

工學碩士 學位論文

ATC 작업 효율화를 위한 자동화  
컨테이너 터미널의 장치장 할당 모형

Allocation Model of Container Yard for Effectiveness of ATC  
Working in Automated Container Terminal

指導教授 金 煥 成

2002年 2月

韓國海洋大學校 大學院

物 流 系 統 工 學 科

李 祥 熏

本 論 文 을 李 祥 熏 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함

委 員 長 工 學 博 士 郭 圭 錫 ㉠

委 員 工 學 博 士 申 宰 榮 ㉠

委 員 工 學 博 士 金 煥 成 ㉠

2001年 12月

韓 國 海 洋 大 學 校 大 學 院

物 流 시 스템 工 學 科

李 祥 熏

## < 목 차 >

제 1장 서론 .....	1
1.1 연구의 배경 및 목적 .....	1
1.2 이전 연구 .....	3
1.3 연구의 내용 및 범위 .....	5
제 2 장 컨테이너 터미널의 업무 및 자동화 컨테이너 터미널 .....	6
2.1 컨테이너 터미널의 업무 .....	6
2.1.1 컨테이너 터미널 개요 .....	6
2.1.2 선석운영 및 배정계획 .....	7
2.1.3 장치장 운영계획 .....	8
2.1.4 양하·적하 계획 .....	12
2.2 자동화 컨테이너 터미널의 도입 배경 .....	15
2.3 자동화 컨테이너 터미널 .....	17
2.3.1 자동화 컨테이너 터미널의 개요 .....	17
2.3.2 자동화 컨테이너 터미널의 장치장 시스템 .....	20
2.4 자동화 야드 장비의 특징 .....	22
2.4.1 AGV .....	22
2.4.2 ATC .....	23
2.4.3 Y/T .....	24

제 3 장 장치장 내의 컨테이너 할당 모형 .....	26
3.1 기본 사항 .....	26
3.2 장치장 할당 모형 .....	27
3.2.1 수출 장치장 할당 모형 .....	33
3.2.2 수입 장치장 할당 모형 .....	35
제 4 장 GA에 의한 해법 .....	37
4.1 GA의 특징 및 구조 .....	37
4.2 GA에 의한 해법 유도 절차 .....	39
제 5 장 시뮬레이션 및 고찰 .....	46
5.1 작업 정보 및 장비의 파라미터 .....	47
5.1.1 작업 정보 .....	47
5.1.2 장비의 파라미터 .....	48
5.2 시뮬레이션 결과 및 고찰 .....	48
5.2.1 시뮬레이션 결과 .....	48
5.2.2 시뮬레이션 고찰 .....	50
제 6 장 결론 .....	51
참 고 문 헌 .....	52
부록 기호설명 .....	54

## < 그림 목차 >

그림 2.1 컨테이너 터미널 시스템 .....	6
그림 2.2 Planner 업무 흐름도 .....	7
그림 2.3 선박 정보처리 및 선석 배정 .....	8
그림 2.4 장치장 블록의 구조 .....	9
그림 2.5 수평 배치 장치장 .....	9
그림 2.6 장치장 배정 계획 .....	12
그림 2.7 Automated T/C .....	20
그림 2.8 수직 배치 장치장 .....	21
그림 3.1 서브블록의 개념 .....	28
그림 3.2 컨테이너 반입 및 적하 분포 .....	32
그림 4.1 유전 알고리즘의 구조 .....	38
그림 4.2 염색체의 표현 .....	40
그림 4.3 염색체 집단의 초기화 .....	43
그림 4.4 염색체의 역치 표현 .....	44
그림 4.5 상호 돌연변이 표현 .....	44
그림 5.1 자동화 컨테이너 터미널의 장치장 대안 .....	46
그림 5.2 장치장 공간 할당의 결과 .....	49

## < 표 목 차 >

표 2.1 컨테이너 취급량에 따른 자동화 추세 .....	16
표 2.2 자동화·반자동화 터미널 개념 .....	17
표 2.3 자동화 터미널의 분류, 특징 및 문제점 .....	19
표 2.4 ATC 장비 규격 .....	25
표 5.1 선박별 컨테이너 정보 .....	47
표 5.2 각 블록에서의 유효 저장 공간 .....	48
표 5.3 하중 변화 하에서의 목적함수값 .....	49

# Allocation Model of Container Yard for Effectiveness of ATC Working in Automated Container Terminal

Lee, Sang Hoon

Department of Logistics Engineering  
Graduate School of Korea Maritime University

## Abstract

According to increasing the marine transportation business and over sizing transportation system, the necessity of automated container terminal system is required recently. In automated container terminal, especially the design of overall effective operating system which includes the allocation problems of yard space and yard equipment is one of important facts.

In this thesis, we deal with an allocation model of vertical type container yard for minimizing the total automated transfer crane's (ATC) work time and the equivalence of ATC works load in each block on automated container terminal. Firstly, a layout of automated container terminal yard is shown and compared with that of conventional container terminal. The characteristic of equipment which is operated in the terminal and basic assumption are given. Next, an allocation model which concerns with minimizing the total work time and the equivalence of works load is proposed for the high effectiveness of ATC work in automated container terminal. Also, a weight values on critical function are suggested to adjust the critical values by evaluating the obtained allocation plan. To find the

solution of allocation model in given terminal yard situation, a genetic algorithm (GA) is applied, where the real information of container terminal is used. In simulation, the weight values are designed by planner as ones experience, and its result presents the effectiveness of selecting the weight value. Thus, the proposed allocation model and its solution method by GA can be useful to help the planning the allocation plan in automated container terminal.

# 제 1장 서론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

물류시스템의 하부 시스템인 항만은 국제 물류에 있어 수출·수입 화물의 처리를 담당하는 중요한 시스템이다. 특히 복합운송에 있어 항만은 해상운송과 육상운송을 연결하는 중요한 기능을 수행한다.

최근, 컨테이너 화물의 국제 교역량이 늘어나면서 많은 국가들이 내륙 및 항만 터미널의 시설을 확충하고 있으며, 자국 항만의 경쟁력 및 운영의 효율성을 높이기 위하여 노력하고 있다. 우리나라의 경우 그 동안 급격히 증가하는 물동량을 처리할 수 있는 터미널 시설 확충에 중점을 두어 운영의 효율성이 경쟁 항만에 비해 크게 뒤지며, 설비 및 운영 미숙으로 심각한 체선, 체화가 발생하고 있다. 또한, 대부분의 경쟁 항만에서는 컨테이너 터미널의 자동화 및 부분적 자동화 시스템을 사용하고 있으나, 우리나라의 경우는 설비 및 운영에 대한 자동화는 극히 미미한 실정이다.

컨테이너 터미널은 초창기에 수동 장비 및 설비를 바탕으로 운영자의 판단에 의해서 계획 및 통제하는 시스템에서 출발하였으나, 현재는 자동 및 부분적 자동화 장비의 도입 및 컴퓨터에 의해 의사 결정을 지원 받아 운영하는 시스템으로 발전하였다. 그러나 컨테이너의 물동량 증가로 선박이 대형화되고 터미널 내의 컨테이너 보유량이 증가하여, 점차 대규모 컨테이너 터미널의 개장이 증가하고 있다. 이러한 대규모 터미널에서는 계획과 운영의 합리화를 위해 보다 발전된 계획·통제 시스템이 필요하게 되며, 인력 수급과 관리의 어려움으로 인해 자동화 장비 체제로 전환되어 가고 있다. 또한, 세계 주요국가들은 국제 경쟁력에 대응하기 위해 자동화 컨테이너 터미널을 건설하고 있거나 건설할 계획들을 이미 가지고 있는 실정이다.

일반적인 컨테이너 터미널의 컨테이너 핸들링의 운영은 Sea-Side와 Land-Side 운영으로 나누어진다. Sea-Side 운영은 안벽측에서 선박에 있는 컨테이너 핸들링, 안벽과 마샬링 야드 사이의 컨테이너의 이송 및 마샬링 야드에서의 컨테이너 핸들링으로 분류된다. Land-Side 운영은 컨테이너 야드 사이에서의 핸들링, 마샬링 야드와 컨테이너 야드 사이의 이송 및 게이트에서 야드 사이의 이송 등으로 나눌 수 있다. 안벽측 핸들링을 제외한 마샬링 야드에서의 핸들링과 이송 작업은 자동화가 가능 할 뿐만 아니라 이미 상당한 자동화가 진척되어 있는 수준이다[1].

이에 따라서 자동화 컨테이너 터미널을 도입하여 터미널의 생산성 증대를 목적으로 하고 있으며, 이를 위해서는 효율적인 자동화 하역장비 운용이 이루어 질 수 있도록 장치장 내의 장치공간 할당 및 장비 배정에 관한 연구가 필요하게 되었다.

그래서 본 연구에서는 자동화 컨테이너 터미널의 장치공간 할당 문제에 관한 연구를 하고자 한다. 본 연구에서 대상으로 하는 장비는 ATC(Automated Transfer Crane)로서 장치장 내의 각 블록에 위치하여 본선 및 게이트간의 작업을 원활히 하는 역할을 수행한다. 이때, 본선에서 장치장까지의 운반은 AGV(Automated Guided Vehicle)가 담당하며, 게이트에서 장치장까지는 Y/T(Yard Tractor)가 담당한다. 장치장 내의 각 블록에서 장치장 공간 할당량에 따라 각 블록에서 작업하는 ATC의 작업 부하가 달라지며, 이로 인하여 각 블록에서 작업을 종료하는 시간에도 차이가 발생한다. 이러한 불균등한 장치장 공간 할당은 본선작업에 큰 영향을 미치게 되며, 나아가서는 각 ATC 장비의 가동률 및 장비의 신뢰성에도 영향을 끼친다. 따라서, 각 ATC의 부하 균등화 및 작업시간 최소화를 위한 장치장 공간 할당이 중요하며, 실제 작업시에는 할당된 작업공간에 수행될 ATC 배정 및 Bay 할당이 중요하다 할 수 있다. 따라서 자동화 컨테이너 터미널 내의 장치장에서 ATC 작업 시간 최소화 및 각 블록에서의 ATC 작업 부하의 균등화를 위한 장치장 공간 할당에 대해서 다루기로 한다.

## 1.2 이전 연구

컨테이너 터미널에 관한 연구는 시뮬레이션을 통한 운영에 관한 연구와 컨테이너 적하·양하 작업을 위한 본선 작업 계획 부분과 반출·반입 컨테이너 작업을 위한 장치장 운영에 관한 연구로 나눌 수 있다.

시뮬레이션을 통한 연구로는 조덕운[2]이 GASP-IV를 사용하여 터미널의 시스템 분석을 위한 시뮬레이션 모형을 개발하여 유용성을 보였고, 김현[3]은 부산 컨테이너 터미널에서 증가하는 컨테이너 물동량을 소화하기 위한 취급장비의 소요 대수를 시뮬레이션으로 분석, 제시하였다.

본선 작업 계획 부분에 있어서는 선박의 안정성과 G/C의 작업 특성을 중심으로 한 연구가 수행되었다. 김기영·김갑환[4]은 컨테이너 적하 계획에서 수출 컨테이너의 적하 순서를 결정하는 정수 계획 모형을 수립하고, 해법으로 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)을 이용하였다. 하태영[5]은 적하·양하 계획을 위한 시스템 설계와 수리적인 모형을 수립하고, 실시간 작업계획 수립이 가능한 휴리스틱(Heuristic) 해법을 제시하였다.

최근 자동화 컨테이너 터미널의 개념이 도입되면서 자동화된 장비의 운영과 통제에 관한 연구도 진행되었다. Bartholdi[6] 등은 간단한 루프(Loop)에서 AVG들에 대한 분산화된 통제 휴리스틱을 개발하였고, Evers[7] 등은 컨테이너 터미널에서 AGV 통제에 관한 연구를 하였다.

컨테이너 터미널의 장치장에서 장치 위치를 결정하는 문제에 대한 연구는 그다지 많이 보고되지 않았다. McDowell[8] 등이 처음으로 수입 컨테이너를 대상으로 재취급 문제를 분석하였고, Chung[9] 등은 컨테이너 취급 장비의 가동률을 향상시키기 위해서 에이프런(Apron) 지역에 버퍼 공간을 활용하는 방법을 제안하고 시뮬레이션을 통하여 성능을 평가하여 보았다. Taleb-Ibrahim[10]은 컨테이너 터미널에서 장치장 공간을 할당하는 여러 가지 전략을 제시하였으며, Watanabe[11]

는 수입 컨테이너의 장치장에서 재취급 회수를 추정하는 방법을 제시하였다. 또한, 김두열[12]은 장치장 배정 의사결정지원 시스템의 전체적인 구조를 제시하고, 수출 컨테이너에 대하여 선박별로 블록공간을 할당하는 방법을 제시하였다. 최근에는 김갑환·박영민[13]이 동적 계획법으로 무게를 고려하여 장치장의 위치를 결정하는 방법을 제시하기도 하였다.

그러나, 기존 연구에서는 근본적으로 수평형 장치장 및 수동으로 운영되는 장치장비를 대상으로 장치공간 할당 및 재취급 최소화 문제를 다루었다. 또한, 장치장 할당시 컨테이너의 크기를 일정한 것으로 간주하여 수평 장치장의 경우로 한정하여 연구를 행하였다. 그러나, 본 연구의 대상인 수직 장치장 내에서 각 장비의 작업 부하 균등화는 본선 작업과 밀접한 관계를 지니고 있으며, 작업시간 최소화는 본선 작업에 대한 지연을 최소화하는 데 매우 중요하나, 현재까지는 이들에 대한 연구는 수행되지 않았다. 따라서, 본 연구에서 고려하는 자동화 컨테이너 터미널의 수직형 장치장 내에서의 장치장 할당문제는 터미널의 생산성 향상을 위해 중요한 요소로서 장치장 할당시 장비의 총 가동시간의 최소화 및 작업 부하 균등화를 통한 장치장 공간 할당에 관한 연구를 필요로 한다.

### 1.3 연구의 내용 및 범위

본 연구에서는 먼저, 수직형 자동화 컨테이너 터미널과 기존의 컨테이너 터미널의 차이점을 비교 설명하고, 각 장비의 특징을 서술한다. 본 연구의 수직형 장치장 공간 할당모형에서는 수입·수출 장치장의 공간 할당을 다루었다. 먼저, 장치장의 공간 할당에서는 작업기간 내의 선박별 적하·양하 정보 및 예상 반입·반출 정보를 이용하여 장치장 공간 할당을 행하였으며, 이때 ATC 장비 가동시간의 최소화 및 작업 부하 균등화를 고려하였다. 위의 장치장 공간 할당에서 ATC 장비 가동시간의 최소화 및 작업 부하 균등화는 서로 상충관계가 있으므로, 목적함수에 각 하중함수를 추가하여 설계자의 설계시의 조정 사양으로 하였다.

본 연구에서 개발된 ATC의 장치장 공간 할당 모형은 배낭문제의 특성과 TSP(Traveling Salesman Problem)문제의 특성을 동시에 지닌 조합형 최적화문제로서, 휴리스틱 접근법의 일종인 GA(Genetic Algorithm)를 이용하여 해법을 도출하고자 한다. 시뮬레이션에서는 실제 선박의 적하·양하 정보를 기초로 하여 해법을 도출하고, 하중함수 설계에 따라 적절한 장치장 공간 할당이 이루어짐을 확인하고자 한다. 이로부터 각 ATC의 작업 부하 균등화 및 작업시간의 최소화가 이루어짐을 확인하고, 나아가서는 본 연구에서 수행한 장치장 공간 할당문제에 GA를 이용한 해법이 효과적임을 검증하고자 한다.

## 제 2 장 컨테이너 터미널의 업무 및 자동화 컨테이너 터미널

### 2.1 컨테이너 터미널의 업무

컨테이너 터미널은 선박이 안벽에 접안하여 컨테이너의 적하·양하 작업이 이루어지는 곳으로서 컨테이너를 보관하는 장치장, 선박이 접안하여 하역작업을 하는 안벽 및 육상으로 컨테이너를 반입 및 반출하는 게이트로 구성된다. 이에 따라 컨테이너 터미널에서의 운영 시스템은 다음과 같이 하역 시스템, 이송 시스템, 장치 시스템 및 게이트 시스템으로 구분되며, 각 시스템간의 관계는 그림 2.1과 같이 나타내어진다[14].

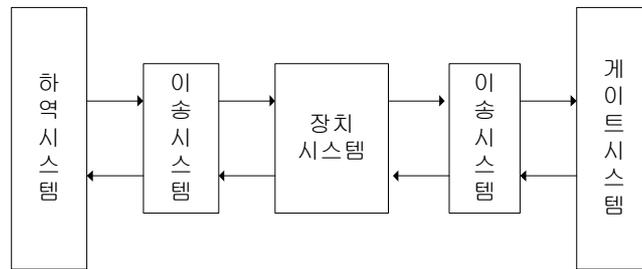


그림 2.1 컨테이너 터미널 시스템

#### 2.1.1 컨테이너 터미널 개요

컨테이너 터미널에서 적하·양하를 위한 터미널 작업 계획은 크게 선석 배정 계획, 장치장 배정 계획, 적하·양하 계획 및 반입·반출 계획으로 구분되며, 위의 계획은 터미널의 생산성을 결정하는 중요한 요소이다. 위에서 적하·양하 계획은 본선 작업에서의 G/C(Gantry Crane) 배정 계획, 양하 계획 및 적하 계획으로 분류되며, 장치장에서의 수출 장치장 계획, 수입 장치장 계획 및 이·선적 계획으로

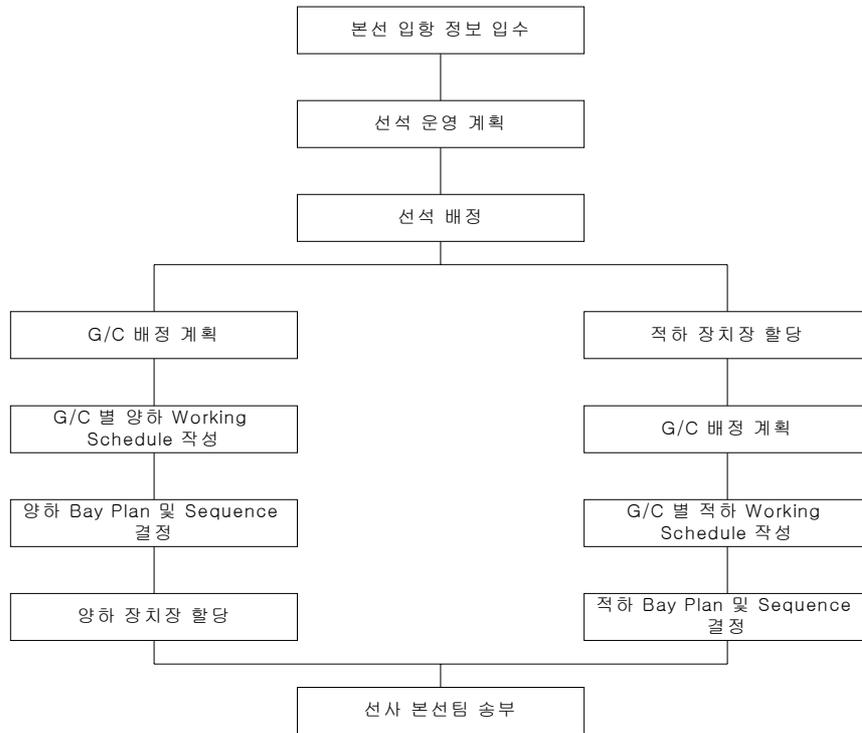


그림 2.2 Planner 업무 흐름도

분류된다. 일반적으로 이러한 업무는 터미널의 Planner실에서 담당하여 행해지고 있으며, 구체적인 업무절차는 그림 2.2와 같다[5].

### 2.1.2 선석 운영 및 배정 계획

선석 배정 계획은 하역 계획의 첫 단계라 할 수 있다. 그러나 단순히 기항하는 선박에 대하여 선석을 배정하는 것뿐만 아니라 해당 선박과 관련된 각종 정보가 수집되는 계획단계라 할 수 있다. 일반적으로 선석 배정 계획은 선사로부터 모선 입항 정보를 받아 월간 모선 입항계획을 수립한다. 월간 모선 입항계획을 기반으로 선박의 사정과 터미널 작업상황을 고려하여 모선 입항 세부 계획을 수립한다.

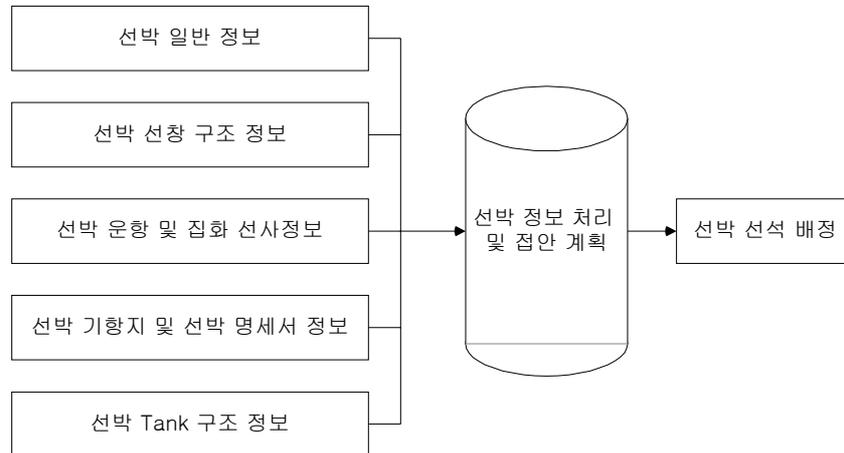


그림 2.3 선박 정보처리 및 선석 배정

선사로부터 최종 Calling schedule을 입항 전까지 접수하여 선석 배정 우선 순위에 따라 최종 선석을 배정한다. 이러한 선석 운영 및 배정 계획은 터미널의 반입·반출 계획과 장치장 배정 계획과도 많은 관련성이 있다. 그림 2.3에는 선박 정보처리 및 선석 배정을 위한 정보흐름 및 절차를 나타내고 있다.

### 2.1.3 장치장 운영 계획

컨테이너 터미널의 장치장은 사용되는 장비에 따라 장치장 운영계획이 조금씩 다르다. 장치장에서 주로 사용되는 장비는 T/C(Transfer Crane), S/C(Straddle Carrier)가 있다. 컨테이너 터미널에서 발생하는 거의 모든 작업은 장치장을 거쳐 작업이 연속적으로 이루어지기 때문에 T/C에 대한 작업의 운영체계는 상당히 중요하다. T/C 작업의 특성은 본선 작업과 게이트 작업과 연관하여 모든 운영작업을 고려하기 때문에 장치장 상황이 매우 가변적이고 때때로 체증이 심하게 발생할 수 있다. 그래서 T/C 작업을 명확히 정의하기가 어렵다.

일반적으로 T/C 작업은 본선 작업과 비본선 작업으로 구분할 수 있는데, 비본

선 작업은 주로 게이트 작업인 반입·반출 및 구내 이적작업으로 구분할 수 있다. 본선 작업은 G/C 한 대당 T/C 1~2대를 기준으로 Y/T 5대를 1 Gang으로 본선 작업에 대한 하나의 그룹으로 구성하여 본선작업에 차질이 없도록 하고, G/C별 확보된 컨테이너들의 장치장 위치가 결정되면 G/C에 의해 할당된 T/C가 작업대상 위치로 이동하여 G/C에 할당된 작업대상 컨테이너들의 장치장 작업을 지원해 준다. 본선 작업에 투입되지 않는 T/C에 대해서는 게이트 작업 및 구내 이적작업에 할당한다[15].

본선 작업의 양하 작업은 에이프런(Apron)에서 G/C가 Y/T에 양하 컨테이너를 실어주면, 그 Y/T는 양하 예정 장치장으로 이동한다. 이때, T/C는 Y/T에 있는 양하 컨테이너를 장치장내에 장치하는데 T/C기사는 양하 계획된 특정 블록(Block), 베이(Bay)의 지정된 열(Row), 단(Tier)에 장치하거나 작업진행상 용이한 대로 열, 단을 결정하여 장치한다.

적하 작업의 경우는 양하 작업과 반대의 흐름으로 이루어진다. 먼저, 특정모선의 수출 장치장으로 지정된 장치장에서 T/C가 Y/T에 적하 컨테이너를 상차시키면, Y/T는 컨테이너를 에이프런(Apron)으로 이송하여 특정 G/C에서 대기한다. 이

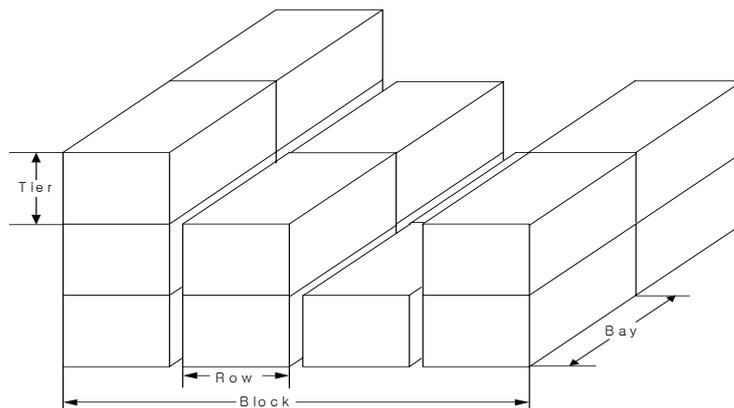


그림 2.4 장치장 블록의 구조

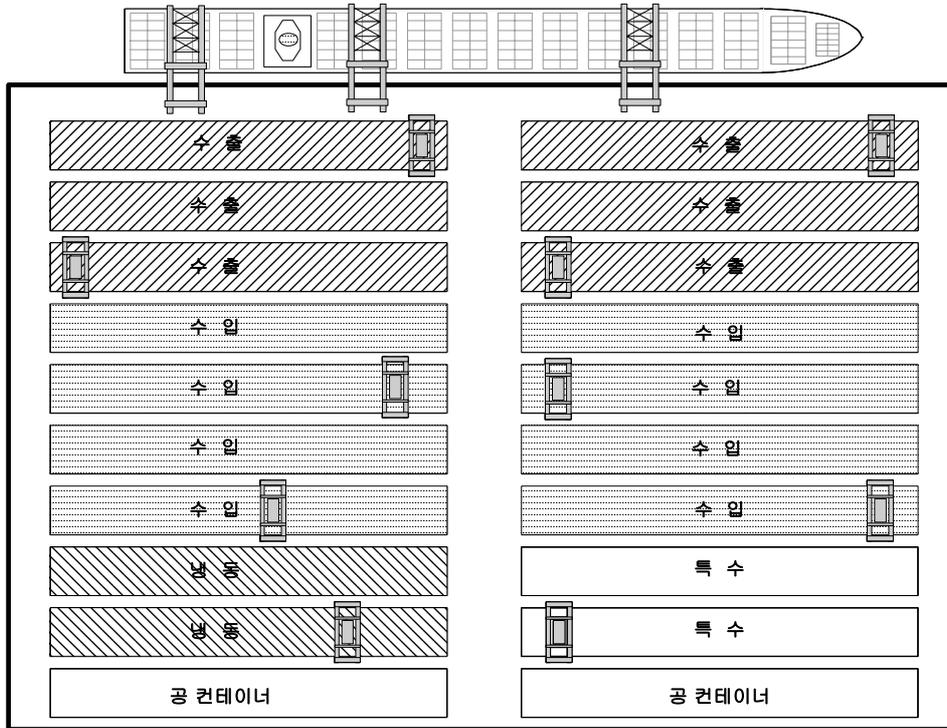


그림 2.5 수평 배치 장치장

때, G/C가 본선 특정 베이에 적하 컨테이너를 선적시킨다. 비본선 작업의 경우 게이트 작업의 반입·반출과 구내 이적 예정작업에 대한 작업구분을 먼저 선택하여 예정작업 목록을 수신 받아 해당 컨테이너의 장치·상차 작업을 완료한다.

일반적인 장치장 블록의 배치는 선석과 평행한 형태, 즉 수평형태를 이루고 있다. 수출 블록의 경우 선석 근처에 장치공간을 할당하고 수입 블록은 수출 블록 다음에 할당을 한다. 그 뒤로 냉동, 특수 컨테이너 및 공 컨테이너가 할당된다. 일반적인 터미널 블록구조 및 장치장은 그림 2.4, 그림 2.5와 같이 나타내어진다.

장치장 배정 계획은 터미널 내의 장치 공간의 효율적 이용과 컨테이너 적하·양하 시간을 단축하기 위해 수립하는 것으로 수입·수출 컨테이너에 대하여 다른

방식으로 이루어지며, 사전에 정보를 가지고 블록을 할당하는 계획 단계와 실제 컨테이너가 도착하면 구체적인 위치를 결정하는 통제 단계로 나누어진다.

적하 및 양하 장치장 할당시 고려사항은 다음과 같다.

(1) 적하 장치장 할당시 고려 사항

- ① Booking Prospect 접수 후 수량과 모선별 Type, POD, F/M, 특수화물을 고려하여 장치공간을 할당한다.
- ② 장치장 할당시 각 해운 Line별 반입분포를 고려하여 할당한다.
- ③ 장치장 할당시 POD, Size, F/M 별 각 블록별로 분할 적재한다.
- ④ 냉동 및 위험물에 대하여 관련 블록에 할당한다.
- ⑤ 장치장 할당시 접안 선석에 가깝도록 장치장을 할당한다.
- ⑥ 장치장 할당시 1-3 Row는 Heavy, 그 외는 Light 컨테이너를 적재한다.
- ⑦ 장치장 할당시 야드 상황에 따라 가변적으로 운영한다.
- ⑧ 보통 Empty컨테이너는 운영상 이미 반입된 것을 Loading하는 것이 원칙이다. 따라서 본선 작업시 미리 수출 장치장으로 할당하는 것이 효율적이다.

(2) 양하 장치장 할당시 고려 사항

- ① 양하 Profile 접수 후 G/C배정, 양하 계획 수립후 장치장을 할당한다.
- ② 양하 장치장 할당시 장치장 이용률이 최대가 될 수 있도록 장치장을 할당한다.
- ③ 모선 관련 세관 분류별로 장치장을 할당한다.
- ④ 본선 작업시간당 작업수량 및 물량을 감안하여 일정시간(6-8시간)별로 재할당한다.
- ⑤ 양하 위치에 따른 이동거리 최소화 및 선적 장비와의 간섭이 최소화되도록 한다.

(3) 일반적인 고려 사항

- ① 20ft는 1 Slot, 40ft는 2 Slot, 45ft는 3 Slot을 차지한다.
- ② T/C의 작업불편으로 가능한 20ft는 장치장 끝단에 장치하는 것을 배제한다.

장치장 내에서의 수입·수출(적하·양하) 장치장 할당시 배정 계획은 그림 2.6과 같이 행해지며, 수출 장치장 배정시 중요한 요소는 선박별, POD별, 규격별, 중량별이며, 수입 장치장 배정시 중요한 요소로는 선박별, 선사별, 규격별, 화주별 요소이다[14]. 이와 같은 정보는 기존 장치장 및 자동화 컨테이너 터미널 내의 장치장에서 동일하게 사용되는 항목이다.

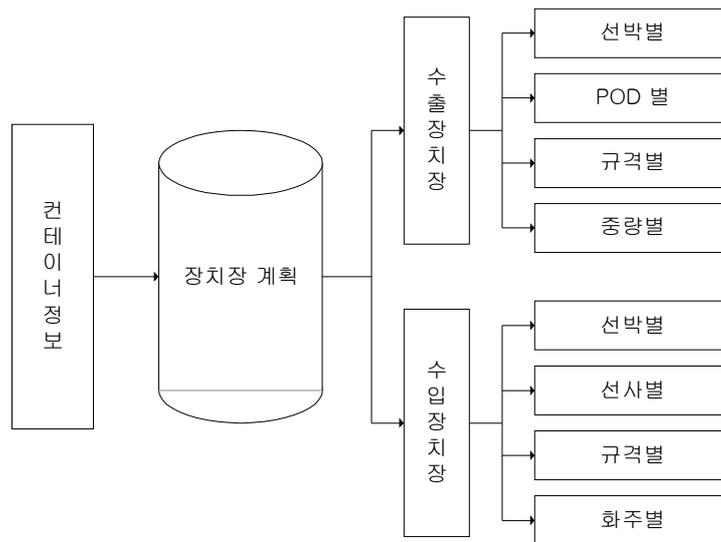


그림 2.6 장치장 배정 계획

#### 2.1.4 양하·적하 계획

양하·적하 계획은 본선에 적재된 컨테이너에 대해 양하 작업 순서와 장치장에 야적되어 있는 컨테이너에 대해 적재 위치와 적하 작업순서를 동시에 결정하는 것이다. 또한 계획 수립시 본선의 안정도와 효율성을 동시에 고려하여야 한다. 양

하·적하 계획은 다시 G/C 배정 계획, 양하 계획 및 적하 계획으로 나누어진다.

(1) G/C 배정 계획

일반적으로 컨테이너 적하·양하 계획시 작업에 필요한 장비(G/C, T/C, Y/T)의 배정이 먼저 이루어진다. 하역작업에 투입 가능한 장비의 수와 작업시간이 본선 접안 전에 정해지고 선사로부터 적하·양하될 컨테이너 정보가 입수되면 G/C의 배정 계획이 수립된다. G/C의 작업은 Hatch 단위로 이루어지며 전체 하역 작업시간이 최소화되도록 한다. G/C 배정 계획시 고려 사항은 아래와 같다.

- ① 선박의 Hold와 Deck로 나누어 Bay별 수량 확인 후 할당된 G/C 수로 분할 균등작업이 가능하도록 배정한다.
- ② 배분된 물량에 대한 G/C간의 간섭을 검사한다. (G/C간 최소 40ft 이상)
- ③ 양하는 선미에서 선수, 적하는 선수에서 선미 방향으로 작업을 진행한다.
- ④ 선박의 Bridge를 고려하여 계획수립(Bridge이동시 Booming-up시 보통 30분)하며, Bridge 앞 또는 뒤의 양·적하 작업을 일괄 처리한다.

(2) 양하 계획

양하 계획은 본선에 적재된 컨테이너에 대하여 양하 순서를 결정하는 것으로 수입화물과 환적화물이 대상이 된다. 양하 계획을 수립하기 이전에 선사로부터 Bay Plan 및 양하 Profile을 접안 10시간 전 접수받아 그것을 토대로 양하 계획을 수립한다. 계획 수립시 고려 사항은 다음과 같다.

- ① 수량 및 선내 위치에 이상이 없음을 확인한 다음, 해당 선박의 작업량, 터미널상황을 고려하여 G/C 대수를 결정하고 G/C별 작업시간을 결정한다.
- ② 각 Bay의 Hold/Deck 별 양하 순서를 결정한다. (투입예정 G/C, G/C별 작업량, 안정도, Bay형태 등을 고려)
- ③ 장비 간섭이 최소화되도록 한다.
- ④ 양하시 선미에서 선수방향으로 작업을 진행한다.
- ⑤ 선박의 안정도, 적부형태, 선박의 제원에 따라 Row방향에 따라 NF, FF

순으로 결정하거나, Tier 방향으로는 Vertical 또는 Horizontal 작업 순서를 결정한다.

- NF(Near First) : G/C에서 가까운 Row 순서로 작업
- FF(Far First) : G/C에서 먼 Row 순서로 작업
- Vertical : Tier 작업시 수직으로 작업
- Horizontal : Tier 작업시 수평으로 작업

### (3) 적하 계획

적하 계획은 양하 계획과 달리 적하 순서와 적하 위치를 동시에 결정해야 한다. 따라서 양하 계획보다 어렵고 고려사항이 많다. 적하 계획 수립시 선사로부터 Booking Prospect를 선박 접안 3일 전에 접수하여 장치장을 할당한다. 장치장 할당 후 컨테이너의 반입이 가능하다. CCT(Cargo Closing Time) 종료 10시간 전 선사로부터 Loading Profile 접수받아 본선 적부도 및 적하 작업 순서표를 작성한다. 적하 작업시 고려 사항은 아래와 같다.

- ① 장치장 이동거리를 최소화한다.
- ② 선박의 안정성을 고려하여 Trim이 최소가 되도록 한다.
- ③ 장비간 간섭을 최소화한다.
- ④ 컨테이너 재배치가 최소화되도록 한다.
- ⑤ 컨테이너 유형별로 일괄 작업한다.
- ⑥ 선박 안정성을 위한 중량을 고려한다. (Bottom-heavy)
- ⑦ 선적시 선수에서 선미 방향으로 작업한다.
- ⑧ 컨테이너별 일괄 작업한다.
- ⑨ 컨테이너 종류별로 일괄 작업한다.
- ⑩ 컨테이너 운송 종류별로 일괄 작업한다. (자부두 T/S, 이·선적별)
- ⑪ 공 컨테이너별 일괄 작업한다.

## 2.2 자동화 컨테이너 터미널의 도입 배경

21세기가 들어서면서 세계경제의 급속한 발전과 교역량의 증가로 신속성과 정시성을 갖는 물류시스템을 요구하고 있으며, 이에 부응하기 위하여 고효율성을 갖는 컨테이너 터미널이 필요하게 되었다. 현재 국제교역 물류시스템 중에서 가장 중요한 위치를 차지하고 있는 컨테이너 터미널의 당면 문제들은 다음과 같이 요약 된다.

첫째, 컨테이너선의 대형화에 따른 정박시간의 장기화 둘째, 노동집약적 산업에 따른 노동비용의 문제 셋째, 터미널의 대형화에 따른 초기투자비와 토지 이용률 등이 당면 문제이다. 또한, 해상 물류기술의 발전으로 컨테이너선의 대형화 및 컨테이너선의 고속화가 이루어지고 있으며, 현재 15,000 TEU급 컨테이너선의 개념도 논의되고 있다. 이러한 컨테이너선의 대형화 및 고속화는 장비의 대형화와 컨테이너 핸들링 시스템의 자동화를 필요로 하며, 컨테이너 터미널에서 처리 컨테이너의 증가로 인한 단위 시간당 생산성 향상을 요구하고 있다. 또한 컨테이너 터미널의 공간상 제약으로 인하여 터미널 면적의 효율적 사용이 점차 강조되어가고 있다. 이러한 요구사항들에 의해서 터미널의 자동화는 급속히 진전되고 있으며, 생산성 향상뿐만 아니라, 노동력 절감을 부수적으로 얻고 있다[1].

부산항의 경우 2000년 현재 수입화물과 수출화물이 각각 248만 TEU 및 255만 TEU이고 환적 화물이 238만 TEU로써, 국내 컨테이너화물의 약 85%이상을 처리하고 있으며, 2004년에는 부산항의 최대 처리 물동량인 900만 TEU를 초과할 것 이란 예상이 나오고 있다[16]. 또한 부산항은 지리적으로 일본, 대만, 중국, 러시아를 잇는 동북아시아 물류중심지로서 다가오는 21세기 환태평양시대의 도래와 함께 향후 물류 거점항으로 발전할 것으로 기대되기 때문에 컨테이너 물동량의 꾸준한 증가가 예상된다. 이러한 물동량 증가에 따라 국내의 자동화 컨테이너 터미널의 필요성이 급속히 대두되고 있다. 표 2.1은 연간 컨테이너 취급량에 따른 자

표 2.1 컨테이너 취급량에 따른 자동화 추세[17]

단계	연간 컨테이너 취급량(TEU/year)	통제, 계획 및 문서관리의 체계	장치장에서 장비 취급을 위한 자료 전송체계	장치장에서 장비 취급을 위한 운전 체계
I	~ 60,000	수동	작업 지시서 육성 및 무선통신	수동
II	60,000 ~ 150,000	컴퓨터로 처리		
III	150,000 ~		컴퓨터로 실시간 처리	수동(지역 컴퓨터 단말 장치 제공)
IV				컴퓨터에 의한 자동화

동화 추세를 보여 준다.

자동화 컨테이너 터미널은 크게 터미널 운영 시스템과 항만 정보시스템으로 구분할 수 있으며, 선진 항만에서는 이미 실용화하여 발전 단계에 들어서고 있다. 현재 가장 앞선 자동화 컨테이너 터미널을 보유하고 있는 네덜란드 로테르담의 ECT Terminal의 경우 10여년 전에 이미 자동화 컨테이너 터미널의 개념을 확립하였고, Delta/Sea-Land Terminal은 50여대의 AGV와 25대의 ASC(Automated Stacking Crane)에 의해 수행되는 작업통제 시스템을 갖추고 있다. 또한 싱가포르의 PSA Terminal은 컴퓨터 통합 터미널 운영 시스템을 사용하여 선석 배정, 선적 계획 및 야드 계획 등이 현재 개발되어 사용되고 있는 시스템 가운데 가장 앞선 시스템을 갖추고 있다.

## 2.3 자동화 컨테이너 터미널

### 2.3.1 자동화 컨테이너 터미널의 개요

국제 교역량 증가와 컨테이너 선박의 대형화 추세에 따라 컨테이너 터미널에서 처리해야 하는 컨테이너 물동량은 현저하게 증가하고 있다. 그러나 컨테이너 처리 시간은 일정 수준을 유지해야 할 뿐 아니라 미래에는 오히려 감소되어야 한다. 한편 컨테이너 하역 작업은 기본적으로 노동 집약적 산업이므로 컨테이너 물동량 증가로 인한 노동비용은 컨테이너 처리비용 중에서 큰 비중을 차지하게 되었다. 따라서 이러한 비용절감을 목적으로 컨테이너 터미널은 수동에서 반자동 또는 자동화 형태로 변화되고 있는 추세이다.

표 2.2 자동화·반자동화 터미널 개념

항목	반자동화 터미널		자동화 터미널	
	주요 모듈	요소 기술	주요 모듈	요소 기술
계획 시스템	선석배정 Ship Planning Yard Planning	Computer Aided 전문가 시스템 통합시스템	선석배정 Ship Planning Yard Planning	최적화 모형 인공지능기법 통합시스템
운영통제 시스템	Gate 통제 장치장 통제 장비 통제		Gate 통제 장치장 통제 장비 통제	
인력 활용	운전 유지 보수	부분적 인력 대 체 목적 사전 유지 보수	운전 유지 보수	무인 자동화 사전유지보수 고급인력확보 개발조직
장비	Gate 크레인, 트랙터	Computer Aided 전문가 시스템	Gate 크레인, 트랙터 AGV	최적화 모형 인공지능기법 통합시스템
터미널 분류	국내 항만 중국, 일본 항만 대부분	PSA Kawasaki 영국 템즈	ECT	

이러한 자동화는 컴퓨터 시스템의 발전에 따라 가능해졌으며, 컴퓨터 시스템은 터미널의 효율적이고 정확한 운영을 위한 필수 요소로 등장하고 있다. 그러나 단순히 컴퓨터 시스템에 의한 종합적인 컨테이너 터미널 시스템을 자동화라고 할 수 없다. 자동화의 구성 요소인 하드웨어와 소프트웨어가 충족되어야 자동화라고 말할 수 있다. 하드웨어는 메카트로닉스에 기초를 둔 기존의 자동화형 컨테이너 취급 장비를 말하며, 이러한 장비를 효율적으로 운용하는데 소프트웨어의 기술이 중요하다. 소프트웨어로는 컨테이너 터미널의 자동화를 위하여 기존의 시스템에 추가하여 컴퓨터 네트워크를 기반으로 하는 데이터 전송 시스템, 장비 위치 확인 시스템 등이 필요하다. 터미널의 자동화 및 반자동화의 개념은 표 2.2와 같이 정리된다.

컨테이너 터미널에서 컨테이너 취급작업은 Land-Side 작업과 Sea-Side 작업으로 나눌 수 있다. Sea-Side 작업은 본선 하역 작업, 에이프런(Apron)과 장치장 사이의 이동작업이 있으며, Land-Side 작업은 장치장에서의 작업과 Gate에서의 반출·입 작업이 있다. Sea-Side 작업에 사용되는 장비 중 본선 하역 작업에 사용되는 G/C는 조석, 바람, 적하 상태의 변화에 선박의 흘수 또는 위치 등이 변하므로, 이에 대한 자동화는 매우 어렵다. 하지만 에이프런(Apron)과 장치장 간의 이동을 담당하는 장비는 AGV에 의해 자동화되고 있다. Land-Side 작업에 사용되는 장비의 자동화는 현재의 기술로 완전 자동화가 가능하며, 이를 위해 컨테이너 및 취급 장비의 위치를 확인하고 정확하게 관리할 수 있는 기술이 필요하다. Gate 자동화는 서류확인과 컨테이너의 물리적인 상태를 조사해야 하므로, 현재까지 완전한 자동화는 어렵다.

이러한 자동화 터미널의 효율적인 운영과 높은 서비스를 제공하기 위하여 지속적으로 컨테이너 터미널 시스템을 개선하고 있으며, 표 2.3과 같이 크게 두 가지 형태로 나눌 수 있다.

표 2.3 자동화 터미널의 분류, 특징 및 문제점[17]

구분	Non-Captive Type		Captive Type	
		공공 터미널에 적합하며 선박 접안을 위한 특수 장치 및 구조를 요하지 않음		컨테이너 취급에 있어 특수한 장치 및 구조 필요
분류	직접적재 방식		다층 적재 방식	
	터미널 야드에 직접장치		다층 적재빌딩의 지정된 슬롯에 장치	
특징	재래 취급방식의 연장으로 소규모 투자에 의한 자동화 가능	취출성이 양호하며 취급능률이 뛰어나	취출성이 양호하며 완전 무인화 가능, 취급능률이 뛰어나	
문제점	컨테이너 취출성이 낮음	초기 투자 과다	터미널 장비 및 선박이 새로 개발되어야 함, 초기투자 과다	

(1) 기존 터미널 활용 방식(Non-Captive Type)

이 방식은 터미널 장비의 개선을 통하여 터미널 운영을 자동화하는 것이다. 따라서 본래의 Lo/Lo(Lift-on/Lift-off)선박은 추가적인 장치없이 터미널을 이용할 수 있으며 공용 터미널에 유리한 방식이다. 이러한 형태에서는 완전 자동화가 어렵다. Non-Captive Type은 직접 장치형과 다층 장치형으로 구분된다. 직접 장치형은 기존의 터미널과 같이 바닥에 직접 컨테이너를 장치하는 것이며, 다층 장치형은 컨테이너가 다층적재 빌딩에 적재되는 것으로 컨테이너가 하나씩 지정된 장소에 적재되므로 장치된 컨테이너를 꺼내기가 쉽다. 반면에 적재 효율이 직접 장치장의 경우보다 낮다.

(2) 새로운 방식(Captive Type)

이 방식은 선박에 특수한 구조나 특수한 장비를 갖춘 선박에 한하여 입항할 수 있다. Captive Type 방식은 선박과 터미널 모두 자동화를 이루어야 하므로 비용은 높으나 운영이 쉬운 장점이 있다. 반면에 터미널 자체의 융통성이 부족하기 때

문에 이러한 형태는 공용 터미널에 부적합하다.

이러한 자동화 터미널은 고도의 효율성을 지닌 장비로 매우 복잡한 메커니즘을 지니고 있고 통합적인 작업 지시기구를 가지므로 높은 신뢰성을 확보할 수 있어야 한다. 이 점이 자동화 컨테이너 터미널에 있어 매우 중요한 요소가 된다.

### 2.3.2 자동화 컨테이너 터미널의 장치장 시스템

본 연구에서 제안하는 자동화 컨테이너 터미널의 장치장 시스템은 1개의 선석을 대상으로 각 블록에는 2대의 ATC와 다수의 AGV로 구성되어 있다. 장치장과 본선간의 컨테이너 이동은 AGV가 담당을 하며 장치장과 게이트간은 야드 트랙터가 담당하게 된다.

본 연구에서 제시하는 ATC는 5단 10열의 컨테이너를 양하·적하할 수 있으며 각 블록에는 ATC 2대가 그림 2.7과 같이 서로 교차하여 운용되고 있다[18]. AGV의 경우 20ft, 40ft, 45ft를 적재할 수 있으며 최대 적재 중량은 60[ton]이다. 자동

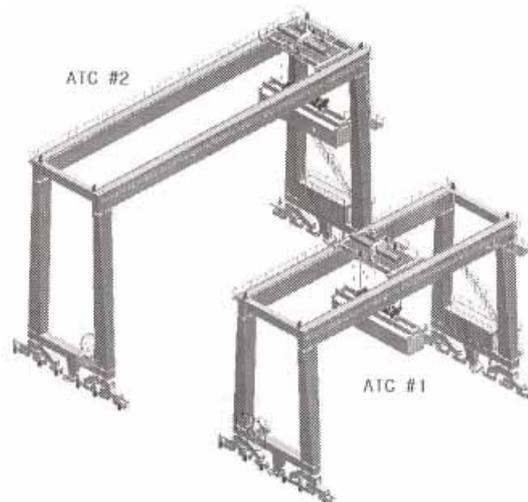


그림 2.7 Automated T/C

화 컨테이너 터미널의 수직형 장치장은 그림 2.8과 같다.

수직 장치장에서 각 블록간의 간격은 10[m]이고 각 블록의 최대 폭은 바깥 ATC의 크기를 고려하여 37.5[m]로 하였다. 선석과 장치장간의 거리는 AGV의 회전반경을 고려하여 66[m]로 하였다[18].

각 블록의 크기는 H 선사 터미널의 전체 컨테이너 수를 기준으로 5(Tier) × 10(Row) × 26 (Bay)로 하였다. 단 특수 및 냉동의 경우 2단 또는 1단을 적재하는 것을 고려하지 않고 전체 컨테이너 수만을 고려하여 정하였다. 따라서 실제 냉동 및 특수 컨테이너를 고려하면 Bay의 길이가 달라질 수 있다.

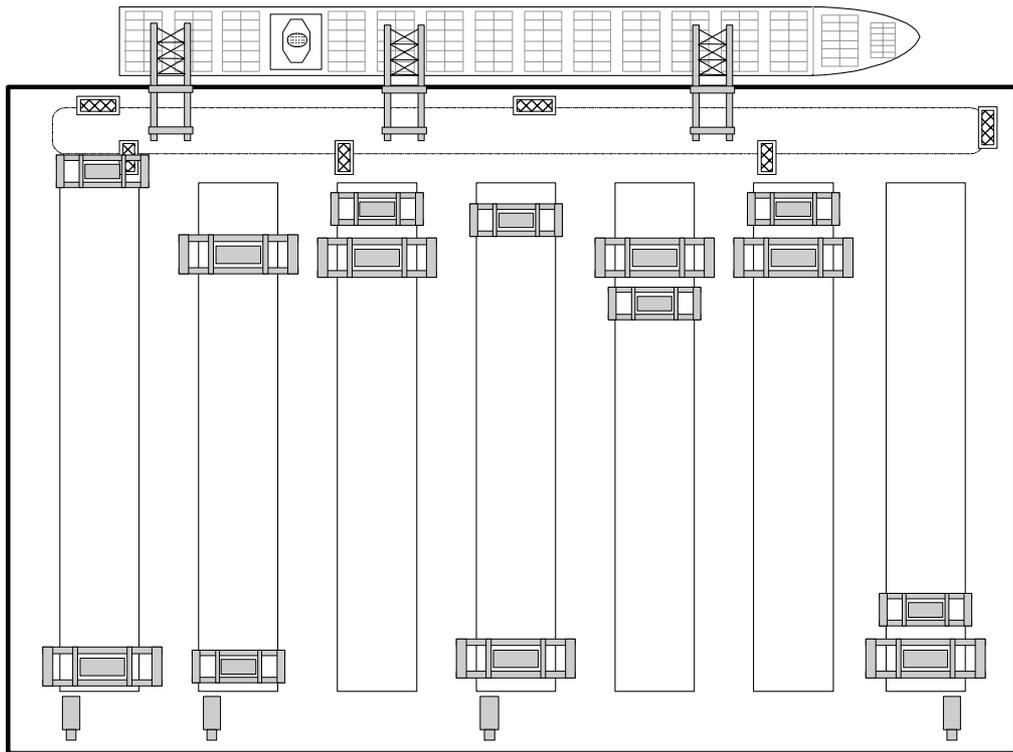


그림 2.8 수직 배치 장치장

기존 터미널 장치장은 수입·수출, 특수, 냉동 및 공 컨테이너를 각각 블록으로 할당하여 할당된 블록 내에 컨테이너를 적재하고 있다. 따라서 본 연구에서는 수직 장치장의 블록 배치를 결정하기 위하여 몇 가지 대안이 필요하나, 특수 및 냉동 그리고 공 컨테이너 블록은 제외하였다.

## 2.4 자동화 야드 장비의 특징

### 2.4.1 AGV

현재까지의 AGV는 주로 자동화 생산라인에서 자재의 공급을 자동적으로 수행하는 자동화 장비로서 주로 원거리 반송에 사용되고 있다. 이러한 AGV가 최근 컨테이너 터미널에 도입되고 있으며, 일본을 비롯한 선진 각국에서는 이미 개발을 완료하여 실용화를 추진하고 있는 단계에 있다. 국내에서도 모형제작에 성공하였으며, 실제 크기로의 확대 실험 및 운용계획을 수립하여 연구 중에 있다[18].

자동화 컨테이너 터미널에서 AGV는 야드내의 컨테이너 운송을 담당하며, 이를 위해 야드 내에 유도선로 및 트랜스폰더(Transponder)를 매설하여 이로부터 위치 및 속도정보를 획득하여 자동으로 제어를 행한다. 이때 AGV의 주행정보는 터미널 운영실로 전달되어 실시간으로 위치 및 작업상태를 파악할 수 있으며, AGV에 대한 추가적인 작업은 무선을 통하여 지시되도록 구성되어 있다.

자동화 컨테이너 터미널에서 운용되는 AGV는 20ft, 40ft, 45ft 및 twin 20ft를 각각 적재할 수 있으며, 최대 적재중량은 60[ton]으로 총 차량중량은 82[ton]으로 설계되었다. 차축은 2개로서 전·후에 각각 위치하고 있으며, 4륜 구동방식으로 구동 및 제동을 행하고 있다[18].

주행속도는 적재중량에 따라서 5.0[mph] 및 6.0[mph]로 각각 운전되고 있으며 운전 가능한 최대 속도는 6.5[mph]이다. AGV의 최소 회전반경은 차량중심에서 8[m]이며 차량의 최외각에서의 선회반경은 13[m]로 설계된다. 또한 이때의 선회속도는 1.0

~ 3.0 [m/s]로써 적재중량 및 운전조건에 따라 결정되고 있다. AGV의 조향모드는 4륜 독립조향, 전륜조향, 후륜조향, 및 병렬조향으로 조작 가능하다.

기타 필요한 AGV에 대한 파라미터는 식(2.1) ~ (2.5)과 같이 분류되며, 본 연구에서는 정상운전 상태에서만 고려하므로 비상시에 대한 운전에는 생략하기로 한다.

$$m_{AGV} = \text{적재중량} \quad (2.1)$$

$$v_{AGV} \text{ (주행속도)} = \begin{cases} 40 < m_{AGV} < 60 \\ \text{empty container} \\ \text{else} \end{cases} \quad (2.2)$$

$$a_{AGV} \text{ (가속시간)} = \begin{cases} 40 < m_{AGV} < 60 \\ \text{empty container} \\ \text{else} \end{cases} \quad (2.3)$$

$$d_{AGV} \text{ (감속시간)} = \begin{cases} 40 < m_{AGV} < 60 \\ \text{empty container} \\ \text{else} \end{cases} \quad (2.4)$$

$$c_{AGV} = \text{선회 주행속도} \quad (2.5)$$

## 2.4.2 ATC

본 절에서는 컨테이너 터미널의 장치장 내에 적재된 5단 10열의 컨테이너를 적하 및 양하하는 장비로서 ATC를 이용하며, 각 블록에는 ATC 2대가 서로 교차하여 운용되고 있다.

ATC 장비 사양에 대해서는 다음과 같다[18].

$$v_{hATC} \text{ (권상속도)} = \begin{cases} \text{정격하중시} \\ \text{임의하중시} \\ \text{무부하시} \end{cases} \quad (2.6)$$

$$a_{hATC} \text{ (권상가속시간)} = \begin{cases} \text{정격하중시} \\ \text{임의하중시} \\ \text{무부하시} \end{cases} \quad (2.7)$$

$$d_{hATC} \text{ (권상 감속시간)} = \begin{cases} \text{정격하중시} \\ \text{입의하중시} \\ \text{무부하시} \end{cases} \quad (2.8)$$

$$v_{gATC} \text{ (주행속도)} = 3.0[\text{m/s}] \quad (2.9)$$

$$v_{lATC} = \text{횡행속도} \quad (2.10)$$

$$a_{lATC} = \text{횡행 가} \cdot \text{감속시간} \quad (2.11)$$

$$a_{gATC} = \text{주행 가} \cdot \text{감속시간} \quad (2.12)$$

### 2.4.3 Y/T

터미널 게이트를 통하여 반입·반출을 행하는 경우, ATC로부터 컨테이너 작업이 직접 수행될 수 있도록 야드 트랙터가 장치장내에 진입하도록 한다. 이 경우 반입 컨테이너에 대한 정보는 게이트를 통하여 접수되며, 이 정보를 이용하여 장치장내에 적재될 위치 및 작업을 수행할 ATC가 할당된다. 이와 같이 야드 트랙터는 장치장 내의 소정의 위치로 이동하며, 장치장내로의 이동시간은 운전자의 동특성을 무시하여 거리에 비례하도록 한다. 즉, 장치장까지의 이동 소요시간은 다음 식으로 주어진다.

$$t_{TRA} \text{ (장치장으로 이동시간)} = \text{거리에 비례적} \quad (2.13)$$

표 2.4 ATC 장비 규격[18]

구분	ATC #1	ATC #2	비고
정격하중	40.6[ton]	40.6[ton]	
주행레일 간격	31.0[m]	37.5[m]	AGV 폭 3[m]를 제외
트롤리 이동거리	25.76[m]	31.88[m]	
인양높이	최소 18[m]	최소 24.22[m] (ATC #1)	
권상속도	35.0 [m/min] (70)	35.0 [m/min] (70)	정격하중시 (무부하시)
트롤리 횡행속도	2.0 [m/s]	2.0 [m/s]	
주행속도	3.0 [m/s]	3.0 [m/s]	
권상 가/감속시간	1.0/2.0 [sec] (2.0/4.0)	1.0/2.0 [sec] (2.0/4.0)	정격하중(무부하시) 임의하중시는 비례적
트롤리 가/감속시간	5.0/5.0 [sec]	5.0/5.0 [sec]	
주행 가/감속시간	8.0/8.0 [sec]	8.0/8.0 [sec]	

## 제 3 장 장치장 내의 컨테이너 할당 모형

### 3.1 기본 사항

본 장에서는 자동화 컨테이너 터미널 내의 장치장에서 ATC 작업 시간 최소화 및 각 블록에서의 ATC 작업 부하의 균등화를 위한 장치 공간 할당에 대해서 다루기로 한다.

수입·수출 장치장의 장치 공간 할당시, 장치 공간 효율화를 위한 중요한 요소로서는 컨테이너 반입 및 반출 분포이다. 일반적으로 수출 장치장의 경우, 컨테이너는 선적 몇 일전부터 반입하여 마감시간(Closing time)에 피크 현상을 보이며, 선적이 시작되면서 수출 장치장 내의 장치량은 급격히 감소된다. 수입 장치장의 경우는 수출의 경우와 반대로, 양하시에는 장치장 내의 적재량이 급격히 증가하다가, 시간이 경과함에 따라서 서서히 반출되는 특징을 보이고 있다. 따라서, 컨테이너의 반입과 반출 분포는 장치장 배정에 중요한 요소가 되며, 이러한 분포를 고려하여 장치장 배정이 이루어져야 한다.

수출 장치장 배정시, 한 선박에 대해 선적할 전체 컨테이너의 장치장 공간을 미리 할당한다면 동일 선박에 대한 공간 배정 횟수가 줄어서 공간 할당시 유리하나, 지나친 공간이 소요되므로 공간적인 측면에서 비효율적이다. 또한, 여러 번 나누어서 공간을 할당하는 경우는 소요 공간은 효율적이나, 공간 위치가 분산되어 전체 최적화를 행하기에는 어려움이 있다. 이외에도 컨테이너의 반입 및 반출분포는 요일별 및 시간별로 기복이 심하므로 일률적으로 할당하기에는 곤란하다.

컨테이너 터미널의 기본 운영에서의 장치장 공간 할당은 일반적으로 계획단계와 통제단계로 나누어지며 다음과 같은 과정에 의해서 이루어진다[12].

#### (1) 대략적 공간 능력 계획

장치장의 현재 장치현황과 미래 컨테이너 수요를 예측하여, 절대 과부족이 발생

하지 않도록 미연에 방지하는 기능을 수행한다.

#### (2) 선박별 블록 공간 할당 계획

계획된 선박의 접안 일정에 따라, 선박별, 목적항별, 크기별 및 종류별로 분류하기 위한 저장공간의 할당으로서, 선박의 접안 선석과 가까운 블록으로 할당한다. 그러나, 본 연구에서의 자동화 컨테이너 터미널의 경우에는 AGV의 경로에 따라 시간적 차이가 발생하므로, 이를 고려하여 할당하여야 한다.

#### (3) 컨테이너 그룹별 저장구역의 계획

선박별 블록 공간 할당 계획에 따라서, 장치장의 공간 효율을 높이기 위해 선박의 목적항별 및 크기별로 나누어 각 Bay 별로 할당하는 기능을 수행한다. 이는 Planner가 전체 계획을 파악하기 용이하게 하는 것이나, 자동화 컨테이너 터미널에서는 이와 같은 방법의 타당성에 대해서는 별도의 연구가 선행되어야 한다.

#### (4) 반입 컨테이너별 장치 위치의 결정

앞의 (1)-(3)의 계획 단계에서 예측 및 기준으로 한 컨테이너의 반입 분포 및 선박의 접안 시간, 목적항별 및 크기별의 개수 등의 차이가 발생하기 마련이며, 실제 컨테이너 반입 상태에 따라서 개별적인 장치장 내의 저장위치를 결정하는 기능을 수행한다. 이는 실시간 반입·반출 및 적하·양하 정보를 바탕으로 장치장 내의 위치를 결정하는 것으로서 재취급 최소화 및 각 장비의 대기시간을 절감하는 데 효과적이다.

### 3.2 장치장 할당 모형

장치장 할당에서 각 블록마다의 장치 공간량 및 공간 위치가 다르므로 ATC의 부하 균등화와 작업시간의 최소화를 고려하여 각 블록마다 적절한 공간 및 위치를 할당해야 한다.

장치장 배정에서의 ATC의 부하 균등화에 대해서 먼저 다음과 같이 정의한다.

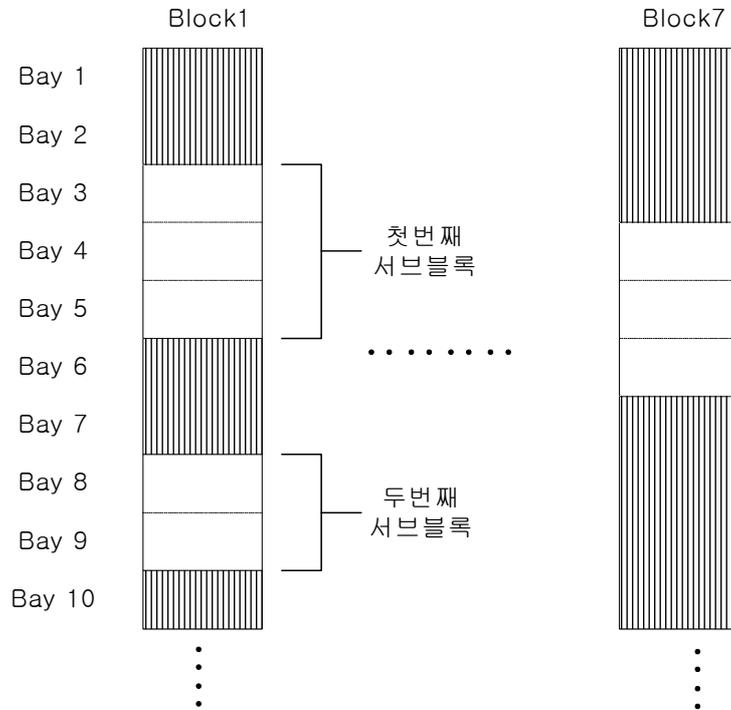


그림 3.1 서브 블록의 개념

ATC의 부하 균등화란 “동일 선박의 작업기간 중에서 각 블록간 ATC의 작업 시간의 균등화”로 정의하며, 여기서 작업시간이란 “ATC의 아이들링 시간을 제외한 작업에 필요한 이동시간, 작업시간 및 대기시간 등을 포함한 시간”을 말한다.

또한 장치장 할당에서 작업시간의 최소화란 “각 블록에서의 작업시간의 총합”으로 정의하며, 이는 장치장 작업이 최소시간 내에 수행되어야 함을 의미한다. 서브블록이란 그림 3.1과 같이 “각 블록마다 컨테이너를 할당 할 수 있는 연속된 빈 공간”으로 정의한다.

다음은 본 연구에서의 모델을 개발하는 데 필요한 가정들이다.

- (1) 장치장 내의 컨테이너는 각 블록에서 2대의 ATC에 의해 운반되며, 작업중 ATC의 간섭에 의한 영향은 없다.

- (2) 선박측의 컨테이너의 운반은 AGV에 의해 수행되며, 한 선석에서의 AGV 이동 경로는 동일하며, 고정 경로를 따라서 수행한다. 또한, 작업에 영향을 주지 않을 정도로 충분히 많은 AGV에 의해서 수행되며, AGV가 정확히 통제되어 ATC 작업 및 G/C 작업에 영향을 주지 않는다.
- (3) 각 선박에 선적할 컨테이너의 정보 및 장치 공간 요구량은 컨테이너가 반입되기 이전에 알 수 있다.
- (4) 선박에 컨테이너의 선적으로 인하여 발생하는 장치장 내의 공간은 선박의 적하가 종료된 이후에 사용될 수 있다.
- (5) T/S 물량은 제외한다.
- (6) 컨테이너는 20ft 및 40ft 만을 고려한다.
- (7) 특수 및 냉동 컨테이너는 제외한다.
- (8) 컨테이너의 무게에 대한 정보는 정확하다.
- (9) POD 변경은 없다.
- (10) 컨테이너 장치장 할당시 크기가 서로 다른 컨테이너는 동일한 Bay에 혼재하지 않는다.
- (11) POD가 서로 다른 경우, 한 Bay의 장치장을 초과하지 않으면 혼재할 수 있다.

본 연구에서 ATC 작업 시간의 최소화 및 작업 부하의 균등화에 대해서는 다음과 같은 목적함수로 나타내어진다.

· 작업 시간의 최소화 :

$$J_T = \min \left( \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^2 W_{ij} \right) \quad (3.1)$$

· 작업 부하의 균등화 :

$$J_L = \min \{ \bar{W} - W \} \quad (3.2)$$

여기서,  $W_{ij}$ 는  $i$  블록의  $j$ 번째 ATC의 작업 시간,  $m$ 은 블록 수를 나타내며,  $W_i$

는  $i$  블록에서의 ATC 총 작업 시간을 나타낸다. 단,

$$\bar{W} = \max(W_i), \quad i = 1, \dots, m$$

$$W = \min(W_i), \quad i = 1, \dots, m$$

윗 식에서 작업시간의 최소화 및 작업부하의 균등화를 위한 각 항에 대해 각각 하중요소  $w_T$ 와  $w_L$ 을 고려한 목적함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$J = w_T J_T + w_L J_L \quad (3.3)$$

위의 식에서 하중요소  $w_T$ 와  $w_L$ 은 작업 시간대 및 작업 조건에 의해 변경될 수 있다. 즉, 주간 작업시에는 외부로부터의 컨테이너 트럭에 의한 반입·반출량이 많으므로 작업시간의 최소화에 비중을 크게 두어야 하며, 이 경우에는  $w_T$ 값을 다소 크게 설정하는 것이 바람직하다.

다음은  $i$  블록의  $j$  번째 ATC의 작업 시간  $W_{ij}$ 에 대한 계산으로서 다음과 같이 구해진다.

$$W_{ij} = \sum_{k=1}^a (d_k + t_k + a_k) \quad (3.4)$$

여기서,

$a$  =  $i$  블록에서  $j$  번 ATC의 컨테이너 운반 개수

$d_k$  = 이동거리에 따른 작업 소요시간

$t_k$  = 작업과 작업의 소요 대기시간

$a_k$  = 작업을 위한 이동 소요시간

단, 각 블록에서 ATC 간의 간섭에 의한 시간 소요는 발생하지 않으며, 또한 ATC의 이송제어가 정확하다고 하면 컨테이너 크기 및 중량에 따른 운반 소요시간은 제 2 장에서 서술한 ATC의 파라미터로부터 크게 벗어나지 않아 동일하게 적용시킬 수 있다.

식(3.4)에서 컨테이너 운반 작업은 주행, 횡행, 승강으로 구분되나, 운반시의 작

업시간은 주로 주행시간에 의해 영향을 받으므로(주행거리가 상대적으로 길기 때 문임) 단순히 컨테이너 Bay 번호만을 이용하여 계산될 수 있다. 또한, ATC 작업 은 부하시와 무부하시의 이송시간은 차이가 많으므로 이를 고려하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$a_k = \text{Bay 번호에 따른 거리} / \text{무부하시의 주행속도} \\ + \text{무부하시의 가감속시간} \quad (3.5)$$

$$d_k = \text{Bay 번호에 따른 거리} / \text{부하시의 주행속도} \\ + \text{부하시의 가감속시간} \quad (3.6)$$

다음은 각 장치장 블록에서 ATC에 의해 컨테이너가 서브 블록단위로 이동되는 경우에 대한 작업시간은 다음과 같이 간략화될 수 있다.

$i$  블록에서 ATC의 총 작업 시간 :

$$W_i = \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^n 2 \times d_{ij_k} / v_a \times B_{ij_k} \quad (3.7)$$

여기서,

$B_{ij_k}$  :  $i$ 블록  $j$ 번째 서브 블록의  $k$ 번째 Bay에 할당된 컨테이너 수

$m_i$  :  $i$ 블록에서의 서브 블록의 수( =  $m_{Ei} + m_{Ii}$  )

$m_{Ei}, m_{Ii}$  :  $i$ 번 블록의 수입·수출 장치장에 대한 각 서브 블록 수

$d_{ij_k}$  :  $i$ 블록  $j$ 번째 서브 블록의  $k$ 번째 Bay에 할당된 컨테이너의 이동 거리

$v_a$  : ATC의 평균 주행속도

$n$  : 각 서브블록에 할당된 Bay 수

다음은 장치장 내의 유효 저장 공간량을 위해서 아래와 같이 정의한다.

$Q$  : 장치장 내의 총 유효 저장 공간량 ( =  $Q_I + Q_E$  )

$Q_I$  : 수입 장치장 내의 총 유효 저장 공간량( =  $\sum_{i=1}^m Q_{Ii}$  )

$Q_E$  : 수출 장치장 내의 총 유효 저장 공간량( =  $\sum_{i=1}^m Q_{Ei}$  )

$Q_{Ii}$  :  $i$ 블록내의 수입 장치장의 총 유효 저장 공간량( =  $\sum_{j=1}^{m_{Ii}} Q_{Iij}$  )

$Q_{Ei}$  :  $i$ 블록내의 수출 장치장의 총 유효 저장 공간량( =  $\sum_{j=1}^{m_{Ei}} Q_{Eij}$  )

$Q_{Iij}, Q_{Eij}$  :  $i$  블록  $j$ 번 서브블록에서의 수출·입의 총 유효저장 공간량  
위의 식으로부터 장치장 내의 총 유효저장 공간량은 다음과 같이 나타내어진다.

$$Q = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{m_{Ii}} Q_{Iij} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{m_{Ei}} Q_{Eij} \quad (3.8)$$

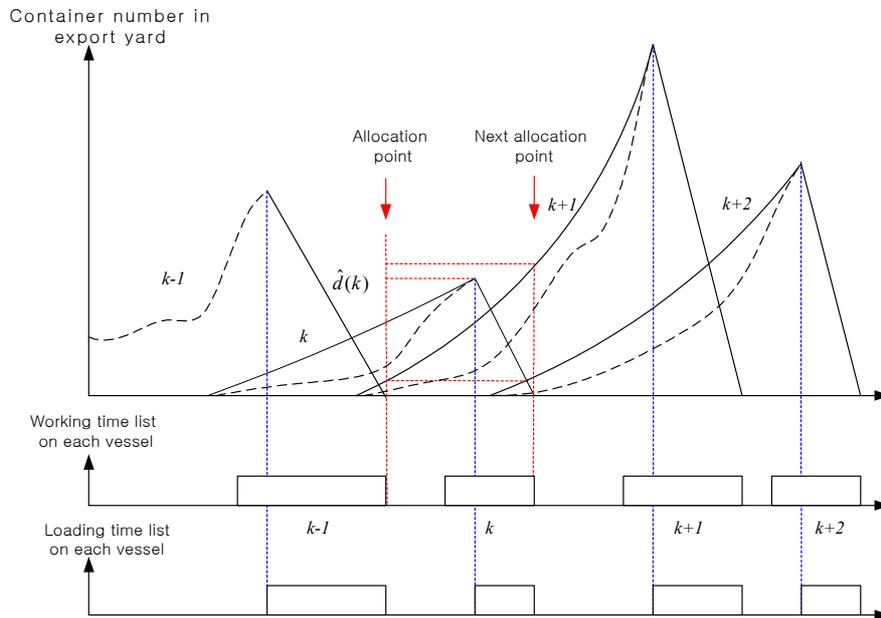


그림 3.2 컨테이너 반입 및 적하 분포

### 3.2.1 수출 장치장 할당 모형

수출 장치장에서 각 선박에 대한 컨테이너 물동량의 변화는 그림 3.1과 같이 나타내어진다.

그림 3.1에서와 같이 수출장치장의 할당 계획은 선박의 적하 작업이 끝난 후에 행하는 것이 수출 장치장 내의 빈 장치 공간을 적극적으로 활용할 수 있으므로 바람직하다. 따라서 수출 장치장 할당은 다음 절차에 의해서 행할 수 있다.

- (1) 수출 장치장 할당 시점에서 차기 할당 시점까지의 기간을 산출(예측)한다.
- (2) 차기 장치장 할당 시점까지 고려되어야 할 선박의 수  $k_n$ 을 산출한다.
- (3) 각 선박의 컨테이너 장치장 반입 분포를 고려하여 예상 장치 공간 소요량  $\hat{d}(k)$ 를 산출한다.
- (4) 산출된 예상 장치 공간 소요량을 현재의 장치장의 유효저장 공간  $h(k)$ 내에서 식(3.3)이 최소화될 수 있도록 장치장 공간을 할당한다.

위의 절차에서 (1)항과 (2)항은 선박의 도착분포 또는 도착일정에 따라 예측할 수 있으나, 선박의 운항상태에 따라 많은 차이가 발생될 수 있다. (3)항은 선박의 크기, 계절, 경제상태, 요일, 시간별 및 교통상황 등으로 인하여 컨테이너의 반입 분포가 크게 좌우되는 항목이며, 본 연구에서는 편의상 컨테이너의 반입분포는 알려진 경우로 한다. (4)항은 수출 장치장 내의 ATC 작업 부하 균등화 및 작업시간 최소화가 이루어지도록 각 블록내의 장치공간 할당 및 각 블록 내에서의 서브 블록의 위치를 결정할 때 적용되는 항목이다.

위의 절차에서의 수출 장치장 배정에 있어서는 아래와 같은 제약식이 존재하며, 이를 위해 관련기호를 다음과 같이 정의한다.

$k$  : 작업 계획구간

$d(k)$  :  $k$ 구간동안 적하 작업을 위한 장치장 내의 누적 저장 공간량  
( $k$ 구간동안 반입 및 환적 컨테이너의 반입량)

$\widehat{d}(k)$  :  $k$  구간동안 적하 작업을 위한 장치장 내의 예상 누적저장

공간량( $k$  구간동안 반입 및 환적 컨테이너의 예상 반입량)

$h(k)$  :  $k$  구간을 위한 장치 공간 할당량

(1) 공간 요구량 제약식

$k$  작업구간 내에서의 장치장 공간 할당량은  $k$  작업구간 내에서의 적하 작업을 위한 장치장 내의 누적 저장 공간량을 초과해야 한다. 즉, 차기 작업구간까지 고려되어야 하는 선박의 수가  $k_n$  이므로 다음과 같이 나타내어진다.

$$\sum_{i=k}^{k+k_n} h(i) \geq \sum_{i=k}^{k+k_n} \widehat{d}(i) \quad (3.9)$$

(2) 이용 장치장 제약식

$k$  작업구간 내에서의 장치 공간 할당량은 각 블록 내에서의 이용 가능한 공간을 초과할 수 없다.

$$\begin{aligned} \sum_{i=k}^{k+k_n} h(i) &\leq \sum_{i=1}^m Q_{Ei} \\ &\leq \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{m_{Ei}} Q_{Eij} \end{aligned} \quad (3.10)$$

따라서, 수출 장치장의 공간 배정을 위한 목적함수는 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$J = \min \left\{ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^2 w_T W_{ij} + w_L (\max(W_i) - \min(W_i)) \right\} \quad (3.11)$$

subject to

$$\sum_{i=k}^{k+k_n} h(i) \geq \sum_{i=k}^{k+k_n} \widehat{d}(i)$$

$$\sum_{i=k}^{k+k_n} h(i) \leq \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{m_{Ei}} Q_{Eij}$$

**Remark 1:** 일반 컨테이너 터미널에서 수출 장치장 배정시, POD별, 규격별, 컨테이너 적공여부별, 화물속성별, 화물무게별 특성 등을 기초로 하여 그룹화 하는 것이 일반적이나, 본 연구에서는 자동화 컨테이너 터미널의 특성상 화물의 속성에 따라 블록을 별도로 하고 있으므로, 동일 선박에 대해서는 재취급 요소를 최소화할 수 있다면 화물을 혼재하여 장치장 배정이 가능하다.

### 3.2.2 수입 장치장 할당 모형

수출 장치장의 장치 공간 할당과는 달리, 수입 장치장의 장치 소요량은 선박으로부터의 양하되는 컨테이너 개수 및 크기로써 결정된다. 수입 장치장의 장치 할당의 경우는, 선박의 정보로부터 양하 컨테이너 정보를 정확히 알 수 있으므로 장치 공간 할당이 용이하다. 그러나, 수입 장치장으로부터 반출은 화주별 및 세관별로 이루어지므로 장치공간 할당보다 추후 재취급 문제 및 장치 공간 이용 측면이 보다 중요해진다. 또한, 수입 장치장 공간 할당 시점은 선박이 접안하여 양하 작업이 이루어지기 직전에 행하는 것이 수입 장치장 공간을 효율적으로 활용할 수 있다는 측면에서 바람직하다. 수입 장치장 할당은 다음 절차에 의해서 행해질 수 있다.

- (1) 선박 정보로부터 수입 장치장 공간 소요량을 계산한다.
- (2) 계산된 장치 공간 소요량으로부터 현재의 장치장 유효 저장 공간 내에 식(3.3)이 최소화될 수 있도록 배정을 행한다.

위와 같이 수입 장치장의 장치공간 할당은 수출보다 단순하며, 장치 공간 할당을 위한 모형도 수출 장치장의 경우와 유사하다. 먼저, 수입 장치장 내의 장치 소요 공간량을 아래와 같이 정의하며, 이를 바탕으로 이용 장치장 제약식 및 공간 배정을 위한 목적함수가 다음과 같이 얻어진다.

$$e(k) : k \text{ 구간동안 선박의 양하 작업을 위한 수입 장치장 내의 장치 소요 공간량}$$

(1) 이용 장치장 제약식

$k$  선박의 양하 작업에서의 수입 장치장의 장치 공간 할당량은 각 블록 내에서의 이용 가능한 장치 공간을 초과할 수 없다.

$$\begin{aligned} e(k) &\leq \sum_{i=1}^m Q_{Ii} \\ &\leq \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{m_i} Q_{Iij} \end{aligned} \quad (3.12)$$

수출 장치장과 유사하게, 수입 장치장에서도 장치 공간 할당을 위한 프로그래밍은 다음과 같이 얻을 수 있다. 단, 각 ATC의 작업은 수입 장치장내에서의 작업에 대한 것만 한정한다.

$$J = \min \left\{ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^2 w_T W_{ij} + w_L (\max(W_i) - \min(W_i)) \right\} \quad (3.13)$$

subject to

$$e(k) \leq \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{m_i} Q_{Iij}$$

**Remark 2** : 수출 및 수입 장치장 공간 할당 모형에서는 각 블록에서의 ATC 작업 부하 균등화 및 총 작업시간의 최소화를 만족시키는 범위 내로 대략적인 공간 할당만을 행하였다. 그러나, 실제 장치장에서는 게이트에서의 반입·반출되는 컨테이너의 분포 및 순서가 일정하지 않으므로 각 시점마다 ATC의 작업 시간을 평가하여 각 ATC의 작업 부하의 균등화, 총 작업시간의 최소화 및 작업 마감시간이 균등화되도록 실시간으로 ATC를 배정하며 각 블록에서의 Bay 선정을 행하여야 한다. 또한 Bay 선정 후에, Row 및 Tier 선정은 재취급에 있어서 매우 중요하다.

## 제 4 장 GA에 의한 해법

### 4.1 GA의 특징 및 구조

유전 알고리즘은 자연 선택의 원리와 자연계의 생물 유전학에 기본 이론을 둔 병렬적이고 전역적인 탐색 알고리즘으로 우성 인자끼리 교배하여 더 좋은 우성인자를 생성한다는 유전학의 개념을 도입한 확률적 알고리즘이다. 유전 알고리즘은 1975년 Holland에 의해 개발되었으며, 기본개념은 다윈의 적자생존의 이론을 기반으로 하고 있다. 복잡한 최적화 문제를 해결하기 위해서 GA에서는 모 집단을 사용하고 모의진화를 일으켜 점진적으로 개선해 나가게 된다. 모 집단은 다수의 염색체로 형성되고 염색체는 문제공간 상의 한 점(잠정적인 해)을 대표하며 이러한 집단을 유지함으로써 여러 방향으로 탐색을 추구하는 알고리즘이다[19].

유전 알고리즘의 주요 특징으로는 다음과 같다.

- (1) 문제의 파라미터를 직접 이용하기보다는 이를 적절히 기호 표현하여 이용한다.
- (2) 하나의 해를 다루기보다는 집단을 취급한다.
- (3) 이득함수 또는 목적함수 값만을 필요로 하고, 연속성, 미분 가능성, 단봉성 등과 같은 다른 보조 정보를 요구하지 않는다.
- (4) 유전 연산자 등을 사용한다.
- (5) 얻어진 결과는 결정적이기보다는 확률적이다.
- (6) 매우 복잡하고 규모가 큰 탐색 공간에서도 원만히 동작하며, 목적함수를 선택하는 데 있어서도 매우 유연하다.

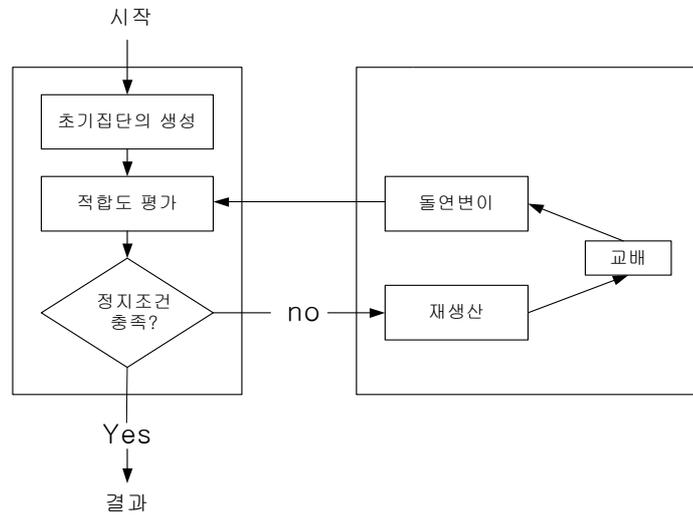


그림 4.1 유전 알고리즘의 구조

유전 알고리즘은 그림 4.1과 같은 구조와 같으며, 이에 대한 설명은 다음과 같다[19][20].

초기화 단계에서는 주어진 문제의 해가 될 가능성이 있는 개체들의 집합 집단이 형성된다. 초기 해는 해공간 내에 무작위로 분포되도록 선택되거나 아니면 경험적인 방법으로 선택된다. 다음 단계에서는 개체들의 강점과 약점이 적합도 항목으로 평가된다. 여기서 각 개체는 복호화 되어 목적함수를 제공하고 이로부터 적합도가 계산된다. 적합도는 자연계에서 환경의 역할을 수행하며, 그들의 상대적인 적합도 값에 따라 현재 집단 내의 개체들이 재생산을 위해 선택된다. 이로부터 성능이 좋은 개체들은 더 많이 선택되고 복제되는 반면에 성능이 나쁜 개체들은 집단으로부터 소멸되게 된다.

선택된 개체들은 교배를 통해 재결합되는데 서로간의 유전 정보를 교환함으로써 집단내 새로운 개체를 도입하게 된다. 교배는 일반적으로 현 집단 내에 존재하는 많은 정보를 이용하여 변화를 시도하게 된다. 만약 이전 세대의 선택 과정에서

특정 정보만을 잃게 되면 교배는 이러한 정보를 보유하는 새로운 개체를 생산할 수 없다. 이를 보완한 전략으로는 엘리트 전략이 있다.

돌연변이는 선택된 개체의 하나 이상의 유전정보를 임의로 변경하여 집단 내에 새로운 정보를 도입하는 수단을 제공한다. 그러나 이러한 변화는 매우 낮은 확률을 가지고 이행된다. 돌연변이를 이용하는 것은 탐색공간상의 어떤 점에 도달할 수 있는 확률이 결코 영(제로)이 아니하다는 사실을 말해 준다.

이러한 일련의 과정을 통하여 새롭게 형성된 집단은 다시 평가되고 최적의 해가 발견될 때까지 앞에서 수행한 연산 과정을 반복한다.

유전 알고리즘의 응용분야는 다양하다. 특히 유전 알고리즘은 복잡한 최적화 문제를 다룰 수 있는 메커니즘을 제공함으로써 여러 분야에서 많은 관심을 받아 왔다. 광범위한 영역에서 일어나는 최적화 문제를 해결하는 데 있어 강인성과 안정성을 보이며, 특히 전역해를 찾는 능력 때문에 광범위하게 응용되고 있다. 함수의 최적화, 신호 및 화상처리, 시스템 식별 및 제어, 신경회로망의 설계 및 학습, VLSI 설계, 비 선형시스템의 예측과 데이터 분석, LISP 프로그램의 진화, 전략 배치, TSP 및 작업 스케줄링 등이 그 응용분야이다.

## 4.2 GA에 의한 해법 유도 절차

본 절에서는 위의 GA의 기본적인 해법을 이용하여 장치장 공간 할당을 행하기로 한다. 앞의 제 3 장에서 장치장의 공간할당 모형을 제시한 바와 같이 수출 장치장 및 수입 장치장의 경우는 유사하므로, 본 절에서는 수출 장치장만을 대상으로 하여 해법을 유도하고자 한다.

냉동 및 특수 컨테이너는 장치장에 그 위치가 터미널마다 정해져 있으므로 본 연구에서는 일반 컨테이너만을 대상으로 하였다.

수출 장치장을 할당함에 있어 제 3 장에서 서술한 가정에 따르도록 한다. 수출

장치장에서 사용되는 목적함수는 배낭문제의 특성과 TSP(Traveling Salesman Problem)문제의 특성을 동시에 지닌 조합형 최적화 문제로서, 위의 해법에 적합한 GA를 이용하고자 한다. GA를 적용함에 있어 기본 구조에 따른 유전 연산자와 적용 방법은 다음과 같다.

(1) 염색체 표현 및 집단의 초기화

염색체 표현은 조합 최적화 문제에 적절한 기호 표현을 사용하며, 각 서브블록의 1 Bay에 장치해야 할 컨테이너를 할당한다. 여기서  $(m, l)$  은 장치장의 블록번호와 서브 블록번호를 각각 나타내며 값은 할당된 컨테이너 개수를 나타낸다. 46 이하의 값은 20ft 컨테이너, 100 이상의 값은 40ft 컨테이너를 나타낸다. 즉, 112는 40ft 컨테이너 12개를 할당한 경우이다. 또한 40ft의 경우는 2 Bay에 할당하므로, 연속적으로 같은 값이 할당되며, 1 Bay의 최대 장치량은 46개를 넘지 못한다. 초기 집단의 생성은 그림 4.2와 같은 순서로 할당된다.

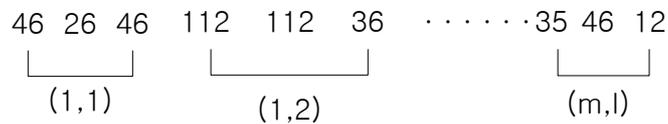


그림 4.2 염색체의 표현

수출 장치장 배정 문제의 해를 찾기 위한 기본정보는 컨테이너의 정보와 장치장의 정보가 필요하다. 컨테이너에 대한 정보는 컨테이너 수, 컨테이너의 크기, POD이며 장치장은 전체 블록수, 블록별 서브블록의 수, 그리고 각 서브블록의 크기이다.

장치장의 정보는 다음과 같이 표현한다.

$$(i, N_{ij}, r_{ij}), \quad i=1, \dots, m, j=1, 2, \dots, l \tag{4.1}$$

여기서  $i$ 는 블록번호,  $j$ 는 서브블록의 index,  $l$ 은 서브블록의 수,  $N_{ij}$ 는  $i$ 블록의  $j$ 번째 서브블록의 첫 Bay 번호,  $r_{ij}$ 는  $i$ 블록의  $j$ 번째 서브블록의 여유 공간량

(TEU)을 나타낸다.

다음과 같이 변수를 정의하자.

$$C_{ij} = r_{ij}/46 \quad (4.2)$$

여기서  $C_{ij}$ 는  $i$ 블록의  $j$ 번째 서브블록에 할당된 Bay의 개수를 나타낸다. 예를 들어 (2, 4, 138)는 2번째 블록의 4번 Bay부터 138(TEU)의 공간이 할당되어 있으며, 또한 장치 공간정보로부터 2번 블록은 4번 Bay부터 연속으로 3개의 Bay가 비어 있다는 것을 알 수 있다.

컨테이너의 유효공간 및 전체 유효공간에 대한 Bay 수는 다음과 같이 정의한다.

$$T_c = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^l r_{ij} \quad (4.3)$$

$$T_b = T_c/46 \quad (4.4)$$

여기서  $T_c$ 는 전체 컨테이너의 유효 공간을  $T_b$ 는 전체 유효 공간에 대한 Bay의 수를 나타낸다.

컨테이너 인출 지점에서  $i$ 블록  $j$ 번째 서브블록의  $k$ 번째 Bay의 거리  $D_{ij_k}$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$D_{ij_k} = N_{ij} \times d + (k-1) \times d, \quad k=1, \dots, C_{ij} \quad (4.5)$$

여기서  $d$ 는 한 Bay의 이동거리로 6[m]로 하였다. 식(4.5)에 대한 예로써 야드 정보가 (1, 2, 96), (1, 7, 138) 일 경우는 1번 블록은 (2, 3, 7, 8, 9)번 Bay가 빈 장치장이 된다. 따라서, 인출 지점에서 서브블록의 Bay까지의 거리는 각각(12, 18, 42, 48, 54)[m]가 된다.

GA를 적용함에 있어 고려 사항은 20ft 컨테이너는 1 Bay가 40ft 컨테이너는 2 Bay가 소요된다는 점이다. 반면에 장치장의 정보는 연속적인 배열 형태로 나열된다. 그래서 40ft 컨테이너를 할당함에 있어 서브블록 사이에 할당되는 경우가 발

생하며, 이러한 경우를 예방하기 위해 장치장 정보로부터 40ft 컨테이너가 할당되지 못하도록 해야 한다.

컨테이너 정보는 다음과 같이 표현한다.

$$C = \begin{bmatrix} Cf_1 & \cdots & Cf_p \\ Ct_1 & \cdots & Ct_p \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

여기서  $f$ 는 40ft 컨테이너를,  $t$ 는 20ft 컨테이너를 나타내며,  $p$ 는 POD의 순서를 나타낸다.

40ft 컨테이너의 총 수량(개수)  $T_f$  및 20ft 컨테이너의 총 수량(개수)  $T_t$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$T_f = \sum_{p=1}^P Cf_p, \quad p=1,2,\dots,P \quad (4.7)$$

$$T_t = \sum_{p=1}^P Ct_p, \quad p=1,2,\dots,P \quad (4.8)$$

여기서  $P$ 는 POD의 총 개수를 나타낸다.

위 경우에서 40ft 컨테이너의 경우 20ft 컨테이너와 구분하기 위해 컨테이너 개수에 100을 더하여 나타내며 실제 목적함수를 계산 할 때는 100단위의 값을 제외하고 계산을 수행하게 된다.

염색체 집단을 초기화하기 위해서는 먼저 하나의 염색체가 가지는 길이를 선정해야 하는데, 본 연구에서의 염색체의 길이는  $T_b$ 이다. 즉 장치장의 변화에 따라서 염색체의 길이도 달라지게 된다. 그리고 집단의 크기는 임의로 선정한다.

컨테이너를 할당하기 위해서 1과  $P$  사이의 정수형 난수를 발생시켜 POD를 선택하고, 선택된 POD의 컨테이너를 46을 넘지 않는 정수형 난수를 발생시켜 그 수만큼 컨테이너 개수를 임의의 장치장 블록에 할당한다. 이런 방법으로 모든 컨테이너를 할당하게 된다. 그림 4.2는 염색체 집단의 초기화를 행하는 순서도 이다.

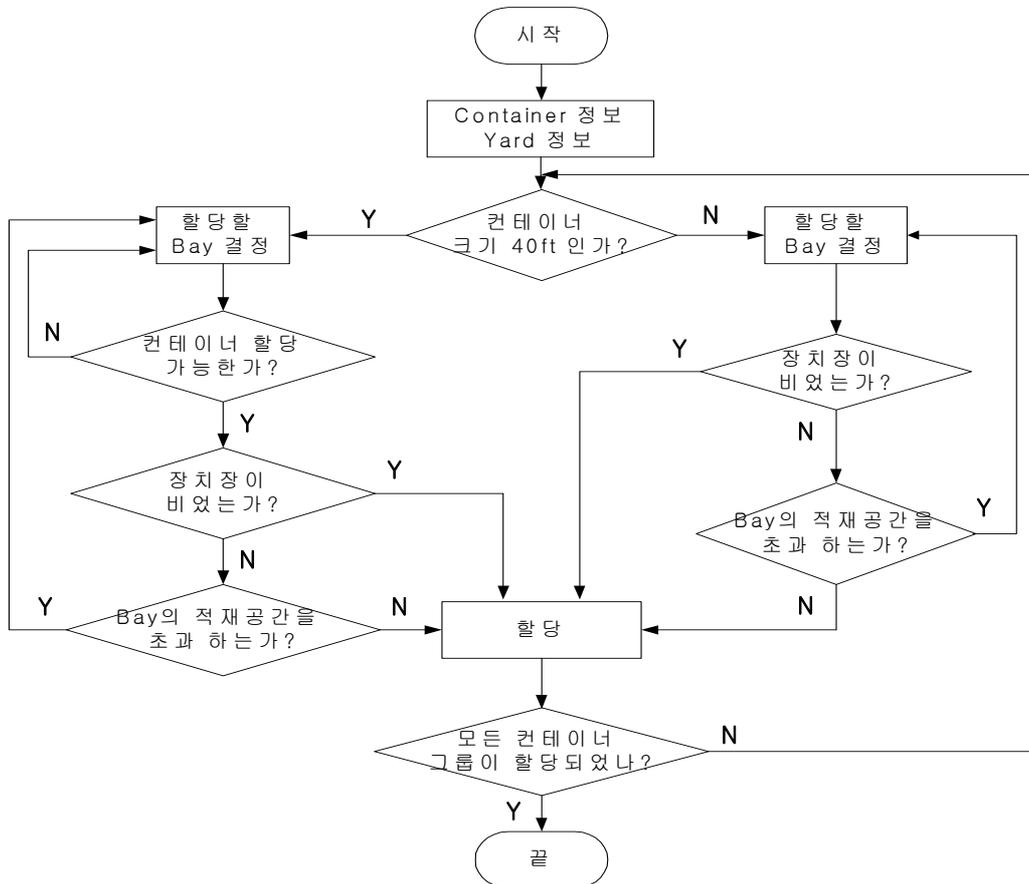


그림 4.3 염색체 집단의 초기화

(2) 재생산

재생산은 강한 개체가 살아 남는 현상을 모방한 메커니즘으로, 본 연구에서는 뛰어난 개체를 선택하는 토너먼트 방식을 채택하였다. 토너먼트 방식이란 한 번의 시도에서 집단으로부터  $L \in [2, N]$  개의 개체를 선택하고, 이 중에서 최적의 개체를 골라내고 교배 급원에 복제한다. 이와 같은 과정은  $N$  개의 개체가 선택될 때까지 반복한다. 여기서  $N$  은 집단의 크기를 나타낸다. 선택되는 개체의 수  $L$  을 토너

먼트 크기라고 하며, 본 연구에서는  $L$  을 2로 하여 수행하였으며, 특히 이러한 방식을 이진 토너먼트라고 한다.

(3) 교배

교배는 염색체간의 정보를 교환하는 메커니즘으로 이를 구현하는 연산자는 염색체 표현법에 종속된다. 본 연구에서는 TSP 및 배낭문제에 적합한 역치 방법을 변형하여 사용하였다.

본 연구에서 사용한 역치의 방법은 서브블록 내에서만 발생하도록 하였다. 임의의 서브블록을 선택하고, 난수를 발생시켜 교배 확률보다 작으면 서브 블록사이의 역치점을 선정하여 교배작용을 일으킨다. 이에 대한 모형도는 그림 4.3과 같다.

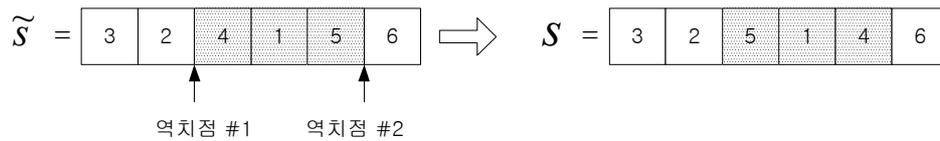


그림 4.3 염색체의 역치 표현

(4) 돌연변이

돌연변이도 교배와 마찬가지로 염색체 내의 정보를 변경시켜주는 도구로서 관계를 가지고 있으며, 본 연구에 적합한 상호 돌연변이를 사용하였다. 일명 교체 돌연변이라고 불리우는 이 돌연변이는 염색체 내에서 임의의 두 요소를 취하고 이들을 서로 교환함으로써 이행된다.

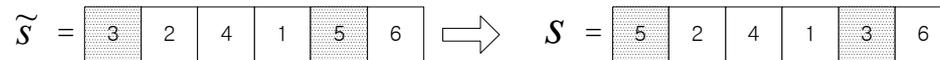


그림 4.4 상호 돌연변이 표현

본 연구에서 돌연변이를 일으킬 때 주의 사항은 컨테이너 크기가 서로 다른 요소가 선택되면 안된다는 것이다. 즉, 임의의 한 요소를 선택하고 난수를 발생시켜

돌연변이 확률보다 작으면 그 크기가 같은 요소가 선택될 때까지 반복하여 돌연변이를 수행한다.

#### (5) 제약조건

제약조건을 다루는 방법으로서 크게 거부전략, 복구전략, 유전연산자의 보완전략 및 벌점전략이 있으나, 본 연구에서는 각 유전 연산자마다 제약 조건을 검사해 제약 조건을 위반하는 염색체를 사전에 차단하는 거부전략을 사용하였다.

#### (6) 엘리트 전략

진화과정에서 가장 강한 개체가 다음 세대에 변경되지 않고 전달되는 것을 보장해 주는 것으로, 본 연구에서는 현 세대에서 소멸된 것이 확인되면 저장된 개체를 현 세대에서 가장 약한 개체 또는 임의로 선택된 개체와 교환하는 방법을 취한다.

#### (7) 적합도 검사

각 개체들의 평가단계에서는 적합도 함수의 정의가 요구되는데, 대부분 목적함수로부터 계산된다. 고려할 사항으로 유전 알고리즘에서 사용되는 적합도 함수는 최대화 형태로 기술되어야 한다. 왜냐하면 자연 환경에서 생물의 적합도는 장점을 의미하고 적합도가 큰 개체가 더 많은 보상을 받을 수 있도록 배려되어야 하기 때문이다. 그러기 위해서 적합도 함수는 최대화 문제로 되어야 하며, 음의 값을 가져서는 안된다. 따라서, 본 연구에서는 목적함수가 최소화 문제이므로, 적합도 함수는 목적함수의 역수를 취하여 사용하였다.

#### (8) 종료 조건

일반적으로 정지 조건은 최대 세대수를 정하는 방법과 매 세대마다 얻어지는 잠정적인 해로부터 수렴성을 조사하여 정지 조건으로 사용한다. 본 연구에서는 일정 세대수 동안 해의 진전이 없으면 종료하는 방법을 사용하였다.

## 제 5 장 시뮬레이션 및 고찰

본 장에서는 부산에 위치한 H 선사 3월의 컨테이너 처리 정보를 기준으로 하여 시뮬레이션을 행하도록 한다. 본 연구에서는 자동화 터미널을 가정하고 있으나, 현재 H선사의 경우는 자동화가 이루어져 있지 않으므로 이에 대한 직접적인 비교는 어려우나, 자동화 터미널 구축시의 지표는 될 수 있다. 또한, 본 연구에서 제안하는 모형 및 GA를 이용한 해법의 유효성을 검증하기 위해 수출 장치장에 국한하여 시뮬레이션을 행하도록 한다. 즉, 수입 장치장의 경우는 수출 장치장의 경우와 장치공간 할당 모형이 유사하므로 수출 장치 공간 할당 해법을 변형시켜 적용시킬 수 있기 때문이다.

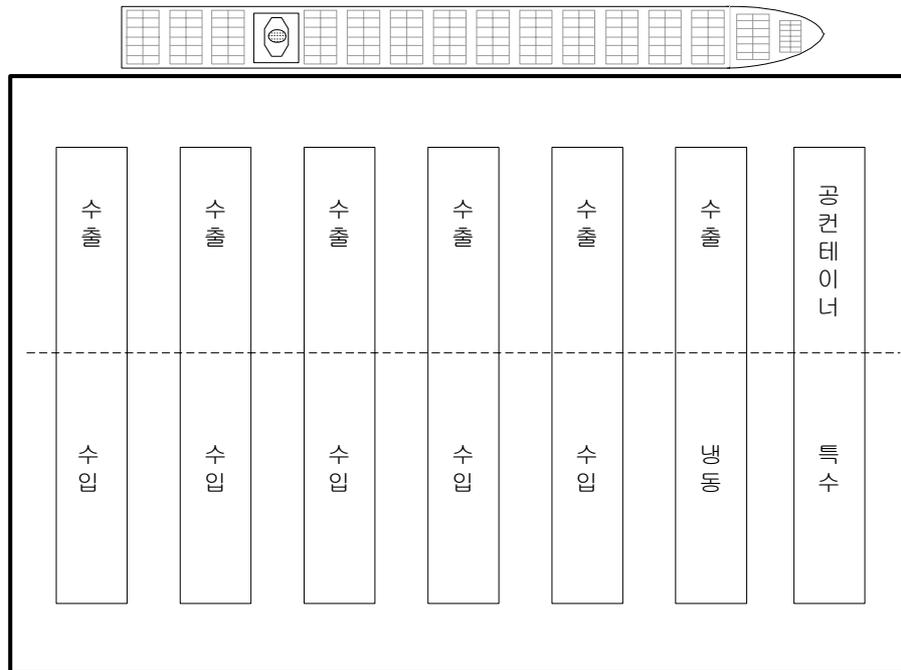


그림 5.1 자동화 컨테이너 터미널의 장치장 대안

## 5.1 작업 정보 및 장비의 파라미터

### 5.1.1 작업 정보

먼저, H 선사의 3월 초 장치장 내의 장치 현황에서 1개 선석만을 고려하여 자동화 터미널의 수직 장치장으로 변환을 행하였으며 장치장 블록수를 7개로 하였다. 이때, 선박의 컨테이너 정보 및 게이트 반입·반출 정보로부터 본 연구에서 필요한 크기별, POD별, 중량별로 분류하였으며, 자동화 터미널의 장치장으로 변환 시 대안으로는 그림 5.1과 같이 하였다. 또한, 본 연구에서는 그림 5.1에서와 같이 특수 및 냉동화물은 별도로 취급하여 시뮬레이션에서는 고려하고 있지는 않으나, 컨테이너 비율에 의해서 추후 예측은 가능하다.

3월 기간 중 #1 선박을 대상으로 한 경우, 각 POD 별 수출 컨테이너 개수는 표 5.1과 같다. 여기서 컨테이너 크기는 20ft(40ft)로 나타내었으며, 선박 #2와 #3에 대한 컨테이너 반입 예정량은 분포를 통하여 전체 컨테이너 개수의 30%와 5%로써 가정하였다. 위의 그림에서의 장치장 대안에 대한 유효 장치공간에 대해서는 표 5.2와 같이 가정하였다. 여기서 Bay 번호는 서브블록이 시작되는 Bay를 나타낸다. 또한, 시뮬레이션에서 GA 파라미터인 집단 크기, 교배확률, 돌연변이 확률은 각각 60, 0.7, 0.1로 하여 수행하였다.

표 5.1 선박별 컨테이너 정보

POD Ship	A	B	C	D	E	F	G
#1	0 (8)	82 (31)	254 (196)				
#2				40 (16)	6 (35)	20 (12)	
#3							4 (0)

표 5.2 각 블록에서의 유효 저장 공간

Block No.	1		2	3	4		5		6		7
Bay No.	3	8	4	4	1	5	1	6	3	7	4
Available Space	138	92	138	276	92	92	138	92	138	138	138

### 5.1.2 장비의 파라미터

본 연구에서 대상으로 하는 장치장 내의 하역장비는 ATC와 야드 트랙터에 대해서 한정하기로 하며, 이에 대한 파라미터는 제 2장에서 서술한 내용과 같다.

## 5.2 시뮬레이션 결과 및 고찰

### 5.2.1 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과는 표 5.3과 같으며, Case 1과 2에서와 같이 하중값을 한가지만 선택하여 부여한 경우는 그 항목이 최소가 되고 있으며, Case 3과 같이 하중값을 비례로 부여한 경우는, 각각의 목적 함수값도 이에 대응한 결과를 보이고 있다. 즉, 본 연구에서 총 작업시간 최소화의 경우는 Case 1로 1:25:58초이며 이때 각 블록간의 최대 및 최소시간 차이는 30:11초이다. 반면에 작업 부하 균등화의 경우는 Case 2로 8:18초이며 총 작업시간은 2:22:40초가 된다. 각각 하중을 고려한 Case 3은 위의 결과 안에 포함된다. 이때, 장치장의 장치장 공간 할당의 결과는 그림 5.2와 같다.

표 5.3 하중 변화하에서의 목적함수값

	$w_T$	$w_L$	$J_T$	$J_L$	$J$
Case 1	1	0	5158	1811	5158
Case 2	0	10	8560	498	4980
Case 3	1	10	7618	522	12838

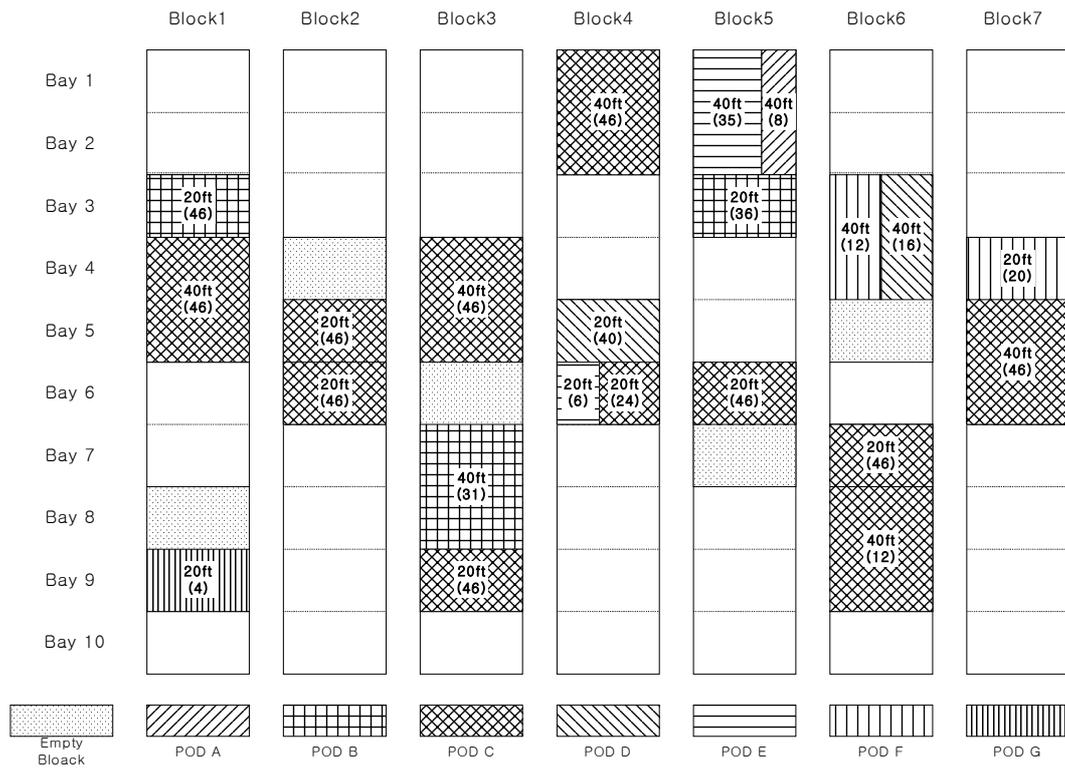


그림 5.2 장치장 공간 할당의 결과

### 5.2.2 시뮬레이션 고찰

수출 장치장 할당 모형의 평가 함수는 각각 총 작업시간에 대한 평가치와 ATC 작업 부하 균등화에 대한 평가치로 구성되었다. 또한 목적함수에는 하중값이 포함되어 있어 하중값의 조정에 의해서 장치장 운영자가 추구하는 방향으로의 장치장 할당이 이루어졌으며, 이는 시뮬레이션 결과에서도 동일하게 보여지고 있다. 따라서, 장치장 운영자가 장치장의 소요 장치 공간의 구성, 본선작업 내용 및 게이트 작업의 예상에 따라서 적절하게 하중값을 조정할 수 있다.

## 제 6 장 결론

최근, 많은 국가에서는 자국의 항만 경쟁력을 높이기 위해 컨테이너 터미널내의 자동화 기기 및 자동 운영 시스템을 구축하고 있으며, 우리나라에서도 컨테이너 터미널의 생산성 증대를 목적으로 자동화 시스템 도입을 계획하고 있다. 이러한 자동화 시스템의 도입을 위해서는 터미널내의 효율적인 자동화 기기의 운용이 이루어질 수 있도록 장치장내의 장치공간 할당 및 장비배정에 관한 연구가 필수적으로 수행되어야 한다.

본 연구에서는 자동화 컨테이너 터미널의 수직 장치장에 대해 ATC의 총 작업 시간의 최소화 및 부하 균등화를 고려한 모형을 제시하였다. 터미널내의 AGV의 원활한 통제 및 기본 가정 하에 각 블록에서의 ATC 총 작업시간의 최소화 및 부하 균등화를 위한 목적함수를 도출하였다. 또한, 터미널 장치장의 장치현황을 고려하여 장치 공간을 할당하는 방법으로서 목적함수 내에 하중치를 두어서 장치장 전략에 맞게 설계할 수 있도록 하였다.

위의 모형을 바탕으로 GA에 의한 해법을 도출하였으며, 대표적으로 수출 장치장 공간 할당에 대한 알고리즘을 제시하였다. 도출된 GA를 이용하여 수출 장치장에 대해서 시뮬레이션을 행한 결과, 운영자의 하중값의 설계에 따라서 적절히 장치 공간이 할당됨으로써 GA 해법의 유효성을 확인하였다.

본 연구에서는 실제 H 선사의 터미널 정보를 이용하여 장치장 공간 할당을 수행하였는데, 장치장의 초기 데이터를 자동화 터미널에 맞도록 변환시키는 데 어려움이 있었다. 따라서, 본 연구에서 제안하는 모형과 그 해법이 자동화 터미널의 운영자의 판단과 같이 ATC가 배정되어 실시간으로 운영되기 위해서는 자동화 터미널에 대한 시뮬레이션 고찰이 필요하다.

## 참 고 문 헌

- [1] 박경택, “자동화 컨테이너 터미널”, 대한조선학회지, Vol. 34, No. 1, pp. 50 - 58, 1997.
- [2] 조덕운, “컨테이너항 전산 모의실험 모형의 개발”, 대한산업공학회지, Vol. 11, No. 2, pp. 49-62, 1985.
- [3] 김현, “시물레이션에 의한 부산 컨테이너 터미널 운영의 체계적인 분석”, 한국해양대학교 석사학위논문, 1992.
- [4] 김기영, 김갑환, “컨테이너 터미널에서의 유전자 해법을 이용한 적하계획법”, 대한산업공학회지, Vol. 23, No. 4, pp. 645-660, 1997.
- [5] 하태영, “효율적인 하역장비 운용을 위한 컨테이너 터미널의 선석계획 시스템”, 한국해양대학교 석사학위 논문, 2000.
- [6] J. Bartholdi, et.al., “Decentralized Control of Automated Guided Vehicles on a Simple Loop”, IIE Transaction, Vol. 21, No. 1, pp. 76-81, 1989.
- [7] M. J. Evers, et.al., “Automated Guided Vehicles Traffic Control at a Container Terminal”, Transportation Research Part A, Vol. 30, No. 1, pp. 21-34, 1996.
- [8] E. McDowell, et.al., “A Study of Maritime Container Handling”, Oregon State Univ., Sea Grand College Program Ads 406, Publication No. ORESU-T-85-003, 1985.
- [9] Y.G. Chung, et.al., “A Simulation Analysis for Transtainer-base Container Handling Facility”, Computers & IE, Vol. 14 No. 2 pp. 113-125, 1988.
- [10] M. Taleb-Ibrahim, “Modeling and Analysis of Container Storage in Ports”, Ph.D. Thesis, Univ. of California at Berkeley, 1989.
- [11] I. Watanabe, “Characteristics and Analysis Method of Efficiencies of Container Terminal - An Approach to the Optimal Loading/Unloading Method”, Container Age, pp. 36-47, 1991.
- [12] 김두열, “터미널의 수출 컨테이너에 대한 장치장 공간할당 계획 시스템”, 부산대학교 석사학위논문, 1995.

- [13] 김갑환, 박영민, “무게를 고려한 수출 컨테이너 장치위치 결정법”, 한국산업공학회, 제 22권, 제 4회, pp. 753-769, 1996.
- [14] 건설교통부, “효율적인 컨테이너 터미널 계획 및 운영을 위한 모형 개발”, 95’ 연구개발사업 최종 보고서, 1997.
- [15] 박두호, “컨테이너 장치 작업을 위한 크레인 배정 및 작업순서 결정”, 한국해양대학교 석사학위논문, 1999.
- [16] 한국컨테이너부두공단, “부산항 ODCY이전에 따른 컨테이너화물 유통체제 정비 및 개선방안에 관한 연구”, 2000.
- [17] 이철영, “항만 물류시스템”, 효성출판사, 1996.
- [18] 첨단항만 핵심기술개발 사업단, “첨단항만핵심 기술 개발”, 중점국가 연구개발사업, 2000.
- [19] 진강규, “유전알고리즘과 그 응용”, 교우사, 2000.
- [20] G.C. Onwubolu and M. Mutingi, “A genetic Algorithm approach to the theory of constraints product mix problems”, Production Planning & control, Vol. 12, No. 1, pp. 21-27, 2001.

## 기호설명

$a$  :  $i$ 블록에서  $j$ 번 ATC의 컨테이너 운반 개수

$a_{AGV}$  : AGV의 정지시에서 주행속도까지의 가속시간

$a_{gATC}$  : ATC #1과 #2의 주행 가·감속시간

$a_{hATC}$  : ATC #1과 #2의 권상시 가속시간

$a_k$  : 작업을 위한 이동 소요시간

$a_{tATC}$  : ATC #1과 #2의 횡행 가·감속시간

$c_{AGV}$  : AGV의 선회시 주행속도

$d$  : 한 Bay의 이동거리

$d_{AGV}$  : AGV의 주행속도에서 정지시까지의 감속시간

$d_{hATC}$  : ATC #1과 #2의 권상시 감속시간

$d_{ij_k}$  :  $i$ 블록  $j$ 번째 서브블록의  $k$ 번째 Bay에 할당된 컨테이너의 이동 거리

$d_k$  : 이동거리에 따른 작업 소요시간

$d(k)$  :  $k$ 구간동안 적하 작업을 위한 장치장 내의 누적 공간량

( $k$  구간동안 반입 및 환적 컨테이너의 도착량)

$e(k)$  :  $k$ 구간동안 선박의 양하 작업을 위한 수입 장치장 내의 장치 소요 공간량

$h(k)$  :  $k$ 구간을 위한 장치장 공간 할당량

$i$  : 블록 번호

$j$  : 서브블록의 index

$k$  : 선박의 작업구간(스테이션 번호)

$k_n$  : 작업기간내 선박의 수

$l$  : 서브블록의 수

$m$  : 블록수

$m_{AGV}$  : AGV의 적재중량

$m_{Ei}, m_{Fi}$  :  $i$ 번 블록의 수출·수입 장치장에 대한 각 서브블록 수

$m_i$  :  $i$ 블록에서 서브블록의 수  
 $(m, l)$  : 블록번호 와 서브블록번호  
 $n$  : 각 서브블록에 할당된 Bay 수  
 $r_{ij}$  :  $i$ 블록의  $j$ 번째 서브블록의 공간량 ( TEU )  
 $t_k$  : 작업과 작업의 소요 대기시간  
 $t_{TRA}$  : 컨테이너 트랙터의 게이트에서 장치장으로 이동시간  
 $v_a$  : ATC 의 평균 주행속도  
 $v_{AGV}$  : AGV 의 주행속도  
 $v_{gATC}$  : ATC #1과 #2의 주행속도  
 $v_{hATC}$  : ATC #1과 #2의 권장속도  
 $v_{TRA}$  : 장치장으로 이동하는 야드 트랙트의 평균속도  
 $v_{tATC}$  : ATC #1과 #2의 횡행속도  
 $w_T, w_L$  : 하중 값  
 $B_{ijk}$  :  $i$ 블록  $j$ 번째 서브 블록의  $k$ 번째 Bay에 할당된 컨테이너 수  
 $C$  : 컨테이너 크기별, POD 별 수량 (matrix)  
 $Cf_p$  : POD가  $p$  인 40ft 컨테이너 개수  
 $C_{ij}$  :  $i$ 블록의  $j$ 번째 서브블록에 할당된 Bay의 개수  
 $Ct_p$  : POD가  $p$  인 20ft 컨테이너 개수  
 $D_{ijk}$  : 인출 지점에서  $i$ 블록  $j$ 번째 서브블록의  $k$ 번째 Bay의 거리  
 $J$  : 목적함수  
 $J_L$  : ATC 작업 부하 균등화에 대한 목적함수  
 $J_T$  : 총시간 최소화에 대한 목적함수  
 $L$  : 토너먼트 크기  
 $N_{ij}$  :  $i$ 블록의  $j$ 번째 서브블록의 첫 Bay 번호  
 $N$  : 염색체 집단의 크기

$Q$  : 장치장 내의 총 유효 저장 공간량 ( $= Q_I + Q_E$ )

$Q_E$  : 수출 장치장 내의 총 유효 저장 공간량 ( $= \sum_{i=1}^m Q_{Ei}$ )

$Q_{Ei}$  :  $i$ 블록내의 수출 장치장의 총 유효 저장 공간량 ( $= \sum_{j=1}^{m_{Ei}} Q_{Eij}$ )

$Q_I$  : 수입 장치장 내의 총 유효 저장 공간량 ( $= \sum_{i=1}^m Q_{Ii}$ )

$Q_{Ii}$  :  $i$ 블록내의 수입 장치장의 총 유효 저장 공간량 ( $= \sum_{j=1}^{m_{Ii}} Q_{Iij}$ )

$Q_{Iij}, Q_{Eij}$  :  $i$ 번 블록에서의  $j$ 번 서브 블록에서의 수출 · 수입의 총 유효 저장 공간량

$T_b$  : 전체 유효 공간에 대한 Bay의 총 수

$T_c$  : 전체 컨테이너의 유효 공간

$T_f$  : 40ft 컨테이너의 총 개수

$T_t$  : 20ft 컨테이너의 총 개수

$W_i$  :  $i$ 블록에서 ATC의 작업 소요시간

$W_{ij}$  :  $i$ 블록의  $j$ 번 ATC의 작업 시간

$\hat{d}(k)$  :  $k$ 구간동안 적하 작업을 위한 장치장 내의 예상 누적 공간량

( $k$ 구간동안 반입 및 환적 컨테이너의 예상 도착량)