

# 크레인 대수의 제약을 고려한 선석계획 문제에 대한 발견적 해법

† 박영만 · 김갑환\*

† 해군사관학교 국방경영과학과, \*부산대학교 산업공학과,

**요 약** : 본 연구는 컨테이너 터미널에서 선박의 선적작업을 위한 선석배정 및 크레인 할당문제를 동시에 결정하는 문제를 다루고 있다. 실제 컨테이너 터미널에서 고려하고 있는 다양한 형태의 제약을 고려하여 선석계획 및 크레인할당 문제에 대한 혼합정수모형을 제시하였다. 제안된 문제에 대해 좋은 해를 짧은 시간 안에 구하기 위하여 발견적 해법을 제시하였다.

**핵심용어** : 일정계획, 선석계획, 컨테이너 크레인, 최적화, 컨테이너 터미널

## 1. 서 론

컨테이너터미널에서는 선박의 생산성을 높이기 위하여 많은 노력을 수행하고 있다. 그 중에서도 효율적인 선석계획을 통하여 선사 및 터미널의 비용을 줄이려는 노력이 많이 있었다. 그러나 정기선뿐만 아니라 부정기선등 다양한 선박의 사항 및 선사의 다양한 요구사항을 만족시키는 선석계획을 수립하는 것은 대단히 어려운 일이었다. 이는 선석계획이 선석이라는 중요한 자원뿐만 아니라 컨테이너 크레인이라는 선박의 작업 장비와도 연관되어 있기 때문이다. 즉, 동일한 컨테이너를 취급하더라도 선박에 투입된 크레인의 수에 따라서 작업시간은 크게 달라진다. 그러나 투입할 수 있는 크레인의 수는 한계가 있으므로 언제 어떤 선박에 얼마만큼 크레인을 투입하는가에 의하여 선박의 터미널에 머무는 체류시간이 결정되게 된다.

본 연구와 관련된 기존의 연구 중에는 선석계획에 관한 것과 크레인의 일정계획에 관한 연구들이 있다. 지금까지의 다루어진 선석계획 문제들은 대부분 선석을 연속적인 것으로 다루지 못했으며, 선박의 선호위치나 선박들의 도착예정시간이나 출항요구시간 등 선사의 요구사항을 제대로 반영하지 못하였다. 또한 선석계획에 관한 연구들은 크레인에 대한 고려를 하지 못하고 일정수의 크레인이 주어진 것으로 가정하여 문제를 다루었다. 본 연구에서는 선석계획 문제를 선석이 연속적이며, 크레인의 투입을 고려하면서 선사 및 터미널의 다양한 요구를 비용으로 고려한 선석계획 문제를 다루었다.

## 2. 선석계획 수리모형

기존 연구에서는 선석계획 문제와 크레인 할당을 서로 독립적인 문제로 따로 다루었다. 본 연구에서는 선석계획 문제를 실제 컨테이너터미널에서 수행되고 있는 선석계획 문제와 가깝도록 크레인 투입을 고려한 선석계획 문제로 다시 정의하였다. Fig.

1에서는 크레인 투입을 고려한 선석계획 문제의 최종 해의 예를 보여주고 있다.

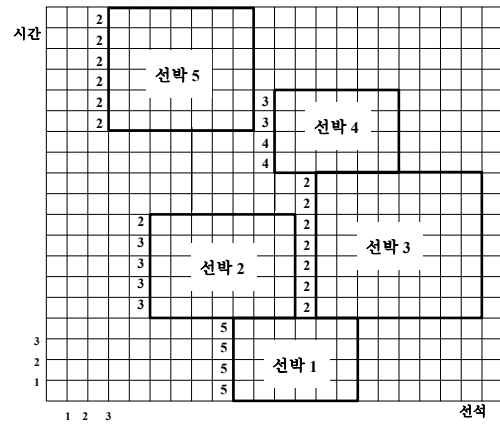


Fig. 1 The example of the berth planning

본 연구에서 사용하는 기호는 다음과 같다.

- $x_i$  : 선박  $i$ 의 접안위치
- $y_i^1$  : 선박  $i$ 의 접안시간
- $y_i^2$  : 선박  $i$ 의 출항시간
- $z_{ij}^x$  : 선박  $i$ 가 선박  $j$ 의 접안위치보다 왼쪽에 있는 경우에는 1, 그렇지 않은 경우에는 0을 가짐
- $z_{ij}^y$  : 선박  $i$ 가 선박  $j$ 의 접안시간보다 빠른 경우에는 1, 그렇지 않은 경우에는 0을 가짐
- $a$  : 선박의 접안시 선박사이의 안전을 위한 최소 간격
- $b$  : 선박의 입항 출항시 필요한 최소 시간
- $b_{ki}$  : 크레인  $k$ 의 선박 $i$ 에 대한 작업시작 시간
- $e_{ki}$  : 크레인  $k$ 의 선박 $i$ 에 대한 작업종료 시간
- $L_i$  : 선박  $i$ 의 길이
- $T_i$  : 선박  $i$ 의 작업요구시간

† 교신저자, ymanpark@pusan.ac.kr 055)549-1239

\* 종신회원, kapkim@pusan.ac.kr 051)510-2419

$u_{kij}$  : 크레인 k가 선박을 작업하고 나서 선박 j를 작업하면 1, 그렇지 않은 경우에는 0을 가짐  
 $s_i$  : 선박 i의 선호접안위치  
 $a_i$  : 선박 i의 집안예정시간  
 $d_i$  : 선박 i의 출항예정시간  
 $c_{1i}$  : 선박 i의 집안 위치에 관한 비용  
 $c_{2i}$  : 선박 i의 집안 시간에 관한 비용  
 $c_{3i}$  : 선박 i의 출항 시간에 관한 비용

본 연구에서 다루는 크레인 투입을 고려한 선석계획 문제는 다음과 같이 수리적으로 모형화 할 수 있다.

$$\text{Min} \sum_i \{c_{1i}(\alpha_i^+ + \alpha_i^-) + c_{2i}(\beta_i^+ + \beta_i^-) + c_{3i}\gamma_i^+\} \quad (1)$$

$$\text{s.t. } x_i - s_i = \alpha_i^+ - \alpha_i^- \quad \text{for all } i \quad (2)$$

$$y_i^1 - a_i = \beta_i^+ - \beta_i^- \quad \text{for all } i \quad (3)$$

$$y_i^2 - d_i = \gamma_i^+ - \gamma_i^- \quad \text{for all } i \quad (4)$$

$$x_i + L_i \leq B \quad \text{for all } i \quad (5)$$

$$x_i + L_i + a \leq x_j + M(1 - z_{ij}^x) \quad \text{for all } i \text{ and } j, i \neq j \quad (6)$$

$$y_i^2 + b \leq y_j^1 + M(1 - z_{ij}^y) \quad \text{for all } i \text{ and } j, i \neq j \quad (7)$$

$$z_{ij}^x + z_{ji}^x + z_{ij}^y + z_{ji}^y \geq 1 \quad \text{for all } i \text{ and } j, i < j \quad (8)$$

$$T_i = \sum_k (e_{ki} - b_{ki}) \quad \text{for all } i \quad (9)$$

$$y_i^2 \geq e_{ki} \quad \text{for all } k \quad (10)$$

$$y_i^1 \leq b_{ki} \quad \text{for all } k \quad (11)$$

$$e_{ki} \geq b_{ki} \quad \text{for all } k \text{ and } i \quad (12)$$

$$e_{ki} \leq b_{kj} + M(1 - u_{kij}) \quad \text{for all } k, i, j \quad (13)$$

$$\sum_j u_{ksj} = 1 \quad \text{for all } k \quad (14)$$

$$\sum_j u_{kij} - \sum_i u_{kji} = 0 \quad \text{for all } i, k \quad (15)$$

$$\sum_i u_{kit} = 1 \quad \text{for all } i \quad (16)$$

$$2 \leq \sum_k \sum_i u_{kij} \leq 5 \quad \text{for all } j \quad (17)$$

$$y_i^2 - y_i^1 \geq 4 \quad \text{for all } i \quad (18)$$

$$\alpha_i^+, \alpha_i^-, \beta_i^+, \beta_i^-, x_i, y_i^1, y_i^2, e_{ki}, b_{ki} \geq 0 \quad \text{for all } i \text{ and } k \quad (19)$$

$$z_{ij}^x, z_{ij}^y, z_{ji}^x, u_{kij} \quad 0 \text{ or } 1 \quad \text{for all } i \text{ and } j, i \neq j \quad (20)$$

목적함수는 선박의 집안위치와 관련된 컨테이너의 취급비용의 가중합과 선박의 예정집안시간과 실제 집안시간과의 차이, 선박의 출항예정시간보다 늦게 출항하여 발생하는 비용의 합을 최소로 하였다.

### 3. 발견적 해법

제시된 발견적 해법은 선박의 집안위치를 먼저 결정하고, 크레인의 활용가능성을 따져 보고 크레인을 할당하여 선석계획을 완성하게 된다. 전체적은 해법의 절차는 Fig. 2와 같다.

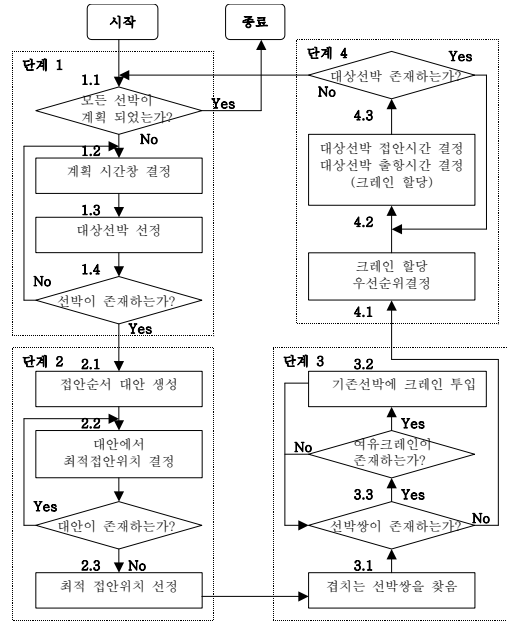


Fig. 2 Flowchart of the heuristic algorithm

수행시간측면에서 라그랑지안 완화법(Park and Kim, 2003)은 선박의 수가 증가할수록 기하급수적으로 증가하지만 발견적 기법은 문제의 크기가 가장 큰 선박수 40에 대해서도 최대 2초이내에 해를 제공하는 것으로 나타났다.

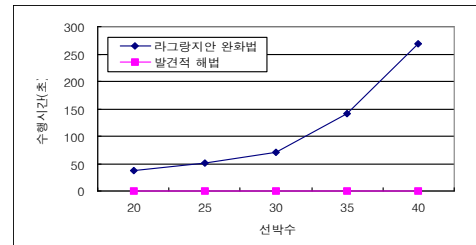


Fig. 3 The computation time of heuristic method

## 4. 결론

본 연구에서는 지금까지 선석계획 문제에서 고려되지 않았던 컨테이너 크레인 투입을 고려한 선석계획 문제를 다루었다. 제시된 문제에 대하여 현장의 다양한 제약을 고려한 혼합정수형모델과 함께 발견적 해법을 제시하였다.

## 참고 문헌

[1] A. Lim(1998), "The Berth Planning Problem," Operation Research Letters 22 , pp. 105-110.  
 [2] C. F. Daganzo(1990), "The Crane Scheduling Problem," Transportation Research, Vol. 24B, No. 3 , pp. 159-172.  
 [3] Y.-M. Park and K. H. Kim(2003), "A Scheduling Method for Berth and Quay Cranes," OR Spectrum, Vol. 25, No. 1, pp. 1-23.