

효율적인 컨테이너 터미널 선적 계획을 위한 의사결정지원시스템⁺

신 재 영* · 곽 규 석* · 남 기 찬*

Decision Support System for Efficient Ship Planning of Container Terminals

J. Y. Shin · K. S. Kwak · K. C. Nam

Key Words : 컨테이너 터미널(Container Terminal), 선적 계획(Ship Planning), 양하 계획(Discharging Plan), 적하 계획>Loading Plan), 의사결정지원시스템(Decision Support System), 자동 선적 계획(Auto Stowage Plan), 겐트리 크레인(Gantry Crane)

Abstract

The purpose of this paper is to describe the design of the decision support system for container terminal ship planning and to introduce the implemented system. The ship planning in container terminals consists of three major decision processes - the working schedule of gantry cranes, the discharging sequence of inbound containers, the loading position and sequence of outbound containers. For making these decision the proposed system can provide two ship planning modes, the interactive planning mode with user-friendly GUI and the automated planning mode. To implement the automated planning routine we acquired the planning rules from the expert planner in container terminals and developed an expert system based on the rules. Finally, we evaluated the system developed and the potential for commercialization by using actual container terminal data.

⁺ 이 논문은 건설교통부의 연구 지원에 의하여 연구되었음.

* 정회원, 한국해양대학교 물류시스템공학과 교수

1. 서론

물류시스템의 하부 시스템인 항만은 국제 물류에 있어서 많은 수출입 화물을 처리하는 중요한 시스템이다. 특히 복합일관운송이 요구되는 컨테이너 운송에 있어서 항만은 해상운송과 육상운송을 연결하는 중요한 기능을 담당한다. 컨테이너 화물의 국제 교역량이 늘어나면서 많은 국가들이 내륙 및 항만 터미널의 시설을 확충하고 있으며, 자국 항만의 경쟁력을 높이기 위하여 운영의 효율성을 높이는 방안을 강구하고 있다.

터미널의 생산성을 향상시키기 위해서는 장비 확충 등과 같은 하드웨어적인 보완과 운영시스템의 자동화와 같은 소프트웨어적인 보완으로 나누어 볼 수 있다. 이 두 가지 측면 중 전자의 경우는 장기적이고 대단위 투자가 발생하는데 반해서 후자의 경우는 상대적으로 소규모의 투자로 단기적으로 그 효과를 볼 수 있다. 많은 경우 하드웨어적인 확충만으로 생산성이 향상될 수 있을 것으로 생각하는 경우가 많은데, 실제로 효율적인 운영시스템이 수반되지 않는 하드웨어의 확충으로 실패한 사례는 매우 많다. 이에 본 논문에서는 컨테이너 터미널 생산성 향상을 위한 운영 계획 시스템을 제안하고 또 시스템 구현 방안을 보이고자 한다.

컨테이너 터미널에서 발생하는 운영 계획 의사결정으로는 선적 계획, 선적 계획, 장치장 배정 계획으로 나눌 수 있는데, 그 중에서 선적 계획 과정을 위한 의사결정지원시스템을 설계하고 또 개발하는 것을 본 연구의 목표로 한다. 선적 계획 과정은 다시 해당 선박에 겐트리크레인(Gantry Crane: G/C)을 배정하고 스케줄링하는 작업부터 시작된다. 하역 작업 대상의 컨테이너의 G/C 배정이 완료되면, 다음으로 수행하는 작업은 수입 컨테이너를 선박에서 내리는 양하 작업 계획을 작성하게 된다. 양하 작업 계획(Discharging Plan)에 의하여 수입 컨테이너의 양하 순서가 정해지면, 최종적으로 장치장(Yard)에 장치되어 있는 수출 컨테이너를 선박에 실는 적하 작업 계획(Loadng Plan)을 작성하게

된다.

컨테이너 터미널의 하역 작업 계획과 관련한 기존의 연구는 해당 분야의 특수성으로 인해 그 수가 적으며, 그 중에서도 장치장 장비 계획이 대부분이고 선적 계획 관련 연구는 매우 드물다. Dumbleton(1990), Sagninaw and Perakis(1989), Shields(1984), 신재영·남기찬(1995)의 경우 컨테이너 선박의 선적 계획에 관한 알고리즘과 프로그램 개발에 관한 연구를 제시하고 있지만 이 경우는 일반 선사의 선적 계획으로 터미널 선적 계획과는 상당한 차이가 있다. 컨테이너 터미널의 선적 계획과 관련된 연구로는 조덕운(1986)에 의한 연구가 있는데 이는 장치장내의 동선 최소화만을 고려한 수리적 모형을 제시하고만 있어 실제 선적 계획 전반에 관한 실용가능한 의사결정지원시스템 구축 연구로는 보기가 어렵다. 이에 본 논문에서는 실제 컨테이너 터미널에서 적용될 수 있는 그리고 개발 후 현재 실제 터미널에서 사용되어 타당성을 인정받고 있는 의사결정지원시스템(Decision Support System)의 설계 및 구현 방안을 제시하고자 한다.

2. 컨테이너 터미널의 선적 계획

2.1 G/C 배정 계획

선사로부터 양적하 관련 서류를 전달받으면 전체적인 양적하 물량을 파악하여 우선적으로 G/C 배정 계획을 작성하게 된다. 여기서 G/C 배정 계획이라 함은 양적하 작업 Hatch에 G/C를 배정하고 각 G/C별 작업순서를 결정하는 것을 말한다. 이러한 G/C 배정 계획은 이후에 이루어지는 양하 작업 계획과 적하 작업 계획의 기본이 된다.

G/C배정계획은 먼저 해당 선박의 총 양적하 컨테이너 수량과 접안 선석 상황, 계획 기간중 투입 가능한 G/C 상황 등을 파악하여 모선에 투입할 G/C의 갯수와 각 G/C 별 작업시작 시간을 결정하는 것으로부터 시작된다. 일반적으로 G/C는 2 대에

서 3 대가 배정되며, 작업 시간 결정 시 휴식시간도 고려한다. 이렇게 투입할 G/C가 결정되면 투입한 G/C별로 적양하 작업이 조속히 종료될 수 있도록 적양하 물량을 G/C별로 평준화한다. 이 때 Hatch 단위를 기본으로 Deck와 Hold를 나누어서 배정하는 것을 원칙으로 한다. 단 물량의 불균형이 심할 경우는 하나의 Hatch 물량을 2대의 G/C에 나누어서 배정하기도 한다. 작업 물량에 따른 작업 bay의 G/C별 배정은 적양하 작업을 모두 고려하는 것이 바람직하다. 하지만 일반적으로 양하 계획 작성 시 적하될 컨테이너의 선적 적부 정보가 없는 경우가 대부분이며, 이런 경우는 양하 정보만으로 G/C 배정을 하게 된다. G/C 할당 시 물량의 균등 배분 뿐 만 아니라 G/C 간의 간섭을 줄이는 것도 매우 중요한 고려 요소가 된다. 따라서, G/C간의 간섭이 예상될 경우는 물량 배분이 어느 정도 균등하지 못해도 간섭을 줄이도록 작업을 변경하게 된다. G/C에 모든 작업 Bay가 배정되고 나면 마지막으로 G/C가 담당하는 Hatch들의 작업 순서를 결정하게 된다.

2.2 양하 작업 계획

양하 작업이 이루어져야 하는 컨테이너들에 G/C 배정이 완료되면 양하해야 할 컨테이너의 양하 작업 순서를 결정하게 된다. 양하 작업 순서는 기본적인 양하 작업 방향에 준하여 이루어지지만 장비 교체 최소화 또는 작업의 용이성에 따라서 그 순서를 변경하기도 한다. 순서변경과 관련하여서는 컨테이너 크기, 적·공 여부, 적재 화물의 종류, 컨테이너 용기의 종류, 운송 형태등에 따른 일괄작업으로 인한 경우와 선박 구조에 따른 작업방법으로 인한 경우로 나누어 볼 수 있다. 그리고 이선적 컨테이너(Shifting Container)가 있는 경우에도 작업순서가 달라진다.

이와 같은 고려사항에 준하여 G/C별 양하 컨테이너들의 작업순서를 결정하게 되면 Bay Plan 상에 컨테이너별로 결정된 양하 작업순서를 기입한

다. 양하 작업 순서가 최종적으로 결정되면 작업 순서를 전산 입력한 후, 양하 순서 목록과 선사별 요약표를 출력한다.

2.3 적하 작업 계획

양하 작업 계획이 작성되고 난 뒤 적하 관련 서류가 도착하면 수출 컨테이너의 적하 계획을 작성하게 된다. 적하 작업 계획 작성을 위한 자료로는 본선의 컨테이너 예정 적재 상황을 전체적으로 파악할 수 있도록 표시된 총괄도인 적하 Stowage Plan, 해당 항차에 선적하기로 결정된 컨테이너의 정보가 상세하게 기재되어 있는 적하 컨테이너 번호 목록, 이선적 컨테이너 번호 목록, 해당 항차의 선박에 적하될 컨테이너의 야드 장치 현황이 자세하게 기재되어 있는 야드장치도(Yard Map) 등이 있다.

이와 같은 관련 서류가 입수되면 야드에 장치되어 있는 컨테이너 정보를 주 전산기의 데이터베이스에서 다운로드 받아서 수출 컨테이너의 적하 계획을 작성하게 된다. 양하 계획은 작업 순서만을 결정하는데 반하여 적하 계획은 선박 최종 적하 위치와 순서를 동시에 결정하게 된다. 이 때, 선박의 상황뿐만 아니라 장치장의 상황도 고려하여 계획을 작성해야 하므로, 양하 계획에 비하여 계획 작성이 상당히 어렵고 시간이 많이 걸린다. 작업과정을 좀 더 상세히 설명하면 다음과 같다. 각 G/C별 작업 스케줄은 선사에서 제출한 적하 Stowage Plan과 터미널에서 작성한 야드장치도를 기본으로 하여 G/C별 사용 시간에 따른 이미 배분된 양하 물량을 포함한 선적물량이 평준화되도록 작성한다. G/C 배정이 이미 되어 있는 경우는 이 단계를 생략한다. G/C 배정이 이루어지면 전체 야드의 상황과 적하 Stowage의 상황을 파악하기 쉽게 하기 위하여 계획 작성 전에 몇 가지 전처리 작업을 수행한다. 먼저 야드상에 산재되어 있는 수출 컨테이너들의 양하항과 크기별로 수량을 검토하고, 적하 시 특별한 고려가 요구되는 High-Cubic, 위험화물, 냉동,

Flat-Rack 컨테이너들의 위치와 수량을 파악한다. 야드 상의 컨테이너들의 검토키가 끝나면 적하 Stowage Plan 상에서 수출 컨테이너의 양하항별 검토키와 선박 구조상의 제한적인 요소를 파악한다. 그리고 선박 Hatch별 Deck와 Hold의 물량을 파악한 뒤 야드 장치도 상의 수량과 적하 Stowage Plan 상의 수량의 일치 여부를 검토키한다. 이상이 없으면 특수 컨테이너에 대한 고려사항을 검토키한다.

이상과 같은 전처리 검토키 작업이 완료되면 대략적으로 야드장치도를 검토키하여 양하항과 중량, 특수 컨테이너의 분포 형태를 파악하고, 적하 Stowage Plan과 야드장치도 상의 컨테이너 분포를 고려하여 G/C별로 야드상의 작업 블록을 대략적으로 할당한다. G/C별로 할당된 야드 블록 상의 컨테이너를 G/C의 적하 작업 스케줄 순서대로 Bay별로 적하 계획을 작성해 나간다. 적하 위치와 작업 순서 결정 시 선박의 안정성 확보와 터미널 작업의 효율성이 증대되도록 적하 작업 순서를 결정한다. 적하 작업계획 시에도 양하 작업 계획의 경우와 동일한 사항들을 고려하며 그 외 추가적으로 선박의 안정성, 야드의 동선 최소화, 야드 장비 간섭 최소화 등을 고려한다. 적하 작업 계획이 완료되면 적하 작업 위치와 순서를 전산 입력한 후 적하 Bay Plan과 적하순서목록>Loading Sequence List)을 출력한다.

3. 선적 계획 시스템 설계

3.1 시스템의 개념적 설계

본 시스템은 Client-Server 환경을 기준으로 설계하였다. 선적 계획은 계획작업으로 실제 하역작업이 이루어지기 전에 진행되는 작업이며 실시간으로 자료를 처리할 필요가 없다. 따라서 필요한 자료만 Server에서 내려받고 실제 프로그램 수행은 Client 영역에서 수행되도록 설계하였다. 선적계획과 관련하여 Server 영역에서는 전사적으로 통

합된 정보를 관리하기 위한 데이터베이스와 DBMS 만 설치되도록 설계하였다. 시스템의 전체적인 개념적 틀은 Fig. 1 과 같다. Server에는 야드 상황 정보, 수출입 컨테이너 정보 등과 같은 데이터베이스가 있으며, 이러한 정보는 대부분 EDI 를 통해서 입수되고, EDI 로 입수되지 않는 정보는 사용자가 입력하게 된다. 야드 상황에 관한 정보는 컨테이너 자동식별이 가능한 경우는 사용자가 재입력할 필요가 없다. 기본적인 선박, 각종 코드, 조석, 항로, 야드 Layout 등에 관한 기초 정보는 Client 영역에서 데이터베이스로 유지하게 된다.

계획 기능을 수행하는 응용 프로그램은 Client 영역 내에 존재한다. 선적 계획을 수행할 경우 본 시스템은 Server의 데이터베이스에서 야드 상황 정보와 양하 계획, 적하 계획 등을 파일 형태로 내려 받게 된다. 만약 선적 계획을 Server에서 내려 받을 수 없는 상황에서는 직접 입력할 수도 있다. 기본 자료가 준비되면 수작업 또는 자동으로 선적 계획을 작성할 수 있으며, 그 결과를 Client에서 파일 형태로 저장하고, 이 계획을 확정할 경우에 Server의 데이터베이스를 변경하게 된다. 이렇게 작업된 계획들은 장치장 배정 계획을 수행할 때도 사용된다.

선적 계획 시스템의 경우 G/C 배정 계획, 수입 컨테이너의 양하 계획, 수출 컨테이너의 적하 계획으로 나누어진다. 본 절에서는 자동 계획 프로그램을 위한 계획 작성 규칙들과 절차를 중심으로 설명하겠다.

3.2 G/C 배정 계획 규칙 및 절차

G/C 배정 계획 시에 사용하는 규칙들을 대별하면 다음과 같다.

- G/C별 작업 작업평준화에 관한 규칙
- G/C별 작업 순서에 관한 규칙
- G/C 간의 간섭 방지를 위한 규칙
- 선박 구조를 고려한 효율 향상 규칙

위와 같은 유형의 규칙들을 적용하여 다음과 같은 단계를 거쳐서 모든 Hatch의 양적하 물량이 G/C에 자동 배정되게 된다. Fig. 2는 자동 G/C 배정 계획 모듈의 흐름도이다.

단계 1: 선박별로 배정될 G/C의 선정. 각 G/C의 작업 시작 시간, 작업 효율, 선박 접안 방향, 휴식 시간 입력.

단계 2: Hold와 Deck로 나누어 선박 Hatch별로 적양하 물량을 각 G/C간의 작업 종료 시각의 차이가 적도록 물량을 G/C별로 균등

배분.

단계 3: 배분된 물량에 대한 G/C간의 작업 간섭 검사. 이상 없으면 종료. 만약 간섭이 발생하면 다음 단계로.

단계 4: 간섭이 발생하는 G/C간에 담당 작업 Hatch 들을 교환하여 간섭을 줄임.

단계 5: Hatch 단위로 조정된 물량의 불균형이 심하면 한 Hatch의 물량을 규칙에 따라 2개의 G/C에 분할 할당.

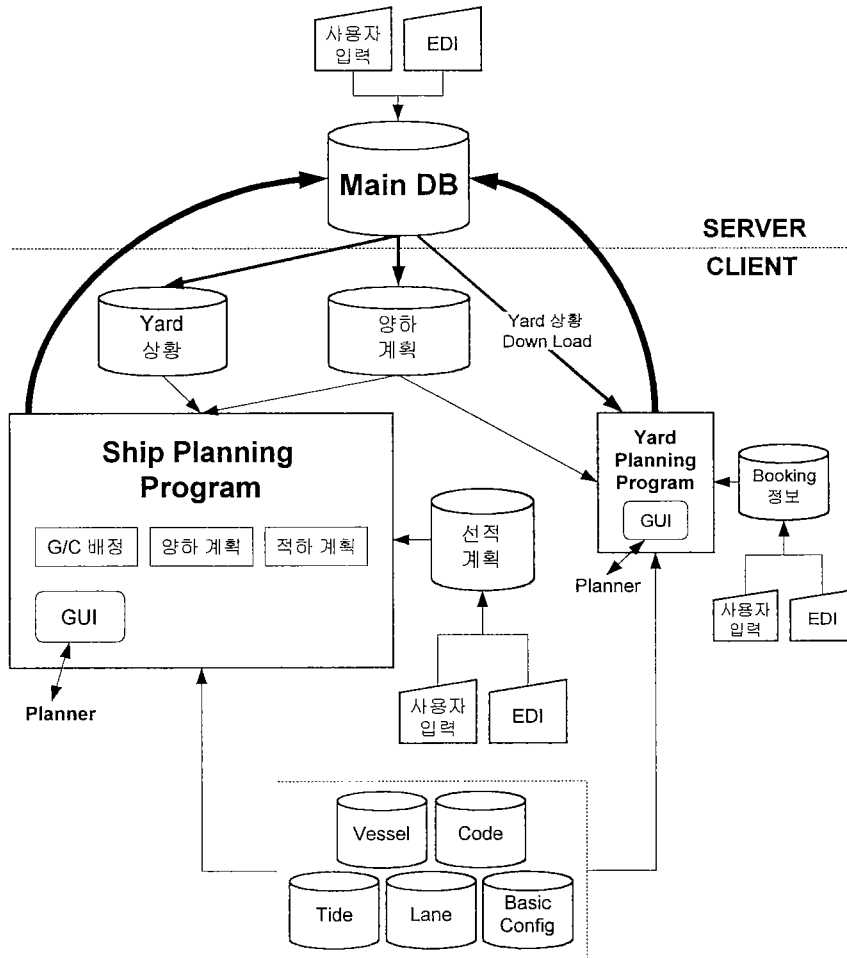


Fig. 1 Conceptual Framework of Container Terminal Ship Planning System

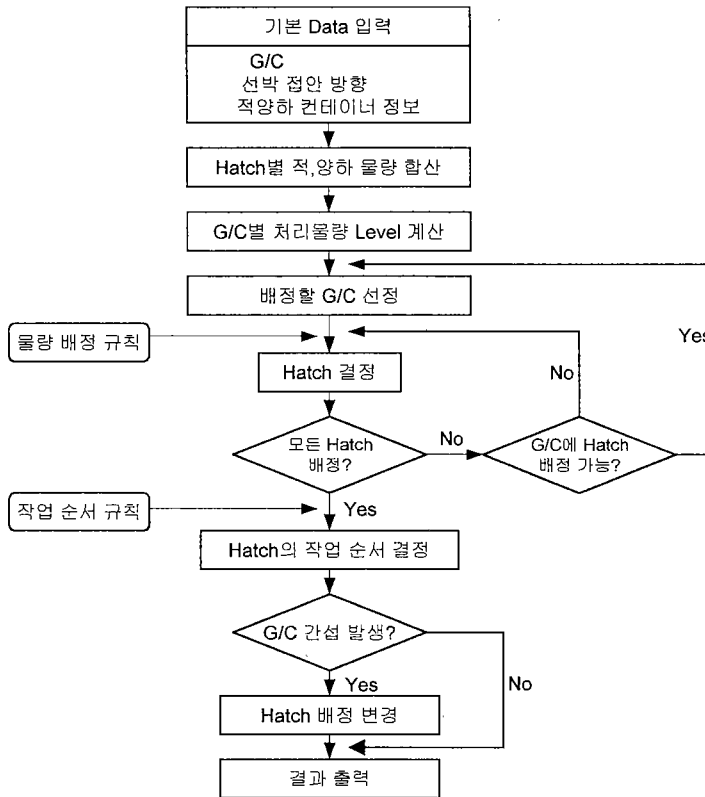


Fig. 2 Flow Chart of G/C Allocation Planning

3.3 양하 계획 규칙 및 절차

양하 작업 계획 시 사용되는 일반적인 규칙은 다음과 같다.

- 기본적인 양하 진행 방향에 관한 규칙.
- 컨테이너 일괄 양하 작업에 관한 규칙.
- 장비 교체 최소화 규칙.
- 선박 구조를 고려한 양하 작업 규칙.
- 하역 작업 안전을 위한 규칙.
- 이선적 컨테이너를 위한 양하 규칙.

수입 컨테이너의 양하 작업 자동 계획은 다음과 같은 절차에 의해서 이루어진다. Fig. 3 에서는 자동 양하 계획 모듈의 흐름을 보여준다.

단계 1: 자동 또는 수작업으로 G/C 배정계획 수행.

단계 2: 작업 시간이 빠른 G/C와 Hatch를 선택.

단계 3: 일괄 작업 규칙에 따른 양하 컨테이너들의 그룹핑.

단계 4: 그룹의 속성에 따라 우선 작업 대상 컨테이너들의 양하 순서를 규칙에 의하여 결정.

단계 5: 같은 그룹내의 컨테이너는 기본 양하 순서 결정 규칙에 따라 결정.

3.4 적하 계획 규칙 및 절차

적하 작업 계획 시에 사용되는 규칙들은 다음과 같다.

- 기본적인 적하 진행 방향에 관한 규칙.

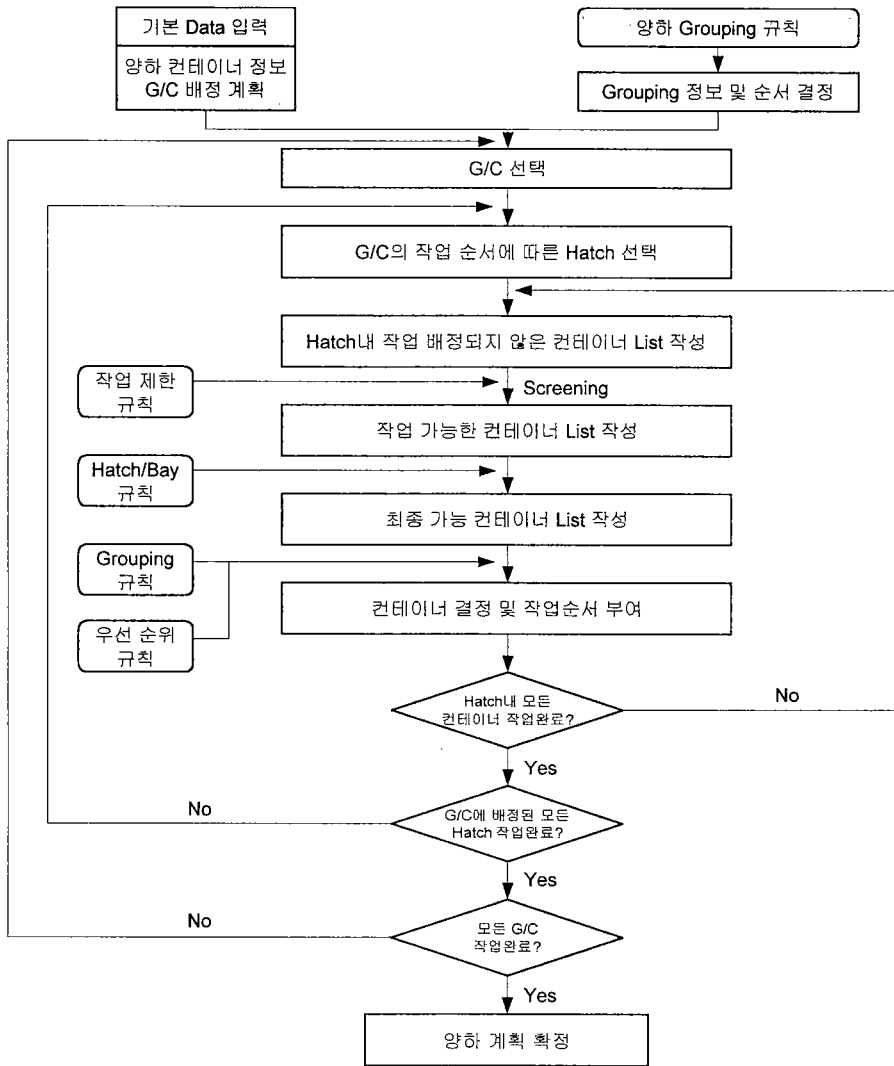


Fig. 3 Flow Chart of Discharging Planning

- 컨테이너 일괄 적하 작업에 관한 규칙.
- 선박 안정성(Stability)을 고려한 작업 규칙.
- 장치장 동선 최소화를 위한 규칙.
- Stacking Weight 제약을 고려한 작업 규칙.
- 선박 구조를 고려한 적하 작업 규칙.
- 장비의 작업 특성과 간섭을 고려한 규칙.
- 하역 작업 안전을 위한 규칙.
- 컨테이너 적재 위치 제약에 관한 규칙.

수출 컨테이너의 선박 내 적하 위치와 적하 순서는 다음과 같은 단계를 거쳐서 자동으로 정해진다. Fig. 4 에서는 자동 적하 계획 모듈의 흐름을 보여 준다.

- 단계 1: 자동 또는 수작업으로 G/C 배정계획 수행.
- 단계 2: 적하 Profile과 Yard 정보 Download.
- 단계 3: 작업 시간이 빠른 G/C와 Hatch를 선택.
- 단계 4: 각 G/C별 작업 Block을 할당.

- 단계 5: 적하 규칙에 따른 선박 내 적하 대상 컨테이너 목록의 선정.
- 단계 6: 장치장 고려 규칙에 따른 대상 컨테이너 선택.
- 단계 7: 선박 내 컨테이너 적재 위치 및 순서 결정.
- 단계 8: Weight Simulation 과정을 수행.

4. 시스템 구현 및 기능 소개

본 연구에서 제안하는 시스템의 기본 개발방향은 다음과 같은 특징을 가진다.
 첫째, 제한적인 제약만을 고려한 최적화 모형만으로 자동계획을 작성하는 것을 피하고, 현장 실무 전문가의 전문 지식을 최대한 반영할 수 있는 규칙

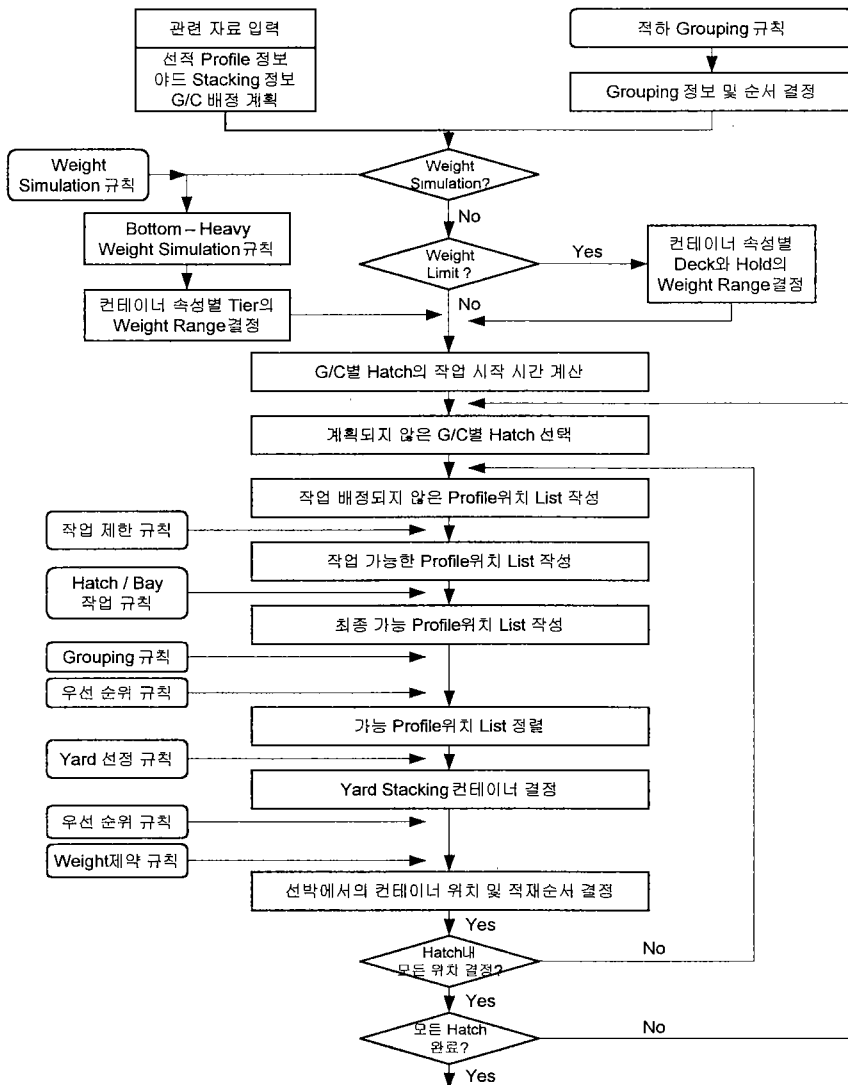


Fig. 4 Flow Chart of Loading Planning

베이스(Rule-base) 시스템을 근간으로 자동화 모듈을 설계하였다.

둘째, 사용자 편의성을 강조한 시스템으로 실무에서 사용하기 편리하도록 GUI 환경의 사용자 인터페이스를 제공한다.

셋째, 본 시스템은 특정 터미널을 위한 것이 아니고 다수의 국내외 컨테이너 터미널을 고객 대상으로 개발하는 시스템이다. 따라서, 컨테이너 터미널의 호스트 컴퓨터에 대한 독립성을 유지하기 위

해서는 Client-Server 환경에서 작업하는 것으로 간주한다.

본 시스템 개발 환경 및 완성된 프로그램의 수행 가능한 컴퓨터 환경은 다음과 같다.

- Client 컴퓨터: 펜티엄 PC, Ram 32M 이상.
- Client 운영체제: Windows98.
- Display: 1024 x 768 Super VGA.
- Server 운영체제: Windows NT.
- Server DBMS: Oracle 7 for Windows NT.

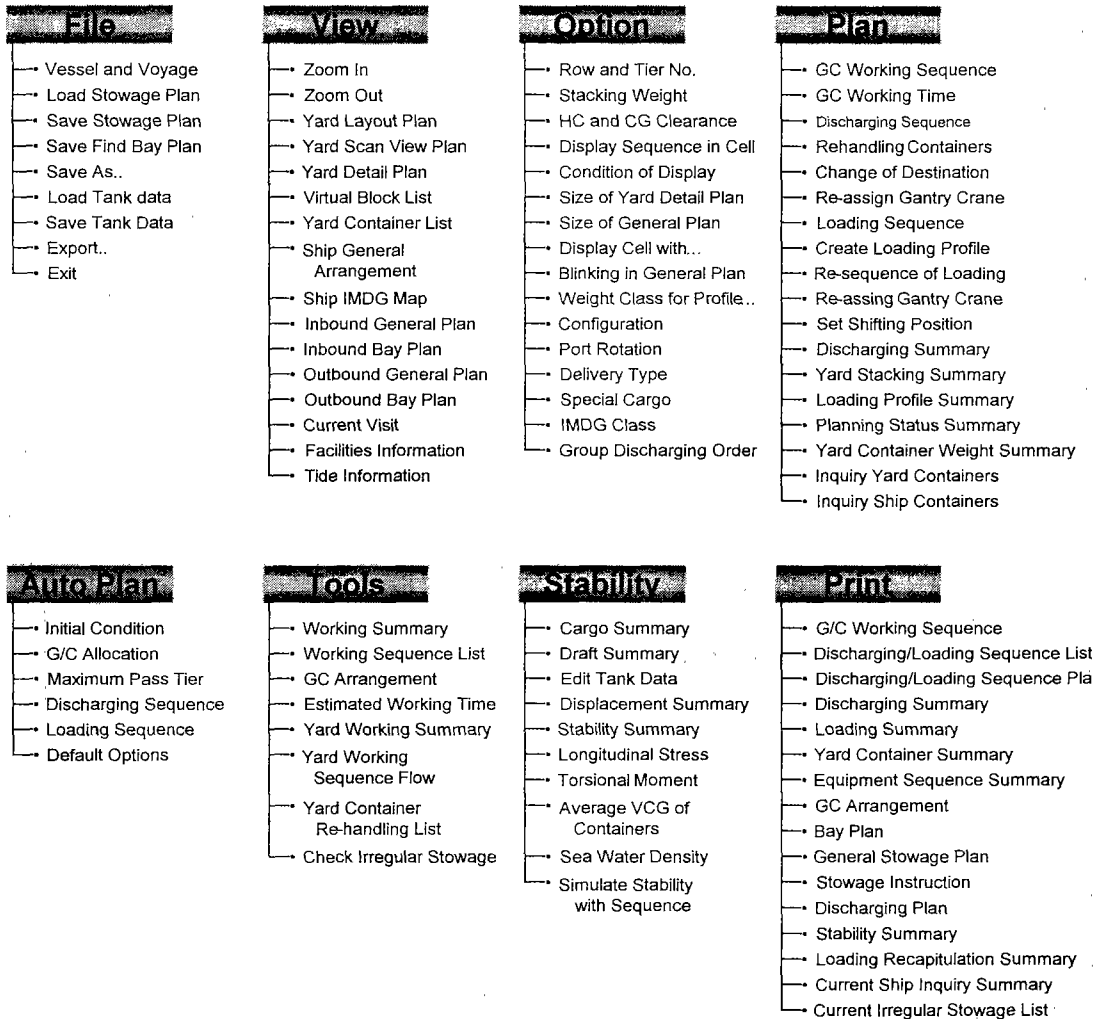


Fig. 5 Menu Structure of Ship Planning Program

• 개발언어: Visual Basic

본 논문에서 소개하는 컨테이너 터미널 선적 계획 시스템은 제어 프로그램과는 다른 계획 시스템으로 앞서서도 언급한 바와 같이 실시간으로 처리될 필요는 없다. 다만 계획 작업을 수행하려는 경우 호스트 컴퓨터나 Server 컴퓨터로부터 필요한 정보를 다운로드 받은 뒤 자유롭게 계획을 작성해보고, 그 계획을 확정지을 때 현재의 계획을 Server 컴퓨터로 전송하면 된다. 즉 기초 자료와 최종 결과의 연결 외에는 프로그램이 대부분 Client에서 수행되므로 프로그램 사용을 위한 환경에서 주로 고려해야 할 점은 Client의 사양이 되겠다.

현재는 Server에서 Windows NT와 Oracle을 사용하여 개발되었지만, 다른 Server-용 OS와 데이터베이스 도구를 사용하고 있는 터미널의 경우도 약간의 프로그램 수정으로 현재의 시스템을 그대로 사용할 수 있다. 특히 기존의 컨테이너 터미널에서

는 이미 자체 전산화의 결과로 다양한 시스템을 사용하고 있다. 이러한 환경에 부합하기 위해서라도 현재와 같은 설계가 매우 효과적이라고 생각된다. 다만 처리 속도의 문제가 있을 것으로 사료되었지만, 실제 현장에서의 테스트 결과 현장 실무자는 자료의 전달 속도는 충분히 만족할 만하다는 평가를 내렸다.

개발된 시스템의 전체적인 메뉴 구조는 Fig. 5와 같다. Fig. 6, 7, 8은 실제 시스템 수행 화면들의 예로 Fig. 6은 G/C 배정 계획 관련 화면이고, Fig. 7은 컨테이너 야드 장치 상황 화면이며, Fig. 8은 컨테이너 선적 상황 화면이다. 자세한 프로그램의 기능과 출력 화면에 대한 소개는 곽규석, 신재영, 남기찬(1997)의 자료를 참조하기 바란다.

5. 결론

효율적인 컨테이너 터미널 선적 계획을 위한 의

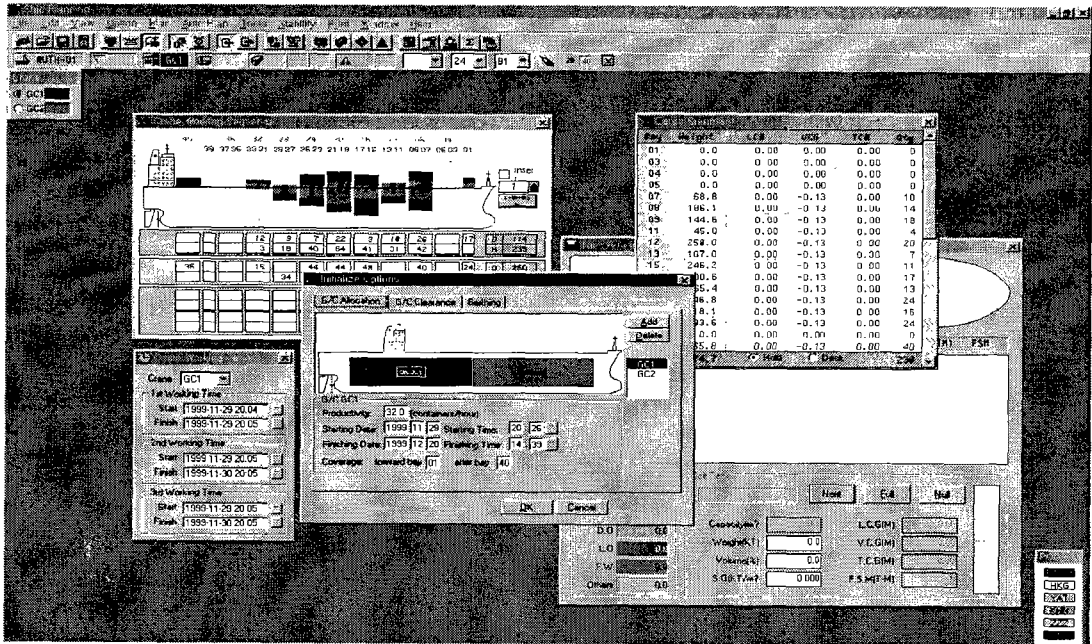


Fig. 6 A View of G/C Assignment & Working Sequence

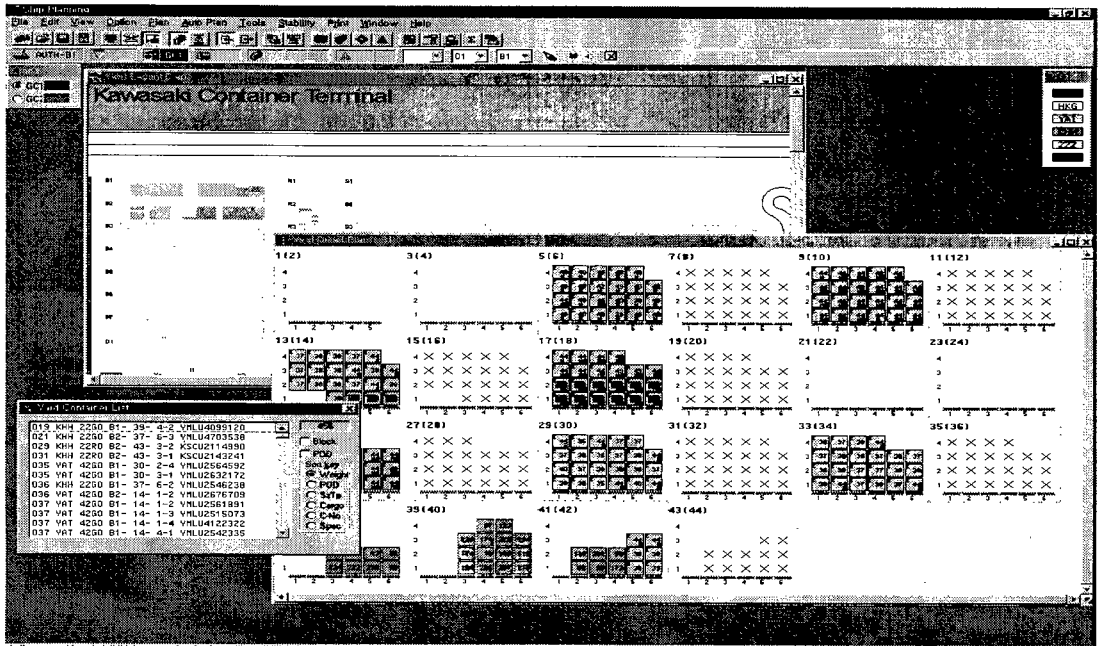


Fig. 7 A View of Yard Layout & Detail Plan

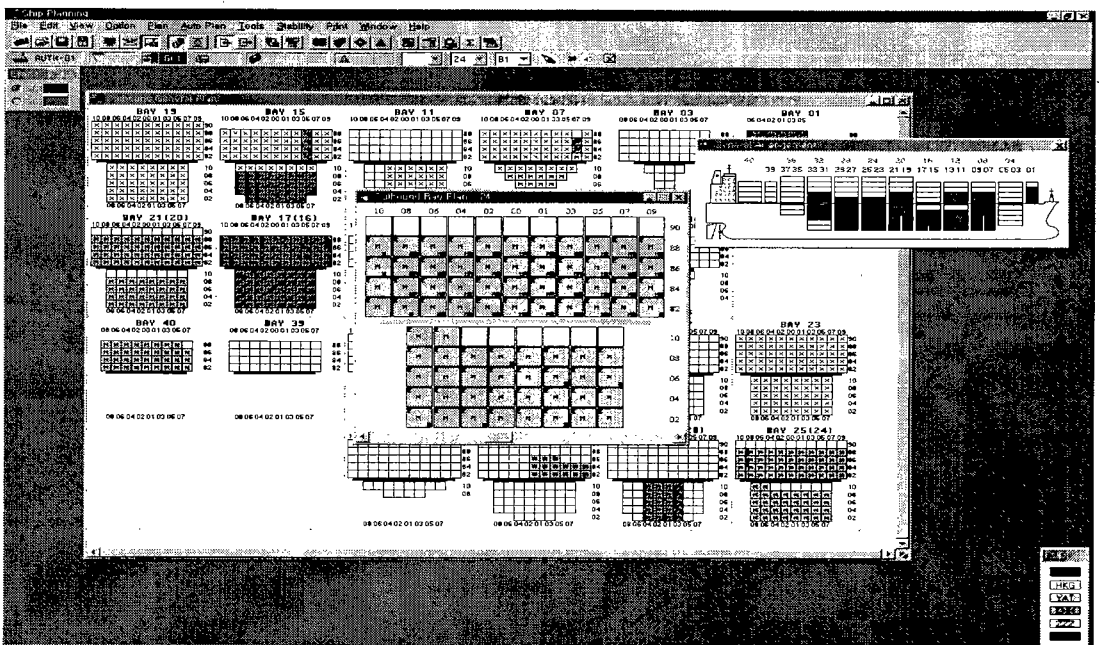


Fig. 8 A View of Ship General Plan & Bay Plan

사결정지원시스템 개발을 목표로 한 본 연구는 국내의 주요 터미널 업무 조사와 국내 터미널 계획 업무 담당자들과의 오랜 면담을 통해서 이루어졌다. 본 연구의 가장 큰 공헌이라면 실제 업무 담당자들의 지식을 근간으로 계획 작성 규칙을 만들었으며 이를 실제 시스템으로 구현하였다는 점이다. 그리고 단순히 이론적인 연구의 선상에서 개발을 끝내지 않고 상용화할 수 있는 단계까지 개발 완료하였다. 상용화를 위해서 본 시스템은 사용자 편의성을 보장하여 기존의 작업을 도와주는 대화형 작업 환경도 자동 계획 작업 환경과 함께 제공하고 있다. 실제 연구개발 이후의 상업화와 Logic의 성능을 평가하기 위하여 컨테이너 터미널의 검증을 거쳤으며, 실무 전문가들의 검증 결과 만족할 만한 시스템으로 평가되었다. 향후 본 시스템은 터미널 운영 시스템의 하부 시스템으로 도입될 수 있으며, 또한 본 시스템을 근간으로 다른 시스템으로의 확장도 가능하리라 본다.

참고문헌

- 1) Dumbleton, J. J.(1990), "Expert System Application on Ocean Shipping - A Status Report", *Marine Technology*, Vol. 27, pp. 265-284.
- 2) Saginaw, D. J. and A. N. Perakis (1989), "A Decision Support System for Containership Stowage Planning", *Marine Technology*, Vol.26, No.1, pp. 47-61.
- 3) Shields, J. J. (1984), "Containership Stowage: A Computer-Aided Preplanning System", *Marine Technology*, Vol. 21, No. 4, pp. 370-383.
- 4) 곽규석·신재영·남기찬(1997), 효율적인 컨테이너 터미널 계획 및 운영을 위한 모형 개발, 건설교통부.
- 5) 신재영·남기찬(1995), "컨테이너 선박의 자동 적재 계획을 위한 지능형 의사결정지원시스템", 1995, 한국항만학회지 제9권 제1호, pp. 19-32.
- 6) 조덕운(1986), "컨테이너선 선적 계획 문제 연구", 석사학위논문, 해군사관학교.