

論 文

유조선 자동 적·양하 계획을 위한 의사결정지원시스템*

남 기 찬** · 신 재 영**

Decision Support System for Automatic Cargo Planning for Tanker Ships

K. C. Nam · J. Y. Shin

Key Words : 유조선(Tanker Ship), 자동 적·양하계획(Automatic Loading and Discharging Planning), 의사결정지원시스템(Decision Support System), 전문가시스템(Expert System)

Abstract

The objective of this paper is to suggest a decision support system allowing automatic loading and discharging planning for tanker ships, and provide a working prototype. Particular attention is placed on developing a feasible system for improving the speed and accuracy of cargo planning by combining practice and theoretical solution methods. The system is consisted of a simulation model for tank allocation and an expert system for working sequence. Several program tests are undertaken with randomly generated input data. The results suggest that the system is quite meaningful even though there are still some problems to be solved. The paper concludes with a discussion of issues for future development of the decision support system.

1. 서 론

유조선 자동 적·양하 계획을 위한 의사결정지원시스템은 선박의 상태와 화물 특성, 그리고 선박의 안정성을 고려하여 복잡하고 번거로운 적·양하 작업계획을 컴퓨터를 이용해서 자동으로 수행

할 수 있는 시스템이다. 즉, 숙련된 항해사에 의해서 수작업으로 이루어지고 있는 하역작업계획을 컴퓨터와 과학적인 분석기법을 이용하여 수행하는 것이다.

* 이 논문은 산학협동재단의 1994년도 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

** 정희원, 한국해양대학교, 물류시스템공학과 교수

선박의 대형화, 고속화, 운용 기기의 다양화, 자동화 등이 빠르게 이루어지면서 신속·안전한 하역작업이 중요시되고 있다. 또한 선원들의 해상 근무 기피현상으로 인하여 승무원들의 자질이 저하되고 상당한 숙련을 요구하는 적하 및 양하 계획을 수행할 수 있는 능력을 갖춘 항해사가 절대 부족한 상황에서 고도의 숙련을 요구하는 적하 및 양하 계획을 경험에 의존하는 수작업으로 수립하는 것이 어려워지고 그에 따른 유(oil) 오염 등의 해난 사고 위험이 커지고 있다.

본 연구는 기존에 경험에 의존하여 수작업으로 이루어지고 있는 유조선의 하역작업계획을 컴퓨터를 이용하여 자동으로 수행하는 시스템을 개발하는 것을 그 목적으로 한다. 이러한 시스템을 이용함으로써 ① 화물 적·양하 계획에 소요되는 시간을 단축할 수 있으며, ② 계획 과정의 단순화로 숙련되지 않은 승무원에 의한 계획이 가능하고, ③ 적·양하 계획의 정확도가 향상되며, ④ 유조선에서 가장 중요한 계획 과정을 자동화함으로써 향후 이루어질 하역 작업의 자동화가 가능하다.

유조선의 하역작업은 크게 적하(loading)와 양하(discharging) 그리고 발라스팅(ballasting)과 디발라스팅(deballasting)으로 이루어진다. 이외에 작업 중에 화물탱크내의 산소농도를 일정수준 이하로 낮추는 Inert Gas System(IGS) 작동이 필요하다. 하역작업 계획은 적하시 각 탱크에 정해진 화물량을 최적으로 분배하고, 양하 작업 시에 각 화물탱크에 실려있는 원유를 양하 하는 순서와 선내 펌프에 각 탱크를 할당하는 것과 작업진행에 따라 해당 송유관의 밸브를 개폐하는 것이 주가 된다. 이 때 작업 소요시간을 최소화하면서 작업중이나 작업완료 후의 선박의 안정성을 고려해야 한다.

본 연구는 복수 항구, 복수 화물을 대상으로 하며, 연구의 내용 및 범위는 ① 화물탱크별 최적 화물량 계산, ② Trim, Stability 및 Strength 계산, ③ 적하 및 양하 작업일정계획(working scheduling) 수립, ④ 적·양하 작업의 송유관(pipe-line) 및 밸브 계획(line-up planning), ⑤ 발라스트 계획 등을 포함한다.

탱크별 최적 적하량을 결정하는 것은 선박의 상

태, 각 화물탱크 용적, 선박의 안정성 등을 동시에 고려해야 하는 문제이기 때문에 본 연구에서는 시뮬레이션 기법을 이용해서 각 탱크별 최적 적하량을 결정한다. 유류 화물의 적하 및 양하작업 일정 계획은 숙련된 항해사들의 경험을 바탕으로 하여 지식베이스를 구축하는 전문가시스템 기법에 의한다.

국내의 유조선 운영에 관한 연구는 선진 외국에 비하여 조선업의 역사가 짧은 만큼 지극히 초보적인 단계에 머물고 있는 실정이다. 90년대 이후에 들어서 조선기자재의 기술적인 개발과 기기의 자동화에 관한 연구가 활발히 이루어지고 연구물이 발표되고 있으나 운영에 있어서 필요한 하역계획의 자동화에 관한 연구는 전무한 실정이다. 유조선에 비해서 기술적으로 앞선 컨테이너 선박의 하역작업계획을 자동으로 수행하는 연구는 본 연구진에 의해 수행된바 있다(신재영, 남기찬, 1995). 외국의 경우 조선업의 긴 역사만큼 양과 질적인 면에서 많은 연구의 성과가 축적되었다. 최근 연구로서는 福地 信義의(平成 8년) 등이 있으며, 이러한 이론적인 연구를 바탕으로 하여 실제 응용 소프트웨어들이 개발되어 실무에서 사용되고 있다. 유조선 적·양하를 자동으로 수행하는 소프트웨어는 노르웨이의 Norcon사, 일본의 Kawasaki, Mitsubishi사 등에서 개발하여 실용화되고 있다.

2. 유조선 하역작업 개요

2.1 적하

1. 적하계획

입항 전에 적지, 출항예정일, 양지, 입항예정일, 화물특성(종류, API, 온도) 등을 고려하여 최대적재량 및 필요 탱크 용적을 구한다. 이때 “선박만재 홀수선용 대역도”를 이용하여 적양지의 최대 허용 홀수를 구하고 sag, 보정 및 F.O. 소비량 계산을 행한다. 먼저 최대 적재량을 구한 후 API와 온도를 고려하여 이를 용적으로 환산한다. 이어서 탱크 적부 계획을 수립하는데 단일 화물인 경우 선박의 안전성과 목적 트림 등을 고려하여 각 탱크에 배분하고, 2종 이상의 화물인 경우 특히 라인 및 펌프 분리에 유의한다.

2. 적하준비

적하항에 입항하기 전에 clean 발라스트 배출 라인 및 접속 라인, sea chest 등의 최종 flushing을 실시하고, 양질의 I.G.로서 탱크내 정압이 유지되는지 확인(8%이상)한다. 또한 터미널을 통하여 manifold connection (Reducer의 크기, 취급현 및 수), 적하유종(API, 기름 온도 포함), 적하량, loading rate, clean 발라스트 배출 소요시간, 적하종료 예정 시간, 출항 예정 시간 등을 확인한다. 입항 전에 접안에 필요한 량의 발라스트만 남기고 배출하고, 접안 후 남은 Clean 발라스트와 도착 발라스트를 배출한다. 최종 적하준비로서 dry survey 및 slop residuals survey를 실시하고 계획에 따라 기본 밸브를 개폐한다.

준다. 적하가 끝나는 대로 각 탱크의 ullage 및 온도를 측정하고 API를 이용하여 탱크별 적하유량(KT 및 LT)을 산출한다. 마지막으로 gate 밸브를 잠그고 manifold의 drain 밸브를 열어 manifold 내의 잔유를 처리한 후 shore connection을 분리한다.

2.2 양하

1. 양하계획

양지, 화물종류, 양하량이 결정되면 양하/원유선정 요령을 작성하는데 구체적으로는 양하순서, 양하시간, 원유선정, 양하중 및 stripping시의 트림, 본선 강도, 양하 종료시의 홀수 및 출항 홀수,

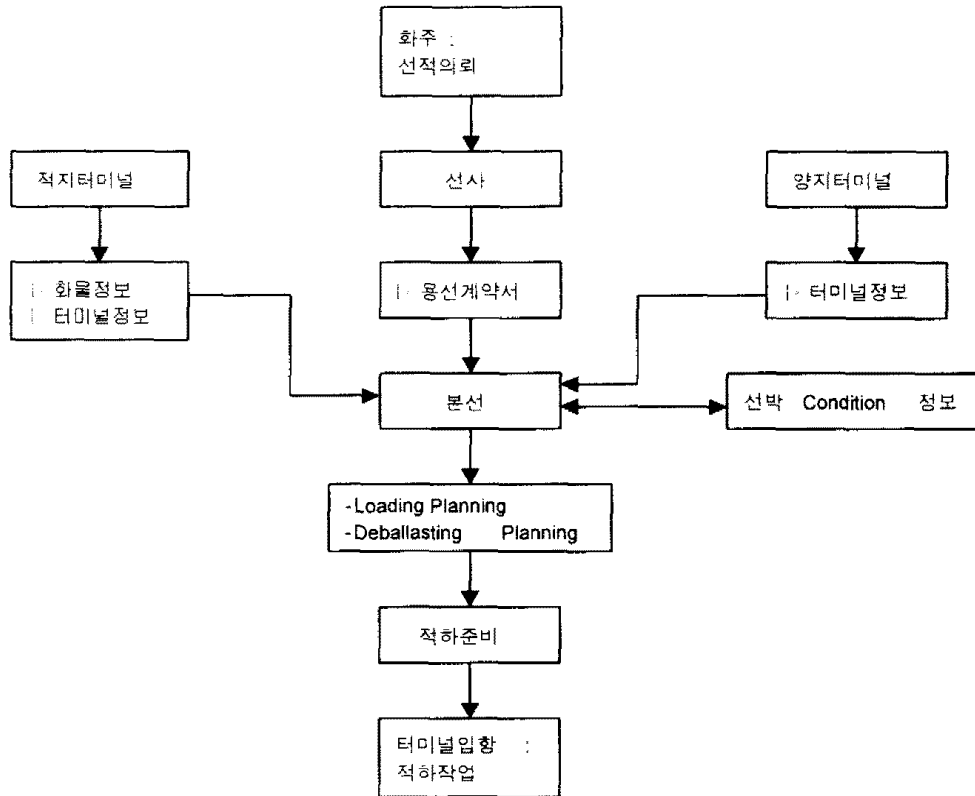


Fig. 2.1 Tanker ship cargo loading planning

3. 적하작업

각 밸브가 정상적으로 개폐되어 있는가 확인한 후 적하를 시작하며, 적하 중에는 manifold 압력, 트림, 힐링, 선체 안전성 등에 유의한다. 특히 topping off가 끝날 무렵에는 over-flow에 신경을

segregated 발라스트의 적재 및 배출 시간, dirty 발라스트의 적재 요령 등을 포함한다.

2. 양하준비

양하항에 입항하기 전에 점검을 실시하고, 탱크의

ullage 검사, IGS 시운전, scrubber 및 deck seal 등을 행한다. 특히, 탱크내가 양질의 IG로서 정압으로 유지되는지를 확인한다. 터미널 입항후 manifold connection, 양하 유종, 양하 순서, 양하량등을 확인하고, 양하율, 양하종료 예정시간, 발라스팅 시작, 양하 종료시간 및 출항 예정시간, 원유 세정 작업에 관한 사항 등을 확인한다.

이어서 cargo 펌프를 시운전하고, 각 탱크의 ullage 및 온도를 실측하고 cargo 호스를 접속한다. 누유방지 검사표에 따라 master 밸브, 경유 (by-pass) 밸브, 각 탱크 흡입 밸브, IG branch 밸브 등 필요한 밸브를 개방하고 drop 밸브, manifold drain 밸브 등의 폐쇄 여부를 확인한다. 펌프실내의 overboard 밸브, sea 밸브 등도 폐쇄 확인 후 봉한다. 또한 over-flow를 방지하기 위하여 ullage hole을 완전히 폐쇄한다.

3. 양하작업

양하개시 전 IG를 주입하여 탱크내를 정압으로

유지하고 양하작업일정계획에 따라 양하를 실시한다. 또한 계획에 따라 COW를 실시한다. 양하작업이 stripping 단계로 들어갈 무렵에는 cargo 펌프의 회전수를 낮추고 각 cargo 펌프를 독립시켜 공기가 흡입되지 않도록 주의 깊게 조작한다. 양하 완료시에 양하가 끝난 탱크부터 차례로 dry survey를 실시하고, 전 탱크의 dry survey가 완료된 후 slop 탱크의 구동 유를 양륙한다. 최종적으로 water flushing을 실시한 후 육상측 호스를 분리한다.

4. 발라스트 적재

발라스트 적재량은 안전 항해를 위한 홀수 및 트림 확보, 연료소비 절감 등을 고려하여 결정하는데 일반적으로 프로펠러 침수율이 60% 정도가 되게 한다. 적재 탱크 선정은 선적지침서를 따르며, 적재량은 발라스트 탱크의 용량을 결정하기 위한 IMO의 요건을 표준으로 한다. 도착 발라스트는 선박 설계 단계에서 결정되어 있는 탱크에만 적재한다.

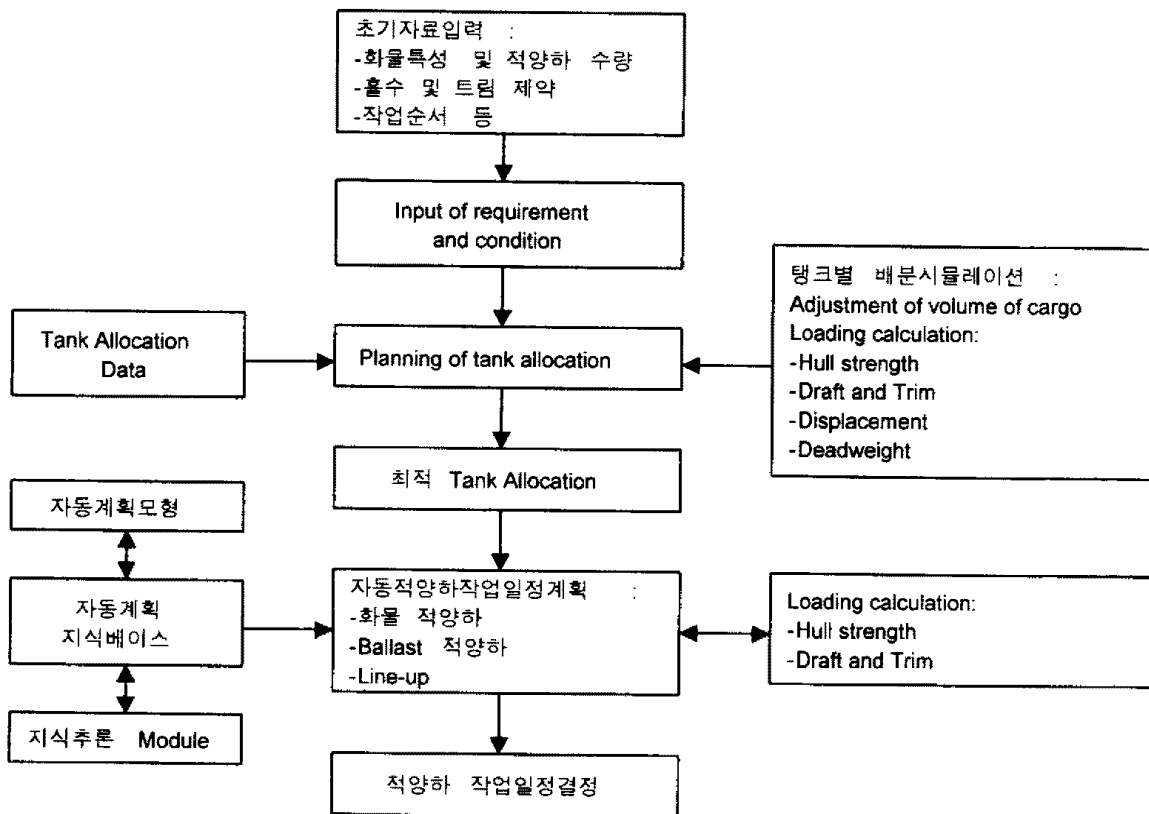


Fig. 3.1 Conceptual Model of Cargo Planning

3. 의사결정지원시스템의 구성

3.1 시스템 기능

유조선 자동 적양하계획시스템은 선체 자세와 안전성을 계산하는 계산 기능, 최적 탱크할당을 결정하는 시뮬레이션 기능, 적양하 작업순서를 결정하는 계획 기능 등으로 구성되며, 이러한 모듈들이 상호 유기적으로 연결된다.

1. 안정성 계산

적하 계산 기능은 선급에서 규정한 요구 조건에 따라서 선박의 안전성 여부를 계산하는데 trim, stability, strength 등을 계산하는 일반적인 수리적 해법들을 사용하며, API-밀도 환산, 액위-중량 환산, GM/KG 계산, 종강도 및 전단력 계산, 트림 계산, 배수량 계산, 안전성 계산 등을 실행할 수 있다.

투입자료로서는 선박의 기초 자원(LBP, Max. Draft, Displacement, Breadth 등), Loading Calculation에 필요한 기초 자료, Volume 표, Ullage 표, Hydrostatic 표, Bonjean 자료, Buoyancy 자료, KN 자료 등이다. 계산 기능은 선박 안전성 계산과 Strength 계산으로 대별된다.

2. 탱크 할당 시뮬레이션

주어진 제약 내에서 탱크별 최적 적재량을 결정하는 탱크 할당 시뮬레이션과 적양하 작업순서를 결정하는 단계에서 수시로 선박의 상태와 안전성을 확인하는 시뮬레이션 기능을 가지고 있다. 즉, 탱크 할당과 작업 순서 결정시 안정성 계산 모듈과 연결하여 선박의 안전성, 상태 등을 계산하여 적합성을 점검한다. 시뮬레이션 모듈의 주요 결과는 다음과 같다.

- 시간별 Draft/Trim 등 선박 상태의 변화
- Bending Moment 및 Shear Force 등의 선체 강도
- Tank Level의 동적 변화 기준
- Line-up 상태

3. 적양하 계획

화물 적양하 작업 순서 및 발라스트의 적양하 순서를 결정하는 것으로서 하역 작업 시간 최소화,

하역 작업 안정성 제고, 펌프 장비 이용률 증대 등을 목표로 하며, 선박의 감항성 확보를 제약요인으로 한다. 화물 적재 및 하역, 발라스팅 및 디발라스팅 등의 작업계획을 수행한다. 적양하계획의 개별 내용은 Table 3.1와 같다.

3.2 문제정의 및 해법

유조선의 적양하계획 문제는 정해진 화물 및 발라스트량을 정해진 수의 탱크에 배분하는 최적 탱크할당 문제, 정해진 탱크별 화물량 및 발라스트량을 적양하 하는 순서를 결정하는 작업일정계획 문제로 대별된다.

1. 탱크할당 시뮬레이션

설정된 적하 요구 조건(적부량, 유종 등), 양하 요구 조건(양하량, 유종 등), 선박 안전성 제약 등을 기초로 하여 탱크별 최적 적하량 할당을 계획하기 위해서 시뮬레이션 기법을 사용한다. 이때 안전성 계산 모듈과 연결하여 매 배분 단계에서 그 결과를 검증한다. 할당 과정은 Fig 3.2와 같다.

Table 3.1 The function of each modules

기능	내용
LOA-DING	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 적하량 고려한 탱크별 적화 작업 일정계획(Loading Sequence) ◦ Valve Line-Up
DEBALLASTING	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 접안에 필요한 량과 소요시간 결정 ◦ Gravity에 의한 Deballasting 량 및 소요시간계산 ◦ Pumping에 의한 Deballasting량 및 소요시간계산 ◦ Deballasting 순서 결정 ◦ Ballast Pump Working Schedule 결정 ◦ Deballasting Valve Line-Up
DISCHARGING	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 양하량 고려한 탱크별 양화 작업일정계획 ◦ Cargo Pump Working Schedule 결정 ◦ Valve Line-Up ◦ Stripping 순서 결정 ◦ Stripping Valve Line-Up ◦ Stripping Pump Schedule 결정
BALLASTING	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Ballast량 및 Tank 할당 ◦ Ballasting 순서 결정 ◦ Ballast Pump Working Schedule 결정 ◦ Ballasting Valve Line-Up
IGS	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Working Schedule 결정 ◦ Line-Up ◦ Monitoring(산소 농도 확인)

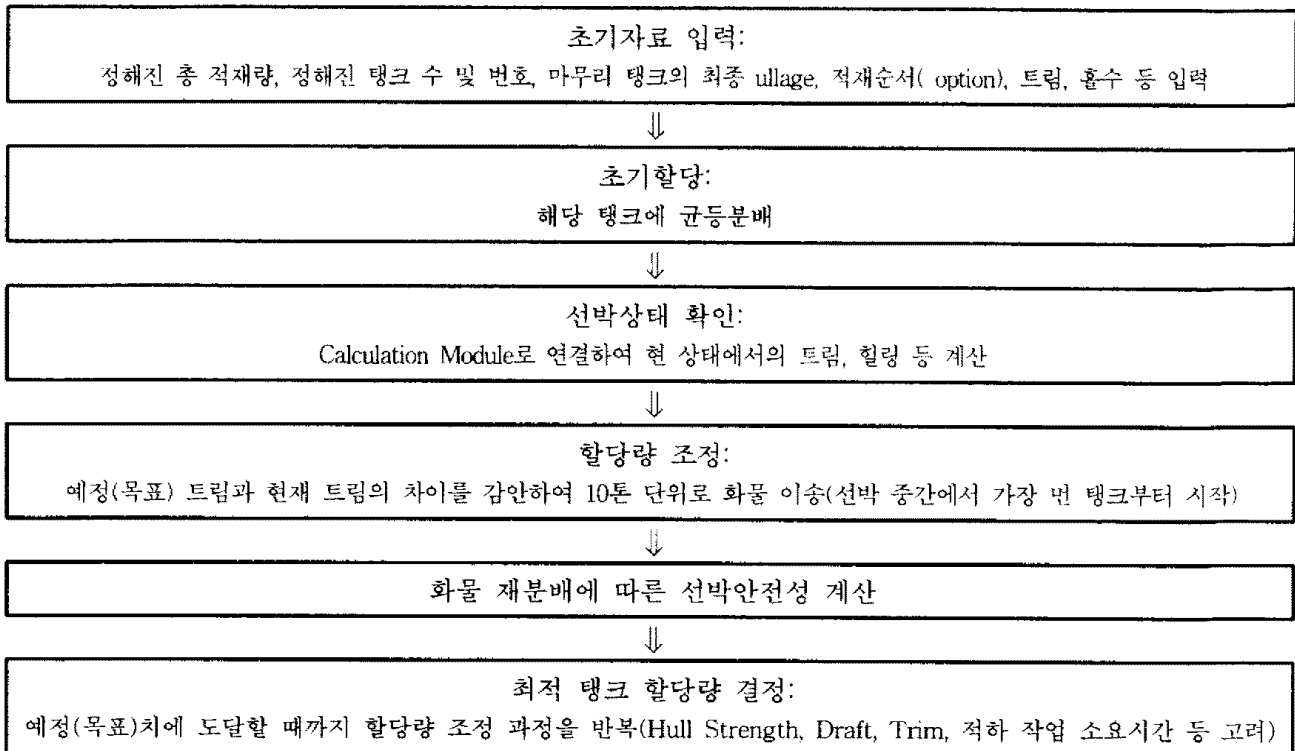


Fig. 3.2 Procedure of optimal tank allocation

2. 적양하작업일정계획 수립 전문가시스템

본 모듈은 적양하 일정계획 즉, 하역 작업순서를 결정하는데 규칙베이스 전문가시스템을 이용한다. 이때 만재 홀수선, 트림, shear force, bending moment, 안정성 등을 제약요인으로 설정하고 적하 계산 모듈과 시뮬레이션 모듈과 연계하여 계획 단계에서 수시로 선박안전성 등을 계산하여 계획 결과를 검증한다.

적하 순서 계획 규칙

- 중앙 탱크와 선수 탱크부터 시작
- 적재 순서에 따라서 각 탱크 용량의 1/2 정도 적재
- side 탱크 용량의 1/2 적재
- 빈 적재 상태의 탱크를 순차적으로 채움
- center 탱크 하나를 남겨둠
- 마지막 탱크가 예정 ullage에 도달하면 종료
- 순차적 topping-off 시작
- side 탱크의 적하량을 가감하여 up right 상태 유지
- side 탱크의 ullage가 변경된 것은 최종 탱크로 조정
- 최종 탱크의 여적은 탱크 깊이의 1/4 정도로 계획

Line-up 계획 규칙

① 기본 밸브 조작:

- drop 밸브, 탱크 suction 밸브, IG branch 밸브 등 개방
- vent riser 밸브 개방, sea chest 밸브 폐쇄
- segregation 밸브, manifold의 drain 밸브 폐쇄

② 작업일정에 따른 밸브 개폐:

- 기본적인 라인분리 등을 고려하고 최단경로 라인을 선택

양하 계획 규칙

(1) 양하

① 탱크순서결정 규칙:

- stripping 펌프는 main 펌프와 동시에 작동
- center 탱크로부터 양하 시작
- 각 group 펌프는 앞에서 뒤쪽으로 center 탱크에서 wing 탱크순으로 양하.
- 대형선은 탱크내의 전 line을 개방하고 일제히 양하 실시.
- sounding 0.5 m 정도에서 양하를 종료하고 stripping 시작

② 선박안전성 고려 규칙

trim 조정을 위한 탱크 배정

- trim 및 bending moment를 고려하여 밸브 조절
- 양하중 및 stripping시의 트림, 본선 강도 고려
- 각 단계마다 trim 및 bending moment 고려

(2) Stripping

- 양하가 종료되면 line내의 잔유를 draining하여 stripping
- 전 탱크의 dry survey 후 slop 탱크의 구동유 양륙
- cargo main line 한개를 남기고 전 line을 draining하여 양륙
- 마지막 line을 소구경 line을 사용하여 육상으로 송유

(3) 출발 발라스팅 규칙

① 발라스트 량 결정

- MARPOL 73/78에 의한 홀수 및 트림 요건 기준
- 적정 홀수 및 트림 확보와 연료소비절감 고려

② 탱크 할당

- 적재 탱크 선정
- 조선소에서 작성된 발라스트 배치계획 기준
- 전선체에 중량이 골고루 분포될 수 있도록 적재
- 영구 발라스트 탱크 우선
- 적당한 트림 유지
- 발라스트 높이는 ullage 약 0.5-1 m 정도

(4) 양하 및 발라스팅 Line Up

① 양하 Line Up

- 탱크 할당에 따라 line up
- 기본 밸브 조작
- 트림 및 bending moment 고려
- stripping 시 cargo 펌프 line 외의 별도의 line 이용

② 발라스팅 Line Up

- 전 밸브 폐쇄
- 적재 예정 탱크의 vent line 개방
- 적재 예정 탱크의 suction 밸브 개방
- 사용 예정 펌프와 해당 탱크로 통하는 line의 밸브 개방
- 사용 예정 펌프의 sea suction 밸브 개방
- 사용 예정 펌프의 sea delivery 밸브 폐쇄

4. 시스템의 구현

시스템 개발시 고려한 선박은 H 회사에서 건조된 Crude Oil 탱크로 87,000DWT Class Product Carrier이다. 선박의 총길이는 228m, LBP는 218m이며, 폭이 42m, 깊이가 21.1m, 설계 홀수(Design Draft)가 13.6m이다. 대상 선박은 화물을 실을 수 있는 탱크가 14 개, 발라스트용 탱크도 14개를 가지고 있는 전형적인 중형 유조선이다.

본 연구에서 개발한 프로토타입 시스템은 상기의 특정 선박을 대상으로 하고 있다. 그러나, 선박 제원을 설정하는 프로그램 모듈이 완성된다면 현재의 시스템을 별 수정없이 사용할 수 있도록 설계하였다. 본 시스템은 Pentium PC를 대상 기종으로 하고 있으며, 계산 및 프로그램 모듈의 특성상 16M byte 이상의 RAM, 1024 x 768 해상도의 그래픽 카드와 모니터를 필요로 한다. 또한 본 시스템을 개발하기 위하여 운영체제는 Windows 95를 사용하였으며, Visual Basic 4.0을 개발 도구로 사용하였다. 기초 자료를 처리하기 위한 DBMS는 Visual Basic이 가지고 있는 Access Database Engine을 사용하였다. Fig. 4.1은 본 시스템 수행 과정 중의 한 화면의 예이다.

시스템은 자료의 입출력을 위한 File 메뉴, 각종 입출력 화면을 볼 수 있는 View 메뉴, 탱크별 선적 물량 할당 및 선적 계획 작성을 위한 Loading 메뉴, 선적시 디발라스팅을 위한 Deballasting 메뉴, 양하 작업 계획을 위한 Discharging 메뉴, 양하 후 발라스팅을 위한 Ballasting 메뉴, Inert Gas의 량 계산을 위한 IGS 메뉴, 선박 안정성 계산을 위한 Stability 메뉴, 도움말을 위한 Help 메뉴로 구성되어 있다. 특히 Stability 계산 기능은 독립된 모듈로 구성되어 있어 선적 및 양하 계산시 자동으로 연계되어 있으며, 메뉴 상의 Stability 기능은 사용자가 재계산을 원할 때 사용할 수 있다. 규칙 처리를 위한 추론은 전방위 탐색법을 사용하였으며, 검색 속도를 향상시키기 위하여 규칙을 프로그램에 직접 코딩하였다.

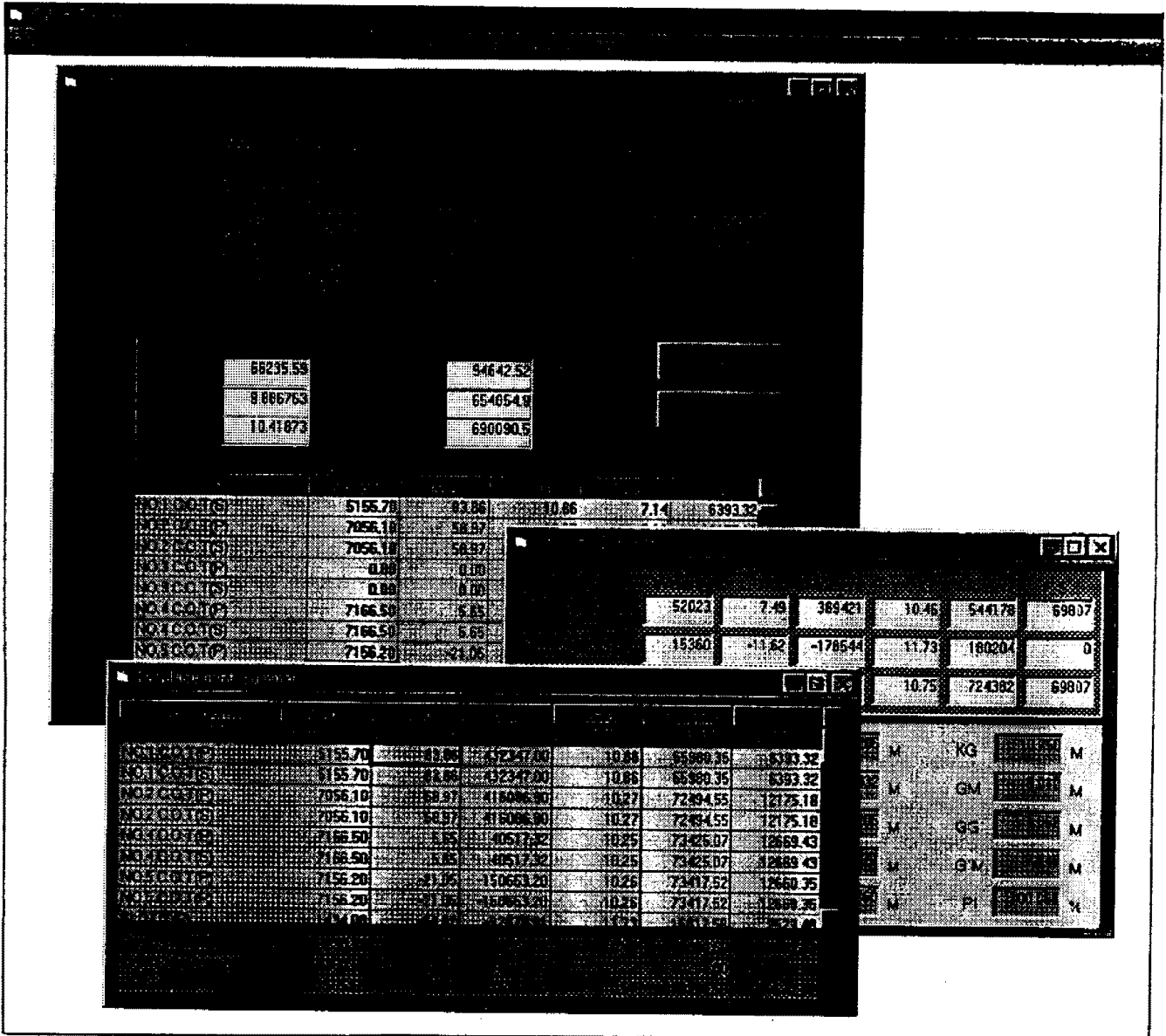


Fig. 4.1 A Screen Output of the Prototype System

5. 결론 및 추후 연구방향

본 연구에서는 기존에 경험에 의존하여 수작업으로 이루어지고 있는 유조선의 하역작업계획을 컴퓨터를 이용하여 자동으로 수행하는 의사결정지원시스템을 제안하고, 프로토타입 시스템을 개발하였다. 특히 본 연구는 이론적인 연구에서 그치지 않고 실무에서 사용할 수 있는 시스템을 개발하기 위하여 실무와 이론적인 해법과정을 접목시키는데 중점을 두었다. 시스템의 적합성과 응용가능성

을 검증하기 위하여 중형 유조선을 대상으로 테스트 프로그램을 개발하였으며, 모델링 기법을 점검한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① 유조선 자동 적양하계획을 위한 의사결정지원시스템은 데이터베이스 기술, 그래픽 사용자 인터페이스 기술, 계량적 분석 기법 등의 접목을 통하여 효율적으로 구현될 수 있다.
- ② 실무 작업 상황과 계량적 해법, 계획작성을 위한 지식베이스가 결합된 통합시스템을 구축하는

것이 바람직하다.

3) 실무자들의 계획업무를 심도 있게 분석하여 시스템 설계시 이를 반영할 필요가 있으며, 사용자 편의성을 고려하여 GUI 환경을 제공하는 시스템 구현이 필요하다.

본 연구에서 개발한 프로토타입 시스템을 상업화하기 위해서는 본 연구에서 감안하지 않은 세부적인 제약요인, 작업상황, 계획 규칙 등을 고려할 필요가 있으며, 다양한 선박 상황에 대한 전문가들의 검증이 따라야 할 것이다. 또한 계획의 자동화는 향후 하역 작업의 자동화로 연결될 필요가 있다. 즉, 본 연구에서 개발한 Plan 모듈을 Monitoring 모듈 및 Control 모듈과 연결하여 하역작업 자동화 시스템을 구축할 수 있다. Plan 모듈에서 확정된 최적의 하역 계획일정은 Monitoring 모듈과 Control 모듈로 전달되고 작업일정계획에 따라 실제 펌프, 밸브 등의 기기를 제어하여 자동으로 하역작업을 수행할 수 있다.

참고문헌

1) 신재영, 남기찬(1995), 컨테이너 선박의 자동 적재 계획을 위한 지능형 의사결정지원시스템, 한

국항만학회지 9권 1호.

- 2) C해운회사, 유조선 운항 실무 지침
- 3) 윤점동(1982), 탱커 운용의 이론과 실무, 제일문화사.
- 4) 현대중공업(1996), Provisional Trim & Stability Booklet for "Tenacity", 제원 Manual.
- 5) 福地 信義, 加棒 義雄, 古賀 幹生(平成 8년 1월), 내항 탱커용 하역 자동화 시스템의 개발, 日本造船學會誌 제 799호.
- 6) Dumbleton, J.J.(1990), Expert System Application on Ocean Shipping - A Status Report, Marine Technology, Vol. 27.
- 7) Matsuda LTD, Super Cargo, Presentation Paper
- 8) Mitsubishi Heavy Industries LTD, Cargo Control System, Presentation Paper
- 9) Sagninaw II, D.J. and Perakis, A.N.(1989), A Decision Support System for Containership Stowage Planning, Marine Technology, Vol. 26.
- 10) Shields, J.J.(1984), Container Stowage: A Computer-Aided Preplanning System, Marine Technology, Vol. 21.

