Journal of Port and Harbor Research. RIPAH
Korea Maritime University. Vol. 7, pp. 15~23, 1996.

論　文

公共터미널의 船席配定計劃에 관하여

琴宗洙* · 李弘杰** · 李哲榮***

A Berth Assignment Planning for a Public Terminal

J. S. Keum · H. G. Lee · C. Y. Lee

Key Words : 순서변동 허용폭(Maximum Position Shift), 선석배정모델(Berth assignment model), 총재항시간(Total port time), 총계류시간(Total berthing time), 휴리스틱 알고리즘(Heuristic algorithm), FIFO(First in-First out), 무작위배정(Random assignment)

Abstract

A berth assignment problem has a direct impact on assessment of charges made to ships and goods. A berth can be assigned to incoming vessels and operated in tow different ways: as a common user berth, as a preference berth. A common user berth is a berth that any ship calling at a port may be permitted to use according to her time of arrival and to priorities as determined by the port authority. In this paper, we concerned with various types of mathematical programming models for a berth assignment problem to achive an efficient berth operation.

In this paper, we focus on a reasonable berth assignment programming in a public container terminal in consideration of trade-off between server and user. We propose a branch and bound algorithm & heuristic algorithm for solving the problem. We suggest three models of berth assignment to minimizing the objective functions such as total port time, total berthing time and maximum berthing time by using a revised Maximum Position Shift(MPS) with which the trade-off between servers and users can be considered. The berth assignment problem is formulated by min-max and 0-1 integer programming and developed heuristic algorithm to solve the problem more easily instead of branch and bound method.

Finally, we gave the numerrical solutions of the illustrative examples.

* 정회원, 한국해양대학교 대학원 해사수송과학과 박사과정
** 정회원, 한국해양대학교 부설 항만연구소 연구원
*** 정회원, 한국해양대학교 물류시스템공학과 교수

1. 序 論

여러개의 船席을 共同 管理하는 公共 컨테이너 터미널은 多樣한 船型과 航路의 船舶이 繫流되고 있기 때문에 入港頻度가 높은 複數의 船席을 運營하는 컨테이너 터미널에서 搬入 컨테이너는 터미널에 搬入된 時點에서는 船席配定에 관한 情報의 不足으로 인하여 該當船舶이 어느 船席에 繫留되는가 豫測不可能하기 때문에 任意의 場所에 藏置되었다가 該當船舶의 船席이 決定된 후에 船舶까지 移送되어 荷役作業이 이루어지므로 船舶의 繫留時間 및 在港時間에 큰 影響을 미치게된다. 그러므로, 合理的인 船席配定計劃의 樹立은 港灣物流 시스템의 效率性에 있어서 중요한 問題로 대두되고 있다.

一般的으로 船席配定 問題는 利用者의 立場에서는 船舶의 在港時間을 最小로하기 위하여 到着順으로 船席配定이 이루어지길 원하고, 港灣運營者의 立場에서는 到着順序에 관계없이 船席의 效率性을 높이기를 원하므로 優先權이 相衝하는 trade-off 관계가 있으므로 利害關係者의 立場을 모두 反映할 수 있는 船席配定 計劃의 樹立이 必要하다. 船席配定 問題는 繫留待期가 發生하여 繫留할 때까지는 待期行列 問題이고, 繫留船席 割當問題는 일종의 스케쥴링 문제로 되어 두가지 문제를 複合的으로 생각할 必要가 있다.1),4)

따라서, 本 硏究에서는 이러한 점에 注目하여 船席配定 問題에 관한 既存硏究의 現況을 把握하고, 檢討 및 分析하여 그 問題點들을 解決하기 위하여 MPS(Maximum Position Shift : 順序變動 許容幅)을 통하여 利害關係者 양측의 立場을 모두 反映할 수 있는 새로운 船席配定 모델을 제시하고 最適解法인 分枝限界法 및 現實的으로 船席配定 問題는 問題의 性格上 반드시 嚴密解를 要求하는 것이 아니므로 數理計劃 모델의 解法的 難点을 解決하기 위하여 보다 實用的이고 效率的인 휴리스틱 알고리즘을 構成하여 近似解를 구하고 그 有效性을 檢證하고자 한다.

2. 船席配定問題의 定式化

2.1 既存硏究現況의 分析 및 檢討

船席配定 問題에 관한 既存硏究는 서비스 方式과 評價函數의 組合으로 총 9개의 모델로 構成되어있다.4) 서비스 方式은 船舶의 到着順序를 反映하여 到着順으로 繫留하는 First In(FI) 방식, 船舶을 到着順으로 荷役을 終了하고 出港하는 方案인 First Out(FO)方式 및 對象船舶의 到着順序를 考慮하지 않는 無作爲로 割當하는 方案인 Random(RD)方式으로 나누고, 評價函數는 考慮 對象船舶의 在港時間(繫留時間 + 待期時間)의 總合, 각 船席에 割當된 繫留時間의 總合 및 船席의 計劃開始 時刻으로부터 全體 對象船舶의 繫留가 끝날 때 까지의 最終 作業終了時刻을 對象으로 하고있다. 이 경우에 있어서 FIFO方式은 利用者의 立場을 강하게 反映한 形態로 割當方式이 到着順序에 강하게 制約되므로 3개의 評價函數는 거의 共通的인 해를 지니게되며, Random方式은 港灣運營者의 立場을 강하게 反映한 모델로서 多樣한 繫留時間을 지닌 船舶을 어느 船席에 어떤 順序로 配定하느냐에 따라서 船席의 運營效率이 달라지므로 評價函數의 目的을 그대로 지닐 수 있다. 그러므로, 실제 서비스를 提供하는 港灣側의 立場에서 볼 때 Random方式은 非現實的인 모델이다. 이 硏究에서 구성한 9개의 모델은 서비스 方式의 側面을 살펴보면 極端的인 狀況만을 考慮한 形態이므로 現實問題에 適用함에 있어서는 많은 問題點이 있다고 思料된다.

n척의 船舶이 到着하여 船席配定을 기다리고 있을 때 n척의 船舶을 待期時間의 最小化, 最終 作業終了時間의 最小化, 總繫留時間의 最小化 등의 目的으로 船舶의 到着順序를 기준으로 無作爲로 順序를 配定할 경우 n척의 船舶의 順序는 n!의 경우의 順序列을 가지게 되며 이 가운데서 評價目的에 가장 附合되는 順序列이 構成되어 船席에 繫留된다. 이러한 觀點을 順序變動許容幅(MPS)이라고 定義하고 MPS의 값

이 작을수록 到着順序에 充實한 利用者의 立場을 反映한 形態가 되며, MPS의 값이 클수록 港灣運營者의 立場을 反映한 形態가 되므로 이러한 概念을 導入하여 서비스 方式(FIFO 및 Random方式)을 모두 包含할 수 있는 統合的인 모델의 具現을 可能하게 한다.1) 그러나, 이 硏究에서는 MPS의 槪念을 導入한 統合的인 모델의 構成에 있어서 船舶의 到着順序와 割當順序를 考慮하여 MPS制約을 導入하였으나 現實問題에 있어서 船席이 여러개 있는 경우에 割當되는 順番에 따라 MPS制約을 고려하지 않고 있기 때문에 現實的인 船席配定 모델로서의 問題點이 있다.

따라서, 本 硏究에서는 이러한 問題點들을 補完하여 새로운 船席配定 모델을 提案한다.

2.2모델의 定式化

MPS概念을 使用하여 새로운 선석배정 모델을 構成하기 위하여 다음과 같은 基本假定을 設定한다.

1) 對象船舶의 荷役時間은 船席에 따라 다르며 그 時間은 이미 알고 있는 것으로 한다.
2) 計劃開始 時刻까지 港內에 到着하는 船舶을 對象으로 하고 該當船舶의 到着時間은 알고 있는 것으로 假定한다.
3) 計劃對象이 아닌 船舶의 割當은 考慮하지 않는다.

[變數 및 파라메터]

(變數)

x_{ijk} : 만일 船舶 j가 i번 船席에 k번째 繫留되면 1, 그렇지 않으면 0 인 0-1 整數變數

(添子)

$i(=1,2,3,\cdots,B)$ 船席番號 (B : 船席數)

$j(=1,2,3,\cdots,T)$ 船舶番號 (到着順으로 賦與), (T : 對象船舶의 隻數)

$k(=1,2,3,\cdots,T)$ 繫留順序

(파라메터)

A_j : 船舶 j의 到着時刻

C_{ij} : 船席 i에서의 船舶 j의 繫留時間

F_i : 船席 i에 割當된 船舶의 數

S_i : 計劃開始 以前부터 船席 i에 繫留되어 있는 船舶이 出港하여 計劃期間 內에 船席 i가 비게 되는 時刻

ST : 計劃開始時刻 ($\min_{1 \le i \le B} \{S_i\}$)

MPS : 順序變動 許容幅

Q_i : 計劃開始 時刻으로부터 어느 時點에 船席 i에 割當되는 船舶의 繫留가 끝날 때까지의 時間 ($\min_{1 \le i \le B} \{S_i\}$ 인 船席 i 以外에서는 計劃開始時刻以前부터 繫留되어 있는 船舶의 ST로 부터 出港할 때까지의 繫留時間을 包含하는 것으로 한다.)

[總在港時間 最小化 모델(모델1)]

\- 定式化 -

$$\text{minimize} \quad \sum_{i=1}^{B}\sum_{j=1}^{T}\sum_{k=1}^{T}\{(T-k+1)\cdot C_{ij}+S_i-A_j\}\cdot x_{ijk} \qquad (2\text{-}1)$$

$$\text{subject to} \quad \sum_{i=1}^{B}\sum_{k=1}^{T} x_{ijk}=1, \quad j=1,2,3,\cdots, T \qquad (2\text{-}2)$$

$$\sum_{j=1}^{T} x_{ijk} \le 1, \quad i=1,2,3,\cdots, B;\ k=1,2,3,\cdots,T \qquad (2\text{-}3)$$

$$\{\sum_{j=1}^{T}\sum_{l=1}^{k} C_{ij}\cdot x_{ij_l} - \sum_{j=1}^{T}\sum_{l=1}^{k} C_{i'j'}\cdot x_{i'j'l}\}\cdot \sum_{j=1}^{T} x_{ijk+1} \cdot \{j+\frac{(\sum_{j=1}^{T}\sum_{l=1}^{k} C_{ij}\cdot x_{ijl}-\sum_{j=1}^{T}\sum_{l=1}^{k'} C_{i'j'}\cdot x_{i'j'l})}{|(\sum_{j=1}^{T}\sum_{l=1}^{k} C_{ij}\cdot x_{ijl}-\sum_{j=1}^{T}\sum_{l=1}^{k} C_{i'j'}\cdot x_{i'j'l})|}(MPS+1)\}>\{\sum_{j=1}^{T}\sum_{l=1}^{k} C_{ij}\cdot x_{ijl}-\sum_{j=1}^{T}\sum_{l=1}^{k} C_{i'j'}\cdot$$

$$x_{i'j'l}\} \sum_{j=1}^{T} x_{i'j'k'+1} \cdot j', \quad x_{ijk} \in \{0, 1\} \qquad (2\text{-}4)$$

$i,\ i' = 1,2,3,\cdots, B: k, k' = 1,2,3,\cdots, T-1$

式(2-4)의 MPS制約式은 만일 어떤 船席 i의 順番 $k+1$에서의 繫留開始時刻이 다른 船席 i'의 順番 $k'+1$에서의 繫留開始時刻 보다 빠르다면 船席 i에서의 船舶番號 j+(MPS+1)쪽이 船席 i'에서의 船舶番號 j'보다 작다는 것을 意味한다. 즉, j와 j'는 MPS의 크기에 따라 달라진다. 따라서, MPS가 크면 클수록 j와 j'의 順番에 있어서의 許容값이 높아지므로 到着順番의 考慮가 없는 Random 모델의 形態를 취하게 되며, MPS의 값이 작을수록 j와 j'의 順番에 있어서의 許容값이 작아지므로 到着順番에 充實한 모델의 形態가 된다. 이 모델은 0-1 整數計劃法의 形態를 취하고 있으나 이 制約式으로 인하여 非線型計劃 問題로 된다.

[繫留時間 最小化 모델(모델2)]

- 定式化 -

$$\text{minimize} \sum_{i=1}^{B}\sum_{j=1}^{T}\sum_{k=1}^{T} C_{ij} \cdot x_{ijk} \qquad (2\text{-}5)$$

subject to

$$\sum_{i=1}^{B}\sum_{k=1}^{T} x_{ijk} = 1, \quad j = 1,2,3,\cdots, T \qquad (2\text{-}6)$$

$$\sum_{j=1}^{T} x_{ijk} \le 1, \quad i = 1,2,3,\cdots, B: \ k = 1,2,3,\cdots, T \qquad (2\text{-}7)$$

$$\{\sum_{j=1}^{T}\sum_{l=1}^{k} C_{ij} \cdot x_{ijl} - \sum_{j'=1}^{T}\sum_{l=1}^{k'} C_{i'j'} \cdot x_{i'j'l}\} \cdot \sum_{j=1}^{T} x_{ijk+1} \cdot \{j + \frac{(\sum_{j=1}^{T}\sum_{l=1}^{k} C_{ij} \cdot x_{ijl} - \sum_{j'=1}^{T}\sum_{l=1}^{k'} C_{i'j'} \cdot x_{i'j'l})}{|(\sum_{j=1}^{T}\sum_{l=1}^{k} C_{ij} \cdot x_{ijl} - \sum_{j'=1}^{T}\sum_{l=1}^{k'} C_{i'j'} \cdot x_{i'j'l})|} (MPS+1)\}\rangle \{\sum_{j=1}^{T}\sum_{l=1}^{k} C_{ij} \cdot x_{ijl} - \sum_{j'=1}^{T}\sum_{l=1}^{k'} C_{i'j'} \cdot x_{i'j'l}\} \sum_{j=1}^{T} x_{i'j'k'+1} \cdot j', \quad x_{ijk} \in \{0, 1\} \qquad (2\text{-}8)$$

$i,\ i' = 1,2,3,\cdots, B: \ k,\ k' = 1,2,3,\cdots, T-1$

[最終作業終了時間 最小化 모델(모델3)]

- 定式化 -

$$\text{minimize } Q_m = \max_{1 \le i \le B} \{Q_i\} \qquad (2\text{-}9)$$

subject to

$$\sum_{i=1}^{B}\sum_{k=1}^{T} C_{ij} \cdot x_{ijk} \le Q_i, \quad i = 1,2,3,\cdots, B \qquad (2\text{-}10)$$

$$\sum_{j=1}^{T} x_{ijk} = 1, \quad j = 1,2,3, \cdots, T \qquad (2\text{-}11)$$

$$\sum_{j=1}^{T} x_{ijk} = 1 \qquad (2\text{-}12)$$

$$\{\sum_{j=1}^{T}\sum_{l=1}^{k} C_{ij} \cdot x_{ijl} - \sum_{j'=1}^{T}\sum_{l=1}^{k'} C_{i'j'} \cdot x_{i'j'l}\} \cdot \sum_{j=1}^{T} x_{ijk+1} \cdot \{j + \frac{(\sum_{j=1}^{T}\sum_{l=1}^{k} C_{ij} \cdot x_{ijl} - \sum_{j'=1}^{T}\sum_{l=1}^{k'} C_{i'j'} \cdot x_{i'j'l})}{|(\sum_{j=1}^{T}\sum_{l=1}^{k} C_{ij} \cdot x_{ijl} - \sum_{j'=1}^{T}\sum_{l=1}^{k'} C_{i'j'} \cdot x_{i'j'l})|} (MPS+1)\}\rangle \{\sum_{j=1}^{T}\sum_{l=1}^{k} C_{ij} \cdot x_{ijl} - \sum_{j'=1}^{T}\sum_{l=1}^{k'} C_{i'j'} \cdot x_{i'j'l}\} \sum_{j=1}^{T} x_{i'j'k'+1} \cdot j', \quad x_{ijk} \in \{0, 1\} \qquad (2\text{-}13)$$

$i,\ i' = 1,2,3,\cdots, \ B: \ k,\ k' = 1,2,3,\cdots, T-1$

本 研究에서 提示한 세가지 모델에 있어서 모델1의 境遇 0-1 整數計劃法 形態를 취하고 있으나, 모델3의 境遇 線形計劃法 形態가 아니므로 非多項式 次元의 計算量이 必要한 代表的인 NP困難한 모델이며, 모델2의 境遇 繫流時間만을 考慮한 形態이므로 船席의 回轉率을 높일 수 있으나, 각 船席別로 均一한 船舶의 船席配定을 保證할 수 없으므로 非現實的인 모델이다. 따라서, 本 硏究에 있어서 適用對象으로 하는 모델은 모델1로 限定한다.

2.3 解法의 考察 및 適用例

모델1은 0-1 整數計劃法의 形態를 취하고 있으므로 몇가지 方法으로 最適解를 구할 수 있으나, 0-1 整數計劃法의 경우에 問題의 크기가 커지면 計算量이 幾何級數的으로 커지고, MPS 制約式을 導入하므로서 非線型計劃問題가 되어 해를 구하는 것이 쉽지않다. 따라서, 港灣에 있어서 船席配定計劃의 效率性을 圖謀하기 위하여 짧은 時間에 船席配定計劃의 樹立이 容易하고, 實用的이며 合理的인 새로운 알고리즘의 導入이 必要하다고 思料된다.

모델2의 경우는 順番에 관계없이 각 船席 중에서 繫留時間이 最小인 船席에 割當하는 方式이므로船席의 利用率은 높아지나 遊休船席이 발생할 可能性이 있으므로 실제 適用面에서는 바람직하지 못한 모델이다.

모델3은 Min-Max의 形態를 띄고 있으므로 線型計劃法 形態로의 轉換이 가능하나, MPS制約으로 인하여 非線型計劃 問題로 되어 해를 구하기 어려운 形態를 지니고 있다.

總在港時間 最小化 모델(모델1)의 無作爲 割當方式의 數値 適用例는 다음과 같다.

<船舶 40隻, 船席 2개인 경우>

Table 2-1 Ship and berth informations (unit:hours)

船席	計劃開始時刻	繫留時間									
		船舶1	船舶2	船舶3	船舶4	船舶5	船舶6	船舶7	船舶8	船舶9	船舶10
A	04:00	24	20	22	20	24	23	25	21	28	21
B	04:00	21	28	21	25	23	24	20	22	20	24
待期時間		40	39	38	37	36	35	34	33	32	31
(開始時刻-到着時刻)		39	38	37	36	35	34	33	32	31	30

船席	計劃開始時刻	繫留時間									
		船舶21	船舶22	船舶23	船舶24	船舶25	船舶26	船舶27	船舶28	船舶29	船舶30
A	04:00	22	26	24	20	28	21	22	23	24	21
B	04:00	30	24	22	23	20	24	21	18	20	22
待期時間		20	19	18	17	16	15	14	13	12	11
(開始時刻-到着時刻)		19	18	17	16	15	14	13	12	11	10

船席	計劃開始時刻	繫留時間									
		船舶11	船舶12	船舶13	船舶14	船舶15	船舶16	船舶17	船舶18	船舶19	船舶20
A	04:00	27	23	20	25	26	19	20	30	20	22
B	04:00	21	20	24	21	22	23	25	20	24	21
待期時間		30	29	28	27	26	25	24	23	22	21
(開始時刻-到着時刻)		29	28	27	26	25	24	23	22	21	20

船席	計劃開始時刻	繫留時間									
		船舶31	船舶32	船舶33	船舶34	船舶35	船舶36	船舶37	船舶38	船舶39	船舶40
A	04:00	30	24	22	23	20	24	21	18	20	22
B	04:00	22	26	24	20	28	21	23	22	21	24
待期時間		10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
(開始時刻-到着時刻)		9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

Table 2-2 Berth assignment types and Objective value by enumeration method (unit: hours)

Berth	Index set	Objective value
A	38, 16, 39, 24, 4, 2, 19, 35, 13, 17, 10, 26, 8, 30, 37, 40, 21, 33, 32, 6.	9272
B	28, 34, 29, 12, 7, 9, 25, 18, 20, 3, 11, 27, 14, 36, 1, 15, 23, 31, 5, 22.	

3.휴리스틱 알고리즘

3.1 總在港時間 最小化 모델(모델1)

待期行列 理論으로부터 繫留時間을 알고 있고 到着順序를 考慮하지 않을 경우에 全體 待期時間을 減少시키기 위하여 [繫留時間이 짧은 船舶을 優先하면 좋다]는 것이 證明되어 있다.4) 이러한 原則에 基礎하여 構成한 휴리스틱 알고리즘은 다음과 같다.

[알고리즘]

1) 船舶 j의 각 船席에 있어서 퍼지수로 표현된 最小繫留時間을 구한다. $\min_{0\le i\le B}\{C_{ij}\}$ 그리고, 이를 全體 船舶에 대하여 計算하며, 船舶의 最小繫留時間이 동일한 境遇에는 到着時間을 考慮하여 在港時間이 긴 쪽을 優先한다. 最小繫留時間의 順으로 船舶을 再整列한다.

2) $F_i = 0,\ G_i = 0\ \ (i = 1,2,3,\cdots,B)$ 로 둔다.

$x_{ijk} = 0$

$(i = 1,2,3,\cdots,B;$
$j,k = 1,2,3,\cdots,T),\quad j = 1$로둔다.

3) $\min_{0\le i\le B}\{S_i - A_j + G_i + C_{ij}\}$인 i를 구한다.

4) $G_i = G_i + C_{ij},\ F_i = F_i + 1,$

$k = F_i,\ x_{ijk} = 1$로 한다.

5) $j = T$라면 終了하고, $j < T$이면, $j = j + 1$로 두고 手順 3)으로 돌아간다.

6) MPS의 滿足 與否를 分析한다. $|j-k| > MPS$

7) MPS를 滿足하지 않은 船舶을 抽出하여, 最小($|j-k| \sim MPS$)移動을 實施한다. 단, 該當 船舶이 順番에 있어서 競爭關係에 있을 境遇는 船舶의 在港時間이 작은 쪽을 優先으로 順番을 定한다.

8) MPS의 滿足 與否를 다시 따져서 滿足하지 않은 船舶이 있을 境遇, 手順 7)로 돌아간다.

9) MPS를 滿足하는 順番으로 再整列된 후 1)~5)로 돌아가 割當을 한다.

[變數 및 파라메터]

(파라메터)

F_i : 船席 i에 割當된 船舶의 數로서 計劃對象 船舶이 각 船席에 配定된 狀況을 나타내며 알고리즘의 終了與否를 決定한다.

G_i : 船席 i에 있어서 S_i로부터의 繫留時刻으로 이미 配定된 船舶의 荷役에 所要되는 時間을 나타내므로서 在港時間을 計算하는 役割을 한다.

(變數)

x_{ijk} : 船舶 j가 i番 船席에 k番째 繫留되면 1, 그렇지 않으면 0인 0-1 整數變數로 船席에 對象船舶의 配定與否를 나타낸다.

3.2 最終作業終了時間 最小化 모델(모델3)

각 船席에 있어서 最後에 繫留하는 船舶의 繫留終了時刻 중에서 最大의 값을 最小로 하는 것이 目的이므로 結果的으로는, 각 船席에 있어

서 繫留時間의 累積合을 均一하게 하면 된다.

[變數 및 파라메터]

(파라메터)

L_i : 船席 i의 割當 狀況으로 船舶의 配定與否를 決定. $L_i \in \{0, 1\}$

1) $\sum_{j=1}^{T} \min\{C_{ij}\}/B, \quad \sum_{j=1}^{T} \max\{C_{ij}\}/B$

$i: 1, 2, 3, \cdots, B$ 각 船席의 繫留時間의 最大 및 最小값을 推定한다.

2) $L_i = 0$, $1 \le i \le B$, $x_{ijk} = 0$ 로 둔다.

3) $L_i = 0$ 인 船席 중 最小繫留時間이 最大인 船舶 j를 抽出하여 i船席에 割當한다. 만약 모든 船舶의 繫留時間이 0이면 7)로 移動한다.

4) $L_i = 1, \ C_{ij} = 0, \ x_{ijk} = 0$

5) 만약, $\sum_{i=1}^{B} L_i \ge B$ 이면, 각 船席에 配定된 船舶의 繫留時間合을 計算, 最小인 船席 i를 구하여 $L_i = 0$으로 두고, 3)으로 돌아간다.

6) 3)으로 돌아간다.

7) 각 船席別로 割當된 船舶의 順番을 逆順으로 再整列한다.

8) 각 船席別 作業 終了時刻을 計算하여, $\sum_{j=1}^{T} C_{ij} + S_i \quad i ; 1, 2, 3, \cdots, B$ 1)에서 推定된 結果와 比較한다.

9) 計算結果 作業終了時刻의 差가 있을 境遇 각 船席의 順番이 첫번째인 船舶을 移動시켜 繫留時間의 差를 調節한다.

10) MPS의 滿足 與否를 分析한다. $|j-k| >$ MPS

11) MPS를 滿足하지 않은 船舶을 抽出하여, 優先的으로 同一한 船席內 移動으로 MPS의 滿足 與否를 調査하고 다음으로, 각 船席別 順番이 同一한 船舶의 船席移動을 MPS의 滿足 與否를 再檢討한다.

위 사항을 滿足하지 않은 船舶이 있을 境遇 最小 ($|j-k| \sim$ MPS) 移動을 實施한다.

12) MPS의 滿足 與否를 다시 따져서 滿足하지 않은 船舶이 있을 境遇 手順 12)로 돌아간다.

13) MPS를 滿足하는 順番으로 再整列된 후 順次的으로 船席에 交叉하여 割當한다.

3.3 數値 適用例

[船舶 40隻, 船席 2인 境遇]

船舶의 繫留時間 및 到着時間에 관한 情報는 Table 2-1을 利用한다.

Table 3-1 Berth assignment types and objective value by heuristic method

Model 1				Model 3	
MPS	Berth	Index Set	Objective value.	Index set	Objective value
MPS=0	A	2, 4, 5, 8, 10, 12, 13, 16, 17 19, 21, 23, 26, 27, 30, 32, 34, 35, 38, 39	9718	2, 3, 5, 7, 9, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 25, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 39	465
	B	1, 3, 6, 7, 9, 11, 14, 15, 18 20, 22, 24, 25, 28, 29, 31, 33, 36, 37, 40		1, 4, 6, 8, 10, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 26, 27, 29, 31, 33, 35, 37, 40,	470
MPS=20	A	16, 19, 24, 17, 13, 4, 2, 35, 38, 39, 1, 37, 5, 30, 26, 40, 33, 21, 32, 22	9366	18, 9, 25, 11, 22, 31, 15, 14, 7, 36, 29, 23, 6, 8, 34, 12, 28, 27, 20, 39	494
	B	18, 12, 25, 28, 29, 9, 7, 34, 36, 27, 20h, 3, 6, 8, 10, 11, 14, 15, 31, 23		1, 21, 2, 17, 4, 26, 32, 35, 33, 19, 40, 3, 5, 13, 10, 37, 24, 16, 38, 30	484
MPS=39	A	38, 16, 39, 35, 24, 19, 17, 13, 4, 2, 37, 30, 26, 10, 8, 40, 32, 21, 32, 6	9272	31, 18, 25, 9, 11, 22, 15, 14, 7, 36, 29, 23, 5, 34, 28, 12, 27, 20, 3, 39	496
	B	28, 34, 29, 25, 18, 12, 9, 6, 36, 27, 20, 14, 11, 3, 1, 31, 22, 15, 22, 5		1, 21, 35, 2, 32, 17, 4, 40, 33, 26, 19, 13, 10, 6, 37, 24, 16, 38, 30, 8	486

4. 比較分析 및 考察

4.1 RD1모델의 嚴密解法과 휴리스틱 解法의 考察

船席配定모델1(RD1)에 數値例를 適用하기 위하여 本 硏究에서는 整數計劃法의 代表的인 解法인 分枝限界法(branch & bound method)을 使用하였다. 또한, 旣存의 PC급의 O.R package로는 變數의 容量에 限界가 있으므로 보다 流動的인 source file을 利用하여 Fortran compiler(Lahey compiler)을 使用하여 compile 시켜 問題에 接近하였다.

本 硏究에 있어서 船舶 40隻, 船席 2개인 경우에 變數의 수는 3200개, 制約式은 120개로서 데이터를 手作業으로 코딩하는 경우 상당한 時間 및 誤差의 發生 可能性이 높아 data generator를 만들어 元데이타(船舶의 繫留時間 및 到着時間 등)만의 入力으로 데이타(變數 및 制約式)를 自動的으로 發生할수 있도록 構成하였다.

그 결과, 586급 PC(133MHz, RAM : 64MB)에서의 計算時間은 嚴密解法의 경우 問題의 規模가 커지면 幾何級數的으로 增加하고 船舶 40척, 2船席 規模의 問題에 대해서 203秒, 휴리스틱 알고리즘의 경우는 問題의 規模가 커져도 增加幅이 緩慢하고 모든 경우에 있어서 嚴密解法 보다 計算時間이 작게 나타나고 船舶 40척의 경우 0.3秒로 상당한 計算時間差를 보이고 있다. 또한, 記憶容量의 制約으로 인하여 약 40척 정도의 船舶까지 가능하였다. 물론, 旣存의 branch & bound method 및 source file의 資料 構造의 效率性 등에 問題가 없지는 않지만 새로운 알고리즘이나 source의 使用에 있어서도 큰 差異는 없으며 이른바 嚴密解法이 가지고 있는 일반적인 問題인 것으로 思料된다.

휴리스틱 알고리즘의 해와 0-1 整數計劃法을 이용하여 구한 해는 약 2%정도의 誤差를 보이고 있어 상당히 精密度가 높다는 것을 알 수 있다.

이상의 결과로부터 휴리스틱 알고리즘은 비교적 短時間에 大規模의 船席配定 計劃을 樹立하거나, 大容量 컴퓨터시스템이 없고 개인용 컴퓨터 밖에 사용할 수 없는 경우에 상당히 有效한 手段이라고 思料된다.

4.2 모델1과 모델3의 比較分析

船舶의 總在港時間 最小化를 目的函數로 하는 모델1은 利用者의 立場을 考慮한 側面이 강하고, 모델3은 最終作業終了時間을 最小化하는 것이 目的이므로 船席의 稼動率을 높인다는 次元에서 港灣運營者의 立場에 가까운 모델이다. 따라서, 서비스를 提供하는 側面에서 보면 利用者의 滿足度는 모델3에 비하여 모델1이 높다고 할 수 있다. 또한, 알고리즘에 있어서 모델1은 船舶의 配定順番의 移動을 통하여 具現될 수 있으나, 모델3은 配定된 船舶의 船席 移動에 敏感하게 反應하므로 配定順番의 移動과 동일한 船席內의 移動與否 및 각 船席의 동일한 順番을 지닌 船舶의 移動을 檢討하여야 하므로 모델1에 비하여 複雜한 方式을 지니고 있다.

한편, 모델3의 割當形態를 동일한 船席內에서 順番의 移動을 행하거나, 각 船席에 동일한 順番을 지닌 船舶을 다른 船席으로 移動시키면 모델1과 모델3의 割當形態는 대부분 비슷한 形態를 지니게 된다. 이는 서로 다른 目的函數를 지니고 있으나, 휴리스틱 알고리즘에 있어서 繫留時間이 最大인 船舶順으로 또는 最小인 船舶順으로 割當하는 비슷한 方式을 취하고 있기 때문이다.

따라서, 現實問題에 適用함에 있어서 결과적으로 두가지 모델 모두가 두가지 目的函數를 包括하고 있으므로 어떤 모델을 사용하여도 無妨하나, 모델1을 實際問題에 適用하는 것이 보다 效果的이라고 思料된다.

5. 結 論

本 硏究에서는 公共 컨테이너 터미널의 船席配定 問題에 관한 旣存硏究의 現況 및 問題點을 把握하고, 港灣의 利用者와 運營者의 立場

을 모두 反映할 수 있도록 MPS制約을 使用하여 船席配定 問題의 새로운 定式化를 행하였으며, 모델에 따른 解法을 檢討하였다.

휴리스틱 알고리즘의 경우는 大規模 船席配定計劃을 樹立하거나, 大容量 컴퓨터시스템이 없는 경우에 상당히 有效한 手段인 것으로 思料된다. 總在港時間 最小化 모델과 最終作業終了時間 最小化 모델은 비슷한 알고리즘으로 구성되어 있으며, 모델1과 모델3의 實際 割當形態는 대부분 비슷한 形態를 지니고 있어 어떤 모델을 使用하여도 無妨하나, 모델3에 비하여 모델1이 보다 效果的일 것이라고 생각된다.

한편, 船席配定 問題에 관한 旣存의 硏究들은 대부분 通常의 數理計劃法으로 그 해를 구하고 있으나, 數理計劃法에서는 모든 파라메타들을 明確히 알 수 있는 確定値로서 假定하고 있어서 現實問題에 適用할 때 매우 rough한 近似값에 지나지 않으며 意思決定者의 主觀이나 判斷이 介入되는 問題의 모델링에 대한 tool로서 많은 弱點을 지니고 있다고 判斷된다. 실제로 船舶의 到着時間은 氣象의 變化, 船舶의 機關故障 등 여러가지 原因으로 인하여 到着豫定時間에 到着하기 어려운 것이 現實이며, 繫留時間 또한 荷役機器의 故障, 保管場所의 不足 등으로 인하여 確定値로서 表現하기 어려운 것이 現實이다.

따라서, 本 硏究의 앞으로 方向은 繫留時間 및 到着時間에 관한 曖昧한 情報로부터 보다 現實的이고, 合理的인 船席配定計劃을 樹立하기 위한 硏究를 進行해 가고자 한다.

參考文獻

1) 李哲榮,李弘杰(1995),"發見的 알고리즘에 의한 컨테이너 터미널의 船席配定에 關한硏究",韓國港灣學會誌 第9卷 2號 pp. 1-4.
2) 李哲榮,尹明五(1991),"海上交通量의 效率的 管理方案에 關한 硏究 2)一般 水路의 境遇",韓國航海學會誌 第15卷 2號, pp. 1-11.
3) Okada,S. and Gen,M. : Fuzzy Multiple Choice Knapsack Problem, "Fuzzy Sets and systems, Vol.67, pp.71-81(1994)
4) K. Nagaiwa, A. Imai (1994), "A Berth Assignment Planning for a Public Container Terminal", Journal of Navigation, Japan, vol 90.
5) E. G. Frankel(1987), "Port Planning and Development", A Wiley Interscience Publications, pp. 362-371.