대형 풍력발전용 블레이드 설계 및 부품인증 기술현황

김 범 석*
(한국선급)

1. 머리말

대부분의 선진 시스템 제작사들은 풍력발전용 블레이드를 주요핵심 부품으로 분류하여, 수직계열화를 통한 자체설계 및 공급능력 확대에 주력하고 있다. 최근 세계풍력시장이 지속적인 성장세를 보임에 따라 다수의 신규 블레이드 제작사들이 시장에 진출하고 있으나, 여전히 선진 시스템 제작사 및 LM Wind Power사가 대부분의(72 %) 중대형 풍력블레이드 시장을 점유하고 있는 실정이다. 다수의 블레이드 제작사의 신규 시장 진입에 따른 영향으로 전체적인 총 공급용량은 증가하였으나, 3 MW 이상의 대형 블레이드를 상용화하고 있는 독립 블레이드 제작사는 3개 사에 불과하여 향후 해상풍력발전시장의 확대에 따른, 5 MW급 이상의 대형 블레이드 시장 수급 불균형 현상이 예상된다. 2000년도 후반부터 국내의 블레이드 제작사들이 시장에 진출하였으며 ㈜KM과 DACC가 정부과제를 바탕으로 2~3 MW급 블레이드 시제품 생산에 성공한바 있다. 국내의 블레이드 제작사들은 유사 산업분야에서의 경험을 바탕으로 중 · 대형(5MW 블레이드 시제품 개발 중) 블레이드 시제품 제작에 성공하였으나 핵심 설계기술의 해외 엔지니어링 의존도가 여전히 매우 높은 상황이다. 또한 국내에서 제작된 대부분의 시제품 블레이드들은 양산체제를 갖추지 못하고 있으며, 상용 풍력발전기에 탑재되어 충분한 운전 실적을 보유하지 못하고 있는 이유로 해외시장 진출에 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다. 따라서 국내 블레이드 제작사들이 세계시장을 선도 하고 있는 유럽의 블레이드 제작사와 경쟁하기 위해서는 자체적인 설계 및 제작기술과 상용운전 실적의 확보가 매우 중요한 것으로 판단된다.

이 글에서는 육 · 해상용 중 · 대형 블레이드 및 차세대 블레이드 설계기술 현황과 블레이드 부품인증에 대해 다루고자 한다.

	Vestas	Sinovel	GE Wind	Goldwind	Enercon	Suzlon Group	Dongfang	Gamesa	Siemens	United Power
In-house	●			⦿	●	●	●	●	●	●
LM		⦿	⦿	●		⦿		⦿		
SGL Rotec			○							
Tecsis			⦿							
MFG			⦿							
TPI			⦿							
Huiteng		⦿		⦿						
Zhongfu		●		⦿			⦿			
Sinoma				⦿						
Kunshan Hua Feng		⦿					○			
Sino-Wind				○			⦿			
China Energy Windpower Equipment										⦿
Aeolon		○					○			○

Note: This table is subject to the reservation that suppliers change regularly
●Main supplier;⦿Supplier; ○Small supplier

그림 1 세계 top 10 풍력발전기 제조사의 블레이드 공급체계(BTM Consult, 2012)

* E-mail : bskim@krs.co.kr / Tel : (042) 869-9506

2. 블레이드 설계 기술 및 현황

블레이드는 특정 시스템에 적합한 형태로 설계되어야하므로 초기 설계단계부터 시스템제작사와의 긴밀한 협력관계가 필수적이다. 그러나 우리나라의 풍력시스템 제작사들은 주요부품 공급체계의 국내구축에 대한 필요성과 시급성에는 동의하지만, 브랜드 가치, 품질 및 상업운전실적 등을 이유로 여전히 해외의 블레이드 엔지니어링사와 제작사를 통한 개발체제를 선호하고 있는 실정이다.

블레이드에 작용하는 하중은 풍력발전기의 운전조건, 동역학적 특성 및 시스템 제어로직에 따라 가변적이므로 블레이드 설계과정에서는 시스템 통합 하중해석 결과와의 상호연동을 통한 반복 설계가 이루어진다. 일반적으로 블레이드 설계는 공력설계-구조설계-시스템하중해석-구조건전성평가 순서로 진행되며, 특정 시스템에 가장 적합한 최적의 설계안을 얻을 때까지 위 과정을 반복하게 된다.

그림 2는 한국선급의 블레이드 설계프로세스를 나타내며 시스템 통합하중 해석과 연동된 블레이드의 설계 전 과정을 잘 보여주고 있다. 이는 최근 IEC PT 61400-5: Rotor Blade 분과에서 제정중인 풍력블레이드 국제표준이 제안 및 채택되었다.

최근에는 블레이드 설계와 관련하여 소음저감, 성능향상, 하중제어(수동적/능동적), 저 풍속자원 활용을 위한 대형블레이드 설계, 낙뢰 보호 장치, 설계 및 제조 신뢰성 향상 등의 분야에 대해 많은 연구가 진행되고 있다.

2.1 성능향상 및 하중저감 기술

블레이드의 공력설계는 통상 BEM(blade element momentum)법에 의해 수행되며, 블레이드 길이, 계산단면에서의 코드길이 및 비틀림 분포가 주요 설계변수이다. 블레이드 단면은 2차원 에어포일로 구성되며 주로 네덜란드 Delft 대학에서 개발된 DU 시리즈 에어포일과 NACA 6자리계열 에어포일 조합으로 이루어지며, 대부분

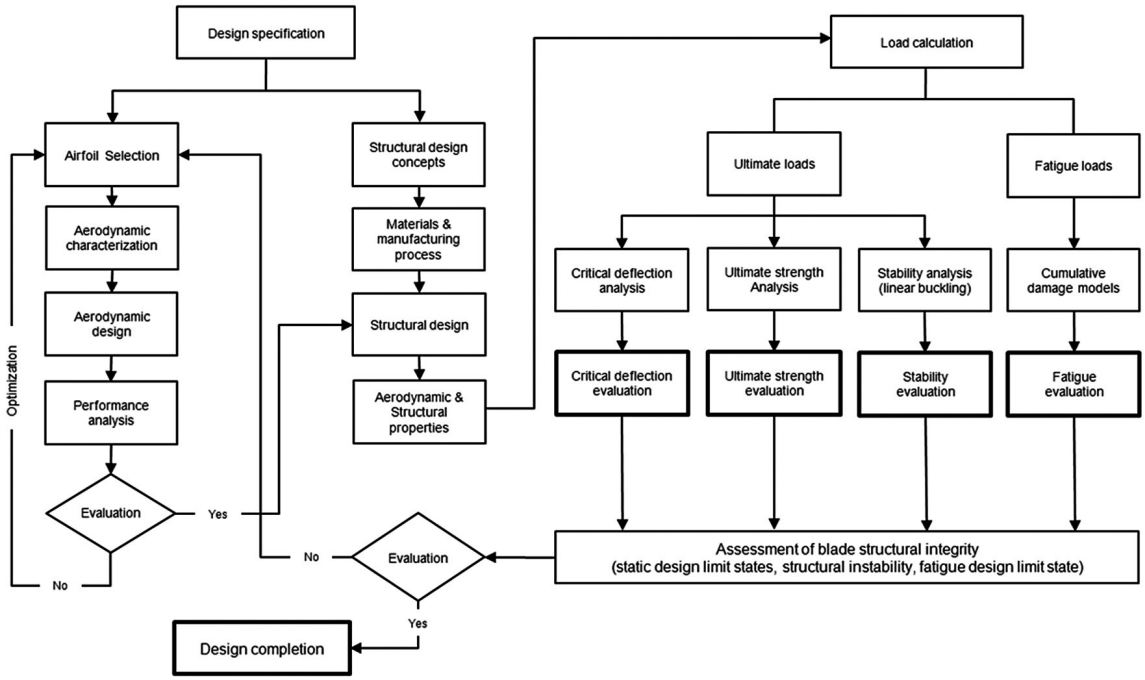

그림 2 풍력터빈 블레이드의 일반적 설계절차(한국선급, 2012)

의 해외 블레이드 엔지니어링 사들은 출력 및 효율의 극대화를 위해 이들 에어포일 형상 최적화를 통해 고유의 에어포일 데이터베이스를 구축하고 있다.

공력 설계적 관점에서는 주로 성능향상, 저 풍속 자원 활용 및 하중저감 등의 연구가 활성화 되고 있다. 지난 2003년부터 미국 NREL(National Renewable Energy Laboratory)과 UC-DAVIS에서 블레이드 루트 부의 제작성 향상 및 구조강도 극대화를 위해 그림 3과 같은 flatback 타입의 루트 에어포일 시리즈를 개발해 왔으며 현재 상용 블레이드 설계에 적용하고 있다. 또한 네덜란드 ECN(에너지연구센터)에서는 GA(generic algorithm)와 GBA(gradient based algorithm)를 결합한 최적화 모델을 적용하여 두꺼운 에어포일 시리즈 설계최적화를 위한 최적화 시간 및 정확도 향상에 대한 연구를 진행하고 있다. 이러한 flatback 에어포일을 루트부에 적용할 경우 동일한 조건에서 더 큰 하중을 지지 할 수 있기 때문에 해당 단면의 코드길이를 감소시킬 수 있게 된다. 또한 코드길이가 짧아지게 되면 동일 조건에서 작용하는 축 하중이 기존에 비해 감소하게 되므로 구조강도적 측면에서 효과적인 방법으로 알려져 있다. 공기역학적 측면에서는 에어포일의 최대 양력계수가 증가하는 장점이 있으나, 항력 또한 증가하고 뭉툭한 후연 근방으로부터 발달하는 복잡한 3차원 유동에 의해 유체소음이 증가하는 문제점이 있다. 이러한 문제점의 해결을 위해 분리 박판(splitter) 등과 같은 부가장치를 flatback 에어포일 후연 끝단에 설치하는 방법 등에 대한 연구가 UC-DAVIS와 NREL을 중심으로 다수 진행된 바 있다.

그림 3 DU97-flatback 에어포일 후연에 항력감소 및 소음저감 목적으로 부착된 분리판(NREL)

지난 2004년에는 미국의 Knight & Carver사와 NREL이 기존 750 kW급 블레이드의 에너지 생산량을 하중 증가 없이 연간 10 % 이상 향상시키고자 sweep- twist 개념의 블레이드 개발에 착수하였고, 2008년 4월에 실증시험을 완료하였다. 공-탄성적 형상 최적설계가 이루어진 그림 4와 같은 STAR(sweep twist adaptive rotor) 블레이드는 기존의 블레이드에 비해 약 12 %이상의 성능향상을 보이는 결과를 얻었으며, 최근 GE사에서 이 기술을 적용한 MW급 블레이드 시제품을 개발하

그림 4 Tehachapi에서 시험 중인 STAR 블레이드(RP-09)

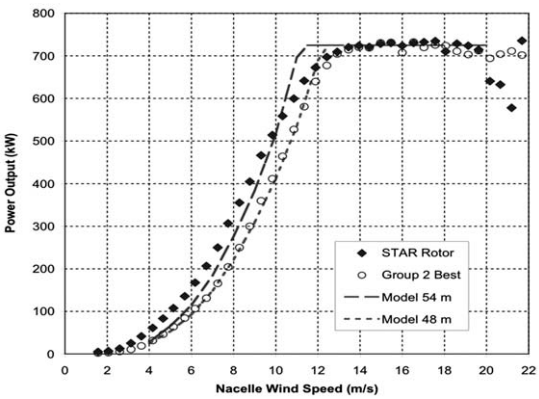

그림 5 STAR 블레이드와 기존 블레이드의 출력성능 측정값 비교결과(NREL)

여 독일 Fraunhofer IWES에서 실제 스케일 시험을 완료하였다. 그러나 이러한 형태의 블레이드는 제작성이 낮고 균일한 품질유지가 어려운 문제로 상용화되지는 못하고 있는 실정이다.

풍력터빈 블레이드가 점차 대형화됨에 따라 총 중량저감 및 피로하중 감소, 저 풍속 자원 활용 등에 대한 관심이 크게 증가하고 있으며 능동형 하중제어장치에 대한 연구가 RISO-DTU(덴마크 국립에너지연구소), NREL 및 UC-DAVIS 등을 중심으로 활발히 진행되고 있다. 블레이드 하중제어 기술은 크게 수동형과 능동형으로 구분할 수 있는데, 수동형의 경우 STAR 블레이드와 같은 bend-twist coupled 설계를 통한 유연한 특성을 갖는 블레이드를 말한다. 능동형의 경우 모터 구동방식 등의 후연 플랩장치, 전기적 제어방식인 마이크로 탭, 와류발생장치 등과 같이 블레이드에 장착되는 별도의 부가장치에 의한 출력-하중제어 방식을 말한다. 마이크로 탭의 경우 블레이드 후연에 삽입되어 필요시 거니 플랩(Gurney flap)의 형태로 돌출되는 구조를 말하며, 1998년에 제안되었다. 마이크로 탭의 적용을 통해 에어포일의 양력계수를 크게 증가시킬 수 있는 반면 항력계수의 증가폭은 작아 양항비(L/D) 상승효과에 따른 전체적인 출력성능향상 효과를 기대할 수 있다. 또한 블레이드 루트 부의 플랩방향 굽힘 모멘트가 줄어들고 최대 팁 변형을 감소시킬 수 있는 장점이 있기 때문에 차세대 대형 블레이드 개발에 적용 가능한 기술로 평가받고 있다.

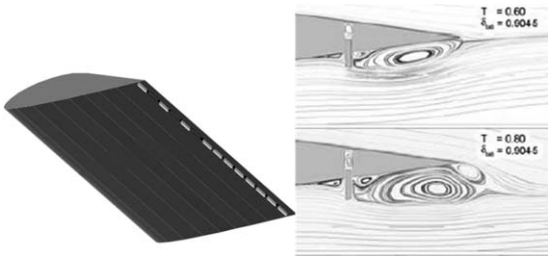

그림 6 마이크로 탭(micro-tab) 개념도 및 후연 주변부 유동장 특성(UC-DAVIS)

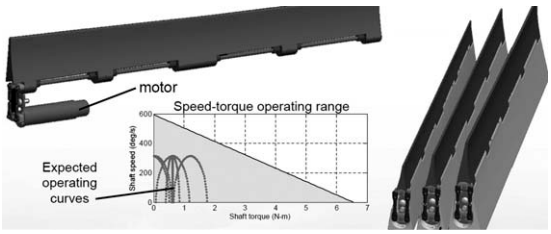

그림 7 모터 구동 식 후연플랩 개념도(SNL)

또 다른 개념의 능동형 하중 제어 장치로써 그림 7과 같은 형태의 플랩을 블레이드 길이 방향 후연 일부영역에 장착함으로써 성능 및 하중 제어를 시도하고자 하는 연구가 SNL(Sandia National Laboratory)과 RISO-DTU를 중심으로 활발히 진행되고 있다. 이러한 플랩의 적용을 통해 약 10 % 이상의 하중저감효과가 있는 것으로 밝혀졌으나 센서 문제와 출력 및 하중이 플랩 액추에이터의 제어응답성에 민감한 문제점들은 향후 개선해야 할 것으로 보고되고 있다. 특히 2006년 RISO-DTU에서는 별도의 구동장치부가 필요치 않고 주변 유동장 변화에 따라 자연적 형상제어가 가능한 형태의 탄성 재질을 갖는 후연 플랩을 개발하여 최근 풍동시험을 수행한바 있다.

이상과 같은 수동형 또는 능동형 블레이드 하중제어 기술들은 현재의 블레이드에 적용되기에는 경제성이 없는 것으로 알려지고 있으나, 10 MW 이상급 초대형 블레이드 개발 시 경제성 확보를 위한 COE(cost of energy) 최소화를 위해 우선적으로 적용 가능한 기술들로 판단된다.

2.2 저 풍속형 블레이드 설계기술

최근에는 저 풍속지역으로 분류되는 IEC 바람등급 III, IV 지역에 최적화된 대형 블레이드 개발이 이슈화 되고 있으며, LM WindPower사와 GE사 및 Vestas사 등과 같은 블레이드 제작사 및 시스템

그림 8 저 풍속형 대형블레이드, GloBlade R3(LM)

제작사에 의해 1.5~3 MW급 저 풍속형 블레이드 개발이 완료되었다. 이러한 저 풍속형 블레이드는 기존 블레이드에 비해 길이가 늘어나고 국부단면의 코드길이는 감소하는 형태의 설계를 통해 바람등급 변경에 따른 블레이드 하중변화를 최소화 하는 것이 중요하다. 이러한 개념의 가장 큰 장점은 저 풍속지역에 적합한 블레이드의 재설계만으로도 기존 풍력발전 시스템의 바람등급변경이 가능하다는 점이다. LM Windpower사는 1.5 MW 및 3 MW급 Glo-Blade 시리즈 블레이드(wind class III & IV)를 상용화하였고, GE사는 1.5 MW(직경 70.5 m) 제품을 기반으로 직경 100 m의 1.6 MW 및 2.5 MW급 풍력발전 시스템을 개발하였으며, Vestas사는 직경 90 m급 3 MW(V90) 시스템을 직경 112 m로 확장하여 저 풍속지역에 적합한 V112(3 MW) 모델을 개발하였다.

2.3 초대형 블레이드 설계기술

풍력발전용 블레이드는 현재 7 MW급(V164, Vestas사)까지 상용화되고 있으며, 차세대 초대형 블레이드 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 10 MW 이상급 초대형 블레이드 개발을 위해 SNL에서는 최근 수행된 100 m 블레이드(13.2 MW) 프로젝트를 통해 초대형 블레이드 개발을 위해서는 다음과 같은 기술들의 적용이 고려되어야 한다고 제안하였다.

(1) 에어포일 형상개선
- 두꺼운 에어포일 시리즈
- Flatback 에어포일 시리즈

(2) 하중제어를 위한 조정형 블레이드구조
- 수동형 bend-twist coupling 블레이드
- 능동형 하중제어 장치

(3) 제조, 재료 및 피로
- 저 비용 블레이드 부착 장치
- 플라이 드롭 영역에 대한 응력집중 최소화 설계
- 새로운 블레이드 재료
  : 카본, 카본 하이브리드, S-glass, 신소재

(4) 효율적인 블레이드 설계
- 통합설계(구조와 공력을 동시에 고려)
- 얇은 형상의 블레이드 설계
- 수송 및 설치(분리형 블레이드)

네덜란드의 ECN에서는 유럽의 Up-Wind 프로젝트의 일환으로 5 MW급 블레이드를 스케일링하여 20 MW급 초대형 블레이드 설계를 수행하였으며, 다음과 같은 제안을 하고 있다.

(1) 높은 레이놀즈수에서의 에어포일 시험 데이터 확보

(2) 최대 코드길이 근방의 후연에서 피로안정성 해석 결과가 1이하로 나타남에 따라 강도가 20 % 이상 우수한 재료의 사용

(3) 가늘고 긴 형태의 초대형 블레이드의 유연성(flexibility) 증가에 따른 flutter speed와 공-탄성 안정성 해석의 수행

현재 대부분의 블레이드 제작사 및 시스템 제작사들은 새로운 개념을 적용한 블레이드의 상용화 보다는 기존 제품의 신뢰성과 내구성 향상, 가격 경쟁력 확보 등에 보다 많은 노력을 기울이고 있다. 따라서 현재 개발되고 있는 다양한 종류의 블레이드 하중저감 장치와 bend-twist coupling 기술 등은 향후 초대형 블레이드 개발 과정에서 로터 직경 감소, 총 중량감소, 피로수명 증대, 출력 극대화를 통한 COE 저감 등의 목적으로 적용될 수 있는 가까운 미래의 기술이라 할 수 있다.

2.4 블레이드의 공-탄성 안정성

풍력발전기 로터가 회전함에 따라 주기적으로 발생하는 힘은 특정 부품의 진동특성에 영향을 미치거나 전체 시스템에 위험한 진동문제를 초래 할 수 있으므로, 설계단계부터 고유진동모드 및 발생 가능한 공진문제에 대한 해석 및 검토가 수행되어야 한다.

진동해석은 풍력발전 시스템의 동적안정성 및 운전범위 중 공진문제가 없음을 검증하는 것을 목적으로 하며, 특히 최근 블레이드가 대형화되면서 가늘고 얇은 형태로 설계됨에 따라 진동문제로 인한 공-탄성 안정성은 중요한 이슈가 되고

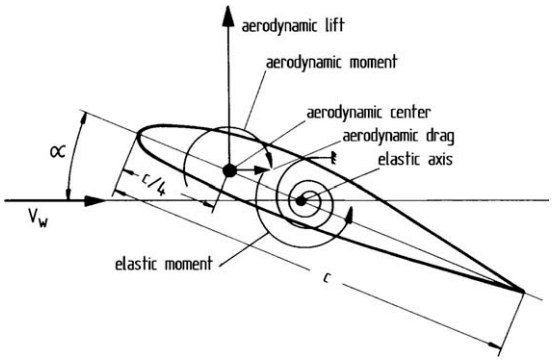

그림 9 블레이드 단면에 작용하는 공력 및 탄성 모멘트의 상호관계 개념도

있다. 얇고 가는 형태의 블레이드의 경우 공-탄성 영향을 크게 받기 때문에 극심한 진동문제의 회피를 위해 설계 및 평가 과정에서 특정 안정성 기준을 만족해야 한다.

풍력발전시스템의 진동에 의한 구조적 파손을 회피하기 위해서는 로터 블레이드의 공-탄성적 안정성확보를 첫 번째 요소로 들 수 있다. 공-탄성적 불안정성은 구조물의 변형과 이 결과로부터 발생되는 공력의 상호작용이 누적됨에 따라 발생하며, 항공우주공학 분야에서 적용되어온 방법을 통해 해석이 가능하다.

대부분의 에어포일은 공력중심(aerodynamic center)이 코드길이의 1/4 지점에 위치하는데, 그림 9와 같이 탄성 축(elastic axis)이 공력 중심의 뒤에 위치하는 조건에서는 양력에 의한 비틀림 모멘트가 발생하며 이는 유입 풍속에 대해 2승의 비로 증가한다. 풍속에 독립적 변수인 날개의 비틀림 강성으로부터 유발되는 복원 모멘트가 동시에 존재하므로 특정 유입 풍속조건에서 비틀림 불안정성(tortional instability)이 발생하게 된다. 대부분의 풍력블레이드의 경우 이러한 정적 불안정성(static divergence) 문제는 큰 문제를 유발하지 않는 것으로 알려지고 있으나, 설계과정에서 동적 불안정성 문제와 함께 확인되어야 할 문제이다.

항공기 날개 또는 풍력 블레이드의 공-탄성적 불안정성을 유발하는 플러터(flutter) 현상은 특정 조건에서 순식간에 블레이드가 파손될 수 있는 매우 위험한 현상임에도 불구하고 현재까지는 발생가능성이 낮은 이유로 블레이드 설계과정에서 큰 이슈가 되지 못했었다. 그러나 풍력발전기가 대형화되고 보다 유연한 형태의 블레이드가 개발되면서부터 이러한 비정상 공기력에 의한 공-탄성적 불안정성 현상의 발생 가능성이 커짐에 따라 설계 및 개발과정에서 그 중요성이 크게 증가하고 있다.

이상과 같은 공-탄성 불안정성에 대한 연구가 국내외 항공우주공학분야 연구자들에 의해 활발히 진행되고 있으며, 특히 풍력 블레이드 분야는 1990년대에 실속형 풍력발전기의 실속유발진동(stall induced vibration) 문제가 보고된 이후부터 RISO-DTU, NREL, SNL, DUT 등을 중심으로 다수의 연구가 진행된 바 있다. 풍력 블레이드의 설계적 관점에서 최근 수행된 주목할 만한 연구결과로써 Don W. Lobitz 등에 의해 수행된 MW급 풍력터빈 블레이드의 플러터 속도 예측과 MW급 블레이드의 플로터 속도에 영향을 미치는 변수에 대한 민감도 해석 등의 연구가 있다. 이들 연구에서는 블레이드 설계자들이 공-탄성적 불안정성을 회피하기 위해 고려해야 할 설계변수와 그 영향에 대해 기술하고 있다.

3. 블레이드 부품 인증

IEC 국제표준에는 풍력발전기 주요부품에 대한 인증절차를 그림 10과 같이 정의하고 있으며, 부품 인증은 설계근거평가(design basis evaluation), 설계평가(design evaluation), 형식시험(type test), 제조평가(manufacturing evaluation), 최종평가(final evaluation)의 모듈로 구성된다. 풍력발전기 부품 인증은 특정형식의 풍력발전기 주요 부품이 설계과정, 특정 기준 및 기타 기술적 요구사항에 적합하게 설계되고, 문서화 및 제조되고 있는지를 평가하는 것을 목적으로 한다.

대부분의 주요 인증기관 부품 인증 절차는 IEC와 동일한 형태의 절차 및 세부 모듈로 구성된다.

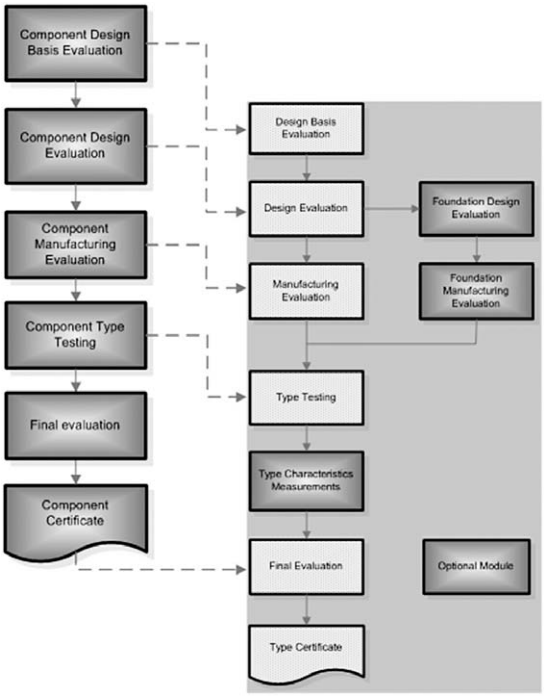

그림 10 풍력터빈 부품인증 체계(IEC 국제표준)

그림 11은 지난 2011년 지식경제부 기술표준원으로부터 풍력발전기 국제인증기관으로 지정된 한국선급의 블레이드의 설계평가 절차를 나타낸다. 설계평가는 크게 도면승인, 재료물성 평가, 절차서 평가, 구조건전성 평가로 구분될 수 있다. 형식인증 또는 부품 인증 절차 중 대부분의 설계검증은 인증신청자가 제출한 도면 및 문서평가를 통해 수행되는 반면 하중평가, 중요부품 및 특별히 파손위험이 식별된 항목에 대해서는 제출된 계산서와의 비교검증을 위해 인증기관이 자체적인 해석을 수행하거나 추가적인 계산서를 요구할 수 있다. 따라서 인증기관은 중요부품에 대한 독립적 해석의 수행을 통한 비교검증 역량 확보가 필수적으로 요구된다.

구조건전성 평가 항목의 경우 IEC는 극한강도 평가, 좌굴안정성평가, 임계변형평가 및 피로강도평가로 단순하게 구분하고 있는 반면, 대부분의 인증기관들은 표 1과 같이 보다 세분화된 구

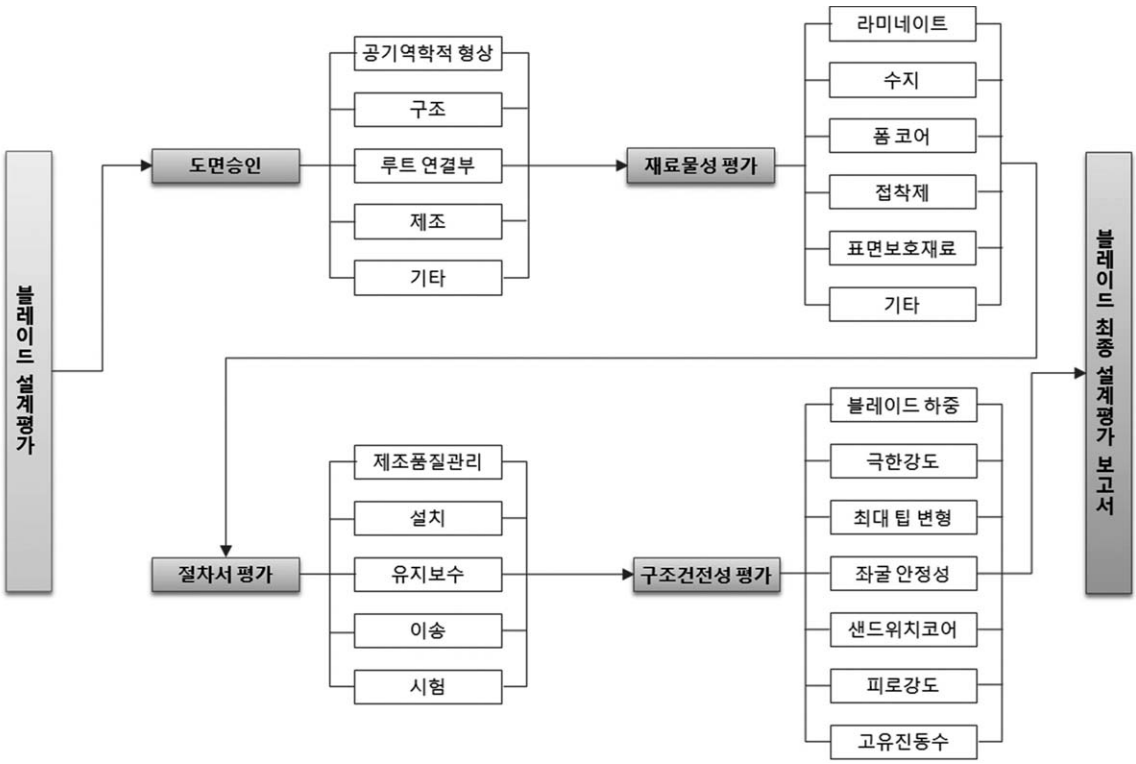

그림 11 풍력터빈 블레이드 설계평가절차(한국선급)

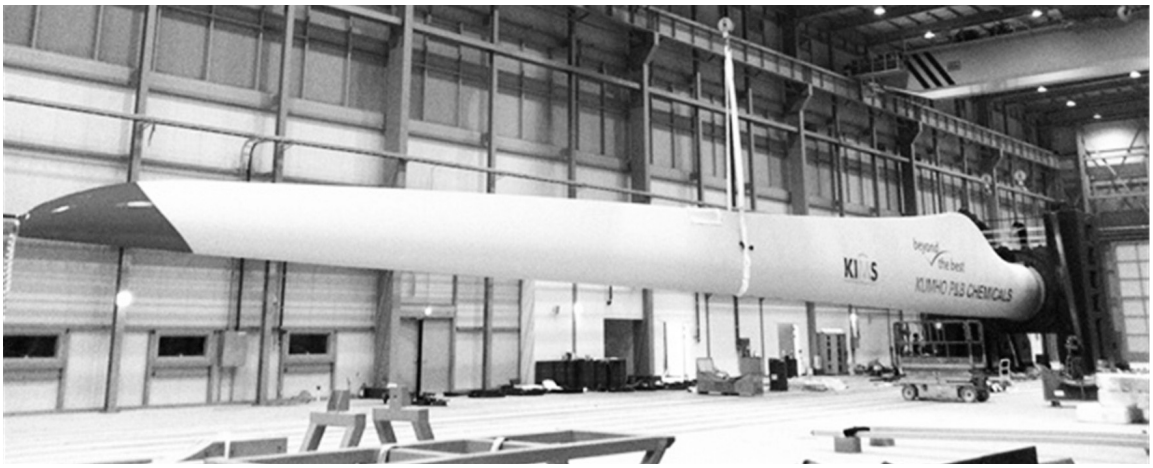

그림 12 실제스케일 블레이드 시험설비(한국기계연구원 부설 재료연구소)

표 1 풍력터빈 블레이드 구조건전성 평가항목

평가항목	세부항목
극한강도	섬유파손
	수지파손
	루트부
	볼트 체결부
	접착부(shear web, sparcap, LE, TE)
피로강도	블레이드 전체모델
	접착부
	루트부
	볼트 체결부
최대 팁 변형	블레이드-타워 허용간격
안정성	좌굴안정성(선형 또는 비선형)
샌드위치 구조물	전단파손
	표면주름
	표면박리
모드해석	고유진동수 및 모드형상

조건전성 평가결과를 요구한다.

이상과 같은 설계평가 외에도 풍력 발전 블레이드의 강도가 설계조건에 부합하고, 설계 수명기간 동안 안전하게 기능할 수 있는지를 최종 검증하기 위해 실제 스케일 구조 시험을 실시한다. 시험은 공인 인정 시험기관 또는 인증기관이 지정한 시험기관을 통해 이루어진다. 일부 인증기관들은 블레이드 피로시험을 필수요소로 지정하고 있지 않으나, 국제표준에서는 블레이드 피로시험을 필수사항으로 규정하고 있다. 형식시험을 위한 모든 절차서는 인증기관으로부터 사전승인 되어야 하며, 인증기관의 입회하에 시험이 진행되는 것이 원칙이다. 정적강도시험의 경우 대부분 제조공장 현장에서 직접 수행되며, 피로시험은 시험기간이 길고(3~6개월) 복잡한 장기 데이터 계측 등의 이유로 피로시험 설비를 갖춘 전용 시험장에서 수행된다. 국내에서는 지난 2011년 한국기계연구원 부설 재료연구소(KIMS)에서 최대 5 MW급 블레이드 시험(정적강도 및 피로시험)이 가능한 설비구축을 완료하였으며 국내외 인증기관(한국선급, DEWI-OCC 등)들과 인증 시험을 진행 중이다.

국제표준에 따르면 블레이드 시험은 다음의 경우에 실시되어야 한다.

- 새로운 설계에 따라 최초로 제작된 경우
- 블레이드의 설계가 변경된 경우
- 중요한 재료가 변경된 경우
- 주요 제조 공정에 변화가 생긴 경우
- 제조자와 인증기관이 필요하다고 판단하는 경우

표 2 로터 블레이드 인증을 위한 관련 국제표준

International standards	
IEC 61400-1	Part1 : Safety requirements
IEC 61400-23	Part23: Full-scale structural testing of rotor blades
IEC 61400-24	Part34: Lightning protection
IEC 61400-25	Part25: Communication for monitoring and control of wind power plants
ISO 9001	Quality management systems
ISO 2394	General principals on reliability for structures

일반적인 블레이드 실제 스케일 시험은 다음의 내용을 포함하며, 상세 시험내역은 인증기관과 협의하여 결정 할 수 있다.

- 고유진동수
- 정적 강도 시험
- 피로 시험
- 인증기관과 협의된 기타 시험

국제표준에 따라 시험이 진행될 경우 IEC 61400-23 "Full-scale structural testing of rotor blades"에 따라 시험하중 및 수행방법이 결정되어야 하며, 해당 인증기관의 가이드라인 또는 산업표준을 따를 경우 해당 규정에 따라 시험되어야 한다.

현재의 국제표준에는 로터 블레이드에 대한 설계 및 평가 기준 등이 별도로 마련되어 있지 않은 상황이며, 블레이드 설계평가, 형식시험, 제조평가 등의 수행을 위해 표 2와 같은 참조문서를 통해 인증 및 평가가 진행되어 왔다. 그러나 로터 블레이드는 풍력발전시스템 하중 및 진동을 유발하는 일차적 원인이며 핵심부품이므로, 블레이드 하중 및 강도해석을 위한 독립적 국제표준의 제정 필요성이 제기되어 지난 2010년부터 IEC 61400-5 Part5: Wind turbine blades 국제표준을 개발 중이다.

IEC 61400-5는 풍력발전용 블레이드의 설계, 제조, 평가, 시험, 이송, 설치 등 모든 분야를 다루며 IEC 61400-22(인증시스템), IEC 61400-23(실제 스케일시험)에서 다루고 있는 블레이드 관련 내용과의 중복성 여부에 대한 논란이 있으나, 블레이드에 대한 상세레벨에서의 가이드라인을 제시함으로써 IEC 61400-22의 하위 및 IEC 61400-23의 상호보완적 개념으로 표준을 개발 중이다. 현재의 IEC 기준은 블레이드 설계평가 항목 및 부분안전계수의 적용범위가 일반 산업표준 및 인증기관의 가이드라인에 비해 불명확한 단점이 지적되고 있어 사실상 산업체 활용도가 낮다고 평가 할 수 있다. 따라서 국제인증기관의 가이드라인에서 제시하고 있는 블레이드 평가 항목 및 부분안전계수의 정의에 준하는 수준의 기준을 제시함으로써 활용성이 높은 국제표준의 개발을 위해 각국의 전문가 대표들이 많은 노력을 기하고 있다. 국내에서는 한국선급이 우리나라 대표자격으로 참여하고 있다.

4. 맺음말

이 글에서는 차세대 초대형 블레이드 개발을 위해 적용 가능한 최신기술과 현재의 블레이드 설계 동향에 대해 살펴보았다. 현재는 기존 풍력시스템의 변경을 최소화하고 블레이드만 재설계하여 저 풍속에 대응 가능한 풍력시스템을 개발하고 있는 추세이다. 이와 동시에 초대형 블레이드에 대한 기술개발이 가속화될 것으로 보이며, 점점 가늘고 길어지는 블레이드가 설계됨에 따라 공-탄성적 불안정성 현상의 정확한 예측 및 예방 기술에 대한 중요성이 크게 부각되고 있다. 또한 산업체의 요구에 따라 IEC-TC88-PT5에서 블레이드 분야에 대한 국제표준을 제정하고 있다.

따라서 가까운 미래의 풍력발전 기술 및 시장 변화에 대응하기 위해서는 차세대 초대형 블레이드 설계 원천기술의 확보, 진보된 공-탄성 해석모델 개발, 저 풍속형 고효율 블레이드 및 독자적 블레이드 설계/인증 가이드라인 개발 등이 체계적으로 진행되어야 할 필요가 있다. KSNVE