工學碩士　學位論文

효율적인 하역장비 운용을 위한 컨테이너 터미널 선적계획 시스템

Ship Planning System for Efficient Crane Operation of Container Terminal

指導敎授 申 宰 榮

2000年 2月

韓國海洋大學校 大學院

物流시스템工學科

河　泰　瑩

Ship Planning System for Efficient Crane Operation of Container Terminal

Tae-Yeong Ha

Department of Logistics Engineering

Graduate School of Korea Maritime University

Abstract

In case of the container terminal, as something affecting in the productivity, the terminal working plan for loading and discharging the container is probably divided by berth allocation plan, yard allocation plan, loading and discharging plan, gate operation plan.

Loading and Discharging plan is classified the gantry crane allocation plan, loading, discharging plan to take the responsibility of the ship loading and unloading work. The basic purpose of these working plans can reduce unloading time that is for loading and discharging activities of container. Reducing the discharging time can reduce not only additional cost at the position of the

shipping company, but also can increase the rate of service at the position of the terminal. therefore it can be expected attracting shipping company. It can be said that the total discharging time that is for loading and discharging activities of containers are generally the work time and the setup time. Because the need time for loading and unloading depends on machine's efficiency, it is the more reliable in machine's efficiency than in a mathematical analysis. Therefore, the efficient working plan can reduce setup time, and it is directly connected to reduce loading and discharging time of containers.

In this paper, it suggest the mathematical model about yard's amount of the materials for the allocation and hatch allocation per gantry crane to take the responsibility of the ship loading and unloading work after the berth allocation and the yard's amount of the materials.

목 차

표 목 차

그 림 목 차

제 1 장 서 론

1.1 연구의 필요성

현재 국제 운송의 주류를 담당하고 세계무역량의 90%를 차지하는 해운산업은 각종 과학 기술의 발달에 힘입어 기계화 및 자동화 추세로 돌입하게 되었다. 특히 컨테이너를 이용한 복합화물운송(Multi-modal Transportation)은 기존의 운송방법에 컨테이너라는 규격화된 용기를 사용함으로써 획기적으로 운송형태를 바꾸었다. 컨테이너라는 규격화된 용기는 화물의 적·양하 작업을 단순하게 만들었을 뿐만 아니라 화물의 보호를 위한 포장용기로써의 역할까지 담당하게 되어 운송에 따르는 각종 비용의 절감 효과를 가져왔다. 이러한 컨테이너의 장점이 부각되면서 선사의 화물운송의 형태도 컨테이너운송을 위한 전용선 운항으로 이어졌으며, 또 선박이 취항하는 항만 측에서도 이에 적합한 하역시스템 및 운영시스템이 필요하게 되었다.

현재의 해상컨테이너 수송은 규모의 경제성을 추구하여 선사의 기항지 축소, 대형 컨테이너선의 출항 등의 영향으로 컨테이너 터미널에 기항하는 컨테이너 선박당 처리 컨테이너 수가 수백 수천 TEU에 달하였으며, 이것은 기존의 수작업에 의한 터미널 운영시스템으로는 한계가 있다고 할 수 있다. 그러나, 일반적으로 터미널의 경우에는 각종 시설들이 선박운항형태의 변화에 따른 즉각적인 요구를 수용하기 힘들뿐만 아니라 대형의 고가 장비 도입에 따른 채산성 부족의 이유로 시설의 확충보다는 기존 운영방식의 개선이나 자동화 및 전산화하는 형태로의 전환을 우선적인 대안으로 생각하게 되었다. 현재 컨테이너 터미널 운영시스템의 변경은 여러 터미널에서 진행되고 있으며, 상당한 수준의 전산화가 이미 구축되어 있는 실정이다. 하지만, 단기간의 전산화의 도입으로 운영시스템의 질적 효과를 감안하지 않은 외향적 전산화가 상당수이며, 단순히 인력에 의한 수작업을 컴퓨터에 의한 업무로 전환한 것에 불과한 것도 있다. 물론 전산화에 의한 작업은 인력에 의한 작업보다 신속·정확하다고 할 수 있으나 중복적인 작업이나 비효율적인 작업의 형태가 전산화된 운영시스템에 여전히 존재

하고 있기 때문에 이의 개선이 필요하다고 할 수 있다. 따라서, 컨테이너 터미널의 보다 나은 생산성 향상을 위해서는 단순 전산화에서 한 걸음 나아가 업무 자동화가 이루어져야 하는데, 특히 운영시스템의 자동화에는 계획 자동화가 필수적이다. 그런데, 계획 자동화가 이루어지기 위해서는 전산화를 통한 자료처리의 자동화뿐만 아니라 계획을 위한 알고리즘 구현이 필수적이라 할 수 있다.

컨테이너 터미널의 경우에 생산성을 결정하는 한 요소인 컨테이너 적·양하를 위한 터미널 하역 작업 계획은 크게 선석 배정 계획, 장치장 배정 계획, 적·양하 계획, 반출·입 계획으로 구분될 수 있다. 적·양하 계획은 다시 본선 하역 작업을 담당하는 겐트리 크레인 배정계획, 양하 계획, 적하 계획으로 분류된다. 이러한 계획 수립의 기본 목적은 컨테이너의 적·양하 작업에 소요되는 하역시간의 단축에 있다고 할 수 있다. 하역시간의 단축은 선사의 입장에서 각종 부대비용을 절감시키는 효과가 있을 뿐만 아니라, 터미널의 입장에서도 서비스율 향상에 따른 다수의 선사유치의 효과를 기대할 수 있다. 컨테이너의 적·양하 작업에 소요되는 총 하역 시간은 하역자체에 요구되는 시간(work time)과 작업계획에 따른 작업준비시간(setup time)으로 나누어 살펴볼 수 있다. 하역자체에 요구되는 시간은 기기의 성능에 의해 좌우되기 때문에 수리적인 분석보다는 기기의 성능에 의존적이라 할 수 있으나, 작업준비시간은 터미널의 하역 작업 계획에 따라 크게 달라지게 된다. 따라서 효율적인 작업 계획은 작업준비시간을 단축시키고, 이는 컨테이너 적·양하 작업시간의 단축과도 직결된다고 할 수 있다.

본 논문에서는 이러한 컨테이너 터미널의 생산성 향상을 위한 컨테이너 적·양하 작업계획을 다루고 있으며, 선석 배정 이후의 본선 적·양하 작업을 담당하는 겐트리 크레인별(Gantry Crane, G/C) 작업 Hatch 배정과 야드의 물량을 겐트리 크레인별로 배정하는 야드 물량 배정에 관한 수리적인 모형을 제시하고자 한다. 이러한 문제는 실제 하역 작업이 인력이 아닌 대형 장비에 의하여 이루어지기 때문에 사전 작업 계획이 필수적이라 할 수 있다. 크레인별 작업 Hatch 배정에 있어서는 본선의 적·양하 물량을 동시에 고려하고, 양하 계획은 기본적인 양하 작업 규칙에 의하여 작업순서를 결정한다. 적하 계획에서는 야드 물량을 크레인별로 배정하되 야드의 장치 상태와 이를 담당하는 트랜스퍼 크레인(Transfer Crane, T/C)의 작업 특성을 고려한다. 본 연

구에서 제시하는 계획모형에 의해 컨테이너 적·양하 작업에 소요되는 하역작업시간 단축의 효과를 기대할 수 있을 것으로 본다.

1.2 관련 문헌 연구

컨테이너 터미널의 하역 작업 계획과 관련한 기존의 연구는 해당 분야의 특수성으로 인해 그 수가 매우 적다고 할 수 있다. 본 단락에서는 크게 컨테이너 적·양하 작업을 위한 본선 작업 계획 부분과 반출·입 컨테이너 작업을 위한 장치장 운영 작업 계획 부분으로 나누어 살펴보도록 한다.

본선 작업 계획 부분에 있어서는 선박의 안정성(vessel stability)과 겐트리 크레인의 작업 특성을 중심으로 한 연구가 수행되었다. 신재영·남기찬(1995)은 국내 터미널의 실무적인 요구사항과 효율적 계획안의 제시가 가능한 자동 선적 의사결정지원시스템(Decision Support System)을 개발하였는데, 이 시스템은 실무 작업 환경에 적합하며 내부에 수리적 모형과 전문가의 지식을 바탕으로 구축된 지식베이스를 결합한 전문가 시스템(Expert System)이라 할 수 있다. 신재영·곽규석·남기찬(1996)은 효율적인 컨테이너 터미널 선적 계획을 위해 인공지능(Artificial Intelligence)과 전문가 시스템을 이용하여 자동 선적 계획 모듈을 위한 시스템을 설계하고, 모듈의 일부를 Prototype으로 개발하였으며, Dumbleton, J.J.(1990)도 실제 터미널 Planner의 작업 방식을 지식베이스로 사용한 전문가 시스템을 적하 계획에 도입하려고 시도하였다. Jonathan J. Shields(1984)는 선박의 안정성을 고려한 컨테이너 최적 적재 위치 결정에 있어서, 시뮬레이션과 몬테카를로(Monte Carlo)기법을 병합한 임의탐색기법(random search)으로 각 대안들에 대해 벌점(penalty)을 부과하는 방식을 사용하여 대안들을 비교·분석하였다. 강기중·이철영(1990)은 컨테이너 선적에 있어서 본선 안정성과 야드 Shift수를 동시에 최적화하는 정수계획모형(Integer Programming)을 제시하였으며, 해의 도출 과정에 있어서는 분지탐색법(branch and bound)을 이용하여 초기해를 구하고, 동적계획법(Dynamic Programming)으로 컨테이너를 재배치시키는 방

법으로 최종해를 구하였다. 김기영 · 김갑환(1997)은 컨테이너 적하 계획에서 수출 컨테이너의 적하 순서를 결정하는 정수계획모형을 수립하고, 해법으로 유전자알고리즘(Genetic Algorithm)을 이용하였다. 모형에서는 선박의 안정성과 야드 하역 장비인 스트래들 캐리어(Straddle Carrier, S/C)의 이동거리를 최소화하는 목적함수를 설정하였다. D. J. Sagninaw II와 A. N. Perakis(1989)는 컨테이너 선박의 적부 계획을 위한 그래픽 인터페이스 시스템을 개발하였는데, 이 시스템은 선박 안정성 검사와 각종 데이터의 자동처리 기능을 제공한다. 이외에 컨테이너 선박의 최적 스케줄링 문제에 라그랑지 완하법(Lagrangean Relxation)을 이용한 Rana & Vickson (1991)의 연구, 벌크선의 스케쥴링 문제를 다룬 Fisher & Rosein(1989)의 연구, 컨테이너 크레인의 효율적 관리를 위한 스케쥴링 문제에 분지탐색법을 이용한 Daganzo & Peterkofsky(1990)의 연구 등이 이루어졌다.

장치장 계획에서는 야드와 장비의 생산성에 관련하여 효율적인 작업 계획 수립을 위한 연구가 진행되었다. 김갑환 · 박강태(1997)는 효율적인 적하 작업을 위한 수출 장치장 배정 모형을 수립하고, 라그랑지 완하법을 이용한 휴리스틱(Heuristic)해법을 제시하였다. 김두열(1995)은 부산항 컨테이너 터미널을 대상으로 선박의 접안 시간과 야드 하역장비(S/C)의 운행거리를 최소화시킬 수 있도록 수출 컨테이너의 선박별 블록 공간 할당방법을 제시하였으며, Quadratic Programming으로 모델링하여 해를 구했다. 이와는 달리 이경모 · 김갑환(1998)은 반출 · 입 컨테이너를 처리하는 트랜스퍼 크레인(Transfer Crane, T/C)의 작업 순서를 결정함에 있어서 이를 동적계획법으로 정식화하고, FCFS(first come, first service), UT(unidirectional travel), NT(nearest truck first served), SPT(shortest processing time rule) 등과 같은 작업 방식을 토대로하여, 이를 시뮬레이션하여 그 결과를 비교 · 분석하였다. 조덕운(1986)은 선박의 복원력(GM)과 기타 선적과 관련된 작업제약을 만족하는 범위내에서 장치장내의 물자 취급을 최소화하는 모델을 제시하였는데, 장치장내의 물자 취급은 트랜스퍼 크레인의 동선최소화를 동적계획모형으로 수립하였다. 박두호(1999)는 게이트를 통하여 반출 · 입되는 컨테이너를 대상으로 야드 하역 장비인 트랜스퍼 크레인의 동선최소화를 위한 휴리스틱 해법을 제시하였다. 제시된 해법은 크게 단일예정발생작업과 복수예정발생작업으로 나누어 적용하였고, 특히 복수예정발생작업에서는 TSP(Traveling Salesman

Problem)모형의 Tour Construction 부분과 Tour Improvement 부분으로 나누어 작업 시간, 장비효율성, 트럭의 대기시간별로 비교·분석하였다.

이상의 내용에서 살펴본 바와 같이 터미널의 하역 작업과 관련한 기존 연구들은 대부분이 하역 작업에 투입되는 장비의 효율성과 하역 시간에 중점을 두고 수행되었다고 할 수 있다. 마찬가지로, 본 논문에서도 본선 하역 작업과 야드 하역 작업을 수행하는 장비의 효율성을 감안한 컨테이너 적·양하 계획을 수립하도록 한다.

1.3 논문의 구성

본 논문의 구성은 제 1 장에서는 본 연구의 필요성과 방향을 제시하였으며, 컨테이너 터미널 하역 계획과 관련한 기존의 연구들을 살펴보았다. 제 2 장에서는 본 논문에서 다루고 있는 컨테이너 적·양하 계획과 관련하여 컨테이너 터미널 하역 계획 수립에 대한 업무 분석과 본 연구의 범위를 설명한다. 제 3 장에서는 본 논문에서 다루고 있는 컨테이너 적·양하 계획을 위한 시스템 설계와 수리적인 모형을 수립하고, 모형을 실제업무에 적용할 경우 계획 수립의 시간을 단축시킬 수 있도록 실시간(Real time) 작업계획수립이 가능한 휴리스틱(Heuristic) 해법을 제시한다. 제 4 장에서는 이러한 본 연구에서 제시한 수리적인 모형의 타당성을 검증하기 위해 다양한 장치 상황을 대상으로 한 모의 자료와 실제 자료를 토대로 그 결과를 산출하여 비교·분석한다.

마지막으로 제 5 장에서는 본 연구의 수행과정에서의 얻은 성과와 차후의 연구방향에 대하여 언급하도록 한다.

제 2 장 컨테이너 터미널의 적·양하 계획

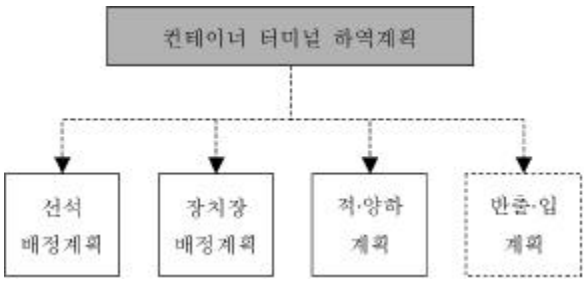
컨테이너 터미널(container terminal)은 기항하는 선박에 대한 서비스 증대와 터미널 내의 자원의 효율적 이용을 위해 각종 계획을 수립한다. 선박에 대한 서비스 증대는 접안 시간의 단축으로 신속한 적·양하 작업을 의미하며, 자원효율성은 터미널 내의 각종 하역장비의 적절한 작업배정을 의미한다고 볼 수 있다.

2.1 터미널 하역 계획

컨테이너 터미널에서의 주요업무는 하역 작업이며, 따라서 하역계획수립이 터미널 운영 업무의 대부분을 차지한다고 할 수 있다. 일반적으로 하역작업과 관련하여 터미널에서는 다음과 같이 세 가지의 계획을 기본적으로 수립하게 된다.

(1) **선석 배정 계획**(berth allocation planning)
(2) **장치장 배정 계획**(yard allocation planning)
(3) **적·양하 계획**(unloading/loading planning)

이 외에도 게이트(gate)를 통한 수출·입 컨테이너의 반출·입 작업계획이 있으나, 선박하역작업과는 직접적으로 관련이 적다고 볼 수 있다.



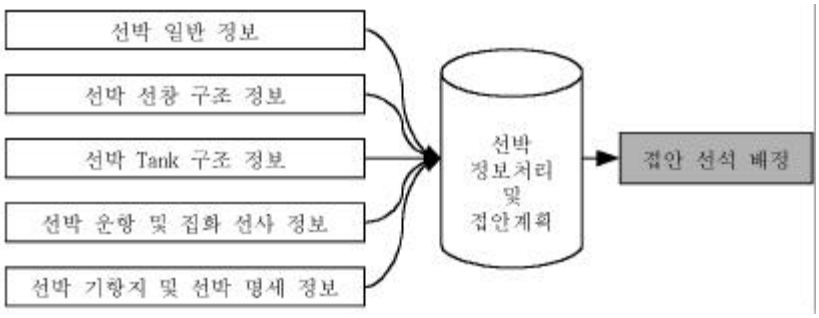
[그림 2-1] 컨테이너 터미널 하역계획

하역 계획의 주 대상이 되는 것은 컨테이너의 운반 작업이며, 이러한 작업은 모두

가 하역 계획에 의해 수행된다고 할 수 있다. 효율적인 하역 계획을 수립하기 위해서는 현재의 터미널내의 상황이 항시 반영되어야 한다.

2.1.1 선석 배정 계획

선석 배정 계획은 하역 계획의 첫 단계라 할 수 있다. 그러나 단순히 기항하는 선박에 대해 적정 선석을 배정하는 것뿐만 아니라, 해당 선박과 관련된 각종 정보가 수집되는 계획 단계라 할 수 있다. 선석 배정 계획은 터미널의 선석 운영에 있어서 장기적인 전략적 계획으로 볼 수 있으나, 일반적으로 국내 터미널의 경우 1개월간의 선석별 선박 접안 배정계획을 수립하고 있으며, 선박의 사정과 터미널의 작업 상황을 고려한 단기 계획으로 수립된다. 이 계획은 터미널의 반출·입 계획과 장치장 배정 계획과도 많은 관련성이 있다고 할 수 있다.

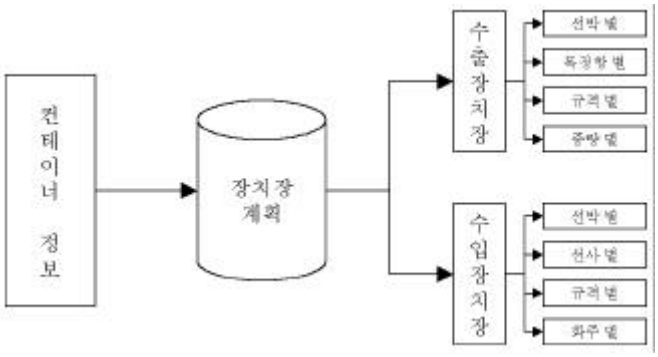


[그림 2-2] 선박 정보처리 및 선석배정

2.1.2 장치장 배정 계획

장치장 배정 계획은 터미널내의 장치 공간의 효율적 이용과 컨테이너 적·양하 시간을 단축하기 위해 수립되는 것으로 마샬링(Marshalling) 계획이라 한다. 마샬링 계획은 수출·수입 컨테이너에 대해 상이한 방식으로 이루어진다. 수출의 경우 접안 선석 부근에 배정하며, 배분인자는 선박, 목적항, 컨테이너 규격과 특정 선박의 안전에

기초한 중량 범주가 된다. 이 때, 본선 적하 작업과 야드 하역장비(T/C, S/C)의 동선 최소화가 동시에 고려된다. 수입의 경우 선박 또는 선사, 컨테이너 규격별로 구분되며, 필요에 따라 화주별 구분도 고려된다. 물론 배정인자가 많을수록 장치공간의 이용효율이 저하되며 넓은 장치공간을 필요로 하게 된다.



[그림 2-3] 장치장 배정 계획

2.1.3 적·양하 계획

컨테이너 하역 계획 중 가장 중요시되는 것으로는 컨테이너 적·양하 계획이라 할 수 있다. 본선에 적재되어 있는 컨테이너에 대해 양하작업순서와 장치장에 야적되어 있는 컨테이너에 대해 본선의 적재 위치와 적하작업순서를 동시에 결정하는 것이다. 적·양하 계획에 따라 순차적으로 하역작업이 이루어지게 되나, 계획 수립시의 상황과는 달리 실제 선박 작업여건이 수시로 변화되기 때문에 계획된 작업순서를 수정할 필요가 있다. 또한 계획 수립시에는 본선의 안정도와 효율성이 함께 고려된다. 적·양하 계획 과정은 다시 다음과 같이 세 부분으로 나뉘어 계획이 수립된다.

(1) **크레인 배정 계획**(gantry crane allocation planning)

(2) **양하 계획**(unloading planning)

(3) **적하 계획**(loading planning)

크레인 배정 계획은 양하 작업량과 적하 작업량을 동시에 고려하여 배정하는 것이 보통이며, 적하 계획은 양하 계획이 수립된 후에 선박의 빈 공간을 대상으로 결정하는 것이 일반적이다.

2.2 선박 하역 계획

2.2.1 크레인 배정 계획

일반적으로, 컨테이너 선박의 적·양하 계획을 수립하기 위해서는 우선적으로 하역작업을 담당할 투입장비(G/C, T/C, Yard Tractor)의 배정이 이루어지게 된다. 본선 하역의 주된 작업은 겐트리 크레인이 담당한다. 하역작업에 투입 가능한 장비의 수와 작업시각이 본선 접안 전에 정해지고 선사로부터 본선에 적·양하될 컨테이너 정보가 입수되면, 효율적인 하역작업을 위한 크레인의 본선 배정 계획이 수립되게 된다. 크레인 작업은 선박의 선창(Hatch) 단위로 이루어지며, 가능하면 작업량을 크레인 별로 평준화하여 전체 하역작업시간을 최소화하도록 계획된다.

겐트리 크레인에 의한 하역작업과정을 보면, 선박의 Hatch 단위로 작업을 진행하면서, 현재의 Hatch에서 작업이 완료되면 이웃 Hatch로 옮겨가 작업을 한다. 따라서 각 크레인에 배정되는 작업은 연속된 Hatch의 묶음이 된다고 할 수 있다. 다만, 계획 수립시 Hatch간 물량 불균형이 심하여 작업 평준화가 되지 못할 경우에는 Hatch의 물량을 두 대의 크레인이 나누어 작업 할 수 있도록 하는 방법을 사용한다. 기본적으로, 크레인 배정 계획 시 다음의 사항이 고려된다.

- 크레인별 작업량 균등화(양하량+적하량)
- 선박의 Hatch 단위로 작업배정
- 크레인간의 최소 작업 간격 유지
- 크레인간에 작업 교차 및 간섭 방지
- 선미에서 선수 방향으로 작업(양하시), 선수에서 선미 방향으로 작업(적하시)

2.2.2 양하 계획

양하 계획은 본선에 적재되어 있는 컨테이너들에 대해 양하 순서를 결정하는 것으로 주로 수입컨테이너와 환적 화물이 대상이 된다. 계획 수립 시에는 선사에서 터미널에 제출한 적부도(Stowage Plan)가 필요하며, 크레인의 작업계획서인 Working Schedule도 동시에 생성된다. 양하 계획 시 다음 사항이 고려된다.

- 기본적인 양하 작업 방향
- 컨테이너 속성별 일괄작업
- 선박종류별 작업방법(hatch cover, cell guide)
- 이선적 컨테이너(shifting container) 처리

양하 계획이 수립되면 본선하역작업에 투입된 크레인별로 양하순서표(Discharging Sequence List)가 작성된다.

2.2.3 적하 계획

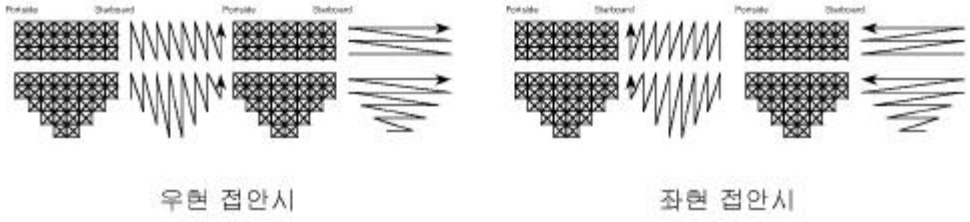
양하 계획이 본선에 적재되어 있는 개별 컨테이너에 대해 양하 순서만을 결정하는데 비하여 적하 계획은 적하 순서와 본선의 적하 위치를 동시에 결정하는 것이다. 따라서 양하 계획에 비하여 계획 작성이 어려울 뿐만 아니라, 고려해야할 사항이 많기 때문에 상당한 시간이 요구된다. 적하 계획 수립시에는 선사에서 준비한 사전 적부계획서(General Stowage Plan)와 선적 컨테이너 목록(Loading Container No List)이 터미널에 제시되고, 터미널에서는 해당 선박의 사전 적부계획서와 장치 현황도를 이용하여 본선적부도(Bay Plan)와 적하작업순서표(Loading Sequence List)를 작성한다. 적하 계획 수립시에는 다음과 같은 규칙에 의하여 적하 작업 순서를 결정한다.

(1) 기본적인 적하 작업 순서 규칙

: 선창별 적하 순서를 결정할 때는 선박의 접안 상태 및 선창내 컨테이너의 적재

상태를 감안하여 다음의 방식이 사용된다.

- 좌현(Portside)→우현(Starboard)
- 우현(Starboard)→좌현(Portside)
- 중앙→바깥쪽
- 바깥쪽→중앙
- Vertical order
- Horizontal order
- 적하는 기본적으로 양하의 역순으로 진행
- 장치장내의 작업에서 트랜스퍼 크레인은 vertical order로 함



[그림 2-4] 적하 작업 순서 규칙

(2) 컨테이너 유형별 작업 처리 규칙

- 20′, 40′, 45′ 컨테이너 일괄 작업
- over-dimension, break-bulk, reefer, flat-rack 컨테이너 일괄작업
- under deck, on deck, under water line 컨테이너 일괄작업
- Empty 컨테이너 일괄작업

(3) 추가적인 고려 사항

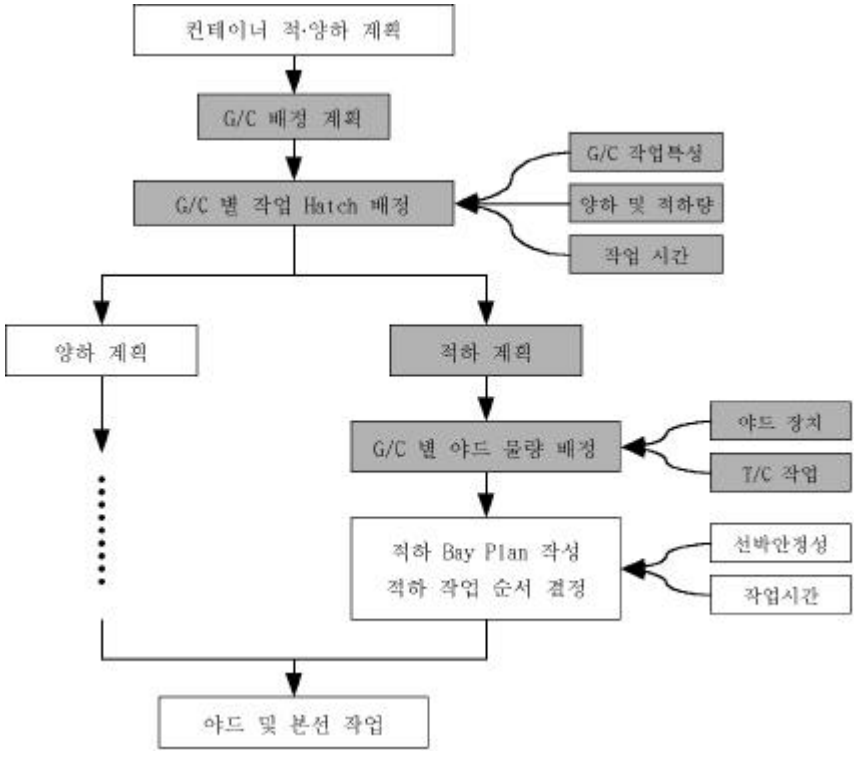
- 선박 안정성 유지를 위해 중량 화물 하단적재
- 야드 장비의 동선 최소화
- 야드 장비의 간섭고려

상위의 적하 작업 규칙을 토대로 적하 작업이 수립되면 본선에 투입된 크레인 별로

적하순서표(Loading Sequence List)가 작성된다.

2.3 연구의 범위

이상의 내용에서 컨테이너 터미널의 운영업무를 컨테이너 선적과 관련한 하역계획에 중점을 두어 살펴보았다. 터미널의 하역계획은 크게 선석 배정 계획, 장치장 배정 계획, 적·양하 계획의 세 부분으로 나눌 수 있다.



[그림 2-5] 컨테이너 터미널 적·양하 계획

세부적인 업무 내용에 있어서는 선석 배정 계획은 효율적인 터미널 선석 운영을 위한 장기적인 전략적 계획으로 적절한 접안 선석 배정과 터미널 운영에 필요한 각종

코드(code)를 제정하는 계획이며, 장치장 배정 계획은 터미널 장치 공간의 효율적 이용과 하역 작업의 신속성을 도모하기 위한 최소 토지 이용 방법을 수립하는 것이라 할 수 있다. 적·양하 계획은 다시 크레인 배정 계획, 양하 계획, 적하 계획으로 세분화되며, 크레인 배정계획은 본선에 투입될 크레인에 대하여 양하 물량과 적하 물량을 동시에 고려하여 본선 하역 작업시간을 최소화하되, 크레인간의 간섭을 방지하면서 각 크레인의 작업 Hatch를 결정하는 것이다. 양하 계획은 본선에 적재되어 있는 컨테이너에 대하여 일반적인 양하 순서 규칙에 따라 개별 컨테이너의 양하 순서를 결정하는 것이다. 적하 계획에 있어서는 크레인별 작업 Hatch의 적하 물량에 대하여 장치장내에 적재되어 있는 컨테이너를 크레인별로 배정하는 단계와 배정된 장치장내의 컨테이너에 대하여 세부적인 적하 순서를 결정하는 두 단계로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 컨테이너 적·양하 계획에 있어서 크레인별로 작업 Hatch를 배정하는 크레인 배정 계획 단계와 장치장내의 컨테이너를 크레인별로 배정하는 크레인별 야드 물량 배정 계획 단계의 두 작업 계획 단계를 다루고 있다. 계획 수립 시에 크레인 배정 계획에서는 본선 하역 작업을 담당하는 겐트리 크레인의 작업 특성을 고려하고, 크레인별 야드 물량 배정 계획에 있어서는 야드 하역 작업을 담당하는 트랜스퍼 크레인의 작업 특성과 개별 컨테이너의 장치 상태를 고려하도록 한다. 터미널 운영계획에서 적·양하 계획은 다른 운영계획에 비하여 비중이 높고, 고려할 요소가 많아 상당한 시간이 요구된다고 할 수 있으며, 또한 적하 계획은 양하 계획에 비하여 야드 물량 장치상황과 본선의 적재 위치를 동시에 고려하여야 하기 때문에 야드를 고려하지 않고 적하 순서를 결정하면 야드 작업을 담당하는 트랜스퍼 크레인의 작업에서 상당한 작업준비 시간이 발생하게 된다. 따라서, 효율적인 겐트리 크레인별 야드 물량 배정에 있어서는 야드 하역 장비인 트랜스퍼 크레인의 작업 특성을 우선적으로 반영하도록 계획을 수립한다.

제 3 장 시스템 설계

3.1 선행 과제

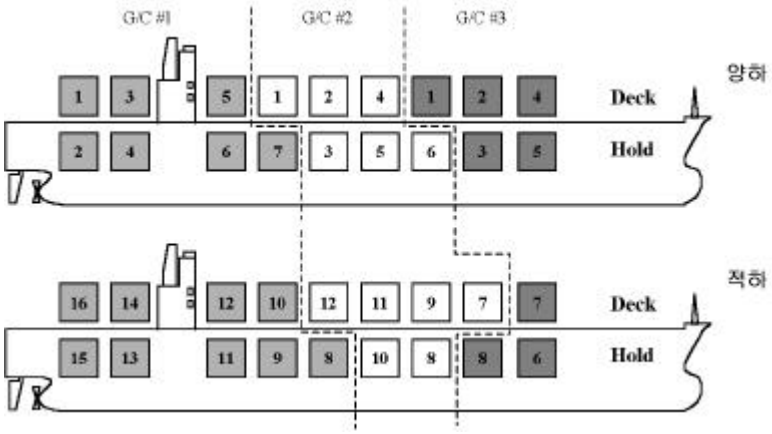
3.1.1 크레인(G/C) 배정 계획

일반적으로, 선박의 적·양하 계획을 수립하기 위해서는 컨테이너를 선박으로부터 적·양하 하는 겐트리 크레인의 작업 계획이 선행되어야만 한다. 하역작업에 투입되는 크레인 장비의 대 수와 투입 시각이 미리 정해지고 선사로부터 선박에 대한 적·양하 컨테이너 정보가 입수되면, 효율적인 하역 작업을 위한 크레인의 본선 배정 계획이 수립되게 된다. 일반적으로 크레인 작업은 선박의 선창(Hatch) 단위로 이루어지게 되며, 가능하면 작업량을 투입된 크레인별로 평준화하여 전체 하역 작업시간을 최소화하도록 계획된다. 이 문제가 일반적인 생산관리의 작업평준화(Line Balancing) 문제와 크게 다른 점은 크레인간에 작업 교차가 허용되지 않으며 최소 작업 간격을 유지해야 한다는 점이다. 겐트리 크레인에 의한 하역은 기본적으로 선박의 Hatch 단위로 작업이 진행되며, 현재의 Hatch에서 작업이 완료되면 이웃 Hatch로 옮겨가 작업을 하는 것이 일반적이다. 따라서 각 크레인에 배정되는 작업은 연속된 Hatch의 묶음이 된다고 할 수 있으며, 그러므로 계획에 수립되는 작업 할당도 연속된 Hatch로 작업을 할당하되, 다만 Hatch 단위로는 물량분배를 균등하게 하지 못할 경우에 특정 Hatch를 두 대의 크레인이 Deck와 Hold로 나누어 작업할 수 있도록 한다. 그리고 크레인의 작업 도중에 이웃한 크레인간의 간격이 지나치게 가까울 경우에는 크레인간의 간섭이 발생하여 작업이 원활하게 이루어지지 못하게 된다. 따라서 이를 방지하기 위해서는 이웃한 크레인간의 최소 작업 간격을 유지할 수 있도록 크레인 배정 계획을 수립하여 작업의 지연을 최소화해야 한다.

크레인 배정 계획이 수립되면 크레인별로 본선의 작업 지점과 작업 순서가 결정된다. 각 작업 지점에 표시된 순서대로 크레인별 작업이 이루어지며 양하 작업이 적하

작업에 선행된다. 본선 작업시 양하 작업은 선미에서 선수 방향으로 이루어지며, 적하 작업은 선수에서 선미 방향으로 이웃 Hatch를 옮겨가며 작업을 하게 된다.

일반적인 크레인 배정 계획의 결과를 그림으로 도식화하면 [그림 3-1]과 같다.



[그림 3-1] 겐트리 크레인별 작업 Hatch 배정

상위의 그림에서 보는 바와 같이 크레인 배정 계획이 이루어지면 각각의 크레인은 할당받은 작업지점에 대하여 순서대로 작업을 진행하게 된다. 물론, 할당받은 작업량에 따라 크레인별로 작업 완료 시각은 상이하다고 할 수 있으며 본선의 적·양하 작업이 최종적으로 완료되기 위해서는 모든 크레인의 작업이 완료되어야 하므로 가장 마지막으로 작업이 완료되는 크레인의 작업완료시간을 최소화하여야 한다. 이의 방법으로써는 가급적 크레인별로 작업 물량을 시간적으로 평준화하여 크레인별로 작업 완료 시각의 차이를 되도록 줄이도록 하는 것이 본선 하역작업시간을 단축시키는 방법이라 할 수 있겠다. 따라서 본 연구에서도 겐트리 크레인의 일반적인 작업 제약조건을 만족하면서 크레인별로 작업물량을 평준화시킬 수 있는 수리적인 모형을 수립하도록 한다.

3.1.2 모형화

상위의 내용에 부합하는 겐트리 크레인 배정 계획에서 하역 작업시 본선의 적·양하 작업시간을 단축시킬 수 있도록 하는 계량적 모형을 수립할 수 있다. 모형에서 고려한 가정 및 제약조건은 다음과 같다.

- 크레인의 작업은 기본적으로 Hatch 단위로 이루어진다.
- 하나의 Hatch작업에 대하여 Deck와 Hold의 물량을 각각 상이한 두 대의 크레인이 나누어 작업할 수 있다.
- 크레인 작업은 적·양하 작업을 모두 고려하며, 각 크레인 별로 양하 작업이 적하 작업에 선행된다.
- 양하 작업시에는 Deck의 작업이 Hold의 작업에 선행되며, 적하 작업 시에는 Hold의 작업이 Deck의 작업에 선행된다.
- 한 대의 크레인이 담당하는 Hatch는 연속되어 있어야 하며, 크레인간에 작업이 교차되지 않도록 한다.
- 크레인의 본선 작업 투입 시각은 상이할 수 있으며, 종료시간에 관한 제약은 없는 것으로 가정한다.
- 크레인간의 간섭을 고려하여 크레인간에는 최소 작업 거리를 유지한다.
- 크레인의 성능은 동일한 것으로 간주한다.
- 양하는 선미에서 선수방향으로, 적하는 선수에서 선미방향으로 한다.

본 모형에서 사용하는 모수와 변수들은 다음과 같이 정의한다.

n = 작업 대상 지점의 수

m = 작업 크레인의 대수

a_i = i 작업 지점의 작업 요구 시간

D = 간섭이 발생하는 작업지점 (i,j)의 집합

x_i^k = $\begin{cases} 1 : i \text{ 지점을 } k \text{ 크레인에 할당할 경우} \\ 0 : otherwise \end{cases}$

t_i = i 작업 지점에서 작업이 시작되는 시각

T = 총 작업 완료 시각

상위의 작업 대상 지점 n은 본선에서 적·양하 작업을 요하는 Deck와 Hold 수의 합이며, 처음으로 작업이 시작되는 작업지점의 시각을 0으로, 마지막 작업이 완료되는 작업지점의 시각을 T 로 설정하였다. 따라서 T 는 본선의 총 작업 완료 시각이 된다. 상위의 내용을 토대로 혼합정수계획모형을 수립하면 다음과 같다.

$$Minimize \quad T \tag{1}$$

$Subject\ To$

$$x_{i+2}^1 \le x_i^1 , \quad i = 1,2,\ldots,n-2 \tag{2}$$

$$x_{i+2}^k \le x_i^{k-1} + x_i^k , \quad i = 1,2,\ldots,n-2, \quad k = 2,3,\ldots,m \tag{3}$$

$$x_{i+2}^m \le x_i^m , \quad i = n+1, n+2, \ldots 2n-2 \tag{4}$$

$$x_{i+2}^k \le x_i^{k+1} + x_i^k , \quad i = n+1, n+2, \ldots, 2n-2, \quad k = 1,2,\ldots,m-1 \tag{5}$$

$$\sum_k x_i^k = 1 , \quad i = 1,2,\ldots,2n \tag{6}$$

$$t_i + a_i \le T , \quad i = 1,2,\ldots 2n \tag{7}$$

$$t_i + a_i \le t_{i+1} , \quad i = 1,3,\ldots,2n-1 \tag{8}$$

$$x_i^k = 1 \text{ and } x_j^k = 1 \rightarrow t_i + a_i \le t_j , \quad i = 1,\ldots,2n-1, \quad j = i+1,\ldots,2n, \quad \forall k \tag{9}$$

$$x_i^k = 1 \text{ and } x_j^k = 1 \rightarrow t_j + a_j \le t_i \text{ or } t_i + a_i \le t_j , \quad \forall (i,j) \in D, \quad \forall k \ne k \tag{10}$$

$$t_i + a_i \le t_{2n-i+1} , \quad i = 1,2,\ldots,n \tag{11}$$

$$t_i \ge 0 , \quad i = 1,2,\ldots,2n \tag{12}$$

$$x_i^k \in \{0,1\} , \quad i = 1,2,\ldots,2n, \quad k = 1,2,\ldots,m \tag{13}$$

본 모형의 제약식 (2)와 (3)은 양하 작업시에 크레인의 위치를 고려하여 작업 지점을 Deck→Hold의 순으로 할당하는 제약이며, 적하 작업 시에도 동일하게 Hold→Deck의 순으로 할당하는 제약식 (4)와 (5)을 두었다. 제약식 (6)은 본선의 모든 작업 지점이 양하·적하시에 한 대의 크레인에만 배정 되도록 하는 것이다. 제약식 (7)은 본선적·양하 작업에 소요되는 시간에 대한 제약으로 목적함수를 최소화하도록 하는 것이다. 제약식 (8)은 동일한 Hatch상에서 양하시 Deck→Hold 순으로 작업이 진행되고, 적하시 Hold→Deck 순으로 작업이 되도록 하는 것이다. 제약식 (9)는 크레인의 작업 방향에 대한 제약으로 양하시 선미에서 선수 방향으로, 적하시 선수에서 선미 방향으로 작업이 진행되도록 하는 것이다. 제약식 (10)은 크레인간의 간섭을 방지하는 것이며, 제약식 (11)은 동일한 작업 지점에 대하여 양하 작업이 이루어진 후에 적하 작업이 가능하도록 하는 것이다. 제약식 (12)는 작업시각의 제약이며, 제약식 (13)은 결정변수의 정수 제약에 해당한다.

본 모형은 약간의 변형에 의해 쉽게 일반화 할 수 있다. 작업의 순서가 양하의 경우 항상 선미에서 선수 방향으로, 그리고 적하의 경우 선수에서 선미 방향으로 이루어지는 것이 아니라면 제약식 (9)를 제약식 (10)과 같은 OR 제약식의 형태로 변경하면 된다. 또, 작업 순서가 한 방향으로만 이루어지는 것이 아니라면 Hatch 간의 이동에 따른 시간이 고려되어야 하는데, 이는 각 Hatch의 작업시간 a_i 에 이동시간 m_{ij} 를 더하여 $a_i + m_{ij}$ 로 하면 된다. 각 크레인별로 작업 능력이 다를 경우에는 t_i , a_i , m_{ij} 를 t_i^k , a_i^k , m_{ij}^k 로 변경하여 모형에 적용하면 된다.

상위에 제시한 크레인 배정계획 수립을 위한 혼합정수계획 모형은 실제 업무에 적용할 경우에 변수의 수가 많아 해를 구하는데 상당한 시간이 소요된다고 할 수 있다. 이러한 이유로 다음과 같은 탐색적 해법이 유용하게 사용될 수 있다. 해법의 전반적인 과정들을 Pseudo Code로 표현하면, 다음과 같다.

Pseudo Code.

```
Line 1 :        { Calculate bound b[0], b[1] }
Line 2 :           for i := 0 to 1 do
```

```
Line 3 :        begin
Line 4 :           { Initialize k and s }
Line 5 :           for j := 1 to n do
Line 6 :           begin
Line 7 :              s := s + a[i, j];
Line 8 :              if { s exceed the bound b[j] } then
Line 9 :                { Assign s to crane k }
Line 10 :                s := 0;
Line 11 :             else
Line 12 :               { Assign s - a[i, j] to crane k }
Line 13 :                a := a[i, j];
Line 14 :             end if
Line 15 :          end;
Line 16 :       end;
Line 17 :       while { exist exchangeable job } do
Line 18 :       begin
Line 19 :          T1 := T;
Line 20 :          repeat
Line 21 :             { select exchangeable job i }
Line 22 :             { exchange selected job i }
Line 23 :             { calculate ending time T2 }
Line 24 :             if T2 〈 T1 then
Line 25 :                T1 := T2;
Line 26 :                j := i;
Line 27 :             end if
Line 28 :          until { All exchangeable job checked };
Line 29 :          if T1 〈 T then
Line 30 :             { exchange job j }
Line 31 :             T := T1;
Line 32 :          end if
Line 33 :       end;
```

제시된 해법은 크게 두 단계로 구성되어 있다. 첫 번째 단계에서는 투입한 크레인별로 적·양하 작업이 되도록 균등하게 이루어지도록 적·양하 물량에 대한 한계치를 계산(Line 1)하여 Deck와 Hold의 단위로 초기해를 구한다(Line 2 16). 두 번째 단계에서는 제약조건을 만족하는 범위 내에서 인접한 두 크레인 간에 작업을 교환하여 해를 개선하도록 하였다(Line 17 33). 본 모형에 관해서는 이전에 연구된 바가 있다(신

재영 · 이광인 · 하태영, 1998).

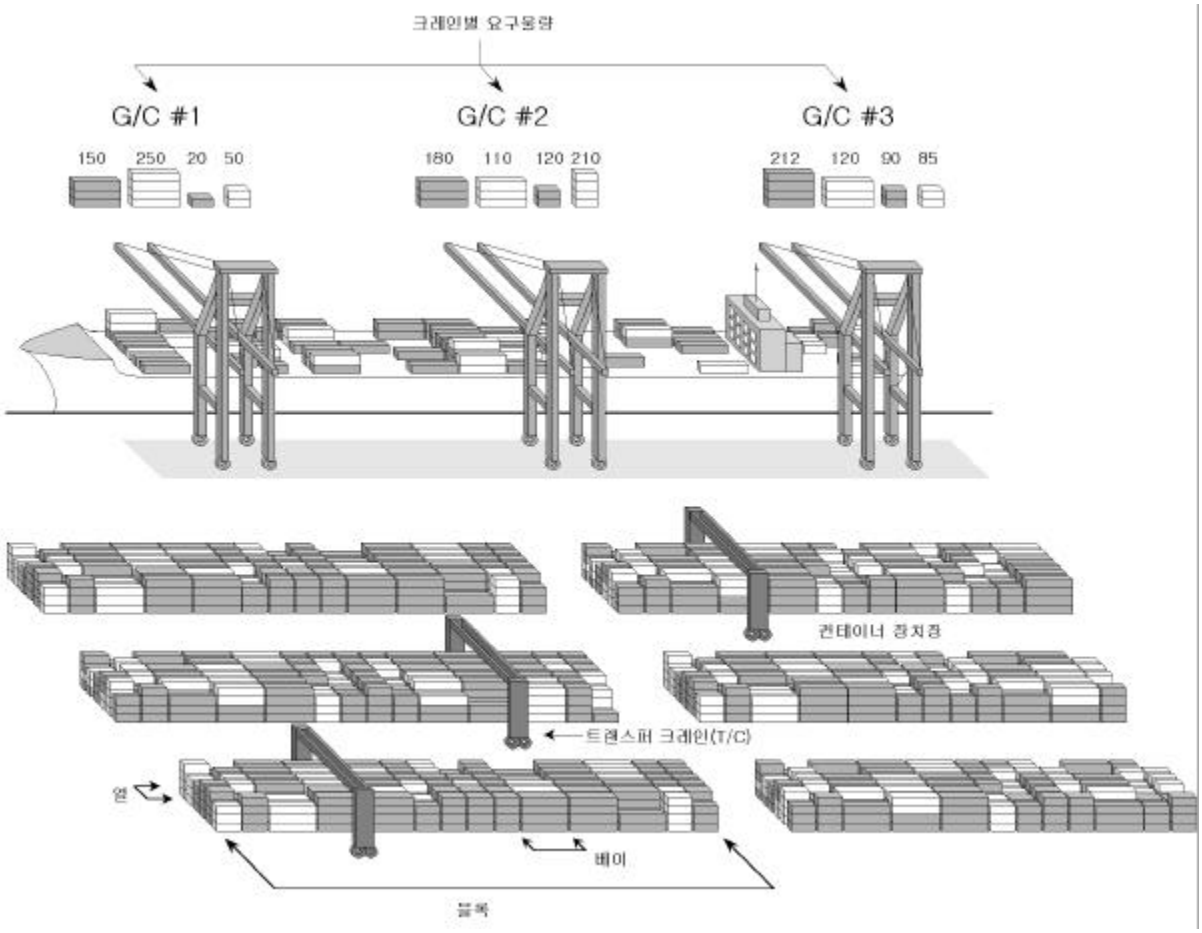
상위의 크레인 배정 계획 모형에 의해 크레인별로 작업 Hatch가 결정되며, 작업 Hatch에 해당하는 작업량이 산출된다. 그 다음 과정은 각 크레인 별로 산출된 작업 물량에 해당하는 야드 상의 컨테이너를 크레인별로 배정하는 크레인별 야드 물량 배정단계이다. 컨테이너 적 · 양하 계획에서 본선 작업 Hatch 결정에 있어서는 겐트리 크레인의 효율성을 감안하였으나, 야드 물량 배정 단계에 있어서는 야드 하역 장비인 트랜스퍼 크레인(T/C) 장비의 효율성이 중심이 된다.

3.2 크레인별 야드 물량 배정

겐트리 크레인별 야드 물량 배정에서는 적하 작업 방식과 이를 담당하는 장비들간의 작업 특성을 파악할 필요가 있다. 특히 적하 작업은 양하 작업에 비해 야드의 컨테이너 장치 상황을 고려해야 할 필요가 있다. 컨테이너 적하 작업시 각 장비별 작업 형태를 살펴보면 다음과 같다.

3.2.1 겐트리 크레인(G/C)별 작업 물량

각 크레인은 크레인 배정 계획시 결정된 작업 Hatch에 해당하는 선적 물량을 야드 하역 장비인 트랜스퍼 크레인과 야드 트렉터(Yard Tractor, Y/T)의 지원을 받아 해당 선박내의 셀(Cell)에 적재하게 된다. 적하 컨테이너는 터미널내의 선석 인접 지역에 배정된 수출 컨테이너 장치장에 적재되어 있으며, 적하 계획시점에는 모든 선적 컨테이너가 터미널내의 장치장에 반입되어 있어야 한다. 수출 컨테이너 장치장에는 [그림 3-2]와 같이 터미널 장치장 배정 계획에 의해 컨테이너 속성(선박, 양하항, 규격, 중량 등)에 따라 장치장의 여러 블록과 베이에 나누어져 장치되어 있는 것이 일반적이다.



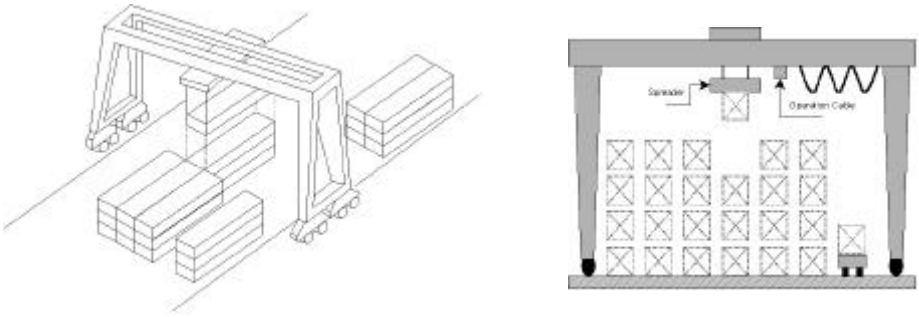
[그림 3-2] 컨테이너 터미널 수출 장치장

이것은 각 크레인별로 배정 가능한 야드 물량이 수출 장치장의 여러 블록과 베이, 열에 분산 장치되어 있음을 의미한다. 따라서 야드 상의 각 컨테이너를 어느 크레인에 배정할 것인가라는 문제가 발생한다. 이러한 문제는 각 크레인별로 동일한 속성의 요구 물량수가 많을수록 다양한 배정 방식이 가능하기 때문에 문제가 복잡해짐을 알 수 있다. 예를 들어 장치위치(1, 2, 3, 4)가 서로 다른 동일 속성의 컨테이너(A, B, C)가 각각 4개씩 있을 경우를 생각해 보면, 두 대의 크레인별로 A속성 컨테이너 2개와 B속성 컨테이너 2개씩을 배정하는 경우에, ${}_4C_2 \times {}_4C_2 = 36$가지의 배정 방식이 가능하며, 추가로 C속성 컨테이너 2개씩을 더 배정하는 경우에는 ${}_4C_2 \times {}_4C_2 \times {}_4C_2 = 216$

가지가 되어 물량수와 속성수의 증가에 비해 배정 방식은 대폭적으로 증가하는 현상이 나타난다. 물론, 각 배정 방식에 따라 야드 크레인의 작업형태에 많은 차이(간섭문제, 이동거리, 재조작)가 발생하게 된다. 따라서 겐트리 크레인별 야드 물량 배정은 야드 크레인의 작업에서 고려되어야 할 필요가 있다고 하겠다.

3.2.2 야드 크레인(T/C)의 작업

컨테이너 선적을 위한 본선 작업 시에는 겐트리 크레인과 트랜스퍼 크레인, 야드 트렉터가 한 조를 이루어 작업을 하게된다. 일반적으로, G/C 1대 당 T/C 2-3대, Y/T 5대 정도가 한 조를 이루어 작업을 하는 것이 보통이다. 이러한 작업 방식에 의해 각 T/C는 해당 G/C의 물량만을 지원하게 되고 G/C에 물량을 공급하기 위해 수출 장치장의 여러 블록과 베이를 이동하면서 작업을 하게된다. 물론 G/C별로 야드 물량 배정 방법에 따라 T/C의 작업 형태도 달라지게 된다. 일반적인 T/C의 작업형태는 [그림 3-3]과 같다.



[그림 3-3] 트랜스퍼 크레인(T/C)의 작업 형태

따라서 G/C별 야드 물량 배정시에 야드 작업을 수행하는 T/C의 이동거리를 최소화시키고, 작업이 용이하도록 가급적 G/C의 물량을 블록단위나 베이단위, 열단위로 묶어 배정하여 주는 것이 바람직하다고 할 수 있다. T/C 작업에서도 장비간의 최소작업거리가 요구되어, 서로 인접한 베이 상에서 안전상 두 대의 T/C가 동시에 작업을 할

수 없는 것이 일반적이다.

3.2.3 야드 트렉터(Y/T)의 작업

야드 트랙터(Y/T)는 G/C와 T/C 작업의 중간 연결 작업을 수행한다. 야드 상에서 T/C에 의해 상차된 컨테이너를 G/C 작업이 이루어지는 안벽 부근의 특정 위치로 운반하는 작업을 반복 수행한다. 터미널에 따라 차이는 있으나 야드 트랙터의 주행 경로는 장치장 설계시에 미리 정해져 있는 것이 일반적이기 때문에 하역 작업에 관계한 Y/T 장비간의 간섭문제는 발생하지 않는다고 볼 수 있다.

3.3 야드 물량 배정 원칙

앞에서 살펴본 바와 같이 G/C에 대한 야드 물량 배정은 T/C 장비의 특성을 감안하여 배정할 필요가 있음을 알 수 있다. 특히 T/C의 작업이 물량 배정 방식에 따라 많은 영향을 받기 때문에 T/C의 작업 용이성에 부합하도록 야드 물량을 배정하는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 T/C 장비를 중심으로 야드 물량 배정의 원칙을 블록단위배정, 베이단위배정, 열단위배정을 기준으로 물량을 배정하되 T/C 장비의 블록간 이동을 고려하도록 한다.

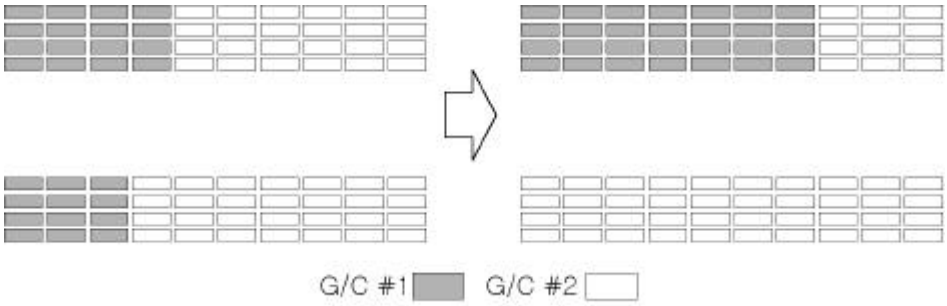
3.3.1 블록(Block) 배정

G/C의 작업 요구 물량에 따라 야드의 T/C 장비는 한 블록내의 베이 간을 이동하면서 작업을 하며, 필요한 경우에 다른 블록으로 이동하여 작업을 하게 된다. 그러나 T/C의 블록간 이동은 베이간 이동에 비해 상당한 시간이 소요된다고 할 수 있다. 따라서, 가능하면 T/C의 블록간 이동은 피하는 것이 작업상 효율적이라 할 수 있다. 즉,

[그림 3-4]와 같이 야드 물량을 가급적 동일한 블록 내에 배정하도록 한다.

[표 3-1] T/C 장비의 작업소요시간

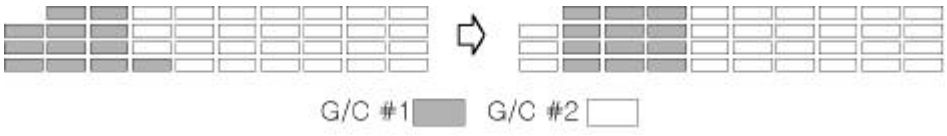
	T/C 주행속도	CNTR 처리(1개)	베이 이동(1bay)	블록간 이동
소요시간	10km/h	30 sec	2.34 sec	175.32 sec



[그림 3-4] 작업 물량의 블록 배정

3.3.2 베이(Bay) 배정

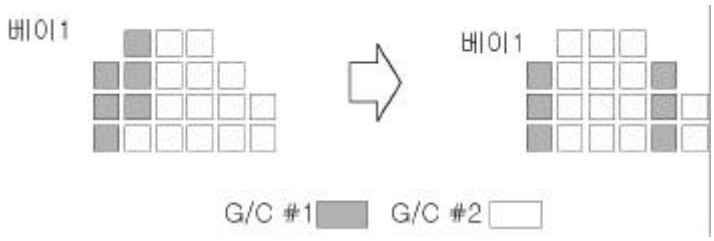
G/C별 작업 물량을 최대한 블록단위로 배정하고 나면, 다음으로 베이 단위로 배정을 고려한다. 베이 단위의 배정에서도 블록 단위 배정과 동일하게 하나의 베이 내에 다른 G/C의 물량이 섞이지 않도록 배정한다. 이것은 T/C가 한 베이 내에서 한 대 만이 작업이 가능하기 때문에 야드 물량을 베이 단위로 배정하는 것이 작업상 유리하기 때문이다. 즉, [그림 3-5]와 같이 배정하도록 한다.



[그림 3-5] 작업 물량의 베이간 배정

3.3.3 열(Row) 배정

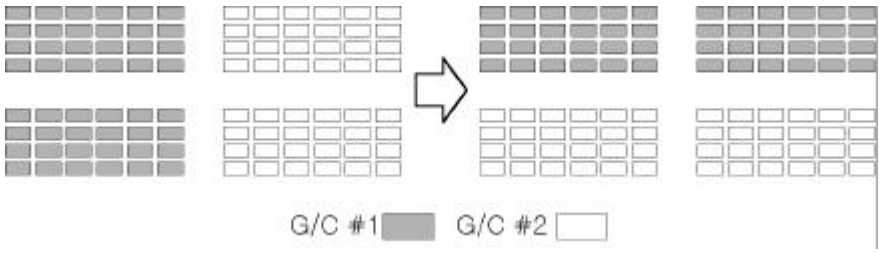
T/C의 열(Row) 이동은 장비의 직접적인 이동이 아니라 장비 상에 부착된 스프레더(Spreader)의 이동을 말한다. 이것은 작업시 동일 베이 내에서 발생하는 열의 이동은 각 열마다 모두 동일하다고 간주 할 수 있다. 따라서 물량 배정시 하나의 열내에 다른 G/C의 물량이 섞이지 않도록 하는 것이 재조작(Re-handling)을 최소화하는 작업 배정 방식이라 할 수 있다. 즉, [그림 3-6]와 같이 배정하도록 한다.



[그림 3-6] 작업 물량의 열간 배정

3.3.4 이동거리간 배정

T/C의 블록간 이동거리는 상당한 시간이 발생하지만 야드 장치상 어쩔 수 없이 블록을 이동해야할 경우(냉동 컨테이너, 공 컨테이너, 위험화물 등은 특정 블록에 야적함)가 발생하기 때문에 여러 블록에서 동일 G/C 물량배정이 이루어질 수 있다. 이러한 경우에 가급적 물량 배정이 이루어진 블록간의 거리가 가깝게 배정하는 것이 T/C 장비의 이동거리를 최소화하는 배정방식이라 할 수 있다. 블록간 이동에 있어서는 블록간의 상대적인 이동거리를 감안하여야 하는데, 일반적으로 수평선상의 블록간 이동이 수직선상의 블록간 이동에 비하여 유리하기 때문에 수평선상의 블록간 이동을 우선적으로 배정하도록 한다. 즉 [그림 3-7]과 같이 블록간 이동이 용이한 배정방식을 사용하도록 한다.



[그림 3-7] 작업 물량의 이동거리간 배정

3.4 야드 물량 배정 모형의 수립

3.4.1 전제조건

본 모형의 수립에 있어서는 야드 물량을 실제 담당하는 T/C의 작업용이성에 중점을 두어 배정하는 방법을 고려하도록 한다. 앞에서 살펴본 물량 배정 원칙을 기준으로 모형을 수립한다. 본 모형의 수립을 위한 가정 및 제약조건은 다음과 같다.

- 본선 적하 작업에 투입되는 G/C와 T/C, Y/T의 대수가 이미 결정되어 있고, 각 크레인별로 작업 Hatch와 작업 물량이 크레인 배정 계획에 의해 산출되어 있는 것으로 한다.
- 본선 하역 작업은 겐트리 크레인이, 장치장 하역 작업은 트랜스퍼 크레인이 담당하며, 야드 장치지점에서 본선 적하 지점까지의 운반은 야드 트렉터가 담당한다.
- 각 장비는 한 조를 이루어 작업하며, 한 조에 속한 장비는 해당 장비의 작업만 처리하는 것으로 한다.
- 야드 트렉터의 간섭에 관한 제약은 없는 것으로 한다.
- 작업의 대상이 되는 물량은 해당 선박의 물량만을 고려한다.
- 야드 작업 물량 배정은 T/C 작업이 용이하도록 블록단위, 베이단위, 열단위로 배정하되 블록간 거리가 인접하도록 배정한다.

- 배정 단위에 대해서는 각각 가중치를 두어 서로 구분하도록 한다.
- 야드 작업 물량 배정은 트랜스퍼 크레인별 작업 교차와 재조작을 최소화하도록 수립한다.

3.4.2 수리적 모형

본 모형에서 사용하는 모수를 정의하면 다음과 같다.

m : 대상 블록의 수

n : 대상 지점(개별 컨테이너)의 수

l : 대상 베이(bay)의 수

r : 대상 열(row)의 수

A : 작업 물량 속성의 수

G : 겐트리 크레인(G/C)의 대수

W_B : 블록에 대한 가중치

W_b : 베이에 대한 가중치

W_r : 열에 대한 가중치

W_t : 대상지점에 대한 가중치

W_d : 블록간 거리에 대한 가중치

d_{ij} : i 블록과 j 블록간의 거리, $(i, j = 1,2,\ldots,m)$

Sn_j : j 블록내에 존재하는 대상지점의 집합, $(j = 1,2,\ldots,m)$

Sb_j : j 베이내에 존재하는 대상지점의 집합, $(j = 1,2,\ldots l)$

Sr_j : j 열내에 존재하는 대상지점의 집합, $(j = 1,2,\ldots r)$

D_a : a 속성을 가지는 대상지점의 집합, $(a = 1,2,\ldots,A)$

G_a^k : G/C k 에서 요구되는 a 속성의 물량 $(a = 1,2,\ldots,A)$, $(k = 1,2,\ldots,G)$

본 모형에서 사용되는 변수는 다음과 같이 정의한다.

$$x_i^k = \begin{cases} 1 : \text{대상지점 } i \text{ 가 } G/C\ k \text{ 에 배정되는 경우} \\ 0 : otherwise \end{cases} \quad (i = 1,2,\ldots,n)$$

$$B_j^k = \begin{cases} 1 : \text{블록 } j \text{ 에서 } G/C\ k \text{ 에 배정되는 물량이 있는 경우} \\ 0 : otherwise \end{cases} \quad (j = 1,2,\ldots m)$$

$$H_j^k = \begin{cases} 1 : bay\ j \text{ 에서 } G/C\ k \text{ 에 배정되는 물량이 있는 경우} \\ 0 : otherwise \end{cases} \quad (j = 1,2,\ldots l)$$

$$I_j^k = \begin{cases} 1 : row\ j \text{ 에서 } G/C\ k \text{ 에 배정되는 물량이 있는 경우} \\ 0 : otherwise \end{cases} \quad (j = 1,2,\ldots r)$$

$$E_{ii+1}^k = \begin{cases} 1 : \text{대상 지점 } i \text{ 와 } i+1\text{의 배정 } G/C\text{가 동일하지 않을 경우} \\ 0 : otherwize \end{cases} \quad (i = 1,2,3,\ldots,n-1)$$

(단, $i \in Sn_j$, $i+1 \in Sn_j$)

$$F_{ij}^k = \begin{cases} 1 : \text{블록 } i \text{ 와 블록 } j \text{ 에 } G/C\ k\text{의 물량이 있을 경우} \\ 0 : otherwise \end{cases} \quad (i,j = 1,2,3,\ldots,m)$$

(단, $i \neq j$)

상위에 정의된 모수와 변수정의에 의하여 본 문제는 각 G/C별 작업배정물량이 수출 장치장내의 여러 지역으로 흩어지는 현상을 최대한 줄이도록 하는 최소화 모형으로 수립될 수 있다. 작업배정물량의 흩어짐 현상에 있어서는 작업물량의 블록간 흩어짐, 베이간 흩어짐, 열간 흩어짐, 개별 컨테이너간 흩어짐의 경우와 배정된 물량들의 블록간 거리를 고려하면 된다. 이와 같은 방법으로 G/C별 작업물량의 흩어짐 상태를 나타내는 함수는 다음과 같이 수리적으로 표현될 수 있다.

$$\sum_k^G \sum_j^m B_j^k + \sum_k^G \sum_j^l H_j^k + \sum_k^G \sum_j^r I_j^k + \sum_k^G \sum_i^{n-1} E_{ii+1}^k + \sum_k^G \sum_i^m \sum_j^m d_{ij} \cdot F_{ij}^k$$

그리고, 작업물량의 흩어짐 현상들간의 우선 순위를 부여하기 위해서 가중치를 각 변수의 계수로 도입하여,

$$W_B \cdot \sum_k^G \sum_j^m B_j^k + W_b \cdot \sum_k^G \sum_j^l H_j^k + W_r \cdot \sum_k^G \sum_j^r I_j^k + W_t \cdot \sum_k^G \sum_i^{n-1} E_{ii+1}^k + W_d \cdot \sum_k^G \sum_i^m \sum_j^m d_{ij} \cdot F_{ij}^k \quad (1)$$

와 같은 G/C별 작업배정물량의 흩어짐 현상에 대하여 우선 순위를 고려한 목적함수로 표현할 수 있다. 제약식에 있어서는 목적함수를 최소화 하도록

$$x_i^k - B_j^k \leq 0 \quad (2)$$

인 제약식을 설정하여 G/C의 작업 물량이 적은 수의 블록에 배정 되도록 할 수 있으며, 마찬가지로 베이와 열에 대해서도 동일하게

$$x_i^k - H_j^k \leq 0 \ , \ x_i^k - I_j^k \leq 0 \quad (3), (4)$$

를 두어 적은 수의 베이와 열에 G/C별 작업 물량이 배정되도록 할 수 있다.

개별 컨테이너에 대해서는 인접한 두 개의 컨테이너가 동일 G/C에 배정되도록 두 작업물량에 대해 작업 G/C를 비교하고, 마찬가지로 작업배정물량의 블록간 거리에 있어서도 두 블록에 대한 작업 G/C를 비교하는 제약식을 사용하면 된다.

$$x_i^k - x_{i+1}^k \leq E_{ii+1}^k \ , \ B_i^k + B_j^k - 1 \leq F_{ij}^k \quad (5), (6)$$

상위에 정의된 모수와 변수 및 제약 조건을 사용하여 크레인별 야드 물량배정 문제를 모형화 하면, 다음과 같은 최소화모형이 수립된다.

$$Minimize \quad W_B \cdot \sum_k^G \sum_j^m B_j^k + W_b \cdot \sum_k^G \sum_j^l H_j^k + W_r \cdot \sum_k^G \sum_j^r I_j^k + W_t \cdot \sum_k^G \sum_i^{n-1} E_{ii+1}^k + W_d \cdot \sum_k^G \sum_i^m \sum_j^m d_{ij} \cdot F_{ij}^k \quad (1)$$

Subject To

$$x_i^k - B_j^k \le 0 \ , \ \forall ij \ (i \in Sn_j) \ , \ \forall k \tag{2}$$

$$x_i^k - H_j^k \le 0 \ , \ \forall ij \ (i \in Sb_j) \ , \ \forall k \tag{3}$$

$$x_i^k - I_j^k \le 0 \ , \ \forall ij \ (i \in Sr_j) \ , \ \forall k \tag{4}$$

$$x_i^k - x_{i+1}^k \le E_{ii+1}^k \ , \quad i = 1,2,\ldots,n-1 \ , \ \forall k, \ (i \in Sn_j, \ i+1 \in Sn_j) \tag{5}$$

$$B_i^k + B_j^k - 1 \le F_{ij}^k \ , \ \forall k \ , \ \forall ij \ (i \ne j) \tag{6}$$

$$\sum_{k}^{G} x_i^k = 1 \ , \ \forall i, \ (k = 1,2,\ldots,G) \tag{7}$$

$$\sum_{i \in D_a}^{n} x_i^k = G_a^k \ , \quad \forall a, \ \forall k \tag{8}$$

$$x_i^k = \{0, 1\} \quad , \quad \forall i, \ \forall k \tag{9}$$

$$B_j^k \ , \ H_j^k \ , \ I_j^k = \{0, 1\} \quad , \quad \forall j, \ \forall k \tag{10}$$

$$E_{ii+1}^k = \{0, 1\} \quad , \quad \forall i \ (i \in Sn_j \ , \ i+1 \in Sn_j, \ \forall j) \tag{11}$$

$$F_{ij}^k = \{0, 1\} \quad , \quad \forall k, \ \forall (i,j), \ i \ne j \tag{12}$$

상위의 모형에서 제약식 (7)**은 한 개의 컨테이너가 하나의** G/C**에만 배정되도록 하는 것이며, 제약식** (8)**은** G/C**별 작업요구물량의 속성별 제약이다. 그리고 제약식** (9), (10), (11), (12)**는 변수들의 정수 제약이다. 상위의 정수계획모형**(Integer Programming , IP)**에 의하여 크레인별 야드 물량 배정의 최적해를 도출 할 수 있다. 모형의 검증과 도출된 결과는** 4**장에서 다룬다.**

3.4.3 탐색적 해법 연구

본 연구에서 수립한 크레인별 야드 물량 배정 정수계획모형의 적용은 대상 컨테이너 수가 매우 적을 때 유효한 해를 구할 수 있게 된다. 그러나, 일반적으로 컨테이너

선박당 적재 컨테이너 수가 수백 수천 개가 되기 때문에 실제 업무에 적용할 경우 상당한 시간이 소요되거나 해를 구할 수 없는 경우가 대부분이라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 의미 있는 시간 내에 효율적인 해를 도출할 수 있는 탐색적 해법을 제시하고자 한다. 해법에 있어서는 모형의 특징을 잘 반영할 수 있도록 블록 할당, 베이 할당, 열 할당을 기본적으로 수행하여 최적해를 도출하는 방법을 사용하였다. 해법의 전반적인 과정을 살펴보면 다음과 같다.

k : 투입 크레인 장비 ($k = 1, 2, \ldots m$)

TS : 총 작업 물량

QB_j : j 블록(block)의 물량

Qb_j : j 베이(bay) 의 물량

Qr_j : j 열(row)의 물량

S_B : 현 단계의 미 배정된 블록의 집합

S_b : 현 단계의 미 배정된 베이의 집합

S_r : 현 단계의 미 배정된 열의 집합

G_k : 현 단계의 미 배정된 k 크레인의 요구물량

U_i : 크레인 투입순서 집합

Phase 1. Set Sequence

Step 1 : $k!$개수만큼의 G/C작업배정순서쌍 U_i을 설정하고, 각 G/C를 k 로 함.
$i = 1$, $k = 1$ 으로 초기화함.

Step 2 : if $i > k!$ then $Min\{U_i^*\}$를 목적함수의 최적해 O^*로 선택함.
else Phase 2로 감.

Phase 2. Block Allocation

Step 1 : U_i 내의 G/C k에 대해 S_B 중 G_k 를 만족하는 j 블록들을 구함.

Step 2 : if $j = \emptyset$ then Phase 3**로 감**.

else $Max\{Q_{Bj}\}$ **를** k**크레인에 배정**.

Step 3 : if $G_k = \emptyset$ then $k = k + 1$, Phase 1**로 감**.

else Step 1**로 감**.

Phase 3. Bay Allocation

Step 1 : G_k **를 만족하고, 블록의 수→물량의 합→블록간 거리가 최소가 되는** j **블록들을** R **로 설정함**

Step 2 : $S_b \in R$ and $Q_{bj} \in G_k$ **를 만족하는** j **베이를 구함**.

Step 3 : if $j = \emptyset$ then Phase 4**으로 감**.

else $Max\{Q_{bj}\}$**순으로** k **크레인에 배정**.

Step 4 : if $G_k = \emptyset$ then $k = k + 1$, Phase 2**로 감**.

else Step 1**로 감**.

Phase 4. Row Allocation

Step 1 : G_k**를 만족하고, 베이의 수, 물량의 합, 베이간 거리가 최소가 되는** j **베이들을** R**로 설정함**.

Step 2 : $S_r \in R$ and $Q_{rj} \in G_k$ **를 만족하는** j **열들을 구함**.

Step 3 : if $j = \emptyset$ then $c \in R$ **를 만족하는** c **물량을 순차적으로** k **에 배정**.

else $Max\{Q_{rj}\}$**순으로** k **크레인에 배정**. Step 3**로 감**

Step 4 : if $k = m$ then

현재의 U_i**에 의한 물량배정의 목적함수를 계산하여** U_i^***로 설정함**.

$i = i + 1$, $k = 1$, Phase 1**의** Step2**로 감**

else $k = k + 1$, Phase 2**로**

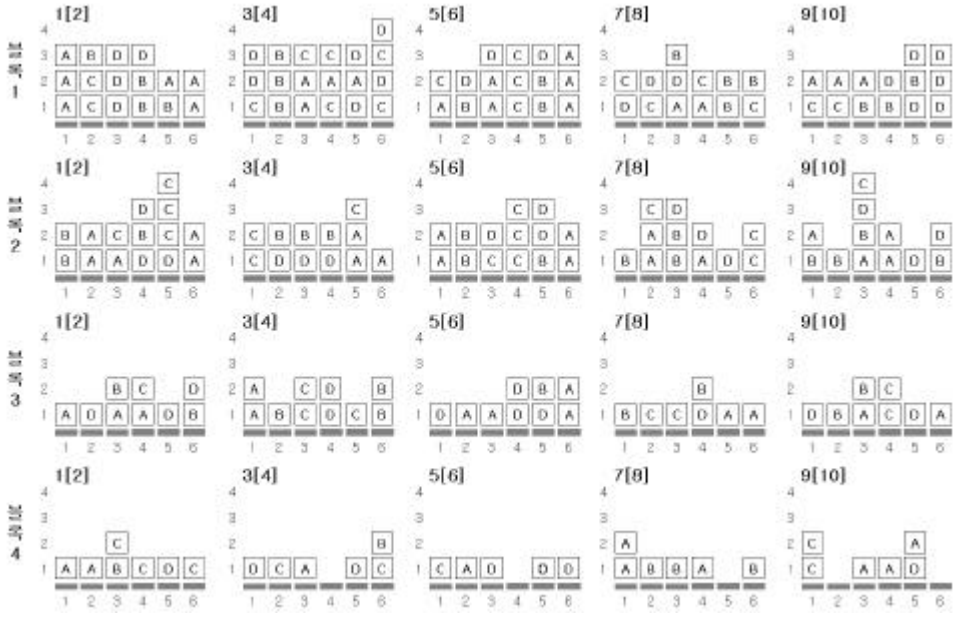
본 연구의 해법에 있어서는 G/C**별 작업물량을 기본적으로 블록 단위, 베이 단위, 열 단위로 배정하여** G/C**별 물량 겹침이 가급적 적게 발생하도록 하는 방법을 사용하**

였다. 물량배정은 우선, 투입 가능한 G/C대수에 대한 순서쌍을 설정한다. 투입 가능한 G/C대수에 대한 순서쌍은 G/C의 수가 2대일 경우 Set1(G/C #1→G/C #2), Set2(G/C #2→G/C #1)가 되며, 일반적으로 한 선박에서 동시에 작업하는 G/C의 대수가 4대를 넘지 않으므로 비교대상이 되는 순서쌍의 개수는 4!를 넘지 않는다고 볼 수 있다. 순서쌍이 결정되면, 각 순서쌍에 대하여 상위의 절차를 수행(블록단위배정→베이단위배정→열단위배정→개별 컨테이너 배정)한다. 각 순서쌍에서 구한 물량배정의 결과를 크레인별 야드 물량 배정 정수계획모형의 목적함수로 값으로 환산하여, 목적함수 중에 최소값을 가지는 순서쌍의 물량배정을 탐색적 해법의 최종해로 결정하게 된다.

제 4 장 모형의 적용

4.1 모형의 검증

본 연구에서 수립한 G/C별 야드 물량 배정의 정수계획모형의 타당성을 검증하기 위해서 다음과 같은 컨테이너 장치장 기초자료를 설정하였다. 투입 가능한 G/C는 2대와 3대, 4대의 경우로 나누어 적용하였다. 각 G/C별 작업요구물량은 크레인 배정 계획에 의하여 이미 결정되어져 있으며, 작업 대상이 되는 야드 물량의 장치장 배치형태는 [그림 4-1]과 같다. 장치장 Layout은 일반적으로 사용되는 6열 4단의 구조로 설정하였다. 야드 물량 장치도에는 개별 컨테이너의 장치위치와 속성이 표시되어 있으며, 작업 대상이 되는 물량만을 표시한 것이다. 모형의 타당성 검증을 위해 동일 속성의 물량을 여러 블록과 베이에 나누어 배치하도록 하였다.



[그림 4-1] 야드 물량 장치도

모형의 적용에서 [표 4-1]과 같이 투입 G/C의 대수는 2, 3, 4대로 하고, G/C별 작업 물량은 가급적 G/C별로 평준화시키면서, 동일 속성의 물량을 고루 배정하였다.

[표 4-1] G/C별 요구 물량 단위 : 개

	크레인 2대		크레인 3대			크레인 4대				합계
	G/C #1	G/C #2	G/C #1	G/C #2	G/C #3	G/C #1	G/C #2	G/C #3	G/C #4	
A	33	30	27	20	16	20	17	14	12	63
B	20	28	11	13	24	5	13	12	18	48
C	30	20	20	19	11	15	12	8	15	50
D	26	30	14	20	22	13	15	12	16	56
합계	109	108	72	72	73	53	57	46	61	
	217		217			217				

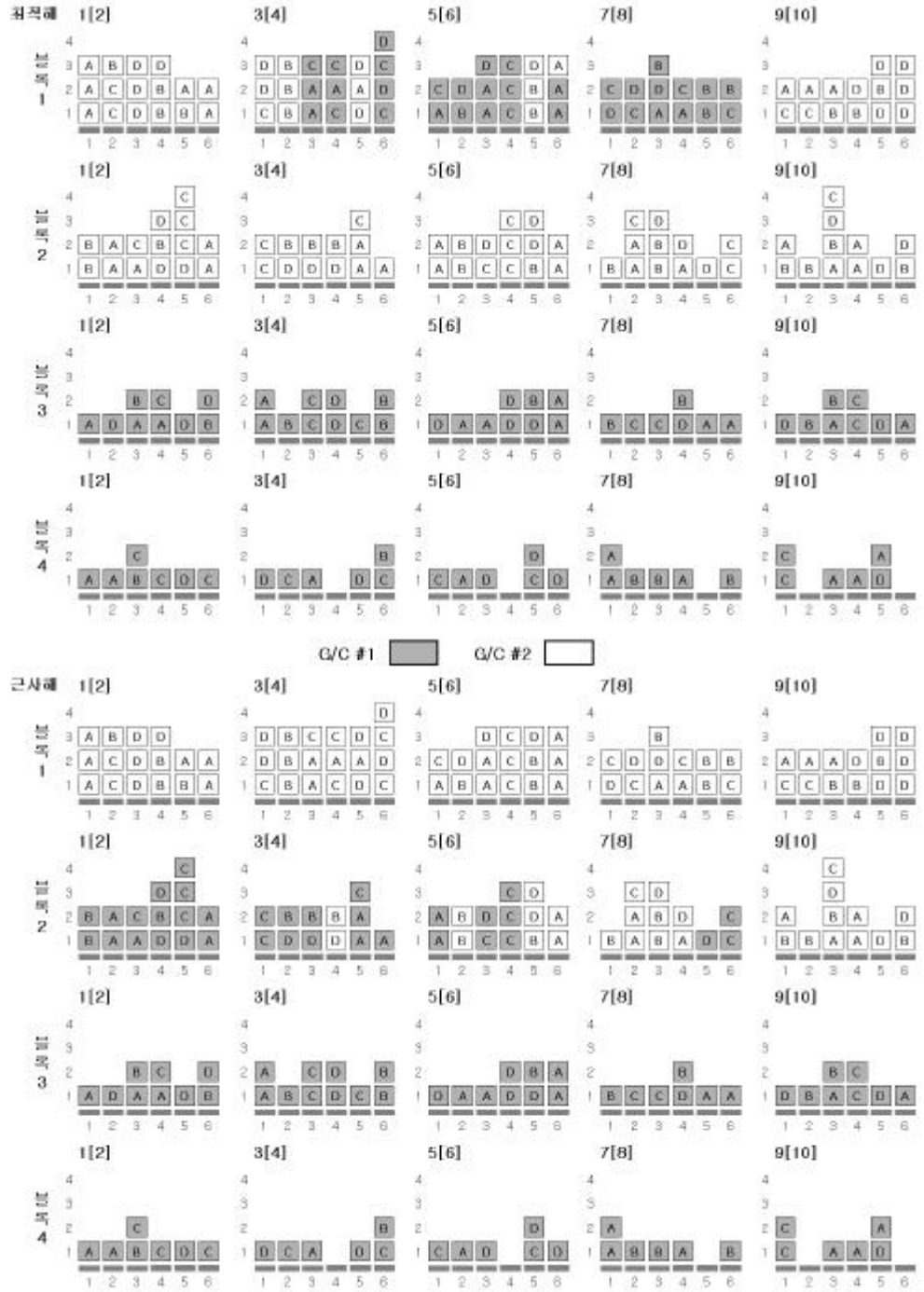
모형에 적용시 사용될 가중치는 야드 물량 배정 원칙에 따라 W_B 〉 W_b 〉 W_r 〉 W_t 〉 W_d 으로 설정하였으며 상위가중치가 하위가중치에 대해 절대적 우위를 갖도록 하였다. 블록간 거리에 있어서는 상대적인 거리로 설정하였다.

[표 4-2] 가중치 및 블록간 거리

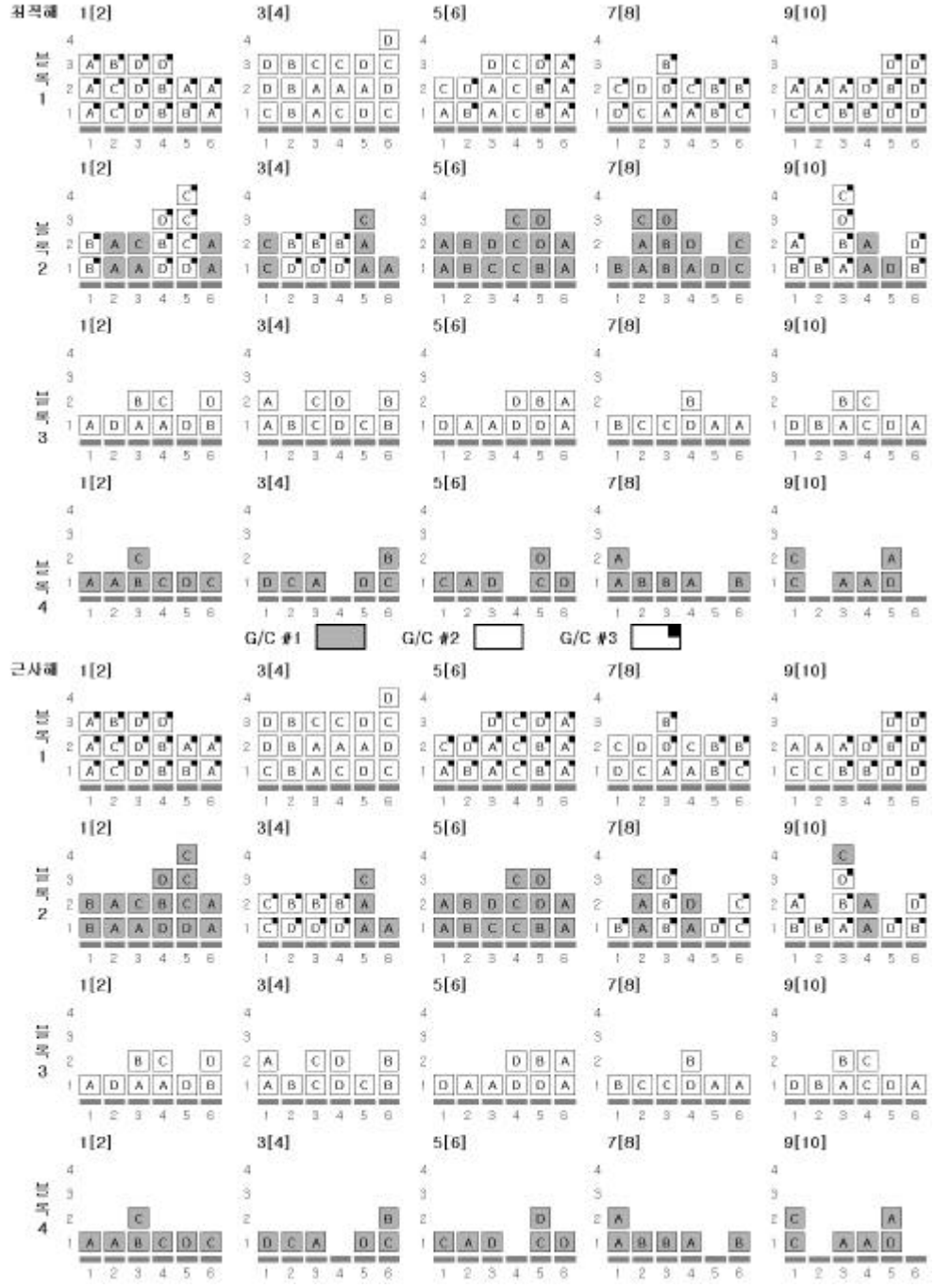
	가중치
W_B	1000000
W_b	50000
W_r	5000
W_t	500
W_d	1

	블록1	블록2	블록3	블록4
블록1	×	1	2	3
블록2	1	×	1	2
블록3	2	1	×	1
블록4	3	2	1	×

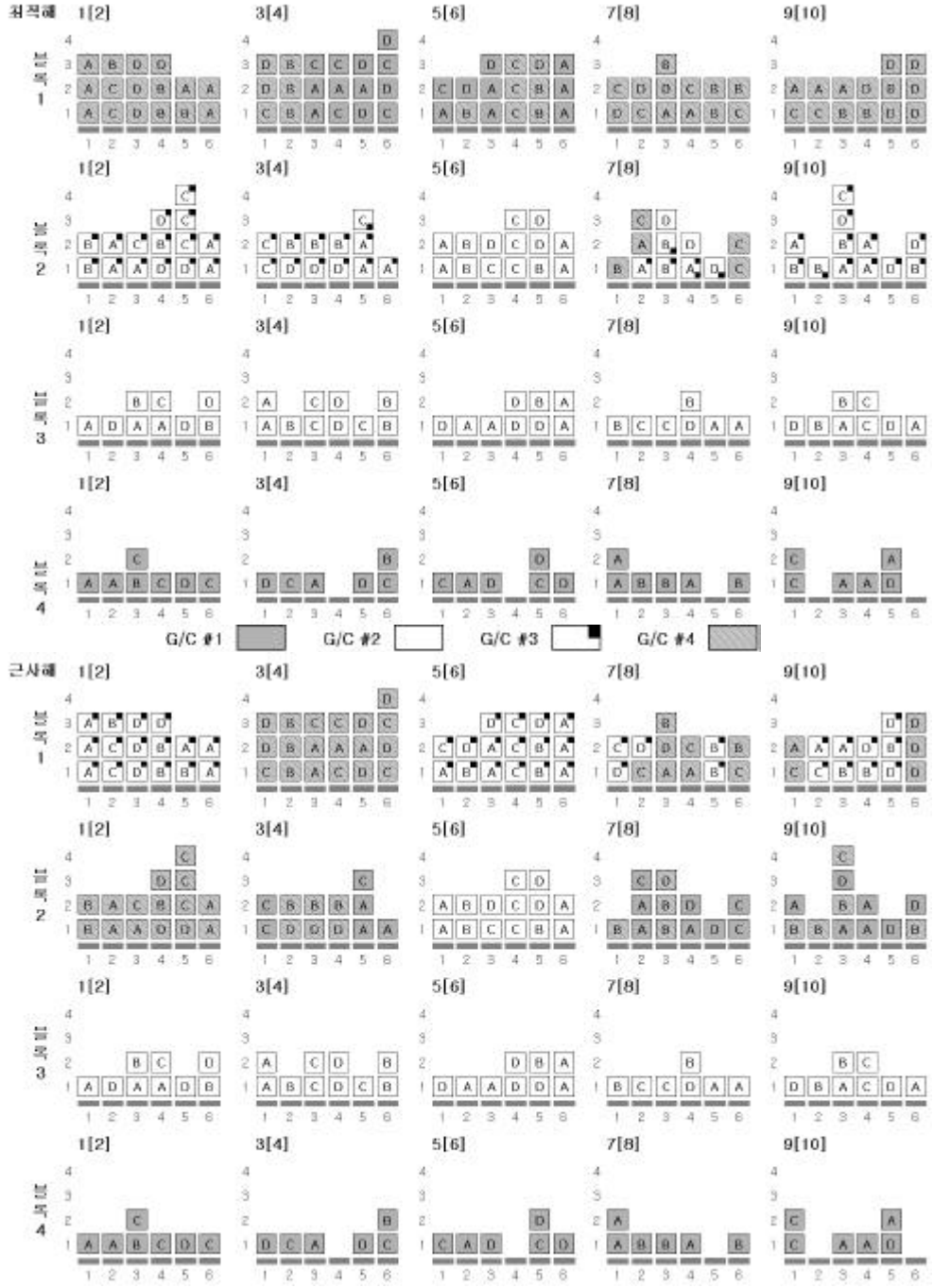
이상의 내용을, 기존의 선형계획모형 패키지(LINDO)를 이용하여 최적해를 구한 결과는 다음과 같다.



[그림 4-2] 크레인 2대의 물량 배정



[그림 4-3] 크레인 3대의 물량 배정



[그림 4-4] 크레인 4대의 물량 배정

도출된 결과를 분석하면, 초기에 설정한 가중치의 값에 의하여 물량 배정을 블록〉베이〉열 순으로 배정하였음을 알 수 있다. 블록 단위의 배정에서는, 두 G/C별로 물량 배정이 이루어질 블록 수의 합이 최대한 적도록 할당하였다. 따라서, G/C #1의 물량은 블록1, 3, 4에, G/C #2의 물량은 블록1, 2에만 할당되었다. 다음으로 블록1에서 두 G/C의 물량이 겹치므로 각 G/C별로 물량 배정이 이루어질 베이의 수가 적도록 할당하였다. 따라서, 블록1에 두 G/C의 물량이 베이 단위로 분산시켜, G/C #1의 물량은 베이 3[4], 5[6], 7[8]에, G/C #2의 물량은 베이 1[2], 3[4], 5[6], 9[10]에 할당되었다. 베이 할당 이후, 물량의 겹침이 베이 3[4], 5[6]에서 발생하므로 열 배정에 의해 G/C #1은 베이 3[4]의 3, 4, 6열과 베이 5[6]의 1, 2, 3, 4, 6열에, G/C #2는 해당 베이의 나머지 열과 베이 5[6]의 6열에 할당되었다. 그 외 인접물량과의 동일성 여부와 할당된 물량간의 블록간 거리는 블록 할당, 베이 할당, 열 할당 과정에서 동시에 수행되어 최적해를 구했음을 알 수 있다. 크레인 3대와 4대의 경우에도 가중치의 값에 의하여 물량 배정을 블록〉베이〉열 순으로 배정하였음을 알 수 있다. 크레인 3대의 경우에는 2, 4대와는 달리 각 열 내에서의 물량 겹침 현상은 발생하지 않았으며, 이것은 모형의 열 단위 배정이 정확하게 반영되었음을 알 수 있다.

상위의 결과에서는 각 블록, 베이, 열들 간에 대하여 가중치를 동일하게 부여하였으나 각 블록, 베이, 열에 대하여 가중치를 다르게 두어 적용하는 것이 더 효율적이라 할 수 있다. 이것은 문제의 해가 복수최적해를 가지는 경우에 유용하다고 할 수 있다. 예를 들어, 물량이 많은 블록에서 보다 물량이 적은 블록에서 물량겹침 현상이 발생하는 것이 더 작업에 유리하기 때문이다. 크레인 2대의 경우 베이 3[4]에서 G/C #2가 먼저 작업을 할 경우에 5번 열의 작업이 용이하지 못하기 때문이다(최하단 컨테이너를 수직으로 3단까지 들어올려야 하므로). 따라서 동일한 물량 겹침이 발생할 경우에 가급적 단적수가 적은 블록에서 발생하도록 하는 방법이 요구된다고 할 수 있다. 마찬가지로 베이와 열들 간에 대해서도 가중치를 다르게 두어 적용할 수 있다.

탐색적 해법의 값은 모형에 의한 최적해와 비교해 볼 때, 큰 차이점은 크레인 2대의 경우에 G/C 별 작업 물량 겹침 현상이 3개의 베이에서 발생하였음을 알 수 있다. 그러나 이전 결과보다는 작업하기에 용이하며 작업물량의 블록간 거리도 가깝게 배정되었다. 본 모형에서도 블록간 가중치의 값을 적절히 조정함으로 해서 상위의 배정을

구할 수 있다.

모형의 검증에 있어서는 야드 물량의 장치장 배치 형태를 임의적으로 설정하였으나 실제 야드의 컨테이너 배치 형태는 터미널의 장치장 배정 계획에 의하여 동일 속성의 컨테이너가 어느 정도 그룹화가 되어있는 것이 일반적이다. 따라서 본 연구에서도 이를 고려하여 야드의 컨테이너 물량이 베이단위나 열단위로 그룹화 되어 있는 경우와 전혀 그룹화 되어 있지 않은 경우의 장치장 배치 형태를 가지고 최적해와 탐색적 해법을 비교·분석해 보았다.

모형과 해법의 결과에 대한 평가는 작업 물량 겹침 현상의 정도를 파악하면 된다.

[표 4-3] 동일 속성의 컨테이너가 베이 단위로 그룹화 되어 있는 경우

		B	H	I	E	D	목적함수값
Case 1	최적해	5	10	32	2	14	5661014
	근사해	6	9	32	2	24	6611024
Case 2	최적해	6	10	32	2	24	6661024
	근사해	6	10	32	2	24	6661024
Case 3	최적해	6	10	32	2	24	6661024
	근사해	6	10	32	2	24	6661024
Case 4	최적해	5	10	33	2	14	5666014
	근사해	5	10	33	2	14	5666014
Case 5	최적해	5	10	32	2	16	5661016
	근사해	5	10	32	3	16	5661516
Case 6	최적해	5	9	33	1	18	5615518
	근사해	5	9	33	1	18	5615518
Case 7	최적해	6	10	32	3	24	6661524
	근사해	6	10	32	3	24	6661524
Case 8	최적해	5	9	33	1	14	5615514
	근사해	5	9	33	1	14	5615514
Case 9	최적해	5	10	32	3	14	5661514
	근사해	5	10	33	3	16	5666516
Case 10	최적해	5	9	32	1	16	5610516
	근사해	5	9	32	1	16	5610516

- B : 투입된 모든 G/C에 대해 물량이 배정된 블록의 수
- H : 투입된 모든 G/C에 대해 물량이 배정된 베이의 수
- I : 투입된 모든 G/C에 대해 물량이 배정된 열의 수
- E : 두 G/C간에 물량 겹침이 발생하는 수
- D : G/C 별 작업 물량의 블록간 거리

동일 속성의 컨테이너가 베이 단위로 그룹화 되어 있는 경우에 있어서는 근사해의

대부분이 최적해를 도출해 내었다. 그러나 일반적으로 베이 단위의 장치장 배정은 많은 장치공간을 필요로 하기 때문에 컨테이너의 속성 수가 많을 경우에 이러한 장치장 배정의 경우는 매우 드물다고 할 수 있다. 다음은 동일 속성의 컨테이너가 열단위로 그룹화 되어 있는 경우로써 실제 적용예가 많다고 할 수 있는 장치장 배정형태이다. [표 4-4]에서 보는 바와 같이 열단위의 그룹의 경우에서도 근사해의 대부분이 최적해와 동일한 결과를 나타내었다.

[표 4-4] 동일 속성의 컨테이너가 열 단위로 그룹화 되어 있는 경우

		B	H	I	E	D	목적함수
Case 1	최적해	5	9	33	1	14	5615514
	근사해	5	9	33	3	16	5616516
Case 2	최적해	5	9	33	2	14	5616014
	근사해	5	9	34	6	16	5623016
Case 3	최적해	5	9	32	1	16	5610516
	근사해	5	9	32	2	16	5611016
Case 4	최적해	5	8	32	1	16	5560516
	근사해	5	8	32	1	16	5560516
Case 5	최적해	5	9	32	3	14	5611514
	근사해	5	9	33	3	14	5611514
Case 6	최적해	5	9	32	3	18	5611518
	근사해	5	9	32	3	18	5611518
Case 7	최적해	5	8	32	1	18	5560518
	근사해	5	8	32	1	18	5560518
Case 8	최적해	5	9	32	2	14	5611014
	근사해	5	9	32	2	14	5611014
Case 9	최적해	5	9	33	1	16	5615516
	근사해	5	9	32	2	16	5615516
Case 10	최적해	5	9	32	2	18	5611018
	근사해	5	9	32	2	18	5611018

- B : 투입된 모든 G/C에 대해 물량이 배정된 블록의 수
- H : 투입된 모든 G/C에 대해 물량이 배정된 베이의 수
- I : 투입된 모든 G/C에 대해 물량이 배정된 열의 수
- E : 두 G/C간에 물량 겹침이 발생하는 수
- D : G/C 별 작업 물량의 블록간 거리

마지막으로 야드의 작업물량이 속성별로 그룹화 되어 있지 경우로써 장치장 배정계획이 전혀 이루어지지 않은 경우에 해당하며 그 결과는 [표 4-5]와 같다.

[표 4-5] 동일 속성의 컨테이너가 그룹화 되어 있지 않은 경우

		B	H	I	E	D	목적함수값
Case 1	최적해	5	9	32	1	16	5610516
	근사해	5	9	32	1	16	5610516
Case 2	최적해	5	9	32	2	18	5611018
	근사해	5	9	32	2	18	5611018
Case 3	최적해	5	9	33	2	16	5616016
	근사해	5	9	33	2	16	5616016
Case 4	최적해	5	9	32	1	16	5610516
	근사해	5	9	32	2	16	5611016
Case 5	최적해	5	9	32	1	18	5610518
	근사해	5	9	32	2	14	5611014
Case 6	최적해	5	9	33	2	14	5616014
	근사해	5	10	33	3	14	5666514
Case 7	최적해	5	9	32	1	14	5610514
	근사해	5	9	33	2	16	5616016
Case 8	최적해	5	9	32	1	18	5610518
	근사해	5	9	33	2	16	5616016
Case 9	최적해	5	9	33	2	18	5616018
	근사해	6	9	33	3	34	6616534
Case 10	최적해	5	9	32	2	14	5611014
	근사해	5	9	32	3	14	5611514

- B : 투입된 모든 G/C에 대해 물량이 배정된 블록의 수
- H : 투입된 모든 G/C에 대해 물량이 배정된 베이의 수
- I : 투입된 모든 G/C에 대해 물량이 배정된 열의 수
- E : 두 G/C간에 물량 겹침이 발생하는 수
- D : G/C 별 작업 물량의 블록간 거리

모형의 검증에 이어 다음은 실제 자료를 사용하여 본 모형의 유용성을 검증하여 보았다.

4.2 실제 자료의 적용

본 연구에서 수립한 모형을 실제 업무 자료를 가지고 적용해 보았다. 실제 자료는 1998년 Kawasaki Container Terminal의 선적자료로써 검증 자료와 동일하게 블록단위, 베이단위 열단위 배정 방식이 유효하게 사용되었음을 확인 할 수 있었다. 다만,

검증 자료에 비해 물량의 수가 많아 상당한 계산시간을 요구하므로, 이에는 본 연구에서 제안된 탐색적 해법이 유용하게 사용되어 질 수 있다. 장치장의 구조는 기본적으로 6열 4단위의 구조로 되어 있으나 7열 4단의 구조를 가진 베이가 존재한다. 그러나 모형의 적용에는 상관이 없으며, 실제자료는 물량의 속성수가 많고 블록이나 베이별로 그룹화 되어 있는 것이 검증자료와의 큰 차이라 할 수 있다.

각 G/C의 컨테이너 속성(A, B, ... ,W)별 작업물량은 [표 4-5]와 같으며 작업 대상 블록에 대한 T/C의 이동거리는 [표 4-6]에 나와 있으며 모형의 검증에서와 같이 블록간의 상대적인 거리 적용하였다.

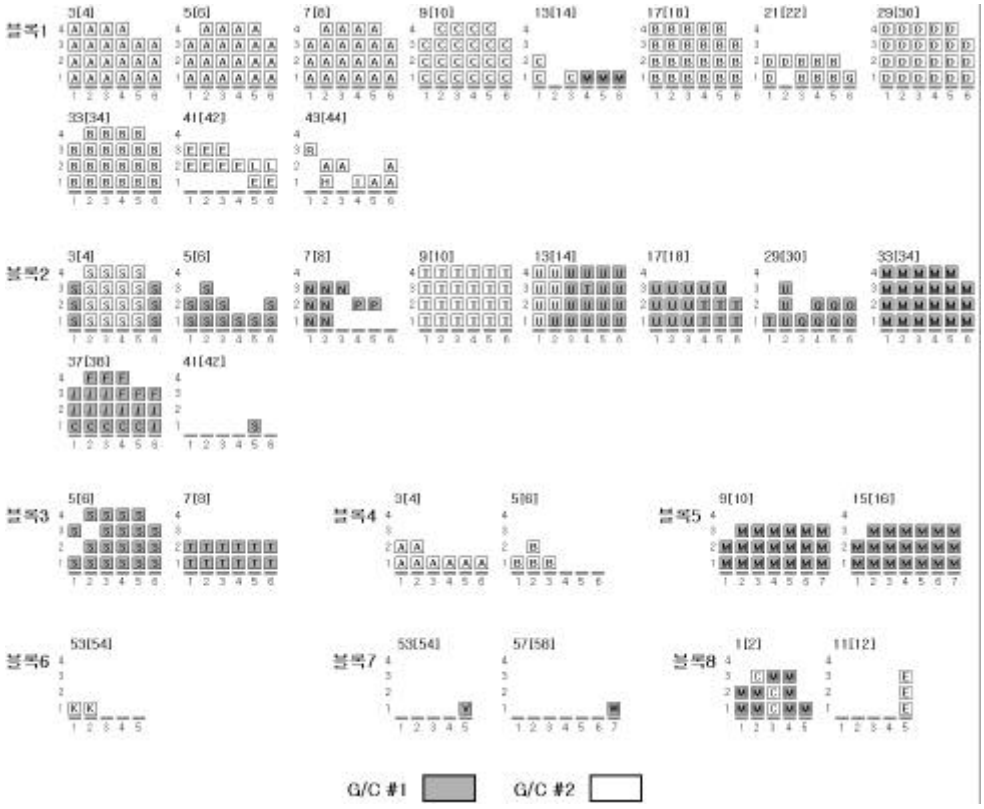
[표 4-6] G/C 별 작업 물량

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	합계
G/C #1	0	0	5	0	0	6	0	0	0	10	0	0	75	7	2	2	5	0	38	20	30	1	1	202
G/C #2	79	55	28	26	12	0	1	1	1	0	2	2	0	0	0	0	0	1	16	24	7	0	0	255
합계	79	55	33	26	12	6	1	1	1	10	2	2	75	7	2	2	5	1	54	44	37	1	1	457

[표 4-7] 블록간 거리(실제자료)

	블록1	블록2	블록3	블록4	블록5	블록6	블록7	블록8
블록1	×	1	2	3	4	5	6	7
블록2	1	×	1	2	3	4	5	6
블록3	2	1	×	1	2	3	4	5
블록4	3	2	1	×	1	2	3	4
블록5	4	3	2	1	×	1	2	3
블록6	5	4	3	2	1	×	1	2
블록7	6	5	4	3	2	1	×	1
블록8	7	6	5	4	3	2	1	×

모형의 검증에서도 베이단위나 열단위로 그룹화 되어 있는 경우에 탐색적 해법이 유용한 해를 구한 경우가 많았으며 본 실제 자료에서도 탐색적해법이 최적해를 도출하였다. 가중치 적용에서는 검증시와 동일한 값을 블록, 베이, 열에 적용하였다. 최적화 모형과 탐색적 해법에 의해 구해진 결과는 [그림 4-5]와 같다.



[그림 4-5] G/C별 물량 배정

도출된 결과에서는 모형에서 가정한 열단위의 배정이 정확히 반영된 결과를 얻을 수 있었다(블록2-베이3[4]). 다만 실제 자료에서는 블록간의 물량 불균형이 심하게 나타날 경우가 많으므로 본 모형에서 사용된 블록, 베이, 열간의 가중치 값은 달리하여 효율적인 크레인별 야드 물량 배정을 구하는 방법이 요구된다고 하겠다.

제 5 장 결 론

컨테이너 터미널의 하역 시스템 및 운영시스템은 각 국의 터미널마다 상이하며, 터미널의 환경적인 요소에 많은 영향을 받는다고 볼 수 있다. 특히, 국내 컨테이너 터미널의 경우에 보유 선석 부족으로 인하여 선석 점유율이 높을 뿐만 아니라, 컨테이너 장지장도 협소하여 수출·입 컨테이너를 터미널 내에 장치하지 못하는 경우가 빈번하게 발생한다. 이것은 각종 비용의 증가로 이어져 터미널의 생산성을 하락시키는 요인으로 작용하게 된다. 따라서 선박의 대기시간을 줄이고 신속한 하역 작업이 가능한 효율적인 터미널 운영 계획이 수립되어야 할 것이다. 일반적으로, 컨테이너 터미널의 생산성과 직결되는 것은 컨테이너 적·양하 작업으로 본선 적·양하 하역 작업에 겐트리 크레인 장비가, 야드 하역 작업에 장치효율이 높은 트랜스퍼 크레인이 작업에 투입되게 된다. 따라서 장비의 투입이전에 장비의 효율적인 운영 계획이 우선적으로 이루어져야 한다.

본 논문에서도 상위의 내용에 부합하는 효율적인 하역 장비 운용을 위한 컨테이너 선적 계획 모형을 수립하였다. 모형의 수립에서는 선적 계획 시스템을 크레인별 작업 Hatch 배정 단계와 크레인별 야드 물량 배정 단계의 두 단계로 분리하였으며, 모형의 수립에 앞서 컨테이너 터미널의 적·양하 작업과 관련한 하역 작업 계획 절차와 실제 하역 작업의 진행에 관계한 작업 장비들의 작업 특성을 분석하였다. 또한 하역 작업 장비의 특성을 토대로 적·양하 작업을 위한 겐트리 크레인 배정 계획 모형과 크레인별 야드 물량 배정 계획 모형의 두 모형을 수립하였다. 크레인 배정 계획에서는 총 하역 작업시간을 최소화하는 혼합정수계획모형을 수립하고, 실제 적용 가능한 해법을 제시하였으며, 이 모형에 의해 크레인별로 작업 Hatch를 결정하였다. 크레인별 야드 물량 배정 계획에서는 야드 하역 장비인 트랜스퍼 크레인의 작업특성을 고려하여 크레인별 작업물량이 최대한 교차되지 않도록 하는 정수계획모형을 수립하고, 탐색적 해법을 제시하였다. 모형의 수립 이후에 크레인별 야드 물량 배정을 중심으로 모형의 타당성 검증과정을 수행하였다. 검증의 과정은 다양한 임시 장치상황을 설정하고 각

각 그 결과를 도출하였으며, 도출된 결과에서 모형의 타당성을 검증하였고, 추가로 실제 자료를 사용하여 그 유용성을 확인하였다.

본 연구를 수행하는 과정에서의 성과는 컨테이너 터미널의 선박 적·양하 작업은 기본적으로 하역 장비의 효율적인 운영 계획에 의하여 작업이 이루어져야 할 것으로 본다. 하역 작업은 해당 작업에 소요되는 시간외에도 작업 교차로 인한 작업 지연, 대상 지점으로의 이동시간과 같은 작업준비시간(setup time)이 상당히 중요하며 이것은 하역 계획에 따라 가변적이라 할 수 있다. 따라서 효율적인 작업 계획 수립을 통하여 작업 준비 시간을 단축시키는 연구가 이루어져야 할 것으로 본다. 본 연구의 선행과제로 수행된 크레인 배정 계획에서 본선의 안정성과 하역 장비의 간섭문제, 총 하역시간 등의 제약조건은 계획 수립시 반드시 고려되어야 할 사항이다. 이러한 계획 수립에 있어서도 기존의 수작업이나 숙련자의 직관에 전담하기보다는 수리적인 분석을 통하여 개선된 작업계획을 수립하고, 계획수립에 따른 시간과 비용을 줄이는 방법을 모색하여야 할 것이다. 또한, 터미널 장비의 운영 계획에 있어서도 각 장비들간의 특성을 최대한 반영한 계획 수립이 이루어져야 할 것이다. 특히 본선의 적하 작업시 야드 하역 작업을 수행하는 트랜스퍼 크레인 이동시간과 간섭문제, 작업교차로 인한 지연 등을 최대한 줄이는 야드 물량 배정 계획이 이루어져야 할 것이다.

본 연구에 이어 차후 연구 과제로써는 겐트리 크레인별 야드 작업 물량 배정 이후 실제 야드 및 본선 작업을 위한 개별 컨테이너들의 구체적인 적하 작업 순서를 결정하는 것이다. 이에는 기본적인 컨테이너 적·양하 작업 규칙과 본선의 안정도, 야드 하역 장비인 트랜스퍼 크레인별 간섭문제를 해결할 수 있는 작업 순서 결정이 주요 연구 대상이 될 것으로 생각된다.

참고 문헌

Daganzo, C.F.(1989), “The Crane Scheduling Problem”, *Transportation Research B*, Vol. 23B, No. 3, pp.159-175.

Daganzo, C.F. and R.I. Peterkofsky(1990), “A Branch and Bound Solution Method for the Crane Scheduling Problem”, *Transportation Research B*, Vol. 24B, pp.159-172.

Dumbleton, J.J.(1990), “Expert System Application on Ocean Shipping - A Status Report”, *Marine Technology*, Vol. 27, pp.265-284.

Fisher, M.L. and M.B. Rosenwein(1989), “An Interactive Optimization System for Bulk-Cargo Ship Scheduling”, *Naval Research Logistics*, Vol.36, pp.27-42.

Hwan, Kim Kap, Bae Kim Hong(1999), "Segregating space allocation models for container inventories in port container terminals, *International Journal Of Production Economics* (59)1-3, pp.415-423.

Kim Kap Hwan, Kim Ki Young(1999), “Routing straddle carriers for the loading operation of containers using a beam search algorithm”, *Computers And Industrial Engineering* (36)1, pp.109-136.

Rana, K. and R.G. Vickson(1991), “Routing Container Ships Using Lagrangean Relaxation and Decomposition”, *Transportation Science*, Vol. 25, No. 3, pp.201-214.

Sagninaw II, D.J. and A.N. Perakis(1989), “A Decision Support System for Containership Stowage Planning”, *Marine Technology*, Vol. 26, pp.47-61.

Scheithauer Guntram(1999), “LP-based bounds for the container and multi-

container loading problem", *International Transactions In Operational Research* (6)2, pp.199-213.

Shields, J.J.(1984), "Container Stowage : A Computer-Aided Preplanning System", *Marine Technology*, Vol. 21, pp.370-383.

Young Kim Ki, Hwan Kim Kap(1999), "A routing algorithm for a single straddle carrier to load export containers onto a containership", *International Journal Of Production Economics* (59)1-3, pp.425-433.

Yun Won Young, Choi Yong Seok(1999), "A simulation model for container-terminal operation analysis using an object-oriented approach", *International Journal Of Production Economics* (59)1-3, pp.221-230.

곽규석 · 신재영 · 남기찬(1996), **효율적인 컨테이너 터미널 계획 및 운영을 위한 모형 개발**, **건설교통부**.

김두열(1995), "**컨테이너 터미널의 수출 컨테이너에 대한 장치장 공간할당 계획시스템**", **석사학위논문**.

신재영(1996), "**컨테이너 크레인 최적 운전시간의 시뮬레이션을 위한 의사결정지원시스템**", **한국항만학회**, **제10권**, **제2호**, pp.43-50.

신재영 · 곽규석 · 남기찬(1996), "**컨테이너 터미널 선적계획 의사결정지원시스템**", **한국항만학회 96년도 학술발표회 강연논문초록집**, pp.36-41.

신재영 · 남기찬(1995), "**컨테이너 선박의 자동 적재 계획을 위한 지능형 의사결정지원시스템**", 1995, **한국항만학회지 제9권 제1호**, pp.19-32.

신재영 · 남기찬(1997), "**유조선 자동 적 · 양하 계획을 위한 의사결정지원시스템**", **한국항만학회지**, **제11권**, **제1호**, pp.65-73.

신재영 · 이광인 · 하태영(1998), “**컨테이너 적 · 양하를 위한 크레인 배정 계획**”, **한국항만학회 98년도 학술발표회 강연논문집**, pp.14-17.

박강태 · 김갑환(1997), “**라그랑지 완하법을 이용한 컨테이너 터미널의 수출 장치장 공간할당 계획**”, **한국경영과학회 춘계학술대회논문집**, pp.64-67.

박두호(1999), “**컨테이너 장치 작업을 위한 크레인 배정 및 작업순서 결정**”, **석사학위논문**.

박영만 · 김갑환(1996), “**재취급을 최소화하기 위한 수출컨테이너 장치위치 결정법**”, **한국경영과학회 춘계공동학술대회논문집**, pp.473-476.

백인태(1994), **컨테이너 터미널의 물류 정보 처리**.

이광인(1998), “**컨테이너 선적 계획을 위한 통합 의사결정지원시스템**”, **석사학위논문**.

이경모 · 김갑환(1998), “**트랜스퍼 크레인의 반입 및 반출 작업순서 결정규칙**”, **한국항만학회 98 추계학술대회논문집**, pp.309-313.

이홍철 · 안재명 · 김성식(1997), “**작업효율을 만족하고 작업량 평준화를 고려한 작업자 할당 방법에 관한 연구**”, **한국경영과학회지 제22권 제4호**, pp.115-131.

조덕운(1986), “**컨테이너선 선적 계획 문제 연구**”, **해군사관학교**.