

풍차 복합재료 블레이드 설계 및 해석 자동화에 대한 연구

A study on the automation analysis and composite laminated blade design of windmills

*김보아¹, #이성수², 김창완³

*B. A. Kim¹, #S. S. Lee (sslee@konkuk.ac.kr)², C. W. Kim(goodant@konkuk.ac.kr)³
¹ 건국대학교 대학원 기계설계학과, ^{2,3} 건국대학교 기계설계학과,

Key words : Windmills, Composite Laminated, Automation

1. 서론

자원의 유한성에 대한 인식이 증가하고 녹색 에너지의 관심이 높아짐에 따라 수십여년 전의 수 kW 에서 현재 MW 에 이르기 까지 빠른 성장을 보이고 있는 풍력에너지는 성능의 개발과 시장성을 봤을 때 무한한 기술개발이 요구된다. 풍력에너지는 열 공해나 대기오염등과 같은 문제점이 없어 선진국에서는 오래 전부터 풍력발전에 대한 중요성을 인지하고 지속적인 연구가 되어왔다.

풍력 발전이란 바람이 가지는 운동 에너지를 기계적 에너지로 변환하여 이 기계적 에너지로 발전기를 구동하여 전력을 생산하는 시스템을 말한다. 이러한 풍력 발전 시스템에서 블레이드(blade)는 풍력발전기의 전체 효율을 좌우하는 핵심 부품으로 높은 비강도, 비강성 등의 우수한 기계적 성질을 지닌 복합재료로 설계 및 제작되고 있다. 비금속 재료로써 크기와 무게면에서 풍력 터빈을 구성하는 특징적인 재료가 복합재료인 만큼 빠른 속도로 대형화 되어가는 풍력터빈에 있어서 재료는 실질적인 설계 요소로 자리잡고 있다. 따라서 복합재료를 구성하는 재료의 반복적인 재설계 과정을 자동화 함으로써 설계 과정을 최소화하고 효율적이며 정확도가 높은 해석 기법을 구축해야 한다.

본 연구에서는 풍차 구조 설계부터 구조 해석에 이르기까지 과정을 수행함에 있어 반복되는 설계 및 해석 과정을 자동화한다. 이를 통해 구조의 안전성을 만족하는 설계 변수를 도출한다. 도출된 설계값을 기반으로 복합재료의 방향성을 이용하여 가장 우수한 기계적인 성질을 갖는 적층 각을 구한다. 이 과정을 테일러링 이라고 하며 이 과정을 통해 최대 강도를 지니는 적층 각도를 찾는 최적화를 수행하였고 이 또한 자동화 한다.

2. 블레이드 설계 및 해석

블레이드는 풍력발전 시스템의 설계 및 해석, 성능의 핵심요소가 되는 부품이며, 블레이드의 설계에 따라 풍력발전기의 용량과 효율이 결정되기 때문에 풍력발전기의 블레이드 설계 및 제작은 여러 가지 측면에서 가장 높은 중요도를 가지는 핵심기술이라 할 수 있다. 2MW 급 풍력터빈의 블레이드의 경우, 무게는 개당 6ton 이상 길이는 40m 내외이다. 풍력터빈의 초대형화에 있어 풍력터빈을 구성하는 재료의 비강성 및 비중량, 경량화는 매우 중요한 요소로 작용한다. 복합재료는 섬유의 적층판 각 층(layer)의 두께와

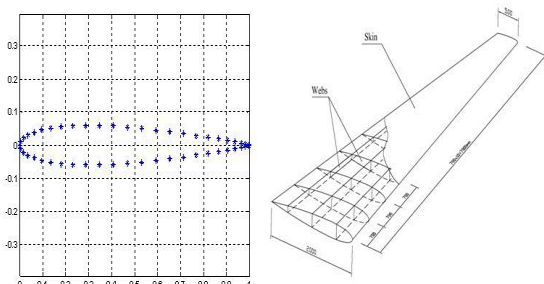


Fig. 1 NACA0012 & Configuration of blade

섬유방향, 그리고 적층 순서를 결정할 수 있는 이방성(anisotropic)재료의 특성 때문에 여러 가지 상이한 성질의 재료를 얻음으로써 효율적인 설계가 가능하다는 점이 복합재료의 장점이다.

본 연구에 사용된 NACA0012의 에어포일(airfoil)을 갖는 블레이드는 Fig.1 과 같이 Skin 과 Webs 로 구성되어 있으며, 보다 정확한 수치데이터의 확인을 위해 전체가 아닌 단순화된 블레이드의 일부 구조를 적용하였다. 구조설계 및 구조해석에 적용된 복합재료는 T300/5208 과 glass/Epoxy 이다.

블레이드 작용하중은 X 축 플랩 방향의 전단력과 모멘트, Y 축 코드 방향의 전단력과 모멘트, Z 축 스핀방향으로 모멘트와 인장력 최소, 최대값과 전체 굽힘 모멘트를 적용했다. 복합재료 구조해석은 고전 적층판 이론(classical laminate plate theory)을 적용해서 각 층을 직교 이방성으로 정의하고 강성행렬로부터 계산되어진 단층의 변형률 및 응력을 얻었다.

블레이드와 같이 초대형 구조물은 구조적으로 완전하게 설계되었는지에 대한 검증이 이루어져야 한다. 즉, 구조물의 설계가 한계상태를 초과하지 않음을 검증해야 한다. 구조설계 및 해석과정에서 적용된 최대하중으로부터 변형률을 측정하고 강도와 강성을 검증하는 구조 안전성 과정이 수행되어야 한다. 구조의 극한 강도 및 피로강도가 계산 및 시험에 의하여 구조적으로 적절한 안전수준에 있다는 것을 검증함으로써 허용안전수준을 확보하여야 하는데 만약 이 과정에서 검증결과가 허용안전수준을 초과하는 값을 갖는다면 구조적인 재설계가 이루어 져야 한다. Fig. 2 는 블레이드 설계 과정을 보여준다.

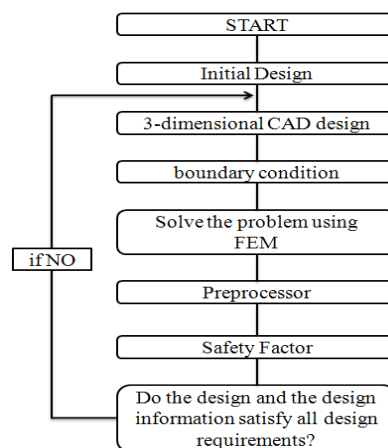


Fig. 2 Design Procedure

이 과정을 자동화 시킴으로써 재설계 시 소요되는 시간과 계산 시간을 줄이고 복잡한 재설계 과정을 하나의 툴로 인식되도록 하였다. 본 과정 진행의 시작은 ANSYS 안에서 Blade 라는 UI 를 삽입하는 것으로부터 시작하였다. 외부 데이터가 요구될 시의 데이터 적용이 용이하도록 하고, 하나의 툴로 사용됨에 문제가 되지 않도록 하기 위한 GUI(Graphic User Interface)의 구성은 ANSYS 내부에서도 쉽

게 구동이 가능하며 우수한 확장성을 가진 Tcl/Tk 로 프로그래밍 하였다. Tcl/Tk 는 복잡한 파일을 단순화 시킬 수 있는 강력한 기능을 제공하는 스크립트 언어로써 변수를 제공하고 특정프로그램을 반복하는 과정을 보다 신속하게 구동되도록 했다. Fig. 3 은 Tcl/Tk 가 적용된 환경이다.

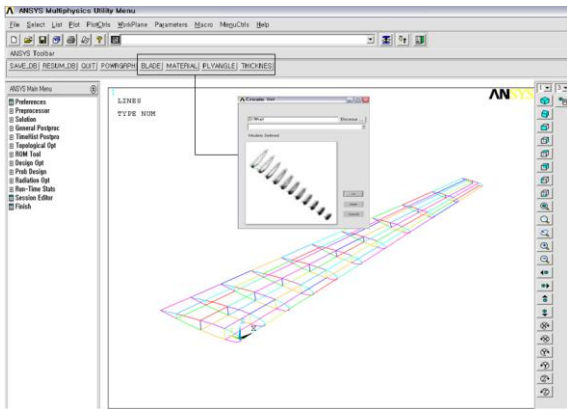


Fig. 3 Tcl/Tk Graphics User Interface

3. 자동화 설계 및 해석

구조 설계 및 해석 과정에서 구조 안전성을 검증한 후, 그 값을 기반으로 최대 강도를 갖는 복합재료의 특성을 구하기 위해 최적화를 수행한다.

설계 변수는 적층각의 변화에 따른 응력변화를 확인함이 목적이므로 적층각(Ply Angle)이 된다. 이 적층각의 θ 값은 -90° 에서 90° 의 범위에서 이산적인 값을 갖도록 설정하였고 이에 목적함수는 작용하는 최대 응력을 최소화 하는 것으로 하였다. 제약조건은 최대응력이 허용응력을 넘지 못하도록 설정하였다. 최적화 값의 기본적 조건은 Table 1 에 나타나고 있다.

Table 1 Conditions of Optimize

Minimize : F (X)		
Design Variables	θ_1	0°
	θ_2	45°
	θ_3	90°
State Value : $\sigma_{max} \leq \sigma_{allow}$		

최적화 프로세스는 Subproblem approximation method 를 적용해 12 번 안에 최적값을 찾아내었으며, Table 2 의 6 번째 Set 에서와 같은 θ 값을 갖을 때 최소응력을 갖는다는 결과를 얻었다.

Table 2 optimization Value

	Set 5(Max)	Set 6(Min)
S_{max}	27.914	16.342
θ_1	32.805	143.444
θ_2	97.135	125.67
θ_3	45.069	71.196

4. 결론

본 연구에서는 첫째, 블레이드가 대형 구조물로써 안전성을 만족하는 구조적 설계가 이루어져야 한다는 특징을 이용하여 구조설계 및 구조해석에 이르는 재설계 과정을 단축시킬 목적으로 이 과정을 자동화 하였다. 이 과정은 복합재료 대형 구조물의 안전성 확보에 아주 유용하게 이용될 수 있다.

둘째, 구조 안전성을 검증하고 그 값을 기반으로 복합재료 적층 각도에 따른 응력변화를 확인함으로써 최대응력을

최소화 할 수 있는 최적화 시스템을 자동화 하였다. 뿐만 아니라 강도를 고려하여 적층 각도를 효율적으로 설계변수화 할 수 있다. 블레이드 구조물이 위의 과정에서 안전성을 만족하는 값을 적용해 시스템을 구축했다는 점에서 신뢰할 만한 값을 도출했다고 할 수 있다.

블레이드는 기존에 있는 설계를 약간 변화시킬 경우 실험을 통해 유용성이나 안전성을 보장받기에는 많은 비용이 드는 구조물임이 사실이다. 때문에 정확한 데이터 없이는 시제품을 제작하여 신뢰도 높은 구조물을 얻어내기란 비용과 제작의 부담이 크다. 이런 단점을 보완하고자 구조 설계 및 구조해석, 안전성, 강도에 따른 복합재료 적층 각도 최적화에 이르기까지 모델을 선정하고 검증할 수 있는 자동화 환경을 구축하였다.

참고문헌

1. 김창완, 황운봉, 박현철, 신대식, 박의동, "강도를 고려한 원통형 복합재료 구조물의 최적설계," 대한기계학회논문집(A), **20 권 3 호**, 775-787, 1996.
2. 김재형, 이정희, 김창완, "유체-고체 연성해석을 통한 풍력 터빈 블레이드 손상률 해석" 대한기계학회, **제 11 권**, 560-564, 2008
3. 이정석, 김창완, 홍창호, "좌굴하중을 고려한 복합재료 적층판의 최적 설계" 한국항공우주학회지, **제 25 권 1 호**, 62-70, 1997
4. 김창완, "강도를 고려한 복합재료 판 및 셸 구조물의 최적설계", 포항공과대학교 석사 학위 논문, 1993
5. 김태우, 이관중, 이재원, 채상현, 오세종, "에어포일 공력 성능 테이블의 자동생성을 위한 GUI 환경의 프로그램 개발," 한국항공우주학회, **35 권 8 호**, 685-692, 2007.
6. 구남서, 김태원, 김승조, "윙렛이 있는 복합재료로 된 천음속 항공기 날개의 최적구조 설계" 한국항공우주학회 학술발표회 논문집, **11**, 167-170, 1992
7. Welch, Brent B. "Practical Programming in Tcl and Tk", Prentice Hall, 2003.
8. Leihong, Li., "Structure design of composite rotor blades with consideration of manufacturability, Durability, and manufacturing uncertainties" " Georgia Institute of Technology, 2008