

경영학석사 학위논문

새로운 Hub Port를 고려한 정기선의
최적항로결정모형 개발에 관한 연구

(A Study on Optimal Routing for a Containership Considering New
Candidate Hub Ports)

지도교수 조 성 철

2004년 2월

한국해양대학교 대학원

해운경영학과

신 유 정

本 論 文 을 신유정의 經營學碩士 學位論文으로 認准함.

위원장 안 기 명 인

위 원 김 시 화 인

위 원 조 성 철 인

2003년 12월 18일

한국해양대학교 대학원

해 운 경 영 학 과

신 유 정

목 차

Abstract	VI
제1장 서 론	1
제1절 연구 필요성과 연구목적	1
1.1. 연구의 필요성	1
1.2. 연구의 목적	3
제2절 연구내용 및 방법	4
2.1. 연구대상	4
2.2. 연구내용	4
2.3. 연구방법	5
제2장 정기선 해운의 현황	6
제1절 정기선 해운의 특징	6
1.1 정기선 운항항로	6
1.2. 정기선 수송화물	7
1.3. 정기선 운임결정	8
제2절 정기선 해운의 현황	9
2.1 선사간 전략적 제휴	9
2.2 초대형선 등장	9
2.3 허브 & 스포크 시스템	10

제3절 컨테이너 터미널	13
3.1 터미널의 의미	13
3.2 컨테이너 터미널의 분류	13
제4절 주요 정기선항로	15
4.1 북대서양항로	15
4.2 북미항로	16
4.3 유럽항로	17
4.4 세계일주항로	17
제3장 의사결정 모형의 이론적 배경	21
제1절 네트워크모형	21
1.1 네트워크모형의 정의	21
1.2 네트워크모형의 기본용어	22
1.3 최소비용 흐름문제	24
제2절 선형계획법	26
2.1 선형계획법의 정의	26
2.2 선형계획법의 기본형태	26
2.3 정수계획법	27
제4장 정기선의 항로결정 문제	28
제1절 문제의 개요	28
1.1 모형의 가정	28
1.2. 모형의 기호	29

제2절 정기선 경로선택을 위한 혼합정수계획모형	30
2.1 개 요	30
2.2 정수계획법	30
2.3 혼합정수계획모형의 목적함수	31
2.4 혼합정수계획모형의 제약식	32
2.5 완성된 혼합정수계획모형	34
2.6 혼합정수계획모형 최적해의 해석 및 경영적 시사점	35
제5장 사례연구	37
제1절 후보경로지와 비용자료	37
제2절 정기선사의 항로결정 모형	45
제3절 정기선사의 항로결정 모형의 결과	47
제6장 결 론	52
제1절 연구 결과의 의의	52
제2절 연구의 한계 및 향후 연구방향	52
참고문헌	54

표 목 차

[표 2-1]	세계 컨테이너선대 선복 증감추세	19
[표 2-2]	최근 세계 컨테이너 물동량 및 증가율	20
[표 5-1]	각 공급지, 수요지, 경유지 마디 간 화물의 흐름	39
[표 5-2]	연간 화물흐름양	39
[표 5-3]	각 구간별 운항비(E/B)	40
[표 5-4]	각 구간별 운항비(W/B)	40
[표 5-5]	화물흐름 $k=1$ 의 각 구간별 운항비(E/B)	41
[표 5-6]	화물흐름 $k=1$ 의 각 구간별 운항비(W/B)	41
[표 5-7]	화물흐름 $k=2$ 의 각 구간별 운항비(E/B)	42
[표 5-8]	화물흐름 $k=2$ 의 각 구간별 운항비(W/B)	42
[표 5-9]	화물흐름 $k=3$ 의 각 구간별 운항비(E/B)	43
[표 5-10]	화물흐름 $k=3$ 의 각 구간별 운항비(W/B)	43
[표 5-11]	화물흐름 $k=4$ 의 각 구간별 운항비(E/B)	44
[표 5-12]	화물흐름 $k=4$ 의 각 구간별 운항비(W/B)	44
[표 5-13]	중심항 활용비용	45

그 립 목 차

[그림 2-1]	우유배달(milk round)서비스	11
[그림 2-2]	허브 & 스포크(hub & spoke)서비스	11
[그림 2-3]	북대서양항로	15
[그림 2-4]	북미항로	16
[그림 2-5]	유럽항로	17
[그림 2-6]	시계추서비스항로	18
[그림 2-7]	세계 컨테이너선대 선복량 추세	19
[그림 2-8]	세계 컨테이너물동량 추세	20
[그림 3-1]	네트워크 모형(network model)	22
[그림 3-2]	흐름	22
[그림 3-3]	방향가지와 무방향가지	23
[그림 5-1]	공급지, 수요지, 경유지 네트워크	38
[그림 5-2]	1번 화물흐름의 최적항로	49
[그림 5-3]	2번 화물흐름의 최적항로	50
[그림 5-4]	3번 화물흐름의 최적항로	51
[그림 5-5]	4번 화물흐름의 최적항로	51
[그림 5-6]	각 화물흐름별 최적항로들의 연결	52
[그림 5-7]	발견된 최적항로	52

ABSTRACT

A Study on Optimal Routing for a Containership Considering New Candidate Hub Ports

Shin, Yoo-jung

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

In the liner shipping industry a shipowner runs a regular service stopping at a certain set of fixed ports of call and usually on a fixed time schedule. Once a route has been determined for a ship, it usually lasts for a long time. This makes the routing problem for a liner shipping company strategic and challenging which affects a long period of time. Especially, for bigger containerships usually over 4000TEU, routing strategy is one of the essential elements that can determine a company's competitive power.

Larger containerships sail only between bigger ports so called hub ports, and the cargos discharged at hub ports are distributed and transshipped to smaller ports called feeder ports. In light of this, the hub ports and feeder ports should be studied on together, and the design and usage of the network of hub and feeder ports requires an integrated and systematic decision making model.

In more generic terms, the hub and spoke network system has already been applied to many transportation and communication industries, and proven to be helpful to solve complicated routing problems. In spite of this encouraging results, few academic research have been yet tried exploiting this hub and spoke network in shipping industries. This thesis applies the hub and spoke network system and provides an optimal route planning model for a containership. This model can be used to develop an optimal route for a containership, where the shipping company faces a new opportunity of stopping at new candidate hub ports that have potential economic merit but have not yet been included in the company's liner routes.

제1장 서론

제1절 연구의 필요성과 연구목적

1.1 연구의 필요성

컨테이너 물동량 증가와 해운회사의 물류비 절감정책에 맞추어 단위 TEU 당 수송원가를 낮추기 위하여 선박의 대형화가 계속되어 왔다. 선박이 대형화될수록 TEU당 건조단가가 저렴해지며 수송원가 또한 낮아지기 때문이다. 또한 TEU당 운항비 절감은 단일선박으로 대량의 화물을 일시운항함으로써 단위당 수송비 절감으로 운임이 낮아지고 선원비 절감이 가능해진다. 가령 6,000TEU급 선박은 4,000TEU급 선박보다 TEU당 수송비에서 10%, TEU당 총비용에서 5%, 8,000TEU급 선박은 총비용에서 TEU당 10% 원가절감이 가능하다. 한편 대형선의 운항효율을 높이기 위하여 유수선사들끼리 전략적 제휴를 맺어 운항하는 경우가 늘고 있다.¹⁾

정기선 해운은 운항항로, 기항지, 소요시간, 운임 등 운항일정이 사전에 확정되어 지고, 일단 운항일정이 결정되면 일정기간 동안은 결정된 일정에 따라 운항하여야 하므로 정기선사에서의 운항항로 결정은 중요하다. 특히, 대형선의 경우 항차당 최소 4,000TEU에서 최대 8,000TEU의 화물을 수송하기 때문에 대형선사의 항로결정은 매우 중요하다.

선사들은 규모의 경제를 실현하기 위해 선박을 대형화 하고 전략적 제휴로 운항효율성을 증대시키려는 노력을 경주하고 있다. 대형선박들은 세계일주서비스와 시계추서비스의 형태로 중심항(hub port)이라 불리는 전 세계 주요 물류거점만을 운항하며, 중심항에 환적된 화물은 다시 소규모 선사의 자선²⁾(feeder ship : 子船)에 선적되어 주변(feeder)항으로 운항하는 형태를 가

1) 방희석(1999), 「국제운송론」, 전영사, p.330.

2) 이하 자선(feeder ship)은 피더선이라 칭한다.

지게 되었다. 따라서 중심항들을 연결하는 주된 정기선 항로의 개발과 이를 주변항들과 종합적으로 연결하는 시스템적 관리의 필요성이 증가하고 있다. 또한 최근 많은 국가들이 물류거점의 입지를 확보하고자 경쟁적으로 자국의 중심항만 개발계획을 추진하고 있다는 사실을 고려할 때, 선사의 입장에서는 이러한 새로운 중심항만들을 자신의 항로에 포함시켜야 할 것인가 하는 중요한 의사결정의 기회가 제공되고 있다. 이 논문은 바로 이러한 상황에서 정기선사가 어떻게 새로운 최적항로를 찾을 수 있을 것인가를 경영과학의 수리모형개발을 통해 설명하고자 한다.

중심항만과 주변항의 연결을 종합적으로 다루는 의사결정문제는 최근에 항공산업³⁾, 통신 네트워크⁴⁾ 디자인에 많이 적용되고 있는 허브&스포크 체계(Hub and Spoke System)의 의사결정문제로 볼 수 있다. 그러나 해상운송의 경우 선박에 의한 물동량이 많음에도 불구하고 아직 이에 대한 연구가 미진한 실정이다. 그러므로 이 논문은 해운산업에 허브&스포크 네트워크의 개념을 적용하여 새로운 중심항의 활용이 가능할 경우 선사의 입장에서 중심항들만을 운항하는 최적항로를 발견할 수 있는 의사결정모형을 제안하고 있다.

3) Moon-Gil Yoon and Duk Young Yoon(2002), "Hub-Spoke Network Design Model with hop-count constraint for Air-cargo System", 「한국경영학회 학술지」, pp.139~144.

4) Robert S. Cahn(1998), *Wide Area Network Design : Concepts and Tools for Optimization*, Morgan Kaufmann Publishers.

1.2 연구의 목적

정기선은 정해진 항로를 정해진 운임, 정해진 스케줄에 따라 운항하는 선박이다.⁵⁾

해운업에서 가장 중요한 의사결정은 선박이 운항하는 항로(route)의 결정이다. 정기선의 경우 항로가 일단 결정되면 용이하게 변경시킬 수 없기 때문에 처음 항로를 개설할 때는 충분한 검토가 있어야 한다. 해당항구와 항만의 시설, 물류시스템 및 제반 여건을 고려하여 항로 및 기항지, 운항에 대한 경제성과 수익성을 검토하여 운항을 계속할 것인가 혹은 다른 지역으로 변경할 것인가 등을 결정하여야 한다. 적정항로를 결정하는 것은 경제성과 수익성을 높이기 위한 해운의 항로전략에서 가장 중요하고 다른 것보다 먼저 고려되어야 한다.⁶⁾

특히 대형 정기선이 새로운 중심항을 활용할 수 있는 기회가 있을 경우 이를 활용하여 새로운 정기선 항로를 결정할 것인가의 문제는 이와 관련된 비용과 수익 등의 규모가 크기 때문에 매우 중요한 전략적 의사결정문제라고 볼 수 있다. 그러나 아직 이러한 상황을 다루는 의사결정 모형에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 정기선의 대형화에 따른, 중심항-주변항(Hub-Feeder)체계로의 정기선 시장 2분화에 따라 중심항을 경유하며 새로운 중심항의 활용을 고려한 정기선의 최적항로결정모형 개발에 연구목적을 두었다.

5) Ernst Gabriel Frankel(1987), *The Shipping Industry*, Croom Helm.

6) 신한원 외 2인(2002), “컨테이너 정기선사의 국제마케팅전략에 관한 연구”, 한국해양대학교 해사산업 연구소.

제2절 연구내용 및 방법

2.1 연구대상

본 연구는 현재 운항중인 모든 정기선의 최적항로결정에 도움을 줄 수 있지만, 연구 모형이 중심항을 경유한 정기선의 최적항로 결정에 중점을 둔 것이므로 중심항 사이를 운항하는 4,000TEU이상의 대형 컨테이너선박을 대상으로 한다고 할 수 있다.

2.2 연구내용

본 연구의 주요 내용은 다음과 같다.

- 1) 정기선 한척을 대상으로 중심항들을 운항하는 최적 항로를 결정하는 의사결정 모형을 혼합정수계획법(mixed integer programming)을 이용하여 제시하고 있다.
- 2) 기존의 중심항 이외에 새로운 중심항 활용을 고려할 경우, 이를 포함한 최적항로를 도출할 수 있는 의사결정 모형을 개발하였다.
- 3) 가상자료를 통한 모형에 대한 사례연구 및 해(解)의 경영적 시사점을 제시 하고 있다.

2.3 연구방법

- 1) 정기선 해운에 관한 자료확보를 위해 국내·외 정기선사의 실무자료⁷⁾와 문헌조사를 하였다.
- 2) 의사결정 모형개발을 위해 경영과학의 수리적 모형개발 방법을 활용하였고, 특히 네트워크 모형과 정수계획 모형을 활용하여 개발하였다.
- 3) 최적화를 지향하는 수리적 모형의 해는 최적의사결정을 담고 있으므로 수치로 도출된 해의 경영적 해석은 매우 중요하다. 따라서 모형이 도출한 해가 어떤 경영적 시사점을 갖는가를 분석하였다.
- 4) 사례연구의 해를 구하기 위하여 선형/정수계획모형 범용 소프트웨어인 LINDO/PC를 이용하였다.

7) ·현대상선(주)의 항로 및 터미널 임대자료.
·한진해운 운항실무자와 컨테이너선 항로결정 및 선대운항절차 관련 면담.

제2장 정기선 해운의 현황

제1절 정기선 해운의 특징

정기선(liner)이란 부정기선(tramp)에 대비되는 개념으로서, 운항일정을 정하여 정기적으로 운항하는 선박을 말하며 통상적으로 컨테이너를 가리킨다.⁸⁾

이의 특징은 ① 엄격한 운송계획하에서 특정한 항로만을 왕복운송하며, ② 불특정 다수 화주의 소량화물, 여객, 우편물 등의 수송을 주요 대상으로 하고, ③ 고정된 항로(route), 운임률(tariff), 운항일정(schedule) 등에 의하여 평등한 서비스를 제공하는 것이다. 정기선은 선적된 화물의 과소에 상관없이 운송을 하므로 고정비용이 많이 소요되어 부정기선에 비하여 일반적으로 운임이 높다.⁹⁾

정기선 해운에는 경제성을 확보하기 위하여 선박건조, 육상터미널, 운송장비 등에 거액의 자본이 소요되며 본선운항비, 제반시설 운영비 등에 막대한 출자가 수반되어 기업경영의 위협을 최소화하고 취항선사간 과당경쟁을 방지하기 위하여 공동운항, 해운동맹(shipping conference)이 존재한다. 정기선 운임에는 수요공급에 따른 운임변동의 폭이 완만하여 공표된 운임률이 적용되고 있다.¹⁰⁾

1.1 정기선 운항항로

세계 컨테이너선 운항 항로는 크게 3개의 주요 항로, 기타 항로로 나누고 있다. 즉, 미국과 유럽을 연결하는 대서양 항로, 극동과 북미지역을 연결하는 태평양 항로, 아시아와 유럽을 연결하는 구주항로 등이 있으며, 이밖에도

8) 한국해양대학교 김길수 교수 홈페이지 (<http://hanara.kmaritime.ac.kr/~gilsoo>)

9) 김외술 외2인(1999), 「국제통상무역」, 신영사, p.400.

10) 김웅진·추장엽(1995), 「국제운송물류론」, 두남, pp.87~88.

연근해 항로, 호주, 아프리카, 카리브 등의 항로가 있다.

1.2 정기선 수송 화물

정기선 수송 화물은 주로 완제품으로 대부분의 경우 컨테이너에 선적되어 수송된다. 컨테이너에 운송하기에 적합한 정도에 따라 화물을 분류하면 다음과 같다.

1) 최적상품

화물을 컨테이너에 적재하여 운송하는 경우 가장 효율적인 상품을 의미한다. 대체로 고가이며 해상운임률도 높은 의약품, 가전제품 및 의류 등과 같이 컨테이너에 신지 않으면 손상이나 도난당하기 쉬운 상품들이 이에 해당한다.

2) 적합상품

최적상품보다 가격이나 해상운임률이 낮은 상품으로, 타 화물과 섞일 염려가 있는 상품이나 변상금 지불대상이 되는 상품이 이에 해당한다.

3) 한계상품

물리적으로 컨테이너에 적재할 수 있으나 손상이나 도난의 위험이 없으며 저가격, 저운임이기 때문에 컨테이너에 실는 것이 꼭 경제적이라고 생각되지 않는 상품이 이에 해당한다.

4) 부적합 상품

물리적으로 컨테이너에 적재하기 힘든 상품으로 자동차, 모래, 고철 등이 이에 해당하며 전용선을 이용하는 것이 효율적이다.¹¹⁾

11) 강홍중·신민호(2001), 「무역실무」, 지원미디어, p.1,007.

1.3 정기선 운임결정

해상운송서비스를 제공하기 위한 비용은 정기선 해운의 운임을 결정하는 주요한 요소이다. 이러한 비용은 선박을 소유하는데 필요한 경비인 간접비용, 선박을 의장해서 운항가능 상태를 보유하기 위하여 필요한 비용인 직접비용, 선박이 항해하여 화물을 운송하는 데 직접 지출하는 비용인 운항비 등 세 가지로 분류하는 것이 일반적이다.

1) 직접선비(고정비용)

선박투자의 이자비용, 선박감가상각비, 선박보험료 등으로 선박이 운항하지 않더라도 소요되는 비용으로서 고정비용과 같은 성격을 가진다.

2) 간접선비(준고정비용)

선원비, 수선비, 윤활유비, 선용품비, 잡비, 일반비 등으로 선박이 운항하는데 관계없이 필요로 하는 비용이다.

3) 운항비(변동비용)

선박을 운항하는 데 소요되는 비용으로 화물비, 항비, 연료비, 운하통과료, 중계료, 대리점료 등의 운항점비, 운항상의 잡비 등으로 구성되며, 일반적으로 운항비라 함은 화물비(적, 양하비용), 항비, 연료비로 구분할 수 있다. 이러한 비용은 화물의 성격과 양이나 이용항만에 따라 다르므로 변동비의 성격이 강하다.¹²⁾

위의 세가지 비용구분으로 볼때 선사의 입장에서 선박운항시 줄일 수 있는 비용은 운항비이다.

12) 방희석(1999), 「국제운송론」, 전영사, pp.224~225.

제2절 정기선 해운의 현황

2.1 선사간 전략적 제휴

세계 주요선사들의 서비스 균질화가 진행되면서 선사들의 경쟁우위를 확보하기 위한 방안으로 대형선 투입에 의한 운항비 절감, 최소의 비용으로 글로벌 서비스망 구축을 통한 서비스 차별화를 위해 선사간 전략적 제휴를 적극 추진하고 있다.

컨테이너 선사들은 제휴를 통하여 밖으로는 5,000TEU급을 주축으로 북미, 아시아, 구주의 동서 기간항로를 구축하고 주요 기항지를 중심항으로 한 남북 항로를 연결하여 글로벌 서비스체제를 구축하는 한편, 내적으로는 여러 회사가 제휴함으로써 최소한의 투자만으로 규모의 경제를 실현하며 코스트 합리화에 의한 원가절감을 도모하고 있다.¹³⁾

2.2 초대형선 등장

조선기술의 발전과 함께 규모의 경제를 통한 경쟁우위를 확보하기 위해 선박의 대형화가 지속되고 있다. 특히 컨테이너선의 경우 1990년대 들어 5,000 TEU급이 발주되어 오다가, 1996년 1월 31일에는 6,000 TEU급이 극동/구주항로에서 운항을 개시하였고,¹⁴⁾ 2001년 하팍 로이드사는 7,200TEU 선박을 투입시켰고 최근에는 삼성중공업을 비롯 일부 조선소에서는 9,000TEU급 컨테이너 선형의 설계를 성공시켰으며 선사들로부터 주문을 유치하고 있는 중에 있는 실정이고, 현재 조선소들 사이에는 10,000TEU 이상 컨테이너 선형의 건조를 위한 기술적인 연구가 경쟁적으로 진행 중이다. ¹⁵⁾

13) 박명섭(1997), 「국제해운론」, 법문사, p.159.

14) 임석민(1996), “제3세대 항만과 항만의 새로운 역할”, 「한국해운학회지」, 24권, p.171.

15) 김종태(2002), “초대형선 출현시대의 한진해운의 전략”, 「광양항 국제포럼 발표집」, p.145.

2.3 허브 & 스포크 시스템

허브&스포크 시스템은 간선항로를 뛰는 대형선이 수송시간과 비용을 줄이기 위해 최소의 항만만을 기항하고, 주변항만의 화물은 피더선으로 수송하는 방식을 가리킨다. 즉 중심 항만은 모선¹⁶⁾이, 중심 항만의 세력권에 있는 중소형 항만은 피더선이 각각 화물을 수송하게 된다.

예를 들어 유럽에서 출발해 아시아를 거쳐 미국으로 가는 선박이 있다고 하면, 이 배는 아시아에서 A, B, C, D, E, F항을 순서대로 들른다. 이같이 모든 항만을 다 들르는 수송방식을 ‘우유배달(milk round) 서비스’라고 한다. 전통적인 선박의 기항 형태는 바로 우유배달 서비스를 가리킨다.

가장 먼저 도착하는 A항에 기항하면 이 선박은 10TEU를 내려놓고 A항의 야드에 대기하고 있던 10TEU를 싣고 B항으로 떠난다. B, C, D, E, F항에서도 각각 10TEU씩을 내리고, 10TEU씩을 싣는다. 결국 A, B, C, D, E, F 6개 항만에서 각각 처리한 컨테이너는 20TEU이고 전체적으로는 120TEU를 처리한 것이 된다.

그러나 허브&스포크 시스템을 적용하면, 유럽에서 온 선박이 B항만에 기항하고 곧바로 미국으로 떠날 경우 B항이 바퀴의 중심(hub)이 되고 A, C, D, E, F항은 바퀴 살(spoke)이 되는 것이다. 항만 용어로는 B항은 중심항이라고 부르고 A, C, D, E, F항은 주변항이라고 부른다. 유럽에서 온 모선은 중심항인 B항에다 B항을 포함하여 A, B, C, D, E, F항에 들어가는 물량 60TEU를 내려놓고 이들 항만에서 미국으로 가기 위해 B항에 모여 있는 60TEU를 싣고 떠난다. 그런 다음 B항에서 A, C, D, E, F항으로 각각 10TEU를 보낸다.

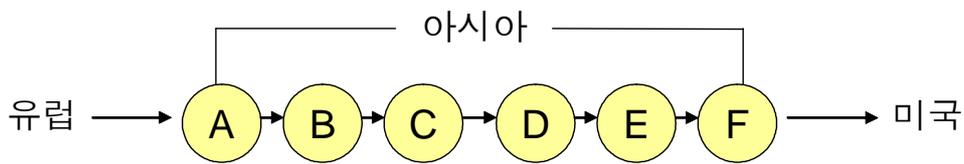
이렇게 되면 B항의 경우 유럽에서 온 선박이 A, B, C, D, E, F항을 순서대로 들르는 우유배달 서비스를 한 경우에 비해 B항이 처리한 물동량이 증가한 것을 알 수 있다. 유럽에서 온 모선이 60TEU를 미국으로 실어 감으로써 120TEU를 처리하였고, A, C, D, E, F항과의 교류를 통해 추가로 100TEU를 처리하게 된다. 즉, 중심항인 B항은 220TEU의 화물을 처리하고,

16) 중심항 사이만을 운항하는 4,000TEU급 이상 대형선.

주변항인 A, C, D, E, F항은 원래대로 각각 20TEU를 처리했다.

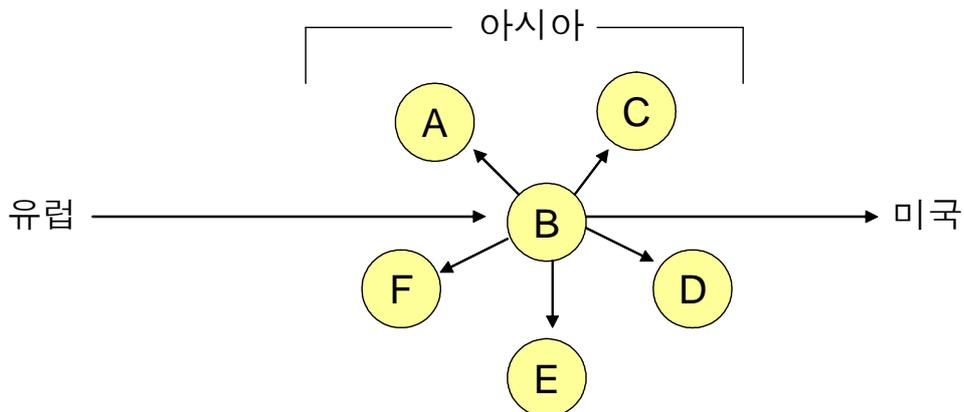
요약하면 A, C, D, E, F항이 처리한 물동량은 변화가 없지만 B항이 처리한 물동량이 증가했다. B항이 중심항이 됨으로써 가능한 결과이다. 또 원래 아시아 지역의 총 물동량은 120TEU였지만 허브&스포크 개념을 도입하자 B항(hub)에서 220TEU, 5개의 주변항(spoke)에서 100TEU를 처리해서 모두 320TEU로 물동량이 대폭 증가했다.

[그림 2-1] 우유배달(milk round) 서비스



자료: 이동현(2000), 「세계의 허브를 꿈꾸는 한반도」, 문형, p.35.

[그림 2-2] 허브 & 스포크(hub & spoke) 서비스



자료: 이동현(2000), 「세계의 허브를 꿈꾸는 한반도」, 문형, p.35.

또한 허브&스포크 이론의 도입이 가져오는 이점은 아래와 같이 세가지로 요약할 수 있다.

1) 간선행로(main trunk line)의 운항시간 단축

유럽에서 미국으로 가는 배가 아시아에 있는 주변항들을 모두 들르면 아시아 항만에서의 기항 시간이 대략 5일 정도 걸린다고 하자. 그러나 오직 중심항만 만을 기항하고 미국으로 떠나게 되면 아시아 항만에서의 기항시간은 단 하루로 단축 가능하다.

2) 대형선과 중소형선의 기항지 특화

대형선은 오직 B항을 기항함으로써, 즉 중심항을 기항함으로써 수송시간과 수송비용을 대폭 절감할 수 있게 된다. 반면 주변항만은 중소형 선박이 기항하게 된다. 앞으로 초고속 중소형 컨테이너선이 등장하면 허브&스포크 개념이 국제수송에서 더욱 확고한 자리를 차지하게 될 것이다. 대형선에 의한 규모의 경제와 초고속에 의한 속도의 경제가 동시에 달성되는 것이다.

3) 항만개발비 절감

중심항에만 모선이 들어올 수 있는 대형 항만시설을 갖추고, 나머지 항만은 중소형 선박이 들어올 수 있는 정도의 시설만 확보하면 된다.¹⁷⁾

17) 이동현(2000), 「세계의 허브를 꿈꾸는 한반도」, 문형, pp.33~37.

제3절 컨테이너 터미널

3.1 컨테이너 터미널의 의미

컨테이너 운송 시 가장 중요한 것은 컨테이너 화물의 수취와 인도, 보관, 각종 관련 장비의 관리운영 효율화로 컨테이너를 신속, 정확, 안전하게 운송하는 것이다. 이러한 기능을 수행하기 위해 컨테이너선은 기존의 항만이 아닌 컨테이너 터미널(container terminal)에 접안하여 제반 선·하역 작업을 수행한다.

3.2 컨테이너 터미널의 분류

1) 공공 터미널(public terminal)

공공 터미널은 본선의 화물을 선적 또는 양륙하는 작업기간에만 안벽, 컨테이너 크레인 및 일정한 마샬링 야드(marshaling yard)¹⁸⁾를 항만관리자로부터 임대하여 사용할 수 있는 터미널이다.

공공 터미널은 컨테이너 운송의 규모가 작은 초기의 형태로서 세계 각국의 컨테이너 도입초기에 채용한 방식이며 비교적 정박시간이 짧은 다수 선사의 컨테이너선을 취급하는 항구에서 많이 이용되고 있다. 미국의 볼티모어(Baltimore)항과 일본, 홍콩을 제외한 극동지역의 항구가 대체로 공공 터미널 제도를 도입하여 운영하고 있으며 이 방식은 모든 항만시설 및 기기를 항만관리자의 직접적인 관리 하에 두어 항만요율에 의한 요금을 산정하여 부과하고 있다.

공공 터미널을 이용하는 경우 통상적으로 양륙한 컨테이너는 수일이내에

18) 컨테이너선에서 직접 하역을 하는 컨테이너를 배열해 두는 장소로서 컨테이너 야드 가운데 상당한 비율을 차지한다. 선적해야 할 컨테이너를 하역순서대로 정렬 해두거나 컨테이너선에서 내리는 컨테이너를 위해 필요한 넓은 스페이스로 보통 에이프런과 접해 있다. 마샬링 야드는 이른바 「컨테이너 터미널 운영」의 중심을 이루는 중요한 부분이기 때문에 그 「장치장」의 모양이 전반적 운영과 「비용」에 반영된다. 보통 마샬링 야드에는 컨테이너 크기에 맞추어 미리 지반에 백색 또는 황색의 구획선을 그어 두는데, 이를 슬롯(slot)이라고 한다

일괄하여 내륙에 있는 자신의 컨테이너 야드(CY: container yard)¹⁹⁾에 반입하며, 선적할 컨테이너도 본선이 입항하기 수일전에 자신의 CY로부터 마살링 야드에 반입하여 선적을 대기하게 된다.

2) 전용임대 터미널(exclusive terminal)

전용임대 터미널은 선박회사와 항만 하역회사(terminal operator)가 국가 또는 항만관리자로부터 안벽과 인접하는 CY를 일정기간 동안 차용하여(보통 10년에서 30년간)여기에 개인이 컨테이너 터미널을 설치하는 형태로 현재 세계적인 터미널은 거의 이 방식을 도입하고 있다.

전용임대 터미널의 경우 선박회사는 자유로이 안벽 사용의 우선권을 얻어 컨테이너선의 운항 효율성을 향상시키고 동시에 터미널 운영시스템, 컴퓨터 시스템, 화물 수도의 점검방법 등 자기의 전체 시스템에 가장 적합한 시스템을 선정할 수 있으나, 터미널을 이용하는 컨테이너수가 적정규모 이하일 경우에는 시설임대료가 비싸기 때문에 2~3개 선박회사가 공동으로 전용 터미널을 이용하는 방법도 있다.²⁰⁾

19) 컨테이너 야드는, 기본적으로 부두뜰과 일체(一體)로 되어 컨테이너 선박에 싣고 내리는 컨테이너를 정렬하는 마살링야드, 컨테이너의 반·출입, 보관을 하는 컨테이너 야드(Stacking Yard라고 불리우기도 한다)가 있다.

20) 김용진·추창엽(1995), 「국제운송물류론」, 두남, pp.326~327.

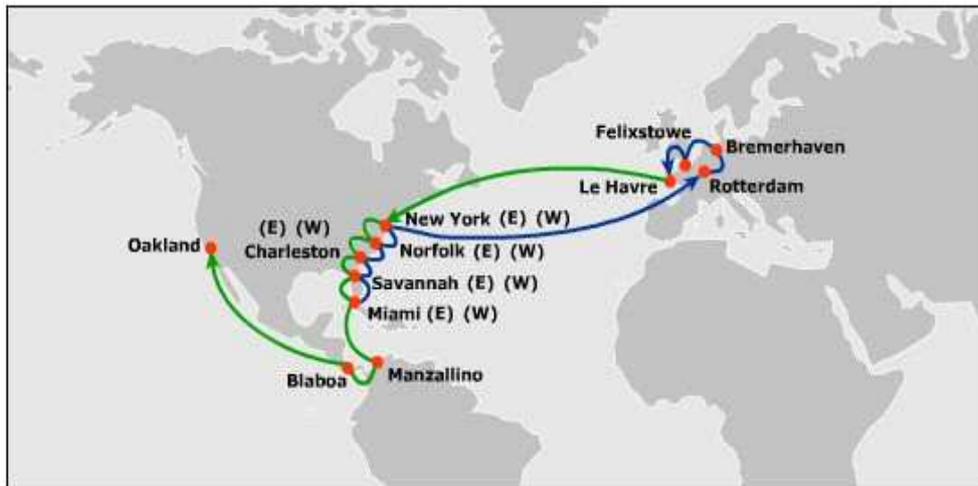
제4절 주요 정기선항로

4.1 북대서양항로

서유럽과 북아메리카 동안을 연결하는 북대서양항로는 유럽과 미주지역을 연결하는 가장 오래된 항로이다. 1840년경 개항한 세계 최초의 대양횡단 항로이고, 또 취항 선박수와 수송 화물량에서 각각 세계 전체의 2/3 이상을 차지하여 세계 제 1의 교통량을 가지는 항로이다. 1960년대에는 컨테이너에 의한 운송이 처음으로 시작되기도 하였으며, 일반적으로 27일에서 28일간 왕복 운항할 수 있으며 주당 4척의 선박이 투입되어지고 개방적인 해운동맹만이 인정되고 있다. 이 항로의 주요 무역항은 유럽의 런던(london), 리버풀(liverpool), 글래스고(glasgow), 암스테르담(amsterdam), 르아브르(le havre)를 비롯하여, 북아메리카의 뉴욕(new york), 필라델피아(philadelphia), 보스턴(boston), 몬트리올(montreal), 뉴올리언스(new olreans) 등이다.

또한 이 항로에는 만성적인 선박량 공급과잉 문제 해소를 위한 선사간 스페이스 공동활용을 위한 협정이 체결되어 있으며 동향(east bound)으로의 주 운송품목은 종이류, 목재, 펄프, 합성수지 등이며, 서향(west bound)으로의 주 운송품목은 맥주, 음료수, 종이류 등이다.

[그림 2-3] 북대서양항로



자료: 현대상선 홈페이지 (www.hmm21.com)

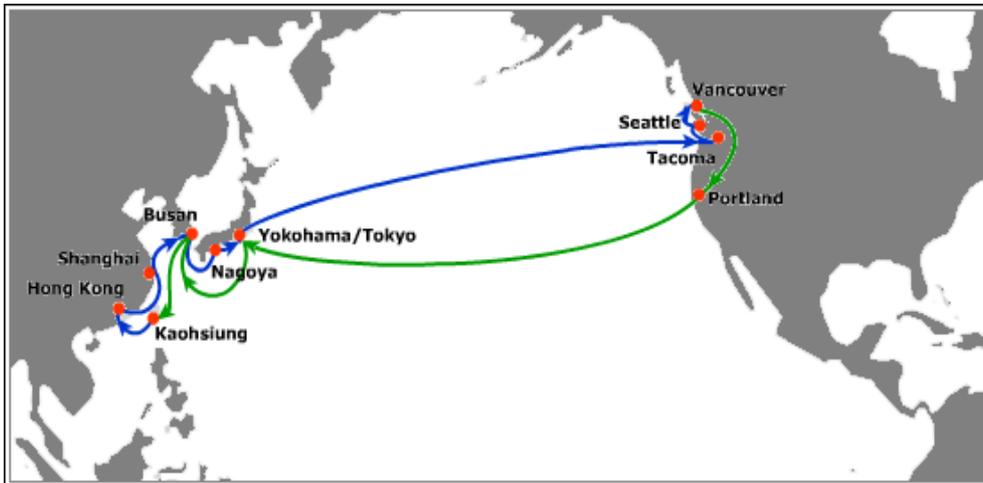
4.2 북미항로

북미항로는 북미와 극동을 연결하고 있으며 30여개가 넘는 선사가 취항하고 있다. 왕복항해일수는 60~70일이며 주당 8~10척의 선박이 투입되고 있고, 1972년에는 육상의 철도와 연결하는 미니랜드브릿지(MLB)서비스가 처음으로 도입되기도 하였다. 이 항로의 주요 무역항구는 태국의 램차방(laem chabang), 싱가포르(singapore), 홍콩(hong kong), 대만의 카오슝(kaohsiung), 한국의 광양과 부산, 일본의 고베(kobe)와 나고야(nagoya) 및 요코하마(yokohama), 미국의 시애틀(seattle), 포틀랜드(portland), 오클랜드(oakland)등 이다.

세계 최대의 컨테이너 물동량 규모의 정기선항로로써 북미 항로는 로스앤젤레스(los angeles)/샌프란시스코(san francisco)항을 중심으로 한 북미서안남부(PSW: pacific south west)항로와 북미동안남부(PNW: pacific north west) 항로로 구분된다.

동향으로의 주 운송품목은 전기, 전자제품, 의류, 신발, 자동차부품 등이고 서향으로의 주 운송품목으로는 폐지, 고철, 원면, 임산물을 들 수 있다.

[그림 2-4] 북미항로



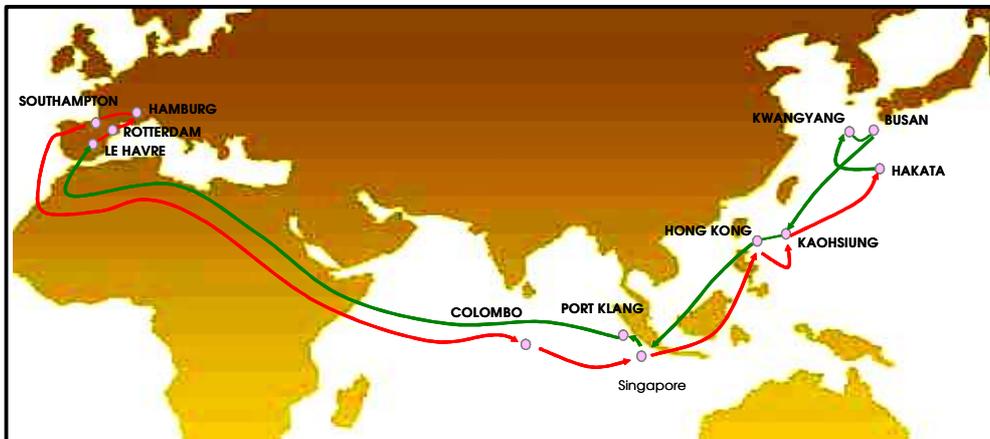
자료: 현대상선 홈페이지 (www.hmm21.com)

4.3 유럽항로

유럽항로는 유럽과 극동을 연결하는 제2의 물량운송 규모의 항로로 약 17개의 선사가 130척 이상의 선박으로 운송서비스를 제공하여 왔으며, 왕복 항해기간은 60~70일 정도가 소요되고 있으며 지금까지 유럽동맹(FEFC)의 영향권에 있었으나 최근에는 동맹이 약해지면서 시장점유율도 떨어지고 있다. 규모에 비해 항차당 운송시간이 길기 때문에 단독 운항시 따르는 자본비 부담과 운항상 위험을 줄이기 위한 공동운항 및 컨소시엄이 구성되어 있다. 이 항로의 주요 무역항은 프랑스의 르아브르항(le havre), 네덜란드 로테르담항(rotterdam), 독일의 함부르크항(hanburg), 영국의 펠릭스토우(felixstowe)와 사우샘프턴항(southampton) 등이 있다

동향으로의 주 운송품목은 화공약품, 유제품, 기계류이고, 서향으로의 주 운송품목은 전기.전자제품, 자동차부품, 식물 등 이다.

[그림 2-5] 유럽항로



자료: 현대상선 홈페이지 (www.hmm21.com)

4.4 세계일주항로

1980년대 세계 유수의 선사들을 중심으로 worldwide-service(RTW: round the world)를 도입하여 운항하고 있다. RTW로 널리 알려진 세계일주항로는

북미와 유럽 및 극동아시아를 연결하는 세 개의 주요항로 - 북대서양항로, 북미항로, 유럽항로 - 를 하나로 묶어 운항하는 것으로 미국의 US Line이 4,482TEU급 컨테이너선 12척을 가지고 이 개념을 처음으로 도입, 운송하기 시작하였다. 또한 같은 시기에 EVERGREEN Line이 1,500~2,000TEU급 컨테이너선으로 세계일주 항로를 서비스하였다.

이는 전체의 항로를 동향과 서향의 반대방향으로 나누어 총 12척의 선대를 투입하여 10일 간격으로 운항하는 것이다. 이로써 영국의 경우 유럽항을 거쳐 북미동안으로 항해를 하고 다시 파나마운하와 한국 등의 동남아시아 지역의 항구를 지난 후 수에즈운하를 지나고 지중해를 거쳐서 다시 유럽으로 운항을 하여 기존의 항로가 구간서비스(end-to-end service)²¹⁾에 머무른 것에서 벗어나 마치 1개의 항로를 운항하는 것과 같은 개념으로 보려는 것이다.

또한 최근에는 펜듈럼(pendulum)서비스라 하여 일주를 하는 대신 미주와 구주를 시계추처럼 왕복하는 항로통합(trade route mix) 서비스를 실시하고 있는 선사들도 등장하게 되었다. 이는 더욱 치열해지는 선사간의 경쟁에 대한 영업전략에서 비롯된 것으로 화물의 집화와 컨테이너의 효율적 관리 및 화주에 대한 서비스 제고를 가능하게 한다.

[그림 2-6] 시계추서비스항로



자료: 에버그린 홈페이지: (<http://www.shipmentlink.com>)

21) 구간서비스(end-to-end service): 2개 대륙지역을 양 끝단으로 하여서 양 대륙지역간의 최단거리 운송서비스를 제공하는 서비스를 말한다.

[표 2-1] 세계 컨테이너선대 선복 증감추세

단위: 천TEU, %

구분	선대규모		증감량		
	총선복량	증감률	신조인도량	상실량	순증감량
1997년	3,721	15.4	521	34	487
1998년	4,181	12.4	522	62	460
1999년	4,409	5.5	264	35	228
2000년	4,829	9.5	435	15	420
2001년	5,109	5.8	345	65	280
2002년	5,514	7.9	505	100	405

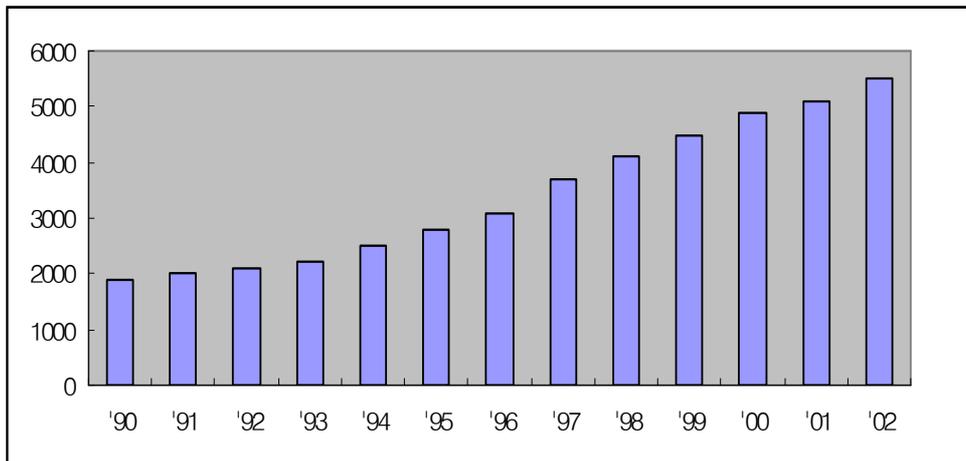
주: 1) 연도별 선대규모는 연말, 증감량은 연간 기준임.

2) 2002년 수치는 추정치임.

자료: 한국해양수산개발원(KMI)

[그림 2-7] 세계 컨테이너선대 선복량 추세

단위: 천TEU



주: 2002년 수치는 추정치임.

자료: Clarkson 및 한국해양수산개발원(KMI)

[표 2-2] 최근 세계 컨테이너 물동량 및 증가율

단위 : 천TEU, %

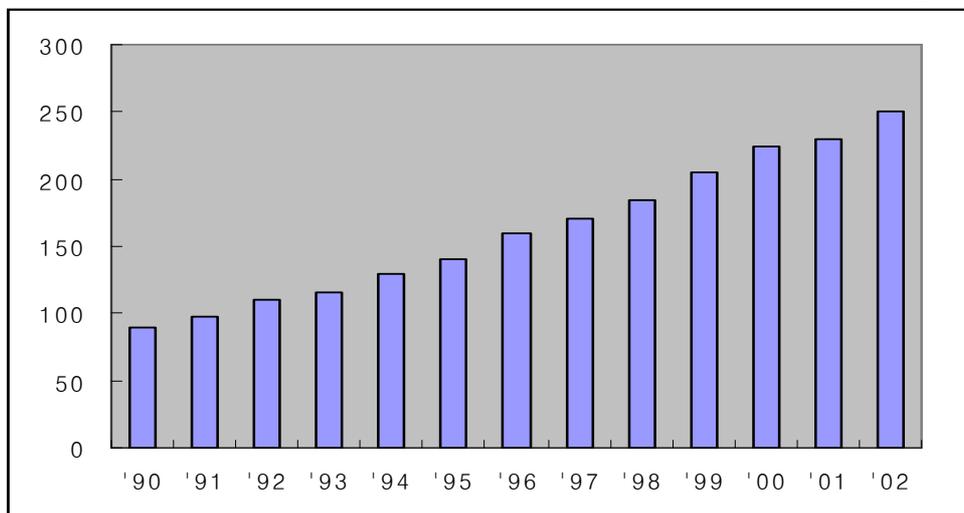
구분	물동량	증가율
1997년	172,000	10.1
1998년	184,700	7.4
1999년	201,700	9.2
2000년	225,100	11.6
2001년	231,400	2.8
2002년	248,100	7.2

주: 2002년 수치는 추정치임.

자료: Clarkson 및 한국해양수산개발원(KMI)

[그림 2-8] 세계 컨테이너물동량 추세

단위: 천TEU



자료: Clarkson 및 한국해양수산개발원(KMI)

제3장 의사결정 모형의 이론적 배경

제1절 네트워크모형

1.1 네트워크모형의 정의

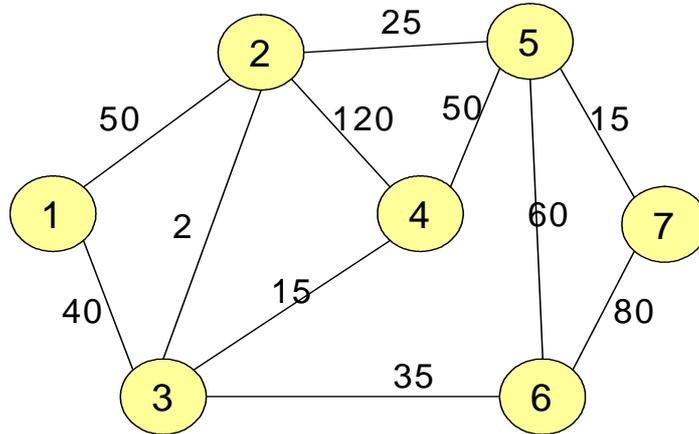
경영현실에서 야기되는 많은 영역은 네트워크모형을 이용하여 잘 표현할 수 있다. 컴퓨터 회로망을 구성하는 컴퓨터 칩과 전기회로, 수송망을 구성하는 도로시스템, 그리고 텔레비전 방송망을 구성하는 방송국 및 중계국 등을 통하여 네트워크의 이미지를 이해할 수 있을 것이다. 이들 네트워크의 유형에 관계없이 네트워크에는 일정한 개체들(마이크로 칩, 도시, 지역 방송국 등)과 이 개체들을 연결시키는 매체(전기회로, 도로, 통신매체 등)들로 구성된다. 그리고 개체와 개체 간에는 연결매체를 이용하여 일정한 자원들(전류, 수송 트럭, 텔레비전 프로그램)을 일정한 비용을 들여 서로 간에 주고받는다. 이들은 경영과학의 세계에서 네트워크(network)로 총칭하여 기술하고 있다.²²⁾

네트워크분석에는 그래프이론(graph theory)에 나오는 용어들을 많이 이용한다. 그래프(graph)란 마디(node)들과 이들을 연결하는 가지(arc)들로 이루어진 그림을 의미한다. 그래프의 각 가지 위에 하나 이상의 수치가 주어진 그래프를 네트워크라고 부른다. 따라서 네트워크를 G 라고 할때 G 는 마디의 집합 N 과 가지의 집합 A 로 구성되었으므로 $G=(N, A)$ 의 형태로 표현할 수 있다. 통상 N 과 A 는 유한개의 원소를 갖고 있는 집합들이다.

이 논문에서 마디의 집합 N 은 네트워크 상의 모든 항만(port)을 나타낸다. 가지의 집합인 A 는 네트워크 상 발생가능한 모든 항로(route)를 나타낸다. 또한 이 가지위에 표기된 수치는 각 항로 당 발생하는 운항비(operational cost)를 나타낸다.

22) 이홍배·이진춘(2000), 「Excel과 함께하는 경영과학」, 무역경영사, p.273.

[그림 3-1] 네트워크모형(Network Model)

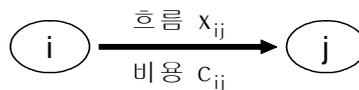


1.2 네트워크모형의 기본용어

1) 흐름(flow):

두 개의 마디는 한 가지로 연결되어 있으며, 가지를 통하여 흐름이 발생할 수 있다.

[그림 3-2] 흐름

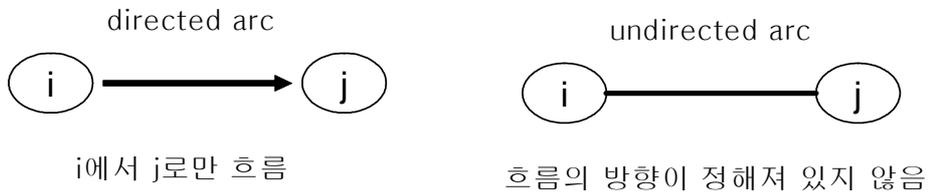


자료: 이홍배/이진춘(2000), 「Excel과 함께하는 경영과학」, 무역경영사, p.273.

2) 방향가지(directed arc)와 무방향가지(undirected arc):

네트워크의 흐름에서 방향이 정해진 가지가 있기도 하고, 양방향 모두 가능한 가지도 있다. 방향이 정해져 있는 가지를 방향가지라 하고, 흐름이 양방향 모두 가능한 가지를 무방향가지라 한다.

[그림 3-3] 방향가지와 무방향가지



자료: 이홍배/이진춘(2000), 『Excel과 함께하는 경영과학』, 무역경영사, p.273.

3) 흐름보존법칙(flow conservation rule):

가지와 마디의 집합으로 이루어진 네트워크모형에 사용되는 기본적인 제약조건식은 흐름보존법칙에 의해 만들어진다. 흐름보존법칙을 설명하자면, 네트워크상 공급지 마디, 수요지 마디, 경유지 마디에 다음과 같은 관계식이 성립한다.

- 공급지 마디 (supply node)

$$\text{마디에서 나가는 양의 합} = \text{공급량} + \text{마디로 들어오는 양의 합}$$

- 수요지 마디 (demand node)

$$\text{마디로 들어오는 양의 합} - \text{마디에서 나가는 양의 합} = \text{수요량}$$

- 경유지 마디 (transshipment node)

$$\text{마디로 들어오는 양의 합} = \text{마디에서 나가는 양의 합}$$

이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\text{마디에서 나가는 양의 합} - \text{마디로 들어오는 양의 합} = b_i$$

$$b_i > 0 \quad (\text{마디 } i \text{가 공급지 마디일때})$$

$$b_i < 0 \quad (\text{마디 } i \text{가 수요지 마디일때})$$

$$b_i = 0 \quad (\text{마디 } i \text{가 경유지 마디일때})$$

마디에서 나가는 양의 합과 마디로 들어오는 양의 합의 차를 마디의 순흐름(net flow)이라한다. 공급지 마디에서는 순흐름이 양수(+)이며, 수요지 마디의 순흐름은 음수(-), 경유지 마디의 순흐름은 0이 됨을 알 수 있다.

1.3 최소비용 흐름문제

네트워크문제의 최소비용 흐름문제를 정의하면, 공급지 마디에는 공급가능한 양이 주어지고, 수요지 마디에는 요구되는 수요량이 주어진다. 그리고 각 가지에는 한 단위 물동량을 수송할 때 소요되는 단위당 수송비가 알려져 있다. 이 때, 수요지 마디들이 요구하는 양을 공급지 마디들로부터 수송하고자 할 때, 전체 수송비가 최소가 되도록 하는 수송방법을 찾는 것이 최소비용 네트워크 흐름문제(minimum cost network flow problem)이다.

최소비용 네트워크 흐름문제를 모형화 하기 위해서는 몇 가지 기호들을 정의할 필요가 있다.

$\{1, 2, \dots, m\}$: 마디들의 집합

x_{ij} : 가지 (i, j) 를 통과하는 양

c_{ij} : 가지 (i, j) 를 통과할 때 소요되는 단위당 수송비

b_i : 마디 i 에서의 공급량 또는 수요량

전체 물동량을 1이라할 경우, 흐름보존법칙에 의해 다음과 같이 정의할 수 있다.

$b_i = 1$: 마디 i 는 공급지

$b_i = -1$: 마디 i 는 수요지

$b_i = 0$: 마디 i 는 경유지

최소비용 네트워크 흐름문제의 일반적인 수학적 모형은 다음과 같은 선형 계획모형으로 표현된다.

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} \\ \text{subject to} \quad & \sum_{j=1}^m x_{ij} - \sum_{j=1}^m x_{ji} = b_i, \quad i=1, \dots, m \\ & x_{ij} \geq 0, \quad i, j = 1, \dots, m \end{aligned}$$

제2절 선형계획법

2.1 선형계획법의 정의

선형계획법은 수리계획법(mathematical programming)의 한 분야이다. 수리계획법은 의사결정자의 목적 또는 목표를 최적화하기 위한 모델의 설정과 이의 해결절차를 말한다. 이러한 수리계획법 중에서 일련의 수학적 일차 방정식과 부등식으로 문제를 표현하고 주어진 목적을 달성하는 가장 좋은 해를 찾는 것이 선형계획법이다. 여기서 선형(linear)이라 함은 문제에 내포된 변수들의 관계가 일차함수임을 뜻하고 계획법(programming)이란 문제를 모델화하고 이를 해결하기 위하여 일련의 특수한 수학적 절차를 사용함을 의미한다.²³⁾

2.2 선형계획법의 기본형태

선형계획법은 선형계획모형(linear programming model)을 사용하여 의사결정을 하는 것인데 이 모형은 이익을 최대화 하거나 비용을 최소화하는 목적을 나타내는 목적함수(objective function)와 목적함수의 최적화를 달성하기 위한 제약조건을 설명하는 제약식(constraint)들로 구성된다.

선형계획모형의 일반식은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \max/\min \quad z &= \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \text{subject to} \quad \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j &\leq b_i \\ &x_j \geq 0 \\ &(i=1, 2, \dots, m, \quad j=1, 2, \dots, n) \end{aligned}$$

23) 윤재홍(1996), 「현대경영과학론」, 형설출판사, p.54.

여기서 x_j 는 의사결정 변수로 n 개가 있고 c_j 는 목적함수계수(coefficient)이다. a_{ij} 는 제약조건식의계수이고 b_i 는 제약조건식의 우변상수(RHS: right-hand side)이다. 제약조건식은 m 개가 있다.²⁴⁾

2.3 정수계획법

정수계획(integer programming)모형은 선형계획모형과 마찬가지로 목적함수와 제약조건식들이 모두 일차식인 수리계획모형이다.²⁵⁾ 단, 정수계획모형은 의사결정 변수들 중에서 일부 또는 전부가 정수값만 취할 수 있다는 점이 선형계획모형과 유일한 차이점이다. 이때 만약 모든 변수가 정수여야 한다면 이를 순수 정수계획(pure integer programming)모형이라 하고, 변수들 중 일부만 정수라는 제약조건이 있으면 이를 혼합정수계획(mixed integer programming)모형이라 한다.

한편 어떤 응용분야에서는 정수 변수가 오직 0 또는 1 두 값만 가지도록 허용되는데, 이를 0-1 변수 또는 이진변수(binary variable)라 부른다. 또한 이들로만 작성된 모형을 0-1 정수계획모형 또는 이진 정수계획(binary integer programming)모형이라 부른다. 이에 반해 일반적인 정수값도 가질 수 있는 경우를 일반정수계획(general integer programming)모형이라 부른다.²⁶⁾

24) 윤재홍(1996), 「현대경영과학론」, 형설출판사, pp.63~64.

25) 정수계획모형에는 정수선형계획(integer linear programming)모형과 정수비선형계획(integer nonlinear programming)모형이 있지만, 본 논문에서의 논의는 전자에 한한다.

26) 김기석(2000), 「엑셀활용 경영과학」, 학현사, p.131.

제4장 정기선의 항로결정 문제

제1절 문제의 개요

1.1 모형의 가정

정기선은 정해진 항로를 정해진 운임, 정해진 스케줄에 따라 운항해야 하므로 선박이 투입되는 경로가 한번 정해지면 일정한 기간동안 지속적이고 반복적으로 운항하게 된다. 그러므로 운항항로를 정하는 문제는 선사의 매우 중요한 의사결정 문제이다.

이 모형에서의 정기선 최적항로란, 항로 간 운송할 물동량 예측치에 맞추어 계획기간 동안 모든 화물을 최소의 운항비로 운항할 수 있는 항로를 말한다. 주요 화물흐름에 대한 예측치가 주어져 있다고 가정하면 이를 통한 운임수익은 고정되어 있다고 볼 수 있고, 최대운항이익 의사결정은 결국 최소 운항비용이 보장되는 의사결정과 같게 된다.

본 연구에서는 한척의 정기선 선박을 가정하고 있다. 그리고 중요 물류거점지역간의 연간 물동량에 대한 예측치가 확정적으로 주어졌다고 가정한다. 그러나 이 모형이 반드시 한 척의 선박을 소유한 정기선사에만 적용될 수 있는 것은 아니다. 또한 정기선 항로는 중심항들로만 구성되고 중심항(hub port)에서 주변항(spoke, feeder port)과의 연결은 이미 확정된 한 가지 방법이 있다고 가정한다.

1.2 모형의 기호

본 연구에서는 다음과 같은 기호, 의사결정 변수, 모형의 계수를 사용하였다.

[기 호]

i 또는 j : 네트워크의 각 마디를 나타내며 이 연구에서 각 마디는 각 항만을 의미한다.

(i, j) : 마디 i 에서 j 까지의 가지로 표현되며 이 가지가 있는 경우 마디 i 에서 마디 j 로 직항로가 개설되어 있음을 의미한다.

J : 후보중심항(candidate hub port)의 집합

k : 공급지에서 수요지로의 개별 화물흐름을 나타내는 지수

$o(k)$: 개별 화물흐름 k 의 공급지

$d(k)$: 개별 화물흐름 k 의 수요지

A : 모든 직항로의 집합

N : 관련된 모든 항만의 집합 ($J \subset N$)

K : 모든 화물 흐름의 집합

$|K|$: 집합 K 의 원소의 개수

[의사결정 변수]

x_{ij}^k : 항만 i 에서 j 간 화물 k 의 흐름변수, $0 \leq x_{ij}^k \leq 1$

(k 를 모두 운송할 경우 1, 일부 운송할 경우 0 과 1사이의 비율)

z_j : 후보중심항의 활용여부를 나타내는 0-1 정수변수

(활용할 경우 1, 활용하지 않을 경우 0)

[모형의 계수]

c_{ij}^k : 항만 i 에서 j 까지 화물흐름 k 의 수송 시 발생하는 연간총운항비용

g_j : 후보중심항을 활용할 경우 발생하는 연간고정비용

제2절 정기선 경로선택을 위한 혼합정수계획모형

2.1 개요

이 절에서는 새로운 중심항을 고려한 정기선의 최적항로 결정모형에 대한 혼합정수계획모형을 제시한다. 연간 주요 화물흐름에 대한 예측치가 있을 때 이들을 최소한의 운항비용으로 모두 운송할 수 있는 방법으로 정기선 항로를 결정할 수 있는 혼합정수계획모형이다. 특히 새로운 중심항만을 활용할 경우 기존의 중심항 활용시보다 운항비를 절감할 수 있는 상황을 가정하고 있다.

화물흐름 k 가 아무리 다양하더라도 새로운 중심항들에 대한 활용여부가 확정되어 있다면 이러한 의사결정 문제는 최단경로의 해법인 다익스트라해법(dijkstra method)²⁷⁾을 $|K|$ 번 적용하면 모두 구할 수 있다. 그러나 이 연구에서의 의사결정은 새로운 중심항의 활용여부에 관련된 의사결정을 포함하고 있으므로 다익스트라해법의 단순 반복적용으로 최적해를 도출할 수가 없다. 따라서 이 논문에서는 이러한 의사결정의 복잡성을 감안하여 관련 네트워크 모형을 혼합정수계획모형의 정식화를 통해 표현하였으며 혼합정수계획법의 해법을 통해 최적해를 일반적으로 도출할 수 있음을 설명하였다.

2.2 정수계획법

중심항을 경유하여 운항비를 최소화하는 혼합정수계획모형을 설계할 때, 기존의 중심항을 경유할지, 혹은 더욱 효율적인 새로운 중심항을 경유할지 여부를 결정하여야 한다. 이 경우 후보중심항을 중심항으로 활용시 의사결정 변수인 z_j 는 후보중심항 j 를 중심항으로 활용하느냐, 활용하지 않느냐를 나타내는 0-1변수 혹은 이진변수이다.

27) 김세현 (2001), 「현대경영과학」, 무역경영사 pp.224~227.

즉, $z_j = 1$ 이면 후보중심항 j 를 중심항으로 활용하는 것이고, $z_j = 0$ 이면 중심항으로 활용하지 않는다는 의미이다.

2.3 혼합정수계획모형의 목적함수

화물의 공급지(origin)에서 수요지(destination)까지 중심항을 경유하여 화물을 수송해야 할 경우 목적지까지 운항비를 최소화하기 위해 적절한 중심항을 활용해야 할 것이다. 이때 전체 후보중심항의 집합인 J 중 활용되는 중심항 j 가 새로운 중심항으로 활용될 경우에는 중심항 활용을 위한 초기 투자비용에 해당하는 고정비용 g_j 가 발생하게 된다. 따라서 새로운 중심항 활용에 따르는 총고정비용을 수식으로 표현하면 아래와 같다.

$$\sum_{j \in J} g_j z_j \quad z_j = 0 \text{ 또는 } 1$$

또한 화물흐름 k 를 (i,j) 를 통해 운송할 경우 연간 운항비용 c_{ij}^k 가 발생한다. 따라서 연간 발생하는 총운항비용은 아래와 같다.

$$\sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij}^k x_{ij}^k$$

위의 두 비용으로부터 목적함수는 중심항 활용시 발생하는 총고정비용과 화물운송시 발생하는 총운항비용의 합을 최소화 하는 것으로 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\min \quad \sum_{j \in J} g_j z_j + \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij}^k x_{ij}^k \quad (1)$$

2.4 혼합정수계획모형의 제약식

화물흐름 k 의 공급지를 $o(k)$, 수요지를 $d(k)$ 라 하면, k 는 각 항로(i, j)를 통해서 $o(k)$ 에서 $d(k)$ 로 흘러갈 것이다. 각 화물의 연간수요를 모두 1로 표준화할 경우 (2)와 같은 네트워크 흐름 제약식을 갖게 된다.

$$\sum_{j \in N} x_{ij}^k - \sum_{j \in N} x_{ji}^k = \begin{cases} 1, & i=o(k), \\ -1, & i=d(k), \\ 0, & i \text{가 화물흐름 } k \text{의 경유 항만인 경우} \end{cases} \quad (2)$$

$i \in N, k \in K$

화물이 후보중심항 j 를 경유하기 위해서는 반드시 이 후보중심항이 새로운 중심항으로 활용되어야 한다. 이를 (3)과 같은 제약식으로 표현할 수 있다. 이 제약식 (3)은 각 화물의 흐름 k 에 대해서 후보중심항 j 의 활용을 나타낸 것이다. 제약식 (3)에 실제 데이터를 넣어서 계산할 경우 k 의 증가에 따라 제약식도 늘어나게 된다. 그러므로 제약식의 수를 줄이기 위해 후보중심항 활용 제약식을 모든 화물흐름을 동시에 고려하여 (3)'과 같이 표현할 수도 있으며 이 경우 제약식의 수를 (3)의 경우의 $1/|K|$ 로 줄일 수 있다. 수학적으로는 일반적으로 (3)보다 (3)'이 더 많은 해를 갖게 되지만 이 경우

우는 $\sum_{\{(i,j) \in A\}} x_{ij}^k$ 가 모두 0 과 1 사이의 값을 갖도록 이미 제약식 (2)에서

통제 되고 있으므로 (2)를 동시에 고려할 경우 (3)과 (3)'은 동일한 실행가능해를 갖게 된다. 따라서 이 논문의 계산실험에서는 보다 제약식이 줄어든 형태인 (3)'을 (3)대신 활용하였다.

$$\sum_{\{i,j\} \in A} x_{ij}^k \leq z_j \quad j \in J, k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{\{i,j\} \in A} x_{ij}^k \leq |K|z_j \quad j \in J, k \in K \quad (3)'$$

아래의 제약식 (4)는 z_j 가 0-1 정수변수이고, x_{ij} 는 비음(非陰)의 값을 가져야 함을 표현하고 있다.

$$z_j \in \{0, 1\}, \quad x_{ij} \geq 0, \quad \{i, j\} \in A, \quad k \in K \quad (4)$$

2.5 완성된 혼합정수계획모형

지금까지 논의된 목적함수와 제약식에 대한 내용인 (1), (2), (3), (4)식을 통하여 다음과 같이 정기선의 최적항로 모형을 제시할 수 있다.

[모형]

$$\min \quad \sum_{j \in J} g_j z_j + \sum_{k \in K} \sum_{\{i,j\} \in A} c_{ij}^k x_{ij}^k \quad (1)$$

$$\text{subject to} \quad \sum_{j \in N} x_{ij}^k - \sum_{j \in N} x_{ji}^k = \begin{cases} 1, & i=o(k), \\ -1, & i=d(k), \\ 0, & i \text{가 화물흐름 } k \text{의 경유 항만인 경우,} \end{cases} \quad (2)$$

$$i \in N, \quad k \in K$$

$$\sum_{\{i,j\} \in A} x_{ij}^k \leq z_j \quad j \in J, \quad k \in K \quad (3)$$

$$z_j \in \{0, 1\}, \quad x_{ij} \geq 0, \quad \{i, j\} \in A, \quad k \in K \quad (4)$$

위 모형은 $|J|$ 개만큼의 정수변수, $2|K||A|$ 만큼의 연속변수 제약식을 가지는 혼합정수계획모형이다. (2)는 $|K|$ 개의 화물흐름별로 분할될 수 있는 쉬운 네트워크 흐름 제약식이나 연속변수와 정수변수가 함께있는 제약식 (3) (혹은 (3)')은 후보중심항의수 즉 $|J|$ 가 증가함에 따라 모형의 복잡성을 증가시키고 일반 정수계획 해법으로 문제를 풀 경우 최적해의 도출과정을 비효율적

으로 만들 수 있다. 그러나 현실적으로 이미 정기선을 운항중인 선사의 경우 $|J|$ 는 그리 크지 않은 2~3개 정도의 적은수일 경우가 대부분일 것으로 예상할 수 있다.

2.6 혼합정수계획모형 최적해의 해석 및 경영적 시사점

위 [모형]은 새로운 중심항을 고려한 정기선의 최적항로 결정을 위한 모형으로 선형/정수계획모형 소프트웨어를 통하여 최적해를 구할 수가 있다.

x_{ij}^k 는 마다 i 에서 j 사이의 화물의 흐름변수이므로 연속변수이지만 [모형]의 제약식 (2)가 네트워크 흐름제약식 이므로 즉, 제약식 행렬이 TUM(totally unimodular matrices)²⁸⁾이므로 x_{ij}^{k*} 는 항상 0 혹은 1의 정수값을 갖게 되는 특징이 있다.

이 모형 최적해에서 z_j 의 값을 z_j^* 로 x_{ij}^k 의 값을 x_{ij}^{k*} 라고 해보자. 그러면 이 최적해의 값들은 다음과 같은 의미를 갖게 된다.

- (1) z_j^* 가 만약 “1”이면 후보중심항 j 를 새로운 중심항으로 활용하여야 함을 의미하며, $z_j^*=0$ 이면 후보중심항 j 는 경제성이 없는 후보중심항이므로 활용하지 않는 것이 좋을 의미한다.
- (2) $x_{ij}^{k*}=1$ 인 가지들을 연결하면 화물흐름 k 의 연간 수송량을 최소의 운항 비용으로 운송할 수 있는 항로가 발견된다. 각 화물흐름 별로 발견된

28) George L. Nemhauser and Laurence A. Wolsey(1988), *Integer and Combinatorial Optimization*, Wiley Europe, pp.540~546.

최적항로들을 연결하는 방법으로 현재 고려중인 선박의 최적항로를 발견할 수 있다. 이 항로를 정기선의 항로로 결정할 경우 이미 예측된 주요 화물흐름을 고려할 때 정기선사의 운항이익을 극대화 할 수 있는 것이다. 또한 개별 화물흐름별 최소운항비용을 보장하는 경로가 모두 포함되는 정기선항로가 고안될 수 있을 것이다. 개별 화물흐름별 최적경로를 연결하는 방법으로 정기선 항로를 완전히 구성할 수 없는 경우도 상상할 수 있으나, 이 경우도 발견된 개별 화물흐름별 최적항로가 가능한 한 많이 포함되도록 정기선 항로를 계획할 수 있을 것이다.

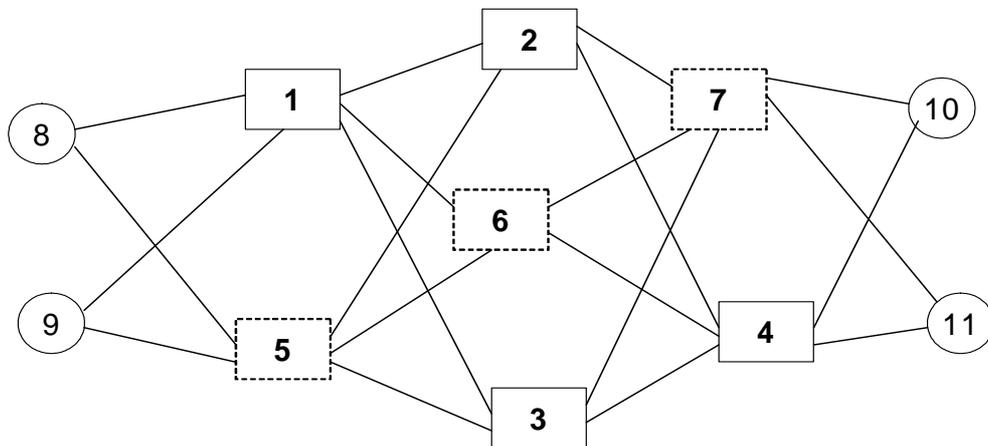
제5장 사례연구

이 장에서는 개발된 의사결정 모형으로 4,000TEU급 컨테이너 선박을 가지고 있는 가상적 정기선사의 최적항로 결정 문제를 예시하고자 한다.

제1절 후보경로지와 비용자료

의사결정을 하고자 하는 정기선사는 아래의 [그림 5-1] 과 같은 주요화물 흐름에 대한 공급지, 수요지, 중심항, 후보중심항을 경유하는 최적항로를 개발하려고 한다. 그림에서 8, 9, 10, 11 마디는 공급지 마디 또는 수요지 마디이다. 1, 2, 3, 4 마디는 이미 활용중인 중심항 마디이다. 그리고 5, 6, 7 마디는 활용을 고려중인 후보중심항 마디이다.

[그림 5-1] 공급지, 수요지, 경유지 네트워크



위 [그림 5-1] 의 각 공급지 마디에서 수요지 마디로 화물의 흐름이 발생할 때, 중심항을 경유하여 각 공급지에서 수요지까지의 최적항로를 결정하는 문제를 생각해 보자.

우선, 각 공급지, 수요지, 경유지 상에 k 라고 하는 4가지 중요한 화물흐름이 있고, 각 화물흐름양이 다르다고 가정한다. [표 5-1] 은 이 4가지의 흐름을 나타내고 [표 5-2] 는 각 흐름 k 의 동향(east bound : E/B)과 서향(west bound : W/B)으로의 화물흐름양을 나타낸다.

[표 5-1] 각 공급지, 수요지, 경유지 마디 간 화물의 흐름

마디(node) 흐름(k)	공급지 마디	경유지 마디	수요지 마디
$k = 1$	8	1,2,3,4,5,6,7	11
$k = 2$	11	1,2,3,4,5,6,7	8
$k = 3$	9	1,2,3,4,5,6,7	10
$k = 4$	10	1,2,3,4,5,6,7	9

[표 5-2] 연간 화물흐름양

단위 : TEU

k 의 화물흐름양	동향(E/B)	서향(W/B)
$k = 1$	75,380	40,605
$k = 2$	44,044	64,061
$k = 3$	22,195	33,018
$k = 4$	12,586	23,124

자료: 한국해양수산개발원, 「KMI 세계해운전망」 및 Containerization International 각호.

[표 5-3] 과 [표 5-4] 는 연간 운항비인 c_{ij} 를 각 구간(arc)별로 나타낸 것이다. [표 5-3] 은 동향의 운항비를 나타낸 것이고, [표 5-4] 는 서향의 운항비를 나타낸 것이다.

[표 5-3] 각 구간별 운항비(E/B)

단위 : (만\$/year)

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	180	270	-	-	67.5	-	-	-	-	-
2	-	-	-	203	-	-	45	-	-	-	-
3	-	-	-	203	-	-	67.5	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	180	135
5	-	90	45	-	-	22.5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	45	-	-	22.5	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	67.5	56.3
8	113	-	-	-	45	-	-	-	-	-	-
9	158	-	-	-	67.5	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

[표 5-4] 각 구간별 운항비(W/B)

단위 : (만\$/year)

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-	-	-	-	-	-	264	220	-	-
2	308	-	-	-	110	-	-	-	-	-	-
3	440	-	-	-	110	-	-	-	-	-	-
4	-	330	286	-	-	66	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	22	110	-	-
6	44	-	-	-	88	-	-	-	-	-	-
7	-	22	44	-	-	66	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	132	-	-	44	-	-	-	-
11	-	-	-	176	-	-	88	-	-	-	-

주: 비용은 태평양항로 투입시 연간 8.7항차 기준임.

자료: Drewry Shipping Consultant, Post-Panamax: The Next Generation, August, 2001

화물흐름 $k=1, 2, 3, 4$ 의 연간 화물흐름량이 [표 5-2] 와 같이 각각 다를 경우 아래의 표에서 나타나 있듯이 같은 구간에 대해서라도 운항비가 달라짐을 알 수 있다.

[표 5-5] 화물흐름 $k=1$ 의 각 구간별 운항비(E/B)

단위 : (만\$/year)

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	51.4	77.1	-	-	19.3	-	-	-	-	-
2	-	-	-	57.9	-	-	12.9	-	-	-	-
3	-	-	-	57.9	-	-	19.3	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	51.4	38.6
5	-	25.7	12.9	-	-	6.43	-	-	-	-	-
6	-	-	-	12.9	-	-	6.43	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19.3	16.1
8	32.1	-	-	-	12.9	-	-	-	-	-	-
9	45	-	-	-	19.3	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

[표 5-6] 화물흐름 $k=1$ 각 구간별 운항비(W/B)

단위 : (만\$/year)

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-	-	-	-	-	-	132	110	-	-
2	154	-	-	-	55	-	-	-	-	-	-
3	220	-	-	-	55	-	-	-	-	-	-
4	-	165	143	-	-	33	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	11	55	-	-
6	22	-	-	-	44	-	-	-	-	-	-
7	-	11	22	-	-	33	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	66	-	-	22	-	-	-	-
11	-	-	-	88	-	-	44	-	-	-	-

[표 5-7] 화물흐름 $k=2$ 의 각 구간별 운항비(E/B)

단위 : (만\$/year)

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	56.3	90	135	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	101	-	-	22.5	-	-	-	-
3	-	-	-	101	-	-	33.8	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	67.5
5	-	45	22.5	-	-	11.3	-	-	-	-	-
6	-	-	-	22.5	-	-	11.3	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33.8	28.1
8	-	-	-	-	22.5	-	-	-	-	-	-
9	78.8	-	-	-	33.8	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

[표 5-8] 화물흐름 $k=2$ 의 각 구간별 운항비(W/B)

단위 : (만\$/year)

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-	-	-	-	-	-	88	73.3	-	-
2	103	-	-	-	36.7	-	-	-	-	-	-
3	147	-	-	-	36.7	-	-	-	-	-	-
4	-	110	95.3	-	-	22	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	7.33	36.7	-	-
6	14.7	-	-	-	29.3	-	-	-	-	-	-
7	-	7.33	14.7	-	-	22	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	44	-	-	14.7	-	-	-	-
11	-	-	-	58.7	-	-	29.3	-	-	-	-

[표 5-9] 화물흐름 $k=3$ 의 각 구간별 운항비(E/B)

단위 : (만\$/year)

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	180	270	-	-	67.5	-	-	-	-	-
2	-	-	-	203	-	-	45	-	-	-	-
3	-	-	-	203	-	-	67.5	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	180	135
5	-	90	45	-	-	22.5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	45	-	-	22.5	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	67.5	56.3
8	113	-	-	-	45	-	-	-	-	-	-
9	158	-	-	-	67.5	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

[표 5-10] 화물흐름 $k=3$ 의 각 구간별 운항비(W/B)

단위 : (만\$/year)

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-	-	-	-	-	-	176	147	-	-
2	205	-	-	-	73.3	-	-	-	-	-	-
3	293	-	-	-	73.3	-	-	-	-	-	-
4	-	220	191	-	-	44	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	14.7	73.3	-	-
6	29.3	-	-	-	58.7	-	-	-	-	-	-
7	-	14.7	29.3	-	-	44	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	88	-	-	29.3	-	-	-	-
11	-	-	-	117	-	-	58.7	-	-	-	-

[표 5-11] 화물흐름 $k=4$ 의 각 구간별 운항비(E/B)

단위 : (만\$/year)

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	360	540	-	-	135	-	-	-	-	-
2	-	-	-	405	-	-	90	-	-	-	-
3	-	-	-	405	-	-	135	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	360	270
5	-	180	90	-	-	45	-	-	-	-	-
6	-	-	-	90	-	-	45	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	135	113
8	225	-	-	-	90	-	-	-	-	-	-
9	315	-	-	-	135	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

[표 5-12] 화물흐름 $k=4$ 의 각 구간별 운항비(W/B)

단위 : (만\$/year)

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-	-	-	-	-	-	264	220	-	-
2	308	-	-	-	110	-	-	-	-	-	-
3	440	-	-	-	110	-	-	-	-	-	-
4	-	330	286	-	-	66	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	22	110	-	-
6	44	-	-	-	88	-	-	-	-	-	-
7	-	22	44	-	-	66	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	132	-	-	44	-	-	-	-
11	-	-	-	176	-	-	88	-	-	-	-

[표 5-13] 은 [그림 5-1] 에서 점선으로 나타나 있는 후보중심항의 중심항 활용시 고정비용인 g_j 를 나타낸 것으로, 정기선사의 전용터미널임대시 연간 발생하는 임대비용 및 초기투자비용을 나타낸다.

[표 5-13] 중심항 활용비용

단위 : (만\$/years)

	g_5	g_6	g_7
비용	350	500	430

주: 5년간 임대비용을 연간비용으로 환산한 것임.

자료: 신성대 터미널 임대비용

$$x_{19}^3 + \dots - x_{34}^3 = 0$$

$$x_{107}^3 + x_{104}^3 - x_{710}^3 - x_{410}^3 = -1$$

$$x_{107}^4 + x_{104}^4 - x_{710}^4 - x_{410}^4 = 1$$

$$x_{19}^4 + \dots - x_{34}^4 = 0$$

$$x_{91}^4 + x_{95}^4 - x_{19}^4 - x_{59}^4 = -1$$

$$\begin{aligned} & x_{85}^1 + x_{25}^1 + x_{65}^1 + x_{35}^1 + x_{85}^2 + x_{25}^2 + x_{65}^2 + x_{35}^2 \\ & + x_{95}^3 + x_{25}^3 + x_{65}^3 + x_{35}^3 + x_{95}^4 + x_{25}^4 + x_{65}^4 + x_{35}^4 - 4z_5 \leq 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & x_{16}^1 + x_{56}^1 + x_{46}^1 + x_{76}^1 + x_{16}^2 + x_{56}^2 + x_{46}^2 + x_{76}^2 \\ & + x_{16}^3 + x_{56}^3 + x_{46}^3 + x_{76}^3 + x_{16}^4 + x_{56}^4 + x_{46}^4 + x_{76}^4 - 4z_6 \leq 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & x_{117}^1 + x_{37}^1 + x_{67}^1 + x_{27}^1 + x_{117}^2 + x_{37}^2 + x_{67}^2 + x_{27}^2 \\ & + x_{107}^3 + x_{37}^3 + x_{67}^3 + x_{27}^3 + x_{107}^4 + x_{37}^4 + x_{67}^4 + x_{27}^4 - 4z_7 \leq 0 \end{aligned}$$

$$z_j \in \{0, 1\}, \quad x_{ij} \geq 0, \quad \{i, j\} \in A, \quad k \in K$$

제3절 정기선사 항로결정 모형의 결과

【모형】을 선형/정수계획법 소프트웨어인 LINDO를 이용해 풀 결과 다음과 같은 최적해를 얻을 수 있었다.

$$z_5^* = 1, \quad z_6^* = 0, \quad z_7^* = 1,$$

$$x_{85}^{1*} = 1, \quad x_{53}^{1*} = 1, \quad x_{37}^{1*} = 1, \quad x_{711}^{1*} = 1$$

$$x_{117}^{2*} = 1, \quad x_{72}^{2*} = 1, \quad x_{25}^{2*} = 1, \quad x_{58}^{2*} = 1$$

$$x_{95}^{3*} = 1, \quad x_{53}^{3*} = 1, \quad x_{37}^{3*} = 1, \quad x_{710}^{3*} = 1$$

$$x_{107}^{4*} = 1, \quad x_{72}^{4*} = 1, \quad x_{25}^{4*} = 1, \quad x_{59}^{4*} = 1$$

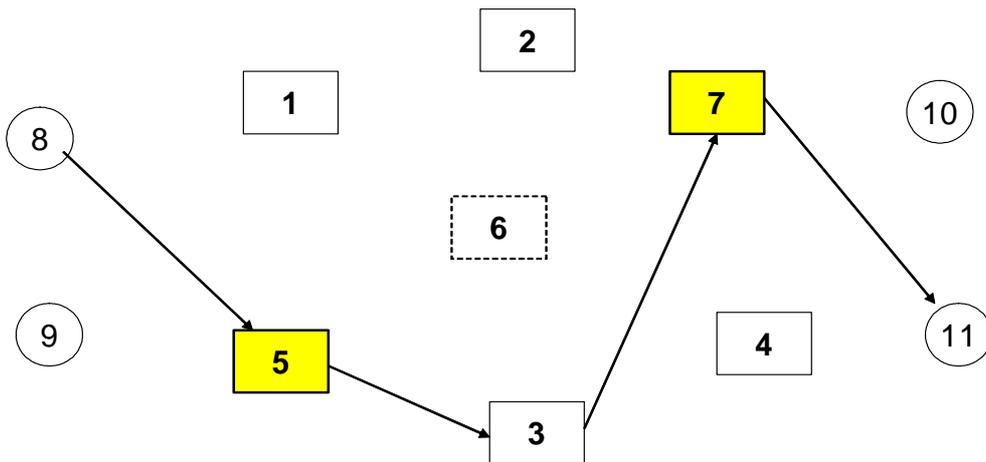
이 모형은 정기선사가 화물의 공급지에서 수요지까지 적절한 중심항을 경유하여 최소의 운항비용으로 화물을 수송하는 최적항로를 결정하는 모형인데, 경유지는 이미 활용하고 있는 중심항일 수도 있고, 선사에서 새로이 활용을 모색하고 있는 후보중심항일 수도 있다. 위 최적해를 볼 때 후보중심항 5, 6, 7 중 화물의 흐름 $k=1, k=2, k=3, k=4$ 을 공급지에서 수요지까지 수송할 경우 최적 의사결정은 후보중심항 5, 7은 의사결정변수인 z_5 와 z_7 의 값이 "1"이므로 새로운중심항으로 활용하고 6은 변수값이 "0"이므로 중심항으로 활용하지 않는 것이 정기선사의 항로결정시 최적의 의사결정이다.

이 모형에서 최적 항로를 구성하기 위한 후보중심항 5와 7의 중심항 활용에 따르는 고정비 g_5 와 g_7 는 $g_5=350$ (만\$/year), $g_7=433$ (만\$/year)이다. 또한 주어진 4개의 주요화물흐름 $k=1, k=2, k=3, k=4$ 을 공급지에서 수요지 까지

운송하는 최적의 항로는 다음과 같다.

화물흐름 1($k=1$)의 공급지는 8번 마디이고, 수요지는 11번 마디이다. 1번 화물흐름의 경우 최적해는 $x_{85}^{1*}=1, x_{53}^{1*}=1, x_{37}^{1*}=1, x_{711}^{1*}=1$ 이다. 이는 공급지인 8번 마디에서 중심항인 5, 3, 7번 마디를 경유하고 수요지인 11번 마디로의 흐름이 1번 화물흐름의 최적항로임을 의미하는 것이다. 이를 그림으로 나타내면 [그림 5-2] 와 같다.

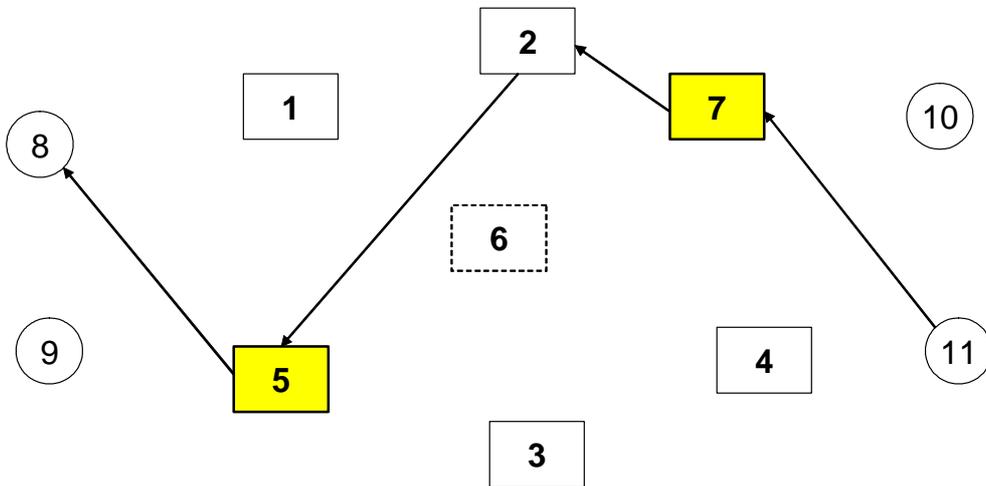
[그림 5-2] 1번 화물흐름의 최적항로



1번 화물흐름의 최적항로는 [그림 5-2] 와 같고, 각 마디를 잇는 가지인 (8,5), (5,3), (3,7), (7,11)상의 운항비인 $c_{85}=45, c_{53}=45, c_{37}=67.5, c_{711}=56.3$ 의 합은 213.8(만\$/year)이다. 즉 1번 화물흐름의 최적항로의 운항비는 213.8(만\$/year)이다.

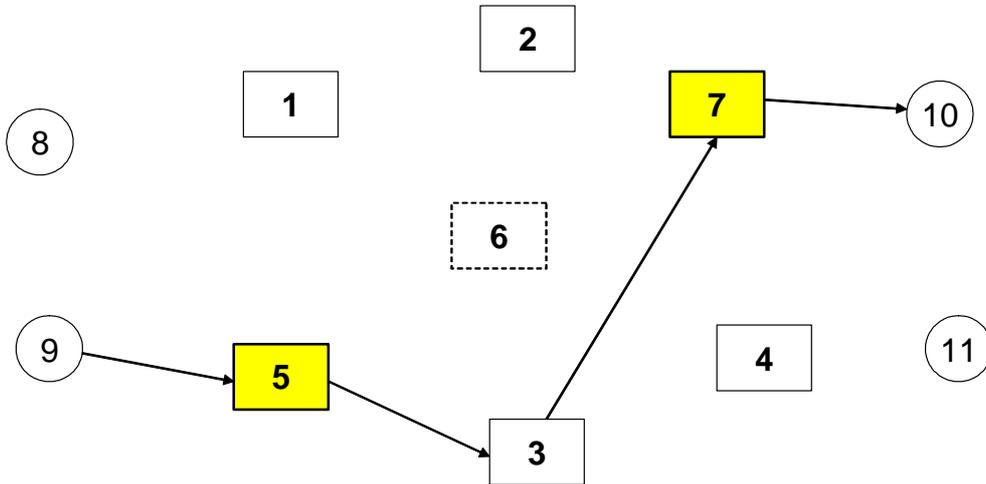
화물흐름 2($k=2$)의 최적항로는 [그림 5-3] 과 같고, 이 가지상의 운항비인 $c_{117}=88$, $c_{72}=22$, $c_{25}=110$, $c_{58}=22$ 의 합인 242(만\$/year)이 2번 화물흐름의 최소 운항비이다.

[그림 5-3] 2번 화물흐름의 최적항로

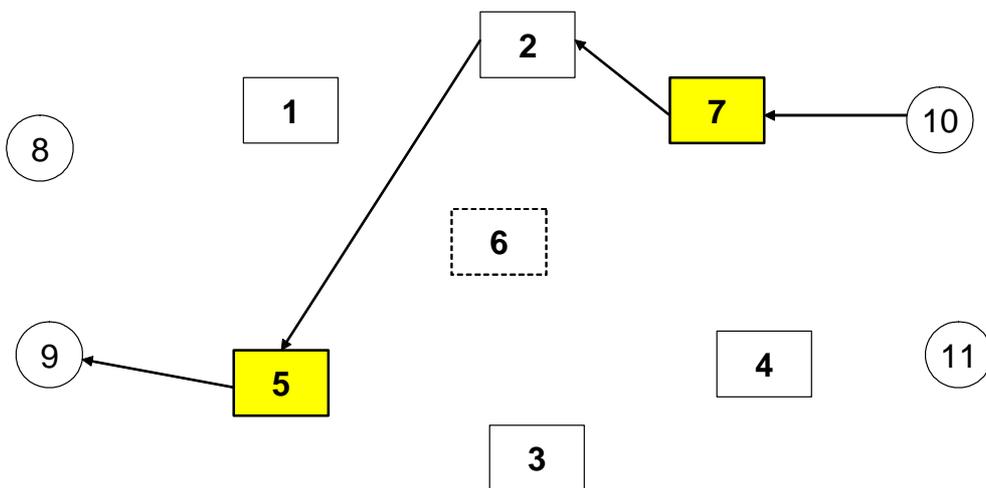


화물흐름 3($k=3$)과 화물흐름 4($k=4$)의 최적항로 또한 [그림 5-4] , [그림 5-5] 와 같고, 최소운항비는 3번 화물흐름은 가지(9,5), (5,3), (3,7), (7,10)의 운항비인 $c_{95}=67.5$, $c_{53}=45$, $c_{37}=67.5$, $c_{710}=67.5$ 의 합인 247.5(만\$/year)이고, 4번 화물의 경우는 가지(10,7), (7,2), (2,5), (5,9)의 운항비인 $c_{107}=44$, $c_{72}=22$, $c_{25}=110$, $c_{59}=110$ 의 합인 286(만\$/year)이다.

[그림 5-4] 3번 화물흐름의 최적향로

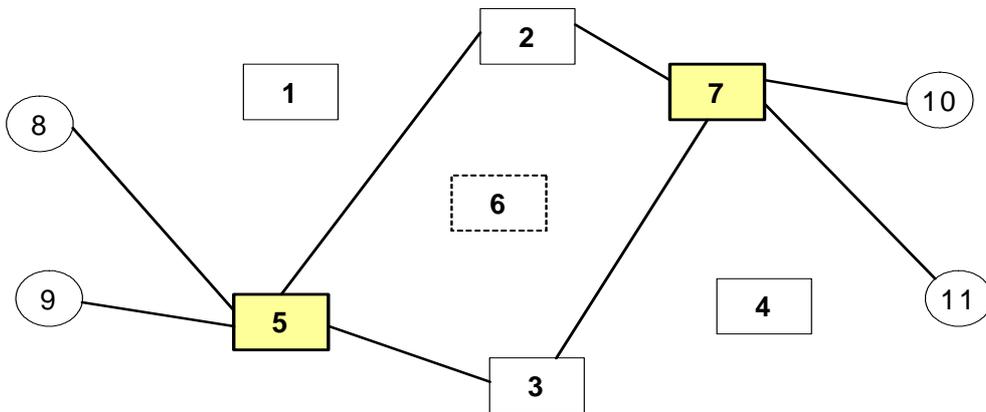


[그림 5-5] 4번 화물흐름의 최적향로



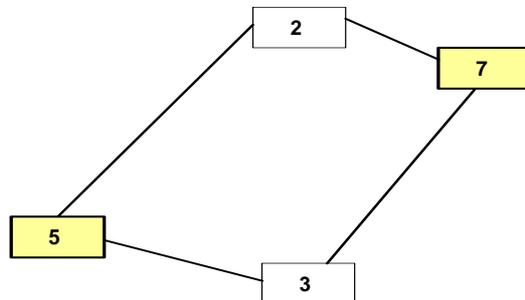
위에서 발견된 각 화물흐름별 최적항로들을 연결하면 [그림 5-6] 과 같은 결과를 얻을 수 있고 이는 현재 고려중인 선박이 K 를 최소의 운항비용으로 운송할 수 있는 항로이다.

[그림 5-6] 각 화물흐름별 최적항로들의 연결



결과적으로 본 사례연구에서 고려한 선박은 [그림 5-7] 에서와 같이 $2 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 7 \rightarrow 2$ 의 항로를 운항하는 것이 이미 예측된 주요 화물흐름을 고려할 때 정기선사의 운항이익을 극대화 할 수 있음을 알 수 있다. 즉, [그림 5-7] 이 가상 정기선사에서 고려한 한척의 선박의 최적항로인 것이다.

[그림18] 발견된 최적항로



제6장 결 론

제1절 연구결과의 의의

중심항과 주변항만 체계(Hub-and-Spoke system)는 규모의 경제에 의한 잠재적 원가절감이라는 면에서 운송, 통신 네트워크 디자인에 많이 적용되고 있다. 특히, 해상운송의 경우 대량수송과 저렴한 운임이라는 장점을 갖추고 있어 다른 운송수단보다 많은 물동량의 흐름을 가지고 있다. 그에 비해 각 정기선 해운선사에서는 동맹에 의한 약정된 운임률을 가지고 있으므로 운임을 높게 받아서는 경쟁력이 없어지고 선사의 이익을 도모할 수 없으므로 해운선사에서 이익을 추구하기 위해서는, 효율적인 운항계획을 통한 운항비 절감이 매우 중요하다고 할 수 있다. 이를 위한 한 방법으로 중심항과 주변항만 네트워크의 시스템적 재구성을 시도해 볼 수 있다.

이러한 인식에서 개발된 본 연구에서의 의사결정모형은 정기선사의 항로 결정시 고려대상인 중요한 한척의 선박에 대하여 새로운 중심항의 활용가능성을 시스템적으로 고려해 가면서 최적항로를 발견하는데 도움을 줄 수 있는 모형이다.

제2절 연구의 한계 및 향후 연구방향

정기선사의 실제 자료의 획득에 대한 현실적인 어려움으로 가상자료 및 문헌자료를 토대로 사례연구를 하였다. 그러나 이는 이 모형의 유용성과는 관련이 없다. 구체적으로 한 정기선사가 특정 선박에 대하여 새로운 중심항을 고려한 최적항로를 찾고자 할 경우 선사의 실제 자료를 본 논문의 모형에 적용하여 최적해를 구할 수 있다. 이 경우 해당 선박에 대한 정기선의

최적 항로를 실제로 도출할 수 있고, 이 논문의 4~5장에서 논의한 것과 같은 해석 및 경영상의 시사점을 얻을 수 있을 것이다.

본 연구의 향후 연구 과제로 아래와 같이 세 가지를 언급할 수 있다.

첫째, 본 연구에서는 개발된 모형을 표준화된 소프트웨어를 이용하여 풀었으나 후보중심항이 많아질 경우, 복잡해진 모형의 해를 구할 수 있는 효율적 해법개발을 시도해 보는 것을 향후 연구과제로 생각할 수 있을 것이다. 그러나 현실적으로 후보중심항의 수가 매우 많아지는 경우는 극히 예외적 상황이라고 할 수 있다.

둘째, 본 연구의 입력자료였던 정기선사의 운항비, 터미널 임대비용 등은 각 선사에서 데이터베이스(database)로 구축하고 있으므로 이와 연계하여 최적화 모형을 기반으로 하는 사용자 중심의 의사결정지원시스템(DSS: decision support system)²⁹⁾의 개발을 시도해 볼 수 있을 것이다.

셋째, 이 연구에서는 중심항과 주변항을 연결하는 방법은 이미 결정된 수송방법이 있다고 가정하였으나, 이 또한 의사결정의 내용으로 하는 더욱 포괄적인 중심항과 주변항만 네트워크설계를 위한 의사결정 모형의 개발을 시도해 볼 수 있다. 이러한 모형은 매우 많은 정수변수를 수반하는 보다 복잡한 혼합정수계획 모형이 될 것 이므로 모형의 개발과 함께 최적해 발견을 위한 해법의 연구가 병행되어야 할 것 이다.

29) 일반적으로 DSS라는 약자로 불리어지는 의사 결정 시스템은 기업 경영에 있어서 기업의 최고 경영자들이 앞으로의 기업 경영 방법 및 시장 접근 방법에 대한 의사 결정을 보다 체계적으로 내릴 수 있도록, 관련된 자료들을 분석하여 미리 정의된 여러 가지 전략에 따라 바람직한 의사 결정 방향을 제공하는 컴퓨터 시스템을 말한다.

참 고 문 헌

[국 내 문 헌]

- 권해규(2001), “크루즈선 운항일정계획 최적화 모형에 관한 연구”, 한국해양대학교 대학원 석사학위 논문.
- 김외술 외 2인(1999), 「국제통상무역」, 신영사.
- 김웅진·추장엽(1995), 「국제운송물류론」, 두남.
- 강홍중·신민호(2001), 「무역실무」, 지원미디어.
- 김종태(2002), “초대형선 출현시대의 한진해운의 전략”, 「광양항 국제포럼 발표집」, p.145.
- 김세현, 「현대경영과학」, 무역경영사.
- 김기석, 「엑셀활용 경영과학」, 학현사.
- 노형봉 외 4인(2001), 「경영과학」, 한경사.
- 방희석(1999), 「국제운송론」, 전영사.
- 박명섭(1997), 「국제해운론」, 법문사.
- 박구현 외 2인(2001), 「엑셀 2000 경영과학」, 교보문고.
- 박태원·정봉민(2002), “컨테이너선 대형화의 경제적 효과분석”, 「한국해양수산개발원 기본연구」.
- 박창호 외 2인(2000), “남북한 항만을 중심으로 한 동북아 항만물류네트워크 구축에 관한 연구”, 「한국해운학회지」, 제31호, pp.91-114.
- 신한원 외 2인(2002), “컨테이너 정기선사의 국제마케팅전략에 관한 연구”, 한국해양대학교 해사산업 연구소.
- 임석민(1996), “제3세대 항만과 항만의 새로운 역할”, 「한국해운학회지」, 24권, p.171.
- Moon-Gil Yoon and Duk Young Yoon(2002) "Hub-Spoke Network Design Model with hop-count constraint for Air-cargo System", 「한국경영학회 학술지」, pp.139-144.

이동현(2000), 「세계의 허브를 꿈꾸는 한반도」, 문형.
 이홍배·이진춘, 「Excel과 함께하는 경영과학」, 무역경영사.
 윤재홍, 「현대경영과학론」, 형설출판사.
 장기창(2000), 「여객선대 배치 및 경로 선택 문제를 위한 최적화 모형 개발에 관한 연구」, 한국해양대학교 대학원 석사학위 논문.
 컨테이너 터미널 각호(2000.10.~2003.3.), 한국컨테이너부두공단.

[외 국 문 헌]

Containerisation International Yearbook 2003.
 Ernst Gabriel Frankel(1987), *The Shipping Industry*, Croom Helm.
 George L. Nemhauser and Laurence A. Wolsey(1988), *Integer and Combinatorial Optimization*, Wiley Europe.
 Hans Ludwig Beth(1985), *Port Management Textbook Containerization*, Bremen.
 Lars Gorton, Rolf Ihre and Arne Sandevan(1990), *Shipbroking and Chartering Practice*, Lloyd's of London Press Ltd.Wayne L.
 Mourao M.C., Pato M.V., and Paixao A.C.(2001), "Ship assignment with hub and spoke constrains", *Maritime Policy Management*, Vol. 29, No. 2, pp.135-150.
 Peter R. Brodie and F.I.C.S.(1994), *Dictionary of Shipping Terms*, Lloyd's of London Press Ltd.
 Patrick M. Alderton(1973), *Sea Transport*, Thomas Reed Publications Ltd.
 Rana, K., and Vickson, R.G.(1988), "A model and solution algorithm for optimal routing of a time-chartered containership", *Transportation Science*, Vol. 22, pp.83-95.
 Robert S. Cahn(1998), *Wide Area Network Design : Concepts and Tools*

for Optimization, Morgan Kaufmann Publishers.

Rana, K., and Vickson, R.G.(1991), "Routing containerhips using Lagrangrean relaxation and decomposition", *Transpotation Science*, Vol. 25, pp.201-214.

Robert H. Brown(1968), *Marine Insurance Vol.1-The Principles*, Witherby & Co Ltd.

Seong-Chel Cho and Perakis(1996), "Optimal liner fleet routing strategies", *Maritime Policy Management*, Vol. 23, No. 3, pp.249-259.

Winston(1995), *Introduction to Mathematical Programming*, Wadsworth Publishing Company.

[홈페이지]

www.changpogo.or.kr (해상왕 장보고 홈 페이지)

www.hmm21.com (현대상선 홈페이지)

<http://www.shipmentlink.com> (에버그린 홈페이지)

<http://home.sunchon.ac.kr/~logistics> (순천대학교 물류공학과 홈페이지)

<http://hanara.kmaritime.ac.kr/~gilsoo> (한국해양대학교 김길수 교수 홈페이지)

www.worldbank.org (국제부흥개발은행)

<http://www.drewry.co.uk> (Drewry Shipping Consultant 홈페이지)

<http://www.kmi.re.kr> (한국해양수산개발원)

<http://www.pusan.momaf.go.kr> (부산지방해양수산청)

