

# 모바일하버에 적용할 컨테이너 적재 유도 시스템

김 인 수, 김 광 훈\*, 손 권†  
부산대학교 기계공학부, \*부산대학교 기계기술연구원

## A Container Stacking System for the Mobile Harbor

In-Su Kim, Kwang-Hoon Kim\*, Kwon Son†

School of Mechanical Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

\*Research Institute of Mechanical Technology, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

(Received April 21, 2010; revision received August 3, 2010)

**ABSTRACT:** The purpose of this study is to develop a stacking guidance system (SGS) of containers in the mobile harbor (MH). A mobile harbor is a floating structure especially designed for loading and unloading containers from and to a large container ship. A novel stacking guidance system was proposed for unloading the container in an effective way against possible vibrations of the floating body. The guidance system works as an aid for loading containers with a wider opening for easier stacking of a container into a moving storage cell due to waves. In order to determine the most effective inclination angle of the cell-guide, this study performed the dynamic analysis of the SGS equipped in the MH subject to fluctuations of the sea. The motions of the guidance system and a container loaded were calculated using ADAMS. The simulation results of the contact force between the two rigid bodies showed that a desirable angle of the cell-guide should be around 20 degrees from the vertical. This proposed SGS can considerably reduce the loading and unloading time, and will enhance the performance of the MH.

**Key words:** Cell-guide(셀 가이드), Dynamic analysis(동역학 해석), Mobile harbor(모바일하버), Stacking guidance system(적재 유도 시스템)

### 기 호 설 명

$h$  : 히빙 변위 [m]  
 $f$  : 운동변화 주파수 [Hz]

### 그 리 스 문 자

$\theta$  : 롤링 회전각 [°]  
 $\psi$  : 적재 유도 가이드의 회전각 [°]

### 1. 서 론

최근 원활한 물류의 수송과 비용절감을 위해 초대형 1만 TEU(Twenty Equivalent Unit) 급 이상의 선박의 대형화가 추진되고 있는 경향이다.<sup>(1)</sup> 따라서 이에 알맞은 대형 항구의 건설이 요구되고 있다. 앞으로의 항만이용의 추세를 보면, 허브 항(hub port)과 화물을 전달받는 중간 항(feeder port)의 이원화 체제로 재편될 경향을 보이고 있다.<sup>(2)</sup> 기존의 중·소형 항만의 경우 수심이 얕기 때문에 접근성과 기능이 떨어져 초대형 컨테이너선이 부두에 정박할 수 없다. 그리고 기존항만의 처리속도가 늦기 때문에 부두에 정박할 수 있다고 해도 먼저 정

† Corresponding author

Tel.: +82-51-510-2308; fax: +82-51-512-9835

E-mail address: kson@pusan.ac.kr

박한 선박의 화물을 처리할 때까지 많은 해상 대기 시간을 가질 수밖에 없다. 따라서 전 세계적으로 빠른 시간 내에 화물의 선적과 하적을 완료하여 시간당 소요비용을 감소시킬 수 있는 서비스가 요구되고 있다.

이러한 요구에 따라 국내에서는 항만 근해에서 항구의 기능을 대체할 수 있는 획기적인 개념의 모바일하버(mobile harbor, MH) 원천기술개발 사업이 활발하게 진행 중이다. 모바일하버는 항구 접안시설의 외부 해상에서 모선으로부터 직접 하역과 선적을 가능케 하는 새로운 개념의 해상운송수단을 말한다.<sup>(3)</sup> 모바일하버는 기존 항만의 새로운 증설 및 준설비용을 감소시킬 수 있는 이점과 외항에서 상·하역을 위해 대기하는 선박에 대하여 대기시간을 단축시켜 비용적인 측면에서 항구의 기능을 확대할 수 있는 기회를 제공한다.

본 논문에서는 우선 모바일하버에 고정 장치가 없는 상태에서의 컨테이너 운동해석을 통해 컨테이너 고정 장치의 필요성에 대해 알아보고, 모바일하버에 컨테이너를 적재할 때 보다 용이한 작업을 위해 새로운 개념의 적재 유도 시스템(stacking guidance system, SGS)을 제안하고 이에 대하여 시뮬레이션을 통해 동역학적 해석 및 검증은 하고자 한다.

## 2. 부유체의 운동

해상에서의 부유체는 6 자유도 운동을 하는데 Fig. 1과 같이 세 가지의 병진운동(surging, swaying, heaving)과 세 가지의 회전운동(rolling, pitching, yawing)으로 구분할 수 있다.<sup>(4)</sup> 안전한 선박의 설계에 있어 충분한 복원력을 확보하는 것은 가장 기초적인 목표이다. 선박이 해상에서 파도와 풍랑 등의 외력에 의해 일시적으로 경사한 경우에 그 외력이 사라지고 나면 원래의 위치로 돌아오려는 힘(복원력)이 중요한 역할을 한다. 대형 선박의 경우 피칭 복원력(pitching restoring force)은 매우 큰 값을 가지게 되며, 비교적 작은 값을 가지는 롤링 복원력(rolling restoring force)이 선박의 안정성에 대한 고려 대상이 된다. 또한 롤링 복원력을 계산함에 있어 히빙 변위(heaving displacement)는 선박의 무게중심 및 흘수(draft)에 영향을 주기 때문에 이 또한 중요하다.<sup>(5-8)</sup> 본 논문에서는 6 자유도 운동으로 표현 가능한 선박의 운동을 롤링(rolling)과 히빙(heaving)만을 고려하여 2 자유도 운동으로 단순화하였다.

길이 70 m, 폭 30 m, 흘수 5 m, 최대 속도 1.85

km/h로 설계될 예정인 소형의 모바일하버는 대형 선박에 비해 파도의 영향에 의한 운동응답이 클 수밖에 없다. 그리고 모바일하버는 공간의 제약 때문에 컨테이너가 갑판 상부에 3단으로 적재되어야 한다. 이러한 이유로 근해에서 작업하는 모바일하버는 Table 1과 같이 대체로 파도가 잔잔한 해상조건 3에 한하여 운용된다고 가정하였다. Fig. 2는 본 연구에서 고려할 대상인 한국과학기술원(KAIST)에서 제작한 여러 모바일하버 모델들 중 가장 규모가 작은 A1-250 type 모형을 나타낸 것이다.

## 3. 컨테이너 적재 유도 시스템

본 연구의 목적은 모바일하버에 적재된 컨테이너의 과잉운동을 예방하고 원활한 적재 작업을 하기 위한 적재 장치의 개발에 대한 것이다. 기존의 화물선에서 컨테이너는 하부의 셀(cell)이라는 구조물에 적재되는데, 셀은 하부 화물칸에서 컨테이너 운동구속을 위해 구비된 장치이다. 항만에서는 외력의 영향이 크지 않기 때문에 별도의 적재 유도 장치가 필요하지 않다. 하지만 모바일하버 갑판 상부에 적재하는 문제는 요동하는 셀에 어떻게 컨테이너를 안전하고 효율적으로 하역하는가이다. 컨테이너는 크레인 작업자가 조종하는 스프레더(spreeder)에 의해 자유롭게 운동할 수 있다. 하지만 해상의 부유체는 외력에 의해 기울어지거나 상하로 운동하므로 적절한 유도 장치가 없다면 컨테이너를 하역하는데 큰 어려움이 있다. 본 논문에서 제안하는 새로운 개념의 컨테이너 적재 유도 시스템(stacking guidance system, SGS)은 요동하는 모바일하버에 컨테이너를 효과적으로 하역하기 위함이다(Fig. 3).

## 4. 모델링 및 시뮬레이션

본 논문에서는 두 가지 경우에 대해 시뮬레이션을

Table 1 Definition of sea state 3

Sea-General	Wind	Sea
Description	Wind velocity	Wave height
Small waves, becoming larger : fairly frequent white horses	7.20 m/s 8.23 m/s	0.7 m 0.8 m

Note) World Meteorological Organization, Pierson-Moskowits Sea Spectrum.<sup>(9)</sup>

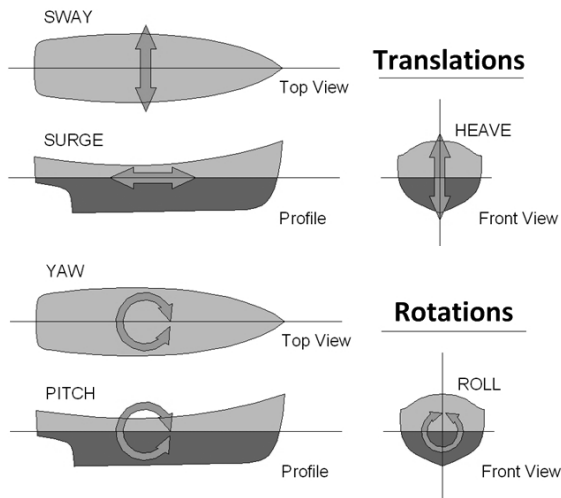


Fig. 1 Motion of a floating body on the sea.



Fig. 2 Shape of mobile harbor(A1-205 type).

수행하였다. 첫 번째는 모바일하버 상부 갑판에 고정 장치 없이 3단으로 적재된 컨테이너의 운동이고, 두 번째는 적재 유도 시스템의 효과에 대한 것이다.

4.1 고정 장치 없이 적재된 상태의 컨테이너

모바일하버에 적재된 컨테이너의 운동은 동역학적 해석 프로그램인 ADAMS(MSC.Software, Ver. 2005R, USA)를 이용하여 계산하였다. 인접한 컨테이너들의 접촉문제는 Fig. 4에서와 같은 컨테이너의 상하 가장자리에서만 접촉한다는 것을 가정하고 해석하였다.

컨테이너는 KS T ISO 1496-1(2003)<sup>(10)</sup>에서 규정하고 있는 규격과 동일하게 모든 컨테이너를 TEU로 모델링하였다. TEU는 폭 2.45 m, 길이 6 m, 높이 2.65 m 그리고 최대중량 24 ton이다. 컨테이너는 Fig. 5와 같이 롤링 회전각  $\theta$ 와 히빙 변위  $h$ 를 가지

고 운동하는 모바일하버의 상부에 적재되어 있다. 그림에서 표현된 것과 같이 모바일하버 중심부에 두 가지 운동을 하도록 하였으며,  $\theta, h$ 의 주파수는  $\omega$ 로 나타내었다. 컨테이너는 횡 방향으로 11줄과 종 방향으로 3단으로 적재되었다. 각각의 컨테이너는 모바일하버와는 어떠한 장치로도 고정되어 있지 않다고 가정하였다.

시뮬레이션을 위한 초기화 작업으로 컨테이너와 모바일하버 사이의 접촉과 컨테이너 상호간의 접촉에 대한 평형상태는 Fig. 6과 같이 1초 전·후에서 변화가 거의 없는 안정한 상태가 됨을 알 수 있었다. 모바일하버에 운동을 가할 때 안정화, 천이, 정상상태의 세 영역으로 나누어서 운동의 입력 값으로 주었다(Fig. 7). 안정화영역은 시뮬레이션 전 모바일하버의 평형상태를 얻기 위한 것으로 0~1초 구간이다. 천이 영역은 운동 입력 값을 갑자기 큰 값으로 주게 되면 모바일하버에 충격값으로 입력되기 때문에 이를 방지하기 위한 영역으로 1~5초 까지 서서히 입력 운동 값이 증가되는 구간이다. 정상상태 영역은 입력 운동 값이 지속적으로 모바일하버에 가해지는 영역으로 5초 이후 구간이다.

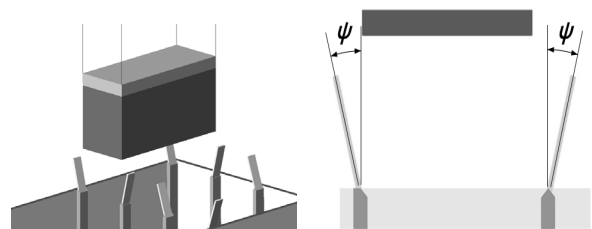


Fig. 3 A stacking guidance system.

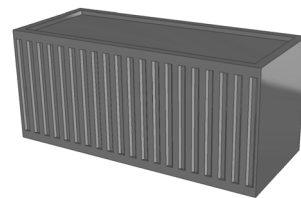


Fig. 4 Shape of a container(TEU).

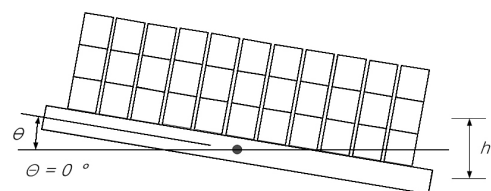


Fig. 5 Rolling and heaving of MH due to waves.

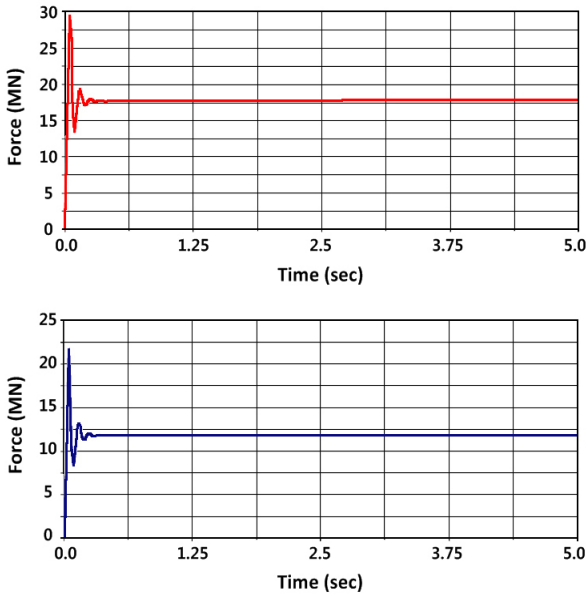


Fig. 6 Contact forces between the floating body and the bottom container(upper) and between the bottom and the second containers(lower).

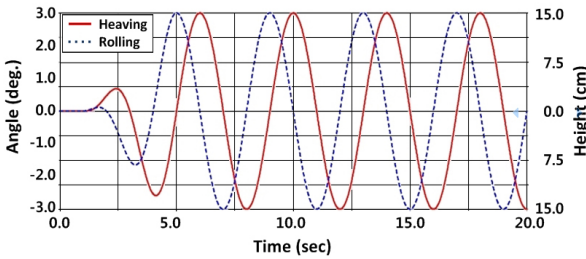


Fig. 7 Rolling and heaving motions.

Table 2 Response of MH at sea state 3

Shape of ship	Heaving	Rolling
Catamaran	14.6 cm	0.198 degree
Mono hull	14.3 cm	2.167 degree

Note) Reported by Mechanical Engineering of KAIST.

Table 3 Descending process

Stage	1	2		
Time(sec)	0~2	2~4		
Speed	Constant(2 m/s)	Deceleration		
Stage	3	4	5	6
Time(sec)	4~6	6~7	8~14	14~20
Speed	Constant (0.04 m/s)	Accelerati on	Constant (1 m/s)	Preparation for landing

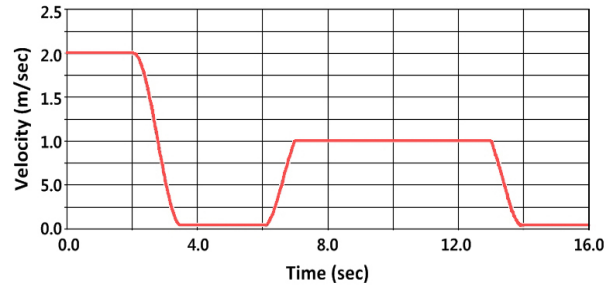


Fig. 8 Velocity control of the descending container on the MH.

#### 4.2. 모바일하버의 운동

본 연구에서는 회전운동인 롤링과 병진운동인 히빙만을 고려하여 시뮬레이션 하였다. ADAMS 시뮬레이션에서는 해석 시간 간격을 0.0001초로 하고 60 초 동안의 운동을 해석하였다. 모바일하버는 파도의 파형을 따라 운동한다고 가정하고 롤링과 히빙은 정현파(sinusoidal wave)로 합성하여 운동하도록 정의했다. 이때 회전운동이 수면에 대하여 최소일 때 상하운동은 최대가 되도록 하였고, 반대로 수면에 대하여 최대 각을 이룰 때 상하운동은 최소가 되도록 설정하였다. Table 2는 어떠한 계류 장치가 없는 상태에서 파도에 의한 모바일하버의 운동응답에 관한 것으로 이 내용에 기초하여 본 논문에서는 모바일하버에 적재된 컨테이너의 운동을 계산하였다.

#### 4.3 컨테이너 적재 유도 시스템

컨테이너 적재 유도 가이드는 가이드를 확장하여 컨테이너가 셸 내부로 진입할 수 있는 여유 공간을 제공할 수 있도록 회전이 가능하다. 컨테이너의 하역은 크레인의 부착된 네 개의 와이어에 의해 제어된다는 것으로 가정하였다. 적재 유도 가이드와 컨테이너 사이의 접촉은 하역작업 시에 불가피하다. 효과적인 적재 유도 시스템의 결정은 두 물체 사이에 접촉반력에 기초하고, 적재 유도 시스템의 조인트 반력과 충격량도 고려해야 한다.

모바일하버의 운동은 고정되지 않은 컨테이너의 운동에 적용한 것과 동일하게 설정하였고, 컨테이너는 크레인(crane)에 부착된 스프레더에 의해 낙하되도록 하였다. 컨테이너의 적재 위치는 모바일하버에서 운동의 변위가 가장 클 것으로 예상되는 최외곽 지점에 적재되도록 하였고, 적재 시 크레인의 작동 오차 범위를 고려하여 정상 적재 위치에서 외

쪽으로 30 cm 이동하여 낙하하도록 설정하였다. 길이가 1.4 m인 적재 유도 가이드의 회전각  $\psi$ 에 대하여 10~30°까지 5° 간격으로 증가시키면서 그 영향에 대하여 분석하였다. 또한 컨테이너의 하강 시 충격을 줄이기 위해 Table 3과 Fig. 8에서와 같이 화물칸 진입 전 2단계, 진입 후 4단계, 모두 6단계 구간으로 낙하속도를 설정하고 신속한 적재가 이루어질 수 있도록 20초 내에 적재가 가능한 작업을 구현하였다.

### 5. 결과 및 고찰

#### 5.1 적재된 상태에서의 컨테이너 운동 경향

롤링의 회전각 주파수  $\omega$ 와 회전각도  $\theta$ 는 컨테이너의 변위에 상당한 영향을 미치는 것으로 해석결과 나타났다. 히빙의 상하변위  $h$ 는 컨테이너의 운동에 영향이 작은 것으로 나타났다.

Fig. 9는 각 단계에 적재된 컨테이너의 수평변위의 변화를 시간에 따라 나타낸 것이다. 여러 단으로 적재된 컨테이너의 운동은 적재높이가 높을수록 보다 큰 운동을 한다는 것은 쉽게 예측할 수 있다. 모바일하버가 60초 간 운동했을 때, 3단에 적재된 컨테

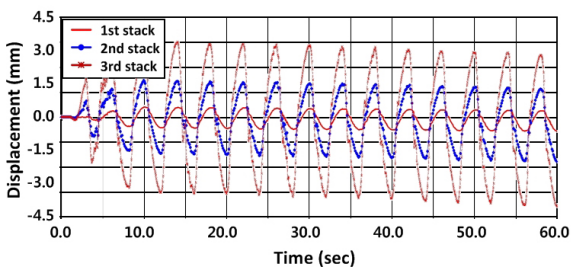


Fig. 9 Comparison of displacements of three containers stacked on the MH.

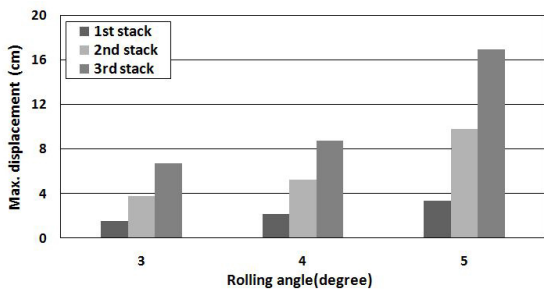


Fig. 10 Maximum displacement of each containers compare with angle of rolling motion.

이너는 초기위치에서 최고 0.4 cm 변화했고, 2단과 1단에 적재된 컨테이너는 각각 0.2, 0.06 cm 변화하는 경향을 보였다. Fig. 10은 롤링회전각 주파수 및 히빙의 상하변위를 고정하고 롤링 회전각도 따른 컨테이너의 수평변위의 변화를 나타낸 것이다. 컨테이너의 수평변위는 시간이 지남에 따라 발산하는 경향을 보여 결국에는 컨테이너가 모바일하버 외부로 굴러 떨어지는 현상이 나타날 것으로 생각된다. Fig. 11은 모바일하버의 운동조건 중 롤링 회전각이 5°, 롤링 회전각 주파수가 0.3 Hz, 롤링 상하변위가 0.7 m인 경우 컨테이너의 운동을 구속하는 장치가 없을 때 14.3 초 이후에 모바일하버에서 이탈하는 것을 보여준다.

#### 5.2 컨테이너 적재 유도 시스템의 효과

Fig. 12에서는 접촉반력  $F_c$ 의 시간 경과에 따른 최대 값을 나타낸다. 이 그림에서는 0.883초에 접촉을 시작하여 0.095초 동안 접촉이 일어났으며, 0.931초에 최대 접촉 반력 10.91 kN으로 나타났다. 다른 최대 값들도 이러한 방법으로 계산하였다.

Fig. 13 (a), (b), (c), (d)에서는 각각 컨테이너의 진입 여유 공간, 최대 접촉 반력, 최대 조인트 반력과 최대 충격량을 나타낸 것이다. Fig. 13 (a)는 컨테이너 진입 여유 공간  $\lambda$ 가 적재 유도 가이드의 회전각(Fig. 2 참조)이 증가됨에 따라 선형적으로 커지는 것을 나타낸 것이다. 회전각  $\psi$ 가 30°일 때 진

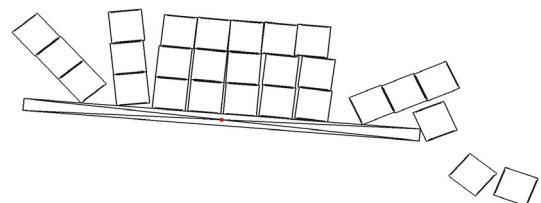


Fig. 11 Disastrous movements of containers in a severe sea condition.

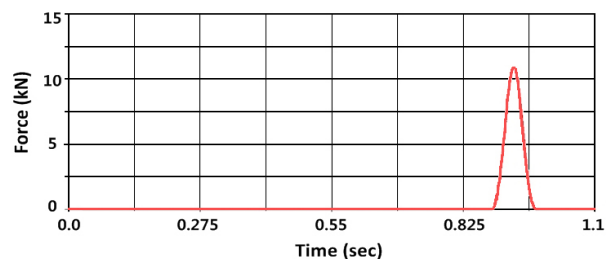


Fig. 12 Time history of the contact force at 20 degrees of cell-guide angle.

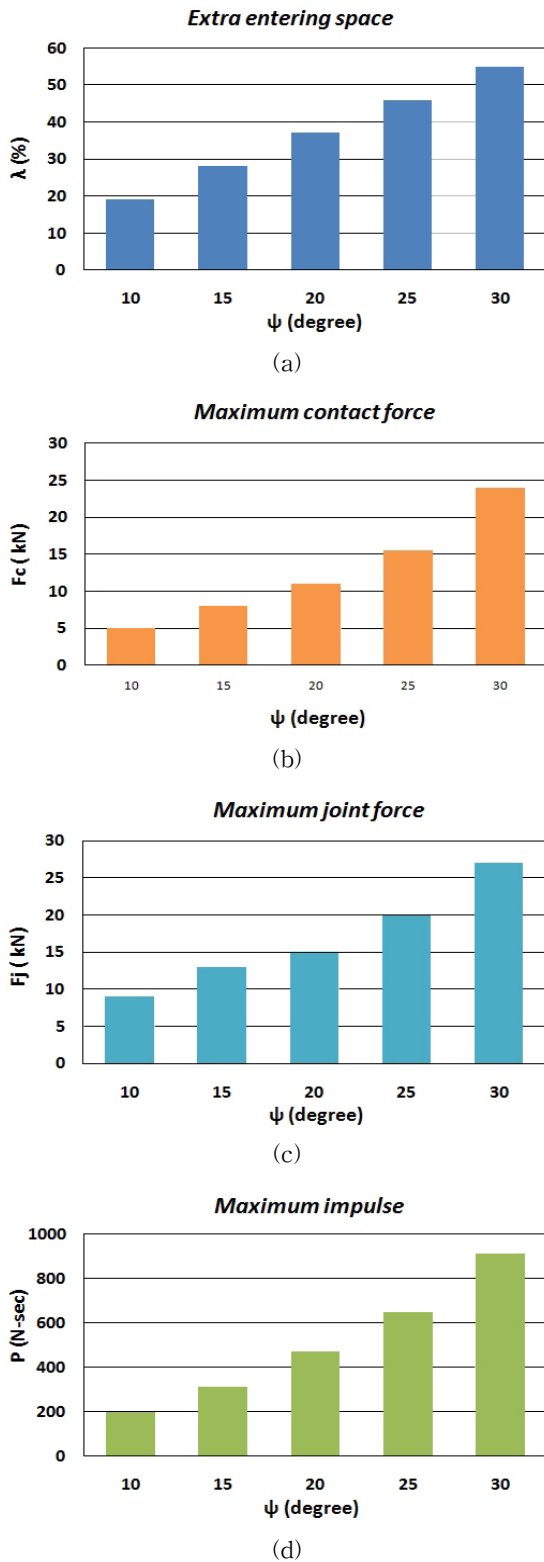


Fig. 13 Simulation results of (a) the extra space for container entry, (b) the maximum contact force, (c) the maximum joint force and (d) the maximum impulse.

입 여유 공간은 회전각이 0°일 때와 비교했을 때 55% 이상 증가하였다. Fig. 13 (b)는 컨테이너와 적재 유도 가이드 사이의 최대 접촉 반력  $F_c$ 가 회전각  $\psi$ 가 증가함에 따라 5~23 kN으로 비선형적으로 증가한다는 것을 보여준다. Fig. 13(c)는 적재 유도 가이드의 최대 조인트 반력  $F_j$ 가 최대 접촉반력의 증가 경향과 유사하게 9~27 kN의 범위에서 비선형적으로 증가하였다. 특히 회전각  $\psi$ 가 25°와 30° 사이에서 급격한 변화를 보이는 것으로 나타났다. Fig. 13(d)는 최대 충격량  $P$ 가 200~900 N-sec의 범위에서 포물선 형태로 증가하는 경향을 보여준다.

컨테이너와 적재 유도 가이드가 최초 접촉유지 시간을 분석한 결과 회전각이 10°일 때 81.6 ms, 15°일 때 82.0 ms, 20°일 때 93.5 ms, 25°일 때 94.1 ms, 30°일 때 95.6 ms으로 나타나  $\psi$ 가 작을수록 접촉시간도 감소하는 경향을 보였다.

## 6. 결론

본 연구에서는 모바일하버에 적용 가능한 새로운 개념의 컨테이너 적재 유도 시스템을 제안하였다. 모바일하버에 적재된 컨테이너의 운동을 동역학 시뮬레이션을 통해 해석한 결과는 다음과 같다.

모바일하버의 롤링의 회전각 주파수  $\omega$ 가 클수록 변위가 커짐을 알 수 있었으며, 롤링 회전각도  $\theta$ 가 클 때도 비슷한 경향을 보였다. 특히 롤링 회전각도  $\theta$ 가 5°일 때의 컨테이너의 최대 수평 변위는 3~4°일 때보다 최대 2배가량 많이 발생함을 알 수 있었다. 해상 상태가 악화되는 등의 불규칙한 운동이 발생할 것을 고려한다면 롤링 회전각도가 5°이상인 경우 모바일하버 상부에 적절한 고정 장치 없이 적재된 컨테이너의 안전 및 모바일하버의 안정성에도 문제가 발생할 것으로 예측된다.

컨테이너 적재 유도 가이드의 회전각  $\psi$ 를 결정할 때 컨테이너의 진입 여유 공간과 최대 반력을 동시에 고려해야 한다. 컨테이너 진입 여유 공간을 고려한다면 적재 유도 가이드의 회전각은 20~30°가 적절하지만, 반력을 고려한다면 10~20°가 적절하다. 회전각  $\psi$ 가 증가할 때 최대 접촉 반력과 조인트 반력은 커진다는 것을 알 수 있다. 회전각이 감소할수록 반력이 줄어들지만 컨테이너 진입 여유 공간이 감소하여 하역작업이 어려울 수 있다. 그러므로 컨테이너 적재 유도 가이드의 회전각  $\psi$ 는 수직축을 기준으로 20° 내외에서 선택하는 것이 바람직하다.

해상에서 작업하는 모바일하버가 외력에 의해 요

동하는 상태에서는 다층으로 적재된 컨테이너의 운동을 구속할 수 있는 고정 장치가 필요함을 본 연구를 통해 알 수 있었다. 본 연구에서 제안된 컨테이너 적재 유도 시스템은 상 하역 작업시간을 상당히 단축시킬 수 있으며, 이것은 모바일하버의 효율성을 증대시킬 수 있을 것이라 기대된다.

## 후 기

본 논문은 교육과학기술부와 KAIST의 지원으로 수행된 연구 ‘모바일하버 원천기술개발’ 과제의 연구결과 중 일부임을 밝힙니다.

## 참고문헌

1. Cho, Y. J., 2009, A study on statistical method for the light weight estimation of ultra large container ships, Journal of the Korean Society of Ocean Engineering, Vol. 23, No. 3, pp. 14-19.
2. Kim, Y. B., 2009, Motion response and mooring analysis of mobile harbors moored in side-by-side, Journal of the Korean Society of Ocean Engineering, Vol. 23, No. 6, pp. 53-60.
3. Kwak, B. M., 2009, Development of original technologies for mobile harbor, Reported by mechanical Engineering of KAIST.
4. Lee, S. K., 2008, Introduction of shipping calculation and stability, Pusan National University Press, pp. 11-154.
5. Lee, S. K., 2004, Ship motion and maneuverability, Pusan National University Press, pp. 9-24.
6. Lee, H. Y., Kwak, Y. K. and Park, J. H., 2006, Wave-induced motion of a floating body in a harbor, Journal of the Korean Society of Ocean Engineering, Vol. 20, No. 2, pp. 36-40.
7. Kim, M. H. and Koo, B. J., 2005, Hydrodynamic interactions and relative motions of two floating platforms with mooring lines in side-by-side offloading operation, Applied Ocean Research, Vol. 27, No. 6, pp. 292-310.
8. Cho, S. H. and Bang, K. S., 2007, Motion of buoyant objects on regular waves, Journal of the Korea Contents Society, Vol. 7, No. 4, pp. 170-177.
9. World Meteorological Organization, 1964, Pierson-Moskowitz sea spectrum.
10. Korean Standards Association, 2003, KS T ISO 1496-1.