

시뮬레이션 기반의 설계기법을 이용한 컨테이너 적·양하 시뮬레이션*

Simulation of Container Loading/Unloading Operation Using Simulation Based Design Methodology

김홍태**, 이순섭**, 이종갑**, 장동식***

Hongtae Kim, Soon-Sup Lee, Jong-Gap Lee, Dong-Sik Jang

Abstract

Recently, the usage of containers in marine transportation is rapidly increasing. The problem of ship stability is important because of its direct influence to the loss of the human-life, ship, and merchandise. However, the assessment for ship stability during container loading/unloading in port is dependent on human experience only. On the other hand, the emerging information and communication technologies of shipbuilding industrial environments are rapidly changing. To respond to the situation, a new paradigm has been matured with new concepts such as the concrete method. Especially, all the efforts are shown to be concentrated to realize the concept of Simulation Based Design(SBD) based on three dimensional Computer Aided Design(CAD) model. In this paper, ship model-based simulation methodology for design and operation of ship is suggested, and for the verification of suggested methodology, the system for stability assessment of ship during container loading/unloading was developed using ENVISION, a general-purpose simulation system. The developed system consists of geometric modeling subsystem, basic calculation subsystem, and Computer Aided Engineering(CAE) subsystem. In addition, interface to CAE/CAD /Simulation system such as SIKOB and ENVISION is provided.

Keywords: Simulation Based Design, Container Loading/Unloading, Ship Stability

* 본 논문은 한국해양연구원 해양시스템안전연구소에 수행한 2000년도 기본연구사업인 "모델기반 공학 시뮬레이션 기술개발" 과제의 연구결과 중 일부이다.

** 한국해양연구원 해양시스템안전연구소

*** 고려대학교 산업시스템정보공학과

1. 서론

1980년대 이후로 컨테이너 선박에 의한 운송의 비중이 지속적으로 증가되어 왔다. 적·양하 작업의 신속함과 육상운송 시스템과의 연결 용이성이라는 장점으로 인하여, 규격화된 컨테이너를 통해서 운반하는 방법이 급격히 증가하고 있으며, 추후 대부분의 해상화물들은 컨테이너 화물화 되어갈 것으로 여겨진다. 이렇게 컨테이너 선박을 이용한 해상 물동량이 증가함에 따라, 컨테이너선의 규모도 그동안 대형화가 급격히 진행되었다.

한편, 중국 및 동남아시아 국가와의 교역이 증가하고 있고, 국내 육상운송체계의 비용이 계속적으로 높아지고 있는 과정에서, 항구의 규모에 제약을 받지 않는 고속 중소형 컨테이너선의 수요가 요구되고 있다.

이러한 고속 중소형 컨테이너선은 대형 컨테이너선에 비해, 항구 내에서 컨테이너 적·양하 작업시 선박의 안정성 문제가 매우 중요한 요소로 알려져 있다[10]. 그러나 기존의 컨테이너 터미널과 관련된 항만 물류 시뮬레이션 연구들의 목적은 터미널의 운영대안의 평가나 성능분석이 주류를 이루고 있으며[11], 컨테이너선의 안정성의 평가를 위한 시뮬레이션에 관한 연구는 이루어지지 않고 있다.

본 연구에서는 이러한 안정성 문제를 해결하기 위해, 급격히 발전하고 있는 컴퓨터 및 관련 기술을 바탕으로 선박의 설계, 건조 및 테스트에 걸친 전 과정을 혁신적으로 변화시키기 위해 제안하고 추진하고 있는 엔지니어링 개념인 시뮬레이션기반 설계(Simulation Based Design ; SBD) 기술을 활용하였다.

이를 위해 본 연구에서는 SBD에 대한 개념과 세부기술들 및 국내외의 기술현황에 대해서 간략하게 소개하였으며, SBD 개념의 실용화를 위해서 해결하여야 할 문제점들을 정리하였다. 또한, SBD 기술의 핵심기술인 모델링 및 시뮬레이션(Modeling and Simulation ; M&S)을 이용하여 고속 중소형 컨테이너선의 적·양하 작

업에 따른 선박의 안정성 평가와 적·양하 방법과 크레인 수 및 위치결정을 할 수 있도록 개발된 모델 기반의 컨테이너 적·양하 프로토타입 시뮬레이션 시스템의 개발내용을 소개하고자 한다.

2. SBD 기술

SBD란 가상환경에서 3차원 CAD제품모델을 토대로 가상 프로토타이핑과 시뮬레이션 기술을 결합하여 선박의 설계, 건조, 시험, 운용 및 유지보수의 전 단계에 걸친 제반 자원들을 통합하고 실시간 지원하기 위한 컴퓨터 기반 엔지니어링의 새로운 개념이자 기술이다.

조선 및 해양 공학분야에서는 새로운 개념의 초고속화물선, WIG선, 잠수함, 구축함이나 대규모 해양 구조물의 개발에 필요한 막대한 예산, 인력 및 기간 등을 획기적으로 줄이기 위한 방안으로 SBD 기술이 중요한 핵심기술로 대두되고 있다. 이러한 SBD의 실현을 통해 새로운 선박의 설계 및 개발과정, 즉, 개념적인 요구사항이 제품으로 구체화되는 과정에서 발생하는 기능적인 해석 및 평가, 시스템/부품 상호간의 상호간섭, 최적운용 및 유지보수의 확보 등 제반 기술적인 문제들을 컴퓨터 기반의 가상세계에서 구현하고 검증할 수 시뮬레이션 시스템을 개발할 수 있다.

최근에 국방 분야를 중심으로 SBD 기술에 대한 관심이 고조되고 있고, 학계 및 산업계에서도 이러한 모델링 및 시뮬레이션 기술을 응용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다[1][2].

현재까지 SBD 기술과 관련하여 조선 및 해양분야에서 이루어지고 있는 연구들은 주로 미 해군과 대학을 중심으로 진행되고 있으며, 영국의 경우에는 University of Strathclyde의 선박해양공학과(Department of Ship and Marine Technology)에서 선박의 생존성 연구 및 인간요소와의 인터페이스에 관한 연구가 진행되어 지고 있다. 이와 같은 연구들을 정리하면 다음과 같다.

먼저, University of Strathclyde의 선박해양

공학과(Department of Ship and Marine Technology)에서는 RO-RO(Roll-On Roll-Off)선에 대한 안전설계 프로젝트 내에서 손상선박의 전복과정 시뮬레이션 및 여객선에서 화재나 폭발로 인한 승객들의 비상 구출과정 시뮬레이션 등을 개발하고 있다[3]. 미해군의 경우에는 차세대 수송함인 LPD-17의 설계, 생산, 운영시스템의 평가 및 시뮬레이션을 행했으며[4], University of Michigan 조선해양공학과(Department of Naval Architecture and Marine Engineering)의 VR 연구실에서는 ship motion simulation, virtual simulation of shipbuilding process에 대한 연구가 진행되고 있다. 그 외에도 General Dynamics Electric Boat Division 사의 NSSN 잠수함 설계, GCRMTC(Gulf Coast Region Marine Technology Center)[5]의 Mobile Offshore Base 등이 있으며 이 과정에서 개발되어 사용된 기술 및 도구들이 상품화되고 있다.

최근 국내에도 SBD에 대한 개념과 상용도구들이 소개되기 시작하면서 관련 기술의 적용을 위한 검토와 연구개발이 연구소를 중심으로 해군, 대학 및 산업체로 급속도로 확산되고 있다.

그러나, SBD 개념의 실용화를 위해서는 고성

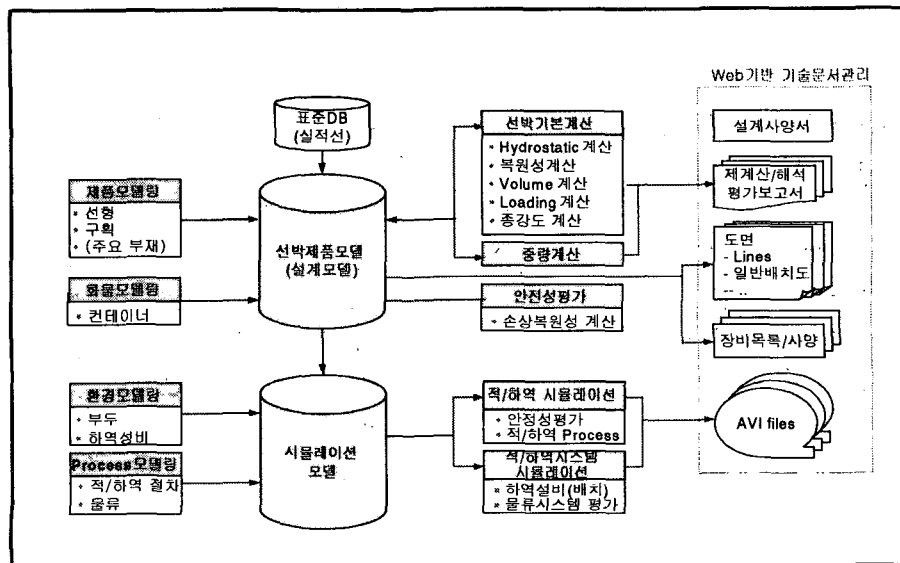
능 계산능력(High Performance Computing)과 고성능 가시화(High Performance Visualization), 고속 네트워킹, CAD/CAM/CAE의 통합, 소프트웨어 표준, 그리고 데이터교환 표준 등이 해결되어야 하는 문제점 또한 가지고 있다.

3. 컨테이너 적·양하에 따른 선박의 안정성 시뮬레이션

3.1 개요

본 연구에서는 SBD 개념 및 관련기술을 이용하여 중소형 고속 컨테이너선(300 TEU)의 개발과 관련한 항만에서의 컨테이너 적·양하 시스템 설계 및 안정성 평가를 시도하였다. 이를 위해서 중소형 고속 컨테이너선, 컨테이너선 전용부두, 하역장치 및 컨테이너에 대한 형상모델링을 수행하였다. 또한 컨테이너 적·양하시 선박의 안정성을 평가할 수 있는 프로그램을 개발/통합하였다.

<그림 1>은 고속 중소형 컨테이너선의 적·양하 시뮬레이션 시스템의 구성도를 나타낸 것이다.



<그림 1> 컨테이너 적·양하 시뮬레이션 시스템의 구성도

3.2 그래픽 사용자 인터페이스

많은 CAD 시스템뿐만 아니라 시물레이션 시스템들은 시스템의 유연성과 작업효율성을 높이기 위해서 시스템에 적합한 그래픽 사용자 인터페이스(Graphical User Interface ; GUI)를 개발하여 사용하고 있다.

일반적으로 그래픽 사용자 인터페이스는 입력의 가시화, 각 모듈간의 유연한 접속, 중간과정 및 최종결과와의 가시화에 대한 측면을 고려하여 설계되어야 한다. 또한 그래픽 사용자 인터페이스 설계를 통해서, 구현하고자 하는 시스템의 기능과 시스템의 효율성을 개발단계에서 어느 정도 검증할 수 있다.

본 연구에서도 보다 사용자의 편리성 및 시스템의 개발단계별 기능들을 검증하기 위해서 그래픽 사용자 인터페이스를 설계, 적용하였다. 모델 기반 컨테이너 적·양하 시물레이션 시스템에 대한 그래픽 사용자 인터페이스는 상용 시물레이션 도구인 ENVISION 시스템에서 제공하는 GSL(Graphic Simulation Language), CLI(Command Line Interpreter) 함수들을 이용하여 구현하고자 한다. 각각의 명령어나 시물레이션에 필요한 기능들이 메뉴로 정의되며, 최상위 명령어가 최상위 메뉴가 된다. 하나의 명령

어에 속하는 세부명령어들은 풀다운 메뉴로 구성되어진다.

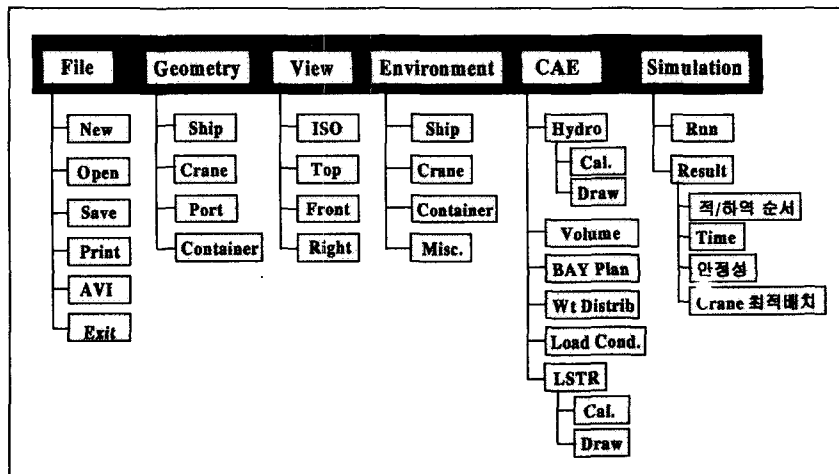
모델 기반 컨테이너 적·양하 시물레이션 시스템의 프로토타입을 개발하기 위해 <그림 2>와 같은 메뉴들의 계층을 구성하였다.

[FILE] 메뉴에서는 상용 시물레이션 도구인 ENVISION 상에서 컨테이너 적·양하 시물레이션 프로토타입 시스템을 수행할 수 있는 워크셀(workcell) 파일과 디바이스(device) 파일을 정의하고 이를 관리할 수 있는 기능을 나타낸다.

[GEOMETRY] 메뉴는 컨테이너 적·양하 시물레이션을 위해서 이미 CAD 시스템에서 모델링되어 데이터베이스에 저장되어 있는 선박의 외관형상, 구획, 크레인 및 항구형상들에 대한 정보를 읽어 오는 것이다.

[ENVIRONMENT] 메뉴는 워크셀을 꾸미기 위해 필요한 환경변수들을 지정하고 각각의 디바이스들을 정의한다.

[CAE] 메뉴는 컨테이너 적·양하 시물레이션 프로토타입 시스템을 수행하는데 필요한 해석 및 계산을 수행한다. 시물레이션 과정에서 CAE(Computer Aided Engineering) 프로그램 수행에 필요한 데이터를 생성하는 방법은 ENVISION 시스템에서 제공하는 GSL(Graphic



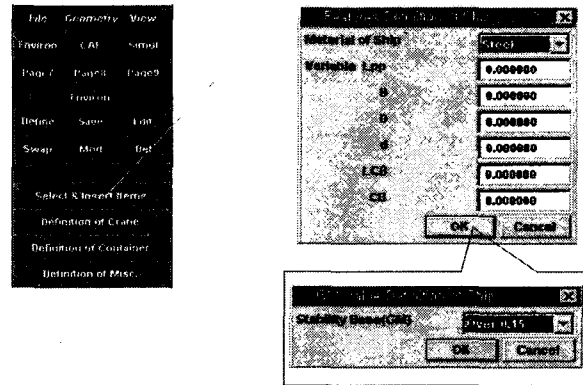
<그림 2> 메뉴의 계층구조

Simulation Language) 함수를 이용하며, CAE 프로그램 수행은 CLI(Command Line Interpreter) 함수를 이용하게 된다. CAE 프로그램 수행으로 생성되는 결과데이터 파일과 입력데이터 파일은 정해진 디렉토리에 보관되도록 하였다. 수행할 수 있는 CAE 프로그램으로는 hydrostatic 계산, 각 구획의 용적계산, 중량분포 자동생성, 컨테이너 적·양하에 따른 선박의 안정성 평가 및 선박과 항구사이의 충돌 검사 등이 있다. 또한 임의의 프레임에서 컨테이너의 적재상태를 알 수 있는 '컨테이너 Bay Plan'을 생성하도록 하였다.

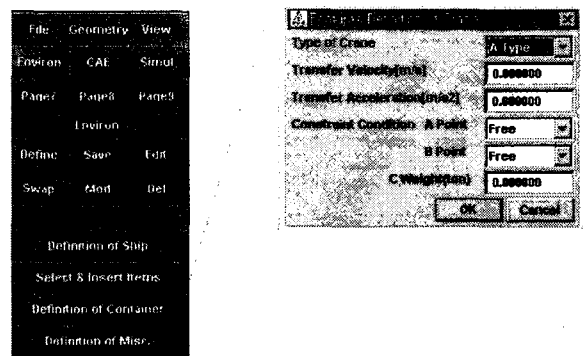
[SIMULATION] 메뉴에서는 디바이스, 프로그램들과 동작 데이터로 이루어진 워크셀을 동시에 동작시키고 시간에 따라 그 동작을 분석할 수 있게 하였다.

<그림 3>은 [ENVIRONMENT] 메뉴의 서브 메뉴인 [Definition of Ship] 메뉴를 선택하였을 경우에 나타나는 화면이다. 그림에서 보듯이 geometry 상에서 선택한 선박의 파라미터들이 디폴트(default) 값으로 가시화되지만, 사용자가 원하는 경우에는 그 변수 값들을 수정할 수 있도록 하였다. 'Material of Ship'의 값은 디폴트 값으로 'Steel'이 설정되어 있다. 선박의 파라미터 값들을 정의하고 [OK] 버튼을 선택하면, 컨테이너 적·양하시 선박의 안정성 평가를 위한 기준을 입력하는 화면이 가시화된다. 컨테이너 적·양하 시뮬레이션 프로토타입 시스템에서 선박의 안정성을 평가하는 방법은 항만과 선박의 충돌여부로 평가하는 방법과 선박의 안정성의 기준이 되는 GM값으로 평가하는 방법이 있으며, 이 화면에서는 후자의 방법에 대한 기준치를 입력하도록 하였다.

<그림 4>는 [ENVIRONMENT] 메뉴의 서브 메뉴인 [Definition of Crane] 메뉴를 선택하였을 경우에 나타나는 화면이다. 이 화면에서는 RMGC(Rail Mounted Gantry Crane) 혹은 크레인 디바이스에 관련된 속성(attribute)들을 설정하며, 크레인의 형식, 이동속도, 이동 가속도, 구속조건들을 정의할 수 있다.



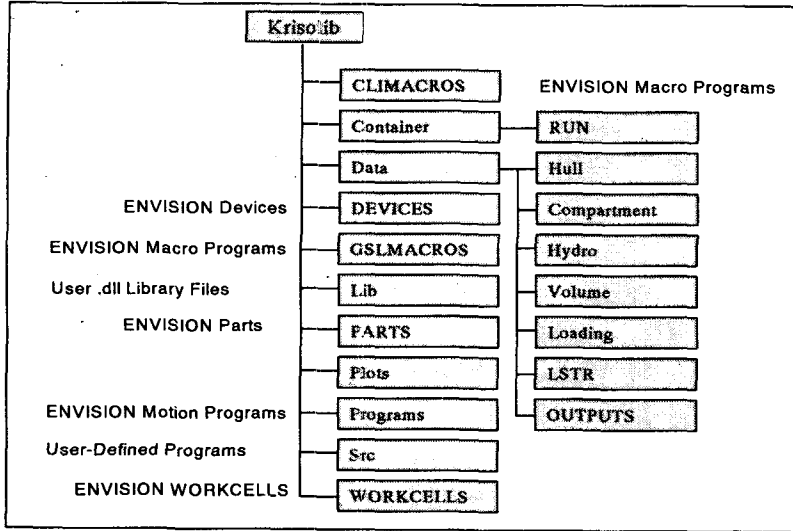
<그림 3> 안정성 평가를 위한 주요 치수 및 기준의 정의



<그림 4> 크레인의 Kinematics 정의

컨테이너 적·양하 시뮬레이션 프로토타입 시스템에서는 시뮬레이션내의 각종 요소들(선형/구획/화물/항만모델, CAE 입/출력 데이터 파일, 구동환경 파일 등)을 분류하여 그 정보들을 디렉토리(directory)별로 저장하였다. 여기서 말하는 디렉토리는 UNIX나 DOS상에서의 디렉토리 개념뿐만 아니라 시뮬레이션 과정에서 발생하는 내부 데이터 및 외부 데이터들을 저장하기 위한 가상적인 계층구조를 포함한 개념이다.

<그림 5>는 컨테이너 적·양하 시뮬레이션 프로토타입 시스템의 구성을 나타내는 디렉토리의 계층을 나타낸 것이다.



<그림 5> 데이터 관리를 위한 Directory 구조

3.3 모델링

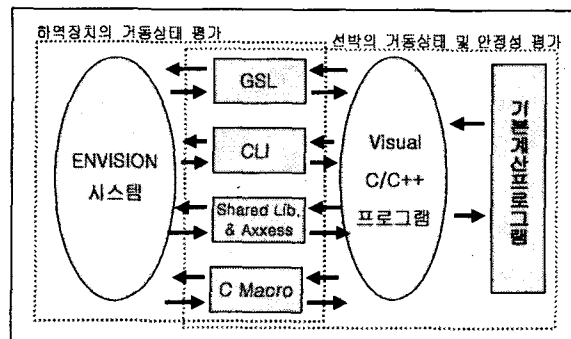
고속 중소형 컨테이너선의 선체외판형상은 컨테이너 적·양하 시물레이션을 보다 효율적으로 수행하기 위해서 상용 CAD 시스템을 이용하여 3차원 곡면으로 모델링 하였으며, 구획 배치모델링은 정의하고자 하는 구획을 둘러싸고 있는 경계곡면들을 정의하고 그 다음에 경계곡면들로 이루어진 구획을 정의하는 순서로 진행하였다. 경계곡면은 평면 혹은 선체외판과 같은 자유곡면이 사용되어진다[6]. 화물모델링은 선박에 적재되어지는 컨테이너에 대한 정보를 모델링하는 것으로 적재되는 컨테이너의 개수는 300 TEU이며 모두 갑판(deck) 상부에 적재되도록 모델링하였다.

3.4 CAE 인터페이스

컨테이너 적·양하 시물레이션 프로토타입 시스템에 사용되어지는 CAE 프로그램들을 분류하면 크게 선박의 유체정역학적 특성 평가, 하역장치의 거동상태 평가 및 컨테이너 적·양하시 안정성 평가 프로그램으로 나눌 수가 있겠다. 선박 및 컨테이너 적·양하시 안정성을

평가는 선박설계시 이용되어지는 선박기본계산 프로그램을 응용하여 사용하였으며, 하역장치의 거동상태 평가는 ENVISION시스템에서 제공하는 계산모듈들을 이용하여 구현하였다[7][8].

<그림 6>은 ENVISION과 CAE 프로그램과의 인터페이스 과정을 표현한 것으로, ENVISION과 CAE 프로그램과의 인터페이스는 윈도우환경에서 수행되어지는 Visual C/C++ 언어를 중심으로 ENVISION에서 제공되어지는 인터페이스 함수들(GSL, CLI함수)을 이용하여 이루어진다.



<그림 6> CAE 인터페이스 방법

<그림 7>은 컨테이너 적·양하 시뮬레이션 과정에서 교차기법을 이용하여 항만과 선박의 충돌검사를 수행하는 프로그램을 나타내고 있다.

```

PROGRAM coll_check
BEGIN
  main_part = 'containership:containership'
  CI ( "inquire all part names" )
  split_string ( ci_msg, ",", str_1, rem_str )
  num_parts = val( str_1 )
  indx = 0

  --- collision checks and preparation of collision list
  for ii = 0 to ( num_parts - 1 ) do
    ci( "add collision check between part "
      "+main_part+" and part "+part_list[ii]+" )
  endfor

  ci( "set collision checks to on" )
  ci( "message mode usermsg" )
  co_indx = 0

  for ii = 0 to ( num_parts - 1 ) do
    ci( "inquire part "+main_part+", part "
      "+part_list[ii]+" collision status" )
    if ( ci_status = CI_COLLISION ) then
      ci( "clearcimsg" )
      coll_list[co_indx] = main_part+", "+part_list[ii]+",
        COLLISION"
      co_indx = co_indx + 1
    endif
    ci( "clearcimsg" )
  endfor

  --- selection of specific collision and window creation
  split_string(coll_list[choice], ",", main_part, rem_str )
  split_string(rem_str, ",", part_2, rem_str )

  ci( "create window 'Containership_Collision,'"
    +str("%g", choice+1) +'" )
  ci( "select window 'Containership_Collision,'"
    +str("%g", choice+1) +'" )
  ci( "track part "+part_2+" )
  ci( "disable tracking" )

  endwhile
  ci( "clearmsg" )
  ci( "clearcimsg" )
  ci( "message mode allmsg" )
END
    
```

<그림 7> 충돌검사 프로그램

3.5 안정성 평가 기준

선박의 안정성을 평가하는 기준으로는 복원력이 이용되어진다. 여기서 복원력이란 평형위치에서 외력에 의한 작은 경사가 이루어지더라도 정위치로 되돌아오는 성질을 말한다. 일반적으로 복원력에는 중복원력과 횡복원력이 있으며, 중복원력의 부족으로 선박이 전복될 수는

없으므로, 선박의 안정성 평가에 대해서는 횡복원력만 고려한다.

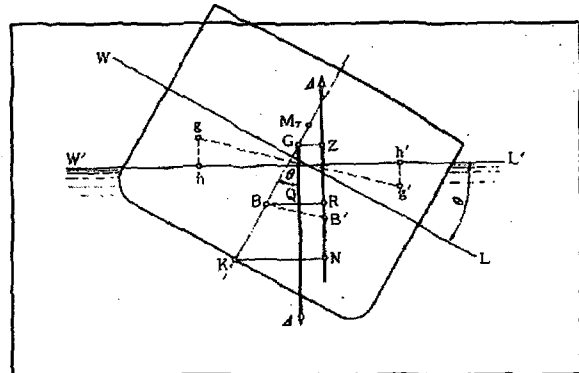
안정성 평가를 위한 기준으로는 메타센터(metacenter)의 높이인 GM 값과 복원암(righting arm) GZ의 값을 사용한다. 임의의 경사에서의 안정성을 평가하는 방법으로 애트우드식(Attwood's Formula)을 이용하였다[10]. 먼저, 안정성(Stability ; S)을 계산하는 식은 (1)과 같다.

$$S = \Delta \cdot GZ \tag{1}$$

<그림 8>에서 $\Delta \cdot GZ = \Delta \cdot GM \cdot \sin \theta$ 이므로

$$GZ = GM \cdot \sin \theta \tag{2}$$

- 여기서, S : Stability
- Δ : Displacement
- GZ : Righting arm
- GM : Transverse metacenter height
- θ : Angle of heel



<그림 8> 선박의 안정성

식(2)에서 복원암(righting arm) GZ를 구하는 방법은 다음과 같다. <그림 8>에서 $BB' // gg'$ 이기 때문에 $\nabla \cdot BB' = v \cdot gg'$ 이므로,

$$\frac{BB'}{gg'} = v / \nabla, \quad \frac{BR}{hh'} = v / \nabla$$

- 여기서, ∇ : Volume
- v : 물입부의 용적

<그림 8>에서 $GZ = BR - BQ$ 이므로

$$S = \Delta \cdot (BR - BQ)$$

$$= \Delta \cdot (hh' \cdot (\nu / \nabla) - BG \cdot \sin \theta)$$

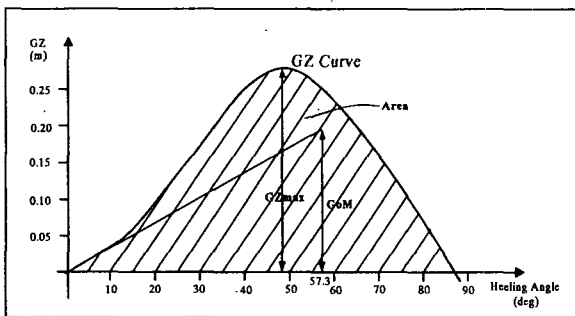
$$\therefore GZ = (hh' \cdot (\nu / \nabla) - BG \cdot \sin \theta) \quad (3)$$

식(3)을 KN 및 KG를 이용하여 다시 나타내면 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$GZ = KN - KG \cdot \sin \theta \quad (4)$$

여기서, KN : Displacement lever about base line at centerline
 KG : Center of gravity above BL

컨테이너선에 대한 비손상 상태에서의 안정성 기준은 국제해사기구(International Maritime Organization) Res. A. 167(IV)에서 규정하고 있으며, 비손상 상태의 안정성 기준은 <그림 9>와 같다.



1. Initial GM(GoM) ≥ 0.150 m
2. Maximum GZ(GZmax) ≥ 0.200 m
3. Angle of Maximum GZ ≥ 25.0 deg
4. Area between 0 and 30 deg ≥ 0.055 M-Rad
5. Area between 0 and 40 deg ≥ 0.090 M-Rad
6. Area between 30 and 40 deg ≥ 0.030 M-Rad

<그림 9> IMO의 안정성 기준

3.6 컨테이너 적·양하 방법의 평가

컨테이너선에 화물을 적·양하하는 작업방법을 평가하는데는 여러 가지 방법이 있지만, 본 연구에서는 적·양하 방법에 대한 결정과 크레인의 수 및 위치 결정에 대해 평가하였다.

3.6.1 적·양하 방법 결정

컨테이너를 적·양하하는 방식은 크게 수평식과 수직식 방법으로 분류하였다. 수평식 방법은 컨테이너를 행(行)방향으로 적재하거나 하역하는 방법을 나타내며, 수직식 방법은 열(列)방향으로 적재하는 방법이다. 컨테이너 적·양하 작업에 있어서 크레인 이송방향 및 속도를 결정하는 것도 매우 중요한 요인이 되며, 특히 크레인의 이송속도는 컨테이너 1개를 적·양하하는데 걸리는 시간에도 영향을 미친다. 일반적으로 적·양하 작업방법에 관계없이 컨테이너 1개를 적·양하하는데 소요시간은 대략 2분이 소요되기 때문에 크레인의 이송속도는 1 m/sec로 하였다. 크레인의 이송방향은 선박의 길이 방향, 폭 방향 및 깊이방향에 평행하도록 설정하였다.

<표 1> 컨테이너 적·양하 작업방법에 따른 평가 결과

작업방법	소요시간(sec)	비고
수평식	665.958	- 컨테이너 4개 - 크레인 속도
수직식	666.276	(1 m/sec)

<표 1>은 컨테이너 적·양하 작업방법을 비교 평가한 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 두 가지 작업방법에 소요되는 시간은 거의 차가 없는 것을 알 수 있다. 그러나 선박의 안정성을 고려한다면 좌현 혹은 우현 한쪽에서만 집중적으로 적·양하하는 수직식 방법보다는 좌/우현을 번갈아가면서 작업하는 수평식 방법이 더 유리할 것으로 여겨진다.

3.6.2 크레인의 수 및 위치 결정

컨테이너 적·양하 작업에 있어서 크레인 수의 결정은 적·양하의 시간 및 운임에 직접적인 영향을 미친다. 크레인의 수가 많으면 적·양하에 소요되는 시간은 짧지만, 적·양하 비용이 많이 소요되어진다. 일반적으로 크레인 수의 결정은 선박의 크기 및 적·양하에 소요되는 시간 등을 고려하여 결정되어진다. 한 예로 일본의 시모노세키항의 경우에는 본 과제에서 개발하고자 하는 고속 중소형 컨테이너선 크기의 선박 화물을 적·양하하는데 2기의 컨테이너 크레인이 이용되고 있다.

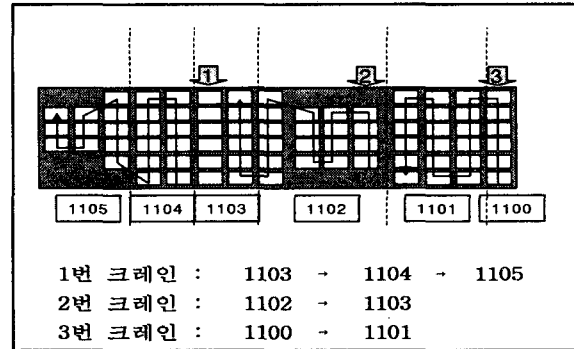
본 연구에서는 크레인의 수를 1기부터 3기까지 설치위치를 변경하면서 적·양하 작업에 소요되는 시간을 조사하였다.

<표 2> 크레인 설치 수 및 작업 소요시간

크레인 수	소요시간(초)	비고
1 기	44111.2	- 수평식 작업방법 - 크레인 속도 · 1 m/sec
2 기	23178.6(19793.6)	
3 기	18414.4(13444.2/13344.3)	

<표 2>는 크레인의 수 및 위치에 따른 작업소요시간을 조사한 결과이다. 이때 크레인의 수가 1기에서 2기로 증가할 경우에는 작업소요시간이 반으로 줄어들었지만 2기에서 3기로 증가할 경우에는 작업시간이 크게 줄어들지 않음을 알 수 있다. 이것은 크레인들 간의 충돌에 의한 간섭효과를 배제하였기 때문으로 여겨진다. 또한 본 과제에서 개발하는 선박의 경우에는 크레인들 간의 충돌에 의한 간섭 때문에 크레인을 4기 이상은 사용할 수 없음을 알 수 있었다.

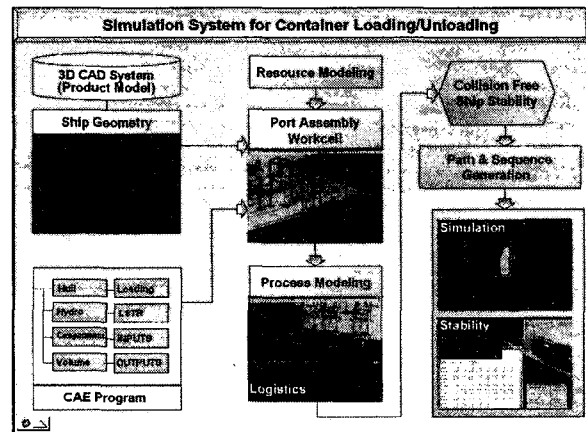
이상의 방법을 통해서 최적의 하역 프로세스를 결정하여 이를 <그림 10>에 나타내었다. 이때 최적의 프로세스를 결정에는 적·양하 비용을 배제한 작업에 소요되는 시간만을 고려하였다.



<그림 10> 최적 하역프로세서 결정

3.7 적·양하 시뮬레이션

적·양하 시뮬레이션에는 컨테이너 적·양하시 안정성 평가, 컨테이너 적·하역 방법 평가 및 적·양하 방법에 따른 크레인의 최적 위치의 평가를 수행한다. <그림 11>은 적·양하 시뮬레이션 시스템의 구현절차를 나타내고 있다.



<그림 11> 적·양하 시뮬레이션 구현 절차

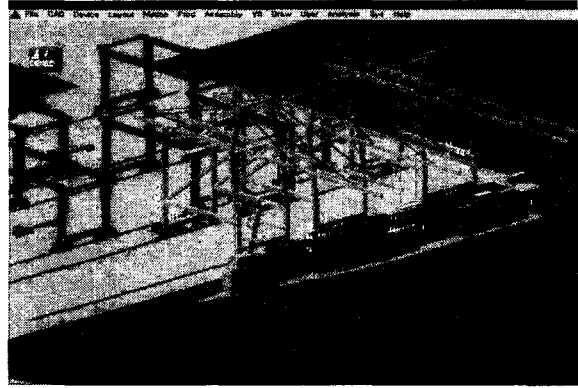
컨테이너 적·양하 시뮬레이션을 수행할 때, 고려되어야 하는 사항들은 다음과 같다.

- 선형, 구획, 크레인 및 항만 모델과 CAE 프로그램 등을 이용하여 컨테이너 적·양하 시물레이션을 수행한다.
- 컨테이너 적·양하 순서 및 크레인의 이동거리 등과 같은 제약조건들은 [Environment] 메뉴 에서 정의된 값을 벗어나지 못한다.
- 컨테이너 적·양하 시물레이션 도중에 선박에 대한 안정성 평가를 위한 CAE 프로그램 수행 시점은 크레인이 컨테이너를 집기직전에 수행 하도록 한다.
- 컨테이너 적·양하 시물레이션 도중에 교차기법을 이용하여 항만과 선박의 충돌 검사 (collision check)를 수행한다.
- 종경사(trim), 횡경사(heeling angle) 및 GM 값 의 변화 등을 나타내는 화면은 시물레이션 도중에 항상 가시화 되도록 한다.
- 컨테이너 적·양하 시물레이션 도중에 선박이 안정성을 상실하였을 경우에는 경고소리와 함께 시스템이 종료되도록 한다.
- Pocket menu를 이용하여 시물레이션 도중에 사용자 화면으로 변화할 수 있도록 한다.

또한, 컨테이너 적·양하 시물레이션 결과로 생성되어지는 것들로는 다음과 같다.

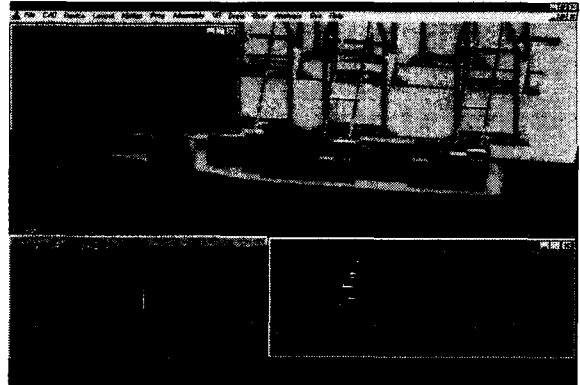
- 컨테이너 적·양하 순서도
- 컨테이너 적·양하 소요 시간
- 컨테이너 적·양하시 선박의 안정성 평가결과
- 컨테이너 적·양하시 선박과 항만과의 충돌
- 크레인의 최적배치

<그림 12>는 고속 중소형 컨테이너선의 적·양하 전용으로 이루어지는 피더항 기본 레이아웃[9]의 모델링 결과 및 선박에서 실제 컨테이너를 피더항으로 하역하는 과정을 시물레이션한 결과를 나타내고 있다.



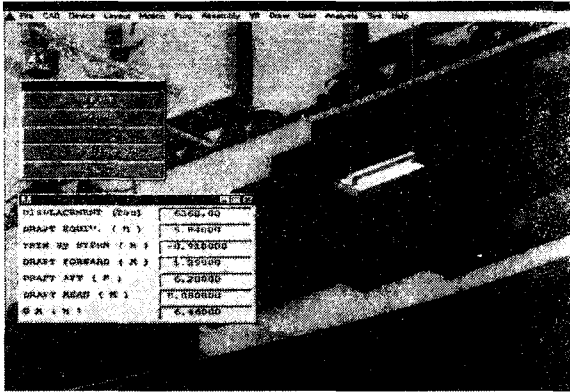
<그림 12> 고속 중소형 컨테이너선 전용 피더항 전경

<그림 13>에서는 20 피트 컨테이너를 갑판상에 배치한 결과를 가시화 하였으며, 임의의 프레임에 대한 컨테이너 적재상태를 나타낸 단면도를 함께 가시화 되도록 하였다.

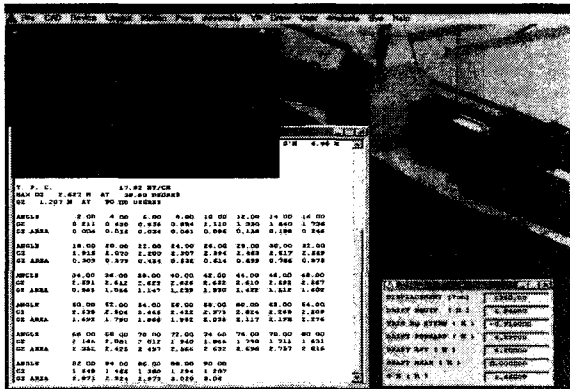


<그림 13> 컨테이너 배치결과의 가시화

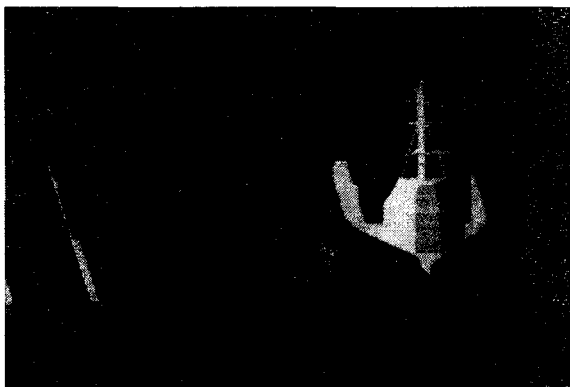
<그림 14>는 컨테이너 적·양하시 선박의 안정성 검사과정을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 크레인이 컨테이너를 집는 순간에, 선택한 컨테이너가 없을 경우 선박의 안정성을 검토하게 된다. 안정성검사 결과는 선박의 GM 값을 이용하여 판정하게 되며, 안정성 값이 주어진 기준치를 만족하지 않으면 그 결과를 화면에 가시화하면서 시스템이 종료되도록 하였다.



<그림 14> 선박 안정성 검사



<그림 15> 선박 안정성 검사결과에의 가시화



<그림 16> 충돌 검사결과에의 가시화

<그림 15>에서는 컨테이너 적·양하시 선박의 안정성을 검사하는 CAE 프로그램 수행결과를 표시하였으며, <그림 16>은 컨테이너 적·양하 시뮬레이션 과정에서 교차기법을 이용하여 항만과 선박의 충돌검사를 하는 화면이다.

4. 결론 및 향후계획

본 연구에서는 SBD 기술 및 국내의 현황에 대해서 간략하게 살펴보았으며, SBD 기술을 새로운 개념의 선박인 고속 중소형 컨테이너선의 적·양하 시뮬레이션 프로토타입 시스템 개발에 적용하였다.

먼저, 선형/구획/화물 및 하역장치들을 상용 CAD 시스템을 이용하여 모델링하였으며, 선박의 안정성 평가를 위한 요소 프로그램들을 개발하였다. 컨테이너 적·양하 시뮬레이션 프로토타입 시스템에서 생성/관리되어 지는 입출력 데이터의 가시화 및 제어를 위한 GUI를 개발하였다. 이렇게 개발된 요소 프로그램과 GUI 및 형상모델들을 시뮬레이션 시스템인 ENVISION에서 제공하는 시뮬레이션 기법들을 통해서 선박의 안정성, 선박의 거동상태, 하역과정의 가시화 및 크레인의 최적 위치들을 평가하여 보았다.

본 연구를 통해서 발생된 문제점 및 아직 개발이 미진한 컨테이너 적·양하 방법 평가 및 적·양하 방법에 따른 크레인의 최적 위치 평가 등과 같은 부분들은 향후 계속적으로 보완 할 것이다. 또한, 컨테이너 적·양하 시뮬레이션 프로토타입 시스템에는 바람 및 파도와 같은 외부환경에 대한 영향을 고려하지 않고 있지만 추후 확장되는 시스템에는 이 기능을 반영할 계획이다.

참고문헌

- [1] G. Jones and T. Hankinson, "Simulation based design for ship design and acquisition", Proceedings of International Conference on Computer Applications in Shipbuilding, Bremen, Germany, 1994.
- [2] Angster, S., "VEDAM : virtual environments for design and manufacturing", VR News, Vol. 6, Issue 5(1997), pp. 16-19.
- [3] D. Vassalos, I. Oestvik, D. Konovessis, "Design for safety : development and application of a formalised methodology", Proceedings of the 7th International Marine Design Conference, Kyungju, Korea, 2000.
- [4] Hagan, J.C., "Using simulation to evaluate cargo ship design on the LPD 17 program", Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference, Orlando, Florida, 2000
- [5] Cardner J., Simulation of mobile offshore base, Project Report, GCRMTC, 1998.
- [6] 이종갑 외, 「모델기반의 선박 CAE 통합 및 시물레이션 기술 개발(II)」, 과학기술부 보고서, 1999.
- [7] 이순섭 외, "컨테이너 적·하역에 따른 선박의 안정성 시물레이션", 「대한조선학회 추계학술 발표회 논문집」, 1999.
- [8] 김홍태 외, "모델링 및 시물레이션 기술을 이용한 컨테이너 적하역 안정성 평가", 「선박해양기술」, 제29호(2000), pp. 161-166.
- [9] 박경택 외, "초고속선 컨테이너선용 고속 하역시스템에 관한 연구", 「초고속선 Workshop 논문집」, 1998.
- [10] 장석 외, 「차세대 항만하역 및 운송시스템 개발(II) - 차세대 고속 중소형 컨테이너선 개발」, 해양수산부 보고서, 1999.
- [11] 윤원영 외, "시물레이션을 이용한 컨테이너 터미널의 운영계획 평가", 「한국시물레이션학회 논문지」, 제7권 제2호(1998), pp. 91-104.