

여객선대 배치 및 경로 선택 문제를 위한 최적화 모형 개발에 관한 연구

조 성 철* · 장 기 창**

A Study on Optimization Models for Passenger Ship Fleet Routing

Cho, Seong-Cheol · Jang, Kee-Chang

(목 차)	
Abstract	III. 사례연구
I. 서 론	IV. 결 론
II. 여객선대의 경로선택 문제	참고문헌

Abstract

In the transportation literature, many useful decision making models for ship routing and ship scheduling have been studied. But the majority of these studies are on industrial carriers, bulk carriers, or tankers. It is quite recent that a few optimization models have been developed for liner fleet routing and scheduling problems. However there have been few academic studies on decision making models for the routing or scheduling problems of passenger ships in spite of their economic importance in the entire shipping industry.

The purpose of this study is to develop analytic decision making models for ship routing and scheduling for the passenger ship fleet. This study gives two optimization models, one is a linear programming model and the other a goal programming model. These two models are solved easy by commercial linear programming softwares and suggest optimal ship routing plans and many other useful implications for passenger ship fleet managers.

* 정희원, 한국해양대학교 해운경영학부 교수
** 정희원, 한국해양대학교 대학원 해운경영학과 졸업

1. 서론

우리나라는 지난 수년간 눈부신 경제발전을 이루어 왔으며, 동시에 수송수요 또한 많은 증가가 있었다. 이처럼 수송수요의 증대는 다시 경제성장을 가속화시키는 요인으로 작용함으로써 상호 밀접한 관계를 지속하였다. 그러나, 수송수요는 증대하였지만 비효율적인 경영 및 선대관리와 정부지원 미흡으로 인해 국내 연안 여객선 업체는 낙후되어 있는 실정이다. 국내 여객선 업체는 이러한 낙후된 연안 여객선업을 개선하고 수송수요 증대에 부응하기 위해서 경영합리화를 통한 선대관리가 필요하다.

의사결정자는 항상 여러 가지 의사결정문제에 당면하며 이중 일부는 매우 복잡하고 과거에는 경험하지 못했던 문제를 결정하여야 하는 경우도 발생한다. 또한 기업의 규모가 커지고 복잡해짐에 따라 과거의 관습에 따라 행하던 의사결정방법이 비효율적으로 이루어지고, 이러한 비효율성이 점점 더 심각한 영향을 미치게 될 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 좀더 바람직한 해결방법이 필요하게 되는데, 경영과학이란 이처럼 복잡한 문제에 대해 계량적 분석을 통하여 체계적이고 과학적인 의사결정을 하기 위한 학문분야로서 과학적 연구방법을 사용하며 주로 정식화된 수리적인 기법을 많이 활용한다.

선대 운영의 최적화 분석에 관한 가장 고전적인 연구로는 주어진 수송수요를 충족시킬 수 있는 동형(homogeneous) 유조선의 최소 척수를 결정하는 문제를 히치코크 수송 모형으로 해결한 Dantzig & Fulkerson(1954)의 연구를 들 수 있다. 이 연구는 이후 많은 후속 연구의 자료로 활용되면서 최적화 모형을 통해 선대 문제를 시도하려는 노력은 주로 유조선과 벌크선을 중심으로 발전되어 왔다. 주로 상선을 대상으로 하는 이러한 분야의 연구에 대한 폭넓은 요약은 Ronen(1983, 1993)의 두 논문에서 찾아 볼 수 있다.

정기선 운항에 관해 연구된 유사한 연구들은 분석

적 모형이 아닌 탐색적 접근방법(heuristic approach)이 주를 이루어왔다. 예로써, Boffey(1979) 등은 북대서양 항로에 투입할 컨테이션 스케줄링 문제에 관하여 확률론적 접근방법과 의사결정시스템을 연구하였다. Olson(1969) 등은 화물선대의 최적의 정기적 스케줄링을 위해 가상적인 모형을 이용한 연구를 하였다.

비교적 최근에 들어서야 정기선 최적 경로선택 문제와 스케줄링문제에 관하여 분석적 모형의 연구가 이루어졌는데, Perakis and Jaramillo(1991), Jaramillo and Perakis(1991)는 정기선 선박을 여러 항로에 투입했을 때 발생하는 운항비와 계선비용을 최소화 하는 모형을 제시하였다. 그리고, Rana and Vickson(1988, 1991)은 비선형계획모형을 제시하였는데, 이는 각 선박의 최적의 기항지수를 결정하여 이익을 극대화하는 모형이며, 이들은 라그랑지 이완 기법(lagrangean relaxation)과 분할 기법(decomposition method)을 이용하였다.

Cho and Perakis(1996)는 정기선 운항문제에 대해 현실적으로 좀더 쉽게 응용할 수 있고 화물수요에 대한 예측을 체계적으로 분석하여 정기선대를 운영할 수 있는 최적화모형을 제시하였다. 이 모형에서는 복잡한 비선형을 피하여 선형과 0-1 변수만을 이용하였으므로 그 최적해를 선형계획모형 소프트웨어를 통하여 쉽게 구할 수 있게 하였다. 또한 체계적으로 화물수요 예측을 모형에 반영할 수 있는 구조로서 흐름-경로 행렬(flow-route incidence matrix)을 제시하고 있다.

본 연구는 지금까지 경영과학적 연구가 전무하다고 할 수 있는 화물과 승객을 함께 운송하는 여객선사의 선대운영문제를 개선하고, 연안여객선 업체의 경영을 과학적이고 합리화하기 위하여 경영과학 기법을 활용한 의사결정모형을 구축하는데 연구목적들을 두었다. 한편, 가상 사례연구의 해를 구하기 위해서 선형계획모형 범용 소프트웨어인 LINDO/PC를 이용하였다.

II. 여객선대의 경로선택 문제

1. 문제의 개요

본 연구에서는 의사결정자가 중요한 화물 및 승객의 흐름을 고려하여 여객선의 항로를 결정하는 상황을 모형에 반영한다. 따라서 화물 및 승객에 대한 수요 예측치가 모형을 구성하는 주요 자료로 투입되며, 해당 여객선사의 시장에서의 위치, 경영 경험에 따라 계획기간 동안의 경영의 목표가 다양해 질 수 있다는 점을 반영하기 위해 목표계획법을 활용한 의사결정모형도 제안하였다.

1.1 모형의 가정

- ① 각 주요 항구들 간의 화물 및 승객 수요는 적절한 예측기법에 의해 확정적으로 주어지고 계획기간(planning horizon) 동안 일정하게 발생한다.
- ② 보유한 선박 모두 한 개 이상의 경로에 투입할 수 있다.
- ③ 의사결정자는 현재 운항 중인 경로를 포함하여 선박이 투입될 수 있는 유한개의 후보 경로에 대한 사전적 통찰력을 갖고 있다. 이는 경영자의 경험이나 예측 능력을 활용하여 미래의 바람직한 후보 항로들을 제안해 낼 수 있음을 의미한다.
- ④ 선박의 재배치에 따르는 소요시간은 없다고 가정하는데, 이러한 시간은 중장기 계획에서 무시할 수 있을 정도의 짧은 시간으로 간주할 수 있을 것이다.
- ⑤ 특정 항구간의 한 항차 당 수송량은 선박에 관계없이 모두 동일하다고 가정한다. 이는 선박의 크기가 비슷하고 계절적인 변동이 심하지 않을 경우 정당화 될 수 있다. 만일 이들의 변동이 심할 경우는 모형에서 활용될 한 항차당 수송량은 이 변동들의 평균치로 해석할 수 있다.

1.2 모형의 기호

본 연구에서는 다음과 같은 기호와 의사결정 변수를 사용하였다.

[기 호]

- (i, j): 항구 i 로부터 항구 j 까지의 항해 구간을 의미
- P : 주요 화물 흐름이 있는 항해 구간 (i, j)의 집합
- S : 주요 여객 수송이 있는 항해 구간 (i, j)의 집합
- r : 경로를 나타내는 지수 $r = 1, \dots, R$
- k : 선박을 나타내는 지수 $k = 1, \dots, K$
- K_r : 경로 r 에 투입될 수 있는 선박의 집합
- R_k : 선박 k 가 운항할 수 있는 경로의 집합
- F_{rk} : 경로 r 에 선박 k 를 투입하였을 때 발생하는 한 항차당 화물 운임수익
- P_{rk} : 경로 r 에 선박 k 를 투입하였을 때 발생하는 한 항차당 승객 운임수익
- C_{rk} : 경로 r 에 선박 k 를 투입하였을 때 발생하는 한 항차당 항해비용
- π_{rk} : 경로 r 에 선박 k 를 투입하였을 때 발생하는 한 항차당 이익
- H_k : 선박 k 의 단위당 계선 비용
- $a_{ij, rk}$: 화물 흐름-경로 행렬의 원소
- $b_{ij, rk}$: 승객 흐름-경로 행렬의 원소
- d_{ij} : 항만 i 에서 항만 j 로의 화물 수요량
- d_{2ij} : 항만 i 에서 항만 j 로의 승객 수요량
- w_{1ij} : 한 항차를 통하여 항만 i 에서 항만 j 로 수송하는 화물 수송량
- w_{2ij} : 한 항차를 통하여 항만 i 에서 항만 j 로 수송하는 승객 수송량
- $m_{1ij} : w_{1ij}/d_{ij}$ $m_{2ij} : w_{2ij}/d_{2ij}$
- T_{rk} : 경로 r 에 선박 k 를 투입하였을 때 발생하는 한 항차 당 소요시간
- T_k : 선박 k 의 모형 계획기간 동안 사용가능한 시간
- α_q : 목표 q 의 결과치가 목표에 못 미친 경우 부여되는 페널티
- β_q : 목표 q 의 결과치가 목표보다 크게 나올 경우 부여되는 페널티

[의사결정 변수]

- X_{rk} : 계획기간 동안 경로 r 에 운항하는 선박 k 의 항차 수
- Y_k : 선박 k 의 계선 시간
- U_1 : 실현수익이 목표수익을 초과하는 수익 초과분
- U_1 : 실현수익이 목표수익에 못 미친 수익 부족분

- U_2 : 실현비용이 목표비용을 초과하는 비용 초과분
- U_2 : 실현비용이 목표비용에 못 미친 비용 부족분
- V_{ij} : 화물수송 구간 (i,j) 의 화물 수송량이 목표 수요량을 초과하는 초과분
- V_{ij} : 화물수송 구간 (i,j) 의 화물 수송량이 목표 수요량에 못 미친 부족분
- Z_{ij} : 승객수송 구간 (i,j) 의 승객 수송량이 목표 수요량을 초과하는 초과분
- Z_{ij} : 승객수송 구간 (i,j) 의 승객 수송량이 목표 수요량에 못 미친 부족분

2. 흐름-경로 행렬(Flow-route incidence matrix)

Cho and Perakis(1996) 논문에서 소개되고 있는 흐름-경로 행렬은 유한개의 구간과 유한개의 경로를 가진 행렬 "A = (a_{ij,r})"로 표현된다. 즉, 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$a_{ij,r} = \begin{cases} 1, & (i,j) \text{가 항로 } r \text{에 포함되어 있는 경우,} \\ 0, & \text{그렇지 않은 경우.} \end{cases}$$

또한 이 외에도 흐름-경로 행렬에 선박을 포함시킨 확장된 흐름-경로 행렬(augmented flow-route incidence matrix)을 제시하였다. 확장된 흐름-경로 행렬 A=(a_{ij,rk})는 흐름-경로 행렬 A에 각 선박별 항로를 포함시켜 확대시킨 행렬이며, 다음과 같이 표현된다.

$$a_{ij,rk} = \begin{cases} 1, & (i,j) \text{가 선박 } k \text{의 항로 } r \text{에 포함되어 있는 경우,} \\ 0, & \text{그렇지 않은 경우.} \end{cases}$$

3. 여객선대 경로선택을 위한 선형계획모형

3.1 선형계획모형의 목적함수

경로 r에 선박 k를 투입하였을 때 발생하는 한 항차당 이익인 π_{rk}는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\pi_{rk} = F_{rk} + P_{rk} - C_{rk}$$

그리고, 총 계선비용은 $\sum_{k \in K} H_k Y_k$ 이며, 여객선사의 이익 극대화를 목적으로 하는 선형계획모형의 목적함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\max \sum_{r=1}^R \sum_{k \in K_r} \pi_{rk} X_{rk} - \sum_{k=1}^K H_k Y_k \dots\dots\dots (1)$$

3.2 선형계획모형의 제약식

아래식은 주어진 화물 수송 구간 (i, j)의 총 화물 수송량이 해당구간의 화물수요를 초과하지 않음을 나타낸다.

$$w_{ij} \sum_{r=1}^R \sum_{k \in K_r} a_{ij,rk} X_{rk} \leq d_{ij}$$

$m_{ij} = d_{ij} / w_{ij}$ 로 정의하기로 하자. 그러면 앞의 식을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\sum_{r=1}^R \sum_{k \in K_r} a_{ij,rk} X_{rk} \leq m_{ij} \dots\dots\dots (2)$$

여기서 우변항인 m_{ij} 수요량을 모두 만족시키기 위한 항차수라고 할 수 있다.

비슷하게 임의의 주요 승객 수송 구간 (i, j)에 대해 승객 수요량에 대한 제약을 아래와 같은 제약식으로 표현할 수 있다.

$$\sum_{r=1}^R \sum_{k \in K_r} a_{ij,rk} X_{rk} \leq m_{2ij} \dots\dots\dots (3)$$

각 선박 k의 운항시간은 아래와 같은 제약식을 만족하여야 한다.

$$\sum_{r \in R_k} T_{rk} X_{rk} + Y_k = T_k \dots\dots\dots (4)$$

3.3 완성된 선형계획모형

위에서 도출된 [1], [2], [3], [4]식으로부터 여객선사의 이익을 극대화하는 여객선대 배치 및 항로 결정을 위한 선형계획모형은 다음과 같이 개발될 수 있다.

[모형 P-I]

$$\max \sum_{r=1}^R \sum_{k \in K_r} \pi_{rk} X_{rk} - \sum_{k=1}^K H_k Y_k$$

$$\text{subject to } \sum_{r=1}^R \sum_{k \in K_r} a_{ij,rk} X_{rk} \leq m_{ij}$$

모든 (i, j) ∈ P 에 대해

$$\sum_{r=1}^R \sum_{k \in K_r} b_{ij,rk} X_{rk} \leq m_{2ij}$$

모든 (i, j) ∈ S 에 대해

$$\sum_{r \in R_k} T_{rk} X_{rk} + Y_k = T_k$$

$$k = 1, \dots, K$$

$$X_{rk} \geq 0, Y_k \geq 0 \quad r = 1, \dots, R,$$

$$k = 1, \dots, K$$

3.4 선형계획모형 최적해의 해석

위 [모형 P-I]의 변수는 $R \times K$ 이상이 될 수 없으며, 선형계획모형의 소프트웨어를 통하여 쉽게 최적해를 구할 수가 있다. 그리고, 이 모형에서 도출된 최적해에 대해 다음과 같은 경영상의 해석을 할 수 있다.

- ① 최적해인 X_{rk}^* 는 선박 k 를 경로 r 에 X_{rk}^* 항차수 만큼 투입하는 것이 최적임을 의미한다.
- ② $\sum_{r \in K_r} X_{rk}^*$ 는 계획기간 동안 선박 k 의 최적 항차수를 의미한다.
- ③ $\sum_{k \in K_r} X_{rk}^*$ 는 계획기간 동안 항로 r 의 최적 항차수를 의미한다.
- ④ $T_r^* = T / \sum_{k \in K_r} X_{rk}^*$ 는 최적 항차의 간격으로서 만약 T_r^* 이 7일 이라면 그 항로는 매주 한번씩 운항하는 것이 최적이라 할 수 있다.
- ⑤ Y_k^* 는 불가피한 계선 시간을 나타내며, 이는 선박의 유지 보수를 위한 추가적 여유시간 혹은 승무원의 휴가를 위한 기본 자료로 활용 할 수 있다.

4. 여객선대 경로선택을 위한 목표계획모형

4.1 목표계획모형의 목적함수

전 절에서 도출한 모형은 운항이익 최대화를 추구하는 경영자를 가정한 것이다. 현실적으로 여객선사는 시장 진입의 시점이나, 위치에 따라 다변화된 경영목표를 갖게된다. 이 경우 여러 상충될 수 있는 목표들을 반영한 목표계획모형의 도출이 가능하다. 이 논문에서는 운항수익, 비용, 승객 수요에 부응, 화물 수요에 부응이라는 네가지 목표를 동시에 추구하는 경영자를 대상으로 목표계획모형을 제안하였다. 목표를 총괄적으로 표현하는 한가지 방법으로 각 목표를 (예를 들어 목표 q) 달성하지 못할 경우에 적절한 페널티를 (a_q) 부여하는

방법을 자주 사용하게 된다. 예를 들어 수익의 경우는 목표에 미치지 못한 만큼을 나타내는 U_1 에, 비용의 경우는 목표비용을 초과한 만큼인 U_2 대해서 페널티를 부여하여 목적함수를 표현한다. 화물 수요나 승객 수요는 정확히 대응하지 못할 경우 초과 서비스나, 수요 이하의 서비스가 모두 바람직하지 못하고 비용을 발생시키므로 $V_{ij}, V_{ij}^+, Z_{ij}, Z_{ij}^-$ 모두에 페널티를 부여하게 된다. 적을수록 바람직할 것이다.

따라서 이러한 페널티들을 반영한 목표계획모형의 목적함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\min \quad a_1 U_1 + \beta_2 U_2 + \sum_{(i,j) \in P} a_{ij} V_{ij}^- + \sum_{(i,j) \in P} \beta_{ij} V_{ij}^+ + \sum_{(i,j) \in S} a_{ij} Z_{ij}^- + \sum_{(i,j) \in S} \beta_{ij} Z_{ij}^+ \quad (1')$$

4.2 목표계획모형의 제약식

여객선사가 계획기간 동안 달성하고자 하는 수익 목표치가 g_1 이라고 하자. 계획기간 동안 달성하는 수익은 $\sum_{r=1}^R \sum_{k \in K_r} (F_{rk} + P_{rk}) X_{rk}$ 이므로 목표 계획모형에서 수익 목표에 대한 제약식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sum_{r=1}^R \sum_{k \in K_r} (F_{rk} + P_{rk}) X_{rk} - g_1 = U_1 - U_1 \quad (2')$$

비슷하게 비용 목표치를 g_2 라고 할 때 비용 목표에 대한 제약식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sum_{r=1}^R \sum_{k \in K_r} C_{rk} X_{rk} + \sum_{k=1}^K H_k Y_k - g_2 = U_2 - U_2 \quad (3')$$

세 번째 목표를 계획기간 동안 주요 화물 수송구간 (i, j) 의 화물 수요를 만족시키는 항차수를 g_{3ij} , 주요 승객 수송구간 (i, j) 의 승객 수요를 만족시키는 항차수를 g_{4ij} 라고 하자. 그러면 화물 수요 및 승객 수요를 충족시키기 위한 목표계획모형의 제약식은 다음과 같다.

$$\sum_{r=1}^R \sum_{k \in K_r} a_{ij, rk} X_{rk} - g_{3ij} = V'_{ij} - V_{ij}$$

모든 $(i, j) \in P$ 에 대해

.....(4')

$$\sum_{r=1}^R \sum_{k \in K_r} b_{ij, rk} X_{rk} - g_{4ij} = Z'_{ij} - Z_{ij}$$

모든 $(i, j) \in S$ 에 대해

.....(5')

선박의 가용시간은 초과할 수 없는 물리적 제약
이므로 선형계획모형의 경우와 같다.

$$\sum_{r \in R_k} T_{rk} X_{rk} + Y_k = T_k \quad \forall k = 1, \dots, K$$

.....(6')

4.3 완성된 목표계획모형

지금까지 제시된 목적함수와 제약식 [1'], [2'],
[3'], [4'], [5'], [6']를 통하여 여객선사가 계획기간
동안 달성하고자 하는 목표를 최적으로 달성할 수
있도록 하는 목표계획모형은 다음과 같이 나타낼
수가 있다.

[모형 P-II]

$$\min \quad a_1 U_1^- + \beta_2 U_2^+ + \sum_{(i,j) \in P} \alpha_{ij} V_{ij}^- + \sum_{(i,j) \in P} \beta_{ij} V_{ij}^+ +$$

$$\sum_{(i,j) \in S} \alpha_{ij} Z_{ij}^- + \sum_{(i,j) \in S} \beta_{ij} Z_{ij}^+$$

subject to

$$\sum_{r=1}^R \sum_{k \in K_r} (F_{rk} + P_{rk}) X_{rk} - g_1$$

$$= U_1^- - U_1$$

$$\sum_{r=1}^R \sum_{k \in K_r} C_{rk} X_{rk} + \sum_{k=1}^K H_k Y_k$$

$$- g_2 = U_2^+ - U_2$$

$$\sum_{r=1}^R \sum_{k \in K_r} a_{ij, rk} X_{rk} - g_{3ij} = V'_{ij} - V_{ij}$$

모든 $(i, j) \in P$ 에 대해

$$\sum_{r=1}^R \sum_{k \in K_r} b_{ij, rk} X_{rk} - g_{4ij} = Z'_{ij} - Z_{ij}$$

모든 $(i, j) \in S$ 에 대해

$$\sum_{r \in R_k} T_{rk} X_{rk} + Y_k = T_k$$

$\forall k = 1, \dots, K$

모든 $X_{rk} \geq 0, Y_k \geq 0, U_1^-, U_1, U_2^+, U_2,$
 $V'_{ij}, V_{ij}, Z'_{ij}, Z_{ij} \geq 0$

III. 사례연구

1. 개요

국내에서 비교적 지명도가 높은 한바다 페리선
사는 오랜 기간 동안 여객산업을 해왔으며, 이 회
사는 과거자료를 통하여 각 구간 (i, j) 의 수요량과
특정선박이 특정경로에 배치됐을 때 발생하는 화
물운임과 승객운임 수익에 대한 예측치를 항시 확
보하고 있다. 그리고, 선박마다의 항해비용과 선박
이 운항을 하지 않고 계선하였을 시에 발생하는 계
선비용에 대한 자료와, 선박이 한 항차하는데 소요
되는 시간 및 각 선박의 연간 사용가능한 시간에
관한 자료도 보유하고 있다.

한바다 페리선사는 크기가 비슷한 4척의 선박을
보유하고 있으며, 이 회사는 다양한 경로들 중 지
난 과거의 자료를 통하여 가장 수익성이 높고 내년
에 선박을 투입할 수 있는 6개의 후보 경로를 선정
하였으며, 모든 경로는 몇 개의 항만을 경유하는
네트워크 형식으로 이루어져 있다.

구간의 1, ..., 8 이란 각각의 항만번호라고
하자. 그리고, 이 회사의 의사결정자는 화물과 승
객 수송에 대한 평가를 할 때 다음과 같은 구간이
다른 구간 보다 더 중요하다고 결정하였다.

- 화물 : (1,2), (2,3), (3,4), (3,5), (5,7), (8,6) 구간
승객 : (1,3), (2,3), (3,5), (4,5), (5,7), (6,4) 구간

이 회사는 계획기간을 1년으로 보고 중기적인
계획을 세우려 하고 있다. 즉, 한바다 페리선사는
계획기간을 1년으로 하고 보유하고 있는 4척의 선
박과 6개의 경로, 각 12개의 중요한 구간을 통하여
최적의 의사결정을 하려고 한다.

2. 후보경로지와 모형 도출에 필요한 자료

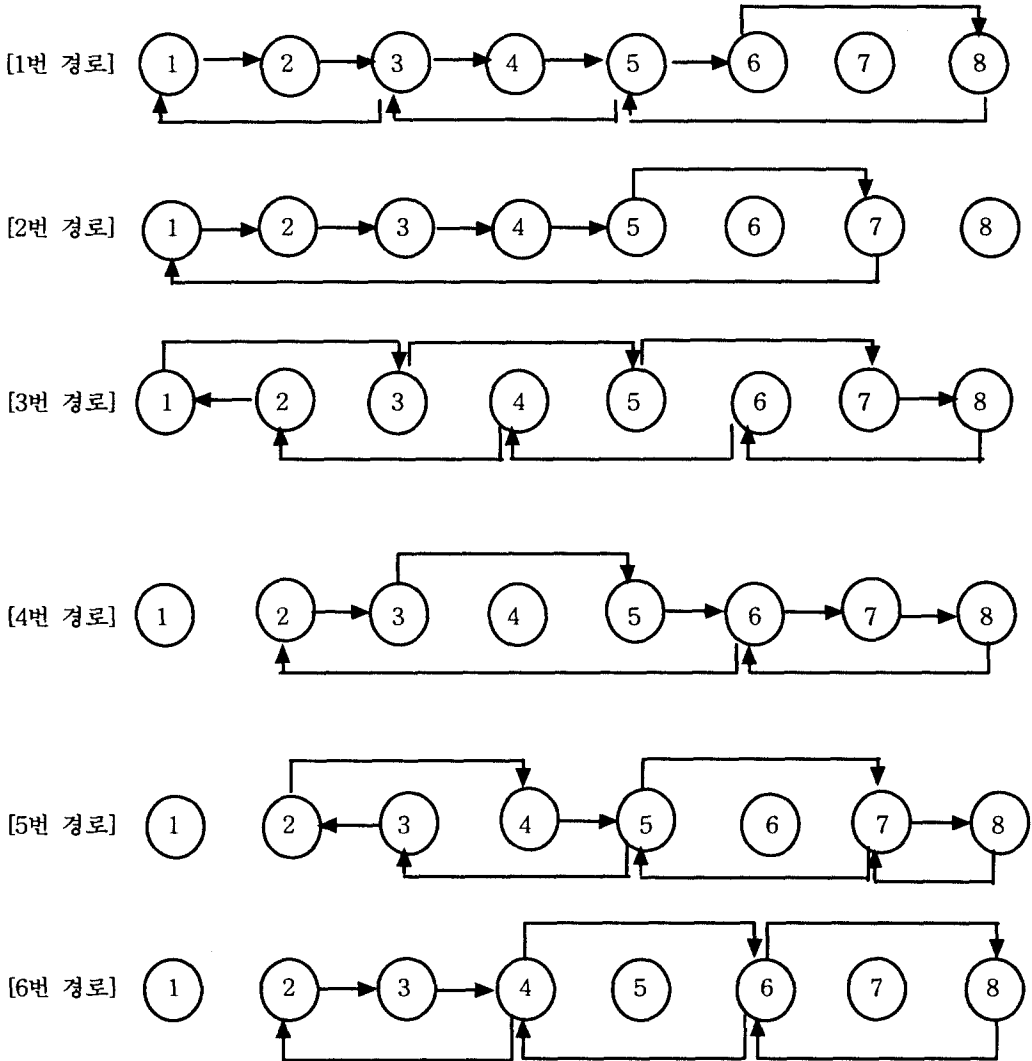


그림 1. 후보 경로

위의 그림 1은 한바다 페리선사가 선정한 6개의 후보 경로를 그림으로 나타낸 것이며, 화살표 순서대로 각 기항지를 입학하게 된다.

<표 1>에서 d_{1ij} 와 d_{2ij} 는 각 주요구간의 화물과 승객 수요량의 예측치이고, w_{1ij} 와 w_{2ij} 는 선박이 한 항차를 통하여 운송할 수 있는 화물과 승객의 평균

운송량이다. 그리고, m_{1ij} 와 m_{2ij} 는 각각 d_{1ij} / w_{1ij} 와 d_{2ij} / w_{2ij} 로서 수요량을 정확하게 수송하기 위해 요구되는 항차수를 나타내고 있다.

<표 2>에서는 4척의 선박을 각 경로에 투입할 경우 발생하는 화물과 승객 운임 수익에 대한 내용을 나타내고 있다.

〈표 1〉 주요 구간의 수요량과 수요량을 충족시키는 항해 횟수

구 간	(1,2)	(1,3)	(2,3)	(3,4)	(3,5)	(4,5)	(5,7)	(8,6)	(6,4)
d_{ij}	2,000	-	2,750	5,000	2,700	-	4,500	3,000	-
d_{2j}	-	5,000	5,000	-	6,300	6,000	8,000	-	5,000
w_{1j}	4	-	5	10	6	-	10	5	-
w_{2j}	-	10	10	-	15	8	16	-	10
m_{1j}	500	-	550	500	450	-	450	600	-
m_{2j}	-	500	500	-	420	750	500	-	500

〈표 2〉 화물과 승객의 운임 수익

선박 경로	화물운임수익				승객운임수익			
	1	2	3	4	1	2	3	4
1	35	34	-	34	37	35	-	35
2	-	-	38	-	-	-	45	-
3	-	34	-	35	-	35	-	35
4	35	34	-	-	37	35	-	-
5	-	-	38	35	-	-	45	35
6	36	-	-	35	37	-	-	35

〈표 3〉에서는 4척의 선박을 각 경로에 투입할 경우 발생하는 선박의 항해비용을, 〈표 4〉는 선박이 항해를 하지 않고 계산할 경우에 발생하는 계산비용에 대한 내용을 나타내고 있다.

〈표 3〉 선박의 항해비용

선박 경로	1	2	3	4
1	30	28	-	32
2	-	-	35	-
3	-	28	-	32
4	32	28	-	-
5	-	-	35	32
6	32	-	-	32

〈표 4〉 선박의 계산비용

선박	1	2	3	4
계산비용(단위당)	12	10	15	10

〈표 5〉은 선박의 한 항차에 소요되는 시간과 선

박의 1년 중 운항 가능한 일수를 나타내고 있다.

〈표 5〉 선박의 한 항차 소요시간과 연간 운항 가능한 일수

선박 경로	1	2	3	4
1	1	1	-	1
2	-	-	2	-
3	-	1	-	-
4	1	1	-	-
5	-	-	2	2
6	1	-	-	1
연간 운항가능일수	340	340	335	335

3. 목표계획모형의 도출 및 분석사례연구

3.1 한바다 페리선사의 목표계획모형

한나라 페리선사는 계획기간 동안 달성하고자 하는 목표들을 다음과 같이 설정하였다.

[목표 1]: 작년의 수익 총액인 77,000 보다 약 10% 증가한 85,000을 달성한다.

[목표 2]: 작년의 비용 총액인 30,000을 초과하지 않는다.

[목표 3]: 가능한 각 주요구간의 화물 수요량을 충족하여 준다.

[목표 4]: 가능한 각 주요구간의 승객 수요량을 충족하여 준다.

한나라 페리선사는 목표수익 총액보다 모자란 부족분과, 목표 비용액을 초과하는 비용 초과분, 그리고 실현 수송량이 각 주요 구간의 목표 수요량

보다 초과하거나 부족한 경우에 대하여 서로 다른 페널티를 부여하였다. 이를 통하여 다음 한해 동안의 최적 운항계획을 위한 목표계획모형을 다음과 같이 개발하였다.

[모형 P-II]

$$\begin{aligned} \min \quad & 1.5U_1 + U_2 + 41V_{12} + 39V_{23} + 40V_{34} \\ & + 38V_{35} + 39V_{57} + 39V_{86} + 36V_{12} \\ & + 34V_{23} + 35V_{34} + 33V_{35} + 34V_{57} + 34V_{86} \\ & + 42Z'_{13} + 40Z'_{23} + 41Z'_{35} + 39Z'_{45} + 40Z'_{57} \\ & + 40Z'_{64} + 37Z'_{13} + 35Z'_{23} + 36Z'_{35} + 34Z'_{45} \\ & + 35Z'_{57} + 35Z'_{64} \end{aligned}$$

subject to

$$\begin{aligned} & 72X_{11} + 69X_{12} + 69X_{14} + 83X_{23} + 69X_{32} + \\ & 70X_{34} + 72X_{41} + 69X_{42} + 83X_{53} + 70X_{54} + \\ & 73X_{61} + 70X_{64} + U_1 - U_1 = 85000 \\ & 30X_{11} + 28X_{12} + 32X_{14} + 35X_{23} + 28X_{32} + \\ & 32X_{34} + 32X_{41} + 28X_{42} + 35X_{53} + 32X_{54} + \\ & 32X_{61} + 32X_{64} + 12Y_1 + 10Y_2 + 15Y_3 + 10Y_4 \\ & + U_2 - U_2 = 30000 \\ & X_{11} + X_{12} + X_{14} + X_{23} + V_{12} - V_{12} = 500 \\ & X_{32} + X_{34} + Z'_{13} - Z'_{13} = 500 \\ & X_{11} + X_{12} + X_{14} + X_{23} + X_{41} + X_{42} + X_{61} + \\ & X_{64} + V_{23} - V_{23} = 550 \\ & X_{11} + X_{12} + X_{14} + X_{23} + X_{41} + X_{42} + X_{61} + \\ & X_{64} + Z'_{23} - Z'_{23} = 500 \\ & X_{11} + X_{12} + X_{14} + X_{23} + X_{61} + X_{64} + V_{34} - \\ & V_{34} = 500 \\ & X_{32} + X_{34} + X_{53} + X_{54} + V_{35} - V_{35} = 450 \\ & X_{32} + X_{34} + X_{53} + X_{54} + Z'_{35} - Z'_{35} = 420 \\ & X_{11} + X_{12} + X_{14} + X_{23} + X_{53} + X_{54} + Z'_{45} - \\ & Z'_{45} = 750 \\ & X_{11} + X_{12} + X_{14} + X_{32} + X_{34} + X_{53} + X_{54} + \\ & V_{57} - V_{57} = 450 \\ & X_{11} + X_{12} + X_{14} + X_{32} + X_{34} + X_{53} + X_{54} + \\ & Z'_{57} - Z'_{57} = 500 \\ & X_{32} + X_{34} + X_{41} + X_{42} + X_{61} + X_{64} + V_{86} - \\ & V_{86} = 600 \\ & X_{32} + X_{34} + X_{61} + X_{64} + Z'_{64} - Z'_{64} = 500 \\ & X_{11} + X_{41} + X_{61} + Y_1 = 340 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_{12} + X_{32} + X_{42} + Y_2 &= 340 \\ 2X_{23} + 2X_{53} + Y_3 &= 335 \\ X_{14} + X_{34} + X_{54} + X_{64} + Y_4 &= 335 \\ X_{rk} &\geq 0 \quad r = 1, \dots, 6, \\ Y_k &\geq 0 \quad k = 1, \dots, 4 \\ U_1, U_1, U_2, U_2 &\geq 0, \\ \text{모든 } V_{ij}, V_{ij}, Z'_{ij}, Z'_{ij} &\geq 0 \end{aligned}$$

한바다 페리선사는 페널티를 설정하는데 있어서 목표수익 달성에 가장 큰 비중을 두었고, 다음은 목표비용 달성 그리고 목표 수송량 순서로 하였다.

3.2 한바다 페리선사의 목표계획모형 결과분석 사례에 대한 [모형 P-II]을 선형계획 모형의 범용 패키지인 LINDO/PC를 이용한 결과 다음과 같이 목적함수와 제약식 변수의 값을 얻을 수 있었다.

$$\begin{aligned} U_1^* &= 8906.25, V_{23}^* = 50, V_{57}^* = 91.25, \\ V_{12}^* &= 241.25, Z'_{23}^* = 100, Z'_{35}^* = 30, \\ Z'_{57}^* &= 41.25, Z'_{13}^* = 241.25, Z'_{45}^* = 300, \\ X_{11}^* &= 91.25, X_{23}^* = 167.5, X_{32}^* = 258.75, \\ X_{41}^* &= 100, X_{54}^* = 191.25, X_{61}^* = 97.5, \\ X_{64}^* &= 143.75, Y_1^* = 51.25, Y_2^* = 81.25, \\ \text{나머지 변수들의 값} &= 0 \end{aligned}$$

이 모형의 최적 목적함수 최적값은 53559.38로 계산되었다. 이는 실제 비용이나 이익을 나타내는 수치가 아니라, 한바다 페리선사가 모든 목표를 최적으로 달성할 경우에 감수해야 하는 총 페널티의 양이다. 실제로 계산된 최적 운항이익은 수익의 목표액 85,000 보다 $U_1^* = 8,906.25$ 만큼 적은 76,093.75의 운항 수익에서 운항비용 (30,000) 및 제 비용을 제한 나머지가 될 것이다. 도출된 최적해에 의하면 각 선박을 다음과 같은 경로에 배치함으로써 최적의 목표를 달성하게 된다.

- 1번 경로 : 1번 선박(91.25 항차)
- 2번 경로 : 3번 선박(167.5 항차)
- 3번 경로 : 2번 선박(258.75 항차)
- 4번 경로 : 1번 선박(100 항차)
- 5번 경로 : 4번 선박(191.25 항차)
- 6번 경로 : 1번 선박(97.5 항차),

4번 선박(143.75 항차)

최적해에 따른 선박의 연중 운항하여야 하는 시간은 다음과 같다.

1번 선박 : 288.75일 운항 2번 선박 : 258.75일 운항
 3번 선박 : 335일 운항 4번 선박 : 335일 운항

선박이 운항하지 않고 계선하는 계선시간이 선박 1과 선박 2만 약 51일, 81일이므로 이 두 선박에 대한 추가적인 활용도가 필요하며, 최적의 항차 간격은 다음과 같다.

1번 경로 : $345 / 91.25 = 3.78$ 일
 2번 경로 : $345 / 167.5 = 2.06$ 일
 3번 경로 : $345 / 258.75 = 1.33$ 일
 4번 경로 : $345 / 100 = 3.45$ 일
 5번 경로 : $345 / 191.25 = 1.8$ 일
 6번 경로 : $345 / 241.2 = 1.43$ 일

위 결과에서 실현수익이 목표수익보다 못 미친 수익 부족분인 U_1^* 가 8906.25 만금 발생하였는데, 이익에 대한 페널티를 더 크게 할 경우 이익 부족분을 줄인 해를 얻을 수 있다.

V_{23}^* 가 50만금 발생하였다는 것은 주요 화물 수송구간 (2,3)에서 화물수요를 모두 충족하고도 50회의 항차를 더 운항하는 것이 최적이라는 의미이다. 이는 한바다 페리선사의 의사결정자로 하여금 이 지역의 마케팅 전략과 같은 방법을 통하여 화물 수요량을 늘릴 경우 추가 운항 수익을 추가 비용 없이 기대할 수 있음을 알려 준다. 반면 승객 수송구간 (4,5)의 경우는 최적운항계획을 통해서도 승객 수요보다도 적게 운항을 하게되며, 이는 선사의 전략상 상대적으로 덜 중요한 고객일 경우 문제 없이 수용할 만한 해일 것이다. 따라서 목표계획모형을 사용할 경우 주요 대상 고객이 어디인가를 전략적으로 판단하여 적절한 페널티를 모형에 반영하는 것이 중요하다.

IV. 결 론

현재까지 여객선대 운영에 관한 경영과학적 연

구는 전무하다고 할 실정이다. 그러나 본 연구의 사례연구에서 보았듯이 여객선사가 단지 몇 척의 선박만 보유하고 있더라도 그 선박의 경로선택 문제는 아주 복잡해질 수 있다. 특히 선대의 규모나 운항경로의 수가 증가할수록 적절치 않은 판단에 의한 잘못된 의사결정으로 인해 손해가 발생할 가능성은 더욱 더 높아진다.

이러한 상황에서 본 논문은 처음으로 여객선대 배치 및 경로선택 문제를 위한 최적화 의사결정모형을 제시한 논문이라고 할 수 있다. 기본적으로 정기선 상선의 경우와 유사한 점을 감안하여 기존에 제시된 정기선 모형에 승객 수송을 가미한 의사결정 모형을 제시하였다. 개발된 모형은 고정된 선대를 전제로 하여 비교적 중기의 여객선대 운항계획을 위한 모형인데, 선형계획모형의 소프트웨어를 사용하여 쉽게 최적해를 구할 수 있는 이점이 있다. 본 논문에서는 이 최적해의 경영상의 의미와 유용성을 아울러 설명하였고 가상 사례를 통하여 예시하였다. 역시 선형계획모형으로 표현되지만 경영자의 다양한 의사결정기준을 감안하여 반영할 수 있는 목표계획모형도 제시하고 분석하였다. 궁극적으로 이 논문에서 개발된 최적화 모형들을 쉽게 활용하기 위해서는, 여객선사의 데이터 베이스와 연계한 모형기반의 의사결정지원시스템 (Decision Support System)이 개발을 향후의 연구 주제로 삼을 수 있겠다.

참고문헌

Boffey, T.B., Edmond, E.D., Hinxman, A.I., and Pursglove, C.J., Two approaches to scheduling containerships with an application to North Atlantic route, *Operational Research Quarterly*, Vol. 30, 1979, pp.413-425.

Dantzig, G.B. and Fulkerson, D.R., Minimizing the number of tankers to meet a fixed schedule, *Naval Research Logistics Quarterly* 1, 1954, pp.217-222.

- Jaramillo, D.I., and Perakis, A.N., Fleet deployment optimization for liner shipping, Part 2. Implementation and results, *Maritime Policy and Management*, Vol. 18, 1991, pp.235-262.
- Olson, C.A., Sorenson, E.E. and Sullivan, W.J., Medium range scheduling for freighter fleet, *Operations Research* 17, 1969, pp.565-582.
- 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, No. 3, 1991, 183-200.
- Rana, K., and Vickson, R.G., A model and solution algorithm for optimal routing of a time-chartered containership, *Transportation Science*, Vol. 22, 1988, pp.83-95.
- Rana, K., and Vickson, R.G., Routing containerships using Lagrangean relaxation and decomposition, *Transportation Science*, Vol. 25, 1991, pp.201-214.
- Ronen, D., Cargo ships routing and scheduling: Survey of models and problems, *European Journal of Operational Research*, Vol. 12, 1983, pp.119-126.
- Ronen, D., Ship Scheduling: The last decade, *European Journal of Operational Research*, Vol. 71, 1993, pp.325-333.
- Seong-Cheol Cho and Perakis., Optimal liner fleet routing strategies, *Maritime Policy Management*, Vol. 23, No. 3, 1996, pp.249-259.