

MW급 해상풍력 로터 시스템에 대한 공탄성 응답 특성평가 Evaluation of Aeroelastic Response Characteristics of MW Offshore Baseline Wind Turbine Rotor System

*차진현¹, #김정¹, 송우진², 구태완², 강범수¹

*J.H. Cha¹, #J. Kim(greatkj@pusan.ac.kr)¹, W. J. Song², T. W. Koo², B. S. Kang¹

¹부산대학교 항공우주공학과, ²부산대학교 부품소재산업협력연구소

Key words : Aeroelastic response, Equivalent stiffness model, Fluid-structure interaction method

1. 서론

풍력발전기의 고효율성 요구도 증가에 따라 블레이드는 점차 대형화 되고 있으며 대형풍력발전기 개발 시 실증단계에서 오류가 발생하게 되면 막대한 추가비용이 발생하게 된다. 이러한 이유로 풍력발전기 개발비용을 줄이기 위해 풍력발전기 시스템 실증단계에 로터 블레이드 시스템의 보다 정확도가 높은 해석 기법 및 설계가 요구된다. 풍력발전기의 대형화로 블레이드의 크기가 증가하고 유연해지면서 공기력과 구조물의 상호작용으로 발생하는 공탄성문제가 발생하게 된다. 공탄성 현상은 구조물의 파괴와 성능에 직접 연관되므로 정확한 평가가 필요하다.

본 연구에서는 대형풍력발전기의 공탄성 현상을 평가하기 위해 해석 모델로는 매우 실제적인 NREL(National Renewable Energy Laboratory)의 5MW급 대형 해상풍력 로터 블레이드를 선정했다. 등가강성모델 기반의 양방향 유체구조연성해석을 사용하여 공탄성 해석이 수행되었고 풍력발전기 블레이드에서 발생할 수 있는 공탄성 현상의 소개와 함께 압력계수 변화를 관찰했다.

2. 등가강성 모델

공탄성 효과로 발생하는 블레이드의 기하학적 비선형을 고려하기 위해 등가강성모델을 구성했다. NREL 보고서에 명시된 에어포일 형상 및 위치 정보를 바탕으로 3차원 블레이드 모델을 Fig. 1과 같이 생성한 뒤 18개의 구간으로 나누어 주었다. 각 구간의 이차단면모멘트 및 비틀림모멘트 값을 사용하여 NREL 보고서에 명시된 리드래그, 플랩 그리고 비틀림강성값에 상응하는 직교이방성 탄성계수를 계산하여 할당했다.

3. 공탄성 모델

해석에 사용된 3자유도계 공탄성 모델의 지배방정식은 아래와 같이 행렬로 표시된다.

$$[M]\{\ddot{u}(t)\} + [C]\{\dot{u}(t)\} + [K]\{u(t)\} = \{F(t, u, \dot{u})\} \quad (1)$$

여기서, $[M]$ 은 질량행렬, $[K]$ 는 강성행렬이다. 그리고 $[C]$ 는 감쇠행렬로 Rayleigh damping 모델을 사용했다. 또한 $\{F\}$ 는 블레이드 주위를 흐르는 유동에 기인한 외력 벡터로서 과도 Navier-Stokes 방정식을 지배방정식으로 사용하는 CFX 코드로 계산된다. 구조의 운동방정식과 Navier-Stokes 방정식을 연성하기 위해 약결합 유체구조연성 기법을 Fig. 2와 같은 절차로 구성했다.

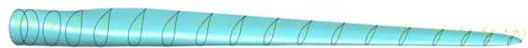


Fig. 1 NREL 5MW blade divided into 18 sections.

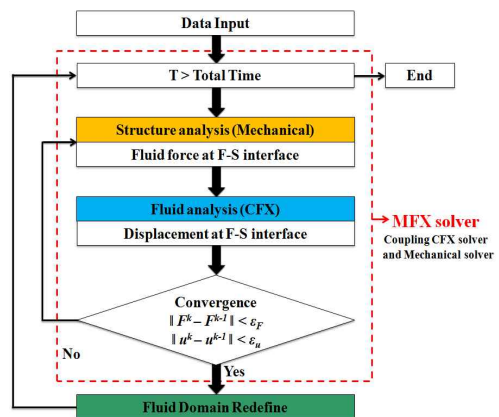


Fig. 2 Flowchart of the loosely coupled FSI

4. 해석조건

경계조건은 정격 회전속도인 12.1rpm으로 회전하는 조건을 부여했으며, 입구는 정격 풍속인 11.4m/s의 속도경계조건, 출구는 1atm의 압력경계조건을 부여했다. 로터의 대칭면에는 회전주기(rotational periodic)조건을 부여해 단위 블레이드에 대해서 해석을 수행했고 역압력 구배로 발생하는 박리유동을 정확히 예측하기 위해 $k-\omega$ SST 난류모델을 사용했다.

5. 해석결과

공탄성 해석 결과 유체유발 압력으로 발생하는 공탄성 변형이 Fig. 3과 같이 유동에 영향을 주어 블레이드 루터부에서만 발생했던 유동박리현상이 블레이드 끝단부에서도 발생하는 것을 확인 했다. 그리고 Fig. 4와 같이 공탄성 변형으로 블레이드 단면의 받음각 또한 변화함을 확인했다. 스핀방향 10m, 20m, 30m, 40m 지점에 공탄성 변형전 그리고 변형후의 압력계수 분포를 Fig.5에 나타냈다. 비교적 공탄성의 영향을 적게 받는 루터부 근방(R=10m, 20m)의 압력계수의 변화는 거의 발생하지 않았다. 반면 공탄성의 영향을 크게 받아 변형이 많이 발생하는 블레이드 팁 근방(R=30m, 40m)은 압력계수의 변화가 크게 발생했다.

6. 결론

본 연구를 통해 대형풍력발전기 블레이드는 공탄성 효과로 압력계수의 큰 변화가 발생함을 확인 했다. 이는 블레이드 끝단부 부근 받음각의 변화와 함께 유동박리현상이 발생했기 때문이다. 이러한 압력계수의 변화는 블레이드 성능저하에 영향을 미치기 때문에 실제 대형풍력발전기 블레이드 설계 시 공탄성 효과는 필수적으로 고려해야 할 중요한 설계변수라 판단된다.

후기

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20114010203080). 또한, 과학기술부/한국과학재단 국가핵심연구센터사업(No. R12-2006-022-02002-0) 및 국가지정연구실(R0A-2008-000-20017-0)의 부분지원에 의해 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

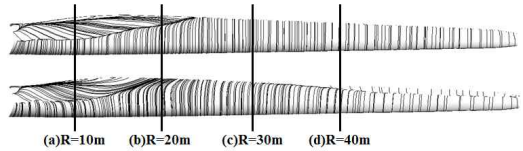


Fig. 3 Streamline on suction side of blade (upper) before aeroelastic and (lower) after aeroelastic

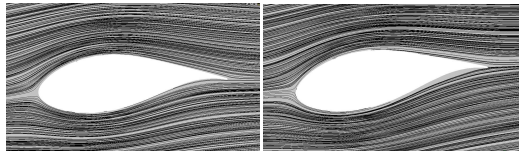


Fig. 4 Streamline on R=40m section (left) before aeroelastic and (right) after aeroelastic

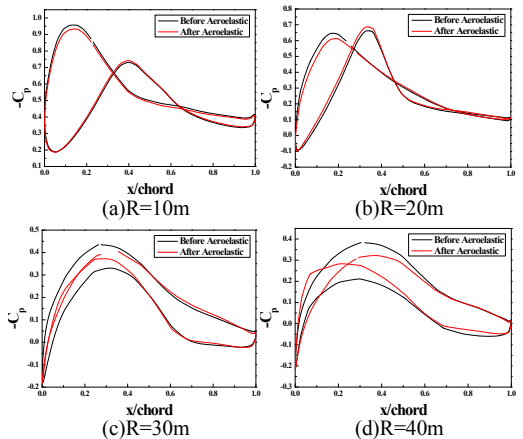


Fig. 5 Comparison of pressure coefficient on blade sections

참고문헌

1. Jonkman, J., Butterfield, S., Musial, W. and Scott, G., "Definition of a 5-MW Reference Wind Turbine for Offshore System Development," NREL/TP-500-38060.
2. Kooijman, H. J. T., Lindenburg, C., Winkelaar, D., and van der Hoof, E. L., "Aero-elastic modeling of the DOWEC 6MW pre-design in PHATAS," DOWEC Dutch Offshore Wind Energy Converter 1997-2003 Public Reprots, DOWEC-F1W2-HJK-01-046/9, 2003.
3. 김동현, 박효근, 김동만, "대형 풍력발전용 복합 재료 블레이드의 개선된 등가 모델링 기법," 유체기계저널, 11, 32-37, 2008.