

論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 46(5), 368-375(2018)

DOI:https://doi.org/10.5139/JKSAS.2018.46.5.368

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

플랫폼의 주기 운동을 고려한 부유식 해상 풍력터빈의 공력 성능 해석

김영진*, 유동옥**, 권오준***

Aerodynamic Load Analysis of a Floating Offshore Wind Turbine
Considering Platform Periodic Motion

Youngjin Kim*, Dong Ok Yu** and Oh Joon Kwon***

Korea Advanced Institute of Science and Technology*,***

Agency for Defense Development**

ABSTRACT

In the present study, aerodynamic load analysis for a floating off-shore wind turbine was conducted to examine the effect of periodic platform motion in the direction of 6-DOF on rotor aerodynamic performance. Blade-element momentum method(BEM) was used for a numerical simulation, the unsteady airload effects due to the flow separation and the shed wake were considered by adopting a dynamic stall model based on the indicial response method. Rotor induced downwash was estimated using the momentum theory, coupled with empirical corrections for the turbulent wake states. The periodic platform motions including the translational motion in the heave, sway and surge directions and the rotational motion in the roll, pitch and yaw directions were considered, and each platform motion was applied as a sinusoidal function. For the numerical simulation, NREL 5MW reference wind turbine was used as the target wind turbine. The results showed that among the translation modes, the surge motion has the largest influence on changing the rotor airloads, while the effect of pitch motion is predominant for the rotations.

초 록

본 연구에서는 부유식 플랫폼의 6자유도 방향으로의 주기 운동이 로터 공력 성능에 미치는 영향을 확인하기 위해 부유식 해상 풍력터빈에 대한 공력 해석이 수행되었다. 수치 해석을 위해 블레이드 요소 운동량 방법을 이용하였으며, 유동 박리와 후류 영향에 의한 비정상 공력 효과를 포착하기 위해 인디셜 응답 방법에 기반한 동적 실속 모델을 이용하였다. 로터에 의해 유도되는 내리 흐름은 운동량 이론과 난류 후류 상태에 대한 경험적 모델을 연계하여 계산하였다. heave, sway, surge 방향으로의 병진 운동과 roll, pitch, yaw 방향으로의 회전 운동을 포함한 플랫폼 주기 운동을 고려하였으며, 각각의 모션은 사인함수 형태로 적용되었다. 수치해석을 위한 대상 풍력터빈으로는 NREL 5MW 풍력터빈이 사용되었다. 해석 결과로부터 세 방향 병진 운동 모드 중, surge 운동 시 로터 공력 변화가 상대적으로 크게 나타났으며, 회전 운동 모드의 경우, pitch 운동에 의해 로터 공력이 크게 변화됨을 확인할 수 있었다.

† Received : February 8, 2018 Revised : April 5, 2018 Accepted : April 6, 2018

*** Corresponding author, E-mail : ojkwon@kaist.ac.kr

Key Words : Floating Offshore Wind Turbine(부유식 해상 풍력터빈), Unsteady Aero-dynamic load(비정상 공력), Blade-element Momentum Method(블레이드 요소 운동량 방법), Platform Motion(플랫폼 운동)

I. 서 론

풍력 발전 시스템은 설치 장소에 따라 크게 육상 풍력발전과 해상 풍력발전으로 나뉜다. 해상의 경우 바람의 진행방향에 따른 장애물이 없기 때문에 육상에 비해 바람의 질이 균일하며 더 높은 속도의 바람을 얻을 수 있다. 또한 해상은 육상에 비해 최적입지조건에 풍력터빈을 설치하기 용이하며 소음으로 인한 피해, 전자파 장애 등 민원이 발생할 가능성이 적다는 장점이 있다. 그러나 해상에 큰 규모의 기초대 설치 및 계통 연결에 따른 고가의 건설비가 발생하며, 해수에 의한 염분 부식 발생, 해양 생물에 의한 영향 등 해상 설치에 따른 유지보수의 어려움이 존재한다. 최근 풍력터빈의 대형화 추세에 따라 국내외에서 해상 풍력터빈에 대한 관심이 높아지고 있으며, 이미 유럽의 다수 국가들은 해상 풍력터빈을 통해 많은 전기를 생산하고 있다.

해상 풍력발전은 연안에 설치되는 바다 고정 형태(Bottom fixed type)와 비교적 깊은 수심에 설치되는 부유식 형태(Floating type)로 구분할 수 있다. 부유식 형태는 바다 고정 형태에 비해 설치 장소 수심의 제약이 없기 때문에 최적 입지 조건 선택, 민원 감소 등 해상풍력이 갖는 장점을 극대화 할 수 있다. 또한 먼 바다로 나갈수록 해상 풍력의 질이 우수하기 때문에 더 높은 전기 효율을 얻을 수 있다. 그러나 부유식 해상 풍력터빈은 바다 고정 형태의 풍력터빈과 비교해 공력, 파랑하중 및 플랫폼의 운동 사이에 상호작용이 상당히 크게 나타난다. 이는 풍력터빈에 구조적 진동을 유발할 수 있으며, 이로 인해 구조물의 안정성 및 로터 공력 성능 저하를 유발할 수 있으므로 이에 대한 심도있는 연구가 필요하다. 이에 따라 최근에는 부유식 풍력터빈에 대한 연구가 국내외에서 활발히 진행되고 있다. J. B. de Vaal et al. [1]은 부유식 풍력터빈의 Surge 운동이 로터에서 발생하는 공력과 유도속도에 미치는 영향에 대해 조사하였다. 블레이드 요소 모멘텀 방법을 이용한 해석 결과와 Moving actuator disk model를 이용한 해석 결과를 비교하여 부유식 풍력터빈에 대한 BEM 해석 방법의 타당성을 입증하였다.

Thanh-Toan Tran et al. [2]은 UBEM(Unsteady

Blade Element Momentum)과 CFD(Computational Fluid Dynamics) 해석 코드를 이용하여 부유식 풍력터빈이 Pitch 운동을 동반할 때 로터에서 발생하는 공력을 도출하였으며, 각각의 결과를 상호 비교하였다. CFD 해석 결과와 블레이드 요소 모멘텀 해석 결과가 비교적 일치하였지만 플랫폼 운동이 커질 경우 CFD 해석 결과가 후류 및 BVI(Blade Vortex Interaction)에 의한 효과를 더 정확히 포착할 수 있음을 확인하였다.

본 연구에서는 풍력터빈을 지탱하는 부유식 플랫폼이 6자유도 방향으로의 주기 운동을 동반할 때 로터에 의해 발생하는 비정상 공력 예측하였다. 수치해석을 위하여 시간 효율이 높은 블레이드 요소 모멘텀 방법을 이용하였다. NREL 5MW 풍력터빈[3]을 대상으로 공력 해석이 수행되었으며, 플랫폼의 heave, sway, surge, roll, pitch, yaw 방향으로의 주기 운동에 대한 비정상 로터 공력 특성을 파악하였다.

II. 본 론

2.1 수치해석 기법

풍력터빈 로터에서 발생하는 공력을 예측하기 위해 본 연구에서는 풍력터빈 공력 해석에 널리 사용되고 있는 블레이드 요소 운동량 방법을 이용하였으며 Figure 1은 전체적인 해석 과정을 보여 준다. 하부 플랫폼이 주기 운동을 동반할 때, 로터 블레이드의 속도를 계산하기 위해 로터 회전속도(Ω), 플랫폼 운동 성분($x_B, y_B, z_B, \Theta_x, \Theta_y, \Theta_z$), 샤프트 경사 각(α_s), 블레이드 코닝 각(β_p) 등 Figure 2에 나타난 다양한 풍력터빈 형상 인자들이 고려되었다. 로터에 의해 유도되는 내리 흐름은 모멘텀 이론을 이용하여 계산되었으며, 블레이드 속도 성분(V_{blade})과 내리흐름 속도(V_{ind}), 자유류 속도(V_∞)를 이용하여 블레이드 각 섹션에 작용하는 상대 속도 성분(U_T, T_p)과 받음각을 도출하였다. 도출된 상대 속도 성분과 받음각 정보를 2차원 정적 에어포일 데이터에 적용하여 최종적으로 로터에서 발생하는 유체력을 계산하였다. 사용된 정적 에어포일 데이터는 참고문헌 [3]에서 제공된 DU 에어포일 시리즈와 NACA 64 에어포일 시리즈를 포함한 총 8개 에어포일의 양향력 및 모멘트

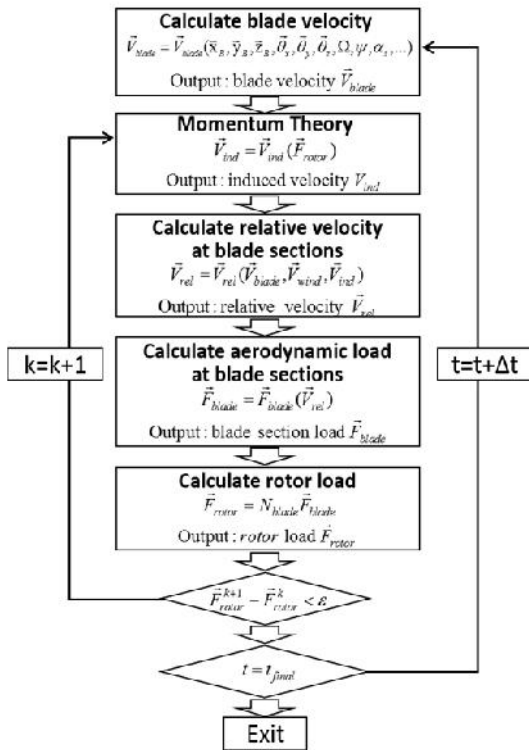


Fig. 1. Flow chart of BEMT

계수를 이용하였다. 참고문헌 [3]에 따르면 각각의 에어포일 정보는 $-10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 의 받음각 구간에서 풍동실험을 통한 실험 데이터를 기반으로 하며 이는 ECN(Energy research Center of The Netherlands)에서 개발된 StC 코드를 이용하여 $-180^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 구간으로 확장되었다. 해당 과정은 로터 공력 및 내리흐름 속도가 모두 수렴될 때까지 반복적으로 수행되었다. 식 (1), (2)는 각 스텝에서 로터 공력 및 내리흐름의 RMS 오차를 나타낸다. 공력의 경우 로터 추력을 이용하여 해의 수렴성을 판단하였으며, 계산된 RMS 오차가 수렴 기준인 5×10^{-5} 보다 작은 경우 계산이 종료되었다.

$$\epsilon_{ind} = \sum \sum \sqrt{\frac{(v^{k+1} - v^k)^2}{(v^{k+1})^2}} \quad (1)$$

$$\epsilon_{thrust} = \sum \sum \sqrt{\frac{(T^{k+1} - T^k)^2}{(T^{k+1})^2}} \quad (2)$$

(nbl : the number of blades,
ntnod : the number of nodes on blade)

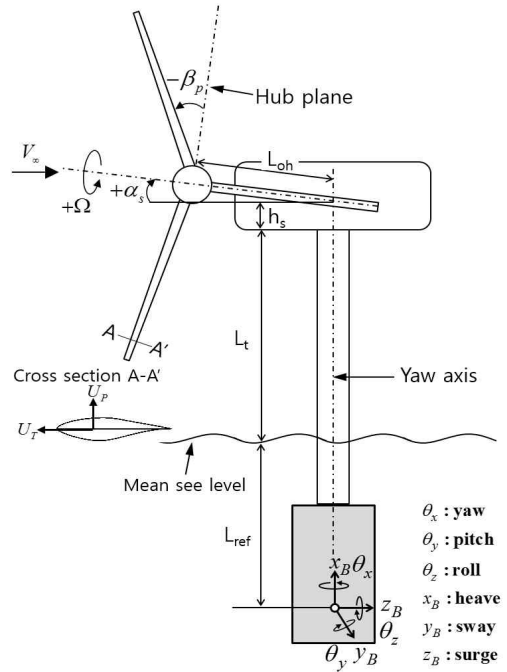


Fig. 2. Layout of a floating offshore wind turbine

블레이드 요소 운동량 방법의 경우, 2차원 정적 에어포일 데이터를 이용하여 해를 도출하기 때문에 높은 계산 효율을 갖는 반면 수치적인 한계가 존재한다. 본 연구에서는 이러한 수치적 한계를 보완하기 위해 다양한 보정 방법을 적용하였다. 블레이드 끝단에서 발생하는 shed vortex에 의해 손실되는 공력을 모델링하기 위해 tip-loss model이 적용되었으며 압축성 효과에 의한 영향을 고려하기 위해 Prandtl-Glauert correction factor가 적용되었다[4]. 비정상 유동의 경우 시간에 따라 블레이드의 받음각이 변화하며 circulatory load 및 impulsive load에 의해 받음각과 공력 사이에 시간 지연(Time lag)이 발생한다. 이러한 비정상 효과는 에어포일 뒷전에서 발생하는 shed wake와 압력 교란의 전파에 의해 발생하는 것으로 알려져 있으며 이를 고려하기 위해 인디셜 응답 방법에 기반한 비정상 공력 모델이 적용되었다[5,6]. 인디셜 함수는 일반적으로 식 (3), (4)와 같이 지수형태로 적용된다.

$$\phi_c = 1 - A_1 e^{-b_1 t} - A_2 e^{-b_2 t} \quad (3)$$

for a circulatory load

$$\phi_i = A_3 e^{-b_3 t} \quad (4)$$

for an impulsive load

식 (3), (4)의 $A_1, A_2, A_3, b_1, b_2, b_3$ 는 상수 값으로 normal force 및 pitching moment 항에 각각 다르게 적용되며, 본 연구에서는 참고문헌 [6]에 제시된 값이 이용되었다. 적절한 인디셜 함수가 정해지면 Duhamel's integral을 이용한 인디셜 함수의 중첩(Superposition)을 통해 받음각 변화에 따른 비정상 공력이 계산된다. 또한 유동박리에 의한 블레이드 실속 효과를 고려하기 위해 Leishman의 동적 실속모델을 도입하였다[7,8].

2.2 해석 기법 검증

본 연구에서 개발된 해석자를 검증하기 위해 타 연구자 결과와의 상호 비교를 통한 검증을 수행하였다. 하부 플랫폼이 surge 운동을 할 때의 로터 추력 계수를 도출하였으며 이 결과를 타 연구자에 의해 수행된 BEM 및 Moving actuator disk model 해석 결과와 비교하였다[1]. Moving actuator disk model은 비점성, 비압축성, 축대칭 유동을 기반으로 하며 Table look-up을 이용하여 계산된 체적력(Body force)이 포함된 비압축성 Navier-Stoke 방정식을 이용하여 유동장을 계산한다. Table look-up에 의존하는 블레이드 요소 운동량 이론에 비해 물리적으로 더 타당한 해를 얻을 수 있지만 축대칭이 아닌 유동을 해석하기에는 한계가 존재한다.

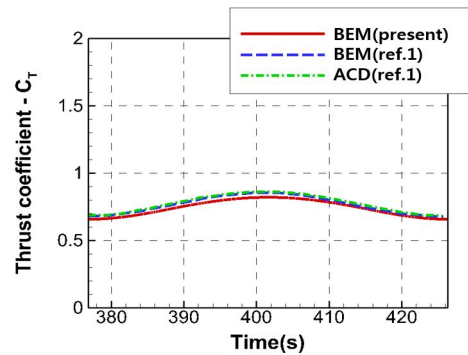
하부 플랫폼의 운동은 식 (5)과 같이 사인함수 형태로 나타내었으며 최대 진폭(D_0)은 8m로 설정하였다.

$$D(t) = D_0 \sin(\omega t) \quad (5)$$

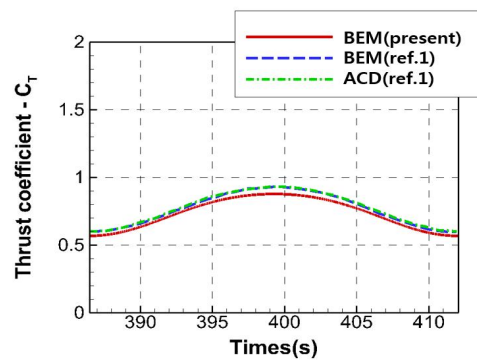
Figure 3의 (a), (b)는 각각 식 (5)에서의 진동수(ω)가 0.127rad/s, 0.246rad/s일 때의 해석 결과이다. 로터에서 발생하는 추력이 surge 운동에 의해 시간에 따라 변화함을 확인할 수 있으며 진동의 진폭이 타 연구자의 블레이드 요소 운동량 방법 및 Moving actuator disk model 결과와 유사한 것으로 보아 해당 해석자는 타당한 해를 도출하는 것으로 판단된다.

2.3 해석 조건

수치 해석을 위해 NREL 5MW 풍력터빈 형상을 이용하였으며, 해당 풍력터빈의 자세한 사양을 Table 1에 나타내었다. 정격풍속 조건($V_\infty=11.2\text{m/s}$, $\Omega=1.2671\text{rad/s}$)에서 모든 수치 해석이 수행되었으며, 로터 회전 속도는 풍력터빈 블레이드의 상대속도와 무관하게 일정하다고 가정하였다. 플랫폼 운동은 식 (5)를 이용하여 사인함수를 형태로 모사



(a) $\omega=0.127\text{rad/s}$



(b) $\omega=0.246\text{rad/s}$

Fig. 3. Comparison for the rotor thrust between present results and other researcher's efforts

하였으며, 병진과 회전 운동에 대해 각각 다른 진폭과 진동수(ω)가 적용되었다. 병진 운동의 경우 최대 진폭은 5m, 진동수는 0.769rad/s이며, 회전 운동의 경우 최대 진폭은 10°, 진동수는 0.457 rad/s이다. 플랫폼 운동에 따른 공력 특성을 명확히 도출하기 위해 진폭은 임의로 크게 설정되었으며, 풍력터빈이 타워 아랫면의 중앙을 기점으로 병진 및 회전운동 하도록 적용되었다.

Table 1. Gross Properties for NREL 5MW wind turbine[3]

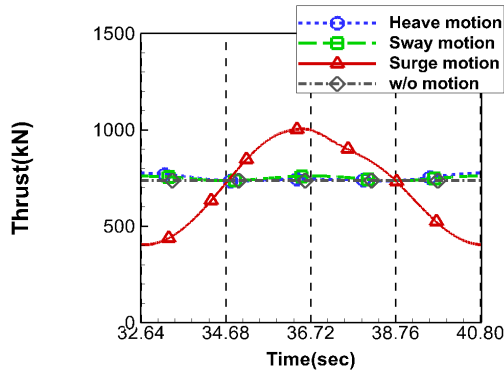
Rating	5MW
Rotor configuration	Upwind, 3Blades
Rotor, Hub Diameter	126m, 3m
Hub height	90m
Overhang length	5m
Shaft tilt angle	5°
Precone angle	2.5°
Blade pitch angle	0° (No pitch control)

2.4 해석 결과

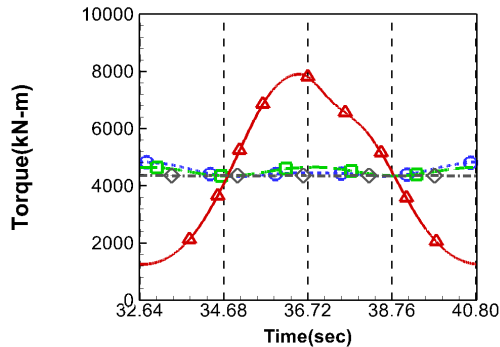
하부 플랫폼이 6 자유도 방향으로 독립적으로 움직일 때 풍력터빈에서 발생하는 공력에 대한 수치 해석을 수행하였다. 병진 운동(heave, sway, surge)과 회전 운동(roll, pitch, yaw) 해석 결과를 상호 비교하여 각각의 움직임이 로터 공력에 미치는 영향을 파악하였다.

2.4.1 병진운동 해석 결과

Figure 4는 풍력터빈 하부 플랫폼이 병진 운동할 때 로터에서 발생하는 추력 및 토크를 보여주며, Figure 5는 로터에서 발생하는 하중으로 인해 하부 플랫폼에 가해지는 모멘트를 보여준다. 플랫폼 병진운동이 일어나는 동안 로터 공력 성능 및 하부 플랫폼에 가해지는 하중이 크게 변화하는 것을 볼 수 있으며, 변화 주기는 하부 플랫폼 운동 주기와 일치한다. 특히, 세가지 병진운동 중 풍력터빈이 surge 운동할 때 추력과 토크의 변화가 가장 크게 나타남을 확인하였다.

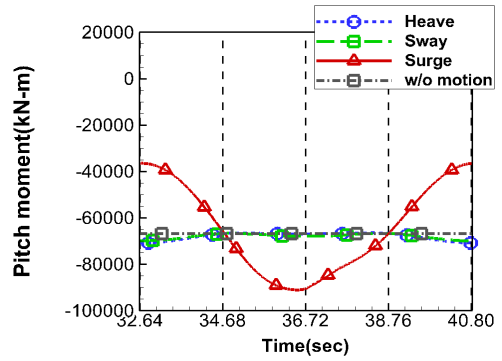


(a) Rotor Thrust

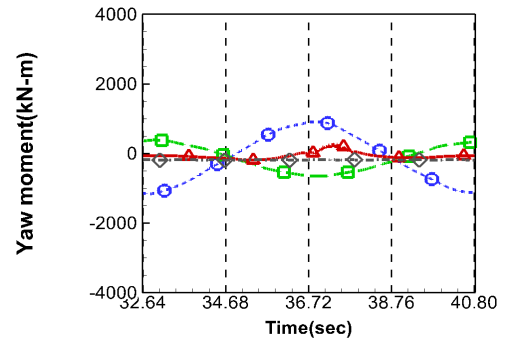


(b) Rotor Torque

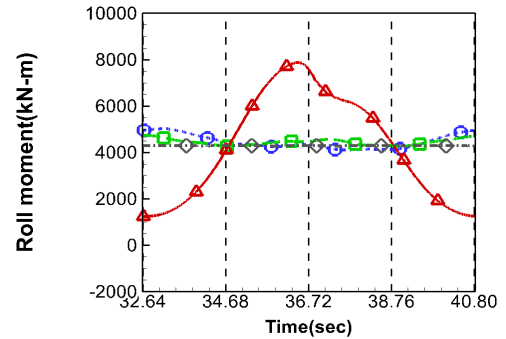
Fig. 4. Comparison of rotor thrust and torque between translation modes



(a) Platform Pitch Moment



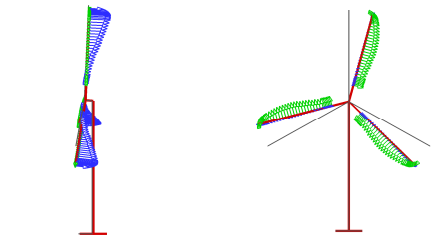
(b) Platform Yaw Moment



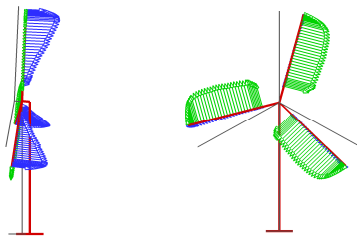
(c) Platform Roll Moment

Fig. 5. Comparison of platform pitch, yaw and roll moment between translational modes

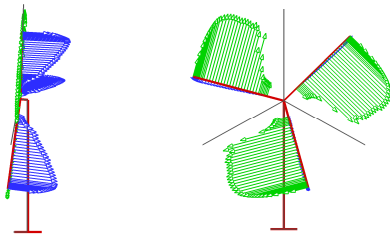
Figure 6은 하부 플랫폼의 surge 운동 시 로터 블레이드에서 발생하는 토크 및 추력에 대한 공력 분포를 보여준다. 파란색 벡터가 추력 성분이며 초록색 벡터는 토크 성분을 나타낸다. Figure 6에서 확인할 수 있듯이, surge 운동의 경우 32초 지점에서 하부 플랫폼이 다운윈드 방향으로 최대 속도를 가지게 되는데 이로 인해 자유류와의 상대속



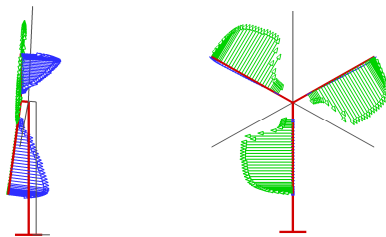
(a) $t=32.64s$
(max. velocity in downwind direction)



(b) $t=34.68s$
(max. displacement in downwind direction)



(c) $t=36.72s$
(max. velocity in upwind direction)



(d) $t=38.76s$
(max. displacement in upwind direction)

Fig. 6. Blade thrust and torque under platform surge motion

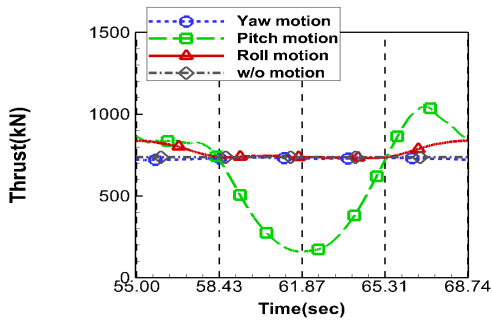
도가 줄어들고 블레이드의 받음각과 동압이 감소하여 로터에서 발생하는 추력과 토크가 크게 감소한다. 36초 지점에서는 업윈드 방향으로 하부 플랫폼의 속도가 최대가 되며 이로 인해 자유류와의 상대속도 및 블레이드의 받음각이 증가하여 한 주기 내에서 가장 큰 공력이 발생하게 된다.

Figure 6의 (c), (d)에서 블레이드 스패의 27% 지점에서 불연속적인 공력분포가 나타나는데, 이는 사용된 에어포일 데이터의 실속 이후의 불연속적인 양력 분포가 원인인 것으로 판단된다. 이 지점에서는 블레이드가 DU35 에어포일 및 DU25 에어포일로 구성되며, $t=36.72s$ 일 때 10.1° , $t=38.76s$ 일 때 15.2° 의 받음각을 갖는다. 참고문헌 [3]의 DU35, DU25 에어포일 데이터에서는 $10^\circ \sim 20^\circ$ 받음각 범위에서 실속 이후의 불연속적인 양력분포를 보이며 이러한 데이터가 Table look-up 방식을 통해 로터 공력에 반영된 것으로 보인다.

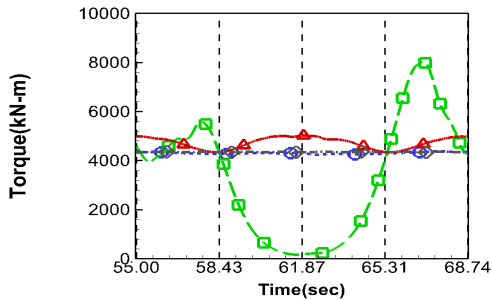
로터에서 발생하는 공력 변화의 영향으로 플랫폼에 가해지는 모멘트 또한 크게 변화하게 되는데, pitch 모멘트의 경우 로터 추력에 가장 지배적으로 영향을 받으며, 로터 토크의 변화는 하부 플랫폼의 roll 모멘트에 크게 영향을 미치는 것을 확인하였다. yaw 모멘트의 경우 하부 플랫폼의 heave 운동 영향이 가장 지배적임을 확인하였다.

2.4.2 회전운동 해석 결과

Figure 7은 하부 플랫폼이 회전 운동을 할 때 로터에서 발생하는 공력을 보여준다. 세 가지 회전 운동 중 하부 플랫폼이 y축을 기준으로 회전하는 pitch 운동 시 가장 큰 로터 공력 변화가 관찰되었다. 또한 플랫폼 roll 운동에 의한 로터 공력 변화는 다른 회전 운동 결과에 비해 상대적으로 적은 것을 알 수 있다. Figure 9에서 볼 수 있듯이, pitch 운동의 경우 55초 지점에서 자유류와 로터의 상대 속도가 가장 크게 발생하며 이 지점에서 실속(stall)에 의한 영향으로 공력이 급감하는 것을 볼 수 있다. 62초 지점에서는 y축 기준 반시계 방향으로 로터의 회전 속도가 가장 크기 때문에 자유류와의 상대속도가 감소하며 이로 인해 로터 추력과 토크가 감소한다. 이러한 현상은 Figure 9 (c)를 통해서도 확인할 수 있다. Figure 8은 회전 운동 시 로터 공력에 의해 하부 플랫폼에 전달되는 모멘트를 보여준다. 플랫폼 pitch 모멘트와 roll 모멘트는 플랫폼 pitch 운동 시 가장 크게 변화하였으며 각각 로터 추력과 토크의 변화 추세와 유사한 경향을 나타내었다. 플랫폼 yaw 모멘트의 경우, 플랫폼이 x축을 기준으로 회전하는 yaw 운동 시 가장 큰 변화를 나타냄을 확인하였다.

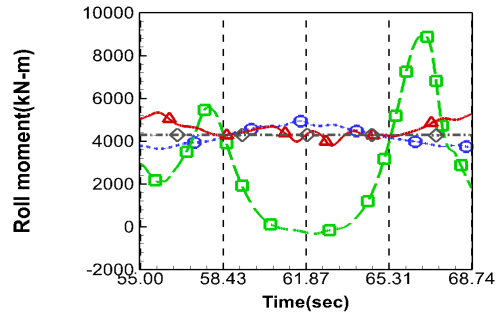


(a) Rotor Thrust



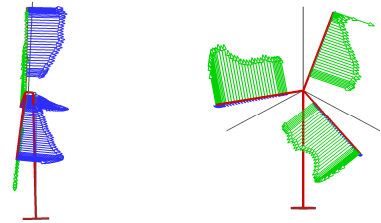
(b) Rotor Torque

Fig. 7. Comparison of rotor thrust and torque between rotational modes



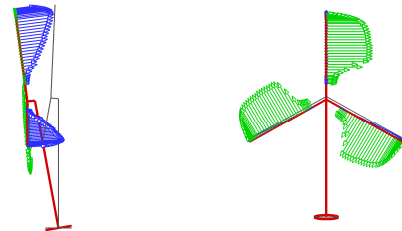
(c) Platform Roll Moment

Fig. 8. Comparison of platform pitch, yaw and roll moment between rotational modes



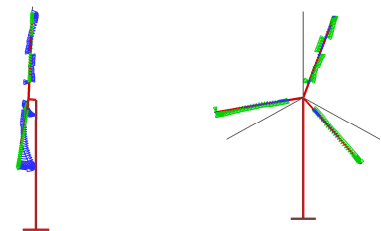
(a) t=55.00s

(max. velocity in clockwise direction)



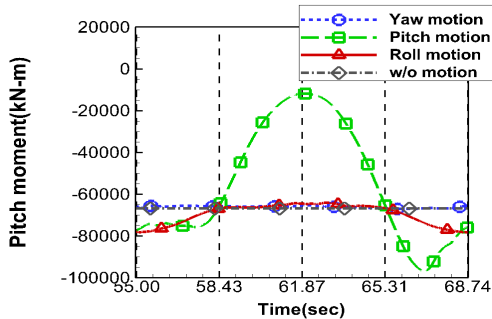
(b) t=58.43s

(max. displacement in clockwise direction)

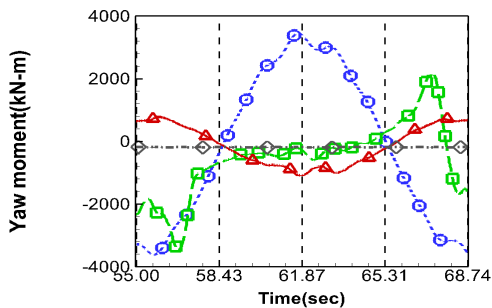


(c) t=61.87s

(max. velocity in counter-clockwise direction)



(a) Platform Pitch Moment



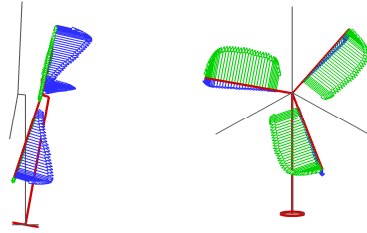
(b) Platform Yaw Moment

후 기

이 논문은 KAIST EEWS 연구센터 기후변화연구 허브사업 EEWS-2018-N11180110의 지원으로 작성되었습니다(EEWS : Energy, Environment, Water and Sustainability). 또한 2015년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20153030023880)

References

- 1) Vaal, J. B., Hansen, M. O. L., and Moan, T., "Effect of wind turbine surge motion on rotor thrust and induced velocity," *Wind Energy*, 2014, pp. 105~121.
- 2) Tran, T. T., and Kim, D. H., "The platform pitching motion of floating offshore wind turbine : A preliminary unsteady aerodynamic analysis," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2015, pp. 65~81.
- 3) Jonkman, J., Butterfield, S., Musial, W., and Scott, G., "Definition of a 5MW reference wind turbine for offshore system development," NREL/TP-500-38060
- 4) Johnson, W., "CAMRAD II : Comprehensive Analytical Model of Rotorcraft Aerodynamics and Dynamics," pp. 270~277.
- 5) Leishman, J. G., "Modeling of Subsonic Unsteady Aerodynamics for Rotary Wing Applications," *Journal of American Helicopter Society*, Vol. 35, No. 1, 1998, pp. 29~38.
- 6) Leishman, J. G., "Validation of Approximate Indicial Aerodynamic Functions for Two-Dimensional Subsonic Flow," *Journal of Aircraft*, Vol. 25, No. 7, 1988, pp. 914~922.
- 7) Leishman, J. G., and Beddoes, "A Generalized Model for Unsteady Aerodynamic Behavior and Dynamic Stall Using the Indicial Method," *American Helicopter Society 42rd Annual Forum, Washington, DC*, 1986.
- 8) Leishman, J. G., and Beddoes, "A Semi-Empirical Model for Dynamic Stall," *Journal of American Helicopter Society*, Vol. 34, No. 3, 1989, pp. 3~17.



(d) $t=65.31s$

(max. displacement in counter-clockwise direction)

Fig. 9. Blade thrust and torque under platform pitch motion

III. 결 론

본 연구에서는 부유식 해상 풍력터빈의 하부 플랫폼이 6자유도 운동을 동반할 때 로터에 의해 발생하는 비정상 공력을 블레이드 요소 모멘텀 방법을 이용하여 예측하였다. 수치적 한계를 극복하기 위해 인디셜 응답 방법 및 동적 실속 모델을 포함한 다양한 보정 방법이 적용되었다.

하부 플랫폼 병진 운동 중 surge 운동이 로터 공력 변화에 지배적으로 작용하며, 회전 운동의 경우 pitch 운동이 로터 공력에 가장 큰 영향을 주는 것을 확인하였다. 변화된 추력과 토크는 하부 플랫폼의 pitch 모멘트와 roll 모멘트에 각각 지배적으로 영향을 주는 것을 확인하였다. 이를 바탕으로 해상 조건에 따른 풍력 터빈의 동적 거동을 파악하고 인장계류식, 반잠수식, 원통식 등 해상 풍력터빈 설치 장소에 적합한 풍력발전의 형태가 선정되어야 한다.

본 연구에서 사용된 블레이드 요소 운동량 기법의 경우 다른 해석 기법에 비해 높은 계산 효율을 갖지만 블레이드 끝단 와류 또는 후류에 의한 공기역학적 영향을 정확히 판단하지 못하는 단점이 존재한다. 그러므로 해석 목적에 따라 고도화된 해석 기법인 CFD 또는 자유 후류 기법 등 적절한 해석 기법의 선택이 필요하다고 생각된다.

향후 부유식 풍력터빈의 동적 거동을 정확히 해석하기 위해 본 연구에서 개발된 공력해석자와 하부 플랫폼의 거동을 해석하기 위한 수력 해석자와의 결합에 관한 연구를 진행할 예정이다.