

Modified Strip Theory 를 이용한 풍력터빈 블레이드의 공력탄성학적 특성 해석

Aeroelastic Analysis of Wind Turbine Blades using Modified Strip Theory

이종원* · 이준성* · 한재홍† · 신형기** · 방형준**

Jong-Won Lee, Jun-Seong Lee, Jae-Hung Han, Hyung-Ki Shin and Hyung-Joon Bang

1. 서론

최근의 풍력터빈 시스템은 에너지 생산 단가를 줄이기 위하여 점점 대형화되고 있고 이 때문에 풍력터빈 시스템의 공력탄성학적 안정성의 중요해지고 있다. 최근에 MW 급 대형 풍력터빈 시스템의 공력탄성학적 안정성에 대한 연구가 활발히 수행되고 있으며 많은 대학과 연구소에서 공탄성 해석 툴을 개발하여 풍력터빈 설계 및 공탄성 해석에 사용하고 있다. 개발된 툴에 사용되는 공력모델은 대부분이 BEM (Blade Element Momentum) 공력 모델로 풍력터빈의 공력 모델로 가장 많이 사용된다[1~5].

본 연구에서는 풍력터빈의 공력하중을 계산하기 위해 BEM 공력 모델이 아닌 Modified Strip Theory 라는 새로운 공력모델을 사용하고 MSC/ADAMS 상에서 유체-구조 연계를 통해 풍력터빈 블레이드의 공탄성 해석을 수행하였다.

2. 공탄성 모델

2.1 공력 모델

본 연구에서 공력 모델은 Modified Strip Theory(이하 MST)를 사용하였다. MST 는 DeLaurier[6]가 플레핑 날개 공력 모델로 처음 제안한 것으로 날개를 여러 개의 strip 으로 나누어 각 strip 에 대한 공기력 해석을 적용하고 날개 전체에 대한 공력을 계산하는 해석적 공력 모델이다. 김대관[7]등은 큰 합성 받음각에서도 사용할 수 있도록 기존의 MST 를 개선하였으며, 피칭 및 플러징 운동을 고려한 동적 실속 모델도 추가하였다. 본 연구에

서는 개선된 MST 를 풍력터빈 블레이드에 맞게 모델을 수정하여 블레이드에 작용하는 하중을 계산하기 위하여 사용하였다.

2.2 유체-구조 연계

구조 모델은 MSC/NASTRAN 에서 구조 물성치(재료 물성치, 강성, 단면적 크기 등)를 이용하여 모델링한 후 모드해석을 통한 MNF(Modal Neutral File) 을 형성한다. MNF 에는 모드정보, 강성 및 질량행렬 등의 정보를 포함하고 있으며 이를 MSC/ADAMS 에 연계하여 유연다물체계 해석을 수행할 수 있도록 하였다. 또한 MSC/ADAMS 에는 별도의 공력모델을 제공하지 않기 때문에 MST 를 공력 모델로 하여 외부 함수로서 연계시켜 공력하중을 계산하도록 하였다.

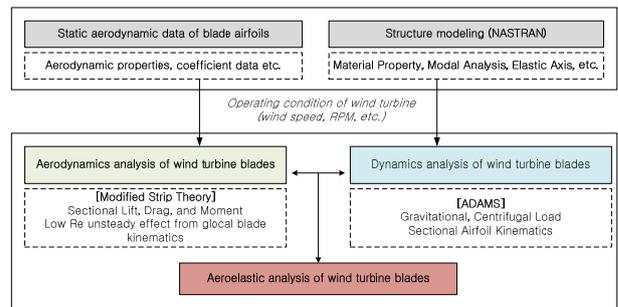


그림 1 Scheme of aeroelastic analysis for wind turbine

3. 해석 결과 및 토의

3.1 해석모델

본 연구에 사용되는 MST 모델과 구조 모델과 연계한 공탄성 모델의 타당성을 검증하기 위하여 61.5m 의 길이를 가지는 NREL (National Renewable Energy Laboratory) 5MW 급 풍력터빈의 블레이드를 대상으로 공탄성 해석을 수행하였다.

† 교신저자; 정희원, KAIST 항공우주공학과

E-mail : jaehunghan@kaist.ac.kr

Tel : (042) 350-3723, Fax : (042) 350-3710

* KAIST 항공우주공학과

** 한국에너지기술연구원

자세한 구조 및 공력 물성치는 참고문헌[8]에서 확인 가능하다.

3.2 공탄성 특성

구조모델의 경우, MSC/NASTRAN 에서 49 개의 node 와 tapered beam element 를 사용하여 모델링 하였으며 모드해석을 통해 얻어진 MNF 파일을 MSC/ADAMS 에 flexible mode 로 연계하였고 각 노드에 MST 공력모델을 적용하였다.

풍속이 11.5m/s 이고 회전속도가 12.1rpm 인 경우에 대해 풍력터빈 블레이드의 하중분포와 블레이드의 변형을 예측하였다.

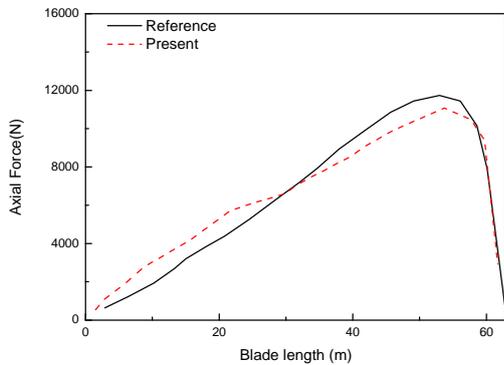


그림 2 Axial force distribution [9]

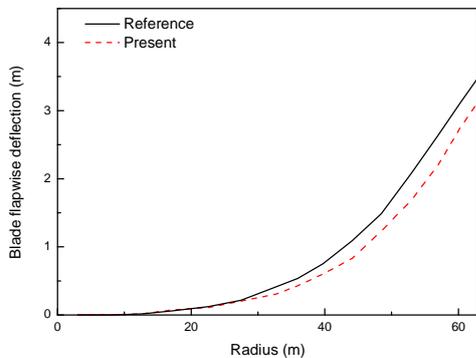


그림 3 Flapwise deflection [9]

MST 공력 모델에 의해 예측된 하중분포를 살펴보면 대체적으로 참고문헌의 결과와 유사함을 알 수 있으며(그림 2) 이러한 공력 결과를 바탕으로 같은 풍속 및 회전속도에서 풍력터빈 블레이드의 변형량을 살펴봐왔으며 참고문헌의 결과와 유사한 결과를 도출함을 알 수 있다(그림 3). MST 공력 모델을 이용하여 풍력터빈 블레이드의 하중을 예측함에 있어 익단 손실 등의 여러가지 보정식을 활용한 BEM 공력을 이용한 참고문헌의 결과와 비교를 통해 충분히 예측

할 수 있을 것으로 판단하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 MST 라는 플래핑 날개 공력모델을 풍력터빈 블레이드 모델로 수정하여 MSC/ADAMS 를 이용해 수립한 구조모델과 연계하여 공탄성 해석을 수행하였다. 우선 새로운 공력모델과 연계해석의 검증을 위해서 하중분포 및 그 때의 블레이드 변형 해석을 수행하였으며 참고문헌과 비교하였다. 그 결과 MST 를 이용한 공력하중이 BEM 공력을 이용한 참고문헌의 결과와 유사한 경향성을 나타내는 것을 확인하였으며 이에 MST 공력 모델을 이용해 풍력터빈 블레이드의 하중을 충분히 예측가능할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 한국에너지기술연구원을 통해 지식경제부의 신재생에너지기술개발사업으로부터 지원받아 수행되었습니다 (과제번호 20093020020030-11-3-010).

참고문헌

- (1) D.W. Lobitz, "Aeroelastic stability predictions for a MW-sized blade," *Wind Energy*, Vol.7, pp.211-224, 2004.
- (2) M.H. Hansen, "Aeroelastic instability problems for wind turbines," *Wind Energy*, Vol. 10, pp.551-577, 2007.
- (3) C. Lindenburg and H. Snel, "Aero-elastic stability analysis tools for large wind turbine rotor blades," *Energy Research Centre of the Netherlands*, 2003.
- (4) A. Ahlstrom, "Aeroelastic simulation of wind turbine dynamics," Doctoral thesis in Structural Mechanics, KTH, Sweden, 2005.
- (5) M.O.L. Hansen, "Aerodynamics of wind turbines," Earthscan, 2nd edition, 2008.
- (6) J.D. DeLaurier, "An aerodynamic model for flapping-wing flight," *Aeronaut. J.* 97(964), pp. 125-130, 1993.
- (7) D.K. Kim, J.S. Lee, J.Y. Lee and J.H. Han, "An aeroelastic analysis of a flexible flapping wing using modified strip theory," *SPIE Smart Structures and Materials & Nondestructive Evaluation and Health Monitoring*, San Diego, CA, USA, Mar. 2008.
- (8) J. Jonkman, S. Butterfield, W. Musial, and G. Scott, "Definition of a 5MW reference wind turbine for offshore system development," *Technical report NREL/TP-500-38060*, 2009.
- (9) W. Shen, W. Jun, and J.N. Soensen, "Shape optimization of wind turbine blades," *Wind Energy*, 2009.