

장치장 모니터링 시스템과 통합된 효율적인 수출 장치장 계획 시스템

이 채 민* · 신 재 영**

* 한국해양대학교 물류시스템공학과 대학원, ** 한국해양대학교 물류시스템공학과 부교수

Export Yard Planning System Integrated with Yard Monitoring System in Container Terminal

Chae-Min Lee* · Jae-Yeong Shin**

* Graduate school of National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

** Department of Logistics Engineering, National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

요 약 : 현재 컨테이너 터미널의 계획자들은 장치장 모니터링(Yard Monitoring)과 수출입 장치장 계획을 분리된 시스템 환경으로 하여 계획을 수립하고 있다. 이로 인하여 수출 장치장 계획을 할 때 실시간으로 컨테이너 장치 현황을 정확히 반영하여 계획을 수립하지 못하고 있는 실정이며 부산의 각 터미널의 많은 계획자들이 기존 수출입 장치장 계획 시스템의 한계를 인식하고 있으며 해결 방안을 찾고자 하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 장치장 모니터링 시스템과 수출입 장치장 계획 시스템을 통합하여 실시간 컨테이너의 흐름에 따른 수출입 장치장 계획 시스템을 디자인하고 계획에 적합한 효율적인 의사결정 지원 모형을 제시한다. 또한 이러한 해법을 검증하고 실제 업무에 적용하기 위한 시스템을 설계하고 개발하고자 한다.

핵심용어 : 컨테이너 터미널, 장치장 모니터링, 수출 장치장 계획

Abstract : Because yard monitoring system is a part of real-time operation system and yard planning system is a part of planning system, most planners, in container terminal, Busan Port, can not consider real-time and exact yard situation and container information such as position of equipments or movement of containers with current planning system when export yard planning is established. Therefore, many planners recognize the limit of current planning system and try to find the solution to get over it. The reason of this, heuristic algorithms for the export yard planning, operating on monitoring system, are suggested and integrated export yard planning system is designed and developed in this paper.

Key words : container terminal, yard monitoring, export yard planning

1. 서 론

현재 국제 운송의 대부분을 담당하고 있는 해상 운송은 계속되는 조선 기술의 발전과 수송비 절감을 위해서 고속화, 자동화, 그리고 대형화되어 가고 있다. 이러한 변화에 발맞추어 일반 화물은 하역, 보관, 운송과정에서의 작업 효율성 향상을 위해 대부분 컨테이너로 전환되었고, 이러한 표준화를 이용하여 증가하는 컨테이너 물동량을 처리하기 위해서 컨테이너 터미널의 효율적인 운영에 많은 관심을 보이고 있는 실정이다.

터미널 생산성 향상을 위한 방안으로 터미널 시설 확충 또는 자동화 장비 도입 등과 같은 방법과 효율적인 터미널 운영 계획 시스템을 확보하는 방법으로 크게 나누어볼 수 있다. 후자의 효율적인 터미널 운영 계획 시스템은 전자의 터미널 시설 확충 방법에 비해서 단기적이며 적은 비용으로 수립할 수 있다는 이점이 있다. 이러한 컨테이너 터미널 운영 계획 시스템은 터미널 업무 정보 관리, 운영 계획 작성, 실시간 모니터

링 및 제어 등과 같은 작업을 수행하거나 지원해주는 시스템들로 이루어진다. 이 운영 시스템 중에서 특히 계획 시스템은 업무가 복잡하여 전문적인 지식이 필요하고 고려해야 할 사항이 많아서 각 터미널마다 전담 계획자들을 두어 계획을 수립하고 있으며 효율적인 운영시스템을 확보하는 것에 관심이 매우 높은 실정이다.

계속되는 정보기술의 발달은 컨테이너 터미널 운영 계획에서도 기존의 작업 방식을 변화시켜 나가고 있다. 이런 변화는 운영 계획들 간의 연관성을 고려하면서 각종 계획들을 빠르고 쉽게 계획 또는 재계획 할 수 있는 통합시스템을 요구하며, 나아가서는 실시간 모니터링 및 제어시스템과 연계하여 아주 짧은 시간동안에 즉각적인 계획 입안 또는 재계획이 가능한 계획시스템과 제어시스템의 통합 요구도 나오고 있다.

컨테이너 터미널의 운영에 관한 기존 연구 중에서 수출입 컨테이너의 장치장 운영 작업 계획에 대한 연구로는 Kim, Park and Ryu(2000)는 수출 컨테이너 장치장 계획시 재취급

* fiance@hhu.ac.kr 018)567 0457

** 종신회원, shinjy@hanara.kmaritime.ac.kr 011)591 0415

을 최소화하기 위해 무게를 가장 중요한 의사 결정 요소로 보고 동적 계획법을 이용해 최적의 장치 위치를 결정하는 모형을 제시하였고 김갑환 등(1995)은 수출입 컨테이너 장치장의 계획을 사전에 배치구역을 계획하는 단계와 미래의 변동적인 상황에서 운영의 목적 및 제약을 만족시킬 수 있게 실제 컨테이너 도착 시점에 야드 상황을 고려하여 구체적인 위치를 지정하는 계획을 세울 수 있는 소프트웨어를 개발하여 소개하였다. 김갑환 등(2001)은 무인 자동화 컨테이너 장치장 Layout에 대한 연구로 G/C, AGV, ATC를 사용한 수직형 배치안에 대하여 평가하였다. Preston and Kozan(2001)은 수출 컨테이너 장치장 위치를 결정하는 문제에서 장치 블록과 마살링 블록이 따로 존재하는 경우에 선박이 선석에 머무르는 시간을 최소화하는 것을 목적으로 시간을 Set-Up Time과 Traveling Time으로 구성하여 정수 계획 모형으로 최적해 모델을 제시하고 GA(Genetic Algorithm)를 이용한 발견적 방법으로 결과를 제시하였다.

현재 컨테이너 터미널의 계획자들은 장치장 모니터링(Yard Monitoring)과 수출입 장치장 계획을 분리된 시스템 환경으로 하여 계획을 수립하고 있다. 이로 인하여 수출 장치장 계획을 할 때 실시간으로 컨테이너 장치 현황을 정확히 반영하여 계획을 수립하지 못하고 있는 실정이며, 이에 따라 부족한 장치장 공간의 효율적인 이용에 대한 한계를 보이고 있다. 부산의 각 터미널의 많은 계획자들이 기존 수출입 장치장 계획 시스템의 이러한 한계를 인식하고 있으며 해결 방안을 찾고자 하고 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 장치장 계획의 문제점을 인식하고 장치장 모니터링 시스템과 수출입 장치장 계획 시스템을 통합하여 실시간 컨테이너의 흐름에 따른 수출입 장치장 계획 시스템을 디자인하고 계획에 적합한 효율적인 의사 결정 지원 모형을 제시한다. 또한 이러한 해법을 검증하고 실제 업무에 적용하기 위한 시스템을 설계하고 개발하고자 한다.

2. 수출 컨테이너 장치장 계획

수출 장치장 배정 계획의 시작은 선박의 접안 계획이 수립되고 선적예정목록(BKPROS: Booking Prospect)이 선사로부터 입수되면 수출 장치장 계획 수립을 하게 된다. 반입 컨테이너에 대한 장치장 배정계획은 크게 수출 장치장 블록 배정 단계와 수출 컨테이너별 저장위치를 결정하는 것으로 이루어진다.

2.1 수출 장치장의 블록 배정 계획

수출 예정 물량에 대한 구체적인 내용을 선사로부터 통보 받은 경우 반입물량에 대한 컨테이너의 각종 정보가 입수된다. 이 정보를 기초로 하여 수출 컨테이너에 대한 구체적인 장치장 배정계획을 수립할 수 있으며, 다음과 같은 배분인자를 사용하는 것이 일반적이다.

- 기항하는 선박의 모선·항차별 구분
- 반입 컨테이너 규격(size)별 구분

- POD(Port Of Discharging)컨테이너 양하지별 구분
- 컨테이너 적(Full)/공(Empty) 여부별 구분
- 컨테이너 무게(Weight)등급별 구분

컨테이너의 무게 등급은 일반적으로 3등급(H: Heavy, M: Medium, L: Light)으로 구분하고 있으나, 실제로 5등급 정도의 구분이 요구된다. 일반적으로 반입 컨테이너의 무게는 반출입계(COPINO: Pick-up/Arrival Pre-Notification) 정보를 참조하게 되며, 이 정보의 오차가 최고 70%가 되는 경우도 있다. 따라서 컨테이너의 실제 무게를 측정하기 위해서는 반입시 Gate의 통과 게이지를 통한 정확한 정보 산출이 필요하다. 수출 장치장 블록 배정 계획 수립시 적용되는 고려사항은 다음 Table 1과 같다.

Table 1 Considerations of space allocation for export containers

분류	고려사항
Grouping 규칙	<ul style="list-style-type: none"> - 선박별, POD - 규격: 20'/40'/45' - 컨테이너 적공여부: Full/Empty - 화물 속성: 일반, Reefer, 위험화물 등 - 운반 속성: T/S 화물, 1 time shifting, 2 time shifting, 직반입 화물
블록 결정 규칙	<ul style="list-style-type: none"> - 모선 접안 선석과 가까운 Yard Block을 할당. - 한 모선의 컨테이너 Block들을 되도록 모아 둬. - 인접 지역의 타 모선의 정보를 반영한다. - 본선작업시 적하Pattern을 고려하여 Yard 저장을 Segregation 한다. - 장비 간섭을 고려하여 Block 및 Yard를 배정.

2.2 수출 컨테이너별 저장위치 결정

컨테이너가 Gate로부터 반입되면 수출 장치장 공간이 배정된 곳에 컨테이너의 세부적인 저장 위치를 결정하여야 한다. 적하되는 컨테이너는 선적 순서를 고려하여 결정하여야 선박의 적하 계획시 컨테이너의 재배치 및 재취급이 최소가 되도록 세부 위치를 정하여야 한다. Table 2과 수출 컨테이너별 저장위치를 결정하는 고려사항이다.

Table 2 Considerations of stacking location for export container

분류	고려사항
장치위치 규칙	<ul style="list-style-type: none"> - Gate를 통해 반입되는 컨테이너가 해당 Bay의 위치까지 이동하는 동안 장치 Row, Tier 위치를 결정한다. - 컨테이너의 재배치가 최소가 되도록 결정 - 선적시 재취급을 방지하기 위해서 무게를 중요한 요소로 둬 - 단(Tier)은 1,2,3,4 순서로 열(Row)은 6,5,4,3,2,1 순으로 배정 - 지정된 위치에 적재할 수 없는 상황이면 장비 기사의 판단에 의해 가까운 위치에 적재

3. 시스템 설계

본 장에서는 수출 장치장 계획을 중심으로 실시간 작업을 관리하는 장치장 모니터링과 연계하여 실시간으로 계획을 수립하는 시스템을 연구의 대상으로 한다. 제시하고자 하는 연구의 범위는 실시간으로 장치장 모니터링과 수출 장치장 계획이 이루어지는 시스템을 대상으로 하기 때문에 최소한의 정보량을 관리하고 제공하는 효율적인 데이터베이스 구축이 필요하다. 따라서 변경된 또는 변경될 정보를 관리하는 새로운 데이터베이스 개념을 디자인 하고 이 디자인된 데이터베이스를 이용하여 실시간으로 컨테이너가 Gate로부터 반입되는 동적인 상황 하에서 현재 장치된 컨테이너를 모니터링하면서 수출 장치장 계획을 수립하는 것에 대한 발견적 해법을 제시한다.

3.1 기존 시스템과의 비교

본 연구에서 제안하는 운영 시스템은 장치장 계획 자체가 운영과 분리된 기존의 형태를 실시간 모니터링 시스템과 수출 장치장 계획 시스템으로 통합하였고 이 실시간 모니터링을 이용하여 수출 장치장 계획을 수립하는 시스템을 제안한다. 따라서 이 시스템이 가져다주는 운영상의 이점을 터미널 계획자 관점에서 분리된 기존 시스템과의 비교를 통하여 알아보면 다음과 같다.

첫째, 컨테이너 장치 현황을 수출 장치장 계획에 정확히 반영하는 것에서 차이를 보이게 된다. 먼저 기존 시스템을 살펴보면 수출 장치 공간을 계획하기 위해서 데이터베이스로부터 컨테이너 정보를 읽은 후에는 데이터베이스와의 연결이 끊어진다. 따라서, 계획자가 장치장 계획을 수립하고 있는 동안에 계획하고자 하는 공간에 컨테이너가 장치된다면 이것을 즉각적으로 계획으로 반영할 수 없으므로 운영과 계획에서 혼란이 야기된다. 그러나 실시간 정보를 제공하는 모니터링과 연계된 통합 장치장 계획 시스템에서는 이러한 상황이 발생하였을 경우에 즉각적으로 계획을 수정하거나 재 계획을 수립하는 유연한 계획이 가능하다.

둘째, 최종 컨테이너의 장치 위치를 결정할 수 있다는 것이다. 기존의 시스템은 실시간 계획이 아니기 때문에 수출 장치장 공간만을 할당하는 계획 수준이거나 컨테이너의 최종 위치를 컨테이너의 속성에 따른 것이 아니라 하역장비의 작업우선 방향으로 결정하는 방법을 사용하고 있다. 그러나 이는 최종 컨테이너의 흐름에서 재취급을 크게 발생시키는 요인이 될 수 있다. 실시간 시스템에서는 이러한 재취급 문제를 해결하기 위해서 최종 컨테이너 장치 위치를 컨테이너가 반입 또는 반출되는 정보를 이용하여 계획을 수립할 수 있다. 즉, 수출에 대해서는 Loading Pattern을 고려한 수출 장치 계획을 수립하여 수출 장치장 공간의 효율성 및 선박의 적하 작업 역시 생산성을 높일 수 있게 한다.

셋째, 작업 대상 이외의 주변 상황 정보 파악이 용이하다. 수출 장치장 계획을 수립하기 위해서는 다른 모션항차의 작업 또한 매우 중요한 요소이다. 즉, 타 모션항차에 대한 작업은

하고 있거나 일어날 장치 공간에 대해서는 장비 간섭의 이유로 될 수 있도록 같은 시간대에 작업을 피해야 한다. 따라서 실시간 모니터링과 연계된 수출 장치장 계획은 이러한 주변 상황에 대한 정보 파악이 용이하므로 이런 정보를 고려하여 보다 효율적인 의사결정을 수립할 수 있도록 지원한다.

이상으로 기존 수출 장치장 계획 시스템과 통합 수출 장치장 계획 시스템의 비교 및 통합 시스템의 이점을 살펴보았으며 이를 간단히 정리하면 Table 3과 같다.

Table 3 Current system vs. integrated system

내용	기존 시스템	통합 시스템
실시간 컨테이너 장치 위치 파악	×	○
수출 장치 공간 할당	○	○
최종 수출 컨테이너 위치 지정	×	○
Loading Pattern	△	○
컨테이너 실제 무게 반영	×	○
타 모션항차의 정보 반영	△	○
장비의 위치 및 간섭 반영	×	○

○: 계획 반영, △: 계획 일부 반영, ×: 계획 반영하지 않음

3.2 시스템 모형화

본 연구에서 제안하는 전체 시스템은 데이터베이스와 수출 장치장 계획 이 두 가지 모듈로 구성되어 있다. 전체 시스템의 개념적 설계를 그림으로 도식화하면 Fig. 1과 같다.

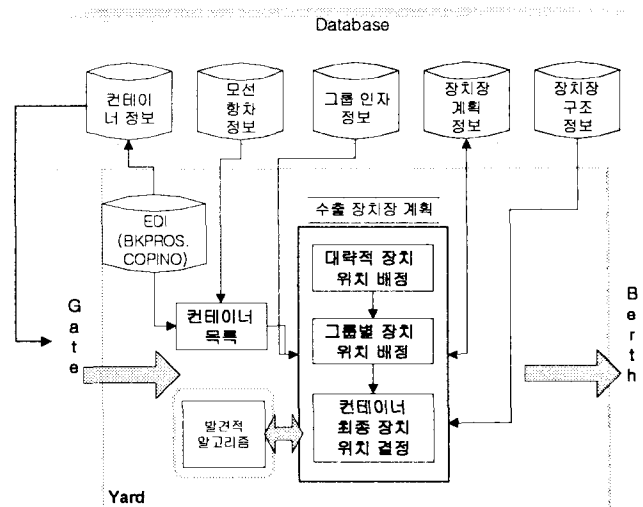


Fig. 1 Conceptual framework of entire system

3.3 데이터베이스 설계

연구의 특성상 실시간 정보와 이를 계속하여 모니터링하면서 계획을 수립하여야 하므로 최소한의 정보 조회 횟수와 조회 결과 응답 시간으로 계획 가능한 정보를 제공하여야 하기 때문에 기존의 데이터베이스로는 이런 실시간 상황 하에서의

정보를 신속히 제공하기 힘든 여건으로 본 연구에서 보다 객체에 가깝도록 데이터베이스를 디자인하여 이러한 문제를 해결하고자 하였다.

Fig. 2 데이터베이스 전체 개념도에서 모든 운영 계획의 주체가 되는 가장 중요한 개체는 터미널에 기항하는 항차 정보를 가지는 VVD(Vessel & Voyage)와 Container이며, Master 개체라 한다. 그리고 터미널의 전체적인 정보를 가지는 Terminal 개체와 하위 세부 개체로 Berth, Yard, 그리고 Gate 개체가 존재한다. Vessel 개체는 선박의 구조 정보를 가지는 Vessel Structure가 존재한다. 터미널내의 장비의 정보를 가지는 개체로 Facilities 개체가 존재하며 이 개체는 G/C, T/C, 그리고 Y/T 개체들로 구성되어 있다. 마지막으로 EDI 개체와 Code 개체는 계획 수립이 아닌 정보 참조로써 Container, VVD 및 모든 개체와 연관된다. EDI와 Code 개체를 제외한 각 개체들과 Container, VVD 개체 사이에는 정보를 참조하고 각 운영에 적합한 계획을 수립하는 관계가 생성된다.

본 연구에서는 능동 데이터베이스의 이전 단계에서 주로 사용되는 트리거(trigger)와 제약조건 검사(constraint checking)를 적절히 이용하여 계획 가능한 최소한의 정보를 컨테이너의 흐름에 따라 유지하며 갱신된 정보가 필요한 테이블에 일관성 있게 적용되도록 하였다(유찬호, 1999).

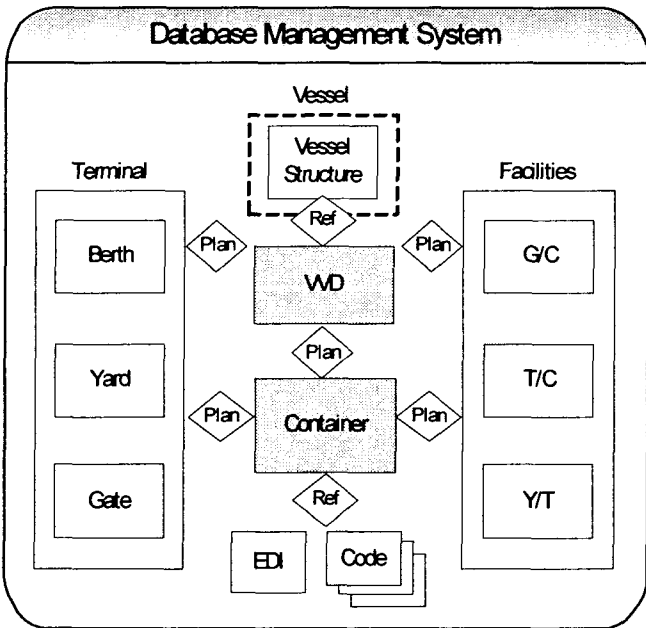


Fig. 2 Conceptual framework of database

본 연구에서는 이런 트리거와 View 테이블에 의한 능동적인 작업으로 계획에 필요한 최소한의 정보만을 유지하므로 본 연구에서 제시하고자 하는 실시간 모니터링과 연계한 수출 장치장 계획을 수립하는 것에 있어 효율적인 데이터를 제공할 수 있도록 설계하였다. Fig. 3은 시스템 데이터베이스를 정의하기 위한 적전 단계로 E-R Diagram을 나타내었고 본 연구

인 수출 장치장 계획 수립을 위한 데이터베이스 중에서 트리거와 View 테이블을 구성하는 일부 영역만을 나타내었다.

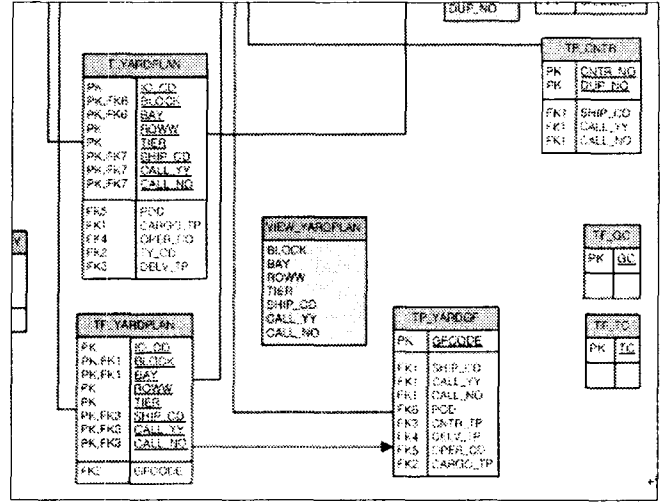


Fig. 3 Major part of E-R diagram

Fig. 3에서 TP_YARDPLAN, TP_CNTR은 계획에 관련된 최소한의 정보를 항상 유지하기 위하여 트리거를 사용하고 있다. 다음 Table 4에는 구현된 테이블들 중에서 수출 장치장 계획에 직접 관련된 주요한 테이블과 각 테이블 간의 연관성을 설명한다.

Table 4 Description of major table

Table	Description
TP_CALL	-트리거를 이용하여 계획 대상이 되는 정보만을 최소한으로 유지 하는 기능의 흐름을 하나의 예로 설명하면 다음과 같다.
TP_CNTR	(1) T_CALL의 해당 모션항차의 작업종료를 입력
TP_YARDPLAN	(2) TP_CALL의 해당 모션항차 삭제됨 (3) TP_YARDPLAN, TP_YARDGF, TP_CNTR의 해당 모션항차의 내용이 자동으로 삭제되어 관리됨

3.4 수출 장치장 계획 수립을 위한 해법

본 절에서는 실제로 컨테이너 터미널에서 수출 장치장 계획을 수립할 때, 의미 있는 시간 내에 계획을 도출하고 다양한 제약조건들을 고려할 수 있는 발견적 해법을 제시하도록 하였다.

본 연구에서 제안하고자 하는 알고리즘은 현장에서 계획자들이 사용하고 있는 규칙을 기반으로 하여 제안 되었다. 일반적으로 계획자가 수출 장치장 계획 수립과정을 살펴보면 각 선석별로 선적될 컨테이너의 전체 수량과 수출 장치장의 상황을 고려하여 대략적 장치장 공간을 할당하고 다음으로 컨테이너를 같은 속성 별로 그룹화 하여 장치장 블록에 위치(Bay)를

지정한다. 마지막 절차로는 Gate로부터 반입되는 컨테이너들에 대한 지정된 Bay의 세부 위치(Row, Tier)의 순서를 결정한다. 따라서 본 연구에서 제시된 발견적 해법은 실제 현장에서 이루어지는 절차와 마찬가지로 대략적 수출 장치장 공간 할당(Phase I), 그룹별 장치 위치 배정(Phase II), 그리고 컨테이너 최종 장치 위치 결정(Phase III), 이 세 절차로 나누어 모형화 하였고 각 절차는 세부단계(Step)로 구성된다.

제시된 알고리즘의 장치 공간, 위치 할당(Phase I, II)의 평가 기준으로는 배정된 장치위치들의 분산도와 모선 접안 선석과의 근접도이며 이를 위한 제약규칙으로 타 모선 계획을 고려한 배정 규칙, 화물 유형별 장치위치 제약 규칙 그리고 동일 모선 컨테이너의 집중화 규칙 등이 사용되었다. 그리고 컨테이너 최종 장치 위치 결정(Phase III)은 평가 기준으로 적하게 계획을 위한 Loading Pattern 반영과 재취급의 최소화이며 제약규칙으로 무게를 가장 중요한 제약으로 두었다.

제시된 발견적 해법에서 반입되어 들어오는 컨테이너는 모두 일반 화물임을 가정한다. 왜냐하면, 냉동 또는 위험 화물은 그 장치 블록이 미리 정의되어 있기 때문에 화물의 수량이 많은 일반 화물만을 고려한다. 본 연구에서 제시된 해법에서 사용되는 기호는 다음과 같다.

- n : 작업 선박의 수
- m : 전체 Block 개수
- t_k' : k 작업 선박의 화물 진입시각
- t_k'' : k 작업 선박 출항 시각
- b_i : Block i 의 최대 Bay 개수, $i=1, \dots, m$
- A' : 계획 대상 선박에 선적될 20ft 컨테이너 물량
- A'' : 계획 대상 선박에 선적될 40ft 컨테이너 물량
- A''' : 계획 대상 선박에 선적될 High-Cubic 컨테이너 물량
- $B(i, j, k, l) = \begin{cases} 1: i \text{ Block, } j \text{ Bay, } k \text{ Row, } l \text{ Tier에 컨테이너 장치되지 않았으면} \\ (i=1, \dots, m), (j=1, \dots, b_i), (k=1, \dots, 6) \\ 0: \text{Otherwise} \end{cases}$
- S_k : k 작업 선박의 컨테이너가 반입되는 시간대에 양·적하 작업이 발생하지 않고 장치 가능한 Block의 집합
- G_i' : 20ft 각 그룹의 물량 $i=1, \dots, 20$ 그룹개수
- G_i'' : 40ft 각 그룹의 물량 $i=1, \dots, 40$ 그룹개수
- G_i''' : High-Cubic 그룹의 물량 $i=1, \dots, \text{High-Cubic 개수}$
- D_i' : 20ft를 실을 수 있는 공간의 Bay 집합 $i \in S_1$
- R_y' : 20ft를 실을 수 있는 공간의 Row 집합 $i \in S_1, j \in D_i'$
- D_i'' : 40ft를 실을 수 있는 공간의 Bay 집합 $i \in S_1$
- R_y'' : 40ft를 실을 수 있는 공간의 Row 집합 $i \in S_1, j \in D_i''$

1) 대략적 수출 장치장 공간 할당(Phase I)

Phase I는 계획 수립자들이 작업 대상인 특정 모선행차에 해당하는 적하 컨테이너 물량에 대하여 장치 가능한 블록을 결정하는 단계이다. 이것은 다음 단계인 그룹별 장치 위치를 배정하기 위한 블록을 결정하는 것이다. 이 단계는 다음 3가지 세부단계를 거쳐서 결정된다.

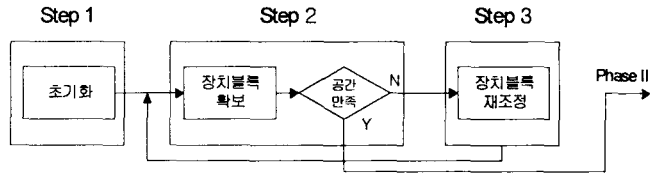


Fig. 4 Diagram of Phase I

Step 1 [초기화 단계]

- ① 계획하고자 하는 모선을 $k=1$ 로 두고 t_k', t_k'' 을 차례로 구한다.
- ② t_k', t_k'' 사이 시간에 계획이 이루어지거나 작업중인 모선 수를 구하여 n 의 값을 구한다.
- ③ k 를 제외한 나머지 $n-1$ 의 모선에 대하여 ①과 같은 방법으로 (t_{k+1}', \dots, t_n') , $(t_{k+1}'', \dots, t_n'')$ 의 값을 구한다.
- ④ 작업 계획 대상 선박의 A', A'', A''' 의 값을 구한다.
- ⑤ $S_1 =$ 전체 Block의 집합으로 둔다.

Step 2 [장치블록확보 단계]

- ① 작업 대상 선박의 컨테이너가 반입되는 시간대에 다른 모선의 양·적하 작업이 발생하지 않는 블록을 고려하기 위해서 $S_1 = S_1 - \sum_{k=2}^n S_k$ 를 구한다.
- ② 필요한 40ft와 High-Cubic 공간을 만족하는지 체크하기 위하여 $\forall i \in S_1, j=1, \dots, b_i$ 인 $B(i, j, k, l)=1$ 중에서 인접한 Bay를 체크하여 40ft를 실을 수 있는 공간의 Bay 집합 $D_i''(i \in S_1)$ 와 Row 집합 $R_y''(i \in S_1, j \in D_i'')$ 을 구한다.
- ③ 필요한 20ft 공간을 만족하는지 체크하기 위하여 $\forall i \in S_1, j=\{1, \dots, b_i\} - \{k, k+1\}$ ($k \in D_i''$)에 대하여 $B(i, j, k, l)=1$ 인 것을 체크하여 20ft를 실을 수 있는 Bay의 집합 $D_i'(i \in S_1)$ 와 Row 집합 $R_y'(i \in S_1, j \in D_i')$ 을 구한다.

④ $\sum_{i \in S_1} \sum_{j \in D_i''} \sum_{k \in R_y''} \sum_{l=1}^4 B(i, j, k, l) > A'' + A'''$ 와 $\sum_{i \in S_1} \sum_{j \in D_i'} \sum_{k \in R_y'} \sum_{l=1}^4 B(i, j, k, l) > A'$ 을 만족하면 대략적 수출

장치장 공간 할당 단계를 종료하고 그룹별 장치 위치 배정 단계로 이동한다. 그렇지 않으면 Step 3으로 이동한다.

Step 3 [장치블록 재조정 단계]

① 장치 공간이 부족하므로 컨테이너 그룹을 조정한다.

주 POD를 우선적으로 고려하는 규칙으로

$$A' + A'' - \sum_{i \in S_1} \sum_{j \in D_1'} \sum_{k \in R_1'} \sum_{l=1}^4 B(i, j, k, l)$$

$$A' - \sum_{i \in S_1} \sum_{j \in D_1'} \sum_{k \in R_1'} \sum_{l=1}^4 B(i, j, k, l)$$

만큼의 물량으로 계획 대상 컨테이너 그룹의 개수를 수정하고 Step2의 ②로 다시 이동한다.

2) 그룹별 장치 위치 배정(Phase II)

Phase II는 Phase I에서 구한 계획 가능한 공간들을 대상으로 하여 선적 예정 물량 컨테이너를 그룹화하고 사용자의 계획 수립의 규칙 순서에 따라 그룹별 장치 위치를 결정하는 단계이다. 이 단계는 다음 Fig. 5과 같이 네 가지 세부단계로 나뉘어진다.

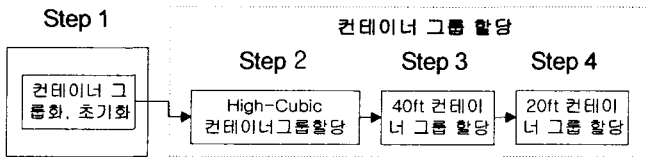


Fig. 5 Diagram of phase II

Step 1 [컨테이너 그룹화 및 초기화]

① 작업 선박의 그룹 목록에서 POD+Size+Full/Empty+Weight Class로 그룹화 하여 Size, 수량으로 내림차순 정렬하여 20'그룹, 40'그룹, High-Cubic그룹을 G_1' , G_2' , G_3' 으로 초기화한다.

② 집합 S_1 을 선석과 가까운 거리 순으로 오름차순 정렬한다.

Step 2 [High-Cubic 컨테이너 그룹 할당]

① $h=1$ 로 초기화한다.

② 만약 $G_h'' \neq 0$ 이면 ③으로 아니면 $h=h+1$ 하고 ②로 다시 이동, 만약 h 가 마지막 값이고 $G_h''=0$ 이면 High-Cubic 공간 할당 완료이므로 Step 3의 ①로 이동한다.

③ High-Cubic은 첫 번째 Bay와 마지막 Bay에 우선적으로 배정하므로 $D_i''(i \in S_1)$ 에서 $R_{ij}''(i \in S_1, j=1 \text{ or } b_i)$ 를 먼저 고려한다.

④ $B(i, j, k, l)=1$, 즉 제일 아래 Tier에 컨테이너를 장치할 수 있으면 G_h'' 의 그룹속성 지정하고, Tier가 3단이 될 때까지 선택하고, 3단이면 Row가 1이 될 때까지 선택한다. Row가 1이면 가능한 Bay에 같은 방법으로 장치 공간을 선택하고 ②로 이동한다.

Step 3 [40ft 컨테이너 그룹 할당]

① $h=1$ 로 초기화한다.

② 만약 $G_h'' \neq 0$ 이면 ③으로 아니면 $h=h+1$ 하고 ②로 다시 이동, 만약 h 가 마지막 값이고 $G_h''=0$ 이면 High-Cubic공간 할당 완료이므로 Step 4의 ①로 이동한다.

③ $D_i''(i \in S_1)$ 에서 $R_{ij}''(i \in S_1, j \in D_1')$ 을 대상 공간으로 하고 $B(i, j, k, l)=1$, 즉 제일 아래 Tier에 컨테이너를 장치할 수 있으면 G_h'' 의 그룹속성 지정하고, Tier가 3단이 될 때까지 선택하고, 3단이면 Row가 1이 될 때까지 선택한다. Row가 1이면 가능한 Bay에 같은 방법으로 장치 공간을 선택하고 ②로 이동한다.

Step 4 [20ft 컨테이너 그룹 할당]

① $h=1$ 로 초기화한다.

② 20ft공간이 있더라도 40ft공간에 아직 공간이 남았다면 20ft물량을 같은 모션항차 물량을 가까운 곳에 모아두기 위해서 40ft 공간에 우선적으로 배정한다. $G_h'' \neq 0$ 이면 ③으로 아니면 $h=h+1$ 하고 ②로 다시 이동, 만약 h 가 마지막 값이고 $G_h''=0$ 이면 20ft공간 할당 완료이므로 단계를 종료한다.

③ $D_i''(i \in S_1)$ 에서 $R_{ij}''(i \in S_1, j \in D_1')$ 을 우선적으로 대상 공간으로 하고 모든 공간이 사용되었으면 $D_i''(i \in S_1)$ 에서 $R_{ij}''(i \in S_1, j \in D_1')$ 을 이용하고, $B(i, j, k, l)=1$, 즉 제일 아래 Tier에 컨테이너를 장치할 수 있으면 G_h'' 의 그룹속성 지정하고, Tier가 3단이 될 때까지 선택하고, 3단이면 Row가 1이 될 때까지 선택한다. Row가 1이면 가능한 Bay에 같은 방법으로 장치 공간을 선택하고 ②로 이동한다.

3) 컨테이너 최종 장치 위치 결정(Phase III)

Phase III은 Phase I, II와 달리 실제로 컨테이너가 Gate로부터 반입되는 컨테이너들에 대하여 Loading Pattern을 고려하여 선박에 Loading시에 재취급이 최소화되도록 지정된 Phase I, II에서 구한 Bay의 세부 위치(Row, Tier)의 순서를 결정한다. 컨테이너 무게는 COPINO 정보를 이용하고 사용자의 계획 수립 규칙을 적용하는 단계이다. 이 단계는 다음과 같

은 몇 가지 세부단계로 이루어진다.

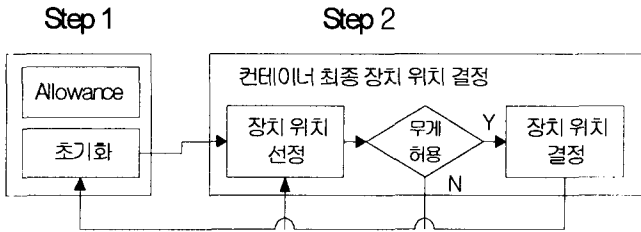


Fig. 6 Diagram of phase III

Step 1 [Allowance 입력 값 및 초기화]

- ① 컨테이너 무게 등급의 기준을 사용자가 결정하기 위하여 각 Heavy, Medium, Low 별 무게 허용치를 $W_i (i = h, m, l)$ 로 입력받는다.
- ② Gate로부터 반입되는 작업모선의 대상 컨테이너 $C_i^k (k = \text{모선 index}, i = \text{Container index})$ 가 속하는 그룹 $G_i^k (k = \text{'ork' = "ork" = "}, i = \text{Group index})$ 을 파악하고 G_i^k 를 장치하기 위한 공간이 배정된 $D_i^h (i \in S_1)$ $R_{ij}^h (i \in S_1, j \in D_i^h)$ 을 준비한다.

Step 2 [그룹내의 최종 장치 위치 결정]

- ① G_i^k 그룹의 $D_i^h (i \in S_1)$ 장치 공간에 장치된 컨테이너 상황을 체크하여 만약 G_i^k 그룹의 $D_i^h (i \in S_1)$ 장치 공간에 처음 장치되는 컨테이너이면 Bay Index가 빠른 순서, Row Index가 큰 번호부터, Tier Index가 작은 번호부터 할당하고 Step 1의 ②로 이동한다.
- ③ 장치된 Stack의 적어도 하나가 $Tier < 4$ 이면 $D_i^h (i \in S_1), R_{ij}^h (i \in S_1, j \in D_i^h)$ 의 C_i^k 의 무게를 체크(단, $t=1$ 이면 C_i^k 의 무게는 0)하여 현재 C_i^k 의 컨테이너 무게의 차이를 비교하여 W_i 의 범위 안에 들면 $E_{rt}^h (r: \text{현재 Row}, t: \text{현재 Tier})$ 에 컨테이너 최종 장치 위치를 결정하고 Step 1의 ②로 이동한다.
- ③ 모든 Row를 탐색하였으면 ④로 이동, 아니면 다른 $Tier < 4$ 인 장치 위치 $r = \text{Row}, t = \text{Tier}$ 로 두고 ②로 이동한다.
- ④ 모든 장치 가능한 Row 중에서 $|C_i^k - C_j^k|$ 가 가장 작은 Row의 Tier에 컨테이너 최종 장치 위치 결정하고 Step 1의 ②로 이동한다.

4. 시스템 구현 소개 및 모형의 적용

본 장에서는 앞서 분석된 업무 내용과 시스템 설계를 바탕으

로, 수출 장치장 계획을 수립하기 위한 의사결정 지원 시스템을 구현한 내용을 소개한다. 개발 시스템의 환경은 다음과 같다.

- Server OS: Windows 2000 Server
- Client OS: Windows 2000 Professional
- CPU: Pentium II-400
- Memory: 512MB
- Resolution: 1280 1024
- DBMS: Oracle 8.16
- 개발도구: Visual Basic 6.0

시스템의 개발을 위해서 적용된 데이터는 다음과 같다.

- 집안가능 선석: 3선석
- 선박 하역장비: G/C 7대
- 장치장 하역장비: T/C 16대
- 블록: 28 Block
- Ground Slot: 4374 TGS
- 최대 Row: 6열
- 최대 Tier: 4단(기본 3.5단)

모션항차와 장치장내 컨테이너에 관한 정보는 실제로 터미널에서 수출입 장치장 계획을 실행한 자료 및 장치되어 있는 정보를 사용하였다.

4.1 적용 자료

본 연구에서 설계 및 개발한 의사결정지원시스템을 실제 자료를 이용하여 적용하기 위하여 컨테이너 터미널에 입항하여 작업을 수행한 모션항차인 N-19 항차와 M-05 항차의 자료를 이용하였으며 수출 장치 공간 할당을 위한 컨테이너 그룹의 자료는 Table 5, 6과 같다.

Table 5 Container list of N-19

N-2002-19					
POD	F/E	Cargo	Size	Wgt	Amount
CNDLC	F	GP	20	H	15
	F	GP	20	M	2
	F	GP	20	L	2
	F	GP	40	H	16
	F	GP	40	M	1
	F	GP	40	L	1
	F	GP	45	H	1
CNTXG	F	GP	20	H	27
	F	GP	20	M	12
	F	GP	20	L	10
	F	GP	40	H	15
	F	GP	40	M	9
	F	GP	40	L	8
	F	GP	45	H	28
Total(van)					147

Table 6 Container list of M-05

M-2002-05					
POD	F/E	Cargo	Size	Wgt	Amount
JPHKT	F	GP	40	H	7
	F	GP	40	M	1
	F	GP	40	L	3
	F	GP	45	H	19
JPNGO	F	GP	20	M	2
	F	GP	45	H	19
JPYOK	F	GP	20	H	66
	F	GP	20	M	17
	F	GP	20	L	12
	F	GP	40	H	22
	F	GP	40	M	10
	F	GP	40	L	4
	F	GP	45	H	38
	F	GP	45	H	38
USHOU	F	GP	20	H	21
	F	GP	20	M	5
	F	GP	20	L	7
	F	GP	40	H	5
	F	GP	40	M	5
USLAX	F	GP	45	H	15
	F	GP	20	H	3
	F	GP	20	M	6
	F	GP	20	L	1
	F	GP	40	H	13
	F	GP	40	M	13
USNYC	F	GP	40	L	7
	F	GP	20	H	2
	F	GP	20	M	1
	F	GP	20	L	3
	F	GP	40	H	2
	F	GP	40	M	13
	F	GP	40	L	2
USOAK	F	GP	45	H	7
	F	GP	40	H	1
	F	GP	40	M	1
					4
Total(van)					412

수출 장치장 최종 위치 결정을 하기 위한 Gate 반입 컨테이너 정보는 컨테이너 목록 수량과 일치하는 N-19 항차 147(van)과 M-05 항차 412 (van), 총 559 (van) 물량의 실제 컨테이너 정보를 이용하였다. N-19는 2번 선석에 M-05는 1번 선석에 집안한다.

4.2 단계별 적용

본 절에서는 3 장에서 제안한 발견적 해법을 각 단계별로 앞 절에서 제시된 자료를 이용하여 실제로 적용한 결과와 개발된 시스템을 제시한다. 먼저 해법을 적용하기 전에 개발된 시스템의 주요 화면을 Fig. 7에 표시하였다. 이 화면은 현재 모니터링을 하고 있으면서 수출 장치장 계획을 수립하기 위한 초기 화면이다.

Fig. 7 화면에서 그림 상단이 선석이며 좌측부터 1, 2, 3번 선석 순으로 지정되어 있다. 화면 좌측에 계획 또는 Gate 반입 Log를 나타내는 화면과 컨테이너 그룹 속성을 자세히 볼 수 있는 속성창과 화면 중앙의 전체 조감도 그리고 하단의 Bay별 장치 현황 조회로 구성되어 있다. 해법이 적용되어 수출 장치장 계획이 수립되면 이 전체 조감도와 하단의 Bay별 장치 현황 화면에 수립된 계획이 표현된다.

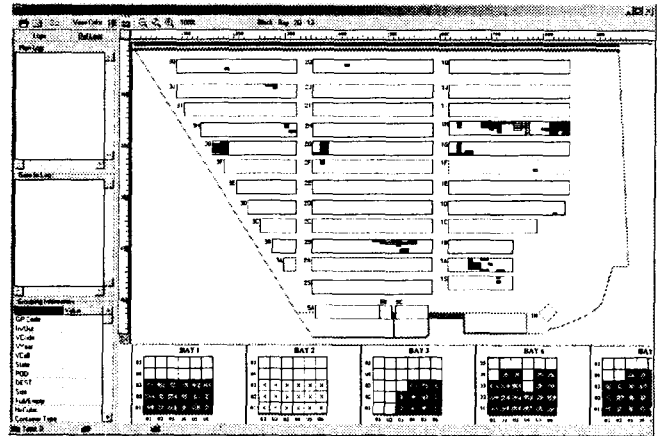


Fig. 7 Initial window of interfaced system

해법의 적용 절차를 설명하면 대략적 수출 장치장 공간을 할당하는 Phase I과 그룹별 장치 위치 배정 단계인 Phase II는 연속적으로 발생하고, 컨테이너별 최종 장치 위치를 결정하는 Phase III는 Gate로부터 컨테이너가 반입되면 발생하므로, 이를 두 단계로 나누어 적용된 해법 결과를 제시한다.

4.3 해법 Phase I, II의 적용

계획이 수립되는 절차를 간단히 설명하면, 해법 Phase I에서는 계획하고자 하는 컨테이너 그룹이 장치될 여유 공간이 있는지 먼저 계산하고 장치 가능한 블록과 배이를 Phase II로 전달한다. 해법 Phase II에서는 배정 규칙을 적용하여 컨테이너 목록 별로 장치될 위치를 배정한다. Fig. 8, 9에 해법 Phase I, II가 수행된 결과를 나타내었다.

Fig. 8은 N-19 항차에 먼저 장치 공간을 배정하고 M-05 항차를 나중에 배정한 결과를 나타내었다. N-19는 2번 선석에 집안하므로 2Q 블록에 전체가 배정이 되었고 High-Cubic은 1번과 마지막 Bay에 배정이 되었다. M-05 항차는 1번 선석에 집안하므로 3Q 블록에 먼저 배정이 되었다. Fig. 9는 M-05 항차를 먼저 배정하고 N-19 항차를 배정한 결과이다. 2Q 블록에 많은 공간이 남아 있지만 컨테이너가 반입되는 시간대에 선박 양·적하 작업이 발생하지 않는 블록을 대상으로 하기 때문에 거리가 떨어져 있더라도 N-19 항차의 컨테이너 목록은 2I 블록에 배정이 되었다. 따라서 해법 Phase I, II의 수행 결과 각 모션항차의 컨테이너 목록에 대한 장치 공간 배정은 적절하게 계획되었음을 알 수 있다.

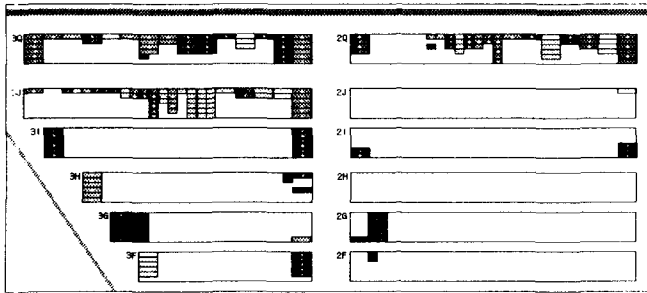


Fig. 8 Computational result of phase I, II (N-19, M-05)

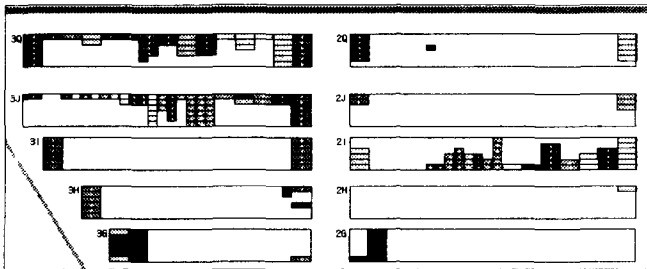


Fig. 9 Computational result of phase I, II (M-05, N-19)

본 시스템은 모니터링 작업을 수행하면서 장치장 배정을 수행하기 때문에 의미 있는 시간 내에 해법이 적용되어 결과로 반영되어야 한다. 따라서 각 모션항차의 컨테이너 목록에 대해 장치장 배정 계획을 수립하는 해법 Phase I, II의 계산량을 Table 7에 나타내었다. Phase I 계획을 수립하는 시간은 동일하게 측정되었으며 Phase II의 계획 수립 시간은 물량에 따라서 그리고 어떤 컨테이너 목록을 먼저 배정하느냐에 따라서 약간의 차이는 있지만 전체적으로 매우 짧은 시간 이내에 만족할 만한 결과를 도출하였다. 이상의 결과에서 나타나듯이 모니터링이 이루어지는 실시간 상황에서 수출 장치장 계획을 수립하는 시스템으로서 실무에 적용할 수 있는 수준의 결과를 나타내었다고 할 수 있다. 또한 보다 정확한 계산 결과를 위해서는 본 연구에서 수행한 자료보다 더욱 많은 자료로 검증해볼 필요성이 있다.

Table 7 Analysis for computation of phase I, II

적용순서	모션항차	물량	계산시간(sec)		전체시간(sec)
			Phase I	Phase II	
1. N-19	N-19	147	0.030	0.120	0.410
2. M-05	M-05	412	0.030	0.230	
1. M-05	M-05	412	0.030	0.441	0.591
2. N-19	N-19	147	0.030	0.090	

4.4 해법 Phase III의 적용

계획이 수립되는 절차를 간단히 설명하면, 해법 Phase III에서는 컨테이너가 Gate로부터 반입이 되면 그 컨테이너가 속한 장치장 계획 그룹을 찾고, 사용자가 입력한 Weight Allowance를 적용하여 같은 무게 그룹에 속하더라도 비슷한 무게의 컨

테이너들로 같은 Row를 구성하도록 하는 것이다.

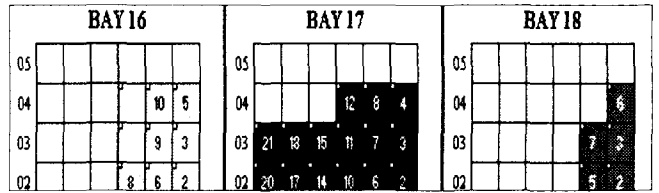


Fig. 10 Computational result of phase III

입력 자료로는 Phase I, II에 입력한 컨테이너 목록의 개수와 일치하는 컨테이너 정보를 랜덤하게 발생시키는 방식을 취하였다. Fig. 10은 반입되는 컨테이너의 최종 장치 순서를 나타내는 Bay 화면이다. Phase III 단계를 수행하기 위해서 제약값으로 Weight Allowance를 20ft일 때 (H:M:L, 15:3:2), 40ft일 때 (H:M:L, 15:5:3)로 입력하였고 단계를 수행한 결과의 일부분을 나타내었다. Bay 16과 Bay 18을 살펴보면 Weight Allowance 값의 제약에 의하여 장치 순서가 변경되었음을 알 수 있다.

Phase III의 수행 결과를 분석하기 위하여 해법이 적용되는 시간을 측정하였으며 최초 장치 계획 시간과 새로운 Row에 장치되는 컨테이너의 계획 시간은 0에 가까운 매우 작은 값이므로 무시하고 그 이외의 컨테이너에 대한 장치 위치를 결정하는 계산 시간에 대해 분석하여 보면, 계산에 적용된 컨테이너 개수는 226(van)이며 총 해법 수행시간의 합은 2.68261719 초였으므로, 개당 평균 수행시간은 0.01186999 초가 된다.

이상의 결과에서 실시간 장치장 모니터링을 운영하면서 수출 컨테이너 최종 위치 결정을 하는 계획이 의미 있는 시간 내에 수립되었다고 볼 수 있으며, 정확한 검증을 위해서는 보다 많은 자료를 이용하여 수행해 볼 필요성이 있다고 하겠다.

5. 결 론

현재 대부분의 국내 컨테이너 터미널에서 장치장을 효율적으로 사용하기 위해 수출 장치장 계획을 수립하여 운영하고 있으나, 이러한 계획을 수립하는 과정은 항상 변화하는 장치장의 정보와 이원화되어 있어 계획을 수립하는 시점에서 실시간의 장치장 현황을 계획에 정확히 반영하지 못하고 있는 실정이다. 이러한 계획의 한계성과 문제점들은 계획하고 있는 동안에 변화하는 장치장 정보를 반영하지 못하기 때문에 항상 부족한 장치장 공간에 대한 부분적인 계획과 재계획을 수립하는데 많은 어려움을 겪고 있는 것을 들 수 있다. 또한, 실제 운영에서 크게 중요한 제약 요소 중의 하나인 하역 장비의 위치 및 간섭을 파악할 수 없을 뿐만 아니라 Gate로부터 반입되는 컨테이너에 대한 최종 컨테이너 장치 위치 역시 능동적으로 결정해주지 못하는 문제점을 가지고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점들을 고려하고 보완하고자 실시간 운영 시스템인 장치장 모니터링 시스템과 수출 장치장 계획 시스템을 통합하여 실시간 컨테이너 정보를 이용하여 수

출 장치장 계획을 수립하는 방안을 시도하였고 발견적 해법을 제시하였다.

본 연구를 수행한 결과로 얻어진 주요한 성과들을 살펴보면 첫째, 기존에 이루어진 연구에서 벗어나서 운영시스템과 계획시스템을 따로 나누지 않고 하나로 통합하여 운영 계획을 수립하는 방법 및 해법에 대한 연구를 시도하였다. 이러한 연구를 통하여 현재 이원화되어 있는 장치장 운영 계획 업무를 보다 효율적으로 수행하는 통합계획에 대한 방법을 제시하였다. 둘째, 대부분의 연구가 수출 장치장 계획에 대해 부분적으로 이루어졌으나 본 연구에서는 전체 단계, 즉, 장치 공간의 배정 및 최종 위치까지 결정하는 것에 대한 연구를 하였으며, 해법을 도출하는 과정에서 실무에서 계획수립자들이 수출 장치장 계획을 수립하기 위해 고려하는 방법들을 기초로 하여 현실에 사용될 수 있는 발견적 해법을 제시하였다. 마지막으로 본 연구에서 제시된 해법을 적용하기 위하여 실제 업무에서 사용될 수 있는 시스템을 개발하고 구현하였으며 개발된 시스템에 국내 터미널의 실제 자료를 이용하여 제시된 해법을 검증하였고 의미 있는 시간 내에 만족할 만한 해를 나타내었다.

본 연구에서 얻어진 성과 및 결과를 바탕으로 향후 수출 장치장 계획뿐만 아니라 수입 장치장 계획 및 하역 장비 배정 업무를 실시간 운영 시스템과 통합하여 계획을 수립하는 연구가 이루어져야 하겠다.

참 고 문 헌

- [1] 김갑환, 김홍배, 홍봉희, 김기영, 배종욱, 최진오, 김두열, 이영기, 박영만, 박강태, 손행대(1995), 수출입 컨테이너 장치장 배정을 위한 소프트웨어의 개발, *경영과학*, 제13권, 제12호, pp.1-15.
- [2] 김갑환, 원승환, 양창호, 김영훈, 배종욱(2001), 시뮬레이션을 사용한 자동화 컨테이너 터미널 레이아웃의 평가, 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회, pp.418-421.
- [3] 유찬호(1999), 실시간 응용을 위한 능동객체 데이터베이스 시스템: 커널구조 및 인덱스 메커니즘, 충남대학교 컴퓨터공학 박사논문.
- [4] Kim, K. H., Y. M. Park and K. R. Ryu(2000), Deriving decision rules to locate export containers in container yards, *European Journal of Operational Research*, Vol. 124, Issue 1, 1, pp.89-101.
- [5] Kim, K. Y. and K. H. Kim(1997), A Routing Algorithm for a Single Transfer Crane to Load Export Containers onto a Containership, *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 33, Issues 3-4, pp.673-676.
- [6] Preston, P. and E. Kozan(2001), An approach to determine storage locations of containers at seaport terminals, *Computers & Operations Research*, Vol. 28, Issue 10, pp.983-995.
- [7] Yun, W. Y. and Y. S. Choi(1999), A Simulation Model for Container-Terminal Operation Analysis Using Object-Oriented Approach, *International Journal Of Production Economics*, Vol. 59, pp.221-230.

[1] 김갑환, 김홍배, 홍봉희, 김기영, 배종욱, 최진오, 김두열, 이영기, 박영만, 박강태, 손행대(1995), 수출입 컨테이너 장

원고접수일: 2002년 11월 10일
원고채택일: 2003년 3월 3일