

# 배선 및 선박운항일정계획에 관한 연구

- 유조선의 운항일정계획을 중심으로 -

허 일\*

## A Study on Cargo Ships Routing and Scheduling

Emphasis on Crude Oil Tanker Scheduling Problems

*Ihl Hugh*

### 목 차

- |                      |                        |
|----------------------|------------------------|
| I. 서론                | III. 유조선의 운항일정계획       |
| 1. 문제의 제기            | 1. 문제의 상황과 가정          |
| 2. 연구목적 및 연구방법       | 2. 문제의 해결절차            |
| 3. 연구동향              | 3. 최적화 모형              |
| II. 선박 운항형태별 운항일정계획  | IV. 일정계획 모형의 적용예       |
| 1. 선박의 운항형태          | 1. 문제                  |
| 2. 운항일정계획시 고려해야 할 요인 | 2. 실행가능스케줄의 산출         |
| 3. 정기선 운항일정계획        | 3. 최적해의 산출과 최적화 모형의 비교 |
| 4. 부정기선의 일정계획        | V. 결론                  |

### Abstract

This paper discusses the various modes of operations of cargo ships which are liner operations, tramp shipping and industrial operations, and mathematical programming, simulation, and heuristic method that can be used to solve ships routing and scheduling problems for each of these operations.

In particular, this paper put emphasis on a crude oil tanker scheduling problem. The problem is to achieve an optimal sequence of cargoes or an optimal schedule for each ship in a given fleet during a given period. Each cargo is characterized by its type, size, loading and discharging ports, loading and discharging dates, cost, and revenue.

Our approach is to enumerate all feasible candidate schedules for each ship, where a candidate schedule

\*정회원, 한국해양대학

\* 이 논문은 1989년도 문교부 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

specifies a set of cargoes that can be feasibly carried by a ship within the planning horizon, together with loading and discharging dates for each cargo in the set.

Provided that candidate schedules have been generated for each ship, the problem of choosing from these an optimal schedule for each ship is formulated as a set partitioning problem, a set packing problem, and an integer generalized network problem respectively.

We write the PASCAL programs for schedule generator and apply our approach to the crude oil tanker scheduling problem similar to a realistic system.

## I. 서 론

### 1. 문제의 제기

기업경영에 있어서 경영계획이란 시간적 차원에 따라 장기계획과 단기계획으로 구분되는 바, 장기계획이란 경영의 전략적 차원으로 자원의 획득에 관한 계획이고, 단기계획이란 전술적 측면으로 이용가능 자원의 운영에 관한 계획이다.

해운기업의 경영에 있어서 장기계획이란 선대의 규모 및 구성과 관련된 계획으로 해운경기의 예측, 물동량의 분석을 통한 신조선계획, 중고선 도입, 장기용선계약 등에 의한 자원의 획득 및 항만조건의 분석, 서비스 수준의 결정, 최적선박의 크기, 선속의 결정, 선박의 운항형태의 결정과 관련된 문제로 대체로 2년 이상의 기간에 영향을 미친다. 단기계획은 장기계획에 의해 획득한 자원을 어떻게 최적으로 운영하는가와 관련된 계획으로, 선박이 어떠한 항로에서 화물의 적화와 양하 완료하게 되는 한 항차(voyage)에 소요되는 시간, 대체로 1개월에서 3개월의 의사결정에 영향을 미치게 된다.

선박운항일정계획(ship scheduling)<sup>1)</sup>이란 시간적 차원에서 구분한 단기계획에 관련된 문제로 항만조건, 해상·기상조건 등을 고려하여 운항비용을 최소로 하거나 혹은 운항이익을 최대로 하면서 항구간의 화물을 여하히 수송할 것인가, 즉 적·양화항의 순서와 각 항구에 입·출항시간, 하역시간등의 결정에 관한 보다 세부적인 계획이다.

선박운항에서 일일 소요하는 비용이 막대한 만큼 최적 운항일정계획을 수립하는 문제는 해운기업의 경영에서 중요한 영역이다.<sup>2)</sup> 이러한 일정계

획을 경험에 전적으로 의존하여 수립하는 것보다 과학적인 방법에 의해 수립할 때 기업의 생산성은 보다 향상될 것이다.

제조공장에서의 일정계획, 차량의 일정계획문제나 선박의 운항일정계획문제는 현실적으로 대단히 복잡하다.<sup>3)</sup> 이러한 일정계획문제중에서도 선박운항일정계획문제가 보다 복잡한 이유는 다음과 같다.

첫째, 선박의 일정계획문제는 표준화된 차량의 일정문제에 비하여 보다 비구조적이다. 즉 같은 선종간에도 운항특성 및 비용구조가 상이하고, 해운시장의 급격한 변화에 의하여 동일한 두 선박간에도 아주 다른 비용구조가 있을 수 있다.

둘째, 해상의 상태와 항만조건 등으로 선박운항이 보다 불확실하다.

셋째, 항해기간이 길고 항해중 목적항이 변경될 수 있다.

제조기업의 일정계획이나 차량의 일정계획에 비하여 선박의 일정계획에 관한 연구는 미미한 상태이다. 그 이유는 부분적으로 문제의 복잡성이나 불확실성에 기인한다고 볼 수도 있다. 그러나 더욱 중요한 이유는 학자들의 관심밖의 영역으로 일괄되어 왔음에 있다.

Levy, Lvov 그리고 Lovetsky(1977)의 연구에 의하면 해상상태, 기관고장, 항만 폭주, 하역노동자의 파업 등의 예기치 못한 지연으로 계획기간이 4개월인 일정계획이 실제로 수행될 확률은 0.3에 불과하다고 한다. 한편 매시간의 선박운항비용이 높은 만큼 운항자가 여유시간을 충분히 두어 일정계획을 수립한다는 것도 바람직하지 못하다. 따라서 상황의 변화를 그때 그때 반영할 수 있는 신속성있는 일정계획의 수립이 더 필요하다고 하

겠다.

OR/MS의 여러 기법은 수송문제의 다양한 영역에서 효과적으로 적용되어 오고 있다. 본 연구에서는 이러한 OR/MS의 여러 기법이 여하이 선박운항일정계획문제를 해결하는데 적용가능한가를 시사하고, 아직 경험적 방법에 의존하는 선박운항문제에 OR/MS의 기법의 적용가능성을 제시하고자 한다.

## 2. 연구목적 및 연구방법

앞에서 제시한 바와 같이 선박운항일정문제는 장기계획의 틀 속에서 주어진 선대를 어떻게 최적으로 운영할 것인가에 초점을 두고 있다. 현실의 문제를 해결하기 위하여 문제를 분석하고 모형을 설정하여 적절한(효율적인) 해법을 개발하는 것도 중요하지만, 기존의 해법으로 문제를 해결할 수 있도록 현실의 문제를 어떻게 적절히 모형화할 것인가도 중요한 연구영역이다.

본 연구에서는 선박운항일정문제를 선박운항형태에 따라 그 특성을 살펴보고, OR/MS의 여러 기법으로 이 문제를 해결할 수 있도록 어떻게 모형화할 것인가, 그리고 문제의 특성에 따라 어떠한 해법이 효율적인가를 고찰하고 현실의 시스템을 토대로 한 예를 통하여 최적화 모형과 해법의 적용가능성을 제시하고자 한다.

선박의 운항형태를 정기선운항(liner operation), 부정기선운항(tramp operation), 화주직접운항(industrial operation)형태로 구분하고, 정기선운항에서의 일정문제를 혼합정수계획(mixed integer program), 휴리스틱스(heuristics), 시뮬레이션(simulation)의 적용가능성을 제시하고 유조선의 운항일정문제를 운항비용(operating cost)을 최소화 하는 집합분할문제(set partitioning problem)와, 운항이익을 최대로 하는 집합패킹문제(set packing problem)로 모형화하였다. 또한 일정계획문제를 정수 일반화 네트워크(integer generalized network)로 모형화할 수 있음을 제시한다.

산적화물선의 일정계획문제를 모형화하는 기본적인 사고는 각 선박에 대한 가능 스케줄(possible schedule)을 산출하고, 이러한 스케줄에서 운항조건에 따라 실현가능 스케줄(feasible schedule)만

을 대상으로 하여 운항비나 운항이익의 관점에서 각 선박에 대한 최적의 스케줄을 선택하는 것이다. 이러한 접근법을 이용하는 경우, 실현가능 스케줄의 수가 선박, 항구, 화물의 수가 증가함에 따라 증가하여 대단위 문제가 되어 계산시간이 막대하게 소요될 것 같다. 하지만 선박운항에서의 여러 복잡한 제약이 실현가능 스케줄을 감소시킬 수 있다는 이점으로 작용한다.

본 연구에서는 화주직접운항형태의 전형적인 예인 유조선운항일정문제를 중심으로 고찰하였고 부정기선운항의 일정문제는 다루지 않았으나 제시한 모형이나 해법을 수정하여 이러한 문제에도 적용가능하리라 본다.

## 3. 연구동향

선대의 구성, 배선(ship routing) 및 운항일정계획과 관련된 연구를 중·장기계획과 단기계획으로 구분하여 살펴보면 다음과 같다.

먼저 중·장기계획과 관련된 연구로 Dantzig와 Fulkerson(1954)은 적·양화항이 하나인 유조선운항에서 고정된 스케줄을 만족시킬 수 있는 유조선의 척수를 최소로 하는 선대구성의 문제를 고찰하였고, Coley, Farnsworth 등(1968)은 동질의 제품을 6선종의 50척의 선대로 비용최소화 관점에서 외국항에서 미국의 양화항까지의 수송문제를 수송계획으로 모형화하는 최적할당문제를 다루었다. Laderman, Gleiberman과 Egan(1966)은 이용 선박수를 최소로 하는 관점에서 배선문제를 선형계획모형으로 정식화하였다. Olson, Sorenson과 Sullivan(1969)은 미 서해안의 3지역의 항구와 하와이 간의 화물을 수송하는 정기선회사의 배선 및 일정계획문제를 시뮬레이션에 의해 해결하고자 했다. Nasland(1970)는 적·양화항이 다수인 북유럽 펄프시스템을 분석하여 총수송비를 최소로 하는 이용할 선종 및 배선문제를 고찰하였다. 그리고 Mathis(1972)는 적·양화항의 수요와 공급을 알고 환적을 허용하는 경우 수송시스템의 비용최소화의 관점에서 선대의 규모와 배선문제를 해결하기 위한 비선형정수계획모형을 제시했다.

다음으로 배선문제에 시간개념을 도입한 일정계획문제에 대한 연구로 McKay와 Hartley(1974)

는 적화항이 다수이고 석유제품의 수가 다수인 문제에서 운항비를 최소로 하는 혼합정수계획모형을 제시하고, 이를 선형계획법에 의해 구한 연속해를 정수해로 변환하는 근사해를 도출했다. Appelgren(1969, 1971)는 일정기간 동안 주어진 선대의 각 선박에 화물의 최적 수송순서를 결정하는 문제를 고찰하였다. 여기서는 각 화물의 양, 종류, 적·양하항, 적·양하시간, 그리고 각 선박의 초기상태를 알고 있는 경우, 단일의 적하항에서 다수의 양하항까지 화물수송에 의한 총공헌이익을 최대로 하는 일정계획모형을 제시했다. 그들은 단치히-울프의 분해기법(Dantzig-Wolfe decomposition)과 분지탐색법(branch-and-bound algorithm)을 결합하여 최적해를 도출하고자 했다. Ronen(1985)은 단일의 적하항에서 다수의 양하항까지 산적화물을 수송하는 한항차의 선박일정문제를 운항비의 최소관점에서 분석했다. 여기서 그는 이 문제 해결을 위해 경험적 방법과 최적해법 그리고 편의무작위해법(biased random algorithm)을 제시했다. Brown, Graves 그리고 Ronen(1987)은 중동지역에서 북미대서양에 이르는 원유수송 일정계획문제를 분석하고 이를 탄력적 집합분할문제(elastic set-partitioning problem)로 모형화했다. 이 연구에서는 선박이용으로 인한 기회비용, 항비와 운하통과비, 체선료 및 연료비를 고려하여 공선항해의 최적속력과 공선항해의 항로의 결정 그리고 항해용선을 고려한 일정문제를 고찰하였다. Fisher와 Rosenwein(1989)은 산적화물과 원유수송선의 일정문제를 공헌이익의 최대화 기준에 의해 집합패킹문제(set-packing problem)로 모형화하고 이를 쌍대해법(dual algorithm)으로 최적 스케줄을 고찰하고자 했다.

끝으로 배선문제에 대한 국내연구로 이중우, 양시권, 이철영(1981)의 “화물인도시기를 최우선으로 하는 배선문제”와 이철영, 최종화(1984)의 “선단구성을 위한 초기배선”을 들 수 있다.

## II. 선박 운항형태별 운항일정계획

### 1. 선박의 운항형태

해운기업의 선박운항형태로는 정기선 운항, 부

정기선 운항, 화주직접 운항형태가 있다. 수송수요의 발생형태에 따라 해운기업은 3형태중 어느 하나의 형태로 선박을 운항할 수 있고, 또한 여러 선종의 선박으로 3형태의 결합으로 선박을 운항할 수도 있다.

#### (1) 정기선 운항

정기선이란 미리 정해진 항로상에서 미리 결정된 스케줄에 따라 고정된 운임률로 화물을 수송하는 선박을 의미한다.

정기선 운항 항로상의 각 항구에서의 화물의 수요는 장기적으로 안정적이다. 그리고 한 항차에서 같은 항구를 두번 이상 입·출항하는 경우가 종종 있다. 이러한 정기선 운항의 또 다른 특징은 해운동맹을 들 수 있는데 동맹에 가입한 선사는 화물의 종류에 따라 정해진 운임률로 화물을 수송하게 되어 여기서의 주경쟁 요인은 운임이 아니라 서비스 수준이다. 동맹선사는 협약에 의해 수송량, 항해구역 등을 할당하여 과다한 서비스 경쟁도 제한하고 있으나, 서비스 수준의 향상과 여러 항로상에 최적의 선박할당문제는 생산성의 관점에서나 경쟁의 관점에서 대단히 중요하다.

정기선 항로에서의 서비스 수준은 화물의 안전성, 컨테이너 야드(CY)의 이용가능성, 서비스 빈도, 입·출항 날짜, 항구간의 항해시간, 서비스의 신뢰도에 의해 결정된다. 예를 들어 어떤 선사가 A항구에서 금요일에 출항하여 10일후 B항구에 입항하도록 하는 매주 서비스를 제공한다면, A항구를 화요일에 출항하여 같은 서비스를 제공하는 선사는 고속선을 투입하거나 항로상의 입·출항수를 줄여 항해시간을 단축해야 할 것이다.

#### (2) 부정기선 운항

부정기선 운항에서는 일정항로에 선박을 고정하여 운항하지 않고 화물이 있는 곳이면 어디에나 화물을 수송하게 된다. 부정기선 운항에서의 수송수요는 동시에 계속적으로 발생하지 않고 불규칙적인 시간간격을 두고 발생하므로 다수지역을 종합하여 볼 때 장소와 시기를 달리하는 개별적 수송수요를 결합하므로써 계속적 수요를 확보하게 된다. 따라서 부정기선 운항에서는 이용가능한 화물을 미리 알기란 어려워 수시로 항로를

변경하게 된다.

결국 부정기선 운항에서는 보다 불확실성이 높고 그만큼 운항계획도 복잡하게 된다.

(3) 화주직접운항

화주직접운항이란 화주가 선박을 보유하거나 정기용선계약 혹은 연속항해용선계약(consecutive voyage charter)에 의하여 그들이 필요로 하는 화물을 직접 수송하게 되는 운항형태이다. 유조선 운항의 대부분이 이 형태에 속한다. 대체로 수송 수요는 예측이 용이하고 안정적이며 단일 지역에서 단일 혹은 다수 지역으로 화물을 수송하는 형태를 취하고 있다. 이 운항형태에서는 화주가 필요로 하는 화물을 직접 수송하기 때문에 정기선 운항이나 부정기선 운항에서와 같이 공헌이익을 최대로 하기 보다 운항비용을 최소화 하고자 한다.

2. 운항일정계획시 고려해야 할 요인

선박의 운항일정계획시 고려해야 할 일반적인 사항을 열거하면 다음과 같다. 다음의 고려요인을 모두 고려하고 일정계획을 수립한다는 것은 대단히 어렵다. 그러나 선박의 운항형태나 조직의 상황에 따라 그 중요성은 다를 것이므로 고려해야 할 여러 요인 중 계량화가 가능한 요인과 통제가 가능한 요인외는 가정으로 현실의 문제를 보다 단순화해야 할 것이다.

(1) 운항형태

- 정기선 운항
- 부정기선 운항
- 화주직접운항

(2) 선박조건

- 선대규모
- 선박의 크기(길이, 폭, 흘수) 및 선종
- 하역설비
- 운하통과 여부
- 선박의 이용가능성(정기검사, 계선)
- 선속
- 선박의 초기위치

(3) 항만조건

- 항해가능 수심
- 하역설비

- 항구간의 거리
- 하역시간
- 선원의 교체 가능성
- 하역노동자의 파업
- 공휴일의 작업여부 및 작업시간
- 조수간만의 차
- 검역, 세관, 연료 및 운할유의 공급, 급수, 선식, 선용품의 공급

(4) 화물

- 화물의 종류
- 만선 혹은 부분적
- 용선가능 여부
- 인도시기
- 화물의 계절적 변동
- 환적 여부

(5) 해상, 기상 조건

- 악천후, 태풍으로 인한 지연
- 항해중 환자의 발생으로 인한 항로의 이탈
- 결빙

(6) 비용

- 고정비와 가변비의 고려 정도
- 항해용선료
- 선원비
- 연료비
- 운할유비
- 항비
- 운하통과료
- 체선료
- 유지비 및 수리비

(7) 의사결정 기준

- 비용 최소화
- 이익 최대화
- 서비스 수준
- 공선운항거리의 최소화
- 효용최대화
- 선대의 이용도(fleet utilization)

3. 정기선 운항일정계획

정기선 운항일정계획문제에서 의사결정기준으로 서비스 수준을 선정함이 바람직하다고 할 수 있으나 계량적 분석에서 서비스 수준은 추상적이

다. 따라서 대안으로 일정한 서비스 수준을 충족시키는 제약조건하에서 운항비의 최소나 운임 수입의 최대화기준을 채택할 수 있다. 다음의 몇몇 경우에서 정기선운항의 일정계획문제를 해결하기 위한 O.R.기법의 적용가능성을 제시하고자 한다.

(1) 혼합정수계획법에 의한 배선

선박의 크기에 따라 n선종의 선박으로 구성된 선대로 모항에서 m개의 항로(혹은 항구)에 서비스하는 경우, 주어진 선대, 각 항로의 수요, 선종별 운항비 및 항해시간, 하역시간 등이 주어진 경우, 일정한 서비스 수준을 유지하면서 운항비를 최소로 하는 각 항로(혹은 항구)에 선박을 할당하는 문제를 다음과 같이 혼합 정수계획문제로 모형화할 수 있다.

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m C_{ik}X_{ik} + \sum_{k=1}^m P_k X_{ok} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{k=1}^m t_{ik}X_{ik} \leq T \cdot N_i, \quad i=1, 2, \dots, n \\ & \text{(fleet capacity constraints)} \\ & \sum_{i=1}^n l_i X_{ik} + X_{ok} = D_k, \quad k=1, 2, \dots, m \\ & \text{(demand constraints)} \\ & \sum_{i=1}^n X_{ik} \geq f_k, \quad k=1, 2, \dots, m \\ & \text{(service frequency constraints)} \end{aligned}$$

- $X_{ik}$  : 정수, 선종 i의 선박이 항로 k에서 일정기간 T동안 왕복운항 회수( $i=1, \dots, n$ )
- $X_{ok}$  : 항로 k의 운송하지 못한 컨테이너의 수(TEU)
- $P_k$  : 항로 k의 화물을 수송하지 않을 경우, TEU당 기회비용
- $D_k$  : 항로 k에서의 일정기간 T동안의 수요(TEU)
- $C_{ik}$  : 선종 i의 선박이 k항로에 운항하는 경우의 운항비
- $l_i$  : 선종이 i인 선박의 최대수송능력(TEU)
- $t_{ik}$  : i선종의 선박이 k항로에서의 왕복운항시간
- T : 계획시간
- $f_k$  : 항로 k의 최소서비스빈도
- $N_i$  : i선종의 선박 수

1500TEU급 선박 2척, 850TEU급 선박 2척, 500

TEU급 선박 3척을 계획기간 2개월동안 다음의 조건하에서 각 항구(항로)에 할당하는 문제의 예를 제시한다.

$$c = \begin{bmatrix} 10,000 & 11,000 & 12,000 & 15,000 \\ 8,000 & 9,000 & 10,000 & 10,000 \\ 6,000 & 8,000 & 8,000 & 9,000 \end{bmatrix}$$

$$t = \begin{bmatrix} 10 & 15 & 15 & 30 \\ 8 & 10 & 10 & 15 \\ 6 & 6 & 8 & 15 \end{bmatrix}$$

$$D = (3,000, 6,000, 2,500, 3,500), \quad f = (4, 3, 3, 2)$$

$$p = (40, 50, 70)$$

$$l = (1,500, 850, 500)$$

$$\begin{aligned} \text{최적해} : X_{12} &= 4, X_{24} = 3, X_{31} = 6, X_{33} = 5, X_{04} \\ &= 100 \end{aligned}$$

(2) 휴리스틱 접근법에 의한 일정계획

정기선 운항에서는 일정한 서비스 수준을 제공하면서 운임수입을 최대로 하는 각 선박의 일정계획을 수립하는 것이 바람직하다. 하지만 서비스 수준을 결정하는 요인은 다양하며, 이런 서비스를 결정하는 여러 요인과 수입 및 효율적인 화물의 적부 등 다른 요인을 결합할 수 있는 수리적 공식은 산출하기란 어렵다.

Boffey, Edmond 등(1979)은 서비스 수준을 결정하는 몇몇 요인과 수익과의 합리적인 수리적 관계를 가정하고 효율적인 스케줄을 산출할 수 있는 휴리스틱 접근법을 제시했다.

1) 문제의 상황과 가정

- 동일한 신속, 크기의 n척으로 구성된 선대
- 한 항차에 같은 항구를 두번 방문하는 것이 허용되며, 첫 방문시는 양하만, 두번째 방문시는 적화만 한다고 가정
- 항구의 집합은 두분류로 각각 멀리 떨어져 위치하고 있다(east 항구의 집합, west 항구의 집합). 같은 분류의 항구간에는 화물의 이동이 없다.
- 고려하의 유일한 서비스 수준은 항구간의 화물을 수송하는데 소요되는 수송시간이다.
- 매주 서비스 제공

2) 문제 : 운임수입을 결정기준으로 하는 적절한 스케줄의 발견, 즉 방문해야 할 항구와 이들

간의 순서 및 각 항구에서의 입·출항시간

3) 입력 자료

- $Q_{ij}$  :  $i, j$ 항간의 화물의 수요,  $Q_{ij} \neq Q_{ji}$
- $T_{ij}$  : 허용가능한  $i, j$ 항간 수송시간
- $E_{ij}$  :  $t_{ij}(i, j$ 항간의 수송시간)가  $T_{ij}$ 를 초과한 경우의 화물감소량
- $r_{ij}$  : 운임 수입
- $d_{ij}$  : 항간의 거리

4) 해결차

단계 1: 임의의 실현가능 스케줄(east의 한 항구에서 west의 한 항구간의 항로를 초기 항로로 설정)에서 3)식을 이용하여  $(t_j - t_i)$ 를 계산한다.

단계 2: 목적함수  $\phi$ 를 최대로 하는  $x_{ij}$ 를 산출한다.

단계 3: greedy approach에 의해 어느 한쪽의 한 항구를 현 항로에 추가한다. 4)식을 만족하면 단계 1로 가고 아니면 단계 4로 간다.

단계 4: 각 스케줄중  $\phi$ 를 최대로 하는 스케줄을 선택한다.

이 문제의 실현가능 스케줄의 총 수는  $n \times m$ 이다. (단,  $n$ : east 항구수,  $m$ : west의 항구 수), 제약식의 수:  $n + m + 1$

$$\begin{aligned} \max \phi &= \sum_{i,j} r_{ij} x_{ij} \\ \text{s.t. } x_{ij} &\begin{cases} <= Q_{ij}, & \text{if } t_{ij} <= T_{ij} \\ <= Q_{ij} - E_{ij}(t_{ij} - T_{ij}), & \text{if } T_{ij} < t_{ij} \\ <= T_{ij} + Q_{ij} + Q_{ij}/E_{ij} \\ = 0, & \text{otherwise} \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

(cargo constraints)

$$\begin{aligned} \sum_{i \in H} x_{ij} + \sum_{i \in G_k} x_{ij} &<= C \quad \forall k \in G \\ j &\in \hat{G}_k, j \in H \\ \sum_{i \in G} x_{ij} + \sum_{i \in H_k} x_{ij} &<= C \quad \forall k \in H \\ i &\in G, i \in H_k \\ j &\in \bar{H}_k, j \in G \end{aligned} \quad (2)$$

(ship capacity constraints)

$$x_{ij} >= 0, \text{ integer}$$

$$\text{where, } t_{ij} = \begin{cases} t_j - t_i, & \text{if } t_j > t_i \\ t_j - t_i + N, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$C$  : ship size

$N$  : round trip time

$G \in E$ (east port),  $H \in W$ (west port)

$G_k$  : subset of ports in  $\{G\}$  before  $k$  and

$$\bar{G}_k = H - H_k$$

$H_k$  : subset of ports in  $\{H\}$  before  $k$  and

$$\bar{H}_k = H - H_k$$

$$t_j - t_i = d_{ij}/22 + 6 + \left\{ \sum_{k \in G} (x_{ik} + x_{ki}) \right\} / 30 <= N \quad (3)$$

$$t_n + d_{n1}/22 + 6 + \left\{ \sum_{k \in H} (x_{nk} + x_{kn}) \right\} / 30 <= N \quad (4)$$

(3) 시뮬레이션

Olson, Sorenson 그리고 Sullivan(1969)은 미서해안의 3항구와 하와이 항로에서 선박을 운항하고 있는 정기선사의 일정계획문제를 계획대상기간을 3개월로 설정하고 GPSS-III를 이용하여 시뮬레이션에 이를 해결하고자 했다. 여기서는 매달의 화물을 예측하고 선박의 초기상태를 입력하면, 항차별 이익, 서비스요구조건을 기초로 운항스케줄을 산출하게 된다. 그러나 이는 4항구지역의 어디에 특정 선박이 입·출항할 것인지를 명세할 뿐 세부적으로 각 항구의 어느 부두에 접안하고, 몇시 몇분 단위로 시간을 명시하지는 않는다. 따라서 이는 중기계획 모형이라 하겠다.

4. 부정기선의 일정계획

정기선운항이나 화주직접운항형태에 비해 부정기선운항의 일정계획에 대한 연구는 대단히 적다. 앞에서 살펴본 바와 같이 해운시장에서의 화물의 수요는 계절적이고 보다 불확실하다. 따라서 해운회사는 부정기 시장을 정기선 운항시장에 대한 2차적 시장으로 인식하는 경우가 많다.

부정기선운항일정문제에 대한 대표적인 연구로 Appelgren(1969, 1971)를 들 수 있다. 여기서는 일정기간동안 주어진 선대에서 각 선박의 화물수송의 최적순서를 결정하는 문제를 다루고 있다. 즉, 각 화물에 대한 요구조건, 즉 화물의 양, 형태, 적

화항, 양하항, 적·양하시간을 알고 있다고 가정하며, 각 선박의 운항특성, 초기상태, 계획기간동안 적화가능한 임의의 화물에 대한 매일의 기대한계수입을 알고 있는 경우 화물의 기대수입에서 운항비용을 차감한 이익을 최대로 하는 화물을 선대의 각 선박에 할당하는 정수계획문제로 모형화했다.

#### IV. 유조선의 운항일정계획

산적화물 특히 원유를 수송하는 선박의 운항형태는 대개 화주직접운항형태를 취하는 경우가 많으며 적화항과 양화항은 먼거리의 별개의 지역으로 구분되어 있으며 양하항간, 적화항간은 인접해 있고 주항시는 만선, 복항시는 공선운항을 하는 것이 일반적이다. 유조선과 같이 대형선을 운항하는 경우 만선시는 운하를 통과할 수 없는 경우, 공선항해의 항로는 운하를 통과하는 경우와 통과하지 않는 경우간의 상반효과를 일정계획의 의사결정시 고려해야 한다.

##### 1. 문제의 상황과 가정

다음 조건에 관한 사항은 알고 있다고 가정한다.

- 원유, 철광석, 석탄, 기타 산적화물을 수송하는 크기가 다른 선박으로 구성된 선대를 운영하며 이 선대는 자사선과 장기용선에 의한 선박으로 구성된다. 그러나 필요시 항해용선이 가능하다.
- 선박
  - 적화톤수, 최대홀수, 최대속력, 계획기간중 각 선박의 초기위치(항해중, 혹은 정박중), 계획기간중 선대의 이용가능성(정기검사나 기타조건에 의해 운항이 불가능)
- 항구
  - 다수의 적·양하항이 존재
  - 항구의 수심
  - 항간의 거리
  - 항내에서의 조선 및 접안시간

- 화물
  - 화물의 종류
  - 화물량
  - 적·양하항
  - 화물의 적·양하에 소요되는 시간
  - 적·양하시간상의 제약(각 화물의 가장 빠른 인도시간, 가장 늦은 인도시간)
- 비용
  - 항해용선료
  - 각 선박의 운항비(연료비, 유회유비, 항비, 도선료, 운하통과료 등)
  - 체선료

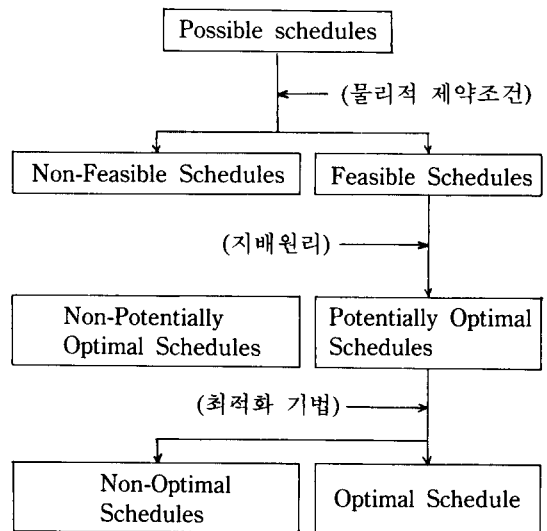
##### 2. 문제해결절차

1) 각 선박에 대한 계획기간동안의 실현가능 후보스케줄을 산출한다.

선박조건, 화물조건, 항구조건 등을 고려하여 각 선박에 대한 실현가능 스케줄을 산출하는 과정으로 다음의 3모델의 선행작업이다. 이 과정에서 현실의 여건을 고려하는 정도에 따라 모델의 현실 적용성은 달라진다.

2) 각 후보스케줄의 운항비용을 산출한다.

실현가능 후보스케줄이 산출되면 각 후보스케줄을 따라 어떤 선박이 일정한 속력으로 화물을



(그림 1) 일정문제의 해결절차



운송하는 경우의 운항비(최대화문제의 경우 운항 이익)를 산출한다. 여기서 선속과 운항비는 선형 관계에 있다고 가정한다.

3) 최적화 모델(집합분할모델, 혹은 집합패킹모델, 정수 일반화 네트워크 모형)에 의해 최적 스케줄을 선택한다.

각 선박의 실현가능 후보스케줄과 같이 스케줄의 비용의 계산절차가 끝나면 최적화 모형을 적용하여 다수의 대안에서 최적의 대안을 선택한다.

선박일정계획문제를 해결하기 위한 기본적인 개념은 (그림 1)과 같다.

### 3. 최적화 모형

여기서는 실현가능 후보스케줄에서 최적의 스케줄을 선택하기 위한 3모형을 제시하고자 한다.

#### 1) 집합분할모형

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{k=1}^K \sum_{j \in S_k} c_{jk} y_{jk} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j \in S_k} y_{jk} = 1, k = 1, \dots, K \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^K \sum_{j \in S_k} a_{ijk} y_{jk} &= 1, i = 1, \dots, n \quad (2) \\ y_{jk} &= 0, 1, j \in S_k, k = 1, \dots, K \end{aligned}$$

모형에서 사용한 기호에 대하여는 아래에서 설명하기로 하고 먼저 각 식의 의미를 살펴보면 다음과 같다.

목적함수는 각 선박의 스케줄에 의한 비용을 최소화하고자 한다. 다음으로 제약식을 살펴보면, 제약식 (1)은 계획대상기간동안 각 선박에 대해 정확히 하나의 스케줄만 선택하도록 보증한다. 여기서 계선이나 용선(spot charter)을 고려하기 위해서는 각각의 경우를 후보스케줄로 고려해야 한다. 제약식 (2)에서는 모든 화물수요의 충족을 보증한다.

#### 2) 집합패킹모형

$$\begin{aligned} \max Z &= \sum_{k=1}^K \sum_{j \in S_k} P_{jk} y_{jk} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j \in S_k} y_{jk} \leq 1, k = 1, \dots, K \end{aligned} \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j \in S_k} a_{ijk} y_{jk} \leq 1, i = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$y_{jk} = 0, 1, j \in S_k, k = 1, \dots, K$$

집합패킹문제에서는 각 선박의 스케줄에 의한 운항공헌이익을 최대화하고자 한다. 제약식 (1)에서는 각선박에 많아야 하나의 스케줄 할당을 보증한다. 여기서 선박 k에 관한 모든 후보스케줄이 0의 값을 갖는다는 것은 그 선박이 이용불가능 상태에 있다는 것을 의미한다. 또 제약식 (2)에서는 각 화물은 많아야 한척의 선박에 의해 운송되는 것을 보증한다. 제약식 (2)에서 화물 i에 해당하는 좌편식이 0의 값을 갖는다는 것은 그 화물 i는 용선하여 운송한다는 것을 의미한다.

집합분할문제와 집합패킹문제에서 사용한 기호를 설명하면 다음과 같다.

$y_{jk}$  : k선박을 실현가능 후보스케줄 j에 할당하는 경우는 1의 값을 갖고, 아니면 0의 값을 갖는 이진변수.

$S_k$  : k선박의 후보스케줄집합, 집합분할문제에서 k선박의 실현가능 후보스케줄  $S_k$ 에 선박을 계선하는 경우나 용선이 가능한 화물에 대해서는 각각에 대하여 하나의 후보스케줄로  $S_k$ (각 선박에 의해 운송가능한 화물의 집합)에 포함시킨다. 즉 k선박은 어떤 항로에서 화물을 수송하거나 계선하게 된다. 선박이 운항불가능하거나 계선하는 경우 수요를 충족시키지 못한 화물은 항해용선(spot charter)에 의해 수송한다.

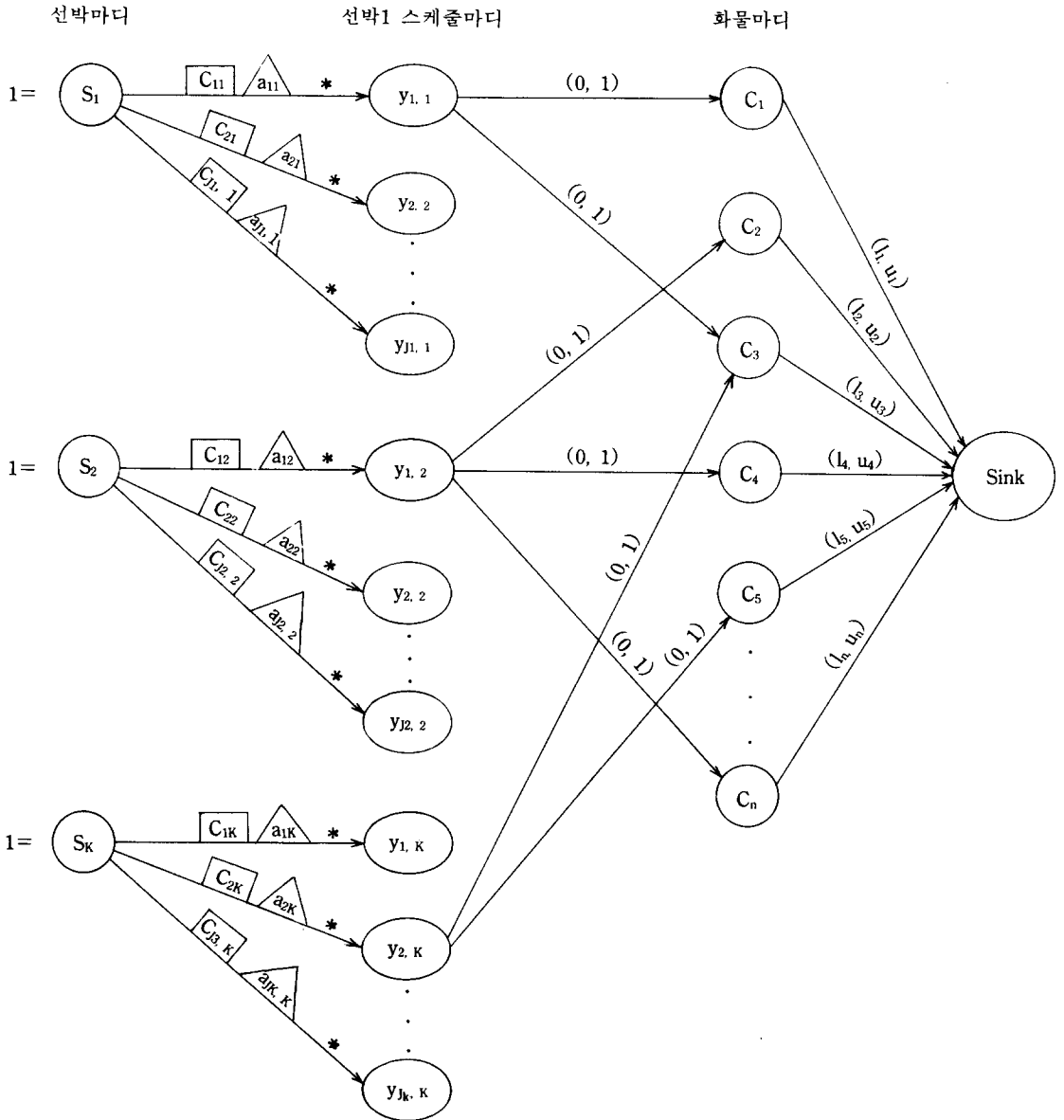
$c_{jk}$  : k선박이 후보스케줄 j를 선택하는 경우의 운항비, 단 집합분할문제에서 후보스케줄이 계선과 용선을 고려하는 경우,  $c_{jk}$ 는 매일의 선박기획비용+항비+운항유비 등이다. 이는 항해용선한 선박의 용선료와 같다. 또한 비용최소화에서 만선인 경우보다 부분적인 경우가 비용이 적으므로 deadweight cargo에 대한 기획비용을 고려하면 항상 만선운항이라 가정하지 않아도 된다.

$a_{ijk}$  : k선박을 후보스케줄 j에 할당하는 경우, j스케줄에 의해 i화물을 수송하는 경우 1의 값을, 그러하지 않는 경우는 0의 값을 갖는

매개변수

$P_{jk}$  : k선박을 후보스케줄 j에 할당하는 경우의 공헌이익, 즉 용선에 의해 후보스케줄의 화물을 운송하는 경우 용선료(total spot char-

ter rate)에서 선박 k의 스케줄에 의한 운항비를 공제한 이익으로 다음식에 의해 산출한다.  $P_{jk} = \sum a_{ijk} \cdot c_i - c_{jk}$  단,  $c_i$ 는 i화물의 운임.



(그림 2) 선박일정계획문제의 정수 일반화 네트워크

3) 정수 일반화 네트워크 모형

정수 일반화 네트워크에서의 각 마디(node)는 선형계획문제의 제약식에 상응하고 호(arc)는 의사결정변수에 해당한다.

(그림 2)에서 첫 번째 선박,  $S_1$ 의 후보스케줄의 수는  $J_1$ 개이고, 후보스케줄  $y_{1i}$ 선택시 발생하는 운항비는  $c_{1i}$ 이다. 선박마디에서 스케줄마디로의 흐름은 0이거나 1이다. 그리고 승수(multiplier)  $a_{1i}$ 은 선박  $S_1$ 이 스케줄  $y_{1i}$ 을 선택하게 되는 경우 운송하는 화물의 수이다.

선박마디에서 스케줄마디에 이르는 호상의 \*는 그 흐름의 양이 항상 정수라는 것을 의미한다. 선박  $S_1$ 의 스케줄이  $y_{1i}$ 인 경우, 선박  $S_1$ 으로 화물  $C_1$ 과  $C_2$ 를 운송한다. 화물마디에서 sink마디에 이르는 호상의  $l_u, u_u$ 는 최소수송 요구량과 최대수송 요구량을 의미한다.

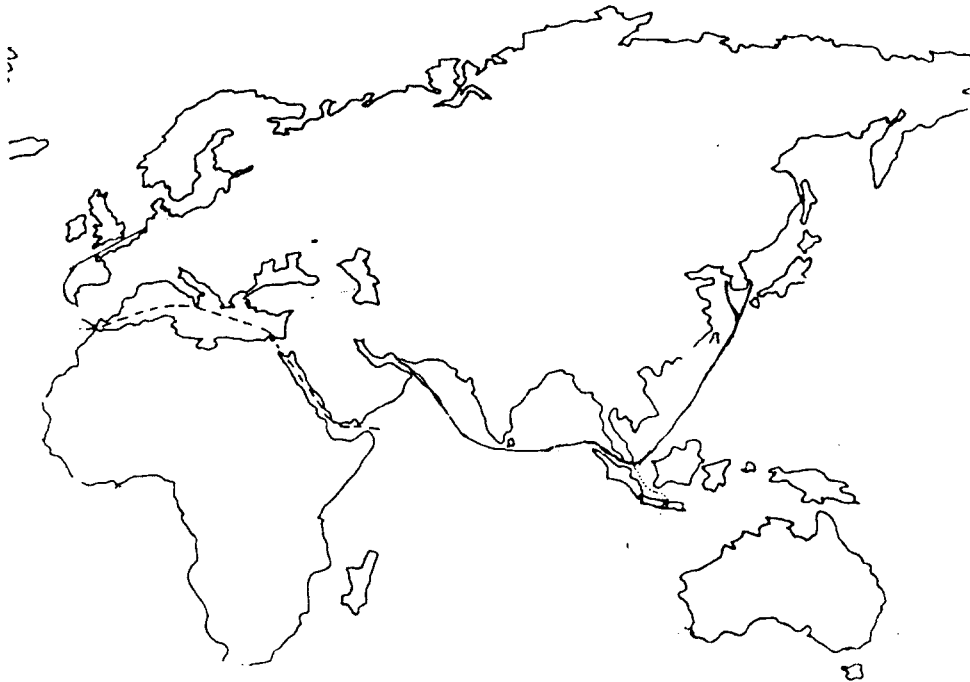
IV. 일정계획모형의 적용예

1. 문제

모 유조선운항선사는 Persian Gulf에서 원유(crude oil)를 적재하여 한국의 남·동해안의 항구에 수송하는 전형적인 화주직접운항형태(industrial carrier)로 선박을 운항하고 있다. 이 회사는 중량톤수 200,000~250,000L/T급 선박 2척을 보유하고 Persian Gulf의 7~13개 항구에서 한국의 2~3개 항구에 원유를 수송하는바, 화물의 수요는 대체로 안정적이다.<sup>4)</sup>

각 선박의 특성과 초기위치, 1990년 3월 1일 현재 집화한 화물과 각 항구에 대한 명세는 다음의 (표 1), (표 2), (표 3), (표 4)와 같다. 그리고 각 선박의 각 항구에서의 하역시간은 약 5,000L.T/hour이나 선박1에 비하여 선박2는 하역시간이 약간 지체된다.

일정계획을 위한 계획대상기간은 각 선박이 한 항차에 소요하는 기간인 2개월로 한다.



(그림 3)



(표 1) 선박특성

선 명	중량톤수	최대흘수	최대속력 (MCR)	서비스속력 (NCR)
선박 1	240,000	19.8m	15.5knots	14.5knots
선박 2	220,000	18.8m	14.5,knots	13.5knots

(표 2) 화물자료

화물명	적화항	양하항	가장 늦은 적화시간	가장 늦은 양하시간	화물량(L/T)
C <sub>1</sub>	LP <sub>1</sub>	DP <sub>1</sub>	3월19일	4월13일	30,000
C <sub>2</sub>	LP <sub>2</sub>	〃	3월29일	4월21일	70,000
C <sub>3</sub>	LP <sub>3</sub>	〃	〃	〃	75,000
C <sub>4</sub>	LP <sub>4</sub>	〃	〃	〃	90,000
C <sub>5</sub>	LP <sub>5</sub>	〃	〃	〃	75,000
C <sub>6</sub>	LP <sub>6</sub>	〃	〃	〃	70,000
C <sub>7</sub>	LP <sub>7</sub>	〃	〃	〃	50,000

(표 3) 항구자료

항구명	흘수제한(m)	하역시간
LP <sub>1</sub>	17.0	제한없음
2	10.9	〃
3	11.5	〃
4	제한없음	〃
5	〃	〃
6	〃	〃
7	〃	〃

(표 4) 항구간 거리행렬(대칭행렬, 단위 : nautical mile)

	2	3	4	4	5	7	DP1
LP1	180	360	380	430	580	650	5800
2		70	180	300	430	540	5980
3			50	180	330	360	6160
4				140	250	350	6168
5					150	180	6230
6						65	6380
7							6450

선박운항과 관련된 총비용은 선비와 운항비로 대별할 수 있다. 선비는 직접선비와 간접선비로

구분하며, 직접선비란 선박을 운항가능한 상태로 유지하는데 소요되는 비용이고 간접선비란 선박을 보유하는데 드는 비용이다. 전자에 해당하는 비용으로는 선원비, 선용품비, 수리비, 일반관리비 등이 있고 후자에 해당하는 비용으로는 설비이자, 선박보험료, 선박세, 선가감각상각비 등이 있다. 운항비란 선박의 운항상태에 따라 가변하는 비용으로 화물비, 항비, 연료비, 중개수수료, 운항대리점비, 조출료 등이다.

선박운항일정계획을 수립할 때는 선사의 통제 하에 선박과 관련된 운항비와 용선계약(spot charter)의 경우와 관련한 용선료(spot chartering rate)가 중요한 고려요인이다. 여기서 용선이란 특정 화물 1을 특정한 비용  $c_1$ 로 운송하고자 하는 계약을 이른다. 용선료나 운항비는 선박의 운항 형태에 따라 직접적으로 가변하는 비용으로 최적의 운항일정계획을 탐색하는데 기초가 된다. 선박유지비나 수리비, 감가상각비, 정기용선료 등의 선비는 특정 화물의 운송과 관련하여 직접적으로 발생하는 비용이 아니라는 점에서 운항일정계획의 의사결정기준에 포함시키지 않는다. 즉, 선박을 사용하지 않을 때도 이러한 비용은 발생하고 있다고 볼 수 있다. 그러나 선비의 일부가 선박을 운항함에 따라 비례적으로 증가하는 부분은 어느 정도 의사결정시 비용으로 포함시켜야 한다.

본 문제에서는 선박과 항구에 따라 변화하는 항비(정박료, 예선료, 도선료, 기타), 선박만의 함수인 연료비(F.O., M.D.O), 운항료비 등의 중요한 비용만 고려했다.

## 2. 실현가능스케줄의 산출

어떤 선박이 초기에 화물을 운송중에 있거나, 공선으로 항해중에 있거나, 적·양하항에서 화물을 하역중에 있거나 혹은 정기검사중에 있든 초기상태가 명시되고 화물의 수요가 결정되는 즉시 각 선박의 실현가능 스케줄을 산출할 수 있다.

운송화물의 수를  $n$ 이라 하고 선박의 수송능력에 제한을 받지 않는다면(운송시기, 운송해야 할 적·양하항, 화물의 유형이 다른 화물은 각각의 화물로 간주한다.), 어떤 선박의 가능스케줄(possible schedule)의 수는  $n + n(n-1) + n(n-1)(n-2)$

집합분할문제, 집합패킹문제, 정수 일반화 네트워크문제는 정수계획문제의 특수한 형태이므로 정수계획문제의 일반적인 해법보다 효율적인 해법이 존재한다[V.A. Marsten, 1974, M.L. Fisher, M.B. & Rosenwein, 1989, G.G. Brown, G.W. Graves & D. Ronen, 1987, F. Glover, J. Hultz, D. Klingman & J.Stutz, 1978].

집합분할문제의 문제점은 퇴화의 해가 발생한다는 점이다. 최소 수의 스케줄로 해를 도출하는 경우 원문제에서 퇴화의 해가 발생할 가능성이 높고, 또한 문제의 비용구조에 따라 쌍대문제에서도 퇴화의 해가 발생한다[G.G. Brown, G.W. Graves & D. Ronen, 1987]. 일정계획문제를 집합분할문제로 모형화함에 있어 계선의 경우나 용선의 경우를 고려하기 위해 각각을 후보스케줄로 고려해야 한다. 따라서 후보스케줄의 수는 집합패킹문제나 정수 일반화 네트워크에 비해 증가한다.

집합패킹문제는 공헌이익을 최대로 하는 최대화문제이지만 결국은 운항비용, 즉  $\sum C_i - Z$ (여기서  $C_i$ 는  $i$ 화물의 운임,  $Z$ 는 각 선박이 어떤 스케줄을 따라 운항하는 경우의 공헌이익)를 최소로 하는 최소화문제이다(M.L. Fisher & M.B. Rosenwein, 1989).

본 문제에서의 운항형태는 화주직접운항형태이므로 운임수입보다는 운항비용을 최소화가 중요하다. 관점에서 본다면 집합패킹문제에서는 운임수입을 추정해야 한다는 번거로움이 따른다. 그러나 이 문제에서는 유조선이외의 산적화물선이나 부정기선의 운항일정문제에도 쉽게 확장이 가능하다는 신축성이 있다.

본 문제에 대한 정수 일반화 네트워크(그림 4)와 같다.

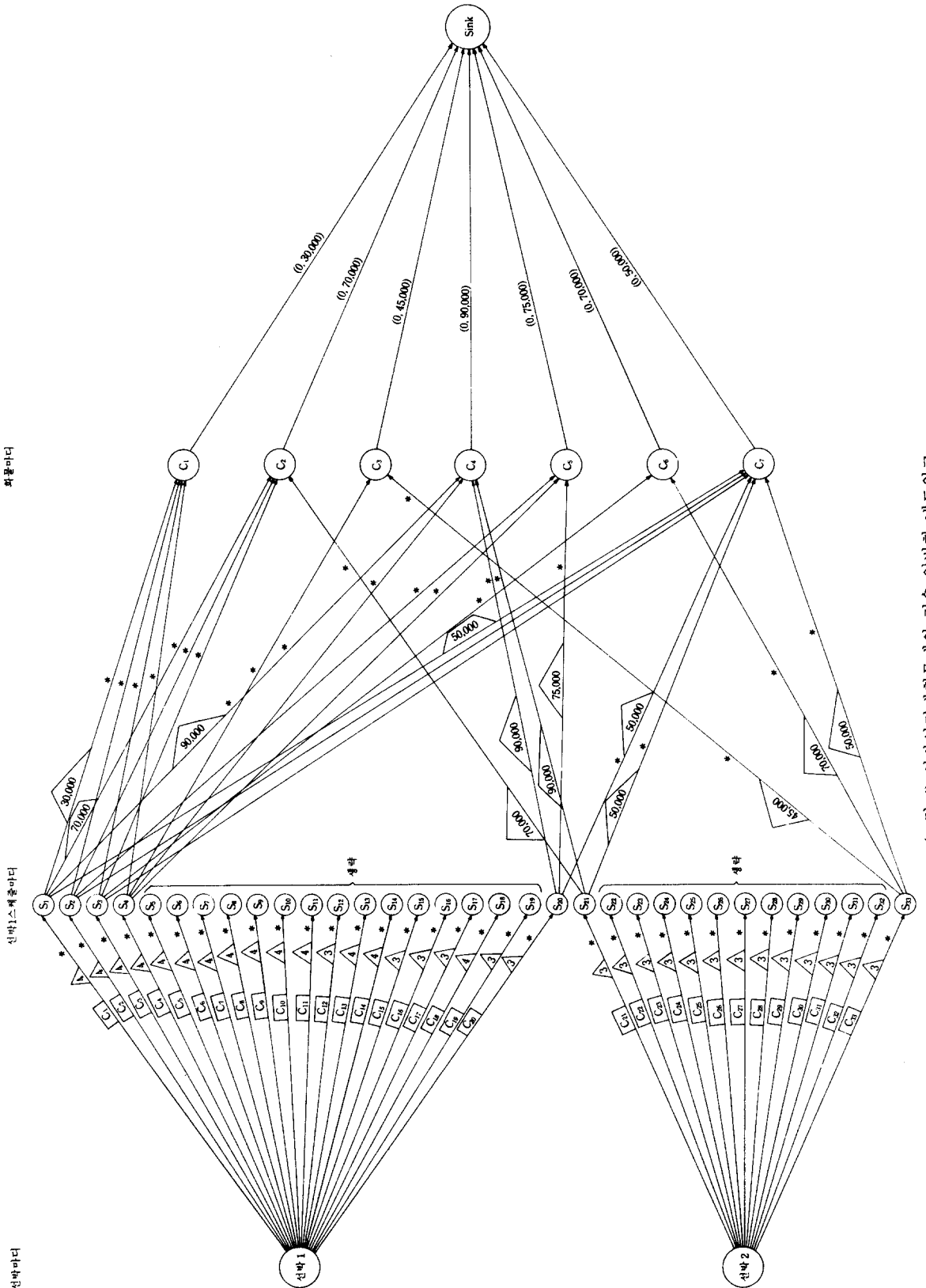
이진변수(후보스케줄)가 10개, 제약식이 8개인 정수계획문제를 정수일반화 네트워크문제로 모형

화하는 경우 변수(이진변수와 연속변수)가 37개, 제약식이 25개로 증가했다. 또 본 문제에서의 이진변수가 33개, 제약식이 9개인 정수계획문제를 정수 일반화 네트워크로 모형화할 때, 이진변수가 153개, 제약식이 42로 증가했다.

Glover와 Hultz 등 (1978)은 공군조정사의 훈련 일정계획의 문제를 정수 일반화 네트워크로 모형화했는데 460개의 이진변수, 520개의 제약식을 가진 정수계획문제가 정수 일반화 네트워크에서는 이진변수 460개, 연속변수 2,200개, 그리고 마디가 780개로 증가했다. 그러나 그들은 이러한 대단위문제도 특수한 해법으로 CDC 6600 컴퓨터에서 30초내에 최적해를 도출할 수 있음을 고찰한 바 있다. 정수 일반화 네트워크에서는 문제의 규모가 증가하나 효율적인 해법이 존재하여 문제의 해결상 별 어려움이 없다.

정수 일반화 네트워크에서는 (그림 4)에서 알 수 있는 바와 같이 각 선박이 단일 화물을 일부만 수송하는 것을 허용할 수 있다. 예를 들어  $C_4$ 의 화물 90,000L/T을 선박 1과 선박 2에 의해 나누어 수송하는 경우도 고려할 수 있다. (그림 4)에서 선박/스케줄 마디에서 화물마디에 이르는 호상의 승수와 화물마디에서 sink마디로 향하는 승수를 1로 하는 경우 이진변수만 도출된다.

본 문제의 경우 집합분할문제와 집합패킹문제는 변수가 33개, 제약식이 9개이고, 정수 일반화 네트워크는 변수 153개, 제약식이 42개이므로 각각의 특수한 해법을 사용하지 않고 일반적인 (0-1) 정수계획문제를 해결하기 위한 분지탐색법(branch and bound)을 이용한 LINDO패키지[Scrage, 1980]를 이용하여 최적해를 도출했다. 즉 선박 1의 화물순서쌍의 집합은 {1, 2, 6, 7}이고 선박 2의 화물순서쌍의 집합은 {3, 4, 5}이다. 이러한 선박별 방문해야 할 항구의 순서 혹은 화물의 순서가 주어지면 일정표는 쉽게 작성할 수가 있다.



(그림 4) 선박일정계획문제에의 정수 일반화 네트워크

## V. 결 론

본 연구에서는 선박의 운항일정계획문제를 선박의 운항형태에 따라 어떠한 OR/MS의 기법이 적용 가능한가를 살펴보고 유조선운항일정문제를 집합분할문제, 집합패킹문제, 일반화 정수 네트워크문제로 모형화할 수 있음을 제시했다. 그리고 Y해운회사의 현실 시스템을 바탕으로 화주직접운항형태로 원유를 수송하는 문제의 예를 통하여 실현가능스케줄을 산출할 수 있는 Pascal 프로그램을 작성하고 3개의 최적화 모형으로 최적해를 도출했다.

현실의 선박일정문제를 수리계획문제로 모형화하여 최적해를 도출함에 있어서 그 효율성은 현실문제를 얼마나 신속성있게 반영하는가, 그리고 문제에 대한 해법의 효율성 측면을 고찰하여야 한다. 본 연구에서는 해법의 측면보다는 선박일정문제를 어떻게 모형화할 것인가에 초점을 두었다.

현실의 대단위 문제를 집합분할문제로 모형화하여 최적해를 도출한 예로는 항공기 일정계획문제, 트럭 배정문제, 선거구결정문제, 정보검색문제 등을 들 수 있다. 변수의 수가 7,000개이고 제약식이 60개인 집합분할문제를 CDC 6600에서 CPU 시간으로 40분내에 최적해를 도출한 예가 있다. 그러나 현존하는 해법으로 제약식이 400개, 변수가 30,000개 이상인 문제는 해결이 불가능하다.

Brown, Graves, 그리고 Ronen(1987)는 유조선 일정문제를 집합분할문제로 모형화하고 최적해를 도출하는 과정에서 많은 퇴화의 해가 도출됨을 발견한 바 있다. 따라서 그들은 집합분할문제를 수정한 탄력적 집합분할문제를 X-System에 의해 성공적으로 최적해를 도출했다.

Fisher와 Rosenwein(1989)은 산적화물선의 일정문제를 집합패킹문제로 모형화하고 쌍대알고리즘으로 최적해를 도출한 바 있다. 그들에 의하면 변수의 수가 10,000(후보스케줄의 수가 10,000)인 문제의 해를 성공적으로 도출할 수 있다.

본 연구의 수치에서 알 수 있는 바와 같이 이진변수의 수가 33개, 제약식이 9개인 집합분할문제나 집합패킹문제의 일정문제를 정수 일반화 네

트워크문제로 모형화하면 변수의 수가 153개, 제약식이 42개로 증가했다. 그러나 선박의 일정문제를 집합분할문제나 집합패킹문제로 모형화하는 것보다 일반화 정수 네트워크 문제로 모형화하는 경우 현실의 복잡성을 보다 신속성있게 반영할 수 있다. 또한 Glover와 Hultz 그리고 Stutz(1978)에 의하면 변수의 수(호)가 2,660개이고 제약식(마디)이 780개인 문제도 CDC 6600에서 30초내에 최적해를 도출할 수 있다.

따라서 3개의 모형중 그 어느 경우도 현실의 대단위 일정계획문제에 적절히 적용 가능함을 알 수 있다.

그러나 상기 모형의 어느 것도 먼저 실현가능 후보스케줄을 산출해야 한다. 따라서 문제의 상황에 따라 적절한 후보스케줄을 어떻게 산출하느냐에 따라 현실의 복잡성을 반영하는 정도가 다르고 문제의 크기도 달라진다. 이러한 후보스케줄의 산출을 위해 현실의 복잡한 조건을 보다 세부적으로 고려하는 컴퓨터프로그램의 개발이 현실적인 일정계획의 신속성을 보증하는데 중요하다.

앞으로 선박일정계획문제에서 더 연구해야 할 분야는 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서 제시한 일정계획모형을 바탕으로 한 의사결정지원시스템(Decision Support System : DSS)의 구축, 즉 현실의 시스템에 본 연구에서 제시한 모형을 유용하게 사용하기 위해서는 데이터베이스와 최적화모형을 통합하여 필요시 컴퓨터와 대화를 통해 즉시 최적의 스케줄을 탐색할 수 있는 DSS를 구축하는 것이다.

둘째, 본 연구에서 제시한 최적화모형을 적용하기 위한 전제단계로 실현가능 후보스케줄의 산출이 필요한데, 현실의 복잡한 시스템을 보다 세부적으로 반영할 수 있는 후보스케줄의 탐색에 관한 연구이다.

셋째, 선박일정계획문제의 특수성을 고려한 보다 효율적인 해법에 대한 연구이다. 비록 본 연구에서 일정계획문제에서 최적의 스케줄을 산출하기 위한 정수계획법의 특수한 해법이 존재함을 제시한 바 있지만, 선박일정계획의 문제는 보다 불확실성이 크므로 시뮬레이션이나 휴리스틱에



의해 해를 도출하는 것이 현실적으로 보다 유용할 수 있다.

넷째, 선박의 속력과 일정문제를 동시에 고려할 수 있는 모형과 해법에 대한 연구이다.

### 참고문헌

- 민성규, 해운경제학, 한국해양대학, 1973.
- 이중우, 양시권, 이철영, “화물의 인도시기를 최우선으로 하는 배선문제”, 한국항해학회지, 제5권 제1호, 1981, pp. 1~24.
- 이철영, 최종화, “선단구성을 위한 초기배선”, 한국항해학회지, 제8권 제1호, 1984, pp. 1~16.
- Appelgren, L., “A Column Generation Algorithm for a Ship Scheduling Program”, *Transportation Science*, 3, 53~68.
- Appelgren, L., “Integer Programming Methods for a Vessel Scheduling Program”, *Transportation Science*, Vol. 5, 64~78(1971).
- Bell, W.J., Dalberto, L.M., Fisher, M.L., Greenfield, A.J., Jaikumar, R., Kedia, P., etc. “Improving the Distribution of Industrial Gases with an Online Computerized Routing and Scheduling Optimizer”, *Interfaces*, 1983.
- Bellmore, M., Bennington, G., and Lubore, S. “A Maximum Utility Solution to a Vehicle Constrained Tanker Scheduling Problem”, *Naval Research Logistics Quarterly*, 15, 403~411(1968).
- Bellmore, M., Bennington, G., and Lubore, S., “A Multi-Vehicle Tanker Scheduling Problem”, *Transportation Science*, 5, 36~47(1971).
- Boffey, T.B., Edmond, E.D., Hinxman, A.I., and Pursglove, C.J., “Two Approaches to Scheduling Container Ships with an Application to the North Atlantic Rout”, *Journal of the Operational Society*, 30, 413~425(1979).
- Branch, A.E., *Economics of Shipping Practice and Management*, Chapman and Hall, 1988.
- Briskin, L.E., “Selecting Delivery Dates in the Tanker Scheduling Problem”, *Management Science*, 12B, 224~233(1966).
- Brown, G.B., Graves G.W. and Ronen, D., “Scheduling Ocean Transportation of Crude Oil”, *Management Science*, 33, 335~346(1987).
- Carfinkel, R.S. and G.L. Nemhauser, “The Set Partitioning Problem : Set Covering with Equality Constraints” *Operations Research*, 17, 848~856(1969).
- Christofides, N. and S.M. Korman, “A Computational Survey of Methods for the Set Covering Problem”, *Management Science*, 21, 591~599(1975).
- Cullen, F.H., Jarvis, J.J., and Ratliff, H.D., “Set Partitioning Based Heuristics for Interactive Routing”, *Networks*, 11, 125~143(1981).
- Dantzig, G.B. and Fulkerson, D.R., “Minimizing the Number of Tankers to Meet a Fixed Schedule”, *Naval Research Logistics Quarterly*, 1, 217~222(1954).
- Dantzig, G.B., W.O. Blattner and M.R. Rao, “Finding a Cycle in a Graph with Minimum Cost to Time Ratio with Application to a Ship Routing Problem”, in *Theory of Graphs*, P. Rosenstiehl(Ed.), Gordon and Breach, N.Y., 1967.
- Fisher, M.L. and Kedia, P., “Optimal Solution of Set Covering/Set Partitioning Problems Using Dual Heuristics”, Decision Sciences Working Paper No. 86-06-04, 1988.
- Fisher, M.L. and M.B. Rosenwein, “An Optimization System for Bulk-Cargo Ship Scheduling”, *Naval Research Logistics*, 36, 27~42 (1989).
- Fisher, M.L., Greenfield, A.J., Jaikumar, R., and Kedia, P., “Real-Time Scheduling of Bulk Delivery Fleet : Practical Application of Lagrangian Relaxation”, Decision Sciences Working Paper No. 82-10-11, 1982.
- Foldd, M.F., “Application of Transportation Theory to Scheduling a Military Tanker Fleet”,

- Operations Research*, 2, 150~162(1954).
- Foster, B.A. and D.M. Ryan, "An Integer Programming Approach to the Vehicle Scheduling Problem", *Operations Research Quarterly*, 27, 367~384(1976).
- Glover, F., J. Hultz, D. Kingman and J. Stutz, "Generalized Networks : A Fundamental Computer-Based Planning Tool", *MS*, Vol. 24, No. 12(1978), pp. 1209~1219.
- Laderman, J., Gleiberman, L., and Egan, J.F., "Vessel Allocation by Linear Programming", *Naval Research Logistics Quarterly*, 13, 315~320(1966).
- Laderman, J., L. Gleiberman and J.F. Egan, "Vessel Allocation by Linear Programming", *Naval Research Logistics Quarterly*, 13, 315-320 (1966).
- Levy, V.D., S.P. Lvov, and S.E. Lovetsky, "Man-Machine System for Merchant Fleet Operational Scheduling", Proceedings 7th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, Koyte, 1977.
- Mabert, V.A., and C.D. Whybark, "Sampling as a Solution Methodology", *Decision Sciences*, 167~179(1977).
- Marsten, R.E., "An Algorithm for Large Set Partitioning Problems", *Management Sciences*, 20, 774~787(1974).
- Marsten, R.F. and Shepardson, F., "Exact Solutions of Crew Scheduling Problems using the Set Partitioning Model : Recent Successful Applications", *Networks*, 11(2), 165~177(1981).
- McKay, M.D. and Hartley, H.O., "Computerized Scheduling of Seagoing Tankers", *Naval Research Logistics Quarterly*, 21, 255~264(1974).
- Nemhauser, G.L. and Yu, P.L., "A Problem in Bulk Service Scheduling", *Operations Research*, 20, 813~819(1972).
- Olson, C.A., Sorenson, E.E., and Sullivan, W.J., "Medium Range Scheduling for Freighter Fleet", *Operations Research*, 17, 565~582(1969).
- Port Tariff Korea 1989, Korea Shipping Agencies Association.
- Rao, M.R. and S. Zionts, "Allocation of Transportation Units to Alternative Trips-A Column Generation Scheme with Out-of-Kilter Subproblems", *Operations Research*, 16, 52~63 (1968).
- Ronen, D., "Cargo Ships Routing and Scheduling Survey of Methods and Problems", *European Journal of Operations Research*, 12, 119~126(1983).
- Ronen, D., "Scheduling of Vessels Shipment of Bulk and Semi-bulk Commodities Originating in a Single Area", *Operations Research*, 34, 164~173(1986).
- Stout, K.L. and Douglas, B.W., "A Model-Based Decision Support System for Planning and Scheduling Ocean-Borne Transportation", *Interfaces*, 11(4), 1-10(1981).