

# 크레인 충격하중을 고려한 다중 부유체 운동해석

김영복<sup>1,†</sup> · 김용욱<sup>2</sup>

경남대학교 조선해양IT공학과<sup>1</sup>

한국과학기술원 해양시스템전공<sup>2</sup>

## Dynamic Analysis of Floating Multi-Bodies Considering Crane Impact Loads

Young-Bok Kim<sup>1</sup> · Yong Yook Kim<sup>2</sup>

Naval Architecture, Ocean & IT Engineering Department, Kyungnam University<sup>1</sup>

Division of Ocean System Engineering, KAIST<sup>2</sup>

### Abstract

The concept of the Mobile Harbor had been made recently as a kind of feeder vehicle to transfer a certain amount of container boxes (i.e. 250 TEU at a time) from main ocean container vessels over 5,000 TEU capacity to the container terminal on land. In a harbor a short distance apart from the land, the container loading/unloading operation has to be performed on the main deck of the Mobile Harbor using the container cranes in the state of side-by-side mooring with protection of fenders and robot arms in the gap. Even under the ocean condition of the sea state class 2 or 3, the operation has to be confirmed to be safely performed. In this situation, the floating bodies considering the multiple-body interaction effect also has to be examined whether they might behave safely or not. Especially, this study focuses on the dynamic behavior of the Mobile harbor when a container box is hanged on the crane and the impact load due to the slewing motion is imposed in a certain sea state. The motion response should be controlled within the motion level to assure the safe operation.

**Keywords** : Multi-body interaction effect(다물체 연성효과), Dynamic stability(동적 안전성), Crane impact load(크레인 충격력), Side-by-side mooring(병렬계류), Fender(휨대), Robot arm(자동도킹장치)

## 1. 서론

컨테이너선이 대형화 되어 가면서 기존 부두시설을 이용한 컨테이너선의 정박이나 컨테이너 박스의 양하역 작업에 지장을 받고 있다. 이를 해결하기 위한 한 방안으로서 모바일하버라는 중간 feeder선 개념의 선박을 제안하게 되었다. 이는 부두에서 얼마간 떨어진 거리에 컨테이너선을 정박시킨 후 해상에 떠 있는 상태에서 모바일하버 선에 컨테이너의 양하역 작업을 수행하고, 대형 컨테이너선 보다 기동성이 우수한 이 신개념 선박을 이용해서 옮겨 실은 컨테이너 박스를 신속히 육지 컨테이너 터미널로 이동시키려는 제안이다. 이를 통하여 기존의 부두에서의 하역공간 부족해소는 물론 대형화되어 가는 컨테이너선의 접안시설 부족분을 해소할 수 있으리라 기대하고 있다. 이와같은 양하역 방식을 채택하려면 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 크레인의 갑작스런 슬루잉 모멘트에 의한 충격력이 부유체의 운동에 미치는 영향을 파악하고자 하였으며, 특수하게 고안된 계류장치인 로봇암과 휨대를 이용하여 안정성 확보가 되도록 고심하였다. 해상상태는 sea state 2를 가정하여 바람, 파도 및 조류력을 고려하여 안전성을 보장할 수 있는지 수치해석을 통해 알아 보았다. 본 연구결과를 바탕으로 컨테이너선의 해상 계류시 모바일하버가 병렬계류(side-by-side) 방식으로 계류하였을 때 안전한 크레인작업을 보장할 수 있는 범위내에서 크레인 설계 조건을 제시할 수 있을 것으로 본다. 특히, 본 논문의 대상선은 향후 실해상 실험에 사용될 선박들과 계류장비들을 사전 검증차원에서 연구대상으로 채택하였다.

## 2. 주요 설계 데이터

### 2.1 대상선박의 기본 제원

본 연구에서 대상으로 하는 선박은 실해상 실선실험이 수행된

‘한우리호’와 7,000톤급의 쌍동형 바지선인 ‘건우 8001호’를 선정하였으며, 그 주요 제원은 Table 1과 같다

Table 1 Particular data of hanuri training vessel and gunwoo barge

item	Hanuri	Gunwoo	
DWT	42k DWT	70k DWT	
LOA or LBP	86.85 m	75 m	
Breadth	15 m	23 m	
Depth	7.2 m	4.65 m	
Draft(design)	4.5 m	4.55 m	
Cb	0.703	0.936	
KG	6.55	6.55 m	
Radius of Gyration	Kxx	6.0 m	9.2 m
	Kyy	20.64 m	18.0 m
	Kzz	20.64 m	18.0 m

Table 1은 설계초기단계에서의 자료이며, 관성반경은 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 양하역할 때의 환경외력을 sea state 2로 설정하였다. 이 조건은 다음 Table 2에 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

sea state 2에서 주어진 자료를 보면, 파도의 유의파고는 최대 0.5m이고, 피크 주기는 6.3 sec 인 것으로 나타나 있고, 연속적으로 부는 바람의 속도는 최대 10 knots, 즉 약 5.14 m/s 로 주어져 있다. 본 연구에서는 파도의 스펙트럼으로 수정된 Pierson-Moskowitz spectrum(Fig.1)을 사용하였다. 수정된 Pierson-

Moskowitz spectrum 식은 다음과 같다.

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

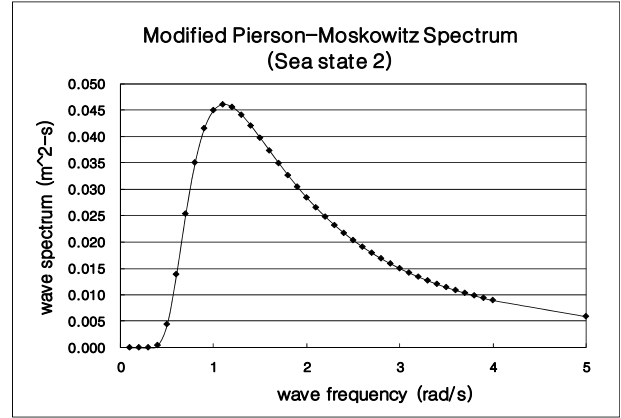


Fig. 1 Pierson-Moskowitz spectrum

여기서  $S_{\eta}(\omega)$ 는 식 (1)에 의한 wave spectrum 이며,  $\omega$ 는 파의 주파수를 나타내며,  $A' = 488H^2/T_m^4$ ,  $B = 1948/T_m^4$  로 계산되는 계수이다. 파랑하중의 진폭은 식 (1)을 이용하여 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$A_j = \sqrt{2 \times S_{\eta}(\omega_j) \times \Delta\omega} \quad (2)$$

여기서  $A_j$  는 파랑하중의 진폭이며,  $\Delta\omega$ 는 연속되는 주파수사이의 차이이며,  $S_{\eta}(\omega)$ 는 식 (1)에 의한 wave spectrum이다. 첨자 중  $j$  의 의미는 특정 주파수를 의미한다. 선형인 경우에 정상상태에서의 파랑하중은 식 (2)에 transfer function을 곱해 줌으로써 얻어진다.

$$F_w(t) = Re \left[ \sum_{j=1}^N A_j |H(\omega_j)| e^{i\omega_j t} \right] \quad (3)$$

여기서  $F_w(t)$  는 파도에 의한 시간역에서의 파라하중을 의미하며,  $|H(\omega)|$  는 선형 transfer function이며, 복소수 함수 형태의 exponential 함수 중의  $i = \sqrt{-1}$ 는 허수로서 phase 차이를 고려하여 실수부분을 파라하중으로 사용하게 된다.

바람에 의한 wind force는 sea state 2 일때의 풍속인 5.14 m/s를 sustained wind speed로 다시 환산하여 API code(API RP 2T, 1997)의 wind spectrum을 이용하여 시간역에서의 wind force( $F_{wind}$ )를 계산하였다.

$$F_{wind} = \frac{1}{2} C_D \rho_{air} A_p V^2 \quad (4)$$

여기서  $C_D$  는 풍력계수이며,  $\rho_{air}$  는 공기의 밀도이고,  $A_p$  는 바람을 받는 면의 투영면적이고,  $V$  는 고려되는 풍속이다.

Fig. 2에는 이렇게 계산된 시간역에서의 풍력을 보여주고 있다. 조류에 의한 항력(Drag force,  $F_c$ )은 컨테이너선의 정박 대상 해역인 부산 앞 바다를 고려하였으며, 조류 속도는 최대 0.5m/s로 하고 해수면에서 해저바닥까지 일정한 것으로 가정하였다.

$$F_c = \frac{1}{2} C_D \rho_{sw} L_{bp} T V_c^2 \quad (5)$$

여기서  $C_D$  는 조류력계수이며,  $\rho_{sw}$  는 해수의 밀도이고,  $L_{bp}$  는 부유체의 선수간장이며,  $T$  는 부유체의 흘수이고,  $V_c$  는 조류의 속도이다. 이 조류력은 부유체의 종방향 단면 위치에 따라 OCIMF (1994)에 따른 계산값에 Dr. Wichers (1988)의 선박에 대한 실험결과에 의한 부유체 종방향 단면 위치에 따른 수정계수인 Fig. 3를 곱하여 사용하였다.

시간역에서의 해석을 위해서 기개발된 다중 부유체 동적계류해석 프로그램인 WINPOST(Kim, 2000)를 사용하였는데, 이 프로그램에서는 다음 식에서와 같이 파랑하중, 풍력, 조류력 등의 외력과 동적 유체력을 Morison 방정식에 대입하여 해를 구하는 방식을 택하고 있다(Kim et. al, 2005).

$$[M + M_a(\infty)]\ddot{\zeta} + K\dot{\zeta} = F_w(t) + F_c(\dot{\zeta}, t) + F_m(\dot{\zeta}, t) \quad (6)$$

여기서  $M$ 은 부유체의 질량이고,  $M_a(\infty)$ 는 무한주파수에 대한 유체부가수질량이고,  $K$ 는 부유체의 강성행렬이고,  $F_w(t)$ ,  $F_c(\dot{\zeta}, t)$ ,  $F_m(\dot{\zeta}, t)$  는 각각 파랑하중, Radiation force, Morison force를 의미한다. 또한  $\zeta$ 는 부유체의 운동을 나타내는 변수이고,  $\dot{\zeta}$ 는 부유체의 속도를 나타낸다. 풍력과 조류력은 Morison force에 포함된다.

한우리호는 두 쌍의 앵커를 이용하여 선박의 전후로 계류하고 있다고 가정하였고, 이에 병렬계류되는 건우바지선은 선수방향으로 일치된 파도, 바람과 조류의 힘을 받는 것으로 보였다. 파랑하중, 풍력 및 조류력은 두 선박이 weathervaning 되는 경우를 고려하면 Fig. 4와 같이 head sea 방향으로 일치하여 작용하는 경우로 고려할 수 있다.

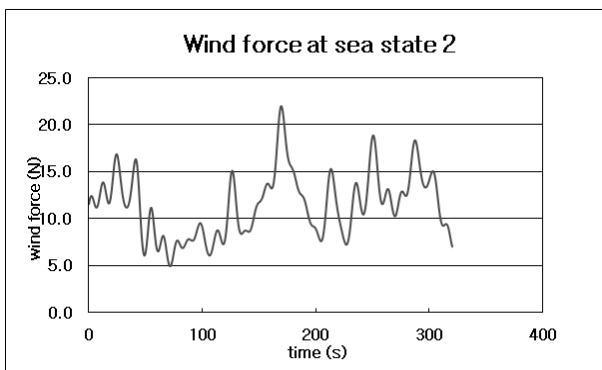


Fig. 2 Wind force transformed using API Code (RP 2T)

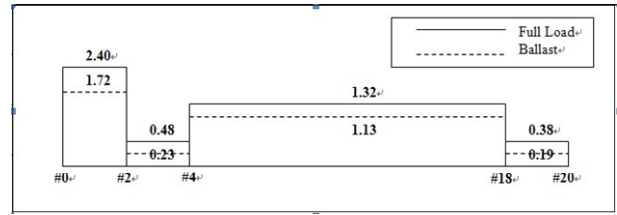


Fig. 3 Current force coefficients proposed by Dr. J. E. W. Wichers(1988)

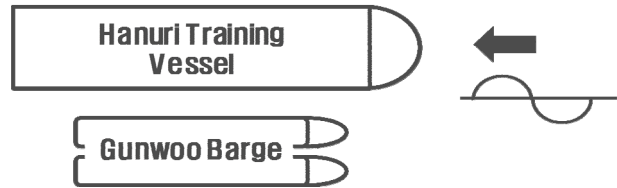


Fig. 4 Directions of combined environmental forces

### 2.3 계류조건

두 부유체 간의 계류는 병렬(side-by-side) 계류로 하며, 간격은 2m로 한다. 컨테이너선의 계류조건은 선수, 선미에 2개씩 anchor가 설치된다. 처음 건우호가 한우리호에 접근할 때는 tug 선에 의해 접근력을 지원받으며 어떤 계류라인이나 도킹시스템과도 연결되지 않은 상황이고, 일단 접선되어 계류가 자동도킹장치(robot arm)에 의해 병렬계류되면 4개의 웬더와 4개의 계류라인으로 한우리호와 연결되는 것으로 보였다. 이 자동도킹장치에는 어느 정도의 tension과 compression이 걸리고 있으며, 위치 고정 역할과 계류라인으로서의 역할을 담당한다. Fig. 5에서는 두 선박이 접근하고 있는 상황(senario 1)과 두 선박이 계류되어 있는 상황(senario 2)에서의 계류라인 배치 및 두 선박 배치상태를 보여준다. 앵커를 포함하여 자동도킹시스템과 웬더의 계류특성치를 Table 3에 보여 준다.

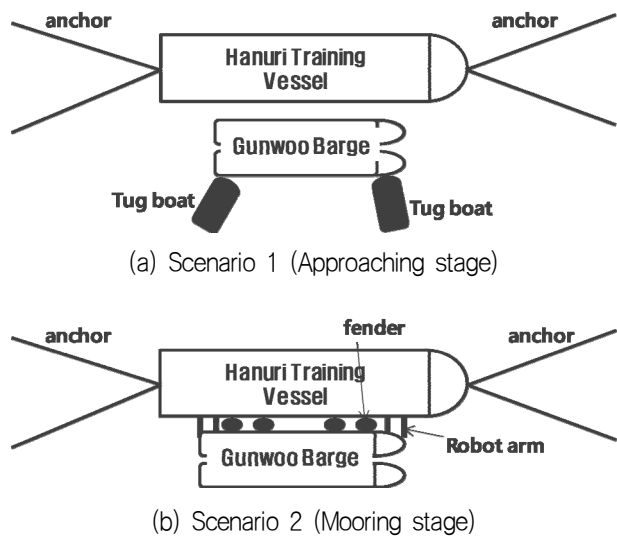


Fig. 5 Mooring line arrangement of two vessels according to stages

다만, 여기 보인 계류시스템의 특성치들은 상세설계가 좀 더 진행되면 적합성을 판별하여 변경될 여지가 있다. 모바일하버로 선정된 건우호의 갑판위에 설치된 크레인의 제원은 Fig. 6에 보이고 있다. 크레인 끝단의 운송장치인 spreader와 trolley가 달려 있으며, 여기에 container box가 메달린 상태에서 작업 중 swell이나 파도의 갑작스런 영향에 의해 충격하중이 작용할 때의 거동을 고려하여 부유체의 운동응답을 파악하고자 했다.

Table 3 Properties of mooring facilities installed on two vessels

Items		Stiffness (EA)	Dry weight	Wet weight	CI	CD
		N	kg/m	kg/m	N/m	N/m
Hanuri	Anchor	2.70E+08	567.8	73.8	221	380
Gunwoo	Robot arm	3.57E+05	2.21	-	-	-
	Fender	2.34E+05	20	-	-	-

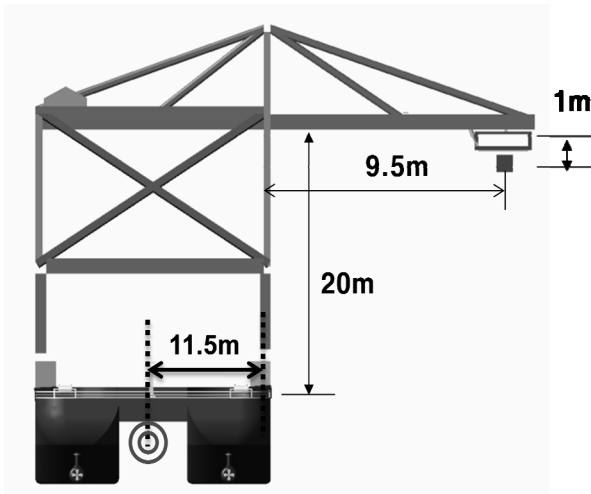


Fig. 6 Configuration of the container crane installed on the mobile harbor deck

이때 trolley, spreader, container box의 무게는 합하여 23.2 ton이며, 여기에 작업안전을 20%를 감안하여 총 무게를 27.8 ton으로 가정하였다.

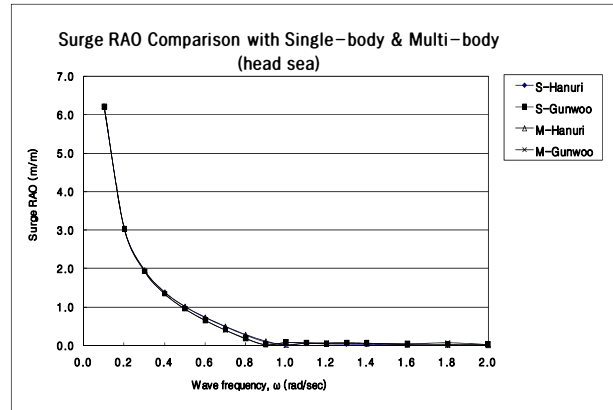
### 3. 해석결과

#### 3.1 운동응답 계산결과

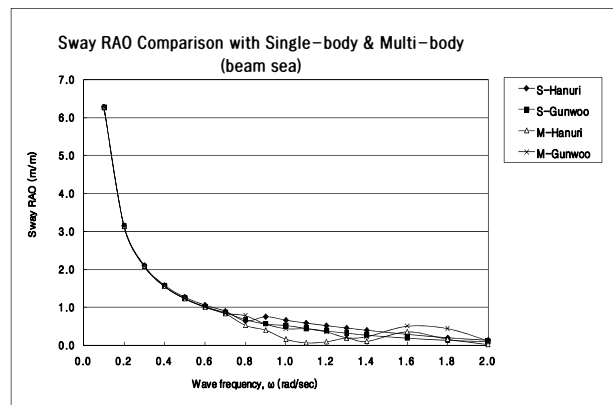
한우리호와 건우호가 단독선일 경우와 병렬계류하고 있어 다물체의 연성효과의 영향을 받을 경우 등 두 가지 경우에 대한 운동 RAO 계산을 수행하였다. 해당해역의 해저까지의 수심은 25m

로 하였다. Fig. 7에는 단독선일 경우와 병렬계류된 다중 부유체 일 경우의 운동 RAO를 비교하여 보여주고 있다.

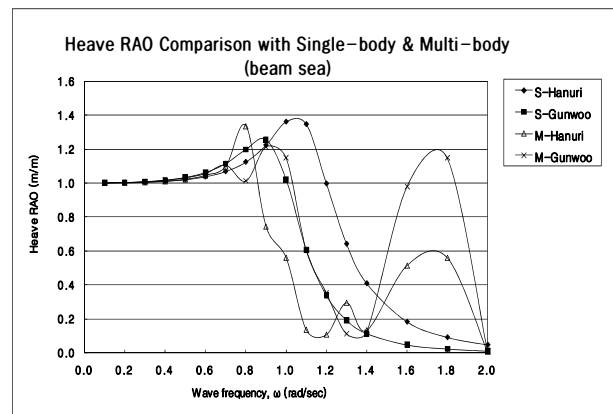
병렬계류된 두 선박의 경우 다물체 효과로 인해 단독선일 경우와 비교해 볼때 운동 RAO가 전반적으로 조금씩 적게 나타나는 것을 확인할 수 있다. sway, heave, roll, pitch 운동의 경우 0.6~0.8 rad/s 사이에서 공진점이 형성되는 것을 볼 수 있으며, 계류라인과 배치설계에 참고로 해야 할 결과이다.



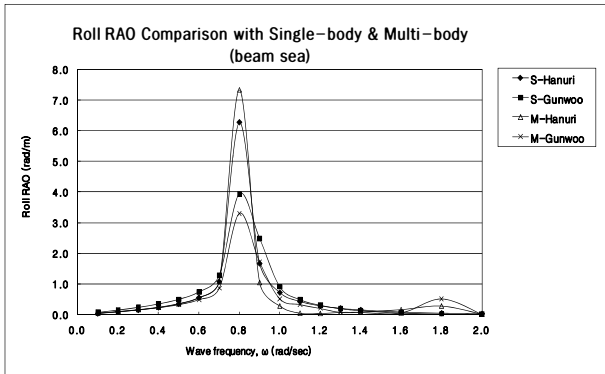
(a) Surge motion RAO



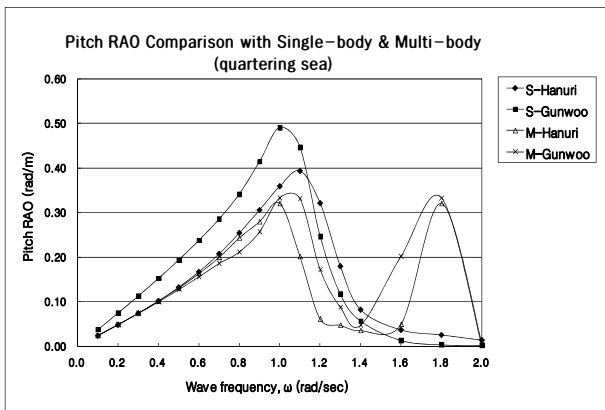
(b) Sway motion RAO



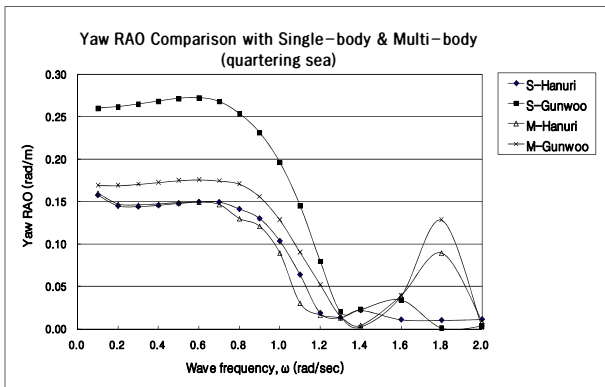
(c) Heave motion RAO



(d) Roll motion RAO



(e) Pitch motion RAO



(f) Yaw motion RAO

Fig. 7 Comparison of motion RAOs

### 3.2 Scenario 1의 운동응답 및 계류해석 결과

계류해석은 WAMIT(Lee, 2006)을 이용하여 유한수심(WD=25m) 하에서 다물체 영향을 고려한 유체력을 파도의 방향과 두 부유체의 상대적인 위치를 고려하여 5씩 차이가 날 때 마다, 또 주파수 대역은 파도가 충분히 발생할 수 있는 영역을 0.15 rad/s(=41.9 sec)로부터 2.5rad/s(=3.9sec)로 보고, 이 대역의 주파수를 101 등분하여 사용하였으며, 양 끝단 주파수 성분은 외삽법에 의해

서서히 0의 값으로 수렴하도록 유체력을 고려하였다. 이렇게 계산된 유체력, 즉 added mass, hydrodynamic damping, drift force, wave exciting force, restoring forces와 moment 성분들과 API에 의한 풍력, 저항계수(OCIMF, 1994; Wichers, 1988)를 참고하여 조류력을 고려하였다. 계류해석에는 WINPOST (Kim & Kim, 2005)을 이용하였다.

Table 4에는 Scenario 1, 즉 한우리호와 건우호의 두 선박이 계류되어 있는 상황이 아니고 건우호를 터그 두 대로 밀고 있는 상황(Fig. 5 (a) 참조)이며, 점점 한우리호에 접근하고 있는 상황에서의 운동해석 결과이고 Table 5는 그런 상황에서의 한우리호 anchor에 걸리는 장력을 보인 것이다. 이 결과는 1시간 동안에 걸쳐 시간역 동적해석을 수행한 결과이다.

Table 4 Motion responses in Scenario 1

Motion Response	Hanuri training vessel				Gunwoo barge			
	mean	std dev	max	min	mean	std dev	max	min
surge (m)	-0.10	0.27	1.13	-0.39	-0.22	0.46	1.89	-1.51
sway (m)	2.02	0.32	4.03	-0.35	-0.07	0.58	11.39	-3.41
heave (m)	-0.13	0.07	0.66	-0.46	0.00	0.02	0.91	-0.12
roll (deg)	2.34	1.62	12.44	-5.53	0.01	0.16	0.95	-0.83
pitch (deg)	0.03	0.27	1.05	-0.86	0.00	0.08	0.44	-0.26
yaw (deg)	-0.20	0.45	1.71	-1.97	-0.28	0.77	2.52	-3.55

Table 5 Mooring analysis results in Scenario 1

Mooring Line Tension	mean	std dev	max	min
Anchor#1(St'bd) (ton)	71.7	49.9	1250	-28.7
Anchor#1(Port) (ton)	26.5	1	35.5	5.1
Anchor#2(Port) (ton)	25.5	2.0	70.2	-42.1
Anchor#2(St'bd) (ton)	70.4	34.2	337.4	-37.7

Table 6 Recommended motion level for safety working condition (Proposed by NFESC)

Ship Type	Cargo Handling Equipment	Surge (m)	Sway (m)	Heave (m)	Roll (°)	Pitch (°)	Yaw (°)
Container vessels	100% efficient	1.0	0.6	0.8	3.0	1.0	1.0
	50% efficient	2.0	1.2	1.2	6.0	2.0	1.5

Table 6은 이와같은 병렬계류된 두 선박의 경우 참고문헌(NFESC, 1999)에서 제시한 작업가능 운동응답기준이다. 이것과 Table 4에서 보면 운동응답의 크기를 비교해 보면 대부분의 경우 기준치를 상회하고 있지만 NFESC(Table 6)의 기준치가 동적운동크기만을 지적한 것이라면 RMS 값, 즉 두 번째 칸에 표시된 표준편차(Std. dev. 값)의 두배를 동적거동 응답치로 본다면 기준치를 그리 많이 상회하지는 않는 결과임을 알 수 있다. 다만, 모선인 한우리호에서의 roll 최대값(12.4도)과 모바일하버인 건우호에서의 sway 최대값(11.4m)에 대해서는 별도의 대책이 필요할 것으로 보인다. Table 5에서의 앵커에 걸리는 장력은 일반적으로 anchor chain의 최대 장력의 크기를 2,700 ton 이라고 본다면 그리 큰 수준은 아니라고 판단된다.

### 3.3 Senario 2의 운동응답 및 계류해석 결과

Scenario 2는 한우리호와 건우호가 병렬계류된 상황(Fig. 5 (b) 참조)에서 건우호 갑판상의 컨테이너 양하역 크레인에 충격력이 작용하는 경우이다.

Table 7 Motion responses in Scenario 2

Motion Response	Hanuri training vessel				Gunwoo barge			
	mean	std dev	max	min	mean	std dev	max	min
surge (m)	-0.57	0.26	0.00	-1.07	0.76	0.52	0.00	-1.63
sway (m)	-0.07	0.26	0.88	-0.60	0.20	0.47	1.49	-0.48
heave (m)	-0.08	0.04	0.15	-0.26	-0.01	0.02	0.26	-0.05
roll (deg)	0.01	0.27	2.74	-2.23	-0.11	0.14	1.38	-0.41
pitch (deg)	0.02	0.76	2.55	-2.73	0.00	0.08	0.22	-0.57
yaw (deg)	-0.25	0.53	3.12	-2.35	-0.44	0.64	1.30	-6.48

운동해석결과를 Table 7에, 계류해석결과를 Table 8에 정리하였다. 그리고 크레인 끝단에서의 운동, 속도, 가속도의 크기를 Table 9에 나타내었다. Table 7의 운동해석결과에서 보면 건우바지선의 횡동요 최소값을 제외하고는 대개의 경우에서 NFESC 기준을 만족하고 있음을 확인할 수 있다.

Table 8의 계류 장력의 경우에서 보면 계류장력이 30 ton 미만의 계류라인을 사용한다면 자동도킹장치와 계류라인으로서의 역할을 감당할 수 있으며, 이와 같은 계류라인은 현장에서 많이 사용하는 계류라인으로써 손쉽게 구할 수 있으리라 본다.

Table 8 Mooring analysis results in Scenario 2

Mooring Line Tension	mean	std dev	max	min
Anchor#1(St'bd) (ton)	24.3	5.1	75.4	-2.6
Anchor#1(Port) (ton)	26.0	15.0	277.8	14.7
Anchor#2(Port) (ton)	23.1	2.4	31.7	15.6
Anchor#2(St'bd) (ton)	23.2	3.3	33.5	6.9
Robot Arm#1 (ton)	1.6	6.8	26.0	-2.5
Robot Arm#2 (ton)	-1.3	1.5	28.6	0.0
Robot Arm#3 (ton)	0.3	1.7	28.7	-0.1
Robot Arm#4 (ton)	0.8	5.4	27.4	0.0
Fender (ton)	-1.3	1.5	2.5	-11.4

Table 9 Relative displacement, velocity, acceleration of motion at the end of crane

Motion at the end of crane		surge	sway	heave
		mean	std dev	max
Relative displacement (m)	mean	-1.87	-1.99	-2.21
	std dev	0.51	0.47	0.04
	max	1.36	1.53	0.14
	min	-1.64	-0.48	-0.28
Relative velocity (m/s)	mean	0.01	0.00	0.00
	std dev	0.13	0.19	0.04
	max	0.90	1.07	0.10
	min	-0.40	-1.52	-0.33
Relative acceleration (m/s <sup>2</sup> )	mean	0.00	0.00	0.00
	std dev	0.18	0.31	0.08
	max	0.88	2.17	1.22
	min	-0.64	-3.80	-0.70

Table 9의 크레인 끝단에서의 상대변위, 상대속도, 상대가속도의 크기를 보인 것은 컨테이너 박스가 크레인 끝단에 매달려 있고 슬루잉모멘트를 받을 때를 대비한 크레인 설계자료로 제공하기 위해서 도출되었다.

## 4. 결론

본 논문에서는 모선인 컨테이너선을 대신하여 항해생들의 실습선인 4,000 Ton 급의 한우리호를 택하였으며, 모바일하버로서는 7,000ton급의 건우 8001호 쌍동선형의 바지선을 택하였다. 이들을 이용한 실험상 실험을 대비한 수치해석을 수행하였으며, 특히 모바일하버 상부 크레인에 컨테이너박스가 매달려 있는 상황에서 갑작스런 충격력이 발생할 때 이로 인한 부유체의 운동 및 크레인 설계를 위한 크레인 끝단에서의 상대운동, 속도, 가속도 값을 계산하여 보았다.

운동해석을 위해서는 두가지의 scenario를 가정하였으며, scenario 1은 모바일하버가 두 개의 터그보트의 도움을 받아 모선에 접근할 경우이고, scenario 2는 robot arm과 계류라인으로 본선과 병렬계류 되어 있으면서 크레인으로 컨테이너를 들어 올린 상황을 고려 하였다. 상대적으로 모선의 크기가 작아서 상대 운동 값이 예민하게 변하여 수치해석에 어려움은 있었지만, 결론적으로 운동응답치와 계류장력은 그리 크지 않았으며 실해상 실험에 사용하기에 적절한 것(Kim & Kim, 2004)으로 평가되었다. 크레인의 슬루잉 회전운동 중에 발생할 수 있는 충격력에 대한 크레인 끝단에서의 상대운동 값들을 수치해석을 통해 구해 보았는데, 그 결과는 크게 염려할 수준은 아니며, 크레인 설계자료로 사용하기에 적절한 것으로 평가된다.

### 후 기

본 논문의 내용은 지식경제부 모바일하버기반 단기수송시스템 기술개발과제인 '부유체 자동도킹 시스템 기술개발'의 일부로 수행되었음을 밝히며, 위 기관의 후원에 감사드린다.

### 참 고 문 헌

API RP 2T, 1997. *Recommended Practice for Planning, Designing, and Consulting Tension Leg Platforms*, 2<sup>nd</sup> Ed. 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*. 3<sup>rd</sup> Ed. Texas A&M University, College Station: USA.

Kim, Y.B. & 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*, 8(3), pp.26-39.

Kim, Y.B., & Kim, M.H., 2005. Dynamic Analysis of Multiple-Body Floating Platforms Coupled with Mooring Lines and Risers. *Journal of Ship and Ocean Technology*, 9(1), pp.11-26.

Lee, C.H., 2006. *WAMIT User's Manual, Ver. 6.4*. WAMIT, Inc: MA, USA.

NFESC, 1999. *Mooring Design & Inspection Criteria, Technical Report (TR-6009-OCN)*, Pub. By Naval Facilities Engineering Service Center.

OCIMF, 1994. *Prediction of Wind and Current Loads on VLCCs*. 2<sup>nd</sup> Ed. Witherby & Co. Ltd: London, England.

Wichers, J.E.W., 1988. *A Simulation Model for a Single Point Moored Tanker*. Ph.D. Dessertation. Delft, The Netherlands: Delft University of Technology.

