

다물체 연성효과를 고려한 부유체의 동적거동 안전성 해석

김영복^{†*}, 김무현^{**}, 김용욱^{***}

경남대학교^{*}, Texas A&M^{**}, 대학교KAIST^{***}

Dynamic Analysis of Floating Bodies Considering Multi-body Interaction Effect

Young-Bok Kim^{†*}, Moo-hyun Kim^{**} and Yong Yook Kim^{***}

Naval Architecture, Ocean & IT Engineering Dept. of Kyungnam University^{*}
Ocean Engineering Division of Civil Engineering Dept. of Texas A&M University^{**}
Ocean System Engineering Dept. of KAIST^{***}

Abstract

Recently, there are several problems in space, contiguity and facility of the existing harbors issued due to the trend of enlarging the container capacity of the large container vessel, the Mobile Harbor has been proposed conceptually as an effective solution for those problems. This concept is a kind of transfer loader of the containers from the large container ship, which is a floating barge with a catamaran type in the underwater part, and so prompt maneuverability and work effectiveness. For the safe mooring of two floating bodies, a container and the mobile harbor, in the near sea apart from the quay, a robot arm mooring facility specially devised would be designed and verified through comparison study under various environmental sea condition in the inner and outer harbor. DP system (Dynamic Positioning System) using the azimuth thruster and a pneumatic fender, etc. will be considered as a next research topic for the mooring security of multi-body floaters.

※Keywords: Multi-body interaction effect(다물체 연성효과), Dynamic stability(동적 안정성), DP system(동적 위치고정장치), Side-by-side mooring(병렬계류), Fender force(휨더힘), SPM, Single point mooring(일점계류)

1. 서론

최근의 컨테이너선의 대형화 추세로 인해 기존 부두에서의 컨테이너 양하역 작업에 지장을 받고 있는데, 이를 효과적으로 해결하기 위한 방안으로 모바일하버가 제안되었다. 이 개념은 부두에서 얼마간 떨어진 거리에 컨테이너선을 정박하고, 부두에서부터는 이보다 기동성이 우수한 모바일하버(일종의 중간 운반선)가 접근하여 컨테이너의 양하역을 해상에서 실시하여, 기존의 부두에서의 하역공간 부족해소는 물론 대형화되어 가는 컨테이너선의 접안시설 부족분을 해소하기 위해 개발되었다. 해상에서의 양하역을 위해서는 컨테이너선에 모바일하버의 접안을 위한 특수한 계류장비와 컨테이너 양하역 작업시 안전을 보장하기 위한 운동보완장치가 필요하며, 특히 이를 고려한 두 부유체간의 동적거동 안전성 확보가 필요하다.

본 논문에서는 두 부유체가 해상에서 계류했을 때 컨테이너 양하역 작업중에 야기될 수 있는 상호 다물체 연성효과를 고려한 동적 거동 해석을 수행하였으며, 특수하게 고안된 계류장치, 즉 로봇 암을 이용한 계류장치와 힌더(fender)를 설계하고, 작업시 각각의 계류 시스템에 작용하는 동적계류력을 여러 해상조건에 따라 계산하여, 안전성을 보장할 수 있는 정도를 계산하였다. 이를 바탕으로 컨테이너선의 해상 계류시 모바일하버가 병렬(side-by-side) 계류방식으로 계류할 수 있는 조건과 계류장치를 설계하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 본다.

2. 주요 설계 데이터

2.1 대상선박의 기본 제원

본 연구에서 대상으로 하는 선박은 5,000TEU 컨테이너선과 쌍동선 선형(catamaran type)의 모바일하버(부유식 컨테이너 운반선)로 하였다. 모바일하버의 경우는 여러 선형의 컨테이너 적재량, 복원성능, 운동성능, 조종성능과 구조안전성 등 여러 가지 특징을 비교하여 선형을 결정하였다. 컨테이너선과 모바일하버의 개략도는 Fig. 1-2와 같고, 주요 제원은 Table 1과 같다.

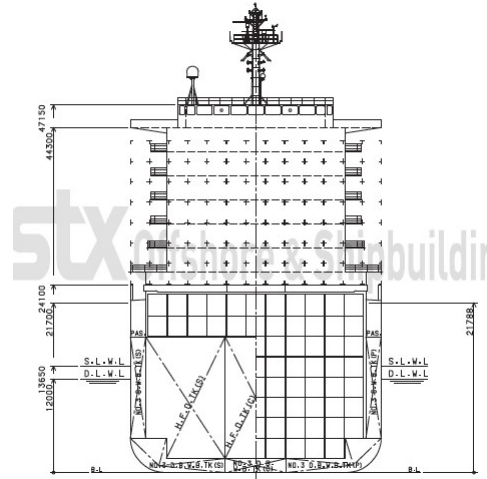


Fig. 1 Forward view of a container ship

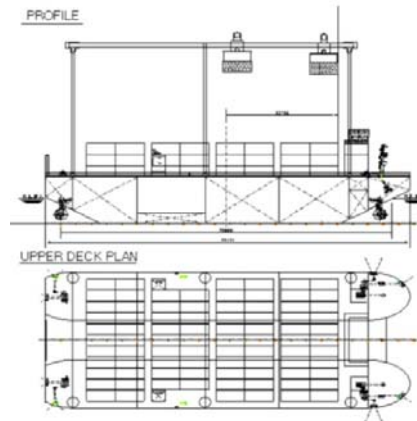


Fig. 2 Forward view of the Mobile Harbor

Table 1 Particular Data of a container ship and the Mobile Harbor

item	Container Ship (5,000 TEU)	Mobile Harbor (Catamaran)
Displacement (Ton)	75,797	7,469.3
LOA (m)	294.1	76.75
LBP (m)	283.0	70.0
Breadth(mid) (m)	32.2	33.0
Depth(mid) (m)	22.1	11.0
Drafft(design) (m)	12	5.3
Cb	0.6763	0.5976
KG (m)	14.151	14.471
LCB (m)	-4.294	0.402
Radius of gyration	Kxx	12.88
	Kyy	67.92
	Kzz	67.92

Table 1은 설계초기단계에서의 자료이며, 관성 반경은 간략식으로 $K_{xx} = 0.4B$, $K_{yy} = K_{zz} = 0.24LBP$ (Bhattacharyya 1978) 를 사용하였다.

2.2 환경외력

모바일하버의 작업조건은 외항에 정박 중인 컨테이너선으로부터 컨테이너를 양하역 할 때의 환경외력을 해상상태(sea state) 3으로 설정하였다. 이 조건은 다음 Table 2 에 보인 것과 같다.

Table 2 Environmental conditions depending on the sea state

Sea State Number	Significant Wave Height(m)		Modal Wave Period(sec)		Sustained Wind Speed(knots)	
	Range	Mean	Range	Most Probable	Range	Mean
0-1	0-0.1	0.05	-	-	0-6	3
2	0.1-0.5	0.3	5.1-14.9	6.3	7-10	8.5
3	0.5-1.25	0.88	5.3-16.1	7.5	11-16	13.5
4	1.25-2.5	1.88	6.1-17.2	8.8	17-21	19

해상상태 3에서 주어진 자료를 보면, 파도의 유의파고는 최대 1.25m이고, 피크 주기는 7.5 sec 인 것으로 나타나 있고, 연속적으로 부는 바람의 속도는 최대 16 knots, 즉 약 7.15 m/s 로 주어져 있다. 참고문헌 (Kwak et. al. 2005)에서 보면 장파(swell) 조건도 고려해야 하나, 이에 대한 고려는 추후 연구로 미룬다. 본 연구에서는 파의 피크주기 7.5 sec와 유의파고 1.25m 일때 파도의 스펙트럼으로 수정된 Pierson-Moskowitz 스펙트럼(spectrum)을 사용하였으며, 그 형상은 Fig. 3 과 같다.

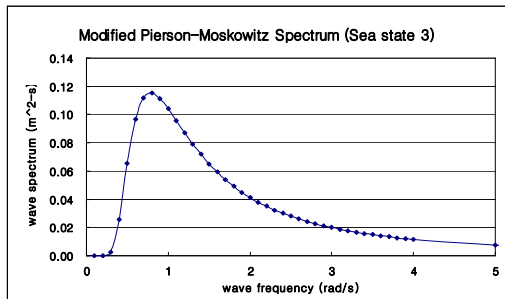


Fig. 3 Pierson-Moskowitz spectrum

수정된 Pierson-Moskowitz 스펙트럼 식은 다음과 같다.

$$S_{\eta}(\omega) = \frac{A'}{\omega^2} e^{-B/\omega^2} \quad (1)$$

여기서, $A' = \frac{488H^2}{T_m^4}$, $B = \frac{1948}{T_m^4}$ 이다.

바람에 의한 풍력(wind force)는 7.15 m/s를 순간지속풍속(sustained wind speed)로 하여 API code(API RP 2T 1997)의 풍력 스펙트럼(wind spectrum)을 이용하여 시간역에서의 풍력(F_w)을 계산하였다.

$$F_w = \frac{1}{2} C_{Dair} A_p V^2 \quad (2)$$

조류에 의한 항력(Drag force, F_c)은 컨테이너선의 정박 대상해역인 인천 앞 바다를 고려하였으며, 조류 속도는 최대 0.5m/s로 하고 해수면에서 해저바닥까지 일정한 것으로 가정하였다.

$$F_c = \frac{1}{2} C_{Dsw} L_{bp} T V_c^2 \quad (3)$$

컨테이너선이 일점계류(SPM, Single Point Mooring)하고 있다고 가정하여, 파도, 바람과 조류의 방향은 일치하는 것으로 보았다. 이들 조합된 환경외력의 방향을 두 개의 사파(quarterming sea)와 선수파(head sea) 조건, 즉 135도, 180도, 225도에 대해 고려하였다. Fig. 4에서는 환경외력의 작용방향을 보여주고 있다.



Fig. 4 Directions of combined environmental forces

2.3 계류 조건

두 부유체 선박간의 계류는 병렬계류로 하며, 간격은 2m로 한다. 컨테이너선의 계류조건은 선수선미에 2개씩 계류라인(mooring line)이 설치된다. 모바일하버에는 선수, 선미 및 중앙에 각각 한 라인씩 계류라인이 설치된다. 이후에는 모바일하버의 계류라인은 동적 위치고정장치(DP system)로 대체될 것이다. 컨테이너선과 모바일하버 사이에는 로봇암(robot arm) 두 라인이 선수선미에 설치된다.



Fig. 5 Mooring line arrangement of two vessels

이 로봇암은 모바일하버에 계류라인이 설치되지 않는 실제 상황에서는 인장력과 압축력이 걸리겠지만 그리 크지는 않고 위치 고정 역할을 주로 담당하는 계류보조 도구로써, 컨테이너 선박의 외판 벽면에 붙어서 모바일하버가 컨테이너선으로부터 떨어져 이탈하여 멀어지려는 것을 방지하는 역할을 한다. Fig. 5에서는 두 선박의 계류라인 배치 및 두 선박 배치 상태를 보여준다. 이 중 라인 # 5~7은 두 선박이 접근하여 웬더(fender)에 접촉하는 경우, 그 반력에 의한 힘을 발생시키도록 차후 웬더로 대체될 예정이다. Table 3에는 계류라인의 특성치를 보여 준다.

Table 3 Mooring line properties installed on two vessels

Items		Stiffness (EA)	dry weight	wet weight	CI	CD
		N	kg/m	kg/m	N/m	N/m
Container ship		2.70E+08	567.75	738	221	380
Mobile Harbor	Mooring lines	2.70E+06	567.75	738	221	380
	robot arm	1.00E+04	20	0	0	0

다만, 여기 보인 계류라인의 특성치들은 상세설계가 좀 더 진행되면 적합성을 판별하여 변경될 여지가 있다.

3. 해석 결과

3.1 운동응답 계산 결과

컨테이너선과 모바일하버가 단독으로 정박 중일 때와 병렬계류하고 있어 다물체의 연성효과와 영향을 받을 경우 등 두 가지 경우에 대해 무한수심과 유한수심에서의 운동 RAO(Response Amplitude Operator) 계산을 수행하였다. 해당해역의 해저까지의 수심은 25m인데, 여기서는 비교의 목적으로 무한수심의 결과와 비교하였다. Fig. 6은 무한수심에서의 단독선일 경우와 다물체 계류된 경우의 운동 RAO를 비교한 것이고, Fig. 7은 유한수심의 경우이다.

무한수심과 유한수심에서의 운동성능을 비교해 보면 무한수심의 경우에 비해 유한수심의 경우에 다물체의 영향이 6-DOF 운동에 대해서 조금씩 크지 않다는 것을 알 수가 있다. 또한, 병렬계류된 두 선박 중 배수량이 큰 컨테이너선(10배 이상)에서는 다물체의 효과가 거의 없으며, 상대적으로 작은 모바일하버에서는 다물체 연성효과에 크게 나타나고 있다. 수평운동(sway), 상하운동(heave), 횡동요운동(roll), 종동요운동(pitch)의 경우 0.6~0.8 rad/s 사이에서 공진점이 형성되는 것을 볼 수 있으며, 계류라인과 배치설계에 참고로 해야 할 결과이다.

3.2 다물체 계류해석 결과

계류해석은 WAMIT(Lee 2006)을 이용하여 무한수심 하에서 다물체 영향을 고려한 유체력을 파도의 방향과 두 부유체의 상대적인 위치를 고려하여 5°씩 차이가 날 때 마다, 또 주파수대역은 파도가 충분히 발생할 수 있는 영역을 0.15 rad/s(=41.9 sec)로부터 1.2rad/s(=5.2sec)로 보고, 이 대역의 주파수를 100 등분하여 사용하였으며, 양 끝단 주파수 성분은 외삽법에 의해 서서히 0의 값으로 수렴하도록 유체력을 고려하였다. 이렇게 계산된

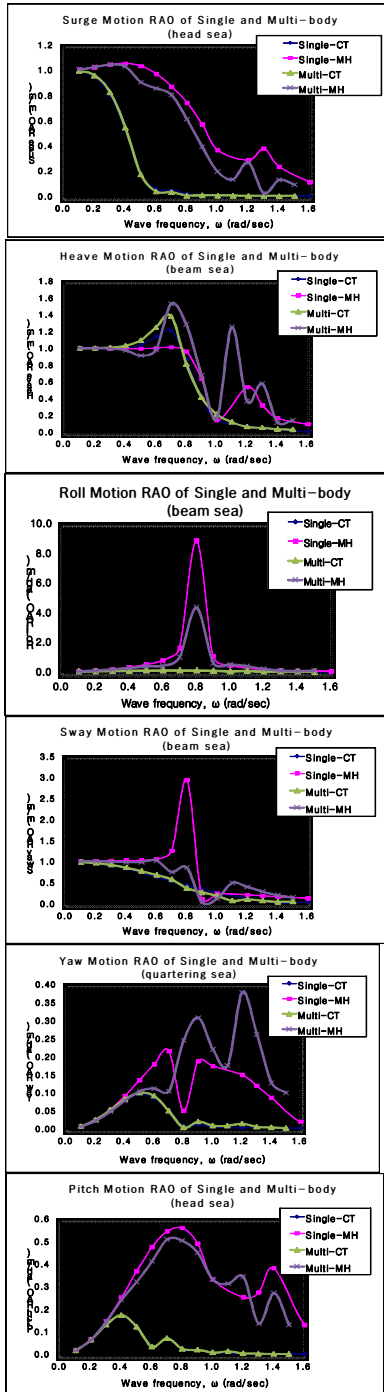


Fig. 6 Comparison of motion RAOs in the infinite water depth

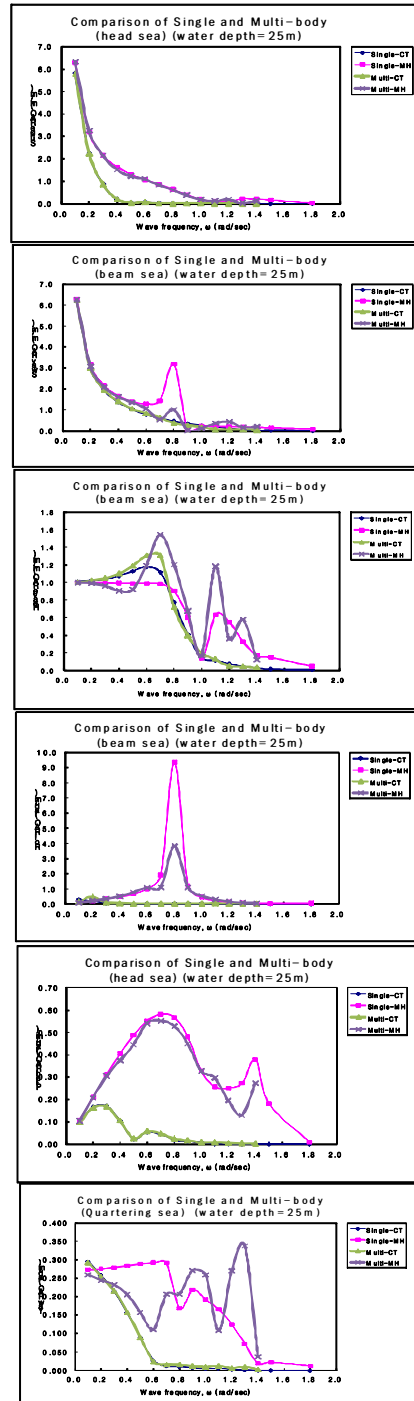


Fig. 7 Comparison of motion RAOs in the finite water depth(WD=25m)

유체력, 즉 부가수질량(added mass), 유체감쇠(hydrodynamic damping), 표류력(drift force), 파 강제력(wave exciting force), 복원력과 모멘트(restoring forces and moments) 등과 API에 의한 풍력, 항력저항계수(OCIMF 1994, Wichers, et. al. 1988)를 고려한 조력을 참고하고, 계류해석에는 WINPOST (Kim 2000, Kim and Kim 2004, Kim and Kim 2005)을 이용하였다.

Table 4~5에는 무한수심에서의 운동해석결과와 계류해석결과를 나타내었고, Table 6에는 모바일하버에 대한 복원성계산결과를 보여주고 있다. 운동 응답치 평가에는 다음의 식(Bhattacharyya 1978)을 이용하였다.

$$(\phi_j)_{1/100} = 3.336 \sqrt{(m_0)_j} \quad (4)$$

여기서 $(\phi_j)_{1/100}$ 는 외력에 의한 $j=1, \dots, 6$ 에 대한 각 방향 운동응답의 1/100 피크값을 의미하며, $(m_0)_j$ 는 각 운동방향 $j=1, \dots, 6$ 의 응답의 평균값을 의미한다.

Table 6은 복원성 계산과 동적안정성 계산결과에 따른 상하운동, 횡동요 운동과 종동요 운동에 의한 최대 각, 즉 운동한계값을 보인 것이다. Table 5와 Table 6을 비교해 보면, 모바일하버의 선수파에서 횡동요각은 0.02° , 종동요각은 0.30° 로 되어 Table 6의 최대값을 만족한다. 하지만 135° 의 사파에서는 상하운동 0.5m 를 초과하고, 횡동요각도 4.09° 이어서 한계치를 넘거나 거의 접근하는 것으로 나타났다. 225° 의 사파에서는 상하운동이 -0.30m , 횡동요와 종동요각이 2.62° , 0.44° 로 되어 운동한계값을 만족시키고 있다.

Table 5의 계류해석 결과 계류라인과 로봔암에 걸리는 장력을 보면, 선수파에서의 1.6배에서 3.0배까지 걸리는 것으로 나타나고 있다. 로봔암에 걸리는 장력은 선수파의 경우에 비해 사파에서 17%정도 커지는 것으로 나타났다. Table 7~8에는 유한수심에서의 운동해석결과와 계류해석결과를 나타내었다. Table 4와 Table 7을 비교해 보면, 무한수심의 경우에 비해 컨테이너선과 모바일하버 모두 유한수심에서는 응답이 약 6~20% 정도씩 커지는 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

Table 4 Motion responses in the infinite water depth

운동 응답	Container Ship (5,000 TEU)											
	wave head hg = 135°				head sea				wave head hg = 225°			
	m _{ean}	std dev	m _{ax}	m _{in}	m _{ean}	std dev	m _{ax}	m _{in}	m _{ean}	std dev	m _{ax}	m _{in}
surge(m)	0.45	0.25	1.00	0.00	0.54	0.06	0.05	-0.27	0.55	0.13	1.03	0.00
sway(m)	2.24	0.76	3.11	-0.16	-0.15	0.08	0.05	-0.36	-2.47	0.45	0.00	-3.13
heave(m)	-0.01	0.06	0.17	-0.18	-0.01	0.03	0.08	-0.10	-0.01	0.05	0.16	-0.19
roll(deg)	-0.10	0.40	0.83	-1.06	-0.01	0.01	0.02	-0.05	0.15	0.83	1.97	-1.75
pitch(deg)	0.00	0.04	0.13	-0.14	0.00	0.03	0.10	-0.10	0.00	0.04	0.15	-0.15
yaw(deg)	0.39	0.19	0.74	-0.02	0.01	0.02	0.06	-0.04	-0.46	0.11	0.00	-0.77
운동 응답	Mobile Harbor											
	wave head hg = 135°				head sea				wave head hg = 225°			
	m _{ean}	std dev	m _{ax}	m _{in}	m _{ean}	std dev	m _{ax}	m _{in}	m _{ean}	std dev	m _{ax}	m _{in}
surge(m)	0.00	-0.25	0.82	-0.86	-0.07	0.14	0.44	-0.59	0.05	0.05	0.23	-0.13
sway(m)	-41.8	0.7	-40.4	-43.9	-41.6	6.5	-40.2	-43.1	-42.3	7.1	-40.5	-44.1
heave(m)	-0.07	0.19	0.45	-0.56	-0.07	0.12	0.40	-0.48	-0.06	0.07	0.16	-0.30
roll(deg)	0.10	1.51	4.09	-4.03	0.14	0.61	1.93	-1.74	0.14	0.85	2.62	-2.29
pitch(deg)	0.05	0.65	1.88	-1.58	0.05	0.43	1.92	-1.84	0.04	0.11	0.44	-0.33
yaw(deg)	0.45	0.69	2.50	-1.15	0.62	0.19	0.62	-0.59	-0.61	0.19	0.00	-1.22

Table 5 Mooring analysis results in the infinite water depth

Mooring Tension Response	wave heading = 135°				head sea				wave heading = 225°			
	m _{ean}	std dev	m _{ax}	m _{in}	m _{ean}	std dev	m _{ax}	m _{in}	m _{ean}	std dev	m _{ax}	m _{in}
Line #1 (ton)	76.3	26.1	219.8	25.4	31.7	5.1	35.5	27.9	15.7	2.7	17.8	13.6
Line #2 (ton)	17.2	2.7	27.5	15.1	34.0	5.5	38.5	29.5	79.9	21.8	258.6	26.0
Line #3 (ton)	23.6	3.2	35.0	18.1	31.2	5.0	35.3	27.1	70.3	19.4	202.0	26.1
Line #4 (ton)	68.5	27.7	230.5	25.4	28.7	4.8	32.2	25.2	22.8	4.1	31.8	13.8
Line #5 (ton)	80.3	1.5	85.2	75.7	82.1	12.8	87.2	77.0	79.8	13.4	83.4	78.2
Line #6 (ton)	80.6	1.8	86.4	75.6	81.1	12.7	85.9	76.3	79.6	13.4	83.1	78.2
Line #7 (ton)	37.6	2.8	44.3	29.5	35.1	5.5	37.9	32.3	30.4	5.1	33.2	27.6
Robot arm #1 (ton)	1.20	0.21	2.06	0.73	1.09	0.20	1.52	0.67	0.70	0.14	0.96	0.5
Robot arm #2 (ton)	1.22	0.18	1.85	0.87	1.08	0.18	1.36	0.83	0.89	0.13	0.88	0.5

Table 6 Stability calculation results

Items		Mobile Harbor
Hull form factors	CB	0.5976
	CM	0.6264
Weight	Crane	1000Ton
	Displacement	7469.3Ton
Container capacity		252TEU
Stability	KG	15.017M
	GM	15.614M
	Heave limit	±0.5 m
	Roll/pitch limit	±5.0 deg.

Table 7 Motion responses in the finite water depth(water depth=25m)

운동 응답	Container Ship (5,000 TEU)											
	wave head hg = 135°				head sea				wave head hg = 225°			
	mean	std dev	max	min	mean	std dev	max	min	mean	std dev	max	min
surge(m)	0.54	0.14	1.04	0.00	-0.13	0.07	0.02	-0.30	0.55	0.14	1.02	0.00
sway(m)	2.50	0.44	3.22	0.00	-0.16	0.15	0.18	-0.56	-2.50	0.43	0.00	-3.19
heave(m)	-0.01	0.05	0.14	-0.17	-0.01	0.03	0.08	-0.10	-0.01	0.05	0.13	-0.17
roll(deg)	-0.28	0.58	1.28	-1.84	-0.03	0.03	0.05	-0.10	0.16	0.54	1.59	-1.30
pitch(deg)	0.00	0.04	0.15	-0.15	0.00	0.03	0.10	-0.10	0.00	0.04	0.15	-0.14
yaw(deg)	0.45	0.11	0.84	0.00	0.01	0.05	0.12	-0.11	-0.46	0.11	0.00	-0.79
운동 응답	Mobile Harbor											
	wave head hg = 135°				head sea				wave head hg = 225°			
	mean	std dev	max	min	mean	std dev	max	min	mean	std dev	max	min
surge(m)	-0.03	0.22	0.72	-0.80	-0.07	0.14	0.43	-0.58	0.05	0.05	0.24	-0.14
sway(m)	-40.9	6.5	-38.7	-43.0	-41.6	6.6	-40.1	-43.1	-42.4	6.8	-40.8	-44.0
heave(m)	-0.07	0.19	0.82	-0.74	-0.07	0.12	0.41	-0.48	-0.06	0.07	0.14	-0.29
roll(deg)	0.12	1.58	5.48	-6.11	0.13	0.61	1.94	-1.74	0.14	0.70	2.41	-2.20
pitch(deg)	0.05	0.68	2.89	-2.74	0.04	0.43	1.89	-1.86	0.04	0.10	0.41	-0.31
yaw(deg)	0.37	0.62	2.40	-1.66	0.02	0.22	0.77	-0.71	-0.58	0.16	0.00	-1.17

Table 8 Mooring analysis results in the finite water depth(water depth=25m)

Mooring Tension Response	wave head hg = 135°				head sea				wave head hg = 225°			
	mean	std dev	max	min	mean	std dev	max	min	mean	std dev	max	min
Line #1 (ton)	80.9	21.0	233.7	0.0	28.4	4.4	31.2	0.0	15.8	2.5	18.3	0.0
Line #2 (ton)	15.8	2.5	18.8	0.0	28.5	4.8	34.5	0.0	81.1	20.3	251.8	0.0
Line #3 (ton)	22.8	4.0	35.2	0.0	25.5	4.3	30.3	0.0	71.5	18.3	186.1	0.0
Line #4 (ton)	71.2	19.2	190.5	0.0	23.5	3.9	28.4	0.0	22.7	4.0	33.3	0.0
Line #5 (ton)	78.5	12.8	84.5	0.0	79.8	12.7	84.5	0.0	80.0	12.8	83.3	0.0
Line #6 (ton)	78.5	12.8	84.0	0.0	78.7	12.6	83.5	0.0	79.8	12.7	83.1	0.0
Line #7 (ton)	38.4	8.0	42.9	0.0	33.3	5.3	35.8	0.0	30.5	4.9	32.8	0.0
Robot arm #1 (ton)	1.24	0.24	1.78	0.00	0.90	0.17	1.26	0.00	0.70	0.13	0.94	0.00
Robot arm #2 (ton)	1.23	0.25	1.84	0.00	0.91	0.15	1.12	0.00	0.69	0.12	0.87	0.00

Table 7에서 보면, 135°의 사파에서 상하운동과 횡동요각이 운동한계값을 초과하는 것으로 나타나고 있어 무한수심에서의 결과와 유사한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. Table 5와 Table 8의 계류력 계산결과에서 보면, 유한수심에서 모바일하버에 연결된 계류라인에서의 계류력이 약 6% 정도 커지고, 컨테이너선 계류라인의 계류력은 최대 20%까지 감소되는 경향을 보이는 것을 볼 수 있다. 이 결과는 참고문헌(Kim and Kim 2004)에서의 수심 차이에 따른 계류해석결과의 경향과 일치한다. 무한수심에서와 동일하게 유한수심에서도

조합된 힘의 방향이 선수파 방향일 경우는 어느 정도 견딜 수 있지만 사파의 경우는 위험한 것을 알 수 있다. 또한, 컨테이너선과 모바일하버를 병렬계류 상황에서 어쩔 수 없이 사파를 맞아야 한다면 사파방향이 컨테이너선 쪽에서 입사되도록 두 선박의 계류방향을 조정하는 것이 바람직하다.

4. 결론

본 논문에서는 5,000TEU 컨테이너선과 모바일하버가 해상에서 병렬계류했을 때 컨테이너 양하역 작업중에 야기될 수 있는 상호 다물체 연성효과를 고려한 동적 거동 해석을 수행하였다. 본 연구에서 특수하게 고안된 계류장치, 즉 로봇암을 이용한 계류장치와 기존의 동적 위치고정장치 및 윈치를 설계를 목적으로 한 계류라인을 연결하여, 작업시 조우할 수 있는 여러 해상환경조건을 고려하여 계류시스템에 작용하는 동적계류력을 계산하여, 안전성을 보장할 수 있는 정도를 계산하였다.

계산결과를 종합하여 볼 때, 컨테이너선과 모바일하버 모두 일정계류가 바람직하며, 부득이한 경우는 225°의 사파조건을 고수할 필요가 있다. 사파의 조건을 피할 수 없다면 입사파의 방향을 컨테이너선 쪽으로 설정하여야만 상대적인 모바일하버의 운동과 계류력을 작게 할 수가 있다.

후 기

본 논문의 내용은 교육과학기술부의 지원으로 한국과학기술원(KAIST)가 주관하는 ‘모바일하버 원천기술개발’ 과제의 일부 연구과제로 지원된 것임을 밝히며, 위 기관의 후원에 감사드린다.

참 고 문 헌

- API RP 2T, 1997, Recommended Practice for Planning, Designing, and Consulting Tension Leg Platforms, 2nd Edition, American Petroleum Institute, N.W., Washington D.C.
- Bhattacharyya, R., 1978, Dynamics of Marine Vehicles, Wiley & Sons, USA.

- Kim, M.H., 2000, Winpost User's Manual, 3rd ed., Texas A&M University, College Station, USA.
- Kim, Y.B. and Kim, M.H., 2004, "Hull/Mooring/Riser Coupled Dynamic Analysis of a Turret-Moored FPSO Compared with OTRC Experiment," Journal of Ship and Ocean Technology, Vol. 8, No. 3, pp. 26-39.
- Kim, Y.B. and Kim, M.H., 2005, "Dynamic Analysis of Multiple-Body Floating Platforms Coupled with Mooring Lines and Risers," Journal of Ship and Ocean Technology, Vol. 9, No. 1, pp. 11-26.
- Kwak, H.U., Choi, H.S. and Shin, H.S., 2005, "A Motion Analysis of FPSO in Irregular Waves including Swells," Journal of Ship and Ocean Technology, Vol. 9, No. 2, pp. 21-28.
- Lee, C.H., 2006, WAMIT User's Manual, Ver. 6.4, WAMIT, Inc, MA, USA.
- OCIMF, 1994, Prediction of Wind and Current Loads on VLCCs, 2nd Edition, Witherby & Co. Ltd, London, England.
- Wicher, J.E.W, Voogt, H.J., Roelofs, H.W. & Driessen, P.C.M., 2001, DeepStar-CTR 4401-Benchmark, Technical Rep. No. 16417-1-OB, MARIN, Wageningen, The Netherlands.



< 김 영 복 > < 김 무 현 > < 김 용 옥 >