# 階層構造 알고리즘에 依한 貨物의 最適配置

李 哲 榮•李 石 泰

# The optimal cargo allocation by heuristic algorithm

*Lee, Cheol-Yeoeng • Lee, Suk-Tae*

〈目　　次〉



## Abstract

With increasing ship's speed, port times become a large percent of total roundtrip time and hence a drag on efficient operation of a ship. Efforts are made to reduce delays at seaport by introducing the computer techniques.

In this paper, it is attempted to write a heuristic program such that when the ship arrives at seaport, operator feeds some informations such as the handling rates, the hold capacity, the kinds and the quantities of commodities into computer, so as to determine the quantities of given cargoes to be loaded in each hold with the object of minimizing the total loading time. The proposed algoithm is constructed as six structured steps and it is seen that the solution is mainly dependent on the handling rates, and the restrictions of hold capacity.

The program is tested by the simulations and found that directly applicable to the practical situations.

## 記 號 說 明

$C$ : 船舶의 積載量

$W$ : 貨物의 量

$L$ : 船艙의 數

$M$ : 貨物의 數

$I$ : 船艙의 集合 ($I=\{i\}$)

$J$ : 貨物의 集合 ($J=\{j\}$)

$Ch_i$ : $i$船艙의 積載量

$W_i$ : $i$船艙의 貨物量

$W_j$ : $j$貨物의 量

$W_{ij}$ : $i$船艙 $j$貨物의 量

$Y_i$ : $W$에 對한 $W_i$의 比率

$Y_j$ : $W$에 對한 $W_j$의 比率

$Y_{ij}$ : $W$에 對한 $W_{ij}$의 比率

$M_{ij}$ : $i$船艙 $j$貨物의 荷役率

$TF_{ij}$ : $i$船艙 $j$貨物의 荷役時間

$C_{sei}(+)$ : $i$船艙의 餘裕容積 ($i(+)\in C_{sei}(+)$)

$C_{sei}(-)$ : $i$船艙의 貨物超過量 ($i(-)\in C_{sei}(-)$)

$C_{sei}$ : $Ch_i-W_i$ ($i=\{i\}$)

$C_{aeij}$ : $i$船艙 $j$貨物의 $Max\ TF_{ij}$의 增加없이 移送할 수 있는 量

$C_{aei}$ : $\sum_{i=1}^{M} C_{aeij}$

$C_{asi}$ : $C_{aei}-C_{sei}(+)$ ($i(+)\in C_{sei}(+)$)

$X_{ij}$ : 超過船艙$i$의 $j$貨物 移送될 量 ($i\in C_{sei}(-)$)

$X'_{ij}$ : 餘裕容積 船艙 $i$의 $j$貨物 收容될 量 ($i\in C_{sei}(+)$)

$Y'_{ij}$ : $X_{ij}$에 對한 $X'_{ij}$의 比率

## 1. 序 論

船舶의 運航費用은 크게 나누어 航海費用과 港灣內에서의 費用으로 나눌 수 있으며, 船舶이 高速化되면서 港灣內에서 船舶이 遲滯함으로 因해 發生하는 費用의 比重이 커져 이를 最小化하고자 하는 努力이 傾注되고 있다.

港灣에서 船舶이 遲滯하는 커다란 理由는 航海援助시스팀, 荷役시스팀, 移送시스팀, 內陸과의 連結시스팀 등이 圓滑하게 動作하지 못하거나 港灣의 容量自體가 到着하는 船舶의 容量을 收容하여 서어비스할 수 없는 水準인 境遇가 大部分이다. 따라서 이러한 境遇에는 港灣內에서 輻輳現象이 發生하여 여러가지 副次시스팀內에서 問題가 發生한다. 이렇게 發生하는 港灣運送시스템의 問題中에

荷役시스팀에 속하는 問題를 그 研究對象으로 할 境遇, 船舶의 積載噸數, 各 船艙의 制限, 荷役器機의 效率 등을 考慮하여 어떻게 하면 最短時間에 貨物을 積載하여 港灣内에서의 船舶遲滯時間을 줄일 것인가라고 하는 것이 매우 重要한 課題가 된다.

荷役시스팀에서 다루어야 할 問題로서는 荷役器機 등의 效率을 考慮한 積揚荷問題, 揚荷港口를 考慮한 積揚荷問題, 安全한 航海條件을 考慮한 積揚荷問題 등이 있으나, 本 論文에서는 主로 船舶의 積載能力과 荷役器機가 지니는 여러가지 能力을 考慮한 第1段階의 積載問題에 對하여서만 다루기로 한다.

問題의 解決方法은 純粹한 計劃法에 依한 境遇와 發見的인 方法에 依한 境遇로 나누어 생각할 수 있으나, 주어진 問題의 性格上 本 論文에서는 發見的인 解決方法에 依해 이 問題를 다룬다.

本 論文은 5個의 章으로 構成되며,

第2章에서는, 다루고자 하는 問題의 性質을 明確히 記述하고, 數學的인 方法을 導入하여 定式化하며,

第3章에서는, 發見的인 方法을 導入하여 問題를 解決하는 方法을 說明하고, 計算機 알고리즘으로 構成하며,

第4章에서는, 實際의 例를 通하여 本 論文에서 提案한 方法의 有效性을 確認하고자 한다.

## 2. 問題의 記述 및 定式化

### 2·1 問題의 記述

貨物을 積載하는 問題는 荷役機器의 性能과 船艙의 크기를 考慮하여 各 船艙에 積載할 貨物의 量을 決定하는 問題와 各 船艙에 配定된 貨物을 揚荷地를 考慮하여 最短時間에 配置하는 問題로 나누어 생각할 수 있다. 그리고, 이 境遇 船舶의 航海條件인 Trim, 安定性 等을 考慮하는 問題 또한 매우 重要하다. 아래에서는 貨物의 種類, 荷役器機, 貨物艙의 制限 等을 考慮하여 最小의 時間内에 貨物을 積載함으로써 港内에서 船舶이 消費하는 時間을 最小로 한다는 觀點에서 各 船艙에 積載해야 할 貨物의 量을 決定하는 問題를 다루기로 한다.

Fig. 1과 같이 船艙 $L$個의 船舶에 있어서 $M$種類의 貨物을 船積한다고 하고, 各 船艙 容積을 $Ch_i$, 船艙別 配定 貨物量을 $W_i$라 하면 船積해야 할 貨物의 總量 $W$는 船舶의 積載能力 $C$를 넘지 않아야 하므로 式 (1),(2)가 成立한다.

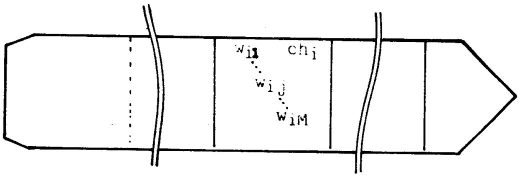


**Fig. 1.** Pattern of Cargo allocation

$$C \geq W \qquad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{L} Chi \geq \sum_{i=1}^{L} W_i \qquad (2)$$

船積한 貨物總量 $W$에 對한 $i$番 船艙 $j$種 貨物의 量 $W_{ij}$의 比率을 配定率 $Y_{ij}$라 하고 그 荷役率을 $\mu_{ij}$라 하면 配定率 $Y_{ij}$의 合은

$$\sum_{i=1}^{L}\sum_{j=1}^{M} Y_{ij}=1 \quad \cdots\cdots(3)$$

이 되고. (3)式에서 $\sum_{j=1}^{L} Y_{ij}=\overline{Y}_j$라 두면

$$\sum_{j=f}^{M}\overline{Y}=1 \quad \cdots\cdots(4)$$

로 된다. (4)式의 $\overline{Y}_j$는 貨物 種類別 總量 $W_j$의 總貨物量 $W$에 對한 配定率을 뜻한다.

위의 配定率 $Y_{ij}$를 利用하면 $i$船艙 $j$貨物의 實際量 $W_{ij}$는

$$W_{ij}=W\cdot Y_{ij} \quad \cdots\cdots(5)$$

로 되며, 이 貨物의 荷役時間 $TF_{ij}$는 式(6)과 같이 求할 수 있다.

$$TF_{ij}=\frac{W\cdot Y_{ij}}{\mu_{ij}} \quad \cdots\cdots(6)$$

그리고, $i$番 船艙의 荷役完了時間 $TF_i$는

$$TF_i=\underset{i}{Max}\{TF_{ij}\} \quad \cdots\cdots(7)$$

로 되며, 船艙의 積荷時間을 決定하는 것은. 그 船艙에서 가장 마지막에 荷役作業이 끝나는 船艙에서의 積荷作業完了時間과 一致하므로 船舶의 荷役完了時間 $TF$는 다음과 같이 決定된다. 단, 여기에서는 各 船艙別, 各 貨物種類別로 同時에 荷役作業이 可能한 것으로 假定하였다.

$$TF=\underset{i}{\mathrm{Max}}\{TF_i\} \quad \cdots\cdots(8)$$

以下에서는 船舶의 荷役完了時間 $TF$를 決定하는 船艙을 特히 Command Hatch라 부르기로 한다.

### 2·2 定式化

아래에서는 實際로 船舶에 貨物을 적재할 경우, 即, 荷役시스팀의 効率을 向上시키기 위하여 船艙 容積에 制限이 있는 境遇에 積荷時間이 最小가 되도록 各 船艙에 配定되어야 하는 貨物의 量을 決定하는 問題를 定式化하기로 한다. 아래에서 다루는 問題는 荷役設備 및 作業條件에 依해 決定되는 荷役率, 貨物의 量, 種類 및 船艙의 制限이 주어져 있을 境遇의 最終 荷役完了時間 $TF$를 最小化하는 貨物 配定率 $Y_{ij}$를 決定하는 問題로 된다. 따라서, 最終荷役完了時間

$$\underset{i}{\mathrm{Max}}\ \underset{j}{\max}\frac{WY_{ij}}{\mu_{ij}} \quad \cdots\cdots(9)$$

$$W,\ \mu_{ij}\geq 0$$

를 最小로 하는 $Y_{ij}$를 求하는 問題가 되며, 이 때에 $i$船艙에 配定된 各種 貨物의 合量은 그 船艙의 貨物總量 $W_i$

$$W_i=\sum_{j=1}^{M} W\cdot Y_{ij} \quad \cdots\cdots(10)$$

이며, 이 合量 $W_i$는 船艙容積 $Chi$보다는 크지 않아야 한다는 다음의 條件을 滿足하여야 한다.

$$Chi \geq W_i \qquad \cdots\cdots(11)$$

따라서, 以上의 結果를 整理하면 다음과 같이 된다.

制限條件 $\sum_{i=1}^{L}\sum_{j=1}^{M} Y_{ij}=1 \qquad \cdots\cdots(3)$

$$Chi \geq \sum_{j=1}^{M} W \cdot Y_{ij} \qquad \cdots\cdots(11)$$

$$W,\ Y_{ij} \geq 0$$

目的函數 $\text{Minimize}\left(\underset{i}{\text{Max}}\ \underset{j}{\max}\left\{\frac{W \cdot Yij}{\mu_{ij}}\right\}\right) \qquad \cdots\cdots(12)$

위의 問題는 바로 解를 求하기가 어려우므로 다음과 같이 變換하기로 한다.

위 式에서 $\sum_{i=1}^{L} Y_{ij}=\overline{Y}_j$, $\underset{i}{\text{Max}}\ \underset{j}{\max}\frac{W \cdot Y_{ji}}{\mu_{ij}}=e$라 두면 위 式은

制限條件 $\sum_{j=1}^{M} \overline{Y}_j=1 \qquad \cdots\cdots(4$

$$Chi \geq W\sum_{j=1}^{M} Y_{ij} \qquad \cdots\cdots(11)$$

$$\frac{W \cdot Y_{ij}}{\mu_{ij}} \leq e \qquad \cdots\cdots(13)$$

$$\overline{Y}_j,\ W,\ Y_{ij},\ \mu_{ij} \geq 0 \qquad \cdots\cdots(14)$$

目的函數 Minimize $e$ $\qquad \cdots\cdots(15)$

와 같은 形式으로 變換할 수 있고, $e$ 때문에 直接 解를 求할 수 없으므로, 目的函數와 式(13)에 包含된 e를 除去하기 위하여, 式(13)의 $e$로 兩邊을 나누면,

$$\frac{W \cdot Y_{ij}}{\mu_{ij} \cdot e} \leq 1 \qquad \cdots\cdots(16)$$

또, (16)式에서 $\frac{Y_{ij}}{e}=K_{ij}$라 두면,

$$\frac{W \cdot K_{ij}}{\mu_{ij}} \leq 1 \qquad \cdots\cdots(17)$$

와 같이 되고 $\sum_{i=1}^{L}\sum_{j=1}^{M} K_{ij}=\sum_{i=1}^{L}\sum_{j=1}^{M}\frac{Y_{ij}}{e}=\frac{1}{e}$로부터 Minimize $(e)$→Maximize$\sum_{i=1}^{L}\sum_{j=1}^{M} K_{ij}$로 되므로 위의 問題는,

制限條件 $\frac{Chi}{e} \geq W\sum_{j=1}^{M} K_{ij} \qquad \cdots\cdots(11)'$

$$\frac{W}{\mu_{ij}}K_{ij} \leq 1 \qquad \cdots\cdots(17)'$$

$$K_{ij},\ \mu_{ij} \geq 0 \qquad \cdots\cdots(18)$$

目的函數 $\sum_{i=1}^{L}\sum_{j=1}^{M} K_{ij} \rightarrow \text{Maxmize}$

로 變換된다. 이 問題는 制限條件(11)'가 없을 境遇에는 통상의 線型計劃法으로 解를 구할 수 있으

나, $e$를 包含하는 制限條件式(11)'이 存在할 境遇에는 따로 分離하여 解를 求할 수밖에 없다. 制限條件式(11)'가 없을 境遇의 이 問題의 解는 目的函數의 性質上 各各의 $K_{ij}$를 最大로 하는 값을 求하면 되므로, 制限條件 (17) $K_{ij} \leq \frac{\mu_{ij}}{W}$로부터 다음과 같이 解를 求할 수 있다.

즉,

$$\sum_{i=1}^{L} K_{ij} = \frac{1}{W} \sum_{i=1}^{L} \mu_{ij} \qquad \cdots\cdots(19)$$

로 되고, (16)式에서 $\frac{Y_{ij}}{e} = K_{ij}$라 두었으므로 이것을 변형하면,

$$\sum_{i=1}^{L} \frac{Y_{ij}}{e} = \sum_{i=1}^{L} K_{ij} \qquad \cdots\cdots(20)$$

$$\frac{1}{e} \overline{Y}_j = \sum_{i=1}^{L} K_{ij} \qquad \cdots\cdots(21)$$

로 되어, 式 (19)와 (21)으로부터 결국 $e$는

$$\sum_{i=1}^{L} K_{ij} = \frac{1}{W} \sum_{i=1}^{L} \mu_{ij} = \frac{1}{e} \overline{Y}_j \qquad \cdots\cdots(22)$$

$$e = \frac{W \cdot \overline{Y}_j}{\sum_{i=1}^{L} \mu_{ij}} \qquad \cdots\cdots(23)$$

이 된다. 따라서, 制限條件 (11)'가 없는 境遇에는 $K_{ij}$를 最大로 하는 問題는 (17)'로부터 $K_{ij} = \frac{\mu_{ij}}{W}$로 되고, $\frac{Y_{ij}}{e} = K_{ij}$이므로,

$$\frac{Y_{ij}}{e} = \frac{\mu_{ij}}{W} \qquad \cdots\cdots(24)$$

$$Y_{ij} = e \cdot \frac{\mu_{ij}}{W} \qquad \cdots\cdots(25)$$

(26)式에 (23)式을 代入하여 整理하면

$$Y_{ij} = \frac{W \cdot \overline{Y}_j}{\sum_{i=1}^{L} \mu_{ij}} \cdot \frac{\mu_{ij}}{W}$$

$$= \cdot \frac{\overline{Y}_j \cdot \mu_{ij}}{\sum_{i=1}^{L} \mu_{ij}} \qquad \cdots\cdots(26)$$

단, $i = 1, 2, \cdots\cdots, L$

$j = 1, 2, \cdots\cdots, M$

로 된다. 即, (26)式은 制限條件이 없는 境遇에 荷役完了時間을 最小化하고자 할 때, 解析的으로 求한 最適貨物配定率이 된다. 따라서, 船艙容積 $Chi$에 制限條件이 없을 境遇의 配定率 $Yij$로부터 荷役時間을 計算하면,

$$TF_{ij} = \frac{W \overline{Y}_j}{\sum_{i=1}^{L} \mu_{ij}} \qquad \cdots\cdots(27)$$

$i=1,\ 2, \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots,\ L$

$j=1,\ 2, \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots,\ M$

로 된다. (27)式의 $TF_{ij}$는 船舶의 荷役完了時間을 決定하는 基本要素이며, 船舶의 荷役完了時間 $TF$는 $TF_{ij}$의 最大値로서, 이 $TF$를 最小化하는 配定量 $W_{ij}$가 各 船艙 貨物種類別의 最適配置量이 된다. 이와 같이 配定된 各 船艙別 貨物量을 收容可能토록 한 船艙을 最適船艙패턴이라 한다.

한편, (27)式의 荷役完了時間 $TF$는 荷役率 $\mu_{ij}$에 크게 依存하고 있음을 알 수 있다.

## 3. 發見的 알고리즘

船艙別 貨物의 最適配置 問題는 船艙에 制限이 없는 境遇에는 線型計劃法의 問題로 定式化가 可能하여 解析的인 方法으로 그 解를 求할 수 있으나, 制限條件을 考慮할 境遇에는 變形된 計劃法의 導入이 불가피하다. 아래에서는 위에서 求한 해석적인 解를 기본으로 하여, 船艙에 制限이 있는 境遇의 最適貨物量의 決定問題를 人間의 經驗과 認識에 근거를 둔 發見的인 方法으로 해결하는 과정에 대하여 설명하기로 한다.

船舶이 定해지면 船艙의 數와 容積은 自動的으로 決定되어지나, 이 境遇에 各 船艙別 容積의 合計는 積載할 總貨物보다는 적지 않아야 하며, 또한 어느 한 船艙에 配置할 種類別 貨物의 總量은 船艙의 容積을 넘을 수 없다. 따라서, 最適의 貨物配置는 위에서 說明한 두가지 條件(式(2)과 (11))을 滿足하는 것이어야 하며, 이 때의 荷役完了時間 $TF_{ij}$의 最大値가 船舶 全體의 荷役作業完了時間이 되므로 이 最大値를 最小로 하는 各 船艙別 貨物量을 求하는 것이 目的으로 된다.

最適船艙 패턴의 貨物配置量 $W_i$는 주어진 實船艙容積 $Chi$와 반드시 一致한다는 保障은 없으므로 먼저, 이 두 값을 比較하여 船艙의 餘裕容積 $C_{sei}(+)$ 혹은 超過貨物量 $C_{sei}(-)$를 計算한다. 즉,

$$C_{sei}=Chi-W_i \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(28)$$

$i=1,\ 2, \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots,\ L$

(28)式에서 $C_{sei}$ 값이 陽數($C_{sei}(+)$)이면 船艙에 配置된 貨物量 $W_i$가 船艙容積 $Chi$에 比하여 不足하여 船艙容積에 餘裕가 있는 狀態이므로 이곳으로 超過貨物의 移送이 可能하며, 陰數($C_{sei}(-)$)이면, 船艙에 配置된 貨物 $W_i$가 船艙容積 $Chi$를 超過하고 있으므로 이 超過된 量을 餘裕가 있는 다른 船艙에 移送하여야 할 것이고, 零의 값($C_{sei}(0)$이면 最適船艙패턴의 貨物配定量 $W_i$와 船艙의 容積 $Chi$가 一致하여 바로 最大値를 求한 狀態가 된다.

그리고, 貨物이 船艙에 超過配置된 量 $C_{sei}(-)$은 船艙의 餘裕容量 $C_{sei}(+)$가 있는 船艙으로 移送하여야 한다. 問題의 條件에서 總船艙容積 $C$은 總貨物量 $W$보다 적지 않으므로 超過된 量 $C_{sei}(-)$의 合은 船艙餘裕容積 $C_{sei}(+)$의 合보다는 클 수는 없다. 즉,

$$\sum_{i(+)} C_{sei}(+) \geq \sum_{i(-)} C_{sei}(-) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(29)$$

$i(+)\in C_{sei}(+),\quad i(-)\in C_{sei}(-)$

먼저 超過한 貨物量 $C_{sei}(-)$를 船艙餘裕容量 $C_{sei}(+)$가 있는 다른 船艙으로 옮기되 最大荷役時間의增加를 가져오지 않고 移積할 수 있는 各 船艙 및 貨物別의 收容量 $C_{aeij}$를 求하여 各 船艙別로 收容할 수 있는 量 $C_{aei}$를 計算한다.

$$C_{aeij}=(\mathrm{Max.}\ TF_{ij}-TF_{ij})\times\mu_{ij} \qquad \cdots\cdots(30)$$

$$C_{aei}=\sum_{j=1}^{M}C_{aeij} \qquad \cdots\cdots(31)$$

$$i\in C_{sei}(+)$$

$$j=1,\ 2,\cdots\cdots,\ M$$

그리고, 船艙의 餘裕容積 $C_{sei}(+)$와 最大荷役完了時間을 增加시키지 않고 貨物을 移送할 수 있는 餘裕船艙에의 收容量 $C_{aei}$를 比較하여 그 差異 $C_{asi}$를 計算한다.

$$C_{asi}=C_{aei}-C_{sei}(+) \qquad \cdots\cdots(32)$$

$$i\in C_{sei}(+)$$

(32)式에서 $C_{asi}$의 값이 非負數이면 $C_{sei}(+)$값만큼 $C_{sei}(-)$값을 順序대로 移送하고 陰數이면 $C_{aei}$값만큼 $C_{sei}(-)$값을 順序대로 移送한다. 이 境遇 $C_{sei}(+)$값이 零이 된다면 그 船艙의 餘裕容量은 없는 상태이므로, 이 때 貨物配置는 完了된 狀態가 되며, $C_{aei}$값이 零이면 이 때 荷役完了時間은 最適船艙패턴에서의 最大荷役完了時間과 同一하게 된다. 단, 이 때의 貨物移送은 種類別로 行해야한다.

以上의 方法으로 貨物이 再配置되면 配置量 및 各 船艙別 貨物量은 달라지므로 船艙의 餘裕容積 $C_{sei}(+)$ 또는 貨物의 超過量 $C_{sei}(-)$를 다시 計算해야 된다. 여기서 船艙容積 $Chi$를 超過하여 貨物을 配置한 量 $C_{sei}(-)$가 있으면 船艙의 餘裕容積 $C_{sei}(+)$가 있는 곳에 再移送하여야만 하며 이 때에는 荷役時間의 增加를 가져오므로 增加量 $\varDelta TF_{ij}$가 最小가 되도록 移送하여야 한다.

貨物이 超過配置된 船艙으로부터 移送해야 할 各 貨物種類別 量 $X_{ij}$의 合 $\sum_{j=1}^{M}X_{ij}$은 바로 貨物超過量 $C_{sei}(-)$가 되며, 餘裕容積 $C_{sei}(+)$가 있는 船艙에 移送될 各 貨物種類別 量 $X'_{ij}$의 合 $\sum_{j=1}^{M}X'_{ij}$은 餘裕容積 $C_{sei}(+)$보다 크지 않아야 된다. 여기서 超過貨物이 配置된 船艙에 있어서 超過貨物量 $C_{sei}(-)$에 對한 各 貨物 種類別 移積될 量 $X_{ij}$은 餘裕容積이 있는 船艙들에 各 貨物種類別 移積될量 $X'_{ij}$의 荷役時間을 같게 하게 하는 量으로 決定되어져야 하며, 이 $X'_{ij}$의 量은 超過貨物船艙의 各 貨物種類別 移積될 量 $X_{ij}$에, 이들 餘裕船艙이 荷役率에 따라 求한 配定率 $Y'_{ij}$을 곱하여 求한다. 즉, 餘裕容積 $C_{sei}(+)$이 있는 船艙들의 各 船艙 貨物種類別 收容量 $X'_{ij}$ 및 超過貨物 船艙의 貨物種類別 移送量 $X_{ij}$에 따라 再配置한다. 이 때, 超過貨物船艙의 貨物種類別 移積量 $X_{ij}$가 그 船艙에 남아 있는 貨物種類別 量보다는 많아야 한다.

以上을 정리하면 다음과 같다.

最適船艙 패턴에서의 最大荷役時間의 增加를 가져오는 超過貨物의 再配置에서 超過貨物의 移送으로 因한 荷役時間의 增加는 餘裕容積 $C_{sei}(+)$이 있는 船艙에 各 貨物 種類別 移送되어 收容될 量 $X'_{ij}$를 그에 따른 荷役率 $\mu_{ij}$로 나누어 求할 수 있다.

즉,

$$\Delta TF_{ij}=\frac{X'_{ij}}{\mu_{ij}} \quad \cdots\cdots(33)$$

$i\in C_{sei}(+)$

$j=1,\ 2,\cdots\cdots,\ M$

따라서, 荷役時間의 增加의 最小化는 바로 荷役完了時間의 最小化가 되므로, 이를 달성하기 위하여서는 各 船艙 貨物種類別 增加 時間이 같아지도록 移送貨物配置量을 決定하면 된다.

즉,

$$\text{Minimize } \Delta TF_{ij} \quad \cdots\cdots(34)$$

$$\Delta TF_{ij}=K \quad \cdots\cdots(35)$$

$K$: constant

또한, 船艙容積에 超過配置된 量 $C_{sei}(-)$는 超過된 船艙에 있어서 移送하여야 될 貨物 種類別 量 $X_{ij}$의 合과 같아야 하므로,

$$\sum_{j=1}^{M} X_{ij}=C_{sei}(-) \quad \cdots\cdots(36)$$

$i\in C_{sei}(-)$

이 되고, 荷役時間을 最小로 하기 위한 餘裕船艙에의 移送量 $X'_{ij}$의 貨物 種類別 合은 그 船艙의 餘裕容積을 超過해서는 안되므로

$$\sum_{j=1}^{M} X'_{ij}\leq C_{sei}(+) \quad \cdots\cdots(37)$$

$i\in C_{sei}(+)$

를 滿足해야 하며, 貨物 超過船艙에 있어서 貨物超過量 $C_{sei}(-)$에 對한 餘裕船艙 $C_{sei}(+)$의 貨物種類別 移積量 $X'_{ij}$의 比率인 $Y'_{ij}$는 餘裕船艙의 貨物 種類別 量에 對한 全 移送貨物量의 比 $Y_j'$ 및 餘裕容積船艙의 荷役率 $\mu_{ij}$에 따라 決定되는 再配定率이다.

$$Y'_{ij}=\frac{X'_{ij}}{C_{sei}(-)} \quad \cdots\cdots(38)$$

$$Y'_{ij}=\frac{Y_j'\cdot\mu_{ij}}{\sum_{i=1}^{L}\mu_{ij}} \quad \cdots\cdots(39)$$

위의 再配定率 $Y'_{ij}$의 合은 當然히 1이 된다.

$$\sum_i \sum_j Y'_{ij}=1 \quad \cdots\cdots(40)$$

$i\in C_{sei}(+)$

$j=1,\ 2,\ \cdots\cdots,\ M$

그리고 各 船艙의 超過貨物量 $C_{sei}(-)$의 各 貨物別 移送量 $X_{ij}$ 및 餘裕容積 船艙의 各 貨物配定率 $Y'_{ij}$와 이에 依한 配定率 $X'_{ij}$ 即, $C_{sei}(-)\cdot Y'_{ij}$는 非負數가 되어야 한다.

$$Y'_{ij},\ X_{ij},\ X'_{ij}\geq 0 \quad \cdots\cdots(41)$$

위의 (37), (38), (42)式의 條件을 滿足하면서 (34)式의 $\Delta TF_{ij}$를 最小化하는 各 船艙 貨物 種類

別 配定率을 求하여 各 貨物配置量을 求하면 貨物의 船艙 配置는 完了된다. 이 때의 各 船艙의 餘裕容積 $C_{sei}(+)$의 合은 船艙容量의 總合과 船艙 配置貨物의 總合과의 差異와 같다.

그리고 이 때의 荷役完了時間은 再配置한 餘裕容積이 있었던 船艙의 貨物 種類 중 最大值에 依하여 決定된다.

$$TF=\underset{i}{\mathrm{Max}}\ \underset{j}{\mathrm{mix}}\{TF_{ij}\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(42)$$

$$i\in C_{sei}(+)$$

$$j=1,\ 2,\ 3,\cdots\cdots\cdots,\ M$$

以上으로 船積貨物의 制限이 있는 船艙에의 最適配置는 完了되며 이 때의 荷役完了時間은 最小가 되어 埠頭荷役 시스템의 積載效率은 極大化하게 된다.

이상의 과정을 各段階別로 要約 整理하면 다음과 같으며 Fig. 2에 흐름도를 보인다.

Step 1: $i$船艙 $j$貨物의 配定率 $Y_{ij}$를 求한다.

$$Y_{ij}=\frac{\overline{Y}_j\cdot\mu_{ij}}{\sum_{i=1}^{L}\mu_{ij}}$$

Step 2: 初期 配定率 $Y_{ij}$에 따라 各 船艙別로 貨物을 配置하고 貨物量 $W_{ij}$를 求한다.

$$W_{ij}=W\cdot Y_{ij}$$

Step 3: 貨物量 $W_{ij}$가 모든 船艙에 있어서의 制限條件 $\sum_{j=1}^{M}W_{ij}\leq Ch_i$를 滿足한다면 Step 2에서 求한 貨物量이 最適解가 되고 荷役完了時間 $TF=\mathrm{Max}\left\{\dfrac{w\cdot\overline{Y}_j}{\sum_{i=1}^{L}\mu_{ij}}\right\},\ 1\leq j\leq M$가 된다.

Step 4: $Ch_i<\sum_{j=1}^{M}W_{ij}$인 船艙의 境遇에는 利用可能한 $Ch_i>\sum_{j=1}^{M}W_{ij}$인 船艙으로 移送하여야만 한다. 即, $C_{sei}(-)$인 船艙의 超過貨物量을 $C_{sei}(+)$인 船艙으로 移積하여야 한다. 이 때 $Ch_i-\sum_{j=1}^{M}W_{ij}<0$인 $C_{sei}(-)$ 값이 船艙의 容積에 制限을 받게 된다.

Step5: 各 船艙 貨物 種類別 荷役完了時間 $TF_{ij}$가 船舶 最終荷役完了時間 $TF$보다 작은

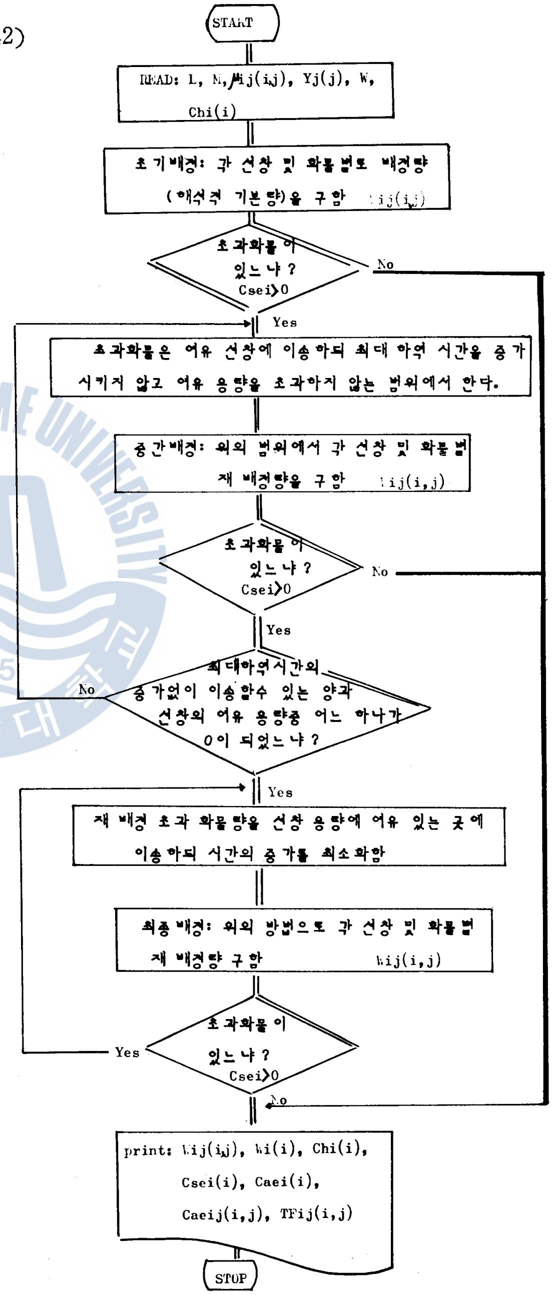


**Fig. 2.** Flow chart of optimum cargo allocation problem

곳의 貨物超過量 $C_{sei}(-)\left(Ch_i-\sum_{j=1}^{M} W_{ij}\right)$의 附號가 陰數인 船艙에 割當된 貨物을 餘裕容積이 있는 船艙 $C_{sei}(+)$으로 移送하되 다음 條件을 滿足하도록 한다.

5A) 이 移送은 $TF$를 超過하지 않는 範圍에서 한다.

5B) 이 移送된 量은 船艙餘裕容積을 超過하지 않는다.

以上과 같이 하여 모든 船艙에 對하여 超過貨物이 남지 않는다면, 即, 制限條件 $\sum_{j=1}^{M} W_{ij} \leq Ch_i$을 滿足한다면, 이 때가 最適配置의 狀態가 되고 荷役完了時間은 Step 3과 같아진다.

이 移送은 船艙 및 貨物의 順序를 달리 할 수는 있으나 全荷役完了時間은 同一하며, 이 때, 移送하는 船艙 및 貨物移送 順序에 따라 船艙의 貨物配置量도 달라진다. 即, 이 때의 貨物配置量은 반드시 唯一解를 갖는다는 보장은 없다.

Step 6: 만약 Step 5를 實行한 후에도 移送하여야 할 超過貨物 $C_{sei}(-)$이 아직 남아 있으면, 이 超過된 貨物量을 餘裕容積의 船艙$C_{sei}(+)$에 移送하되 이 때는 이들 船艙에 對해서 實質的인 時間의 增加를 가져오므로 이時間의 增加를 最小로 하여야 한다.

超過貨物의 船艙에 있어서 各 貨物 種類別 移送量 $X_{ij}$에 對한 超過貨物量 $C_{sei}(-)$의 比率을 $Y_j'$라 하면 당연히 $\sum_{j=1}^{M} Y_j'=1$이 되며 그 때의 貨物 種類別 移送量 $X_{ij}$는 $C_{sei}(-)\cdot Y_j'$로 된다.

이 때, 移積 利用可能한 餘裕容積 船艙에의 超過貨物의 種類別 配分은 各 餘裕容積 船艙의 荷役率에 比例하여 앞에서의 說明과 같이 再配置한다.

超過貨物이 配置된 船艙에 있어서의 船艙의 制限은 超過貨物을 移積하므로써 完了되며, 이 때 移積量은 超過貨物量이며, 移積量 중 貨物 種類別 量의 決定은 餘裕船艙들에 各 貨物種類別 量의 移送으로 因한 增加荷役時間이 같아지도록 하면 된다.

貨物 種類別 移積量이 超過貨物 船艙의 남아 있는 貨物種類別 量보다 크다면 이것은 實現可能하지 않으므로 남아 있는 量만큼만 移積하고 再次 위와 같은 方法으로 貨物 種類別 量을 決定하되 零이 된 貨物의 種類의 貨物은 除外한다. 이렇게 하여 貨物의 再配置는 完了된다. 即, 超過貨物의 再配置는 時間의 增加를 最小로 하는 貨物의 配置로 되어야 하고 이것은 各 船艙別 貨物別 時間의 增加를 條件이 許容하는 限 同一하게 하는 것이며 이렇게 하여 貨物의 最適配置가 달성된다.

## 4. 例 題

아래에서는, 以上에서 提案된 發見的 알고리즘을 適用한 例를 보이기로 한다.

다음과 같은 條件下에서 荷役時間 $TF_{ij}$가 最小가 되도록 最適貨物 配置量 $W_{ij}$를 求하는 問題를 求하는 問題를 다루기로 한다.

A) 入力 資料

- 船艙의 數 $L=4$個
- 貨物種類 $M=4$種

∘ 積載噸數 $C$=168,040 噸

∘ 貨物總量 $w$=168,000 噸

∘ 荷役率 $\mu_{ij}$ (tons/hours)

| $i$ \ $j$ | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 70 | 80 | 100 | 110 |
| 2 | 90 | 100 | 120 | 130 |
| 3 | 110 | 120 | 140 | 150 |
| 4 | 130 | 140 | 160 | 170 |

∘ 貨物種類別 量 및 構成比率 $W_j$(tons)/$Y_j$

| $j$ | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| $Y_j$ | 0.22 | 0.24 | 0.26 | 0.28 |
| $W_j$ | 36960 | 40320 | 43680 | 47040 |

∘ 船艙容積 $Ch_i$ (tons)

| $i$ | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| $Ch_i$ | 40000 | 41000 | 43000 | 44040 |

B) 全體 貨物 $W$에 對한 $i$船艙 $j$貨物의 量 $W_{ij}$에 對한 比率 $Y_{ij}$를 求하여 初期貨物 配定量 $W_{ij}$를 求하고 그 때의 荷役完了時間 $TF_{ij}$를 求하여 最大 $TF_{ij}$를 찾는다.

**表 1.** **初期 貨物配定量 및 荷役完了時間**

| $i$ \ $j$ | $Y_{ij}$ | | | | $W_{ij}$ | | | | $W_i$ | $TF_{ij}$ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 0.0385 | 0.0436 | 0.0500 | 0.0550 | 6468 | 7331 | 8400 | 9240 | 31439 | 92.4 | 91,636 | 84.0 | 8.40 |
| 2 | 0.0495 | 0.0545 | 0.0600 | 0.0650 | 8316 | 9164 | 10080 | 10920 | 38480 | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 |
| 3 | 0.0605 | 0.0654 | 0.0700 | 0.0750 | 10164 | 10996 | 11760 | 12600 | 45520 | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 |
| 4 | 0.0715 | 0.0763 | 0.0800 | 0.0850 | 12012 | 12829 | 13440 | 14280 | 52561 | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 |
| $Y_j$ & $W_j$ | 0.22 | 0.24 | 0.26 | 0.28 | 36960 | 40320 | 43680 | 47040 | 168000 | *Max. $TF_{ij}$: 92.4 | | | |

C) 船艙別 貨物 配置量 $W_i$ 및 그 船艙容量 $Ch_i$를 比較하여 貨物超過量 및 船艙 餘裕容量 $C_{sei}(\pm)$를 求하고 여기서 餘裕容量이 있는 船艙에 對하여 最大 荷役完了 時間을 넘지 않고 收容할 수 있는 貨物種類別 量 $C_{aeij}$ 및 이것들의 船艙別 合 $C_{aei}$를 求하고 이것과 船艙餘裕容量 $C_{sei}(+)$를 比較하여 이 중 적은 값을 찾는다.

D) 船艙別 超過貨物 $C_{sei}(-)$를 Min{$C_{sei}(+)$, $C_{aei}$}의 값만큼 順序대로 餘裕容積 船艙$C_{sei}(+)$에 移送한다. 移送은 貨物種類에 따라서 行하되, $C_{aei}$ 값이 적은 境遇는 貨物別 $C_{aei}$값만큼 貨物超過量

表 2. 最大 荷役時間의 增加없이 收容可能한 量

| $j$ / $i$ | $W_i$ | $C_{hi}$ | $C_{sei}$ | $C_{aeij}$ 1 | 2 | 3 | 4 | $C_{aei}$ | Min $\{C_{sei}(+), C_{aei}\}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 40000 | 31439 | 8561 | 0 | 61.5 | 840 | 924 | 1825.1 | *1825.1 |
| 2 | 41000 | 38480 | 2520 | 0 | 76.4 | 1008 | 1092 | 2176.4 | *2176.4 |
| 3 | 43000 | 45520 | (−)2520 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 4 | 44040 | 52561 | (−)8521 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Total | 168040 | 168000 | 40 | | | | | | |

$C_{sei}(-)$를 移送하고, $C_{sei}(+)$ 값이 적은 境遇는 貨物別 收容量 $C_{aeij}$ 값으로부터 順序대로 $C_{sei}(+)$ 값만큼 貨物超過量 $C_{sei}(-)$를 移送한다. 이 때 移送되는 量은 超過貨物 船艙에 남아있는 量 $W_{ij}$ 보다 많아서는 안된다.

表 3. 最大荷役時間을 增加시키지 않고 移送·收容될 貨物의 量

| $j$ / $i$ | $X_{ij} \to X'_{ij}$ 1 | 2 | 3 | 4 | $W_i$ | $C_{aei}$ | $C_{sei}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | (+)61 | (+)840 | (+)924 | (+)1825.1 | (−)1825.1 | (−)18251. |
| 2 | | (+)76 | (+)1008 | (+)1092 | (+)2176.4 | (−)2176.4 | (−)2176.4 |
| 3 | | (−)137 | (−)1848 | (−)535 | (−)2520.5 | | (+)2520.5 |
| 4 | | | | (−)1481 | (−)1481 | | (+)1481 |

E) 最大 荷役時間 Max $TF_{ij}$를 增加시키지 않고 超過船艙의 貨物量 $C_{sei}(-)$의 貨物 種類別 移積될 量 $X_{ij}$를 餘裕容積의 船艙量 $C_{sei}(+)$에 移送하고 이 때의 再配置한 貨物量 $W_{ij}$, 船艙超過 또는 餘裕容積 $C_{sei}(\pm)$ 및 이 때의 荷役完了 時間 $TF_{ij}$를 求한다.

表 4. 中間段階 貨物配置 및 荷役完了 時間

| $j$ / $i$ | $W_{ij}$ 1 | 2 | 3 | 4 | $W_i$ | $Ch_i$ | $C_{sei}$ | $TF_{ij}$ 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 6468 | 7392 | 9240 | 10164 | 33264 | 40000 | 6736 | 92.4 | 92.4 | 92.4 | 92.4 |
| 2 | 8316 | 9240 | 11088 | 12012 | 40656 | 41000 | 344 | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 |
| 3 | 10164 | 10859 | 9912 | 12065 | 43000 | 43000 | 0 | 〃 | 90.5 | 70.8 | 80.4 |
| 4 | 12012 | 12829 | 13440 | 12799 | 51080 | 44040 | (−)7040 | 〃 | 91.6 | 84.0 | 75.3 |
| Total | 36960 | 40320 | 43680 | 47040 | 168000 | 168040 | 40 | *Max$TF_{ij}$: 92.4 | | | |

F) 再配置된 貨物量 $W_i$를 求하여 貨物 超過量 또는 船艙餘裕容量 $C_{sei}(\pm)$를 다시 求하여, 貨物超過量 $C_{sei}(-)$을 餘裕容量의 船艙 $C_{sei}(+)$에 移送하여야 하며, 이 때에는 實質的으로 最大 荷役時間의 增加를 가져오므로 이 增加時間 $\Delta TF_{ij}$가 最小되도록 하여야 한다. 即, 貨物 種類別 移送量

$X_{ij}$에 對한 荷役完了 增加時間이 같아지도록 各 貨物別로 移送量을 決定한다(이 때 各 貨物別 移送量의 合 $\sum_{j=1}^{M} X_{ij}$는 移送되어질 超過貨物量 $C_{sei}(-)$와 같아야 한다). 또, 各 貨物別 移送量 $X_{ij}$에 對한 餘裕容量이 있는 船艙으로 移送할 量 $X'_{ij}$는 餘裕容積이 있는 船艙들의 荷役率에 따라 그 配定率 $Y'_{ij}$가 決定되므로 이 配定率 $Y'_{ij}$에 따라 定해진다. 물론, 이 때의 移送은 貨物 種類別로 이루어 져야 하며, 餘裕容積 船艙에의 貨物種類別 移送量 $X'_{ij}$의 合 $\sum_{j=1}^{M} X'_{ij}$은 이 船艙의 餘裕容量 $C_{sei}(+)$을 超過해서는 안된다. 그리고 移送될 各 貨物別 量 $X_{ij}$은 그 船艙의 各 貨物別 量 $W_{ij}$를 超過할 수는 없다.

表 5.　　荷役時間의 增加量 最小로 하는 移送·收容될 貨物量

| $i$ \ $j$ | $X_{ij} \to X'_{ij}$ 1 | 2 | 3 | 4 | $W_i$ | $C_{sei}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | (+)616 | (+)704 | (+)880 | (+)968 | (+)3168 | (−)3168 |
| 2 | (+)792 | (+)880 | (+)1056 | (+)1144 | (+)3872 | (−)2872 |
| 3 | | | | | | |
| 4 | (−)1408 | (−)1584 | (−)1936 | (−)2112 | (−)7040 | (+)7040 |

G) 以上에서 求한 새로운 移送量 $X_{ij}$ 및 收容量 $X'_{ij}$에 따라 各 船艙別 各 貨物別 量 $W_{ij}$ 및 貨物超過量 또는 船艙 餘裕容積 $C_{sei}(\pm)$를 다시 求하여 貨物 超過量 $C_{sei}(-)$가 있는지를 求한다.

表 6.　　荷役時間의 增加量 最小로 하는 貨物配置量 및 荷役完了時間

| $i$ \ $j$ | $W_{ij}$ 1 | 2 | 3 | 4 | $W_i$ | $Ch_i$ | $C_{sei}$ | $TF_{ij}$ 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 7084 | 8096 | 10120 | 11132 | 36432 | 40000 | 3568 | 101.2 | 101.2 | 101.2 | 101.2 |
| 2 | 9108 | 10120 | 12144 | 13156 | 44528 | 41000 | (−)3528 | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 |
| 3 | 10164 | 10859 | 9912 | 12065 | 43000 | 43000 | 0 | 92.4 | 90.5 | 70.8 | 80.4 |
| 4 | 10604 | 11245 | 11504 | 10687 | 44040 | 44040 | 0 | 81.6 | 80.3 | 71.9 | 62.9 |
| $W_j$ & $W$ | 36960 | 40320 | 43680 | 47040 | 168000 | 168040 | 40 | *Max $TF_{ij}$ 101.2 | | | |

H) 새로운 貨物 超過量 $C_{sei}(-)$이 있는 船艙의 貨物을 餘裕容積이 있는 船艙 $C_{sei}(+)$에 移送하여야 하며, 移送量 $X_{ij}$는 荷役時間의 增加가 最小되는 量으로 決定하고, 이 移送量 $X_{ij}$에 對한 收容量 $X'_{ij}$는 荷役率에 따라 求한다. 그리고, 이러한 過程을 貨物超過量 $C_{sei}(-)$이 없어질 때까지 계속하여 反復한다.

表 7.　　荷役時間의 增加量 最小로 하는 移送·收容될 貨物量

| $i$ \ $j$ | $X_{ij} \to X'_{ij}$ 1 | 2 | 3 | 4 | $w_i$ | $C_{sei}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | (+)686.0 | (+)784.0 | (+)980.0 | (+)1078 | (+)3528 | (−)3528 |
| 2 | (−)686.0 | (−)784.0 | (−)980.0 | (−)1078 | (−)3528 | (+)3528 |

I) 再配置한 후 超過貨物이 있는 船艙 $C_{sei}(-)$의 移送量 $X_{ij}$ 및 餘裕 船艙容量 $C_{sei}(+)$이 있는 곳에 移送될 量 $X'_{ij}$의 값을 計算하여 最終貨物 配置量 $W_{ij}$ 및 이 때의 荷役完了時間 $TF_{ij}$를 求한다.

表 8. **最種 貨物配置 및 荷役完了時間**

| $i$ \ $j$ | $W_{ij}$ 1 | $W_{ij}$ 2 | $W_{ij}$ 3 | $W_{ij}$ 4 | $W_i$ | $Ch_i$ | $C_{sei}$ | $TF_{ij}$ 1 | $TF_{ij}$ 2 | $TF_{ij}$ 3 | $TF_{ij}$ 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 7700 | 8880 | 11100 | 12210 | 39960 | 40000 | 40 | 111.0 | 111.0 | 111.0 | 111.0 |
| 2 | 8422 | 9336 | 11164 | 12078 | 41000 | 41000 | 0 | 93.6 | 93.4 | 93.0 | 93.0 |
| 3 | 10164 | 10859 | 9912 | 12065 | 43000 | 43000 | 0 | 92.4 | 90.5 | 70.8 | 80.4 |
| 4 | 10604 | 11245 | 11504 | 10687 | 44040 | 44040 | 0 | 81.6 | 80.3 | 71.9 | 62.9 |
| Total | 36960 | 40320 | 43680 | 47040 | 168062 | 16804 | 04 | * Max $TF_{ij}$: 111.0 | | | |

## 5. 結 論

荷役시스팀에 있어서의 積貨問題를 荷役完了時間의 最小라는 側面에서 發見的 手法을 導入하여 解決하는 方法을 提案하였다. 이 問題는 船艙容積에 制限條件이 없는 境遇에는 線型計劃法으로 解析的인 解를 구할 수 있으나, 船艙容積에 制限條件이 있는 境遇에는 一般的인 計劃法으로 解決하기 어려운 性質을 지니고 있다. 本 論文에서는 「荷役時間의 最小」라는 觀點에서 線型計劃法의 解析解를 基礎로 하여 人間의 經驗과 認識에 基礎를 둔 6가지 階層의 發見的 알고리즘을 構成하고, 實際의 境遇를 Simulation하여 이 方法의 優秀性을 確認하였다.

將來의 課題로서는 揚荷問題, 船艙內에서의 積付順序問題, 船舶의 航海條件(安定性·航海姿勢 등) 問題, 揚荷地에서의 揚荷順序의 問題 등을 考慮한 대규모 荷役시스팀의 一般的인 解를 求하는 問題에의 發展이 남아 있다.

## 參 考 文 獻


1. 李哲榮·文成赫 : 港灣運送 시스팀의 分析에 關한 硏究, 韓國航海學會誌, 通卷 第11號, 5月, 1983.
2. J. Imakita: A Techno Economic Analysis of the Port Transportation System, Saxon House, pp. 79-89, 1977.
3. Erichsen Stian: Simulation of Receiving, Storing & Loading General Cargo, The University of Michigan, pp. 14-15, 1970.
4. Harry Benford: Systems Analysis in Marine Transport Prospects and Problems, The University of Michigan, pp. 16-17, 1972.
5. P. I. Collier: Simulation as an Aid to the Study of a Port as a System, the 3rd International Symposium on Ship Operation Automation, 1979.
6. 李重雨·梁時懽·李哲榮 : 貨物의 引渡時期를 最優先으로 하는 配船問題, 韓國航海學會誌, 第7號, 1981.
7. 李哲榮 : 시스팀 工學概論, 文昌出版社, 1981.