

# 크루즈 선대의 운항일정계획을 위한 네트워크 최적화 모형

† 조성철 · 원유경\* · 김정현\*\*

† 한국해양대학교 해운경영학부 교수, \*군산대학교 경영회계학부 교수, \*\*한국해양대학교 대학원

## A Network Optimization Model for Strategic Itinerary Planning of Cruise Fleet

† Seong-Cheol Cho·Youkyung Won\*·Jung Hyeon Kim\*\*

† Division of Shipping Management, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

\*School of Business Administration and Accounting, Kunsan National University, Gunsan 573-701, Korea

\*\*Graduate School of Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

**요 약 :** 크루즈 관광 산업은 모든 관광 산업 중 세계적으로 가장 빠르게 성장하고 있는 관광산업임에도 불구하고, 지금까지 합리적 크루즈 경영의사결정에 관한 학술적 연구가 매우 미진한 상황이다. 이 논문은 크루즈 경영에 관한 기초적인 전략적 의사결정이라고 할 수 있는 크루즈 운항일정계획을 다루고 있다. 이전에 개발된 한척의 크루즈선박에 관한 모형의 제한점을 극복하여, 여러 척의 크루즈선박으로 구성된 크루즈 선대를 일반적으로 다룰 수 있는 최적화 의사결정계획 모형을 개발하였다. 후보운항일정계획들 간의 복잡성을 체계화하기 위해 선박별 후보운항일정계획 네트워크를 제안하였으며, 후보운항일정계획 네트워크 전체를 통합하는 정수계획모형을 개발하였다. 공개된 크루즈 운항일정자료들에 바탕을 둔 가상 사례를 활용하여 개발된 모형을 실험하였다.

**핵심용어 :** 크루즈, 운항일정계획, 네트워크, 최적화, 정수계획모형

**Abstract :** In spite of today's rapid growth of world cruise industry, little academic attention has yet been given to the decision making problems for cruise operations. This research deals with strategic cruise itinerary planning that any cruise company should face. Increasing demands for international itineraries and redeployments of cruise ships are adding complexity to the itinerary planning. A slight modification of the conventional PERT/CPM network is adopted, to cope with this complexity systematically. By this, the concept of candidate itinerary network is suggested for each cruise ship. To integrate these candidate itinerary networks for each ship in a single framework, an integer programming model has been developed to find the optimal itinerary planning for any fleet of cruise ships. A numerical example, based on real cruise itinerary practices, is tested to validate and interpret the model.

**Key words :** cruise, itinerary planning, network, optimization, integer programming model

### 1. 서 론

최근 주요 크루즈 선사들이 새로운 기항지의 다변화를 모색하고 있는 움직임이 뚜렷하다. 이는 크루즈의 연령층이 젊어지면서 새로운 경험, 새로운 방문지에 대한 크루즈 고객의 욕구가 다양하게 변화하는 것을 반영하는 현상이다. 특히 이러한 경향은 크루즈 선사들의 운항일정계획(itinerary planning) 문제의 복잡성을 증가시키고, 국제적인 선대 재배치 전략의 중요성을 부각시키고 있다(Véronneau and Roy, 2009). 아시아 지역으로의 크루즈 선박 방문 횟수가 2010년도의 경우 전해에 비해 40%정도 증가한 것도 이러한 변화추이를 반영한 것이라고 할 수 있다.

이 논문은 크루즈 운항일정계획(itinerary planning)의 국제성, 복잡성 증가를 배경으로 체계적인 운항일정계획을 위한 의사결정모형을 제안한 논문이다.

크루즈 산업이 세계적으로 가장 빠르게 성장하는 관광 산업임에도 불구하고 아직 크루즈 경영의 의사결정을 위한 학술적 연구가 매우 부족한 실정이다(Sun et al., 2011). 크루즈 선박의 최적 운항일정계획을 위한 최초의 연구로 동적계획법(dynamic programming)을 활용하여 한 개의 최적항로 개발을 시도한 사례를 들 수 있다(Hersh and Ladany, 1989). 이 연구는 한 기항지에 오래 머물수록 더 매력적 기항지가 된다는 비교적 단순한 가정에 바탕을 두고 있다. 사전적으로 회귀분석(regression analysis)을 활용하여 여러 후보 기항지의 연결로 구성된 잠재적 운항일정계획에 대한 수요를 예측하고, 이를 토대로 최대 이익을 위한 동적계획모형을 제안한 연구이다. 주로 카리브해 크루즈(Caribbean cruise)를 대상으로 한 이 연구는 대체로 단기적인 한 계절 동안 운항할 주요 크루즈 항로 하나를 계획하는 것을 주 내용으로 하고 있다. 이와 달리 이 논문은 여러 크루즈 항로의 순차적 연계 및 선대의 국제적 재배치를 포함하는 보다

† 중신회원, cho@hhu.ac.kr 010) 5001-2799  
\* 연회원, ykwon@kunsan.ac.kr 063) 469-4832  
\*\* 연회원, kjh6567@naver.com 010) 2989-6566

중장기적이며 전략적인 계획을 다룬다.

대체로 크루즈 선사는 실제 크루즈가 수행되기 1-2년 전에 승객들의 예약을 위해 운항일정계획을 공개하고 있다. 이런 점에서 전략적 운항일정계획이란 기본적으로 1-2년 정도를 계획기간으로 하여 도출할 수 있을 것이다. 이러한 계획 기간을 대상으로 한척의 크루즈 선박에 관한 최적운항일정계획 모형이 개발된 바 있다(조·권, 2001). 이 연구는 선형계획모형으로 완전히 전환 가능한 네트워크 분석에 바탕을 두고 있으며, 한 척의 크루즈 선박에 대해서는 최적운항일정계획을 항상 도출할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 여러 척의 선박으로 구성된 크루즈 선대를 다루는 모형이 더욱 현실에 부합할 것이다. 이런 동기에서 이 논문에서는 복수의 선박으로 구성된 일반적인 크루즈 선대를 대상으로 의사결정모형 개발을 시도하였다. 개발된 모형을 통해 복수의 선박으로 구성된 크루즈 선대의 경우 선박의 척수나 종류, 규모와 관련 없이 일반적으로 최적운항일정계획을 도출할 수 있음을 설명하였다. 모형의 계산실험을 위해 실제 크루즈 운항의 현실에 바탕을 둔 가상 사례를 사용하였다.

## 2. 세계 크루즈 시장 동향

서비스로서 크루즈의 목적은 고객의 수송을 목적으로 하는 여객선과 달리, 선박에서 휴가를 즐기는 것을 주목적으로 한다. 이러한 개념은 1986년 Windstar 선사의 이름을 그대로 사용하여 소개한 Windstar의 (Windstar Cruises, 2003) 도입을 통해 수준 높은 휴가와 자동화 항해가 결합됨으로써 본격적으로 정착되었다고 할 수 있다.

크루즈 선박 자체가 유일한 종착지라고 할 수 있기에 크루즈 선박은 “집을 떠난 집(home away from home)”, “떠다니는 휴양지(floating resort)”, “떠다니는 호텔(floating hotel)” 등의 다양한 별명을 가지고 있다(Gibson, 2006). 주로 세계일주 크루즈를 하는 크루즈 선박인 ResidenSea 선사의 *The World*는 (ResidenSea, 2003) 전형적인 주거 개념의 크루즈 선박으로 110개의 아파트를 자체적으로 가지고 있고 이들을 실제로 분양하거나 임대한다.

오늘날 크루즈 산업은 모든 관광 산업 중 가장 빠른 성장을 보이는 산업이다. 1980년대 이래 크루즈 승객수와 총수익에 있어서 연평균 7-8%의 고도성장을 보여주고 있고, 이러한 성장은 당분간 지속될 것으로 보인다. Fig. 1 (G.P. Wild, 2010)은 이러한 크루즈 승객 수의 지속적 성장과 예측을 동시에 보여 주고 있다.

이렇게 빠른 성장에도 불구하고 크루즈 경영에 관한 의사결정 문제는 상선의 경영과는 대조적으로 아직 학술적인 관심을 많이 받지 못했다. 부분적으로 이러한 학술적 관심의 부족은 현재 크루즈 시장의 지배구조에 기인하는 것으로 보인다. 현재 세계 크루즈 시장은 서비스 공급 측면에서 지배적인 두 개의 선사인 Carnival과 Royal Caribbean에 의해 약 80%가 점유되어 있다. 수요 측면에서도 북미 시장이 전 세계의 약

2/3에 해당하는 시장이다. 약 1/3에 해당하는 나머지 시장의 2/3정도는 유럽 크루즈 시장이라고 할 수 있다.

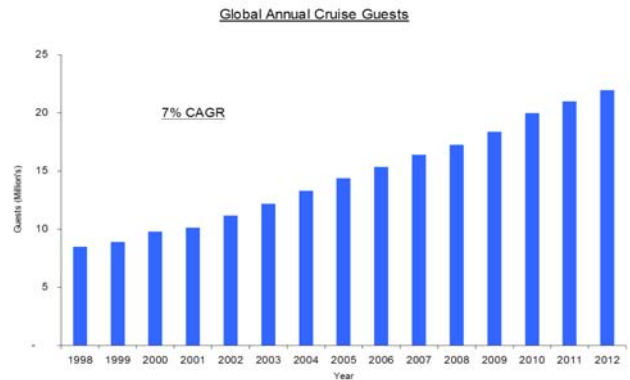


Fig. 1 Global industry growth of cruise industry

Fig. 2-3(Cruise Market Watch, 2010)은 이러한 크루즈 시장의 독과점적 지배 구조를 간략히 보여주고 있다.

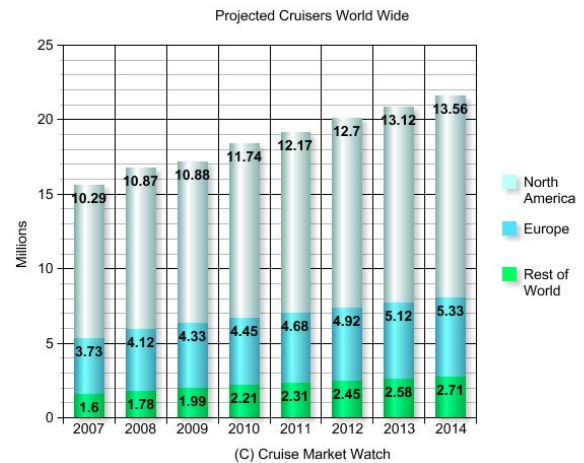


Fig. 2 Projected world cruisers

이러한 시장의 지배 구조로 인해 경쟁이 제한되고 합리적인 경영을 위한 체계적 기술에 대한 연구의 동기부여도 상대적으로 제한되는 것으로 보인다.

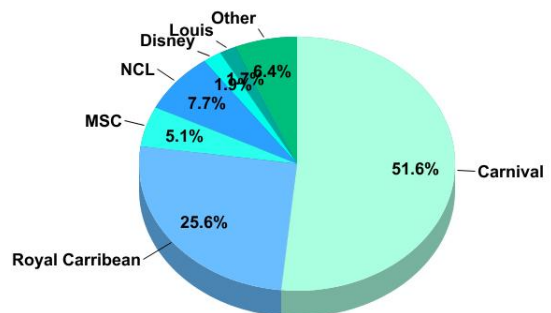


Fig. 3 World cruise market share

한편 우리나라가 속한 아시아 크루즈 시장은 현재 세계 크루즈 시장의 약 9-10% 정도에 불과한 상대적으로 작은 규모의 시장이지만, 매우 빠른 성장 속도를 보이고 있다. 실제로 지난 10년 간 아시아 크루즈 시장의 점유율은 거의 3배 정도로 증가하였다. 특히 동남아시아의 많은 아름다운 관광지들은 대체로 적도 무풍지대를 중심으로 형성되어 있어서 연중 크루즈 항해가 가능하다. 이는 현재 가장 큰 크루즈 시장인 카리브해 지역보다도 유리한 자연적 조건이라고 할 수 있다. 또한 중국을 중심으로 하는 아시아 지역의 빠른 경제 성장은 아시아 크루즈 시장의 성장 잠재력을 더욱 낙관하게 한다.

### 3. 후보운항일정계획 네트워크

일반적으로 크루즈 선사에서 승객들의 예약을 위해 운항 일정계획을 공개할 때는 방문할 기항지와 일정이 기본적으로 소개된다. 이와 함께 각 기항지에서의 선택적 관광, 선내에서의 각종 활동, 객실 선택에 따라 차등된 요금 등이 소개된다. 이 연구는 보다 단기적인 크루즈 운영의 틀을 제공하는 운항 일정의 중장기적 골격을 결정하는 문제를 다룬다. 따라서 계획 수준에서 제안된 기항지들로 구성된 항로, 항로에 따라 수행되는 크루즈 항차 수, 계획된 크루즈 일정 등 기본적인 사항들만을 **후보운항일정계획(candidate itinerary)**에 포함시킨다.

이러한 후보운항일정계획은 크루즈 선사가 제공하는 것을 모형에 활용하는 것으로 가정하였다. 크루즈 선사는 축적된 경험으로부터 단순한 과거의 반복이나 이를 일부 수정한 것, 혹은 전혀 새로운 항로를 포함하는 것을 제안할 수 있을 것이다. 제안된 다수의 후보운항일정계획은 계획된 일정상 선후 관계도 있고, 서로 계획된 운항 기간이 중복될 수도 있는데 이는 운항일정계획 문제를 복잡하게 하는 요인이 된다. 더구나 최근 국제적인 선대의 재배치와 국제적 모항(home port) 선택의 다양한 가능성은 후보운항일정계획들 간의 관계를 더욱 복잡하게 만든다.

이 논문에서는 이러한 후보운항일정계획들 간의 복잡한 관계를 체계적으로 다루기 위해 PERT/CPM 네트워크의 구조를 활용하였고 이를 **후보운항일정계획 네트워크(candidate itineraries network)**라고 정의하였다. 원래 PERT/CPM 네트워크는 대형 프로젝트를 관리하기 위해 개발된 기법이다(김, 2008). Fig. 4는 후보운항일정계획 네트워크의 간단한 한 예를 보여주고 있다. 이 네트워크에서 한 개의 후보운항일정계획은 네트워크의 한 가지(branch)로 표현된다. 각 가지위에 있는 수는 최적화 모형의 계수로 활용되는데 해당 후보운항일정계획의 순이익을 바탕으로 도출된 계수이다. 마디(node) 3에서 4사이의 점선으로 표현된 가상 가지(dummy branch)는 실제 운항이 아닌 논리상의 가상 운항을 나타낸다. 이러한 가상 가지는 실제 후보운항일정계획들 간의 시간적 선후 관계를 표현하기 위해 필요할 경우 사용한다.

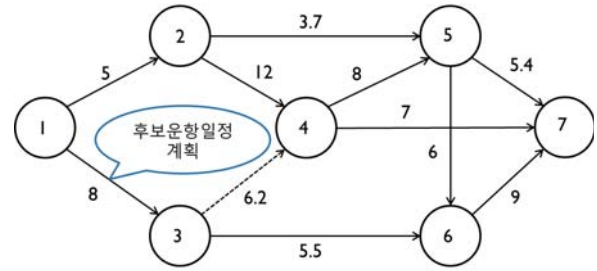


Fig. 4 Candidate itinerary network

이 논문의 연구에서 이러한 후보운항일정계획 네트워크는 선택 한 척 당 한 개가 작성되는데, 첫 번째 마디(Fig. 4의 경우 마디 1)로부터 마지막 마디(Fig. 4의 경우 마디 7)까지의 한 경로(path)는 계획 기간 동안 수행할 수 있는 해당 크루즈 선박 운항의 한 가능성을 나타낸다. 따라서 선박별로 작성되는 후보운항일정계획 네트워크에서 선대 전체의 운항이익이 최대가 되도록 한 개씩 경로를 택하는 것이, 크루즈 선대 전체를 위한 최적운항일정계획을 발견하는 일이 된다.

기존의 연구(조·권 2001)에서처럼 크루즈 선대가 한척의 선박으로 구성되어 있다면, 작성된 한 개의 후보운항일정계획 네트워크에서 최적 경로를 한 개 발견하면 충분하다. 그런데 선대가 여러 척의 선박으로 구성되어 있을 경우는 개별 선박별로 최적 경로를 택하는 것이 전체적인 최적 운항을 보장하지 않는다는 점이 문제가 된다. 이렇게 할 경우 동일한 후보운항일정계획을 두 척 이상의 선박이 운항하도록 경로가 선택될 수도 있는데 이는 현실적으로 불가능한 계획이기 때문이다. 한 개의 후보운항일정계획은 오직 한 척의 크루즈 선에 의해 운항되는 것이 현실과 부합한다. 따라서 선박 척수만큼 작성되는 후보운항일정계획 네트워크 전체를 시스템적으로 종합하여 전체적으로 최적화하는 방법이 필요하다.

이 논문에서는 이러한 시스템적 종합을 위해 0-1 정수변수를 도입하여 선대 전체의 최적운항일정계획을 위한 정수계획 모형(integer programming model)을 개발하였다. Fig. 5는 가상적으로 4개의 후보운항일정계획이 제안된 상황에서 크루즈 선박 두 척(선박 1, 2)에 대한 후보운항일정계획 네트워크의 예를(편의상 후보운항일정계획을 괄호 안의 번호로 표시) 보여주고 있다. 두 선박 모두 처음에는 후보운항일정계획 1, 2중 하나를 운항할 수 있고, 이후에는 선박 1은 후보운항일정계획 3, 선박 2는 후보운항일정계획 4를 운항할 수 있음을 나타낸다. 마디 1에서 마디 4까지의 임의의 한 경로가 각 선박의 한 운항계획을 나타내고 있다.

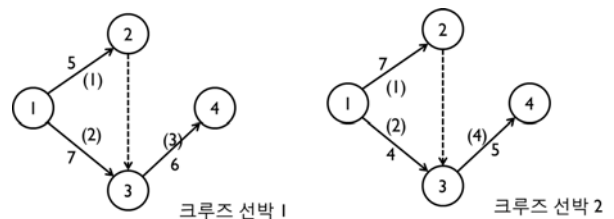


Fig. 5 Candidate itinerary networks for two cruise ships

#### 4. 최적운항일정계획 모형

각 선박별로 작성될 수 있는 다수의 후보운항일정계획 네트워크를 토대로 크루즈 선대 전체의 최적운항일정계획 도출을 위해 아래와 같이 최적화 모형 개발을 시도하였다.

##### 4.1 모형의 부호

모형을 위해 아래와 같은 부호를 정의하여 활용하였다.

- 1)  $I = \{1, \dots, n\}$ : 후보운항일정계획의 집합, 전체적으로  $n$  개의 후보운항일정계획이 제안된 경우이다.
- 2)  $K = \{1, \dots, m\}$ : 크루즈 선박의 집합, 모두  $m$ 척의 크루즈 선박으로 구성된 선대를 의미한다.
- 3)  $I_k$ : 전체 후보운항일정계획 중 크루즈 선박  $k$ 가( $k \in K$ ) 운항할 수 있는 후보운항일정계획의 집합을 의미한다. 기술적인 이유, 기항지의 법적 제한 등으로 특정 선박의 후보운항일정계획의 선택이 제한될 수 있다.
- 4)  $K_j$ : 후보운항일정계획  $j$ 를 ( $j \in I$ ) 수행할 수 있는 크루즈 선박들의 집합을 의미한다.
- 5)  $t_j$ : 후보운항일정계획  $j$ 의 계획된 운항기간, 즉 해당 항로를 사용하는 첫 크루즈의 첫 시점부터 마지막 크루즈의 종결 시점까지의 기간이다. 기간의 측정단위는 현실적으로 일(day)을 사용한다.
- 6)  $e_{kj}$ : 크루즈 선박  $k$ 가 후보운항일정계획  $j$ 를 수행할 경우 기대되는 운항이익을 나타낸다. 후보운항일정계획  $j$ 의 ( $j \in I_k$ ) 예상 판매수익과 총 운항비용의 차이를 의미한다.
- 7)  $a_k$ : 크루즈 선박  $k$ 의 단위 시간(일) 당 계산비용(layup cost)을 나타낸다.
- 8)  $c_{kj}$ : 각 후보운항일정계획의 수정이익, 즉,

$$c_{kj} = e_{kj} + a_k t_j$$

이다. 다음 절(3.2절)에서 전체 운항이익을 최대화하기 위한 최적화 모형에서는 목적함수의 계수로  $e_{kj}$  대신 수정이익  $c_{kj}$ 를 사용하는 것이 타당함을 설명한다.

- 9)  $\tilde{I}$ : 두 척 이상의 크루즈 선박이 선택 가능한 후보운항일정계획들의 집합, 즉,  $\tilde{I} = \bigcup_{k \in K} \left\{ \bigcup_{p \in K, p \neq k} (I_k \cap I_p) \right\}$ 이다. 이들에 대해서는 선택이 중복되지 않도록 의사결정 모형이 제안되어야 한다.
- 10)  $x_{kj}$ : 크루즈 선박  $k$ 가 후보운항일정계획  $j$ 를 ( $j \in I_k$ ) 선택하면 1 선택하지 않으면 0의 값을 갖는 이진변수(binary variable)이다.

계획기간을  $t$ 로 할 때 총 운항이익을 최대화하는 최적화 모형은 아래와 같은 목적함수와 제약식을 가진 정수계획모형으로 개발될 수 있다.

##### 4.2 목적함수

크루즈 선박  $k$ 의 운항일정계획들을 0-1 정수변수  $x_{kj}$ 로 표현할 때 선박  $k$ 의 총 운항시간은  $\sum_j t_j x_{kj}$ 가 된다. 따라서 실제 운항하지 않는 계산기간 동안의 계산비용(lay-up cost)을 차감한 총 운항이익은

$$\begin{aligned} & \sum_{k \in K} \sum_{j \in I_k} e_{kj} x_{kj} - \sum_{k \in K} a_k \left( t - \sum_{j \in I_k} t_j x_{kj} \right) \\ & = \sum_{k \in K} \sum_{j \in I_k} (e_{kj} + a_k t_j) x_{kj} - t \sum_{k \in K} a_k \end{aligned}$$

로 계산된다. 이 식에서  $t \sum_{k \in K} a_k$ 는 상수이므로 총이익을 최대화하기 위한 목적함수는 아래와 같이 표현된다.

$$\text{Max} \quad \sum_{k \in K} \sum_{j \in I_k} c_{kj} x_{kj} \quad (4.1)$$

위의 (4.1)과 같이 변수( $x_{kj}$ )들의 선형함수로 목적함수를 표현하는 것은 한 운항일정계획이 다른 운항일정계획의 운항이익( $e_{kj}$ )에 영향을 줄 가능성이 중장기적으로 매우 낮음을 전제한 것이다. 그러나 보다 단기적으로 운항일정계획들 간의 상호작용이 중요할 경우, 목적함수 (4.1)은 보다 복잡한 비선형함수가 될 것이다.

##### 4.3 제약식

각 크루즈 선박에 대해 Fig. 5에서처럼 한 개의 후보운항일정계획 네트워크가 작성된다. 따라서 최적화 모형의 제약식은 각 선박의 후보운항일정계획 네트워크를 나타내는 제약식, 그리고 후보운항일정계획의 중복할당을 피하기 위한 부가적 제약식들로 구성된다.

우선 네트워크 제약식으로 각 크루즈 선박의 시작마디에 대해 다음과 같은 제약식이 필요하다. 이는 각 크루즈 선박이 한 개의 후보운항일정계획을 수행함으로써 운항을 시작함을 의미한다.

$$\sum_j x_{kj} = 1 \quad (4.2)$$

위의 식 (4.2)에서  $j$ 는  $I_k$ 의 원소들 중 후보운항일정계획 네트워크의 첫 마디에서 시작되는 가지들, 즉 선박  $k$ 가 처음 택할 수 있는 후보운항일정계획들을 의미한다. 또한 후보운항일정계획의 모든 중간 마디들에 대해 아래 (4.3)과 같은 네트워크 균형제약식이 필요하다. 여기서  $i$ 는 ( $i \in I_k$ ) 해당 중간마디에서 나가는 가지, 즉, 그 마디의 시점에서 시작하게 되는 후보운항일정계획을 의미한다. 반면  $j$ 는 ( $j \in I_k$ ) 그 마디로 들어오는 가지, 즉, 그 마디에서 종결되는 후보운항일정계획을 의미한다.

$$\sum_j x_{kj} - \sum_i x_{ki} = 0 \quad (4.3)$$

각 후보운항일정계획 네트워크의 마지막 마디에서는 아래와 같은 제약식 (4.4)가 필요하다. 여기서  $j$ 는 ( $j \in I_k$ ), 마지막 마디로 들어오는 가지, 즉, 크루즈 선박  $k$ 가 계획기간 동안 마지막으로 택할 수 있는 후보운항일정계획들을 의미한다.

$$\sum_j x_{kj} = 1 \quad (4.4)$$

각 크루즈 선박마다 네트워크 제약식 (4.2-4)가 각 선박의 후보운항일정계획 네트워크의 마디 수만큼 만들어진다. 예를 들어 5척의 크루즈 선박으로 구성된 크루즈 선대가 있고, 각 선박의 후보운항일정계획 네트워크가 7개의 마디로 구성된다면 모두 35개의 네트워크 제약식이 필요하다.

부가적으로 아래 (4.5)와 같이 후보운항일정계획의 중복 할당을 방지하기 위한 제약식이 필요하다. 한 개의 후보운항일정계획은 수행될 경우 현실적으로 한척의 선박에 의해 수행되어야 하기 때문이다.

$$\sum_{k \in K_j} x_{kj} \leq 1, \quad j \in \tilde{I} \quad (4.5)$$

$\tilde{I} \subset I$ 이므로 제약식 (4.5)는 최대 전체 후보운항일정계획 수인  $n$ 개까지 추가될 가능성이 있다. 또한 (4.5)의 제약식이 많아질수록 최적해 도출을 위한 계산의 복잡성이 증가된다. 모형에 네트워크 제약식 (4.2-4)만 있을 경우는 모든 제약식들이 각 선박별로  $m$ 개의 독립적인 네트워크 제약식 그룹으로 나누어진다. 이때 각 네트워크 제약식들의 계수 행렬은 모두 ‘전단 위적행렬(totally unimodular matrix, Nemhauser and Wolsey, 1988a)’이므로 정수제약 없이도 정수최적해가 보장된다. 그러나 중복 할당을 피하기 위해 (4.5)와 같은 ‘집합패킹(set packing, Padberg, 1979)’ 형태의 제약식을 부가하면 정수최적해가 보장되지 않는다. 따라서 아래 (4.6)과 같이 변수들에 대한 정수제약이 반드시 필요하다.

$$x_{kj} \in \{0, 1\}, \quad k \in K, j \in I \quad (4.6)$$

#### 4.4 완성된 모형

지금까지의 논의로부터 최적운항일정계획 도출을 위한 의사결정모형은 전체적으로 아래와 같은 정수계획모형이 된다.

$$\text{Max} \quad \sum_{k \in K} \sum_{j \in I_k} c_{kj} x_{kj} \quad (4.1)$$

subject to

$$\sum_j x_{kj} = 1 \quad (\text{시작 마디}, k \in K) \quad (4.2)$$

$$\sum_j x_{kj} - \sum_i x_{ki} = 0 \quad (\text{모든 중간 마디}, k \in K) \quad (4.3)$$

$$\sum_j x_{kj} = 1 \quad (\text{마지막 마디}, k \in K) \quad (4.4)$$

$$\sum_{k \in K_j} x_{kj} \leq 1, \quad j \in \tilde{I} \quad (4.5)$$

$$x_{kj} \in \{0, 1\}, \quad k \in K, j \in I \quad (4.6)$$

제안된 모형 (4.1-6)을 Fig. 5의 상황에 적용하면 아래와 같은 구체적 정식화가 된다. 여기서 변수  $y_{kj}$ 는 Fig. 5의 가상 가지에 해당하는 변수이다. 이는 실제 운항하는 것이 아니라 단지 후보운항일정계획들의 논리적 선후 관계를 표현하기 위해 사용된 것이므로  $y_{kj}$ 의 목적함수 계수는 언제나 0이 된다.

$$\text{Max} \quad 5x_{11} + 7x_{12} + 6x_{13} + 7x_{21} + 4x_{22} + 5x_{24}$$

subject to

$$x_{11} + x_{12} = 1, x_{11} - y_{11} = 0, x_{12} + y_{11} - x_{13} = 0, x_{13} = 1$$

(크루즈 선박 1의 네트워크 제약식)

$$x_{21} + x_{22} = 1, x_{21} - y_{21} = 0, x_{22} + y_{21} - x_{24} = 0, x_{24} = 1$$

(크루즈 선박 2의 네트워크 제약식)

$$x_{11} + x_{21} \leq 1, x_{12} + x_{22} \leq 1$$

(중복 할당을 제거하기 위한 집합패킹 제약식)

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

어느 경우든 모형의 최적해 값  $x_{kj}^*$ 는 0 또는 1의 값을 가지게 되는데,  $x_{kj}^* = 1$ 인 후보운항일정계획  $j$ 들의 연결이 선박  $k$ 의 최적인항일정계획이 된다. 예를 들어 Fig. 5로 표현되는 위 모형의 경우 최적해로

$$x_{12}^* = x_{13}^* = 1, \quad x_{21}^* = x_{24}^* = 1$$

이 발견된다. 만일 계획기간이 1년이고, 각 후보운항일정계획의 운항기간  $t_j$ 가 6개월이라면, 선박 1의 경우 첫 6개월간 후보운항일정계획 2를, 이후 6개월은 후보운항일정계획 3을 운항하는 것이 최적임을 의미한다. 마찬가지로 선박 2는 첫 6개월간은 후보운항일정계획 1을, 이후 6개월간은 4를 운항하는 것이 최적임을 알려주고 있다. 이를 후보운항일정계획 네트워크에 표현하면 Fig. 6과 같다.

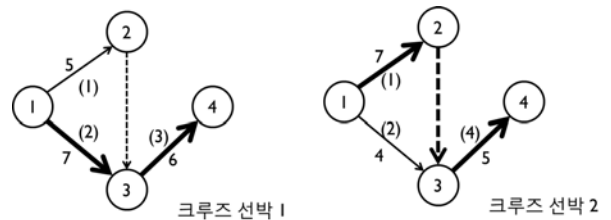


Fig. 6 Optimal itineraries for ships 1 and 2

## 5. 가상 사례

지금까지 개발된 모형을 통해 크루즈 선대의 최적 운항일정계획을 도출하기 위해서는 선사가 제안한 다수의 후보운항일정계획을 바탕으로 아래와 같은 세 단계가 필요하다.

단계 1: 선박별 후보운항일정계획 네트워크를 작성한다.

단계 2: 후보운항일정계획 네트워크를 토대로 최적화모형 (4.1-6)을 정식화한다.

단계 3: 0-1 정수계획모형의 해법을 통해 모형 (4.1-6)의 최적해  $x_{kj}^*$ 를 발견하여 선박별 최적운항일정계획을 도출한다.

5.1 사례 개요

개발된 최적운항일정계획 모형을 실험하기 위해 계획기간을 1년으로 하고, 4척의 크루즈 선박으로, 12개의 후보운항일정계획의 운항을 고려하고 있는 선사를 가정하였다. 즉,  $I = \{1, \dots, 12\}$ ,  $K = \{1, 2, 3, 4\}$ 라고 하자. 다음의 Table 1-2는 선사에 의해 제안된 12개의 후보운항일정계획에 대한 기초 자료를 보여준다.

Table 1 Candidate itineraries and home-ports

후보운항일정계획	모항	크루즈 횟수
1 그리스 터키 크루즈	Athens	8
2 성지 크루즈	Istanbul	9
3 동지중해 크루즈	Napoli	11
4 서지중해 크루즈	Lisbon	11
5 브라질 크루즈	São Paulo	18
6 남부 카리브해 크루즈	San Juan	20
7 서부 카리브해 크루즈	Miami	24
8 동부 카리브해 크루즈	Port Canaveral	14
9 스칸디나비아 크루즈	Amsterdam	10
10 북극 순환 크루즈	Amsterdam	7
11 피요르드 크루즈	Oslo	10
12 영국 도서 크루즈	Liverpool	8

Table 1-2의 자료들은 실제로 미국의 한 크루즈 선사에서 자사의 크루즈 선박 4척에 대해 2011-2012년 예약을 대상으로 공개된 실제의 운항일정계획들을 분석하여 이를 바탕으로 재구성한 것이다. 계획기간은 9월부터 다음해 8월까지의 1년이고, 최적화모형의 목적함수 계수인 수정이익  $c_{kj}$ 는 해당 크루즈의 실제 평균적인 크루즈 가격을 토대로 추정된 것을 사용하였다.

Table 2 Schedules for candidate itineraries

번호	후보운항일정계획 \ 월	9 10 11 12 1 2 3 4 5 6 7 8											
		9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
1	그리스 터키 크루즈	←→	←→										
2	성지 크루즈	←→	←→										
3	동지중해 크루즈	←→	←→										
4	서지중해 크루즈	←→	←→										
5	브라질 크루즈				←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→
6	남부 카리브해 크루즈				←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→
7	서부 카리브해 크루즈				←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→
8	동부 카리브해 크루즈				←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→
9	스칸디나비아 크루즈								←→	←→	←→	←→	←→
10	북극 순환 크루즈								←→	←→	←→	←→	←→
11	피요르드 크루즈								←→	←→	←→	←→	←→
12	영국 도서 크루즈								←→	←→	←→	←→	←→

대체로 9월부터 약 3-4개월 간 지중해 중심으로 크루즈를 계획하고, 이후 다음해 5월까지 약 6개월간은 주로 카리브해와 남미 지역을 운항하며, 이후 마지막 3-4개월간은 북유럽 크루즈를 주로 운항하는 현실적 패턴을 상정하였다.

서로 규모와 비용구조가 비슷한 4척의 각 크루즈 선박이 기술적, 법적 제한 없이 운항할 수 있는 후보운항일정계획은 각각 다음과 같다고 가정한다.

$$I_1 = \{1, 2, 5, 9, 11\}, I_2 = \{1, 2, 5, 8, 9, 11\},$$

$$I_3 = \{2, 3, 6, 8, 11, 12\}, I_4 = \{3, 4, 6, 7, 10, 12\}$$

이를 토대로 각 선박의 후보운항일정계획 네트워크를 작성하면 Fig. 7과 같다. 표현을 간결하게 하기 위해 각 가지위에는 수정이익  $c_{kj}$  대신 후보운항일정계획의 번호를 표시하였다.

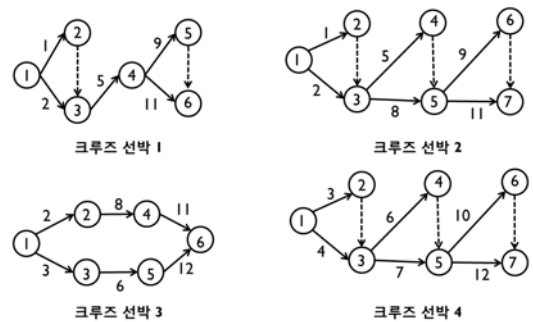


Fig. 7 Candidate itineraries networks for the cruise fleet

5.2 최적운항일정계획 모형

각 선박( $k$ )이 후보운항일정계획  $j$ 를 수행할 경우 추정된 수정이익  $c_{kj}$ 는 각 크루즈의 평균 요금을 바탕으로 Table 3과 같이 도출하였다. 제안된 정수계획모형의 목적함수는 선형(linear)함수이므로, Table 3의 값이 실제와 다르더라도 각 값들 간의 비율이 현실과 유사하기만 하면 현실적 최적해를 얻을 수 있다. Table 3에서 빈 칸들은 해당 크루즈 선박이 그 후보운항일정계획을 수행할 수 없음을 나타낸다.

Table 3 Coefficients of the objective function

선박	후보운항일정계획											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	152	53.1	-	-	162	-	-	-	220	-	250	-
2	152	53.1	-	-	162	-	-	196	220	-	250	-
3	-	53.1	112.2	-	-	154	-	196	-	-	250	160
4	-	-	112	112.2	-	154	144	-	-	175	-	160

Fig. 7의 후보운항일정계획 네트워크는 크루즈 선박 당 가상 가치를 포함하여 각각 7, 9, 6, 9개씩의 가지들을 갖고 있다. 따라서 이 가상 사례의 최적운항일정계획 모형은 모두 31개(7+9+6+9)의 0-1 정수변수로 표현되고 그 중 8개는 가상 가치에 해당되는 변수이다. 또한 각 선박의 후보운항일정계획

네트워크는 각각 6, 7, 6, 7개의 마디를 가지고 있으므로 모두 26개(6+7+6+7)의 네트워크 제약식을 갖는다. 후보운항일정계획들의 중복 할당을 피하기 위한 집합패킹 제약식들은  $\tilde{I} = \{1, 2, 3, 5, 6, 8, 9, 11, 12\}$ 이므로 모두 9개가 필요하다. 따라서 이 가상사례의 최적운항일정계획 모형은 모두 31개의 0-1 변수, 35개의 제약식을 가지는 정수계획모형이 된다. 모형의 일부만 구체적으로 표현하여 보면, Table 3의 값들로 부터 목적함수는

$$\text{Max } 152x_{11} + 53.1x_{12} + \dots + 175x_{4,10} + 160x_{4,12}$$

이 된다. 제약식에서 나타나는 변수들 중 가상 가지에 해당하는 변수  $y_{kj}$ 들은 실제 운항을 나타내는 변수가 아니므로 목적함수에서는 모두 0의 계수 값을 가지게 된다.

제약식 중 크루즈 선박 1의 마디 1, 2에 해당하는 제약식은 Fig. 7의 첫 번째 네트워크로부터 각각

$$x_{11} + x_{12} = 1, \quad x_{11} - y_{11} = 0$$

로 표현된다. 이 중 변수  $y_{11}$ 이 마디 2에서 3으로 연결된 가상 가지에 해당하는 변수이다. 비슷하게 마디 5에서 6으로의 가상 가지에 해당하는 변수를  $y_{12}$ 로 하면 마디 5, 6에서의 제약식은 각각

$$x_{19} - y_{12} = 0, \quad x_{1,11} + y_{12} = 1$$

이 된다. 다른 선박들에 대한 네트워크 제약식들도 같은 방법으로 만들 수 있다.

후보운항일정계획 1(그리스 터키 크루즈)의 중복할당을 피하기 위한 부가적인 제약식은  $1 \in I_1 \cap I_2$ 이므로

$$x_{11} + x_{21} \leq 1$$

이 된다. 이를 통해 그리스 터키 크루즈는 크루즈 선박 1과 2 중 최대한 한척에만 할당되게 된다. 만일 최적해에서  $x_{11}, x_{21}$ 이 모두 0의 값을 갖게 되면 이는 그리스 터키 크루즈는 수행하지 않는 것이 최적임을 의미한다. 비슷하게 후보운항일정계획 12(영국 도서 크루즈)의 중복할당을 피하기 위해 아래의 제약식이 필요하다.

$$x_{3,12} + x_{4,12} \leq 1$$

이와 같은 방법으로 모두 9개의 집합패킹 제약식이 만들어지며, 전체적으로 다음과 같은 0-1 정수계획모형이 도출된다.

$$\text{Max } 152x_{11} + 53.1x_{12} + \dots + 175x_{4,10} + 160x_{4,12} \quad (5.1)$$

subject to

$$x_{11} + x_{12} = 1, \quad x_{11} - y_{11} = 0, \quad \dots, \quad x_{4,12} + y_{43} = 1 \quad (5.2-4)$$

$$x_{11} + x_{21} \leq 1, \quad \dots, \quad x_{3,12} + x_{4,12} \leq 1 \quad (5.5)$$

$$x_{kj} \in \{0, 1\}, \quad y_{kj} \in \{0, 1\} \quad (5.6)$$

위의 (5.1)은 가상 사례의 목적함수에 해당되고, (5.2-4)는 4척의 크루즈 선박에 대한 26개의 네트워크 제약식이다. 제약식 (5.5)는 중복 할당을 피하기 위한 9개의 집합패킹 제약식, (5.6)은 0-1 정수제약이다.

### 5.3 최적운항일정계획

모형의 최적해는 다양한 정수계획 해법을 통해 구할 수 있다. 여기서는 반복적 선형계획모형(linear programming model)의 풀이를 통한 분단탐색법(branch and bound method, Nemhauser and Wolsey, 1989b)을 기반으로 하는 마이크로소프트 엑셀의 해찾기(Solver)를 통해 발견하였는데 그 결과는 다음과 같다.

$$x_{11}^* = x_{15}^* = x_{1,11}^* = 1, \quad x_{22}^* = x_{28}^* = x_{29}^* = 1, \\ x_{33}^* = x_{36}^* = x_{3,12}^* = 1, \quad x_{44}^* = x_{47}^* = x_{4,10}^* = 1,$$

다른  $k, j$ 에 대해서는  $x_{kj}^* = 0$

이 최적해를 통해 크루즈 선박 1의 경우는 1, 5, 11의 후보운항일정계획을 수행하는 것이 최적임을 말해준다. 즉, 9월부터 11월까지는 Athens를 모항으로 그리스 터키 크루즈, 다음 12-4월까지는 브라질 크루즈, 이후 5-8월은 노르웨이 지역의 피요르드 크루즈를 운항하는 것이 최적임을 알려준다. 나머지 선박들의 경우도 같은 방법으로 최적운항일정계획을 설명할 수가 있다. 아래의 Fig. 8은 이렇게 발견된 최적운항일정계획이 각 선박별 후보운항일정계획 네트워크에 표현되어 있다.

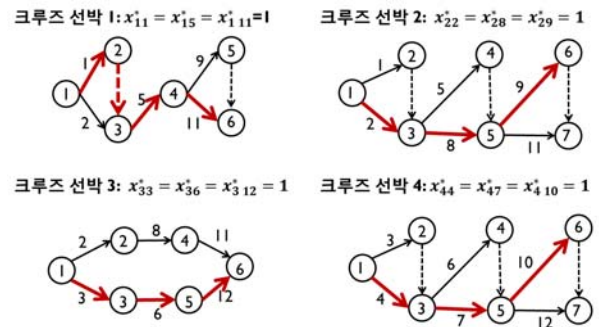


Fig. 8 Optimal itineraries for the cruise fleet

## 6. 결 론

크루즈 선사의 입장에서 잠재적 크루즈 승객들에게 예약을 위해 1, 2년 전 공개하는 크루즈 운항일정계획은 크루즈 선사의 실제 크루즈 운영의 골격을 형성하는 중요한 전략적 계획이다. 최근 새로운 기항지의 추가, 국제적 선대의 재배치에 대한 중요성이 강조되면서, 이러한 운항일정계획의 복잡성은 점점 증가하고 있다. 이러한 배경에서 이 논문은 여러 척으로 구성된 크루즈 선대의 최적운항일정계획을 일반적으로 도출할 수 있는 의사결정 모형을 제안하였다.

후보운항일정계획들 간의 복잡한 관련성을 체계적으로 다루기 위해 각 선박별 후보운항일정계획 네트워크를 제안하고 사용하였다. 또한 선박별로 도출되는 후보운항일정계획 네트워크를 논리적으로 통합하고, 개별 선박이 아닌 선대 전체의 입장에서 최적화하기 위해 0-1 정수변수를 활용한 정수계획 모형을 제안하였다. 현실에 바탕을 둔 가상 사례를 통해 모형의 최적해를 도출하고 최적운항일정계획을 설명하였다. 개발된 모형은 크루즈 선박의 척수, 종류와 관련 없이 임의의 크루즈 선대에 대해 최적운항일정계획을 도출할 수 있는 일반성을 갖는다.

네트워크 제약식의 이점에도 불구하고, 제안된 모형은 부가된 집합패킹 제약식들의 영향으로, 반드시 정수제약이 필요한 정수선형계획모형이다. 보다 상세한 분석을 통해 모형의 특정 유형과 관련하여 정수제약 없이 정수 최적해를 보장하는 이론적 조건들을 발견하는 일은 또 다른 연구 주제가 될 것으로 생각된다. 또한 현실적으로 선사가 제안한 후보운항일정계획의 수와 선박 척수가 증가할 경우, 보다 효율적으로 모형을 정식화하고, 좋은 해를 쉽게 찾을 수 있는 휴리스틱(heuristic) 해법의 개발 또한 다른 연구를 필요로 할 것이다.

## 후 기

이 연구는 해운항만국제물류교류협력사업단의 지원으로 수행되었다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김세현 (2008), 현대경영과학, 무역경영사, 2판, pp. 409-440.
- [2] 조성철, 권해규 (2001), “크루즈 선박의 운항일정계획을 위한 최적화 모형”, 한국항해학회지, Vol. 25, pp. 323-333.
- [3] Cruise Market Watch (2011), <http://www.cruisemarketwatch.com>
- [4] Hersh, M. and Ladany, S.P. (1989), “Optimal Scheduling of Ocean Cruises”, Information Systems and Operational Research, Vol. 27, pp. 48-57.
- [5] Gibson, P. (2006), Cruise Operations Management, Elsevier, pp. 2-3.
- [6] G.P. Wild (2010), <http://www.gpwild.co.uk/>
- [7] Nemhauser, G.L. and Wolsey, L.A. (1988a), Integer and Combinatorial Optimization, John Wiley and Sons, pp. 540-546.
- [8] Nemhauser, G.L. and Wolsey, L.A. (1988b), Integer and Combinatorial Optimization, John Wiley and Sons, pp. 355-367.
- [9] Padberg, M.W. (1979), “Covering, Packing and Knapsack Problems”, Annals of Discrete Mathematics,

Vol. 4, pp. 265-287.

- [10] ResidenSea (2003), <http://www.residensea.com>
- [11] Sun, X., Jiao, Y. and Tian, P. (2011), “Marketing Research and Revenue Optimization for the Cruise Industry”, International Journal of Hospitality Management, Vol. 30, pp. 746-755.
- [12] Véronneau S. and Roy, J. (2009), “Global Service Supply Chains: an Empirical Study of Current Practices and Challenges of a Cruise Line Corporation”, Tourism Management, Vol. 30, pp. 128-139.
- [13] Windstar Cruises (2003), <http://www.windstarcruises.com>

---

원고접수일 : 2011년 12월 15일  
 심사완료일 : 2012년 2월 13일  
 원고채택일 : 2012년 2월 16일