연구원 연구보고서, 2004-N-WD10-P-02, 2008. 11.

[19] 경남호 외, "신재생에너지 RD & D 전략 2030-풍력," 에너지관리공단, 산업자원부, 2007. 11

황 병 선

· 재료연구소 풍력핵심기술연구센터 사업책임자
· 관심분야 : 풍력발전시스템,
복합재료 블레이드 제조 및 시험
· E-mail : hbs@kims.re.kr

박 지 상

· 재료연구소 풍력핵심기술연구센터 책임연구원
· 관심분야 : 풍력발전시스템,
블레이드 설계/해석 및 시험/평가
· E-mail : jspark@kims.re.kr

박 중 규

· 재료연구소 풍력핵심기술연구센터 연구원
· 관심분야 : 풍력발전시스템,
블레이드 설계/해석 및 시험/평가
· E-mail : raramith@kims.re.kr