

貨物の引渡時期를 最優先으로 하는 配船問題

李重雨* · 梁時權* · 李哲榮*

Optimum Allocation of Ships Emphasizing the Cargo Delivery Time

Lee Joong Woo · Yang Si Kwon · Lee Cheol Yeong

〈 目 次 〉

Abstract	3. 모델構成에 있어서 考慮할 事項
記號說明	4. 輸送모델의 定式化
1. 序 論	5. 例 題
2. 貨物引渡時期의 重要性과 輸送問題의 性質	6. 結 論 參考文獻

ABSTRACT

As far as transportation problems are concerned, the minimization of transportation cost is the most prevailing object. But in some cases, the cargo delivery time is the utter problem rather than the cost. For instance, we may imagine the case that the delivery of the construction materials is delayed behind the schedule and this makes the construction cost increased because of idle time of other materials and man power, in addition to the indemnity.

Therefore the allocation of ships, in marine transportation which is now the main route of overseas trade, to the needed area on the required time is to be appropriately performed.

However, there are several restrictions for cargo delivery to meet the demand, such as ship's size, number to be employed and cargo handling capacity of the ports, etc. And there are some other factors to be considered, that is, the degree of necessities of commodities, on their kinds, amount, and the time of arrival, etc.

This paper deals with the problem of optimum allocation of ships emphasizing the cargo delivery time adopting Linear Programming technique with those cargo delivery restrictions and factors transformed by introducing the multi-speed conception, the conversion of multi-commodity to a single commodity, allowable delivery time, weight penalty number and nominating priority. This paper presents a case of optimum allocation of ships in the light of cargo delivery time for a construction company which has two different construction places and

* 韓國海洋大學, 正會員

analyzes the result. This study will give a planner a good tool for optimum planning of marine transportation and be used for decision of schemes.

記 號 說 明

- A_i : V 生産地에서 生産된 貨物量 (供給可能量)
 a_{ijkm} : k 型船舶이 j 期間에 m 航路를 航行하여 1 航次에 輸送할 수 있는 i 種貨物의 量
 B_l : l 需要地에서 必要로 하는 需要量
 B_l' : B_l 을 基本貨物로 變換한 量
 b_i : i 種貨物의 需要制限 量
 C_i : i 種貨物을 基本貨物로 바꾸는 變換係數
 C_k : k 型船舶을 基本型船舶으로 바꾸는 變換係數
 C_{ki} : $=C_k \times C_i$
 f_i : i 種貨物의 fallout 量
 I : 貨物의 集合 ($I = \{i\}$)
 J : 計劃期間의 集合 ($J = \{j\}$)
 K : 船舶型의 集合
 M : 輸送航路의 集合 ($M = \{m\}$)
 M' : 計劃에 使用될 船舶型 \times 計劃期間
 n_k : k 型船舶의 1航次의 往航에 所要되는 日數
 \bar{n}_k : k 型船舶의 1航次의 復航에 所要되는 日數
 n'_k : $=n_k + \bar{n}_k$
 O_l : B_l 中에서 輸送計劃에 確定된 量
 P_{jk} : C_{jk} 에 加한 Weight
 q_{jk} : j 期間內에 利用可能한 k 型船舶隻數 \times 日數
 R_{jk} : j 期間中에 使用되고 남은 k 型船舶의 延日數
 S : 全輸送計劃期間中 k 型船舶의 總出現數
 T : fallout 期間을 包含하는 輸送計劃期間의 集合 ($T \subset J$)
 u_j : j 期間에 利用可能한 港灣의 總荷役量
 W_{ki} : i 種貨物에 對한 k 型船舶의 積載可能한 i 種貨物의 量
 \bar{W} : 基本貨物에 對한 各船舶積貨能力의 總合
 \bar{W}_i : i 種貨物에 對한 各船舶積貨能力의 總合
 X_{ijkm} : j 期間에 k 型船舶으로 m 輸送路를 통해 輸送하는 i 種貨物의 量
 W_{ijkm} : X_{ijkm} 에 加한 Weight
 W_i' : f_i 에 加한 Weight
 \bar{x}_{ijkm} : j 期間에 m 航路를 통해 k 型船舶이 復航하는 回數
 Z : 目的函數

1. 序 論

오늘날 輸送은 그 期間을 短縮시킴으로써 産業資本의 回轉率을 높이고 그 經費를 切減시킴으로써 生産原價를 낮추게 되어 産業에 活力을 주고 雇傭의 增大를 꾀하게 되어 그 結果 國民所得의 再分配 및 成長을 誘導하는 등의 많은 直接·間接的 效果를 惹起하고 있다.

그 中 比重으로 보아 主로 貿易貨物을 取扱하는 海上運送에 對해서도 船舶·埠頭·背後地 等 많은 下部시스템을 包含하는 하나의 巨大시스템이라는 觀點에서 統一의으로 取扱하고자 하는 새로운 努力이 進行되고 있다. 一般의으로 從來의 輸送合理化의 方向은 費用의 最小化라는 觀點에서 다루어 저은 傾向이 있다.

그러나 石油와 같이 産業 全般에 波及效果가 큰 貨物, 人間生活營爲의 基本이 되는 食糧, 軍需物 및 建物資材 等 貨物의 性質과 輸送의 目的에 따라서는 반드시 定해진 時期에 引渡하여야 하는 것도 있어서 이러한 對象物은 費用의 次元과는 다른 觀點에서 取扱되어야 할 것이다. 卽, 이러한 貨物의 輸送은 經濟性보다 貨物의 引渡時期에 重點을 두어서 이루어 저야 한다.

輸送은, 一般의으로 原產地에서 目的地의 需要量을 充足시킨다고 하는 側面에서 計劃될 수 있으나 商品의 多樣性, 船舶의 特性, 需要形態의 變化, 港灣容量 및 埠頭設備 等の 制限條件이 隨伴되므로 매우 複雜한 性質을 띠게 된다.

이러한 點들을 考慮하여 本論文에서는 貨物의 引渡時期를 最優先으로 하여 貨物을 輸送하는 境遇에 있어서, 船舶의 配定을 最適으로 하는 問題를 線型計劃法을 利用하여 定式化하고 그 結果를 檢討하여 그 有効性을 確認함과 同時에, 輸送計劃者나 意思決定者에게 重要한 指針을 提供함을 目的으로 한다.

本論文은 6個의 章으로 構成되며 第2章에서는 먼저 貨物의 引渡時期를 重要視하는 理由 및 必要性을 밝히고 一般의인 輸送計劃에 對하여 概說한다.

第3章에서는 모델을 構成하기 爲하여 考慮하여야 할 事項들을 列舉하고 第4章에서는 이를 利用하여 問題를 L.P.의 形態로 定式化하는 過程을 보인다.

第5章에서는 建設會社가 擔當하고 있는 工事を 契約期間內에 完成시키기 爲하여 資材를 供給하는 境遇의 配船 問題를 例題로 하여 定式化한 結果를 檢討한 뒤 結論에서는 全體를 要約한다.

2. 貨物引渡時期의 重要性和 輸送問題의 性質

2.1 貨物引渡時期의 重要性

一般의으로 輸送問題는 主로 經濟的인 觀點에서 研究되어 온 것이 事實이다. 그러나 輸送의 目的, 貨物의 性質 또는 輸送을 主導하는 主體에 따라서는 經濟的인 觀點 以外의 것이 더욱 重要性을 갖는 境遇도 있다. 그 中の 하나가 貨物을 引渡하는 時期이다.

以下에서는 輸送時期가 重要視되는 對象 및 그 理由에 對해 概觀하기로 한다.

人間이 發見한 重要한 自然資源 中の 하나인 石油가 主要한 energy 資源으로써 本格的으로 使用되게 된 것은 2회에 걸친 世界大戰을 前後로 한 時期이며, 1960年代에는 燃料로만 使用되어 오던 狀態에서 벗어나 精製된 原油에서부터 各種石油·化學製品의 發明과 活用이 本格化되었다.

石油·化學製品의 需要가 날로 增加됨에 따라서 石油가 他産業分野에 미치는 影響은 이루 헤아릴 수 없게 되었다. 더욱이 1960年代 以後에는 OPEC의 橫暴로 短期에 油價가 暴騰하여 石油의 武器化라는 用語까지 登場하였다. 오늘날에 이르러서는, 諸國은 石油의 重要性을 再認識하여 對替energy의 開發에 拍車를 加하는 同時에 石油의 備蓄을 爲한 立地造成과 中型·大型船 및 競爭力이 없는 老朽船을 海上貯藏 tank로 使用하는 등 energy의 確保에 心血을 기울이고 있다.

한 國家에 있어서 石油와 같은 energy의 備蓄量은 制限이 되어 있으므로 消費하는 量에 對하여는 끊임없이 供給을 받아야 하며 適定時期에 必要로 하는 需要量을 供給받지 못 할 境遇에는 關聯産業의 稼動을 中止시켜 國民經濟를 破綻시키게 될 것이다.

또한, 軍需物資를 必要로 하는 戰爭地域이나 食糧·衣類·醫藥品 등의 補給을 기다리는 自然災害地域에 對하여 그 地域에서 必要로 하는 時期에 補給品을 供給하지 못했을 境遇 어떠한 結果가 招來될 것인가 하는 것은 豫測하고도 남음이 있을 것이다.

한편, 自國 혹은 他國에서 工期가 指定된 港灣·土木·建築·工業園地의 建設 등의 工事を 計劃하여 從事하는 境遇 이에 必要한 資材를 適定時期에 輸送하지 못함으로써 생기는 工事の 遲延은 會社經營上의 莫大한 損失을 隨伴하게 된다.

이 외에도 類似한 例는 얼마든지 들 수 있겠으나 以上과 같은 例만으로도 需要地에서 必要로 하는 最適時期에 貨物의 輸送을 遂行하지 못함으로써 隨伴되는 損失은 費用이라는 觀點보다 더욱 上位에 屬하는 性質의 것으로 생각된다.

이러한 點에서 貨物의 性質, 輸送의 目的 및 輸送의 主體 등에 따라서는 貨物의 引渡時期를 考慮한 輸送問題가 重大한 意味를 지니며, 그것이 最適으로 이루어지지 않았을 境遇 招來될 破局을 생각한다면 이 分野에 對한 研究自體가 매우 時急한 性質의 것임을 알 수 있는 것이다.

2.2 輸送問題의 記述

어떤 資源을 目的地로 輸送하는 境遇에는 이것을 遂行하기 爲한 여러가지 條件이 뒤따르게 되며 그 中 重要한 것으로는 商品의 量, 種類, 原產地에서 生産되는 時期 등의 多様な 商品의 特性, 目的地에서 需要者가 願하는 時期, 許容될 수 있는 商品引渡의 期間, 商品이 所用되는 順序, 輸送路 등의 需要形態의 變化와 容量, 速度, 荷役形態, 他 貨物의 輸送力과 같은 多様な 船舶特性, 港灣·埠頭의 制限 등을 들 수가 있다.

특히 需要地에서는 어떤 資源을 指定된 時期에 引渡받아야만 國民經濟의 秩序維持, 人命, 國家의 産業發展計劃의 推進 등에 있어서 蹉跌을 招來하지 않게 될 것이다. 한편, 이를 輸送하는 側에서는 自社의 信賴度, 經濟性을 考慮하여 可能하면 最適의 時期에 適量을 引渡하려 할 것이나 이 境遇 定해진 輸送手段의 容量, 積荷港 및 揚荷港에서의 利用性 등을 반드시 考慮하여 計劃을 樹立하여야

할 것이다.

需要量の 輸送은 하나 以上의, 能力이 制限된 輸送手段으로서 積荷港과 揚荷港 사이를 連結하는 輸送路로 構成되는데 이들 輸送路 사이에는 可能한 中間寄港地를 考慮할 수도 있고, 말 할 必要도 없이 港의 收容力이 制限될 수도 있으며, 需要量の 移動은 原產地의 積荷港에서 目的地의 揚荷港으로 된다. 問題를 構成하는 全體의 計劃期間은 그 길이를 任意로 調整할 수 있는 性質의 것으로 그 期間을 中心으로 하여 輸送計劃을 樹立하게 되는데, 이 輸送計劃은 計劃期間內에서의 埠頭의 制限條件을 滿足하고 輸送容量을 超過하지 않으면서 願하는 輸送計劃量을 輸送할 수 있도록 各 輸送路에 對한 最適의 船舶과 需要量을 配定하는 것이어야 할 것이다.

이때, 이 計劃의 目標은 可能한 限 目的地에서 需要者가 願하는 가장 바람직한 時期에 各各의 需要量을 引渡하고 이것이 不可能한 境遇에는 이 時期에 近接한 可能한 限 빠른 時期에 引渡하도록 하며 이렇게 하여도 完全히 引渡되지 않을 境遇에는 遲滯되더라도 바람직한 時期에 가까운 때에 引渡 되도록 하는 것이 要求된다. 萬一 輸送手段의 容量이나 資源의 量이 充分하지 못하여 需要를 充足할 수 없는 境遇에는 不足現象이 일어나 高順位의 需要는 低順位의 需要가 計劃에서 樹立되기 前에 願하는 期間에 輸送되도록 考慮하는 것이 바람직한 것이다.

한편으로 同一한 計劃量을 輸送하는 데에 있어서도 可能하다면 輸送計劃에 使用되는 輸送手段의 所要量이 작을 수록 有利한 것임을 말할 必要도 없을 것이다.

以上의 說明으로부터 貨物の 引渡時期를 最優先으로 하는 輸送問題의 制約條件들은 線型不等式으로 定式化할 수 있는 性質의 것으로 보여지며 또한 願하는 輸送計劃은 Weight Penalty function을 導入함으로써 線型計劃法의 形式으로 定式化가 可能할 것이라는 展望이 서게 된다.

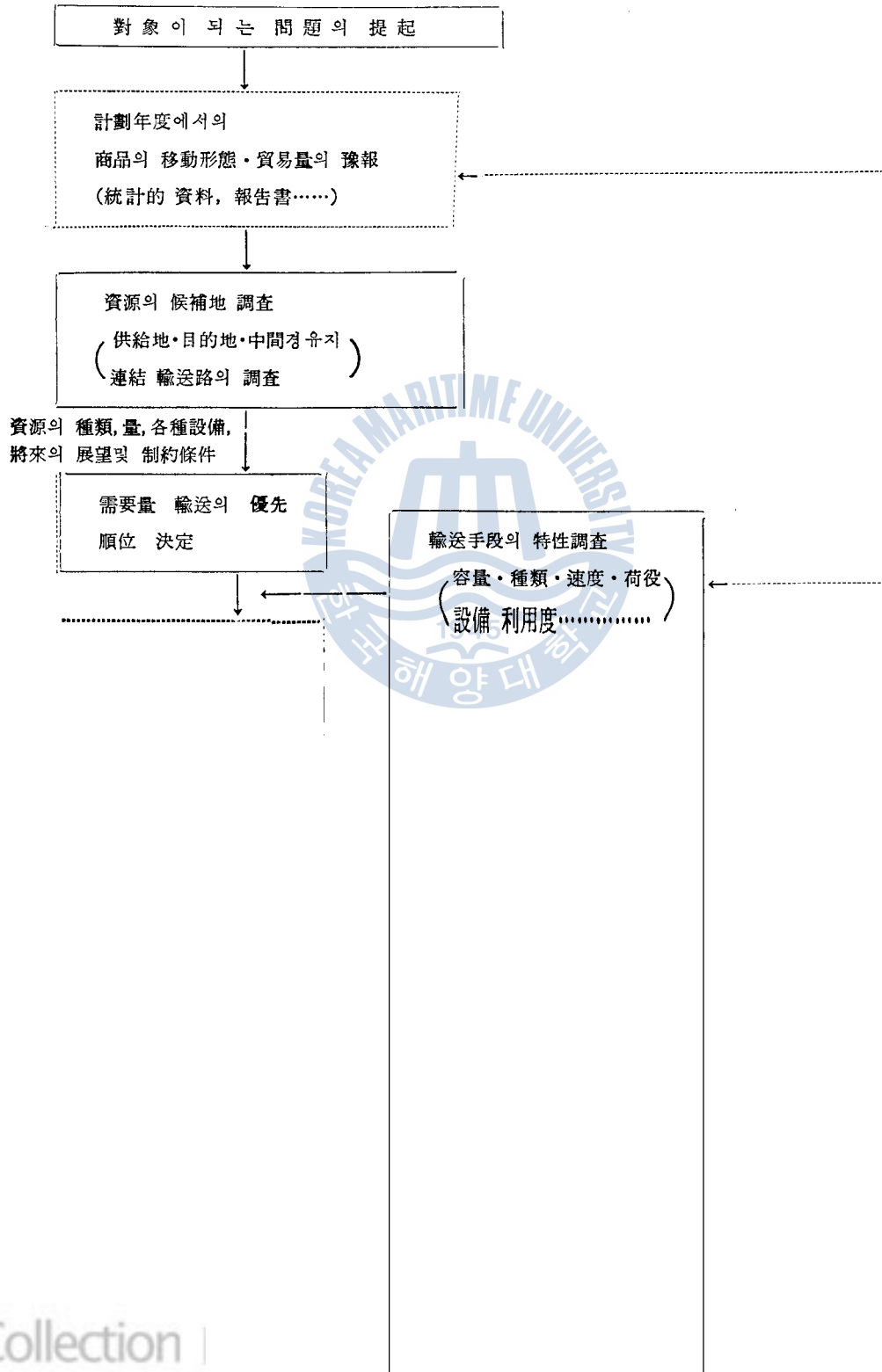
2.3 輸送計劃의 樹立段階

輸送問題를 解決하기 爲하여서는 먼저 對象에 對한 明確한 認識과 分析이 必要하다. 提起된 問題에 對해 過去의 商品 및 資源의 形態와 需要量의 分布 및 移動量에 對하여 統計的인 資料를 蒐集하고 이들의 趨勢를 現在의 狀態에 比較하여 將來의 原料輸入, 製品輸出, 必要品의 供給計劃에 따라 需要量을 把握하는 貿易量의 豫測을 行한다. 이들 資料와 關聯시켜서 各 品目의 供給地와 目的地 即 積荷港과 揚荷港, 連結輸送路를 調査한다. 勿論 여기에서는 港들의 數도 連結輸送路의 數를 左右하지만 品目에 따라서도 그數가 달라진다. 여러 品目の 貨物은 目的地까지의 可能한 輸送路를 찾아내어 荷役形態, 資源利用度, 要求된 期間에의 到着, 費用 등 其他 諸般條件을 適用하여 優先順位를 決定하게 된다.

위에서 記述한 流通量에 對해 特定輸送路의 選擇이 있는 後 輸送形態를 決定하여야 하는데 여기에서는 船舶을 對象으로 하므로 船舶의 種類, 容量, 設備, 利用度, 速度 등 이들의 特性이 問題視될 것이다. 그리고, 利用할 輸送設備, 輸送容量, 荷役資源의 量 및 바라는 到着期間 등의 永續인 輸送網의 特性을 살려 最適輸送이 되도록 輸送資源을 配置하게 된다. 各 輸送路와 輸送手段이 選擇되면 計劃期間에 따라 여러 時間的 區間을 두어, 需要量을 輸送하는 輸送計劃을 樹立하여 最適化를

遂行한다.

이러한 輸送計劃의 樹立過程을 시스템의으로 表示하여 그 論理的 任務나 役割에 따른 段階를 나타내면 [Fig.1]과 같다.



할 것이다.

需要量의 輸送은 하나 以上의, 能力이 制限된 輸送手段으로서 積荷港과 揚荷港 사이를 連結하는 輸送路로 構成되는데 이들 輸送路 사이에는 可能한 中間寄港地를 考慮할 수도 있고, 말 할 必要도 없이 港의 收容力이 制限될 수도 있으며, 需要量의 移動은 原產地의 積荷港에서 目的地의 揚荷港으로 된다. 問題를 構成하는 全體의 計劃期間은 그 길이를 任意로 調整할 수 있는 性質의 것으로 그 期間을 中心으로 하여 輸送計劃을 樹立하게 되는데, 이 輸送計劃은 計劃期間內에서의 埠頭의 制限條件을 滿足하고 輸送容量을 超過하지 않으면서 願하는 輸送計劃量을 輸送할 수 있도록 各 輸送路에 對한 最適의 船舶과 需要量을 配定하는 것이어야 할 것이다.

이때, 이 計劃의 目標은 可能한 限 目的地에서 需要者가 願하는 가장 바람직한 時期에 各各의 需要量을 引渡하고 이것이 不可能한 境遇에는 이 時期에 近接한 可能한 限 빠른 時期에 引渡하도록 하며 이렇게 하여도 完全히 引渡되지 않을 境遇에는 遲滯되더라도 바람직한 時期에 가까운 때에 引渡되도록 하는 것이 要求된다. 萬一 輸送手段의 容量이나 資源의 量이 充分하지 못하여 需要를 充足할 수 없는 境遇에는 不足現象이 일어나 高順位의 需要는 低順位의 需要가 計劃에서 樹立되기 前에 願하는 期間에 輸送되도록 考慮하는 것이 바람직한 것이다.

한편으로 同一한 計劃量을 輸送하는 데에 있어서도 可能하다면 輸送計劃에 使用되는 輸送手段의 所要量이 작을 수록 有利한 것임을 말할 必要도 없을 것이다.

以上의 說明으로부터 貨物の 引渡時期를 最優先으로 하는 輸送問題의 制約條件들은 線型不等式으로 定式化할 수 있는 性質의 것으로 보여지며 또한 願하는 輸送計劃은 Weight Penalty function을 導入함으로써 線型計劃法의 形式으로 定式化가 可能한 것이라는 展望이 서게 된다.

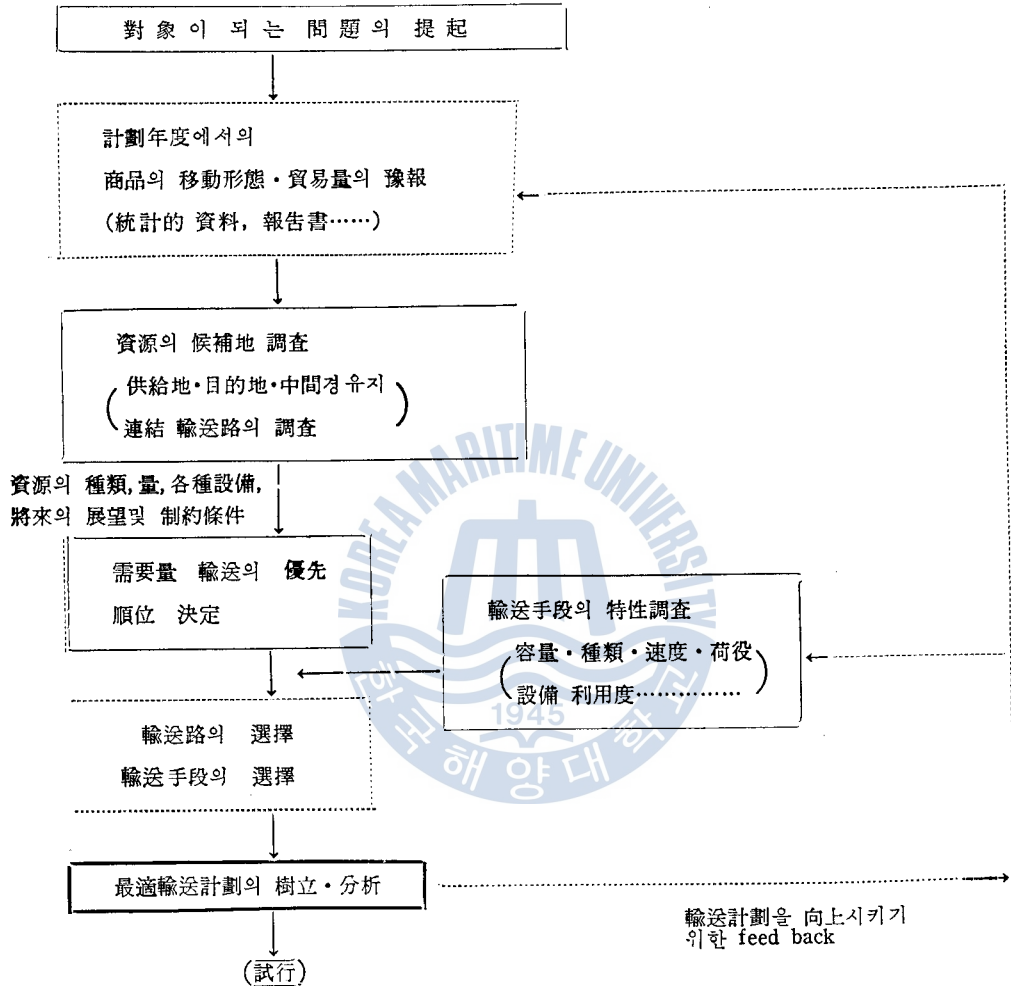
2.3 輸送計劃의 樹立段階

輸送問題를 解決하기 爲하여서는 먼저 對象에 對한 明確한 認識과 分析이 必要하다. 提起된 問題에 對해 過去의 商品 및 資源의 形態와 需要量의 分布 및 移動量에 對하여 統計的인 資料를 蒐集하고 이들의 趨勢를 現在의 狀態에 比較하여 將來의 原料輸入, 製品輸出, 必要品의 供給計劃에 따라 需要量을 把握하는 貿易量의 豫測을 行한다. 이들 資料와 關聯시켜서 各 品目의 供給地와 目的地 即 積荷港과 揚荷港, 連結輸送路를 調査한다. 勿論 여기에서는 港들의 數도 連結輸送路의 數를 左右하지만 品目에 따라서도 그數가 달라진다. 여러 品目의 貨物은 目的地까지의 可能한 輸送路를 찾아내어 荷役形態, 資源利用度, 要求된 期間에의 到着, 費用 등 其他 諸般條件을 適用하여 優先順位를 決定하게 된다.

위에서 記述한 流通量에 對해 特定輸送路의 選擇이 있는 後 輸送形態를 決定하여야 하는데 여기에서는 船舶을 對象으로 하므로 船舶의 種類, 容量, 設備, 利用度, 速度 등 이들의 特性이 問題視될 것이다. 그리고, 利用할 輸送設備, 輸送容量, 荷役資源의 量 및 바라는 到着期間 등의 永續的인 輸送網의 特性을 살려 最適輸送이 되도록 輸送資源을 配置하게 된다. 各 輸送路와 輸送手段이 選擇되면 計劃期間에 따라 여러 時間的 區間을 두어, 需要量을 輸送하는 輸送計劃을 樹立하여 最適化를

遂行한다.

이러한 輸送計劃의 樹立過程을 시스템의으로 表示하여 그 論理的 任務나 役割에 따른 段階를 나타내면 [Fig.1]과 같다.



[Fig.1] The Procedure of constructing the transportation schedule

3. 모델構成에 있어서 考慮할 事項

前述의 輸送問題에서 여러가지 條件과 目標을 達成하기 위하여 L.P.를 利用하려고 할 境遇, 一般的인 方法으로는 그 適用이 困難하다. 따라서 複雜하고 大規模의 需要量을 移動하는 計劃에서는 條件을 크게 變化시키지 없이 이를 單純化시키는 過程이 必要하다.

모델을 單純化시키는 데에 있어서는 너무 지나치게 單純化하면 結果가 誘導된다 하더라도 有效性을 잃게 되는 境遇가 있으므로 이 點에 留意하여 本論文에서는 다음을 導入하기로 한다.

3.1 複合速力の 導入

輸送問題에서 船舶의 速力은 計劃된 時期에 需要量의 輸送與否를 決定하는 重要한 媒體가 된다.

計劃者가 速力이 同一한 여러 船舶을 使用할 境遇 1個의 輸送路에 對해 1種類의 速力으로 需要量의 輸送計劃을 樹立할 수는 있으나 計劃造船에 依해 同一한 船舶을 導入하지 않는 限 大개 船速은 船舶에 따라 다르게 나타난다.

만약 한 輸送路에 對해서 3種類의 貨物을 5가지의 서로 速力이 相異한 船舶을 利用하여서 輸送하는 境遇, 實際로는 15個의 分離된 輸送問題로 되어서 計劃過程이 複雜하게 된다. 따라서 다음에 言及할 多品種貨物의 單一化 方法과 함께 複合速力에 依해서도 이와 같이 分離된 輸送問題를 1個의 問題로 하여 同時に 解決하도록 하면 매우 便利하다. 이러한 複合速力에의 接近은 可能하면 需要者가 가장 願하는 時期나 時間의 範圍內에 需要量을 大部分 輸送할 것을 目的으로 하되 이를 여러 船舶의 形態로 나누어서 輸送하고, 또한 速力이 多樣한 것은 積荷港에서 船舶을 速力에 따라 時差制로 出航시키는 것으로 하여 揚荷港에는 願하는 時期에 到着하도록 함으로써 補完한다.

速力에 對한 考慮는 全體의으로 航次單位를 通하여 볼 때 船舶의 速度 뿐 만 아니라 自船의 荷役設備, 積荷港 및 揚荷港의 크기, 港內의 荷役設備 등에 따라서 船舶의 積荷時間, 外港에서의 기다리는 時間 및 揚荷時間 등과 中間寄航地가 있을 경우 이곳에서의 遲滯時間 등으로 나타난다. 揚荷港을 基準으로 하여 時間을 細密히 調査해 보면 積荷港에서 揚荷港으로의 往航時間은 積荷時間(t_i) 港口間 運航時間(t_c), 航海中の 遲延時間(t_a), 中間寄港地에서의 碇泊時間(t_e), 揚荷時間(t_u) 등으로 構成되어 往航時間 n 은,

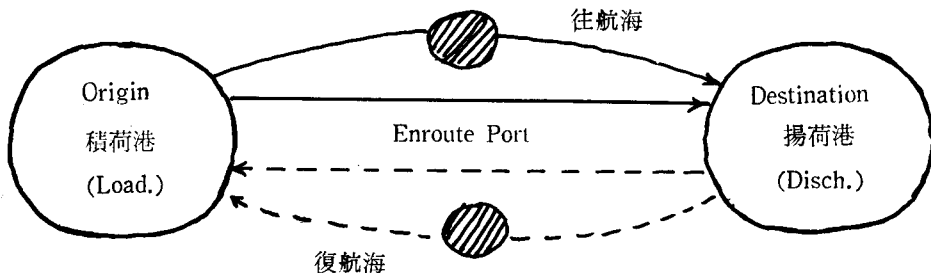
$$n = t_i + t_c + t_a + t_e + t_u \tag{3.1.1}$$

로 되고 揚荷港에서 積荷港으로의 復航時間은 港口間 運航時間(t_c), 航海中の 遲延時間(t_a), 中間寄航地의 碇泊時間(t_e)의 合으로 되어 復航時間 \bar{n} 은,

$$\bar{n} = t_c + t_a + t_e \tag{3.1.2}$$

로 表示된다.

勿論 여기에서 本 輸送計劃과 關聯이 없는 貨物의 積·揚荷를 中間寄航地나 復航에서 行한다고 한다면 時間은 더욱 늘어나 速力이 낮은 船舶의 形態로 나타나게 될 것이다.



「Fig. 2」 An example of actual transportation network

港口間 運航時間은 船速 및 選定航路에 依存되나 航海中の 機關故障, 船內事故, 표류, 氣象狀態의 影響等 其他 諸 要因으로 因한 遲滯를 船舶과 航路에 對한 統計的 資料를 모아서 이를 添加한다면 더욱 信賴度가 높은 모델로의 誘導가 可能할 것이다.

이를 圖表化해 본다면 「Table 1」과 같으며 이 表에서는 積荷港은 1個이고 目的港은 여러 個인 境의 運航時間을 나타낸다.

「Table 1」 An example of the travelling time for Ship's type k

Destination		1				2				3			
Voyage Type		往	n	復	\bar{n}	往	n	復	\bar{n}	往	n	復	\bar{n}
Ship's Type(k)	Time												
k_1	t_1	1				1							
	t_c	5		5		10		10		20		20	
	t_d	0	2	0	5	0	13	0	10	1	25	1	21
	t_e	8		0		0		0		0		0	
	t_w	0				2				3			
k_2	t_1	2				2				8			
	t_c	4		4		8		8		18		17	
	t_d	0	10	0	4	0	4	0	3	1	28	2	19
	t_e	0		0		0		0		0		0	
	t_w	4				4				6			
k_3	t_1	4				4				5			
	t_c	4		4		8		8		16		15	
	t_d	1	16	2	7	0	18	0	9	0	28	0	15
	t_e	2		1		1		1		3		0	
	t_w	5				5				4			
k_4	t_1	5				5				5			
	t_c	5		5		10		9		20		18	
	t_d	0	17	0	7	0	23	0	9	0	32	0	19
	t_e	0		2		0		0		2		1	
	t_w	7				8				5			
k_n	t_e t_w												

輸送計劃에 있어서 需要量의 輸送을 위하여 充分한 船舶을 保有하고 있다면 各 船舶이 各各 1回의 航次로써 充分하겠지만 船舶의 數가 制限되어 있다면 이를 여러 期間에 걸쳐서 達成하도록 하여야 할 것이다. 各各 分類된 船舶과 輸送計劃期間에 對해 複合速力表를 作成하게 되는데 船舶의 種類를 K 라 하고 願하는 計劃區간의 數를 M' 라 하면 모든 種類의 船舶을 考慮한 計劃期間의 數 T 는 다음 式으로 表示된다.

$$T = \frac{M'}{K} \tag{3.1.3}$$

但, $M'+1$ 番째는 ∞ 의 容量을 가진 假想的 永久的 輸送手段의 行(f_i)을 表示한다.

다시 말하면 輸送計劃에서 願하는 船舶型 · 計劃期間의 總數의 限界를 100으로 할 境遇 1種의 船舶으로는 모두 100의 時間區間을 使用하여야 하며 5種의 船舶으로는 20의 計劃期間을 使用할 수 있다. f_i 行은 어느 特別한 輸送手段을 나타내는 것이 아니라 全體 計劃期間中에 配定되지 못한 需要量을 處理하는 것으로 無限大의 輸送力을 지닌 假想的 輸送手段을 表示한다.

「Table 2」 Multi-speed table structure representing vehicle·time periods

Destination Requirement			
T	M'	B_i	
1	1	↑	
	2		
	3		
	4		
	5		
2	1	↓	A_i
	2		
	3		
	4		
	5		
3	1	↓	
	2		
	3		
	4		
	3		
	4		
	5		
f_i			

3.2 多品種貨物の單一化

輸送問題에 있어서 多品種의 貨物을 同時に 取扱하는 것은 매우 어렵고, 또 一般的인 取扱方法이 存在하지 않기 때문에 輸送表에서 2個의 入力 Vector는 同一商品이 되도록 即, 모든 需要量 (B_i)과 輸送容量(A_v)를 1個의 基本貨物로 變換하여 處理하는 것이 便利하기 때문에 하나의 輸送路를 通하여 여러 種類의 貨物을 移動시켜 近似化하는 方法을 쓴다.

다만, 船隊를 構成하여 輸送計劃을 立案할 때에는 앞에서 提起된 輸送의 問題에서와 마찬가지로 他貨物을 積載할 수 있는 船舶을 包含하여 出發한다.

i 種貨物을 基本貨物로 變換하는 係數를 C_i 라 表示한다면

$$C_i = \sum_k \frac{\left(\frac{\text{全輸送計劃期間中の } (k \text{ 型船舶의 總出現數})}{(i \text{ 種貨物에 對한 各船舶 積貨能力의 總合})} \right) \times \left(\frac{(i \text{ 種貨物에 對한 } k \text{ 型船舶의 積載可能한 } i \text{ 種貨物의 量})}{(k \text{ 型船舶} \cdot i \text{ 種貨物을 基本型船舶} \cdot \text{基本貨物로 바꾸는 變換係數})} \right)}{\quad} \times \quad \quad (3.2.1)$$

로 되고, 記號를 使用하여 整理하면 다음과 같아진다.

$$C_i = \frac{S_1 \cdot W_{1i}}{W_i} \times C_{1i} + \frac{S_2 \cdot W_{2i}}{W_i} \times C_{2i} + \dots + \frac{S_k \cdot W_{ki}}{W_i} \times C_{ki} + \dots$$

$$= \sum_k \frac{S_k \cdot W_{ki}}{W_i} \cdot C_{ki} \quad (3.2.2)$$

「Table 3」 The specification of ships

Ship's Type	D. W. T	Speed	No. of App. (S_k)
k_1 Bulk Carrier	20,000	15 kts	S_1 12
k_2 Bulk Carrier	50,000	16 kts	S_2 8
k_3 General Cargo C.	10,000	12 kts	S_3 8
k_4 Ore Carrier	40,000	14 kts	S_4 4
k_5 General Cargo C.	25,000	17 kts	S_5 12

「Table 4」 Another commodity carrying capabilities(ton)

Ship's Type	Bulk (W_{kB})	Gen (W_{kG})	Ore (W_{kO})
k_1 Bulk C.		18,500	19,000
k_2 Bulk C.		46,000	48,000
k_3 General C. C.	12,000		11,000
k_4 Ore C.	43,000	38,000	
k_5 General C. C.	28,000		26,000

여기서 C_{ki} 는 各 船舶의 特性에 따라 決定하는 係數로 輸送計劃의 立案者는 保有하고 있는 船舶의 各 貨物에 對한 積載力 및 特性을 調査함으로써 決定할 수 있을 것이다. 「Table 3,4」는 A船舶會社가 建設會社와 契約을 맺어 輸送計劃을 樹立하는 境遇 船舶의 特性을 나타낸다. 여기서 多品種 貨物을 單一化하는 例를 들어 보기로 한다.

他貨物을 積載할 境遇 本來의 D.W.T를 超過하지 않아야 하므로 基本貨物을 容量이 最小가 되는 General Cargo로 定하고 「Table 4」를 利用하여 個個貨物을 基本貨物로, 個個船舶을 基本型船舶으로 變換하는 係數는 다음과 같이 計算된다.

Gen. → Gen. (C_{kG})	Bulk → Gen. (C_{kB})	Ore → Gen. (C_{kO})
$C_{1G} = 20,000/20,000$	$C_{1B} = 18,500/20,000$	$C_{2O} = 18,500/19,000$
$C_{2G} = 50,000/50,000$	$C_{2B} = 46,000/50,000$	$C_{3O} = 46,000/48,000$
$C_{3G} = 12,000/12,000$	$C_{3B} = 10,000/12,000$	$C_{4O} = 10,000/11,000$
$C_{4G} = 43,000/43,000$	$C_{4B} = 38,000/43,000$	$C_{5O} = 38,000/40,000$
$C_{5G} = 28,000/28,000$	$C_{5B} = 25,000/28,000$	$C_{6O} = 25,000/36,000$

\bar{W}_i 는 變換하려는 i 種貨物 面에서 보았을 때에 ton數로 나타낸 各 船舶輸送力의 總合이므로

$$\begin{aligned} \bar{W}_B &= \sum_k S_k \cdot W_{kB} = 1,244,000 \\ \bar{W}_G &= \sum_k S_k \cdot W_{kG} = 1,122,000 \\ \bar{W}_O &= \sum_k S_k \cdot W_{kO} = 1,172,000 \\ \therefore C_B &= \sum_k \frac{S_k \cdot W_{kB}}{\bar{W}_B} \cdot C_{kB} = \frac{1,122,000}{1,244,000} \\ C_G &= \sum_k \frac{S_k \cdot W_{kG}}{\bar{W}_G} \cdot C_{kG} = \frac{1,122,000}{1,122,000} = 1 \\ C_O &= \sum_k \frac{S_k \cdot W_{kO}}{\bar{W}_O} \cdot C_{kO} = \frac{1,122,000}{1,172,000} \end{aligned}$$

위 例의 結果에서도 알 수 있는 바와 같이 基本貨物으로의 變換係數式 (3·2·1)은

$$C_i = \frac{\text{基本貨物에 對한 各船舶積貨能力的 總合}}{i\text{種貨物에 對한 各船舶積貨能力的 總合}} \quad (3\cdot2\cdot3)$$

으로 表示할 수 있으며,

(3·2·2)式은

$$C_i = \frac{\bar{W}}{\bar{W}_i} \quad (3\cdot2\cdot4)$$

로 表示된다.

輸送計劃을 樹立하기 以前에 基本貨物 以外の 貨物은 基本貨物의 形態로 變換해야 하며 需要量 B_i 의 變換後 相當量 B_i' 는

$$B_i' = C_i \cdot B_i \quad (3\cdot2\cdot5)$$

가 되고 最適化를 達成한 後에 이를 원래의 商品으로 再變換한 量 O_i 는



$$O_i = \frac{X_{ij}}{C_i}$$

(3·2·6)

으로서 求할 수 있다.

「Table 5」에 多品種의 貨物을 基本貨物로 變換하여 ton 數로 表示한 例를 보인다.

「Table 5」 A simplification of the multi-commodity

目的港(Destination)	1			2		3	
	Bulk	Gen.	Ore	Bulk	Gen.	Bulk	Ore
需要量(Requirement) B_i (單位: 萬ton)	300	150	200	500	250	300	150
基本貨物(Basic Commodity) Gen.	$C_B \times 300$	$C_G \times 150$	$C_O \times 200$	$C_B \times 500$	$C_G \times 250$	$C_B \times 300$	$C_O \times 150$
로 變換한 ton 數 B_i' (單位: 萬ton)	≐ 270.5788	= 150	≐ 191.4676	≐ 450.9646	= 250	≐ 270.5088	≐ 143.6007

3·3 優先順位の 指定

需要量에 대해 一定時期內에서의 船腹量이 充分하지 못하여 需要를 滿足시킬 수 없는 境遇가 나타나는 수가 있다. 이러한 境遇에는 各 需要地에서의 需要量中 가장 빨리 願하는 時期에 引渡하지 않으면 안된다고 生覺되는 貨物의 順으로 優先順位를 指定하여 이들로부터 먼저 最適需要時期에 輸送하게 한다. 一例로 建設計劃의 境遇 各種器機의 設置 보다도 基礎가 되는 鐵筋, 시멘트 또는 立地를 整理하는데에 必要한 裝備을 輸送하거나, 또는 甚한 饑饉에 시달리는 低開發國家에의 援助를 위한 物資輸送의 境遇 그 나라의 經濟發展을 돕기 위한 機械, 技術上의 援助, 投資 보다 食糧, 衣類, 醫藥品의 供給을 위한 輸送이 優先되어야 하는 것 등의 決定이 이에 屬한다. 特히 優先順位는 다음 節에서 言及하게 될 罰點函數(Weight Penalty Function)의 形式으로 最適化計劃에 導入되게 된다.

3·4 許容計劃期間 概念의 導入

需要量의 輸送은 需要地에서 가장 願하는 期間에 이루어 져야 하는데 이 또한 船舶輸送手段의 制限 및 商品生産地 또는 港의 事情으로 指定時期에 輸送이 不可能하기 때문에 指定時期보다 빠르거나 늦은 어떠한 限界, 또는 許容範圍를 設定하여 輸送을 最適化하게 된다. 이 許容計劃期間은 需要地에서의 需要事情, 各各 다른 形態의 船舶에 對한 商品輸送力 및 輸送時間의 差異 등을 考慮하여 計算하게 되는데 이 값이 陰數로 되면 船舶이 늦어서 許容計劃期間內에 需要量을 輸送하는 것이 不可能하다고 假定한다. 이 關係를 간결하게 나타내기 위하여

t_0 : 가장 바람직한 計劃期間

t_1 : 輸送計劃이 許容되는 가장 빠른 期間

t_2 : 輸送計劃이 許容되는 가장 늦은 期間

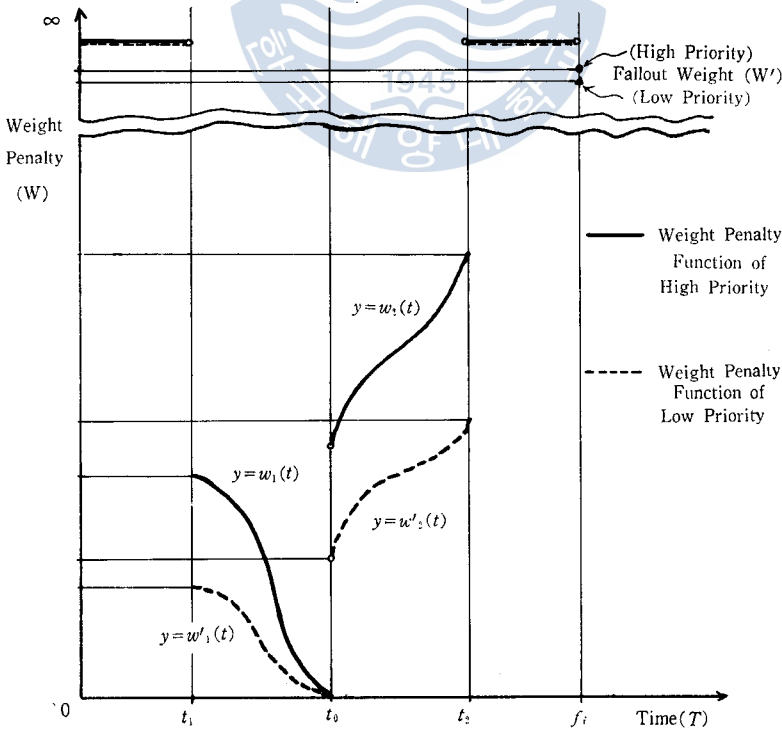
이라 하면

어떠한 需要量은 $t_1 \leq t_0 \leq t_2$ 의 範圍에서 輸送이 이루어 져야 하는데 最小化 모델에서 이를 函數로 表示하여 본다면 $W(t_0) \leq W(t_1) \leq W(t_2)$ 로 되는 單位 Weight Penalty를 割當하여 이의 總合이 最小가 되도록 最適化를 行해가면 될 것이다. 이때 가장 바람직한 引渡期間에 關聯된 Weight Penalty $W(t_0)$ 를 0으로 두고 여기에서 벗어나기는 하지만 許容된 가장 빠른 引渡期間을 $W(t_1)$, 許容된 가장 늦은 引渡期間을 $W(t_2)$ 로 나타낼 수 있다.

3.5 罰點函數(Weight Penalty Function)의 導入

輸送問題에서는 앞에서 言及한 바와 같이 需要量과 이에 配定된 船舶에 依한 供給量을 入力 Vector로 두고 目的函數의 常數項을 費用 matrix로 하여 定式化할 수 있으나 常數項을 單純히 費用 matrix로 表示하는 것만으로는 複合速力, 許容計劃期間, 優先順位 및 多様な 形態의 制限條件 등을 充足시킬 수 없다.

이 點을 克服하기 위하여 各項에 Weight Number를 最小化 시킴으로서 解決한다. 前述한 바와같이 가장 바람직한 引渡期間에는 Weight Number를 0으로 하고 이 引渡期間에서 벗어나 남에 따라 Weight Number를 增加하게 되는데 許容計劃期間에서는 可能한 限 작은 函數의 값을 갖게 하고 이 期間外에서는 아주 큰 Weight 값을 設定하며 最終으로 輸送되지 않는 永久的 假想의 行*f_i*에는 이



[Fig. 3] Weight Penalty Function.

보다 낮은 Weight 값을 割當한다. 優先順位에 따르는 變化는 高順位の 것을 먼저 輸送하도록 하기 위하여 기울기가 큰 函數로 表示하여 計算을 반복시킴으로서 可能해 진다.

이들의 關係를 Graph로 例示한다면 「Fig.3」과 같다.

許容計劃期間 t_1, t_0, t_2 에 서의 이들 값의 크기를 數式으로 表示하면

高順位 :

$$y = w_1(t) : t_1 \leq t \leq t_0 \quad (3.5.1)$$

$$y = w_2(t) : t_0 < t \leq t_2 \quad (3.5.2)$$

低順位 :

$$y = w_1'(t) : t_1 \leq t \leq t_0 \quad (3.5.3)$$

$$y = w_2'(t) : t_0 < t \leq t_2 \quad (3.5.4)$$

가 되며 Graph에서 Weight Penalty function이 不連續으로 나타나거나 許容計劃期間에 따라 기울기가 다른 것은 最適引渡時期보다 貨物을 먼저 引渡해 주는 것이 늦게 引渡해 주는 것보다 낫다고 假定했기 때문이다. 만약, 이른 時期에의 引渡와 遲滯되는 引渡를 같은 水準의 것으로 한다면 計劃期間內에서의 기울기는 같게 되며 다만 最適時期를 基準으로 符號는 反對가 될 것이고 遲滯되는 것이 낫다고 한다면 처음과 反對의 傾向이 나타날 것이다. 또한 常設의 假想 行 f_i 에 대한 Weight는 優先順位에 適用하는 것과 마찬가지로 高順位の 것을 큰 값으로 割當하여 같은 結果를 갖도록 한다.

前述한 바와 같은 思考方法에 따라 Weight Penalty function을 決定하여 計劃의 演算에 導入하게 되는데

첫째, 最初의 目的函數는 可能한 限 優先順位와는 無關하게 全體需要量의 大部分을 計劃하도록 하고

둘째, 許容計劃期間內에 需要量이 輸送되도록 Weight를 割當하되 이것이 達成되지 못할 境遇

高順位の 貨物만이라도 許容計劃期間內에 輸送이 可能하도록 差等を 둔다. 即 輸送手段의 容量 制限으로 바람직한 引渡期間內에 輸送할 수 없는 境遇에는 다음의 方法으로 處理한다.

第1 演算에서 바람직한 引渡期間 t_0 보다 앞선 許容計劃期間 t_1 사이에서 需要量이 配定되도록 한 뒤 이렇게 하여도 需要量 全體를 計劃하지 못할 때에는 t_0 보다 遲滯된 許容計劃期間 t_2 사이에서 計劃 되도록 第2 演算에서 施行하고 第3 演算에서는 이것으로 充分하지 못한 殘餘需要量을 常設의 假想 行 f_i 에 配定함으로써 이것들은 計劃하지 않는 것으로 看做한다.

셋째, 原產地에서 어떤 貨物이 生産, 供給이 되어 利用可能하기 前까지는 그 貨物이 移動될 수 없으므로 需要量의 計劃에 있어서 t_1 은 利用可能한 時期보다 뒤쪽의 어느 時點이 되어야 하며 計劃期間內이더라도 輸送手段이 貨物의 特性에 따라 이를 積載할 수 없는 境遇에는 t_1 以前の 時期에 높은 Weight를 割當함으로써 最小化 計劃에서 可能하면 配定되지 않도록 誘導한다.

4. 輸送모델의 定式化

第3章에서 다룬 制限條件 및 目的函數의 性質을 基礎로 하여 以下에서는 이들을 線型計劃法

(L.P.)으로 定式化하는 問題에 對해 考察하기로 한다.

먼저 이러한 問題를 概念的으로 把握하기 爲하여 基本的인 骨格만을 整理해보면 다음과 같다.

目的函數 Z 는 주어진 計劃期間에 輸送되는 計劃量 x 와 이때 割當된 單位 Weight의 곱 卽,

$$Z = \sum w \cdot x \quad (4.1.1)$$

로 이를 最小化되도록 하여야 하며 結果的으로 指定된 時期에 輸送해야 될 量이 決定된다. 또, 이 目的函數에 對한 各 制限條件으로서는 먼저 需要量 制限條件으로 부터 全體計劃期間中の 計劃量의 總合은 需要量과 一致하여야 하므로

$$\sum x = b \quad (4.1.2)$$

가 된다. 또 船舶의 制限條件은

$$\sum n' \cdot \frac{x}{a} \leq q \quad (4.1.3)$$

으로 n' 를 各 航次當 걸리는 日數라 할 때 各 輸送手段이 1회에 輸送할 수 있는 量을 a 라 하면 $\frac{x}{a}$ 는 計劃量을 輸送하기 爲하여 必要한 航次數(船舶數)를 나타내고 航次數와 n' 을 곱한 것이 그 計劃期間에서 許容된 船舶數×日數를 超過할 수 없음을 나타낸다. 港灣荷役制限條件은 그 計劃期間內에서 計劃된 量이 原產地 및 目的地에서 港灣의 荷役容量을 超過할 수 없으므로

$$\sum x \leq u \quad (4.1.4)$$

되고, 마지막으로는 (4.1.5)와 같은 均衡條件을 두어 各港에서 各 計劃期間에 出入하는 船舶의 數가 一致되도록 함으로써 積荷港에 再配置시킨다. 卽,

$$\sum \frac{x}{a} - \sum \bar{x} = 0 \quad (4.1.5)$$

但, $\frac{x}{a}$ 는 港으로 船舶이 들어오는 數

\bar{x} 는 港에서 船舶이 나가는 數

다시 이를 實際에 適用하기 爲하여서는 目的函數와 各 制限條件을 더욱 細密하게 擴張하여 여러 가지 點들을 考慮하여야 한다.

目的函數式 (4.1.1)에다 또 다른 變數인 常設의 假想行 f_i 와 殘餘 k 型船舶의 延日數 R_{jk} 를 包含시키면

$$Z = \sum_i \sum_j \sum_k \sum_m W_{ijkm} \cdot X_{ijkm} + \sum_i W_i' \cdot f_i - \sum_j \sum_k P_{jk} \cdot R_{jk} \quad (4.1.6)$$

$$\left(\begin{array}{l} \text{但, } X_{ijkm} \geq 0 \\ R_{jk} \geq 0 \end{array} \right)$$

로 나타낼 수 있다.

여기서 假想의 行 f_i 의 Weight W' 는 W 에 비해크므로 1次的으로 可能하면 f_i 에 輸送量이 割當되지 않도록 實行될 것이다.

各 需要量에 對한 輸送의 優先順位는, W 의 增加率과 W' 의 값이 低順位의 項目보다 高順位의 것이 더욱 크도록 하면 되고 同時에 f_i 에 割當되지 않도록 하기 爲하여 W' 의 最小값은 W 의 最大값

보다 크도록 定한다. 이렇게 하였을 때의 全體의 傾向은 앞에서 言及한 바와 같이 (2.2, 3.5 參照) 可能하면 定해진 時期에 高順位의 需要量을, 다음으로 願하는 期間 以外에서 低順位를, 마지막으로 f_i 行을 最後에 輸送하도록 하는 形式으로 나타날 것이다.

위 式에서 factor P_{jk} 는 貨物輸送이 늦어 費用이 發生하는 것이 아니라 各 計劃期間에서 남은 k 型船舶의 延日數를 最大化하는 2次의인 目標*1)를 考慮한 것으로 W 나 W' 에 比해 아주 작은 값을 設定한다. 即 2次의 目標를 크게 하기 위해 R_{jk} 값을 無條件 큰 값으로 한다면 各 計劃期間에서 計劃되지 못한 需要量은 結局 假想的 行 f_i 에 配定되게 되고 이미 여기에서는 큰 Weight 값 W 가 割當 되어 있어서 結果적으로 期待하는 바의 最小化를 이룰수가 없다. 따라서 가장 現實에 알맞는 factor P_{jk} 를 使用하여야 合理的인 輸送計劃의 樹立이 可能해 진다.

制限條件式 (4.1.2)는 商品의 需要量과 이를 諸 時期에 供給하는 供給量이 均衡을 이루지 않을 境遇나 輸送의 最適化 過程에서 各時期에 걸쳐 計劃되는 輸送量의 合이 이 輸送路의 揚荷港에 나타난 需要量에 미치지 못할 境遇의 殘餘需要를 處理하기 위하여 實際 計劃期間外에서 ∞ 의 輸送容量을 가진 假想的 行 f_i 를 考慮하여

$$\sum_m^M \sum_k^K \sum_j^J X_{ijkm} + f_i = b_i \quad : i \in I \quad (4.1.7)$$

로 되고, 各 需要量은 t_1, t_0, t_2 로 分類된 割當 Vector 와 f_i 行 Vector 로 나누어서 全體 需要量이 最適 配定되도록 하는 條件式으로 變換한다.

船舶의 制限條件式 (4.1.3)은 各各의 輸送計劃期間에서 計劃量을 수행하고 난 殘餘 k 型船舶의 延日數를 包含시키면

$$\sum_m^M \sum_i^I \frac{n_{jkm} \cdot X_{ijkm}}{a_{ijkm}} + \sum_m^M n_{jkm} \cdot \bar{X}_{jkm} + R_{jk} = q_{jk} \quad \begin{matrix} : j \in J \\ : k \in K \end{matrix} \quad (4.1.8)$$

으로 되고,

港灣荷役制限條件式 (4.1.4)는, 揚荷港 및 積荷港 양쪽의 各 計劃期間에서의 計劃된 總輸送量 x 가 그때의 港容量 u 를 超過하지 않아야 하므로

$$\sum_m^M \sum_k^K \sum_i^I X_{ijkm} \leq u_j \quad : j \in J \quad (4.1.9)$$

로 變形된다. 또한,

均衡條件式 (4.1.5)를 더욱 擴張하면

$$\sum_m^M \sum_i^I \frac{X_{ijkm}}{a_{ijkm}} - \sum_m^M \bar{X}_{jkm} = 0 \quad \begin{matrix} : j \in J \\ : k \in K \end{matrix} \quad (4.1.10)$$

으로 쓸 수 있다.

以上으로부터, 貨物의 引渡時期를 最優先으로 하는 觀點에서의 最適配船의 問題는 複雜한 여러가지 制約條件 및 目標에도 不拘하고 前章에서 試圖한 接近方法을 擴張함으로써 L.P.의 形式으로 定式化할 수가 있음을 알았다.*2)

* 1. 2.2 參照

* 2. 參考文獻 1), 2), 3), 4), 5), 8) 參照

5. 例 題

H. D. 建設會社는 他國과의 甚한 競争을 거쳐 中東 및 인도네시아 等地의 建設計劃에 參與하고 있다. 이 會社는 受注한 建設工事を 契約期日內에 完成하고자 必要한 資材를 保有하고 있는 船隊 (備船도 包含)를 利用하여 1年間 供給하고자 여러 制限條件下에서의 [最適輸送計劃을 樹立하려 한다. 必要資材의 種類·量·船舶의 特性·荷役埠頭의 特性 및 輸送路에서의 船舶運航時間 等を 調査한 結果는 「Table 6, 7, 8, 9」와 같다고 假定한다.

「Table 6」 The specification of ships

Ship's Type	D. W. T	他 商 品 の 輸 送 力		Ship's Speed
		Gen.	Bulk	
k_1 General C. C.	54,000		50,000	12.5 kts
k_2 Bulk Carrier	20,000	22,000		21.0 kts

「Table 7」 The requirement of Destination

「Table 8」 The Capacities of Ports(10,000 ton)

Destination	中 東	인도네시아	Time Period	POD (揚荷港)		POE (積荷港)
				중	등 인도네시아	
基本貨物로 變換한 ton 數 (10,000 ton)	150	150	1(봄 92日)	40	50	100
許容計劃期間：早期(t_1)	1(봄)	2(여름)	2(여름 92日)	60	80	100
最適引渡期間 (t_0)	2(여름)	3(가을)	3(가을 91日)	100	100	100
許容計劃期間：遲滯期 (t_2)	4(겨울)	4(겨울)	4(겨울 90日)	100	100	100
優 先 順 位	1	2				

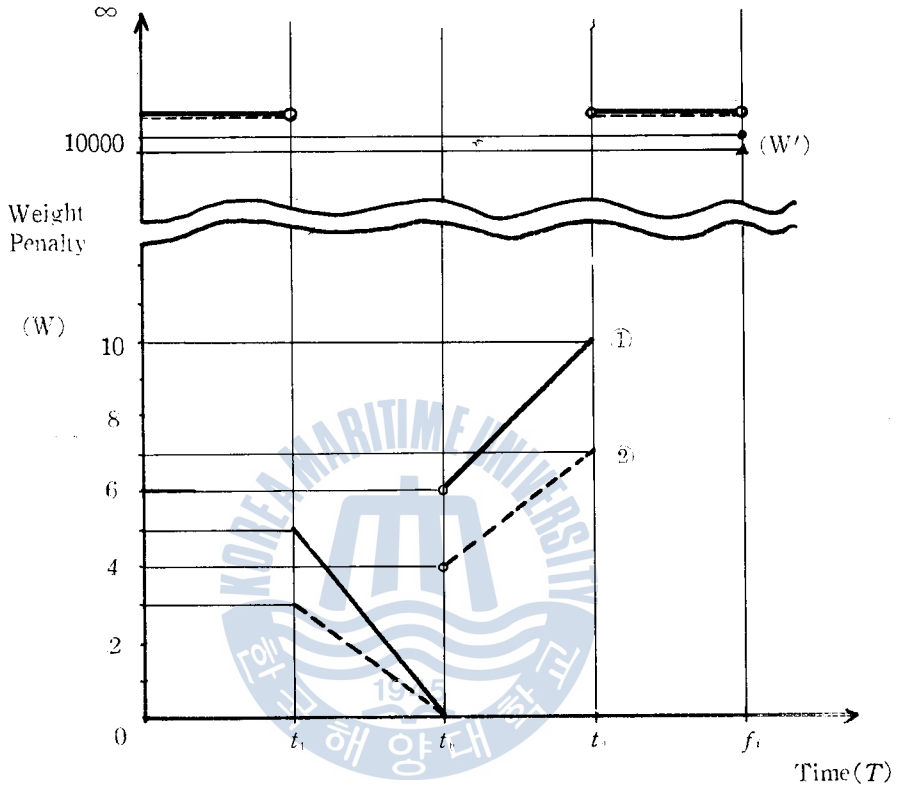
「Table 9」 The Travelling time for ship's type k_1, k_2 (day)

目的地(Destination)		中 東				인도네시아			
船形(k)	航行形態(N) 航行時間	往	n	復	\bar{n}	往	n	復	\bar{n}
		k_1	t_1	6				6	
t_c	17			17		9		9	
t_d	0		30	0	20	0	20	0	10
t_s	3			3		1		1	
t_n	4					4			
k_2	t_1	5				5			
	t_c	14		14		6		5	
	t_d	0	25	0	15	0	15	0	5
	t_s	2		1		0		0	
	t_n	4				4			



但, 積荷港·揚荷港 공히 H.D. 社에서 使用할 수 있는 量이며 容量은 그나라의 港灣開發이나 契約에 依해 「Table 8」과 같이 增加한다고 한다.

먼저 調査한 結果들을 基礎로 하여 Weight Penalty function 을 決定하여야 하는데 여기에서는 1次 函數로 表示하여 「Fig.4」와 같은 形態로 주어졌다고 假定한다.



〔Fig.4〕 Weight Penalty Function

이것을 優先順位에 따라 式으로 나타내면 다음과 같다.

Priority ①

$$\left. \begin{aligned} t_1 \leq t \leq t_0 : y = w_1(t) &= \frac{5}{t_1 - t_0} (t - t_1) + 5 \\ t_0 < t \leq t_2 : y = w_2(t) &= \frac{4}{t_2 - t_0} (t - t_2) + 10 \end{aligned} \right\} \quad (5.1.1)$$

Priority ②

$$\left. \begin{aligned} t_1 \leq t \leq t_0 : y = w_1'(t) &= \frac{3}{t_1 - t_0} (t - t_1) + 3 \\ t_0 < t \leq t_2 : y = w_2'(t) &= \frac{3}{t_2 - t_0} (t - t_2) + 7 \end{aligned} \right\} \quad (5.1.2)$$

以上の 結果로부터 完全한 輸送表를 作成하면 「Table 10」과 같아 진다.

「Table 10」 Transportation table

Destination		中 東		인도네시아		使用後 殘餘 k 型 船舶 의 延日數		利用可能한 k 型 船舶隻數×日數		
基本貨物로 變換한 ton 數		1,500,000		1,400,000						
許容計劃期間(早) t_1		1		2						
最適引渡期間 t_0		2		3						
許容計劃期間(遲) t_2		4		4						
Time Period	Ship's Type	優先順位		1		2		P_{jk}	R_{jk}	q_{jk}
		基本 ton 數	隻數	(W) Weight	(W) Weight	(W') Weight	(W') Weight			
1 (92日)	k_1	50,000	5	5	x_{11}	20,000	x_{12}	0.01	R_{12}	460
	k_2	20,000	5	5	x_{21}	20,000	x_{22}	0.01	R_{23}	460
2 (92日)	k_1	50,000	4	0	x_{31}	3	x_{32}	0.01	R_{33}	368
	k_2	20,000	4	0	x_{41}	3	x_{42}	0.01	R_{43}	368
3 (91日)	k_1	50,000	5	8	x_{51}	0	x_{52}	0.01	R_{53}	455
	k_2	20,000	5	8	x_{61}	0	x_{62}	0.01	R_{63}	455
4 (90日)	k_1	5,010	5	10	x_{71}	7	x_{72}	0.01	R_{73}	540
	k_2	20,000	5	10	x_{81}	7	x_{82}	0.01	R_{83}	540
f_i	∞			10,000 (W')	f_{91}	9,900 (W')	f_{92}			

「Table 10」을 使用하여 式(4.1.6)에 依해 目的函數를 誘導하면, 最小化

$$\begin{aligned}
 Z = & 5x_{11} + 20000x_{12} + 5x_{21} + 20000x_{22} + 0x_{31} + 3x_{32} \\
 & + 0x_{41} + 3x_{42} + 8x_{51} + 0x_{52} + 8x_{61} + 0x_{62} \\
 & + 10x_{71} + 7x_{72} + 10x_{81} + 7x_{82} + 10000f_{91} + 9900f_{92} \\
 & - 0.01R_{13} - 0.01R_{23} - 0.01R_{33} - 0.01R_{43} - 0.01R_{53} - 0.01R_{63} \\
 & - 0.01R_{73} - 0.01R_{83} + MA_1 + MA_2 + MA_3 + MA_4 \\
 & + MA_5 + MA_6 + MA_7 + MA_8 + MA_9 + MA_{10} \\
 & + OS_1 + OS_2 + OS_3 + OS_4 + OS_5 + OS_6 \\
 & + OS_7 + OS_8 + OS_9 + OS_{10} + OS_{11} + OS_{12}
 \end{aligned} \tag{5.1.3}$$



但, M 는 Big weight *3

A 는 Artificial variable *4

S 는 Slack variable

(4.1.7)式에 의한 需要量의 制限은,

$$\left. \begin{aligned} x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} + x_{61} + x_{71} + x_{81} + f_{91} + A_1 &= 150 \\ x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} + x_{52} + x_{62} + x_{72} + x_{82} + f_{92} + A_2 &= 150 \end{aligned} \right\} \quad (5.1.4)$$

(4.1.8)式 및 (4.1.10)式으로부터 船舶容量의 制限은,

$$\left. \begin{aligned} 10x_{11} + 6x_{12} + R_{13} + A_3 &= 460 \\ 20x_{21} + 10x_{22} + R_{23} + A_4 &= 460 \\ 10x_{31} + 6x_{32} + R_{33} + A_5 &= 368 \\ 20x_{41} + 10x_{42} + R_{43} + A_6 &= 368 \\ 10x_{51} + 6x_{52} + R_{53} + A_7 &= 455 \\ 20x_{61} + 10x_{62} + R_{63} + A_8 &= 455 \\ 10x_{71} + 6x_{72} + R_{73} + A_9 &= 540 \\ 20x_{81} + 10x_{82} + R_{83} + A_{10} &= 540 \end{aligned} \right\} \quad (5.1.5)$$

(4.1.9)式에 의한 揚荷港 荷役容量의 制限은,

$$\left. \begin{aligned} x_{11} + x_{21} + S_1 &= 40 \\ x_{12} + x_{22} + S_2 &= 50 \\ x_{31} + x_{41} + S_3 &= 60 \\ x_{32} + x_{42} + S_4 &= 80 \\ x_{51} + x_{61} + S_5 &= 100 \\ x_{52} + x_{62} + S_6 &= 100 \\ x_{71} + x_{81} + S_7 &= 100 \\ x_{72} + x_{82} + S_8 &= 100 \end{aligned} \right\} \quad (5.1.6)$$

(4.1.9)式에 의한 積荷港 荷役容量의 制限은,

$$\left. \begin{aligned} x_{11} + x_{12} + x_{21} + x_{22} + S_9 &= 100 \\ x_{31} + x_{32} + x_{41} + x_{42} + S_{10} &= 100 \\ x_{51} + x_{52} + x_{61} + x_{62} + S_{11} &= 100 \\ x_{71} + x_{72} + x_{81} + x_{82} + S_{12} &= 100 \end{aligned} \right\} \quad (5.1.7)$$

로 되어서 이를 Computer 로 處理(프로그램은 附錄 參照)하여 最適化를 行한 結果는 「Table 11」과 같다.

3. 參考文獻 1) p. p. 211~215, 3) p. p. 154~63

4. 參考文獻 1) p. p. 210~211, 3) p. p. 63~165

「Table 15」 Analysis of the Results

(10,000ton)

Destination		中 東		인도네시아		使用後 殘餘 k型船舶의 延日數	
基本貨物로 變換한 ton 數		150		150			
許容計劃期間(早) t_1		1		2			
最適引渡期間 t_0		2		3			
許容計劃期間(遲) t_2		4		4			
Time Period	Ship's Type	優先順位				R_{ik}	計 劃 量
		1	2	計 劃 量	計 劃 量		
1	k_1	x_{11}	40.	x_{12}		R_{13}	59.999
	k_2	x_{21}		x_{22}		R_{23}	460.0
2	k_1	x_{31}	36.8	x_{32}		R_{33}	
	k_2	x_{41}	13.6	x_{42}	9.6	R_{43}	
3	k_1	x_{51}		x_{52}	75.833	R_{53}	
	k_2	x_{61}		x_{62}	24.167	R_{63}	213.333
4	k_1	x_{71}	54.	x_{72}		R_{73}	
	k_2	x_{81}	5.6	x_{82}	40.4	R_{83}	24.
f_i	∞	f_{91}		f_{92}			

이 結果를 보면, 最適引渡時期로서는 中東이 여름, 인도네시아는 가을로 되어 있으며 k_1, k_2 型의 船舶을 利用하여 이 時期에 計劃된 輸送量 504,000 ton 및 854,330 ton 을 輸送하도록 割當되어 있다. 그 殘量에 對하여는 許用計劃期間 t 內에 輸送되도록 配慮하였는 바 指定된 優先順位에 따라 高順位인 中東의 境遇가 最適引渡時期 보다 앞선 時期인 봄에 400,000 ton 이 計劃된 반면 低順位인 인도네시아의 境遇는 96,000 ton 이 配定되었으며, 이런 順으로 하여 兩地域에서 需要로 하는 1,500,000 ton 씩의 貨物이 輸送되도록 計劃이 되어 있음을 알 수 있고, 이것은 2·2 및 3·5에서 說明한 內容과 매우 잘 一致하고 있음을 確認할 수가 있다.

한편, f_i 行에서는 전혀 配定되어 있지 않으나 R_{ik} 列에는 봄, 가을 및 겨울에 殘餘容量이 있어서 需要를 充足시키고도 餘분으로 남는 船舶이 있음을 알 수 있다,

以上の例는 매우 簡單하기는 하나 前章에서 定式化한 結果를 實際로 適用하여 본 것으로 지금까지의 定式化의 結果가 本論文에서 처음에 意圖하는 바 대로, 貨物의 引渡時期를 最優先으로 하여



船舶을 最適으로 配定하고자 하는 目的을 充分히 達成하고 있음을 確認해 주고 있다고 생각된다. 또한, 計劃된 量 x_{ij} 는 ton 數로 表示되어 있고 船舶의 殘餘容量도 바로 確認할 수 있으므로 計劃과 殘餘船舶容量을 考慮해 가면서 船隊를 構成하거나 船舶을 手配할 수가 있으므로 實際로 輸送을 計劃하려고 하는 立案者나 責任者들이 最終으로 意思를 決定하는 데에 必要不可缺한 情報을 提供하고 있다.

6. 結 論

本 論文에서는 貨物의 引渡時期를 最優先으로 하여 貨物을 輸送할 境遇에 있어서 船舶을 最適으로 配定하는 問題를 取扱하였다.

從來의 輸送問題는 一般으로 費用最小라는 觀點에서 다루어져 왔으나 輸送의 目的, 貨物의 性質 및 輸送主體 等に 따라서는 貨物을 定해진 時期에 맞추어 輸送하는 것이 더욱 重要한 意味를 가질 境遇가 많다.

例를 들면 食糧이나, 産業全般에 波及效果가 큰 石油 等과 같은 貨物의 輸送, 自然災害地域이나 低開發國家에 對한 補給品 및 援助品의 輸送, 戰爭地域에 補給하는 軍需物資, 工期가 定해진 建設工事に 있어서의 資材供給 等に 있어서는 適當한 時期內에 輸送을 遂行하지 못함으로써 초래되는 結果는 매우 엄청난 것이며 單純히 輸送費用이라는 次元에서 取扱될 수 없는 더욱 高次元의 性質을 가진 問題로서 이들에 對한 研究는 매우 重要하고 緊急을 要하는 性質의 것이다.

貨物의 引渡時期를 滿足하도록 하는 配船問題는 原產地의 港에서 目的地의 港으로 目的地의 需要量을 充足시키기 위한 形態로 종전의 輸送問題에서와 마찬가지로 計劃이 될 수 있는 것이나 實際에는 많은 制限條件을 隨伴하게 되어 매우 複雜한 形態가 된다. 即, 종전의 輸送問題는 單一貨物과 單一速力의 輸送手段에 對해서만 取扱하여 왔으나 現實적으로는 船舶의 速力이 多樣하고 需要地에서 必要로 하는 商品의 量, 種類 및 時期가 一定하지 않을 뿐 아니라 輸送의 關門이 되는 各港에서의 收容量의 制限으로 이를 종전의 단순한 輸送計劃法으로는 그 解決이 困難하다.

이러한 與件을 考慮한 最適配船의 問題를 다루기 위하여 本 論文에서는 i) 複合速力 모델의 導入으로 여러가지 船舶의 特性에 따른 速度問題를 한 個의 輸送問題로 綜合하고, ii) 多品種貨物을 單一의 基本貨物로 變換하는 概念을 導入하였으며, iii) 需要地에서 必要로하는 時期에 優先順位를 부여하고, iv) 可能하면 全體의 需要地에서 適定한 時期에 輸送이 이루어질 수 있도록 引渡許容期間을 設定하고, v) Weight Penalty Number 를 實現함으로써 線型計劃法을 利用하여 이와 같은 輸送問題를 定式化 할 수가 있었다.

또, 建設會社가 擔當하고 있는 工事を 契約工期內에 完成시키기 위하여 資材를 供給할 境遇의 配船問題를 例로 들어 前述한 定式化의 結果를 應用하고 그 有効性を 檢討·確認하였다. 다만, 計算機의 容量制限으로 더욱 複雜한 問題에 對한 例는 다루지 못하였음을 附記하여 둔다.

本 論文에서 取扱한 問題以外에도 이러한 配船問題를 다루기 위하여서 最初의 船隊를 構成하는

問題, 船舶 및 埠頭의 荷役率에 따라 여러 計劃期間에 걸쳐서 荷役하는 船舶의 處理問題, 他貨物을 積載할 수 없는 船舶에서 일어나는 多品種의 問題 등을 解決하여야 할 것이며 埠頭에서의 Handling Rate 나 港內의 Queueing 問題 등과 關聯시켜 將來의 研究課題로서 繼續 研究하여야 할 것이다.

參 考 文 獻

- 1) Robert L. Childress; Sets, Matrices, and Linear Programming, Prentice-Hall, Inc., Englewo Cliffs, New Jersey, p. p. 274~280 (1974)
- 2) Robert E. Machol; Elementary Systems Mathematics, McGraw-Hill Book Co., New York. (1976.)
- 3) Mokhtar S. Bazara and John J. Jarvis; Linear Programming and Network Flows, John Wiley & Sons, New York, p. p. 81~403(1977).
- 4) K.V. Mital; Optimization Methods in O. R. & Systems Analysis, A Halsted Press Book, New York, p. p. 58~112 (1976)
- 5) Frederick S. Hillier and G. J. Lieberman; Introduction to O. R., Stanford Univ., p. p. 1~162 (1967)
- 6) Junichi Imakita; A Techno-Economic Analysis of the Port Transport System, Saxon House, Oxford,
- 7) John L. Everett et. al.; Optimization of Large Tankers and Bulkers : A Linear Programming Approach, Marine Technology, p. p. 430~438 (Oct. 1972)
- 8) 李 相文, 白 淙鉉; 어퍼레이션스 리서어치, 經文社 (1980)
- 9) J.B. Woodward et. al.; Systems Analysis in Marine Transport, The society of Naval Architects and Marine Engineers, No. 7, (1968)
- 10) 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)
- 11) J. J. Lagemann; A method for Solving the Transportation Problem, Naval Res. Logistics Quarterly Vol. 14, p. p. 89~99 (March 1967)
- 12) Alan Abouchar; Transportation Economics and Public Policy:with Urban Extensions, John Wiley & Sons, New York, p. p. 149~166 (1977)
- 13) Ernst G. Frankel; Ocean Transportation Technology, Ocean Transportation, p. p. 45~162 (1973)
- 14) Edward K. Morlok and Richard B. Peterson; Final Report on a Development of a Geographic Transportation Network Generation and Evaluation Model, Eleventh Annual Meeting, p. p. 71~114 (1970)
- 15) Saul I. Gass; Linear Programming methods and Application, McGraw-Hill Book Co., New York, p. p. 245~269 (1975)
- 16) 孫 炳鎭; Fortran과 數值解法, 成政社, 서울, (1979)
- 17)

