

컨테이너 선적계획을 위한 통합 의사결정지원시스템

이 광 인¹⁾, 신 재 영²⁾

Integrated Decision Support System for Containership Stowage Planning

Kwang-In Lee, Jae-Yeong Shin

Abstract

Container transportation systems which were developed by Malcolm McLean in order to integrate road transport and sea transport become representative transportation system. With the introduction of bigger containerships, the number of container loaded on board is increased rapidly, resulting in requiring higher efficiency of the container terminal operation. The basic factors affecting efficiency are the stowage plan and loading plan.

Stowage planning is a process whereby the loading and discharging of containers to and from vessel is planned prior to loading in order to minimize container handling costs while maximizing vessel utilization. Traditionally, this process has been carried out manually by planners with a great deal of operating and planning expertise, using experience-derived heuristics to create stowage configurations that satisfy the above objectives and constraints. After this process, the actual loading plan of individual containers is performed by skilled planners at the container terminal. The planner assigns a specific container on the yard to a specific cell of the vessel and determines the sequence of loading containers. Actually, the shipping companies establish the stowage plan without the consideration of yard stacking position in this process. As a result, this is one of

1) 한국해양대학교 대학원 물류시스템공학과 석사과정

2) 한국해양대학교 물류시스템공학과 교수

the cause obstructing the efficiency and productivity in yard operation. Therefore, it is needed a integration for containership stowage planning and terminal stowage planning.

In this paper, a mathematical programming model and heuristic algorithm is suggested, and a integrated decision support system for containership stowage planning is designed and developed.

I. 서 론

화물의 육상수송과 해상수송을 효율적으로 연계하기 위하여 Malcolm McLean에 의해 개발된 컨테이너 수송시스템은 국제 무역의 활성화와 국제복합일관운송의 발전에 크게 기여하였으며, 오늘날 대표적인 수송시스템으로 자리잡고 있다. 국제 무역의 발전에 따라 컨테이너 화물의 물동량은 급격히 증가하였으며, 이러한 변화는 기존의 수송체계에 많은 영향을 미치게 되었다. 먼저, 규모의 경제 측면에서 컨테이너 선박은 지속적으로 대형화, 고속화되어 6000TEU급 이상의 초대형선이 출현하였으며, 컨테이너 터미널과 하역 장비의 규모는 이에 맞추어 비약적으로 증대되었다. 또한, 국제 해운 환경의 다각적인 변화와 경쟁 심화는 선박 운영의 합리화와 고객 서비스의 질적 향상을 요구하게 되었다. 대고객 서비스의 수준은 수송의 정시성 및 신속성과 밀접한 관련이 있으며, 이를 위해서는 컨테이너 화물의 수송 수단간에 연계가 이루어지는 컨테이너 터미널의 역할 강화가 필수적이다. 즉, 고객 서비스의 향상을 위해서는 컨테이너 선박의 효율적 운영과 컨테이너 터미널의 효율화 및 생산성 증대가 요구된다.

터미널의 생산성과 관련된 중요한 요인으로서는 선사에서 수립하는 적부 계획(Stowage Plan)과 터미널에 수립하는 선적 계획>Loading Plan)이 있다. 먼저, 선사에서 수립하는 적부계획은 선박 이용을 최대화하면서 컨테이너 취급 비용을 최소화하기 위하여 적하작업 이전에 선박내의 컨테이너 배치 형태를 계획하는 절차를 말한다. 이 작업은 컨테이너와 선박에 관련된 다수의 제약 사항들에 영향을 받으며, 제약 사항들을 만족하는 선박의 적부 형태를 도출하기 위하여 운영과 계획에 풍부한 경험을 가진 계획수립자들의 경험적 방법을 이용하여 수작업이나 컴퓨터로 이루어진다. 이렇게 선사에서 적부계획이 수립되면, 이를 바탕으로 컨테이너 터미널에서는 개별 컨테이너의 실제적인 선적 계획을 수립하게 된다. 선적 계획수립자들은 숙련된 경험을 바탕으로 특정 야드에 장치된 컨테이너를 선박의 특정 셀에 할당하고, 할당된 개별 컨테이너의 선적 순서를 결정한다. 선적계획은 항해의 안전성을 보장해 준다는 측면 이외에도 컨

데이터를 적양하항번호 처리순서에 맞게 적부함으로써 원활하고 합리적인 컨테이너의 터미널 유통체계를 보여준다는 의미에서 그 중요성을 갖는다고 할 수 있다.

이처럼 적부계획이 수립되는 시점과 야드 내의 컨테이너 장치위치가 결정되는 시점이 다르기 때문에, 실제로 선사가 적부계획을 작성하는 과정에서는 터미널의 야드 상황을 고려하지 못하고 선박과 관련된 제약사항만을 고려하는 실정이다. 한편, 터미널에서는 야드 상황이 반영되지 않은 이러한 적부계획을 기초로 하여 선적계획을 수립하게 되므로, 야드 내의 효율적인 작업과 생산성을 저해하는 주요 원인이 되고 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해서는 적부계획과 선적계획의 통합이 필요하지만 계획수립 주체가 상이할 뿐 아니라 상충되는 이해관계를 가진 터미널과 선사의 제약 조건들을 모두 고려하는데 따르는 어려움 때문에 통합계획의 수립을 위한 연구는 아직 미미한 실정이다. 그러나, 근래 터미널의 선적 업무가 자동화되면서 선적관련 자료의 준비 시간이 단축되고, 자가부품을 소유하는 선사들이 등장하게 되면서 이원화되어 수립되고 있는 선적계획과 적부계획을 단일한 목표로 통합할 필요성이 대두되고 있다.

이러한 필요성에 따라 본 논문에서는 컨테이너 터미널을 소유하고 있는 선사를 대상으로 터미널의 선적계획과 선박의 적부계획을 통합하는 효율적인 계획 방안에 대해 연구하고자 한다. 일반적으로 터미널에서는 선사에서 수립한 적부계획을 거의 수정하지 않고, 야드에 장치되어 있는 컨테이너를 적부계획에 맞도록 선적하기 위해 컨테이너의 이동과 선적에 관련한 각종 기기 및 인력 계획을 수립한다. 따라서 본 논문에서는 먼저 컨테이너의 터미널내 장치 위치를 고려하여 컨테이너 적부계획을 수립하고, 터미널에서는 야드 상황이 반영된 적부계획을 바탕으로 선적계획을 수립하는 방법을 채택하였다. 이 방법은 사실상 선적계획과 적부계획을 동시에 수립하는 것이며, 터미널에서의 선적계획은 기기 및 인력의 수급과 운영에 관한 계획이 된다. 즉, 본 논문에서는 컨테이너 선적관련 업무중에서 선박회사의 본선적부계획 작성과 컨테이너 터미널에 장치된 개별 컨테이너의 선박내 적하 위치 결정을 연구의 대상으로 삼으며, 이 두 가지 연구 대상을 통합하여 계획을 수립할 수 있는 해법을 제안한다. 또한, 이러한 해법을 검증하고 실제 업무에 적용하기 위하여 컨테이너 선적계획을 위한 통합 의사결정지원시스템을 설계하고 개발하였다.

II. 본 론

1. 컨테이너 선적계획 업무

컨테이너 선적계획에 관련된 선적 업무는 선박회사와 컨테이너 터미널의 상호 유기

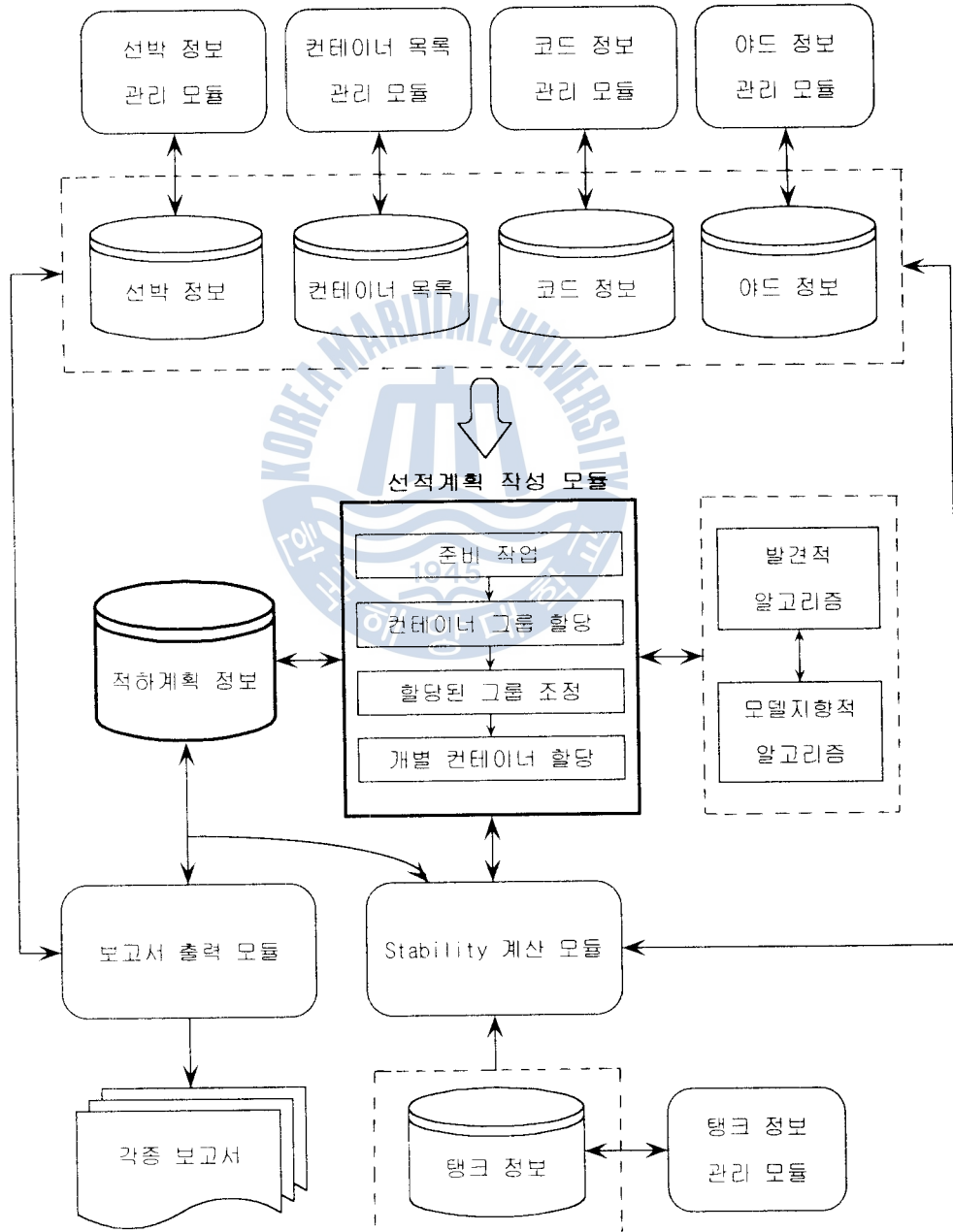
적인 활동으로 이루어진다. 선박회사는 자사 소유의 선박에 대한 복잡한 제약 사항들을 고려하여 본선 적부계획을 작성하고, 이를 컨테이너 터미널에 제출한다. 컨테이너 터미널은 선박에 선석을 배정하고 선사가 제출한 정보를 기초로 하여 장치장계획을 수립한다. 또한, 선박에 G/C와 작업 장비를 배정하고, 양하와 적하로 이루어진 선적계획을 사전에 수립하여 작업 효율성을 도모한다. 양하계획은 주로 선박내 컨테이너의 양하 순서 결정을 말하며, 적하계획은 야드에 장치된 컨테이너의 선박내 선적위치와 순서결정을 의미한다.

선박회사에서 수립하는 적부계획은 본선의 컨테이너 예정적재 상황을 전체적으로 파악할 수 있도록, 선창 구조가 인쇄된 서류에 양하지별 색채로 구분하여 표시한 것을 말한다. 또한, 특수·냉동·위험, Hi-cubic, 규격별 컨테이너 적재 위치도 지정되어 있으며, 일반적으로 본선 입항 10시간 전까지 컨테이너 터미널에 제출한다. 제출시에는 컨테이너목록, 위험화물목록, 특수화물목록 등도 첨부되며, 양하와 적하에 대하여 각각 별도로 작성되는 것이 일반적이다. 적부 계획은 선박회사의 이익 증대와 관계된 중요한 작업이며, 다수의 요인들과 제약 조건들이 포함되는 복잡한 문제이다. 계획을 수립하는 작업은 선박과 화물 적재에 해박한 지식과 경험을 가진 숙련된 계획수립자들에 의해 대부분 수작업 또는 단순한 전산시스템을 이용하여 이루어진다. 계획수립시 고려사항으로는 컨테이너의 역적재(overstow) 최소화, 선박 안정성(stability) 확보, 생산성 향상 등이 있다.

양하 계획은 터미널에 입항 예정인 선박에 대하여 양하 관련 서류를 접수한 이후에 작업 G/C를 배정하여 작업 스케줄 및 베이별 컨테이너의 양하순서를 결정하고 컨테이너를 야드에 장치하는 것을 말한다. 계획의 수립시에는 작업 효율성과 안전성 제고, 작업 장비의 간섭 최소화, 장치장 상황의 반영, 양하 작업의 생산성 향상 등을 고려한다. 적하 계획은 선사에서 제출한 적부계획상의 컨테이너 양하지별, 규격별 적재 요청 범위 내에서 터미널의 작업 효율성을 최대한 고려하여, 개별 컨테이너의 적재위치를 할당하고 선적순서를 결정하는 것을 말한다. 선사에서 제출한 적하 Stowage Plan과 터미널에서 작성된 야드 장치도의 작업량 그리고 기배분된 양하물량을 고려하여 작업 G/C의 대수와 작업시간을 확정한다. G/C간 작업물량을 평준화하여 선박의 작업 배이를 배분하고, 하역 작업이 원활히 수행되도록 작업 순서를 결정한다. 적하 계획 수립시에는 야드 장비의 장치장 이동거리 최소화, 선박의 안정성 확보, 장비간의 간섭 최소화, 컨테이너의 재배치 최소화, 효율적인 작업과정 반영 등의 중점 사항들을 종합적으로 고려하여야 한다.

2. 전체 시스템의 개념적 설계

본 논문에서 제안하는 전체 시스템은 구성요소와 선적계획 작성모듈의 두 가지 하부 시스템으로 구성되어 있으며, 전체 시스템의 개념적 설계는 아래의 그림과 같다.



3. 선적계획 수립을 위한 해법

실제로 선사와 컨테이너 터미널에서 컨테이너 선적계획을 수립할 때, 의미 있는 시간내에 계획을 도출하고 다양한 제약조건들을 고려할 수 있는 해법이 제안되었다. 제안된 해법은 실제 업무분석된 내용을 기초로 하였으며, 현업 부서에서 계획수립자들의 작업 방법을 최대한 반영하여 작성되었다. 해법은 크게 세 개의 단계(phase)로 구성되어 있으며, 각 단계(phase)는 작은 소단계(step)로 구성되어 있다. Phase I은 선박에 컨테이너 그룹을 할당하는 단계로, 입항 선박의 적부상태를 반영한 할당과 20ft와 40ft 컨테이너 할당의 순서로 이루어지게 되며, 미할당된 컨테이너는 남아 있는 선박의 빈 cell에 대한 그룹간 재배치를 통하여 최종적으로 할당된다. Phase II는 Phase I의 컨테이너 그룹 할당 내용을 조정하여 적부계획을 완성하는 단계이다. 할당된 컨테이너 그룹 조정 작업은 크게 냉동, 위험, 공 컨테이너 등의 특수 컨테이너 위치를 결정하는 단계와 컨테이너 그룹을 블록화, 평준화하는 단계로 구성되어 있다. 마지막으로 Phase III는 Phase II에서 수립된 적부계획을 기초로 야드 적재위치를 고려하여 컨테이너 그룹에 개별 컨테이너를 할당하는 단계이다. 개별 컨테이너 할당은 야드 정보가 없는 경우는 컨테이너의 중량 기준으로 처리되며, 야드 정보가 있는 경우는 야드 상황을 반영하여 이동거리와 중량 모두를 고려하여 작업된다. 전체 해법을 각 단계별로 간략히 살펴보면, 다음과 같다.

Phase I. 컨테이너 그룹 할당

- Step 1: 선박의 적부 상태를 반영하여 Hold와 Deck순으로 그룹 할당.
- Step 2: 20ft 컨테이너 그룹을 Hold와 Deck순으로 할당.
- Step 3: 40ft 컨테이너 그룹을 Hold와 Deck순으로 할당.
- Step 4: 할당된 남은 컨테이너 그룹 할당.

Phase II. 할당된 컨테이너 그룹 조정

- Step 1: 냉동 컨테이너의 위치 결정.
- Step 2: 위험 컨테이너의 위치 결정.
- Step 3: 공 컨테이너의 위치 결정.
- Step 4: 블록화와 평준화를 고려한 위치 조정.

Phase III. 개별 컨테이너 할당

Step 1: 아직 정보가 없는 경우, 총량순으로 개별 컨테이너 할당.

Step 2: 아직 정보가 있는 경우, 아직 상황을 고려한 개별 컨테이너 할당.

4. 컨테이너 그룹 할당을 위한 개량적 모형

선적계획 작성 해법의 Phase 1을 대체할 수 있도록 컨테이너 그룹을 선박의 Row에 할당하는 개량적 모형을 제시하였다. 제시된 모형은 컨테이너 부족량의 개별 컨테이너를 부족량에 따라 그룹화하고, 선박의 Row를 선수 방향과 횡 방향의 Hatch를 단위로 분류한다. 그 이후에 컨테이너의 역식재 최소화화 블록 할당, hatch cover와 컨테이너의 요격 등의 제약 조건을 만족하면서, 선적되는 컨테이너 그룹의 수를 최대화한다. 컨테이너 그룹을 선박의 셀에 할당하기 위한 수리적 모형은 다음과 같다.

$$\text{Minimize } Z = \sum_i \sum_j x_{ij}$$

Subject to

$$\sum_j x_{ij} < C_i, \quad \forall j \tag{1}$$

$$\sum_j x_{ij} < Q_i, \quad \forall i \tag{2}$$

$$\sum_j y_{ij} < 1, \quad \forall j \tag{3}$$

$$y_{ij_1} = y_{ij_2}, \quad \forall i, (j_1, j_2) \tag{4}$$

$$\sum_j x_{ij_1} < C_i - \sum_j x_{ij_2}, \quad \forall (j_1, j_2) \tag{5}$$

$$\sum_j x_{ij_2} < C_i - \sum_j x_{ij_1}, \quad \forall (j_2, j_1) \tag{6}$$

$$2 \cdot \sum_j x_{ij_3} < 2 \cdot C_i - \sum_j x_{ij_1} - \sum_j x_{ij_2}, \quad \forall (j_1, j_2, j_3) \tag{7}$$

$$y_{ij_1} = 0, \quad \forall i \in G2, j \notin R2 \tag{8}$$

$$y_{ij_2} = 0, \quad \forall i \notin G2, j \in R2 \tag{9}$$

$$y_{ij} = 1, \quad \forall (i, j) \in T \tag{10}$$

$$b_{ij} < b_i, \quad \forall (j_1, j_2) \tag{11}$$

$$x_{ij} \leq C_j y_{ij}, \quad \forall i, j \quad (12)$$

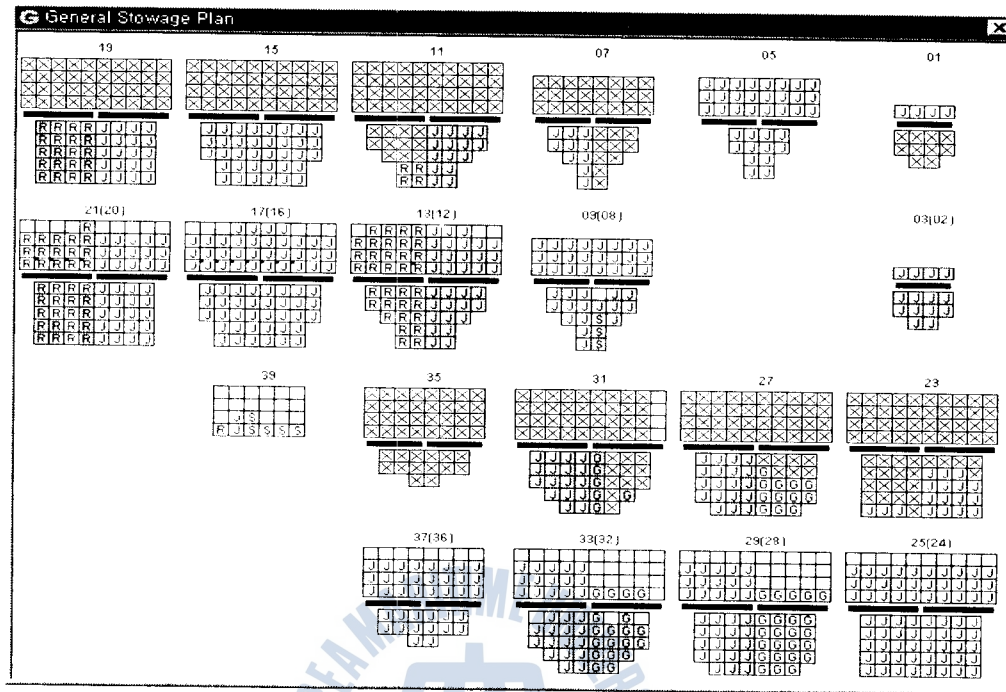
$$x_{ij} = \text{integer}, \quad \forall i, j \quad (13)$$

$$y_{ij} = 0 \text{ or } 1, \quad \forall i, j \quad (14)$$

5. 통합 의사결정지원시스템의 구현 및 적용

개발된 시스템은 Microsoft Windows 95를 운영체제(Operating System)로 가진 데스크탑 PC를 대상으로 하였으며, 개발도구는 마이크로소프트사의 Visual Basic 5.0을 이용하여 구현되었다. 선적계획 의사결정지원시스템의 주요한 특징을 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 실무의 지식과 이론적 해법을 통합한 형태로 시스템이 설계되었기 때문에, 실무에서 실제로 사용이 가능하다. 둘째, 사용자의 편의성을 최대한 고려한 GUI(Graphic User Interface)를 기본으로 하였으며, 이를 위하여 Windows 환경을 선택하였다. 셋째, 주요한 사용자인 선사와 컨테이너 터미널이 각기 목적별로 사용할 수 있도록 시스템을 구성하였다. 넷째, 업무 환경에 따라 사용자가 선택할 수 있는 다양한 옵션을 제공한다. 다섯째, 향후의 시스템 변경과 확장이 용이하도록 각 기능별로 모듈화하여 설계 및 구현하였다.

본 논문에서 설계 및 개발한 통합 의사결정지원시스템을 실제 업무에 적용하기 위하여 국내의 B컨테이너 터미널에 입항하여 작업한 H선사의 선박과 컨테이너 자료를 이용하였다. 또한, 최종 수립된 선적계획에 대한 결과분석이 이루어졌으며, 본 연구에서 제안한 해법이 실무에 적용가능한 바람직한 결과를 도출함을 알 수 있었다. 대상 자료를 이용하여 시스템이 최종적으로 수립한 컨테이너 선적계획은 아래의 그림과 같다.



III. 결 론

최근 우리나라 수출입 화물의 불동향은 국내의 경제발전에 따라 급속히 증가되고 있으며, 이의 대부분이 항만을 통한 해상운송에 의존하고 있는 실정이다. 이러한 점에 비추어 볼 때, 대형화되고 있는 컨테이너 선박의 효율적인 운영 문제와 아직 개선의 여지가 많은 컨테이너 터미널의 생산성 향상 문제는 중요한 과제로 대두되고 있다. 또한, 국제 해운환경의 다각적인 변화와 경쟁의 심화 등은 선박 운영의 합리화와 고객 서비스의 질적 향상을 요구하고 있다. 이러한 필요성에 따라, 본 논문에서는 현재 선사와 컨테이너 터미널로 이원화되어 수립되고 있는 컨테이너 선적계획을 효율적으로 작성하기 위하여, 이 두 가지 주체의 업무를 통합하는 방안을 연구하였으며 이에 대한 방법론을 제시하였다.

본 연구를 수행한 결과로 얻어진 주요한 성과들을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 이전에 이루어진 연구와는 달리 선사의 적부계획과 터미널의 선적계획으로 이루어진 선적 선적계획 업무를 개별적으로 다루지 않고 하나로 통합하여, 이에 대한 해를 도출할 수 있는 방법론 개발에 대한 연구를 시도하였다. 이러한 연구를 통하여 현재 이원화되어 있는 선적계획 업무를 보다 효율적으로 수행하는 통합계획에 관한

방법을 제시하였으며, 차후에 진행될 연구에 대한 기틀을 마련하였다. 둘째, 실무에서 계획수립자들이 컨테이너 선적계획 수립을 위하여 사용하고 있는 방법을 기초로 하여, 의미 있는 시간 내에 해를 도출할 수 있는 발견적 해법을 개발하고 이를 제시하였다. 제시된 해법은 계획 수립과 관련된 다수의 제약 조건을 만족하면서 효율적인 작업을 도모할 수 있는 작업계획을 도출하였다. 이의 검증을 위하여 실제 선사와 터미널의 자료를 이용하여 해법의 각 단계를 적용하였으며, 실제 업무에 적용 가능한 수준의 바람직한 결과를 얻었다. 셋째, 전체 해법의 과정 중에서 컨테이너의 초기 배치 형태를 도출하는 작업을 대체하기 위하여, 복잡한 통합 선적계획 수립과정을 적절히 반영하는 수리모형을 제시하였다. 현재에는 모형에 대한 효율적인 해법이 개발이 필요한 단계에 있으나, 해법이 개발될 경우에 발견적 해법과 함께 사용하여 좀더 수준 높은 해를 도출할 수 있다. 넷째, 컨테이너 터미널의 야드 상황이 고려된 컨테이너 선적계획을 수립하기 위하여 분석된 업무 내용과 해법을 기초로 하여 전체 선적계획 업무를 모형화하였다. 또한, 모형화된 선적계획 업무를 실제 업무에서 계획수립자들이 사용할 수 있도록 통합 의사결정지원시스템으로 구현하였다. 개발된 시스템은 PC를 대상으로 하였으며, 사용자 중심으로 설계되어 실무자들이 별도의 수작업 없이 계획과정을 화면상으로 확인해가며 사용하는 것이 가능하다.

본 연구를 수행함으로써 상기한 바와 같은 많은 성과를 얻을 수 있었으며, 이를 기초로 차후의 연구가 계속 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Botter, R.C. and M.A. Brinati(1991), "Stowage Container Planning: a model for getting an optimal solution," Computer Applications in the Automation of Shipyard Operation and Ship Design ICCAS 91 Amsterdam, North-Holland, pp.193-13.
- [2] Dumbleton, J.J.(1990), "Expert System Applications to Ocean Shipping - A Status Report," Marine Technology, Vol.27, No.5, pp.265-284.
- [3] Perakis, A.N. and J.T. Dillingham(1987), "The Application of Artificial Intelligence Techniques in Marine Operations," Proceedings of 1987 Ship Operations, Management and Economics International Symposium, pp.24(1-28).
- [4] 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.

- [5] Sha, O.P.(1985), "Computer Aided on Board Container Management," Computer Applications in the Automation of Shipyard Operation and Ship Design ICCAS 85 Amsterdam, North-Holland, pp.177-188.
- [6] Shields, J.J.(1984), "Containership Stowage: A Computer-Aided Preplanning System," Marine Technology, Vol.21, No.4, pp.370-383.
- [7] Webster, W.C. and P. Van Dyke(1970), "Containership Loading: A Containership Allocation Model," Computer-Aided Ship Design Engineering Summer Conference, The University of Michigan.
- [8] 김기영, 김갑환(1997), "터미널에서의 유전자해법을 이용한 적하계획법," 한국항만학회 97년도 학술발표회 강연논문집, pp.50-55.
- [9] 장기중, 이철영(1990), "컨테이너선의 적재계획에 관한 연구," 한국항만학회지, 제14권, 제4호, pp.1-15.
- [10] 백인태(1994), 컨테이너 터미널의 분류 정보 처리.
- [11] 신재영, 남기환(1995), "컨테이너 선박의 자동적재계획을 위한 지능형 의사결정지원시스템," 한국항만학회지, 제9권, 제1호, pp.19-32.
- [12] 신재영, 광규석, 남기환(1996), "컨테이너 터미널 선적계획 의사결정지원시스템," 한국항만학회 96년도 학술발표회 강연논문초록집, pp.36-41.
- [13] 조덕운(1986), "컨테이너선 선적 계획 문제 연구," 해군사관학교.
- [14] 한국해양대학교(1996), 효율적인 컨테이너 터미널 계획 및 운영을 위한 모형 개발.

