

프리폼 예열방식을 적용한 풍력터빈 블레이드 제조방법

한국과학기술정보연구원
전문연구위원 나덕주
(djra15@reseat.re.kr)

1. 개요

- 이 발명은 풍력터빈 부품의 제작 및 특히 풍력터빈 블레이드의 제작에 관련된다. 풍력터빈 블레이드 제조방법은 일반적으로 몰드를 준비하고, 몰드위에 섬유 프리폼(pre-form)을 레이 업하고, 몰드에 수지를 주입하고 경화하는 공정으로 구성된다.
- 이 발명은 유리섬유를 다층으로 직조한 프리폼을 별도로 예열한 후 몰드에 설치하고 수지를 주입하는 방법으로써 프리폼을 몰드에 설치한 후 요구되는 온도까지 가열하는데 필요한 시간을 축소하거나 제거할 수 있다. 따라서 몰드에서 사이클 시간을 획기적으로 줄임으로써 제조속도를 높이고 효율을 향상시킬 수 있다.

2. 기술현황

- 풍력터빈 블레이드는 원통형상의 루트(root)로부터 끝단(tip)에 이르기까지 길이방향으로 연장할 수 있고, 루트는 풍력터빈 허브에 체결된다. 블레이드 단면을 보면 원통형상의 루트로부터 가장 넓은 날개 형상의 숄더(shoulder)에 이르기까지 점진적으로 변화한다. 숄더와 끝단 사이는 날개형상을 유지하면서 끝단 방향으로 두께와 코드(chord) 길이가 점차 감소하는 구조를 가지고 있다.
- 블레이드의 외부 셸(shell)은 2개의 반쪽 셸을 접합하는 구조를 가진다. 각 셸은 유리섬유 강화 플라스틱을 몰드에 적층하여 제작하며, 내부 및 외부 스킨(skin)으로 구성된다. 각 셸에는 탄소섬유 인발성형 공법으로 제작한 스파 캡(spar caps) 형상의 복합하중 지지 요소가 내부와 외부

셀 사이에 적층되어 있다. 하중지지 요소 사이의 틈은 발포제 패널(foam panel)로 충전한다.

- 각각 서로 다른 몰드에서 제작한 2개의 반쪽 셀은 몰드에 성형한 채로 접착하여 최종 블레이드를 완성한다. 셀의 제조방법은 먼저 한 개 이상의 건식 유리섬유 직물 레이어(layers)를 몰드 표면 위에 적층하며, 이 레이어가 성형 후 외부 스킨이 된다. 스파 캡과 발포제 패널을 포함한 구조 요소를 외부 직물 레이어 위에 설치하고, 구조 요소(element) 위에 한 개 이상의 건식 유리섬유 직물을 적층하며, 이 레이어가 성형 후에 내부 스킨이 된다.
- 몰드에 장착한 블레이드 셀의 여러 부품을 캡슐 형태로 만들기 위해 기밀 백(airtight bag)으로 덮어 진공 챔버(chamber)를 형성한다. 진공 펌프를 사용하여 챔버 안을 진공으로 유지하고 액상 수지를 주입하면 캡슐로 만들어진 부품들 사이로 수지가 주입된다.
- 수지를 주입하기 전에 몰드에 심어진 가열장치를 사용하여 몰드에 설치된 부품과 수지를 약 30℃의 온도로 가열한다. 예열을 하지 않으면 수지 점도가 높아져 몰드 안에서 수지의 흐름이 나빠진다. 이 예열공정에 의해 수지로부터 부품으로 열전달을 감소하여 수지 주입을 원활하게 해준다. 수지 주입이 완료되면 경화 사이클을 거쳐 수지를 경화시킨다.
- 앞에 설명한 방법에 의하면 많은 부품을 손으로 몰드에 올리고 내리는 작업을 포함하여 긴 시간이 소요된다. 레이 업, 수지주입, 경화공정 등 공정의 각 단계마다 걸리는 시간을 최소로 줄일 필요가 있다. 블레이드의 루트와 솔더 부근과 같이 특별히 강성이 필요한 곳에는 수많은 유리섬유 레이어를 적층하여야 하고, 두꺼운 유리섬유 층은 수지주입과 경화 시간이 많이 소용된다.
- 레이 업 시간을 줄이기 위해 유리섬유 프리폼을 별도로 제작하여 몰드에 적재한다. 프리폼은 필요한 치수의 건성 유리섬유를 여러 층 쌓아 함께 바느질하거나 접합하거나 다른 방법을 사용하여 제작하며, 이 프리폼을 몰드의 필요한 위치에 한 번에 적재함으로써 몰드에서 많은 섬유 레이어를 조립하면서 소모되는 시간을 줄일 수 있다.

- 그러나 유리섬유는 절연성이 높은 재료이므로 유리섬유 프리폼은 유리섬유 시트(sheet)보다 상대적으로 두께가 두껍기 때문에 몰드 위에서 가열하는데 다른 부품보다 시간이 많이 소모된다. 이 발명은 결과적으로 몰드 위에서 수지를 주입하기 전에 프리폼을 요구되는 온도까지 올리는데 필요한 시간을 줄이는 방법을 제공한다.

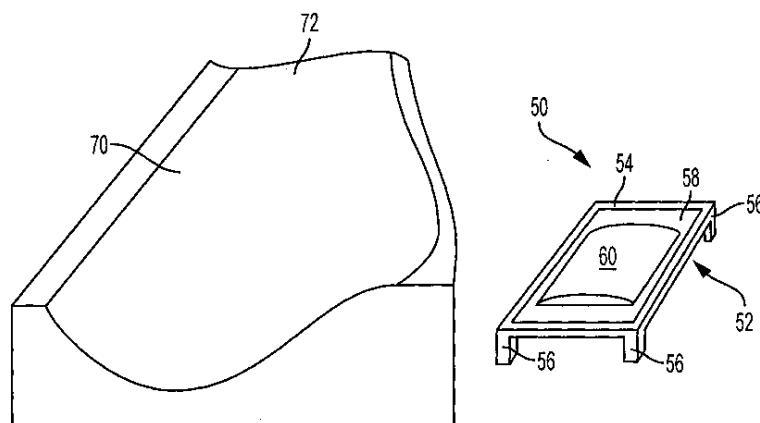
3. 발명의 내용

- 그림 1에 본 발명에 의한 가열장치를 사용하여 풍력터빈 블레이드를 제조하는 실시 예를 보이고 있다. 프리폼 가열장치(50)는 프리폼(60)을 몰드에 적치하기 전에 미리 가열하는 장치이다. 풍력터빈 블레이드를 제조하기 위한 몰드는 블레이드의 반쪽을 제조할 수 있는 2개의 반쪽 몰드(70)로 구성된다.

○ 발명의 주요 구성

- 프리폼 가열장치(50)는 다리(56)를 사용하여 지상에 지탱해 주는 평판형태(54)의 지지대(52)와 평판 위에 설치된 가열 매트(58) 형태의 가열장비로 구성되어 있고, 프리폼(60)을 가열 매트(58) 위에 올려놓을 때 보온 담요로 프리폼(60)을 감싸준다.

<그림 1> 프리폼 예열장치와 블레이드 제조용 몰드 개요도



- 이 가열장치를 사용하여 프리폼(60)을 가열하는 방법은 먼저 지지대

(52)를 반쪽 몰드(70) 가까이 위치시키고, 지지대(52)의 평판(54)위에 가열 매트(58)를 설치한다. 프리폼(60)이 지지대와 프리폼 사이에 오도록 프리폼을 가열 매트(58) 위에 설치하고, 보온 담요로 프리폼(60)을 감싸준다.

- 가열 매트(58)를 작동시켜 프리폼을 1차 온도인 40℃까지 올려 주는데, 40℃는 프리폼을 손으로 취급하기 적당하고 또 보건안전 규정에 의거 적절한 안전장비의 사용이 허용된 온도이다. 프리폼(60)을 가열할 때 1차 온도까지 올리는데 필요한 시간을 단축시키기 위하여 보온담요를 사용하여 열이 밖으로 방출되는 것을 막아준다.

○ 발명의 기술적 특징

- 프리폼의 예열이 끝난 후 블레이드 몰드에서 레이 업 작업을 시작하려면 먼저 블레이드 몰드 내부에 설치되어 있는 가열 요소를 사용하여 몰드를 예열한다. 몰드의 예열이 완료되면 몰드 표면에 블레이드의 1단계 레이 업을 실시하고 그 위에 예열한 프리폼(60)을 설치한다.
- 프리폼(60)의 예열시간은 프리폼의 두께와 가열매트(58)에서 공급된 열량에 의해 결정된다. 블레이드 몰드에 프리폼을 설치할 수 있는 1차 온도까지 프리폼의 예열이 완료되면 프리폼을 가열 장치(58)에 저장하여 1차 온도를 유지하여야 한다.
- 1차 온도까지 예열된 프리폼은 수동 또는 기계적 안전장비를 사용하여 몰드로 운반하고, 가열된 몰드 표면(72)에 예열 프리폼을 레이 업한다. 레이 업이 끝나면 블레이드에 필요한 다른 부품들을 몰드에 레이 업 한다. 프리폼은 예열되고 다른 부품들은 두께가 얇기 때문에 빠른 시간 내에 1차 온도까지 가열이 가능하다.
- 몰드에 설치된 예열 프리폼과 다른 부품들을 기밀 백(airtight bag)으로 덮어 진공 챔버(vacuum chamber)를 만들어 주고, 진공 펌프를 사용하여 이 공간을 진공 상태로 만들어 준다. 액상 수지(resin)를 주입하는데 적절한 2차 온도(일반적으로 1차 온도보다 낮은 약 30℃임)까지 가열한 후 이 진공 챔버 안에 수지를 주입한다. 주입이 완료

되면 수지를 경화온도인 80℃까지 빠른 시간 내에 가열할 수 있다.

- 프리폼을 예열함으로 쉘 부품의 가열시간을 줄일 수 있고, 수지 주입 온도를 유지할 수 있어 주입 공정을 단축할 수 있으며 결과적으로 경화 시간을 단축할 수 있다. 따라서 제조 사이클에 필요한 시간을 대폭 줄일 수 있다.

4. 효과 및 응용

- 이 발명에 의한 공정은 프리폼을 별도로 예열한 후 몰드에 설치하고 수지를 주입하기 때문에 프리폼을 몰드에 설치한 후 요구되는 온도까지 가열하는데 필요한 대기시간을 축소하거나 제거할 수 있다. 프리폼을 요구 온도까지 올리는데 수 시간이 소요된다. 따라서 몰드에서 사이클 시간을 대폭 줄임으로써 제조 속도를 높이고 효율을 획기적으로 향상시킬 수 있다.
- 이 발명에 의한 프리폼은 건식 유리섬유를 다층으로 직조한 구조로 몰드에 설치하기 전에는 수지를 주입하지도 함침하지도 않는다. 이 방법은 몰드에 설치하기 전에 섬유 프리폼을 일차 온도까지 가열하고, 몰드에 설치한 후 보다 낮은 온도의 수지를 주입한다. 또는 섬유 프리폼을 일차 온도 근처까지 가열하고 몰드에 설치 후 추가 가열로 일차 온도에 도달하는 방법을 사용할 수 있다.
- 섬유 프리폼의 사전 가열 온도는 대략 30℃~80℃를 유지한다. 섬유 프리폼의 예열은 하나 이상의 가열장치를 사용하여 보다 단순하고 저렴한 방법을 사용할 수 있다. 가열하는 동안 프리폼을 확실하게 저장하기 위해 지지대를 사용하고, 지지대와 섬유 프리폼 사이에 가열장치를 설치한다.
- 예열하는 동안 열손실을 더욱 줄이기 위해 섬유 프리폼 위에 보온 레이어를 적용할 수 있다. 몰드에서 섬유 프리폼을 필요한 온도까지 올리기 위해 섬유 프리폼을 가열된 상태로 보관하는 방법을 사용할 수 있다. 이 발명에 의한 프리폼은 여러 장을 동시에 함께 가열하여 가열 공정 효율을 증가할 수 있다. 이 발명에 의한 공정은 유리섬유를 사용한 풍력터빈 블레이드에 적용할 수 있다.

출처 : Vestas Wind Systems A/S, "Wind Turbine Components", WO 2015/113571 A1



◁ 전문가 제언 ▷

- 풍력터빈 블레이드는 원통형상의 루트(root)로부터 날개 형상의 끝단(tip)방향으로 두께와 코드(chord) 길이가 점차 감소하는 구조이며 루트는 풍력터빈 허브에 체결된다. 블레이드의 루트와 숄더(shoulder)와 같이 높은 강성이 필요한 곳에는 수많은 유리섬유 레이어를 적층하여야 하고, 두꺼운 유리섬유 층은 수지주입과 경화 시간이 많이 소요된다.
- 이 발명은 레이 업, 수지주입, 경화공정 등 블레이드 제조공정 시간을 최소로 줄이기 위해 유리섬유 프리폼(preform)을 별도로 제작하여 몰드에 적층하는 방법을 제안하고 있다. 이 발명에서는 프리폼을 별도로 예열한 후 몰드에 설치하고 수지를 주입하기 때문에 몰드에서 사이클 시간을 대폭 줄임으로써 제조 속도를 높이고 효율을 향상시킬 수 있다.
- 프리폼 제조는 고성능 보강섬유의 높은 취성 때문에 직조 기계를 거치면서 생기는 섬유 손상을 최소로 줄이는 기술을 개발하여야 하며, 특히 프리폼의 두께에 제한을 받지 않고 생산 속도를 높일 수 있는 제조방법, 임의의 방향으로 섬유 배열을 할 수 있는 로봇 암을 이용한 섬유 배열과 직조 기술에 대한 연구가 필요하다
- 미국은 20여 개의 업체에서 3차원 직조 프리폼을 공급하고 있고, 다양한 분야에 적용하기 위한 연구를 수행하고 있다. 일본은 국가 컨소시엄 사업으로 6년 동안 200억 원의 연구비를 투입하여 복합재 보강용 3차원 구조의 프리폼을 개발하고 있다. 최근 중국의 Bolong 사는 3D 스페이서(Spacer) 샌드위치 프리폼 및 3D 브레이드 프리폼을 생산하고 있다.
- 국내에서는 S사가 독일의 Saertex사의 기술을 도입해 풍력 블레이드용 다축경편 프리폼을 제조하고 있다. 서울대는 3차원 브레이딩 기계로 3차원 프리폼을 개발하고, 재료연구소는 3D 직조 기술을 활용해 초고온용 탄소/탄소 복합재 프리폼을 개발하고 있다. 풍력터빈 블레이드의 제조 생산성을 향상시키기 위하여 프리폼 가열장치, 보온 레이어 및 가열 온도 유지 저장장치의 개발을 촉진할 필요가 있다.

이 분석물은 미래창조과학부 과학기술진흥기금, 복권기금의 지원을 받아 작성하였습니다.