(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0138099
(43) 공개일자 2015년12월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 17/50 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G06F 17/5018 (2013.01)
G06F 17/5004 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0076128
(22) 출원일자 2015년05월29일
심사청구일자 2015년05월29일
(30) 우선권주장
1020140065127 2014년05월29일 대한민국(KR)

(71) 출원인
한국기계연구원
대전광역시 유성구 가정북로 156 (장동)
(72) 발명자
김진봉
경상남도 김해시 대청로210번길 13 904동 1803호 (삼문동, 젤미마을9단지부영아파트)
박지상
경상남도 창원시 성산구 원이대로 774 304동 2403호 (상남동, 성원아파트)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인가산

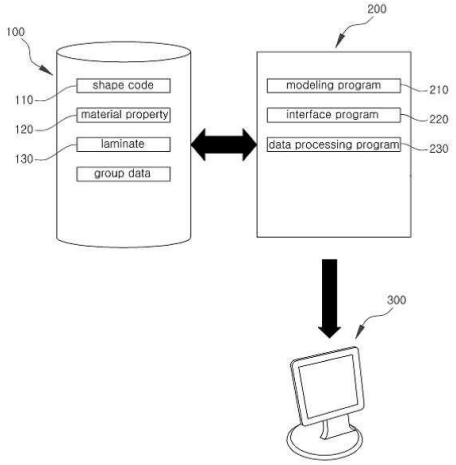
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 **블레이드의 구조 설계 해석 방법**

(57) 요 약

본 발명은 설계된 블레이드에 대한 지오메트리 모델을 토대로 유한요소 분할하여 쉘(shell) 유한요소 모델을 생성하는 모델링 단계; 상기 지오메트리 모델에 각 영역별 정보를 입력하고, 상기 입력된 영역별 정보를 토대로 상기 쉘(shell) 유한요소 모델의 각 요소에 적층 정보를 입력하는 단계; 상기 적층 정보가 입력된 쉘 유한요소 모델의 길이방향을 따라 복수의 아크 라인을 추출하는 단계; 상기 아크 라인의 진동 거동을 통해 상기 블레이드의 단면 물성 정보를 산출하는 단계; 상기 블레이드의 단면 물성 정보에 대응되는 빔(beam)의 물성치를 각각 생성하고, 각각의 상기 물성치로부터 빔 유한요소 모델을 생성하는 단계; 및 상기 블레이드에 관한 정보를 해석하는 단계를 포함하는 블레이드의 구조 설계 해석 방법에 관한 것이다.

대 표 도 - 도4



(72) 발명자

강민규

경상남도 김해시 율하2로11번길 35-10 201호 (관동동)

김시백

경상남도 창원시 성산구 대암로 282 101-405 (대방동, 대방동성아파트)

김경덕

경상남도 창원시 성산구 창원대로 797 한국기계연구원 부설 재료연구소 기숙사동 318호 (상남동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415137241
부처명	산업통상자원부
연구관리전문기관	한국산업기술평가관리원
연구사업명	신재생에너지융합핵심기술개발(전력)
연구과제명	대형 블레이드를 위한 카본파이버 적용 블레이드 기술 개발 및 실증
기 여 율	1/1
주관기관	두산중공업(주)
연구기간	2014.10.01 ~ 2015.09.30

명 세 서

청구범위

청구항 1

설계된 블레이드에 대한 지오메트리 모델을 토대로 유한요소 분할하여 쉘(shell) 유한요소 모델을 생성하는 모델링 단계;

상기 지오메트리 모델에 각 영역별 정보를 입력하고, 상기 입력된 영역별 정보를 토대로 상기 쉘(shell) 유한요소 모델의 각 요소에 적층 정보를 입력하는 단계;

상기 적층 정보가 입력된 쉘 유한요소 모델의 길이방향을 따라 복수의 아크 라인을 추출하는 단계;

상기 아크 라인의 진동 거동을 통해 상기 블레이드의 단면 물성 정보를 산출하는 단계;

상기 블레이드의 단면 물성 정보에 대응되는 빔(beam)의 물성치를 각각 생성하고, 각각의 상기 물성치로부터 빔 유한요소 모델을 생성하는 단계; 및

생성된 상기 빔 유한요소 모델을 통해 상기 블레이드에 관한 정보를 해석하는 단계를 포함하는 블레이드의 구조 설계 해석 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 블레이드에 관한 정보를 해석하는 단계는,

상기 블레이드의 고유 진동수를 해석하는 단계를 포함하는, 블레이드의 구조 설계 해석 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 블레이드에 관한 정보를 해석하는 단계는,

상기 블레이드의 동적 거동을 해석하는 블레이드의 구조 설계 해석 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 블레이드에 관한 정보를 해석하는 단계는,

상기 블레이드의 피로 하중을 해석하는 단계를 포함하는, 블레이드의 구조 설계 해석 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 아크 라인에는,

상기 블레이드의 단면 형상 정보 및 적층 정보를 포함하는 블레이드의 구조 설계 해석 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 블레이드 단면의 물성 정보는,

상기 블레이드의 단면 형상 정보 및 적층 정보를 기초하여 산출하는 블레이드의 구조 설계 해석 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 블레이드 단면의 물성 정보는,

상기 블레이드 단면의 인장 강성, 굽힘 강성, 비틀림 강성 및 질량 관성 모멘트 중 적어도 하나를 포함하는 블레이드의 구조 설계 해석 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 빔 유한요소 모델은,

상기 아크 라인을 하나의 절점인 상기 빔으로 변환하고, 각각의 상기 빔을 연결하여 생성되는 블레이드 구조 설계 해석 방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 아크 라인은,

상기 블레이드의 단면 정보를 포함하는 복수의 노드가 연결되어 형성되는 블레이드 구조 설계 해석 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 블레이드의 구조 설계 해석 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 블레이드의 유한요소모델링을 통해 블레이드의 형상 및 내부 구조를 정확하고 신속하게 설계하기 위한 블레이드의 구조 설계 해석 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 일반적으로 블레이드는 송풍기나 자동차 엔진 등에서부터 헬리콥터의 로터, 항공기 엔진 및 풍력 발전기 용 로터 등과 같은 다양한 분야에서 사용되고 있다. 이러한 블레이드 중 풍력발전용 블레이드는 통상 가볍고 튼튼한 강화 섬유 복합재료로 제조되며, 발전된 형태의 복합재료를 점차 차용하는 추세이다. 또한, 블레이드는 공기 역학적으로 최적화된 형상으로 형성되는 추세이다.

[0003] 풍력 발전용 블레이드는 바람에 의해 회전하게 되고, 바람의 진동수와 블레이드의 고유진동수가 일치하게 되면 공진현상이 발생하여 변형된 블레이드가 타워와 부딪쳐 풍력 발전기가 파손되는 등의 문제점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 블레이드의 고유진동수를 파악하는 모달해석 등이 매우 중요하다.

[0004] 블레이드의 고유진동수 해석을 위해서는 블레이드의 사용 지역, 요구 조건에 따라 다양한 크기, 재질 등의 정보가 필요하며, 이러한 정보뿐 만아니라 블레이드의 구조 설계가 매우 중요하다. 이러한 블레이드의 구조 설계 해석 방법은 다양하게 이루어 질 수 있지만, 통상적으로는 기초 모델 설계과정, 전산 모델링 과정, 구조 해석 및 설계 수정 과정의 반복으로 진행된다. 상기 전산 모델링 과정에는 유한요소 모델링을 사용하며, 유한요소 모델 중에는 솔리드 유한요소 모델, 쉘 유한요소 모델 등을 주로 사용한다. 많은 데이터가 입력되는 3차원의 솔리드 유한요소 모델을 이용하여 블레이드의 최적화된 구조적 형상을 해석하는 경우, 해석을 위한 솔버 시간이 많이 소요되며, 여러 조건에 따른 작업을 수행하는데에 많은 시간이 소요되는 단점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 블레이드의 빔 유한요소모델링을 통해 블레이드의 형상 및 내부 구조를 정확하고 신속하게 설계하기 위한 블레이드의 구조 설계 해석 방법을 제공하는 것이다.

[0006] 본 발명의 과제들은 이상에서 언급한 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재

로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 상기 과제를 달성하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 블레이드의 구조 설계 해석 방법은, 설계된 블레이드에 대한 지오메트리 모델을 토대로 유한요소 분할하여 쉘(shell) 유한요소 모델을 생성하는 모델링 단계; 상기 지오메트리 모델에 각 영역별 정보를 입력하고, 상기 입력된 영역별 정보를 토대로 상기 쉘(shell) 유한요소 모델의 각 요소에 적층 정보를 입력하는 단계; 상기 적층 정보가 입력된 쉘 유한요소 모델의 길이방향을 따라 복수의 아크 라인을 추출하는 단계; 상기 아크 라인의 진동 거동을 통해 상기 블레이드의 단면 물성 정보를 산출하는 단계; 상기 블레이드의 단면 물성 정보에 대응되는 빔(beam)의 물성치를 각각 생성하고, 각각의 상기 물성치로부터 빔 유한요소 모델을 생성하는 단계; 및 생성된 상기 빔 유한 요소 모델을 통해 상기 블레이드에 관한 정보를 해석하는 단계를 포함한다.

[0008] 기타 실시예들의 구체적인 사항들은 상세한 설명 및 도면들에 포함되어 있다

발명의 효과

[0009] 본 발명의 블레이드의 구조 설계 해석 방법에 따르면 다음과 같은 효과가 하나 혹은 그 이상 있다.

[0010] 빔 유한요소 모델에 기초한 블레이드의 고유진동수 해석, 블레이드의 공탄성 해석 등을 더욱 신속하고 정확하게 수행할 수 있는 장점이 있다.

[0011] 또한, 블레이드의 복합재료를 고려한 고유진동수 해석, 블레이드의 공탄성 해석 등을 신속하고 정확하게 수행할 수 있는 장점이 있다.

[0012] 본 발명의 효과들은 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 효과들은 청구범위의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0013] 도 1은 종래의 솔리드 유한요소 모델을 통해 블레이드의 고유진동수를 해석하는 모습을 도시한 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 블레이드가 적용된 풍력발전 장치를 도시한 사시도이다.

도 3은 도 2의 블레이드의 단면을 도시한 사시도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 블레이드의 구조 설계 해석장치를 개략적으로 도시한 블록도이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 형상코드 정보를 도시한 도면이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 블레이드의 구조 설계 해석 방법의 과정을 도시한 순서도이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 블레이드 구조 설계 해석 방법 중 쉘 유한요소 모델에서 아크 라인을 추출하는 모습을 도시한 도면이다.

도 8은 도 7의 추출된 복수의 아크 라인을 정렬한 모습을 도시한 도면이다.

도 9는 도 7의 복수의 아크 라인 중 4.3m의 지점에서 추출한 아크 라인을 기초로 블레이드 단면의 물성을 산출하는 모습을 도시한 도면이다.

도 10은 도 7의 복수의 아크 라인 중 10.3m의 지점에서 추출한 아크 라인을 기초로 블레이드 단면의 물성을 산출하는 모습을 도시한 도면이다.

도 11은 도 7의 복수의 아크 라인 중 30.3m의 지점에서 추출한 아크 라인을 기초로 블레이드 단면의 물성을 산출하는 모습을 도시한 도면이다.

도 12는 도 7의 복수의 아크 라인 중 40.3m의 지점에서 추출한 아크 라인을 기초로 블레이드 단면의 물성을 산출하는 모습을 도시한 도면이다.

도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 불레이드 구조 설계 해석 방법 중 복수의 아크 라인으로부터 빔 유한요소 모델을 생성하는 모습을 도시한 도면이다.

도 14는 도 13의 빔 유한요소 모델의 고유진동수에 대한 산출 결과를 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0014] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명한다. 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 게시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다.

[0015] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprises)" 및/또는 "포함하는(comprising)"은 언급된 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자에 하나 이상의 다른 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.

[0016] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 명백하게 특별히 정의되어 있지 않는 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다.

[0017] 이하, 본 발명의 실시예들에 의하여 블레이드의 구조 설계 해석 방법을 설명하기 위한 도면들을 참고하여 본 발명에 대해 설명하도록 한다.

[0018] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 블레이드가 적용된 풍력발전 장치를 도시한 사시도이다. 도 3은 도 2의 블레이드의 단면을 도시한 사시도이다.

[0019] 도 2 및 도 3를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력발전장치는 다양한 형태의 블레이드를 이용하여 바람의 운동 에너지를 기계적 에너지로 변환하고, 이 기계적 에너지로 발전기를 구동하여 전력을 얻어내는 장치이다. 일반적으로 풍력발전장치는 바람에 의해 회전하는 블레이드(10), 블레이드(10)가 고정되어 회전 중심축이 되는 샤프트 및 샤프트의 회전에 의해 전력을 생산하는 발전기가 구비되는 나셀(20) 및 나셀(20)을 지지하는 타워(30)를 포함한다.

[0020] 블레이드(10)는 바람을 맞아 회전함으로써, 플랩방향의 진동, 에지방향의 진동 등이 발생하여 블레이드(10)에 많은 응력, 전단력 등이 작용한다. 이에 따라, 블레이드(10)는 강화섬유 복합재료가 적층된 구조로 제조되며, 강화섬유 복합재료를 방향성을 달리하여 적층되여, 응력 등에 대한 강성이 증대된다.

[0021] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 블레이드의 구조 설계 해석장치를 개략적으로 도시한 블록도이다. 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 형상코드 정보를 도시한 도면이다.

[0022] 도 4를 참조하면, 블레이드의 구조 설계 해석장치는 블레이드의 구조 설계를 해석하기 위한 컴퓨터 시스템이다. 블레이드의 구조 설계 해석장치는 데이터 저장부(100), 데이터 처리부(200) 및 디스플레이부(300)를 포함한다.

[0023] 설명의 편의를 위해 블레이드의 구조 설계 해석 장치는 단일의 컴퓨터 시스템으로 구성됨을 그 예로 하지만, 필요에 따라서는 복수의 컴퓨터 시스템으로 구성될 수 있다.

[0024] 데이터 저장부(100)는 각종 데이터가 저장되는 저장 매체이다. 데이터 저장부(100)에 저장된 데이터에는 형상 코드 데이터(110), 단층 물성 데이터(120), 적층 소재 데이터(130)가 포함된다.

[0025] 형상 코드 데이터(110)는 각 단층별 적층 형상에 대하여 코드별로 정의된 데이터이다. 이러한 형상 코드 데이터(110)는 블레이드 기초 모델 설계 과정에서 설계된 적층 설계의 각 단층별 적층 형상을 근거로 하여 특정 영역별로 적층 소재 정보를 적용한 후 이에 각각 코드를 부여함으로써 생성된다. 이때, 도 5를 참조하면, 각 단층별 적층 형상에 대한 정보는 그 이미지와 함께 코드별로 정의된 형상 코드 데이터로 저장된다. 또한, 형상 코드 데이터는 복수의 형상 코드로 저장되어 있다. 이러한 형상 코드는 사용자의 선택에 의해 사이즈가 가변될 수 있고, 저장된 각각의 형상 코드를 조합하여 별개의 형상 코드를 생성할 수 있어, 사용자는 다양한 블레이드의 기초 형상을 모델링 할 수 있다.

[0026] 단층 물성 데이터(120)는 각 단층의 물성에 대한 정보의 데이터이다. 예컨대, 단층 물성 데이터(120)는 각 단층에 대한 탄성계수(elastic modulus), 프와송비(poisson's ratio), 밀도(density) 등이 될 수 있으며, 필요예에 따라서는 전단계수(shear modulus), 열팽창계수(thermal expansion coefficient) 등이 더 포함될 수 있다.

[0027] 적층 소재 데이터(130)는 물성 정보를 토대로 정의된 각 단층별 직물의 적층 형태에 대한 정보를 기록한 데이터를 의미한다. 이때 적층형태에 관한 정보는 각 단층의 직물에 대한 방향성(각도), 적층 수 및 두께 등이 포함된다.

[0028] 데이터 저장부(100)에 저장되는 각종 데이터는 블레이드에 대한 기초 설계도니 정보를 토대로 사용자에 의해 각각 정의되어 저장된다. 각종 데이터에 대한 정의는 별도의 유저인터페이스를 통해 수행될 수 있다.

[0029] 데이터 처리부(200)는 데이터 저장부(100)에 저장된 각종 데이터 및 사용자가 입력한 각 영역별 정보를 토대로 모델링하고, 각 요소별 적층 정보를 자동으로 부여하며, 사용자의 편리한 조작을 위한 인터페이스를 제공한다.

[0030] 데이터 처리부(200)에는 모델링 프로그램(210), 인터페이스 프로그램(220) 및 데이터 처리 프로그램(230)이 각각 저장된다.

[0031] 모델링 프로그램(210)은 지오메트리 모델링(geometry modeling)을 통한 3차원 형상 모델링을 수행함과 더불어 이를 토대로 한 유한요소 분할(Finite Element meshing)을 통해 쉘 유한요소 모델을 생성하도록 프로그래밍된 프로그램이다.

[0032] 인터페이스 프로그램(220)은 적층 설계(laminate plan)에 따라 적층되는 각 단층의 영역별 정보의 입력을 위한 그래픽 유저 인터페이스를 제공하도록 프로그래밍된 프로그램이다. 인터페이스 프로그램(220)에 의해 입력되는 영역별 정보에는 형상 코드(shape code)의 명칭과, 형상 코드별 영역에 대한 정보(좌표) 및 해당 형상코드의 적층 소재 정보가 포함된다.

[0033] 데이터 처리 프로그램(230)은 그래픽 유저 인터페이스를 통해 입력된 영역별 정보 및 데이터 저장부에 저장된 각종 데이터를 토대로 모델링 프로그램을 통해 생성된 쉘 유한요소 모델의 각 요소에 적층 정보를 자동 입력하도록 한다.

[0034] 데이터 처리 프로그램(230)은 적층 정보가 자동 입력된 쉘 유한요소 모델로부터 복수의 아크 라인을 추출하도록 프로그래밍된다. 이때 데이터 처리 프로그램(230)은 쉘 유한요소 모델의 길이방향을 따라, 쉘 유한요소의 단면인 아크 라인을 각각 추출한다. 즉, 아크 라인은 쉘 유한요소 모델의 단면이다.

[0035] 복수의 아크 라인은 설계된 블레이드의 단면에 대응되며, 쉘 유한요소 모델의 길이방향을 따라 각각 추출된다. 추출된 아크 라인에는 블레이드의 단면 정보를 포함하며, 블레이드의 단면 정보에는 자동 입력된 적층 정보, 형상 정보, 영역별 정보(좌표 체계 정보 등을 포함) 등이 포함된다. 즉, 아크 라인은 쉘 유한요소 모델에서 자동 입력된 블레이드의 단면 형상, 적층 정보, 영역별 정보 등의 블레이드 단면 정보를 획득하기에 쉘 유한요소 모델과의 호환성을 유지할 수 있다.

[0036] 또한, 아크 라인은 폐곡선으로 형성되며, 아크 라인을 따라 배치되는 복수의 노드(node)를 포함한다. 즉, 아크 라인은 복수의 노드가 연결되어 형성되며, 복수의 노드에는 각각의 노드의 좌표에 대응되는 쉘 유한요소 모델의 정보가 포함된다. 즉, 노드에는 블레이드의 단면의 한 지점에 대한 정보를 포함한다.

[0037] 데이터 처리 프로그램(230)은 인터페이스 프로그램(220)을 통해 쉘 유한요소 모델에서 추출할 아크 라인의 개수를 입력받으며, 아크 라인에 배치될 노드의 개수를 입력받는다. 아크 라인에 배치되는 노드의 개수가 많을수록 블레이드의 단면 정보를 많이 반영할 수 있다. 이에 따라, 후술할 블레이드 단면의 물성정보를 정확히 산출할 수 있다. 다만, 아크 라인을 구성하는 노드의 수가 많으면, 데이터 처리부(200)에서 처리해야할 데이터의 량이 많아지기에 후술할 블레이드 단면의 물성정보를 산출하는 시간이 증가될 수 있다.

[0038] 데이터 처리 프로그램(230)은 추출된 아크 라인에 포함된 블레이드 단면 정보를 기초로 하여 블레이드 단면의 물성 정보를 산출하도록 프로그래밍된다. 즉, 데이터 처리 프로그램(230)은 각각의 노드에 포함된 블레이드 단면 정보을 기초로하여 블레이드 단면의 물성 정보를 산출할 수 있도록 프로그래밍된다. 상세히 설명하면, 아크 라인의 진동 거동(와핑 테스트)를 통해 아크 라인에 대응되는 블레이드 단면의 물성 정보를 산출한다. 산출방법에 대해서는 이하 후술한다. 블레이드 단면의 물성 정보에는 블레이드 단면의 강성, 질량관성모멘트, 전단중심, 탄성 중심, 질량 중심 등을 포함한다. 상기 강성에는 인장 강성, 비틀림 강성, 굽힘 강성 등을 포함한다.

[0039] 데이터 처리 프로그램(230)은 블레이드의 단면 물성 정보가 산출된 복수의 아크 라인을 각각 연결하는 1차원의 빔(Beam) 유한요소 모델(도 13의 2000 참조)을 생성한다. 즉, 데이터 처리 프로그램(230)은 각각의 아크 라인을 하나의 절점(node)인 빔으로 변환하고, 각각의 빔을 연결하여 빔 유한요소 모델을 생성한다. 빔은 아크 라인을 하나의 절점으로 변환한 것이기에 블레이드 단면의 물성 정보에 대응되는 물성치를 포함한다. 이에 따라, 데이터 처리 프로그램은 빔 유한요소 모델을 통해 블레이드의 고유진동수를 해석한다. 즉, 빔 유한요소 모델은 각각

의 빔에 포함된 물성치를 기초로 하여 블레이드의 고유진동수를 해석한다. 해석된 고유진동수에는 블레이드의 플랩방향 및 에지방향 중 적어도 한 방향의 고유진동수가 포함된다.

[0040] 디스플레이부(300)는 각종 모델링 정보, 이미지 정보 및 인터페이스 등의 디스플레이를 위한 것으로써, 통상의 모니터가 될 수 있다. 디스플레이부(300)는 데이터 처리부(200)를 포함하는 컴퓨터 시스템과 직접 연결되는 모니터일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니며 데이터 처리부를 포함하는 컴퓨터 시스템과 온라인으로 연결된 다른 컴퓨터 시스템의 모니터일 수도 있다.

[0041] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 블레이드의 구조 설계 해석 방법의 과정을 도시한 순서도이다. 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 블레이드 구조 설계 해석 방법 중 쉘 유한요소 모델에서 아크 라인을 추출하는 모습을 도시한 도면이다. 도 8은 도 7의 추출된 복수의 아크 라인을 정렬한 모습을 도시한 도면이다.

[0042] 도 6 내지 도 8을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 블레이드 구조 설계 해석 방법은 기초 모델 설계가 완료된 블레이드에 대한 구조 설계를 해석하는 일련의 과정으로써, 크게 모델링 단계(S110, S120), 정보 입력 단계(S130, S140), 아크 라인의 추출 단계(S150), 블레이드 단면의 물성을 산출단계(S160) 및 1차원의 빔 유한요소 모델 생성 단계(S170) 및 빔 유한요소 모델로부터 블레이드의 고유진동수를 해석 단계(180)를 포함한다.

[0043] 먼저, 작업자에 의한 구조 설계 해석이 요청되면, 데이터 처리부(도 3의 200참조)는 모델링 프로그램을 실행시켜 모델링 단계(S110, S120)를 수행한다.

[0044] 모델링 단계(S110, S120)는 기초 모델 설계과정에 의해 설계된 블레이드에 대한 지오메트리 모델링 (geometry modeling)을 통한 3차원 형상 모델링을 수행하는 단계(S110)와 이와 더불어 지오메트리 모델 (geometry model)을 토대로 한 유한요소 분할 (Finite Element meshing)하여 쉘 유한요소 모델(1000)을 생성하는 단계(S120)를 포함한다. 3차원 형상 모델링은 블레이드를 이루는 주요 부재에 의해 구분되는 대략 10여 개의 섹션을 토대로 모델링되어 지오메트리 모델링 과정이 간단히 이루어 질 수 있다. 전술한 블레이드를 이루는 주요부재는 스파캡, 세어 웹, 일방향 리딩 에지, 일방향 트레일링 에지, 팁 등이 될 수 있다. 또한, 쉘 유한요소 모델을 생성하는 단계(S120)에서 유한요소분할이 적층 설계와는 독립적으로 진행된다.

[0045] 상기 모델링 단계(S110, S120)가 완료되면, 데이터 처리부는 인터페이스 프로그램을 실행하여 정보 입력단계(S130, S140)를 수행한다. 정보 입력단계(S130, S140)는 지오메트리 모델에 블레이드의 적층 설계에 따른 적층 수만큼 각 단층의 각 영역별 정보를 입력하는 영역 정보 입력단계(S130)와 입력된 영역별 정보를 토대로 쉘 유한요소 모델(2000)의 각 요소에 적층 정보를 입력하는 적층 정보 입력단계(S140)를 포함한다.

[0046] 영역 정보 입력 단계(S130)는 블레이드의 형상 코드의 지정, 영역 지정, 적층 소재의 선택 및 정보 등록 과정이 순차적으로 진행된다. 즉, 데이터 처리부는 디스플레이부를 통해 표시되는 유저 인터페이스를 이용하여 사용자로부터 각 단층별 형상에 대한 형상 코드를 지정하도록 요청받는다. 전술한 바와 같이 형상 코드는 몇 개 형상으로 지정되어 있으며, 유저 인터페이스를 통해 형상 코드에 대응되는 형상의 크기를 조절하거나, 복수의 형상 코드를 조합하여 별개의 형상을 생성할 수 있다. 데이터 처리부는 지정된 형상 코드의 영역을 지정하도록 요청하며, 지정된 영역에 대한 적층 소재를 선택하도록 요청함과 더불어 일련의 과정을 통해 선택 및 입력된 정보를 해당 코드별 정보로 등록하는 과정이 진행될 수 있다.

[0047] 형상 코드 영역을 지정하기 위해 입력하는 정보는 영역의 시작점 좌표, 복수의 끝점 좌표, 끝점 폭 및 경사 각도 등이 포함될 수 있다.

[0048] 적층 소재의 선택은 미리 데이터화된 상태로 데이터 저장부에 저장된 적층 소재 데이터를 유저 인터페이스에 표시하여 사용자가 유저 인터페이스를 통해 선택함으로써 이루어진다.

[0049] 영역 정보 입력단계(S130)는 블레이드의 적층 설계에 따른 적층 수만큼 적층 영역에 대한 형상 코드 선택과 적층 소재 선택 등이 완료될 때까지 반복적으로 수행된다. 즉, 기초 설계된 블레이드의 모든 적층 설계에 대한 영역별 정보의 입력이 완료될 때까지 전술한 영역 정보 입력단계가 반복적으로 수행된다.

[0050] 영역 정보 입력단계(S130)가 완료되면, 적층 정보 입력단계(S140)가 수행된다. 적층 정보 입력단계(S140)는 데이터 처리부의 데이터 처리 프로그램이 입력받은 각 영역별 정보를 토대로 쉘 유한요소 모델(1000)의 각 요소에 적층 정보를 입력하는 과정이다. 즉, 쉘 유한 요소 모델(1000)의 각 요소에 적층 재료의 종류, 두께, 적층각 및 좌표 등에 대한 적층 정보가 각각 입력되며, 이러한 적층 정보는 쉘 유한요소 모델(1000)의 각 요소에 자동으로 입력된다.

[0051] 적층 정보 입력단계(S140)는 영역 정보 입력단계(S130)를 통해 입력받은 각 영역별 정보와 쉘 유한요소 모델

(1000)의 각 요소에 대한 좌표를 비교하여 해당 좌표의 요소가 가지는 적층 정보를 각각 취득한 후에 적층 정보 및 해당 요소의 좌표를 단일 데이터로 병합하고, 이를 각 요소로 분류하여 저장함으로써 수행된다.

[0052] 아크 라인을 추출하는 단계(S150)는 데이터 처리부가 쉘 유한요소 모델(1000)로부터 복수의 아크 라인(1100)을 추출하는 과정이다. 아크 라인(1100)은 전술한 폐곡선으로 형성된 라인으로, 아크 라인을 따라 배치되는 복수의 노드를 포함한다. 즉, 아크 라인은 복수의 노드를 연결하여 이루어진 라인을 의미한다. 아크 라인(1100)을 구성하는 복수의 노드에는 그 좌표에 해당하는 블레이드의 단면 정보를 포함된다. 따라서, 많은 복수의 노드로 구성된 아크 라인(1100)에는 블레이드의 단면 정보를 더욱더 정확하게 포함할 수 있다.

[0053] 도 7에 도시된 바와 같이, 복수의 아크 라인(1100)은 쉘 유한요소 모델(1000)의 단면을 추출한 것이다. 도 7의 사각 박스 안의 확대도에서 녹색으로 표시된 부분은 쉘 유한 요소 모델을 구성하는 일정 부분의 메쉬 영역이고, 이러한 메쉬 영역으로부터 아크 라인(1100)이 추출된다. 도 7에서 아크 라인(1100)은 사각 박스 안의 확대도에서 녹색으로 표시된 메쉬 영역을 따라 표시되는 붉은 색 라인으로 표시된다.

[0054] 아크 라인(1100)은 블레이드의 단면에 대응되며, 쉘 유한요소 모델(1000)의 길이방향을 따라 각각 추출된다. 추출된 아크 라인(1100)에는 블레이드의 단면 정보를 포함한다. 도 8을 참조하면, 본 실시예에서 아크 라인(1100)은 쉘 유한요소 모델로부터 24개가 추출되나, 이에 한정되는 것은 아니며 42개, 46개 등으로 추출될 수도 있다

[0055] 블레이드 단면의 물성 정보를 산출하는 단계(S160)는 추출된 아크 라인(1100)에 포함된 블레이드 단면 정보를 기초로하여 블레이드 단면의 물성 정보를 해석하는 과정이다. 즉, 데이터 처리부는 아크 라인(1100)에 포함된 블레이드 단면 정보를 기초로 상기 아크 라인(1100)에 대응되는 블레이드의 단면 물성 정보를 해석할 수 있다.

[0056] 블레이드 단면의 물성 정보를 산출하는 단계(S160)는 데이터 처리부에서 아크 라인(1100)의 진동 거동(즉, 워핑 테스트(warping test))를 통해 블레이드 단면의 강성 등을 산출하고, 산출된 블레이드 단면의 강성을 기초로 하여 블레이드 단면의 질량 중심, 전단 중심, 탄성 중심 및 주 질량 관성 모멘트 등을 산출한다. 여기서 블레이드 단면의 강성에는 인장 강성, 비틀림 강성, 굽힘 강성 등을 포함한다. 이에 따라, 데이터 처리부는 아크 라인(1100)에 대응되는 블레이드 단면의 인장, 굽힘 강성, 비틀림 강성, 질량 중심, 전단 중심, 탄성 중심 및 질량 관성 모멘트 등을 해석할 수 있다. 또한, 블레이드 단면의 물성 해석하기 위해서는 적층 정보를 기초로하여 해석하였기에 적층 정보가 고려된 블레이드 단면의 물성을 해석할 수 있다.

[0057] 블레이드의 단면 물성 정보를 산출하기 위해 일반적인 쉘 이론에 점근해석기법을 적용하여 점근적으로 정확한 오일러-베르누이 보 모델(Euler-Bernoulli beam model)과 합응력을 구한다. 오일러-베르누이 보 모델(Euler-Bernoulli beam model)에 보의 단면해석을 위한 유한요소법을 적용하면, 4 x 4 강성행렬(고전적인 오일러-베르누이 보 모델)을 산출할 수 있다.

[0058] 산출된 4 x 4 강성행렬(오일러-베르누이 보 모델)의 대각성분에는 인장, 2개의 굽힘 및 비틀림 강성이 나타난다. 이에 따라, 도 9 내지 도 12에 도시된 Beam 4x4 Stiffness matrix의 대각성분에는 인장, 2개의 굽힘 및 비틀림 강성이 각각 산출된다. 또한, 4 x 4 강성행렬(오일러 베르누이 보 모델)을 통해서 탄성중심, 전단 중심, 굽힘 강성, 주축 등을 계산할 수 있다.

[0059] 생성된 블레이드 단면의 물성 정보에 대응되는 빔의 물성치를 생성하고, 생성된 빔의 물성치로부터 빔 유한 요소 모델을 생성한다(S170). 예를 들면, 빔 유한 요소 모델을 생성하는 단계는 각각의 아크 라인에 대한 블레이드의 단면 물성 정보에 대응되는 빔의 물성치를 생성하고, 물성치를 포함하는 빔을 각각 조합하여 빔 유한 요소 모델을 생성한다.

[0060] 생성된 빔 유한 요소 모델을 통해 블레이드에 관한 정보를 해석한다. 도 6에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에서, 블레이드에 관한 정보를 해석하는 단계에는 생성된 빔 유한 요소 모델(200)을 통해 블레이드의 고유 진동수를 해석하는 단계를 포함한다.

[0061] 블레이드의 고유 진동수를 해석하는 단계에서는 블레이드의 플랩방향 및 에지방향 중 적어도 한 방향의 고유진동수를 해석한다. 또한, 블레이드의 고유 진동수를 해석하는 단계에서는 블레이드의 비틀림 정도를 산출할 수 있다.

[0062] 블레이드의 고유 진동수를 해석하는 단계(S180)에서 블레이드의 단면 물성정보를 하나의 절점인 빔(2100)의 물성치로 변환하고, 각각의 빔(2100)의 물성치를 포함하는 빔 유한요소 모델(2000)을 이용하여 블레이드의 고유 진동수를 해석한다. 이에 따라, 빔 유한요소 모델(2000)은 각각의 블레이드의 단면 물성 정보에 대응되는 각각

의 물성치를 기초로 하여 블레이드의 고유진동수를 해석한다.

[0063] 또한, 소정의 실시예에서는 생성된 빔 유한 요소 모델을 통해 블레이드에 관한 정보를 해석하는 단계는, 블레이드의 피로 하중을 해석하는 단계를 포함한다. 블레이드의 피로 하중을 해석함에 따라, 블레이드에 가해지는 공력에 대응된 블레이드의 탄성 변형정도를 해석할 수 있다. 전술한 블레이드의 구조 설계 해석 방법은 풍력 발전기의 타워의 구조 설계 해석에도 사용될 수 있다. 이에 따라, 블레이드와 타워의 피로 하중을 해석할 수 있고, 이를 통해 블레이드와 타워에 가해지는 공력에 대응된 탄성 변형 정도를 해석하여 블레이드와 타워간의 간섭 여부를 확인할 수 있다. 예를 들면, 블레이드와 타워 간의 동적 거동을 해석할 수 있다.

[0064] 도 14는 도 13의 빔 유한요소 모델의 고유진동수에 대한 산출 결과를 도시한 도면이다.

[0065] 도 14를 참조하면, 전체 쉘 유한요소 모델을 이용하여 블레이드의 고유진동수를 산출한 것(Full FE model의 부분)과, 본 발명의 일 실시예에 따른 1차원의 빔 유한요소 모델을 이용하여 블레이드의 고유진동수를 산출한 것(Euler beam, Timoshenko beam의 부분)에 관한 비교가 도시되어 있다. 도 12을 보면, 전체 쉘 유한요소 모델을 이용한 블레이드의 고유진동수와 빔 유한요소 모델을 이용한 블레이드의 고유진동수에 대한 오차가 크지 않음을 알 수 있다. 또한, EB24 등에서 EB는 블레이드 단면의 강성 정보를 오일러 베르누이 빔 모델을 이용하여 산출한 것을 의미하고, 24는 쉘 유한요소 모델에서 추출한 셀 요소의 개수를 의미한다.

[0066] 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 불레이드 구조 설계 해석 방법 중 복수의 아크 라인으로부터 빔 유한요소 모델을 생성하는 모습을 도시한 도면이다.

[0067] 도 13을 참조하면, 아크 라인(1100)을 하나의 절점(node)으로 표시되는 빔 (2100)으로 변환하고, 변환된 빔(2100)를 각각 연결하여 1차원의 빔 유한요소 모델(2000)이 생성된 모습을 도시하고 있다. 빔 유한요소 모델(2000)은 블레이드의 길이 방향에 대응되도록 형성된다.

[0068] 블레이드의 고유진동수의 해석이 이루어지면, 블레이드가 사용되는 환경에서 발생할 수 있는 바람 등의 고유진동수와 비교하여, 설계된 블레이드의 고유진동수가 사용 환경에서 발생할 수 있는 바람 등의 고유진동수와 일치되지 않도록 설계할 수 있다. 이에 따라, 블레이드에 발생하는 공진 현상을 최소화하여 블레이드가 사용되는 풍력발전기 등의 제품이 파손되는 것을 방지할 수 있다.

[0069] 전술한 일련의 과정을 통한 블레이드의 구조 설계 해석은 쉘 유한요소 모델(1000)에서 적층 정보, 단면 형상 정보 등을 포함한 복수의 아크 라인(1100)를 추출하여, 이를 토대로 블레이드의 고유진동수를 산출하기에 복합재료의 적층 구조를 고려한 블레이드의 모달 해석을 할 수 있다, 또한, 쉘 유한요소 모델 중 복수의 아크 라인만을 추출하고, 이를 기초로 1차원의 빔 유한요소 모델을 형성하여 블레이드의 고유진동수를 해석하기에 블레이드의 고유진동수에 대한 해석의 시간이 획기적으로 단축될 수 있다.

[0070] 이상에서는 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 도시하고 설명하였지만, 본 발명은 상술한 특정의 실시예에 한정되지 아니하며, 특허청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 다양한 변형실시가 가능한 것은 물론이고, 이러한 변형실시들은 본 발명의 기술적 사상이나 전망으로부터 개별적으로 이해되어서는 안될 것이다.

부호의 설명

[0071] 10: 블레이드 100: 데이터 저장부

110: 형상 코드 데이터 120: 물성 데이터

130: 적층 데이터 200: 데이터 처리부

210: 모델링 프로그램 220: 인터페이스 프로그램

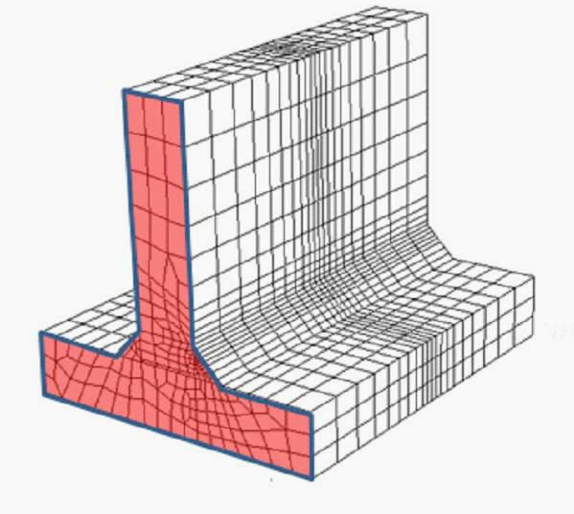
230: 데이터 처리 프로그램 300: 디스플레이부

1000: 쉘 유한요소 모델 1100: 아크 라인

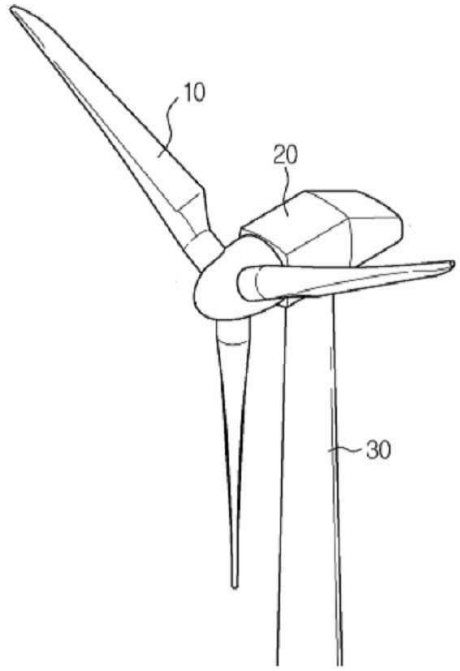
2000: 빔 유한요소 모델 2100: 빔

도면

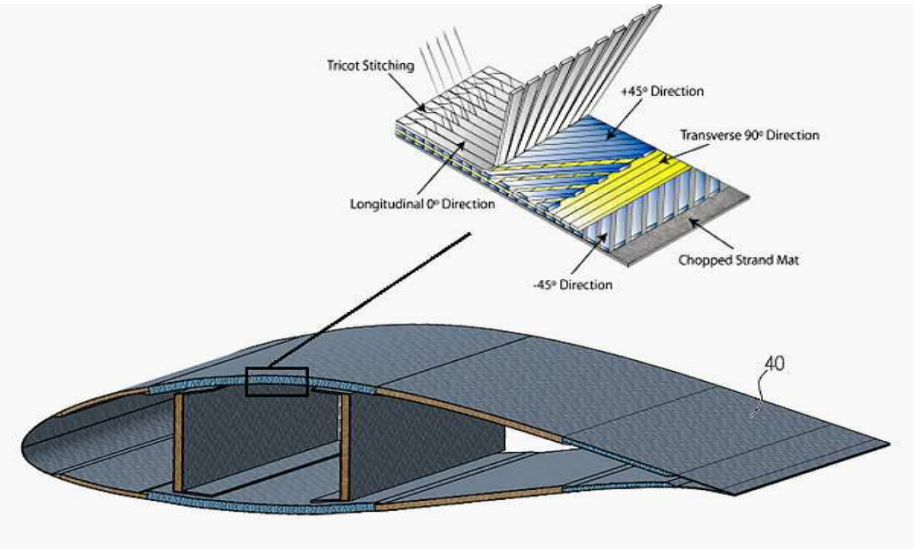
도면1



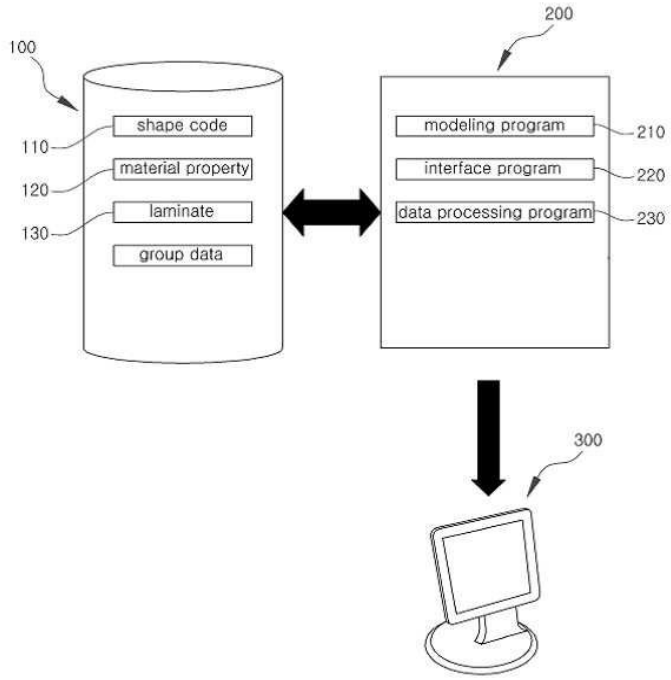
도면2



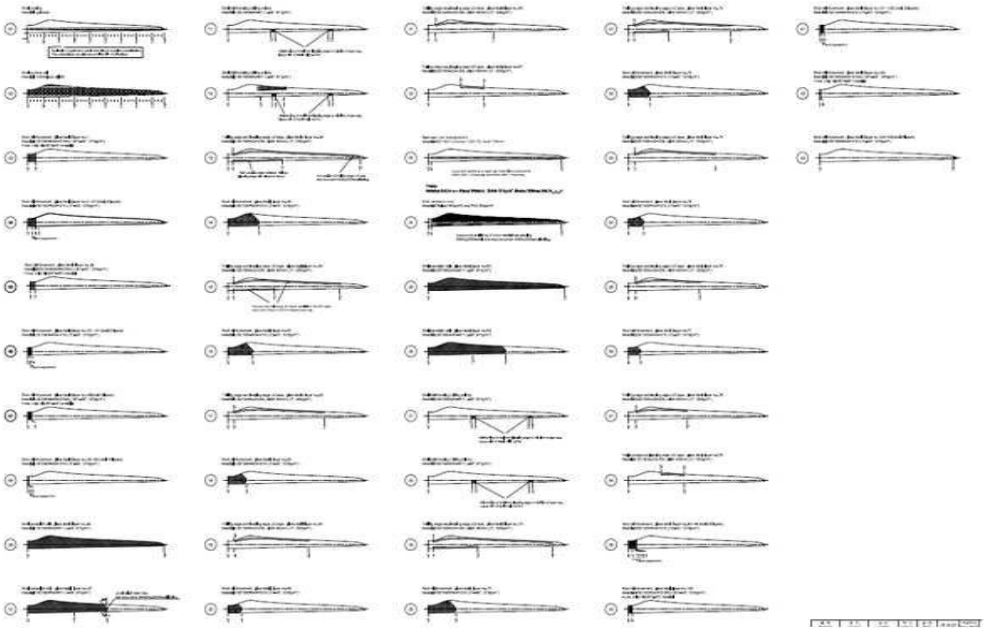
도면3


Tricot Stitching
+45° Direction
Transverse 90° Direction
Longitudinal 0° Direction
Chopped Strand Mat
-45° Direction
40

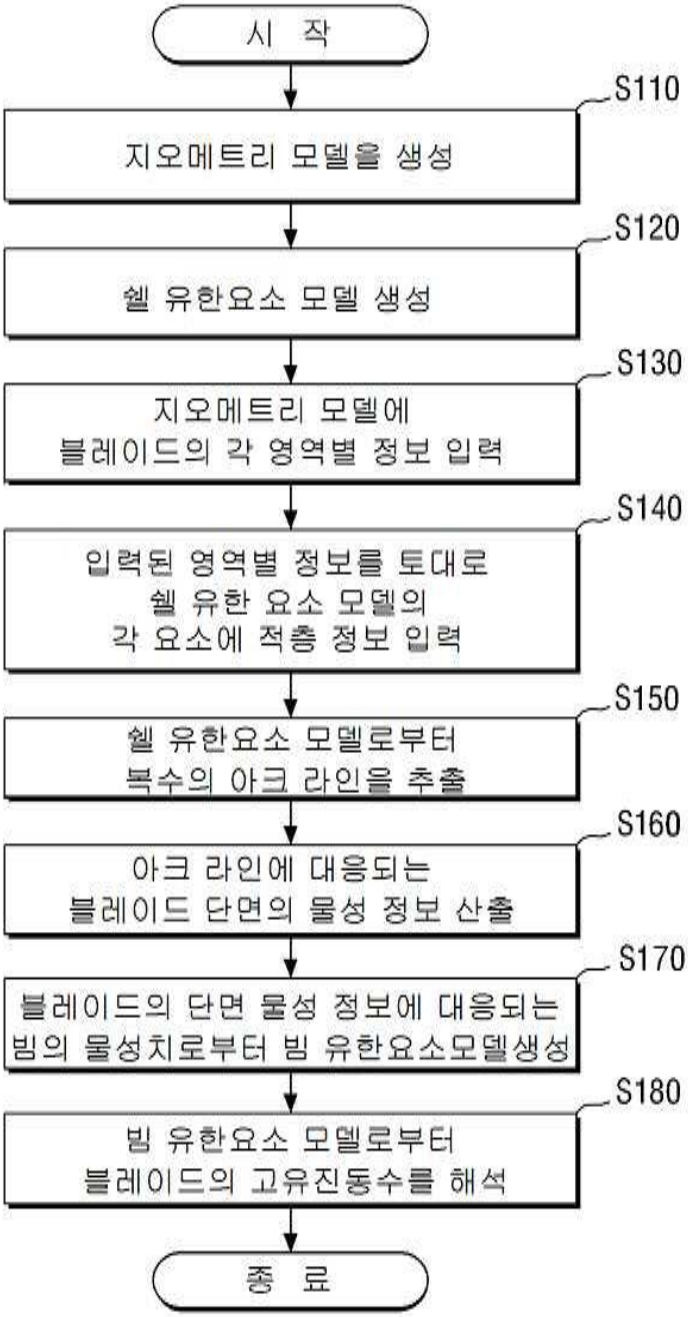
도면4


100
200
shape code
110
material property
120
laminate
130
group data
modeling program
210
interface program
220
data processing program
230
300

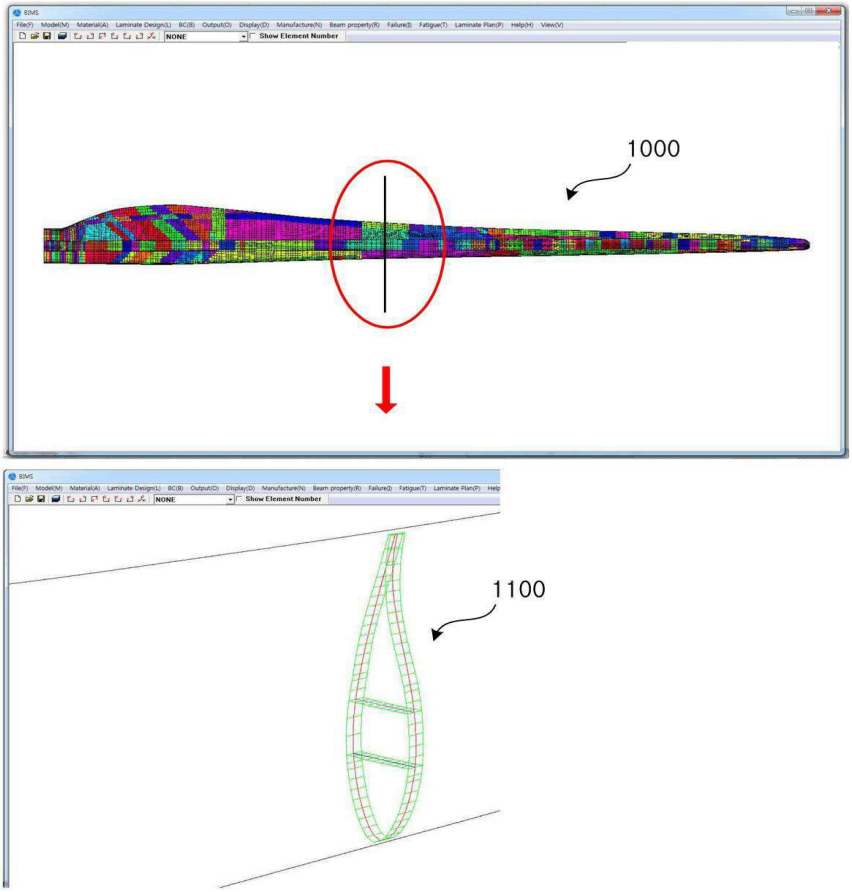
도면5



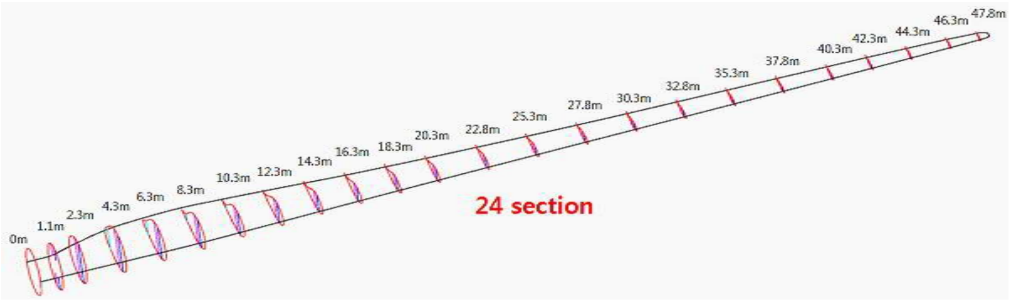
도면6


시 작
S110
지오메트리 모델을 생성
S120
쉘 유한요소 모델 생성
S130
지오메트리 모델에
블레이드의 각 영역별 정보 입력
S140
입력된 영역별 정보를 토대로
쉘 유한 요소 모델의
각 요소에 적층 정보 입력
S150
쉘 유한요소 모델로부터
복수의 아크 라인을 추출
S160
아크 라인에 대응되는
블레이드 단면의 물성 정보 산출
S170
블레이드의 단면 물성 정보에 대응되는
빔의 물성치로부터 빔 유한요소모델생성
S180
빔 유한요소 모델로부터
블레이드의 고유진동수를 해석
종 료

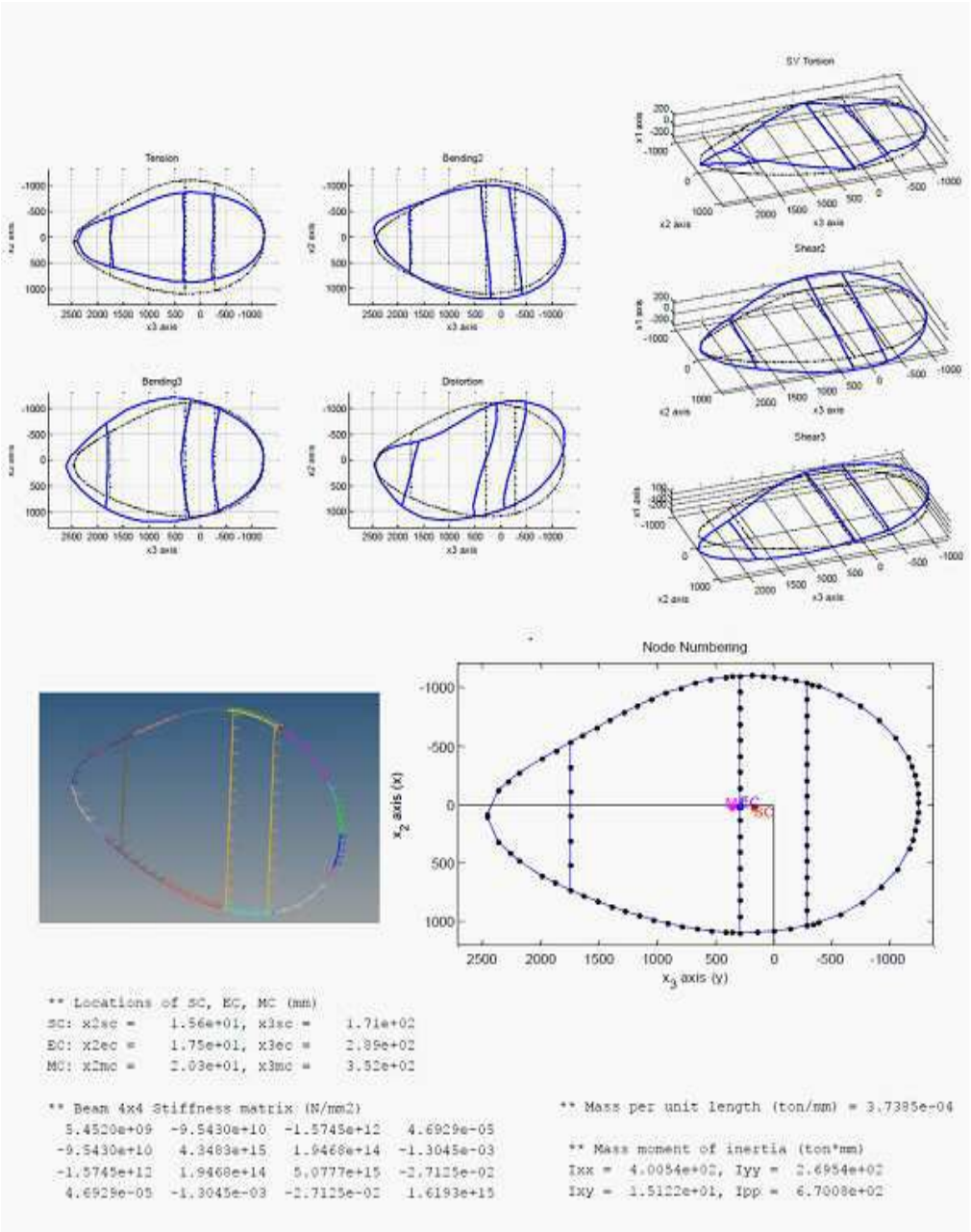
도면7


1000
1100

도면8


0m
1.1m
2.3m
4.3m
6.3m
8.3m
10.3m
12.3m
14.3m
16.3m
18.3m
20.3m
22.8m
25.3m
27.8m
30.3m
32.8m
35.3m
37.8m
40.3m
42.3m
44.3m
46.3m
47.8m
24 section

도면9



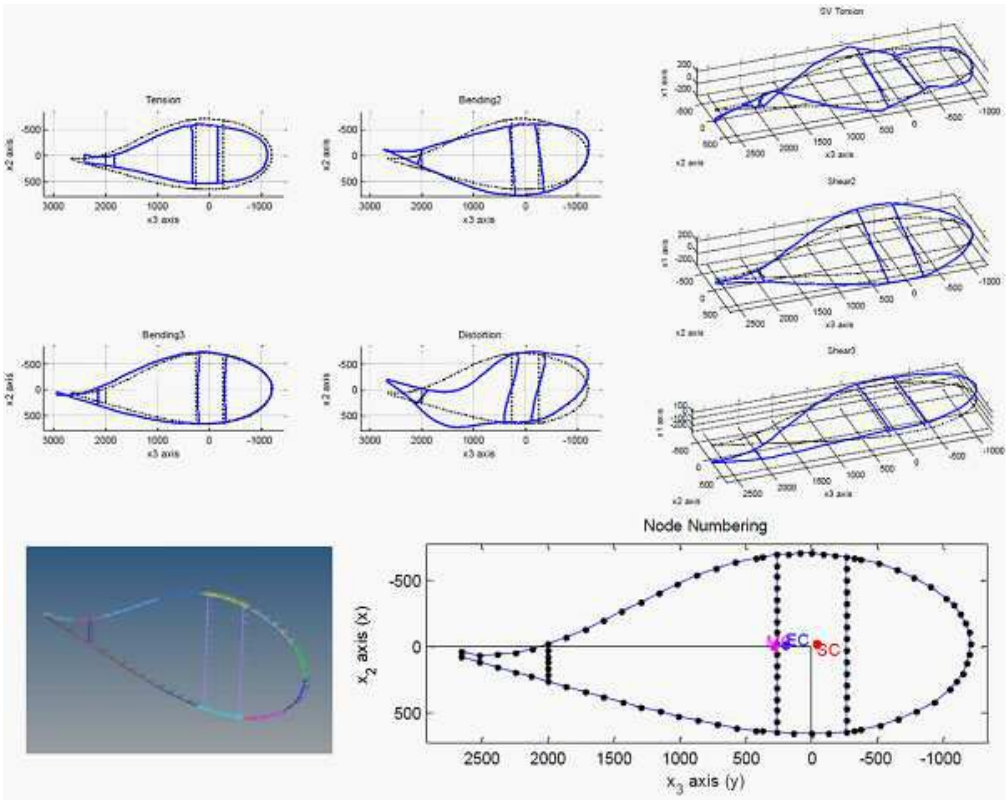

```
** Locations of SC, EC, MC (mm)
SC: x2sc =    1.56e+01, x3sc =    1.71e+02
EC: x2ec =    1.75e+01, x3ec =    2.89e+02
MC: x2mc =    2.03e+01, x3mc =    3.52e+02

** Beam 4x4 Stiffness matrix (N/mm2)
  5.4520e+09  -9.5430e+10  -1.5745e+12   4.6929e-05
 -9.5430e+10   4.3483e+15   1.9468e+14  -1.3045e-03
 -1.5745e+12   1.9468e+14   5.0777e+15  -2.7125e-02
  4.6929e-05  -1.3045e-03  -2.7125e-02   1.6193e+15

** Mass per unit length (ton/mm) = 3.7385e-04

** Mass moment of inertia (ton*mm)
Ixx =  4.0054e+02, Iyy =  2.6954e+02
Ixy =  1.5122e+01, Ipp =  6.7008e+02
```

도면10



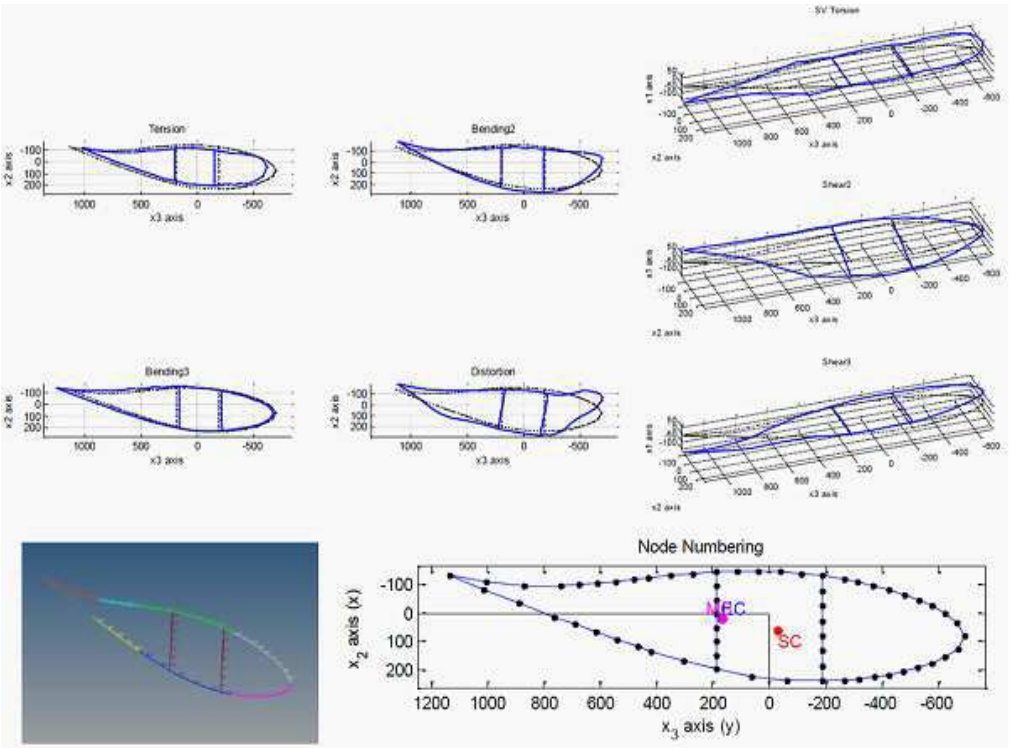

```
 ** Locations of SC, EC, MC (mm)
SC: x2sc =   -2.28e+01, x3sc =   -4.53e+01
EC: x2ec =   -6.24e+00, x3ec =    1.91e+02
MC: x2mc =   -1.23e-01, x3mc =    2.79e+02

** Beam 4x4 Stiffness matrix (N/mm2)
  4.8072e+09   2.9994e+10  -9.1927e+11   2.5223e-05
  2.9994e+10   1.6605e+15   1.1740e+14  -1.2296e-03
 -9.1927e+11   1.1740e+14   2.5249e+15  -1.7481e-02
  2.5223e-05  -1.2296e-03  -1.7481e-02   2.7344e+14

** Mass per unit length (ton/mm) = 2.9173e-04

** Mass moment of inertia (ton*mm)
Ixx =  2.2080e+02, Iyy =  9.3701e+01
Ixy =  9.4855e+00, Ipp =  3.1451e+02
```

도면11



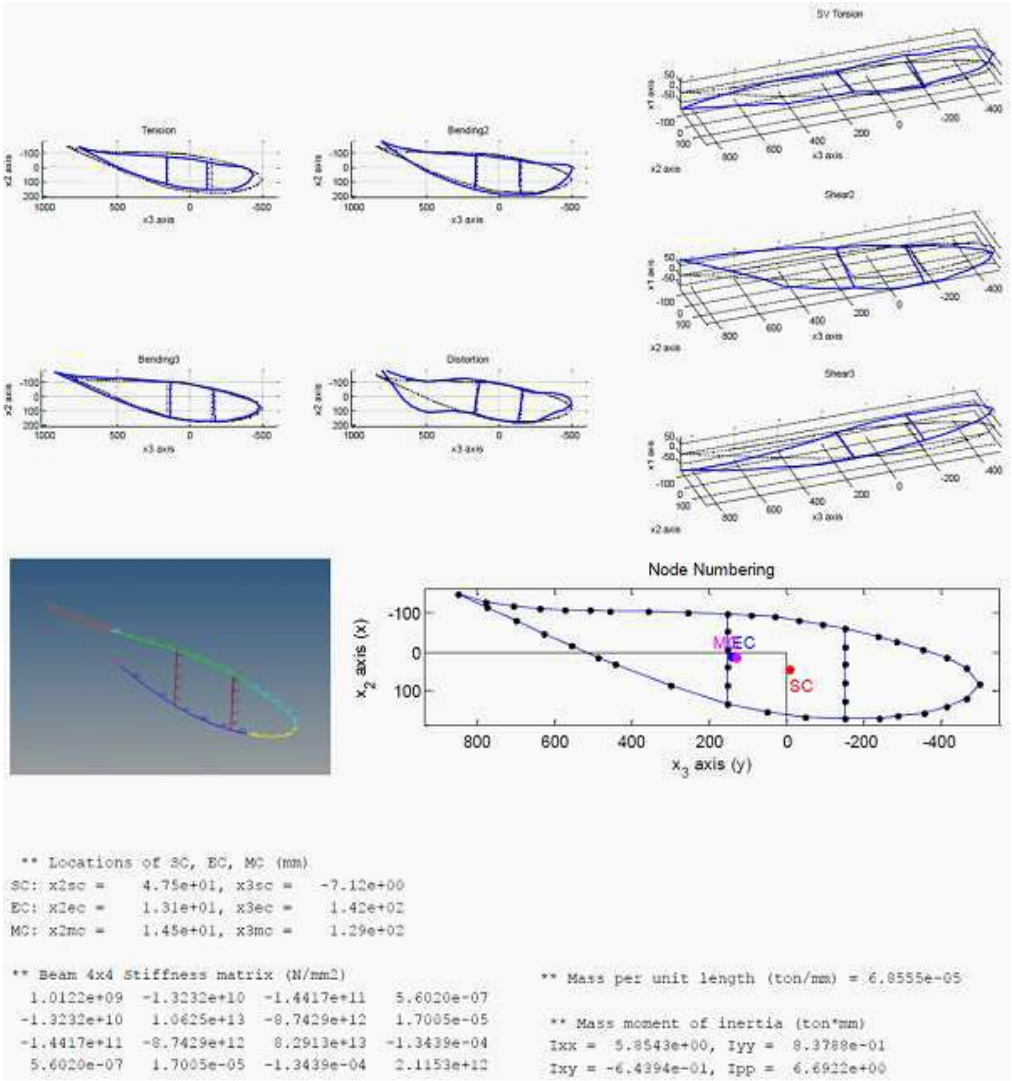

```
** Locations of SC, EC, MC (mm)
SC: x2sc =    5.93e+01, x3sc =   -3.08e+01
EC: x2ec =    2.04e+01, x3ec =    1.71e+02
MC: x2mc =    2.00e+01, x3mc =    1.67e+02

** Beam 4x4 Stiffness matrix (N/mm2)
  2.7103e+09  -5.5170e+10  -4.6314e+11   3.0862e-06
 -5.5170e+10   6.2169e+13  -2.7938e+13  -2.6462e-05
 -4.6314e+11  -2.7938e+13   3.9407e+14  -3.9559e-04
  3.0862e-06  -2.6462e-05  -3.9559e-04   1.1097e+13

** Mass per unit length (ton/mm) = 1.4082e-04

 ** Mass moment of inertia (ton*mm)
 Ixx =  2.3269e+01, Iyy =  3.7337e+00
 Ixy = -1.6908e+00, Ipp =  2.7002e+01
```

도면12



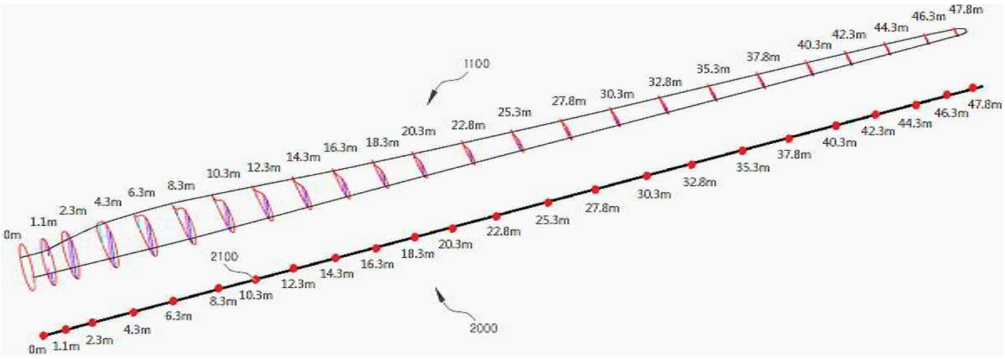

```
 ** Locations of SC, EC, MC (mm)
SC: x2sc =    4.75e+01, x3sc =   -7.12e+00
EC: x2ec =    1.31e+01, x3ec =    1.42e+02
MC: x2mc =    1.45e+01, x3mc =    1.29e+02

** Beam 4x4 Stiffness matrix (N/mm2)
  1.0122e+09  -1.3232e+10  -1.4417e+11   5.6020e-07
 -1.3232e+10   1.0625e+13  -8.7429e+12   1.7005e-05
 -1.4417e+11  -8.7429e+12   8.2913e+13  -1.3439e-04
  5.6020e-07   1.7005e-05  -1.3439e-04   2.1153e+12

** Mass per unit length (ton/mm) = 6.8555e-05

 ** Mass moment of inertia (ton*mm)
 Ixx =  5.8543e+00, Iyy =  8.3788e-01
 Ixy = -6.4394e-01, Ipp =  6.6922e+00
```

도면13



도면14

Model		1st mode(F) Hz	2nd mode(B) Hz	3rd mode(F) Hz	4th mode(B) Hz
Full shell FE model	shell model	0.7366	1.1943	1.9478	3.5307
Euler beam FE model	EB24	0.7553	1.2801	2.0231	3.8212
		2.54%	7.18%	3.87%	8.23%
	EB42	0.7548	1.2751	2.0193	3.8038
		2.47%	6.77%	3.67%	7.74%
	EB46	0.7550	1.2766	2.0210	3.8070
		2.50%	6.89%	3.76%	7.83%
Timoshenko beam FE model	RT24	0.7501	1.2691	1.9852	3.7193
		1.83%	6.26%	1.92%	5.34%
	RT42	0.7496	1.2643	1.9815	3.7082
		1.76%	5.86%	1.73%	5.03%
	RT46	0.7499	1.2657	1.9831	3.7082
		1.81%	5.98%	1.81%	5.03%