

풍력터빈 블레이드의 버클링 강도를 보강한 스파 웹 구조

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

1. 개요

- 이 발명은 버클링(buckling) 강도를 보강한 시어 웹(shear web)을 가진 풍력터빈 블레이드에 관련된다. 풍력터빈의 실패모드에는 셸 버클링, 후연 버클링, 웹 버클링과 같은 여러 형태의 버클링 실패모드가 있다. 풍력터빈 블레이드의 플랩방향 처짐에 기인하여 블레이드의 단면이 평탄화 또는 타원형으로 변형되어 붕괴하중에 도달할 경우 웹 버클링이 일어난다.
- 블레이드의 플랩방향 처짐(deflection)에 기인하여 발생하는 평탄화 현상은 여러 가지 부정적 영향을 미친다. 특히 대용량의 경우 블레이드의 길이가 길어지게 되면 다른 연관된 문제들이 많이 나타나게 된다. 이 발명은 이와 같은 현상에 대응하기 위하여 버클링 강도를 보강한 새로운 설계개념의 시어 웹을 제시한다.

2. 기술현황

- 풍력터빈 블레이드는 일반적으로 양쪽에 압력부(pressure side), 흡입부(suction side)가 있고, 내부에 시어 웹(shear web)이 있어 압력부와 흡입부 사이를 연결해주는 구조로 되어 있다. 시어 웹은 블레이드 작동 중 플랩 방향 처짐에 의해 발생하는 전단하중을 압력부와 흡입부 사이에 전달하는 역할을 한다. 플랩방향 변형은 블레이드 단면 형상을 평평하게 하려는 경향에 의해 발생하며 이 현상을 Brazier 효과라 부른다.
- 블레이드의 평탄화 현상은 셸 두께보다 단면 치수가 훨씬 큰 최대 코드 부근에서 발생하고, 이 부근에 설치된 시어 웹의 수직 단면 길이도

최대가 된다. 수직 단면의 길이가 길어지게 되면 붕괴 하중에 더욱 취약한 구조를 가지게 되어 주로 전단하중을 전달하도록 설계된 시어 웹에 과도한 용량을 필요로 하게 된다.

- 국지적으로 증대된 취약점을 보완하기 위한 하나의 방법은 최대 코드 부분에 있는 시어 웹의 두께를 키우는 것이다. 그러나 이 방법은 블레이드의 회전중량을 증가시키고 원심하중을 증대시켜 효율을 감소하게 된다. 또 다른 방법은 이 영역에 있는 시어 웹의 일부를 제거하는 것이다. 이 방법은 이 영역에서 블레이드를 평평하게 만들어 주고 충분한 시어 웹을 유지하기 때문에 시어 웹을 통한 전단하중을 시어 웹에 골고루 분포시켜 준다.

3. 발명의 내용

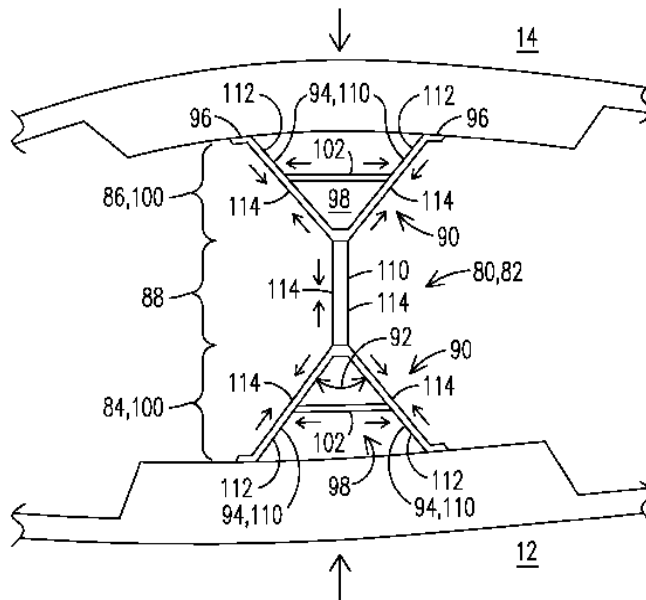
- 버클링은 블레이드의 치명적인 실패 모드(failure mode)이므로 풍력터빈 블레이드 설계에서 가장 중요하게 고려하여야 한다. 이 발명에 의한 시어 웹은 전단하중을 충분히 분산시키고, 버클링 하중에 더욱 효과적으로 견디면서 무게를 크게 증가시키지 않기 때문에 총체적 효율을 유지할 수 있는 특징을 가지고 있다.

○ 발명의 주요 구성

- 풍력터빈 블레이드는 압력부(12), 흡입부(14), 기초(base), 끝단(tip), 전연(leading edge), 후연(trailing edge), 최대 코드부분으로 구성된다. 이 발명에 의한 새로운 시어 웹(82)은 압력부 배열(84), 흡입부 배열(86), 평탄 웹 단면(88)을 포함한다.
- 압력부 배열(84)과 흡입부 배열(86)은 상대 벽면(94) 간에 적절한 경사각(92)을 형성하도록 경사진 플랜지(90)를 포함하고 있어 어태치먼트(96)를 통해 내 벽면에 각각 고정하는 구조로 되어 있다. 상대 벽면(94)은 블레이드 원주 방향으로 형성되고 어태치먼트에 의해 일정한 거리를 두고 경사각(92)을 유지하고 있다.
- 상대 벽면(94)은 시어 웹 안에서 원주 방향으로 형성된 챔버(98)를

형성하고 이 챔버는 두 갈래로 나누어진 끝단(100)처럼 보인다. 한 개 이상의 인장 강도 보강재(102)가 상대 벽면을 서로 연결하여 보강하는 구조로 되어 있고, 압력부 배열과 흡입부 배열의 시어 웹 전체에 걸쳐 여러 개의 보강재를 설치할 수 있다. 평탄한 웹 단면(88)은 일반적인 시어 웹과 유사한 형태로 압력부와 흡입부를 연결한다.

<그림 1> 시어 웹 디자인 설계의 시범적 실시 단면도



- 이 발명에 의한 시어 웹을 가진 블레이드의 제조 방법은 먼저 셸과 빔의 레이어(layer) 소재를 하부 몰드에 적층한다. 각 레이어는 하나 이상의 강화섬유 및 기지재료를 사용하여 적층한다. 셸 층의 일부는 나중에 사용하기 위해 일시적으로 몰드에 걸쳐두고, 하부 2차 맨드릴(mandrel)을 빔 층에 적재하고, 그 위에 커버 층을 적층한다.
- 하부 2차 맨드릴은 원주 방향 챔버 형상을 가진 두 갈래 끝단(100) 형태로 제작한다. 합판으로 만든 코어는 하부 2차 맨드릴 위에 설치하고 코어 위에 웹을 적층한다. 코어는 평탄 웹 단면(88) 형태로 적층한다.
- 1차 맨드릴은 셸 층에 위치시키고, 웹은 1차 맨드릴 위에 분리하고 넓게 펼쳐 적층한다. 상부 커버를 1차 맨드릴 위에 적층하고, 그 위에 상부 2차 맨드릴을 설치한다. 상부 2차 맨드릴은 두 갈래 갈라진

끝단(100) 형태로 원주 방향 챔버를 형성한다. 상부 빔 층은 1차 맨드릴과 상부 2차 맨드릴 위에 적층한다.

- 하부 몰드에 걸쳐 두었던 쉘 층의 일부분으로 1차 맨드릴을 감싸고 빔 층은 블레이드 외부 스킨을 완성하게 된다. 1차 맨드릴은 압력부 및 흡입부의 내부 표면과 시어 웹의 외부 표면을 형성하고, 2차 맨드릴은 시어 웹의 내부 표면을 형성한다. 상부 몰드를 하부 몰드 위에 위치시키고 몰드 어셈블리를 완성한다.
- 몰드 어셈블리에 수지(resin)를 주입하고 양생을 한 후에 몰드와 맨드릴을 분리 제거한다. 예를 들어 맨드릴을 제거한 후에 인장강도 보강재를 드릴 구멍에 설치하고 볼트로 고정할 수 있다. 그 외에도 다양한 마감 공정을 거쳐 와전한 블레이드를 제조할 수 있다.

○ 발명의 기술적 특징

- 플랩방향 처짐은 주변 바람에 의해 생성되는 하중에 의하여 중립위치에서 처짐 방향으로 발생한다. 블레이드의 중립 경계선은 블레이드가 중립 위치에 있을 때 발생하고, 평탄 경계선은 블레이드가 처짐 위치에 있을 때 발생한다.
- 블레이드 길이가 길어지게 될 경우 블레이드 설계에 있어서 평탄화가 강조되지 않으면 후연 부근에 생기는 후프 응력이 더 중요한 요인이 된다. 스파(spar)는 압력부 스파 캡, 흡입부 스파 캡 및 압력부와 흡입부를 연결해 주는 섬유 보강제로 구성되어 있으며, 시어 웹은 이 스파의 한 부분이다.
- 플랩방향 처짐이 생기면 평탄화에 의해 시어 웹에 붕괴하중이 작용하고 더욱 심하게 되면 버클링이 일어난다. 버클링은 칼럼(column)의 높이와 폭에 관련된 함수이다. 최대 코드 영역에서 칼럼의 높이가 가장 높기 때문에 버클링이 발생할 우려가 높다.
- 이 발명은 블레이드의 최대 코드 영역에 있는 시어 웹의 한 부분을 제거하여 빈 공간(void)을 만들어 줌으로써, 시어 웹을 통해 전단하

중이 충분히 전달될 수 있는 구조로 되어 있다. 버클링 강도가 강화 되면 블레이드 강성이 높아지므로 블레이드 평탄화 때문에 후연에 발생하는 후프 응력과 같은 문제의 발생 여지를 줄일 수 있다.

4. 효과 및 응용

- 이 발명에 의한 독특한 시어 웹은 각 부품의 칼럼 길이를 줄이고 복합적인 하중 경로를 형성하며, 압축하중을 인장 하중으로 변환 할 수 있는 형상을 가지고 있다. 이와 같은 요인들은 시어 웹의 중량을 별로 증가시키지 않고 복합적으로 작용하여 시어 웹의 버클링 강도를 강화할 수 있다.
- 이 발명에 의한 시어 웹은 블레이드 길이가 더욱 길어지게 될 경우 후연에 발생할 수 있는 후프 응력을 감소할 수 있으므로 풍력터빈의 총 효율을 유지하면서 더욱 강건한 블레이드를 제공해 준다. 이 발명에 근거하여 여러 가지 변화와 대체방법을 사용하여 다양한 적용분야에 폭 넓게 응용할 수 있다.



출처 : Siemens Energy INC, “Wind Turbine Blade Spar Web Having Enhanced Buckling Strength”, WO 2015/134823 A1

◁ 전문가 제언 ▷

- 이 발명은 버클링 강도를 보강한 시어 웹(shear web)을 가진 풍력터빈 블레이드에 관련된다. 풍력터빈 블레이드의 시어 웹은 블레이드 작동 중 플랩 방향 변형에 의해 발생하는 전단하중을 압력부와 흡입부 사이에 전달한다. 수직 단면의 길이가 길어지면 주로 전단하중을 전달하도록 설계된 시어 웹에 과도한 용량을 필요로 하게 된다.
- 블레이드의 플랩 방향 처짐(deflection)에 기인하여 발생하는 평탄화 현상은 여러 가지 부정적 영향을 미친다. 특히 대용량 블레이드에서 길이가 길어지게 되면 다른 연관된 문제들이 많이 나타나게 된다. 본 발명은 이와 같은 현상에 대응하기 위하여 버클링 강도를 보강한 새로운 설계개념의 시어 웹을 제시하고 있다.
- 버클링은 블레이드의 치명적인 실패 모드(failure mode)이다. 새로운 시어 웹은 각 부품의 칼럼(column) 길이를 이고, 복합적인 하중 경로를 형성하고, 압축하중을 인장 하중으로 변환 할 수 있으며, 시어 웹의 중량을 별로 증가시키지 않고 복합적으로 작용하여 시어 웹의 버클링 강도를 강화할 수 있는 특징을 가지고 있다.
- 이 발명에 의한 시어 웹은 블레이드 길이가 더욱 길어지게 될 경우 후연에 발생할 수 있는 후프 응력을 감소할 수 있으므로, 풍력터빈의 총 효율을 유지하면서 더욱 강건한 블레이드를 제공해준다. 본문에 제시한 실시 예와 이 발명에 근거한 여러 가지 변화와 대체방법을 사용하여 다양한 적용분야에 폭 넓게 응용할 수 있다.
- 이 발명에 의한 시어 웹을 활용하기 위해서는 청구된 각 기술 항목별로 등록특허, 선행기술자료, 실제 제조 가능성 등에 대한 선행조사를 거쳐 본 특허 청구 기술에 저촉되지 않고 적용 가능한 기술과 설계변경이 필요한 기술을 정하는 것이 필요하다. 특히 이 발명의 시어 웹은 복잡한 구조로 되어 있기 때문에 경화공정 제조변수의 복합 응용공정을 면밀하게 고려하여야 한다.

이 분석물은 미래창조과학부 과학기술진흥기금, 복권기금의 지원을 받아 작성하였습니다.