```
      IND(I+1)=NN+1
  160 CONTINUE
  170 IEC=-1
  180 RETURN
  190 IEC=I-1
      GO TO 180
      END
C
C     FUNCTION FMOIAS
C
      FUNCTION FMOIAS(N,A,B)
      DIMENSION A(N),B(N)
      R1=O.
      IF(N.LE.O) GO TO 2
      DO 1 I=1,N
    1 R1=R1+A(I)*B(I)
    2 FMOIAS=R1
      RETURN
      END
      *END PRINT               523 RECORDS, MEMBER NAME IS SBDHOOOF
```

階層構造 알고리즘에 依한 貨物의 最適配置

李　石　泰

The Optimal Cargo Allocation by Heuristic Algorithm

Suk-tae Lee

〈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 algorithm is constructed as six structured steps and it is seen that the solution is mainly dependent on the handling rates, and the restictions of hold capacity.

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

記 号 説 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 ($I = \{ i \mid 1 \leqq i \leqq L$, i는 陽의 整數 $\}$)

J : 貨物의 集合 ($J = \{ j \mid 1 \leqq j \leqq M$, j는 陽의 整數 $\}$)

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

$\overline{Y}_j$: W에 對한 W_j의 比率

Y_{ij} : W에 對한 W_{ij}의 比率

U_{ij} : i 船艙 j 貨物의 荷役率

TF_{ij} : i 船艙 j 貨物의 荷役時間

TF_i : Max $\{ TF_{ij} \}$

TF : Max $\{ TF_i \}$

$Cse_i(+)$: i 船艙의 餘裕容積 ($i \in Cse_i(+)$)

$Cse_i(-)$: i 船艙의 貨物超過量 ($i \in Cse_i(-)$)

Cse_i : $Ch_i - W_i$

Cae_{ij} : i 船艙 j 貨物을 $\underset{i}{\mathrm{Max}}\,\underset{j}{\max} \{ TF_{ij} \}$의 增加없이 移送할 수

있는 量

Cae_i : $\sum_{j=1}^{M} Cae_{ij}$

Cas_i : $Cae_i - Cse_i(+)$ ($i(+) \in Cse_i(+)$)

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

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

Y'_{ij} : 餘裕容積 船艙들의 荷役率 合에 對한 貨物 種類別 荷役率 合의 比率

$\overline{Y}'_{ij}$: 餘裕容積 船艙들의 貨物 種類別 荷役率 合에 對한 各 餘裕船艙別 荷役率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하고자하는 努力이 傾注되고 있다.

港灣에서 船舶이 遲滯하는 커다란 理由는 航海援助시스템, 荷役시스템, 移送시스템, 內陸과의 連結시스템 等이 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시스템 內에서 問題가 發生한다. 이렇게 發生하는 港灣運送시스템 問題들 中에 荷役시스팀에 속하는 問題를 그 硏究對象으로 하여 船舶에 貨物을 積載하고자할 境遇, 船舶의 積載吨數, 各 船艙의 制限, 荷役器機의 效率等을 考慮하여 어떻게 하면 最短時間에 貨物을 積載하여 港灣內에서의 船舶遲體時間을 줄일것인가라고 하는 問題를 다루고자 한다.

荷役시스팀에서 다루어야할 問題로서는 荷役器機 等의 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 等이 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 다루기로 한다.

本 論文은 全5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함을 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 荷役器機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 時間內에 貨物을 積載함으로써 港內에서 船舶이 消費하는 時間을 最小로 한다는 觀點에서 各 船艙에 積載해야할 貨物의 量을 決定하는 問題를 다루기로 한다.

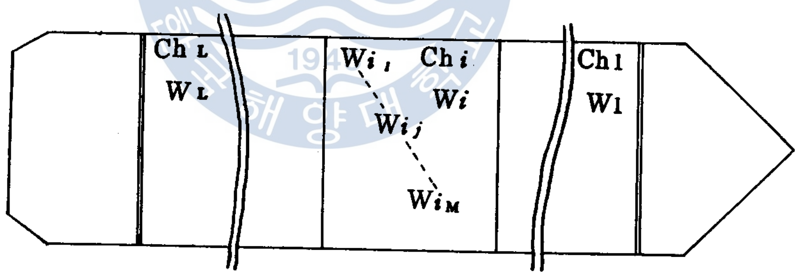


Fig. 1 Pattern of cargo allocation

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_i라 하면 船積해야할 貨物의 總量 W는 船舶의 積載能力 C를 넘지 않아

야하므로 式 (1), (2)가 成立한다.

$$C \geqq W \quad \cdots\cdots (1)$$

$$\sum_{i=1}^{L} Ch_i \geqq \sum_{i=1}^{L} W_i \quad \cdots\cdots (2)$$

船積할 貨物總量W에 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 U_{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 $\sum_{i=1}^{L} Y_{ij} = \overline{Y}_j$ 라 두면

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

로 된다. (4)式의 $\overline{Y}_j$ 는 貨物 種類別 總量 W_j 의 總貨物量W에 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.

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

따라서, i 番 船艙의 荷役完了時間 TF_i 는

$$TF_i = \max_j \{ TF_{ij} \} \quad \cdots\cdots (7)$$

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함으로 船舶의 荷役完了時間 TF 는 다음과 같이 決定된다. 但, 여기에서는 各 船艙別, 各 貨物種類別로 同時에 荷役作業이 可能한 것

으로 假定하였다.

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

以下에서는 船舶의 荷役完了時間 TF를 決定하는 船艙을 특히 COMMAND HATCH라 부르기로 한다.

2·2 定 式 化

아래에서는 實際로 船舶에 貨物을 재적할 境遇 即, 荷役 시스템의 效率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 주어져있을 境遇 最終 荷役完了時間 TF를 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

$$\underset{i}{Max} \ \underset{j}{max} \ \frac{W \cdot Y_{ij}}{U_{ij}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (9)$$

$$\text{단)} \ W, \ U_{ij} \geq 0$$

를 最小로 하는 Y_{ij}를 求하는 問題가 되며, 이때에 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

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

이며, 이 合量 W_i는 船艙容積 Ch_i 보다는 크지 않아야 한다는 다음의 條件을 滿足하여야 한다.

$$Ch_i \geq W_i \quad \cdots\cdots (11)$$

따라서, 以上의 結果를 整理하면 다음과 같이 된다.

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

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

단) $W, Y_{ij} \geq 0$

目的函數 Mimimize $\left(\operatorname{Max}_i \max_j \left\{ \frac{W \cdot Y_{ij}}{U_{ij}} \right\} \right) \quad \cdots\cdots (12)$

위의 問題는 바로 解를 求하기가 어려우므로 다음과 같이 變換하기로 한다. 위 式에서 $\sum_{j=1}^{L} Y_{ij} = \overline{Y}_j$, $\operatorname{Max}_i \max_j \frac{W \cdot Y_{ij}}{U_{ij}} = e$라 두면 위 式은

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

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

$\frac{W \cdot Y_{ij}}{U_{ij}} \leq e \quad \cdots\cdots (13)$

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

目的函數 Mimimize $e \quad \cdots\cdots (15)$

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 e로 兩邊을 나누면,

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

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

$$\frac{W \cdot K_{ij}}{U_{ij}} \leqq 1 \quad \cdots\cdots (17)$$

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

制限條件 $Ch'_i \left(= \frac{Ch_i}{e}\right) \geqq W \sum_{j=1}^{M} K_{ij} \quad \cdots\cdots (11)$

$$\frac{W}{U_{ij}} K_{ij} \leqq 1 \quad \cdots\cdots (17)$$

$$K_{ij},\ U_{ij} \geqq 0 \quad \cdots\cdots (18)$$

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

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 求할 수 있으나, e를 包含하는 制限條件式 (11)′이 存在할 境遇에는 따로 分離하여 解를 求할 수 밖에 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)式 $K_{ij} \leqq \frac{U_{ij}}{W}$ 로 부터 다음과 같이 解를 求할 수 있다. 즉,

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

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

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

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

로 되어, 式(19)와 (21)으로 부터 結局 e는

$$\mathrm{Ch}_i \geqq W_i \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (11)$$

따라서, 以上의 結果를 整理하면 다음과 같이 된다.

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

$\mathrm{Ch}\,i \geqq \sum_{j=1}^{M} W \cdot Y_{ij} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (11)$

단) $W, Y_{ij} \geqq 0$

目的函數 $\mathrm{Mimimize}\ \left(\underset{i}{\mathrm{Max}}\ \underset{j}{\max} \left\{ \frac{W \cdot Y_{ij}}{U_{ij}} \right\} \right) \quad \cdots\cdots (12)$

위의 問題는 바로 解를 求하기가 어려우므로 다음과 같이 變換하기로 한다. 위 式에서 $\sum_{i=1}^{L} Y_{ij} = \overline{Y}_j$, $\underset{i}{\mathrm{Max}}\ \underset{j}{\max} \frac{W \cdot Y_{ij}}{U_{ij}} = e$라 두면 위 式은

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

$\mathrm{Ch}_i \geqq W \sum_{j=1}^{M} Y_{ij} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (11)$

$\frac{W \cdot Y_{ij}}{U_{ij}} \leqq e \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (13)$

$\overline{Y}_j,\ W,\ Y_{ij},\ U_{ij} \geqq 0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (14)$

目的函數 $\mathrm{Mimimize}\ \ e \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (15)$

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 e로 兩邊을 나누면,

$$\frac{W \cdot Y_{ij}}{U_{ij} \cdot e} \leqq 1 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (16)$$

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

$$\frac{W\cdot K_{ij}}{U_{ij}} \leqq 1 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (17)$$

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

$$\text{制限條件} \quad Ch'_i \left(=\frac{Ch_i}{e}\right) \geqq W\sum_{j=1}^{M} K_{ij} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (11)$$

$$\frac{W}{U_{ij}} K_{ij} \leqq 1 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (17)$$

$$K_{ij},\ U_{ij} \geqq 0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (18)$$

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

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 求할 수 있으나, e를 包含하는 制限條件式 (11)'이 存在할 境遇에는 따로 分離하여 解를 求할 수 밖에 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)式 $K_{ij} \leqq \frac{U_{ij}}{W}$ 로 부터 다음과 같이 解를 求할 수 있다. 즉,

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

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

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

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

로 되어, 式(19)와 (21)으로 부터 結局 e는

$$\sum_{i=1}^{L} K_{ij} = \frac{1}{W} \sum_{i=1}^{L} U_{ij} = \frac{1}{e} \bar{Y}_j \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (22)$$

$$e = \frac{W \cdot \bar{Y}_j}{\sum_{i=1}^{L} U_{ij}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (23)$$

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

$$\frac{Y_{ij}}{e} = \frac{U_{ij}}{W} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (24)$$

$$Y_{ij} = e \cdot \frac{U_{ij}}{W} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (25)$$

로 되고, (25)式에 (23)式을 代入하여 整理하면

$$Y_{ij} = \frac{W \cdot \bar{Y}_j}{\sum_{i=1}^{L} U_{ij}} \cdot \frac{U_{ij}}{W} = \frac{\bar{Y}_j \cdot U_{ij}}{\sum_{i=1}^{L} U_{ij}} \quad \cdots\cdots (26)$$

단) $i = 1, 2, \cdots\cdots\cdots, L$

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

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 Ch_i에 制限條件이 없을 境遇의 配定率 Y_{ij}로 부터 荷役時間을 計算하면,

$$TF_{ij} = \frac{W_{ij}}{U_{ij}} = \frac{W \cdot Y_{ij}}{U_{ij}} = W \cdot \frac{\frac{\bar{Y}_j \cdot U_{ij}}{\sum_{i=1}^{L} U_{ij}}}{U_{ij}}$$

$$= \frac{W \cdot \bar{Y}_j}{\sum_{i=1}^{L} U_{ij}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (27)$$

단) $i = 1, 2, \cdots\cdots\cdots, L$

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

로 된다. 따라서, (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 TF는 TF_{ij}의 最大値로서, 이 TF를 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. 이와같이 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 TF는 荷役率 U_{ij}에 크게 依存하고 있음을 알 수 있다.

3. 発見的 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 不可避하다. 아래에서는 위에서 求한 解析的인 解를 基本으로 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 根據를 둔 發見的인 方法으로 解決하는 過程에 對하여 說明하기로 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 적지않아야 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(1)과 (11))을 滿足하는 것이어야 하며, 이때의 荷役完了時間 TF_i 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 Ch_i 와 반드시 一致한다는 保障은 없으므로 먼저, 이 두 값을 比較하여 船艙의 餘裕容積 $Cse_i(+)$ 혹은 超過貨物量 $Cse_i(-)$를 計算한다. 즉,

$$Cse_i = Ch_i - W_i \quad \cdots\cdots(28)$$

단) $i = 1, 2, \cdots\cdots, \iota$

(28)式에서 Cse_i 값이 陽數($Cse_i(+)$)이면 船艙에 配置된 貨物量 W_i가 船艙容積 Ch_i에 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($Cse_i(-)$)이면 船艙에 配置된 貨物 W_i가 船艙容積 Ch_i를 超過하고 있으므로 이 超過된 量을 餘裕가 있는 다른 船艙에 移送하여야 할 것이며, 零의 값($Cse_i(0)$)이면 最適船艙패턴의 貨物配定量 W_i와 船艙의 容積 Ch_i가 一致하여 바로 最適値를 求한 狀態가 된다.

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

$$\sum_{i(+)} Cse_i(+) \geqq \sum_{i(-)} Cse_i(-) \quad \cdots\cdots (29)$$

단) $i(+) \in Cse_i(+)$

$i(-) \in Cse_i(-)$

먼저 超過한 貨物量 $Cse_i(-)$를 船艙餘裕容量 $Cse_i(+)$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 Cae_{ij}를 求하여 各 船艙別로 收容할 수 있는 量 Cae_i를 計算한다.

$$Cae_{ij} = (\text{Max. } TF_{ij} - TF_j) \times U_{ij} \quad \cdots\cdots (30)$$

$$Cae_i = \sum_{i=1} Cae_{ij} \quad \cdots\cdots (31)$$

단) $i \in Cse_i(+)$

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

그리고, 船艙의 餘裕容積 $Cse\,i(+)$ 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 $Cae\,i$ 를 比較하여 그 差異 $Cas\,i$ 를 計算한다.

$$Cas\,i = Cae\,i - Cse\,i_{(+)} \quad \cdots\cdots (32)$$

단) $i \in Cse\,i_{(+)}$

(32) 式에서 $Cas\,i$ 의 값이 非負數이면 $Cse\,i(+)$값만큼 $Cse\,i(-)$값을 順序대로 移送하고, 陰數이면 $Cae\,i$ 값만큼 $Cse_i(-)$값은 順序대로 移送한다. 이 境遇 $Cae\,i(+)$ 값이 零이 된다면 그 船艙의 餘裕容量은 없는 狀態이므로, 이때 貨物配置는 完了된 狀態가 되며, $Cae\,i$ 값이 零이면 이때 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. 但, 이때의 貨物移送은 種類別로 行해야 한다.

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 $Cse\,i(+)$ 또는 貨物의 超過量$Cse\,i(-)$를 다시 計算해야 된다. 여기서 船艙容積 $Ch\,i$ 를 超過하여 貨物을 配置한 量 $Cse\,i(-)$ 가 있으면 船艙의 餘裕容積 $Cse\,i(+)$ 가 있는 곳에 再移送하여야만 하며 이때에는 荷役時間의 增加를 가져오므로 增加量 $\triangle TFi_j$ 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 Xi_j 의 合 $\sum_{j=1}^{M} Xi_j$ 은 바로 貨物超過量 $Cse\,i(-)$가 되며, 餘裕容積 $Cse\,i(+)$ 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 $Cse\,i(+)$보다 크지 않아야 된다.

여기서, 超過貨物이 配置된 船艙에 있어서 超過貨物量 $Cse_i(-)$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 같게하게 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들의 荷役率에 따라 求한 配定率 $\overline{Y}'_{ij}$을 곱하여 求한다. 즉, 餘裕容積 $Cse_i(+)$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 $Cse_i(-)$의 貨物種類別 移送量 X_{ij}에 따라 再配置한다. 이때, 超過貨物船艙의 貨物種類別 移積量 X_{ij}가 그 船艙에 남아있는 貨物種類別量 W_{ij} 보다는 많지 않아야 한다.

以上을 좀 더 詳細히 說明하고 式으로 整理하면 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 $Cse_i(+)$가 있는 船艙에 各 貨物 種類別 移送되어 收容될 量 $\triangle TF_{ij}$를 그에 따른 荷役率 U_{ij}로 나누어 求할 수 있다.

즉,

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

단) $i \in Cse_i(+)$

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

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 達成하기 爲하여서는 各 船艙 貨物種類別 增加 時間 $\triangle TF_{ij}$이 같아지도록 船艙容積에 超過配置된 量 $Cse_i(-)$의 移送貨物 種類別 量 X_{ij}는 餘裕容積의 船艙 $Cse_i(+)$ 들의 荷役率의 合 $\sum_i \sum_j U_{ij}$에 對한 貨物種類別 船艙 荷役率의 合 $\sum_i U_{ij}$의 比率 Y'_{ij}를 곱하여 求하면 된다.

即,
$$X_{ij} = Cse_i(-) \cdot Y'_{ij} \quad \cdots\cdots (34)$$
$$Y'_{ij} = \frac{\sum_i U_{ij}}{\sum_i \sum_j U_{ij}} \quad \cdots\cdots (35)$$

단) $i \in Cse_i(+)$

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

이 境遇 船艙容積에 超過配置된 量 $Cse_i(-)$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

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

단) $i \in Cse_i(-)$

이 되고, 이 移送貨物 種類別 量 X_{ij}의 各 餘裕船艙들의 收容될 貨物種類別 量 X'_{ij}는 荷役完了 時間의 增加를 最小로 하도록 即, 增加時間이 같아지도록 이들 船艙들의 種類別 荷役率의 比 $\overline{Y}'_{ij}$에 따라 配定하면 된다.

$$X'_{ij} = X_{ij} \cdot \overline{Y}'_{ij} \quad \cdots\cdots (37)$$
$$\overline{Y}'_{ij} = \frac{U_{ij}}{\sum_i U_{ij}} \quad \cdots\cdots (38)$$

단) $i \in Cse_i(+)$

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

이 境遇에 荷役時間을 最小로 하기 爲한 餘裕船艙에의 貨物種類別 收容量 $X'ij$ 의 合은 그 船艙의 餘裕容積을 超過해서는 안되므로

$$\sum_{j=1}^{M} X'ij \leqq Csei(+) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (39)$$

단) $i \in Csei(+)$

를 滿足해야 하며, 貨物 超過船艙에 있어서 超過貨物量 $Csei(-)$ 에 對한 貨物 種類別 移送量 Xij 및 餘裕容積 船艙 $Csei(+)$ 에 있어서 收容될 貨物 種類別 移送量 $X'ij$ 는 餘裕容積 船艙의 荷役率 Uij 에 依해 決定되어지는 再配定率 $Y'ij$ 및 $\overline{Y}'ij$ 에 따라 求할 수 있는 것이다. 이들 再配定率의 合은 當然히 1이 된다.

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

단) $i \in Csei(+)$

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

$$\sum_i \overline{Y}'ij = 1 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (41)$$

단) $i \in Csei(+)$

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

그리고 各 船艙의 超過貨物量 $Csei(-)$ 의 各 貨物別 移送量 Xij 및 餘裕容積 船艙의 各 貨物別 收容量 $X'ij$ 은 非負數가 되어야 한다.

$$Xij, \quad X'ij \geqq 0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (42)$$

위의 (36)(39)(42)式의 條件을 滿足하면서

$$\text{Minimize} \quad \triangle TF_{ij} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (43)$$

$$\triangle TF_{ij} = K \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (44)$$

단) K : Constant

(43) 式의 $\triangle TF_{ij}$ 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.

만약 이때에 超過貨物의 移送量 X_{ij} 가 그 船艙의 貨物種類別量 W_{ij} 보다 많다면, 이 超過量에 對해서는 超過하지 않는 다른 貨物 種類의 餘裕船艙들 荷役率에 따라 다시 超過船艙의 超過貨物 種類를 除外한 다른 貨物種類別 移送될 量 X_{ij} 를 求하여 移送하면 되고, 收容量 X'_{ij} 의 船艙別 合이 船艙餘裕容量보다 많다면 이 超過量에 對하여서도 다른 餘裕船艙에의 荷役率에 따라 다시 X'_{ij} 를 求하여 餘裕船艙으로 移送하면 된다.

貨物의 船艙配置 完了後의 各 船艙의 餘裕容積 Cse_i (+) 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.

即,
$$\sum_{i(+)} Cse_i = C - W \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (45)$$

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 種類中 最大値에 依하여 決定된다.

$$TF = \underset{i \quad j}{\text{Maxmax}} \{ TF_{ij} \} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (46)$$

단) $i \in Cse_i\,(+)$

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

이 때에 餘裕船艙에의 收容量 X'_{ij} 을 最後로 移積한 船

艙이 COMMAND HATCH가 되고 最後로 移送한 貨物 種類가 이 COMMAND HATCH를 決定하게 된다.

以上으로 船積貨物의 制限이 있는 船艙에의 最適配置는 完了되며 이때의 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.

以上의 過程을 各 段階別로 要約 整理하면 다음과 같으며 Fig. 2에 順序圖를 보인다.

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

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

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 2 에서 求한 貨物量이 最適解가 되고 荷役完了時間 $TF = \mathrm{Max}\left\{\frac{W \cdot \overline{Y}_j}{\sum_{i=1}^{L} U_{ij}}\right\}$ $1 \leq j \leq M$ 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하여만 한다. 即, Cse_i (-)인 船艙의 超過貨物量을 Cse_i (+)인 船艙으로 移積하여야 한다. 이때 $Ch_i - \sum_{j=1}^{M} W_{ij} < 0$ 인 Cse_i (-)값이 船艙의 容積에 制限을 받게 된다.

Step 5 : 各 船艙 貨物 種類別 荷役完了時間 TF_{ij} 가 船舶의 最終荷役完了時間 TF 보다 작은 곳의 貨物超過量 Cse_i (-) (($Ch_i - \sum_{j=1}^{M} W_{ij}$) 의 附號가 陰數인 船艙에 割當된 貨物) 을 餘裕容積이 있는 船艙 Cse_i (+)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 같이하여 모든 船艙에 對하여 超過貨物이 남지 않는다면 即, 制限條件 $\sum_{j=1}^{M} W_{ij} \leqq Ch_i$ 을 滿足한다면 이때가 最適配置의 狀態가 되고 荷役完了時間은 Step 3 과 같아진다.

이 移送은 船艙 및 貨物의 順序를 달리할 수는 있으나 全 荷役完了時間은 同一하며, 이때, 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, 이때의 貨物配置量은 반드시 唯一解를 갖는다는 保障은 없다.

Step 6 : 만약 Step 5 를 實行한 後에도 移送하여야 할 超過貨物 Cse_i (−)이 아직 남아 있으면, 이 超過된 貨物量을 餘裕容積의 船艙 Cse_i (+)에 移送하되 이때는 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.

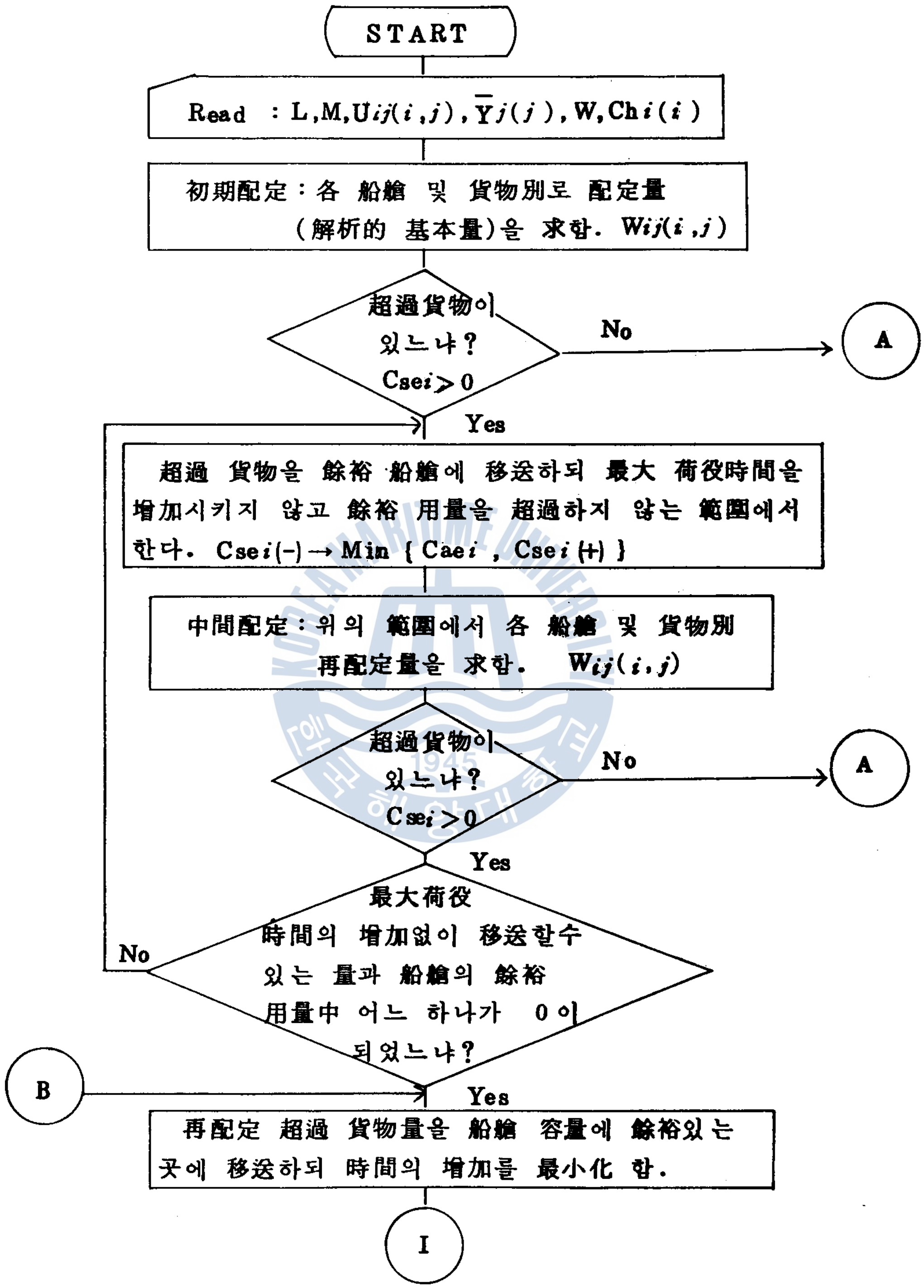
超過貨物의 船艙에 있어서 各 貨物種類別 移送量 X_{ij} 는, 餘裕船艙들에 各 貨物種類別量의 移送으로 因한 增加 荷役時間이 같아지도록 하는 量으로 決定되어져야 한다. 即, 餘裕船艙들의 貨物種類別 荷役率의 合 $\sum_i \sum_j U_{ij}$ 에 對한 貨物種類別 合 $\sum_i U_{ij}$ 의 比率 Y'_{ij} 에 따라 貨物 超過量 Cse_i (−)을 貨物種類別量 X_{ij} 로 配定하여야 한다.

만약 이때에 貨物種類別 移送量이 超過貨物 船艙의 남

아있는 貨物種類別量보다 크다면 이것은 實現可能하지 않으므로 남아있는 量만큼 移積하고 그 差異의 量에 對해서 다시 같은 方法으로 貨物種類別 移積量을 決定하되 零이된 貨物種類는 移送될 量에서 除外한다. 이렇게 하여 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함으로써 完了된다.

超過貨物의 船艙에 있어서 各 貨物種類別 移送量 X_{ij}가 決定되면 移積收容 可能한 餘裕容積 船艙에의 貨物種類別 收容量 X'_{ij}를 荷役時間의 增加가 같아지도록 各 貨物種類別 餘裕船艙 荷役率의 合 $\sum_i U_{ij}$에 對한 貨物種類別 荷役率 U_{ij}의 比率 $\overline{Y}'_{ij}$에 따라 超過貨物의 移送量 X_{ij}를 配定하면 된다. 이 때 餘裕船艙의 貨物種類別 收容量의 合 $\sum_j X'_{ij}$는 餘裕船艙容積 $Cse_i(+)$를 超過하여서는 안된다. 만약 超過한다면 이 超過量에 對하여는 이 船艙外 다른 餘裕船艙에 移送하되, 超過貨物 移送量은 위와 같은 方法으로 決定하면 된다. 이렇게 하여 超過貨物船艙의 移送 및 餘裕船艙의 收容이 끝나 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 達成된다.


START
Read : L,M,Uij(i,j),Ȳj(j),W,Chi(i)
初期配定：各 船艙 및 貨物別로 配定量
(解析的 基本量)을 求함. Wij(i,j)
超過貨物이
있느냐?
Csei > 0
No
A
Yes
超過 貨物을 餘裕 船艙에 移送하되 最大 荷役時間을 增加시키지 않고 餘裕 用量을 超過하지 않는 範圍에서 한다. Csei(-) → Min { Caei , Csei (+) }
中間配定：위의 範圍에서 各 船艙 및 貨物別
再配定量을 求함. Wij(i,j)
超過貨物이
있느냐?
Csei > 0
No
A
Yes
最大荷役
時間의 增加없이 移送할수
있는 量과 船艙의 餘裕
用量中 어느 하나가 0이
되었느냐?
No
B
Yes
再配定 超過 貨物量을 船艙 容量에 餘裕있는 곳에 移送하되 時間의 增加를 最小化 함.
I

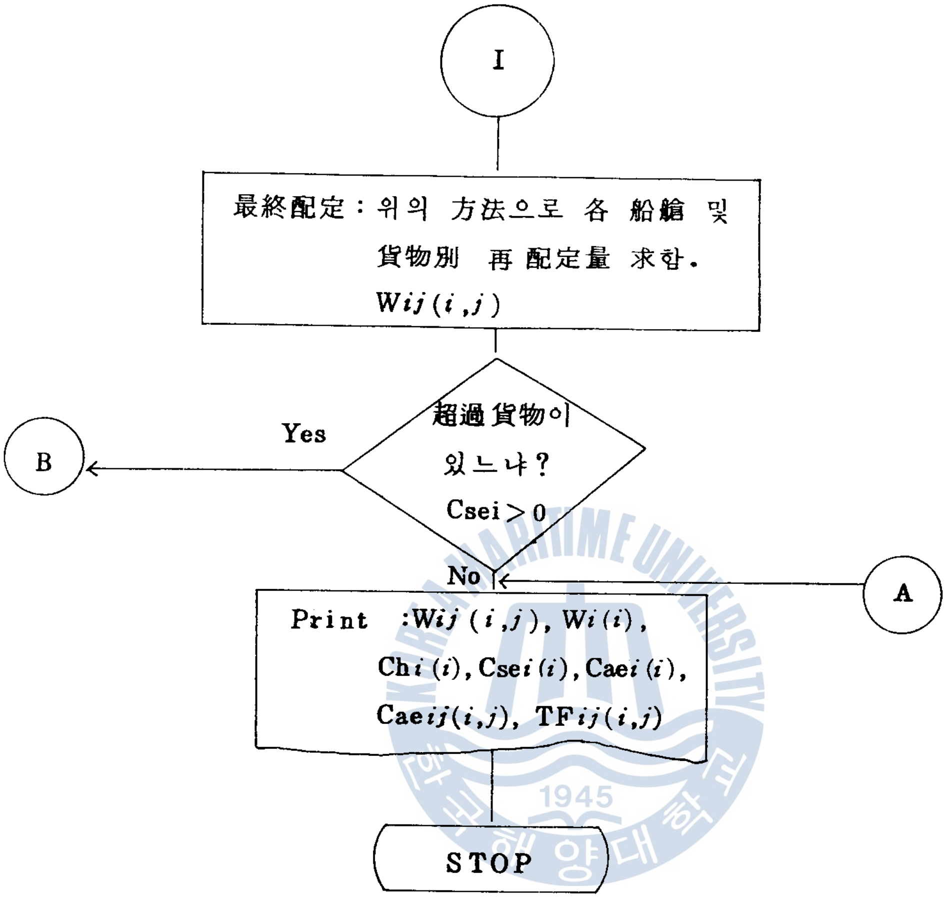


Fig. 2 FLOW CHART OF OPTIMUM CARGO ALLOCATION PROBLEM

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}의 解를 求하되, 便易上 最適貨物 配置量은 整數로 荷役時間은 小數點以下 첫자리까지만 求하기로 한다.

A) 入力 資料

- o 船艙의 數 L = 4 個
- o 貨物種類 M = 4 種
- o 積載噸數 C = 168,040 噸
- o 貨物總量 W = 168,000 噸
- o 荷役率 μ_{ij} (tons/hour)

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

- o 貨物種類別 構成比率 및 量 Y_j & W_j (tons)

j	1	2	3	4
Y_j	0.22	0.24	0.26	0.28
W_j	36,960	40,320	43,680	47,040

船艙容積 Ch_i(tons)

i	1	2	3	4
Ch_i	40,000	41,000	43,000	44,040

B) 全體 貨物W에 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 그때의 荷役 完了 時間 TF_{ij}를 求하여 最大 TF_{ij}를 찾는다。

表 1 初期貨物配置量 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	6,468	7,331	8,400	9,240	31,439	92.4	91.6	84.0	84.0
2	0.0495	0.0545	0.0600	0.0650	8,316	9,164	10,080	10,920	38,480	〃	〃	〃	〃
3	0.0605	0.0654	0.0700	0.0750	10,164	10,996	11,760	12,600	45,520	〃	〃	〃	〃
4	0.0715	0.0763	0.0800	0.0850	12,012	12,829	13,440	14,280	52,561	〃	〃	〃	〃
Y_j&W_j	0.22	0.24	0.26	0.28	36,960	40,320	43,680	47,040	168,000	* Max TF_{ij}: 92.4			

C) 船艙別 貨物 配置量 W_i 및 그 船艙 容量 Ch_i를 比較하여 貨物 超過量 및 船艙 餘裕容量 Cse_i를 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 Cae_{ij} 및 이것들의 船艙別 合 Cae_i를 求하고 이것과 船艙餘裕容量 Cse_i(+)를 比較하여 이중 적

은 값을 찾는다.

表 2 最適船艙패턴의 最大荷役 時間의 增加없이 收容可能한 量

j / i	Wi	Chi	Csei	Caeij 1	2	3	4	Caei	Min {Csei(+),Caei}
1	40,000	31,439	8,561	0	61	840	924	*1,825	1825
2	41,000	38,480	2,520	0	76	1,008	1,092	*2,176	2,176
3	43,000	45,520	(−)2,520	0	0	0	0	0	
4	44,040	52,561	(−)8,521	0	0	0	0	0	
Total	168,040	168,000	40	0					

D) 船艙別 超過貨物 Csei (−)를 Min {Csei (+), Caei }의 값만큼 順序대로 餘裕容積 船艙 Csei (+)에 移送한다. 移送은 貨物 種類에 따라서 行하되, Caei 값이 적은 境遇는 貨物別 Caeij 값 만큼 貨物 超過量 Csei (−)를 移送하고, Csei (+)값이 적은 境遇는 貨物別 收容量 Caeij 값으로 부터 順序대로 Csei (+)값만큼 貨物超過量 Csei (−)를 移送한다. 이때 移送되는 量은 超過貨物 船艙에 남아있는 量 Wij 보다 많아서는 안된다.

表 3 最大荷役時間을 增加시키지않고 移送 收容될 貨物의 量

j / i	Csei(−)→Min{Csei(+), Caei } 1	2	3	4	Wi	Caei	Csei
1		(+) 61	(+) 840	(+) 924	(+)1,825	(−)1,825	(−) 1,825
2		(+) 76	(+)1,008	(+)1,092	(+)2,176	(−)2,176	(−) 2,176
3		(−) 137	(−)1,848	(−) 535	(−)2,520		(+) 2,520
4				(−)1,481	(−)1,481		(+) 1,481

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

表 4 中間段階貨物配置量및 荷役完了時間

j / i	W_{ij} 1	2	3	4	W_i	Ch_i	Cse_i	TF_{ij} 1	2	3	4
1	6,468	7,392	9,240	10,164	33,264	40,000	6,736	92.4	92.4	92.4	92.4
2	8,316	9,240	11,088	12,012	40,656	41,000	344	〃	〃	〃	〃
3	10,164	10,859	9,912	12,065	43,000	43,000	0	〃	90.5	70.8	80.4
4	12,012	12,829	13,440	12,799	51,080	44,040	(−)7,040	〃	91.6	84.0	75.3
Total	26,960	40,320	43,680	47,040	168,000	168,040	40	* Max TF_{ij} : 92.4			

F) 再配置된 貨物量 W_i를 求하여 貨物 超過量 또는 船艙餘裕容量 Cse_i를 다시 求하여, 貨物超過量 Cse_i(−)은 餘裕容量의 船艙 Cse_i(+)에 移送하여야 하며, 이때에는 實質的으로 最大荷役時間의 增加를 가지오므로 이 增加 時間 $\triangle TF_{ij}$가 最小되도록 하여야 한다. 卽, 超過船艙의 超過貨物量 Cse_i(−)의 貨物種類別 移送量 X_{ij}은 餘裕容積 船艙들의 全荷役率에 對한 貨物種類別 荷役率 合의 比率로 決定하여 移積으로 因한 荷役時間의 增加가 같아지도록 超過貨物量을 各 貨物別로 移送量을 配定한다. (이때 各 貨物別 移送量의 合 $\sum_{j=1}^{M} X_{ij}$는 그 船艙의 移送되어질 超過貨物量 Cse_i(−)와 같아야 한다.) 위와같이 配定된 超過船艙의 各 貨物別 移送量 X_{ij}에 對한

餘裕容積 船艙의 收容量 X'_{ij}는 그 貨物種類에 對한 餘裕船艙들의 荷役率에 따라 決定하여, 收容될 貨物量으로 因한 荷役時間의 增加가 같아지도록 各 餘裕船艙別로 收容量을 配定한다. 물론, 이때의 移送은 貨物 種類別로 이루어 져야 하며, 餘裕 容積 船艙에의 貨物種類別 收容量 X'_{ij}의 合 $\sum_{j=1}^{M} X'_{ij}$은 이 船艙의 餘裕 容量 Cse_i (+)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할수는 없다.

表 5 荷役時間의 增加를 最小로 하는 移送·收容될 貨物量 및 關係變數의 加減될 量

i \ j	$X_{ij} \rightarrow X'_{ij}$ 1	2	3	4	W_i	Cse_i
1	(+) 616	(+) 704	(+) 880	(+) 968	(+) 3,168	(−) 3,168
2	(+) 792	(+) 880	(+) 1,056	(+) 1,144	(+) 3,872	(−) 3,872
3						
4	(−) 1,408	(−) 1,584	(−) 1,936	(−) 2,112	(−) 7,040	(+) 7,040

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 Cse_i을 다시 求하여 貨物 超過量 Cse_i (−)가 있는지를 求한다.

表 6 荷役時間의 增加를 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	Cse_i	TF_{ij} 1	2	3	4
1	7,084	8,096	10,120	11,132	36,432	40,000	3,568	101.2	101.2	101.2	101.2
2	9,108	10,120	12,144	13,156	44,528	41,000	(−)3,528	〃	〃	〃	〃
3	10,164	10,859	9,912	12,065	43,000	43,000	0	92.4	90.5	70.8	80.4
4	10,604	11,245	11,504	10,687	44,040	44,040	0	81.6	80.3	71.9	62.9
W_j & W	36,960	40,320	43,680	47,040	168,000	168,040	40	* Max TF_{ij} : 101.2			

H) 새로운 貨物 超過量 Cse_i (-) 이 있는 船艙의 貨物을 餘裕容積이 있는 船艙 Cse_i (+) 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 貨物種類別 荷役率에 따라 求한다. 그리고, 이러한 過程을 貨物 超過量 Cse_i (-)이 없어질때까지 계속하여 反復한다.

表 7 荷役時間의 增加를 最小로 하는 移送 收容될 貨物量 및 關係變數의 加減될 量

i \ j	$X_{ij} \rightarrow X'_{ij}$ 1	2	3	4	W_i	Cse_i
1	(+) 686	(+) 784	(+) 980	(+) 1,078	(+) 3,528	(−) 3,528
2	(−) 686	(−) 784	(−) 980	(−) 1,078	(−) 3,528	(+) 3,528
3						

表 6 荷役時間의 增加를 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	Cse_i	TF_{ij} 1	2	3	4
1	7,084	8,096	10,120	11,132	36,432	40,000	3,568	101.2	101.2	101.2	101.2
2	9,108	10,120	12,144	13,156	44,528	41,000	(−)3,528	〃	〃	〃	〃
3	10,164	10,859	9,912	12,065	43,000	43,000	0	92.4	90.5	70.8	80.4
4	10,604	11,245	11,504	10,687	44,040	44,040	0	81.6	80.3	71.9	62.9
W_j& W	36,960	40,320	43,680	47,040	168,000	168,040	40	* Max TF_{ij} : 101.2			

H) 새로운 貨物 超過量 Cse_i (−) 이 있는 船艙의 貨物을 餘裕容積이 있는 船艙 Cse_i (+) 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 貨物種類別 荷役率에 따라 求한다. 그리고, 이러한 過程을 貨物 超過量 Cse_i (−)이 없어질때 까지 계속하여 反復한다.

表 7 荷役時間의 增加를 最小로 하는 移送 收容될 貨物量 및 關係變數의 加減될 量

i \ j	$X_{ij} \rightarrow X'_{ij}$ 1	2	3	4	W_i	Cse_i
1	(+) 686	(+) 784	(+) 980	(+) 1,078	(+) 3,528	(−) 3,528
2	(−) 686	(−) 784	(−) 980	(−) 1,078	(−) 3,528	(+) 3,528
3						
4						

I) 再配置한 후 超過貨物이 있는 船艙 Cse_i (−)의 移送量 X_{ij} 및 餘裕 船艙容量 Cse_i (+)이 있는 곳에 收容될 量 X_{ij}의 값을 計算하여 最終貨物 配置量 W_{ij} 및 이때의 荷役完了 時間 TF_{ij} 를 求한다.

表 8 最終 貨物配置量 및 荷役完了時間

i \ j	W_{ij} 1	2	3	4	W_i	Ch_i	Cse_i	TF_{ij} 1	2	3	4
1	7,770	8,880	11,100	12,210	39,960	40,000	40	111.0	111.0	111.0	111.0
2	8,422	9,336	11,164	12,078	41,000	41,000	0	93.6	93.4	93.0	93.0
3	10,164	10,859	9,912	12,065	43,000	43,000	0	92.4	90.5	70.8	80.4
4	10,604	11,245	11,504	10,687	44,040	44,040	0	81.6	80.3	71.9	62.9
Total	36,960	40,320	43,680	47,040	168,000	168,040	40	* 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 Simulation 하여 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 等)問題, 揚荷地에서의 揚荷順序 問題 等을 考慮한 大規模 荷役시스팀의 一般的인 解를 求하는 問題의 發展이 남아있다

参　考　文　献

1. 李 哲榮 · 文 成赫 : 港灣運送 시스템의 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, P. 79 ~ 89, 1977.
3. Erichsen Stian : Simulation of Receiving, Storing & Loading General Cargo, The University of Michigan, P. 14 ~ 15, 1970.
4. Harry Benford : Systems Analysis in Marine Transport Prospects and Problems, The University of Michigan, P.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 時權 · 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 : 시스템 工學槪論, 文昌出版社, 1981.
8. Robert L. Childress : Sets, Matrices, and Linear Programming, Prentice-Hall, Inc, Englewo Cliffs, New Jersey, P. P. 274 ~ 280, 1974.

9. Robert E. Machol : Elementary Systematics, McGraw-Hill Book, New York, 1976.

10. Mokhtar S. Bazara and John J. Jarvis : Linear Programming and Network Flows, John Wiley & Sons, New York, P. P. 81 ~ 403, 1977.

11. K. V. Mital : Optimization Methods in O. R. & Systems Analysis, A Halsted Press Book, New York, P. P. 58 ~ 112, 1976.

12. Frederick S. Hillier and G. J. Lieberman : Introduction to O. R., Stanford Univ., P. P. 1 ~ 162, 1967.

13. 李 相文, 白淙鉉 : 어퍼레이션스 리서어치, 經文社, 1980.

14. J. B. Woodward et. al. : Systems Analysis in Marine Transport, The society of Naval Architects and Marine Engineers, No. 7, 1968.

15. A. J. Hoffman and H. M. Markowitz : A Note on Shortest Path, Assignment, and Transportation Problems, Naval Res. Logistics Quarterly Vol. 10, P. P. 375 ~ 379, 1963.

16. J. J. Lagemann : A method for Solving the Transportation Problem, Naval Res, Logistics Quarterly Vol. 14, P. P. 89 ~ 99, March 1967.

17. Ernst G. Frankel : Ocean Transportation Technology, Ocean Trans-

portation, P.P. 45 ~ 162, 1973.

18. Saul I. Gass : Linear Programming methods and Application, McGraw-Hill Book Co., New York, P.P. 245 ~ 269, 1975.

19. Saaty, T. L : Mathematical Methods of Operations Research, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, P. 361, 1959.

20. Hillier, F. S. and Lierberman, G. J. : Introduction to Operations Research, Holden-day, Inc., San Francisco, P.P. 400 ~ 449, 1980.

21. Borins, S. F. : Pricing Policy and the Optimum timing of Transport Investments, Journal of Trasport Economic & Policy, Vol. No. 2, May, 1981.

22. Dan Shieerson : Investment in Port Systems, Journal of Transport Economics & Policy, Vol. No. 3, Sep., 1981.

23. 筒井 哲 : 海上問題への 交通輻輳の 經濟性の 應用, 日本航海學會論文集, 第47號, 10月, 1975.

附 錄 : PROGRAM LIST

```
C      *** OPTIMAL CARGO ALLOCATION BY HEURISTIC ALGORITHM
       DIMENSION UIJ(10,10),UJ(10),YJ(10),YIJ(10,10),WIJ(10,10),
      1TFJ(10),WI(10),CSEI(10),CHI(10),CAEIJ(10,10),CAEI(10),
      2UIJRT(10),DISP(10),TFIJ(10,10),XX(10),XY(10,10),JK(20)
       DOUBLE PRECISION YY,BB,ZZ,DD,EE,STIF(20,20)
       DATA YY/5HYIJ (/
       DATA BB/5HTFIJ(/
       DATA ZZ/5HWIJ (/
       DATA DD/4HWI (/
       DATA EE/6HCAEIJ(/
       DATA AZ/4HUIJ(/,AQ/3HYJ(/,AR/4HCHI(/
       DATA AKK/4HYIJ(/
       READ(7,5) L,M
     5 FORMAT(2I10)
       DO 7 J=1,M
       READ(7,10) (UIJ(I,J),I=1,L)
     7 CONTINUE
       READ(7,10) (YJ(J),J=1,M)
       READ(7,10) W
       READ(7,10) (CHI(I),I=1,L)
    10 FORMAT(8F10.0)
       WRITE(8,8000) L,M,W
  8000 FORMAT(1H1,////,20X,'*** INPUT DATA ***',//,
      18X,'L=',I3,5X,'M=',I3,5X,'W=',F9.1,' TONS',///)
       DO 8001 I=1,L
  8001 WRITE(8,8002) ((AZ,I,J,UIJ(I,J)),J=1,M)
  8002 FORMAT(4(8X,A4,I2,',',I2,')=',E15.5))
       WRITE(8,8003)
  8003 FORMAT(///)
       WRITE(8,8004) ((AQ,J,YJ(J)),J=1,M)
  8004 FORMAT(4(8X,A3,I2,')=',E18.5))
       WRITE(8,8003)
       WRITE(8,8005) ((AR,I,CHI(I)),I=1,L)
  8005 FORMAT(4(8X,A4,I2,')=',E17.5))
       DO 20 I=1,L
       DO 20 J=1,M
       UJ(J)=0.0
       DO 15 I1=1,L
       UJ(J)=UJ(J)+UIJ(I1,J)
    15 CONTINUE
```

```
   20 YIJ(I,J)=YJ(J)*UIJ(I,J)/UJ(J)
      WRITE(8,8003)
      DO 1001 I=1,L
      WRITE(8,8002) ((AKK,I,J,YIJ(I,J)),J=1,M)
 1001 CONTINUE
      WRITE(8,8010)
 8010 FORMAT(1H1)
      DO 35 J=1,M
      DO 30 I=1,L
      WIJ(I,J)=W*YIJ(I,J)
   30 CONTINUE
      TFJ(J)=YJ(J)*W/UJ(J )
   35 CONTINUE
      TFJM=0.0
      DO 40 J=1,M
      IF(TFJM.GT.TFJ(J)) GO TO 40
      TFJM=TFJ(J)
   40 CONTINUE
      DO 50 I=1,L
      WI(I)=0.0
      DO 45 J=1,M
      WI(I)=WI(I)+WIJ(I,J)
   45 CONTINUE
      CSEI(I)=CHI(I)-WI(I)
   50 CONTINUE
      DO 55 I=1,L
      CAEI(I)=0.0
      DO 60 J=1,M
      CAEIJ(I,J)=0.0
      IF(CSEI(I).LE.0.0) GO TO 54
      CAEIJ(I,J)=(TFJM-TFJ(J))*UIJ(I,J)
      CAEI(I)=CAEI(I)+(TFJM-TFJ(J))*UIJ(I,J)
   60 CONTINUE
      GO TO 55
   54 CONTINUE
      DO 53 J10=1,M
      CAEIJ(I,J10)=0.0
   53 CONTINUE
   55 CONTINUE
      WRITE(8,61)
   61 FORMAT(///,20X,'    *   INITIAL ALLOCATION  *    ',/)
      DO 65 I=1,L
   65 WRITE(8,25) ((ZZ,I,J,WIJ(I,J)),J=1,M)
   25 FORMAT(4(8X,A5,I2,',',I2,')=',E13.5))
```

```
      WRITE(8,74)
   74 FORMAT(/)
      DO 70 I=1,L
   70 WRITE(8,700) DD,I,WI(I),I,CHI(I),I,CSEI(I),I,CAEI(I)
  700 FORMAT(8X,A4,I2,')=',E13.5,12X,'CHI(',I2,')=',E13.5,12X,
     1'CSEI(',I2
     1,')=',E13.5,14X,'CAEI(',I2,')=',E13.5)
      WRITE(8,74)
      DO 71 I5=1,L
   71 WRITE(8,72) ((EE,I5,I6,CAEIJ(I5,I6)),I6=1,M)
   72 FORMAT(8X,A6,I2,',',I2,')=',E13.5,7X,A6,I2,',',I2,')=',
     1E13.5,
     17X,A6,I2,',',I2,')=',E13.5,7X,A6,I2,',',I2,')=',E13.5)
      WRITE(8,36)
   36 FORMAT(///,    20X,'***  INITIAL TIME    ***',/)
      DO 37 I=1,L
      WRITE(8,25) ((BB,I,J,TFJ(J)),J=1,M)
   37 CONTINUE
      DO 75 I=1,L
      IF(CSEI(I).LT.0.0) GO TO 80
   75 CONTINUE
      STOP
   80 CONTINUE
      DO 90 K=1,L
      IF(CSEI(K).GT.0.0) GO TO 90
      DO 100 J=1,M
      DO 110 I=1,L
      IF(CAEIJ(I,J).LE.0.0) GO TO 110
      IF(CAEIJ(I,J).LT.CSEI(I)) GO TO 120
      GO TO 145
  120 IF(CAEIJ(I,J)-ABS(CSEI(K)))130,130,140
  130 CONTINUE
      CAEIJ1=CAEIJ(I,J)
      IF(WIJ(K,J).LT.0.5) GO TO 150
      IF(WIJ(K,J).LT.CAEIJ(I,J)) CAEIJ(I,J)=WIJ(K,J)
      WIJK1=WIJ(K,J)
      WIJ(K,J)=WIJ(K,J)-CAEIJ(I,J)
      IF(WIJ(K,J).LT.0.5) GO TO 133
      GO TO 134
  133 CAEIJ(I,J)=WIJK1
      WIJ(K,J)=0.0
  134 CONTINUE
      WIJ(I,J)=WIJ(I,J)+CAEIJ(I,J)
      CSEI(I)=CSEI(I)-CAEIJ(I,J)
```

```
      CSEI(K)=CSEI(K)+CAEIJ(I,J)
      CAEI(I)=CAEI(I)-CAEIJ(I,J)
      CAEIJ(I,J)=CAEIJ1-CAEIJ(I,J)
      WRITE(8,888)
  888 FORMAT(10X,'STEP 1')
      GO TO 150
  140 CONTINUE
      CSEI1=CSEI(K)
      IF(WIJ(K,J).LT.0.5) GO TO 170
      IF(WIJ(K,J).LT.CSEI(K)) CSEI(K)=-WIJ(K,J)
      WIJK2=WIJ(K,J)
      WIJ(K,J)=WIJ(K,J)+CSEI(K)
      IF(WIJ(K,J).LT.0.5) GO TO 142
      GO TO 143
  142 CSEI(K)=-WIJK2
      WIJ(K,J)=0.0
  143 CONTINUE
      WIJ(I,J)=WIJ(I,J)-CSEI(K)
      CSEI(I)=CSEI(I)+CSEI(K)
      CAEIJ(I,J)=CAEIJ(I,J)+CSEI(K)
      CAEI(I)=CAEI(I)+CSEI(K)
      CSEI(K)=CSEI1-CSEI(K)
      WRITE(8,889)
  889 FORMAT(10X,'STEP 2')
      GO TO 170
  145 IF(CSEI(I).LT.ABS(CSEI(K)))GO TO 160
      CSEI2=CSEI(K)
      IF(WIJ(K,J).LT.0.5) GO TO 170
      IF(WIJ(K,J).LT.CSEI(K)) CSEI(K)=-WIJ(K,J)
      WIJK3=WIJ(K,J)
      WIJ(K,J)=WIJ(K,J)+CSEI(K)
      IF(WIJ(K,J).LT.0.5) GO TO 147
      GO TO 148
  147 CSEI(K)=-WIJK3
      WIJ(K,J)=0.0
  148 CONTINUE
      WIJ(I,J)=WIJ(I,J)-CSEI(K)
      CSEI(I)=CSEI(I)+CSEI(K)
      CAEIJ(I,J)=CAEIJ(I,J)+CSEI(K)
      CAEI(I)=CAEI(I)+CSEI(K)
      CSEI(K)=CSEI2-CSEI(K)
      WRITE(8,890)
  890 FORMAT(10X,'STEP 3')
      GO TO 170
```

```
160 CONTINUE
    CSEI3=CSEI(I)
    IF(WIJ(K,J).LT.0.5) GO TO 150
    IF(WIJ(K,J).LT.CSEI(I)) CSEI(I)=WIJ(K,J)
    WIJK4=WIJ(K,J)
    WIJ(K,J)=WIJ(K,J)-CSEI(I)
    IF(WIJ(K,J).LT.0.5) GO TO 162
    GO TO 164
162 CSEI(I)=WIJK4
    WIJ(K,J)=0.0
164 CONTINUE
    WIJ(I,J)=WIJ(I,J)+CSEI(I)
    CSEI(K)=CSEI(K)+CSEI(I)
    CAEIJ(I,J)=CAEIJ(I,J)-CSEI(I)
    CAEI(I)=CAEI(I)-CSEI(I)
    CSEI(I)=CSEI3-CSEI(I)
    WRITE(8,891)
891 FORMAT(10X,'STEP 4')
150 CONTINUE
110 CONTINUE
100 CONTINUE
170 CONTINUE
    DO 180 I=1,L
    WI(I)=0.0
    DO 180 J=1,M
    WI(I)=WI(I)+WIJ(I,J)
    TFIJ(I,J)=WIJ(I,J)/UIJ(I,J)
180 CONTINUE
    WRITE(8,186)
186 FORMAT(1H1,///,20X,'  **  INTERMEDIATE ALLOCATION  **',/)
    DO 181 I=1,L
181 WRITE(8,25) ((ZZ,I,J,WIJ(I,J)),J=1,M)
    WRITE(8,174)
174 FORMAT(/)
    DO 182 I=1,L
182 WRITE(8,700) DD,I,WI(I),I,CHI(I),I,CSEI(I),I,CAEI(I)
    WRITE(8,173)
173 FORMAT(/)
    DO 188 I5=1,L
188 WRITE(8,72) ((EE,I5,I6,CAEIJ(I5,I6)),I6=1,M)
    WRITE(8,187)
187 FORMAT(///,20X,' ***  INTERMEDIATE TIME  ***',/)
    DO 183 I=1,L
    WRITE(8,25) ((BB,I,J,TFIJ(I,J)),J=1,M)
```

```
 183 CONTINUE
     DO 1862 II=1,L
     IF(CSEI(II).LT.0.0) GO TO 90
1862 CONTINUE
     STOP
  90 CONTINUE
 185 CONTINUE
     DO 190 KK=1,L
     DO 1861 I5=1,M
     DISP(I5)=0.0
     DO 1861 I6=1,M
1861 STIF(I5,I6)=0.0
     IF(CSEI(KK).GE.0.0) GO TO 190
     DO 200 J=1,M
     UIJRT(J)=0.0
     DO 200 I=1,L
     IF(CSEI(I).LE.0.0) GO TO 200
     UIJRT(J)=UIJRT(J)+UIJ(I,J)
 200 CONTINUE
     J6=0
     DO 247 J9=1,M
     IF(WIJ(KK,J9).LE.0.5) GO TO 247
     J6=J6+1
     JK(J6)=J9
 247 CONTINUE
     DO 220 J=1,J6
 220 STIF(J6,J)=1.0
     DISP(J6)=-CSEI(KK)
     DO 210 I=1,L
     IF(CSEI(I).GT.0.0) GO TO 230
 210 CONTINUE
 230 CONTINUE
     MM=J6-1
     DO 240 J=1,MM
     JJ=J+1
     J1=JK(J)
     J2=JK(JJ)
     STIF(J,J)=1/UIJRT(J1)
     STIF(J,JJ)=-1/UIJRT(J2)
 240 DISP(J)=0.0
     WRITE(8,8888) (UIJRT(II),II=1,M)
     WRITE(8,8888) ((STIF(I,J),J=1,J6),I=1,J6)
8888 FORMAT(4E25.5)
     EPS=1.0E-14
```

```
      CALL MINVD(STIF,20,J6,EPS,ILL)
      WRITE(8,8888) ((STIF(I,J),J=1,J6),I=1,J6)
      DO 400 I1=1,J6
      XX(I1)=0.0
      DO 400 I2=1,J6
      XX(I1)=XX(I1)+STIF(I1,I2)*DISP(I2)
  400 CONTINUE
      DO 205 I7=1,L
      DO 206 J5=1,J6
      XY(I7,J5)=0.0
      IF(CSEI(I7).LE.0.0) GO TO 206
      J7=JK(J5)
      XY(I7,J5)=UIJ(I7,J7)/UIJRT(J7)
  206 CONTINUE
  205 CONTINUE
      DO 420 I=1,L
      IF(CSEI(I).GT.0.0) GO TO 440
      GO TO 430
  440 CONTINUE
      DO 450 J=1,J6
      J10=JK(J)
  450 WIJ(I,J10)=WIJ(I,J10)+XX(J)*XY(I,J)
      GO TO 420
  430 CONTINUE
      CSEI(KK)=0.0
  420 CONTINUE
      DO 455 J11=1,J6
      J12=JK(J11)
  455 WIJ(KK,J12)=WIJ(KK,J12)-XX(J11)
      DO 500 I=1,L
      WI(I)=0.0
      DO 580 J=1,M
      WI(I)=WI(I)+WIJ(I,J)
      TFIJ(I,J)=WIJ(I,J)/UIJ(I,J)
  580 CONTINUE
      CSEI(I)=CHI(I)-WI(I)
      IF(ABS(CSEI(I)).LT.0.5) CSEI(I)=0.0
  500 CONTINUE
      WRITE(8,988) (XX(J),J=1,J6)
  988 FORMAT(2E20.5)
      WRITE(8,501)
  501 FORMAT(1H1,///,20X,' ***  FINAL ALLOCATION  *** ',/)
      DO 502 I=1,L
  502 WRITE(8,25) ((ZZ,I,J,WIJ(I,J)),J=1,M)
      WRITE(8,509)
```

```
509 FORMAT(/)
    DO 503 I=1,L
503 WRITE(8,700) DD,I,WI(I),I,CHI(I),I,CSEI(I),I,CAEI(I)
    WRITE(8,504)
504 FORMAT(///,20X,' *** FINAL TIME  ***',/)
    DO 506 I=1,L
    WRITE(8,25) ((BB,I,J,TFIJ(I,J)),J=1,M)
506 CONTINUE
190 CONTINUE
    DO 1000 I=1,L
    IF(CSEI(I).LT.0.0) GO TO 185
1000 CONTINUE
    STOP
    END
```