

## 크루즈 선박의 운항일정계획을 위한 최적화 모형\*

조 성 철\*\* · 권 해 규\*\*\*

An Optimization Model for a Single Cruise Ship Itinerary Planning

*Seong-Cheol Cho\*\* · Hae-Kyu Kwon\*\*\**

〈목 차〉	
Abstract	계획 모형
1. 서 론	4. 가상 사례연구
2. 크루즈 선박 운항일정계획 최적화 네트워크 모형	5. 결 론
3. 크루즈 선박 경로선택을 위한 선형 참고문헌	

### Abstract

This paper presents a decision making model for the cruise ship management. A network based optimization model has been developed for a single cruise ship operation. It gives optimal itinerary patterns over the planning period for the cruise ship managers wanting to maximize profit from the cruise ship operation. A network solution method to find the optimal solution is also developed. This network model can be equivalently transformed into a linear programming model, which makes the implementation of the model quite practical however complicated the given set of possible itineraries may be. The ship scheduling network developed in this study can also be used as a general framework to describe all possible cruise ship itineraries the cruise ship manager can figure out.

\* 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구 (과제번호: 1999-2-305-002-4) 지원으로 수행되었음.

\*\* 정희원, 한국해양대학교 해운경영학부 교수

\*\*\* 경영학석사, (주) 동신해운에이전시 근무

## 1. 서 론

### 1.1 크루즈 산업 개요

여객운송을 목적으로 하는 여객선과 달리 관광 및 선상 오락 및 여가를 목적으로 하는 현대적 의미의 크루즈 시장의 [2] 본격적인 성장은 1980년대 이후부터라고 할 수 있다. 이후 크루즈 산업은 북미 및 유럽 국가들을 중심으로 시장규모를 확대하면서 현재 모든 관광산업 중 가장 빠른 성장을 보이고 있으며 (매년 8-10%) 타 관광산업 성장률 (5%)의 대략 두 배 정도로 평가되고 있다. 이러한 추세는 관광욕구의 다양화에 따라 이용계층이 고령층에서 다른 연령층으로 확대됨으로써 그 지속적 성장 가능성을 더욱 증가시키고 있다. 1990년 이후 세계 선박 척수의 증가율은 3.8%인 반면, 크루즈선 척수의 증가율은 7.4%를 기록하고 있다. 총 톤수로만 생각하면 크루즈 선박은 1999년에서 2003년까지 매년 17% 정도 성장할 것으로 예측된다. ISL (Institute of Shipping Economics and Logistics)의 예측은 2002년에는 8,892천톤의 선박이 공급되어 약 1,230만명의 크루즈 관광수요가 발생할 것으로 전망하고 있다. CLIA(Cruise Line International Association)<sup>1)</sup>의 예측대로 이미 작년 전 세계의 크루즈 이용객은 1,000만 명에 달했으며, 매년 약 600-950억불 매출 규모의 시장잠재력을 가지고 있다. <표 1>은 이러한 크루즈 산업 수요의 동향을 지역별로 요약하여 보여 주고 있다.

물론 최근 크루즈 선사들의 신조선에 대한 막대한 투자와, 크루즈 시장의 중심인 미국 경제의 침체 조짐 등 향후 시장에 대한 우려의 견해가 있지만 기본적으로 현재의 8% 이상 매년 성장에 대해서 의견적 일치를 보이고 있다. 예를 들어 미국 경제가 침체의 조짐을 보이고 있는 상황에서도 Fun Ship 마케팅으로 유명한 [13] 세계 최대의 Carnival 선사의 경우 2001년 제 1사분기 동안의 매출액(약 \$10.1

<표 1> 세계 지역별 크루즈 인구 전망

구 분	1998년	2000년	2005년	2010년
북미지역	5,400,000	6,200,000	8,000,000	10,200,000
유럽 지역	영 국	630,000	780,000	1,200,000
	독 일	300,000	350,000	490,000
	이탈리아	220,000	260,000	360,000
	프 랑 스	177,000	205,000	290,000
	스 페 인	45,000	55,000	86,000
	스 위 스	34,000	40,000	64,000
	기 타 (동유럽, 러시아)	13,000	15,000	23,000
유럽소계	1,419,000	1,705,000	2,513,000	3,173,000
아시아 지역 (일본)	100,000	125,000	145,000	210,000
전 체	7,200,000	8,000,000	11,000,000	14,000,000

자료 출처 : Ocean Shipping consultant. 'Cruise Shipping Industry Prospects To 2010'

역)이 전년도에 비해 20% 이상 증가하는 등 계속적인 상승세를 보이고 있다. 이와 같이 통상 불황이 없는 산업이라고 불리어지는 크루즈 산업은 1980년 이래 세계 경제의 경기 변동과 큰 관계없이 지속적으로 고속 성장을 하고 있는 것이 특징이다.

우리나라의 경우 최근에 금강산 유람선의 운항이 중단되어 정기적으로 기항하는 크루즈 선박은 Star Cruise 선사의 SuperStar Taurus호 한 척 밖에 없는 셈이다. 한국과 주변 국가들의 막대한 관광자원들을 고려해 볼 때 현재 우리나라의 경우는 크루즈 산업 도입 단계의 저항을 겪는 시기라고 볼 수 있다. 비교적 우리보다 긴 자체 크루즈 역사를 갖고 있는 일본의 경우는 현재 아시아에서는 최초로 100,000 GRT(Gross Registered Tonnage : 총등록 톤수)급 선박<sup>2)</sup>을 두 척이나 수주 받아 건조하고 있다.

- 1) Carnival사와 Royal Caribbean사 등 24개의 선사들이 회원으로 있으며, 선박과 목적지에 대해 상세한 정보를 제공한다.
- 2) Builder: Mitsubishi - Japan, Princess사의 새로운 class 선박이며, 인도예정일이 2003년 7월인 이 선박은 113,000GRT 규모이며, 2600명의 승객이 승선할 수 있다. 이 선박이 아시아에서 건조되는 첫 번째 100,000GRT 이상의 크루즈 선박이다.

## 1.2 연구 개요

이 논문은 크루즈선박의 운항 일정계획 (Itinerary Planning)을 위한 최적화 의사결정모형을 제안하고 있다. 현재 일반상선에 대한 과학적 의사결정 연구는 다소 있는 편이지만, 크루즈선박에 대한 의사결정모형에 관한 연구의 보고는 거의 없는 실정이다. 또한 해운에 관한 경영과학에 바탕을 둔 의사결정모형 연구도 타 수송수단의 연구에 비하면 매우 적은 편이라고 할 수 있다. 해운을 대상으로 의사결정모형 연구들에 관해 포괄적 정리를 수행한 연구[10, 11]에 의하면 이러한 연구 부진의 이유가 해운서비스 자체가 타 운송 수단에 비해 날씨, 파업 등과 같은 불확실성이 많고, 구조적으로 복잡하며, 해운시장이 국제적이고 불안정하기 때문이라고 지적하였다.

초기의 선대·선박 운영 경영과학 연구는 유조선, 화주 직접운항(industrial operation), 벌크선 등 부정기선의 운항에 관한 연구로 시작하였다. 비교적 최근에 와서야 정기선의 최적 경로선택문제와 스케줄링문제에 관하여 분석적인 모형연구가 이루어졌는데, Perakis and Jaramillo는 [7] 정기선 선박을 여러 항로에 투입했을 때 발생하는 운항비와 계선비용을 최소로 하는 모형을 제시하였다. 그리고 Rana and Vickson은 [8, 9] 각 선박의 최적의 기항지 수를 결정하여 이익을 극대화하는 비선형모형을 제시하였는데 이들은 라그랑지 이완기법(Lagrangian Relaxation)과 [6] 전통적 분할 기법(Decomposition Method)을 [5] 적절히 이용한 해법을 개발하여 활용하였다. Cho and Parakis는 [12] 정기선 운항문제에 대해 복잡한 비선형을 피하여 선형과 0-1변수를 이용하여 현실적이고 응용 가능하게 화물수요에 대한 예측을 체계적으로 분석하여 정기선대를 운영할 수 있는 최적화 모형을 제시하였다.

최근에 여객선대의 최적 운항경로 설정을 위한 선형계획 모형이 [3] 개발되었으나, 아직 크루즈 선박의 운항에 관해서는 분석적 의사결정 모형에 대한 연구가 보고되지 않고 있다. 이런 점에서 이 연구는 저자들이 알고 있는 한 크루즈 선박의 운항 일정계획을 위해 최적화 모형을 제시하는 첫 연구가 될 것이다.

## 2. 크루즈 선박 운항일정계획 최적화 네트워크 모형

### 2.1 후보운항일정계획

크루즈 선박의 운항은 정해진 운항일정에 따라 예정된 항만 간을 규칙적으로 반복 운항하면서, 운송의 대가로 사전에 공표된 정액 운임 (Tariff Rate)을 적용한다는 점에서 기본적으로는 해상 운송의 한 형태인 정기선 상선의 운항형태와 유사하다. 하지만 연중 같은 항로를 운항하지 않고 고객 수요에 따라 항로를 다변화하는 행태를 갖고 있음으로서 수시로 수송 수요에 부응하여 운항하는 부정기선의 성격도 동시에 가지고 있다. 항로 다변화를 위해서 수요뿐만 아니라 계절, 각 나라의 법률, 항만 시설, 정치상황 등과 같은 여러 요소들을 고려하게 되므로 총괄적인 경로 선택 및 운항일정계획에 관한 문제는 아주 복잡하다. 크루즈 선박 운항은 선박 운항 최소 한달 이전에 모든 예약이 끝나고 이를 위한 마케팅을 위해 최소 1~2년 전에 기항지 선택에 관한 의사결정을 해야 한다.

이러한 상황들을 고려하면서 크루즈 선박의 경영자는 기간별로 투입 가능한 항로와 수요를 예측하고 기타 운항 요소를 종합하여 다양한 후보운항일정계획들을 개발할 수 있다. 이들은 일정 기간 전에 고객에게 공개하고 예약을 받기 위해 과거의 경로 수요의 변동 등을 토대로 정밀한 검토를 통하여 경영자들에 의해 만들어지게 된다. 여기서 개발한 모형은 이러한 경영자의 후보일정계획을 기본 자료로 만들어진다. 이러한 후보운항일정들의 정보를 체계적으로 분석하기 위해 후보운항일정계획들의 연관성 및 선후관계를 빠짐없이 표현해 줄 수 있는 네트워크 모형을 사용하였다.

사용된 네트워크는 잘 알려진 PERT 네트워크와 [1, 제15장] 유사한 표현방법을 활용하게 되는데, 각 마디(node)는 운항일정계획의 시작 및 종료 시점을 표시하며, 각 가지(arc)는 운항일정계획을 표현한다. PERT네트워크의 경우와 같이 가상활동에 해당되는 불가피하게 점선으로 표시된 가지가 도입될 수 있는데 이는 실제 운항이 아닌 각 운항일

정계획들의 논리적 선후 관계 설명을 위해 필요할 경우 도입하게 된다. 따라서 실제 선박운항은 네트워크 상의 실선으로 표시되는데 이는 실제의 크루즈 운항이나 공선운항을 나타내게 된다.

네트워크 기반 최적화 모형이 그렇듯이 여기서 개발된 모형도 쉽게 선형계획모형으로 전환할 수 있다. 선형계획모형으로 전환할 수 있다는 것은 일반화된 선형계획모형 소프트웨어를 통해 쉽게 해를 구할 수 있다는 이점과, 불확실성을 고려하는 민감도 분석을 쉽게 할 수 있다는 이점이 있음을 의미한다. 모형개발을 위해 다음을 정의하자.

(정의 1. 후보운항일정계획) 크루즈선의 후보운항일정계획이란 계획기간 중 경영자에 의해 사전적으로 정의된 운항일정계획으로서 운항일정계획의 개시일과 종료일 운항일정계획상의 기항지의 수열로 표현되는 항로, 이러한 항로를 따르는 향차 수로 정의된다.

(정의 2. 선행 후보운항일정계획) 후보운항일정계획 A를 수행한 후에 크루즈 선박을 이동하여 후보운항일정계획 B를 시간적, 공간적 장애 없이 수행할 수 있는 경우 A를 B의 선행 후보운항일정계획이라고 정의 한다.

일반적으로 해운은 기상, 운임변동, 법률적 제약의 변동, 물동량의 불확실성 등으로 인해 최적화 모형을 통한 최적해가 계획대로 운항될 확률이 매우 적은 것으로 알려져 있다. 그러나 크루즈 선박의 경우 예약시스템을 완전히 활용하기 때문에 계획대로 진행될 확률이 매우 높고, 따라서 개발된 최적화 모형이 현실을 잘 반영한 것일 경우 최적해의 신뢰성이 매우 높다고 말할 수 있다.

## 2.2 모형의 가정

이 논문에서 사용한 모형의 가정은 다음과 같다.

1) 이 모형은 한 척의 크루즈 선박을 대상으로 한다. 그러나 여러 척의 선대를 보유하고 있는 선사의 경우 지배적으로 중요한 크루즈 선박 한 척의 운항계획을 위해 활용될 수 있는 모형이다.

2) 항로별 수요와 선박의 운항 가능 시기, 한 항차 당 운항 수익 및 운항 비용, 불가피한 공선기간

및 공선·계선비용 등에 대한 예측치가 확정적으로 주어져 있다. 따라서 본 연구의 모형은 확률을 사용하지 않은 확정적 모형이다.

3) 공선운항은 대부분의 크루즈 선사가 가능하면 회피하는 주제이다. 제안된 모형은 이러한 공선운항을 허용하고 있다. 이러한 공선운항은 운항수익 없이 비용만을 발생시키므로 최적화를 추구하는 과정에서 최소화된 해를 발견하게 된다.

4) 실제로 크루즈 선사의 의사결정자는 이익뿐 아니라 서비스산업의 특징인 고객을 위한 여러 목적을 가지고 의사결정을 한다. 이 목적들의 상대적 중요성은 선사의 시장 상황에 따라 다르게 된다. 본 연구에서는 전통적으로 가장 중요한 목적인 최대의 운항이익을 경영자의 목표로 가정한다.

## 2.3 모형의 기호

모형에서 사용되는 기호와 의사결정 변수는 다음과 같다.

1)  $i$  또는  $j$  : 각 마디(node)를 나타내는 기호. 각 후보운항계획의 시작 또는 종료시점을 표시. 이후로는 각 운항계획의 시작 또는 종료시점을 시점  $i$ , 시점  $j$ 로 표현.

2)  $(i, j)$  : 시점  $i$ 에서  $j$ 까지의 가지로 표현되는 후보운항일정계획, 이후로는 시점  $i$ 에서  $j$ 까지의 후보운항일정계획을 후보운항일정계획  $(i, j)$ 로 표현.

3)  $c_{ij}$  : 후보운항일정계획  $(i, j)$ 의 이익 또는 비용, 선박이 실제 크루즈 운항을 하는 경우는  $c_{ij} > 0$ , 공선 운항일 경우는  $c_{ij} < 0$ .

4)  $t_{ij}$  : 후보운항일정계획  $(i, j)$ 에 선박이 투입되었을 때 소요되는 시간, 실제 운항일 경우  $t_{ij} > 0$ , 네트워크 상의 논리적 가상 운항일정계획일 경우  $t_{ij} = 0$ .

5)  $c_0$  : 단위 시간당 계선비용(lay-up cost)

6)  $\overline{c_{ij}}$  :  $c_{ij} + c_0 t_{ij}$  (네트워크의 분석을 위해 부여되는 후보운항일정계획  $(i, j)$ 의 수정 계수)

7)  $M_j$  : 첫 시점에서 시점  $j$ 까지의 수정최대이익

8)  $P_j$  : 첫 시점에서 시점  $j$ 까지의 최대이익

9)  $t$  : 계획 기간 동안 선박수리, 선박 개·보수 기간 등을 제외한 사용 가능한 선박의 총 운항 가

### 능 기간.

10)  $x_{ij}$  : 계획 기간 동안 후보운항일정계획  $(i, j)$ 에 대한 운항여부를 나타내는 이진(정수) 변수, 후보운항일정계획  $(i, j)$ 을 실제로 운항하도록 계획하는 경우  $x_{ij} = 1$ , 아닐 경우  $x_{ij} = 0$ .

후보운항일정계획  $(i, j)$ 의 이익 또는 비용을 나타내는  $c_{ij}$ 는 위에서 설명한대로 실제 크루즈운항계획일 경우와 공선운항일 경우로 나누어 생각할 수 있다. 실제크루즈 운항계획일 경우  $c_{ij}$ 는 후보운항일정계획  $(i, j)$ 에 대한 운항이익의 예측치라고 할 수 있으며 크루즈 운항수익과 크루즈운항비용의 차로 계산될 수 있다. 크루즈 운항수익은 크루즈요금수익과 고객의 크루즈 선박 내부시설 사용으로부터 오는 부가적 수익으로 구성된다. 이러한 부가적인 수익의 예로는 크루즈 선박마다 구체적 구성에 차이는 있겠지만 운항 중 선박에서 이루어지는 진료에 대한 치료수입, 개인서비스, 쇼핑수입, 카지노수입, 주류판매 등 모든 수입을 포함하고 있다. 운항비용을 구성하는 항목으로는 유류비, 각종세금, 승무원 임금비, 선용품 구입비, 객실 및 고객시설물 관리비 등 모든 비용을 포함하고 있다.

공선 운항의 경우  $c_{ij}$ 는 공선운항비용에 음의(‘-’) 부호를 붙인 수치를 의미하는데 이는 연료비를 중심으로 하는 순수한 운항비용을 뜻한다. 이러한 제 수익 및 비용의 예측은 항목별로 수립된 과거의 요금 및 비용자료로부터 통계적 예측기법을 통해 수행될 수 있을 것이다.

### 2.4 운항일정계획 네트워크

네트워크의 각 가지를 후보운항일정계획으로, 각 마디들을 운항일정계획의 시작과 끝 시점으로 표현하는 방법으로 크루즈 선사의 후보운항일정계획들을 모두 표현할 수가 있다. 이러한 네트워크 표현을 통해 각 후보운항일정계획들의 연관성 및 시간적 선후 관계, 물리적 연계관계 등을 쉽게 표현할 수가 있는데 이 네트워크를 운항일정계획 네트워크라고 정의하기로 하자.

이 운항일정계획 네트워크는 잘 알려진 프로젝

트 일정계획기법인 PERT네트워크와 매우 유사한 특성을 갖고 있다. PERT네트워크는 전체를 구성하고 있는 작업 및 이들의 연계관계를 네트워크로 표현하며, 네트워크는 가지(Arc)와 마디(Node)로 나타낸다. 본 논문에서는 각 후보 운항일정계획을 가지에, 각 후보운항일정계획의 시작 시점 및 종료 시점을 마디로 표현하였으며, 효과적인 선후관계를 나타내기 위해서 필요한 경우 점선으로 표시한 가상적인 활동(Dummy Activity)을 도입하여 네트워크의 분석에서 일어나는 혼돈을 피할 수 있게 하였다. 따라서 운항일정계획 네트워크에서 실선의 가지는 공선운항을 포함하여 실제적인 후보운항일정계획을 의미하고, 점선의 가지는 PERT네트워크의 더미활동과 유사한 개념으로 각 후보운항일정계획의 선후 관계를 표현하기 위해 부득이 할 경우 사용하였다.

그림 1은 간단한 운항일정계획 네트워크의 전형적 모양을 보여 준다. PERT 네트워크의 경우 각 가지에 연결된 계수는 그 활동의 수행시간이지만 우리의 후보운항일정 네트워크에서는 앞절 (2.3 절 6))에서 정의한  $\bar{c}_{ij}$ 를 각 가지  $(i, j)$ 의 계수로 사용한다. 이 값은 실제 각 운항의 이익을 나타내는 계수  $c_{ij}$ 와 다른 값으로 이 값에 실제는 발생하지 않는 계선비용  $c_{0ij}$ 가 더해진 값이다. 이는 아래와 같은 논의로부터 타당성을 갖는다.

이제 시작 시점에서 종료 시점까지의 (마디  $N$ ) 임의의 경로를 따라 계획기간 동안 크루즈 선박이 운항될 경우 발생하는 총 이익을  $P_N$ 으로 표현하

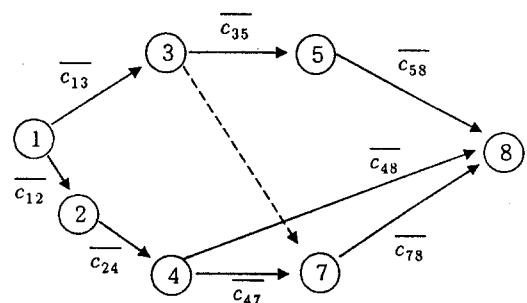


그림 1. 전형적인 운항일정계획 네트워크

여 보자. 경로상의 후보운항일정계획의 집합을  $S$ 라고 하면,

$$\begin{aligned} P_N &= \sum_{(i,j) \in S} c_{ij} - c_0(t - \sum_{(i,j) \in S} t_{ij}) \\ &= \sum_{(i,j) \in S} (c_{ij} + c_0 t_{ij}) - c_0 t \end{aligned} \quad (2.1)$$

임을 알 수 있다. 따라서 실제 수행된 운항일정계획으로부터의 이익을 계산하는데  $c_{ij}$ 가 아닌  $\bar{c}_{ij} = c_{ij} + c_0 t_{ij}$ 가 사용되어야 함을 알 수 있다. 또한 위의 관계식으로부터  $P_N$ 이 최적이익의 경로로부터의 총 운항이익이라고 할 때 이것과 계산의 목적으로 사용한 수정 최대이익  $M_N = \sum_{(i,j) \in S} (c_{ij} + c_0 t_{ij})$ 과는 다음과 같은 관계가 성립함을 알 수 있다.

$$P_N = M_N - c_0 t \quad (2.2)$$

## 2.5 최적운항일정계획의 도출

관계식 (2.1), (2.2)로부터 최적운항일정계획을 발견하는 단계를 PERT네트워크의 전진계산 단계와 유사한 방법으로 아래와 같이 서술할 수 있다.

### 최적운항일정계획 도출 해법

단계 1 :  $M_1 = 0$ 으로 둔다. 첫 마디의 레이블  $L_1$ 을  $L_1 = [0, \emptyset]$ 로 둔다. 마디의 선 택지수  $j$ 를 1로 둔다.

단계 2 : 마디 선택 지수  $j$ 를 하나 증가시켜서  $j+1$ 로 둔다. 다음의 관계식을 통해  $M_j$ 를 계산한다.

$$M_j = \max_{i \leq j} \{M_i + \bar{c}_{ij}\} \quad (2.3)$$

만일  $M_j = M_{j^0} + \bar{c}_{j^0}$ 일 경우  $L_j = [M_j, i^0]$ 로 둔다. 만일 계산 과정에서 조건 (2.3)에 해당하는  $i^0$ 가 복수 개 발견될 수 있을 경우 임의로 하나를 택한다.

단계 3 : 만일  $j = N$ 이면 아래와 같은 종료 단계를 수행하고 아니면 단계 2로 간다.

(종료 단계) 다음의 관계식으로 최적운항일정계획의 최적이익  $P_N$ 을 계산하며, 또한  $L_N$ 에 저

장된 마디들을 역추적하여 최적경로로서 최적운항일정계획들을 발견해낸다.

$$P_N = M_N - c_0 t \quad (2.2)$$

위의 계산 단계는 매 시점마다 동일한 계산과정을 반복하게 되므로 시점-1 수인  $N$ 번 반복 단계를 수행함으로써 종료된다. 또한 이는 PERT네트워크와 같이 시작 시점에서 마지막 종료 시점까지의 주 경로를 계산하는 방법과 동일하다. 다만 우리의 해법의 경우 후진계산단계가 불필요하므로 보다 간단하다고 할 수 있다. 또한 PERT네트워크에서는 각 활동들의 수행시간인  $t_{ij}$ 를 계수로 사용하지만, 운항일정계획 네트워크에서는 각 후보 운항일정계획의 이익을 수정한 계수  $\bar{c}_{ij}$ 를 계수로 활용한다.

## 2.6 발견된 네트워크 해의 해석

전 절의 해법에 의해 운항일정계획 네트워크 상에서 항상 최적운항일정계획과 최적 운항이익을  $N$ 번의 반복 단계 만에 항상 구할 수가 있다. 발견된 최적해가 크루즈 선박의 운영상에 시사하는 점들을 다음과 같이 요약할 수 있다.

(1) 크루즈 선사는 해당 크루즈 선박의 운항을 통해 최대  $P_N$ 의 운항이익을 해당 계획 기간 동안 달성할 수 있다.

(2) 최대 이익을 달성하기 위해서는 단계 3에서 발견된 최적운항일정계획 상의 후보 운항일정계획대로 크루즈 선박을 운항하여야 한다. 즉, 크루즈선사는 최적으로 도출된 후보운항일정계획대로 고객에게 공개하고 예약을 받아야 한다.

(3)  $S$ 가 최적운항일정계획에 포함된 모든 후보 운항일정계획들의 집합이라고 할 때,  $t - \sum_{(i,j) \in S} t_{ij}$ 는 계획기간 동안 불가피한 계선기간을 계산해준다. 대체로 짧은 기간으로 예상되는 이 기간은 선상 종업원들의 휴가의 결정이나, 예기치 않은 상황으로 필요해질 수 있는 선박의 유지보수 기간에 참고 자료가 될 것이다.

실제 대형 크루즈 선사를 대상으로 이 네트워크

를 작성할 경우 매우 복잡한 것으로 예상되기 때문에, 네트워크 표현 및 계산을 위해 PERT 네트워크 관련 소프트웨어의 도움이 필수적일 것이다. 한편 이렇게 표현된 운항일정계획 네트워크는 PERT 네트워크 해법의 전방2.5절에 소개한 네트워크 해법을 활용하거나, 이를 다음 제 3장에 소개하는 대로 선형계획모형으로 전환하여 잘 알려져 있는 선형 계획모형의 소프트웨어를 사용하여 최적운항일정 계획을 얻을 수 있다. 이러한 점에서 소개된 모형은 현실을 표현할 수 있는 일반성과 항상 해를 쉽게 구할 수 있는 유용성을 갖고 있다고 할 수 있다.

### 3. 크루즈 선박 경로선택을 위한 선형계획모형

지금까지 논의한 네트워크를 토대로 한 크루즈 선박의 최적운항일정계획은 쉽게 선형계획모형으로 전환할 수 있다. 이러한 모형전환의 이점은 오늘날 상용화되어 있는 선형계획모형의 소프트웨어를 쉽게 이용할 수도 있다는 점과, 각 후보운항일정계획에 대한 민감도분석을 쉽게 할 수 있다는 점이다.

#### 3.1 선형계획모형의 목적함수

후보운항일정계획  $(i, j)$ 을 택하는 여부를 이진변수  $x_{ij}$ 를 통해 나타내고, 이 후보운항일정계획  $(i, j)$ 을 실제로 운항을 할 경우 얻어지는 이익을  $c_{ij}$ 라 하자. 따라서 계선비용을 제외한 모든 운항에서 얻어지는 총 운항이익은 다음과 같다.

$$\sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij}$$

그리고 선박이 운항하지 않고 정박함으로서 발생하는 비용은 계선비용이라 하고, 선박의 단위시간당 계선비용을  $c_0$ 라고 할 때 총 계선비용은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$c_0(t - \sum_i \sum_j t_{ij} x_{ij})$$

따라서 크루즈 선박 운항을 통한 총이익을 최대

로 하는 목적함수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \max & \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} - c_0(t - \sum_i \sum_j t_{ij} x_{ij}) \\ & = -c_0 t + \max \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} \end{aligned} \quad \dots\dots (3.1)$$

#### 3.2 선형계획모형의 제약식

네트워크를 선형계획모형으로 나타내기 위해 필요한 제약식은 세 부분으로 나누어진다. 즉, 시작시점과 중간시점, 종료시점에 해당하는 제약식들로 구성된다.

시작시점 선택할 수 있는 운항일정계획의 수는 한 개이다. 그러므로 첫 번째 제약식은 다음과 같다.

$$\sum_j x_{1j} = 1 \quad \dots\dots (3.2)$$

중간시점에서는 다음과 같은 균형방정식을 통해 운항일정계획들을 모순 없이 연계된다.

$$\sum_j x_{ij} - \sum_k x_{kj} = 0 \quad i=2, \dots, N-1 \quad \dots\dots (3.3)$$

종료시점으로 들어가는 후보운항일정계획의 수는 한 개이다. 그러므로 세 번째 제약식은 다음과 같다.

$$\sum_i x_{iN} = 1 \quad \dots\dots (3.4)$$

이 모형에 사용되는 목적함수와 모든 의사 결정 변수는 이진수이며, 이것을 표현하면 다음과 같다.

$$\text{모든 } x_{ij} \text{ 는 } 0 \text{ 또는 } 1 \quad \dots\dots (3.5)$$

#### 3.3 완성된 선형계획모형

(3.1)~(3.5)식을 통하여 다음과 같은 이익을 최대화하는 선형계획모형을 제시할 수 있다. 원래는  $x_{ij}$ 가 이진변수이므로 정수 계획모형이지만 네트워크 형태의 구조화된 제약식으로 인해 [4, p.357] 정수 제약 없이도 항상 정수해를 갖게 된다. 따라서 최종적으로 다음과 같은 선형계획모형이 도출된다.

$$-c_o t + \max \sum_i \sum_j \overline{c_{ij}} x_{ij} \quad \dots \dots \dots \quad (3.1)$$

$$\sum_j x_{ij} - \sum_k x_{ki} = 0 \quad i = 2, \dots, N-1 \quad \dots \dots \dots \quad (3.3)$$

#### 4. 가상 사례연구

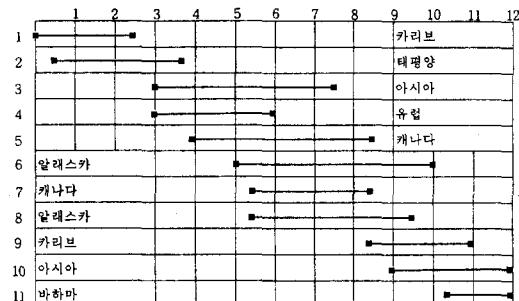
## 4.1 가상 사례

이 장에서는 가상 크루즈 선박사인 한바다 선사의 운항일정계획 네트워크를 표현하여 최적운항일정계획을 도출하는 사례를 보이고자 한다. 한바다 선사의 이미 개척한 기존항로 및 내년도에 추가하여 운항을 고려 중인 항로와 기항지에 관한 정보는 <표 2>와 같다.

<표 2>를 기초로 하여 한바다 크루즈 선사의 선박운항계획자는 향후 1년간 새로운 크루즈 선박을 위한 크루즈항으로 카리브, 태평양, 아시아, 유럽, 캐나다, 알래스카, 바하마 항로 등을 적절한 기항지와 함께 선택하였으며, 이들을 바탕으로 그림 2와 같은 후보운항일정계획이 선택되었다. 크루즈 선박이 한 후보운항일정계획에서 다른 계획으로 이동시 다음과 같은 제약을 의사결정에 반영하고

〈표 2〉 후보운항일정계획에 사용할 수 있는 항로와 기항지

이미 개척한 기항지 와 항로	북미 동부지역	항로	캐나다항로, 유럽항로, 파나마항로 등
		기항지	Miami, Nassau, Key West, San Juan, ST. Thomas, Freeport, Galveston, Cozumel/Playa Del Carmen, Grand Cayman, Ocho Rios, Tampa, New Orleans, Aruba, Curacao, Port Canaveral, New York, Halifax, ST. John, NB, Boston, San diego, Acapulco 등
	북미 서부지역	항로	태평양항로, 알래스카항로, 멕시코항로 등
		기항지	LA, Catalina, Ensenada, San Francisco, Victoria, Vancouver, Columbia, Seward, Valdez, Juneau, Ketchikan, College Fjord, Hubbard Glacier, Skagway, Honolulu, Hilo, Maui, Kauai, Sitka, Mazatlan 등
새롭게 추가할 항로와 기항지	아시아 지역	항로	극동아시아항로
		기항지	부산, 제주, Fukuoka, Tokyo, Yokohama, Shaghai, Taipei 등
북미 동부지역	항로	바하마항로	
	기항지	Newport News, Freeport, Nassau 등	



### 그림 2. 한바다 선사의 후보 윤항일 정

자하고 있다.

## 후보운항일정계획 간의 이동 제약

- 1) 북미 서부지역내의 스케줄 변경 시 공선은 존재하지 않는다.
  - 2) 북미 동부지역내의 스케줄 변경 시 공선은 존재하지 않는다.
  - 3) 북미서부지역과 새롭게 개척된 바하마항로간의 스케줄 변경 시 공선은 존재하지 않는다.
  - 4) 북미 서부지역에서 북미동부지역으로, 또는 북미 동부지역에서 북미 서부지역지역으로 크루즈 지역 변경시 일주일간의 공선운항이 존재하며, 아시아지역은 북미서부 지역으로

또는 북미동부지역에서 이동시 각각 10일과 2주일의 공선기간이 요구된다.

이러한 점들을 반영하여 표현된 한바다 선사의 크루즈 선박에 대한 계획 기간 1년간의 운항일정계획 네트워크는 그림 3과 같이 표현된다. 네트워크의 각 가지 위의 수는 편의상 각 후보운항일정계획에 부여된 번호라고 가정하자.

<표 3>은 고려 중인 각 후보운항일정계획의 이익 및 기간을 정리한 자료이다.

#### 4.2 최적운항일정계획의 도출 및 해석

총 계획기간은 12(개월)이며  $c_{ij}$ 는 (정박 단위당

<표 3> 한바다 선사의 후보운항일정계획 기초 자료

후보운항일정계획	(1,2)	(1,3)	(2,4)	(3,5)	(3,11)	(3,6)	(3,7)	(3,8)	(3,9)	(4,6)
운항기간	0.4	2.5	3.2	0.5	3	0	2.5	0	3	0.4
운항종류	공선	1	2	공선	4	더미	공선	더미	공선	공선
이익,비용	-3.5	17	20	-7.2	23		-6.2		-9.1	-3.7

후보운항일정계획	(4,7)	(4,8)	(4,9)	(5,10)	(6,12)	(7,13)	(8,14)	(9,15)	(10,16)	(10,17)
운항기간	0	1.9	0	4.5	4	5	3	4	1	0
운항종류	더미	공선	더미	3	5	6	7	8	공선	더미
이익,비용		-5.3		36	30	39	29	35	-7.9	

후보운항일정계획	(10,18)	(11,16)	(11,17)	(11,18)	(12,16)	(12,17)	(12,18)	(13,18)	(14,16)	(14,17)
운항기간	2.8	0	2.5	0	0	1	0	0.3	0	0.5
운항종류	공선	더미	공선	더미	더미	공선	더미	공선	더미	공선
이익,비용	-11.2		-8.6			-7.9		-3.3		-7.5

후보운항일정계획	(14,18)	(15,18)	(16,19)	(17,19)	(18,19)
운항기간	0	1	2.5	3	1.7
운항종류	더미	공선	9	10	11
이익,비용		-5.3	23	29	20

<표 4> 각 후보운항일정계획의 수정이익( $\bar{c}_{ij}$ )(단위 : 백만 US\$)

후보운항일정	(1,2)	(1,3)	(2,4)	(3,6)	(3,11)	(3,7)	(3,9)	(4,6)
이익	-3.5	19.5	23.2	-7.2	26	-6.2	-9.1	-3.7
후보운항일정	(4,6)	(5,10)	(6,12)	(7,13)	(8,14)	(9,15)	(10,16)	(10,18)
이익	-5.3	40.5	34	44	32	39	-7.9	-11.2
후보운항일정	(11,17)	(12,17)	(13,18)	(14,17)	(15,18)	(16,19)	(17,19)	(18,19)
이익	-8.6	-7.9	-3.3	-7.5	-5.3	25.5	32	21.7

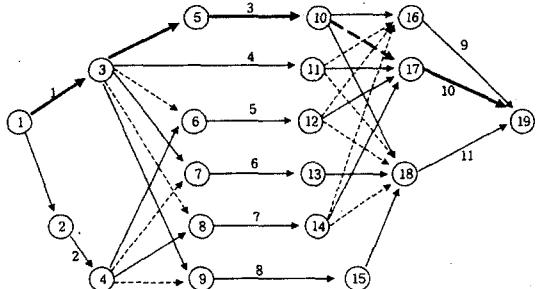


그림 3. 한바다선사의 운항일정계획 네트워크

제선비용) 개월 당 1백만\$라고 한다. 이를 감안하여 <표 3>의 정보로부터 최적해 발견을 위한 수정

단위: 기간 (월), 이익 (백만US\$)

시점	1	2	3	4	5
$L_j$	[0, Ø]	[-3.5, 1]	[19.5, 1]	[19.7, 2]	[12.3, 3]
시점	11	12	13	14	15
$L_j$	[45.5, 3]	[53.5, 6]	[63.7, 7]	[51.5, 8]	[58.7, 9]
시점	6	7	8	9	10
$L_j$	[19.5, 3]	[19.7, 4]	[19.5, 3]	[19.7, 4]	[52.8, 5]
시점	16	17	18	19	
$L_j$	[53.5, 12]	[52.8, 10]	[60.4, 15]	[84.8, 17]	

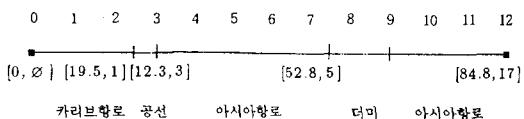
이익 계수  $\bar{c}_{ij}$ 를 구하면 <표 4>와 같이 계산된다. 이를 자료로 활용하여 2.5절의 최적 운항일정계획 해법을 수행하면 순차적으로 매 시점  $j$ 마다  $L_j = [M_j, i^0]$ 를 구하면 아래와 같은 계산 결과를 얻게 된다.

이 경우 실제 예상되는 최적운항이익은 (2.2)에 의해  $84.8 - 12 = 72.8$ 이 도출되며, 최적으로 선택된 후보운항일정계획은 운항 또는 공선활동 4개와 더미활동 1개를 선택하였고 그 활동은 다음과 같이 발견된다.

#### 최적선박배치 의사결정 :

(1,3), (3,5), (5,10), (10,17), (17,19)

이 중 (3,5)는 불가피한 공선항해이며 (10,17)은 실제 운항이 아닌 가상운항이다. 이를 시간에 따라 보다 구체적으로 표현하면 아래와 같다. ([ ]안의 숫자는 레이블  $L_j$ 로 계산된 각 시점에 대한 정보이다.)



한바다 선사의 최적 크루즈선 운항일정계획은 카리브항로에서 2.5개월 운항 후 아시아 항로로 옮겨서 나머지를 운항하는 것이라고 해석된다. 3월에 있는 공선 항해는 카리브 항로에서 아시아 항로로 이동하기 위한 불가피한 조치로 해석할 수 있다. 또한 8월 중순부터 9월 말까지는 특별히 할당된 항

로가 없어서 선박을 계선시킨다는 결과가 나왔는데, 이는 사례에서 사용된 운항일정계획 네트워크가 가상 크루즈 경영자가 현재 고안하고 있는 후보운항일정계획만을 반영하여 만들어졌기 때문이다. 만일 크루즈선사 입장에서 이러한 해를 얻은 후 이 기간 동안 새로운 후보운항일정계획을 고안할 수 있다면 이를 포함하여 이미 계산된 \$72.8백만 이상의 추가적 운항이익을 기대해 볼 수도 있을 것이다.

3장에서 설명한 것처럼 ((3.1)-(3.4)) 이 사례는 선형계획모형으로 전환할 수 있다. 그림 3의 네트워크를 토대로 이 선형계획모형은 각 가지를 한 개의 변수로 하여 24개의 변수와, 19개의 네트워크 관련 제약식으로 만들어 진다. 시점  $i$ 에서 시점  $j$ 로의 후보운항일정계획을 변수  $x_{ij}$ 로 나타낼 경우 이 모형을 상용화된 선형계획모형 패키지로 풀 경우 다음과 같은 최적해와  $(x^*)$  최적운항이익을  $(z^*)$  도출해 낸다.

$$z^* = 72.8, \quad x_{13}^* = x_{35}^* = x_{510}^* = x_{1017}^* = x_{1719}^* = 1, \\ \text{나머지 } x_{ij}^* = 0$$

## 5. 결 론

세계에서 가장 빨리 성장하고 있는 관광산업인 크루즈 산업의 경우 아직 크루즈 선박 운항에 관한 분석적 의사결정모형 개발이 거의 없는 실정이다. 정기선과 부정기선의 특징을 복합적으로 지니고 있는 크루즈선의 운항계획은 분석적 모형의 도움 없이 매우 복잡해질 수 있으며, 최근 크루즈선박의 대형화 및 높은 운항비용을 고려할 때 잘못된 의사 결정으로 인한 손실은 막대할 수도 있다.

이러한 상황을 고려하여 이 논문에서는 저자들이 알고 있는 한 크루즈 선박 운항일정계획을 위한 최초의 최적화 기반 의사결정모형을 제시하였다. 실제 이러한 모형이 지속적으로 현실에서 사용되기 위해서는 크루즈 선사의 크루즈 선박 및 크루즈 수요 관련 데이터베이스와 연계하여 최적화 모형을 기반으로 하는 통합된 의사결정지원시스템(Decision Support System)을 개발하는 것이 유용할 것이며 중요한 향후 연구 과제라고 할 수 있을 것이다.

이 모형을 개발하는 과정에서, 기존의 PERT 네트워크와 유사한, 크루즈 선사의 모든 운항일정 가능성을 체계적으로 표현 분석할 수 있는 운항일정 계획 네트워크를 개발하여 소개하였다. 개발된 운항일정계획 네트워크에서 유한 반복단계 이내에 항상 최적운항일정계획을 도출하는 해법을 제시하였으며, 또한 개발된 모형이 선형계획모형으로 쉽게 표현될 수 있음을 설명하였다. 크루즈 선박사의 실제 자료의 획득에 대한 현실적인 어려움으로 가상자료를 토대로 사례연구를 수행하였다.

기본적으로 개발된 모형은 한척의 선박을 대상으로 한다. 따라서 여러 척의 선박을 동시에 고려하는 보다 복합적인 모형을 개발하는 것이 시도할 수 있는 향후 연구과제 중 하나가 될 것이다. 그러나 이 모형은 현재 대형 크루즈선사들이 막대한 크루즈투자를 경쟁적으로 하고 있는 것을 감안할 때, 우선적으로 도입을 고려하고 있는 크루즈선박의 경제성 분석을 시스템적 시야로 시도할 수 있는 도구로 사용될 수 있다. 동시에 기존의 여러 선박 중 선사에서 가장 중요하게 생각하고 있는 선박 한척을 대상으로 우선적인 운항일정계획을 위해 활용할 수 있다.

### 참 고 문 헌

- 1) 김세현, "현대경영과학", 무역경영사 (1999)
- 2) 김천중, "크루즈사업론", 학문사 (1999)
- 3) 조성철, 장기창, "여객선대 배치 및 경로 선택 문제를 위한 최적화 모형 개발에 관한 연구", 한국 항해학회지, 제 24권 5호, pp. 385-395, 2000
- 4) Bazaraa, M.S. and Jarvis, J.J., "Linear Programming and Network Flows" JOHN WILEY & SONS (1977)
- 5) Benders, J.F., "Partitioning for Solving Mixed Variables Programming Problems", Numerische Mathematik, Vol. 4, pp. 238-252, 1962
- 6) Fisher, M.L., "The Lagrangean Relaxation Method for Solving Integer Programming Problems", Management Science, Vol. 27, pp. 1-18, 1981
- 7) Perakis, A.N. and Jaramillo, D.I., "Fleet deployment optimization for liner shipping, Part 1, Background, problem formulation and solution approaches", Maritime Policy Management, Vol. 18, pp.183-200, 1991
- 8) Rana, K. and Vickson, R.G., "A Model and Solution Algorithm for Optimal Routing of a Time-Chartered Containership", Transportation Science, Vol. 22, pp.201-214, 1988
- 9) Rana, K., and Vickson, R.G., "Routing containerships using Lagrangean relaxation and decomposition", Transportation Science, Vol. 25, pp.201-214, 1991
- 10) Ronen, D., "Cargo ships routing and scheduling: Survey of models and problems", European Journal of Operational Research, Vol. 12, pp. 119-126, 1983
- 11) Ronen, D., "Ships scheduling: The last decade", European Journal of Operational Research, Vol. 71, pp.325-333, 1993
- 12) Cho, S.-C. and Perakis, A.N., "Optimal liner fleet routing strategies", Maritime Policy Management, Vol. 23, No. 3, pp.249-259, 1996
- 13) Wood, R. E., "Caribbean Cruise Tourism: Globalization at Sea", Annals of Tourism Research, Vol. 27, pp.345-370, 2000