

컨테이너船의 積載計劃에 관한 研究

姜 己 中* · 李 哲 榮**

On the Loading Plan of Container Ship

Kang Ki-jung · Lee Cheol-yeong

〈目 次〉

Abstract

- | | |
|------------------------|------------------|
| 1. 序 論 | 3.2 船舶의 復原性 |
| 2. 컨테이너 輸送體系 및 積載計劃 現況 | 3.3 모델의 記述 및 初期解 |
| 2.1 컨테이너 輸送體系 | 3.4 初期解의 改善 |
| 2.2 積載計劃 現況 | 4. 應 用 例 |
| 3. 컨테이너 積載計劃問題 | 5. 結 論 |
| 3.1 積載制約條件 | 參考文獻 |

Abstract

With increasing ship's speed turnaround and port time becomes a large percentage of total roundtrip time and this causes to accelerate the introduction of the various kinds of modern handling equipment, the standardization of cargoes, and the improvement of the ship. However, it is still a drag on efficient operation of ship. Similarly, the turnaround time at the container port is very important as a measure for the decision of the efficiency of port.

To decrease operating costs, the minimization of the time need to cargo handling at the ports of call must be achieved. Thus the optimized Container Loading Plan is necessary, especially under the rapid speed of container operations.

For the container loading plan, in this thesis, we use the hungarian method and the branch and bound method to get the initial disposition for both maxmization of ship's GM and minimization of shift number to the obstructive container in a yard area. We apply the dynamic programming algorithm to get the final disposition for minimizing total turnaround time and finally we analyze the results to check whether the initial disposition is proper or not.

* 정희원, 한국해양대학

** 정희원, 한국해양대학

1. 序 論

컨테이너를 이용하여 海陸間의 複合運送으로 一貫輸送을 이루는 貨物의 컨테이너화 개념은 컨테이너가 海上運送에 도입되기 시작한 1950년대 중반 이후 범세계적으로 확산되어 왔으며, 輸送方式의 革命이라고 불리울 만큼 많은 長點과 便益을 제공하고 있다. 컨테이너화의 개념이 鐵道輸送 또는 道路輸送에 미친 영향도 무시할 수 없겠지만, 가장 많은 영향을 받은 부분은 船舶과 港灣이라고 할 수 있다. 港灣의 경우 컨테이너 專用船의 출현으로 船舶의 回航時間이 단축되고, 自國의 貿易活動을 원활하게 유지하기 위하여 在來의 荷役方式을 떠나 새로운 荷役方式을 개발한 결과 오늘날의 컨테이너 專用터미날(Exclusive Container Terminal)이 생겨나게 되었다.

컨테이너 專用터미날의 경우 最初 資本投資費의 所要가 매우 크다는 것을 비추어 볼 때 效率的으로 運營하는 일이 무엇보다도 중요하며 世界 通商의 측면에서 보면 컨테이너 터미날의 效率的 運營은 다음 몇 가지 이유로 重要하다.

全世界 貿易量의 96% 이상이 船舶에 의해 輸送되어지고 있고 輸送費用 中 港內에서 발생하는 費用이 대단히 큰 비중을 차지하고 있다. 또한 港內費用의 55% 이상이 積揚貨時間과 관련된 費用이며 이러한 費用을 最少로하고자 船社들은 港內 滯留時間을 가능한 한 줄이기를 원하고 非效率的인 港口는 기피하는 경향이 있다.

한편 船舶의 港內 滯留時間은 投錨待機時間, 接離岸時間, 文書處理時間, 荷役 및 積載作業時間, 休息 및 準備時間 등으로 이루어진다.

이와같은 滯留時間의 감소는 港灣效率를 증대시킬 뿐만 아니라 生産性 向上을 가져올 것으로 생각된다.

따라서 港內費用의 대부분이 積揚貨에서 발생한다는 것을 생각할 때 船舶의 回航時間을 단축하기 위하여 貨物의 荷役速度를 向上시키는 것이 절실히 되고 있다. 또한 이를 위하여 裝備, 港灣 및 船舶 등의 現代化 및 專用化를 이루어야 하고 貨物의 예약 및 절차의 遲滯時間 등의 불필요한 待機時間을 감소시켜야 할 것으로 생각된다.

그리고 컨테이너 物動量이 증가 추세를 감안할 때 앞으로 더 많은 컨테이너船이 출현할 것이 예상되며 港內 船舶暴轉狀態는 더욱 심각해 질 것이 예견되기 때문에 컨테이너港의 效率的인 運營이 더욱 절실히 되는 것이다.

따라서 本 論文에서는 貨物에 대한 불필요한 荷役과 移動을 最少化하기 위하여 船舶의 滯留時間 요소중 港內費用을 가장 많이 발생시키는 컨테이너船의 積載計劃에 所要되는 積載作業時間과 全 航次를 통한 컨테이너船의 回航時間을 줄이기 위하여 在來의 積載方式을 탈피하고, 컴퓨터를 이용하여 신속한 積載計劃을 세우는 알고리즘(Algorithm)을 提示하고자 한다.

本 論文은 5개의 章으로 구성되며 第2章에서는 컨테이너 輸送體系와 積載計劃의 現況을 요약하고, 第3章에서는 헝가리법(Hungarian Method)에 의한 割當問題와 分斷探索法에 의한 整數計劃法(Integer Programming) 및 動的計劃法(Dynamic Programming)을 사용하여 컨테이너 積載計劃問題를 數式化하고, 또한 數式化한 내용을 第4章에서는 적용하여 이를 검증하며, 第5章에서는 이상의 결과를 요약하고 앞으로의 研究方向을 결론으로 提示한다.

2. 컨테이너 輸送體系 및 積載計劃 現況

컨테이너는 物資 輸送의 單位 手段이며 컨테이너船은 컨테이너港 間의 컨테이너 傳達媒體라 할 수 있다. 컨테이너港는 海上運送과 陸上運送 中間 連結地點으로서 각 連結마디들을 그물꼴로 나타낼 수 있다. 컨테이너港의 最適運營問題는 광범위하게는 그물꼴 전체의 컨테이너 흐름을 分析한 뒤에 이루어져야 하며 협소하게는 컨테이너 터미날내의 흐름을 分析한 뒤에 이루어져야 한다.

2.1 컨테이너 輸送體系

오늘날 컨테이너 산업이 발전하여 世界 海運에서 컨테이너가 차지하는 物動量이 꾸준히 늘어나 컨테이너 輸送量은 매년 10% 이상씩 증가를 보이고 있고 TEU當 平均積載量도 점차 증가하고 있어 效率的인 이용이 이루어지고 있는바, 컨테이너船

의 荷役作業時間을 단축하고 장래의 荷役作業 自動化를 위하여 가장 먼저 컨테이너 規格에 대한 國際的 標準 樹立이 요청된다고 하겠다. 또한 國際標準化機構(ISO: International Organization for Standardization)에서도 外部 規格에 따라 컨테이너를 1A에서 1F까지의 9종류로 분류하고 있으며 초기에는 여러가지 規格이 사용되었으나 현재는 國際적으로 대부분 ISO 規格의 1C(20 Foot)와 1AA(40 Foot)의 컨테이너에 수렴현상을 보이고 있다. 規格外의 것은 점차 그 이용율이 감소하고 있다. 한국의 경우에도 1980년 이래 지속적인 컨테이너 물량의 증가를 보이고 있는 데 Fig. 2.1에 나타난 바와 같이 1989년 현재 35 Foot의 컨테이너는 거의 소멸되었고 20 Foot와 40 Foot의 컨테이너가 높게 이용되고 있는 것으로 나타난다.

그리고 컨테이너를 積載할 수 있는 船舶들을 구조적으로 분류해 보면 船首尾나 船側에 설치되어 있는 開口를 통하여 積揚貨가 이루어지는 RO/RO (Roll-on Roll-off)船, 艀船에 貨物을 積載하여 Unit Load로 하여 그대로 本船에 積載하는 LASH(Lighter Aboard Ship Handling)船, 혼합형 Roll-on 컨테이너船, 컨테이너화가 되어가는 과정에서 생겨난 在來船, 컨테이너 專用船의 중간 형태인 Semi 컨테이너船, 그리고 本 論文에서 대상으로 하는 셀 구조(Cellular Construction)식 컨테이너 專用船이 있다.

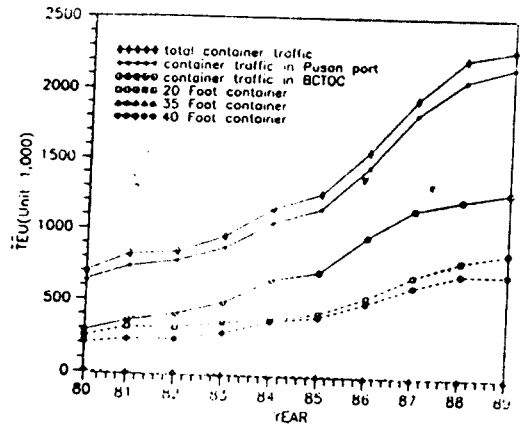


Fig. 2.1 The Trend of Container Traffic and Containers in Korea.

또한 물리적인 특징으로 분류해 보면 Table 2.1 과 같이 컨테이너선 발전의 각 단계는 크기의 증가와 새로운 기술을 기준으로 네 개의 世代로 나눌 수 있다. 즉 1960년대에 나타난 컨테이너선으로 一般貨物船을 개조한 第1世代 컨테이너선, 1960년대 말에 나타난 第2世代 컨테이너선, 1970년대 초에 나타난 第3世代 컨테이너선, 이 기간의 초기에는 많은 컨테이너선들이 建造되었다. 그리고 1980년대 중반에 나타난 3,000TEU급 이상의 컨테이너선인 第4世代 船舶이 있다.

Table 2.1. Physical Characters of Container Ships.

| | Container Capacity (TEUs) | Dead Weight (ton) | Overall Length (meters) | Overall Width (meters) | Draught (meters) |
|-------------------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------|------------------------|------------------|
| "First-generation" Container Ships | 750 | 14000 | 180 | 25 | 9.0 |
| "Second-generation" Container Ships | 1500 | 30000 | 225 | 29 | 11.5 |
| "Third-generation" Container Ships | 2500-3000 | 40000 | 275 | 32 | 12.5 |
| "Fourth-generation" Container Ships | 3000- | | | | |

Table 2. 2. The Trend of Forurth-generation Container Ships
(Source : IAPH Report, Apr. 1988).

| | Container Capacity (TEUs) | Overall Length (meters) | Overall Width (meters) | Draught (meters) | Speed (knot) |
|----------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|------------------|--------------|
| MING UNIVERSE | 2,000 | 210.0 | 32.2 | 11.5 | 21.5 |
| DUSSELDORF EX. | 2,600 | 240.5 | 32.2 | 11.0 | 21.5 |
| LA SEINE(M. O. L.) | 3,500 | 289.5 | 32.2 | 13.0 | 23.0 |
| MARCHEN MAERSK | 4,000 | 294.0 | 32.2 | 13.5 | 24.0 |
| OVERPANAMAX APL | 4,300 | 275.0 | 39.4 | 12.7 | 24.0 |
| OVERPANAMAX NEDLLOYD | 4,600 | 294.0 | 37.75 | - | 24.8 |

미래의 大型컨테이너船에서는 첫 단계로 幅이 커지고 다음 단계에서는 모든 크기가 증가할 것이다. 그리고 Table 2.2는 第4世代 컨테이너船들의 諸元을 비교한 것이다.

이 컨테이너船들의 물리적 크기를 말하기 전에 먼저, 그들의 속력이 증가한 것을 주목하는 것이 중요하다. 5,6년 전만해도 定期船의 속력이 18.5~20 노트이던 것이 지금 새로운 컨테이너船들의 속력은 23~25노트이다. 이것은 船主側에서 볼 때 빠른 속력은 貨主에게 보다 좋은 運送時間을 제공하고 輸送能力이 증가(18 노트의 2,000TEU 컨테이너船과 24 노트의 4,000TEU 컨테이너船의 이론적 輸送能力의 比는 2.7임.)한다. 즉 船主側에서 볼 때 時間이 점점 중요해져가고 있다는 것을 알 수 있다.

이상에서 回航時間을 줄이기 위하여 컨테이너船은 大型化되고 高速化되고 있다는 것을 알 수 있다.

그리고 컨테이너 터미널은 海上運送과 陸上運送의 接續輸送을 하는 중요한 連結地點으로서 컨테이너船의 運航能率을 향상시키기 위해서는, 荷役時間을 단축하고 船舶의 寄港地를 한정하여, 輸出入 貨物을 그 港에 집중시킴으로써 貨物量을 확보하여야만 한다. 그리고 터미널의 能率的인 運營에 의한 貨物流通의 원활과 신속을 기하는 것이 가장 중요하다.

컨테이너 터미널에서 貨物 接續形態를 보면, 運送會社가 集貨한 輸出貨物은 貨主가 터미널의

CFS(Container Freight Station)에 貨物을 搬入하여 컨테이너에 넣거나, 貨主가 貨物을 컨테이너에 직접 넣어서 컨테이너를 터미널에 搬入한다. 또는 터미널에서 멀리 떨어진 內陸裝置場(Inland Depot)에서 貨物을 컨테이너에 넣어서 컨테이너를 터미널에 搬入하게 된다. 터미널에서는 積載準備를 해 두었다가 컨테이너船이 接岸하면 最短時間內에 船積을 완료하여 本船을 出港시킨다.

輸入貨物의 揚貨는, 本船에서 揚貨한 貨物을 터미널의 CFS에서 荷渡하는 방법과, 컨테이너에 貨物이 든 채로 陸上陸送機關을 이용하여 受貨人에게 輸送하는 방법이 있는데, 대체적으로 積貨의 반대 과정으로 되나, 어느 경우에 있어서도 本船 荷役이나 運搬作業을 效率的으로 運營하는 것을 그 요건으로 한다.

컨테이너를 컨테이너船에 積揚貨하기 위한 作業 등이 모두 本船 入港前에 陸上에서 작성되는 바, 컨테이너 터미널의 效率的인 運營이 가장 중요하며, 그 중에서도 가장 많은 時間과 費用을 유발시키는 荷役作業이 컨테이너港의 效率의 척도로써 큰 비중을 차지하고 있다.

그리고 荷役能力은 船舶을 대상으로 積揚貨는 크레인의 能力을 말하는 것으로 年間 處理 可能한 컨테이너의 總 個數와 物量 生産高는 式(2.1) 및 式(2.2)로 표현된다.

$$V_{sev} = W_n \times N_c \times D \times R \times E \dots\dots\dots (2.1)$$

단, V_{sev} : 年間 處理 可能한 컨테이너의 總 個數
 W_h : 1日 作業時間
 N_c : 크레인의 數
 D : 年間 作業日數
 R : 純 時間當 크레인 能率(Container)
 E : 크레인 可動率(크레인 狀態에 對한 係數)

$$V_{TEU} = V_{sev} \times \alpha \times \beta \dots\dots\dots (2.2)$$

단, V_{TEU} : 年間 處理 可能한 컨테이너의 物量 生産高
 α : 컨테이너 個當 TEU 換算係數
 β : 全體 處理 個數中 輸出入 物量の 比率

式(2.1)에 의하여 크레인의 이상적인 후크 사이클 시간(Hook Cycle Time)에 의한 純 時間當 크레인 能率(크레인 可動率 係數가 1인 경우)을 구하면 24개이다. 그러면 한국의 부산컨테이너 부두 운영공사(BCTOC : Busan Container Terminal Operation Cooperation)의 경우 實績値에 의한 V_{sev} 값과 이상적인 후크 사이클 시간에 의한 값을 비교하여 보자. 현재는 노사 분규 등으로 인하여 荷役能率이 하락되어 있으므로 1986년 上半期(1.1~6.30 '86)에 768隻을 대상으로 자사한 자료에 의하면 時間當 크레인의 能率は 正常可動時 平均 能率이 25.5개이다. 크레인 可動率을 0.7에서 0.9까지 변화시켜서 年間 處理 可能한 컨테이너의 總 個數를 이상적인 후크 사이클 시간에 의한 能率과 실질적인 作業에 의한 能率과 비교해서 求하면 Table 2.3과 같다.

여기서 알 수 있는 바와 같이 크레인 可動率의 범위에서 BCTOC는 年間平均 5.7%에서 6.3% 정도의 증가된 處理利得을 보고있으며 더 이상 크레인 能率과 技士의 숙련도로는 荷役時間을 단축하기란 어렵다는 것을 알 수 있다. 이러한 사실은 物動量이 많지 않은 상태에서 처리가 가능했을 지 모르지만 Fig 2.1과 같이 BCTOC에서 1980년부터 1989년까지 처리된 컨테이너 物動量을 부산港 전체와 한국 전체 物動量을 대비하여 나타내 보면 10년 동안 449%의 伸張率을 보이고 있다.

Table 2.3. Stevedoring Capacity Calculation per Crane in Pusan Terminal.
(Unit 1,000 vans)

| Efficiency | | | | Remarks |
|-----------------|-----------------------|-----|-----|------------------------|
| | Productivity per Hour | 0.7 | 0.8 | |
| 24.0 Containers | 123 | 140 | 158 | by Ideal Cycle Time |
| 25.5 Containers | 130 | 149 | 168 | by Actual Productivity |

이와같이 物動量은 급증하게 늘고 있고 컨테이너船 運營에 대한 경향은 回航時間을 줄이기 위하여 大型化되고 있다. 따라서 계속 기존의 電算機의 도움을 얻어 手作業으로 이루어지는 積載計劃과 미흡한 電算 시스템으로는 급증하는 物動量과 大型化된 컨테이너船에 積載計劃을 세우기에는 복잡할 뿐만 아니라 장래의 변화 추세에도 대처할 수 없을 것으로 생각된다.

일반적으로 積載計劃에 관한 意思決定은 이전에 거쳐온 港에서의 情報를 기준으로 이루어지므로 컨테이너船이 터미날에 도착하기 전에 컨테이너를 유형, 크기, 목적항, 무게별로 분류해야 한다.

그러나 積載 대상의 컨테이너가 게이트를 통과하지 않은 경우, 積載計劃 技士(Planner)는 불완전한 情報를 사용해야만 하므로 船舶이 터미날에 도착하기 전까지 情報를 신속하게 입수하기 위하여 빠른 時間內에 電算網(Computer Network)을 구축하여야 할 것이다. 이렇게 함으로써 “單位時間當 取扱量의 最大化”가 이루어져 船舶 回航時間의 最少化에 기여할 수 있을 것이다.

2.2 컨테이너 積載計劃 現況

複合運送 시스템의 급속한 발전에 힘입어 컨테이너 터미날의 역할과 기능이 점차 확대되고 있으며 그 중에 가장 중요한 것들 중의 하나가 바로 컨테이너 本船積載計劃(Stowage Plan)이라고 할 수 있으며 컨테이너 本船積載計劃(Container Stowage Planning)은 일반적으로 많은 요소와 변수들이 작용하여 매우 복잡하다. 또한 컨테이너 터미날에서 행하고 있는 컨테이너 本船積載計劃은 국가들의 각 터미날의 運營시스템의 특성에 맞도록

고안된 것으로 각기 나름대로의 특성을 가지고 있다.

본 절에서는 컨테이너 本船積載計劃을 수립하여 시행하고 있는 한국의 부산컨테이너 부두운영공사(BCTOC: Busan Container Terminal Operation Cooperation)의 시스템과 외국의 경우로서는 APL(American President Lines, Ltd.)의 경우를 살펴보고자 한다.

2.2.1 부산컨테이너 부두운영공사

BCTOC의 本船 荷役 관리업무는 船席配定計劃, 揚貨計劃, 船積計劃으로 구분할 수 있으며 현재 시행하고 있는 세 가지 업무중 揚貨計劃과 船積計劃을 살펴보기로 한다.

揚貨計劃은 터미널이 船社로부터 作業情報를 입수하는 것에서부터 시작한다. 揚貨計劃에 필요한 情報는 一般積載計劃圖(General Stowage Plan)와 本船積載計劃圖(Bay Plan)를 비롯하여 危險貨物目録, 冷凍貨物目録, 特殊貨物目録, 換積貨物目録 등이다. Planner는 船社로부터 입수한 General Stowage Plan과 Bay Plan을 참조로 하여 揚貨 및 積載計劃을 모두 고려한 후 揚貨作業을 수행할 Gantry Crane의 갯수와 작업량을 결정하는 작업절차(Working Schedule)를 작성하고 Bay Plan상에다 컨테이너의 揚貨順序를 기입한다. 이 揚貨順序는 電算入力되어 Pre-Discharging Sequence List가 出力된다. 또한 船社別로 揚貨, 換積, 移積할 컨테이너의 갯수를 컨테이너의 規格, 積孔, 冷凍, 特殊 및 危險貨物로 구분하는 Pre-Discharge Summary가 작성되어 電算出力된다. Planner는 揚貨作業후 揚貨目録 등을 本船 및 裝備課에 송부하여 작업이 이루어지게 된다.

積載計劃을 통상 揚貨計劃이 수립되고 난 후에 이루어지며, 揚貨計劃과 마찬가지로 General Stowage Plan 및 Loading Container NO. List 그리고 危險貨物目録, 冷凍貨物目録, 特殊貨物目録, 換積貨物目録 등을 입수하는 것에서부터 시작된다. 積載計劃은 컨테이너 야드로부터 Detail Yard Image Plan(Export)를 접수한 Planner는 Yard Map인 R 22와 General Stowage Plan을 참조로 최종 Bay Plan을 작성하고 船社에 전달하고 있다. Planner는 컨테이너를 야드로부터 抽出하여 船舶에 積載할

때 주로 경험치에 의한 手作業과 Computer Aided Stowage Planning System 방식으로 이루어지고 있다. 예를 들어 Discharging Sequence List의 경우도 揚貨順序가 자동적으로 계산되는 것이 아니라 Planner가 경험에 의해서 入力한 揚貨順序가 단순히 컴퓨터에 의해 出力되고 있다.

그리고 Marshalling의 컨테이너 배치 형태도 순차적이 아닌 임의적인 積載計劃이 이루어지고 있다. 이로 인해 Planner의 Planning 작업의 중복과 揚貨順序를 일일이 지정해 주어야 하는 문제점이 있다. 積載順序도 Planner가 船社로부터 입수한 데이터를 참조로 하여 手作業으로 작성해야 하는 어려움이 있고 컨테이너船의 안정성 계산도 船舶의 入港前에 이루어져야 하는데 현재는 船舶이 入港한 후에 船社로부터 情報를 입수하는 등 事前 情報의 교환이 이루어지지 못하고 있다. 이로 인해 勞動時間이 많이 所要될 뿐만 아니라 업무의 지연이 야기되고 있다.

따라서 컨테이너船 運航管理에 필요한 情報와 데이터를 언제든지 제공할 수 있도록 터미널과 船社 사이에 電算網을 구축하고 각 Planner의 Work Station은 두 개의 칼라 그래픽 모니터(Color Graphic Monitor)와 마우스(Mouse)를 사용하여 화면 상에서 컨테이너의 移積, 船艙別 컨테이너의 분포를 제공하여 전체 컨테이너 취급(Cargo Handling)에 필요한 시간 산출을 용이하게 하고 船積/揚貨 港別로 컨테이너 데이터를 出力하도록 한다. 특히 船積港(Loading Port)에서 積載한 컨테이너를 揚貨 港別과 貨物 狀態別로 出力하여 컨테이너 積載(Container Stowage)의 Cross Check를 가능하게 하고 船舶의 積載計算 뿐만 아니라 Bay Plan을 각 모니터에 出力시킴으로써 신속하고 정확한 積載計劃을 수립하도록 한다. 이렇게 함으로써 시간과 경비 그리고 인력을 절감할 수 있을 것이다.

2.2.2 APL(American President Lines, Ltd.)

APL의 TACTICS(Tactical Container Terminal Information Control System) Pilot System은 인간과 컴퓨터가 조합(Combination)되어 움직인다는 전제하에 개발되었으며, 그 목적은 기존의 복잡하고 반복적인 手作業을 탈피하고 意思決定을 支援하기 위한 知的인 道具(Intelligent Tool)로서 그

戰略의 주요 요소는 인간과 컴퓨터의 인터페이스(Interface)을 실현하기 위한 현대의 "Workstation" 기술을 이용한다는 것이다. 한마디로 말해서 그 개념은 컨테이너 情報의 "공간 데이터베이스(Spatial Database)"로 그래픽 인터페이스(Graphical Interface)를 제공한다는 것이다. 이 시스템은 두 개의 칼라모니터를 이용하여 야드와 船舶의 Plan 을 동시에 확인할 수 있게 하고 Pointing Device를 사용함으로써 업무의 迅速性과 效率性을 높게 하는 시스템인 CASS(Computer-Aided Stowage Sequencing System), 야드 관리 시스템인 CATO(Computer-Aided Yard Management Tools)와 엔지니어링 워크스테이션(Engineering Work-Station)이라고 불리는 시스템으로 事前積載計劃(Pre-Planning)을 세우는 CAPS(Complex Stowage Problems)로 이루어져 있다. 이러한 시스템은 APC(American President Companies)의 戰略的 CALS(Computer-Aided Logistics Project) 시스템의 戰術的인 支援을 위하여 계획된 것이다.

TACTICS Pilot System의 주요 기능은 기존의 手作業으로 이루어지던 Sticker에 의한 Planning System을 대체하였으며 완벽한 積貨 계산을 할 수 있다. 그리고 本船 및 야드 裝置計劃을 수립할 수 있고 APL의 Mainframe Inventory System과 入出港 船舶에 대한 本船積載資料를 상호 교환할 수 있도록 되어 있다.

따라서 船舶의 寄港 數의 증가, Vessel Planning에 있어서의 精確도의 향상 및 컨테이너 야드의 利用率을 재고시킴으로써 인력의 활용과 배치를 最適化할 수 있다는 것이다.

이상으로 한국과 외국의 경우에 대해서 살펴본 바, 결국 船舶에 신속한 積載計劃을 수립하고 터미널을 效率的으로 運營하도록 시스템이 구축되어야 費用의 감소와 인력의 낭비를 막고 船舶의 回航時間을 단축할 수 있을 것으로 생각된다.

3. 컨테이너 積載計劃問題

3.1 積載制約條件

컨테이너의 本船積載計劃은 일반적으로 생각하는 것보다 훨씬 많은 요소와 변수들이 작용하여

매우 복잡하다. 컨테이너의 本船積載計劃은 컨테이너를 揚貨港(Discharging Port) 別로 단순히 船舶에 配定시키는 것만으로 끝나는 것이 아니고 船舶과 터미널의 生産性을 향상시키고 컨테이너 取扱費用(Handling Cost)을 절감하기 위하여 많은 요소를 고려해야 하지만 本論文에서는 다음과 같은 요소만을 고려하기로 한다.

1) 目的地가 먼 컨테이너를 아래로 가도록 하면서 무거운 컨테이너가 아래로 가도록 積載하는 데 全 港次를 통하여 최소한의 Shifting이 발생하도록 貨物配置를 한다.

2) 甲板下 베이(Bay)들은 40 Foot 또는 20 Foot 중 어느 하나의 크기에 맞추어 고정된다.

3) 甲板上 베이들에서는 보통 두 크기의 혼합 積載가 허용된다. 그러나 積載時의 기술적 문제와 積載후 고정시의 문제들을 고려하여 크기별로 구분 積載하는 것이 보통이다.

4) 모든 甲板上 컨테이너는 航海 시작전 적절히 甲板에 고정되어 있다. 船艙內的 컨테이너는 셀구조(Cellular Structure)에 의하여 水平移動이 일어나지 않으므로 積載하는 것만으로 충분하다. 그러나 甲板積 컨테이너는 航海中 水平移動을 방지하기 위하여 Securing을 해야하고 顛倒를 방지하기 위하여 航海 시작전 Lashing을 반드시 해야 한다. Lashing을 하지 않았을 경우 甲板積 컨테이너의 顛倒形態는 한 개의 컨테이너, 1열의 컨테이너 또는 1 Block의 컨테이너가 제일 아래쪽 컨테이너의 外側 下角을 축으로 하여 回轉·轉倒하게 된다.

5) GM과 YARD SHIFT 數만을 고려한다.

3.2 船舶의 復原性

船舶의 復原性 理論은 水力學(Hydrodynamics) 및 材料科學을 포함하는 광범위한 분야이다. 여기서는 船舶의 안정성에 가장 중요한 船舶의 復原性에 대해 살펴보도록 하자.

船舶의 무게는 水中에서 船舶의 排水量과 같고 浮力の 작용점은 船舶의 물속에 잠긴 形象의 중심의 위치에 놓이게 된다.

船舶이 外力에 의해서 경사가 되었을 때의 重心의 위치 G와, 浮心의 위치 B의 변화로써 復原 모멘트, 橫傾斜 모멘트 그리고 中性平衡의 세가지

경우로 분류할 수 있다. 復原 모멘트는 임의 각도로 경사한 배에서 重力과 浮力이 그 배를 直立 位置로부터 더 멀리 경사시키려는 모우먼트를 형성할 때 나타난다. 그러나 中性平衡은 復原 모멘트의 예외인 경우인데, 回轉體로서 그 中心이 回轉軸과 일치하는 경우이다. 이런 상태에서는 어떠한 모우먼트도 생기지 않는다. 따라서 그것은 임의 각도로 경사된 상태에서 그냥 머물러 있을 것이다. 일반적으로 배의 復原性은 橫復原力과 從復原力으로 나누어 생각할 수 있으나, 실제의 경우 從復原力으로 배가 전복될 수는 없으므로 여기서는 橫復原力만 다루기로 한다.

船舶의 復原性은 메타센타 높이(GM)로 정의된다. 임의의 積貨狀態에서 메타센타 높이는 式(3.1)로 求할 수 있다.

$$GM = KM - KG \dots\dots\dots (3.1)$$

여기서 KM은 排水量等曲線圖에서 주어진 吃水로서 求할 수 있으므로 KG만을 求하면 된다. KG는 式(3.2)를 사용하여 求한다.

$$KG = \frac{WKG_0 + w_1h_1 + w_2h_2 + \dots}{W + w_1 + w_2 + \dots} \dots\dots (3.2)$$

- 단, W : 經荷狀態의 排水量
- KG₀ : Keel에서 重心의 높이
- w₁h₁ : 貨物 w₁을 h₁의 높이에 積載
- w₂h₂ : 貨物 w₂을 h₂의 높이에 積載

3.3 모델의 記述 및 初期解

컨테이너船의 積載計劃의 결정은 GM 值 등의 本船 條件(Condition)을 양호하게 하고 야드(Yard) 裝置來 컨테이너를 抽出해 낼 때의 나머지 컨테이너의 Shift數를 최소로 할 필요가 있다.

이와같이 積載計劃問題는 어느 裝置位置의 컨테이너를 컨테이너船 셀구조에 積載할 것인가를 결정하는 割當問題의 일종으로 생각할 수 있다. 여기서 評價시키는 目的函數는 本船 GM치와 裝置 컨테이너의 Shift 數 두개로서 첫째 GM치를 고려하고 둘째 Shift數를 최소화 시키는 것이다. 이것은 多目的 數理計劃法으로서 1 目的函數보다 복잡성

이 가중되어 그것의 해법은 아무래도 용이하지 않다.

多目的 問題를 線形計劃問題로 하는 방법의 하나는 복수의 目的式들을 순차적으로 最適化하지 않고 이 복수의 목적에 적당한 加重值를 부여하여 이들의 加重合計를 最適化(最大化 또는 最少化)하면 된다. 加重值 W₁, W₂를 주어서 표현하면 式(3.3)과 같다.

$$\text{Optimization } Z = W_1 \text{GM기여율} + W_2 \text{기대 SHIFT수} \dots\dots\dots (3.3)$$

따라서 결과적으로 나타나는 模型은 하나의 目的函數만 있는 線形計劃模型의 형태가 되어 해결이 가능하게 된다.

그러나 실제로 積載計劃을 세우는 Planner는 오랜 경험으로 本船 Condition 및 Shift 數의 두개의 문제를 고려하면서 積載計劃을 세운다. 결국 인간이 각 目的函數에 加重值를 주어서 계획을 하고 있는 것이다. 그래서 Planner의 船積例의 데이터를 主成因分析하고 그 첫번째 主成因의 係數를 GM의 目的函數, 두번째를 Shift 數의 目的函數의 加重值로 한다.

그러면 裝置位置와 그 積載順序를 나타내는 變數를 사용하여 式(3.4)와 같이 割當問題로의 표현이 가능하다.

$$\begin{aligned} \text{Max } Z &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \dots\dots\dots (3.4) \\ \text{S. T. } \sum_{i=1}^n X_{ij} &= 1 \quad (j=1 \text{ to } n) \\ \sum_{j=1}^n C_{ij} &= 1 \quad (i=1 \text{ to } n) \\ X &= 0 \text{ or } 1 \end{aligned}$$

여기서 X_{ij}는 意思決定變數로 i 위치 컨테이너가 컨테이너船의 셀j에 割當이 되면 1, 割當이 되지 않으면 0을 나타내는 整數變數이고 C_{ij}는 기지의 常數를 나타낸다. 制約式은 야드의 컨테이너가 컨테이너船의 각 셀에 정확히 하나씩 配定되어 진다는 것을 뜻하지만 셀에는 여러가지의 割當이 있을 수 있다.

항가리法의 해를 求하는 아이디어는 行列의 行이나 列에서 常數를 가감해도 最適解는 변하지 않

는다는 것이다. 만일 常數 e_i 와 f_j 를 行列 C_{ij} 의 i 번째 行과 j 번째 列에서 뺀다면, 最終 行列 C'_i 는 式(3.5)와 같다.

$$C'_i = [C_{ij} - e_i - f_j] \dots\dots\dots (3.5)$$

따라서 새로운 目的函數는

$$Z' = Z - \sum e_i - \sum f_j \dots\dots\dots (3.6)$$

이므로 $Z' = Z -$ 常數가 된다. Z 를 最適化시키는 것은 Z' 를 最適化시키는 것이나 같은 最適解를 갖는다. 이것이 만일 새로운 C'_i 行列이 0을 포함하여 그 0 값을 갖는 것들 또는 그의 부분으로서 可能解를 갖는다면 이 可能解가 最適解가 된다. 式(3.3)과 같이 加重值를 부여하기 위하여 다음의 가정을 둔다.

- ① 야드상 1 BAY의 裝置 컨테이너를 本船의 1 BAY에 積載하는 문제를 대상으로 한다.
- ② 初期解를 求하기 위하여 評價시키는 目的函數는 GM 値와 SHIFT 數의 두 개로 한다.
- ③ 改善된 最終解를 求하기 위하여 評價시키는 目的函數는 全 航次를 통하여 最小한의 Shifting 발생하는 積載配置 방법으로 한다.
- ④ 裝置 컨테이너는 2段積으로 하고 컨테이너를 抽出해내는 것은 2段 裝置能力의 Straddle Carrier로 한다.
- ⑤ 裝置 컨테이너를 抽出해내는 방향은 本船例 접근만을 허용한다.
- ⑥ 目的 컨테이너를 抽出해낸 후 Shifting이 發生한 컨테이너는 원위치시킨다.

논리적으로 보아 不確實性下에서의 意思決定問題에 擴率概念을 도입하는 것이 필요하다. 문제는 藏置場의 각 컨테이너가 추출될 擴率을 어떻게 결정할 것인가 하는 것이다. 여기서 각 裝置位置의 컨테이너가 抽出될 가능성이 주어지면 意思決定을 위하여 期待值 概念을 도입할 수 있다. 앞에서 기술한 것처럼 藏置 컨테이너의 Shift 數는 어느 컨테이너를 몇 번째로 抽出해낼 것인가에 따라서 Shifting을 요하는 갯수는 달라지므로 일련의 순서를 결정한 뒤에 Shift數는 式(3.7)과 같이해서 求할 수 있다.

$$E(A_{ij}) = X_i(p_{ij}) \dots\dots\dots (3.7)$$

단, $E(A_{ij})$: i 藏置位置의 컨테이너를 j 번째로 抽出해낼 경우의 行爲 A 에 대한 期待 Shift數

X_i : i 裝置位置의 컨테이너를 最初로 抽出해낼 경우 障礙 컨테이너 數

p_{ij} : i 藏置位置의 컨테이너를 j 번째로 抽出해 낼 경우 障礙 컨테이너가 j 번째 까지에도 그대로 있을 確率

앞으로 積載 데이터를 主成分分析할 경우 원래의 變量은 式(3.7)에 표시되는 期待 Shift 數와 式(3.8)에 표시되는 GM 寄與率이다.

$$G_{ij} = D_j T_i / \sum T_i \dots\dots\dots (3.8)$$

단, $i=1 \dots N, j=1 \dots N$

G_{ij} : i 藏置位置 컨테이너를 j 번째로 실을 때의 GM 寄與率

D_j : 本船 메타센타 높이에서 부터 積載順序 j 에 대응하는 선창내 높이까지의 거리

T_i : i 藏置位置의 컨테이너 重量

因子分析(Factor Analysis)의 목적은 相關行列(Correlation Matrix)에 의해 표시되는 多變量 間의 變動을 보다 적은 數의 變動으로 설명하기에 적합한 대표적인 變動으로서의 因子를 求하는 데 있다. 그 중에서 主成分分析(Principal Component Analysis)은 多變量 間에 공통으로 존재하는 變動內의 어느 變量에 대해서도 근접한 變動을 보이는 것을 因子로서 취하는 방법으로 그것을 因子負荷(Factor Loading)의 行列로 표현하면 式(3.9)와 같으며 각 行은 標準化變數를 표현하는 데 사용된 係數들을 포함하고 係數들은 각 變數와 因子 間의 相關關係의 정도를 나타내며 각 因子에 대해 어느정도 加重值(Weight)가 부여되는 지를 나타내기 때문에 因子負荷라고 한다. 이러한 因子負荷들의 行列을 因子形態行列(Factor Pattern Matrix)이라고 하며 變數와 因子 間의 相關行列을 因子構造行列(Factor Structure Matrix)이라 한다. 또한 共通因子(Common Factor)에 의해 설명되는 分散 比率은 變數의 Communality(특정 變數의 모든 因子負荷量의 제

급합)로서 決定係數의 의미를 갖기 때문에 因子가 해당 變數를 설명해 주는 정도를 의미하며 積載量이 높은 變數가 해당 因子에서 중요한 變數라고 할 수 있다.

$$\begin{matrix}
 & \text{Factors F1 F2 } \dots \text{ Fm} \\
 \text{Variables} & \\
 \begin{matrix}
 V1 \\
 V2 \\
 \cdot \\
 \cdot \\
 \cdot \\
 Vn
 \end{matrix} & \left| \begin{matrix}
 a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\
 a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm}
 \end{matrix} \right. & (3.9)
 \end{matrix}$$

한편 특정 因子에 積載된 모든 變數의 積載量을 제공하여 합한 값을 因子負荷의 寄與(Eigen Value)라 하는 데 이는 특정 因子이 설명해 주는 總分散을 의미하며 이 값이 클 수록 해당 因子의 설명력이 큰 것이다. 만약 이 값이 1보다 작으면 1개의 變數에 해당하는 變量도 설명하지 못하는 因子가 되므로 因子에서 탈락시키게 된다.

第1因子負荷의 寄與(F1에 대한 總分散值, F1 Eigen Value), 즉 因子負荷의 供給합을 式(3.10)과 같이 표현한다.

$$V_1 = a_{11}^2 + a_{21}^2 + \dots + a_{n1}^2 \dots\dots\dots (3.10)$$

여기서 第1因子에 의해 설명되는 부분인 V_1 을 最大로 하는 因子를 求하는 것이 主成分分析이다.

그러면 1990년 9월 BCTOC에 入港한 M. V. GARLAND의 실제 데이터로 GM寄與率 및 期待 Shift 數의 變量을 기초로 하여 主成分分析을 하면 GM 寄與率 및 期待 Shift 數에 대한 相關行列(Correlation Matrix) CM은 式(3.11)과 같다.

$$\text{CM} = \left| \begin{matrix}
 1.00000 \\
 \\
 0.02189 & 1.0000
 \end{matrix} \right| \dots\dots (3.11)$$

式(3.11)을 이용하여 因子行列(Factor Matrix) FM을 求하면 式(3.12)와 같다.

$$\text{FM} = \left| \begin{matrix}
 1.71480 & 0.69932 \\
 \\
 0.71480 & -0.69932
 \end{matrix} \right| \dots (3.12)$$

式(3.12)에 의해 第1因子負荷와 第2因子負荷의 寄與를 求한 結果가 Table 3.1에 나와 있다. 여기서 加重值의 比率이 반반인 것을 알 수 있고 船舶의 안정성에 중요한 GM 및 藏置 컨테이너의 Shift 數를 最小로 하고 積載計劃을 세우고 있다는 것을 알 수 있다.

Table 3.1. The Summary of Factor Loadings.

| Variables | F1 | F2 | The Contribution of GM and Shift for F1 and F2 (Communality) |
|-------------|---------|----------|--|
| G M | 0.71480 | 0.69932 | 0.99998 |
| SHT | 0.71480 | -0.69932 | 0.99998 |
| Eigen Value | 1.02189 | 0.97811 | - |

이상의 結果에서 積載計劃의 目的函數의 加重值는 부호가 역이고 絶對值를 같게한다면 타당하다고 생각된다.

결국 문제는 Shift 數 및 GM의 2 目的問題이다. 따라서 數理計劃法으로 定式化하면 다음과 같다.

$$\text{Min } Z_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n E(A_{ij})X_{ij} \dots\dots\dots (3.13)$$

$$\text{Max } Z_2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n G_{ij}X_{ij} \dots\dots\dots (3.14)$$

$$\text{S. T. } \sum_{i=1}^n X_{ij} = 1 \quad (j=1 \text{ to } n)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \quad (i=1 \text{ to } n)$$

$$X_{ij} \geq 0$$

여기서 目的式들을 순차적으로 最適化하지 않고 이들의 加重合計를 最適化하면 된다.

따라서 結果적으로 나타나는 模型은 式(3.15)와 같은 1 目的函數의 형태가 된다.

$$Z = W_1 Z_1 + W_2 Z_2 \dots\dots\dots (3.15)$$

式(3.15)는 多目的函數에 加重值를 부여하여 1

目的函數로 결합된 線形計劃模型이다. 여기서 보통 加重值들은 意思決定者(Decision Maker)가 임의적으로 선택하기가 쉽기 때문에 式(3.15)의 모델이 적절한 意思決定支援시스템(Decision Support System)으로 이용되도록 하기 위하여 컴퓨터에서 出力된 데이터를 分析한 후 이에 근거하여 加重值를 부여하여야 할 것이다.

그러므로 式(3.15)를 일반화하여 문제를 式(3.16)과 같이 定式化한 다음 數理計劃法으로 初期解를 求한다.

$$\begin{aligned} \text{Max } Z &= \sum_{i=1}^n C_i X_i \dots\dots\dots (3.16) \\ \text{S. T. } \sum_{i=1}^n X_i &= 1 \quad (j=1 \text{ to } n) \\ \sum_{i=1}^n X_i &= 1 \quad (i=1 \text{ to } n) \\ \sum_{i=1}^n G_i X_i &\geq GM_L \\ X_i &= 0 \text{ or } 1 \end{aligned}$$

단, GM_L : 最小 GM
 C_i : 合成評價值

式(3.16)에서의 처리수준은 통상의 割當問題인 항가리法으로 解를 求하는 데 GM의 만족도를 고려하여 解가 GM을 만족하면 初期解로서 처리는 끝나고 GM을 만족하지 않으면 最小 GM치를 설정하여 分斷探索法으로 初期解를 求한다. 그러나 여기서 알 수 있는 것은 처음부터 最小 GM의 制約條件을 주어서 初期解를 求하는 것과 같은 것이므로 이 방법이 타당하다고 생각되어진다.

따라서 式(3.16)의 整數制約條件을 없애고 $X_i \geq 0$ 의 制約條件을 넣으면 分斷探索法으로 初期解가 求해진다.

3.4 初期解의 改善

GM의 下限條件을 만족하고 節(3.3)에서 설명한 알고리즘에 의해서 求해질 수 있는 積載形態는 여러개가 있다. 따라서 주어진 港 i를 고려하여 컨테이너를 취급하는 시간이 같다고 가정하면 全 航次를 통하여 취급되는 컨테이너의 총 수를 最小로 하는 積載計劃이 되어야만 滯港時間을 줄일 수 있을 것이다. 그러면 目的地가 서로다른 4개의 貨物을 4층으로 실은 컨테이너선의 셀의 컨테이너 配置를

생각해보자.

여기에서 X_i 를 港 i에서 취급되는 컨테이너의 수라면 컨테이너의 最大 갯수는 4개이고 취급되는 컨테이너의 最小 갯수는 式(3.17)과 같이 표현이 가능하다.

$$\begin{aligned} X_{i\min} &= 4 - \text{LEVOUT}_i + 1 \dots\dots\dots (3.17) \\ &= 5 - \text{LEVOUT}_i \end{aligned}$$

단, LEVOUT_i : 港 i에서 揚貨되는 컨테이너의 레벨을 표시한다.

1: 자산을 포함하는 수

$X_{i\min}$: 港 i에서 Shifting되는 컨테이너의 最小 갯수이다.

따라서 式(3.18)이 가능해진다.

$$\text{Min } \sum_{i=1}^4 X_i \dots\dots\dots (3.18)$$

$$\text{S. T. } 4 \geq X_i \geq 5 - \text{LEVOUT}_i$$

式(3.18)을 일반화하여 셀의 N 레벨을 생각해 보면, 式(3.19)로 표현할 수 있다.

$$\text{Min } \sum_{i=1}^N X_i \dots\dots\dots (3.19)$$

$$\text{S. T. } N \geq X_i \geq N + 1 - \text{LEVOUT}_i$$

이와같은 상태에서 寄港地가 12개인 경우를 살펴보기로 한다. 각 港은 1개의 컨테이너를 輸入하고 輸出하는 데 平均 1 港次의 길이가 4港을 거치고 輸送되는 컨테이너의 수가 最大 4개라면 다음의 3가지 경우를 생각해 볼 수 있다.

1) 바로 다음에 揚貨할 컨테이너를 모든 컨테이너 위에 두기위해서 필요하다면 다른 어떠한 컨테이너도 揚貨한다.

2) 揚貨港이 먼 컨테이너일 수록 밑에 실는다. 즉, 最小한의 컨테이너만 揚貨한다.

3) 港에 따라서 荷役方法을 변화시킨다.

상기 3가지 경우에 대해서 각 港에서의 Shifting되는 컨테이너수를 계산한 표가 Table 3.2이다.

여기서 寄港地의 수는 1에서 12까지 12港까지 표시되어 있고 경우 1에서 3까지 표시한 英文字

알파벳은 각 港에서의 컨테이너 貨物의 配置를 나타내고 있다. 그리고 X_i 는 港 i 에서 港 $i+1$ 로 갈 때 港 i 에서 Shifting되는 컨테이너를 나타낸다. 또한 각 港에서의 條件을 같게하기 위하여 積揚貨되는 컨테이너는 같게하였다.

Table 3.2. Number of Shifting Containers.

| DISPOSITION | PORT | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------------|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | Enter Port | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| CASE 1 Disposition | A B C D | B E F D | C E F D | D E F G | E H F G | F H M I G | G H M I J | H K L J | I K L J | J K M M | K M O M | L N O P | M N O P |
| X_i | | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 4 |
| CASE 2 Disposition | A B C D | E B C D | F C C D | G F C D | E F G H | F F G H | G G H H | H K L L | I J K L | J M K L | K N O L | L N O P | M N O P |
| X_i | | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| CASE 3 Disposition | A B C D | E B C D | G D E F | C D E F | E F G H | F G H I | G H I J | H I J K | I J K L | J M L N | K M N P | L N O P | M N O P |
| X_i | | 1 | 4 | 1 | 4 | 1 | 3 | 1 | 4 | 1 | 4 | 1 | 4 |
| Port State | Load Unload | E A | F B | G C | H D | I E | J F | K G | L H | M I | N J | O K | P L |

그리고 Table 3.2를 기초로하여 각 경우에 대해서 Shifting Matrix를 체계적으로 작성하면 Table 3.3과 같다. 또한 이 표에서 알 수 있듯이 첫번째의 경우 다른 2개의 경우보다 좋지않다. 그러나 두번째와 세번째 경우에서 어느 것이 좋은가 結論을 내리기는 곤란하다. Shifting Matrix표에서 2港까지를 고려할 경우 Shifting되는 컨테이너의 총갯수 $\sum X_i$ 는 Case 2가 3개, Case 3이 5개이고, 6港까지를 고려할 경우는 Case 2가 13개, Case 3이 14개이며 7港까지를 고려할 경우는 Case 2가 16개, Case 3이 15개로서 몇 港을 고려하느냐에 따라서 다른 결과가 나타나기 때문이다.

일반적으로 N港을 고려해 보면 한 방향으로 이동할 全 貨物의 수를 X로 표시하면 式(3.20)과 같다.

$$X = \sum P_i \times (1/2) \dots\dots\dots (3.20)$$

따라서 셀에 컨테이너를 수직으로 配置하는 방법은 $X!$ 이다. 그리고 意思決定은 總 荷役時間을 最小化하기 위하여 각 港에서 취해야 하는 配置方法은 어느 것인가라는 것이다. 여기서 각 港을 段階로하고, 각 港에서의 貨物配置의 組合은 狀態로

Table 3.3. Shifting Matrix for Case Study.

| EP | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|--|--|-----|
| 2 | 1 | | | | | | | | | | | | | P1 |
| 5 | 3 | | | | | | | | | | | | | P2 |
| 9 | 7 | 4 | | | | | | | | | | | | P3 |
| 11 | 9 | 6 | 2 | | | | | | | | | | | P4 |
| 14 | 12 | 9 | 5 | 3 | | | | | | | | | | P5 |
| 18 | 16 | 13 | 9 | 7 | 4 | | | | | | | | | P6 |
| 20 | 18 | 15 | 11 | 9 | 6 | 2 | | | | | | | | P7 |
| 23 | 21 | 18 | 14 | 12 | 9 | 5 | 3 | | | | | | | P8 |
| 27 | 25 | 22 | 18 | 16 | 13 | 9 | 7 | 4 | | | | | | P9 |
| 29 | 27 | 24 | 21 | 18 | 14 | 12 | 9 | 5 | 3 | | | | | P10 |
| 32 | 30 | 27 | 23 | 21 | 18 | 14 | 12 | 19 | 5 | 3 | | | | P11 |
| 36 | 34 | 31 | 27 | 25 | 22 | 18 | 16 | 13 | 9 | 7 | 4 | | | P12 |

두면 式(3.21)의 函數式이 성립한다.

$$F_n(s) = \min_{x_n} \{f_n(s, x_n) + F_{n+1}(x_n)\} \dots\dots\dots (3.21)$$

- 단, n : 段階變數
- x_n : 段階 n 에서의 決定變數
- $F_n(s)$: 주어진 狀態 s 에서 段階 n 부터 나머지 모든 段階를 고려한 最小 Shift 수
- $f_n(s, x_n)$: 주어진 狀態 s 에서 段階 n 에 對한 最少 Shift 수

式(3.21)을 動的計劃法의 後陣法을 이용하여 全航次의 Shifting을 最小로 하는 貨物配置를 求하면 最終解가 된다.

4. 應用例

컨테이너의 重量은 임의로 그림상 표시되어 있고 각 셀의 KG는 3.20, 5.80, 8.39이고 基線으로부터의 메타센타의 높이(KM)가 15.388(Meter), 流

動水의 영향으로 인한 慣性 모멘트(Free Surface Inertia Moment)가 15,072(M-K/T), 각 구획의 重量에 대한 總 垂直 모멘트(Vertical Moment)가 579,862(M-K/T), 가로 메타센터 높이(GM)가 1.65 (Meter) 그리고 排水量(Displacement) 43,307(K/T)의 상태로 入港하는 船舶에 Fig. 4.1과 같은 야드 상의 2 Tier 5 Slot로 藏置되어 있는 컨테이너를 3 Slot 3 Tier로 컨테이너船의 Hold에 積載하는 간단한 경우에 대해서 살펴보기로 하자.

上記 例에 대해서 初期配置를 求하면 Fig. 4.1과 같다. 여기서 圓안의 숫자는 컨테이너를 抽出하여 積載되는 순서이다. 또한 本船例 아래쪽의 괄호속의 첫번째 숫자는 出發港을 의미하고 두번째 숫자는 到着港을 의미한다.

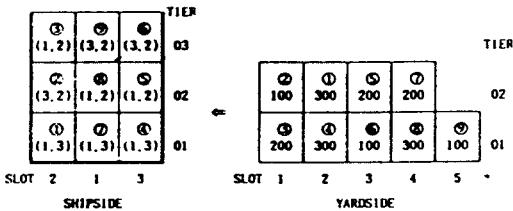


Fig. 4.1. The Example of Initial Solution.

한편 각 港을 段階(Stage)로 하고 각 港에서의 컨테이너의 配置組합을 狀態(State)로 두면 각 港에서의 配置方法은 3!, 즉 6가지이다.

그러면 위에서 求한 初期 컨테이너 配置가 全航次를 거쳐서 最小 Shift 수를 가지는지 보기 위하여 初期解의 配置를 Fig. 4.2와 같이 두면 각 港에서의 괄호속의 숫자들은 각 港을 떠나는 컨테이너 貨物을 표시하며 괄호속의 첫 숫자는 出發港을 나타내고 둘째 숫자는 到着港을 나타낸다. 즉 Port 1의 (1,2)는 港1을 出發하여 港2로 향하는 컨테이너 貨物을 의미한다.

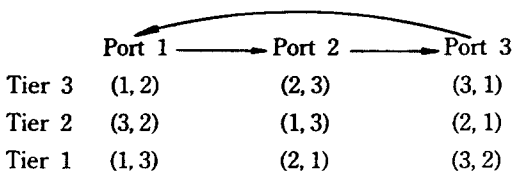


Fig. 4.2. Loading(Unloading) Sequence of Each Port.

각 港의 컨테이너 貨物 配置狀態 s에 대해서 각 段階 X_1, X_2, X_3 사이의 Shift 수를 行列로서 표시하면 Table 4.1과 같이 되며, 여기서 세로축의 X_1, X_2, X_3 와 1부터 6까지의 숫자는 각각 出發港과 出發港의 貨物 配置狀態를 나타내고, 가로축의 X_1, X_2, X_3 와 1부터 6까지의 숫자는 각각 到着港과 到着港의 貨物 配置狀態를 나타낸다.

Table 4.1 The Length or Are for Minimum Shift Number.

| | X_2 | | | | | | X_3 | | | | | | X_1 | | | | | |
|-------|-------|---|---|---|---|---|-------|---|---|---|---|---|-------|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| X_1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | | | | | | | | | |
| X_2 | 1 | | | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | | | |
| 2 | | | | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | | | |
| 3 | | | | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | | | |
| 5 | | | | | | | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | | | |
| 6 | | | | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | | | |
| X_3 | 1 | | | | | | | | | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 2 | | | | | | | | | | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 3 | | | | | | | | | | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 4 | | | | | | | | | | | | | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 5 | | | | | | | | | | | | | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 6 | | | | | | | | | | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |

따라서 Table 4.1을 이용하여 각 段階別 最小 Shift 수를 動的計劃法의 循環式(3.21)을 이용하여 求하면 3港을 거치는 컨테이너의 總 Shift 수가 7인 것을 알 수 있다. 즉, 最適經路는 $\sum X_i = 7$ 인 경우로 컨테이너의 Shift수를 호의 길이로 표시하고 각 港의 貨物 配置狀態에 대하여 그물망(Network)으로 표시하면 Fig. 4.3과 같으며 改善된 貨物 配置狀態에 대한 最適經路는 굵은 선으로 표시되어 있다.

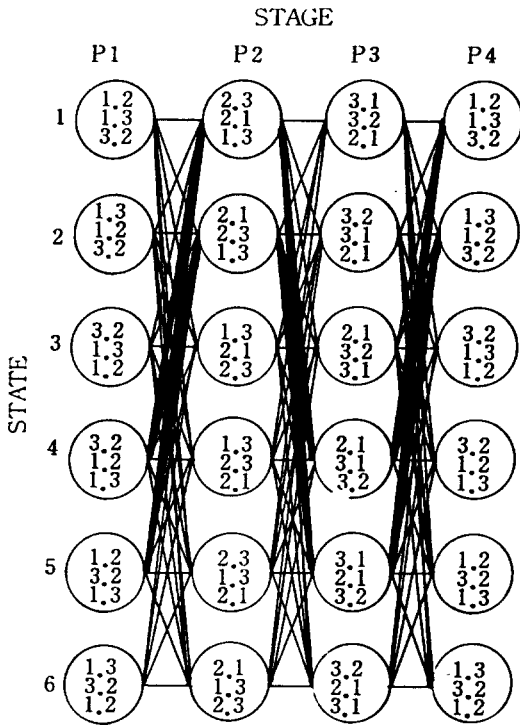


Fig. 4.3. Network for Cargo Disposition.

5. 結 論

本 研究에서는 最適化 手法에 근거를 두고 모델링을 하여 計劃하는 방법을 提示하였다. 이러한 방법을 이용함으로써 이동 장비의 效率的인 이용과 積載計劃 노력의 단순화 및 자동화에서 오는 船舶 滯留時間의 감소 등의 효과가 있을 것으로 생각되므로 積載計劃은 필요하다고 보겠다. 나아가서 積載計劃의 자동화는 현재 요구되고 있는 勞動力을 훨씬 감소시켜 人件費의 절감을 가져올 뿐만 아니라 船舶回航時間을 단축하여 港灣의 暴穢狀態(Conjestion) 및 待機狀態(Queuing)를 줄이는데 상당한 역할을 할 것으로 기대가 된다.

本 論文에서는 컨테이너船의 荷役に 있어서 本船 GM 및 Yard Shift 수의 2 目的問題를 고려하여 이들을 순차적으로 最適化하지 않고 단일 目的函數로 합성하기 위하여 GM 寄與率 및 Yard 藏置場 컨테이너의 期待 Shift 수의 두 變量을 기초로 因

子分析法중 主成分分析을 이용하여 相關行列을 求한 다음 因子負荷量을 요소로하는 因子行列을 산출 함으로써 加重值를 결정하였다. 산출된 加重值를 이용하여 2 目的函數를 線形結合模型의 1 目的函數로 합성하여 線形計劃模型으로 數式化하였다.

그리고 變數值가 整數이어야 한다는 성질을 이용하여 實行可能解들을 여러 소그룹으로 나누고 (Branch) 각 그룹에서의 目的函數值의 上限과 下限을 求하여 이를 만족하지 못하는 그룹을 고려의 대상에서 제외함으로써 불 필요한 계산을 줄이는 分斷探索法으로 初期解를 求하였다. 다시 初期解가 全 航次를 통하여 Shifting이 最小로 발생하도록 각 港의 Shift 수를 호의 길이로 하는 그물망을 구성한 다음 각 港의 셀의 컨테이너 配置를 狀態(State)로 각 港을 段階(Stage)로 하여서 動的計劃法의 後進法을 이용하여 셀의 컨테이너 配置를 再配置시키는 방법으로 最終解를 求하였다.

앞으로 GM을 下限條件으로 하고 YARD의 動線의 수를 最小로하면서 全 航次의 回航時間을 最小로하는 문제를 Fuzzy Logic을 이용하여 研究하고 싶다.

參考文獻

- 1) 汎洋商船海務部 : CONTAINER 運送指針, 19 83.
- 2) 李哲榮 : 시스템 工學概論, 文昌出版社, 釜山, 1981.
- 3) 조덕운 : 컨테이너船 船積計劃問題, 海軍士官學校, 1986.
- 4) 令井昭夫·三木楯彦 : 期待效用值を用いた最適コンテナ船荷役の近似解法, 日本航海學會誌 80號, 昭和 63年 11月 18日, pp. 117-124.
- 5) Eric Rath : Container Systems, John Willy and Sons, New York, 1973.
- 6) G. Terry Ross · Richard M. Soland : Modeling Facility Location Problems as Generalized Assignment Problems, Managements Science, November 1977, Vol. 24, no. 3, pp. 345-356.

- 7) Gordon H. Bradley : Survey of Deterministic Networks, Aile Transactions, June 1975, Vol. 7, No. 3, pp. 222-234.
- 8) Hitachi Zosen : Loading Instruction Booklet on M. V. HANJIN LONGBEACH, 1986.
- 9) Kalman Peleg · Elizabeth Peleg : Container Dimensions for Optimal Utilization of Storage and Transportation Space, July 1976 Vol. 8, No. 3, Israel, pp. 175-180.
- 10) Samuel Elson · C. D. T. Watson-Gandy · Nicos Christofides : Distribution Management ; Mathematical Modeling and Practical Analysis, Griffin, London, 1971.
- 11) Takao Hara · Yorinobu Takahashi : Container Terminal System ; CFS Operation System, Toshiba Review, Japan, Jan-Feb 1974, pp. 11-13.
- 12) UNCTAND : Port Developent ; A Handbook for Planners in Developing Countries, 1985.