

풍력터빈용 18% 및 30% 두께 에어포일에 대한 동적실속 특성

Dynamic Stall Characteristics for Wind Turbine Airfoils of 18% and 30% Thickness Ratios

이교열† · 유기완* · 강승희**

Kyo-Yeol Lee, Ki-Wahn Ryu and Seung-Hee Kang

1. 서 론

풍력터빈은 유입되는 공기를 이용하여 회전하는 블레이드를 통해 전기 에너지를 생성한다. 그러나 풍력터빈 블레이드는 정상 상태에서 유입되는 공기 유동만을 겪는 것은 아니다. 실제로 지상경계층에서 속도 분포가 다른 비정상 유동이 유입되거나 풍향 혹은 풍속이 급격히 변하는 비정상 공력 현상을 보이기도 한다. 즉, 풍력터빈 블레이드를 구성하는 에어포일은 다양한 유동을 겪음으로 동적실속 현상이 발생하게 된다.^(1,2) 이로 인해 정적 상태의 공력하중보다 더 큰 하중변화가 발생하게 되고 피로하중과 극한하중을 겪을 수 있다.

따라서 본 연구에서는 두께비가 18% 및 30%인 풍력터빈용 에어포일에 대한 동적실속 모델을 적용하고 받음각이 변화함에 따른 공력계수의 변화를 예측하여 풍력터빈 블레이드 설계 시 필요한 정보를 제공하기로 한다.

2. 동적실속

2.1 동적실속 현상

동적실속은 정상 상태에서 박리 현상 (flow separation)이 발생하는 받음각의 위치보다 더 높은 받음각에서 박리 현상의 발생이 지연되면서 일어난다. 동적실속이 발생하게 되면 정상 상태에서 최대 양력보다 더 큰 양력을 얻을 수 있다. 이러한 현상을 Fig. 1에서

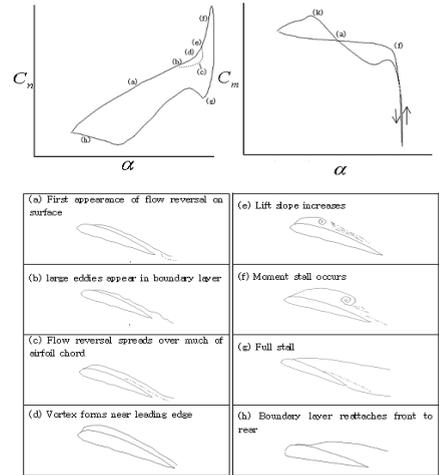


Fig. 1 동적실속 현상⁽³⁾

보여주고 있다.⁽³⁾ 풍력터빈 블레이드는 유동의 변화 또는 받음각 변화에 따라 동적실속이 발생하는데, 받음각이 증가하면서 에어포일의 앞전에서 강한 와류가 형성되며 에어포일 윗면의 유속이 증가한다. 유속이 빨라짐에 따라 상하면의 압력차가 증가하고 이는 양력이 증가하여 실속 발생을 지연시킨다. 받음각이 증가하면서 에어포일의 앞전에서 형성된 와류는 뒷전으로 이동하게 되고 와류가 뒷전을 통과하게 되면서 동적 실속이 발생한다. 이 후, 받음각이 낮아지면서 양력이 감소하다가 유동이 재부착되는 과정을 통해 다시 증가하게 된다.

2.2 동적실속 모델

Leishman과 Beddoes는 피치 거동이 있는 에어포일의 공력 하중을 계산하기 위해 반 경험 동적실속 모델

† 전북대학교 대학원 항공우주공학과
 * 교신저자; 정회원, 전북대학교 항공우주공학과
 E-mail : kwryu@chonbuk.ac.kr
 Tel : (063) 270-4286
 ** 전북대학교 항공우주공학과

Table 1 Airfoils data

| Name | Thickness ratio | Stall angle | $C_{N_{max}}$ |
|-------------|-----------------|-------------|---------------|
| DU-97-W-300 | 30% | 12° | 1.534 |
| NACA63-418 | 18% | 19° | 1.744 |

(semi-empirical dynamic stall model, LB Model) 을 개발하였다.⁽⁴⁾ LB Model은 부착 흐름 (attached flow) 거동에서 인디셜 공력 응답 (indicial aerodynamic response)을 사용하여 순환 하중과 비순환 하중을 계산하고 뒷전 박리에 의한 하중 변화와 와류의 발생으로 인한 하중 변화를 계산하여 받음각의 변화에 따른 동적실속 변화를 과정이다. Kirchhoff 이론을 통해 뒷전 박리 상태에서 비선형 공력 하중에 대한 기본적인 모델링 방법을 설명하고 있다.^(5,6)

동적실속을 적용하기 위한 에어포일은 Table 1과 같이 Delft 공대에서 개발한 DU 97-W-300과 NACA63-418 에어포일을 사용하였으며, 마하수가 0.3에 해당하는 공력 데이터를 이용하였다. Reduced frequency는 0.1로 설정하였고 받음각 범위는 $15^\circ + 10^\circ \sin(\omega t)$ 로 하였다. 이에 따른 동적실속 변화는 Fig. 2에서 보여주고 있다.

DU 97-W-300 에어포일은 동적실속에 의한 최대 수직력이 21°에서 2.03이고 NACA63-418 에어포일은 24°에서 최대 수직력이 2.55에 달한다. 따라서 두 종류의 에어포일 모두 동적실속을 겪으면서 실속이 일어나는 각도가 지연되면서 최대 수직력이 증가하였다.

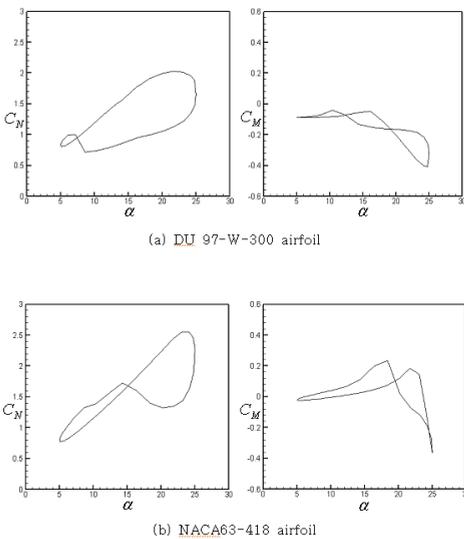


Fig. 2 받음각에 따른 공력계수 변화

또한 동적실속 이후 재부착 과정을 통해 수직력이 증가하다가 감소하는 것을 볼 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 두께비가 다른 풍력터빈용 에어포일에 대한 동적 실속 모델을 적용하여 받음각에 따른 공력계수를 계산하였다. 동적실속 모델의 적용으로 에어포일의 공력계수는 임계값을 지남에 따라 실속 지연에 의한 동적실속 현상이 일어나는 것을 알 수 있다. 따라서 실속 지연으로 인해 최대 수직력이 증가하게 되어 에어포일은 더 큰 하중을 겪는 것을 확인 할 수 있다. 피칭 모멘트는 임계값을 지나면서 급격한 공력변화를 가져오게 되고 동적 실속각 이후 재부착 과정을 통해 피칭 모멘트 계수가 증가함을 보이고 있다.

후 기

본 연구는 호남 광역경제권 선도 산업육성사업의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.

참고문헌

1. Leishman. J, "Principle of Helicopter Aerodynamics", Cambridge University Press, Chap. 9, 2006
2. Sheng. W, "A Modified Dynamic Stall Model for Low Mach Number," 45th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Jan, 2007, Reno, Nevada (AIAA-2007-0626)
3. Leishman. J, "Principle of Helicopter Aerodynamics", Cambridge University Press, Chap. 9, 2006
4. Leishman. J, Beddoes. T, "A Semi-Empirical Model for Dynamic Stall", *Journal of the American Helicopter Society*, Vol. 34, pp. 3-17, 1989
5. Thwaites. B, "Incompressible Aerodynamics", Oxford University Press, 1960
6. Woods. L. C, "The Theory of Subsonic Plane Flow", Cambridge University Press, 1961