

부유식 풍력 하부구조물의 운동 저감을 위한 부가물 형상 연구

서대원* · 안재현** · 오정근****

*, *** 군산대학교 조선해양공학과 교수, ** 군산대학교 조선해양공학과 학·석사연계과정

Study on the Shape of Appendage for the Reduction of Motion of Floating Wind Turbine Platforms

Dae-Won Seo* · Jaehyeon Ahn** · Jungkeun Oh****

*, *** Professor, Naval Architecture Engineering, Kunsan National University, Kunsan, Korea

** Bachelor, Naval Architecture Engineering, Kunsan National University, Kunsan, Korea

요 약 : 일반적으로 부유식 해상풍력발전 에너지의 공급성과 효율을 극대화하기 위해서는 하부구조물의 파랑 감쇠로 인한 운동을 저감시키는 것이 중요하다. 선행 연구들에 따르면 파도 중 하부구조물에 설치된 감쇠판에 의해서 발생한 와류점성으로 인해 운동 응답이 감소되는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 5MW급 반잠수식 OC5 플랫폼과 감쇠판이 부착된 두가지 플랫폼을 설계하고, 와류점성으로 인한 운동저감효과를 확인하기 위해 자유감쇠실험과 수치계산을 수행하였다. 모형시험 결과로 낙하 높이를 30 mm, 40 mm, 50 mm에서의 상하 자유감쇠실험을 수행하였을 때 OC5 플랫폼 대비 두 가지의 형태의 감쇠판이 부착된 플랫폼이 상대적으로 운동감쇠능력이 향상되었다. 모형시험과 수치계산 결과에서 형상화한 감쇠판 모델(KSNU Plate 1, KSNU Plate 2)들이 각각 OC5 대비 상하운동 진폭이 1.1배, 1.3배 각각 감소했으며, KSNU Plate 2 플랫폼은 KSNU Plate 1 플랫폼보다 OC5 대비 약 2배 감쇠능력이 좋아진 것으로 나타났다. 본 연구에서는 감쇠판의 면적과 와류점성이 상하동요의 감쇠율과 밀접한 관련을 보여준다.

핵심용어 : 부유식 해상풍력, 하부구조물, 감쇠판, 점성와류, 상하운동, 수치계산

Abstract : In general, to maximize the supply and efficiency of floating offshore wind power generation energy, the motion caused by wave attenuation of the substructure must be reduced. According to previous studies, the motion response was reduced due to the vortex viscosity generated by the damping plate installed in the lower structure among the waves. In this study, a 5 MW semi-submersible OC5 platform and two platforms with attenuation plates were designed, and free decay experiments and numerical calculations were performed to confirm the effect of reducing motion due to vortex viscosity. As a result of the model test, when the heave free decay tests were conducted at drop heights of 30 mm, 40 mm, and 50 mm, compared with the OC5 platform, the platform with two types of damping plates attached had relatively improved motion damping performance. In the model test and numerical calculation results, the damping plate models, KSNU Plate 1 and KSNU Plate 2, were 1.1 times and 1.3 times lower than OC5, respectively, and the KSNU Plate 2 platform showed about two times better damping performance than OC5. This study shows that the area of the damping plate and the vortex viscosity are closely related to the damping rate of the heave motion.

Key Words : Floating wind turbine, Substructures, Damping plate, Viscous vortex, Heave motion, Numerical calculation

1. 서 론

최근 화석연료 사용으로 인한 기후변화 위기가 심화하면서 이에 대한 극복방안으로 신재생 에너지 개발에 대한 수요가 증가하고 있다. 이 중 대규모 설치가 가능한 부유식 해

상풍력발전은 환경문제를 감소시키며, 고정식 해상 풍력발전에 비해 바람 자원 이용 효율이 높다. 또한, 대규모 단지화를 통해 큰 에너지를 생산할 수가 있어 해외 선진국들은 이미 부유식 해상풍력 개발에 많은 관심을 보이고 있다. 국내 부유식 해상풍력 시장은 국내 재생에너지 3020 목표를 위해 울산 및 서남해권에서 부유식 해상풍력발전 개발연구 및 실증에 관한 연구가 수행되고 있다.

* First Author : dwseo@kunsan.ac.kr, 063-469-1858

† Corresponding Author : jkoh@kunsan.ac.kr, 063-469-1857

부유식 해상풍력발전 형식은 크게 3가지로 반잠수식 플랫폼, 인장각 플랫폼, 스파 플랫폼형식이 있다. 이 중에서도 반잠수식플랫폼은 수심 40 m 이상의 깊은 수심에 적합하고, 육상에서 제작한 후의 해상이동을 통해 설치만 하면 되는 특징을 가진다. 물론 반잠수식 풍력터빈 설치를 위해서는 고도의 기술이 필요하나, 다른 형식에 비해 플랫폼의 해상 운송이 쉽다는 이점이 있다. 이러한 장점으로 Kang(2015)는 토지 면적의 과부하 및 에너지 고갈로 인한 문제들을 반잠수식 풍력터빈발전기가 좋은 해결책이 될 것으로 추정하고 있다.

부유식 해상풍력발전 플랫폼의 유체역학적 주요성능 중 하나는 파도에 의한 플랫폼의 운동응답을 최소화하는 것이다. 파도에 의해 플랫폼의 운동 응답이 과도하게 커지면 공진으로 인한 운동 불안정성뿐만 아니라 블레이드로 유입되는 바람의 입사각이 크게 변화하면서 안정적인 전력을 발생시키기 힘들다는 문제가 있다.

특히 반잠수식 플랫폼의 경우 다른 형식의 플랫폼에 비해 파도에 의한 해양구조물의 운동응답이 더 크기 때문에 설계 단계에서 파도에 의한 운동응답 감소를 위한 방법등이 적용되어야 한다(Goupee et al., 2014).

Subbulakshmi et al.(2015), Park et al.(2018), Jiang et al.(2020)은 반잠수식 부유식 풍력발전터빈 플랫폼에 상하감쇠판(Heave Plate)를 부착하여 파도에 대한 구조물의 운동 응답을 감소시키기 위한 연구를 수행하였다. 선행 연구들에 따르면 파도 중 구조물의 운동응답시 감쇠판에 의한 점성외류 생성으로 운동응답이 크게 감소되는 것으로 나타났다. 그러나 최근 부유식 풍력발전타워 개발 추세로 보면 발전용량의 대형화, 하부플랫폼의 대형화, 이로 인한 파도 운동응답성능이 더욱 중요시되고 있다.

본 연구에서는 5MW급 반잠수식 플랫폼 형식의 OC5 모델(Robertson et al., 2017)을 대상으로 다양한 감쇠판을 부착하여 플랫폼의 상하운동응답 감쇠변화량을 모형시험과 수치계산을 통해 조사하였다.

2. 대상 모형

대상 기준모형은 NREL(National Renewable Energy Laboratory)에서 설계한 OC5 DeepCwind Semi-Submersible Floating System 모델로 선정하였다.

본 대상모형은 다양한 실험결과 및 수치계산결과가 공개되어 있어, 기준모형으로 적합할 것으로 판단하였다. OC5는 Fig. 1과 같이 세 개의 컬럼으로 구성되며, 중앙에 풍력터빈 타워가 있고, 그 위에 스팬이 약 61.5 m인 세 개의 블레이드가 허브에 체결되어 있다. 하부 반잠수식 플랫폼의 제원의

자세한 제원은 Table 1과 같이 흘수는 약 20 m이며, 플랫폼 SWL(Still Water Level) 하부 CM(Center of Mass)은 14.09 m이다. 각 컬럼의 직경은 12m이고, 하부 평형수 탱크 직경은 24 m로 컬럼과 하부 탱크직경의 비가 1:2로 상당히 크게 설계되었다.

본 연구에서는 수중에 설치된 하부 감쇠판이 반잠수식 플랫폼의 운동응답에 미치는 영향만을 고려하기 위해서, 풍력터빈의 타워 및 블레이드등의 상부 구조물은 고려하지 않았다.

Table 1. Floating Platform structural properties of OC5

Factor	Prototype
Platform mass, including ballast	1.2919×10^7 kg
Draft	20 m
CM location below SWL	14.09 m
System roll inertia about CM	7.5534×10^9 kg/m ²
System pitch inertia about CM	8.2236×10^9 kg/m ²
System yaw inertia about CM	1.3612×10^{10} kg/m ²

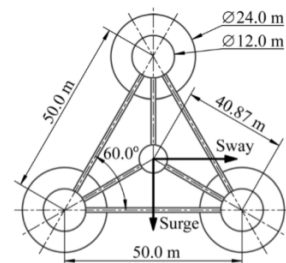
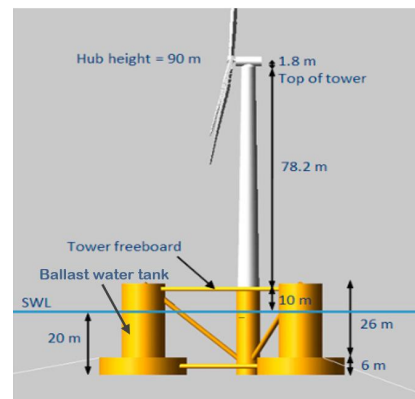


Fig. 1. OC5 DeepCwind Semi-Submersible Floating System and Ballast water tank system (Robertson et al., 2017).

3. 상하감쇠판(Heave Plate) 감쇠 성능실험

3.1 대수감쇠법

대수감쇠법은 선박의 정수 중 자유 횡동요 운동 방정식인 식(1)로부터 유도된다(Kim, 2019).

$$(I_{44} + A_{44}(w))\ddot{\Phi} + (B_{44}(w) + B_{44}^*)\dot{\Phi} + C_{44}\Phi = 0 \quad (1)$$

여기서, I_{44} 는 상하동요 질량 관성모멘트, $A_{44}(w)$ 는 상하동요 부가 질량 관성모멘트, $B_{44}(w)$ 는 포텐셜 감쇠계수, B_{44}^* 는 점성횡동요 감쇠계수, C_{44} 는 배수량과 GM의 곱, Φ 는 상하동요 진폭이다. 식(1)의 양변을 $I_{44} + A_{44}(w)$ 로 나누면 식(2)과 같고, 식(3) 좌변의 계수들을 식(4)로 정의하면, 식(2)를 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\ddot{\Phi} + \frac{B_{44}(w) + B_{44}^*}{I_{44} + A_{44}(w)}\dot{\Phi} + \frac{C_{44}}{I_{44} + A_{44}(w)}\Phi = 0 \quad (2)$$

$$2\nu = \frac{B_{44}(w) + B_{44}^*}{I_{44} + A_{44}(w)}, w_{\Phi} = \sqrt{\frac{C_{44}}{I_{44} + A_{44}(w)}} \quad (3)$$

$$\ddot{\Phi} + 2\nu\dot{\Phi} + w_{\Phi}^2\Phi = 0 \quad (4)$$

선박 동요 자유감쇠운동은 조화운동으로 선박의 동요 진폭 Φ 의 일반해를 식(5)와 같이 나타낼 수 있다. 또한, 동요 대수 감쇠를 나타내면 식(6)과 같으며, 이를 임계 상하동요 감쇠와 전체 상하동요 감쇠의 비로 무차원화하면 식(7)과 같이 무차원 상하동요 감쇠비를 나타낼 수 있다.

$$\Phi = \Phi_a e^{-\nu t} (\cos w_{\Phi} t + \frac{\nu}{w_{\Phi}} \sin w_{\Phi} t) \quad (5)$$

$$\ln\left(\frac{\Phi(t)}{\Phi(t + T_{\Phi})}\right) = \ln\left(\frac{e^{-\nu t}}{e^{-\nu(t + T_{\Phi})}}\right) \quad (6)$$

$$= \nu T_{\Phi}$$

$$= k w_{\Phi} T_{\Phi}$$

$$k = \frac{1}{2\pi} \ln\left(\frac{\Phi(t)}{\Phi(t + T_{\Phi})}\right) \quad (7)$$

3.2 상하감쇠판 모형

OC5 모델은 Fig. 1과 같이 3개의 컬럼 하부 끝단에 6 m 높이의 평형수 탱크가 존재한다. 컬럼 끝단의 평형수 탱크 직경이 24 m로 컬럼직경(12 m)과 평형수 탱크 직경이 1:2의 비율을 가진다. 따라서 평형수 탱크 직경이 컬럼 직경보다 크므로 일부 상하운동 감쇠장치의 역할을 할 것으로 미뤄 짐작할 수 있다. 그러나 최근 부유식 풍력발전타워 개발 추세로 보면 발전용량의 대형화, 하부플랫폼의 대형화, 이로 인한 파도 운동응답성능이 더욱 중요시되고 있다.

본 연구에서는 OC5 대비 더 효과적인 상하운동응답 성능을 갖는 상하감쇠판의 형태 및 감쇠성능을 실험과 수치계산을 통해 조사하였다.

하부 감쇠판의 형태는 하부 플랫폼의 형상에 따라 다양한 형태로 설계되며, 부착된다(Park et al., 2018). 본 연구에서는 Fig. 2와 같이 Mello et al.(2021) 연구에서 조사된 플랫폼 모델과 와류점성효과를 극대화하기 위해 부감물 위, 아래 면이 없는 플랫폼 모델을 고안했다. 컬럼과 감쇠판의 직경비를 1:1.74로 적용하여, 두 가지 형태의 감쇠판을 부착하여 감쇠성능 실험을 수행하였다.

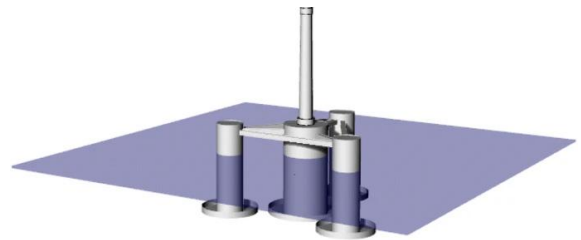


Fig. 2. Semi submersible platform with have plate (Mello et al., 2021).

모형시험을 위해 Fig. 3과 같이 ABS 수지를 이용하여 3가지 모형을 출력하였다. 산업용 3차원 프린터를 이용하여 제작된 컬럼의 직경(Dc)은 110 mm로 OC 5의 컬럼 직경 대비 약 1/109로 축소하여 제작하였다. 감쇠판의 두께는 실선기준으로 축척하면 좋으나, 유동에 의한 구조적 변형이 발생할 수 있어, Seo et al.(2013)의 논문을 참고하여, 변형을 방지하기 위해 3 mm로 정하였다. Fig. 3(a)는 감쇠판이 없는 실린더형상의 컬럼이며, (b), (c)는 컬럼 하부에 직경 192 mm으로 Mello et al.(2021)을 참고하여 설계된 서로 다른 형상의 감쇠판이 부착된 것을 보이고 있다.

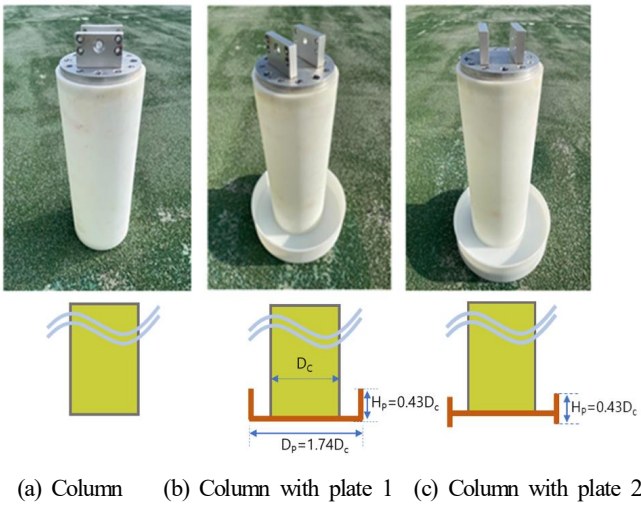


Fig. 3. Column w/ and w/o heave plates.

3.3 상하 자유감쇠 계측 시험

본 실험에서는 군산대학교 조파시험동의 2차원 수조에서 수행하였다. 2차원 수조의 길이는 총 길이 25 m, 폭 1 m, 수심 1 m 이며, 상하방향만 자유롭게 움직일 수 있는 지그에 대상 실험모형을 거치하였다.

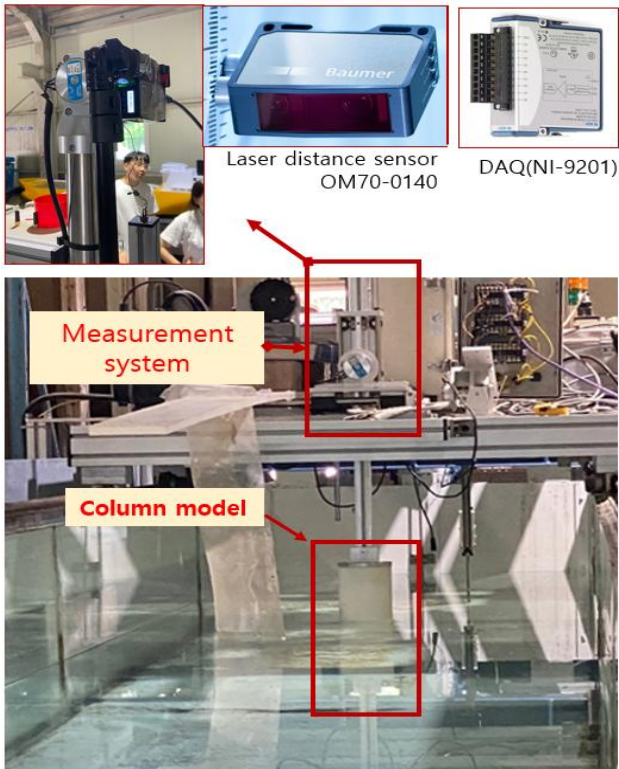


Fig. 4. Experimental setup and data acquisition system.

실험장비는 Fig. 4와 같이 상하방향 운동을 계측할 수 있도록 구성하였다. 기존 설치된 포텐셔미터의 경우 접촉에 의한 마찰력이 존재할 수 있어 비접촉 고정밀 레이저 거리센서를 사용하였다. 사용된 레이저 센서는 BAUMER사의 OM70 모델로 40 mm~140 mm까지 계측이 가능하며, 계측 주기가 2000 Hz로 상당히 높으며, 0.07%의 오차를 갖는다.

또한, 데이터 수집은 NI 사의 다기능 데이터 수집 모듈 (NI-9201)을 사용하여 계측된 아날로그 데이터를 디지털화 하여 분석하였다. 감쇠판에 의한 운동 감소효과를 확인하기 위해, 3가지 모형에 대해서 정해진 흘수 조건을 기준으로 30 mm, 40 mm, 50 mm에서 상하 자유감쇠 시험을 수행하였다. 시험결과 Fig. 5(a)~(c)와 같이 모든 경우에서 plate 1, 2번 감쇠판을 장착한 경우에서 상하 감쇠효과를 보였다. 다만 1, 2번 감쇠판에 효과는 비슷한 것으로 나타났다. 이는 컬럼의 감쇠운동이 상하방향으로만 한정하여 보면 감쇠판 형상에 대해서는 큰 효과가 없는 것으로 나타났다. 하지만, 대수감쇠법을 이용해서 무차원 감쇠계수를 계산한 결과 Table 2와 같이 40 mm에서 Plate 1, 2번 감쇠판이 Column 대비 37.2%, 69.1%로 상하 감쇠효과를 보였다.

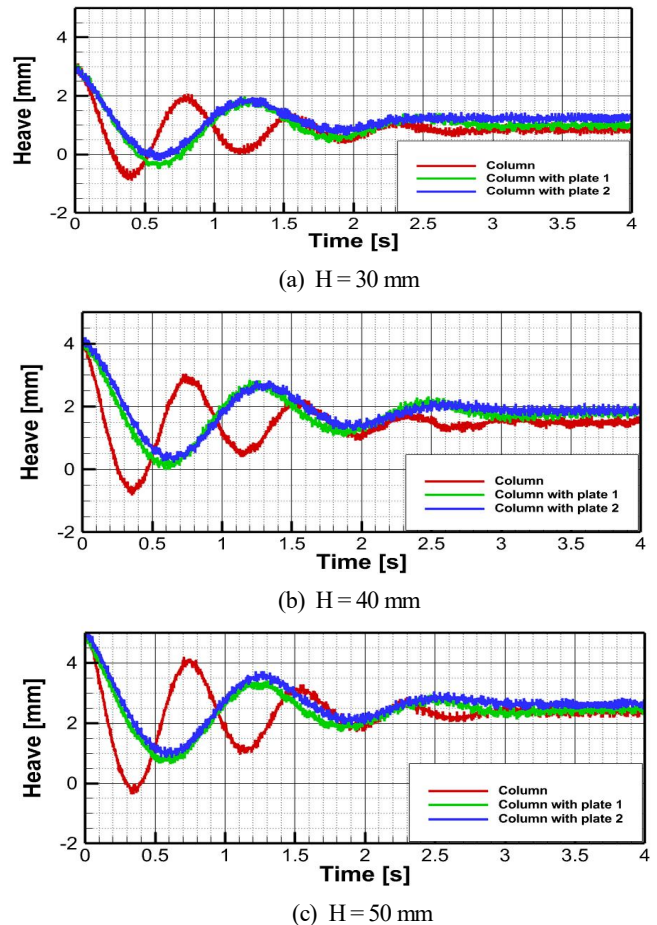


Fig. 5. Comparison of the heave motion various H (drop height).

Table 2. Comparison of damping coefficient various heave plate (H = 40 mm)

Model	Damping coefficient ζ	Reduction rate (%)
Column	0.0172	-
Column with plate 1	0.0236	37.2%
Column with plate 2	0.0291	69.1%

4. 상하감쇠판(Heave Plate) 감쇠성능 시뮬레이션

4.1 수치해석 및 유효성 검토

감쇠판이 부착된 반잠수식 풍력터빈 하부구조물의 운동 응답을 추정하기 위해 Starccm+ (Ver. 15.06)을 이용하여 수치 시뮬레이션을 수행하였다. 감쇠판이 상하로 자유감쇠 운동을 할 때, 감쇠판 주위 와류에 의한 점성감쇠효과등을 살펴 보기 위해 감쇠판 주위 격자를 밀집시켰다. 그리고 질량보존방정식과 비압축성 Navier-Stokes 방정식을 지배방정식으로 사용하였다. Starccm+ 프로그램에서 사용되는 난류모델들은 One-Equation Model, Two-Equation Models(Standard k- ϵ , RNG k- ϵ , Realizable k- ϵ , Standard k- ω , SST k- ω) 등이 있다. 본 연구에서는 복잡한 전단류(Shear flow)와 큰 변형률(Strain rate)을 갖는 유동, 박리 등에서의 향상된 결과를 보여주는 Two-Equation Model 중에서 RNG k- ϵ 난류모델을 사용했다. 그리고 자유감쇠 운동을 모사하기 위해 DFBI(Dynamic Fluid Body Interaction) 방법, 자유수면을 고려하기 위해 VOF(Volume of Fluid)을 사용하여 계산을 수행하였다. Time-step의 경우에는 Zhang(2018)의 수치계산 시뮬레이션과 같이 0.05s로 설정했다.

본격적인 수치계산에 앞서 격자와 물리적 설정이 타당한 결과를 도출할 수 있는지 검토하기 위해, Zhang(2018), Tran and Kim(2015)에서 공개된 OC5의 자유감쇠 시뮬레이션을 수행하였다. 본 시뮬레이션은 모형축척이 아닌 실선 크기에서 수치계산을 수행하였으며, 총격자수는 Fig. 6과 같이 약 800만개로 구성하였다.

Table 3과 같이 격자 기준값(Base size)는 1m, 점성 경계층 유동의 정확도를 높이기 위해서 적층격자(prism layer)는 5개를 사용하였으며, 적층격자 두께는 0.2m로 설정하였다. 특히, 운동격자와 배경격자간의 물리량 변화등이 용이하도록 중첩격자기법(Overset Mesh)을 이용하였으며, 플랫폼 자유감쇠를 위해 유체 도메인을 플랫폼의 X,Y,Z방향의 크기를 기준으로 $-2.5 < X/L < 2.5$ $-2.5 < Y/L < 1.5$ $-2.5 < Z/L < 1.25$ 확장하였다.

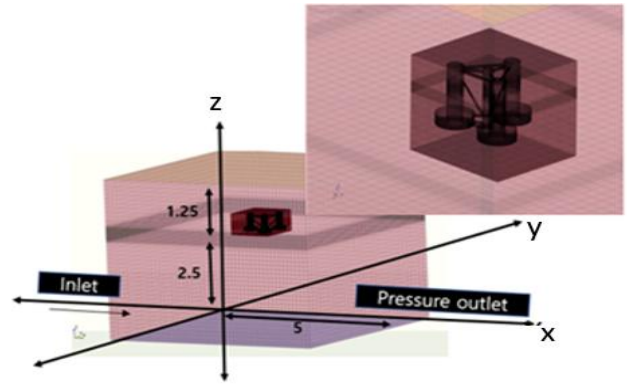


Fig. 6. Mesh distribution and coordinate system.

Table 3. Mesh information

Factor	Prototype
Total grid No.	8,000,000 cells
Type of grid	Trimmed mesh
Domain size	$-2.5 < X/L < 2.5$; $-2.5 < Y/L < 1.5$; $-2.5 < Z/L < 1.25$;
Base size	1 m
No. of Prism layer	5
Prism layer stretching	1.2
Prism layer thickness	0.2 m
Surface size	Min. 0.001 m; Target 4 m

실선 스케일에서 반잠수식 OC5 플랫폼의 자유 감쇠성능을 파악하기 위해, 자유수면을 기준으로 +4m 만큼 이동시킨 후 시뮬레이션을 시작하였다. 본 해석결과 시간에 따른 상하방향으로 감쇠되는 시간이력을 Fig. 7에 보인다. 본 연구의 수치계산과 Zhang(2018), Tran and Kim(2015)의 수치계산 Heave Period를 비교했을 때 Table 4와 같이 각각 0.6%, 1.1% 오차로 유사한 것으로 나타났다.

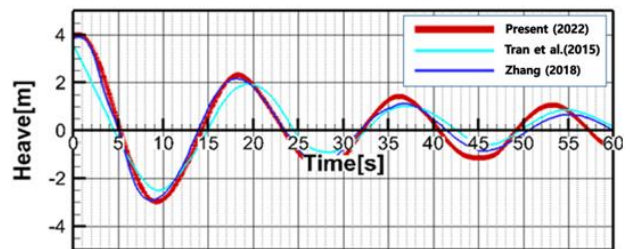


Fig. 7. Comparison of time history of heave motion various CFD results.

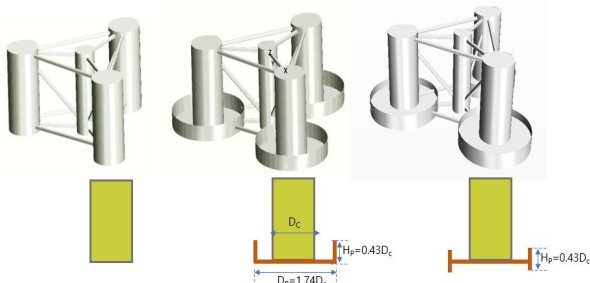
Table 4. The validity of numerical calculation

Factor	Heave Period (s)	Error (%)
Present(2022)	17.7s	-
Tran and Kim(2015)	17.5s	1.13%
Zhang(2018)	17.8s	0.56%

4.2 감쇠판이 장착된 반잠수식 플랫폼

3장 Table 2에서 두 가지 형식의 감쇠판(Plate 1, Plate 2)을 장착할 때의 컬럼의 감쇠효과가 있는 것을 확인하였으므로, 감쇠판을 OC5 플랫폼에 적용하였다.

앞서 언급한 바와 같이 OC5 플랫폼은 컬럼 하부에 평형수 탱크가 설치되어 있으므로, 본 연구에서 감쇠판을 설치할 경우 배수량이 달라질 수 있다. 이러한 배수량의 차이가 자유감쇠에 영향을 미칠 수 있으므로, OC5 플랫폼의 배수량과 제안된 플랫폼(Fig. 8 (a), (b), (c))의 배수량이 동일하도록 컬럼의 직경을 증가시켜 OC5의 배수량과 제안된 플랫폼의 배수량을 같도록 설계하였다. 즉 OC5의 컬럼 직경이 12 m인 것에 반해 Fig. 8(a, b, c)의 컬럼의 직경(D_c)는 14.7 m로 증가시켜 흘수(24 m)를 일치시켰다.



(a) KSNU w/o (b) KSNU with Plate 1 (c) KSNU with Plate 2

Fig. 8. Submersible wind turbine platform w/ and w/o Plate.

4.3 수치계산 결과

Fig. 9는 배수량이 동일한 4가지 플랫폼(OC5플랫폼, KSNU w/o 플랫폼, KSNU with plate 1, KSNU with plate 2)의 자유감쇠 수치 시뮬레이션 결과를 보이고 있다. 설계 흘수(24 m)를 기준으로 +4 m 이동 시간에 따른 상하방향 운동변화를 비교하였다.

KSNU w/o 플랫폼은 하부에 어떠한 감쇠판도 없기 때문에 OC5대비 진폭이 1.1배 커지고, 감쇠주기가 1.7배 작아지는 것을 알 수 있다.

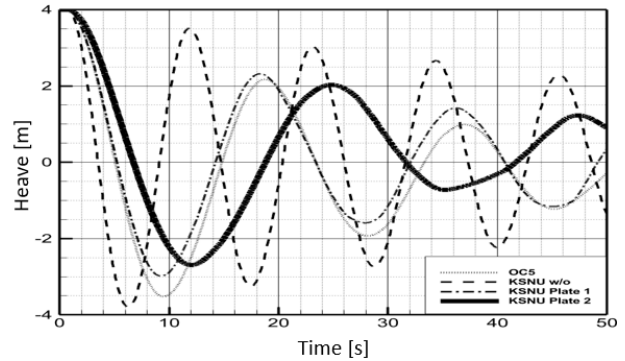
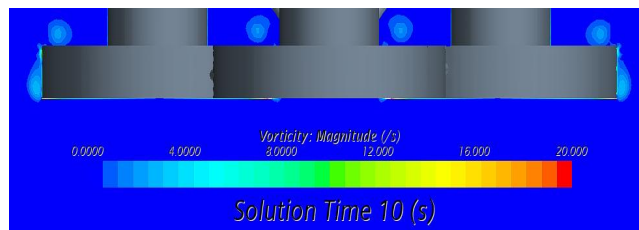


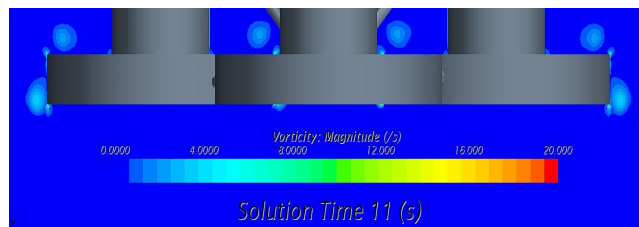
Fig. 9. Comparison of time history of heave motion various semi submersible platform.

또한, KSNU with plate 1 플랫폼은 하부의 감쇠판으로 인해 OC5대비 진폭이 1.2배 작아지고, 감쇠주기가 1.1배 커졌으며, KSNU with plate 2 플랫폼 역시 OC5대비 진폭이 1.3배 작아지고, 감쇠주기가 1.4배 커진 것을 알 수 있다.

Fig. 10은 KSNU Plate 1과 KSNU Plate 2의 부가물에서 발생되는 와류 점성을 보여준다. 동일하게 자유수면을 기준으로 +4m 만큼 이동시킨 후 첫 번째 사이클에서 부가물이 수면 위로 올라오는 10s, 11s를 기준으로 비교해봤을 때 KSNU Plate 1에 비해 KSNU Plate 2 부가물에서 와류가 많이 발생되는 것을 확인했으며, Fig. 9와 같이 KSNU Plate 2가 감쇠판 주위 와류에 의한 점성감쇠에 효과가 있다는 것을 확인했다.



(a) KSNU with Plate 1



(b) KSNU with Plate 2

Fig. 10. Comparison of vorticities KSNU with Plate 1, KSNU with Plate 2.

4.4 대수 감쇠량 비교검토

상하동요 감쇠의 산출에는 상하동요로 소실된 에너지를 고려하는 상대감쇠법과 상하동요 운동의 진폭이 대수적으로 감소한다고 간주하는 대수감쇠법을 주로 사용한다. 본 연구에서는 유도과정이 상대적으로 단순하고, 상하동요 진폭의 비로 간단하게 감쇠를 계산할 수 있는 대수감쇠법을 사용하여 선박의 동요 감쇠를 산출하였다.

Table 5는 반잠수식 플랫폼의 자유 감쇠 수치시물레이션 결과로부터 얻어낸 대수 감쇠량을 보이고 있다. 해석결과 OC5를 기준으로 KNSU w/o 플랫폼은 감쇠판이 없기 때문에 감쇠성능은 오히려 72%로 더 나빠진 것을 알 수 있다. KSNU with plate 1 플랫폼은 OC5 플랫폼 대비 8%로 감쇠성능이 좋아진 것을 알 수 있으며, KSNU with plate 2 플랫폼은 OC5 플랫폼 대비 약 2배 감쇠성능이 좋아진 것으로 나타났다.

Table 5. Comparison of damping coefficient various semi submersible platform

Model	Damping coefficient ζ	Reduction rate (%)
OC5	0.0339	-
KSNU w/o	0.0095	-72%
KSNU with plate 1	0.0366	8%
KSNU with plate 2	0.0690	103%

5. 결론

부유식 풍력발전기의 에너지 효율성을 높이기 위해서는 하부구조물의 파랑에 의한 운동응답이 감소되어야 한다. 본 논문에서는 감쇠판이 상하방향 운동을 얼마나 감쇠할 수 있는지를 모형시험과 수치계산을 통해 조사하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 상하동요에서 감쇠판을 통한 운동저감 효과를 알기 위해 OC5플랫폼 기준으로 형상화한 감쇠판(Column with plate 1, Column with plate 2)을 모형시험을 해본 결과 Fig. 5, Table 2와 같이 상하 감쇠효과를 보였다.

(2) 실선 스케일에서 반잠수식 OC5 플랫폼의 자유 감쇠성능을 파악하기 위해서 수치계산을 수행하였다. 그 결과 수치계산결과로 도출된 감쇠주기가 모형시험을 통해 얻어진 감쇠주기에 비해 약 1.2%의 작은 오차를 갖는 것으로 보였다.

(3) 최종적으로 KSNU with plate 1 플랫폼은 OC5플랫폼 대

비 8% 감쇠성능 효과가 있었으며, KSNU with plate 2 플랫폼은 OC5플랫폼 대비 103% 감쇠성능이 우수해진 것으로 나타났다.

(4) 향후 파랑 중 KSNU with plate 2 플랫폼의 운동성능 해석을 통해 다른 방향의 운동에 대해서 OC5 대비 운동성능이 향상되는지를 조사할 예정이다.

후 기

본 논문은 군산대학교의 지원을 받아 수행된 연구결과임을 밝힙니다.

References

- [1] Goupee, A. J., Bonjun J. Koo, Richard W. Kimball, Kostas F. Lambrakos, and Habib J. Dagher(2014), Experiment comparison of three floating wind turbine concepts, Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 136(2), pp. 020906-1-9.
- [2] Jiang Y., G. Hu, Z. Zong, L. Zou, and G. Jin(2020), Influence of an Integral Heave Plate on the Dynamic Response of Floating Offshore Wind Turbine Under Operational and Storm Conditions, Energies, 13, pp. 1-18.
- [3] Kang, Y. H.(2015), New-Renewable Energy Resource Map Upgrade and Market Potential Analysis.
- [4] Kim, Y. R.(2019), Development of an Evaluation Procedure for Seakeeping Performance of High-speed Planing Hull using Hybrid Method, Division of Navigation Science, Korea Maritime and Ocean University, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, 136(2), pp. 200-210.
- [5] Subbulakshmi, A., Jithin Jose, R. Sundaravadivlu, and R. PanneerSelvam(2015), Effect of Viscous Damping on Hydrodynamic Response of Spar with Heave Plate, Aquatic Procedia, 4, pp. 508-515.
- [6] Mello, P. C., Edgard B. Malta, Raíza O. P. da Silva, Matheus H. O. Candido, Lucas Henrique S. do Carmo, Izabela F. Alberto, Guilherme R. Franzini, Alexandre N. Simos, Hideyuki Suzuki, and Rodolfo T. Gonçalves(2021), Influence of heave plates on the dynamics of a floating offshore wind turbine in waves, Journal of Marine Science and Technology volume 26, pp. 190-200.
- [7] Park, S., K. -H. Kim, and K. Hong(2018), Conceptual Design of Motion Reduction Device for Floating Wave-Offshore Wind Hybrid Power Generation Platform, Journal of Ocean

Engineering and Technology, 32(1), pp. 9-20.

- [8] Robertson, A., F. Wendt, J. Jonkman, W. Popko, H. Dagher, S. Gueydon, Jacob Qvist, F. Vittori, J. Azcona, E. Uzunoğlu, C. Soares, R. Harries, A. Yde, C. Galinos, K. Hermans, J. D. Vaal, Pauline Bozonnet, Ludovic Bouy, I. Bayati, R. Bergua, J. Galván, I. Mendikoa, Carlos Barrera Sánchez, Hyunkyong Shin, Sho Oh, C. Molins, and Y. Debruyne(2017), OC5 Project Phase II: Validation of Global Loads of the DeepCwind Floating Semisubmersible Wind Turbine, Energy Procedia, 137, pp. 38-57.
- [9] Seo, D. W., S. J. Lee, and S. H. Lee(2013), A Study to Improve the Performance of a Fixed Type Fin Stabilizer with Coanda Effect, Journal of Korean Institute of Navigation and Port Research volume 26, pp 257-262.
- [10] Tran, T. T. and D. H. Kim(2015), The coupled dynamic response computation for a semisubmersible platform of floating offshore wind turbine. J. Wind Eng. Industrial Aerodynamics 147, pp. 104-119.
- [11] Zhang, Y.(2018), A CFD study on aerodynamic and hydrodynamic response of semi-submersible Floating Offshore Wind Turbine List of Figures ii List of Tab, 'Master's thesis, National University of Jeju.

Received : 2022. 06. 20.

Revised : 2022. 08. 24. (1st)

: 2022. 09. 28. (2nd)

Accepted : 2022. 12. 28.