

제한수역에서 항행선박이 계류 선박에 미치는 영향에 대한 CFD 연구

송성진* · 정재환** · † 정동호

*선박해양플랜트연구소 친환경해양개발연구본부 연수연구원

**선박해양플랜트연구소 친환경해양개발연구본부 선임연구원

† 선박해양플랜트연구소 친환경해양개발연구본부 책임연구원

요약 : 본 연구는 항만 내 LNG 병커링 동시작업 안전성 평가의 일환이다. 본 연구의 목적은 CFD를 활용하여 제한수역에서 항행선박이 계류된 선박에 미치는 영향을 평가하는 것이다. 수치해석은 Star-CCM+를 활용하였으며, 수치 모델 검증을 위해 해석 결과는 공개된 실험 데이터와 비교하였다. 연구 결과로부터 항행선박과 계류선박 간의 상호작용을 평가하는 중요한 정보를 얻을 수 있었으며, 이는 LNG 병커링의 안전성을 평가하는 데 활용될 수 있다. 향후 연구에는 다양한 시나리오에 대한 평가 및 STS(Ship-to-ship) LNG 병커링 동시작업 안전성을 평가하기 위한 연구가 계획되어 있다.

핵심용어 : LNG 병커링, 항행선박, 계류선박, 동시작업, 전산유체역학

1. 서론

국제해사기구(IMO, International Maritime Organization)의 환경규제가 강화되면서, 친환경 에너지인 LNG(액화천연가스)를 선박 연료로 사용하는 LNG 추진선박에 대한 관심이 증가하고 있다. LNG 추진선박을 보다 활성화하기 위해서는 LNG 연료를 공급하는 LNG 병커링을 위한 인프라 구축이 필수적이다. 이 관점에서, 2022년에 선박해양플랜트연구소가 500cmb급 연안선박용 LNG 병커링 전용 선박을 건조한 사례가 있다. 또한, 국내 항만에서 STS LNG 병커링이 안전하고 효율적으로 운용될 수 있도록 동시작업(SIMOPS, Simultaneous operations) 관련 연구가 필요하다.

STS LNG 병커링 동시작업은 항만 내에서 두 선박이 안벽에 나란히 계류될 때 가능하다. 동시작업의 허용 기준을 평가하기 위해서는 해양환경하중을 고려한 STS 계류 안정성 평가가 필요하다. 일반적으로 많은 선박이 항행하는 항만에서는 부득이하게 계류 중인 선박 부근을 항행하게 되며, 이때 항행선박과 계류 선박간의 상호작용이 발생한다. 상호작용의 주요 요인 중 하나는 선박 운항으로 인해 발생하는 항주파이다. 항주파는 선박 항행 속도, 크기, 선박 간 이격거리, 수심 등에 따라 다양한 특성을 나타내며, 안벽에 나란히 계류 중인 두 선박의 작업 안전성에 큰 영향을 미칠 수 있다. 본 연구에서는 CFD를 활용하여 제한수역에서 항행 선박이 계류 선박에 미치는 하중을 평가하였다. 수치 해석을 위해 Star-CCM+를 사용하였으며, 수치 해석 결과는 6th MASHCON(Zwijnsvoorde et al., 2022)에서 제공된 실험 데이터와 비교하였다.

2. 수치해석방법

수치해석에는 URANS 기반 SST k- ω 난류모델을 사용하였으

며, 하이브리드 접근법인 All y+ wall treatment를 사용하였다. 비압축성 유체의 지배방정식은 유한체적법으로 이산화 되었으며, 시간과 공간항에 대해 각각 1차, 2차 정도의 이산화 기법을 적용하였다. 속도와 압력 연성을 위해 SIMPLE 방법을 사용하였다. 항행선박의 움직임을 모사하기 위해 overset-grid 기법을 적용하였다. 항행선박의 x방향 운동은 제외하고, 항행선박과 계류선박의 운동은 모두 구속되었다. 따라서, 항행선박은 시간이 지남에 따라 +x 방향으로의 운동만 허용하였다 (Kwon and Yeon, 2023). 자유수면은 HRIC을 통한 VOF법을 사용하였다. 격자 생성에는 분할 격자(trimmed mesh)기법을 적용하여 약 350만개의 격자를 생성하였다. 시간 간격은 0.05sec로 설정하였으며, 이 값은 항행선박 속도에 대한 항행선박 길이의 비(L/V)의 0.8%에 해당한다.

3. 수치시물레이션

벤치마크 테스트를 위해 6th MASHCON(Zwijnsvoorde et al., 2022)에서 제공한 실험 데이터와 비교하였다. 수치해석은 모형 실험과 동일한 1/80의 상사비로 수행하였다. 테스트 ID는 모형 실험의 C0406S01_CI3900에 해당하며, 항행선박은 KCS, 계류선박은 Neo-Panamax로 고려하였다. Table 1은 사용된 선박 재원을 나타낸다. 계산 영역과 경계조건은 Fig. 1에 나타낸다.

Table 1 Model ship particulars

	Unit	Passing	Moored
Ship	-	KCS	Neo-Panamax
ID	-	C04	C0P
Lpp	m	4.367	4.350
Breadth (B)	m	0.611	0.610
Draught (T)	m	0.190	0.188

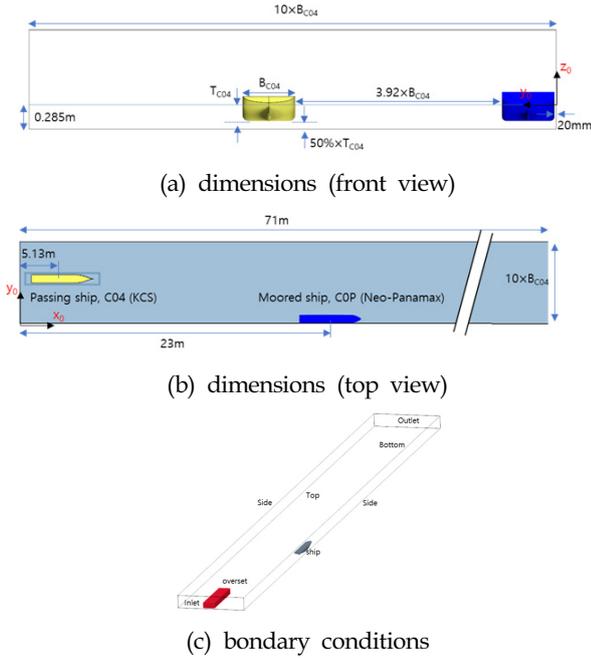


Fig. 1 Schematic of a benchmark test

Fig. 2는 계류선박(COP)에 작용하는 유체력을 항행선박 중심과 계류선박 중심간의 상대 위치($\xi = x_p / (\frac{L_p + L_m}{2})$)로 표시하였다. 여기서, x_p 는 항행선박의 x 좌표, L_p 와 L_m 는 각각 항행선박과 계류선박의 길이를 나타낸다. Fig. 2에서 X, Y와 N은 각각 surge, sway, yaw 방향 힘과 모멘트를 의미한다. 항행선박의 움직임에 따른 계류선박에 작용하는 힘에 대한 CFD 해석 결과는 모형 실험결과와 일반적으로 잘 일치하는 것으로 나타난다. Sway 및 yaw 방향에 대한 결과 차이는 시간간격에 대해 개선 가능성을 시사하며, 자유수면 및 계류선박의 격자 수준에 대한 추가적인 검토가 필요하다.

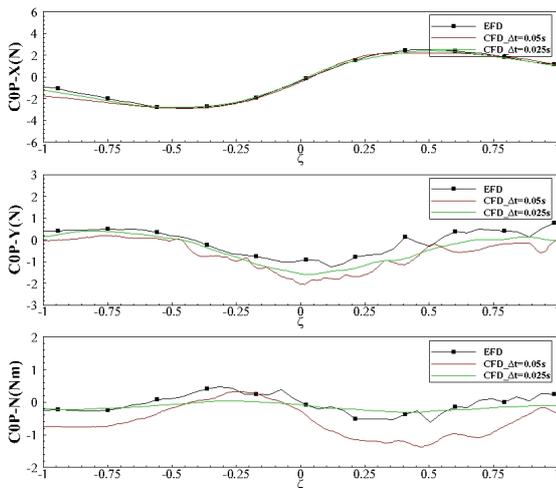


Fig. 2 Comparison of EFD and CFD for forces and moments acting on the moored ship (COP)

4. 결 론

본 연구에서는 제한수역에서 항행선박이 계류된 선박에 미치는 영향을 평가하기 위해 CFD 해석을 수행하였다. 항행선박의 이동은 overset-grid 기법을 활용하여 모델링하였다. 수치해석 결과는 6th MASHCON(Zwijnsvoorde et al., 2022)에서 제공된 실험 데이터와 비교하였으며, 이 비교를 통해 계류 선박에 작용하던 surge, sway 그리고 yaw 방향의 힘과 모멘트가 실험결과와 일반적으로 잘 일치함을 확인하였다. 검증된 해석 결과를 토대로, 제한수역에서 항행선박의 영향을 평가하는 연구가 계획 중이며, 선박의 항행속도, 크기, 선박간 이격거리, 수심 등에 따른 다양한 시나리오에 대한 연구가 향후 진행될 예정이다.

사 사

본 논문은 2023년도 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2023-00255929, LNG빙커링 동시작업 기술 개발).

참 고 문 헌

- [1] Zwijnsvoorde, T. V., Delefortrie, G. and Lataire, E.(2022), "Passing ship effects in shallow and confined water: open model test data for validation purposes", In Proceedings of the 6th MASHCON International Conference on Ship Manoeuvring in Shallow and Confined Water, Glasgow, UK, pp. 22-26.
- [2] Kwon, C. S. and Yeon, S. M.(2023), "CFD study to predict the effect of a passing ship on moored ships in a confined waterway", International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, Vol 15, pp. 100527.