

다물체동역학 및 공기역학을 활용한 5MW급 해상풍력발전기 동적하중해석

Dynamic Analysis of Offshore Wind Turbine Using Multi-body Dynamics and Computational Fluid Dynamics

이장호* · 김동현† · 서민수* · 류경중*

Jang-Ho Yi, Dong-Hyun Kim, Min-Soo Seo and Kyung-Joong Ryu

1. 서 론

일반적으로 20년 이상의 설계 수명을 요구 받는 풍력발전기는 운영 기간 동안 다양한 정적/동적 하중 상태를 경험하게 된다. 따라서 그 기간 동안 받게 되는 높은 부하 사이클로 인해 풍력발전기 시스템 설계에서 하중 해석은 설계 단계에서부터 매우 중요하고 가능한 정확하게 고려되어야 한다. 본 연구에서는 보다 정확한 하중해석 결과를 도출하기 위해 BEM(Blade Element Theory) 공력해석 기법의 이론적 한계를 보완할 수 있는 CFD(Computational Fluid Dynamics) 해석기법을 적용하여 NWP(Normal Wind Profile)에 대한 해석을 수행하고 다물체 동역학 해석기법을 동시에 연계하여 관련 수치해석 및 비교 결과를 제시하였다.

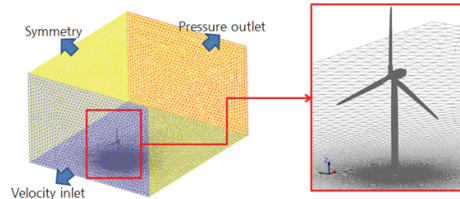


Fig. 1 Unstructured grid for computational domain

Table 1 Properties of the NREL 5MW wind turbine

Rating	5MW
Rotor Orientation, Configuration	Upwind, 3 Blades
Control	Variable Speed, Collective Pitch
Drivetrain	High Speed, Multiple-State Gearbox
Rotor, Hub Diameter	126 m, 3 m
Hub Height	90 m
Cut-In, Rated, Cut-out Wind Speed	3 m/s, 11.4 m/s, 25 m/s
Cut-In	6.9 rpm, 12.1 rpm
Rated Tip Speed	80 m/s
Overhang, Shaft Tilt, Precone	5 m, 5-degrees, 2.5-degrees
Rotor Mass	110,000 kg
Nacelle Mass	240,000 kg
Tower Mass	347,000 kg
Coordinate Location of Overall CM	(-0.2 m, 0.0 m, 64.0 m)

2. 해석결과 및 검토

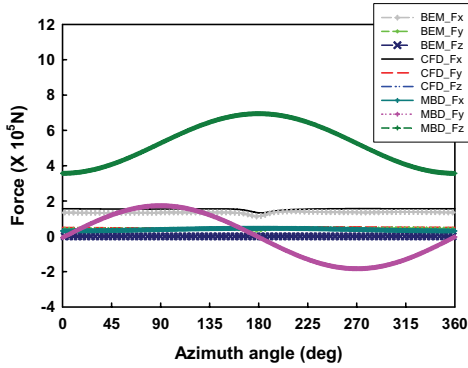
2.1 5MW 풍력발전기 전체형상 공력해석

본 논문에서는 5MW OC3(Offshore Code Comparison Collaboration) 해상풍력발전기 모델이 해석에 고려되었으며 블레이드, 허브, 나셀 및 타워 형상을 포함하여 해석을 수행하였다. Table 1에 NREL 5MW 풍력터빈 모델에 대한 기본적인 정보를 제시하였다. Fig. 1은 풍력발전기 전체 형상에 대한 비정렬 유동해석 격자계를 보여주고 있으며 총 격자의 체적 수는 약 460만개이고 난류모델은 k- ω SST가 적용되었다. 모든 해석의 유동해석 수렴조건은 10-5 residual 수준으로 설정하였으며, 4개의 CPU를 병렬 처리하여 총 해석에 소요된 시간은 steady의 경우는 약 3.5시간, unsteady의 경우는 약 90시간이다.

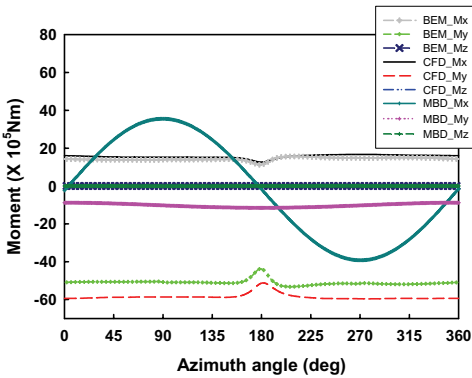
2.2 다물체동역학을 이용한 구조동역학 하중해석

본 절에서는 중력과 관성력을 동시에 고려한 5MW급 대형 풍력발전기에 대해 구조동역학 하중을 계산하였다. 본 모델의 틸트 각은 5도, 프리콘 각 2.5도가 고려되었다. 시간에 따라 풍력발전기가 회전할 때 블레이드 루트에서의 하중을 구해내기 위해 블레이드와 연결된 주축을 hinge 조건으로 모델링하였고, 11.2 rpm을 부가하였다. 중력가속도는 모델 전체에 9.81 m/s²을 부가하였다.

† 김동현; 정회원, 경상대학교 항공우주시스템공학과
E-mail : dhk@gnu.ac.kr
Tel : +82-055-755-2083, Fax : +82-055-755-2081
* 경상대학교 항공우주시스템공학과



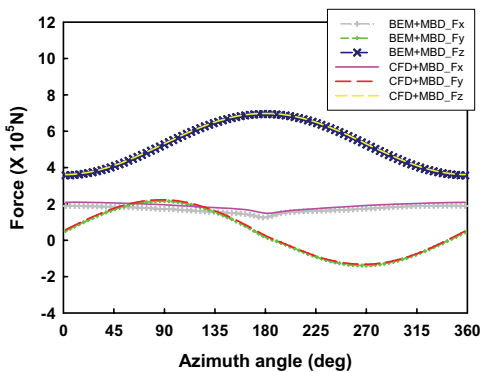
(a) Components of blade forces



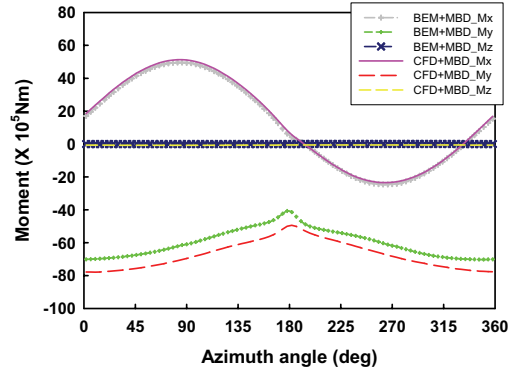
(b) Components of blade moments

Fig. 2 The comparison of aerodynamic, structure forces and moments at 15 m/s (Blade coordinate)

Fig. 2는 15 m/s normal wind (균일유입 풍속)에서의 unsteady Blade Element Momentum method와 CFD 공력해석 그리고 Multi-body Dynamics 하중해석 결과를 비교한 그래프로 방위각(Azimuth angle)에 따라 1-cycle 동안의 F_x , F_y , F_z , M_x , M_y , M_z 의 변화를 보여주고 있다.



(a) Components of total blade forces



(b) Components of total blade moments

Fig. 3 The comparison of total blade forces and moments at 15 m/s (Blade coordinate)

Fig. 3은 normal wind 15 m/s에서 앞서 구한 BEM 및 CFD 공력하중 데이터와 타워가 포함된 전체 구조모델의 force와 moment를 더한 그래프를 비교한 결과이다. 공력하중은 타워가 존재하는 azimuth angle 180도 지점에서 약간의 차이를 보일 뿐 일정한 크기의 힘을 보여주는 반면 구조하중은 azimuth angle에 따라 큰 변화를 보인다. 이 때문에 Fig. 3에서 나타나는 하중 데이터의 형태는 오직 구조하중에 의해서만 변화되며 여기에 공력하중 값의 크기에 따라 이동되는 결과임을 알 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 BEM 및 CFD 기법 및 다물체동역학 해석기법을 통합 적용하여 5MW급 해상용 풍력발전기에 대한 NWP 설계하중조건에 대한 하중해석을 수행하고 비교하였다. CFD 기법을 적용하면 다양한 블레이드 피치각과 회전속도에 따라 블레이드에서 유발되는 강한 유동박리 현상, 블레이드와 셀의 간섭, 블레이드와 타워 간섭효과 및 급속한 풍향 변화 효과 등을 매우 정확하게 고려할 수 있었다. 또한 NWP 설계하중조건 해석을 3차원 CFD 유동해석 기법과 통합하여 국내 최초로 수행하고 관련 결과를 제시하였다. 본 연구에서 독자적으로 개발 및 구축한 정밀 해석기법은 향후 7~10 MW급 이상의 초대형 풍력발전기의 보다 정확한 하중해석 및 설계 검토에 매우 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 에너지미래선도인력양성사업(GET-Future)의 일부이며, 지원에 감사를 표하는 바입니다.