

효율적인 하역장비 운용을 위한 컨테이너 터미널 선적계획모형

하 태 영* · 신 재 영**

Ship Planning Model for Efficient Crane Operation in Container Terminal

Ha, Tae-Yeong · Shin, Jae-Yeong

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.

1. 서 론

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 나눌 수 있다.

* 한국해양대학교 물류시스템공학과 대학원

** 한국해양대학교 물류시스템공학과 부교수

적·양하 계획은 다시 본선 하역 작업을 담당하는 젠트리 크레인 배정 계획, 양하 계획, 적하 계획으로 분류된다. 이러한 계획 수립의 기본 목적은 컨테이너의 적·양하 작업에 소요되는 하역시간의 단축에 있다. 컨테이너의 적·양하 작업에 소요되는 총 하역 시간은 하역자체에 요구되는 시간(work time)과 작업계획에 따른 작업준비시간(setup time)으로 나눌 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 단축과 직결된다.

이러한 컨테이너 터미널의 하역 작업 계획과 관련한 기존의 연구는 해당 분야의 특수성으로 인해 그 수가 매우 적다고 할 수 있는데, 크게 본선 작업 계획 부분과 반출·입 컨테이너 작업을 위한 장치장 운영 작업 계획 부분으로 나누어 살펴 볼 수 있다. 본선 작업 계획 부분에 있어서, 신재영·남기찬(1995)은 국내 터미널의 실무적인 요구사항과 효율적 계획안의 제시가 가능한 자동 선적 의사결정지원시스템을 개발하였다. Jonathan J. Shields(1984)는 선박의 안정성을 고려한 컨테이너 최적 적재 위치 결정에 있어서, 시뮬레이션과 몬테카를로(Monte Carlo) 기법을 병합한 임의탐색기법으로 각 대안들에 대해 벌점(Penalty)을 부과하는 방식을 사용하여 대안들을 비교·분석하였다. 장치장 계획에서는 야드와 장비의 생산성에 관련한 효율적인 작업 계획을 위해 김갑환·박강태(1997)는 효율적인 적하 작업을 위한 수출 컨테이너 장치장 배정 모형을 수립하고, 라그랑지 완하법을 이용한 휴리스틱 해법을 제시하였다. 김두열(1995)은 부산항 컨테이너 터미널을 대상으로 선박의 접안 시간과 야드 하역장비(S/C)의 운행거리를 최소화시킬 수 있도록 수출 컨테이너의 선박별 블록공간 할당방법을 제시하였으며, Quadratic Programming으로 모델링하여 해를 구했다.

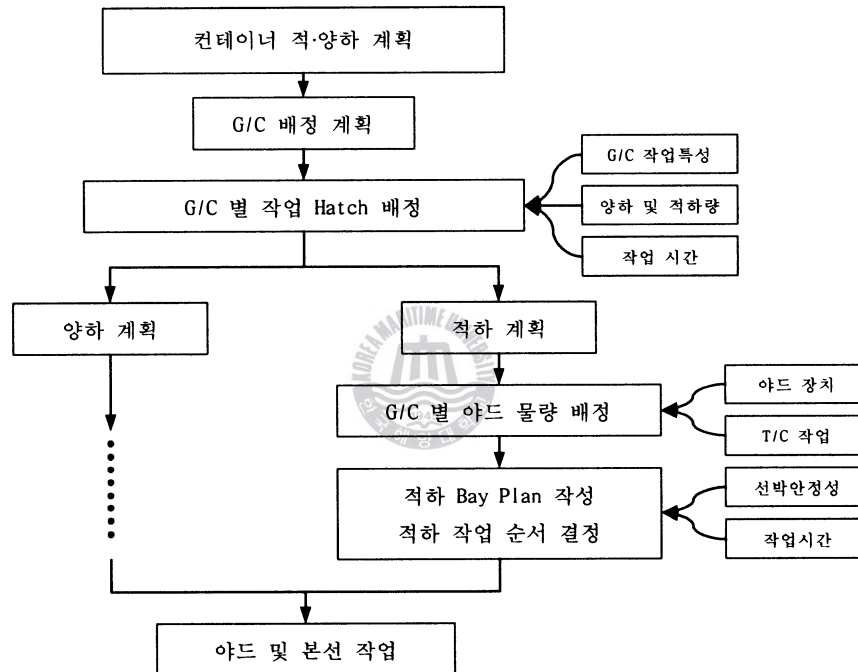
본 논문에서는 이러한 컨테이너 터미널의 생산성 향상을 위한 컨테이너 적·양하 작업계획을 다루고 있으며, 본선 적·양하 작업을 담당하는 젠트리 크레인별 작업 Hatch 배정이 결정된 후에 야드의 물량을 젠트리 크레인별로 배정하는 야드 물량 배정에 관한 수리적인 모형을 제시하고자 한다. 이러한 문제는 실제 하역 작업이 인력이 아닌 대형 장비에 의하여 이루어지기 때문에 사전 작업 계획이 필수적이라 할 수 있다. 본 연구에서 제시하는 계획모형에 의해 컨테이너 적·양하 작업에 소요되는 하역작업시간 단축의 효과를 기대할 수 있을 것으로 본다.

2. 컨테이너 터미널 선박 하역 계획

일반적으로, 컨테이너 선박의 적·양하 계획을 수립하기 위해서는 우선적으로 하역작업을 담당할 투입장비(G/C, T/C, Y/T)의 배정이 이루어지게 된다. 본선 하역의 주된 작업은 젠트리 크레인이 담당한다. 하역작업에 투입 가능한 장비의 수와 작업시간이 본선 접안 전에 정해지고 선사로부터 본선에 적·양하 컨테이너 정보가 입수 완료되면, 효율적인 하역작업을 위한 크레인의 본선 배정 계획이 수립되게 된다. 크레인 작업은 선박의 Hatch단위로 이루어지며, 가능하면 작업량을 크레인 별로 평

준화하여 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.

일반적인 컨테이너 선박의 적·양하 계획 수립의 과정은 [그림 1]과 같다.



(그림 1) 컨테이너 터미널 적·양하 계획

양하 계획은 본선에 적재되어 있는 컨테이너들에 대해 양하 순서를 결정하는 것으로 주로 수입컨테이너와 환적 화물이 그 대상이 된다. 양하 계획은 크레인별 작업 Hatch 배정에 의하여 작업 Hatch가 결정되면, 크레인의 작업용이성에 따라 순차적으로 작업 대상이 되는 물량만을 하역하도록 계획된다. 따라서 계획 수립시에는 본선의 적부도가 필요하다.

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 요구된다고 할 수 있다. 적하 계획은 장치장에 적재되어 있는 수출 컨테이너를 겐트리 크레인 별로 배정하는 단계와 배정된 장치장내의 컨테이너에 대하여 세부적인 적하 순서와 위치를 결정하는 두 단계로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 컨테이너 적·양하 계획에 있어서 장치장내의 컨테이너를 크레인 별로 배정하는 크레

인별 야드 물량 배정계획 단계를 다루고 있다. 크레인별 야드 물량 배정 계획에 있어서는 야드 작업을 담당하는 트랜스퍼 크레인의 작업 특성과 개별 컨테이너의 장치 상태를 고려하도록 한다. 적하 계획은 야드 물량 장치상황과 본선의 적재 위치를 동시에 고려하여야 하기 때문에 야드를 고려하지 않고 적하 순서를 결정하면 야드 작업을 담당하는 트랜스퍼 크레인의 작업에서 상당한 작업시간이 발생하게 된다. 따라서, 효율적인 야드 물량의 배정은 야드 하역 장비인 트랜스퍼 크레인의 작업 특성을 우선적으로 반영하도록 계획을 수립한다.

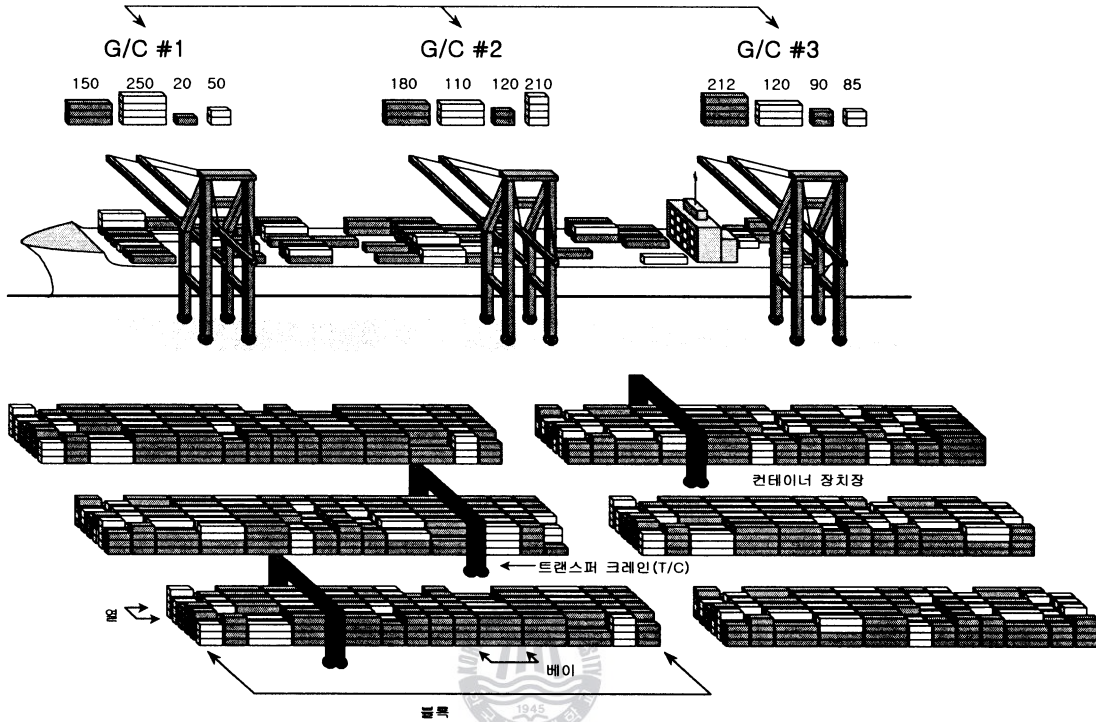
3. 선박 하역 계획 수립의 모형과 해법

3.1 문제정의 및 가정

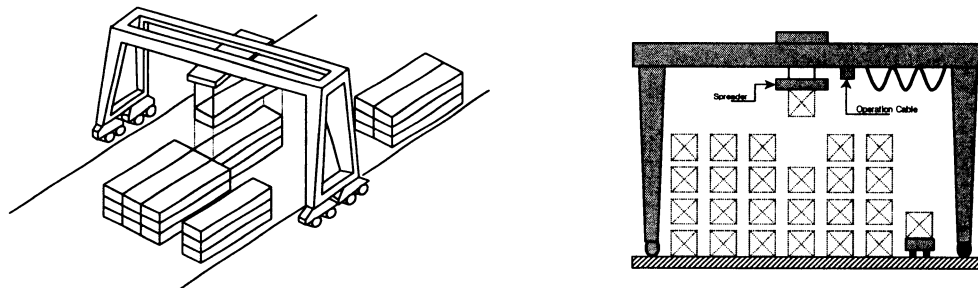
일반적으로, 선박의 적·양하 계획을 수립하기 위해서는 컨테이너를 선박으로부터 적·양하 하는 젠트리 크레인의 작업 계획이 선행되어야만 한다. 크레인 작업은 선박의 Hatch 단위로 이루어지게 되며, 가능하면 작업량을 투입된 크레인별로 평준화하여 전체 하역 작업시간을 최소화하도록 계획된다. 젠트리 크레인에 의한 하역은 기본적으로 선박의 Hatch 단위로 작업이 진행되며, 현재의 Hatch에서 작업이 완료되면 이웃 Hatch로 옮겨가 작업을 하는 것이 일반적이다. 따라서 각 크레인에 배정되는 작업은 연속된 Hatch의 묶음이 된다고 할 수 있다. 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 크레인 별로 본선 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. 이상의 내용에 부합하는 젠트리 크레인별 작업 Hatch 배정 계획 모형의 수립에 대해서는 이전에 연구된 바가 있으며(신재영·이광인·하태영, 1998), 이 계획 모형에 의해 각 젠트리 크레인별 작업 Hatch가 결정되어진다.

젠트리 크레인별 작업 Hatch가 결정되면 각 젠트리 크레인은 작업 Hatch에 해당하는 작업 물량을 야드 하역 장비인 트랜스퍼 크레인의 지원을 받아 해당 선박내의 셀(Cell)에 적재하게 된다. 일반적으로, 적하 컨테이너는 터미널내의 선석 인접 지역에 배정된 수출 컨테이너 장치장에 (그림 2)와 같이 적재되어 있다. 수출 컨테이너는 터미널 장치장 배정 계획에 의해 컨테이너 속성에 따라 장치장의 여러 블록과 베이에 나누어져 장치되어 있기 때문에 야드 상의 각 컨테이너를 어느 크레인에 배정할

것인가라는 문제가 발생하게 된다.



(그림 2) 컨테이너 터미널 수출 장치장



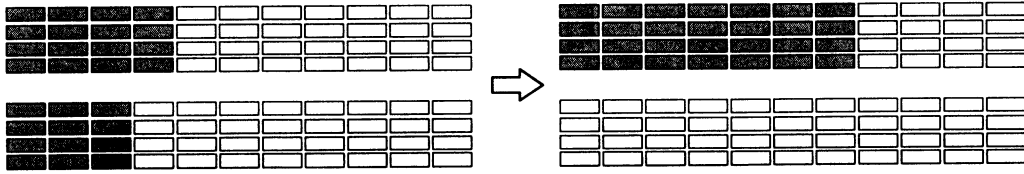
(그림 3) 트랜스퍼 크레인(T/C)의 작업 형태

이러한 문제는 각 크레인 별로 동일한 속성의 요구 물량수가 많을수록 다양한 배정 방식이 가능하기 때문에 문제가 복잡해짐을 알 수 있으며 각 배정 방식에 따라 야드 크레인의 작업형태에 많은 차이가 발생하게 된다. [그림 3]은 일반적인 트랜스퍼 크레인의 작업 형태를 나타내고 있는데, 하역 작업시에는 젠트리 크레인과의 트랜스퍼 크레인이 한 조를 이루어 작업을 하는 것이 보통이다. 따라서, 트랜스퍼 크레인은 같은 조에 편성된 젠트리 크레인의 물량만을 지원하게 되고 이를 위해 장치장의 여러 블록과 베이를 이동하게 된다. 따라서 젠트리 크레인별 야드 물량 배정은 트랜스퍼 크레인의 작

업이 용이하도록 하여야 한다.

본 연구에서는 겐트리 크레인별 야드 물량 배정에 있어서 4가지의 배정원칙을 사용한다.

- 블록배정원칙 : G/C별로 물량 배정의 블록 수가 적도록 배정함. [그림 4]
- 베이배정원칙 : G/C별로 물량 배정의 베이 수가 적도록 배정함. [그림 5]
- 열배정원칙 : G/C별로 물량 배정의 열 수가 적도록 배정함. [그림 6]
- 이동거리 배정 원칙 : G/C별 물량 배정의 블록간 거리가 인접하도록 배정함. [그림 7]



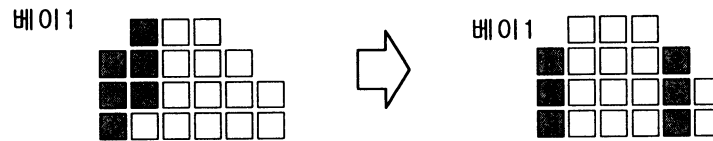
G/C #1 G/C #2

(그림 4) 작업 물량의 블록 배정



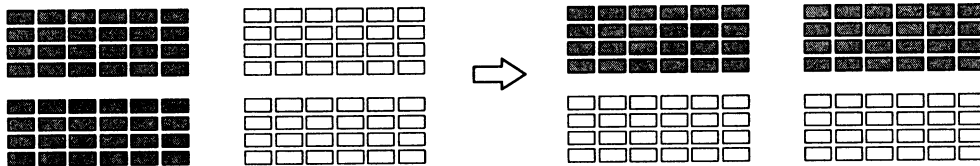
G/C #1 G/C #2

(그림 5) 작업 물량의 베이간 배정



G/C #1 G/C #2

(그림 6) 작업 물량의 열간 배정



G/C #1 G/C #2

(그림 7) 작업 물량의 이동거리간 배정

3.2 모형화

젠트리 크레인별 야드 물량 배정 모형 수립을 위한 가정 및 제약조건은 다음과 같다.

- 본선 적하 작업에 투입되는 젠트리 크레인의 대수가 결정되어 있고, 각 크레인별로 작업 Hatch 와 작업 물량이 크레인 배정 계획에 의해 산출되어 있는 것으로 한다.
- 본선 작업은 젠트리 크레인이, 장치장 하역 작업은 트랜스퍼 크레인이 담당하며, 야드 장치지점에서 본선 적하 지점까지의 운반은 야드 트랙터가 담당한다.
- 각 장비는 한 조를 이루어 작업하며, 한 조에 속한 장비는 해당 장비의 작업만 처리하는 것으로 가정한다.
- 야드 트랙터의 간섭에 관한 제약은 없는 것으로 한다.
- 작업의 대상이 되는 물량은 해당 선박의 물량만을 고려한다.
- 야드 작업 물량 배정은 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.

야드 물량 배정 모형 수립시 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 : 젠트리 크레인(G/C)의 대수
W_B : 블록에 대한 가중치	W_b : 베이에 대한 가중치
W_r : 열에 대한 가중치	W_i : 대상지점에 대한 가중치
W_a : 블록간 거리에 대한 가중치	
d_{ij} : i 블록과 j 블록간의 거리, $(i, j=1, 2, \dots, m)$	
Sn_j : j 블록내에 존재하는 대상지점의 집합, $(j=1, 2, \dots, m)$	
Sb_j : j 베이내에 존재하는 대상지점의 집합, $(j=1, 2, \dots, l)$	
Sr_j : j 열내에 존재하는 대상지점의 집합, $(j=1, 2, \dots, r)$	
D_a : a 속성을 가지는 대상지점의 집합, $(a=1, 2, \dots, A)$	
G_a^k : G/C k 에서 요구되는 a 속성의 물량 $(a=1, 2, \dots, A)$, $(k=1, 2, \dots, G)$	

모형 수립시 사용되는 변수는 다음과 같다.

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

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

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

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

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

(단, $i \in Sn_j$, $i+1 \in Sn_j$)

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

(단, $i \neq j$)

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

$$\begin{aligned} \text{Minimize } & W_B \cdot \sum_k^G \sum_j^m B_j^k + W_b \cdot \sum_k^G \sum_j^l H_j^k + W_r \cdot \sum_k^G \sum_j^r I_j^k \\ & + W_i \cdot \sum_k^G \sum_i^{n-1} E_{i+1}^k + W_d \cdot \sum_k^G \sum_i^m \sum_j^m d_{ij} \cdot F_{ij}^k \end{aligned} \quad (1)$$

Subject To

$$x_i^k - B_j^k \leq 0, \quad \forall ij(i \in Sn_j), \quad \forall k \quad (2)$$

$$x_i^k - H_j^k \leq 0, \quad \forall ij(i \in Sb_j), \quad \forall k \quad (3)$$

$$x_i^k - I_j^k \leq 0, \quad \forall ij(i \in Sr_j), \quad \forall k \quad (4)$$

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

$$B_i^k + B_j^k - 1 \leq F_{ij}^k, \quad \forall k, \quad \forall ij(i \neq j) \quad (6)$$

$$\sum_k^G x_i^k = 1, \quad \forall i, (k=1,2,\dots,G) \quad (7)$$

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

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

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

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

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

상위의 모형에서 제약식 (2), (3), (4)는 각각 야드 물량이 블록, 베이, 열단위로 배정되도록 하는 것이며, 제약식 (5)는 인접 컨테이너가 가급적 동일한 크레인에 배정되도록 하는 것이다. 제약식 (6)은 동일한 크레인에 배정된 물량의 블록간 거리가 인접하도록 하는 것이고, 제약식 (7)은 한 개의 컨테이너가 하나의 크레인에만 배정되도록 하는 것이다. 제약식 (8)은 크레인별 작업요구물량의 속성별 제약이다. 그리고 제약식 (9), (10), (11), (12)는 변수들의 정수 제약이다. 상위의 정수계획모형에 의하여 크레인별 야드 물량 배정의 최적해를 도출 할 수 있다.

3.4 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 일반적인 정수계획모형으로는 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 ($k=1, 2, \dots, m$)	TS : 총 작업 물량
Q_{Bj} : j 블록(block)의 물량	Q_{bj} : j 베이(bay)의 물량
Q_{rj} : 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 : $k!$ 만큼의 작업배정순서쌍 U_i 를 설정하고, $i=1$, $k=1$ 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 k 에 대해 S_B 중 G_k 를 만족하는 j 블록들을 구함.

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

else $Max\{Q_{Bj}\}$ 를 k 크레인에 배정.

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

Phase 3. Bay Allocation

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

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

Step 3 : if $j = \emptyset$ then Phase 4으로 감.
 else $Max\{Q_{bj}\}$ 순으로 k 크레인에 배정.

Step 4 : if $G_k = \emptyset$ then $k = k + 1$, Phase 2로 감.
 else Step 1로 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 3로 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 1의 Step2로 감
 else $k = k + 1$, Phase 2로

본 연구의 해법에 있어서는 젠트리 크레인별 작업물량을 기본적으로 블록 단위, 베이 단위, 열 단위로 배정하여 젠트리 크레인별 물량 겹침이 가급적 적게 발생하도록 하는 방법을 사용하였다. 물량 배정은 우선 투입 가능한 젠트리 크레인대수에 대한 순서쌍을 설정한다. 순서쌍이 결정되면, 각 순서쌍에 대하여 상위의 절차를 수행(블록단위배정→베이단위배정→열단위배정→개별 컨테이너 배정)한다. 각 순서쌍에서 구한 물량배정의 결과를 혼합정수계획모형의 목적함수로 값으로 환산하여, 목적함수 중 최소값을 가지는 순서쌍의 물량배정을 탐색적 해법의 최종해로 결정하게 된다.

4. 모형의 적용 결과

본 연구에서 수립한 G/C별 야드 물량 배정의 정수계획모형의 타당성을 검증하기 위해서 다음과 같

은 야드 물량 배정의 기초자료를 설정하였다. 크레인의 대수는 2대와 3대로 나누어 적용하였으며, 크레인별 작업 물량이 평준화 되도록 하였다. 적용 대상 컨테이너 속성은 4가지이며 블록간 거리는 상대적인 거리로 환산하여 적용하였다.

[표 1] G/C별 요구 물량

	크레인 2대		크레인 3대			합계
	#1	#2	#1	#2	#3	
A	33	30	27	20	16	63
B	20	28	11	13	24	48
C	30	20	20	19	11	50
D	26	30	14	20	22	56
합계	109	108	72	72	73	
	217		217			

단위 : 개수

[표 2] 블록간 거리

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

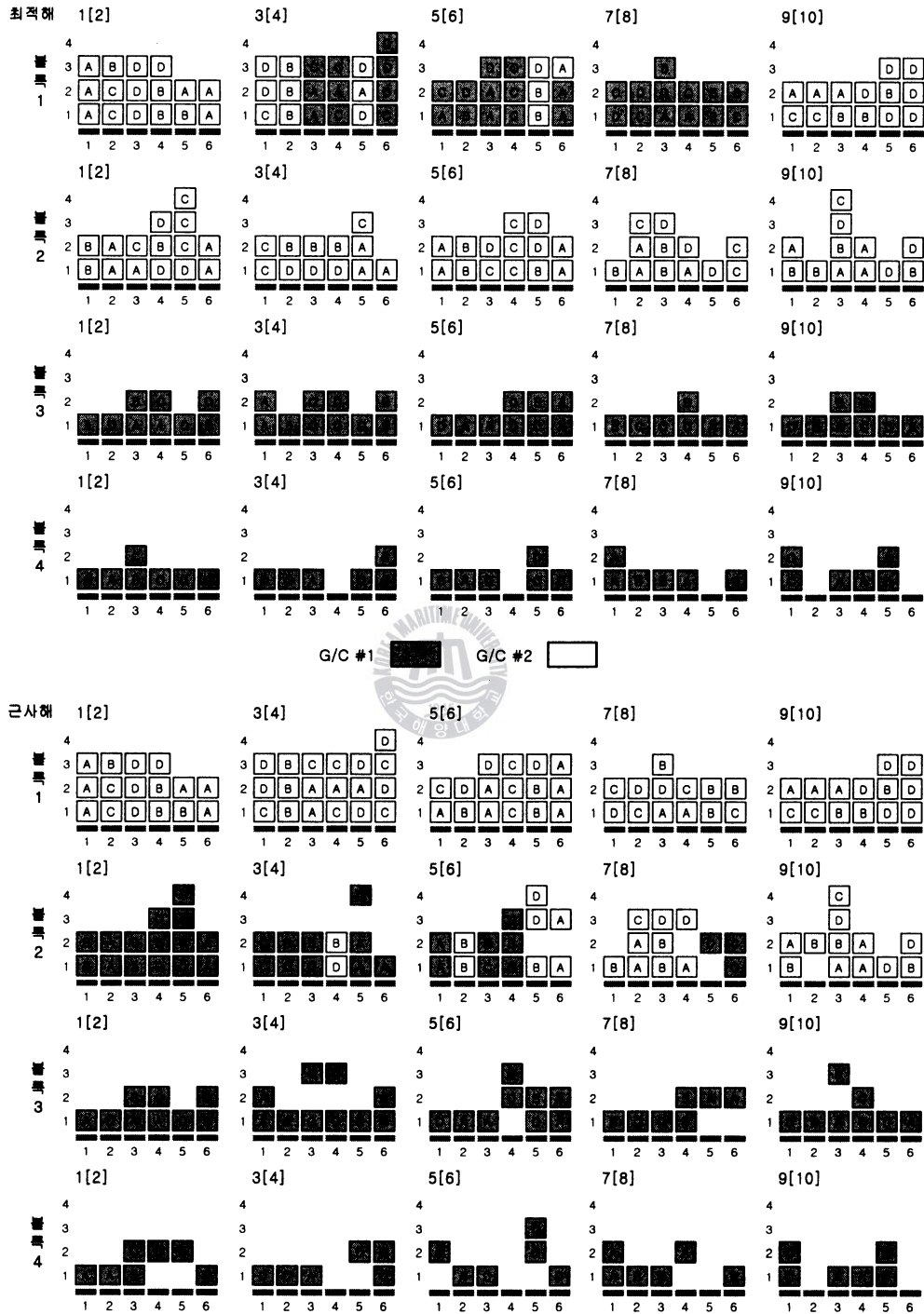
[표 3] 가중치 설정값

	블록	베이	열	인접컨테이너	블록간거리
가중치 값	1000000	50000	5000	500	1

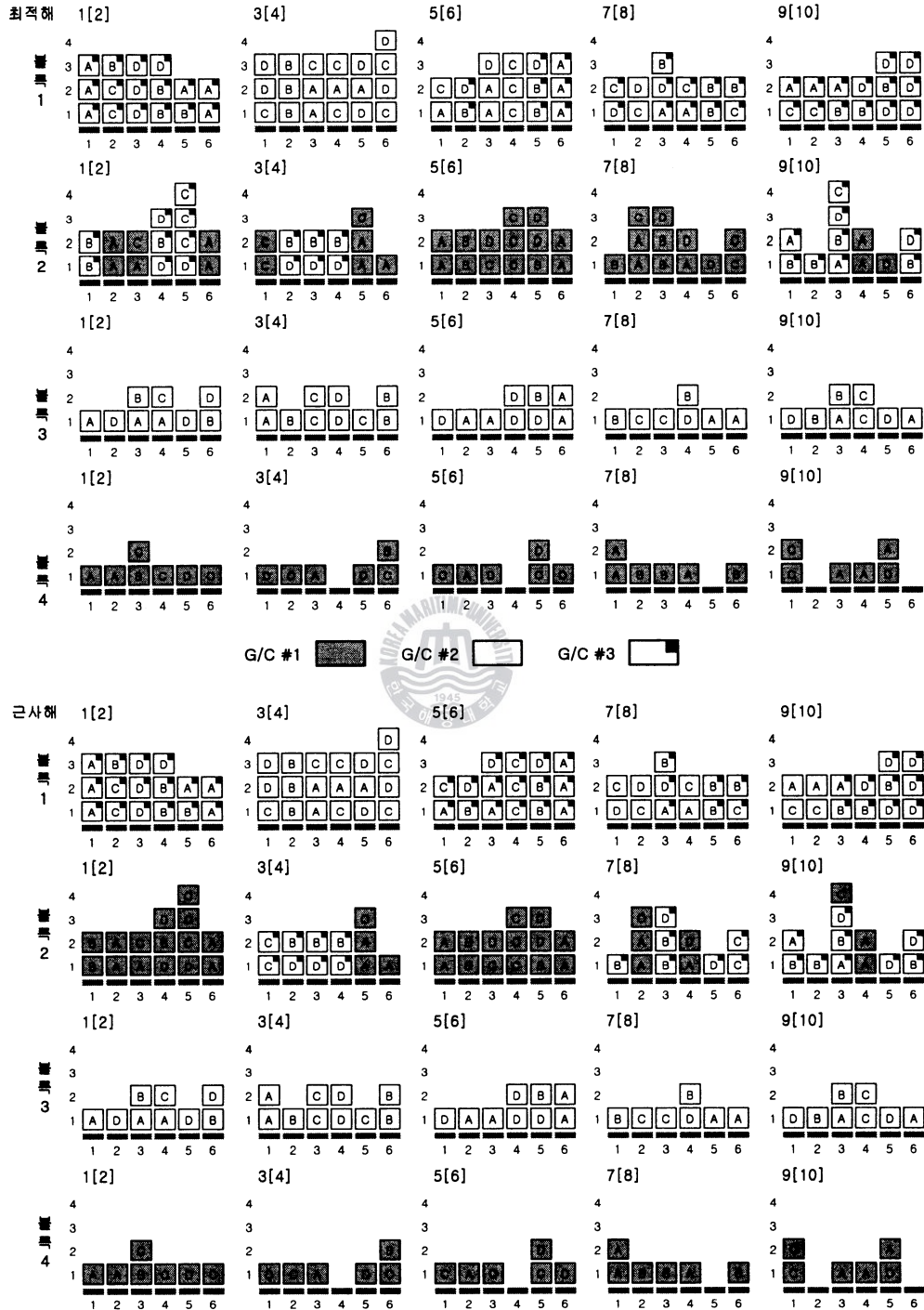
상위의 내용을 토대로 기존의 최적화 패키지(Lindo)를 이용하여 결과를 산출하였다. [그림 8]과 [그림 9]는 각각 크레인 2대와 3대의 경우에 최적해와 탐색적 해법으로 구한 근사해로써 두 크레인의 작업 물량이 서로 교차되지 않도록 가급적 크레인별 물량이 블록, 베이, 열 단위로 배정되었으며 또한, 인접 컨테이너를 동일 크레인에 배정되도록 하였음을 알 수 있다. 본 모형의 적용에서는 각 블록, 베이, 열들 간에 대하여 가중치를 동일하게 부여하였으나, 이를 다르게 적용하여 더 효율적인 크레인별 작업 물량 배정 계획을 구할 수 있다. 이것은 문제의 해가 복수 최적해를 가지는 경우에 유용하다고 할 수 있다.

모형의 검증에 있어서는 야드 물량의 장치장 배치 형태를 임의적으로 설정하였으나 실제 터미널의 장치장 계획에서는 동일 속성의 물량이 어느 정도 그룹화가 되어있는 것이 일반적이다. 따라서 본 연구에서도 이를 고려하여 야드의 물량 배정을 베이단위로 그룹화 되어 있는 경우와 열단위로 그룹화 되어 있는 경우로 나누어 최적해와 근사해를 비교해 보았다. 계산 결과는 [표 4]와 같다. 전체적으로 볼 때 탐색적 해법에 의한 근사해의 대부분이 최적해와 동일한 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다. 표에서 Case 1~10은 야드 물량이 베이 단위로 그룹화 되어 있는 경우이며, Case 11~20은 열 단위로 그룹화 되어 있는 경우이다.

효율적인 하역장비 운용을 위한 컨테이너 터미널 선적계획모형



(그림 8) 크레인 2대의 물량 배정



(그림 9) 크레인 3대의 물량 배정

(표 4) 모형과 해법의 결과비교

		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
Case 11	최적해	5	9	33	1	14	5615514
	근사해	5	9	33	3	16	5616516
Case 12	최적해	5	9	33	2	14	5616014
	근사해	5	9	34	6	16	5623016
Case 13	최적해	5	9	32	1	16	5610516
	근사해	5	9	32	2	16	5611016
Case 14	최적해	5	8	32	1	16	5560516
	근사해	5	8	32	1	16	5560516
Case 15	최적해	5	9	32	3	14	5611514
	근사해	5	9	33	3	14	5611514
Case 16	최적해	5	9	32	3	18	5611518
	근사해	5	9	32	3	18	5611518
Case 17	최적해	5	8	32	1	18	5560518
	근사해	5	8	32	1	18	5560518
Case 18	최적해	5	9	32	2	14	5611014
	근사해	5	9	32	2	14	5611014
Case 19	최적해	5	9	33	1	16	5615516
	근사해	5	9	32	2	16	5615516
Case 20	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

5. 결 론

본 논문에서는 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, 하역 작업의 진행에 관계한 작업 장비들의 작업 특성을 분석하였다. 크레인별 야드 물량 배정 계획에서 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 각각 결과를 도출하였으며, 도출된 결과에서 모형의 타당성을 검증하였다. 본 연구에 이어 차후 연구 과제로는 겐트리 크레인별 야드 작업 물량 배정 이후 실제 야드 및 본선 작업을 위한 개별 컨테이너들의 구체적인 적하 작업 순서를 결정하는 것이다. 이에는 기본적인 적하작업규칙과 본선의 안정도, 트랜스퍼 크레인별 간섭문제를 해결할 수 있는 효율적인 작업 순서결정이 주요 연구 대상이 될 것으로 생각된다.



참고 문헌

1. Daganzo, C.F.(1989), "The Crane Scheduling Problem", *Transportation Research B*, Vol. 23B, No. 3, pp.159-175.
2. Dumbleton, J.J.(1990), "Expert System Application on Ocean Shipping - A Status Report", *Marine Technology*, Vol. 27, pp. 265-284.
3. 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
4. Shields, J.J.(1984), "Container Stowage : A Computer-Aided Preplanning System", *Marine Technology*, Vol. 21, pp. 370-383.
5. 광규석·신재영·남기찬(1996), 효율적인 컨테이너 터미널 계획 및 운영을 위한 모형 개발, 건설교통부.
6. 신재영·남기찬(1995), "컨테이너 선박의 자동 적재 계획을 위한 지능형 의사결정지원시스템", 1995, 한국항만학회지 제9권 제1호, pp.19-32.
7. 신재영·이광인·하태영(1998), "컨테이너 선적을 위한 겐트리 크레인 작업 스케줄링", 한국해양대학교 부설 물류연구센터 연구논문집, pp.29-37
8. 박강태·김갑환, "라그랑지 완하법을 이용한 컨테이너 터미널의 수출 장치장 공간할당 계획", 한국경영과학회 춘계학술대회논문집, 1997, pp.64-67.

