

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

Abstract

With increasing ship's speed turnaround and port time becomes a large percentage of total roundtrip time 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 ship. Similarly, the turnaround time at the container port is very important as a measure for the decision the efficiency of port.

to decrease operating costs, the minimization of the time need to cargo handling at the ports of call it be achieved. Thus the optimized Container Loading Plan is necessary, especially under the rapid spread 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 maximization of ship's GM and minimization of shift number 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 불릴 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터미널(Exclusive Container Terminal)이 생겨나게 되었다.

컨테이너 專用터미널의 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 터미널의 效率的 運營은 다음 몇 가지 이유로 긴요하다.

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 감인 때 앞으로 더 많은 컨테이너船이 출현할 것이 상되며 港內 船舶暴轉狀態는 더욱 심각해 질 것에 견되기 때문에 컨테이너港의 效率的인 運營 더욱 절실히 되는 것이다.

따라서 本 論文에서는 貨物에 대한 불필요한 役과 移動을 最少化하기 위하여 船舶의 滯留時間 要素中 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에서 컨테이너 輸送體系와 積載計劃의 現況을 요약하고, 第3章에서는 헝가리법(Hungarian Method) 의한 割當問題와 分斷探索法에 의한 整數計劃(Integer Programming) 및 動的計劃法(Dynar Programming)을 사용하여 컨테이너 積載計劃을 數式化하고, 또한 數式化한 내용을 第4章에서 적용하여 이를 검증하며, 第5章에서는 이상의 과를 요약하고 앞으로의 研究方向을 결론으로 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 수 있다. 컨테이너港은 海上運送과 陸上運送 中 連結地點으로서 각 連結마디들을 그물꼴로 나뉠 수 있다. 컨테이너港의 最適運營問題는 광범위하게는 그물꼴 전체의 컨테이너 흐름을 分析한 뒤 이루어져야 하며 협소하게는 컨테이너 터미널내 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 늘어 컨테이너 輸送量은 매년 10% 이상씩 증가를 보이고 있고 TEU當 平均積載量도 점차 증가하고 있는 效率的인 이용이 이루어지고 있는바, 컨테이너

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의 標準 樹立이 요청된다고 하겠다. 또한 國際標準化機構(ISO : International Organization for andardization)에서도 外部 規格에 따라 컨테이너를 1A에서 1F까지의 9종류로 분류하고 있으며 기에는 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. 格外의 것은 점차 그 이용율이 감소하고 있다. 國의 경우에도 1980년 이래 지속적인 컨테이너 量의 증가를 보이고 있는 데 Fig. 2.1에 나타난 와 같이 1989년 현재 35 Foot의 컨테이너는 거의 滅び었고 20 Foot와 40 Foot의 컨테이너가 높게 用되고 있는 것으로 나타난다.

그리고 컨테이너를 積載할 수 있는 船舶들을 구적으로 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, 艇船에 貨物을 積載하여 Unit ad로 하여 그대로 本船에 積載하는 LASH(Light-Aboard Ship Handling)船, 혼합형 Roll-on 컨테이너船, 컨테이너化가 되어가는 과정에서 생겨 在來船, 컨테이너 專用船의 中間 형태인 Semi 컨테이너船, 그리고 本 論文에서 대상으로 하는 셀조(Cellular Construction)식 컨테이너 專用船이 다.

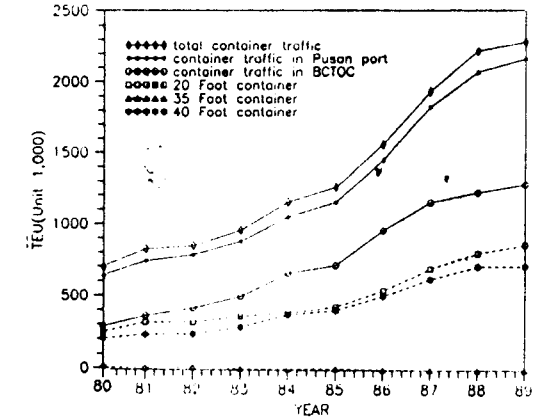


Fig. 2.1 The Trend of Container Traffic and Containers in Korea.

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

ble 2.1. Physical Characters of Container Ships.

	Container Capacity (TEUs)	Dead Weight (ton)	Overall Length (meters)	Overall Width (meters)	Overall 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-				

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 危險貨物目錄, 冷凍貨物目錄, 特殊貨物目錄, 換積貨物目錄 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 作業량을 결정하는 作業절차(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 揚貨目錄 등을 本船 및 裝備課에 송부하여 作業이 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 危險貨物目錄, 冷凍貨物目錄, 特殊貨物目錄, 換積貨物目錄 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 수차적이 아닌 임의적인 積載計劃이 이루어지고 있다. 이로 인해 Planner의 Planning 作業의 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 作業의 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 컬러 그래픽 모니터(Color Graphic Monitor)와 마우스(Mouse)를 사용하여 화면 상에서 컨테이너의 移積, 船艙別 컨테이너의 분류를 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(Load 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 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 二

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 칼러모니터를 이용하여 야드와 船舶의 Plan을 동시에 확인할 수 있게 하고 Pointing Device를 사용함으로써 업무의 迅速성과 效率성을 높이고 있는 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적인 支援을 위하여 계획된 것이다.

TACTICS Pilot System의 주요 기능은 기존의 作業으로 이루어지던 Sticker에 의한 Planning System을 대체하였으며 완벽한 積貨 計算을 할 수 있다. 그리고 本船 및 야드 裝置計劃을 수립할 수 있고 APL의 Mainframe Inventory System과 入出 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 야드 利用率을 제고시킴으로써 人력의 活用과 배치 最適化할 수 있다는 것이다.

이상으로 한국과 외국의 경우에 대해서 살펴본 결과, 결국 船舶에 신속한 積載計劃을 수립하고 터미널을 效率적으로 運營하도록 시스템이 구축되어 費用의 감소와 人력의 낭비를 막고 船舶의 回轉時間을 단축할 수 있을 것으로 생각된다.

3. 컨테이너 積載計劃問題

1 積載制約條件

컨테이너의 本船積載計劃은 일반적으로 생각한 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 生産性を 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 積載後 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 셀 구조(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

곱함)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.

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

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 이값이 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 제곱합을 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.

$$CM = \begin{vmatrix} 1.00000 & & \\ 0.02189 & 1.0000 & \\ & & \dots \end{vmatrix} \dots \dots (3.11)$$

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

$$FM = \begin{vmatrix} 1.71480 & 0.69932 \\ 0.71480 & -0.69932 \end{vmatrix} \dots (3.12)$$

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

Table 3.1. The Summary of Factor Loadings.

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

이상의 결과에서 積載計劃의 目的函數의 加重는 부호가 역이고 絶對值를 같게 한다면 타당하고 생각된다.

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

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

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

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

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

$$X_{ij} \geq 0$$

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

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

$$Z = W_1Z_1 + W_2Z_2 \dots \dots \dots (3.15)$$

式(3.15)는 多目的函數에 加重值를 부여하여



의 函數로 結合된 線形計劃模型이다. 여기서 보
 다 加重值들은 意思決定者(Decision Maker)가 임
 의적으로 選擇하기가 쉽기 때문에 式(3.15)의 模
 형이 적절한 意思決定支援시스템(Decision Sup-
 port System)으로 이용되도록 하기 위하여 컴퓨터
 에서 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.
 5)과 같이 定式化한 다음 數理計劃法으로 初期解
 를 求한다.

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

단, GM_L : 最小 GM
 C_{ij} : 合成評價值

式(3.16)에서의 처리수순은 통상의 割當問題인
 가리法으로 解를 求하는 데 GM의 만족도를 고
 하여 解가 GM을 만족하면 初期解로서 처리는
 이나고 GM을 만족하지 않으면 最小 GM치를
 定하여 分斷探索法으로 初期解를 求한다. 그러
 여기서 알 수 있는 것은 처음부터 最小 GM의
 約條件을 주어서 初期解를 求하는 것과 같은 것
 므로 이 방법이 타당하다고 생각되어진다.
 따라서 式(3.16)의 整數制約條件을 없애고 $X_{ij} \geq$
 의 制約條件을 넣으면 分斷探索法으로 初期解가
 해진다.

4 初期解의 改善

GM의 下限條件을 만족하고 절(3.3)에서 설명한
 고려점에 의해서 求解될 수 있는 積載形態는 여
 개가 있다. 따라서 주어진 港 i를 고려하여 컨테
 너를 積載하는 시간이 같다고 가정하면 全 航次
 통하여 積載되는 컨테이너의 총 수를 最小로 하
 積載計劃이 되어야만 滯港時間을 줄일 수 있을
 이다. 그러면 目的地가 서로다른 4개의 貨物을
 積으로 실은 컨테이너船의 艀의 컨테이너 配置를

생각해보자.

여기에서 X_i 를 港 i에서 積載되는 컨테이너의 수
 라면 컨테이너의 最大 數는 4개이고 積載되는
 컨테이너의 最小 數는 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 : 積載를 포함하는 수
 $X_{i \min}$: 港 i에서 積載되는 컨테이너의 最
 小 數이다.

따라서 式(3.18)이 가능해진다.

$$\begin{aligned} \text{Min } \sum_{i=1}^4 X_i \dots\dots\dots (3.18) \\ \text{S. T. } 4 \geq X_i \geq 5 - \text{LEVOUT}_i \end{aligned}$$

式(3.18)을 一般化하여 艀의 N 레벨을 생각해 보
 면, 式(3.19)로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Min } \sum_{i=1}^N X_i \dots\dots\dots (3.19) \\ \text{S. T. } N \geq X_i \geq N + 1 - \text{LEVOUT}_i \end{aligned}$$

이와같은 상태에서 寄港地가 12개인 경우를 살
 펴보기로 한다. 각 港은 1개의 컨테이너를 輸入하
 고 輸出하는 데 平均 1 港次의 艀가 4港을 거치
 고 輸送되는 컨테이너의 수가 最大 4개라면 다음
 의 3가지 경우를 생각 해 볼 수 있다.

- 1) 바로 다음에 揚貨할 컨테이너를 모든 컨테이
 너 위에 두기위해서 필요하다면 다른 어떠한 컨테
 이너도 揚貨한다.
- 2) 揚貨港이 먼 컨테이너일 수록 밑에 실는다.
 즉, 最小한 컨테이너만 揚貨한다.
- 3) 港에 따라서 荷役方法을 變化시킨다.

상기 3가지 경우에 대해서 각 港에서의 Shif-
 ting되는 컨테이너수를 계산한 표가 Table 3.2이
 다.

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.

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

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 결론을 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 15개로써 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.

$$X = {}_n P_2 \times (1/2) \dots\dots\dots (3.20)$$

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.

2	1	1																
5	3	5																
9	7	6																
11	9	10																
14	12	11																
18	16	13																
20	18	15																
23	21	18																
27	25	22																
29	27	24																
32	30	27																
36	34	31																
30	29	27																
29	28	24																

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 에서 最小 Shift 수

式(3.21)을 動的計劃法의 後陣法을 이용하여 航次의 Shifting을 最小로 하는 貨物配置를 求한 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로부터의 메타센타의 높이(KM)가 15.388(Meter),

水的 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 79,862(M-K/T), 가로 메타센터 높이(GM)가 1.65 (meter) 그리고 排水量(Displacement) 43,307(K/T) | 상태로 入港하는 船舶에 Fig. 4.1과 같은 야드 2의 2 Tier 5 Slot로 藏置되어 있는 컨테이너를 3 Tier로 컨테이너船의 Hold에 積載하는 간접적인 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 順序이다. 또한 本船例 아래쪽의 괄호속의 첫번째 숫자는 出發港을 의미하고 두번째 숫자 到着港을 의미한다.

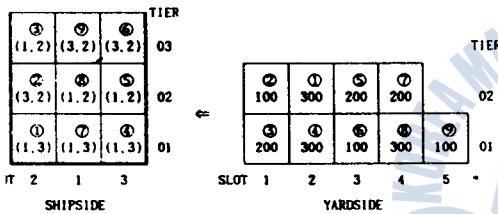


Fig. 4.1. The Example of Initial Solution.

한편 각 港을 段階(Stage)로 하고 각 港에서의 컨테이너의 配置組合을 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 全次를 거쳐서 最小 Shift 수를 가지는지 보기위하 初期解의 配置를 Fig. 4.2와 같이 두면 각 港에서의 괄호속의 숫자들은 각 港을 떠나는 컨테이너 物을 표시하며 괄호속의 첫 숫자는 出發港을 나타내고 둘째 숫자는 到着港을 나타낸다. 즉 Port 1 (1,2)는 港1을 出發하여 港2로 향하는 컨테이너 物을 의미한다.

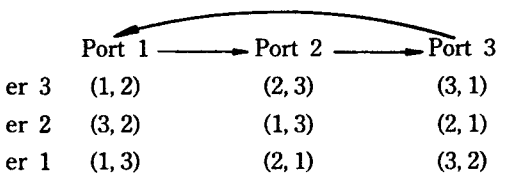


Fig. 4.2. Loading(Unloading) Sequence of Each Port.

各 港의 컨테이너 貨物 配置狀態 s에 대해서 各 段階 X_1, X_2, X_3 사이의 Shift 수를 行列로서 표시 하면 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	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 各 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 各 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.

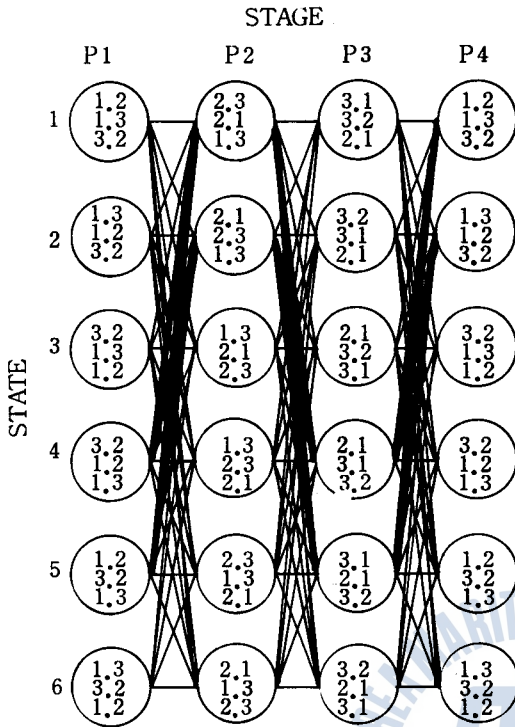


Fig. 4. 3. Network for Cargo Disposition.

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 暴發狀態(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 인

子分析法중 主成因分析을 이용하여 相關行列을 求한 다음 因子負荷量을 요소로하는 因子行列을 求출 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 考慮하여 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 고려대상에서 제외함으로써 불 필요한 계산을 줄이고 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 그룹망 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 配置시키는 방법으로 最終解를 求하였다.

앞으로 GM을 下限條件으로 하고 YARD의 動的 수를 最小로하면서 全 航次의 回航時間을 最小하는 문제를 Fuzzy Logic을 이용하여 研究하 希다.

參考文獻

- 1) 汎洋商船海務部: CONTAINER 運送指針, 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, 海軍士學校, 1986.
- 4) 令井昭夫·三木楯彦: 期待效用值を用いた 適コンテナ船荷役の近似解法, 日本航海學誌 80號, 昭和 63年 11月 18日, pp. 117-124.
- 5) Eric Rath: Container Systems, John Wiley and Sons, New York, 1973.
- 6) G. Terry Ross·Richard M. Soland: Modeling Facility Location Problems as Generalized Assignment Problems, Management 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.
- 3) Hitachi Zosen : Loading Instruction Booklet on M. V. HANJIN LONGBEACH, 1986.
- 3) Kalman Peleg · Elizabeth Peleg : Container Dimensions for Optimal Utilization of Storage and Transportation Space, July 1976 Vol. 8, No. 3, Israel, pp. 175-180.
-)) 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 Development ; A Handbook for Planners in Developing Countries, 1985.



