

船團構成을 위한 初期配船

李 哲 榮* · 崔 宗 和**

Initial Ship Allocation for the Fleet Systematization

Cheol-Yeong Lee · Jong-Hwa Choe

< 目 次 >

Abstract	② 船舶 運航費의 決定
1. 序 論	③ 供給地와 需要地
2. 配船問題의 定式化	④ 貨物量
1) 問題의 定式化	⑤ 整數線型計劃法
2) 模型의 設定과 最適化	3. 例 題
① 船舶의 性能	4. 結 論

Abstract

The economical property of a shipping enterprise, as well as other transportation industries, is determined by the difference between the freight earned and expenses paid.

This study can be regarded as a division of optimizing ship allocation to routes under the integrated port transport system.

Fleet planning and scheduling require complicated allocations of cargoes to ships and ships to routes in order to optimize the given criterion function for a given forecast period.

This paper deals with the optimum ship allocation problem minimizing the operating cost of ships in a shipping company.

Optimum fleet operating for a shipping enterprise is very important, since the marine transportation is a form of large quantity transport requiring long-term period, and there is a strong possibility to bring about large amount of loss in operation resulting from a faulty ship allocation.

Where there are more than one loading and discharging ports, and a variety of ship's ability in speed, capacity, operating cost etc., and when the amount of commodities to be transported between the ports has been determined, then the ship's schedule minimizing the operating cost while satisfying the transport demand within the predetermined period will be made up.

First of all a formula of ship allocation problems will be established and then will be constructed to solve an example by the Integer Programming application after consideration of the

* 正會員, 韓國海洋大學

** 正會員, 釜山水產大學

ship's ability, supply and demand of commodity, amount of commodity to be transported, operating costs of each ship etc.

This study will give good information on deciding intention for a ship operator or owner to meet the computerization current with shipping management.

記 號 說 明

- A_{ij} : 供給地 i 로부터 需要地 j 에 運送되어야 하는 貨物量(ton)
 C_{FK} : 船舶 k 의 1日當 平均 燃料費(\$)
 CLK : 船舶 k 의 1日當 平均 潤滑油費(\$)
 CPK : 船舶 k 의 1航次當 平均 港費(\$)
 C_{ijk} : 船舶 k 가 i 에서 船積하여 j 에 輸送한 後 揚貨할 때까지 所要되는 平均運航費(\$/voyage)
 $C_{pilot k}$: 船舶 k 의 積貨港 및 揚貨港 導船料(\$/voyage)
 $C_{along k}$: 船舶 k 의 積貨港 및 揚貨港 接岸 碇泊料(\$/voyage)
 $C_{tug k}$: 船舶 k 의 曳船料(\$/voyage)
 $C_{etc k}$: 船舶 k 의 入出港에 所要되는 기타 費用(\$/voyage)
 D_{ijk} : 船舶 k 가 j 에서 i 로 空船航海하는데 所要되는 平均運航費(\$/voyage)
 $Dist$: i 港과 j 港間의 航程(mile)
 M_{ijk} : T_k 동안 船舶 k 가 i, j 間을 運航할 수 있는 最大航行 可能回數
 P_{ijk} : 船舶 k 가 j 로부터 i 에 空船航海하는데 所要되는 日數
 T_{CK} : 船舶 k 의 貨物積揚에 要하는 荷役作業日數(day/voyage)
 T_{EK} : 船舶 k 의 積揚港 出入에 所要되는 日數(day/voyage)
 T_{PK} : 船舶 k 의 航海當 平均 碇泊日數(day/voyage)
 T_{ijk} : 船舶 k 가 i 에서 貨物을 船積하여 j 에 輸送한 後 揚貨하는 데까지 所要되는 日數
 T_k : 船舶 k 의 1年間 運航可能日數
 V_{ijk} : 船舶 k 가 i 로부터 j 에 航海當 運送할 수 있는 貨物量(ton)
 W_{FK} : 船舶 k 의 平均燃料 消耗量(ton/day)
 W_{LK} : 船舶 k 의 平均潤滑油 消耗量(ton/day)

1. 序 論

海上貨物運送은 長距離, 大量輸送形態로서 그 輸送路가 海上이고 國際性を 띠고 있으며 輸送手段인 船舶이 大規模資產이라는 點이 一般陸上運送과의 差異點이라고 할 수 있다.

陸上運送의 經濟性 追求를 위한 經營學的 側面에서의 輸送媒體配置에 關한 研究는 多角的으로 行해져 왔으나 海上運送分野는 滿足할만한 成果를 거두지 못하고 있는 實情이다.

海上運送은 陸上運送과 比較할 수 없을 만큼 大單位輸送이며 遠距離를 長期間에 걸쳐 輸送하므로 輸送媒體인 船舶의 配置가 最適化되지 못했을 때는 莫大한 經營上의 損失을 招來할 뿐 아니라 일단 配船計劃이 樹立되어 運航中에 있는 船舶에 對하여 中途에서 運營上의 缺陷을 發見하고 再配船한다는 것은 여러가지 問題點이 隨伴되게 되며 技術的으로 不可能한 境遇도 있다.

現在와 같이 海上物動量이 激減하여 輸送貨物의 確保展望이 不確實한 狀況下에서는 企業의 經濟

性 追求보다는 信用確保問題가 優先的으로 考慮되어야 하므로 赤字運航을 甘受하는 配船方法도 있을 수 있으나, 圓滿한 工期遂行을 위하여 各地域에 保管되어 있는 物資를 適期 適所에 最小의 費用으로 輸送하는 問題라든지, 根本的으로 企業經營을 合理化하기 위한 初期의 船團構成問題를 最適化하는 것 등은 이러한 意味에서 重要性이 크다 하겠다.

이웃 日本國의 例를 보면 1982年度에 全世界에 걸친 53個의 定期航路에만도 4209회의 配船實績을 記錄한 바 있으며, 韓國도 保有外航船腹量이 600萬톤을 넘어섬에 따라 科學的이고 論理的인 配船에 關心을 기울이지 않으면 안될 時點에 到達하였다고 본다.

國內에서는 海洋大學을 中心으로 最適港灣運送에 關한 研究가 活潑히 展開되고 있으며 本研究도 單獨的인 配船에 關한 것이라기보다는 總合的인 시스템의 한 分野에 속하는 것이다.

港灣運送과 關聯된 最適配置問題는 貨物을 船舶에 配置하는 問題, 埠頭勞動力과 曳引船의 配置, Tanker의 配船 等에 關하여 實質的인 研究가 行해지고 있다.

그 中 船舶의 最適配置에 關한 先行研究를 살펴 보면 다음과 같다.

일찍이 1960年代에 Dantzig와 Fulkerson¹³⁾은 單一 供給地로부터 單一 需要地의 原油 所要量을 充足시키기 위한 Tanker의 最低數를 決定하는 問題를 解決한 바 있으며, Bellmore 등은 需要에 比하여 Tanker의 數가 不足한 境遇의 問題를, 그리고 Applegrem은 同一容量의 船舶과 同一規模의 貨物, 單一 揚貨港을 假定한 配船問題를 다루었다.

한편 1975年 M. D. Mckay와 H. O. Hartley¹⁴⁾ 등은 1個 以上の 船積港으로부터 多數의 目的港에 貨物을 引渡하기 위한 配船으로서 貨物에 對한 制約은 考慮하지 않고, 다만 豫定된 時期에 貨物이 引渡되도록 하는데 重點을 둔 Tanker의 配船問題인 「Computerized Scheduling of Seagoing Tankers」를 發表하였다.

또 1976年 William J. Sullivan과 Ernest Koenigsberg¹⁵⁾ 등은 「Mixed Integer Programming Applied to Ship Allocation」에서 單一 船積港과 3個의 揚陸港間의 便道輸送 및 三角配船에 關한 問題를 解決하였고 國內에서는 李重雨¹⁶⁾氏가 貨物의 引渡時期를 最優先으로 하는 配船問題에 對하여 研究報告한 바가 있다.

여기서는 2個以上の 船積港과 多數의 揚貨港間에 運航費用이 最小가 되는 配船 即 船舶, 航路, 貨物의 諸要素를 總合的으로 다루고자 試圖하였다. 다만 問題를 簡潔하게 하기 위하여 對象船舶은 General cargo-Bulk 兼用船이고 貨物은 石炭, 鑛石, 穀物과 같은 工業原料로 하였다.

따라서 船舶의 往航은 滿船, 復航은 空船運航이 된다.

本 論文에서는 이 問題와 關聯하여 이미 確保되었거나, 將來에 確保될 것으로 豫測되는 物量을 輸送할 適正規模의 船舶을 周旋하고자 하는 것보다도 定해진 物量을 이미 保有하고 있는 船腹을 利用 가장 低廉한 費用으로 輸送하기 위하여 適正航路에 各船舶을 配置하는 最適配船 Schedule을 作成하고, 더 나아가 剩餘船腹이 發生한다면 그 處理問題, 또는 추가로 船腹이 必要한 境遇의 解決方案까지를 檢討해 보기로 한다.

이 問題의 解決을 위하여 既存 海運會社가 保有하고 있는 各己 性能이 다른 實際船舶을 選定하여

Model化하고 i 個의 供給地로부터 j 個의 需要地로 輸送될 貨物量을 滿足하면서 運航費가 最小로 되는 航路에 各 船舶을 配置하는 方案을 模索한다.

먼저 輸送問題를 線型計劃問題로 定式化하고 選定된 Model을 整數線型計劃法을 適用하여 Computer로써 最適化를 行하였다.

2. 配船問題의 定式化

1) 配船問題의 定式化

國內의 몇몇 海運企業들은 初期의 零細한 經營單位를 脫皮하여 保有船腹面에서 世界屈指의 海運會社로 拔돋움하고 있으며, 따라서 經營의 規模도 常識이나 手作業에 依存하는 小規模가 아닌 科學的이고 論理的 計算을 要하는 老대한 規模로 成長하였다.

이에 副應하여 海運經營者들도 業務處理와 運航管理를 위한 Computer 導入을 計劃하고 있거나, 이미 Computer System에 依存한 管理를 始作한 會社도 있다.

따라서 現 段階에서 切實히 要請되는 것은 論理構造에 立脚한 經營技法의 開發을 위한 學問的 研究인 것으로 생각된다.

本章에서는 먼저 配船問題를 定式化하고 이를 Computer로 處理하기 위한 入力資料의 모델화 過程을 說明한다.

一般的인 輸送問題는 製品에 對한 一定한 需要를 갖는 數個의 需要地와 이 需要에 對해 製品을 供給하는 數個의 供給地가 있고, 各 供給地에서 各 需要地에의 製品單位當 輸送費가 決定되어 있을 때 最小의 輸送費로써 供給能力의 範圍內에서 需要地의 需要를 充足시키는 方法을 講究하는 것이다.

한편 船舶의 配置는 이러한 製品의 需要·供給 條件을 充足시키기 위하여 對象貨物의 量的인 면이나 輸送區間 및 所要期間 等 諸般 與件이 陸上과는 전혀 다른 大型의 投資設備인 船舶의 運航을 最適化하고자 하는 問題로서 一般的인 輸送問題의 概念으로서는 解決되지 않는다.

配船問題를 線型計劃法問題로 定式化하기 위하여 어떤 製品의 供給地 i 가 m 個所, 需要地 j 가 n 個所 있으며, 1年間에 各 需要地에 對하여 各 供給地로부터 輸送해야 하는 製品의 量이 決定되어 있다고 假定한다.

이 製品의 輸送手段으로서 各己 性能이 相異한 K 隻의 船舶이 있으며, 各 需要地에서 必要로 하는 定해진 製品의 量을 滿足하면서 各船의 運航費의 合計 最小化되는 T_k 年間の 運航 Schedule을 作成하고자 한다.

使用되는 變數

X_{ijk} : 船舶 k 가 i 에서 j 로 滿船航行하는 回數

Y_{ijk} : 船舶 k 가 j 에서 i 로 空船航行하는 回數

이 問題는 다음과 같이 定式化된다.

目的函數 Z 는 船舶 k 가 i, j 間 往航時의 滿船運航費와 復航時의 空船運航費를 合한 費用으로 表

示되며, 이것을 最小로 하는 X_{ij} 및 Y_{ij} 를 求하는 것이다.

$$Z = \sum_i \sum_j \sum_k C_{ijk} \cdot X_{ijk} + \sum_i \sum_j \sum_k D_{ijk} \cdot Y_{ijk} \dots \dots \dots (2-1)$$

이 目的函數의 값을 最小化하기 위한 制約條件은 먼저 各 船舶의 運航日數의 制限이다.

1 年間 船舶 k 가 i, j 間을 往復運航하는 데 所要되는 日數의 合은 k 船의 年間 運航可能日數를 超過해서는 안되므로,

$$\sum_i \sum_j T_{ijk} \cdot X_{ijk} + \sum_i \sum_j P_{ijk} \cdot Y_{ijk} \leq T_k (k=1, 2, \dots, k) \dots \dots \dots (2-2)$$

이어야 하며,

式(2-2)의 內容을 變形시켜, 各 i, j 에 對한 船舶 k 의 航行回數는 T_k 동안 最大航行可能回數(M_{ij})를 超過할 수 없다는 制約條件으로도 表現할 수 있으므로

$$X_{ijk} \leq M_{ijk} \dots \dots \dots (2-3)$$

가 된다.

다음으로 船舶 k 가 各 i, j 에 出港 및 入港하는 回數의 制限이다.

k 船이 i 港에서 貨物을 積載하고 出港하는 回數와 空船으로 i 港에 入港하는 回數가 같아야 한다. 卽

$$\sum_j X_{ijk} = \sum_j Y_{ijk} (k=1, 2, \dots, k, i=1, 2, \dots, i) \dots \dots \dots (2-4)$$

이고,

k 船이 貨物을 船積하고 需要地 j 에 入港하는 回數와 空船으로 i 를 向하여 出港하는 回數는 同一해야 하기 때문에,

$$\sum_i X_{ijk} = \sum_i Y_{ijk} \dots \dots \dots (2-5)$$

로 表示된다.

끝으로 貨物의 輸送量에 關한 制限條件은

$$\sum_k V_{ijk} \cdot X_{ijk} = A_{ij} (A_{ij} > 0 \text{ 이 되는 } i, j) \dots \dots \dots (2-6)$$

이다.

이 式은 i 에서 j 로 運送되어야 하는 貨物量 A_{ij} 와 이를 輸送할 船舶 k 의 航次當 輸送能力에 航行回數를 곱한 것, 卽 k 船이 1 年間 i 에서 j 로 輸送可能한 貨物量과 一致하는 것이 問題를 解決하는 데 가장 效率的임을 나타내고 있다.

여기서 $\sum_i \sum_j \sum_k V_{ijk} \cdot X_{ijk} < \sum_j A_{ij}$ 인 境遇는 追加로 船舶을 備船해야 하는 問題가 發生하고 $\sum_i \sum_j \sum_k V_{ijk} \cdot X_{ijk} > \sum_j A_{ij}$ 인 境遇는 保有船腹이 남아 돌아 一部の 船舶은 滿船運航을 하지 못하는 航次가 生길 수도 있을 것이고, 그 差가 더욱 심하다면 剩餘船腹을 他運航業者에게 備船해 주거나, 이것도 여의치 못하다면 運航을 中斷하고 繫船해야 하는 深刻한 問題로까지 發展될 可能性이 있음을 豫測할 수 있다.

2) 模型의 設定과 最適化

海運市場의 經營에는 一般市場經營과는 相異한 技術的인 要素가 潛在的으로 作用하고 있다.

世界の各 港灣間을 複雑하게 輸送되고 있는 貨物의 種類, 量, 積揚地, 船積 및 揚荷時期, 運賃率, 船腹 및 航路의 事情, 港灣의 機能과 荷役能率, 港灣과 接續되는 內陸運送 System 等 모든 海上運送要素를 빠짐없이 考慮하여 船舶의 空船航海를 最小化하면서 海運原價가 가장 低廉해지는 輸送計劃의 樹立이 바람직한 것이겠으나, 이는 매우 大規模의 問題가 되어 解決의 어려움이 隨伴된다.

本章에서는 輸送 및 配船計劃을 樹立하는데 있어서 重要한 役割을 하는 要素만 골라 模型 設定過程을 說明한 다음 實際로 船舶會社에서 發生할 수 있는 例題를 풀이하기로 한다.

① 船舶의 性能

海運産業의 企業活動은 海運用役의 生産 및 販賣와 關聯한 分野를 通한 資本增殖活動이라 할 수 있으며, 海運用役의 生産에는 먼저 船舶이라는 生産手段의 確保가 必要하다.

海運活動의 手段인 船舶은 그 運營費用이 低廉할 뿐 아니라 提供되는 用役의 質이 높은 것이 海運生産經營의 原價競爭力이 強한 船舶 卽 經濟性이 큰 船舶이 된다.

船舶의 性能을 決定함에는 다음 要素들을 考慮한다.

먼저 對象 船舶의 種類는 General cargo-Bulk 兼用船으로 하며 往航은 滿船, 復航은 空船運航으로 가정한다. 貨物運送能力(V_{ijk})은 每航海常 運送量으로서 DWT를 基準하였고 實際는 Λ 種의 貨物을 運送할 수 있는 船舶의 容量이다.

船運은 航海中 氣象異變이나 餘他 特殊한 狀況에 處하여 航海日程이 遲延될 수도 있고 補給을 위하여 中間 寄航地에서 遲滯될 可能性도 있으나 通常的인 航行速度 $\times 24$ 로 하여 1日間의 航行距離를 使用한다.

年間 運航可能日數(T_k)는 1年中 船體의 檢査, 修理 等に 必要한 日數를 除外하고 實際로 營業的인 運航이 可能한 日數이다.

航次常 平均碇泊日數(T_{PK})는 貨物의 船積 및 揚貨에 所要되는 期間과 入出港 手續을 위하여 待機하는 時間이 包含된다.

港灣의 慣習이나 制度, 荷役施設의 能率, 貨物의 種類, 埠頭設備의 事情 等を 勘案하여 每 船舶마다 平均値를 使用했으나 特定한 港灣의 境遇는 이 期間이 越等히 延長될 수도 있다. 이 때는 延長되는 日數를 制約條件에 追加해야 할 것이다.

船舶 k 의 i, j 港間 運航 所要日數는 다음 式으로 計算된다.

$$T_{ijk} = \frac{\text{Dist}}{S_k} + T_{PK} \dots\dots\dots(2-2-1)$$

단, $T_{PK} = T_{CK} + T_{EK}$

$$P_{ijk} = \frac{\text{Dist}}{S'_k} \dots\dots\dots(2-2-2)$$

② 運航費의 決定

海運企業經營에 依한 純利益은 保有船腹에 依해 收入되는 總運賃에서 船舶運航에 所要된 費用과 企業活動을 위해 支出된 諸般 附帶經費를 除한 것이 된다.

따라서 純利益을 樹大化하는 方便은 運賃收入을 늘리는 方法도 있으나 이것은 船舶運航者側의 一

方的 勞力에 依해 全的으로 左右되는 것이 아닐 뿐 아니라 運貨收入이 增加되더라도 適正配船을 하지 못하므로써 運航費用의 支出이 增加한다면 相對的으로 純收益의 增加는 期待할 수 없다.

그러므로 運貨收入을 늘리는 方案을 講究함과 同時에 運航費와 諸經費의 支出을 極小化시키는 方向으로 關心을 기울이는 것이 더욱 現實的이다.

船舶의 營業活動에 所要되는 經費는 여러가지의 項目으로 分類될 수 있지만 여기서는 可變性이 큰 項目인 純粹한 運航費만 考慮하고 實際 船舶을 選定, 그 船舶의 特定航路에 있어서의 運航費를 平均하여 日當 運航費로 하였다.

滿船運航費에는 燃料費, 潤滑油費, 港費 등이 包含되며 Bulk 貨物은 通常 FIO 條件으로 運送되므로 荷役費는 除外된다.

이를 式으로 表示하면 式(2-2-3) 및 (2-2-4)와 같다.⁹⁾

$$C_{ijk} = T_{ijk}(C_{FK} + C_{LK}) + C_{PK} \dots\dots\dots(2-2-3)$$

$$C_{FK} = C \times W_{FK}$$

$$C_{LK} = C' \times W_{LK}$$

$$C_{PK} = C_{pilot k} + C_{along k} + C_{tug k} + C_{etc k}$$

단, C = 燃料油의 ton當 價格(\$)

C' = 潤滑油의 ton當 價格(\$)

한편 空船運航費는

$$D_{ijk} = P_{ijk}(C_{FK} + C_{LK}) \dots\dots\dots(2-2-4)$$

이다.

㉔ 供給地와 需要地

船舶의 航海目的地는 港口이며 港口는 國際貿易의 機能面에서 볼 때 工業原料 輸出入港과 工業製品 輸出入港으로 大別할 수 있다.

港灣의 荷役設備을 爲始하여 船舶에 對한 諸般 Service 施設은 그 國家의 經濟開發 程度, 港灣의 規模, 國民意識의 水準 등에 따라 差異가 있겠으나 工業原料 輸出港과 工業都市인 資源 輸入港은 港灣設備面에서 대체적으로 良好한 것으로 본다.

그래서 港灣施設의 不備로 因한 滯船과 같은 航海日程을 遲延시키는 要素들은 考慮하지 않는다.

지금 *i*個의 供給地港에서 *j*個의 需要地港으로 輸送되어야 할 貨物의 種類와 實際로 需要地에서 必要로 하는 것과는 同一하지 않는 境遇도 있겠으나 對象貨物은 모두 Bulk 貨物이므로 K形의 어느 船舶으로도 輸送이 可能한 것으로 假定한다.

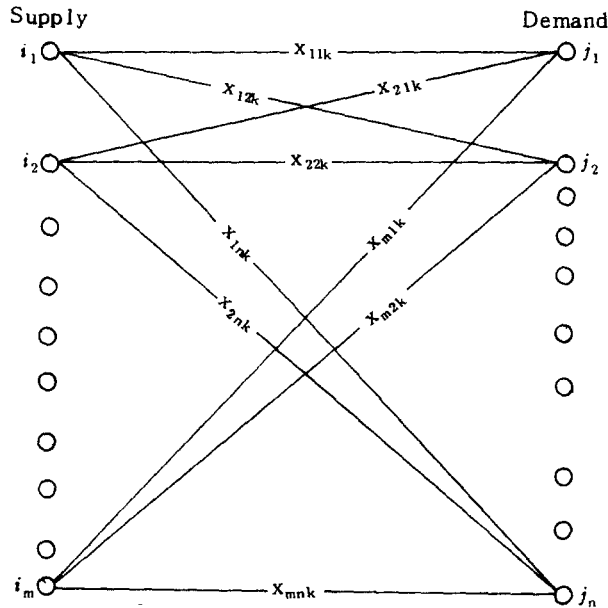
供給地와 需要地間의 貨物輸送路를 圖示하면 (Fig.2-1)과 같다.

㉕ 貨物量

海運의 機能은 一定한 容積과 重量을 가진 貨物을 輸送하는데 있으므로 海運企業이 必要로 하는 直接的인 資料는 貿易金額보다 貨物의 量이며, 同一 物量이라 할지라도 輸送距離에 따라 海運에 對한 需要는 달라지게 되고 運送原價 및 船舶의 性能도 크게 作用한다.

輸送의 對象이 되는 主된 貨物은 石炭, 鐵鑛石, 穀物 등의 工業原料로서 一般 Bulk 船에 依한 運

送이 容易한 것이다.



(Fig. 2-1) The Model of Cargo Transportation Net-work.

또 輸送 對象貨物이 여러 種類인 境遇는 同種 或은 類似한 基本貨物로 變換한 量으로 본다. 異種 貨物을 同種 貨物로 變換하는 데는 다음 式이 利用된다.⁴⁾

$$A_{ij} = C_i \times B_j \dots\dots\dots (2-2-5)$$

단, 變換係數 $C_i = \frac{\text{基本貨物에 對한 各 船舶의 積貨能力의 總合}}{\text{i 種貨物에 對한 各 船舶의 積貨能力의 總合}}$

B_j : i 種 貨物의 量

⑤ 整數 線型計劃法

計劃法問題를 解決함에 있어서는 사람의 數, 船舶의 隻數, 航海回數, 製品의 供給地 및 需要地 等과 같이 小數點 以下의 값은 아무런 意味가 없으며 반드시 整數일 것이 要求되는 要素가 있다.

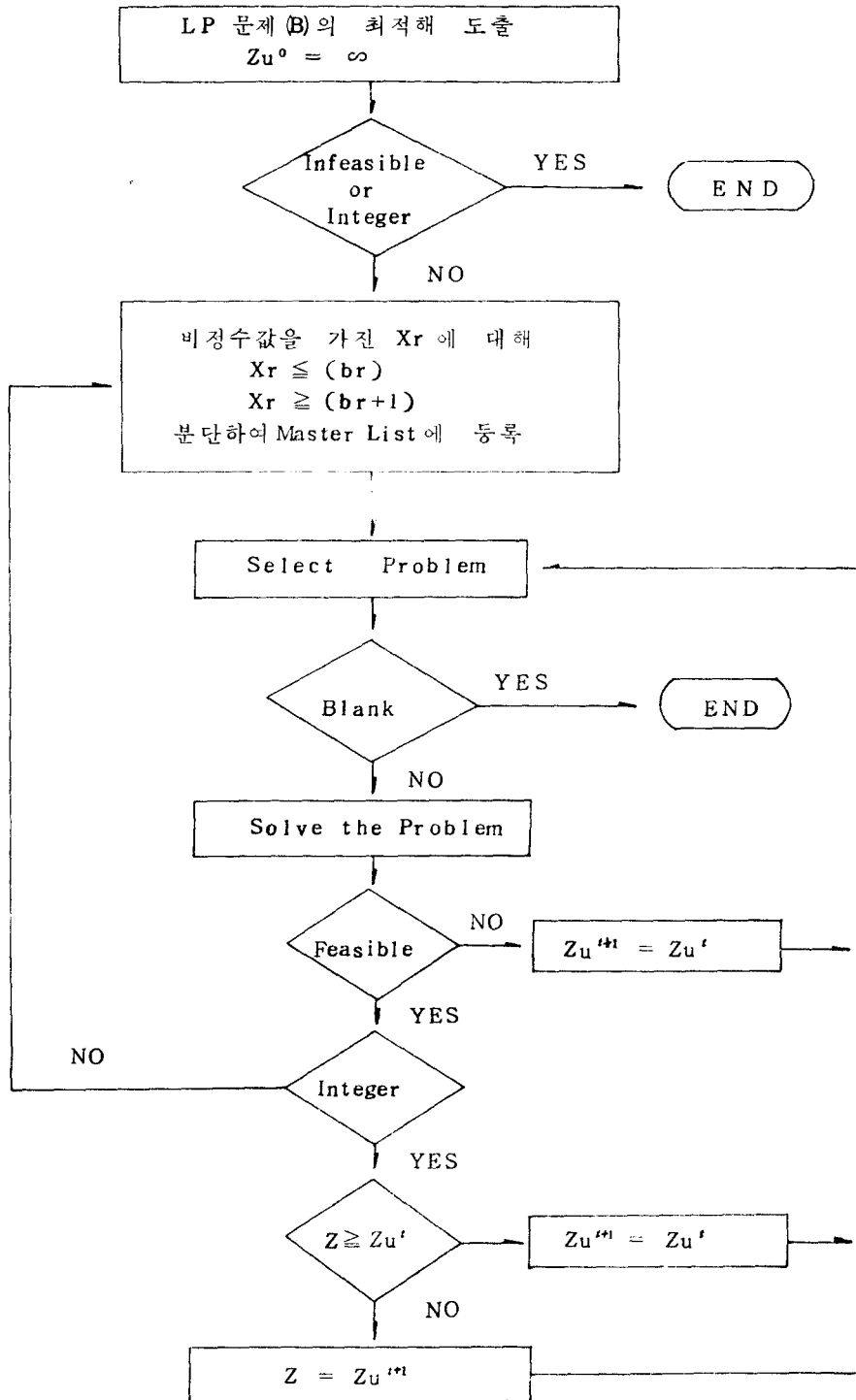
이와 같이 반드시 整數이어야 하는 變數가 包含된 線型計劃問題의 解를 求하는 過程이 整數 線型計劃法이며, 그 方法으로는 먼저 LP 最適解를 導出하고 非整數 最適解의 小數點 以下를 除去하여 準最適解를 求할 수도 있으나 이 境遇는 準最適解가 모든 制約條件을 滿足시키지 못하는 例도 發生하므로 一般의 解法으로는 不適合하다.

整數 線型計劃法의 模型은 다음과 같다.

$$\text{Opt } \sum_{r=1}^n C_r X_r$$

$$\text{St } \sum_{i=1}^m A_{ir} X_r (=, \geq, \text{ or } \leq) b_i \quad (i=1, 2, \dots, m)$$

X_r : 非負의 整數, $r=1, 2, \dots, n$



(Fig. 2-2) The Flow Chart of Integer Programming.

通常적으로 大型問題를 解決하는데 많이 活用되는 整數分段探索法(The Branch and Bound Method)의 過程을 說明하면 다음과 같다.³⁾

整數 線型計劃問題를 一般的인 線型計劃問題로 轉換시켜 最適解를 求하고 이 最適解를 表示하는 모든 基本變數가 整數值이면 이 最適解는 整數 線型計劃問題의 最適解이다.

그러나 이 最適解가 非整數로 構成되면 非整數值를 가진 基本變數 中 任意的 變數를 하나 選擇한다.

選擇된 基本變數(X_r)의 非整數值(A_r)는 (1)式과 같이 整數值(I_r)와 分數值(F_r)의 總으로 表示된다.

$$(1) A_r = I_r + F_r$$

$$(2) I_r < X_r < I_r + 1$$

그런데 X_r 는 式(2)로 表示되는 區間 內에서는 整數值를 가질 수 없게 된다.

따라서 解의 集中 非整數가 分명한 小集中을 除去하고 式(3)과 (4)에 依하여 解의 集中을 二分한다.

$$(3) X_r \leq I_r$$

$$(4) X_r \geq I_r + 1$$

式(3)과 (4)를 線型計劃問題에 追加하여 問題를 分割하고 分割된 問題에 對한 最適解를 雙對單體法으로 導出한다.

모든 基本變數가 整數值를 가질 때까지 위의 節次에 依해 問題를 계속 分割해 가는 方法이 整數分段探索法이다.

整數分段探索法의 수행過程을 (Fig. 2-2)에 보인다.

4. 例 題

工業原料 輸出港인 供給地 A에서는 主로 右煙炭과 鐵鑛石을 輸出하며 一部 剩餘農産物도 船積할 수 있는 施設을 갖추고 있다. 그리고 供給地 B는 穀物 輸出港이다.

한편 需要地 1은 製鐵所가 있는 臨海工業團地이며 2와 3은 隣近의 工業都市에 供給할 工業原料를 荷役하는 施設과 穀物貯藏施設 및 製紡工場이 있는 港灣이다.

지금 各 供給地 i 로부터 需要地 j 에 1年間 輸送될 物量이 決定되어 있고 5隻의 商船隊를 保有하고 있는 H. Line에서는 그 輸送權을 確保하고 最低運航費가 所要되는 配船計劃을 樹立하고자 한다.

이 會社가 保有하고 있는 다섯隻의 船舶은 모두 Diesel Engine을 裝備한 General-Bulk兼用船으로서 實際船舶을 Model化한 것이다.

各 船舶의 滿船速度(S_k)는 通常의 滿船速度에 24를 곱한 1日間の 航行距離이며 空船速度(S'_k)도 通常 空船速度로 1日間 航海하는 航程이다.

平均碇泊日數(T_{pa})는 每航海當 各 船舶이 船舶港과 揚貨港에서 荷役作業에 所要되는 總日數를 合

하여 平均한 것이며, 運航可能日數(T_k)는 1年間 營業的 運航이 可能한 日數를 船舶別로 나타낸다.

運送能力(V_{ijk})은 航海當 k船이 A種貨物을 運送할 수 있는 最大容量이며, 이는 各 船舶의 DWT를 基準하였고 問題를 簡潔하게 하기 위하여 15,000톤 및 30,000톤의 두 가지로 하였다.

滿船運航費(C_k)는 通常의인 滿船運航費에다 入出港에 所要되는 總費用과 碇泊中の 費用을 合하여 日當으로 平均한 것이다.

그리고 空船運航費(D_k)는 通常의으로 空船運航에만 所要되는 費用을 平均日當으로 計算하였다.

以上에서 說明한 各 船舶別 性能을 (Table 1)에 보이고 있다.

(Table 1) The Specification of Ships.

k	船 種	Engine	S_k mile/day	S'_k mile/day	T_{Pk} (day)	T_k (day)	V_{ijk} (ton)	Operating Cost	
								C_k (\$/day)	D_k (\$/day)
k1	G. C. B. C.	Diesei	360	408	8	350	15,000	2,400	2,200
k2	"	"	288	312	10	320	15,000	3,000	2,600
k3	"	"	432	480	10	350	15,000	2,600	2,400
k4	"	"	360	384	12	340	30,000	2,800	2,500
k5	"	"	288	336	15	330	30,000	2,500	2,260

(Table 2) The Travelling Time for Each Ship(day)

ij		A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3
Dist(mile)		4,350	8,684	3,240	2,525	6,995	5,265
A_{ij} (1,000 ton)		150	75	90	120	120	60
K1	T_{ijk}	20	32	17	15	27	22
	P_{ijk}	11	22	8	7	18	13
K2	T_{ijk}	25	40	21	18	34	28
	P_{ijk}	14	28	11	9	23	17
K3	T_{ijk}	20	30	17	15	26	22
	P_{ijk}	10	19	7	6	15	11
K4	T_{ijk}	24	36	21	19	31	26
	P_{ijk}	12	23	9	7	19	14
K5	T_{ijk}	30	45	26	24	39	33
	P_{ijk}	13	26	10	8	21	16

(Table 2)는 供給地港 i 와 需要地港 j 間의 航程 및 各 供給地에서 各 需要地로 1年間 輸送되어야 하는 貨物量(A_{ij}), 그리고 各 i 와 j 間을 各 船舶이 運航한다고 假定할 때 往航 및 復航에 所要되는 日數를 나타내고 있다.

k 船이 i 에서 貨物을 船積하여 j 에 輸送한다음 揚貨하는 데까지 所要되는 日數(T_{ijk})는
$$\frac{i, j \text{間 航程}}{1 \text{日間 滿船運航 航程}} + \text{入出港所要日數} + \text{荷役作業日數로 計算된다.}$$

그리고 i, j 間의 空船運航에 所要되는 日數(P_{ijk})는
$$\frac{i, j \text{間 航程}}{1 \text{日間 空船運航 航程}}$$
으로 求해지며, k 船이 i 와 j 사이를 1航海하는데 要하는 總日數는 $T_{ijk} + P_{ijk}$ 로 나타낼 수 있다.

運航費는 船舶의 運營에 必要한 總經費中 船費를 除外하고 純粹한 船舶의 運航 即 貨物運送 自體에 要求되는 諸般經費로서 原來 可變的이며, 航路, 貨物의 種類, 港灣事情 等に 따라 顯著한 差異가 있는데 여기서는 實在하는 船舶의 特定航路에 있어서의 平均値를 擇하였다.

各 船舶이 i 와 j 間의 各 航路에 就航한다고 볼 때 1航海當 所要되는 總運航費를 滿船運航 및 空船運航으로 나누어 (Table 3)에 나타내었다.

滿船運航費(C_{ijk})는 日當平均滿船運航費 × (滿船航海日數 + 碇泊日數)로 計算되고, 空船運航費(D_{ijk})는 日當平均空船運航費 × 空船航海日數로서 各 i, j 間의 運航費 Matrix를 求하였다.

(Table 3) The Operating Costs of Ships on Each Voyage Type(100 \$)

K \ ij		ij					
		A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3
K1	C_{ijk}	480	768	408	300	648	528
	D_{ijk}	242	484	176	154	395	286
K2	C_{ijk}	750	1,200	630	540	1,020	849
	D_{ijk}	364	728	286	234	598	442
K3	C_{ijk}	520	780	442	390	676	572
	D_{ijk}	240	456	168	144	360	264
K4	C_{ijk}	672	1,008	588	532	868	728
	D_{ijk}	300	575	225	175	475	350
K5	C_{ijk}	750	1,125	650	600	975	825
	D_{ijk}	286	572	220	176	462	352

(Table 3)의 內容에 따라 式(2-1)을 使用하여 目的函數를 誘導하면, 最小化

$$Z = 480 X_{1a1} + 750 X_{2a1} + 520 X_{3a1} + 672 X_{4a1} + 750 X_{5a1} \\ + 768 X_{1a2} + 1,200 X_{2a2} + 780 X_{3a2} + 1,008 X_{4a2} + 1,125 X_{5a2} \\ + 408 X_{1a3} + 630 X_{2a3} + 442 X_{3a3} + 588 X_{4a3} + 650 X_{5a3}$$

$$\begin{aligned}
 &+360 X_{1b1} + 540 X_{2b1} + 390 X_{3b1} + 532 X_{4b1} + 600 X_{5b1} \\
 &+ 648 X_{1b2} + 1,020 X_{2b2} + 676 X_{3b2} + 868 X_{4b2} + 975 X_{5b2} \\
 &+ 528 X_{1b3} + 840 X_{2b3} + 572 X_{3b3} + 728 X_{4b3} + 825 X_{5b3} \\
 &+ 242 Y_{1a1} + 364 Y_{2a1} + 240 Y_{3a1} + 300 Y_{4a1} + 286 Y_{5a1} \\
 &+ 484 Y_{1a2} + 728 Y_{2a2} + 456 Y_{3a2} + 575 Y_{4a2} + 572 Y_{5a2} \\
 &+ 176 Y_{1a3} + 286 Y_{2a3} + 168 Y_{3a3} + 225 Y_{4a3} + 220 Y_{5a3} \\
 &+ 154 Y_{1b1} + 234 Y_{2b1} + 144 Y_{3b1} + 175 Y_{4b1} + 176 Y_{5b1} \\
 &+ 396 Y_{1b2} + 598 Y_{2b2} + 360 Y_{3b2} + 475 Y_{4b2} + 462 Y_{5b2} \\
 &+ 286 Y_{1b3} + 442 Y_{2b3} + 264 Y_{3b3} + 350 Y_{4b3} + 352 Y_{5b3}
 \end{aligned} \tag{4-1}$$

式(2-2)에 의한 年間 運航可能日數의 制限은,

$$\begin{aligned}
 &20 X_{1a1} + 32 X_{1a2} + 17 X_{1a3} + 15 X_{1b1} + 27 X_{1b2} + 22 X_{1b3} \\
 &+ 11 Y_{1a1} + 22 Y_{1a2} + 8 Y_{1a3} + 7 Y_{1b1} + 18 Y_{1b2} + 13 Y_{1b3} \leq 350 \\
 &25 X_{2a1} + 40 X_{2a2} + 21 X_{2a3} + 18 X_{2b1} + 34 X_{2b2} + 28 X_{2b3} \\
 &+ 14 Y_{2a1} + 28 Y_{2a2} + 11 Y_{2a3} + 9 Y_{2b1} + 23 Y_{2b2} + 17 Y_{2b3} \leq 320 \\
 &20 X_{3a1} + 30 X_{3a2} + 17 X_{3a3} + 15 X_{3b1} + 26 X_{3b2} + 22 X_{3b3} \\
 &+ 10 Y_{3a1} + 19 Y_{3a2} + 7 Y_{3a3} + 6 Y_{3b1} + 15 Y_{3b2} + 11 Y_{3b3} \leq 350 \\
 &24 X_{4a1} + 36 X_{4a2} + 21 X_{4a3} + 19 X_{4b1} + 31 X_{4b2} + 26 X_{4b3} \\
 &+ 12 Y_{4a1} + 23 Y_{4a2} + 9 Y_{4a3} + 7 Y_{4b1} + 19 Y_{4b2} + 14 Y_{4b3} \leq 340 \\
 &30 X_{5a1} + 45 X_{5a2} + 26 X_{5a3} + 24 X_{5b1} + 39 X_{5b2} + 33 X_{5b3} \\
 &+ 13 Y_{5a1} + 26 Y_{5a2} + 10 Y_{5a3} + 8 Y_{5b1} + 21 Y_{5b2} + 16 Y_{5b3} \leq 330
 \end{aligned} \tag{4-2}$$

式(2-3)에 의한 年間 航行可能回數의 制限은,

$$\begin{aligned}
 &X_{1a1} \leq 11, X_{2a1} \leq 8, X_{3a1} \leq 11, X_{4a1} \leq 9, X_{5a1} \leq 7 \\
 &X_{1a2} \leq 6, X_{2a2} \leq 4, X_{3a2} \leq 7, X_{4a2} \leq 5, X_{5a2} \leq 4 \\
 &X_{1a3} \leq 14, X_{2a3} \leq 10, X_{3a3} \leq 14, X_{4a3} \leq 11, X_{5a3} \leq 9 \\
 &X_{1b1} \leq 15, X_{2b1} \leq 11, X_{3b1} \leq 16, X_{4b1} \leq 13, X_{5b1} \leq 10 \\
 &X_{1b2} \leq 7, X_{2b2} \leq 5, X_{3b2} \leq 8, X_{4b2} \leq 6, X_{5b2} \leq 5 \\
 &X_{1b3} \leq 10, X_{2b3} \leq 7, X_{3b3} \leq 10, X_{4b3} \leq 8, X_{5b3} \leq 6
 \end{aligned} \tag{4-3}$$

i 港에 k 船이 出入港하는 回數의 制限은 式(2-4)로부터,

$$\begin{aligned}
 &X_{1a1} + X_{1a2} + X_{1a3} + X_{2a1} + X_{2a2} + X_{2a3} + X_{3a1} + X_{3a2} \\
 &+ X_{3a3} + X_{4a1} + X_{4a2} + X_{4a3} + X_{5a1} + X_{5a2} + X_{5a3} \\
 &= Y_{1a1} + Y_{1a2} + Y_{1a3} + Y_{2a1} + Y_{2a2} + Y_{2a3} + Y_{3a1} + Y_{3a2} \\
 &+ Y_{3a3} + Y_{4a1} + Y_{4a2} + Y_{4a3} + Y_{5a1} + Y_{5a2} + Y_{5a3} \\
 &X_{1b1} + X_{1b2} + X_{1b3} + X_{2b1} + X_{2b2} + X_{2b3} + X_{3b1} + X_{3b2} \\
 &+ X_{3b3} + X_{4b1} + X_{4b2} + X_{4b3} + X_{5b1} + X_{5b2} + X_{5b3} \\
 &= Y_{1b1} + Y_{1b2} + Y_{1b3} + Y_{2b1} + Y_{2b2} + Y_{2b3} + Y_{3b1} + Y_{3b2} \\
 &+ Y_{3b3} + Y_{4b1} + Y_{4b2} + Y_{4b3} + Y_{5b1} + Y_{5b2} + Y_{5b3}
 \end{aligned} \tag{4-4}$$

j 港에 對한 船舶 k 의 入出港 回數의 制限은 式(2-5)로부터,

$$\begin{aligned}
 & X_{1a_1} + X_{1b_1} + X_{2a_1} + X_{2b_1} + X_{3a_1} + X_{3b_1} + X_{4a_1} + X_{4b_1} + X_{5a_1} + X_{5b_1} \\
 & = Y_{1a_1} + Y_{1b_1} + Y_{2a_1} + Y_{2b_1} + Y_{3a_1} + Y_{3b_1} + Y_{4a_1} + Y_{4b_1} + Y_{5a_1} + Y_{5b_1} \\
 & X_{1a_2} + X_{1b_2} + X_{2a_2} + X_{2b_2} + X_{3a_2} + X_{3b_2} + X_{4a_2} + X_{4b_2} + X_{5a_2} + X_{5b_2} \\
 & = Y_{1a_2} + Y_{1b_2} + Y_{2a_2} + Y_{2b_2} + Y_{3a_2} + Y_{3b_2} + Y_{4a_2} + Y_{4b_2} + Y_{5a_2} + Y_{5b_2} \\
 & X_{1a_3} + X_{1b_3} + X_{2a_3} + X_{2b_3} + X_{3a_3} + X_{3b_3} + X_{4a_3} + X_{4b_3} + X_{5a_3} + X_{5b_3} \\
 & = Y_{1a_3} + Y_{1b_3} + Y_{2a_3} + Y_{2b_3} + Y_{3a_3} + Y_{3b_3} + Y_{4a_3} + Y_{4b_3} + Y_{5a_3} + Y_{5b_3}
 \end{aligned} \tag{4-5}$$

끝으로 貨物量의 制限은 式(2-6)에 依하여,

$$\begin{aligned}
 & X_{1a_1} + X_{2a_1} + X_{3a_1} + 2 X_{4a_1} + 2 X_{5a_1} = 10 \\
 & X_{1a_2} + X_{2a_2} + X_{3a_2} + 2 X_{4a_2} + 2 X_{5a_2} = 5 \\
 & X_{1a_3} + X_{2a_3} + X_{3a_3} + 2 X_{4a_3} + 2 X_{5a_3} = 6 \\
 & X_{1b_1} + X_{2b_1} + X_{3b_1} + 2 X_{4b_1} + 2 X_{5b_1} = 8 \\
 & X_{1b_2} + X_{2b_2} + X_{3b_2} + 2 X_{4b_2} + 2 X_{5b_2} = 8 \\
 & X_{1b_3} + X_{2b_3} + X_{3b_3} + 2 X_{4b_3} + 2 X_{5b_3} = 4
 \end{aligned} \tag{4-6}$$

로 되며

이를 Computer 로 處理하여 最適化를 行한 結果로써 各 船舶의 配船計劃表를 作成한 것이 (Table 4)이다.

(Table 4) Fleet Schedule During One Year on Each Route.

ij K	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	Tk (day)	Tnk (day)
K1(15,000)	—	—	—	8	—	4	350	316
K2(15,000)	—	—	—	—	—	—	320	—
K3(15,000)	—	1	—	—	—	—	350	49
K4(30,000)	5	—	3	—	1	—	340	320
K5(30,000)	—	2	—	—	3	—	330	322
$A_{ij}(\text{ton})$	150,000	75,000	90,000	120,000	120,000	60,000		615,000

(Table 4)는 이 會社의 1年間 配船計劃樹立을 위한 基礎資料를 提供하고 있다.

船舶 K_1 이 (B-1)航路에 8航海, (B-3)航路에 4航海하므로써 總航海日數가 316日이 되고, K_4 는 (A-1)航路에 5航海, (A-3)航路에 3航海, (B-2)航路에 1航海하여 總航海日數 320日이 된다.

한편 K_5 는 (A-2)航路에 2航海, (B-2)航路에 3航海로써 航海日數의 合은 322日이 되며 K_2 는 전혀 配定되지 않고 K_3 는 (A-2)航路에 1航海만 配定되어 全體적으로 年間 要求되는 輸送量을 充足시키고 있다.

各 船舶의 經濟性을 評價해 볼 때 K_1, K_4, K_5 는 良好한 편이며 K_2 는 매우 低速이면서 運航費가 높

다.

그래서 確保된 貨物量에 비추어 K_1 이 配船되는 것이 더 經濟的인 것으로 判明되었다.

經營者는 剩餘船隻 K_2 와 K_3 를 위하여 對策을 講究해야 할 것이며 各 航路別 配船順位는 貨物引渡의 優先順位를 考慮하여 決定될 것이다.

5. 結 論

本論文에서는 配船計劃問題를 港灣運送이라는 總合 시스템의 一部로서 다루었다.

海上用役은 即時財로서 在庫貯藏販賣가 不可能하므로 有利한 輸送需要를 連續的으로 確保하지 못하면 滯船損失이 發生하게 된다.

그러므로 一般的인 需要·供給의 原則에 따라 海運需要와 供給도 均衡을 維持하는 것이 바람직하나 이것이 여의치 못하다면 現與件에서의 最適經營을 위한 意思決定資料로서 提供될 수 있는 것은 여러 가지가 있을 수 있는데 本論文에서는 配船問題 特히 船團構成을 위한 初期의 最適配船問題를 다루었으며, 이는 主로 各 船舶의 航路를 決定하는 것이다.

이 問題는 初期配船 뿐만 아니라 現在 配船運航中인 各 航路의 經濟性 評價를 위한 中間點檢에도 有効할 것임을 알았다.

從來의 輸送問題는 主로 單一積貨港, 單一 船速과 船舶容量에 依한 制限的인 問題를 다루어 왔으나 여기서는 船速과 船舶容量, 運航費 等이 各已 다른 船舶을 對象으로 하였고, 特히 積貨港 및 揚貨港을 複數로 하는 問題를 解決하므로써 現實問題에 더욱 接近하고자 努力하였다.

70年代의 石油危機를 겪으면서 海運企業은 經營合理化의 方案으로서 個別船舶에 對한 裝備의 現代化, 自動化 乃至 시스템化를 急速히 進行하여 船員人力을 減少시키는 等 海運收支防禦에 努力하고 있다.

이에 副應하여 保有船團의 運用을 最適化하는 Computer 活用技法을 提示한 것은 配船計劃의 가장 効率的인 遂行을 위한 基礎資料로서 有効할 것으로 期待한다.

本研究 結果는 不定期船을 對象으로 한 것이지만 定期船運航業에 있어서도 意思決定權者에게 配船의 經濟性 檢討를 위한 資料가 될 수도 있을 것이다.

特히 不定期船의 役割이 國內產業에 寄與하는 바는 定期船과 比較가 安謐만큼 至大하다는 現實과 海運經營의 Computer化 趨勢에 맞추어 本研究는 行해졌으며 더 나아가 여러가지 環境變化에 適應될 수 있는 시스템의 開發은 繼續的인 研究課題로 남는다.

參 考 文 獻

1. 李哲榮: 시스템工學概論, 文昌出版社, 釜山, pp. 360~388(1981)
2. 閔奎奎: 海運經濟學, 亞成出版社, 釜山, pp. 267~523(1973)
3. 秋暉錫: 數理計劃論, 經文社, 서울, pp. 314~397(1981)
4. 李重雨·李哲榮: 貨物の 引渡時期를 最優先으로 하는 配船問題, 韓國航海學會誌, 第7號, p. 11(1981)

16 韓國航海學會誌 第8卷 第1號, 1984

5. 梁時權 : 一般散積貨物船의 經濟性 評價에 관한 研究, 韓國航海學會誌, 第9號, pp.20~30(1982)
6. T.C. Hu : Integer Programming and Network Flows, Addison-Wesley Pub. Co., U.S.A., pp.385~388 (1970)
7. Katta Murty : Linear and Combinatorial Programming, John Wiley & Sons, Inc., U.S.A., pp.233~473 (1976)
8. David I. Cleland : Systems Analysis and Project Management, McGraw-Hill, Inc., U.S.A., pp.96~99 (1975)
9. Goss R.O. : Studies in Maritime Economics, Cambridge University Press, London, pp.68~73(1968)
10. O'Loughlin, C. : The Economics of Sea Transport, Pergamon Press, London, p.134(1967)
11. Junich Imakita : A Techno-Economic Analysis of The Port Transport System, Saxon House, Oxford, pp. 55~99(1977)
12. Ernest G. Frankel : Ocean Transportation Technology, M.I.T. Commodity Transportation and Economic Development Laboratory, pp.45~162(1972)
13. William J. Sullivan et. al. : Mixed Integer Programming Applied to Ship Allocation, Matson Research Co. U.S.A. (1976)
14. M.D. McKay et. al. : Computerized Scheduling of Seagoing Tankers, Texas A & M University, U.S.A. (1975)