

# 반잠수식 (B1) 모바일 하버와 컨테이너선 간의 도킹 운동 분석 시 수조 실험을 통한 시뮬레이션 발달

한현학\*, 한순홍\*\*,

## Development simulation results through 3D tank experiment on analysis of docking motion between B1 type mobile harbor and container ship

Hyunhak Han, Soonhung Han

---

### Abstract

---

The volume of the world's container transportation has been increasing. To serve this transportation need, the size of the container carrier is getting larger. The global ports are required to deepen the waterways as well as to prepare infrastructure to serve these super-size container carriers. However, few ports around the world could meet the requirements. To solve these difficulties, the concept of the Mobile Harbor has been developed.

The semi-submersible (B1) type mobile harbor is still in the conceptual design stage. We need to predict the motion of the B1 type mobile harbor in the sea. WAMIT is one of the popular simulation programs for ship motion predictions. WAMIT can analyze wave interactions with offshore platforms and other structures of vessels. But, WAMIT has a simple method for calculating viscous damping.

For evaluating the motion of B1 type mobile harbor together with a container ship, we need to have the damping coefficient. The free decay test is one of methods of getting damping coefficient. We can use the damping coefficient from a free decay test as the input to WAMIT simulation. To verify whether the simulation output is correct, the WAMIT output data has been compared with the 3D tank experiment data.

---

**Key Words** : Damping coefficient, Docking motion analysis, Free decay test, Ship to ship interaction, WAMIT

---

\* 한국과학기술원 공과대학 해양시스템공학과 연구원, [chargestar@kaist.ac.kr](mailto:chargestar@kaist.ac.kr)

\*\* 한국과학기술원 공과대학 해양시스템공학과 교수, 대표집필, [shhan@kaist.ac.kr](mailto:shhan@kaist.ac.kr)

### 1. 서론

전 세계적으로 컨테이너 물동량은 연 평균 9.2% 증가되어 왔다. 이에 따라 컨테이너선의 크기도 증가되고 있다. 기존의 5,000 TEU 급 컨테이너선을 취급할 수 있던 파나마 운하는 확장 공사가 2014년에 마무리 되면 13,000 TEU 급 컨테이너선을 취급할 수 있을 것으로 예상된다.[1]

컨테이너선의 대형화는 기존의 항만에 변화를 요구하고 있다. 세계 주요 항만에서 대형 선박의 접안을 위한 계류시설 및 하역시설의 설비가 필요해진 것이다.[2] 항만에서 수심확보를 위해 준설 공사에 막대한 양의 설비와 예산을 투자하고 있는 상황이지만 준설 공사는 일시적으로 문제를 해결할 뿐 근본적인 해결책이 될 수 없다.[3] 따라서 새로운 항구의 개발에 따른 비용과 환경 파괴를 피할 수 있는 인근 바다에서 직접 컨테이너를 양/적하 할 수 있는 개념인 모바일 하버(이동식 항구)가 제안되었다.[2]

본 연구에서 대상이 되는 반잠수식 모바일 하버는 새로운 개념의 접안 방식을 가지고 있다. 그림 1-1에 나타난 반잠수식 모바일 하버는 컨테이너선이 접안하는 방식이 일반적인 병렬계류와 달리 반잠수식 계류 방식을 가지고 있다. 위 접안 방식은 컨테이너선이 반잠수식 모바일 하버 내에 진입하여 측면 완충부를 통해 일차 접안을 하고 하부 완충부를 통해 이차 접안을 하는 방식이다. 하부 완충부를 이용한 이차 접안은 모바일 하버가 발라스트를 통해 수면 위로 올라오면서 컨테이너선

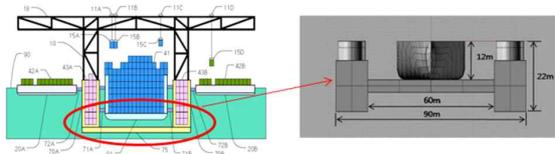


그림 1-1. 반잠수식 모바일 하버와 하부 완충부 개념도

하부와 맞닿으며 발생한다.

이 새로운 접안 방식에 의해 설계된 반잠수식 모바일 하버는 해상에서 컨테이너 상/하역을 하기 때문에 두 선박의 움직임이 작아야 한다. 그러나 반잠수식 모바일 하버는 해상에서 운용되기 때문에 파도에 의한 선박의 움직임과 바람에 의한 크레인의 흔들림, 이들의 영향으로 컨테이너 상/하역 시 많은 문제점을 가지게 된다.[4] 이번 연구에서는 위 두 가지 문제점 중 파도에 의한 선박의 움직임에 대해 알아보려고 한다. 아직 개념설계 단계에 있는 반잠수식 모바일 하버는 시물레이션을 통한 검증이 필요하다. 이번 검증은 1/180로 축소 한 모델에 대해서 실행하고자 한다.

### 2. 관련 연구 동향

본 연구는 항만의 기능을 대체하는 반잠수식 모바일 하버와 컨테이너선의 접안 이후의 6 자유도 운동을 계측하는 것이 목적이다. 유사 연구로는 크게 FPSO선과 셔틀 탱커(shuttle tanker) 간 계류 상태에서의 6 자유도 운동 연구, A타입 모바일 하버의 6 자유도 운동 연구, 반잠수식 모바일 하버와 컨테이너선 간 접안에 관련된 연구가 있다.

Y.R.Choi[6]는 다부유물체 간의 유체역학적 상호작용(hydro-dynamic interaction)을 HO-BEM을 이용해 분석하였다.

Xin Li[7]는 다물체가 아닌 FPSO 한 대의 움직임을 천수에서 분석하였다. 이론적인 분석 방법으로는 linear diffraction과 복사이론(radiation theory)를 이용하였고 1/70으로 축소 제작한 모형을 이용해 실험적인 분석을 하여 두 결과를 비교하였다.

S.Y.Hong[8]은 병렬 계류된(side-by-side) L-NG FPSO와 LNGC, 셔틀탱커 간의 6 자유도

운동을 해석하였다. 이론적인 방법으로는 HOBEM을 이용하였고 1/80으로 축소 제작한 모형을 통해 실험을 하여 두 결과를 비교하였다.

Bas Buchner[9]는 병렬 계류된 FPSO와 셔틀 탱커 간의 시뮬레이션을 실행하였다.

난춘화[11]는 SESAM을 이용하여 A1-250 모바일 하버와 5,000TEU 컨테이너선 간 병렬 계류 상태에서의 6 자유도 운동을 분석하였고 Lee[12]는 반잠수식 모바일 하버와 13,000 TEU 컨테이너선 간 계류 상태에서의 6 자유도 운동을 WAMIT을 이용하여 분석하였다.

### 3. 연구 방법

그림 3-1와 표 3-1은 실험과 시뮬레이션에 사용된 두 선박의 이미지와 크기를 보여주고 있다.

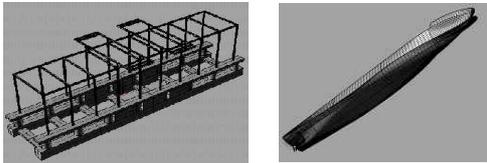


그림 3-1. 반잠수식 모바일 하버와 컨테이너선 삼차원 모델

	반잠수식 모바일 하버	컨테이너선
LOA	2.217m	2.08m
Breadth	0.333m	0.2467m
Depth	0.711m	0.1502m
Draft	0.167m	0.082m

표 3-1. 반잠수식 모바일 하버와 컨테이너선의 크기

이번 연구에서 사용하는 시뮬레이션 툴은 WAMIT이다. WAMIT은 파가 있는 상황에서 두 선박의 유체역학적 상호작용에 기인한 6 자유도 운동데이터를 취득할 수 있는 툴이다. 그러나 WAMIT은 점성 감쇠 계수(viscous damping coefficient)를 구하는 데 간단한 식

을 사용하고 있다. 따라서 보다 정확한 시뮬레이션 결과를 얻기 위해 더 정확한 감쇠 계수 값을 얻어 입력해 줄 필요가 있다.

이번 연구에서는 반잠수식 모바일 하버와 컨테이너선 간의 접안 중 roll 운동과 pitch 운동을 분석하고자 한다. 운동 계측 시 생성 파도는 WMO sea-state 4에 해당하는 유의 파고(significant wave height)값을 이용한 규칙파(regular wave)이다. 운동 계측 시 두 선박의 상태는 모바일 하버의 하부 완충부와 컨테이너선이 접촉한 이후 모바일 하버가 컨테이너선을 들어올려 컨테이너선이 흡수선보다 1.7mm 올려진 상태이다. 이 상태의 두 선박은 크게 다른 움직임을 보이지 않게 된다. 따라서 이 상태의 두 선박을 이하 일체형 선박이라 표현하겠다. 일체형 선박의 운동 계측은 세 가지 방법을 이용하여 각 결과를 비교하고자 한다. 첫째는 WAMIT만을 이용한 운동 계측(이하 방법 1이라 한다), 둘째는 자유 감쇠 시험(free decay test)을 이용해 구한 감쇠 계수 값을 입력하여 WAMIT을 이용한 운동 계측(이하 방법 2라 한다), 셋째는 카이스트 삼차원 수조에서의 실험을 통한 운동 계측(이하 방법 3이라 한다)이다.

표 3-2는 운동 계측 시 선박의 상태 및 환경을 나타낸 표이다.

두 선박의 위치 관계	모바일 하버의 하부 펜더와 컨테이너선이 맞닿은 후 1.7mm 더 올라가 있는 상태 (모바일 하버의 de-ballasting을 통해)
생성 파	해상상태 4 (WMO sea-state 4) 파고: 1.038cm, 규칙파, 주파수: 10.89rad/s, 파 방향 : 0도
물 깊이 (water depth)	무한대로 가정, 실험 시 물 깊이/파장 > 1/2
측면 펜더	두 선박의 측면부의 1/4 가량이 측면 펜더로 인해 맞닿아 있음.

표 3-2. 운동 계측 시 두 선박의 상태

이번 연구에서는 위와 같은 환경에서 WA-MIT을 이용하여 부가 질량, 복원 계수, 감쇠 계수, 가진력 값을 얻어 일체형 선박의 roll 운동과 pitch 운동 그래프를 얻게 된다.

#### 4. 연구 결과

위 세 가지 방법에 따른 roll 운동과 pitch 운동의 그래프는 그림 4-1 ~ 4-6과 같다.

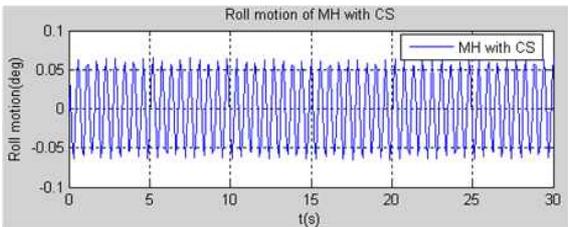


그림 4-1. 방법 1의 roll 운동 그래프

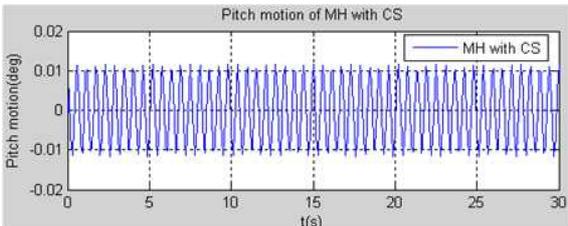


그림 4-2. 방법 1의 pitch 운동 그래프

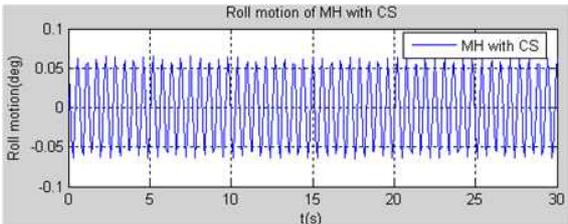


그림 4-3. 방법 2의 roll 운동 그래프

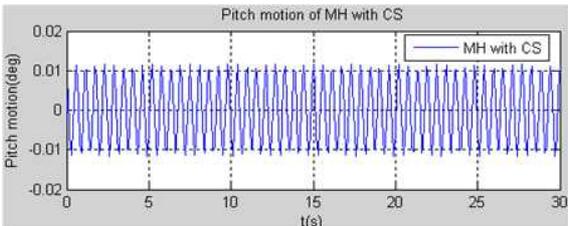


그림 4-4. 방법 2의 pitch 운동 그래프

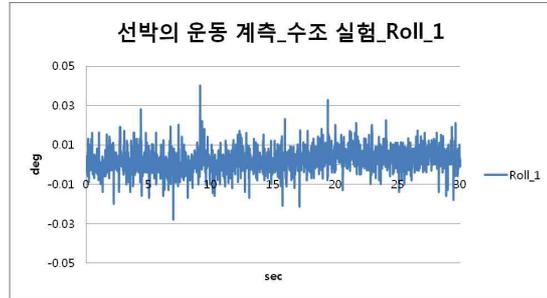


그림 4-5. 방법 3의 roll 운동 그래프



그림 4-6. 방법 3의 pitch 운동 그래프

그래프를 통해 일체형 선박의 최대 최소 roll 운동과 pitch 운동 값을 정리한 표는 표 4-1과 같다.

	방법 1		방법 2		방법 3	
	Roll 운동	Pitch 운동	Roll 운동	Pitch 운동	Roll 운동	Pitch 운동
감쇠 계수값	0.029	0.129	0.165	0.362	0.165	0.362
최대 각도	0.0648	0.0116	0.0648	0.0116	0.0240	0.0047
최소 각도	-0.06	-0.01	-0.06	-0.01	-0.02	-0.00
	484	164	480	163	40	46

표 4-1. 시물레이션 결과와 실험 결과 비교표

표 4-1을 통해 3가지 방법에 따른 결과 값이 차이가 있음을 알 수 있다. roll 운동의 경우 0.04deg 정도의 차이를 보이고 pitch 운동의 경우 0.007deg 정도의 차이를 보이고 있다. 이는 길이가 2m인 일체형 선박의 선수와 선미

의 끝 부분의 heave 운동이 1.2mm 정도 차이를 보일 정도로 매우 작은 차이임을 알 수 있다.

## 5. 결론

전 세계의 물동량 증가로 컨테이너선은 대형화 되고 있다. 컨테이너선의 대형화는 세계의 주요 항만들의 접안 수심 확보가 필요하게 하였다. 이를 위해 새로운 항만을 건설하거나 기존 항만의 안벽 수심 확보를 위한 준설 작업 등에 많은 비용과 시간이 필요하다. 이에 대한 해결책으로 해상에서 직접 컨테이너선과 접안하여 컨테이너를 처리할 수 있는 신개념 하역 시스템인 모바일 하버의 연구가 시작되었다.

다양한 모바일 하버의 종류 중에서 반잠수식 모바일 하버는 양현 하역이 가능한 B 타입의 모바일 하버로써 항만 인프라가 구축되지 않은 지역의 대규모 물동량을 처리할 수 있다. 그러나 반잠수식 모바일 하버는 아직 설계 단계에 있어 시뮬레이션이나 실험을 통해 해상에서의 운용이 가능한지 여부를 파악할 필요가 있다. 이를 위해 WAMIT을 이용한 시뮬레이션과 자유 감쇠 시험, 삼차원 수조 실험을 이용하였다.

WAMIT을 이용해 구한 감쇠 계수 값과 자유 감쇠 시험을 이용해 구한 감쇠 계수는 0.1deg, 0.2deg로 큰 차이를 보이지 않았다.

첫째, roll 운동의 경우는 파의 방향 때문이다. 파의 방향이 0도(head sea)였기 때문에 roll 운동에 파가 큰 영향을 끼치지 않기 때문이다.

둘째, pitch 운동의 경우 모멘트 값과 복원 계수 값의 영향력이 감쇠 계수의 영향력에 비해 매우 큰 것을 이유로 들 수 있다. 다음으로

이번 실험의 경우 파의 주파수가 10.89rad/s였는데 자유 감쇠 시험을 통해 알 수 있는 일체형 선박의 고유진동수는 pitch의 경우 5rad/s였다. 따라서 감쇠 계수의 영향을 크게 받지 않았다.

셋째, 시뮬레이션 결과와 삼차원 수조 실험 결과는 큰 차이를 보였다. 이번 실험과 시뮬레이션의 경우 1/180로 축소된 선박에 대해 진행하였고 생성한 파고는 1.089cm로 작은 변화에도 큰 영향을 끼칠 수 있는 상황이었다. 이 때문에 실험 결과와 시뮬레이션 결과가 큰 차이를 보이는 것으로 판단된다.

아직 실제 반잠수식 모바일 하버에 대한 결과라고 보기에는 부족한 점이 많지만 최대 roll 운동 각도는 0.06deg이고 최대 pitch 운동 각도는 0.12deg로 나타났고 컨테이너선과 반잠수식 모바일 하버는 일체형 운동을 보였다. 따라서 실제 반잠수식 모바일 하버가 바다에서 운용될 수 있음을 간접적으로 알 수 있었다.

본 논문은 다음과 같은 기여도를 갖는다.

- 반잠수식 모바일 하버의 경우 운용 해상상태에서 감쇠 계수의 영향을 크게 받지 않는다는 것을 축소 모델 실험을 통해 밝혔다.
- 반잠수식 모바일 하버의 경우 WAMIT을 이용한 시뮬레이션 시 자유 감쇠 시험을 통해 감쇠 계수를 다시 구하는 것이 의미가 있음을 밝혔다.
- 설계 단계에서만 아니라 향후 모바일 하버가 제작되고 운용될 때 해상상태 4에 해당하는 지역에서는 운용에 문제가 없음을 간접적으로 밝혔다.

본 논문의 한계점으로는 M&S(Modeling and Simulation)의 적용 대상이 되는 반잠수식 모바일 하버가 과거 진행되었던 프로젝트 등의

문제점 분석을 통한 연구는 많이 진행되고 있지만, 실현 가능성에 대한 깊은 연구가 수행되지 않았다는 점이다. 따라서 향후 과제으로써 실제 400m에 달하는 선박의 운동에 대한 보다 구체적인 검증 연구가 필요하다.

### 사사

본 연구는 한국연구재단을 통한 교육과학기술부의 세계수준의 연구중심대학 육성사업(WCU) (R31-2008-000-10045-0)의 지원을 받아 작성 되었습니다.

### 참고문헌

- [1] 김대환, 한순홍, 정현(2010). “반잠수식(B1) 모바일 하버에 도입될 자동창고 시스템의 크기 결정을 위한 시물레이션” 춘계학술대회 논문집, 대한조선학회, pp.1-9.
- [2] KAIST(2009), “컨테이너 처리량을 획기적으로 증대하는 떠다니는 항구“, 연구보고서, 한국과학기술원, pp.18-24.
- [3] KAIST(2010), “모바일 하버 원천기술 개발사업 2009년도 성과보고서“, 연구보고서, 한국과학기술원, pp.170-596.
- [4] 이주희, 윤성진, 정현, 이필승(2010), “공리설계를 이용한 반잠수식 모바일 하버의 개념설계”, 한국 CAD/CAM 학회 논문집, CAD/CAM 학회, pp.4-11.
- [5] Wamit, Inc.(2011). “The state of the art in wave interaction analysis - Technical description”, <http://wamit.com>, 2011, pp.1.
- [6] Y.R.Choi, S.Y.Hong(2002), “An Analysis of Hydrodynamic Interaction of Floating Multi-Body Using Higher-Order Boundary Element Method”, International Offshore and Polar Engineering Conference, 2002. 5.

pp.303-308.

- [7] Xin Li, Jianmin Yang, Longfei Xiao(2003), “Motion Analysis on a Large FPSO in Shallow Water”, International Offshore and Polar Engineering Conference, 2003. 5. pp.235-239.
- [8] S.Y.Hong, J.H.Kim, S.K.Cho, Y.R.Choi, Y.S.Kim(2005), “Numerical and experimental study on hydrodynamic interaction of side-by-side moored multiple vessels”, Ocean Engineering, 2005. pp.783-801.
- [9] Bas Buchner, Adri van Dijk, Jaap de Wilde(2001). “Numerical Multiple-Body Simulations of Side-by-Side Mooring to an FPSO”, International Offshore and Polar Engineering Conference, 2001.6. pp.343-353.