

해양플랜트 개념설계 단계에서의 계류계 초기 설계 및 해석

정성준^{*,****} · 박병원^{**,**} · 정재환^{**} · 오승훈^{**,**} · 박종천^{****}

^{*}, ^{**} 선박해양플랜트연구소 심해공학연구센터 선임연구원, ^{***} 부산대학교 조선해양공학과 박사과정,
^{****} 부산대학교 조선해양공학과 교수

Design and Analysis of a Mooring System for an Offshore Platform in the Concept Design Phase

Sungjun Jung^{*,****} · Byeongwon Park^{**,**} · Jaehwan Jung^{**} · Seunghoon Oh^{**,**} · Jongchun Park^{****}

^{*}, ^{**} Senior Researcher, Deep Ocean Engineering Research Center, Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering, Busan 46729, Korea

^{***} PhD Candidate, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Pusan National University, Busan 46241, Korea

^{****} Professor, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Pusan National University, Busan 46241, Korea

요약 : 대다수의 부유식 해양플랜트는 위치 유지의 방법으로서 체인 계류 시스템을 사용하나, 그 설계 변경 과정은 논문으로 찾아보기 힘들다. 본 연구는 FLBT를 대상 해양플랜트로 선정하여 계류 초기설계안과 모형시험을 수치해석으로 분석하고, 변경된 설계조건에 따라 새로운 계류 설계안을 제시하였다. 주된 환경 방향에 따라 계류선 묶음(bundle)의 주 방향을 조절하는 것이 계류 설계하중 감소에 크게 유효했다. 터렛 계류된 해양플랜트라도 횡파에 노출되며, 횡파 중 운동 때문에 높은 계류 인장력이 발생했다. 일치된 환경 방향 조건은 설계조건이 될 수 없으며, 바람, 파도, 조류의 각 환경 방향이 복잡한 조건에서 설계 계류 하중이 발생했다. 횡요 운동이 계류 인장력에 미치는 영향이 큼으로 적절한 횡요 감쇠 계수를 계류해석에 적용하는 것이 중요하다.

핵심용어 : 해양플랜트, 부유식 LNG 병커링 터미널, 선내 삼입식 터렛, 계류해석, 모형시험, 극한 환경

Abstract : Most offshore platforms utilize chain mooring systems for position keeping. However, information regarding related design modification processes is scarce in literature. This study focuses on the floating liquefied natural gas (LNG) bunkering terminal (FLBT) as the target offshore platform and analyzes the corresponding initial mooring design and model tests via numerical simulations. Subsequently, based on the modified design conditions, a new mooring system design is proposed. Adjusting the main direction of the mooring line bundle according to the dominant environmental direction is found to significantly reduce the mooring design load. Even turret-moored offshore platforms are exposed to beam sea conditions, leading to high mooring tension due to motions in beam sea conditions. Collinear environmental conditions cannot be considered as design conditions. Mooring design loads occur under complex conditions of wind, waves, and currents in different environmental directions. Therefore, it is essential appropriately assign the roll damping coefficients during mooring analysis because the roll has a significant effect on mooring tension.

Key Words : Offshore platform, Floating LNG bunkering terminal, Internal turret, Mooring analysis, Model test, Extreme environment

1. 서론

중력식이나 Jacket 등으로 바다 바닥에 고정된 해양플랜트 외, 바다 수면에 떠 있는 해양플랜트의 경우 위치 유지를 위해 적합한 방법을 택하여야 한다. 예를 들어 시추선 등 이동식 시추 리그의 경우 GPS로 위치를 실시간 계측하고, 추진기를 작동시켜 위치를 유지한다. 이를 DPS (Dynamic Position

System) 이라 부르며, 여러 유정을 찾아다니며 시추 작업을 하는 이동식 시추 리그에 적합한 방식이다.

하지만 한 위치에서 20년 이상의 설계 수명 동안 운용되는 FPSO(Floating Production Storage and Offloading unit), FLNG (Floating Liquefied Natural Gas) 및 Spar 등의 해양플랜트 구조물은 이동의 필요가 없으므로, 대개 추진 시스템도 없다. 이 경우 대다수의 부유식 해양플랜트는 전통적인 체인 계류(혹은 와이어나 섬유로프를 동반하는 체인 복합 계류) 시스템을 선택한다(API, 2005).

† Corresponding Author : jungsj@kriso.re.kr, 051-604-7827

해양플랜트 개념설계 단계에서의 계류계 초기 설계 및 해석

해양플랜트의 계류 설계는 선박의 운동 특성과 밀접한 기본설계(기본 구획 배치 및 정적 복원성 등)와 Fairlead, chain stopper 등의 계류 의장품 설계부서 정도만 신경 쓸 일이 아니다. 일반적으로 부유식 해양플랜트의 계류성능은 허리케인 등의 극심한 환경에서 풍하중에 가장 큰 영향을 받으며, 이는 Topside 설계에 따른 Topside 투영 면적에 밀접하게 관계되어 있다. 계류 안정성 평가에 가장 중요한 요소 중 하나인 계류 Offset(위치 오차)는 일반적으로 SURF(Subsea, Umbilical, Riser and Flowline) 계약처의 요청 값으로 제한받는다. 계류 설계 및 해석은 기본설계, 톱사이드 설계, SURF 배치 및 선급/선주 규정을 동시에 고려하며 유체동역학적 해석을 거쳐야 한다.

이러한 해양플랜트의 계류 설계자료는 선주사의 자산으로서 초기 설계 과정이나 이를 위한 해석은 보통 논문으로 찾아보기 힘들다, 본 연구에서는 초기 계류 설계의 수정 과정 및 고찰을 다루었다.

본 연구는 선박해양플랜트연구소에서 개념설계를 진행한 해양플랜트인 LNG 부유식 병커링 터미널(FLBT, Floating LNG bunkering terminal; 이하 FLBT)에 대한 계류계 설계 변경 과정을 나타내었다. FLBT는 수심 119 m, 부산에서 약 15 km 떨어진 해상에 설치하여 Internal Turret으로 계류하며, 병커링 서틀선에 Ship to ship으로 LNG를 공급하는 터미널이다. 본 플랫폼의 개념과 설계를 위해 다양한 분야에서 연구가 진행되었다. Park et al.(2017)은 계류 설계에 필수적인 풍하중 및 조류하중에 대한 풍동시험을 수행하였으며, Jung et al.(2018)은 FLBT와 병커링 선박들의 Ship to ship 적하역 조건에 대한 모형시험을 수행하였다. Oh et al.(2020)은 환경하중 방향에 따라 차폐효과를 노려 운용률(Operability)을 개선할 방안을 연구하였으며, Jung et al.(2020) 실험 및 수치해석을 통해 LNG 병커링을 위해 FLBT를 향해 접근하는 선박의 안정성을 평가하였다.

2. 계류 초기 모델

2.1 FLBT 및 계류 시스템의 제원

본 연구에서 고려된 FLBT의 제원을 Table 1에, 가장 초기 버전의 계류 시스템 제원을 Table 2에 나타내었다. FLBT의 계류성능 평가를 위해 선박해양플랜트연구소의 해양공학수조에서 모형시험으로 평가된 바 있다(Hong et al., 2016).

계류선은 3개의 Bundle이 120도 간격으로 뻗어나가며, 동일 Bundle 내 5개의 계류선은 서로 3도 간격으로 배치되었다. 터렛은 선미수선 위치로부터 선수 방향으로 LBP의 85%의 위치에 있으며, 터렛의 직경은 15 m이다. 계류선의 선측 끝은 터렛 중심으로부터 7.5 m 떨어져 위치한다.

FLBT의 위치는 계류선에 의해 구속되지만, 환경 방향에 따라 자유롭게 회전할 수 있어야 하며, 이러한 터렛의 직경 및 회전 가능한 특성을 모형시험에 반영하기 위해 Fig. 1과 같이 모형 터렛이 모형시험을 위해 구성되었다.

Table 1. Main characteristics of FLBT

	Real Scale	Model scale
Loa(m)	355.0	5.471
Lbp(m)	326.0	5.015
Breadth(m)	60.0	0.923
Depth(m)	32.7	0.503
Draft(m)	13.5	0.208
Displacement(ton)	239278	0.871
GM(m)	13.51	0.208
Roll period(sec)	11.0	1.364

Table 2. Properties of mooring system

Item	Value
Mooring type	3 × 5 lines chain catenary
Chain type	1,012 m studless R4 grade
Diameter	132 mm
Pretension	1,627 kN
Line MBL	15,965 kN (Initial condition) 13,573 kN (After corrosion)
Mooring Radius	1,000 m
Weight in water	306 (kg/m)

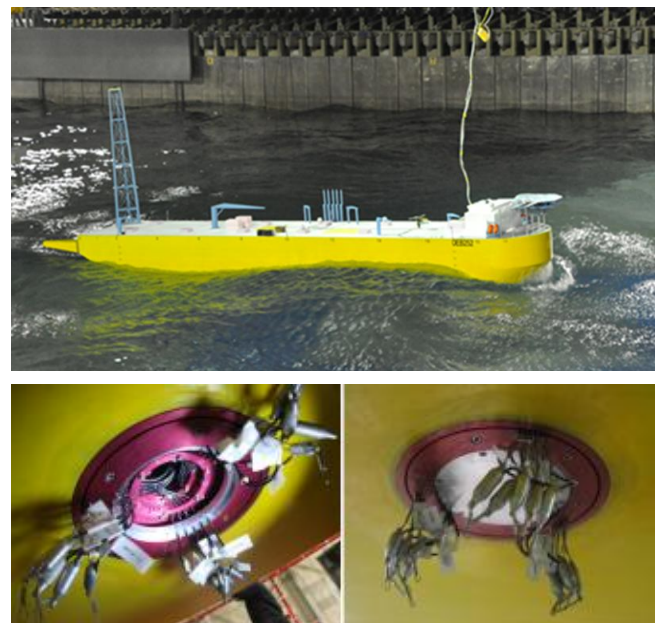


Fig. 1. Turret model and the FLBT for mooring test.

2.2 수치모델의 구성

본 연구에서는 제한된 모형시험 범위 내에서 다루지 못한 다양한 환경 노출 조건 및 설계 변동사항을 수치적으로 검토하기 위하여, Orcina사에서 개발된 Orcaflex 라는 수치해석 툴을 사용하였다.

FLBT의 운동특성을 표현하기 위해 1차 파 강제력 및 2차 파랑표류력 계수와 같은 유체동역학 특성들은 고차경계요소법 (Higher-order boundary element method)을 이용하여 계산한 후 입력값으로 활용하였다. 고차 경계 요소 생성을 위해 모델링에 노력이 들어가지만, 훨씬 안정적인 파랑표류력 등의 유체동역학적 계수를 얻을 수 있다(Choi et al., 2000).

운동특성의 풍하중 및 조류하중 특성은 사전에 CFD로 추정된 계수를 실제 해양공학 수조에서 측정한 하중으로 scale 조정하여 수치모델에 입력하였다.

수치 모델에서 터렛의 직경 15 m를 반영하여 계류선을 선체에 연결한다면, FLBT가 회전함에 따라 계류선들이 꼬이게 된다. 이를 막기 위해 터렛 중심점에 계류선을 연결하는 방법도 있겠지만, 본 연구에서는 정확한 현상 반영을 위해 터렛 또한 모델링하여 Fig. 2와 같이 구성하였다. 터렛 모델은 터렛 상하에 2개의 가상의 강한 수치 스프링으로 FLBT와 연결되었다. 이로서 FLBT와 터렛 모델은 서로 상호 작용하며, FLBT의 회전을 허용하고, 계류선의 하중을 FLBT에 정확히 전달 할 수 있도록 하였다.

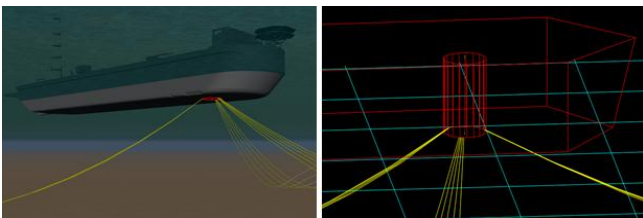


Fig. 2. Numerical mooring model with freely rotatable turret.

2.3 수치모델의 조정

수치모델이 모형시험과 일치될 수 있도록, 감쇠 특성도 조정하였다. BV 선급은 모형시험에 조정할 수 없는 경우에 초기 추정치로 사용할 수 있는 Surge, Sway, Yaw 감쇠 값을 추천하고 있다(BV, 2015). 본 수치모델의 경우 BV guidance 값을 입력 감쇠값으로 사용 했을 때, Surge 특성이 모형시험의 Surge decay와 비슷하게 튜닝되었다.

터렛 계류의 경우 Yaw 방향으로 구속이나 시스템 강성이 전혀 없기 때문에, 모형시험으로 Sway, yaw decay를 구현 할 수 없다. 따라서 본 수치모델에서는 100년 복합환경 하에서의 Yaw 운동의 표준편차값을 비슷하게 맞추는 감쇠값을 주었다. 역시 BV guidance 값을 입력 감쇠값으로 사용 했을 때

유사한 수준의 표준편차를 얻을 수 있었다.

Fig. 3에는 모형시험과 수치모델의 계류 복원성을 비교해 보았다. 실선으로 나타난 수치모델은 터렛모형을 0.1 m/s의 매우 느린 속도로 bundle과 일치하는 위치에서 반대편 사잇각으로 진행시켜 얻은 값이다. 계류복원성은 수치모델과 모형시험이 상호 일치하며, 특히 20 m 이내 변위에서 매우 일치한다. 20 m 이후는 이미 Line MBL에 해당하는 하중이 작용하여, 계류 안정성 평가에 의미가 적은 영역이다.

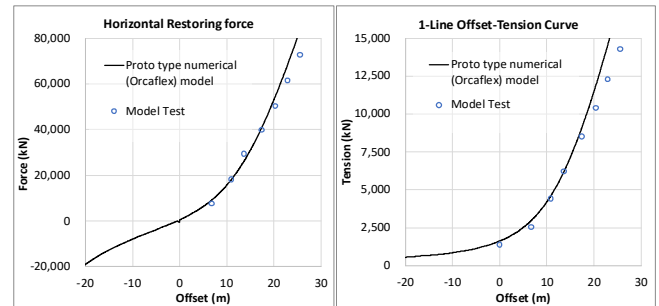
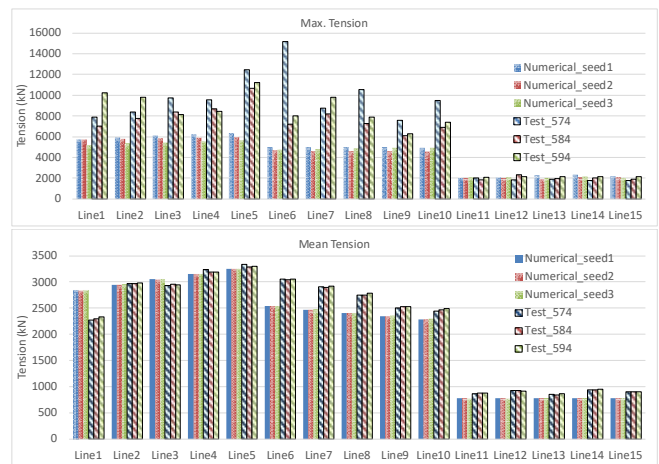
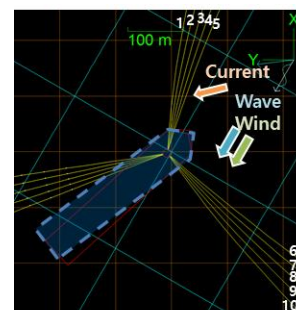


Fig. 3. Restoring characteristics of mooring system.



(a) tension comparison



(b) environmental direction

Fig. 4. Tension comparison between model test and numerical simulations under the most severe weather condition.

Fig. 4에서는 이렇게 모형시험에 조정된 수치모델을 최종적으로 100년과 중 모형시험 결과와 비교한 것을 나타내었다. 복합 환경 방향 하에서의 100년과 모형시험은 동일 조건을 3번 반복되었다. 수치해석도 3가지 seed를 이용해 3번 반복 하였으나, seed간 편차가 매우 적다. 모형시험은 3번의 반복 시험간 편차가 매우 크다. 시계열로 분석해 본 결과 동일 시점에서 인접라인의 텐션이 차이가 매우 컸다. 동일 bundle 내 인접 라인 사이의 텐션은 차이가 클 수 없으나, 모형시험에서 불확실한 원인으로 텐션의 극값이 과도하게 측정된 것으로 보인다.

3. 해상 환경 조건 변경을 고려한 계류계 재설계

3.1 환경조건

모형시험에서 다양한 조건을 모두 다룰 수 없으므로, 실제 계류조건 설계는 다양한 시뮬레이션을 통해 검토되어야 한다. 해석을 통해 나타나는 가장 나쁜 해석조건은 100년 Line intact 조건으로서, 100년 파도 및 바람, 10년 조류조건을 사용했을 때였다.

앞서 본 2장, 수치모델을 평가하는 단계에서는 초기 CFD로 풍/조류하중 계수를 추정하고, 추후 사각 수조 모형시험에서 계측된 하중으로 수치모델을 조정하여 사용하였다.

이후 본 단계에서, 계류시스템 설계를 위한 초기 풍/조류하중 계수를, 2017년 Force Technology 풍동에서 계측한 최신 시험 결과를 반영한 자료(Park et al., 2017)로 대체하여 적용하였다.

100년 파도 조건으로서, 설치 위치에서의 설계파(KIOST, 2005) 값을 사용하였으며, 파향(come from)은 파도의 주 방향을 확인하여, ESE(동남동)~S(남)으로 한정하였다. 22.5도 간격으로 4개의 파도는 유의파고 11.17~12.26m의 높이를 보이며, 매우 극한 환경을 나타내고 있다. 나머지 방향에서는 100년 유의파고가 3~9m 수준으로 낮아, 설계에 사용 될 극한 하중이 나타나지 않을 것으로 판단하였다.

100년 풍속으로서는 부산의 100년 재현확률의 10분 평균 풍속, 50.44 m/s 값을 사용하였다(Hwang and Kim, 2003). 이는 설치해석의 풍속으로 적용되기에 과도한 풍속으로 보여지나, 보수적 접근을 위해 조사된 참고 문헌들 중 가장 강한 값을 사용하였다.

API 등 대표적인 계류 설계 관련한 규정에 따르면, 풍하중은 1분 평균풍속을 정적으로 사용하거나 1시간 평균풍속에 바람 스펙트럼을 사용하여 돌풍 성분을 고려하도록 되어 있다. 산업계에서는 후자가 더 일반적인 접근 방법이며, Fig. 5에서 검토된 것과 같이 본 FLBT의 계류에 있어서는 후자의 방법을 사용했을 때 더욱 적은 설계하중을 얻을 수 있었다.

조류는 앞서 10년 조류조건을 기준으로 한다고 하였으나 설치 위치에서의 충분한 자료가 없어, 18.6년 재현확률에 해당하는 2.1 m/s의 속도를 내부적으로 도출하여 설계 기준으로 삼았다.

조류 방향은 북동향으로 보였다. profile에 대해서는 대한해협의 조류를 관측한 자료(Lee and Kim, 2016)를 참고하였다. 표층에서는 북동향의 조류가, 하층부에서는 지속적인 저층 남서향 조류가 흐른다고 되어 있으나, 본 연구에서는 보수적인 관점에서, 역방향의 저층 profile까지 고려하지 않고 유사한 profile을 적용했다.

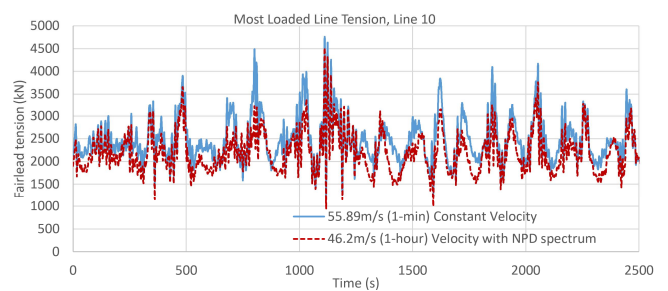
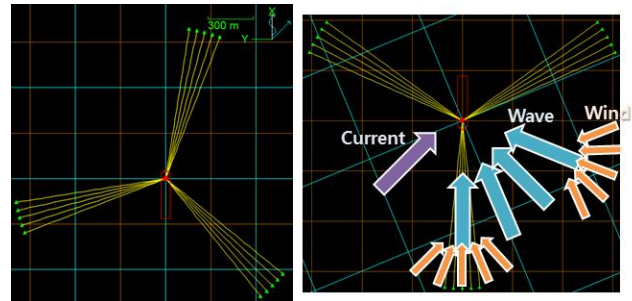


Fig. 5. Tension comparison between 1-min constant wind and 1-hour averaged speed with NPD spectrum.



(a) initial design (b) modified arrangement

Fig. 6. Mooring lines and environments direction.

3.2 계류선 주 방향 변경 효과 검토

본 초기 설계 검토단계에서는 계류선 Intact 조건에서 총 60 case의 해석이 검토되었다. 조류 방향은 고정이고, 파도는 4방향, 바람의 방향은 파도 방향에 따라 상대 각도 +45도 범위의 5방향, 각각 3번 반복 해석이다. 설계하중은 3 seed 각각의 최댓값을 평균 취하는 것으로 가정했다.

주어진 환경조건을 따라 해석했을 때, Intact 조건의 안전기준이 되는 계류 Tension 8,127 kN (안전계수 1.67)을 초과하는 9,200 kN 수준의 계류 Tension이 발견되었다.

환경조건은 조류가 남서 방향에서, 파도가 남동 방향에서 접근하므로, 계류선의 주 방향을 Fig. 6 (b)와 같이 남쪽으로

조정해 보았다. 이 경우 계류 설계 Tension이 8,300 kN 수준으로 크게 개선되었다.

3.3 횡요 감쇠 계수 영향

설치지역이 10분 평균풍속 50 m/s 수준의 매우 극한 환경 조건을 가짐은 틀림없으나, Topside가 거의 없어 풍하중 면적이 작은 해양구조물이 132 mm R4 chain 15개 계류선으로 위치를 제어하지 못하고, Tension의 안전계수를 만족시키지 못하는 원인을 분석해 보았다.

계류선 주 방향에 상관없이 모든 해석 조건에서 최대 Tension은 바람-파도의 상대 각도가 가장 큰 (45도) 조건에서 발생하였다. 이 경우 FLBT는 Weathervaning 하며, 파도와 상대 각도가 벌어져 횡요 운동이 발생할 확률이 커진다. 이러한 조건에서 낮은 확률로 비정상적인 Tension 증가 현상이 나타났다. 분석 결과 해석상, 횡요가 순간 20~30도까지 발생하는 조건도 있었으며, 그로 인한 Tension이 순간 10,000 kN 이상 발생하기도 했다.

이러한 과도한 Roll이 발생했는지에 따라 Seed 별 결과 편차도 매우 컸으며, 설계 Tension의 증가를 초래했다. 주어진 해역의 Tz가 11초 정도이며, FLBT의 횡요 공진 주기가 11초로서 횡요 및 횡파에 매우 취약하다는 것이 드러났다.

하지만 실제 Turret 계류 중 30도에 가까운 횡요가 나타나는 것은 현실적이지 않은, 너무 과도한 값으로 판단하였다. 일반적으로 매우 적은 감쇠 값을 주는 작은 초기각의 Decay 실험 대신, Soft spring으로 계류된 FLBT가 100년 파, 선수사파에 노출된 모형시험에서 Roll 통계치를 맞추는 것으로 감쇠 값을 조정하였다. 이 감쇠 변화를 Fig. 7에 나타내었다. 여전히 감쇠율이 매우 적은 것을 알 수 있으며, 빌지킬이 없는 초기 설계 및 모형시험 모델이 원인으로 보인다.

횡요 감쇠 계수를 조금 증가시킨 것만으로, Roll 최대 각도는 20도 수준으로 감소하였다. 계류 설계 Tension(여기서는 3-Seed 평균 가정)은 7,700 kN 수준, 안전계수는 1.75를 확보하였다(Fig. 8). 설계 기준이 되는 안전계수 1.67 대비 충분한 마진을 포함한다. 하지만 Fig. 9에서 나타난 것과 같이 여전히 Roll과 Tension의 강한 상관관계를 확인할 수 있다.

라이저나 계류선들이 해양플랜트 좌우 선측에 달린 Spread mooring 타입의 FPSO 대비, 터렛 계류된 해양플랜트에서 Roll 운동이 Tension에 미치는 영향이 작다고 생각하는 경향이 있다. 하지만 본 연구에서 보다시피 터렛 계류된 해양플랜트도 Roll이 Tension에 미치는 영향은 매우 크다.

현재로서는 산업계에서 적용되는 해양구조물의 횡요 감쇠 계수보다 크게 적은 값이 적용되었으므로, 향후 빌지킬 추가 등 설계 진행에 따라 안전계수를 더욱 확보하거나 계류 설계의 다운사이징으로 경제성 확보가 가능할 것으로 보인다.

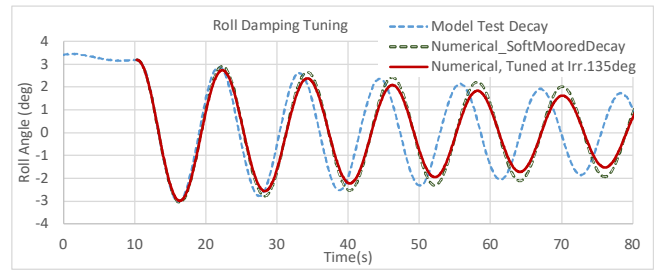


Fig. 7. Roll decay according to damping difference.

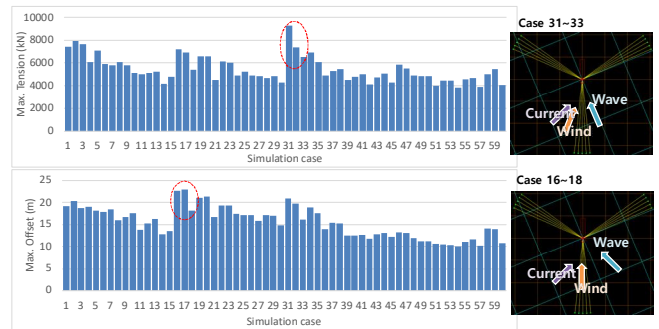


Fig. 8. Maximum tension (top) and offset (bottom) occurred cases.

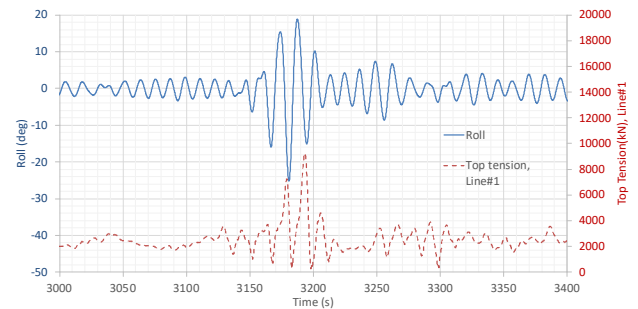


Fig. 9. Roll and tension at the maximum tension case.

가장 나쁜 결과를 보여 준 100년 파도/바람 주요 조건 외, 100년 조류 주요 조건 및 OLF(One line failure) 조건의 해석들도 본 연구에서 수행하였으며, OLF 조건에서는 일반(Intact) 조건 대비 훨씬 큰 안전율을 확보하고 있다(안전계수 1.43, 규정 계수 1.25). 일반적으로 계류선이 Bundle 당 5개 계류선 이상 배치되는 경우 OLF 조건이 설계 병목 조건이 되지 않는다.

4. 결론

본 논문에서는 대상선으로 선정된 FLBT의 초기 계류 설계 사항을 평가하고, 변경된 환경조건과 설계자료(풍/조류 계수 변경)를 반영하여 설계 변경안을 제시하였다. 모형시험

과 수치모델의 비교 후, 모형시험에서 다를 수 없는 조건을 수치해석으로 검토하였으며, FLBT는 설치지역에서 안전한 계류가 가능함을 보여주었다. 아래에 주요 논의점을 정리하였다.

(1) 주 Bundle의 방향을 주 환경 방향으로 배치하는 것만으로 유의미한 설계하중 개선을 가져올 수 있었다.

(2) 최대 계류 Tension 등, 최대 설계하중이 발생하는 조건은 환경 방향이 복잡한 조건에서 나타났다. 본 연구에서는 바람-파도의 상대 각도가 최대인 45도 조건에서 최대치가 발생하였다. 터렛 계류된 해양플랜트의 경우 방향 일치(Collinear) 환경조건은 설계조건이 될 수 없다.

(3) 본 연구에서는 대상 해양플랜트는 횡요 공진 주기와 파도의 주기가 일치하여 횡요에 매우 취약했다. 연구계에서 흔히 사용되는 감쇠 시험에서 도출된 횡요 감쇠는 일반적으로 매우 적은 감쇠 계수를 보여줌으로 계류 시뮬레이션 적용에 적절하지 않다. 계류 설계에는 극한 설계과 중 횡요운동 모형시험에 튜닝된 감쇠 계수를 사용할 것을 권고한다.

후 기

본 논문은 해양수산부 재원으로 선박해양플랜트연구소의 주요사업인 “심해용 복합해양 플랫폼 통합 성능평가 기술개발”에 의해 수행되었습니다(PES4760).

References

- [1] American Petroleum Institute(API)(2005), Design and Analysis of Station keeping Systems for Floating Structures, API Recommend Practice 2SK, Third edition, pp. 1-13.
- [2] Breau Veritas Rule Note NR 493 DT R03 E(2015), Classification of Mooring Systems for Permanent Offshore Units.
- [3] Choi, Y. R., S. Y. Hong, and H. S. Choi(2000), An analysis of second-order wave forces on floating bodies by using a higher-order boundary element method, Ocean Engineering Vol. 13, No. 5, pp. 117-138.
- [4] Hong, J. P., H. W. Jung, Y. H. Kim, S. K. Cho, D. H. Jung, and H. G. Sung(2016), Numerical study on the behavior of Floating LNG Bunkering Terminal and mooring system, Proceeding of The Korean Society of Ocean Engineers, pp. 127-130.
- [5] Hwang, K. S. and Y. S. Kim(2003), Research on the Estimation of the Design Wind Speed and Maximum Wind Speed by the Gust Wind Ratio Based on the Weather Data,

Journal of the wind engineering institute of Korea, Vol. 7, No. 2, pp. 157-166.

- [6] Jung, S. J., S. H. Oh, D. W. Jung, Y. H. Kim, and D. H. Jung(2020), Experimental and Numerical Study of Berthing and Deberthing Assessment for LNG Bunkering Vessels, Journal of Navigation and Port Research, Vol. 44, No. 6, pp. 439-446.
- [7] KIOST(2005), Deep Ocean Design Wave Estimation Report II, Korea Institute of Ocean Science & Technology.
- [8] Lee, J. C. and D. H. Kim(2016), Observations of Bottom Currents in the Korea Strait, Korean journal of fisheries and aquatic sciences, Vol. 49, No. 3, pp. 393-403.
- [9] Oh, S. H., D. W. Jung, Y. H. Kim, H. U. Kwak, J. H. Jung, S. J. Jung, B. W. Park, S. K. Cho, D. H. Jung, H. G. Sung (2020), Numerical Study on Characteristics and Control of Heading Angle of Floating LNG Bunkering Terminal for Improvement of Loading and Off-loading Performance, Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 34, No. 2, pp. 77-88.
- [10] Park, B. W., J. H. Jung, S. C. Hwang, S. K. Cho, D. H. Jung, and H. G. Sung(2017), Wind tunnel test of wind loads and current loads acting on FLBT and LNG bunkering shuttles in side-by-side configuration and comparison with empirical formula, Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 31, No. 4, pp. 266-273.

Received : 2023. 03. 23.

Revised : 2023. 04. 21.

Accepted : 2023. 04. 27.