

경영학석사 학위논문

두 개 이상의 선적항만을 고려한  
부정기선 운항일정계획에 관한 연구

(A Study on Bulk-Cargo Ship Scheduling Model  
with Multi-Loading Ports)

지도교수      조    성    철

2004년 8월

한국해양대학교 대학원

해운경영학과

탁    지    영

本 論文을 탁지영의 經營學碩士 學位論文으로 認准함.

위원장 김 시 화 인

위 원 장 명 희 인

위 원 조 성 철 인

2004년 7월

한국해양대학교 대학원

해운경영학과

탁 지 영

# 목 차

Abstract .....	IV
제 1 장 서론 .....	1
제 1 절 연구필요성과 목적 .....	1
제 2 절 연구내용 및 방법 .....	2
제 2 장 부정기선 해운의 현황 .....	4
제 1 절 부정기선 해운의 특징 .....	4
1.1 개념과 특징 .....	4
1.2 화물의 종류 .....	6
1.3 해운비용 .....	8
제 2 절 부정기선 해운의 현황 .....	10
2.1 주요 살화물의 해상물동량 추이 .....	10
2.2 주요화물의 흐름 .....	11
제 3 장 이론적 배경 .....	16
제 1 절 선형계획법 .....	16
제 2 절 정수계획법 .....	18
제 4 장 선행연구 .....	20
제 1 절 부정기선 운항에 관한 선행연구 .....	20
1.1 선행연구 .....	20
1.2 Ronen 의 모형 .....	21
1.3 Cho & Perakis 의 수정모형 .....	23

제 5 장 모형개발 .....	25
제 1 절 모형의 개요 .....	25
1.1 모형의 가정 .....	25
1.2 모형의 기호 .....	26
제 2 절 부정기선 운항을 위한 혼합정수계획모형 .....	26
2.1 목적함수 .....	27
2.2 제약식 .....	28
2.3 완성된 혼합정수계획모형 .....	29
2.4 최적해의 해석 .....	31
제 6 장 사례연구 .....	32
제 1 절 후보일정 및 비용자료 .....	32
제 2 절 한국해운의 최적 운항일정계획모형 .....	34
제 3 절 한국해운의 최적 운항일정계획 .....	36
제 7 장 결 론 .....	38
제 1 절 연구 결과의 요약 .....	38
제 2 절 연구의 한계 및 향후 연구방향 .....	38
참고문헌 .....	40
별첨 .....	43

## 표 목 차

<표-1> 전 세계 주요 살화물의 해상물동량 추이 .....	10
<표-2> 원유의 수출입 지역간 해상수송량 .....	12
<표-3> 철광석의 수출입 지역간 수송량 .....	13
<표-4> 석탄의 수출입 지역간 수송량 .....	15
<표-5> 부정기선해운의 선박운항일정에 관한 연구 .....	22
<표-6> 공급지의 공급가능량 및 각 선박의 수용능력 .....	32
<표-7> 각 수요지의 수요량 .....	32
<표-8> 후보 운항일정계획 .....	33
<표-9> 각 선박의 가능후보운항일정 .....	33
<표-10> 각 공급지의 선적비 .....	33
<표-11> 각 선박의 보험 및 화물처리비 .....	33
<표-12> 각 선박의 후보 운항일정계획의 운항비용 .....	33
<표-13> 하루당 항만에 정박하는데 드는 항만체제비 .....	34
<표-14> 각 수요지의 하루당 화물 처리 가능량 .....	34

## 그 립 목 차

<그림-1> 석유의 분포와 이동 .....	11
<그림-2> 철광석의 분포와 이동 .....	12
<그림-3> 석탄의 분포와 이동 .....	14
<그림-4> 선박 1,2,4,5의 운항일정 .....	37

# ABSTRACT

## **A Study on Bulk-Cargo Ship Scheduling Model with Multi-Loading Ports**

*Tak, Ji-Young*

*Department of Shipping Management  
The Graduate School of Korea Maritime University*

Most of import and export cargoes are transported by sea. For instance, bulk cargoes like oil, grain, coal and iron mine are shipped by tramp vessels over 130,000DWT. They are usually carried by large quantities, and the operation costs of these vessels are very high. For this reason, one of the shipping company's major issues is to find the best schedule for transportation. This thesis focuses on tramp shipping, especially on industrial carriers that have their own ships.

Such major bulk cargoes as oil and grain usually have a concentrated production confined on a specific geographic location. So they are transported from a few ports near the production location to many demand sites scattered all over the globe. This thesis concerns this transportation practices and has developed a decision making model for finding optimal ship schedules where there are a few loading ports.

The developed model is also an improvement over the existing model of Cho and Perakis which assumes only one loading port. By allowing it to have more than one loading ports, the model presented in this thesis reflects more instances of the real world tramp operation. Usual real world instances of the developed model can be solved to find the optimal ship schedules with commercial software for linear and integer programming.

# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구의 필요성과 목적

해운은 해상에서 선박을 이용하여 사람 혹은 화물을 운송하고 그 대가로 운임을 받는 상행위를 뜻한다. 이 시대를 살고 있는 경제인들의 활동을 원활하게 하고, 교역물품을 효율적이고 경제적으로 이전시키기 위한 노력이 증대되면서 해운의 역할은 “경제발전의 주수단”이라고 할 정도까지 그 중요성이 강조되었다.<sup>1)</sup>

그 중 부정기선 해운서비스는 해운경영 형태상 가장 오랜 역사를 가지고 있다. 과거로부터 범선(sailing vessels)은 일정을 맞출 수 없었으며, 바람 · 해류 등의 영향으로 부정기선 서비스를 할 수 밖에 없었다. 그러나 증기선과 철선의 등장 이후 견고한 선박이 건조되고 대형화되면서 중간항을 거치지 않고 원거리를 항해 할 수 있게 되었다.

그리고 현재에 이르러서는 화물의 종류 별로 약간의 차이는 있으나 많은 화물들이 130,000DWT 이상인 케이프사이즈급의 선박들로 운항되고 있다. 이런 대형 선박들은 한 번 운항하는데 드는 비용이 매우 크므로 해운기업들은 어떤 운항일정을 선택하는지가 중요한 의사결정이 된다.

부정기선해운은 주로 대량화물의 운송을 목적으로 한다. 이런 화물을 살화물(散貨物 : bulk cargo)이라고 하는데 주로 석유, 철광석, 곡물 등이 주류를 이룬다. 주로 이런 화물들은 특정 지역에서 집중적으로 생산되어 다른 지역으로 수출되는 경향이 있다. 그래서 이 화물들을 수송하고자 할 때 그 생산지 주변의 항만들 몇 군데로부터 다른 여러 지역의 항만으로 수송을 해야 하는 문제가 발생한다. 이 때 최선의 결정은 그 생산지의 항만들로부터 여러 수요지까지의 거리나 선적비 등을 고려해 최소비용의 운항일정을 계획하는 것이다.

---

1) 방희석(1999), 「국제운송론」, 진영사, p. 6.

해운에서 선박운항의 형태는 기본적으로 정기선 운항(liner operation), 부정기선 운항(tramp operation), 화주직접 운항(industrial operation)으로 나누어진다. 사전에 확립된 운항일정에 의해 일정량의 선박을 공시된 운임률(tariff)을 적용하여 정기적으로 운송서비스를 제공하는 것을 정기선 운항이라고 하며 일정한 항로와 운송 주기에 따르지 않고 불규칙적으로 발생하는 화물의 수요에 따라 운송하는 것을 부정기선 운항이라고 한다. 그리고 정유회사나 시멘트 회사 등 대량화물을 가진 화주가 화물의 운송을 해상운송인에게 위탁하지 않고 자기가 직접 화물을 운송하는 경우를 일컬어 화주직접 운항이라고 하는데 학자들은 이 세 가지 운항의 특징에 따라 해운기업의 중요한 의사결정인 선박의 배선 및 운항일정계획등과 같은 문제들을 연구하였다.

본 연구는 부정기선 운항 중 특정 지역으로부터 대량으로 수송되는 화물에 적합한 운항일정계획을 연구대상으로 한다. 예를 들면 원유, 곡물 등은 막대한 양을 생산하는 세계적인 생산지 주변의 항만들로부터 전 세계의 주요 수요지로 공급되는 경향을 갖고 있다. 이러한 상황에 적합한 의사결정모형을 개발하기 위해 기존의 연구 중 Ronen(1986)과 Cho & Perakis(2001)의 연구를 바탕으로 개선된 모형의 도출을 시도하였다. 특히 이들의 연구에서는 오직 하나의 선적항만을 고려하였지만 본 연구에서는 보다 현실에 부합하도록 두 개 이상의 선적항만을 포함할 수 있도록 이들의 모형을 개선한 새로운 운항일정계획 결정모형을 제안하였다.

Ronen은 화주직접 운항을 대상으로 하여 단기간에 한 곳의 공급지에서 여러 수요지로 화물을 운송할 때의 최적운항일정을 계획하는 모형을 개발하였고 Cho & Perakis는 Ronen의 논문에서 비선형성을 제거하여 보다 용이한 선형의 혼합정수계획모형을 제시하였다. 본 논문은 Cho & Perakis의 연구를 두 개 이상의 공급지를 포함하는 모형으로 확대하여 보다 일반성 있는 모형이 되도록 개선하였다.

## 제 2 절 연구내용 및 방법

본 연구는 전술한 바와 같이 Ronen과 Cho & Perakis가 제안한 모형을 개선하는 것을 주 내용으로 한다. 즉, 그들의 모형이 선적항만을 한 개로 가정



한 제한점을 완화하여 보다 현실에 맞도록 둘 이상의 선적항만을 포함할 수 있는 모형을 제시하고자 하는 것이다. 이를 위해 아래와 같은 방법으로 연구를 수행하였다.

(1) 다양한 크기의 선박 여러 척을 대상으로 둘 이상의 공급지에서 수요지로 운항하는 최적운항일정계획을 혼합정수계획법을 이용하여 제시하였다. 결과로 도출된 모형은 전형적인 수송문제(Transportation Problem)의 모형과 유사하지만 수요지와 공급지가 고정되어 있지 않은 점을 0-1 정수변수로 나타낸 혼합정수계획모형(Mixed Integer Programming)으로 정식화되었다.

(2) 이전의 모형과는 달리 공급지가 2곳 이상인 경우에도 적용 될 수 있도록 현실 응용성이 높은 개선된 모형을 개발하였다.

(3) 본 모형에 대한 해석, 최적해에 대한 관리적 의미를 설명하였다.

(4) 선형/정수계획모형 범용 소프트웨어인 LINDO/PC를 이용하여 가상자료를 통한 사례 연구를 시도하였다.

본 논문은 총 7장으로 구성되어있다. 제 1 장의 서론에 이어 제 2 장에서는 부정기선의 개념과 특징, 주요화물에 대해 살펴보았고, 부정기선 해운의 현황과 주요 살화물의 흐름에 대해 서술하였다. 제 3 장에서는 본 논문에서 이용한 선형계획법과 정수계획법에 대해 개론적으로 소개하였고, 제 4 장에서는 과거 부정기선 연구에 대한 관련 선행 연구, 이 모형의 바탕이 된 Ronen과 Cho & Perakis의 연구에 대해 자세히 설명하였다. 제 5 장은 모형개발을 다루고 있다. 즉, 본 연구의 관심 주제인 둘 이상의 선적항만을 고려한 부정기선의 최적 운항일정계획문제를 혼합정수계획 모형으로 제안하였다. 제 6 장은 가상자료를 바탕으로 제 5 장에서 개발한 혼합정수계획모형을 적용하여 사례연구를 시도하였다. 마지막으로 제 7 장에서 이 논문의 연구 결과를 요약하고 연구의 한계 및 향후 연구방향의 가능성에 대해서 언급하였다.

## 제 2 장 부정기선 해운의 현황

### 제 1 절 부정기선 해운의 특징

#### 1.1 개념과 특징

부정기선 운송이란 정기선 운송과는 달리 일정한 항로나 화주를 한정하지 않고 화물수요에 따라 화주가 요구하는 시기와 항로에 선박을 제공하여 화물을 해상 운송하는 형태이다. 부정기선의 대상화물은 대체로 석유, 석유제품, 철광석, 곡물 등 운임부담능력이 상대적으로 약한 살화물이 대종을 이루고 있다. 이러한 살화물은 화물의 성질 또는 형태에 따라 특수한 시설과 구조를 갖춘 특수선에 의해 운송되는 것이 일반적인 추세이다.

정기선 운송과 부정기선 운송의 관계는 최근 국가간의 무역의 발전과 조선 및 항해기술의 발달 그리고 컨테이너선의 출현으로 정기선 운송이 세계해운의 주류를 이루고 있으나, 정기선과 부정기선은 그 운용면에서 한계<sup>2)</sup>가 있으므로 상호보완적이면서도 각기 특징적인 활동분야를 가지고 있다.<sup>3)</sup>

정기선 운송은 운항항로, 기항지, 소요시간, 운임 등 운항일정계획이 확정되어지고, 일단 운항일정계획이 결정되면 일정기간동안은 결정된 일정에 따라 운항된다. 그러므로 한번 항로가 정해지면 장기적으로 운항하므로 정기선사에서의 운항일정계획은 매우 중요한 의사결정 문제가 된다. 그에 비해 부정기선 운항이나 화주직접운항은 단기운항일정계획이 중요한 의사결정문제이다. 이것은 부정기선 해운은 화물의 수요가 정해져 있지 않아 화주의 요구에 따라 운항일정계획이 결정되기 때문이다.

부정기선 운송은 정기선항로의 배선과 달리 반드시 여러 척의 선박을 필

---

2) 국제무역에서 주요역상품은 공산품이므로 개품운송인 정기선에 의하여 운송이 가능하지만 운송수요가 급증하는 화물로서 용적이 크고 운임 부담력이 약한 대량화물은 부정기선의 의하여 운송 할 수밖에 없다.

3) 김웅진, 추장엽(1995), 「국제운송물류론」, 도서출판 두남, p. 117.

요로 하지 않으며 1척의 선박만으로도 운항할 수 있다. 그리고 그 선박의 성능도 정기선보다 우수선(優秀船)을 필요로 하지 않으며, 또 육상설비에 많은 자본을 필요로 하지 않으므로, 비교적 간단하게 사업을 개시 도는 중지 할 수가 있다. 따라서 부정기선의 흥망은 심하게 되며, 경쟁 또한 치열하다. 부정기선의 운임시장은 선박의 수급관계에 따라 운임률이 예민하게 변동되므로 호황 또는 불황의 영향을 크게 받는다. 또 부정기선은 자사선(自社船)외에 국내외 선박의 항해용선, 정기용선, 나용선에 의해서도 운항이 되며 이들은 고속의 운항보다도 오히려 경제속력(Economic speed)<sup>4)</sup>이 중요시 된다.<sup>5)</sup>

이러한 부정기선 운송의 특징은

(1) 운송수요가 시간적·지역적으로 불규칙하고 불안정하여 수시로 항로를 바꿔야하기 때문에 전 세계가 활동범위가 된다.

(2) 정기선 운송과 같은 해운동맹의 형성이 어렵고 필연적으로 단일시장에서의 자유경쟁이 전개되어 가격(운임/용선료)이 시장기능에 따라 다변적으로 변화하는 타율성이 강하다.

(3) 선박의 공급이 물동량 변화에 매우 비탄력적이기 때문에 선박수급이 균형을 이루기가 불가능하다.

부정기선 화물은 (1)의 특징에서와 같이 위치 변화가 불규칙적이기 때문에 수송·양륙지와 다음의 수송적재지가 일치 내지 근접하는 것은 운항경제상 바람직한 일이나 이러한 사례는 극히 드물다. 오히려 양 지점 간에 상당한 거리적 격리가 있는 것이 보통이다. 그러므로 부정기선 시장에서는 생산설비인 선박의 계속적이고 효율적인 사용이 요청됨에도 불구하고, 하나의 수송수요 충족행위에서 다음의 수송행위로 이전하기 위해서는 어느 정도의 공선향

---

4) 경제속력이라 함은 한마디로 '1일당 수익을 최대로 하고 운항비용을 최소화할 수 있는 속력'이다. 이를 고려함에는 다음과 같은 여러 가지 조건이 있다 ① 연료소비량과 항해소요일수와의 관계에서 가장 유리한 속력, ② 정기선의 경우에는 운항일정을 지키는 속력, ③ 공학적으로 보면 엔진이 일정마력을 넘에 있어서 가장 적은 연료소비량으로 항해하는 속력, ④ 기타 국제 경쟁력에 뒤떨어지지 않는 속력 등으로 현실적으로는 화물이나 운임의 변동, 항로, 항만 등에 따라 몇 노트가 가장 경제속력인가가 결정된다.

5) 이종인(2001), 「국제해상운송론」, 효성출판사, p. 177.

해가 불가피하다. 이리하여 대부분의 경우 운송의 양륙지에서 다음 운송의 적재지까지 선박위치의 이동만을 목적으로 행해진다. 이렇게 전형적인 부정기선의 운항은 적화항해(운송)-공선항해-적화항해의 형태를 취하게 된다.<sup>6)</sup>

부정기선의 운송계약은 1 항해단위로 체결(1회 항해용선 : one voyage charter)하는 것이 기본이나 선박회사로서는 장기안정수익의 확보로 인하여 선박을 특정하지 않고 일정량의 화물운송을 1년 또는 그 이상의 일정 기간을 정하여 계약(연속항해용선 : consecutive voyage charter)을 하는 경우도 있다.

부정기선 해운업자가 운항하는 선박의 소유관계를 보면 ① 자사소유선박을 운항하는 경우, ② 타선주로부터 나용선한 선박을 운항하는 경우, ③ 타선주로부터 정기용선한 선박을 운항하는 경우, ④ 타선주로부터 위탁받은 선박을 운항하는 경우 등이 있으며 세계도처에는 수많은 선박과 선적지, 양륙지를 달리하는 많은 종류의 화물 간에 정보가 교환되는 용선해운시장이 형성되어 있다.

## 1.2 화물의 종류

해상화물을 수송형태로 구분하면 일반화물(general cargo)과 살화물로 나눌 수 있다.<sup>7)</sup> 일반화물은 다시 재래화물(conventional cargo)과 단위화물(unitized cargo)로 구분되며, 살화물은 액체화물(liquid cargo)과 건화물(dry cargo)로 구분된다.

다양한 화물을 어떻게 수송하느냐를 결정하는 것은 해운산업의 주요한 목표가 되어야 한다. 그렇기 때문에 해운산업은 짐더미를 분배시키는 기능에 집중된다고까지 볼 수 있는 것이다. 단, 짐더미의 규모에 따라 해운업을 구분할 수 있다. 큰 짐더미인 살화물을 수송하는 것을 부정기선 해운이라 하며 작은 짐더미를 수송하는 것을 정기선 해운이라고 구분한다. 그러나 이러한 구분은 불문율이 아니며, 살화물도 작은 짐더미로 만들어져 정기선에 의해서 수송이 되고 있다. 크고 작은 여러 형태의 화물을 수송하기 위해서 선박을 건조하고 용선하여 적절한 서비스 제공에 대비하는 것이 해운업의 궁극적인 목표가 될 것이다. 그럼 여기서는 부정기선 해운의 주요화물인 살화물에 대해 알아보기로 하겠다.<sup>8)</sup>

6) 박명섭(1997), 「국제해운론」, 법문사, pp. 92~93.

7) P. M. Alderton(1984). 「Sea Transport」, Reed Publication, Ltd., p. 23.

살화물의 개념은 다량의 단일화물로 한 선박에 적재되어 수송되는 화물을 일반적으로 지칭한다. 그러나 살화물의 경우에는 화물을 처리하는 방식과 수송방식이 매우 중요하다. 그렇기 때문에 살화물을 “단위당 수송비용을 줄이기 위하여 대량화물을 해상으로 수송하는 화물”이라고 정의할 수 있다. 이러한 개념이 충족되기 위해서는 아래와 같은 특성을 지녀야 한다.

- (1) 살화물 상태로 하역 및 적재 등이 가능해야 함.
- (2) 특정선박에 적재하는데 충분한 다량화물이어야 함.

살화물은 2차대전 후 급속적으로 증가했다. 특히 액체화물에 대한 수요의 증가로 유조선의 건조량이 증가되었고, 이러한 확대가 서구와 일본의 경제확대에 기여했다.

건화물은 철광석, 석탄, 곡물 이외에 목재, 인광석, 알루미늄, 비료, 원면, 시멘트, 보크사이트 등의 화물을 지칭하며 그 수요가 계속적으로 증가되어 건화물선 수요의 확대를 가져왔다. 이러한 화물은 생산지가 일부지역에 편중되어 있기 때문에 평균 수송거리는 철광석, 석탄, 곡물의 경우가 모두 5천마일 이상이며 보크사이트와 인광석의 경우도 수송거리가 점차 증가됨에 따라 해운서비스의 수요가 증가될 것으로 예상되고 있다.

이러한 해상화물은 연중 같은 수준으로 수송되는 것이 아니므로 계절적 과동성이 불가피 하다. 왜냐하면 기후 조건이나 농산물의 수확기 등 생산에 미치는 요인들이 연중 고르지 않기 때문이다. 예를 들면 밀이나 옥수수의 수확기는 가을이므로 해상물동량의 발생은 그 이후가 된다. 북극지방에서는 연중 일정기간 동안에 항만이 동결되기 때문에 이런 시기에는 선박의 입출항이 거의 불가능하므로 해상물동량의 흐름도 중단된다. 자연조건에 따라 계절적으로 물동량의 흐름도 과동적이므로 해운수요 예측에는 이러한 요인도 충분히 감안해야한다.

이상에서 살펴본 살화물은 특성별로 구분하여 네 가지로 분류할 수 있다.

- (1) 액체화물 : 주로 탱커(tanker)선에 의해 수송 가능한 화물로 원유, 석

---

8) 방희석(1999), 「국제운송론」, 진영사, pp. 27~31.

유제품, 액체화학제품(가성소다, 야채기름, 와인) 등 각 화물규모는 몇 천톤에서 원유의 경우 50만톤까지 다양하다.

(2) 주요 5개 살화물 : 철광석, 양곡, 석탄, 인광석, 보크사이트

(3) 소량살화물(*minor bulks*) : 여러 가지 화물에 해당되는 것으로 철강제품, 시멘트, 석고, 비철금속, 설탕, 소금, 유황, 삼림제품, 작은 나무와 화학제품 등이다.

(4) 특수살화물 : 특별히 하역하는데 어려움이 있는 자동차, 철강제품, 냉동화물 그리고 시멘트로 만든 설비 및 건물 기자재 등을 말한다.

### 1.3 해운비용

해상운송서비스를 제공하기 위한 비용 혹은 해운업원가는 부정기선해운의 용선료를 결정하는 중요한 요소이다. 고정비용은 고정된 경상비 혹은 간접비용으로 서비스 생산량의 수준에 영향을 받지 않는 것이며, 변동비용은 생산량에 영향을 받는 비용이다. 이러한 비용들은 세계적으로 통일된 해운원가구조는 없으며 개별회사의 회계처리방식에 따라 다소 차이가 있다. 해운비용을 구분하는 데는 유럽을 중심으로 네 가지로 분류하는 방식과 한국과 일본을 중심으로 세 가지로 분류하는 방식이 있는데 여기서는 후자를 알아보기로 하겠다.<sup>9)</sup>

(1) 직접비용(고정비용) : 선박투자의 이자비용, 선박감가상각비, 선박보험료 등으로 선박이 운항하지 않더라도 소요되는 비용으로 고정비용과 같은 성격을 가진다.

(2) 간접선비(준고정비용) : 선원비, 수선비, 운할유비, 선용품비, 잡비, 일반점비 등으로 선박이 운항하는데 관계없이 필요로 하는 비용이다. 선박에 선원을 승선시켜 선용품등을 적입하고 운항 할 수 있는 상태로 두는 비용이기 때문에 준고정비의 성격을 띠고 있으며 운항에 따라 비용이 크게 변화되는 것이 아니기 때문에 불변비 성격을 가지는 것이다.

---

9) 방희석(1999), 「국제운송론」, 진영사, p. 223.

(3) 운항비 (변동비용) : 화물의 수송을 위하여 특정 항만 간을 운항함으로써 발생하는 변동비적인 성격의 비용으로 연료비, 항비 그리고 화물비로 구성된다. 항비는 선박이 항만에 입출항시 및 정박기간 중 선박에 관하여 발생하는 모든 비용을 말하며, 화물비는 화물의 선적 및 양하에 관련하여 발생하는 비용이다. 그리고 운항비는 선박을 운항하는데 드는 비용을 말하며 그 중 가장 큰 비중을 차지하는 연료비는 1979년 이후 급상승한 연료유가로 인해 선박운항비용 상승의 주된 원인이 되었다. 그래서 대형유조선에 비롯하여 모든 선박이 감속항해 등의 방법으로 연료비 절감에 노력하고 있으며, 연료절약형 선박의 개발에 노력하고 있다.

#### 1) 화물비

화물비는 항만에서의 화물 적·양하비용, 화물중개료, 기타 운송계약에 의하여 운항자가 부담하게 되는 비용을 포함한다. 이것은 화물량, 그 항만의 하역요금 수준, 하역방식, 하역능률 등에 따라 달라진다. 그러나 대부분이 운항자가 임의로 결정 할 수 없으며, 이 비용을 줄이기 위한 해운기업간의 노력이 경주되고 있다.

#### 2) 연료비

연료비는 기관에 상태에 따라서 유류소모율이 달라지며, 또한 유가에 따라 크게 변화된다. 연료소모량은 속도에 의해 크게 차이가 생기므로 속도는 연료비용을 결정하는 중요한 요소이다. 그리고 만재된 선박과 공선박과의 1일 유류소비량의 차이가 6%에 달하며 부두에 정박 중인 배의 유류소비량은 항해 중인 배보다 5분의 1 가량 소비한다. 배의 화물처리기어, 냉동 시설물 등의 사용도 연료비를 증가시키는 원인이다.

#### 3) 항비

항만비용은 항만에 머무르는 시간, 선박의 크기, 특정항만의 효율에 따라 커다란 차이가 있다. 이것은 항만의 부두예인선, 항만사용료, 접안료, 정박료, 도선료 등에 크게 의존하는 비용이다. 따라서 선박의 빠른 회항시간을 유지하는 것이 항비를 줄이는 유일한 방법이고, 국제경쟁력을 유지하는 방안이기 때문에 동비용에 대한 선주의 관심은 점차 증대되고 있다.

본 논문은 비교적 단기의 운항일정계획을 다루므로 주로 변동비용의 성격을 가진 운항비의 최소화에 주 관심을 둔다.

## 제 2 절 부정기선 해운의 현황

### 2.1 주요 살화물의 해상물동량 추이

지난 25년간 전 세계 해상물동량은 완만한 증가세를 보여 왔다. 석유류의 경우 1975년부터 2000년까지 25년간 연평균 1.2%의 낮은 증가세를 유지하였으나, 1985년 이후 15년간은 연평균 3.8%의 높은 성장률을 유지하였고, 건화물의 경우 1975년 이후 25년간 연평균 2.3%의 상대적으로 높은 성장률을 유지하였다.

원유의 경우 1980년대 초반의 세계적 경기 불황으로 1985년에는 8억 7,100만톤까지 물동량이 감소하였으나 <표-1 참조>, 1986년 이후 미국경제의 지속적인 성장과 이에 따른 세계경제의 동반상승 현상으로 원유물동량도 연평균 4.2%의 높은 증가세를 유지하였다. 반면 석유제품의 경우 세계적인 경기불황에도 불구하고 연평균 2.3%의 지속적인 성장세를 유지하였다.

한편 건화물의 경우 철광석과 곡물의 해상물동량은 지난 25년간 각각 연평균 1.8%와 2.0%의 낮은 증가세를 유지하였으나 석탄의 경우 연평균 5.8%의 높은 성장률을 유지하였다.

<표-1> 전 세계 주요 살화물의 해상물동량 추이

(단위: 천톤)

연도	원유	석유제품	철광석	석탄	곡물
1975	1,263	233	292	127	137
1980	1,320	276	314	188	198
1985	871	288	321	272	181
1990	1,190	336	347	342	192
1995	1,415	381	402	423	196
2000	1,612	412	455	520	225

자료 : Fearnleys, World Bulk fleets, 2000.



## 2.2 주요화물의 흐름

### (1) 석유

<그림-1> 석유의 분포와 이동



자료 : 대구에듀넷(www.tgedu.net)

20세기 석탄의 대체에너지로 성장한 석유는 중요한 지하자원의 한가지로서 다음의 <표-2>에서 보는바와 같이 국제적 이동량이 매우 많다. 석유는 천연적으로 산출된 것과 정제한 것으로 분리한 경우 전자를 원유라고 하고 후자를 석유제품이라고 한다. 석유의 주요 매장 지역으로는 사우디아라비아, 이라크, 아랍 에미레이트, 쿠웨이트, 이란 등이 있으며 최근 러시아가 세계 제 1위의 원유 생산국인 사우디아라비아 다음으로 일일평균 생산량이 높아져 세계 제 2위의 석유 생산국이 되었다. 그리고 주요 수출국으로는 사우디아라비아, 러시아, 이란, 아랍 에미레이트이며, 주요 수입국으로는 일본, 독일, 이탈리아이다. 이는 <그림-1>에서와 같이 확인할 수 있다. 그리고 최근 중국이 높은 경제 성장 추세와 그에 따라가지 못하는 석유생산의 정체현상 때문에 수입이 급증하고 있다.<sup>10)</sup>

10) 문영석, 나인강(2002), 「주간석유뉴스」, 에너지경제연구원, pp. 12~16.

<표-2> 원유의 수출입 지역간 해상 수송량

(단위 : 백만톤)

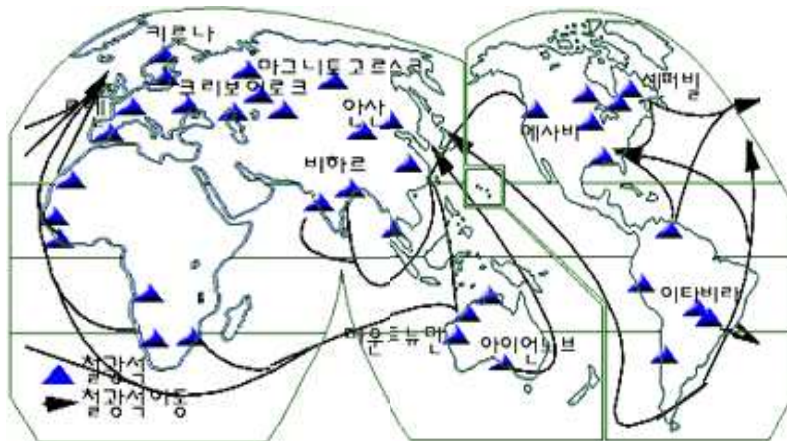
수출 \ 수입	북서 유럽	지중해	북미	남미	일본	기타 아시아	기타	수출계		
								2001	2000	
중동	62.9	45.6	134.7	11.0	184.6	307.0	37.3	783.1	789.5	
극동	6.4	35.3	11.5	2.0	-	0.8	0.5	56.5	52.6	
북아프리카	9.7	62.7	5.3	4.2	-	2.8	1.6	86.3	88.3	
서아프리카	10.4	31.9	74.1	9.8	2.1	39.0	3.2	170.5	177.3	
카리브해	7.8	10.6	179.3	18.2	1.3	6.0	0.3	223.5	228.3	
동남아	-	-	7.1	-	17.9	22.0	14.0	61.0	61.9	
북해	2.2	17.9	55.9	0.4	-	2.9	1.7	81.0	81.3	
기타	43.5	42.7	9.2	13.2	2.2	14.5	5.2	130.5	128.3	
수입계	2001	142.9	246.7	477.1	58.8	208.1	395.0	63.8	1,592.4	
	2000	145.9	241.7	481.5	62.8	210.2	404.2	61.2		1,607.5

자료 : 한국해양수산개발원.

출처 : Fearnleys, World Bulk Trades, 2001.

(2) 철광석

<그림-2> 철광석의 분포와 이동



자료 : 대구에듀넷([www.tgedu.net](http://www.tgedu.net))

석탄과 함께 공업의 원료 자원으로 이용된 철광석의 주요 매장지역은 <그림-2>와 같이 러시아, 오스트레일리아, 브라질, 캐나다, 인도 등이 있다. 주요 수출국은 브라질, 러시아, 인도, 오스트레일리아, 캐나다가 있으며 주요 수입국은 일본, 독일, 벨기에, 룩셈부르크, 프랑스, 한국 등이 있다. 이것은 <표-3>에서와 같이 확인 할 수 있다. 그리고 최근 중국이 일본의 수입을 따라잡기 시작했다. 일본은 1960년 한해동안 약 1천 490만톤의 광석 수입을 시작으로 1974년까지 15년간 1억 4,180만톤의 광석을 수입했으며 중국은 1990년 1천 440만톤의 광석 수입을 시작으로 2004년까지 15년간의 누적 수입량이 1억 6,500만톤에 이를 것으로 전망했다.<sup>11)</sup>

<표-3> 철광석의 수출입 지역간 수송량

(단위 : 천톤)

수출 \ 수입	영국/ 유럽	지중해	기타 유럽	미국	일본	기타 극동	기타	수출계		
								2001	2000	
스칸디나비아	9,856	193	3,021	109	-	-	2,443	15,622	19,060	
기타유럽	803	325	1,635	-	190	226	-	3,179	5,061	
서아프리카	6,699	2,029	934	-	-	-	305	9,967	11,045	
기타아프리카	4,366	1,038	1,045	-	9,690	9,690	180	21,367	20,548	
북미	10,565	2,121	20	2,000	2,435	2,435	2,289	20,313	26,796	
남미동안	45,815	11,646	10,032	4,401	43,618	43,618	19,790	160,960	164,371	
남미서안	149	-	-	1,122	4,379	4,379	829	10,590	9,782	
아시아	744	321	207	-	20,882	20,882	499	42,079	39,607	
호주/ 뉴질랜드	15,188	1,814	864	576	78,252	78,252	710	168,209	158,070	
수입 계	2001	94,184	19,487	17,759	8,208	159,482	159,482	27,045	452,287	
	2000	106,607	21,596	21,831	14,166	129,085	129,085	29,323		454,340

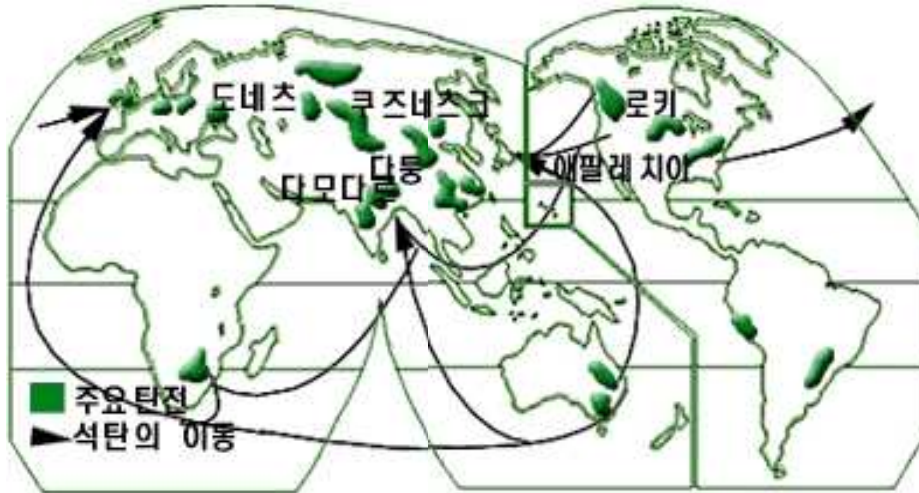
자료 : 한국해양수산물개발원.

출처 : Fearnleys, World Bulk Trades, 2001.

11) <http://www.gotokorea.co.kr>(2004).

(3) 석탄

<그림-3> 석탄의 분포와 이동



자료 : 대구에듀넷(www.tgedu.net)

석탄은 세계 여러 지역에 분포하고 있으나, 주요 생산지는 <그림-3>과 같이 북반구 중위도 지방에 집중되어 있다. 석탄은 세계 건화물 운송량의 30%를 차지하고 있으며 석탄의 주요 매장지역은 미국의 아팔레치아, 오스트레일리아, 러시아의 시베리아, 독일 루르, 중국의 푸순 등에 집중되어 있다. 주요 수출국은 오스트레일리아, 미국, 남아프리카 공화국으로 그 중 호주는 생산량에 비해 자국소비량이 적으므로 나머지를 수출에 주력하고 있다. 그리고 주요 수입국은 일본, 프랑스, 우리나라가 있다. 이것은 일본이나 우리나라의 경우는 석탄 소비량이 중국과 미국에 비해서 작으나 자국 생산량이 거의 없기 때문이다. 이는 다음의 <표-3>에서 확인할 수 있다.

위에서 살펴본 바와 같이 본 논문의 모형개발의 대상이 될 수 있는 주요 화물의 흐름은 특정 대량 생산지에서 전 세계의 여러 수요지로 공급되는 패턴을 가지고 있다. 이런 생산지들은 어느 특정 공급지의 향만 한 곳에서 수출되기보다 주변의 여러 향만을 고려, 둘 이상의 향만으로부터 화물이 공급될 수도 있다. 본 연구는 위와 같은 상황에서 운항비를 고려해 여러 수요지로 화물을 수송하는 모형을 개발하였다. 그리고 부정기운항에서 중장기 운항일정계획이라는 것은 날씨나 향만의 혼잡, 노동자의 파업 등의 문제로 실질적으로

계획대로 운항을 한다는 것이 상당히 힘들다. 그래서 본 논문은 이런 문제들이 반영되지 않는 단기간을 계획으로 하는 것을 목적으로 하였다.

<표-4> 석탄의 수출입지역간 수송량

(단위 : 천톤)

수출 \ 수입	영국/유럽	지중해	기타 유럽	남미	일본	기타 극동	기타	수출계		
								2001	2000	
북미	13,866	6,858	4,590	8,004	13,862	7,801	546	55,526	65,713	
호주	17,511	4,715	6,172	7,732	90,986	41,805	18,442	187,363	186,717	
남아프리카	27,820	6,710	10,757	1,160	1,144	2,898	11,549	62,038	64,980	
중남미	16,701	2,694	3,172	1,569	26	-	19,487	43,649	40,418	
중국	2,786	522	997	1,437	25,081	49,224	4,125	84,172	55,082	
구소련	7,283	5,487	8,891	360	5,659	3,409	479	31,568	26,379	
기타동유럽	10,578	415	8,725	-	-	-	1,999	21,718	18,680	
인도네시아	3,584	2,224	3,871	1,430	33,973	33,973	5,356	66,603	57,782	
기타	5,847	52	2,798	733	429	429	75	11,937	6,953	
수입계	2001	105,978	29,678	49,973	22,425	139,539	139,539	62,058	564,576	
	2000	89,600	30,450	49,142	22,911	129,398	129,398	56,747		522,704

자료 : 한국해양수산개발원

출처 : Fearnleys, World Bulk Trades, 2001.

## 제 3 장 이론적 배경

### 제 1 절 선형계획법

선형계획법은 가장 널리 사용되는 경영과학기법 중의 하나이며 하나의 목표 달성을 위하여 한정된 자원을 최적 배분하는 수리계획법(*mathematical programming*)의 일종이다. 수리계획법은 경영자의 경영목표를 최대로 달성할 수 있는 경영방안을 구할 수 있는 경영모형과 그것의 해를 구하는 해법의 개발에 관심을 기울이는 분야이다. 선형계획법은 경영상의 문제를 수식에 의한 모형으로 바꾸어서 이것의 해를 수학적으로 얻는 방법 중의 하나이다.<sup>12)</sup>

선형계획모형을 작성하기 위해서는 먼저 당면하고 있는 문제의 전체적인 구조와 성격을 이해하는 것이 중요하다. 이를 위하여 모형 작성자는 문제의 생산 혹은 서비스가 어떠한 자원을 사용하여 어떠한 과정을 거쳐서 이루어지는지를 이해하여야 한다. 다음으로는 달성하고자 하는 목적이 무엇이며 사용가능한 자원은 어떠한 것이 포함되는지, 그리고 그 제약조건은 어떠한지를 파악한 후 다음의 기본적인 절차에 따라 모형을 작성하여야 한다.<sup>13)</sup>

단계 1 : 의사결정변수의 결정

단계 2 : 목적함수의 결정

“무엇을 성취하고자 하는가” 를 결정하는 것.

단계 3 : 제약조건식의 작성

의사결정변수들의 실행 가능한 값의 범위를 제한한다.

선형계획법은 모든 선형제약조건식을 동시에 만족시키고 선형의 목적함수를 최대화(*maximization*) 또는 최소화(*minimization*)하는 결정변수들의 값을 찾아내는 수학적 기법이다. 이러한 결정변수들의 값들은 최적해(*optimal solution*)라고 한다. 선형계획문제의 일반적인 수학적 구조는 다음과 같이 표현할 수 있다.

---

12) 김세현(2001), 「현대경영과학」, 무역경영사, p. 22.

13) 이상문(2002), 「신경영과학」, 형설출판사, pp. 84~86.

$$\max Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \cdots + c_nx_n$$

subject to

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n &\leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n &\leq b_2 \\ &\vdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \cdots + a_{mn}x_n &\leq b_m \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \cdots, x_n &\geq 0 \end{aligned}$$

이 모형을 더욱 간결하게 표현하면 다음과 같다.

$$\max Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

$$\text{subject to } \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad \begin{cases} i = 1, 2, \dots, m \\ j = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

$$x_j \geq 0$$

모든 선형계획모형은 다음 세 가지의 요소로 구성되어 있다.<sup>14)</sup>

- (1) 정해진 의사결정변수
- (2) 최적화를 목표로 하는 목적함수
- (3) 조건을 충족시켜야 하는 제약식

선형계획모형에서  $x_j$  는 의사결정변수들,  $m$  은 제약식의 수,  $n$  은 의사결정변수의 수, 그리고  $c_j, a_{ij}, b_i$  는 상수(constant) 혹은 매개변수(parameter)를 의미한다. 의사결정변수는 의사결정자가 그 값을 모르기 때문에 선형계획모형을 해결해서 찾으려고 하는 변수를 말한다. 그리고  $c_j$  는 목적함수계수

---

14) A. H. Taha(2003), 「Operations Research : An Introduction seven edition」, Person Education. Inc, p. 12.

(objective function coefficient)로서 각 결정변수의 한 단위가 목적함수의 값에 기여하는 율을 나타낸다.  $a_{ij}$  는 기술계수(technology coefficient) 또는 투입-산출계수(input-output coefficient)로서 예컨대 제품 한 단위를 생산하는데 소요되는 투입 자원의 크기를 나타내는 제조 기술의 상태를 뜻한다. 따라서 이는 기술의 변화에 따라 그 크기가 변한다. 기술계수는 제약조건식의 왼쪽에 위치한다.

일반적으로 말하면 최대화모형에 있어서 모든 제약조건식의 부등호는 “ $\leq$ ”이고 최소화 모델에 있어서는 “ $\geq$ ”이다. 이러한 경우의 형태를 정규식(canonical form)이라 한다. 그러나 실제 선형계획법에 있어서 제약조건식의 부등호는 최대화 문제이건 최소화 문제이건 “ $\leq$ ”, “ $\geq$ ” 그리고 “=”형이 서로 혼합된 경우가 많음을 알아야 한다.<sup>15)</sup>

## 제 2 절 정수계획법

선형계획모형의 여러 가지 가정들 중에서 가분성(divisibility)의 가정은 변수가 분수 또는 소수의 값을 가질 수 있음을 가정하고 있다. 그러나 실제 문제의 경우 이러한 가정을 세우기가 무리한 때가 있으며, 이 경우에는 변수가 분수 또는 소수의 값을 가질 수 없고 정수값만을 가져야한다는 추가적인 조건이 있는 정수계획법(IP : Integer Programming)을 이용하여야 한다.

정수계획법 문제는 선형계획법 문제와 더불어 최적화문제의 대표적인 것으로서, 현실 문제를 수학적 모형으로 나타내고자 할 때 정수계획법 문제로 정식화되는 경우가 많다. 정수계획법 문제는 몇 가지 유형으로 나누어 질 수 있다. 수학적 모형에 사용되는 의사결정변수 모두 정수값을 가져야 할 때, 이러한 문제를 순수정수계획법(Pure Integer Programming)문제라 한다. 반면에 수학적 모형에 사용되는 의사결정변수들 중 일부 변수들에 대해서만 정수화 조건이 추가되고, 나머지 변수들은 선형계획법 문제에서처럼 실수값을 가질 수 있도록 되어있는 문제를 혼합정수계획모형(Mixed Integer Programming)문제라 한다. 한편 정수계획법 중 정수화 조건이 붙은 의사결정변수들이 0

15) 강금식(2000), 「EXCEL 2000 경영과학」, 전영사, pp. 29~32.



또는 1의 값만을 가져야 하는 경우 이를 0-1정수계획법(0-1 Integer Programming) 문제 또는 이진정수계획법(Binary Integer Programming) 문제라고 한다.<sup>16)</sup>

---

16) 정기호, 백천현(2001). 「엑셀을 활용한 경영과학」, 학현사, p. 201.

## 제 4 장 선행연구

### 제 1 절 부정기선 운항에 관한 선행 연구

#### 1.1 선행연구

전통적인 부정기선 운항일정에 관한 연구는 Appelgren(1969;1971)이 열생성(Column Generation) 기법을 적용하여 임의의 화물을 운송 할 때 이익이 생길 수 있는 일정으로 선대가 운항하는 모형을 전통적인 최단경로(shortest path)와 집합 분할(set partitioning) 모형으로 제시 하였다.

Bausch et al.(1998)은 액체 벌크화물을 탱커선 또는 바지선을 이용하여 운송하는 의사결정지원시스템을 개발하였고, Christiansen(1999)는 암모니아 운송에 관한 운항일정을 재고경영과 연관시켜 모형을 개발하였다. 그리고 Fagerholt(2002)는 화주직접운항과 부정기선운항에 적용 할 수 있는 최적화 기반 의사결정지원시스템을 개발하였다. 김시화, 이경근(1994)은 용선시장이 급변하는 시기, 전술적 수송시기 또는 비상시기에 신속히 대처하면서 높은 수익을 달성 할 수 있는 전술적 선박 운항일정 문제를 다루었다.

Ronen(1986)은 주로 광물이나 곡물 등을 운송하는 부정기 선사들이 최적 의사결정을 할 수 있도록 운항일정계획 모형에 연속변수를 포함하여 선적, 하역량을 항로와 함께 의사결정변수로 최적운항일정계획모형을 개발하였다. Cho & Perakis(2001)는 Ronen의 모형에서 비선형을 제거하여 혼합정수계획 모형으로 최적화 할 수 있는 모형을 개발하였다. 그리고 이 논문과 관련 깊은 Ronen 과 Cho & Perakis의 모형은 1.2 와 1.3에서 자세히 설명하도록 하겠다.

<표-5> 부정기선해운의 선박운항일정에 관한 연구

저자	주요 의사결정	목적	화물	방법
Appelgren (1969;1971)	운항일정	이익 최대화	냉동 살화물	열생성
Bausch et al.(1998)	운항일정과 속도	비용 최소화	액체 살화물	집합 분할
Christansen (1999)	재고경영과 운항일정	비용 최소화	암모니아 살화물	열생성
Fagerholt (2002)	운항일정	비용 최소화/ 이익 최대화	살화물	발견적 지도법
kim & Lee (1997)	운항일정	이익 최대화	살화물	집합 분할
Ronen(1986)	운항일정	비용 최소화	살화물	혼합정수
Cho & Perakis(2001)	운항일정	비용 최소화	살화물	혼합정수

## 1.2 Ronen의 모형<sup>17)</sup>

Ronen(1986)은 한 곳의 공급지에서 단기간에 여러 척의 선박을 투입, 화물을 운송하여 운항비를 최소화 시킬 수 있는 모형을 개발하였다. 그 모형은 아래와 같다.

(모형의 기호)

$J$  : 항만의 집합

$K$  : 선박의 집합

$N_k$  : 선박  $k$ 의 운행 가능한 항로에 관한 집합

$a_{kj}$  : 선박  $k$ 의  $j$ 항만에서의 단위당 화물처리비

$C_k$  : 선박  $k$ 의 수용능력

$D_j$  :  $j$  항만의 수요량

17) D. Ronen(1986), "Short-term scheduling of vessels for shipping bulk or semi-bulk commodities origination in a single area", Operation Research, v.34, pp. 164-173.

$f_{kn}$  : 선박  $k$ 가  $n$  항로를 운항하는데 드는 비용

$P_k$  : 선박  $k$ 가 항만에서 드는 하루당 항만비용

$u_j$  :  $j$  항만에서의 하역속도

$M_{kj}$  :  $\min\{C_k, D_j\}$

$b_{jn}$  :  $j$  항만이 운항일정  $n$  에 포함되었는지의 여부를 나타내는 이진변수

( 포함되어 있으면 1 , 포함되어 있지 않으면 0 )

$z_{kjm}$  : 1 선박  $k$  가  $j$  항만이 포함된 일정  $n$  의 선택 여부를 나타내는 이진변수

( 선택되면 1 , 선택되지 않으면 0 )

(의사결정변수)

$x_{kn}$  : 선박  $k$  를 일정  $n$  으로 운항하는지의 여부를 나타내는 이진변수

( 운항할 경우 1 , 운항하지 않을 경우 0 )

$y_{kj}$  : 선박  $k$ 가  $j$  항만에 내리는 화물의 양

$$\begin{aligned} \text{Minimize } & \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} \sum_{n \in N_k} a_{kj} y_{kj} z_{kjm} + \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} \sum_{n \in N_k} \left( \frac{p_k}{u_j} \right) y_{kj} z_{kjm} + \\ & \sum_{k \in K} \sum_{n \in N_k} f_{kn} x_{kn} \end{aligned} \quad (1)$$

위의 목적함수는 계약에 따라 화주가 지급하는 화물처리비용과 하역과 관련된 항비, 운항일정에 관한 비용을 최소화시킨 것이다.

Subject to

$$\sum_{j \in J} \sum_{n \in N_k} y_{kj} z_{kjm} \leq C_k \quad \forall k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{n \in N_k} y_{kj} z_{kjm} = D_j \quad \forall j \in J \quad (3)$$

$$\sum_{n \in N_k} x_{kn} = 1 \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{n \in N_k} C_k z_{kjm} \geq D_j \quad \forall j \in J \quad (5)$$

$$x_{kn} \in \{0,1\}, \quad y_{kj} \geq 0, \quad z_{kjm} \in \{0,1\}$$

제약조건에서 (2)은 선박의 수용능력에 관한 제약이며 (3)은 각 물량은 각 항만의 수요를 모두 충족시켜야함을 뜻한다. 그리고 각 선박은 (4)에 의해 하나의 일정만 선택하게 된다. 제약식(5)는 각 항만에 정박하는 선박의 수용능력의 합은 그 항만의 수요보다는 커야한다는 것을 요구한다.

### 1.3 Cho & Perakis 의 수정모형<sup>18)</sup>

위의 비선형계획모형이었던 Ronen의 모형을 Cho & Perakis는 혼합정수계획모형로 새롭게 정식화하였다.  $\sum_{n \in N_k} z_{kjm} = 1$ 의 경우에만  $j$ 항만에 선박  $k$ 가 정박하므로  $y_{kj}$ 는 양의 변수가 된다. 이것은 목적함수 (1)과 제약식 (2), (3)이 비선형조건인  $y_{kj}z_{kjm}$ 을 가질 수밖에 없는 이유였다. 하지만 새로운 형식에는 변수인  $z_{kjm}$ 이 필요하지 않다. 그리고  $j$ 항만에 선박  $k$ 가 정박하는 경우  $y_{kj}$ 는 양의 값으로 만들기 위해서는 아래와 같은 통제하는 제약식이 필요하다.

$$y_{kj} - M_{kj} \left( \sum_{n \in N_k} b_{jn} x_{kn} \right) \geq 0 \quad \forall (k, j)$$

그래서 만들어진 새로운 모형은 다음과 같다.

---

18) Cho Seong-Cheol & A. N. Perakis(2001), "An improved formulation for bulk cargo ship scheduling with a single loading port", *Maritime Policy & Management*, v.28, pp. 339~345.

$$\text{Minimize} \quad \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} a_{kj} y_{kj} \quad + \quad \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} \left( \frac{p_k}{u_j} \right) y_{kj} \quad + \quad \sum_{k \in K} \sum_{n \in N_k} f_{kn} x_{kn} \quad (1')$$

Subject to

$$\sum_{j \in J} \sum_{n \in N_k} y_{kj} \leq C_k \quad \forall k \in K \quad (2')$$

$$\sum_{k \in K} y_{kj} = D_j \quad \forall j \in J \quad (3')$$

$$\sum_{n \in N_k} x_{kn} = 1 \quad \forall k \in K \quad (4')$$

$$y_{kj} - M_{kj} \left( \sum_{n \in N_k} b_{jn} x_{kn} \right) \leq 0 \quad \forall (k, j) \quad (5')$$

$$x_{kn} \in \{0, 1\}, \quad y_{kj} \geq 0$$

제약식 (1')-(3')은 기존 모형의 (1)-(3)의 복잡한 비선형조건인  $y_{kj} z_{kjin}$  없이 대체되었고 (4')는 이전의 모형과 같으며, (5')는  $y_{kj}$ 를 양의 값으로 만들기 위한 제약식이다. 이 새로운 모형은 기존 모형의 비선형화를 제거하였을 뿐 아니라 정수변수의 수를 줄여 계산을 용이하게 하였다.

## 제 5 장 모형개발

### 제 1 절 모형의 개요

#### 1.1 모형의 가정

본 연구는 여러 척의 부정기선을 운항하는 해운기업을 대상으로 최적의 운항일정계획을 위한 의사결정 모형을 제시한다. 이 의사결정 모형에 대해서 아래와 같이 가정한다.

(1) 단기간에 화물을 수송해야하는 모형이므로 2개의 수요지까지 운항이 가능하도록 선박의 운항일정계획이 구성된다. 또한 하나의 후보 운항일정계획은 화물의 인도를 위해 방문하게 되는 항만들에 의해 완전히 결정된다. 계획의 단기적 특성에 의해 운항일정계획의 세부사항은 방문하고자 하는 항만을 최단의 거리로 연결하는 항로에 의해 결정되기 때문이다. 부정기선 분야에서는 계획기간이 길수록 화물 수요에 대한 불확실성이 높으므로 단기간 거의 확정적으로 발생한 화물을 대상으로 운항일정을 세우는 것이 계획의 실현가능성을 높이는 방법이다.

(2) 모든 선박이 모든 후보 운항일정계획을 다 가질 수 있는 것이 아니라 시간적 제약이나 혹은 항만의 특성에 따라 불가능한 후보 운항일정계획도 있다는 것을 가정하였다.

(3) 각 항만마다 하루당 처리할 수 있는 하역량, 공급지의 공급 가능량, 도착항만에서의 화물수요 등이 확정적으로 주어져있다고 가정하였다.

(4) 총 공급량이 총 수요량보다 크다고 가정하였다.

## 1.2 모형의 기호

이 모형은 Cho & Perakis의 모형을 기본으로 하여 확장시킨 모형이므로 아래와 같이 Cho & Perakis 모형의 기존의 기호 이외에 몇 가지의 기호를 더 추가하였다. 단, 중복되는 기호는 서술하지 않았다.

( 기 호 )

$w_i$  : 공급지  $i$  에서의 톤당 선적비용

$S_i$  : 공급지  $i$  의 공급 가능한 양

( 의사결정변수 )

$x_{kn}$  : 선박  $k$  를 일정  $n$  으로 운항하는지의 여부를 나타내는 이진변수

(운항할 경우 1, 운항하지 않을 경우 0)

$y_{kj}$  : 선박  $k$  가  $j$ 항만에 내리는 화물의 양

## 제 2 절 부정기선 운항을 위한 혼합정수계획모형

이 절에서는 둘 이상의 공급지에서 동일화물을 최소한의 비용으로 수요지까지 공급하는 혼합정수계획모형을 제시한다. 공급 가능량과 수요량이 정해질 때 이 물량을 최소한의 운항비용으로 단기간에 수송할 수 있는 모형설계를 목적으로 한다.

운항비를 최소로 하여 혼합정수계획모형을 설계할 때, 선박  $k$  가 어떤 일정  $n$  을 운항할지 여부를 나타내는 이진변수는  $x_{kn}$  이다. 이것을 의사결정변수로 이 모형은 설계된다. 즉  $x_{kn} = 1$  이면 선박  $k$  는 운항일정계획  $n$  으로 운항하며,  $x_{kn} = 0$  이면 선박  $k$  가 운항일정계획  $n$  을 운항하지 않는다는 것이다. 그리고 선박  $k$  가 일정  $n$  을 선택하게 되면 그 일정의 도착지인  $j$  항만



에  $y_{kj}$  만큼의 물량을 내리게 된다.

## 2.1 목적함수

화물의 공급지가 여러 곳일 경우 선적비가 선적항 선택의 의사결정에 따라 달라지므로 이를 목적함수에 포함한다.

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K_i} \sum_{j \in J} w_i y_{kj}$$

화물의 보험계약 등에 따른 다양한 계약 및 운송기간동안의 화물관리비용은 화물량에 비례하며, 운송하는 선박 및 도착지등에 따라 다를 것이므로 이와 같은 화물처리 비용이 톤당  $a_{kj}$  의 비용이 발생한다고 하자. 따라서 선박  $k$  가 운항될 때 드는 보험 및 화물처리의 총비용은 아래와 같다.

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in J} a_{kj} y_{kj}$$

각 수요지의 하루에 처리할 수 있는 하역량에 따라 선박의 체류기간이 달라지고 선박에 따라 항만체제비가 틀리므로 총 항만체제비를 수식으로 표현하면 아래와 같다.

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in J} \left( \frac{p_k}{u_j} \right) y_{kj}$$

마지막으로 각 선박은 어떤 운항일정을 선택하는지에 의해 실제 운항하는데 소요되는 운항비  $f_{kn}$  이 달라진다. 이 비용은 연료비 외에 항만 입출항비와 접안료, 선원의 인건비, 운항에 따르는 제 관리비 등이 포함된다. 그리고 만약  $k$  선박이 운항되지 않을 경우 (이 경우 후보운항일정계획  $n$ 은 선박의 계선을 의미)  $f_{kn}$  은 선박의 계선비용을 의미한다. 따라서 모든 선박에 대한 총 운항비는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sum_{k \in Kn} \sum_{n \in N_k} f_{kn} x_{kn}$$

목적 함수는 위의 운항비용들의 총합을 최소화하는 것이므로 (1'')로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Minimize} \quad & \sum_{i \in I} \sum_{k \in K_i} \sum_{j \in J} w_i y_{kj} + \sum_{k \in K_j} \sum_{j \in J} a_{kj} y_{kj} + \sum_{k \in K_j} \sum_{j \in J} \left( \frac{p_k}{u_j} \right) y_{kj} + \\ & \sum_{k \in Kn} \sum_{n \in N_k} f_{kn} x_{kn} \end{aligned} \quad (1'')$$

## 2.2 제약식

공급지  $i$  에서 출발 할 수 있는 선박  $k$  는 제한되어 있다. 그래서 이 제한된 선박에 실질적으로 싣는 화물의 양은 그 공급지의 공급 가능량을 초과할 수는 없다. 이것을 수식으로 표현하면 아래와 같다.

$$\sum_{k \in K_i} \sum_{j \in J} y_{kj} \leq S_i \quad \forall i \in I \quad (2'')$$

또한 각 선박에 실질적으로 싣는 화물의 양은 그 선박의 수용능력보다 작거나 같다. 이것을 수식으로 표현하면 아래와 같다.

$$\sum_{j \in J} y_{kj} \leq C_k \quad \forall k \in K_i, \quad \forall i \in I \quad (3'')$$

각 선박에 실린 화물은 운항일정계획  $n$  에 따라 최종수요지  $j$  에서 화물을 내리게 된다. 이 때 내리는 화물의 총합은 그 수요지에서 요구하는 수요량과 같아야 한다. 이것을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\sum_{k \in K} y_{kj} = D_j \quad \forall j \in J \quad (4'')$$

이 모형은 단기간 수송을 위한 모형이므로 각 선박은 하나의 운항일정계획밖에 가질 수 없다는 제약이 있어야 한다. 또한 이미 설명한 바와 같이 선박이 계획기간 동안 운항되지 않을 수도 있는데, 선박에 따라 후보 운항일정계획 중에는 이러한 계선의 경우를 포함할 수도 있다.

$$\sum_{n \in N_k} x_{kn} = 1 \quad \forall k \in K \quad (5'')$$

그리고 앞서 Cho & Perakis 모형에서 설명했듯이  $y_{kj}$  가 양의 값을 갖기 위해서는 아래의 제약식이 필요하다. 즉 선박  $k$  가 어떤 수요지  $j$ 에 내리는 일정을 선택 할 경우만 그 수요지까지 선박  $k$ 가 화물을 운송할 수 있음을 ( $y_{kj} > 0$ )이 나타난다.

$$y_{kj} - M_{kj} \left( \sum_{n \in N_k} b_{jn} x_{kn} \right) \leq 0 \quad \forall (k, j) \quad (6'')$$

마지막으로 변수  $x_{kn}$  은 이진변수이고  $y_{kj}$  는 비음(非陰)임을 표현하면 아래와 같다.

$$x_{kn} \in \{0,1\}, \quad y_{kj} \geq 0 \quad (7'')$$

### 2.3 완성된 혼합정수계획모형

지금까지 제시된 목적함수와 제약식들을 통하여 총 비용을 최소화하는 운항일정계획모형을 모두 표현하면 다음과 같다.

[ 모 형 ]

$$\begin{aligned} \text{Minimize} \quad & \sum_{i \in I} \sum_{k \in K_i} w_i y_{kj} + \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} a_{kj} y_{kj} + \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} \left( \frac{p_k}{u_j} \right) y_{kj} + \\ & \sum_{k \in K} \sum_{n \in N_k} f_{kn} x_{kn} \end{aligned} \quad (1'')$$

Subject to

$$\sum_{k \in K_i} \sum_{j \in J} y_{kj} \leq S_i \quad \forall i \in I \quad (2'')$$

$$\sum_{j \in J} y_{kj} \leq C_k \quad \forall k \in K_i, \quad \forall i \in I \quad (3'')$$

$$\sum_{k \in K} y_{kj} = D_j \quad \forall j \in J \quad (4'')$$

$$\sum_{n \in N_k} x_{kn} = 1 \quad \forall k \in K \quad (5'')$$

$$y_{kj} - M_{kj} \left( \sum_{n \in N_k} b_{jn} x_{kn} \right) \leq 0 \quad \forall (k, j) \quad (6'')$$

$$x_{kn} \in \{0,1\}, \quad y_{kj} \geq 0 \quad (7'')$$

위의 모형은 기존 모형에서 공급지의 수를 두 곳 이상으로 확장하였으므로 목적함수 (1'')에 선적비가 추가되었고, 제약식 중에는 공급지의 공급량 제약식 (2'')이 추가 되었다.

## 2.4 최적해의 해석

위 [모 형]의 최적해는 상용화된 선형/정수계획모형의 소프트웨어를 통하여 구할 수 있다. 이제 도출된 최적해를  $x_{kn}^*$ ,  $y_{kj}^*$  라고 하자. 만약  $x_{kn}^*$ 이 1 이라면 선박  $k$  는 운항일정계획  $n$  을 선택해야 함을 의미한다.  $x_{kn}^* = 1$  인 변수의 개수는 선박의 수와 동일하다. 이를 통해 각 선박의 운항일정계획 즉 화물운송을 위해 방문하게 될 수요지 항만들이 확정된다. 혹은  $x_{kn}^* = 1$  이 선박  $k$  가 운항되지 않아야 함을 의미할 수도 있다.

$y_{kj}^*$  은 선박  $k$  가 수요지  $j$  에 내려야 하는 화물의 양을 의미한다. 선박  $k$  가 운항일정계획  $n$  에 의해 화물을 운송 할 때 도착지인  $j$  수요지에  $y_{kj}^*$  만큼의 물량을 내리게 된다. 이로써 우리는  $x_{kn}^*$  과  $y_{kj}^*$  에 의해 각 선박이 운항해야 하는 최적운항일정계획과 그 선박이 각 수요지에 내리는 화물의 양을 알 수 있게 되는 것이다.

## 제 6 장 사례연구

이 장에서는 개발된 모형의 사례에 대한 내용을 다루고 있으며, 자기 소유의 다양한 선박을 여러 척 보유하고 있는 한국해운을 가상의 기업으로 설정하여 선박의 최적 운항일정계획을 도출해 보고자 한다.

### 제 1 절 후보일정 및 비용자료

한국해운은 주요 공급지 1, 2에서 소비량이 많은 수요지 3, 4, 5로 화물을 운송할 계획을 가지고 있다. 이 회사는 보유한 선박을 이용하여 비용을 최소화 하는 최적운항일정계획을 세우기로 하였다. 공급 가능량과 각 수요지에서 원하는 수요량, 그리고 각 공급지에서 출발 가능한 선박과 수용능력은 <표-6>, <표-7>과 같다.

<표-6> 공급지의 공급가능량 및 각 선박의 수용능력

(단위 : Ton)

공급지	공급가능량	가능선박	수용능력
1	6,000	1	3,500
		2	2,000
2	8,000	3	2,000
		4	3,000
		5	2,500

<표-7> 각 수요지의 수요량

(단위 : Ton)

수요지	수요량
3	4,000
4	2,500
5	4,000

후보일정과 각 선박의 운행 가능한 후보 운항일정계획 및 비용자료는 <표

-8>에서부터 <표-14>와 같다.

<표-8> 후보 운항일정계획

1(1,3)	2(1,4)	3(1,5)	4(2,3)	5(2,4)
6(2,5)	7(1,3,4)	8(1,3,5)	9(1,4,5)	10(2,3,4)
11(2,3,5)	12(2,4,5)	13(1,0)	14(2,0)	

위에 후보 운항일정계획 중 13 과 14 는 선박이 운항하지 않음을 뜻한다.

<표-9> 각 선박의 가능 후보운항일정

선박	후보일정
1	1,3,7,8,13
2	1,2,3,8,9,13
3	4,5,6,10,12,14
4	4,5,6,11,12,14
5	4,5,6,14

<표-10> 각 공급지의 선적비

(단위 : \$)

공급지 1	공급지 2
2	3

<표-11> 각 선박의 보험 및 화물처리비

(단위 : \$)

선박 \ 수요지	3	4	5
1	1	1.5	2
2	0.5	1	1.5
3	0.8	1	1.2
4	1.5	2	2.5
5	1	1.3	1.6

<표-12> 각 선박의 후보 운항일정계획의 운항비용

(단위 : 1,000\$)

선박 \ 일정	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	20		26				29	32					0	
2	15	16	18					22	24				0	
3				13	15	17				20		23		0
4				17	19	21				27	29			0
5				15	17	18								0

<표-13> 하루당 항만에 정박하는데 드는 항만 체제비

(단위 : 1,000\$)

선박 \ 수요지	3	4	5
1	5	5	4
2	3	3	2
3	3	3	2
4	4	4	3
5	3	3	2

<표-14> 각 수요지의 하루당 화물 처리 가능량

(단위 : 1,000Ton)

수요지	3	4	5
처리량	2	2	1

## 제 2 절 한국해운의 최적 운항일정계획 모형

한국해운은 제 6 장 1절에 제시된 자료를 통하여 최적 운항일정계획을 발견할 수 있는 혼합정수계획모형을 작성하였다. 이 모형은 아래와 같다.

[ 모형 ]

$$\begin{aligned}
 \text{Min } & 2y_{13} + 2y_{14} + 2y_{15} + 2y_{23} + 2y_{24} + 2y_{25} + 3y_{33} + 3y_{34} \\
 & + 3y_{35} + 3y_{43} + 3y_{44} + 3y_{45} + 3y_{53} + 3y_{54} + 3y_{55} \\
 & + y_{13} + 1.5y_{14} + 2y_{15} + 0.5y_{23} + y_{24} + 1.5y_{25} + 0.8y_{33} + y_{34} \\
 & + 1.2y_{35} + 1.5y_{43} + 2y_{44} + 2.5y_{45} + y_{53} + 1.3y_{54} + 1.6y_{55} \\
 & + 2.5y_{13} + 2.5y_{14} + 4y_{15} + 1.5y_{23} + 1.5y_{24} + 2y_{25} + 1.5y_{33} + 1.5y_{34} \\
 & + 2y_{35} + 2y_{43} + 2y_{44} + 3y_{45} + 1.5y_{53} + 1.5y_{54} + 2y_{55} \\
 & + 20000x_{11} + 23000x_{12} + 26000x_{13} + 32000x_{18} + 30000x_{19} + 0x_{113} \\
 & + 15000x_{21} + 16000x_{22} + 18000x_{23} + 21000x_{27} + 22000x_{29} + 0x_{213} \\
 & + 13000x_{34} + 16000x_{35} + 17000x_{36} + 22000x_{311} + 23000x_{312} + 0x_{314} \\
 & + 17000x_{44} + 21000x_{46} + 27000x_{411} + 0x_{414}
 \end{aligned}$$



$$+ 15000x_{54} + 17000x_{55} + 18000x_{56} + 22000x_{510} + 23000x_{511} + 25000x_{512} \\ + 0x_{514}$$

Subject to

$$y_{13} + y_{14} + y_{15} + y_{23} + y_{24} + y_{25} \leq 6000$$

$$y_{33} + y_{34} + y_{35} + y_{43} + y_{44} + y_{45} + y_{53} + y_{54} + y_{55} \leq 8000$$

$$y_{13} + y_{14} + y_{15} \leq 3500$$

$$y_{23} + y_{24} + y_{25} \leq 2000$$

$$y_{33} + y_{34} + y_{35} \leq 2000$$

$$y_{43} + y_{44} + y_{45} \leq 3000$$

$$y_{53} + y_{54} + y_{55} \leq 2500$$

$$y_{13} + y_{23} + y_{33} + y_{43} + y_{53} = 4000$$

$$y_{14} + y_{24} + y_{34} + y_{44} + y_{54} = 2500$$

$$y_{15} + y_{25} + y_{35} + y_{45} + y_{55} = 4000$$

$$x_{11} + x_{13} + x_{17} + x_{18} + x_{113} = 1$$

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{28} + x_{29} + x_{213} = 1$$

$$x_{34} + x_{35} + x_{36} + x_{310} + x_{312} + x_{314} = 1$$

$$x_{44} + x_{45} + x_{46} + x_{411} + x_{412} + x_{414} = 1$$

$$x_{54} + x_{55} + x_{56} + x_{514} = 1$$

$$y_{13} - 3500x_{11} - 3500x_{17} \leq 0$$

$$y_{14} - 2500x_{17} \leq 0$$

$$y_{15} - 3500x_{13} - 3500x_{18} \leq 0$$

$$y_{23} - 2000x_{21} - 2000x_{28} \leq 0$$

$$y_{24} - 2000x_{22} - 2000x_{29} \leq 0$$

$$y_{25} - 2000x_{23} - 2000x_{28} - 2000x_{29} \leq 0$$

$$y_{33} - 2000x_{34} - 2000x_{310} \leq 0$$

$$y_{34} - 2000x_{35} - 2000x_{310} - 2000x_{312} \leq 0$$

$$y_{35} - 2000x_{36} - 2000x_{312} \leq 0$$

$$y_{43} - 3000x_{44} - 3000x_{411} \leq 0$$

$$\begin{aligned}
y_{44} - 2500x_{45} - 2500x_{412} &\leq 0 \\
y_{45} - 3000x_{46} - 3000x_{411} - 3000x_{412} &\leq 0 \\
y_{53} - 2500x_{54} &\leq 0 \\
y_{54} - 2500x_{55} &\leq 0 \\
y_{55} - 2500x_{56} &\leq 0
\end{aligned}$$

$$x_{kn} \in \{0,1\}, y_{kj} \geq 0$$

### 제 3 절 한국해운의 최적 운항일정계획

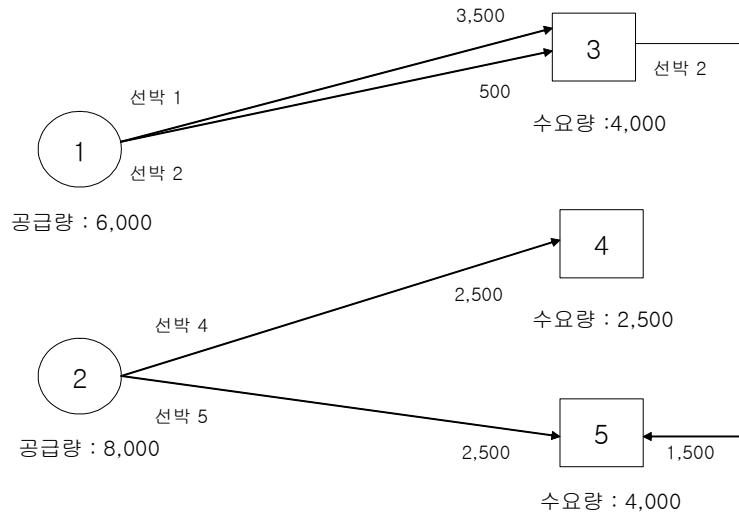
[모형]을 선형/정수계획모형 범용 소프트웨어인 LINDO/PC를 이용하여  
 푼 결과 다음과 같은 최적해를 얻을 수 있었다.

$$x_{11}^* = 1, \quad x_{28}^* = 1, \quad x_{314}^* = 1, \quad x_{45}^* = 1, \quad x_{56}^* = 1,$$

$$y_{13}^* = 3500, \quad y_{23}^* = 500, \quad y_{25}^* = 1500, \quad y_{44}^* = 2500, \quad y_{55}^* = 2500.$$

이 모형의 최적 목적함수 값은 142,500 으로 이는 한국해운이 도출된 최적  
 의 운항일정계획에 의해 모든 화물을 운송할 경우 \$142,500의 비용이 든다는  
 것을 의미이다. 이 모형에서 각 선박은 후보 운항일정계획 중 한 가지를 택하  
 고 이 때 선박이 수요지에 내리는 물량이  $y_{kj}^*$  이다. 후보 운항일정계획 13과  
 14는 선박이 운항 할 필요가 없음을 의미하므로,  $x_{314}^* = 1$ 로부터 3번 선박은  
 계획기간 동안 운항하지 않고 계선해야함을 알 수 있다. 이것을 그림으로 표  
 현하면 다음의 <그림-4>와 같다.

<그림-4> 선박 1, 2, 4, 5의 운항일정



한편 도출된 최적 운항일정계획에 의해 공급지 1과 2는 운항일정계획에서는 각각 공급량보다 500톤과 3000톤을 적게 운송하는 것으로 나타났다. 최적 운송량( $y_{kj}^*$ )에 대해서는 선박1은 수요지3에 3,500톤을 선박 2는 수요지 3과 5에 각각 500톤과 1,500톤씩을, 선박 4는 수요지 5에 2,500톤, 선박 5는 수요지 5에 2,500톤을 운송해야 함을 알 수 있다. 그리고 이 사례 연구에서 선박 3은 현재의 화물 수요를 위해서는 운항할 필요가 없으므로 다른 화물을 운송할 수 있는 항로에 투입하거나 개선하는 것이 최적의 의사결정임을 알 수 있다.

## 제 6 장 결 론

### 제 1 절 연구 결과의 요약

세계적으로 수출입 화물의 대부분을 해상을 통해서 운송할 만큼 해운부문의 비중이 상당히 크다. 그 중 원유나 곡물, 철광석등의 산화물은 운임 부담력이 약하고 대량으로 운송되기 때문에 주로 부정기선에 의해 운항이 된다. 본 논문은 이런 부정기선을 운항하는 해운기업을 대상으로 하며 특히 원유나 철광석회사가 자사 보유의 선박을 직접 운항하는 인더스트리얼 캐리어에 적합한 내용을 담고 있다. 이 연구에서 주 대상인 화물들은 특정 대량 생산지에서 전 세계의 여러 수요지로 공급되는 패턴을 가지고 있다. 이 논문에서는 이런 특성에 부합하는 운항일정계획을 개발하였는데 이는 현실적인 항만의 체증이나 날씨 등으로 인해 계획기간이 장기간일 경우 계획대로 운행하기가 어렵다. 그러므로 불확실성이 최소화된 단기 화물 수요를 대상으로 하는 모형을 개발하였다.

본 논문은 Cho & Perakis의 논문에서 공급지를 한 곳에서 두 곳 이상으로 확대하여 현실적 적용성을 높인 개선된 최적운항일정계획모형을 개발하였으며 개발된 모형의 분석과 해의 관리적 의미를 해석하였다. 그리고 현실에 바탕을 둔 가상자료를 활용한 사례연구를 통하여 개발된 모형의 타당성을 예증하였다.

### 제 2 절 연구의 한계 및 향후 연구 방향

본 연구는 부정기선사의 실무 자료 수집에 대한 현실적인 어려움으로 가상 자료를 토대로 사례연구를 시도하였다. 현실에서 부정기 선사들은 이 모형을 자사의 자료를 활용하여 적용시킬 수 있으며, 이를 통해 복잡한 운항일정 의사결정을 최적으로 할 수 있도록 도움을 받을 수 있다.

본 연구의 한계 및 향후 연구방향은 아래와 같이 언급 할 수 있다.

우선 Cho & Perakis 모형에서는 공급지를 한 곳만 고려했다면 본 모형은 둘 이상의 공급지를 대상으로 하여 개발한 모형이다. 그러나 본 모형은 공급지의 수가 많아지고, 관련 선박과 수요지역 항만이 많아질수록 정수변수의 수가 많아져 복잡한 모형이 되고 적절한 특수해법의 개발이 필요 할 수도 있다. 다만 현실적으로 이 모형은 단기적으로 발생한 화물수요를 전제로 하기 때문에 이러한 복잡성의 증가는 예외적 상황으로 생각 할 수 있다.

또한 본 연구에서 개발된 모형을 바탕으로 부정기선 해운기업의 의사결정자는 자사의 데이터베이스와 연계한 의사결정지원시스템의 개발을 시도할 수가 있는데 이는 현실적으로 가능하고 의미 있는 주제가 될 것이다.

## 참 고 문 헌

### [국 내 문 헌]

김웅진·추장엽(1995), 「국제운송물류론」, 도서출판 두남.

이종인(2001), 「국제해상운송론」, 효성출판사.

박명섭(1997), 「국제해운론」, 법문사.

방희석(1999), 「국제운송론」, 전영사.

문영석·나인강(2002), 「주간석유뉴스」, 에너지 경제 연구원.

김세현(2001), 「현대경영과학」, 무역경영사.

이상문(2002), 「신경영과학」, 형설출판사.

강금식(2000), 「EXCEL2000 경영과학」, 전영사.

정기호·백천현(2001), 「엑셀을 활용한 경영과학」, 학현사.

박송원의 2인, 「엑셀 2000 경영과학」, 교보문고.

곽민석(1998), “인더스트리얼 캐리어를 위한 선대운영의 최적화에 관한 연구”, 한국해양대학교 대학원 석사학위 논문.

이경근 · 김시화(1999), “전술적 선박 스케줄링의 최적화 분석에 관한 연구”, 「한국항해학회지」 제18권 pp. 57 ~ 67.

신승식(2002), "전세계 부정기선 해운거래량의 증장기 전망", 「월간 해양수산」, 3월호.

이수철(1996), "유류의 연안해송 활성화 방안", 「한국해양수산개발원 정책보고서」.

해양수산개발원 선박용선 D/B.

### [외 국 문 헌]

Chrzanowski, Lgnacy(1985), 「AN INTRODUCTION TO SHIPPING ECONOMICS」, Fairplay Publication.

Metaxas, B. N.(1971), 「The Economics of Tramp Shipping」, The Athlone Press of the University of London.

Marcus, S. Hery(1987), 「Marine Transportation Management」, Croom Helm.

Alderton, P. M.(1984), 「Sea Transportation」, Reed Publication ltd.

Coyle J. J., Bardi J. E. & Cavinato L. J.(1986) 「Transportation」, West Pub. Co.

Taha, A. Hamdy(2003), 「Operations Research」, Person Education inc.

Fagerholt, Khetil(2002), "Ship Routing and scheduling Status and trends", MARINTEK.

Ronen, D.(1986), "Short-term scheduling of vessels for shipping bulk or semi-bulk commodities originating in a single area", Operation Research,

v.34, pp. 164~173.

Seong-Cheol, Cho & Perakis, A. N. (2001), "An improved formulation for bulk cargo ship scheduling with single loading port", *Maritime Policy & Management*, v. 28, pp. 339~345.

Appelgren, L. H.(1971), "Integer Programming methods for vessel scheduling problem", *Transportation Science*, v. 5, pp. 64~78.

Bausch, D. O., Brown G. G. & Ronen D.(1998), "Scheduling short-term marine transport of bulk product", *Maritime Policy & Management*, v. 25, pp. 335~348.

Christiansen, M.(1999), "Decomposition of a Combined Inventory and Time Constrained Ship Routing Problem", *Transportation Science*, v. 49, pp. 611~625.

World Bulk Fleet (2000)

#### [인터넷 사이트]

<http://www.tgedu.net> (대구에듀넷)

<http://www.kmi.re.kr> (한국해양수산개발원)

<http://www.momaf.go.kr> (해양수산부 홈페이지)

<http://www.gotokorea.co.kr> (고투코리아 홈페이지)

<http://www.knoc.co.kr> (한국석유공사)



『별첨』

아래의 결과는 부정기선의 운항일정계획을 선형/정수계획모형 범용 소프트웨어인 LINDO/PC를 실행시킨 결과를 출력한 것이다.

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 142500.0

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X11	1.000000	16500.000000
X13	0.000000	26000.000000
X17	0.000000	23000.000000
X18	0.000000	32000.000000
X113	0.000000	0.000000
X21	0.000000	15000.000000
X22	0.000000	16000.000000
X23	0.000000	18000.000000
X28	1.000000	22000.000000
X29	0.000000	24000.000000
X213	0.000000	0.000000
X34	0.000000	10600.000000
X35	0.000000	12000.000000
X36	0.000000	13400.000000
X310	0.000000	14600.000000
X312	0.000000	16400.000000
X314	1.000000	0.000000
X44	0.000000	17000.000000
X45	1.000000	19000.000000
X46	0.000000	21000.000000
X411	0.000000	27000.000000
X412	0.000000	29000.000000
X414	0.000000	0.000000

X54	0.000000	15000.000000
X55	0.000000	17000.000000
X56	1.000000	18000.000000
X514	0.000000	0.000000
Y13	3500.000000	0.000000
Y14	0.000000	0.000000
Y15	0.000000	0.000000
Y23	500.000000	0.000000
Y24	0.000000	0.000000
Y25	1500.000000	0.000000
Y33	0.000000	0.000000
Y34	0.000000	0.000000
Y35	0.000000	0.000000
Y43	0.000000	0.000000
Y44	2500.000000	0.000000
Y45	0.000000	0.500000
Y53	0.000000	0.400000
Y54	0.000000	0.200000
Y55	2500.000000	0.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	500.000000	0.000000
3)	3000.000000	0.000000
4)	0.000000	0.000000
5)	0.000000	2.500000
6)	2000.000000	0.000000
7)	500.000000	0.000000
8)	0.000000	1.400000
9)	0.000000	-6.500000
10)	0.000000	-7.000000
11)	0.000000	-8.000000
12)	0.000000	0.000000
13)	0.000000	0.000000

14)	0.000000	0.000000
15)	0.000000	0.000000
16)	0.000000	0.000000
17)	0.000000	1.000000
18)	0.000000	1.000000
19)	0.000000	0.000000
20)	1500.000000	0.000000
21)	0.000000	0.000000
22)	500.000000	0.000000
23)	0.000000	1.200000
24)	0.000000	1.500000
25)	0.000000	1.800000
26)	0.000000	0.000000
27)	0.000000	0.000000
28)	0.000000	0.000000
29)	0.000000	0.000000
30)	0.000000	0.000000
31)	0.000000	0.000000

NO. ITERATIONS= 3807

BRANCHES= 284 DETERM.= 1.000E 0