

工學碩士 學位論文

컨테이너 터미널에서 실시간 선적계획을 위한
의사결정 지원 모델에 관한 연구

A Decision Support Model for Realtime Ship Planning in
Container Terminals

指導教授 申 宰 榮

2006年 2月

韓國海洋大學校 大學院

東北亞物流시스템學科

徐 敬 武

A Decision Support Model for Realtime Ship Planning in Container Terminals

Seo, Kyung Moo

Department of Logistics Engineering
Graduate School of Korea Maritime University

Abstract

The productivity of container terminal primarily depends on the process of handling containers, especially during the ship's loading process. The ship's loading process consists of ship planning and operation. ship planning is planned before operations. because of this process the ship planning can't influence realtime conditions. Especially, ship operation is different from ship planning. it is interfere the efficiency

and productivity of container terminals.

In this paper, we analyze based ship planning and operations, and then we suggest realtime ship planning decision support rule regard to the realtime conditions. And we suggest some operation type for more efficiency loading operation - Twin lift, Twin Dispatch.

목 차

제 1 장 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 필요성	1
1.2 관련 문헌 연구	2
1.3 논문의 구성	5
제 2 장 시스템 분석	6
2.1 컨테이너 하역계획	6
2.1.1 G/C 배정계획	6
2.1.2 양하계획	7
2.1.3 적하계획	8
2.2 컨테이너 하역 작업	10
2.3 사전계획의 한계	12
2.3.1 본선의 위치 변경	12
2.3.2 G/C의 작업순서 및 G/C 배정 변경	13
2.3.3 Sub Sequence (Bay내 작업순서) 변경	14
2.4 효율적인 운영 방식 도입	16
2.4.1 Twin Lift	17
2.4.2 Twin Dispatch	18

제 3 장 문제의 해법 연구	19
3.1 문제의 범위	19
3.2 G/C 배정 및 작업 순서 모형	20
3.2.1 발견적 해법 연구	22
3.3 Sub Sequence 순서 결정 모형	28
3.3.1 발견적 해법 연구	30
제 4 장 해법의 적용	36
4.1 해법의 검증	36
4.1.1 적용 자료	37
4.1.2 G/C 배정 및 작업 순서 결정	41
4.1.3 Bay내 작업 순서 결정	44
4.2 실제 자료의 적용	47
제 5 장 결 론	49
참 고 문 헌	51

표 목 차

<표 2-1> G/C 배정 계획 수립 규칙	7
<표 2-2> 양하 계획 수립 규칙	8
<표 2-3> 적하 계획 수립 규칙	9
<표 2-4> 본선 위치 변경 사항	13
<표 2-5> G/C 작업순서 및 G/C 배정 변경 사항	13
<표 2-6> 본선 BAY내 작업 순서 변경 사항	15
<표 4-1> VDMR-01 항차의 HATCH별 물량	37
<표 4-2> VDMR-01 항차의 HATCH별 작업 순서	37
<표 4-3> 06 HATCH의 BAY내 작업 컨테이너 목록	39
<표 4-4> G/C 배정 및 작업 순서 결정 결과 분석	47
<표 4-5> BAY내 작업 순서 결정 결과 분석	48

그 립 목 차

[그림 2-1] 본선 하역 작업 흐름도	11
[그림 2-4] 일반 적인 컨테이너 하역 작업	16
[그림 2-5] 본선의 TWIN LIFT 작업	17
[그림 2-6] 본선의 TWIN DISPATCH 작업	18
[그림 3-1] 컨테이너 터미널의 본선 적.양하 계획 및 작업	19
[그림 3-2] 일반적인 G/C 배정 및 작업 순서	21
[그림 3-3] G/C HATCH 작업 흐름 예정 순서	24
[그림 3-4] G/C 작업 순서 결정 절차	25
[그림 3-5] 일반적인 양하 BAY내 작업 순서	28
[그림 3-6] 일반적인 적하 BAY내 작업 순서 (왼쪽 본선, 오른쪽 YARD)	29
[그림 3-7] HATCH의 HOLD, DECK 단위로 순서화되어 있는 BAY PLAN	30
[그림 3-8] BAY PLAN상의 컨테이너 선행관계	31
[그림 3-9] 컨테이너 순서 결정의 선행 관계의 예	33
[그림 3-10] BAY PLAN 컨테이너 순서 결정 단계 구조	34
[그림 4-1] 컨테이너 터미널 LAYOUT	36
[그림 4-2] G/C별 작업 흐름도	38
[그림 4-3] G/C 작업 순서 결정(위)과 재배정(아래) 결과	42
[그림 4-4] GC111호의 작업 중단으로 G/C 재배정 된 결과	43
[그림 4-5] 사전 계획에 의해 정해진 BAY내 작업 순서	45
[그림 4-6] BAY내 작업 순서 결정 해법의 적용 결과	46

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 필요성

컨테이너 터미널의 고객사인 선사는 비용 절감과 고객의 수요 충족, 서비스율 향상을 위해 선박의 대형화와 컨테이너 터미널에서 선박의 작업시간 감소를 아주 중요한 문제로 부각시키고 있다. 따라서 컨테이너 터미널에서는 이러한 선사의 요구를 만족시키고 다른 터미널로부터 경쟁에서 우위에 서기 위해 선박의 처리 시간에 따른 생산성 향상에 많은 노력을 기울이고 있다. 컨테이너 터미널의 생산성은 양.적하 작업의 효율성에 좌우되며 이는 선박이 입항을 하여 수출 및 수입 화물 처리를 완료하여 출항하기까지 시간당 처리 물량이다. 양하 작업은 수입 화물에 대해 선박에서 야드로 화물을 내리는 작업이며 적하 작업은 야드에 적재되어 있는 수출 화물을 선박으로 싣는 작업이다. 이러한 양적하 작업은 사전 계획과 작업자들의 작업 방식에 의해 처리율이 많이 좌우된다고 할 수 있으며 사전 계획이라 하면 본선의 크레인 배정계획 및 양.적하 계획(Discharging / Loading Plan)을 들 수 있다. 실제로 이러한 사전 계획은 계획 수립 시점의 야드 상황과 Quay Crane 상황에 맞게 컨테이너를 처리 할 수 있도록 작성하는 것이 보편적이다. 이렇게 작성된 양.적하 계획을 실제 작업 시에는 계획 후 변경된 야드 상황, 실시간으로 발생하는 여러가지 문제점으로 인해 많은 부분이 현장작업에 어려움을 겪고 있으며 실제 작업 시에는 본선 작업자들에 의해 임의로 작업 순서가 변경되는 경우가 많이 있다. 이는 선박의 하역 작업에서 적재위치가 변경되고 순서가 변경되며 작업자의 직관에 의해 처리되기 때문에 효율적인 양.적하 작업을 하기 어려워 진다. 따라서 이러한 사전 계획을 바탕으로 한 작업자의 임의 작업 변경은 터미널의 생산성에 저하의 주요 요소가 되고 있는 실정이다.

실제로 본선 양적하 사전 계획에 관한 연구는 가장 활발히 이루어지고 있는 분야이기도 하다. 이러한 연구들은 미래의 상황을 예측을 하고 현재 상황을 반영하여 좋은 계획을 이루는데 초점을 두고 있으며 컨테이너의 적.양하 작업에 소요되는 하역시간의 단축에 기본

목적에 가지고 있다. 사전 계획에 관한 연구는 본선 작업시 기본이 되는 운영 계획을 작성하는데 주안점을 두며 실제 작업도 대부분 사전계획에 바탕을 두고 이루어진다. 따라서 정확하고 효율적인 작업을 위해서는 사전계획의 중요성도 상당히 높다고 할 수 있다. 이는 컨테이너 터미널의 생산성에 상당한 영향을 끼친다고 볼 수 있으며 잘 계획된 본선 계획은 실제 작업 시 많은 부분 변경되지 않고 작업이 가능하며 효율적인 작업에 있어서 많은 영향을 끼친다. 이러한 사전계획에 관한 연구들은 지금까지 상당히 많이 진척되어 왔고 그 해법도 다양하게 나오고 있다. 하지만 실제 작업 시에는 미처 예측하지 못하여 여러가지 문제점이 발생하며, 야드의 상황도 계획 당시와 달라지기 때문에 계획보다 더 좋은 작업도 가능하게 된다. 이러한 더 효율적인 작업을 반영하지 못하는 점이 사전계획에 관한 연구의 한계점이라 볼 수 있으며 실제 작업자들은 이러한 부분은 작업자들의 임의의 판단에 의해 계획과 다른 작업들을 하고있다. 따라서 본 연구에서는 실제 본선 양적하 작업시 작업자에 의해 임의로 변경되어 오던 작업 요소들을 분석 하여 각각의 작업에 보다 효율적이고 생산성을 높일 수 있는 작업 할 수 있도록 의사결정을 지원해 줄 수 있는 의사 결정 모형을 세우고 그에 맞는 해법을 연구한다. 이는 컨테이너 터미널에서 실시간으로 작업자들의 운영에 있어서 혼란을 줄여 줄 뿐 아니라 터미널 전체적인 관점에서 효율적인 작업을 찾아줌으로써 작업의 효율성을 높여줄 것으로 기대되며 아울러 컨테이너 적.양하 작업에 소요되는 하역 작업시간의 단축 효과로 인한 터미널 생산성 향상에 도움이 될 것으로 본다.

1.2 관련 문헌 연구

컨테이너 터미널의 운영에 관한 기존 연구는 그 중요성에 비하여 해당 분야의 특수성으로 인하여 많이 부족한 실정이고 그나마 운영 측면보다는 설비투자적인 측면이나 성능평가에 대한 연구가 대부분을 차지하고 있다. 본 단락에서는 컨테이너 터미널의 운영 측면의 연구를 살펴보고자 하며 운영에 관한 연구는 업무에 따라 다음과 같은 범주로 분류될 수 있다.

- (1) 본선 양.적하 계획 수립에 관한 연구
- (2) Yard Trailer 운영에 관한 연구
- (3) Crane 운영에 관한 연구

첫째, 본선 양.적하 계획 수립에 관한 연구는 컨테이너 터미널의 생산성 향상에 관한 연구 중 가장 활발히 연구되고 있는 분야이며 여러가지 해법을 통하여 계획수립 문제를 풀고 있다. 신재영과 남기찬(1995)은 선박의 안정성(Vessel Stability)을 유지 하는 것과 적재된 화물의 재배치(Rehandling) 횟수를 줄여 재배치 비용 최소화를 목적으로 하여 실무 규칙을 구현하기 쉬운 전문가 시스템을 자동 선적 계획 시스템의 근간으로 하고 추론 과정 중에 수리적 해법을 적용 하였으며 실제 프로그램 개발에 관한 연구를 하였다. 이후 신재영과 곽규석, 남기찬(1999)은 컨테이너 터미널의 선적 계획 시스템을 설계하고 구현 한 연구로써 G/C배정 계획, 양하계획, 적하계획을 제한적인 제약만 고려한 최적화 모형만으로 자동계획을 작성하는 것을 피하고, 현장 실무 전문가의 전문 지식을 최대한 반영할 수 있는 규칙베이스(Rule-Base) 시스템을 근간으로 자동화 모듈을 설계 하였으며 GUI환경 사용자 인터페이스를 제공하였다. 김갑환, 류광렬, 박영만, 강진수, 이용환(2000)은 실제 터미널에서 계획자들이 적하작업 계획시에 고려하는 제약조건 및 효율적인 계획을 위한 고려사항을 바탕으로 1단계에서는 개미 시스템(ant system)을 적용하여 G/C와 T/C의 이동순서와 위치를 결정, 2단계에서는 빔탐색법(beam search)을 사용하여 컨테이너 개개의 작업순서를 결정하는 알고리즘을 제시하였다. 김갑환, 류광렬, 박영만, 강진수, 이용환은 타부탐색법(Tabu search), 하이브리드탐색법(Hybrid search)을 적용하여 T/C이동위치를 결정하고 빔탐색법(beam search)을 사용하여 개별 컨테이너의 작업순서와 위치를 결정하는 적하계획 시스템 개발에 관한 연구, T/C의 이동거리, G/C 및 T/C의 작업 편의성, 컨테이너의 무게를 고려한 선박의 안정성 등을 포함한 자동 적하계획 시스템 개발하였다. Sasaki와 Nishimura, Papadimitrioe(2004)는 컨테이너 터미널의 효율성 향상을 위해 적하 진행에 따른 본선의 안정성, 컨테이너 재취급(rehandle)수의 최소화를 고려 하여 본선의 양.적하 계획에 관한 multi-objective integer programming을 연구 하였다.

둘째, 실시간 터미널 운영으로 볼수 있는 Yard Trailer 운영에 관한 연구로는 구평희,이운식, 고시근(2005)는 컨테이너 터미널의 동적 운송 환경에서 실시간 차량운행 계획을 작업주도형 배차문제와 차량 주도형 배차문제로 나누어 QC를 최대한 활용하여 컨테이너선의 양하 작업 시간을 최소화는 것으로 Network Flow 모형 기반으로 풀고 있다. 하지만 이들은 기존의 선적계획에 따라 장비의 효율성과 작업 시간의 단축을 위해 장비의 투입 및 배차에 중점을 두고 있으며 본 연구와 같은 실시간 운영이라 할 수 있으나 실제 선적 계획을 바꾸는 것을 고려하지 않고 있다.

셋째, Crane 운영에 관한 연구로는 Transfer Crane의 운영과 Quay Crane의 운영이 있으며 두 분야 모두 크레인을 기준으로 크레인의 총 작업시간 단축과 이동거리 최소화에 목적을 두고 있다. 하지만 Transfer Crane는 Yard의 운영적인 측면에 많은 영향을 받으며 Quay Crane는 본선의 하역작업에 많은 영향을 받는다. Transfer Crane에 관한 연구로는 이경모, 김갑환(1998)은 반출.입 컨테이너를 처리하는 T/C의 작업순서를 결정함에 있어서 이를 동적계획법으로 정식화 하고, FCFS(First Come, First Service), UT(Unidirectional Travel), NT(Nearest Truck first served), SPT(Shortest Procession time rule)등과 같은 작업 방식을 토대로 하여 이를 시뮬레이션하여 그 결과를 비교, 분석 하였다. Quay Crane의 운영에 관한 연구를 살펴 보면 신재영, 이광인, 하태영(1998)은 컨테이너 터미널에서 컨테이너 적.양하 계획 수립 시의 크레인의 작업 Hatch의 배정과 순서 결정에 관하여 크레인의 총 작업시간을 최소화하는 모형을 세웠으며 이의 해를 구하기 위해 탐색적 해법을 개발하여 문제를 풀었다. 또 박영만, 김갑환(1999)은 역시 크레인의 작업완료 시간을 최소화 하는데 목적함수를 두고 크레인간의 간섭, 가용시간, 특정 작업간의 선후관계 등을 제약조건으로 두고 수리적 모형을 개발하였고 이를 분지한계법을 이용하여 최적해를 빨리 찾아가는 탐색 방법을 제시하였다.

상기에서 살펴본 바와 같이 터미널의 하역 작업과 관련한 기존 연구들은 대부분이 사전 선적 계획과 하역 작업에 투입되는 장비의 효율성과 하역 시간의 단축에 중점을 두고 수행되었다고 할 수 있다. 특히 사전 계획을 바탕으로 장비의 효율성과 작업 시간의 단축을 목적으로 하여 왔으나 실시간 상황을 고려하지 않은 사전계획의 비효율성이 전체 작업에 영

향을 주고있는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 본선 하역 작업과 장비의 효율성을 동시에 높일 수 있는 실시간 상황에 따라 선적 계획을 수립하고자 한다.

1.3 논문의 구성

본 논문의 구성을 살펴보면, 1장에서는 먼저 본 연구를 진행하게 된 배경과 연구의 목적에 관하여 언급하고, 기존에 수행된 관련 분야의 연구 내용들을 살펴보았다. 2장에서는 수출입 컨테이너의 일반적인 선적과 양하 과정을 간략히 살펴보고 실제 양.적하 작업시 사전 계획의 한계점을 파악하고 문제점과 규칙을 정의한다. 3장에서는 본 논문에서 다루고 있는 컨테이너 적.양하 작업의 실시간 의사결정 지원모형과 휴리스틱(Heuristic) 해법을 제시한다. 4장에서는 이러한 본 연구에서 제시한 해법의 효율성을 검증하기 위해 모의 자료와 실제 자료를 토대로 그 결과를 산출하여 비교, 분석한다.

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

제 2 장 시스템 분석

2.1 컨테이너 하역계획

컨테이너 터미널에서의 주요 업무는 하역작업이며, 하역작업을 위한 사전 수립 계획은 터미널의 운영 업무의 대부분을 차지 한다고 할 수 있다. 또한 본 논문에 있어서 사전 수립 계획은 실시간 작업 의사 결정의 바탕이 되며 또한 이렇게 정의된 계획 규칙은 실시간 계획의 기본 규칙이 된다. 일반적으로 본선 하역작업과 관련하여 터미널에서는 다음과 같이 세 가지의 기본 계획을 수립하게 된다.

- (1) G/C 배정계획
- (2) 양하계획
- (3) 적하계획

터미널에서 선박의 컨테이너는 G/C에 의해 하역된다. 컨테이너의 하역계획은 우선 본선 작업을 위해 G/C의 물량을 배정하고 선박의 Hatch 단위로 작업되며 이에 따라 G/C 작업 순서를 결정하는 G/C배정 계획을 먼저 수립하고 본선에 적재되어 있는 컨테이너에 대해 양하 작업순서와 장치장에 야적되어 있는 컨테이너에 대해 본선의 적재 위치와 적하 작업 순서를 동시에 결정하여 본선 계획을 수립하는 것이다.

2.1.1 G/C 배정계획

본선하역의 주된 작업장비는 쉼트리 크레인(G/C)이 담당하며 하역 작업에 투입 가능한 장비의 수와 작업시각이 본선 접안 전에 정해지고 선사로부터 본선에 양.적하될 컨테이너 정보가 입수되면, G/C 배정계획을 수립한다. G/C 배정계획이라 함은 양.적하 작업의 각

Hatch에 G/C작업을 균등하게 배정하고 각 G/C의 Hatch별 작업순서를 결정하는 것을 말한다. 이러한 G/C배정 계획은 이후에 이루어지는 양하작업과 적하작업의 기본이 되는 Hatch 단위 이동순서가 결정된다.

G/C 배정계획은 먼저 해당 선박의 총 양적하 컨테이너 수량과 접안 선석 상황, 계획 기간 중 투입 가능한 G/C 상황 등을 파악하여 모선에 투입할 G/C의 댓수와 각 G/C별 작업 시작 시간을 결정하는 것으로부터 시작 된다. 기본적으로, 크레인 배정 계획 시 다음의 규칙이 고려된다.

<표 2-1> G/C 배정 계획 수립 규칙

구분	고려사항	내용
기본 규칙	작업 물량	- 크레인별 작업량 균등화(양하량+적하량)
	작업 배정	- 선박의 Hold, Deck로 나누어 각 Hatch단위로 작업 배정
	G/C 특성	- 크레인간의 최소 작업 간격 유지
		- 일반적 작업 간격 40'이상, Bay 번호 차이 6이상
		- 크레인간에 작업 교차 및 간섭
작업 방향	양하	- 양하는 선미에서 선수방향으로
	적하	- 적하는 선수에서 선미방향으로
기타 규칙	기타	- 선사의 특정 Hatch 작업 우선,지연 요청 - 특정 Bay 수리, 긴급화물 등의 요구

2.1.2 양하계획

양하 계획은 터미널에 입항 예정인 선박에 대하여 양하 관련 서류를 접수한 이후에 작업 G/C를 배정하여 작업 스케줄 및 베이별 컨테이너의 양하 순서를 결정하는 것을 말한다. 계획의 수립 시에는 작업 효율성과 안정성 제고, 작업 장비의 간섭 최소화, 장치장 상황의 반영, 양하 작업의 생산성 향상 등이 주요한 목표가 된다.

<표 2-2> 양하 계획 수립 규칙

구분	고려사항	내 용
기본 작업 방향	횡방향	- 선박 접안방향 (좌현->우현, 우현->좌현) - 중앙->바깥쪽, 바깥쪽->중앙
	종방향	- 수직 순서(vertical order) - 수평 순서(horizontal order)
유형별 일괄 작업	규격	- 20ft,40ft,45ft별 일괄작업
	종류	- Reefer, Break bulk, Over-dimension 등 컨테이너 종류별 일괄 작업
	운송 종류	- 선내이적, 자부두 T/S별
	공 컨테이너	- 공컨테이너 일괄작업
추가적 고려사항	G/C 통과 높이	- 추가적인 선내이적 발생 - 접안방향 앞 상단 컨테이너 우선 작업
	Hatch cover	- 형상과 종류에 따른 작업 고려 - 선창내 작업 전에 반드시 개방
	셀 가이드	- 셀 가이드 없고, 20ft 컨테이너 양하 - 두 개의 인접 베이를 교대로 작업
	베이 작업순서	- 동일 작업 베이내의 순서 - G/C 작업의 진행방향 순서로 작업

2.1.3 적하계획

적하계획은 선사에서 제출한 적하 Stowage Plan상의 컨테이너 양하지별, 규격별 적재 요청 범위 내에서 터미널의 작업 효율성을 최대한 고려하여, 개별 컨테이너의

적재 위치를 할당하고 선적순서를 결정하는 것을 말한다.

<표 2-3> 적하 계획 수립 규칙

구분	고려사항	내 용
기본 작업 방향	횡방향	- 선박 접안방향 (좌현->우현, 우현->좌현) - 중앙->바깥쪽, 바깥쪽->중앙
	종방향	- 수평 순서(horizontal order)
		- 수직 순서(vertical order)
	야드 장비	- S/C는 계단식 순서, T/C는 수직 순서
유형별 일괄 작업	규격	- 20ft,40ft,45ft별 일괄작업
	종류	- 컨테이너 종류별 일괄 작업(Reefer, Over-Dimension)
	위치 제약	- Under deck, On deck, Under water line 고려
	공 컨테이너	- 공 컨테이너 일괄작업
추가적 고려사항	선박 안정성	- GM 확보를 위하여 중량 컨테이너 하단 적재
	동선 최소화	- S/C, T/C의 블록간, 베이간 이동 최소화
	장비교체 최소화	- 컨테이너 장치장의 하역 장비 교체 최소화
	위치 고정	- 선사가 지정한 고정 위치에 컨테이너 적재
	단적 중량	- 단적 중량 제한 준수
	G/C 통과 높이	- 추가적인 선내이적 발생 - 접안방향 뒤쪽 상단 컨테이너 우선 작업
	Hatch cover	- 형상과 종류에 따른 작업 고려 - 갑판상 컨테이너 작업 전에 반드시 설치
	셀 가이드	- 셀 가이드 없고, 20ft 컨테이너 양하 - 두 개의 인접 베이를 교대로 작업
	High-cubic	- 선창내, 갑판상의 적재 요소
	충돌 및 간섭	- S/C, T/C간의 작업 간격 고려

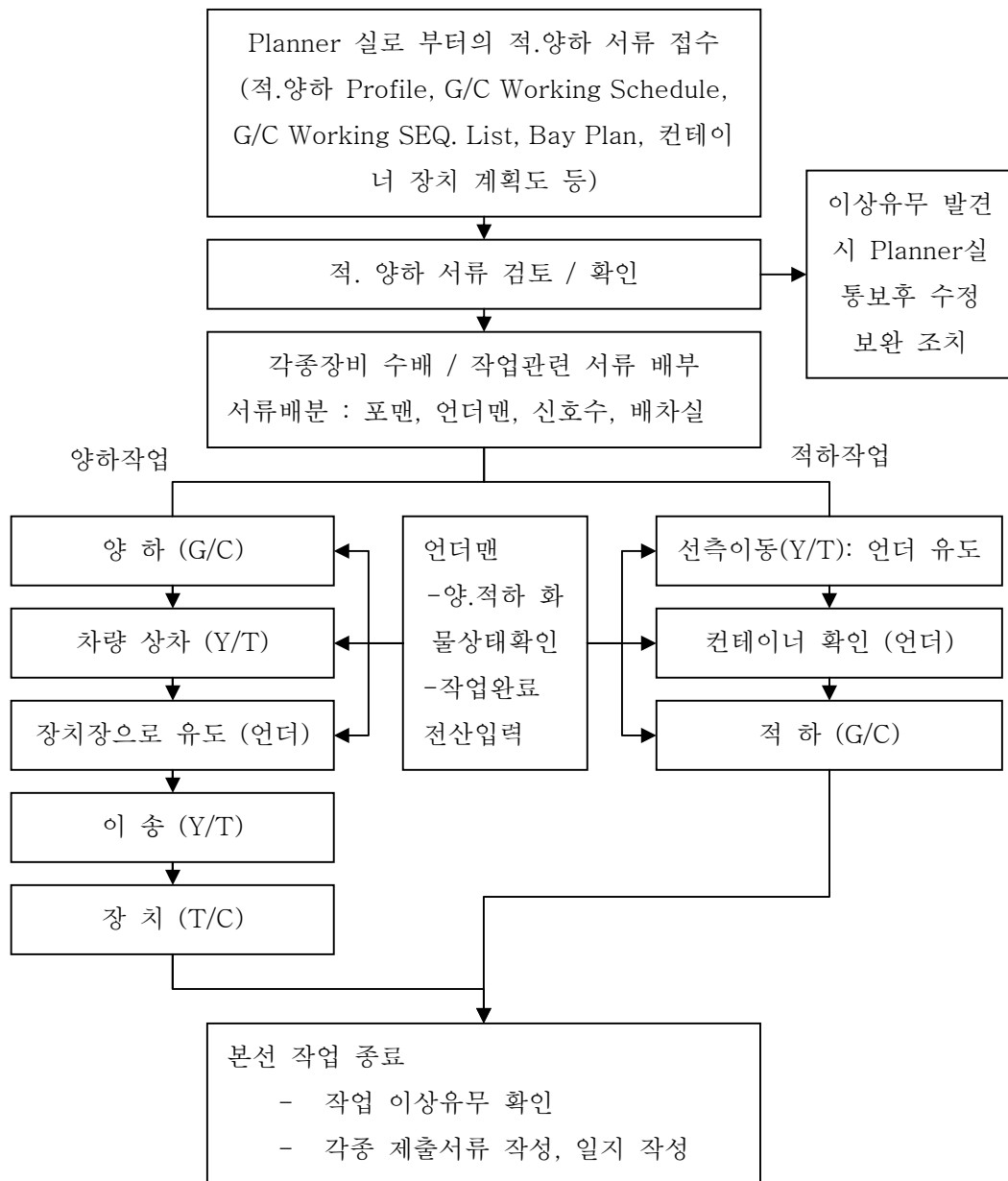
2.2 컨테이너 하역 작업

컨테이너 터미널의 하역 작업은 선박의 G/C 배정 계획, 양.적하 계획이 수립된 후 실제 선박이 입항 하면서 시작된다. 이러한 작업은 기본적으로 G/C 배정 계획에서 수립된 Hatch별 이동 순서와 양.적하 계획에서 수립된 본선 Bay내의 작업 순서에 따라 컨테이너를 선적하고 하역하게 된다.

여기서 사전계획은 본선 Planner에 의해 작성이 되고 작성된 적.양하 Profile, G/C Working Schedule, G/C Working Sequence, Bay Plan, 컨테이너 장치 계획도를 실제 작업자인 언더맨, 포맨, 본선 컨트롤 타워가 지급을 받고 본선작업을 실시한다. 본선 작업자중 본선 컨트롤 타워에서는 각종 서류 배부 및 업무 지시사항을 통보하며 작업 진행사항을 파악하여 각종 작업 내용을 정정조치를 하여 선사 및 관계 업체와 업무 협조를 하며 긴급 상황 및 본선의 전반적인 작업을 모니터링 하고 작업자들과 작업 기기를 관리, 감독한다. 그리고 언더맨은 직접적으로 G/C 작업을 컨트롤 하는 작업자로 신호수에게 작업을 지시하며 양.적하 컨테이너를 확인하여 전산 처리한다. 그리고 본선 컨트롤 센터에서는 터미널 전체 작업이 원활하게 이루어지도록 하기 위해 작업을 변경, 관리하고 있으며 포맨과 언더맨은 작업 선박 및 G/C의 작업을 변경, 제어한다.

기본적으로 배정된 G/C들이 수립된 계획의 Hatch에 위치하여 하나의 Hatch를 작업 시작하게 되면 Hatch의 Bay들에 결정되어 있는 순서에 따라 컨테이너 작업을 하고 하나의 Hatch단위 작업을 완료하면 다음 순서 Hatch를 작업하고 모든 Hatch를 작업 완료하면 선박의 하역 작업이 완료되게 된다. 이렇게 각 작업자들은 사전계획에 기본 하여 작업을 실시하며 실시간 상황을 고려하여 작업자들의 판단에 의하여 작업 하면서 세부작업들을 변경하여 작업하고 있으며 이는 실제 작업하는 작업자들에 따라 상당히 다른 결과를 가져오고 있다.

[그림 2-1]은 컨테이너 본선 하역에 있어서 각 작업자들의 위치와 하역 작업의 흐름도이다.



[그림 2-1] 본선 하역 작업 흐름도

2.3 사전계획의 한계

일반적으로 선박의 하역 작업은 사전계획에서 수립된 G/C 배정 및 작업순서에 따라 선박의 작업을 실시한다. 하지만 실제 선박이 접안 하여 하역 작업을 수행하면 실시간 상황에 맞지 않게 수립된 사전계획으로 인하여 보다 효율적인 작업을 위해 사전계획이 수정되어야 하는 부분이 발생하게 되며 실제 운영상 이러한 경우 언더맨 및 현장 기사, 컨트롤 타워에서 직관적으로 문제를 해결한다. 이는 다음과 같이 크게 세 가지의 변경사항으로 나누어 볼 수 있다.

- (1) 본선의 위치 변경
- (2) G/C의 작업순서 및 G/C 배정 변경
- (3) Sub Sequence (Bay내 작업순서) 변경

이러한 변경 사항은 모두 작업자의 직관에 의해 판단하여 작업을 변경하게 된다. 이는 일정한 규칙이 정해져 있지 않으며 작업자마다 다른 작업결과를 가져 온다. 또한 작업자는 전체적인 작업상황을 고려 하지 않고 당시 문제만 해결하는 경우가 많이 있다. 이러한 문제점으로 터미널 전체적인 면에서 보다 효율적인 작업이 가능한 경우도 있으나 실제로 이러한 의사결정을 내릴 수 없게 된다. 그리고 이러한 변경사항으로 인해 실제 작업자들의 혼란이 일어날 수 있다. 변경이 일어나는 사항들을 살펴보면 다음과 같다.

2.3.1 본선의 위치 변경

본선의 위치 변경은 특정 컨테이너가 선적될 위치가 변경되는 경우로써 선사의 요청에 의해 변경되는 경우와 사람이 작성한 사전 계획의 실수로 인해 잘못된 위치에 컨테이너가 지정되어 있을 경우가 있다.

<표 2-4> 본선 위치 변경 사항

운영 문제	문제 상황
선사의 특정 컨테이너 위치 요청	- 다수의 컨테이너 위치 지정 요청 - 소수의 컨테이너 위치 지정 요청
잘못된 컨테이너 Plan	- Reefer 컨테이너의 일반위치 Plan - Over-dimension 적재 불가능한 위치

이러한 경우의 문제 해결은 해당 컨테이너가 소수인 경우 전산 데이터상으로 간단하게 수정하여 해결하는 경우가 있으며 다수의 컨테이너인 경우 본선 Planner에 의해 다시 계획을 작성하는 경우도 있다. 이때 계획을 위해 본선의 작업을 중단하기도 한다.

2.3.2 G/C의 작업순서 및 G/C 배정 변경

G/C의 작업 순서와 G/C의 배정은 G/C가 Hatch단위로 작업을 하는데 있어 하나의 G/C의 고장, 투입 등의 이유로 G/C간의 물량배정과 작업순서가 변경되는 것을 말한다.

<표 2-5> G/C 작업순서 및 G/C 배정 변경 사항

운영 문제	문제 상황
G/C 의 작업 분배 / 재배정	- 하나의 G/C 고장
	- 하나의 G/C 투입
	- 하나의 G/C의 작업이 긴 경우
G/C 작업 순서 변경	- 이웃 G/C의 부딪힘 현상
	- 다른 G/C와 동일 Block, Bay 작업을 할 경우
	- 선박의 안정성

	- 특정 Bay의 수리
야드 상황	- 야드의 Workload 과부화 - 특수 컨테이너 일관작업 - 미착 컨테이너

G/C의 고장의 경우는 아주 특수한 경우로 하나의 G/C가 작업을 하지 못하게 되는 경우이다. 이때에는 하나의 G/C 물량을 나머지 G/C가 총 작업 완료시간을 최소화 할 수 있도록 나누어 가지게 되며 이때 G/C배정 및 작업순서가 변경된다. 그리고 하나의 G/C를 투입함으로써 남은 작업을 균등하게 분배하여 본선 작업을 빠르게 진행하는 경우도 있으며 하나의 G/C작업이 다른 G/C에 비해 많이 남은 경우 이 G/C의 작업을 분배하는 경우도 있다. 이러한 경우들은 모두 G/C의 배정 및 작업 순서가 바뀌게 되며 작업자들은 본선 G/C의 장비간 충돌, 야드 장비의 간섭을 고려하여 작업 순서를 임의로 변경한다. 그리고 작업 중에 G/C 장비간의 충돌 예방을 위해 다음 Hatch작업을 우선하는 경우, 하나의 야드 장비(T/C)가 두 대 이상의 G/C를 지원하게 되면 효율적인 작업을 할 수 없게 되고 야드에서는 지체가 되고 본선에서는 기다림 현상이 발생하게 되는데 이러한 경우를 예측하여 본선 작업자가 서로간의 G/C작업 순서를 조정하게 된다. 또 본선의 안정성, 특정 Bay의 수리로 인한 작업지연, 미착 컨테이너 작업 등으로 인하여 G/C의 작업순서가 변경되며 이런 경우 Hatch 작업 순서를 앞뒤로 변경하는 경우가 많다.

2.3.3 Sub Sequence (Bay내 작업순서) 변경

G/C 작업 순서라 하면 Hatch의 작업 이동 순서라 얘기 할 수 있다. 이에따라 Sub Sequence는 G/C가 Hatch 작업 순서에 따라 이동하면 해당 Hatch에 있는 Bay의 작업을 실시하게 되며 이때 Bay내에 있는 컨테이너를 양.적하 하기위해 정해진 순서를 말한다. <표 2-6>은 이렇게 컨테이너의 하역 순서가 변경되는 사항을 나타낸다.

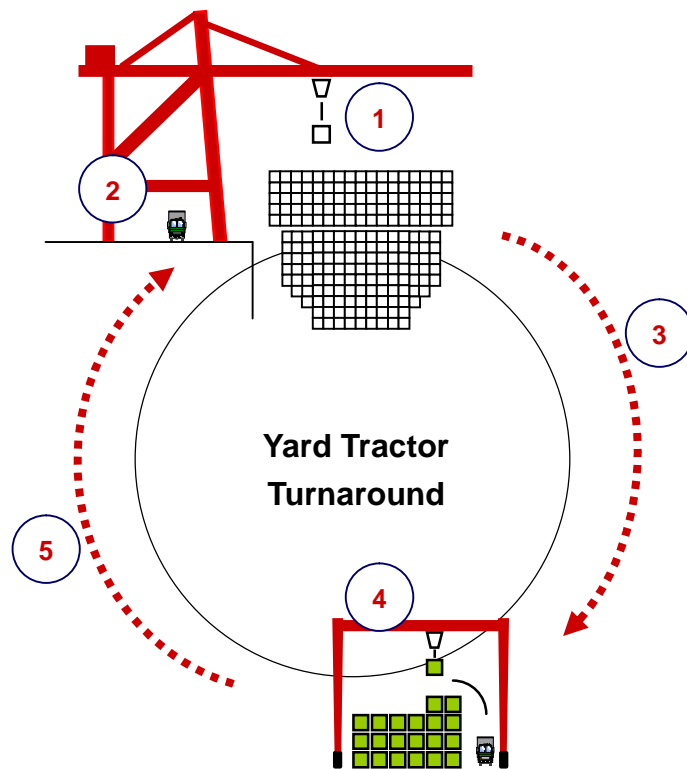
<표 2-6> 본선 Bay내 작업 순서 변경 사항

운영 문제	문제 상황
본선 상황	<ul style="list-style-type: none"> - Twin Lift가 가능한데 Plan이 되지 않은 경우 - Twin Lift로 Plan이 되어 있는데 Cell 특성상 가능하지 않은 경우 - 선박의 안정성을 고려 - 특정 Cell의 일괄작업
야드 상황	<ul style="list-style-type: none"> - 야드의 작업이 용이한 컨테이너의 우선작업 - 야드의 다른 작업으로 컨테이너를 즉시 꺼내기 어려운 경우
긴급/미착 컨테이너	<ul style="list-style-type: none"> - 우선 순위 작업을 해야하는 경우

컨테이너 하역 작업에 있어서 Bay내의 작업 순서를 변경하는 것은 주로 본선 및 Yard의 상황에 따라 변경이 되는데 이는 실시간으로 Yard 상황이 계속적으로 변화되는데 원인이 있다. 사전계획 시 올바른 순서로 수립이 되었으나 Yard의 상황이 변화하여 실제 작업시 높은 순위에 있는 컨테이너가 낮은 순위에 있는 컨테이너 보다 Yard에서 하역하기 어려운 경우가 발생하는 것이다. 이때 낮은 순위의 컨테이너를 먼저 하역 하여도 본선 작업에 지장이 없으면 작업자의 의견에 따라 우선 작업을 하게 되고 작업 순서가 변경되는 것이다. 이외에도 본선 작업을 하면서 본선의 안정성에 위협이 있을 정도로 선박이 기울어 지는 경우, Cell 특성을 잘못 이해한 Planner의 실수, 우선 순위 작업에 의해 세부작업 순서가 변경되는 것이다.

2.4 효율적인 운영 방식 도입

일반적으로 컨테이너의 하역작업은 하나의 G/C가 하나의 컨테이너를 하역하는 방식을 사용하고 있다. 다음은 일반적인 컨테이너의 하역작업 순서이다.



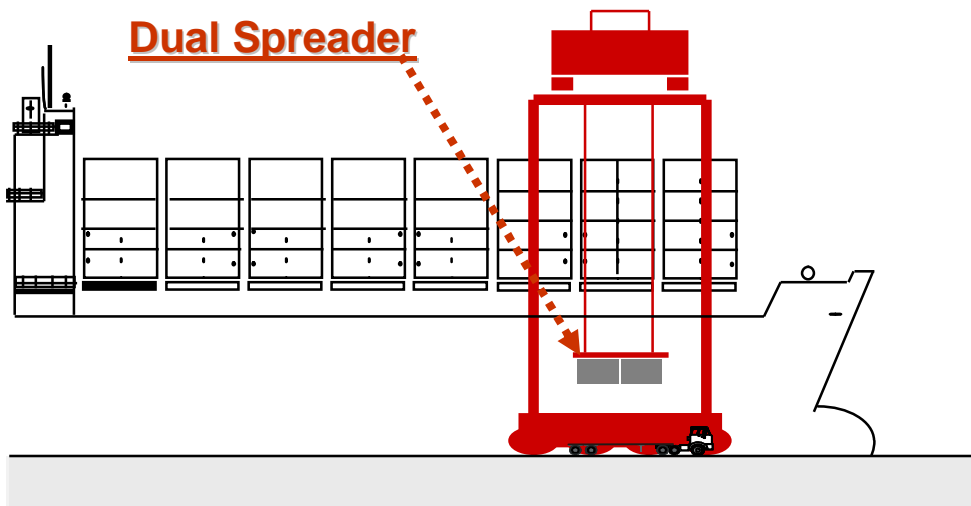
[그림 2-2] 일반적인 컨테이너 하역 작업

컨테이너의 하역작업을 양하를 기준으로 하여 살펴보면, G/C가 컨테이너를 양하 하기 위해 본선에 적재되어 있는 컨테이너로 위치하여 컨테이너를 Pick-up한다. 하역된 컨테이너를 Yard Tractor에 적재한다. YT는 양하 컨테이너를 싣고 정해진 Yard의 위치로 이동한다. T/C가 YT에 적재되어 있는 컨테이너를 해당 위치에 하역한다. 하역되어 공차가 된 YT는 다시 해당 G/C 위치로 이동한다.

적하의 경우는 T/C에서 대상 컨테이너를 적재하는 데서 시작하며 위의 작업 순서와 반대이다. 이와 같이 G/C와 T/C는 한번에 하나의 컨테이너를 대상으로 하역작업을 한다. 하지만 하역 기술의 발전으로 20ft컨테이너를 한번에 두 개씩 하역할 수 있는 장비가 보급되면서 두 번의 작업을 한번으로 줄일 수 있는 작업운영 방식이 등장하게 되었다. 이러한 효율적인 운영방식을 이용하면 터미널의 생산성 향상의 큰 방법이 될 것이다.

2.4.1 Twin Lift

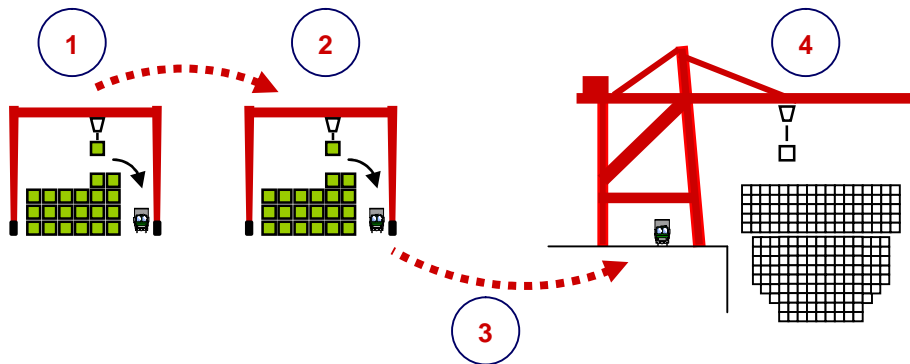
Twin Lift는 동시에 두 개의 20ft 컨테이너를 집을 수 있는 Dual Spreader를 이용하여 한번에 두 개의 20ft 컨테이너를 한번에 실어주게 되는 것이다. 이는 20ft 컨테이너의 두 번 작업을 한번으로 줄여주며 YT가 Yard를 두 번 왕복 하는 시간을 한번으로, 그리고 G/C가 두 번의 컨테이너 하역작업을 한번으로 줄여주는 효과가 있다. 이는 아주 효율적인 작업방식이라 볼 수 있다.



[그림 2-3] 본선의 Twin Lift 작업

2.4.2 Twin Dispatch

Twin Dispatch는 20ft 컨테이너 두 개를 한 대의 YT에 배차하여 두 번 운송하여야 할 것을 한번에 운송 함으로써 한번의 YT의 Turning Time을 줄일 수 있게 된다.



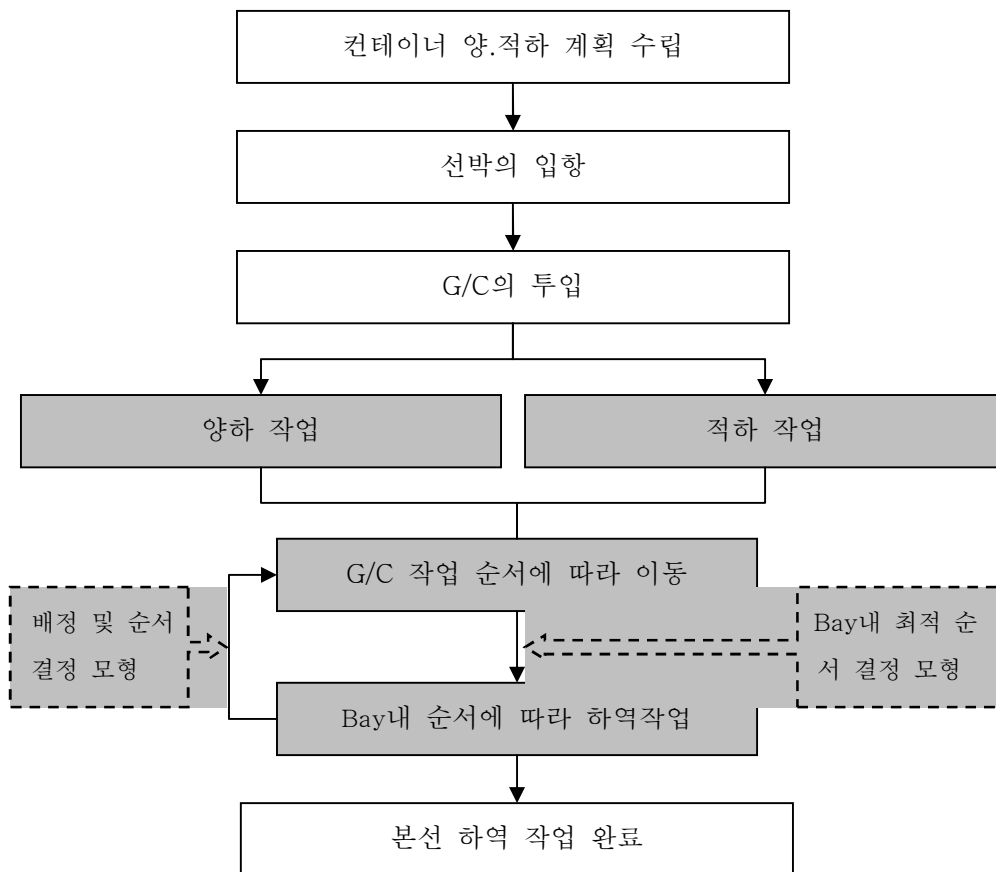
[그림 2-4] 본선의 Twin Dispatch 작업

그림과 같이 Twin Dispatch 작업은 Twin Lift와 같이 20ft 컨테이너 두 개를 동시에 이송하는 운영방식으로 적하작업을 예로 들면 Yard에서 T/C가 20ft 컨테이너 한 개를 YT에 적재한다. YT는 다음 20ft 컨테이너를 적재하기 위해 첫 번째 T/C에서 혹은 다른 Yard의 T/C 위치로 이동하여 두 번째 20ft 컨테이너를 적재한다. 두 개의 20ft 컨테이너를 적재한 YT는 선적작업을 위해 본선 G/C로 이동한다. 본선 G/C에서 선적작업을 한다. 이때 Twin Lift를 이용하여 선적작업을 할 수 있으며 각각 컨테이너를 선적할 수 있다. 이렇게 Twin Dispatch는 20ft 컨테이너를 하나의 YT에 배차하는 것이며 두 개의 20ft컨테이너의 선적 순서가 앞뒤로 맞아야 하며 인접 지역에 있어야 효율적으로 작업이 가능하다. 그렇지 않은 경우는 하나의 컨테이너가 선적작업 후 YT가 다음 작업을 위해 대기하여야 하는 경우가 발생하기 때문이다. 여기서 20ft의 적재, 선적 작업은 하나의 T/C에 의해 2개의 20ft컨테이너를 적재할 수도 있고, 서로 다른 두 개의 T/C에서 적재할 수 있다. 또한 선적작업도 하나의 G/C 혹은 서로 다른 G/C에서 각각 다른 선적작업을 할 수 있다. 서로 다른 장비로 작업할 시에는 첫 번째 적재작업 후 다음 작업을 위해 이동하여야 한다.

제 3 장 문제의 해법 연구

3.1 문제의 범위

이상의 내용에서 컨테이너 터미널의 운영업무를 컨테이너 선적과 관련한 하역계획 방식 및 작업방식, 사전계획의 한계, 효율적인 운영 방식에 중점을 두어 살펴보았다. 컨테이너 터미널에서 실시간 하역 작업은 G/C의 작업 순서와 Bay내의 컨테이너 작업 순서에 따라 이루어진다.



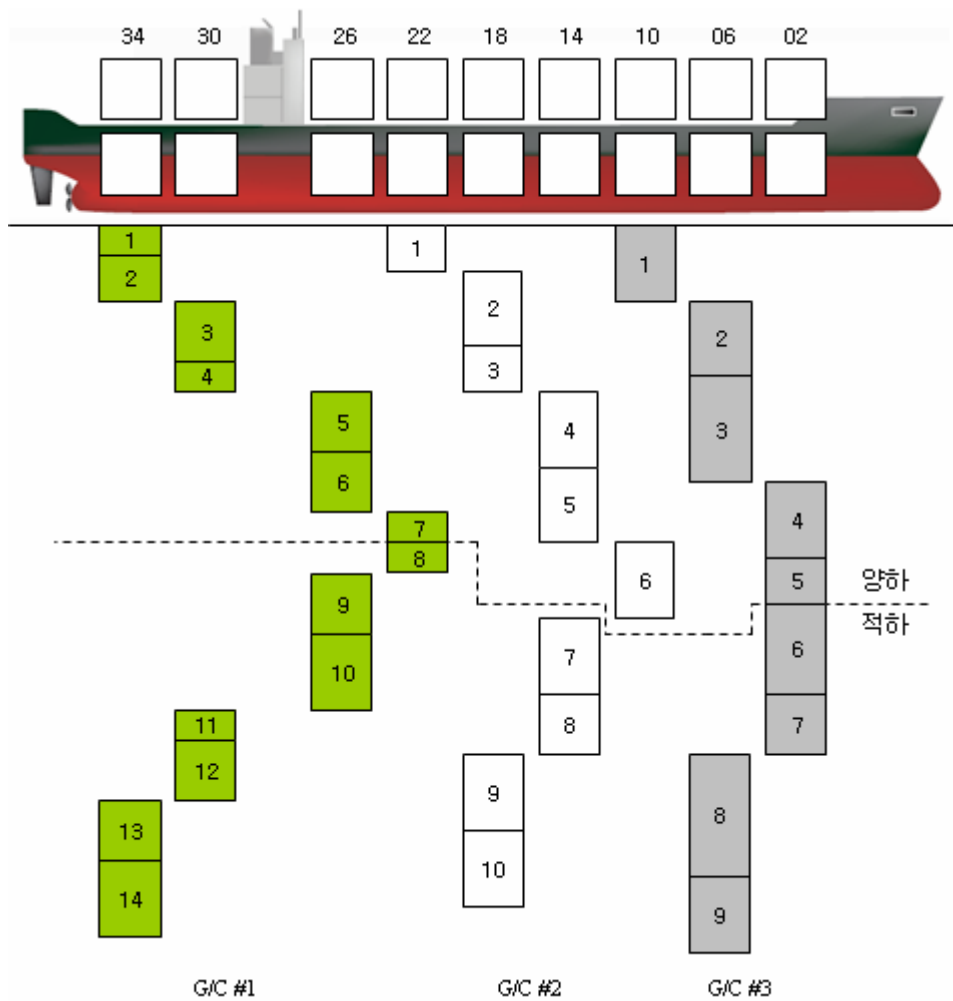
[그림 3-1] 컨테이너 터미널의 본선 적.양하 계획 및 작업

본선의 선적작업은 선박이 입항하고 계획에 맞게 G/C가 투입된 후부터 시작이 된다. G/C 배정 및 작업순서는 Hatch단위로 계획되어 있어 있으며 이에 따라 G/C가 각 Hatch에 투입되고, 하나의 Hatch 작업을 시작하게 된다. 하나의 Hatch단위 작업들을 완료하면 다시 다음 Hatch로 이동하여 다음 Bay 작업을 한다. 하지만 실제 본선 하역작업 시 G/C의 고장, G/C의 간섭, 야드 간섭 등의 상황에 따라 사전계획에 따라 작업되지 못하고 있으며 작업자에 의해 G/C배정 및 작업 순서, Bay내의 컨테이너 하역작업 순서를 임의로 바꾸어 오고 있다. 따라서 본 연구에서는 컨테이너 본선작업에 있어 사전 선적계획을 바탕으로 하여 실시간 상황을 고려한 G/C 배정 및 작업순서를 재결정 하고, Bay내 작업 순서 결정모형을 제안하고자 한다. 첫 번째로 실제 본선하역 작업 중 G/C의 고장, G/C간의 간섭 등과 같은 작업이 변경되어야 하는 경우 각각의 G/C를 재배정 하고 G/C의 작업순서를 다시 결정하는 등의 문제해결 규칙과 해법을 연구 하고 두 번째로 G/C가 하나의 Hatch내의 각각의 컨테이너들의 하역작업을 위해 실제 상황에서 Bay내 작업순서 결정 모형을 연구한다. 이와 같이 선박의 작업시간을 단축하는 의사결정 지원모형을 제시하는 것이 본 연구의 범위이다. 또한 Bay내 작업 순서 규칙을 결정함에 있어 보다 효율적인 운영 방식인 Twin Lift, Twin Dispatch를 지원할 수 있는 해법을 제시하고자 한다.

3.2 G/C 배정 및 작업 순서 모형

일반적으로 크레인의 작업은 선박의 선창(Hatch)단위로 이루어지게 되며, 하나의 Hatch에서 작업이 완료되면 다음 Hatch로 옮겨가 작업을 한다. 여기서 G/C의 작업 순서는 선박이 입항하기 사전계획에 의해 작성된다. 이 사전계획은 한 선박에 투입될 G/C에 대해서 가능하면 작업량을 투입된 크레인 별로 평준화하여 전체 하역 작업시간을 최소화 하도록 작성이 되며, 크레인간에 작업 교차가 허용되지 않으며 최소 작업간격을 유지하게 되어 있다. 하지만 실제 작업 중 G/C의 고장에 의한 중단, G/C의 Long Gang과 같은 상황이 발생하게 되면 G/C의 물량을 다시 배정해야 할 뿐 아니라 작업 순서도 다시 결정 되어야 한다.

또한 사전계획은 하나의 선박에 투입되는 G/C만 가지고 선박의 작업완료 시간 최소화에 맞춰 작성이 되어있다. 이는 터미널 전체를 두고 보았을 때 다른 선박의 G/C작업에서 동일한 Block, Bay에 동일한 예상시간에 같이 작업을 하게 될 수 있는 상황도 일어나게 된다. 이러한 상황을 야드의 간섭현상이라 말하며 이 때에도 G/C의 작업순서는 변경되어야 한다.



[그림 3-2] 일반적인 G/C 배정 및 작업 순서

본선 크레인 작업도 사전계획과 마찬가지로 일반적인 작업 규칙을 가지고 있으며 본 연구에서는 크레인의 일반적인 작업 제약조건을 만족하면서 터미널 전체의 관점에서 야드의 간섭을 최소화하며 전체 선박의 작업 시간을 최소화 하데 목적을 두고 실시간 상황을 빠르게 대처할 수 있도록 의미 있는 시간 내에 계획을 도출하고 다양한 제약조건들을 고려할 수 있는 발견적 해법을 연구하도록 하겠다.

3.2.1 발견적 해법 연구

G/C의 작업 순서가 변경이 되는 경우로는 위에서 살펴 본 것과 같이 G/C간의 간섭현상, 야드에서의 간섭현상, 본선의 특정 Hatch 수리, 그리고 G/C의 재배정이 되고 작업 순서를 다시 정해야 하는 경우 등이 있다. 이들은 각각의 경우 해결방법에 있어 다른 특성을 가지므로 각각을 해결하는 해법과 규칙이 다르며 이러한 각각의 경우에 따른 해법과 규칙을 정의 한다.

해법을 정의 하기에 앞서 G/C의 작업 순서 및 재배정의 공통적인 제약 조건은 기본적으로 사전계획의 규칙과 동일하며 다음과 같다.

크레인의 작업은 기본적으로 Hatch 단위로 이루어 진다.

하나의 Hatch 작업에 대하여 Deck와 Hold의 물량을 각각 상이한 두 대의 크레인이 나누어 작업할 수 있다.

크레인 작업은 적.양하 작업을 모두 고려하며, 각 크레인 별로 양하작업이 적하작업에 선행된다.

양하작업 시에는 Deck의 작업이 Hold의 작업에 선행되며, 적하작업 시에는 Hold의 작업이 Deck의 작업에 선행된다.

크레인간에 작업이 교차되지 않도록 한다.

크레인의 본선작업 투입시각은 상이할 수 있으며, 종료시간에 관한 제약은 없으므로 가정한다.

크레인간의 간섭을 고려하여 크레인간에는 최소작업 거리를 유지한다.

야드의 간섭을 고려하여 두 대 이상의 크레인이 하나의 Block, Bay 작업을 하는 것을 최소화한다.

양하는 선미에서 선수 방향으로, 적하는 선수에서 선미방향으로 한다.

G/C의 사전계획에 의해 배정과 작업순서는 결정되어 있다.

또한 제시된 발견적 해법은 본선의 작업 중인 실시간 상황을 가정하며 이에 따라 이미 끝난 작업에 대해서는 실시간 계획 범위에서 제외하며 이후 남은 작업만을 대상으로 한다. 그리고 G/C가 작업 중임을 가정하여 현재 G/C가 위치해 있는 Hatch가 작업 기준이 된다.

본 연구에서 제시된 해법에서 사용되는 기호는 다음과 같다.

n = 작업 대상 지점의 수

m = 작업 G/C 대수

a_{ij} = G/C가 i 작업 후 j 작업 시 G/C 이동 시간

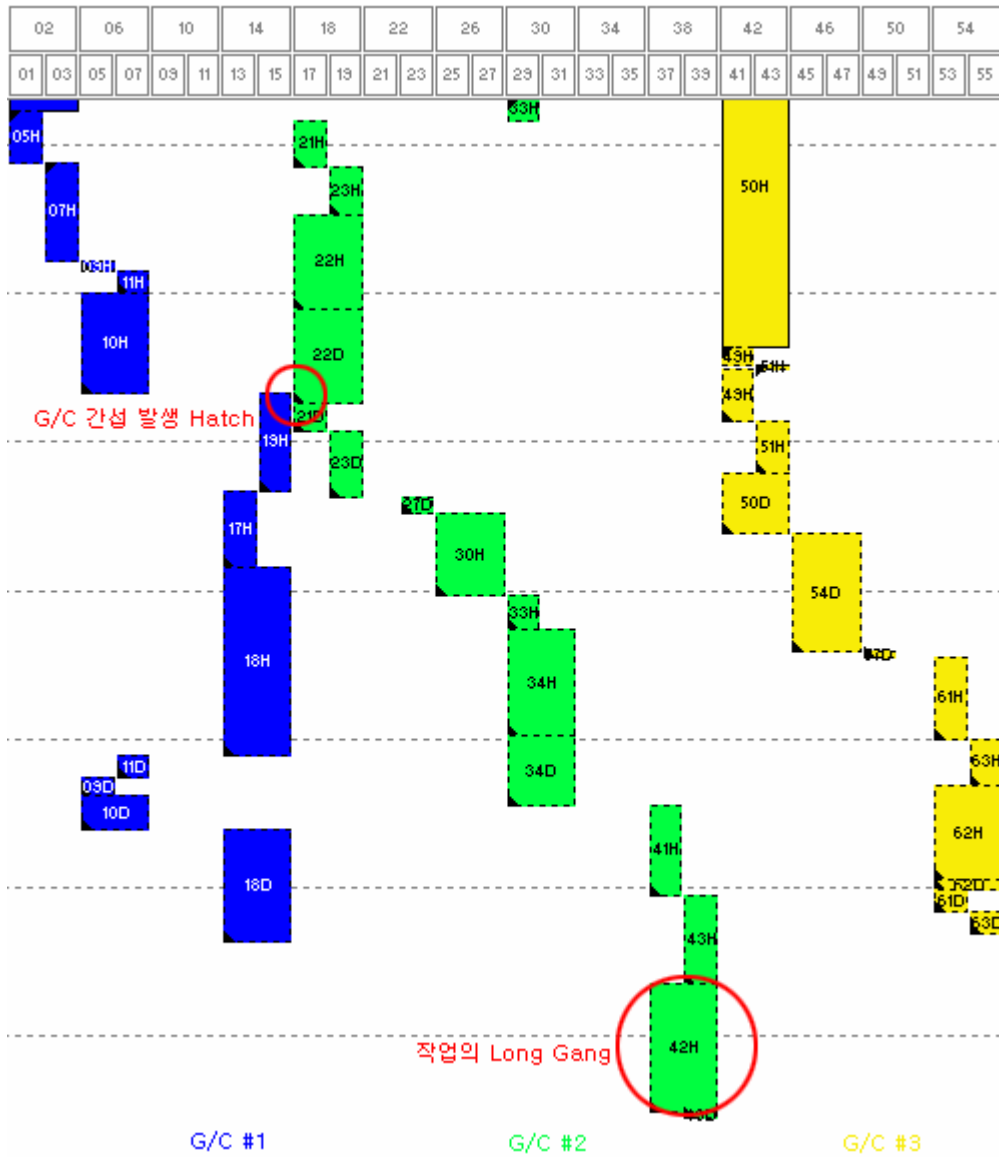
t_i = i 작업의 작업요구 시간

s_i = i 작업의 작업시작 시간

D_{ij} = 간섭이 발생하는 작업 지점 (i,j) 집합

3.3.3.1 G/C 작업 순서 결정

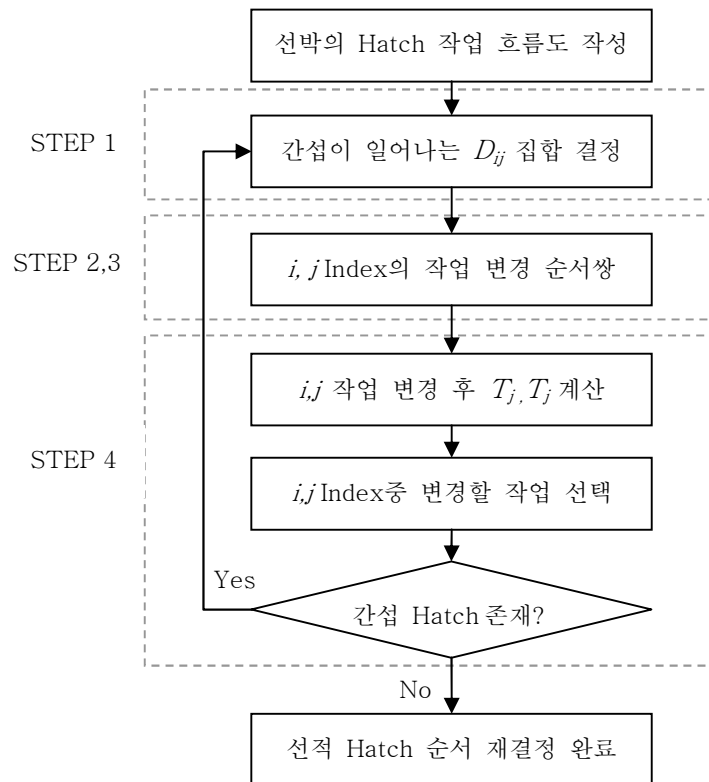
G/C 작업 순서 결정 해법은 모든 작업 대상 Hatch들이 G/C가 모두 배정되어 있는 상황에서 실시간 작업 중에 야드의 간섭, G/C간의 장비 간섭, G/C의 재 배정으로 인하여 G/C의 Hatch간 작업순서 재결정하는 것이다. G/C 작업순서 결정은 사전계획에 의해 정해진 G/C작업 순서를 기본적으로 따르며 시간의 흐름에 따라 예상되는 G/C간의 간섭, 야드 간섭이 일어나는 Hatch 쌍에 대해 해당 Hatch 쌍의 작업순서를 조정하여 전체 선박의 하역 작업 시간을 단축시키고자 한다.



[그림 3-3] G/C Hatch 작업 흐름 예정 순서

위 그림은 실제 3대의 G/C가 배정되어 하역작업을 하고있으면 사전계획에 의해 정해진 Hatch 작업 순서에 따라 예정작업들을 표현한 것이다. 그림에서 보는 것과 같이 본선 작업 18번 Hatch의 Hold 적하작업과 22번 Hatch의 Deck 적하작업이 서로 작업간섭을 예상할 수 있다. 또한 G/C #2의 작업이 다른 G/C #1, G/C #3 번에 비하여 작업완료 예정 시간이

긴 것을 볼 수 있다. 이러한 경우 G/C의 작업순서와 G/C의 작업 재배정을 하지 않으면 선박의 하역 시간을 단축할 수 없게 된다. 따라서 G/C의 작업 순서와 배정을 조정 함으로 터미널의 생산성을 높이는 것이다. 위의 예에서 18번 Hold와 22번 Deck가 G/C 장비 간섭을 보이는데 18번 Hold의 작업 순서를 변경할 수 있는 경우로는 작업 제약규칙에 의해 10번 Hold 앞에 작업을 하는 것과 10번 Deck 뒤에 작업을 하는 것으로 순서를 정할 수 있다. 이때 10번 Hold 앞에 작업을 하게 되면 또 다시 22번 Hold의 작업과 작업간섭을 보임을 알 수 있다. 그리고 10번 Deck 뒤에 작업을 하게 되면 모든 작업간섭을 피할 수 있음을 예상할 수 있다. 또한 22번 Deck의 작업을 이동가능 한 경우는 27번 Deck 뒤, 30번 Deck 뒤, 34번 Hold뒤, 34번 Deck뒤, 42번 Hold뒤가 된다. 이렇게 이동 작업순서 변경이 가능한 경우 각각의 이때 G/C의 이동거리를 최소화 하며 G/C간의 작업간섭을 피할 수 있는 작업 순서를 선택하는 것이다.



[그림 3-4] G/C 작업 순서 결정 절차

이와 같은 발견적 해법을 단계별로 표현 하면 다음과 같다.

[Step 1] – 초기화 단계

- (1) 결정되어 있는 Hatch간의 작업 순서를 각각의 G/C별로 예상 흐름도로 표현
- (2) 시간의 흐름상 장비의 간섭이 발생 하는 D_{ij} 쌍 i,j Index 결정
- (3) [Step2] 단계로 이동한다.

[Step 2] – 첫 번째 Index i 작업의 변경 계산 단계

- (1) i 작업에 대한 작업순서 변경 가능한 작업 순서쌍 X_i 집합 생성
- (2) 각각의 순서쌍에 대해 G/C의 작업 이동, 작업 시간, 다시 발생하는 작업간섭 시간을 고려한 변경된 총 작업 시간 $T_i = \sum \sum (a_{ij} + t_j)$ 을 계산한다.
- (3) T_i 가 가장 작은 순서쌍 X_i 를 선택한다.
- (4) [Step3] 단계로 이동한다.

[Step 3] – 두 번째 Index j 작업의 변경 계산 단계

- (1) j 작업에 대한 작업순서 변경 가능한 작업 순서쌍 X_{ji} 집합 생성
- (2) 각각의 순서쌍에 대해 G/C의 작업 이동, 작업 시간, 다시 발생하는 작업 간섭시간을 고려한 변경된 총 작업 시간 $T_j = \sum \sum (a_{ji} + t_j)$ 을 계산한다.
- (3) T_j 가 가장 작은 순서쌍 X_j 를 선택한다.
- (4) [Step4] 단계로 이동한다.

[Step 4] – 작업 순서 결정 단계

- (1) 변경 가능한 X_i, X_j 에서 전체 선박의 작업시간 T 를 단축 하는 작업 순서 변경을 선택하고 작업 순서를 변경한다.
- (2) 더 이상 작업 시간을 단축 할 수 있는 순서 쌍이 없을 때까지 [Step1] 단계로 이동한다. 전체 작업시간을 단축하지 못하면 끝을 낸다.

3.3.3.2 G/C 재 배정

G/C 작업 재배정 해법은 G/C의 고장 및 작업지연으로 인한 특정 G/C의 작업이 길어 지거나 작업이 불가능할 때 선박의 전체적인 작업시간을 단축하기 위해 G/C간의 작업을 균등하게 분배, 할당하는 것이다. 이 해법은 선박의 전체적인 하역시간을 단축하는 것을 목적으로 하며 특정 G/C의 작업이 긴 경우 해당 G/C의 Hatch단위 작업을 작업시간이 짧은 다른 G/C에게 재 배정하여 전체 작업시간을 단축시키고자 한다.

이와 같은 발견적 해법을 단계별로 표현하면 다음과 같다.

[Step 1] – 초기화 단계

- (1) 결정되어 있는 Hatch간의 작업순서를 각각의 G/C별로 예상 흐름도로 표현
- (2) 전체 작업상 가장 늦게 끝이 나는 G/C의 Hatch별 작업 X_i 집합 생성
- (3) [Step2] 단계로 이동한다.

[Step 2] – 해당 G/C의 좌측 G/C에 배정 단계

- (1) X_i 집합상의 각각의 i 작업에 대하여 좌측 G/C에 임의 배정하고 각각 i 작업을 배정시의 전체작업 예상시간 T_i 를 계산
- (2) T_i 가 가장 작은 집합 X_i 의 i Index를 선택 한다.
- (3) [Step3] 단계로 이동한다.

[Step 3] – 해당 G/C의 우측 G/C에 배정 단계

- (1) X_i 집합상의 각각의 j 작업에 하여 우측 G/C에 임의 배정하고 각각 j 작업을 배정시의 전체작업 예상시간 T_j 를 계산
- (2) T_j 가 가장 작은 집합 X_i 의 j Index를 선택한다.

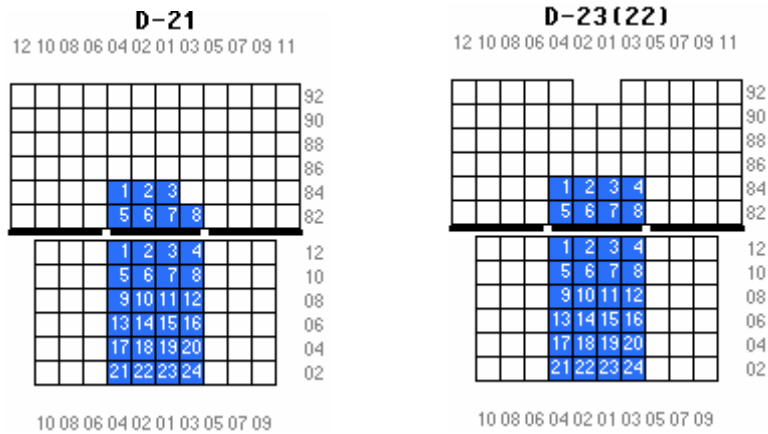
(3) [Step4] 단계로 이동한다.

[Step 4] – 작업 재 배정 결정 단계

- (1) 선택된 i, j Index 에서 전체 선박의 작업시간 T 를 단축 하는 작업을 선택하고 작업 G/C를 변경한다.
- (2) 더 이상 작업 시간을 단축할 수 있는 순서쌍이 없을 때 까지 [Step1] 단계로 이동한다. 전체 작업시간을 단축하지 못하면 끝을 낸다.

3.3 Sub Sequence 순서 결정 모형

G/C의 배정 및 작업순서 결정이 끝나고 실시간으로 G/C가 하나의 Hatch를 작업하기 위해 Hatch로 이동하면 Bay내의 작업 순서를 결정 하여야 한다. 실제 사전계획에서 Bay내 컨테이너의 하역 순서가 결정되어 있지만 실제 상황에 맞게 순서를 재조정 함으로써 빠른 시간으로 Bay내 작업을 완료할 수 있게 의사결정 하는 것이다.

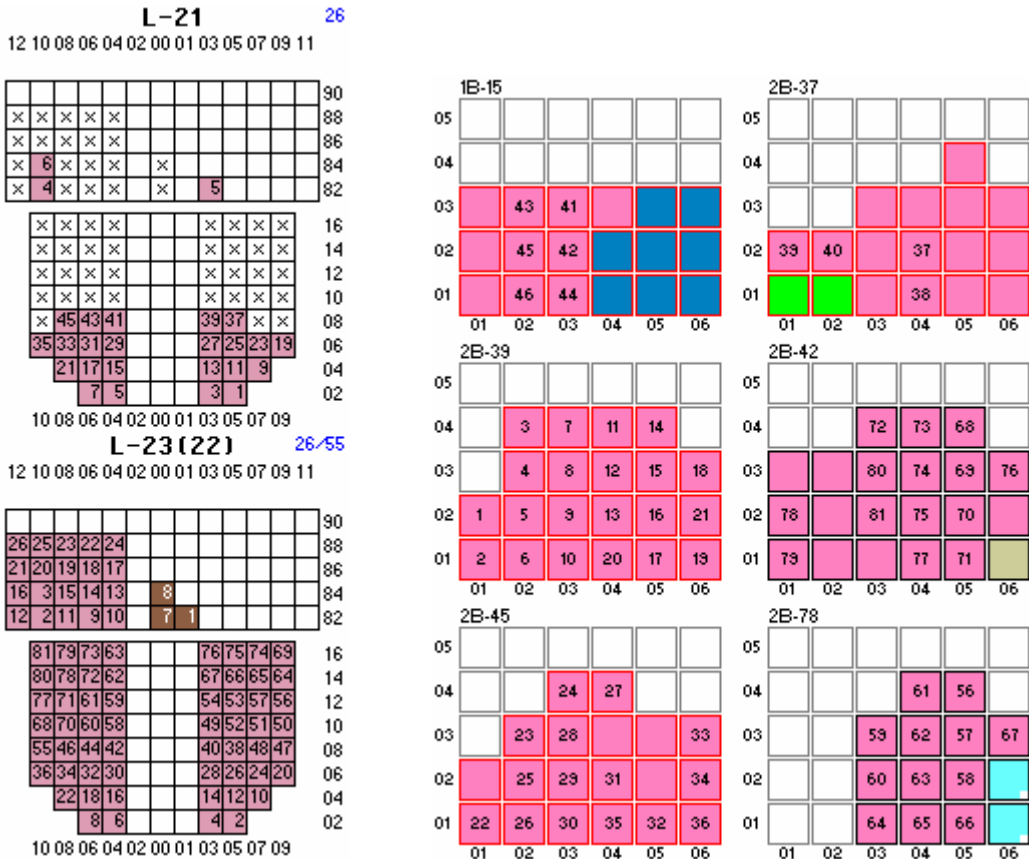


[그림 3-5] 일반적인 양하 Bay내 작업 순서

우선 양하작업은 그림과 같이 하나의 Hatch 작업 베이인 21번, 23번 베이에서도 각각의

Hold, Deck별로 작업 순서를 결정하며 선박의 접안형태에 따라 선석쪽-> 바깥쪽으로 횡방향 작업하는 것을 볼 수 있다. 이렇게 양하작업 순서 결정은 본선 사전계획의 양하작업 규칙을 따른다.

다음은 일반적인 적하 작업순서를 보여 준다.

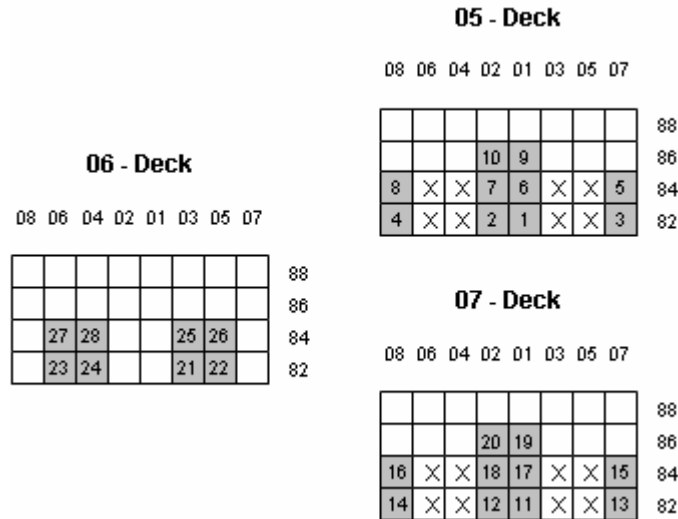


[그림 3-6] 일반적인 적하 Bay내 작업 순서 (왼쪽 본선, 오른쪽 Yard)

적하 컨테이너의 선적작업 순서는 그림과 같이 야드 베이에서의 작업 순서와 선박의 컨테이너 작업 순서를 매칭시켜 동시에 결정하여야 한다. 여기서 야드의 작업 순서를 정하여만 야드에서 장비간의 간섭 및 재취급이 줄어들게 된다. 그리고 Twin Lift, Twin Dispatch 작업을 최대한 할 수 있도록 작업 순서를 정의하며 전체적인 작업 시간을 단축할 수 있으며 본 연구의 모형에서는 일반적인 적하작업 순서 규칙을 바탕으로 Bay작업 시간을 최소화 하는데 목적함수를 두고 작업 순서를 결정한다.

3.3.1 발견적 해법 연구

본 절에서는 실제로 컨테이너 터미널에서 선적작업 시 G/C가 Hatch단위 작업을 위해 하나의 Hatch에 작업을 시작할 때, 해당 Hatch내의 각각의 Bay들의 작업시간을 단축하기 위한 작업 순서를 재결정하는 해법을 제시하고자 한다. 본 해법은 의미 있는 시간 내에 작업 계획을 도출하고 다양한 제약조건들을 고려하였으며, 2장에서 살펴본 실제 작업자들의 작업 방식을 기초로 하여 Bay내 작업시간 단축에 중점을 두고 작성되었다.

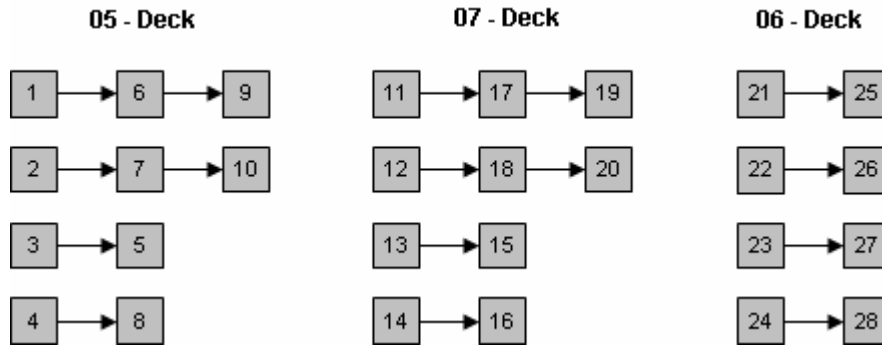


[그림 3-7] Hatch의 Hold, Deck 단위로 순서화되어 있는 Bay Plan

위 그림과 같은 G/C는 Hatch단위로 작업을 하며 하나의 Hatch에서도 Hold와 Deck를 각각 따로 작업을 한다. 이는 하나의 G/C가 한 Hatch의 Hold만을 작업하고 다음 G/C가 Deck 작업을 할 수 있으며, 양하의 경우 Deck작업이 완료 되면 Hatch Cover를 해체하고 적하의 경우 Hold작업이 완료되면 Hatch Cover를 닫기 때문이다. 이렇게 하나의 Hatch에서 Hold, Deck 작업 순서가 나누어져 있으며 하나의 Hatch는 구조상 3개의 Bay를 가질 수 있다. 원래는 하나의 40ft Bay이지만 40ft Bay에 2개의 다른 20ft 컨테이너를 실을 수 있기 때문이다. 구조에 따라서 40ft 전용 Bay와 20ft 전용 Bay가 존재할 수 있다. 본 논문에서의

작업 순서도 이렇게 Hatch의 Deck, Hold 단위로 결정한다.

그림과 같이 적하작업의 경우 1번 작업이 완료되어야만 6번 작업이 가능하며 하나의 Bay내에서는 이와 같은 선행관계가 형성된다.



[그림 3-8] Bay Plan상의 컨테이너 선행관계

이와 같은 5번 컨테이너를 작업하기 위해서는 반드시 1번 컨테이너가 선행되어야 하며 7번 컨테이너도 마찬가지로 2번 컨테이너가 선행되어야 한다. 하지만 1번 컨테이너 이후에 반드시 7번 컨테이너를 작업하여야 하는 것은 아니고 2번을 작업할 수도 있고 3번을 작업할 수도 있다. 이와 같은 작업 순서는 사전계획에 의해서 결정되어 있으나 실제 작업 직전에 다시 실시간 상황을 고려하여 작성하면 보다 좋은 결과를 얻을 수 있다.

따라서 기본 순서를 바탕으로 새롭게 작업할 컨테이너의 순서를 결정하기 위해 야드의 재취급, G/C의 작업 위치 변동, T/C의 작업 위치 변동, 야드의 작업 부하, Twin Lift, Twin Dispatch 등의 평가값을 계산한다. 평가값의 계산식은 아래와 같다.

$$P_{ij} = W_{ij} + GC_{ij} + TC_j + TL_{ij} + TD_{ij} + R_{ij}$$

여기서)

i, j = 컨테이너 순번

P_{ij} = i 컨테이너 작업 후 j 컨테이너 작업시의 평가값

W_j = j 컨테이너 작업시의 재취급과 작업 과부하 평가값

GC_{ij} = G/C의 i 컨테이너 작업위치와 j 컨테이너 작업의 편의성

TC_j = j 컨테이너의 T/C 작업시의 평가값

TL_{ij} = i 컨테이너 작업과 j 컨테이너를 Twin Lift 작업 결정시 평가값

TD_{ij} = i 컨테이너 작업과 j 컨테이너를 Twin Dispatch 작업 결정시 평가값

R_{ij} = i 컨테이너 작업과 j 컨테이너의 일괄작업 평가값

컨테이너의 재취급과 작업 과부하의 평가값 W_j 의 계산은 j 컨테이너를 꺼내기 위해 j 컨테이너가 Yard Bay내에서 최상단에 있지 않은 경우 j 컨테이너의 상단 컨테이너를 사전작업을 하여야 하며 이때 발생하는 재취급을 평가 단위로 계산하며, 또한 j 컨테이너 작업 이전에 해당 Bay에서 이전작업이 발생하여 기다림이 발생하는 경우 평가단위로 계산한다.

G/C의 작업을 위한 이동에 따른 평가값 GC_{ij} 는 i 컨테이너를 작업 후 j 컨테이너를 작업하기 위해 G/C가 이동하게 되는 범위를 평가단위로 계산 한다. 이는 Hatch의 앞쪽 20ft 컨테이너를 하역한 후 뒤쪽 20ft 컨테이너를 하역하게 되면 G/C가 하역을 위해 이동하여야 하기 때문에 발생하는 시간 손실을 평가 단위화 한 것이다. 이는 20ft 작업후 40ft 작업을 하기 위해서도 G/C의 이동이 발생한다.

T/C의 작업 효율성 평가값 TC_j 의 계산은 j 컨테이너를 작업하기 위해 T/C의 하역 위치에 대한 평가 값이다. 이는 j 컨테이너를 작업하기 위해 근처에 있는 T/C가 j 컨테이너 Bay로 이동해야 할 때 발생하는 시간 손실을 평가 단위화 한 것이다.

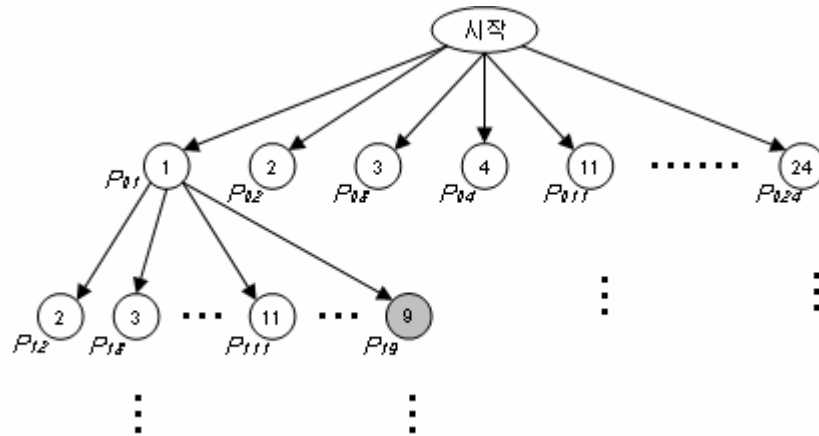
ij 두개의 컨테이너를 동시에 선적하는 운영 방안인 Twin Lift에 대한 평가값 TL_{ij} 의 계산은 20ft 컨테이너를 Hatch의 앞,뒤 Bay에 Dual Spread를 이용하여 선적하는 방식으로 두 컨테이너의 선적 위치, 하단 선적 작업들의 완료 여부, 두 컨테이너 무게 합이 제약과 같은 규칙 조건들이 따르며 이러한 조건이 일치하는 컨테이너 쌍 ij 이면 평가값을 부여하는 것이다.

ij 두개의 컨테이너를 함께 배차하여 본선, 야드간에 하나의 차량으로 이동하는 운영 방식 Twin Dispatch에 대한 평가값 TD_{ij} 의 계산은 20ft 컨테이너를 하나의 Yard Trailer에 적재 할 수 있으면서 Yard에서 하역 작업 시 동일 Bay내에 위치, 선적 작업 시 하단 작업의

완료와 같은 제약 조건을 만족 하는 컨테이너 쌍 ij 이면 평가 값을 부여하는 것이다.

컨테이너의 일괄작업 평가값 R_{ij} 의 계산은 공 컨테이너, 위험물, **Over-Dimension**, 냉동 컨테이너와 같은 경우는 야드의 작업 특성상 같은 종류의 컨테이너를 일괄 작업하게 된다. 공 컨테이너가 하역작업을 하게 되면 이후 계속적으로 공 컨테이너 작업을 할 수 있도록 동일 속성의 컨테이너에 평가값을 주어 일괄작업을 할 수 있도록 한다. 이는 i 컨테이너가 공 컨테이너이면 j 컨테이너의 속성에 따라 평가 단위를 계산하는 것이다.

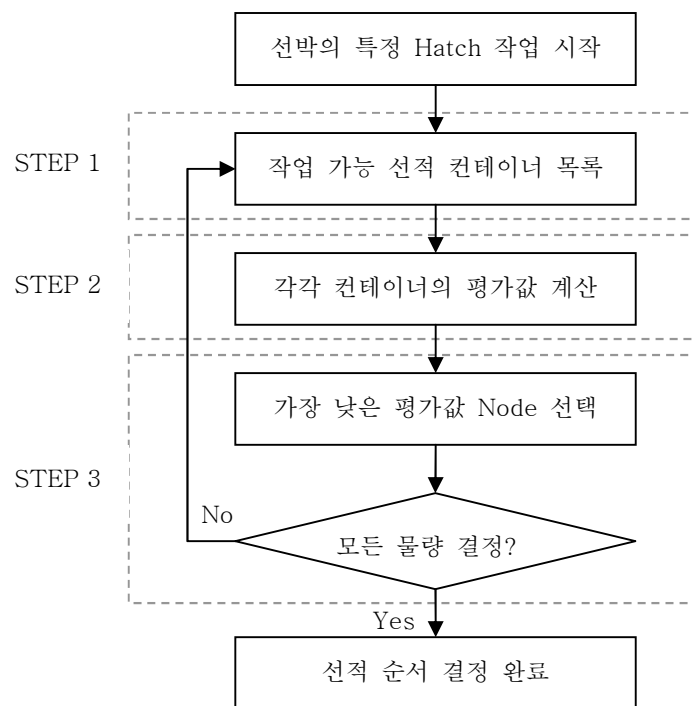
이렇게 계산된 평가값은 평가값의 크기가 클수록 보다 효율적이지 못한 작업으로 결정되며 각각의 단계에서 평가값이 낮은 컨테이너 작업 순서쌍을 구하고자 한다.



[그림 3-9] 컨테이너 순서 결정의 선행 관계의 예

컨테이너의 선적 순서 결정은 [그림 3-8]의 예와 같이 **Tree**구조로 표현될 수 있다. 각각의 **Arc**는 컨테이너 작업 단계를 나타내고 **Node**는 i 번 컨테이너 작업 후 j 번 컨테이너의 작업을 나타내며 여기서 **Node**의 값으로 평가값 P_{ij} 를 사용하게 된다. 그리고 그림의 예와 같이 단계 1에서 하나의 컨테이너가 선택이 되면 첫 번째 적하 컨테이너가 결정이 되는 것이고 이때 단계 1에서 선택 되지 못한 컨테이너는 단계 2에서의 적하 후보가 되는 것이다. 여기에서 위에서 살펴본 **Bay Plan**상의 컨테이너 선행관계를 지켜야 한다. 예를 들면 만약 단계 1에서 1번 컨테이너를 선택 하고 나면 나머지 2번, 3번, 4번, 24번 컨테이너들은

1번 컨테이너 후행 컨테이너 대상이 되는 것이고 여기서 1번 컨테이너 작업 후 Bay Plan 상의 9번 컨테이너 작업도 가능하기 때문에 9번 컨테이너도 작업 후보가 되어서 평가값을 계산하게 된다. 이와 같이 최종 컨테이너의 순서가 결정되기까지 위와 같은 단계과정을 진행하여 간다. 여기서 보다 합리적이고 빠른 처리시간으로 결정하기 위해 각 단계에서 평가값이 결정이 되면 그 중에서 가장 낮은 하나의 컨테이너 Node를 선택하고 나머지 Arc의 다음 단계 Node들은 버리고 선택된 Arc의 다음 단계 Node들만 계산에 반영한다.



[그림 3-10] Bay Plan 컨테이너 순서 결정 단계 구조

본 연구에서 제시된 해법에서 사용되는 기호는 다음과 같다.

n = 해당 Hatch의 하역 작업 수

X_{ij} = 작업 가능한 Arc쌍 (i, j) 집합

P_{ij} = i 컨테이너 작업 후 j 컨테이너 작업시의 평가값

이와 같은 발견적 해법을 단계별로 표현하면 다음과 같다.

[Step 1] - 초기화 단계

- (1) 최초 i Index를 선택 - 최초 0에서 시작 혹은 이전에 선택된 Arc의 j Index
- (2) 선택된 i 에서 다음 선적 가능한 j 목록 집합 X_{ij} 을 생성
- (3) [Step2] 단계로 이동한다.

[Step 2] - 평가값 계산 단계

- (1) 선적 가능 컨테이너 목록 집합들의 평가값 P_{ij} 계산
- (2) [Step3] 단계로 이동한다.

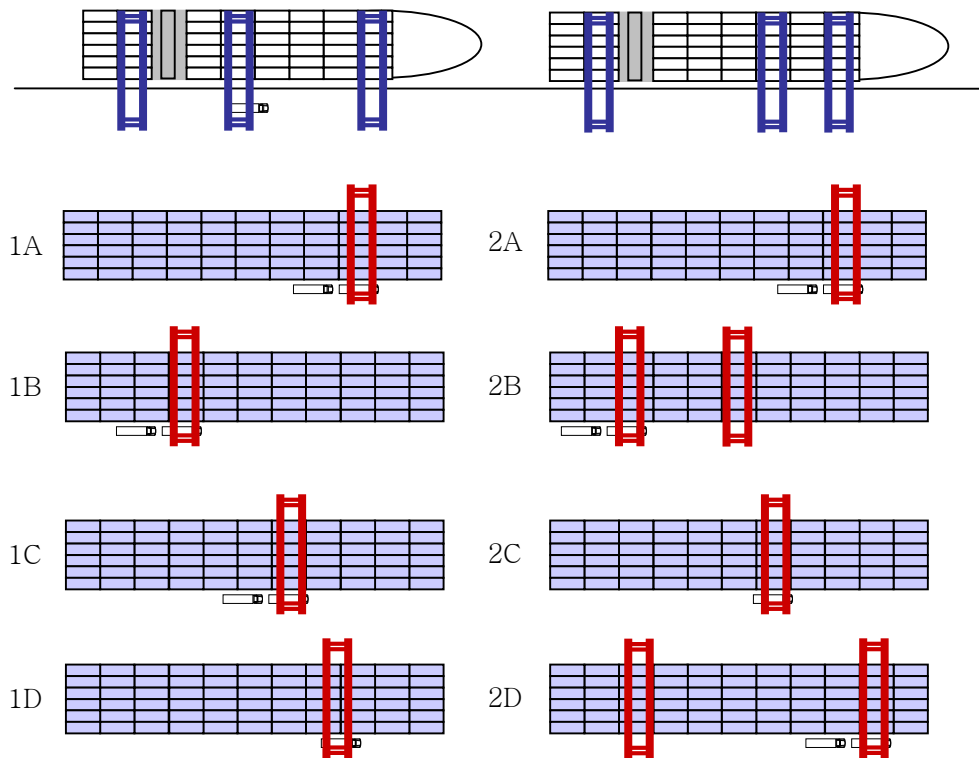
[Step 3] - 순서 결정 단계

- (1) P_{ij} 가 가장 낮은 i, j Arc를 선택 한다.
- (2) 가장 낮은 P_{ij} 가 두 개 이상이면 j 의 Index번호가 낮은 Node를 선택한다.
- (3) 더 이상 진행할 Arc가 존재하지 않으면 끝을 내고 존재하면 [Step1] 단계로 이동한다.

제 4 장 해법의 적용

4.1 해법의 검증

본 연구에서 수립한 의사결정 모형의 타당성을 검증하기 위해서 [그림 4-1]과 같은 터미널 레이아웃과 모의 선박 자료를 설정하였다. 터미널의 선석은 2개이며 터미널 장치장은 아래와 같이 구성되어 있다. 장치장은 일반적으로 사용되는 6열 4단의 구조로 설정하였다.



[그림 4-1] 컨테이너 터미널 Layout

그리고 발견적 해법의 구현을 위해 Visual Basic 6.0 개발 툴을 이용하였다. 프로그램은 해법의 실제 구현을 위한 시스템 로직과 실제 터미널에서 작업자가 의사결정을 내릴 수 있도록 해법의 결과를 GUI(Graphic User Interface)로 구성하였다.

또한 모형의 상황을 실시간 작업 상황에 맞게 하기 위해 다음과 같은 가정을 하였다.

선석은 1번 선석과 2번 선석 2개가 있다.

현재 터미널에 접안해 있는 선박은 2척이다.

각각의 선박의 3대의 G/C에서 양.적하 작업을 한다.

선박의 하역작업을 위한 YT는 충분히 있다.

각 블록에는 하역작업을 하는 있는 TC가 위치해 있다.

모션항차와 장치장내 컨테이너, 선박의 선적계획 관한 사전정보는 실제로 터미널에서 계획을 실행한 자료 및 장치되어 있는 정보를 일부 가공하여 사용하였다.

4.1.1 적용 자료

우선 G/C의 작업 순서 결정모형과 재배정 모형을 적용하기 위해서 [표 4-1]과 같이 G/C 대수는 3대로 하고 각각 Hatch별 물량을 다음과 같이 배정하였다.

<표 4-1> VDMR-01 항차의 Hatch별 물량

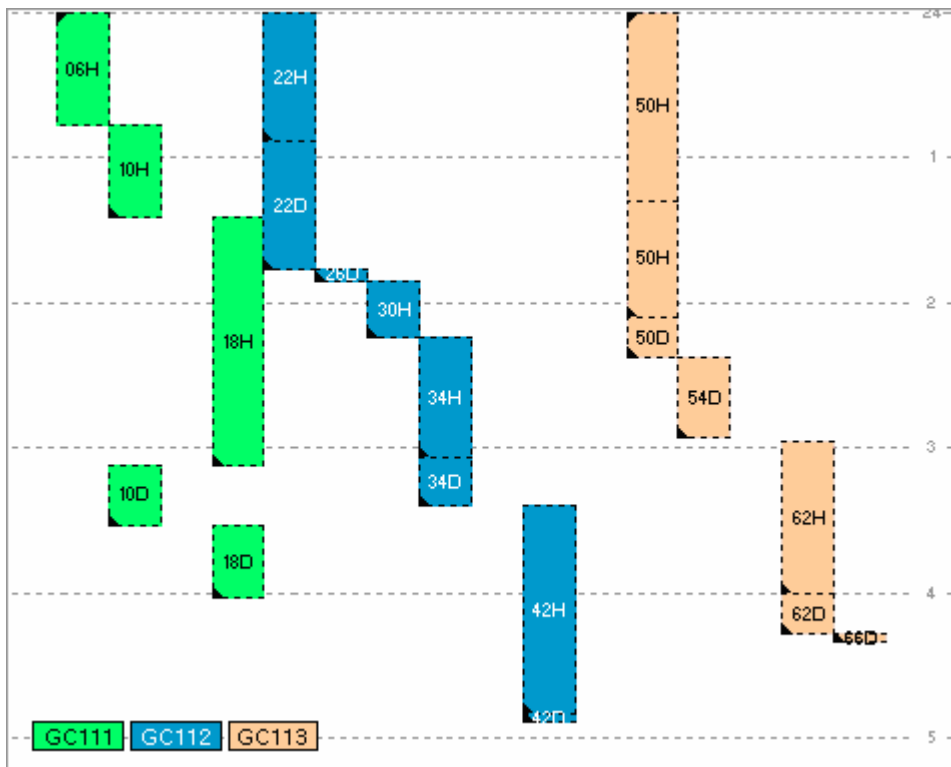
구분	06	10	14	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	58	62	66
양 D	27			3		7		63		12		52	12	13	11	16
하 H	44		4					64		33		57				54
적 H		23		62	32		14	30		52		29				38
하 D		13		19	32	3		12		1		10	20	1	10	2

<표 4-2> VDMR-01 항차의 Hatch별 작업 순서

구분	06	10	14	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	58	62	66
양 D	3			1		5		3		1		6	5	4	2	1
하 H	4		2					4		2		7			3	
적 H		1		2	1		4	5		7		1			5	
하 D		3		4	2	3		6		8		2	3	4	6	7

■ : 선박의 하역 작업이 완료된 상태

또한 실제 상황을 고려하기 위해 현재 G/C의 작업 배정과 순서가 사전계획에 의해 결정이 되어있는 상태이며 각각 G/C의 양하작업이 완료단계에 있는 상태이다. 다음은 사전계획에 의해 결정되어 있는 작업 순서와 배정을 흐름도로 표현한 것이다.



[그림 4-2] G/C별 작업 흐름도

그림과 같이 사전 계획에 의해 작업을 흐름도로 나타낸 결과 18번 Hold와 22번 Deck가 서로 장비간섭을 보이며 또한 GC112호기의 작업이 다른 G/C의 작업에 비해 상대적으로 많은 것을 볼 수 있다.

이러한 경우에 G/C간의 작업 순서 재 결정과 재 배정을 통해 전체 작업시간을 단축 할 수 있을 것이다.

그리고 Bay내 작업 순서 결정 모형을 적용하기 위해 현재 06번 Deck의 선적 작업 자료를 [표 4-3]와 같이 설정하였다.

<표 4-3> 06 Hatch의 Bay내 작업 컨테이너 목록

Seq	Job	Size	Full/Empty	POD	Vessel Position				Yard Position			
					Bay	H/D	Row	Tier	Block	Bay	Row	Tier
1	L	20	Full	YOK	05	D	01	82	1B	17	03	02
2	L	20	Full	YOK	05	D	02	82	1B	17	02	01
3	L	20	Empty	YOK	05	D	09	82	1C	09	01	02
4	L	20	Empty	YOK	05	D	03	82	1C	09	01	01
5	L	20	Empty	YOK	05	D	04	82	1C	09	02	04
6	L	20	Empty	YOK	05	D	10	82	1C	09	02	03
7	L	20	Empty	YOK	05	D	09	84	1C	09	02	02
8	L	20	Empty	YOK	05	D	03	84	1C	09	02	01
9	L	20	Empty	YOK	05	D	01	84	1C	09	03	04
10	L	20	Empty	YOK	05	D	02	84	1C	09	03	03
11	L	20	Empty	YOK	05	D	04	84	1C	09	03	02
12	L	20	Empty	YOK	05	D	10	84	1C	09	03	01
13	L	20	Empty	YOK	05	D	03	86	1C	09	04	04
14	L	20	Empty	YOK	05	D	01	86	1C	09	04	03

15	L	20	Empty	YOK	05	D	02	86	1C	09	04	02
16	L	20	Empty	YOK	05	D	04	86	1C	09	04	01
17	L	20	Empty	YOK	05	D	01	88	1C	09	05	04
18	L	20	Empty	YOK	05	D	02	88	1C	09	05	03
19	L	20	Empty	YOK	07	D	09	82	1C	09	05	02
20	L	20	Empty	YOK	07	D	10	82	1C	09	05	01
21	L	20	Empty	YOK	07	D	09	84	1C	09	06	03
22	L	20	Empty	YOK	07	D	10	84	1C	09	06	02
23	L	20	Full	YOK	07	D	01	82	1B	17	03	01
24	L	20	Full	YOK	07	D	02	82	1B	17	05	02
25	L	20	Full	YOK	07	D	04	82	1A	59	04	01
26	L	20	Full	YOK	07	D	03	82	1A	57	04	01
27	L	20	Full	YOK	07	D	03	84	1A	57	05	01
28	L	20	Empty	YOK	07	D	01	84	1A	55	06	01
29	L	20	Empty	YOK	07	D	02	84	1A	53	04	01
30	L	20	Empty	YOK	07	D	04	84	1A	55	02	02
31	L	20	Empty	YOK	07	D	03	84	1A	53	05	01
32	L	20	Empty	YOK	07	D	01	86	1A	43	01	01
33	L	20	Empty	YOK	07	D	02	86	1A	55	03	02
34	L	20	Empty	YOK	07	D	04	86	1A	55	03	01
35	L	20	Empty	YOK	07	D	01	86	1A	55	05	02
36	L	20	Full	YOK	07	D	02	88	1A	57	03	01
37	L	40	Full	YOK	06	D	07	88	1A	14	04	01
38	L	40	Full	YOK	06	D	05	82	1A	14	02	01
39	L	40	Full	YOK	06	D	06	82	1A	14	04	02

40	L	40	Full	YOK	06	D	08	82	1A	14	05	02
41	L	40	Full	YOK	06	D	05	82	1A	14	03	02
42	L	40	Full	YOK	06	D	06	84	1A	14	06	01
43	L	40	Full	YOK	06	D	08	84	1A	14	01	01
44	L	40	Full	YOK	06	D	07	84	1B	12	03	04
45	L	40	Full	YOK	06	D	07	86	1B	12	05	01

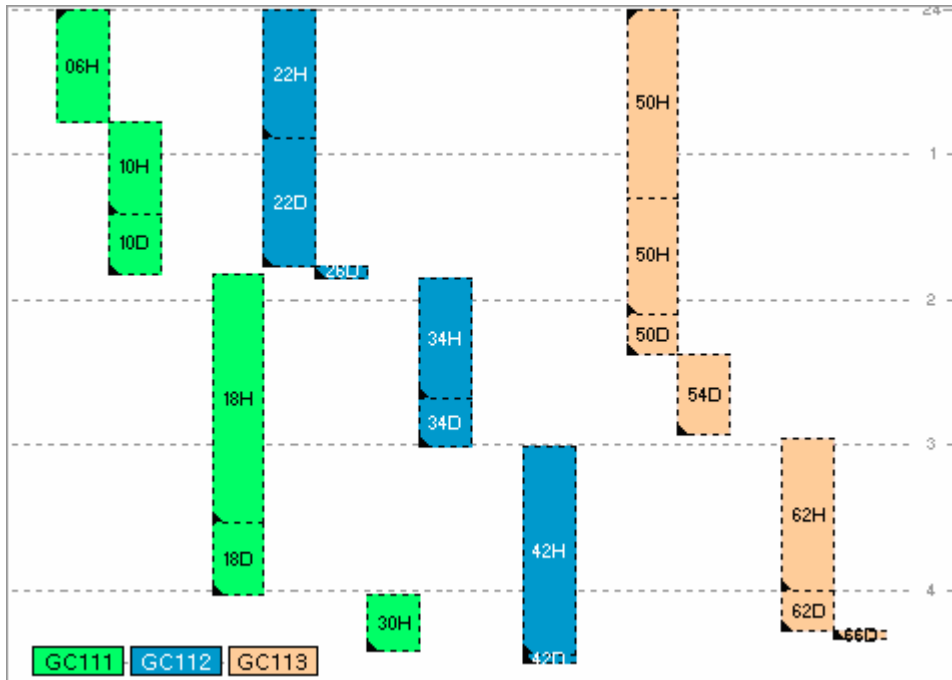
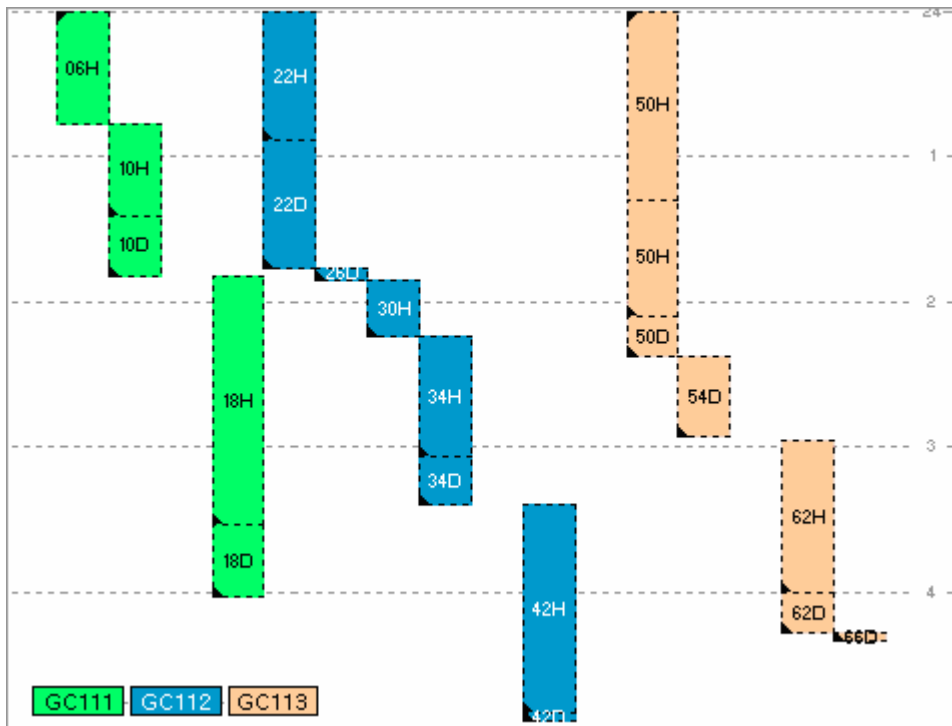
이와 같이 각각의 자료는 실시간 선적계획 지원을 위해 선박의 실제 작업 중 한 시점 상황을 자료화 하였으며 다음은 본 연구에서 나온 해법을 적용하여 본 결과이다.

4.1.2 G/C 배정 및 작업 순서 결정

[표 4-2]의 자료와 같이 선박의 일부 하역작업이 완료 되었으며 앞으로 남은 작업을 순서대로 하였을 때 GC111호기의 18번 Deck 작업과 GC112호기의 22번 Hold작업이 서로 충돌하여 동시에 작업이 불가능한 것을 예측할 수 있다. 그리고 전체적인 작업 흐름을 보자 GC112호기의 작업이 많이 남아 있으므로 GC112호기의 작업을 적절하게 분배 하면 전체 작업시간을 줄일 수 있으며 터미널의 생산성을 높일 수 있는 것이다.

이에 따라 본 연구에서 제시된 해법으로 첫 번째 단계로 G/C 장비간의 간섭현상의 해결을 위해 G/C 작업 순서 결정모형으로 Hatch간의 작업 순서를 재 결정 하였으며 두 번째 단계로 전체 선박의 하역작업 시간 평균화를 위해 G/C112호기의 작업을 분배하는 모형으로 G/C를 재배정 하였다.

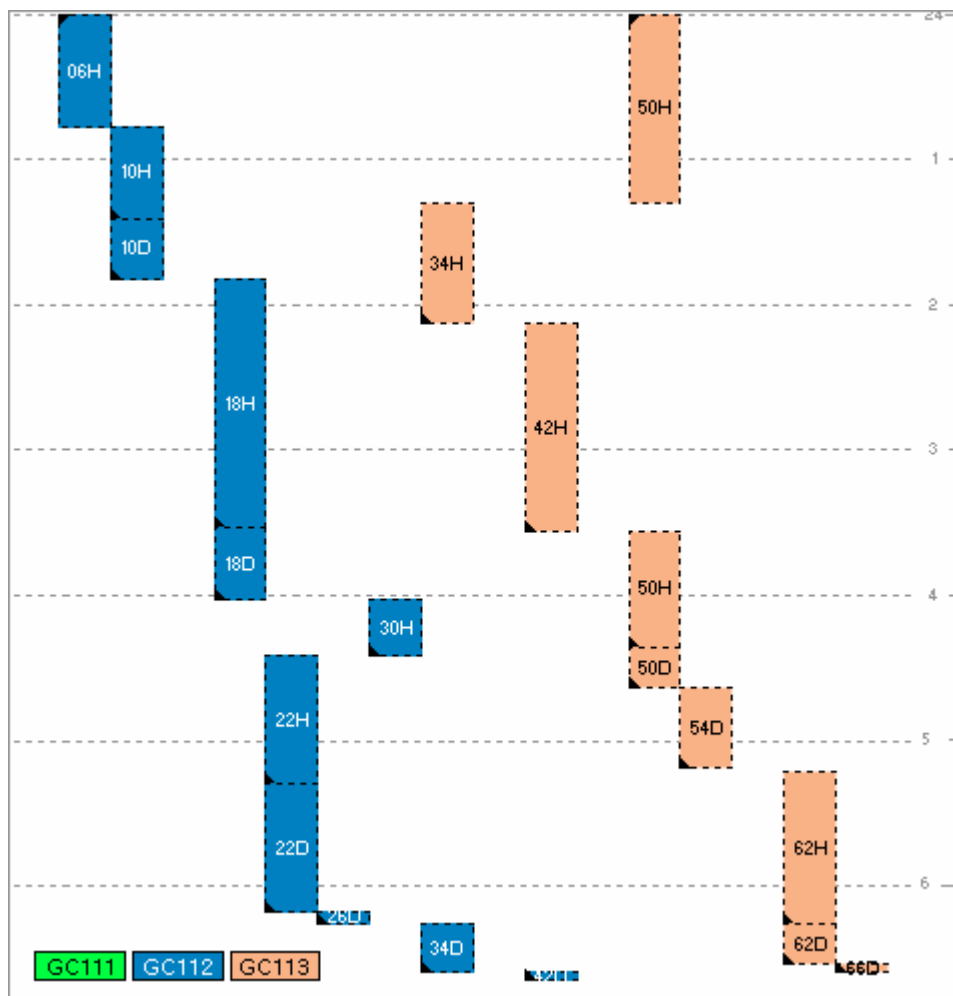
[그림 4-3]은 이렇게 두 단계에 걸쳐 해법을 적용한 결과를 Hatch별 작업의 예상흐름 그래프로 나타낸 것이다. 먼저 첫 번째 단계인 G/C 작업 순서 결정모형에서는 간섭 대상 Hatch인 18번 Hatch를 10번 Deck 이후로 작업 순서를 변경하는 결과가 나왔으며 그림과 같이 간섭을 피하게 되었다. 그리고 두 번째 단계인 전체 작업 평균화에서는 GC112호의 30번 Hold 물량을 GC11호에 배정하고 작업 순서를 18번 Deck 이후로 결정하는 결과가



[그림 4-3] G/C 작업 순서 결정(위)과 재배정(아래) 결과

나왔다. 이는 선박의 전체 작업시간 관점에서 살펴보면 모형 적용 전 예상 작업 시간은 4시간 56분으로 나왔으며 모형 적용 후에는 24분이 단축된 4시간 32분으로 결과가 나왔다. 따라서 본 연구에서 제시된 해법 목적인 전체 작업시간의 단축과 G/C간의 간섭을 피할 수 있도록 결과가 나왔다.

그리고 아주 특수한 경우인 G/C의 고장 등으로 하나의 G/C 모든 물량 작업이 불가능 하여 다른 G/C에 배정하는 것을 본 연구에서 제시한 G/C 재 배정과 작업순서 결정 해법을 통해 살펴보고자 한다.



[그림 4-4] GC111호의 작업 중단으로 G/C 재배정 된 결과

GC111호의 고장으로 인하여 GC111호의 작업이 불가능한 상태로 설정하여 첫 번째 G/C 간의 물량 평준화 해법을 적용하여 GC111호의 물량을 나머지 GC112호와 GC113호에 배정하였고 두 번째로 G/C간의 간섭 및 Yard 작업간섭을 피하기 위해 G/C 작업 순서 결정 모형을 적용하였다.

이러한 경우에도 [그림 4-4]의 결과에서 보듯이 본 연구에서 제시된 해법을 통해 장비간의 간섭을 피하며 전체 물량을 평준화하는 의사 결정을 내릴 수 있었다.

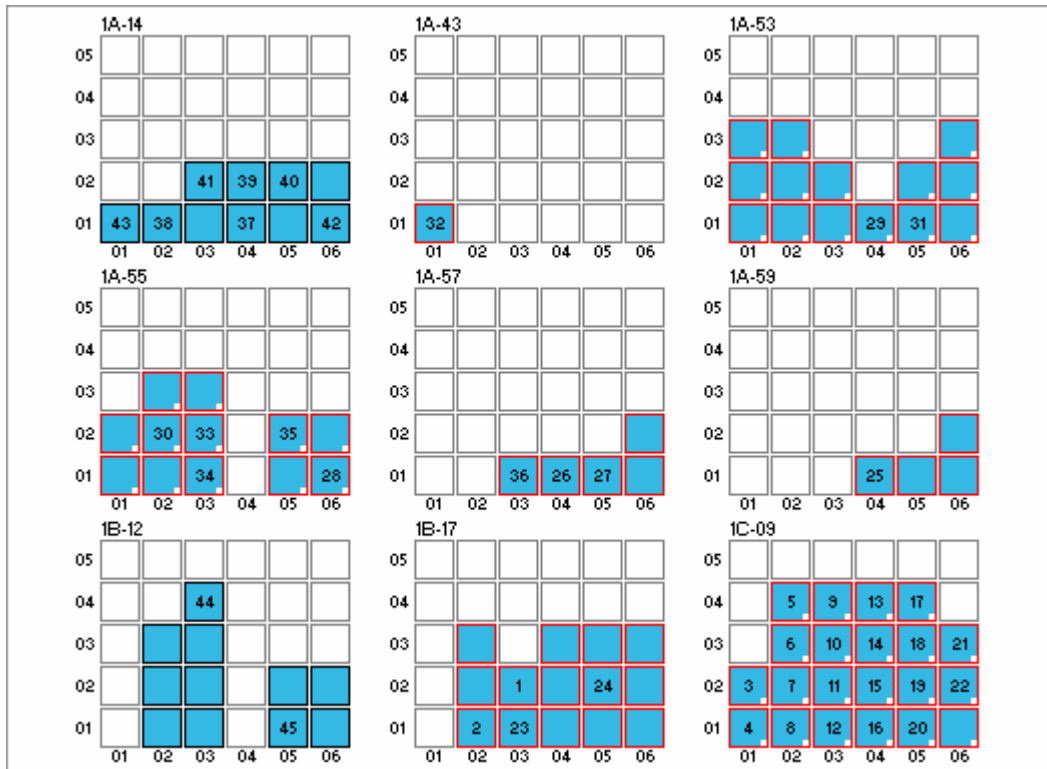
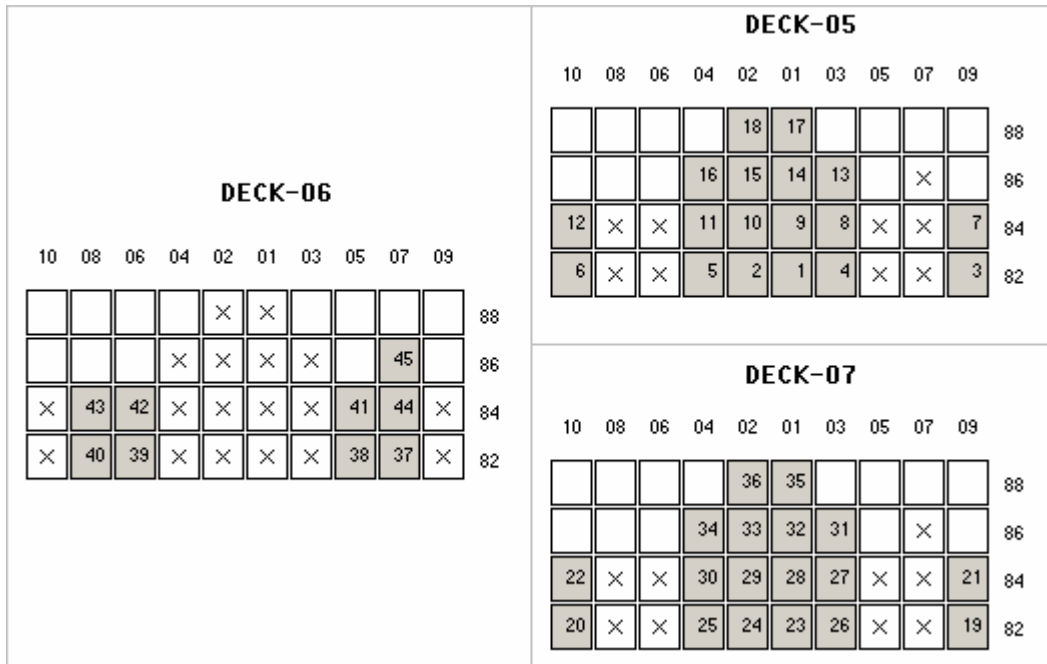
4.1.3 Bay내 작업 순서 결정

지금까지 Hatch단위 작업의 작업순서 결정과 G/C 배정을 살펴보았으며 본 장에서는 [표 4-3]의 선적예정 목록에서 실시간 Yard와 본선 상황을 고려하여 Bay내의 작업 순서를 결정을 하여보겠다.

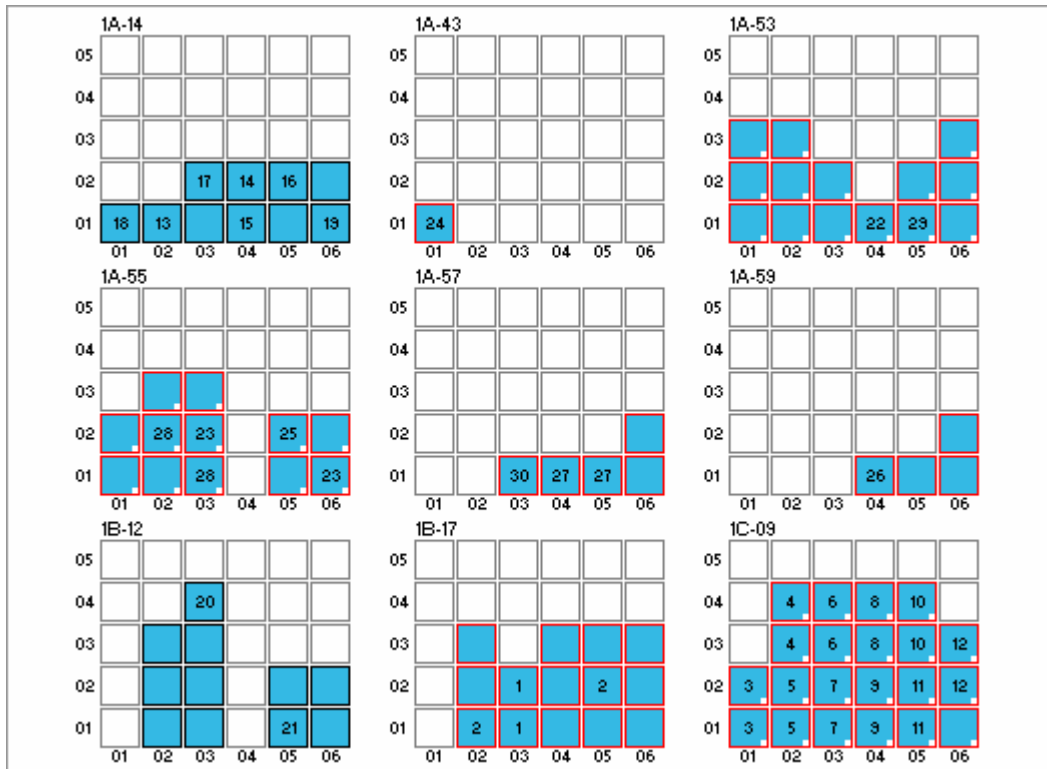
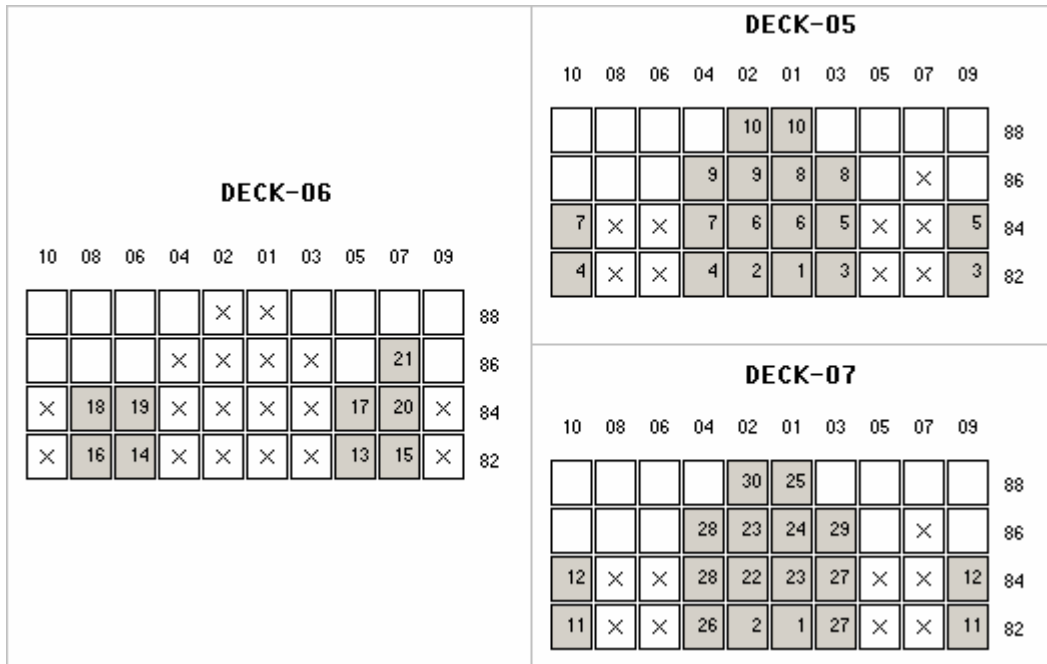
이번 해법을 적용해 보기 위해 설정된 컨테이너 목록은 전부 사전계획에 의해 Bay내 작업 순서가 결정이 되어있다. [그림 4-5] 에서 위의 그림은 본선 Bay내에서 컨테이너의 선적 순서를 나타내며, 이에 대응하여 밑에 그림은 야드 Block내에서 본선선적을 위해 하역하는 순서를 나타낸다. 이는 본선 Bay에서의 순서 1번 컨테이너와 야드 Block에서 순서 1번 컨테이너는 동일함을 의미한다.

해법의 적용 전 순서에서는 본 해법의 주요 결정요인인 Twin Dispatch와 Twin Lift, 그리고 야드에서의 재취급 최소화, 컨테이너 속성별 일괄작업화가 일부 반영이 되어있는 상태이다. 따라서 본 해법을 적용하여 보면 [그림 4-6]과 같은 순서를 얻을 수 있다.

그림과 같이 결정된 순서는 Twin Lift가 가능한 순서쌍 2쌍과 Twin Dispatch가 가능한 많은 순서쌍이 얻어 지며 Empty 컨테이너 작업이 일괄적으로 이루어짐을 알 수 있다.



[그림 4-5] 사전 계획에 의해 정해진 BAY내 작업 순서



[그림 4-6] BAY내 작업 순서 결정 해법의 적용 결과

모형의 검증에 이어 다음은 실제자료를 사용하여 본 모형의 유용성을 검증하여 보았다.

4.2 실제 자료의 적용

본 연구에서 수립한 해법을 실제 업무 자료를 가지고 적용해 보았다. 실제자료는 H터미널의 선적자료를 이용하였다.

실험에 필요한 데이터는 실제 선박 4척의 하역 작업 중간 시점에서 남은 물량을 가지고 해법을 적용 하여 보았으며 당시 상황에서의 G/C 간섭, 최소 G/C작업 수, 최대 G/C작업 수, 전체 작업 완료 예정시간을 해법의 적용 전과 적용 후로 나누어서 비교해 보았다.

<표 4-4> G/C 배정 및 작업 순서 결정 결과 분석

구 분		투입 G/C	G/C 간섭	최소 작업	최대 작업	작업 완료
CASE 1	적용 전	3	1	161	181	7.24 시간
	적용 후	3	1	158	162	6.52 시간
CASE 2	적용 전	3	1	152	187	7.48 시간
	적용 후	3	0	171	173	6.92 시간
CASE 3	적용 전	4	1	187	238	9.92 시간
	적용 후	4	0	205	213	8.52 시간
CASE 4	적용 전	2	0	99	129	5.16 시간
	적용 후	2	0	108	122	4.88 시간

[표 4-4]와 같이 본 연구에서 제시한 해법을 적용한 결과 간섭을 피할 수 없는 결과도 있었지만 전체 작업 시점에서 작업의 평균화와 작업 완료시간 단축의 의미가 있었으며 실시간의 상황에서 빠른 해답을 위해 본 해법의 시간을 측정한 결과 의미 있는 시간 내에 결과가 도출이 되었으며 이는 실제 터미널의 작업 시 작업자가 올바른 의사결정을 내릴 수 있

도록 지원할 수 있다고 하겠다.

또한 Bay내의 작업 순서 결정분석을 위해 실제 선박에서 G/C가 선적작업을 하기 전의 특정 Hatch에 사전계획과 당시 상황을 고려한 본 해법의 작업 순서를 Twin-Dispatch 작업의 수, Twin-Lift 작업의 수, Yard에서 재취급 수와 전체 예상작업 완료시간을 가지고 비교해 보았다.

<표 4 -5> Bay내 작업 순서 결정 결과 분석

구 분		20ft	40ft	TD	TL	재취급
CASE 1	적용 전	18	22	18	18	9
	적용 후	18	22	18	18	7
CASE 2	적용 전	4	24	0	0	1
	적용 후	4	24	4	0	0
CASE 3	적용 전	16	15	0	4	12
	적용 후	16	15	2	13	7
CASE 4	적용 전	60	6	3	0	11
	적용 후	60	6	21	0	8
CASE 5	적용 전	17	29	16	0	25
	적용 후	17	29	16	2	21

TD : Twin Dispatch 작업 순서쌍의 수

TL : Twin Lift 작업 순서쌍의 수

재취급 : Yard에서 컨테이너 선적을 위해 재취급이 발생하는 수

[표 4-5] 와 같이 Bay내의 작업 순서 변경은 변경 대상의 크기가 작으므로 사전계획에 비하여 크게 변경되었다고 보기 힘들지만 Twin Lift, Twin Dispatch로 계획되지 않은 것에 대해서는 만족할 만한 결과를 얻었다고 하겠다. 또한 실제적으로 작업 완료시간의 미소한 단축으로 터미널 생산성 향상에 도움이 된다고 볼 수 있다.

제 5 장 결 론

컨테이너 터미널의 하역 시스템 및 운영시스템은 각 국의 터미널마다 상이하며, 터미널의 환경적인 요소에 많은 영향을 받는다고 볼 수 있다. 현재 컨테이너 터미널에서는 생산성 향상을 위해 장비와 운영적으로 많은 투자를 하고 있는 실정이며 장비에 관해서는 기술력의 한계와 장비 투자의 한계로 인해 정점에 올랐다고 할 수 있다. 따라서 터미널 관리자들은 운영시스템의 개선 측면에 많은 관심을 두고 실제 많은 연구가 나오고 있는 실정이다. 현재의 연구들은 대부분이 사전 선적계획과 하역 작업에 투입되는 장비의 효율성과 하역 시간의 단축에 중점을 두고 수행 되고 있다. 특히 사전 선적계획의 분야에서는 계획의 정확성 및 생산성 향상, 선박의 안정성 향상 등의 목적을 두고 연구하고 있으며 최근에는 미래의 예측 및 실제 작업자들의 특수성 고려에 관해서도 연구되고 있다. 하지만 실제 작업의 특성상 아무리 잘 계획된 사전계획이라 하여도 실제작업 시에는 실시간 상황의 변화와 작업자들의 운영적 특성에 따른 계획수정의 한계점이 있으며 이를 보완하고 보다 높은 생산성 향상을 위해 실시간으로 작업자들의 의사결정을 도와줄 도구가 필요한 것이다. 따라서 본 연구에서는 터미널의 생산성을 높일 수 있는 방법으로 실시간 상황을 고려하여 사전 계획을 바탕으로 선적계획을 수정하여 작업자에게 효율적인 의사결정 지원을 내릴 수 있도록 하는 방안에 관하여 연구하였으며 이에 대한 방법론을 제시하였다. 이에 따라 본 연구에서는 실시간 상황을 고려하여 G/C의 작업 순서를 재결정 하는 모형과 G/C의 배정을 재결정하는 모형, Bay내 컨테이너 작업순서를 재결정 하는 모형을 제시 하였고 이들 각각의 모형을 발전적 해법을 통해 결과를 도출 하였다.

본 연구를 수행한 결과로 얻어진 주요한 성과들을 살펴보면 첫째, 기존의 사전계획에 의해서만 선적작업을 실시하는 틀을 벗어나 실시간 상황에 따라 사전계획이 변화하여 실시간 작업에 있어서 효율적인 작업이 가능한 방법 및 해법에 대한 연구를 시도 하였다. 이러한 연구를 통하여 작업자들의 작업 특성과 보다 효율적인 운영 방식을 적용한 해법과 결과도 도출 되었다. 둘째, 대부분의 연구가 사전계획과 장비운영에 중점을 두었으나 본 연구에서

는 실제 작업시 사전계획이 작업자의 운영에 따라 수정된다는 특성을 고려하여 실제작업 시 계속적인 계획의 수정을 통하여 효율적인 작업을 결정하는 것에 대한 연구를 하였으며, 이에 관한 각 단계의 모형으로 G/C 작업 순서 및 재 배정의 탐색적 모형, Bay내의 컨테이너 작업 순서 결정에 있어서 실시간 상황과 효율적인 운영 방식인 Twin Lift, Twin Dispatch의 운영을 적용한 모형을 제시하였다. 이들 각각의 모형은 발견적 해법을 통해 빠른 시간에 해답을 찾음으로써 실제 선적작업 시 작업자의 의사결정지원의 한 모델로써 사용이 가능할 것으로 보며 터미널 전체적인 관점에서 작업의 효율성을 추구하여 본선의 하역시간 단축 및 터미널의 생산성 향상에 도움이 될 것이다. 마지막으로 본 연구에서 다루어진 실시간 G/C 배정과 작업순서 결정, Bay내 작업 순서 결정 모형은 실제 자료의 적용에 있어서도 선박의 하역작업을 신속하게 하고 작업의 효율성을 위한 방안으로 해법이 검증되었고, 의미 있는 시간 내에 만족할 만한 해를 나타내었다.

본 연구에 이어 차후 연구과제로써는 본 연구에서는 실시간 작업에 있어서 아주 일반적인 문제를 모형화하였다. 이는 실시간 의사결정 계획을 세웠으나 실질적으로는 특수한 문제가 발생시 실제 작업자가 다시금 변경이 필요로 할 것으로 보이며 앞으로 본 연구에서 얻어진 성과 및 결과를 바탕으로 보다 세부적인 규칙과 문제를 정의하여 실시간 문제의 특수한 경우까지 고려한 해법에 관해서 추후 연구가 이루어져야 하겠다.

참 고 문 헌

신재영, 남기찬 “컨테이너 선박의 자동 적재 계획을 위한 지능형 의사결정 지원 시스템”, *한국항만학회지*, 제 16권, 제2호(1998), 29-37

신재영, 광규석, 남기찬 “효율적인 컨테이너 터미널 선적 계획을 위한 의사 결정 지원 시스템” *한국항만학회지*, 제2권, 제13호(1999), 1-12

신재영, 이광인, 하태영 “컨테이너 선적을 위한 겐트리 크레인 작업 스케줄링” *한국해양대학교 부설 물류 연구 센터 논문집*, 제 2집(1998)

김갑환, 류광렬, 박영만, 강진수, 이용환, “Meta-heuristic 기법을 이용한 2단계 컨테이너 적하계획 알고리즘”, *대한산업공학회/한국경영과학회 2000 춘계공동학술대회 논문집* (2004).

이광인, “컨테이너 선적 계획을 위한 통합 의사결정 지원시스템”, 석사학위논문

하태영, “효율적인 하역장비 운용을 위한 컨테이너 터미널 선적 계획 시스템”, 석사학위논문

이채민, “장치장 모니터링 시스템과 통합된 효율적인 수출 장치장 계획 시스템”, 석사학위논문

Erhan Kozan, Peter Preston, “Genetic algorithms to schedule container transfers at multimodal terminals”, *International Transactions In Operational Research*, 6 (1999), 311-329

Paul Corry, Erhan Kozan, “An assignment model for dynamic load planning of intermodal trains.”, *Computers & operations research* 33 (2006) 1-17

Akio Imai, Kazuya Sasaki, Etsuko Nishimura, Stratos Paapadimitriou, “Multi-objective simultaneous stowage and load planning for a container ship with container rehandle in yard stacks”, *European journal of operational research*

김갑환, 김기영, 고창성 “컨테이너 터미널에서의 수출컨테이너의 적하순서문제의 수학적 모델” *한국생산관리학회지* 제8권 제2호 (1997), 93-111

Jong Wook Bae, “A pooled dispatching strategy for automated guided vehicles in port container terminals”, *International Journal of Management Science* Vol 6. No 2. (2000)

Iris, “Transshipment of containers at a container terminal : An overview”, *European Journal of Operational Research*, 147 (2003), 1-16

E.Kozan, ” Optimising Container Transfers at Multimodal Terminals”, *Mathematical and Computer Modelling*, 31 (2000), 235-243

Kap Hwan Kim, “An architectural design of control software for automated container terminals”

Chuqian, “Dynamic crane deployment in container storage yards”, *Transportation Research Part B* 36 (2002), 537-555

Kap Hwan Kim, “Sequencing delivery and receiving operations for yard cranes in port container terminals” , *International Journal of Production Economics*, 84 (2003), 283-292

Kap Hwan Kim, “A crane scheduling method for port container terminals”, *European Journal of Operational Research*, 156 (2004), 752-768

박영만, “컨테이너 크레인 일정계획의 최적화 해법”, 석사학위논문

구평희,이운식,고시근, “컨테이너 터미널 동적 운송 환경에서의 실시간 차량 운행 계획”, *한국경영과학회지* 제30권 3호 (2005), 67-80

감사의 글

학부시절부터 변함없는 관심과 사랑으로 지켜보아 주신 신재영 교수님께 감사 드립니다. 바쁘신 중에서도 세심한 논문 지도와 격려의 말씀을 아끼지 않으셨던 신창훈, 남기찬 교수님께 진심으로 감사 드립니다. 또한, 재학시절 많은 가르침을 주셨던 이철영, 곽규석, 김환성 교수님께도 감사 드립니다.

칠없는 학부 시절부터 실험실 만형으로써 저를 이끌어주신 태영형, 채민형, 훈호형, 병호형 그리고 비록 실험실 생활은 같이 하지 못했지만 저에게 관심을 쏟아 주신 광인형, 두호형, 청우형, 신호형, 광덕형, 환욱형, 영훈형, 태원형께 고마움을 표합니다. 또한 이번 논문이 나오기 까지 정말 도움을 많이 받았던 오인환 차장님, 장원호 과장님 감사 합니다. 그리고 마음적으로 도움이 많이 된 용욱형, 민승형..... 그 외 여러 선배님들 정말 감사 드립니다. 학부시절부터 같은 연구실에서 함께해온 웅섭, 준석, 재경, 현주 그리고 항상 부족한 저를 따라 왔지만 많은 것을 남겨 주지 못하고 떠나서 미안함이 함께 하는 종호, 세연, 정우에게도 감사의 마음을 전합니다. 그리고 우리 동기 재곤, 인호, 옥태, 정국, 여남 정말로 많은 이들이 떠오르는데 다 올리지 못하였지만 내 마음속에 이들이 있기에 지금의 제가 있지 않았나 싶습니다. 제 이름 석자를 알고 계시는 모든 분들께 감사 드립니다.

무엇보다 논문을 이렇게 마무리 할 수 있었던 것은 논문 쓴다고 부린 투정 다 받아 주고 뒷바라지까지 애써 해준 사랑하는 장은이, 더불어 장은이 어머님, 아버님, 지금까지 자식 키운다고 고생하신 부모님 덕분이 아닐까 합니다. 그리고 든든한 마음의 기둥인 형 그리고 제 첫 조카들을 품고 계신 형수님께 진심으로 감사 드리며.

소중한 우리 가족께 이 논문을 드립니다.