

동아시아 해운시장의 컨테이너선사 선대 운항전략: 게임이론 접근법†

박병인*

The Fleet Operating Strategies for Ocean Container Carriers in a East Asian Shipping Market: A Game Theoretic Approach

Park, Byungin

Abstract : This paper analyzes a competitive shipping market in East Asia in order to explore how container carriers make decisions on ship size, number of ships, service frequency, and service route. A sequential-move game based on non-cooperative game theory is applied to establish the models for the decision-makings involving the transportation volumes, freight rates, costs, and market shares of the service routes from Shanghai or Hong Kong to the ports in Busan, Gwangyang, and Incheon. According to the sub-game perfect Nash equilibrium solutions proposed by these models, carriers' decisions in such a competitive environment vary depending on sailing distance, transport demand, and freight rates. Therefore, carriers are recommended to reflect the optimal equilibrium solutions and a variety of decision factors when formulating strategies for transportation networks and operating fleets. Furthermore, ports should establish management strategies for these factors to provide optimal equilibrium solutions for carriers' transportation networks.

Key Words: Non-cooperative Game theory, Sequential-move Game, Sub-game Perfect Nash Equilibrium

▷ 논문접수: 2013.11.11 ▷ 심사완료: 2013.12.25 ▷ 게재확정: 2013.12.28

† 이 논문은 2012년도 전남대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

* 전남대학교 물류교통학전공 교수, bipark@chonnam.ac.kr, 061-659-7351

I. 서론

1978년 우리나라 최초의 컨테이너터미널인 BCTOC(현 부산항 허치슨터미널)가 개장된 시기 이후에도 우리나라를 비롯한 동아시아지역의 항만들은 역내화물의 급속한 증가에 따라 만성적인 항만시설의 부족을 겪었다. 이와 같은 항만시설의 부족에 따른 선박이나 화물의 지체나 혼잡을 해소하고 항만 경쟁력제고를 위하여 동아시아지역은 부산 신항, 광양항, 인천항, 상하이 양산항, 센젠항 등의 컨테이너항만을 지속적으로 개발하였다. 그러나 우리나라나 일본에서는 1990년대 이후 물동량증가 추세를 넘는 과도한 항만시설의 건설로 항만운영수입이 항만건설비용을 보전하지 못하는 등의 폐해가 나타나고 있다. 국부증진을 위해 개발된 항만이 시설의 공급초과로 원가에도 못 미치는 낮은 하역료와 고객유치를 위한 출혈적 금전 인센티브 제공 등의 추가지출로 국부소멸을 초래하고 있다. 컨테이너항만의 건설에는 막대한 자금이 소요된다. 5만 DWT급 선박을 4척 동시접안 할 수 있는 컨테이너 터미널의 건설에 대략 6~7,000억 원(약 6억\$)정도가 필요하다. 현재시점에서 우리나라는 항만 공급초과와 어려운 경제상황을 감안하여 당분간 항만의 추가 개발보다 운영효율화 전략의 활용이 우선되어야 할 것이다. 선사들도 운항수익성을 제고하는 운송네트워크를 구성해야 할 것이다.

이와 같은 목적에 비추어 본 연구에서는 동아시아 해운시장을 대상으로 비협조적 게임이론(non-cooperative game theory)을 이용한 해운네트워크 모형을 구축하고자 한다. 구체적으로는 동아시아지역에서 취항하는 선사가 선형, 항로 및 주간항차 결정을 통해 특정항만간 비용최소화 및 이익최대화 개념의 최적 운송네트워크를 구축하는 모형을 개발하고 사례를 분석하는 것이다. 동 모형을 발전시키면, 많은 다양한 컨테이너항만을 포괄하는 운송네트워크를 설계할 수 있다.

본 논문은 비협조게임이론을 활용한다. 구성된 해운네트워크에 대해 선사들이 택할 수 있는 전략을 전개형(extensive form)게임으로 구축한다. 이를 순차진행게임(sequential-move game)으로 정식화한 후 하위게임 완전 내시균형해(SPNE, subgame perfect Nash equilibrium)를 구하여 해당 해운네트워크에서 각 선사가 취할 수 있는 최적전략을 구성하고 운항전략을 분석 한다.

현재까지 해운분야에서 게임이론을 활용하여 선사의 선형, 항로 및 항차수를 동시에 결정하는 모형에 대한 연구는 발표된 것이 없다. 본 연구에서는 위에 열거한 목적을 달성하기 위해 Cullinane and Khanna(2000) 및 박병인 외(2009)의 비용모형을 참고하여 컨테이너선의 단위당 비용과 선형 별 비용을 추정한다. 이러한 값을 이용한 비협조적 게임이론모형을 통해 동아시아지역의 주요 항만과 부산, 광양 및 인천항 간의 최적 운항전략을 구축한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 관련 선행연구를 분석하며, III장에서는 게임이론 모형을 구축한다. IV장은 사례연구를 수행하며, 마지막으로 V장은 결론을 제시한다.

II. 선행연구

해상 컨테이너 운송 네트워크의 선형에 따른 경제성이나 최적선형에 대해서는 다음과 같은 연구들(Ryder and Chappell, 1980; Talley, 1990; Lim, 1994; Cullinane and Khanna, 1999, 2000; Hsu and Heih, 2007; Wong et al., 2007; Park and Min, 2013; 박병인 외, 2009)이 있다.

Lim(1994), Cullinane and Khanna(1999, 2000), 그리고 박병인 외(2009)는 운항비용과 재항시간비용으로 구성된 컨테이너선의 선형별 비용을 분석하였다. 그들은 지수 및 대수함수를 이용하여 컨테이너선의 선형에 따른 선박비용(자본비용, 운항비용, 연료비용, 운항거리 등)을 추정하였다. 설문조사 및 면담 등을 통해 구한 선사자료로 경제효과(예. 운항비용의 절감)를 평가하였다.

Ryder and Chappell (1980), Talley(1990), Hsu and Hsieh(2007), 그리고 Wong et al. (2007)는 특정항로의 최적 운항선형에 대해 연구하였다. Ryder and Chappell(1980)은 선형과 속도가 컨테이너선사의 선박선택에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 위해 서비스빈도와 수요의 제약 하에서 최적선형을 결정하는 수리모형을 개발하였다. Talley(1990)는 운항거리, 재항시간 및 운항빈도의 조합에 따라 최적 컨테이너선형이 어떻게 달라지는지를 계량경제 모형을 이용하여 분석하였다. 그는 운항거리 및 항만 재항시간이 일정한 경우 입항횟수가 증가함에 따라 최적선형이 감소하며, 운항거리 및 입항횟수가 일정한 경우는 재항시간이 늘어남에 따라 최적선형은 줄어든다는 사실을 밝혀냈다. 그리고 입항횟수와 재항시간이 일정한 경우는 운항거리가 늘어남에 따라 최적선형이 커진다는 사실을 확인했다.

Hsu and Hsieh(2007)는 컨테이너 선사들의 수리모형을 통해 특정 항만간 운항비용과 재고비용을 최소화하기 위한 최적운항경로, 선형 및 운항빈도를 결정하는 방안을 연구하였다. 그들은 운항비용과 재고비용을 결합한 2목적 모형의 트레이드오프관계를 통해 최적해를 구하였다. Wong et al. (2007)은 카오슝과 LA간의 태평양항로를 운항하는 선사에 대해 선형과 속도에 따른 비용과 수익간의 트레이드오프에 따른 최적선형문제를 연구하였다. 그들은 회귀분석과 비선형계획법에 의해 산정된 비용자료(자본비, 운영비, 연료비, 부두사용료)를 활용하였다. 한편 Park and Min(2013)은 비협조적게임이론의 동시진행게임모형(simultaneous-move game model)을 이용하여 해운네트워크에서

항로별 최적선형을 구하는 모형을 제시하고, 추가적으로 항만사용료가 선형과 항로 결정에 큰 영향을 주지 못함을 확인하였다. 열거한 다양한 항로선정 및 선형결정 연구들 중 컨테이너 운송시장별 항로와 최적선형을 결정하는데 Park and Min(2013) 외에 게임이론을 사용한 연구는 찾을 수 없다.

한편 항공의 경우 해운에 활용할 수 있을 항공기 크기와 항로에 대한 연구들이 있다. Wei and Hansen(2005)과 Wei (2006)는 최적 운항 항공기 크기에 대한 연구를 수행하였다. 이중 Wei and Hansen(2005)은 게임이론을 이용한 과점시장에서 항공기 크기 및 좌석가용률의 항공사 수요 및 시장점유율에 대한 영향연구, Wei(2006)는 게임이론을 이용한 과점시장에서 착륙료의 항공기 크기 및 서비스빈도에 대한 영향을 연구하였다. 그리고 Givoni and Rietveld(2009)는 계량 경제적 방법을 활용한 항공사의 항공기 크기 선택에 대해 연구하였다.

이상의 해운 및 항공분야 선행연구들을 살펴보면 해운분야의 Park and Min(2013)과 항공분야의 Wei and Hansen(2005), Wei(2006)를 제외한 연구들은 계량 경제적 기법을 활용하여 선사나 항공사가 선박이나 항공기의 선형을 결정할 때 일반적으로 거리, 수요, 경쟁 등으로 구성되는 항로특성에 주로 영향을 받는다는 사실을 규명하였다. 본 연구에서는 선행연구들과 달리 동아시아의 경쟁적인 해운시장에서 운송규모가 서로 다른 선사들이 총비용최소화 및 이익최대화 관점에서 비협조적 게임이론을 활용하여 선사들의 항로, 선형 및 주간항차수에 따른 최적 운항네트워크 및 선대구성 전략을 결정하는 순차적 게임모형을 구축하고 사례에 적용하여 시사점을 제시해 보고자 한다.

Ⅲ. 게임이론 모형

본 논문에서는 선사입장에서 특정항로, 선형 및 항차수를 기준으로 구성되는 최적 운송네트워크를 결정하는 운항전략을 도출하기 위한 수익 및 비용 모형과 게임이론 운항 전략 결정모형을 구축한다.

1. 가정

모형을 개발하기 위해서는 다음과 같은 가정이 필요하다:

- ① 선사들의 경쟁행위를 비협조적 비영합 게임이론모형으로 정식화 할 수 있다;
- ② 게임 상황에는 다수의 경기자들이 존재하나 본 연구는 각 항로에 두 개의 선사가 모든 화물을 운송하는 것으로 가정 한다;

- ③ 각 선사는 시장점유율이 다르며, 이에 따라 시장에서의 역할도 다르다;
- ④ 각 선사는 선형, 운항항로, 그리고 주간 항차수를 동시에 결정 한다;
- ⑤ 각 선사의 목적은 이익최대화이다;
- ⑥ 각 선사가 화주에게 부과하는 운임은 외생변수이며, 따라서 본 게임에서 요금은 전략적 의사결정 변수가 아니다;
- ⑦ 각 선사는 일반컨테이너만을 운송 한다;
- ⑧ 항만에 체선은 없다;
- ⑨ 선박은 기항 항만마다 적재화물 전체를 양하하고 적하한다.

2. 비용모형

선박의 수익성을 분석하기 위해서는 수익과 비용을 추정해야만 한다. 수익은 운임률에 의해 결정되지만 비용은 전체 시간동안의 발생비용에 의해 추정되어야만 한다. 선사의 운항항로 및 선박크기의 결정은 운항선박의 수익과 비용에 따른 수익성에 의해 결정되기 때문에 선사의 항로 및 선박크기 별 수익과 비용이 게임이론모형을 개발하기 전에 반드시 추정되어야만 한다.

선사의 운항수익은 항로당 TEU기준 운임과 운송량(TEU)으로 추정할 수 있다. 선사가 부담하는 총비용은 선박시간비용(재항시간비용과 운항시간비용), 항해비용(운항연료비용), 그리고 기타비용(항만하역료와 항만시설사용료 등)으로 구성된다. 컨테이너선의 항만하역료(본선하역료)는 일반적으로 선사가 부담하기 때문에 선사의 비용에 포함한다. 따라서 선사의 운항수익성을 분석하기 위해서는 이 세 가지 비용으로 구성된 총비용을 정확하게 추정해야만 한다.

1) 선박시간비용

선박의 비용을 선박크기별로 추정하기 위한 연구는 Goss and Mann(1977)이 있다. 그들은 선박크기에 따른 장기기회비용(시간비용)을 추정하는 데 일반적으로 활용할 수 있는 모형을 구축하였다. 먼저 컨테이너선의 재항중 일당 장기기회비용은 다음과 같이 구성할 수 있다:

$$Y = \alpha X^\beta \tag{1}$$

여기서 Y :선박 1일당 장기기회비용(LROC)

X : 선박크기(TEU)

α, β 계수

해운업계에서는 점검 및 휴식기간을 제외한 선박의 연간 통상적인 가동일수는 350일로 가정하기 때문에 일당 재항선박의 장기기회비용(LROC)은 다음 식으로 산출한다.

$$LROC = \frac{CC + OC}{350} + FC \quad (2)$$

여기서 *LROC*: 재항선박의 일당 장기기회비용

CC: 연간 자본비

OC: 연간운영비

FC: 1일 연료비

실제 선박 비용은 2009년 2월~3월 사이 국적선사들이 운항중인 선박에 대한 조사결과를 활용하였다(박병인 외, 2009). 많은 외국적선도 한국의 항만에 기항하지만 실제 비용을 조사하기 어려워 국적선사들이 운항하는 선박만을 대상으로 한 것이다. 한국선주협회 회원사(164개사)에 조사표를 발송하고 수거하여 조사한 다양한 크기의 컨테이너선에 대한 선박 비용에 경제수명 25년과 건설교통부(2007)에 제시한 사회적할인률 5.5%를 적용하였다. 이러한 비용 조사결과를 본 논문에 활용하기 위해 2012년 비용으로 환산하여 선박크기별 재항중 장기기회비용을 식(3)과 같이 추정하였다.

$$\begin{aligned} \ln(LROC) &= 5.044 + 0.602 \ln(TEU) & (3) \\ &(15.789) (12.359) \\ R^2 &= 0.927, F = 152.740 \end{aligned}$$

한편 선박이 항해시에 소요되는 항해 시간비용(장기기회비용, *LROC1*)은 식(3)에서 재항중 연료비용을 제하고 추정한다.

$$\begin{aligned} \ln(LROC1) &= 4.869 + 0.610 \ln(TEU) & (4) \\ &(13.986) (11.499) \\ R^2 &= 0.917, F = 132.233 \end{aligned}$$

2) 항해비용(운항연료비용)

항로별 연료비용에 의한 운항비용은 선박크기와 운항거리에 따라 달라진다. 항해비용은 Cullinane and Khanna(1999)의 선박크기별 마일당 항해비용에 싱가포르항을 기준으

로 한 연료유가 연평균 인상률(15.328%)을 고려하여 산정하였다.

3) 기타비용

컨테이너터미널 운영사(TOC)와 선사간 실제로 수수되는 항만하역료는 계약마다 그리고 선사마다 달라진다. 이에 국토해양부에서 발표하는 항만하역요금표상의 일반 컨테이너화물에 대한 TEU당 하역료(US 35\$/TEU)를 비용추정에 활용한다.

또한 항만에서 정부가 징수하는 항만시설사용료는 접안료, 입출항료, 정박료 등 다양한 형태로 나뉘어 있다. 본 연구에는 항만시설사용료중 대표적인 접안료와 입출항료만을 기준으로 한다.

3. 게임이론(순차진행 게임) 모형

본 논문에서 게임이론 접근법을 사용하여 해외 주요항과 우리나라 컨테이너항만간의 최적 운항선대 및 네트워크를 구성하고자 한다. 동아시아의 주요항만(상하이, 홍콩)과 우리나라의 부산항, 인천항 및 광양항을 연계하는 컨테이너 운송시장에서 선사입장의 최적 항로, 선형 및 항차수를 결정한다.²⁾ 특히 선사입장에서 부산, 광양, 그리고 인천항 중 어느 항만이나 항로를 선택 하는 것이 유리할 것인가?

실제 동아시아 항만들과 국내항만을 연결하는 여러 선사들이 있다. 이들의 시장점유율이 각각 다르기 때문에 시장의 선도자와 이를 따르는 후행자의 전략집합으로 구성되는 비협조 게임이론의 순차진행게임(sequential move game) 모형을 활용할 수 있다. 예를 들어 선사가 2개만 있다면³⁾ 다음과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 S_1, R_1, F_1 은 선사1의 운항선형, 항로 및 항차수를 나타내며, 최적선택 조합은 S_1^*, R_1^*, F_1^* 로 표기 할 수 있다. 또한 $P_1(S_1, R_1, F_1, S_2, R_2, F_2)$ 는 선사1이 S_1, R_1, F_1 을 택하고 선사2가 S_2, R_2, F_2 를 택할 경우의 이익함수를 나타낸다. 이러한 순차진행게임에서 선사의 의사결정문제는 Wei(2006) 등을 참고하여 다음 같이 정식화 할 수 있다.

$$Max_{S_1, R_1, F_1} P_1(S_1, R_1, F_1, S_2^*, R_2^*, F_2^*) \quad (5)$$

2) 더욱 큰 지역을 포괄하는 모형을 분석할 수 있지만, 현실적으로 해외 데이터를 구하기 어렵기 때문에 국내항만을 위주로 분석하나, 어렵지 않게 모형을 확장할 수 있을 것이다. 또한 선박이 국내항만을 두 곳 이상 순차적으로 기항하는 경우도 있으나 문제를 단순화하기 위해 한 지역이나 국가에서 한 곳만 기항하는 것으로 가정한다.

3) 실제로 항만마다 파레토규칙에 따라 소수의 주요선사가 대부분의 물동량을 처리하기 때문에 소수의 선사로 간략화해도 전체 상황을 묘사하는데 큰 무리는 없다. 그러나 기항선사수도 어렵지 않게 확장 시킬 수 있다.

$$\text{s.t.}(S_2^*, R_2^*, F_2^*) = \max_{S_2, R_2, F_2} P_2(S_1, R_1, F_1, S_2, R_2, F_2) \quad (6)$$

여기서 S_1, S_2 : 선박크기

R_1, R_2 : 서비스 항로

F_1, F_2 : 주간 항차수

$P_1(), P_2()$: 선사의 이익함수

시장점유율을 기준으로 특정선사가 시장에서 우위에 있는 상황이라면, 한 선사가 다른 선사보다 우선적으로 의사결정을 할 가능성이 높다. 반면 두 번째 선사는 첫 번째 선사의 선택을 관찰한 후 의사결정을 하게 된다. 이때 첫 번째 선사는 자신의 의사결정에 근거하여 두 번째 선사가 최적선택을 할 것이라는 사실을 인식하면서 선형, 항로 및 항차수 모두의 최적결정을 할 것이다. 즉, 선사1의 최적결정은 선사1의 선택에 대응한 선사2 의사결정의 대응을 감안하여 식(5) 및 (6)과 같이 구할 수 있다.

이러한 문제를 풀기 위해서는 먼저 선사2의 하위최적화문제를 해결한다. 선사2의 의사결정이 선사1의 선택에 달려있음을 보여주기 위해 제약(6)을 선사2의 최적화 문제 해의 형태로 나타낼 수 있다:

$$\{S_2^*(S_1, R_1, F_1), R_2^*(S_1, R_1, F_1), F_2^*(S_1, R_1, F_1)\} = \max_{S_2, R_2, F_2} P_2(S_1, R_1, F_1) \quad (7)$$

다음에 선사1의 최적화문제에 대한 선사2의 대응결과를 대입하여 구성되는 최적해문제를 풀면 선사1의 최적선택을 얻을 수 있다:

$$(S_1^*, R_1^*, F_1^*) = \max_{S_1, R_1, F_1} P_1\{S_1, R_1, F_1, S_2^*(S_1, R_1, F_1), R_2^*(S_1, R_1, F_1), F_2^*(S_1, R_1, F_1)\} \quad (8)$$

위의 최적화문제에는 각 선사마다 하위게임이 하나씩 존재한다. 내시균형(NE)의 정의와 속성이 각 하위게임에서도 계속 적용되는 하위게임 완전내시균형(sub-game perfect nash equilibrium, SPNE)의 형태를 사용할 수 있다. 선사 1과 선사 2 하위게임에 대한 내시균형전략은 각각 (S_1^*, R_1^*, F_1^*) 과 $\{S_2^*(S_1, R_1, F_1), R_2^*(S_1, R_1, F_1), F_2^*(S_1, R_1, F_1)\}$ 으로 나타낼 수 있다. 두 선사와 두 하위게임에 대한 하위게임 완전내시균형전략(SPNE)은 선사1이 먼저 (S_1^*, R_1^*, F_1^*) 을 선택할 경우 $\{(S_1^*, R_1^*, F_1^*); (S_2^*(S_1, R_1, F_1), R_2^*(S_1, R_1, F_1), F_2^*(S_1, R_1, F_1))\}$ 과 같이 표기할 수 있다.

하위게임 완전균형전략에 근거해 두 선사들이 택할 최종행동전략은 선사1의 행동이 전략(8)에 직접적으로 나타나는 경우는 $\{(S_1^*, R_1^*, F_1^*); (S_2^*, R_2^*, F_2^*)\}$ 이며, 선사2의 행동전략은 식(7)에서 선사1의 일반전략을 최적전략으로 교체하여 다음과 같이 나타낼 수 있

다:

$$\begin{aligned} (S_2^*, R_2^*, F_2^*) &= \{S_2^*(S_1^*, R_1^*, F_1^*), R_2^*(S_1^*, R_1^*, F_1^*), F_2^*(S_1^*, R_1^*, F_1^*)\} \\ &= \max_{S_2, R_2, F_2} P_2(S_1^*, R_1^*, F_1^*, S_2, R_2, F_2) \end{aligned} \quad (9)$$

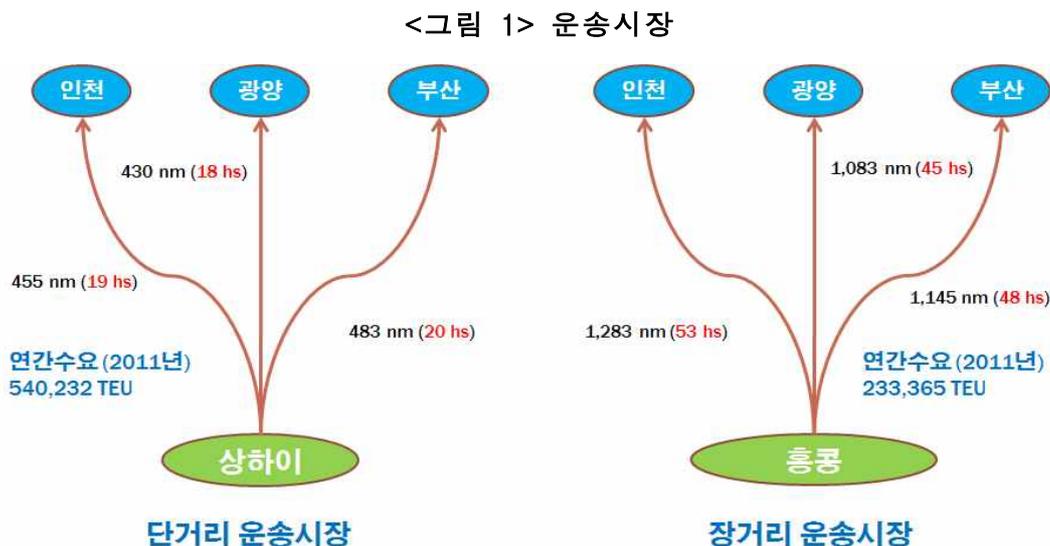
하위게임 완전내시균형(SPNE)전략으로부터의 최종결과들은 각 선사가 택할 최적행동을 나타낸다. 이 문제를 풀면 본 연구에 필요한 선사별 최적해를 구할 수 있게 된다.

IV. 사례연구

1. 기본자료

구축한 모형을 운송항로의 사례에 적용하기 위해 <그림 1>과 같이 운송거리를 기준으로 두개의 시장을 구성하였다. 이 중 운송거리 약400마일수준의 근거리운송시장은 상하이항으로부터 국내의 부산(BS), 광양(GY) 및 인천항(IC)으로 이루어진 항로이다. 상하이항으로부터 부산항까지 컨테이너선의 대략적인 운항거리와 소요시간은 483nm (20hs), 광양항 430nm (18hs), 그리고 인천항 455nm (19hs)이다. 또한 약1100마일수준의 원거리운송시장은 홍콩항으로부터 국내의 같은 3개항으로 운송되는 항로이다. 홍콩항으로부터 부산항까지 운항거리와 소요시간은 1,145nm (48hs), 광양항 1,083nm (45hs), 그리고 인천항 1,283nm (53hs)이다.

이들 항만간 물동량은 2011년의 상하이항과 홍콩항으로부터의 실제 수입물량을 사용



한다. 2011년 기준 상하이항으로부터의 수입물량은 540,232 TEU이었으며, 홍콩항으로부터의 수입물량은 233,365 TEU이었다. 상하이항으로 부터의 화물 총운항선사는 68개 이고 홍콩항으로 부터는 43개 선사였다. 운송선사가 너무 많기 때문에 문제를 단순화 하기 위해 단거리 항로에 취항하는 선사들중 물량의 11%이상을 운송하는 상위 2개 선사(C1과 C2), 그리고 원거리항로에 대해서는 물량의 12%이상을 운송하는 상위 2개 선사(C1*와 C2*)를 선정하여 각 시장의 물동량을 두 선사가 전부 다 운송하는 것으로 가정하였다.⁴⁾ 또한 정기선이라는 컨테이너선의 운항특성을 감안하여 주간서비스 형태를 분석하기 위해 연간화물량도 주간으로 환산하였다.⁵⁾ 이들 두선사의 운송요금은 특정선사의 2012년 7월 실제운임을 기준으로 한다. 다른 요인들은 역사적인 데이터나 요율표(tariffs)를 사용한다. 본 연구에서 사용한 대미환율은 1,142원/\$이다.

두 시장에 대한 기본 데이터는 <표 1>과 같다. 2012년 국토해양부의 하역요율표(tariff)에 따르면 항만의 컨테이너 하역료는 TEU당 35달러(39,971원)로 전체 항만이 동일하다. 실제 항만마다 수수하는 하역료는 변동이 심하고 화주와의 계약 마다 달라지기

<표 1> 양대 시장의 실제 운송수요기준 기초자료

구분	단거리 시장(출항지: 상하이)			장거리 시장(출항지: 홍콩)			
	부산(B)	광양(G)	인천(I)	부산(B)	광양(G)	인천(I)	
목적항							
거리(nm)	483	430	455	1,145	1,083	1,283	
하역료(\$/TEU)*	35	35	35	35	35	35	
운임(\$)	240	240	320	280	280	330	
선형	1,400TEU급 (천\$) [#]	131.8/17.6/ 4.2	117.3/16.6/ 4.2	124.1/17.1/ 4.2	312.4/30.0/ 3.2	295.5/28.9/ 3.2	350.0/32.6/ 3.2
	2,200TEU급 (천\$) [#]	170.9/25.6/ 5.8	152.2/24.3/ 5.8	161.0/24.9/ 5.8	405.2/42.0/ 4.5	383.2/40.4/ 4.5	454.0/45.4/ 4.5
	3,000TEU급 (천\$) [#]	199.2/33.0/ 7.2	177.4/31.4/ 7.2	187.7/32.1/ 7.2	472.3/52.7/ 5.7	446.7/50.9/ 5.7	529.2/56.8/ 5.7

자료: 국토해양부(2012), 「항만하역요금표」; 박병인 외(2009)를 2012년 기준 환산

주:*요율표상의 컨테이너 하역요율

#단방향 운항비용/단방향 항차시간비용/항만사용료

- 주당 실제수요: 단거리항로(5,590 TEU(C1사); 5,125 TEU(C2사))

장거리항로(3,212 TEU(C1*사); 1,455 TEU(C2*사))

- 4) 2011년 자료에 따르면 상하이항으로 부터의 실제 수입화물 점유율은 장금상선(65,866.4 TEU, 12.2%), 머스크라인(61,451.5 TEU, 11.4%) 순이었다. 또한 홍콩항으로 부터는 머스크라인(64,929.5 TEU, 27.8%), 고려해운(29,417 TEU, 12.6%) 순이었다. 가정에 따라 선사별 운송량을 할당해보니 상하이항 기준 C1사(279,482.5 TEU, 51.7%), C2사(260,749.5 TEU, 48.3%)이며, 홍콩항 기준 C1*사(160,602.4 TEU, 68.8%), C2*사(72,762.6 TEU, 31.2%)였다.
- 5) 일반적으로 활용되는 수리 및 점검 등에 소요되는 일수를 제외한 연중 350일의 선박운항일 수를 감안하여 1년을 50주로 간주한다.

때문에 본 논문은 하역요율표 자료를 사용하였다. 선사자료를 조사한 2012년 7월 기준 유류할증료(BAF) 및 환율할증료(CAF)가 포함된 운송요율에 따르면 단거리항로인 상하이로부터의 TEU당 운송요금은 부산 및 광양이 240달러, 인천이 320달러였다. 또한 장거리항로인 홍콩으로부터의 TEU당 운송운임은 부산 및 광양이 280달러, 인천이 330달러였다. 이러한 낮은 운임수준은 2008년 미국발 세계적인 경기침체와 EU발 경제위기로 해상운임이 크게 하락한 결과이다.

주간 항차수는 시장별 운송 화물량을 운송하기 위해 필요한 각 선형의 항차수를 계산한 것이다. 본 논문에서는 선사마다 충분한 선박들을 보유하며, 각 선박은 운항효율을 높이기 위해 열거한 항로를 운항하고 남은 시간은 다른 항로를 추가적으로 운항하는 것으로 가정하였다.

본 연구에서 분석하는 항로가 피더항로이기 때문에 3,000 TEU급의 피더선을 최대로 1,400 TEU급부터 3,000 TEU급까지 매 200 TEU마다의 9개 선형에 대해 분석한다.⁶⁾ 선형별 항해비용은 선형별 항로의 편도 운항 연료비용을 추정한 것이다. 이는 특정항로에 운항하는 선박크기(TEU기준)별로 운항거리(nm)에 기준비용(cost per TEU-mile)을 곱하여 산정하였다. 이에 따르면 상하이항-부산항간 편도 운항비용은 1,400 TEU급이 131.8천달러, 2,200 TEU급이 170.9천달러, 그리고 3,000 TEU급은 199.2천달러로 산정되었다. 선형별 총시간비용은 식(3)과 (4)를 이용한 재항시간비용과 운항시간비용을 합하여 산정하였다. 상하이항-부산항간 편도 항차당 총시간비용은 1,400 TEU급이 17.6천달러, 2,200 TEU급이 25.6천달러, 그리고 3,000TEU급은 33.0천달러로 산정되었다.

하역요금은 요율표의 TEU당 하역요금 35달러에 주간 운송수요를 곱하여 산정하였다. 마지막으로 선박의 항만사용료는 항만시설사용료중 가장 대표적인 선박입출항료와 접안료만을 계산한 것이다. 국토해양부(2012)에 따르면 선박입출항료는 선박 1회 입출항 당 0.112 달러/톤, 접안료는 외항선의 경우 기본료 (0.298 달러/10톤·12시간)와 초과사용료 (0.025 달러/10톤·1시간), 내항선의 경우 기본료 (0.100 달러/10톤·12시간)와 초과사용료(0.008 달러/10톤·1시간) 형태로 부과된다(<표 1> 참조).

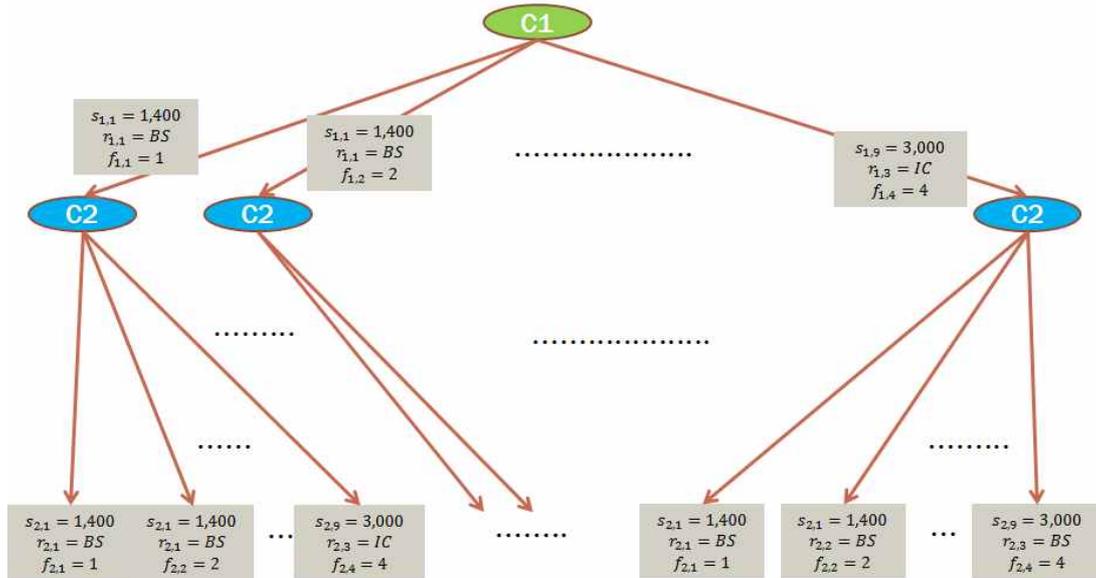
2. 게임이론 분석

1) 전개형 게임 모형

선사가 결정할 선형, 운항항로, 그리고 항차의 조합은 다음과 같이 표현할 수 있다.

6) 장거리항로에서 C2*의 운송요구 물량이 1,455 TEU이기 때문에 운항선박의 최소선형을 1,400 TEU로 하였다. 최대선형 3,000 TEU는 피더선의 최대선형 기준을 사용하였다.

<그림 2> 전개형 게임



선택가능한 선행은 s_{ij} , 항로는 r_{ik} , 그리고 항차는 f_{il} 로 나타낼 수 있다. 여기서 i 는 선사, j 는 선행, k 는 취항항로, 그리고 l 은 주간 운항항차이다.

이러한 게임은 <그림 2>와 같이 게임나무(game tree)라고도 불리는 전개형 게임(extensive form) 모형으로 나타낼 수 있다. 전개형 게임의 각 마디는 게임의 상태를 나타낸다. 항로 집합에서 C1은 선사1의 선택안 108가지(=선행종류 9 × 항로 3 × 항차 4)를 나타내고 C2는 C1의 선택에 대응한 선사C2의 선택이다. C1이 어떠한 대안을 선택하든 C2의 경우도 108가지 대안을 고려할 수 있다. 이러한 순차진행게임의 경우 이용 가능한 총가용 전략은 108×108^{108} 개가 된다. 이와 같이 극히 많은 조합들중 최적해를 찾기는 매우 어렵다. 다행스럽게도 이 같은 경우는 선사마다 의사결정을 분리한 하위게임 내시균형해를 구하게 되면 그것이 바로 전체의 최적해가 된다.⁷⁾

이와 같은 선택대안과 전개형게임의 형태는 단거리 및 장거리항로 집합 모두 동일하게 구성할 수 있다. <그림 2>의 윗부분은 선사1의 선택들이고, 아랫부분은 선사1의 선택에 대응한 선사2의 선택들이다. 선사2는 전략을 결정하기 전에 선사1이 어떠한 결정을 할지에 대한 충분한 정보를 갖고 있기 때문에 선사1의 가능한 선택에 근거하여 의사결정을 한다. 이 게임에서 선사2의 결정은 선사1이 수행한 모든 가능한 의사결정에

7) 본 사례를 동시진행게임으로 간주했을 경우의 전략조합은 11,664개(=108×108)인데 비해, 순차진행게임의 전략조합은 108×108^{108} 개로 최적전략을 구하기 극히 어렵다. 그러나 사례와 같이 운임이 외생적으로 결정되며, 선사의 시장점유율이 일정한 경우는 각 선사의 내시균형해인 하위게임 완전내시균형해가 바로 최적해가 되기 때문에 간편하게 해를 구할 수 있다.

대한 반응들이다.

2) 내시균형해

2011년의 물동량을 기준으로 할 때 단거리 시장과 장거리시장에 대한 내시균형해는 다음과 같다. 사례분석에서는 2011년 실제물동량을 기준으로 상하이항으로부터의 주간 10,858 TEU 및 홍콩항으로부터의 주간 4,667 TEU의 경우에 대해 전체 3개 항로와 운임이 동일한 부산 및 광양항 항 2개 항로에 대해 각각 분석하였다(<표 2> 참조).

첫째, 2011년의 3개 항로를 기준으로 할 때 단거리 항로에 대한 선사1과 2의 내시균형해 조합은 $[(s_1^* = 2,800, r_1^* = 455(I), f_1^* = 2), (s_2^* = 2,800, r_2^* = 455(I), f_2^* = 2)]$ 이다. 즉, 선사1은 소석률 99.8%의 2,800 TEU급 컨테이너선을 상하이-인천 항로에 매주 2항차 운항하는 것이 최선이며, 이에 대응한 선사2는 소석률 93.1%의 같은 2,800 TEU급 컨테이너선을 동일한 항로에 매주 2항차의 동일한 방식으로 운항하는 것이 최적전략으로 분석되었다. C1 및 C2 각 선사의 운항이익은 각각 1,158.5천달러와 1,054.2천달러로 추정된다. 장거리항로 최적해 조합은 $[(s_1^* = 1,800, r_1^* = 1,283(I), f_1^* = 2), (s_2^* = 1,600, r_2^* = 1,283(I), f_2^* = 1)]$ 이다. 즉, 선사1은 소석률 89.2%의 1,800 TEU급 컨테이너선을 상하이-인천 항로에 매주 2항차 운항하는 것이 최선이며, 이에 대응한 선사2는 소석률 91.0%의 같은 1,600 TEU급 컨테이너선을 동일한 항로에 매주 1항차 운항하는 것이 최적전략으로 분석되었다. 선사별 운항이익은 각각 52.8천달러와 12.2천달러의 매우 낮은 상황으로 추정된다.

둘째, 동일 운임의 영향을 비교하기 위해 부산과 광양항 두항로만을 고려하면, 단거리항로의 내시균형해는 $[(s_1^* = 2,800, r_1^* = 430(G), f_1^* = 2), (s_2^* = 2,800, r_2^* = 430(G), f_2^* = 2)]$ 였다. 즉, 선사1은 소석률 99.8%의 2,800 TEU급 컨테이너선을 상하이-광양 항로에 매주 2항차 운항하는 것이 최선이며, 이에 대응한 선사2는 소석률 93.1%의 동일한 2,800 TEU급 컨테이너선을 동일 항로에 동일 항차 운항하는 것이 최적전략으로 분석되었다. C1 및 C2 각 선사의 운항이익은 각각 732.7천달러와 658.5천달러로 추정된다. 또한 장거리항로 선사별 내시균형해는 $[(s_1^* = 1,800, r_1^* = 1,083(G), f_1^* = 2), (s_2^* = 1,600, r_2^* = 1,083(G), f_2^* = 1)]$ 로 산정되었다. 즉, 선사1은 소석률 89.2%의 1,800 TEU급 컨테이너선을 상하이-광양 항로에 매주 2항차 운항하는 것이 최선이며, 이에 대응한 선사2는 소석률 91.0%의 1,600 TEU급 컨테이너선을 동일한 항로에 매주 1항차 운항하는 것이 최적전략으로 분석되었다. 각 선사의 운항이익은 각각 27.6천달러와 2.6

천달러 수준에 불과할 것으로 추정된다.

<표 2> 내시 균형해

구 분	3개항 기준				2개항 기준				
	단거리 항로		장거리 항로		단거리 항로		장거리 항로		
	C1사	C2사	C1*사	C2*사	C1사	C2사	C1*사	C2*사	
출발항	상하이		홍콩		상하이		홍콩		
1) 전체항 항만사용료 부과									
소석률(%)	99.8%	93.1%	89.2%	91.0%	99.8%	93.1%	89.2%	91.0%	
수요(TEU)	5,590	5,215	3,312	1,455	5,590	5,215	3,312	1,455	
원가(천\$)	630.2	614.6	1,007.2	468.1	608.8	593.1	871.8	404.9	
수익(천\$)	1,788.7	1,668.8	1,060.0	480.2	1,341.5	1,251.6	899.4	899.4	
이익(천\$)	1,158.5	1,054.2	52.8	12.2	732.7	658.5	27.6	2.6	
내시 균형 전략	선형	2,800	2,800	1,800	1,600	2,800	2,800	1,800	1,600
	항로	인천	인천	인천	인천	광양	광양	광양	광양
	항차(주)	2	2	2	1	2	2	2	1
2) 광양항 항만사용료 면제									
소석률(%)	99.8%	93.1%	89.2%	91.0%	99.8%	93.1%	89.2%	91.0%	
수요(TEU)	5,590	5,215	3,312	1,455	5,590	5,215	3,312	1,455	
원가(천\$)	630.2	614.6	1,007.2	468.1	598.5	583.1	865.7	402.2	
수익(천\$)	1,788.7	1,668.8	1,060.0	480.2	1,341.5	1,251.6	899.4	407.5	
이익(천\$)	1,158.5	1,054.5	52.8	12.2	743.0	668.5	33.7	5.3	
내시 균형 전략	선형	2,800	2,800	1,800	1,600	2,800	2,800	1,800	1,600
	항로	인천	인천	인천	인천	광양	광양	광양	광양
	항차(주)	2	2	2	1	2	2	2	1

마지막으로 특정항만에 항만사용료(입출항료 및 접안료)를 면제할 경우 선형, 항로 및 주간 항차에 따른 전략대안이 달라지는지를 분석한 결과 단거리항로와 장거리항로 시장 모두 항만사용료 감면의 효과가 나타나지 않았다. 이는 Park and Min(2013)에서 접안료와 선형 간격 1,000TEU에 대해 분석한 경우 효과가 나타나지 않은 것이 선형간격을 더 작게(200 TEU)하고 입출항료까지 포함하여도 전략이 달라지지 않아 항만시설 사용료의 감면전략이 선사의 운항전략을 수정할 정도는 아님을 다시한번 확인하였다. 추가적인 분석에 따르면 단거리항로의 경우 선박입출항료와 접안료를 포함한 현행수준에 비해 40배, 장거리항로의 경우는 4배 이상 항만사용료 수준이 높아질 경우 선사들의 전략을 변경시킬 수 있기 때문에 항만사용료 감면정책은 큰 효과를 보기 어려운 것이다.

3) 민감도 분석

본 사례 분석에서 내시균형해의 견고성(robustness) 여부를 확인하기 위해 민감도 분석을 수행하였다. 민감도분석을 위한 운임, 연료유가, 항만하역료, 그리고 물동량 등 요인의 변동 수준은 다음과 같이 설정하였다.

① 운임인상(10%; 20%): 2008년 하반기부터 나타난 미국발 세계적인 경제위기는 해상운임을 크게 하락시켰다. 따라서 현재 기준대비 10%와 20%의 운임인상의 영향을 분석하였다.

② 연료유가 변동(10% 인상; 10% 인하): 세계적인 경기침체에도 불구하고 유가는 지속적으로 상승하고 있다. 이와 같은 영향을 분석하기 위해 연료유가의 10% 인상 및 인하 효과를 고려하였다.

③ 항만하역료 인상(50%; 100%; 150%; 광양항, 50%, 부산항 및 인천항, 150%) : 우리나라 항만은 수요대비 과도한 하역능력 공급으로 인해 항만기업들이 어려움을 토로하고 있다. 동아시아지역의 주요 항만 대비 항만하역료가 대략 30~40% 수준임을 감안하여 항만하역료의 인상 효과를 분석하였다.

④ 물동량 증가(10%): 물동량의 지속적 증가경향을 감안하여 물동량 증가 효과를 분석하였다.

⑤ 요인 종합 변동(운임 20% 인상; 연료유가 10% 인하; 하역료 50%(광양항), 150%(부산항 및 인천항) 인상; 시설사용료(20% 인상); 물동량 10% 증가)을 고려하였다.

요인들의 변동에 따른 최적해의 민감도 분석결과는 다음과 같다(<표 3A, B> 참조).

첫째, 운임인상에도 전략이 변경되지 않았다. 항로별 운임이 10%와 20%씩 인상될 경우에도 현행의 최적전략은 변동되지 않고 게임값(payoff)만 증가한다. 운임 10%증가의 경우 단거리 및 장거리 항로 각각에 대한 선사1과 2의 이익은 (1,337.3천달러, 1,221.1천달러)와 (158.8천달러, 60.2천달러)이다. 또한 운임이 20% 증가할 때 단거리 및 장거리 항로 각각에 대한 선사1과 2의 이익은 (1,516.2천달러, 1,388.0천달러)와 (264.8천달러, 108.2천달러)로 비례적으로 증가할 뿐이다.

둘째, 연료유가 등락의 영향도 선사의 운항전략을 변경시키지 못하는 것으로 나타났다. 연료유가가 10% 상승 및 10% 하락될 경우에도 현행의 최적전략은 변동되지 않고 게임값(payoff)만 변동한다. 연료유가 10% 상승의 경우 단거리 및 장거리 항로 각각에 대한 선사1과 2의 이익은 (1,122.1천달러, 1,017.9천달러)와 (-28.5천달러, -25.8천달러)이다. 또한 연료유가가 10% 하락할 때 단거리 및 장거리 항로 각각에 대한 선사1과 2의 이익은 (1,194.8천달러, 1,094.6천달러)와 (134.1천달러, 50.1천달러)로 비례적인 감소와 증가가 나타날 뿐이었다.

셋째, 항만하역료의 인상을 전체 항만에 같은 수준으로 하면 선사의 운항전략을 변경

한국항만경제학회지 2013 제29권 제4호, 73-95.

시키지 않는 것으로 나타났다. 항만하역료가 국토해양부(2012)에 비해 전체항만에 50%, 100%, 그리고 150% 인상될 경우 선사 운항전략에의 영향은 나타나지 않았다. 항만하

<표 3A> 민감도 분석 내시 균형해

구 분	3개항 기준				2개항 기준				
	단거리 항로		장거리 항로		단거리 항로		장거리 항로		
	C1사	C2사	C1*사	C2*사	C1사	C2사	C1*사	C2*사	
출발항	상하이		홍콩		상하이		홍콩		
1) 운임 10% 인상									
소석률(%)	99.8%	93.1%	89.2%	91.0%	99.8%	93.1%	89.2%	91.0%	
수요(TEU)	5,590	5,215	3,312	1,455	5,590	5,215	3,312	1,455	
이익(천\$)	1,337.3	1,221.1	158.8	60.2	866.9	783.6	117.6	43.4	
내시 균형 전략	선형	2,800	2,800	1,800	1,600	2,800	2,800	1,800	1,600
	항로	인천	인천	인천	인천	광양	광양	광양	광양
	항차(주)	2	2	2	1	2	2	2	1
2) 운임 20% 인상									
소석률(%)	99.8%	93.1%	89.2%	91.0%	99.8%	93.1%	89.2%	91.0%	
수요(TEU)	5,590	5,215	3,312	1,455	5,590	5,215	3,312	1,455	
이익(천\$)	1,516.2	1,388.0	264.8	108.2	1,001.0	908.8	207.5	84.1	
내시 균형 전략	선형	2,800	2,800	1,800	1,600	2,800	2,800	1,800	1,600
	항로	인천	인천	인천	인천	광양	광양	광양	광양
	항차(주)	2	2	2	1	2	2	2	1
3) 연료유가 10% 인상									
소석률(%)	99.8%	93.1%	89.2%	91.0%	99.8%	93.1%	89.2%	91.0%	
수요(TEU)	5,590	5,215	3,312	1,455	5,590	5,215	3,312	1,455	
이익(천\$)	1,122.1	1,017.9	-28.5	-25.8	698.3	624.1	-41.0	-29.4	
내시 균형 전략	선형	2,800	2,800	1,800	1,600	2,800	2,800	1,800	1,600
	항로	인천	인천	인천	인천	광양	광양	광양	광양
	항차(주)	2	2	2	1	2	2	2	1
4) 연료유가 10% 인하									
소석률(%)	99.8%	93.1%	89.2%	91.0%	99.8%	93.1%	89.2%	91.0%	
수요(TEU)	5,590	5,215	3,312	1,455	5,590	5,215	3,312	1,455	
이익(천\$)	1,194.8	1,094.6	134.1	50.1	767.1	692.8	96.2	34.6	
내시 균형 전략	선형	2,800	2,800	1,800	1,600	2,800	2,800	1,800	1,600
	항로	인천	인천	인천	인천	광양	광양	광양	광양
	항차(주)	2	2	2	1	2	2	2	1
5) 하역료 50% 인상									
소석률(%)	99.8%	93.1%	89.2%	91.0%	99.8%	93.1%	89.2%	91.0%	
수요(TEU)	5,590	5,215	3,312	1,455	5,590	5,215	3,312	1,455	
이익(천\$)	1,060.7	963.0	-3.4	-13.3	634.9	567.2	-28.6	-22.8	
내시 균형 전략	선형	2,800	2,800	1,800	1,600	2,800	2,800	1,800	1,600
	항로	인천	인천	인천	인천	광양	광양	광양	광양
	항차(주)	2	2	2	1	2	2	2	1

<표 3B> 민감도 분석 내시 균형해

구 분	3개항 기준				2개항 기준				
	단거리 항로		장거리 항로		단거리 항로		장거리 항로		
	C1사	C2사	C1*사	C2*사	C1사	C2사	C1*사	C2*사	
출발항	상하이		홍콩		상하이		홍콩		
6) 하역료 100% 인상									
소석률(%)	99.8%	93.1%	89.2%	91.0%	99.8%	93.1%	89.2%	91.0%	
수요(TEU)	5,590	5,215	3,312	1,455	5,590	5,215	3,312	1,455	
이익(천\$)	962.8	871.7	-59.6	-38.8	537.1	475.9	-84.8	-48.3	
내시 균형 전략	선형	2,800	2,800	1,800	1,600	2,800	2,800	1,800	1,600
	항로	인천	인천	인천	인천	광양	광양	광양	광양
	항차(주)	2	2	2	1	2	2	2	1
7) 하역료 150% 인상									
소석률(%)	99.8%	93.1%	89.2%	91.0%	99.8%	93.1%	89.2%	91.0%	
수요(TEU)	5,590	5,215	3,312	1,455	5,590	5,215	3,312	1,455	
이익(천\$)	865.0	780.5	-115.8	-64.2	439.3	384.7	-141.0	-73.8	
내시 균형 전략	선형	2,800	2,800	1,800	1,600	2,800	2,800	1,800	1,600
	항로	인천	인천	인천	인천	광양	광양	광양	광양
	항차(주)	2	2	2	1	2	2	2	1
8) 하역료 50%(광양), 150%(부산 및 인천) 인상									
소석률(%)	99.8%	93.1%	89.2%	91.0%	99.8%	93.1%	89.2%	91.0%	
수요(TEU)	5,590	5,215	3,312	1,455	5,590	5,215	3,312	1,455	
이익(천\$)	865.0	780.5	-28.6	-22.8	634.9	567.2	-28.6	-22.8	
내시 균형 전략	선형	2,800	2,800	1,800	1,600	2,800	2,800	1,800	1,600
	항로	인천	인천	광양	광양	광양	광양	광양	광양
	항차(주)	2	2	2	1	2	2	2	1
9) 물동량 10% 증가									
소석률(%)	93.2%	95.6%	98.1%	88.9%	93.2%	95.6%	98.1%	88.9%	
수요(TEU)	6,149	5,737	3,533	1,601	6,149	5,737	3,533	1,601	
이익(천\$)	1,185.8	1,185.9	145.4	24.9	722.3	749.1	104.2	12.6	
내시 균형 전략	선형	2,200	3,000	1,800	1,800	2,200	3,000	1,800	1,800
	항로	인천	인천	인천	인천	광양	광양	광양	광양
	항차(주)	3	2	2	1	3	2	2	1
10) 운임(20 인상), 연료유가(10% 인하), 하역료(광양, 50%; 기타항 150% 인상), 물동량 (10% 증가), 항만사용료(20% 인상)									
소석률(%)	93.2%	95.6%	98.1%	88.9%	93.2%	95.6%	98.1%	88.9%	
수요(TEU)	6,149	5,737	3,533	1,601	6,149	5,737	3,533	1,601	
이익(천\$)	1,302.5	1,287.2	307.6	107.9	953.2	957.4	307.6	107.9	
내시 균형 전략	선형	2,200	3,000	1,800	1,800	2,200	3,000	1,800	1,800
	항로	인천	인천	광양	광양	광양	광양	광양	광양
	항차(주)	3	2	2	1	3	2	2	1

역료 50% 인상의 경우 단거리 및 장거리 항로 각각에 대한 선사1과 2의 이익은

(1,060.7천달러, 963.0천달러)와 (-3.4천달러, -13.3천달러)이다. 100% 인상의 경우 단거리 및 장거리 항로 각각에 대한 선사1과 2의 이익은 (962.8천달러, 871.7천달러)와 (-59.6천달러, -38.8천달러)였다. 또한 150% 인상의 경우 단거리 및 장거리 항로 각각에 대한 선사1과 2의 이익은 (865.0천달러, 780.5천달러)와 (-115.8천달러, -64.2천달러)로 비례적으로 감소되었다. 그러나 항만간 항만하역료 인상율을 달리하여 광양항 50% 인상, 부산항과 인천항에 150% 인상할 경우 장거리 항로의 현행 최적전략이 변경되었다. 즉, 단거리항로의 경우 선사1과 2의 이익이 (865.0천달러, 780.5천달러)와 (-28.6천달러, -22.8천달러)로 비례적으로 감소되었다. 장거리 항로에서는 기존 인천항 항로가 선사 1의 경우 1,800 TEU급 선박을 홍콩-광양항에 주간 2항차, 선사2의 경우도 1,600 TEU급 선박을 홍콩-광양항에 주간 1항차 운항하는 것이 최적으로 수정되었으며 각 선사의 게임값은 (-28.6천달러, -22.8천달러)로 추정되었다.

넷째, 물동량 증가의 영향은 전략을 변경 시키는 것으로 나타났다. 항로별 물동량이 10%씩 증가될 경우에도 현행 최적전략은 변경되었다. 이 때 선사 C1과 C2에 대한 단거리항로의 최적해는 각각 $[(s_1^* = 2,200, r_1^* = 445(I), f_1^* = 3), (s_2^* = 3,000, r_2^* = 455(I), f_2^* = 2)]$ 으로 산정되었다. 물동량 10% 증가는 운항항로를 그대로 두고 운항선형이나 운항항차를 늘려주었으며 선사 이익도 각각 (1,185.8천달러, 1,185.9천달러)로 소석률이 높아진 선사2의 경우가 더 크게 늘어날 것으로 추정되었다. 한편 선사들 각각의 장거리 항로 최적해는 $[(s_1^* = 1,800, r_1^* = 1,283(I), f_1^* = 2), (s_2^* = 1,800, r_2^* = 455(I), f_2^* = 1)]$ 로 선사1의 전략은 변경되지 않고 선사2의 선형만 증가시키는 전략으로 수정되었다. 그러나 선사1과 2의 게임값은 (145.4천달러, 24.9천달러)로 소석률 증대와 선형 대형화를 반영하여 증가되었다.

마지막으로 요인 종합 변동(운임 20% 인상; 연료유가 10% 인하; 하역료 50%(광양항), 150%(부산항 및 인천항) 인상; 시설사용료(20% 인상); 물동량 10% 증가)의 영향은 운항선사의 전략을 단거리 및 장거리항로에서 모두 변경시켰다. 먼저 선사의 단거리 항로 최적해는 각각 $[(s_1^* = 2,200, r_1^* = 445(I), f_1^* = 3), (s_2^* = 3,000, r_2^* = 455(I), f_2^* = 2)]$ 으로 산정되었다. 이는 운항항로는 그대로 두고 운항선형이나 운항항차를 늘려주었으며 선사 이익은 각각 (1,302.5천달러, 1,287.2천달러)로 소석률이 크게 높아진 선사2의 경우 더 크게 늘어날 것으로 분석되었다. 한편 장거리항로 최적해는 각각 $[(s_1^* = 1,800, r_1^* = 1,083(G), f_1^* = 2), (s_2^* = 1,800, r_2^* = 430(G), f_2^* = 1)]$ 로 선사1의 항로 전략이 변경되고 선사2는 항로와 선형이 변경되었다. 선사1과 2의 게임값은 (307.6천달러, 107.9천달러)로 소석률 향상과 선형 대형화를 반영하여 증가되었다. 요인 종합 변동의 결과를

자세히 살펴보면 단거리항로에서 선형과 항차의 변동은 물동량의 증가에 기인하며, 장거리항로에서 항로의 변화는 항만하역료 차이 그리고 선형의 대형화는 물동량 증가에 기인하는 것으로 분석된다.

3. 분석결과

첫째, 경기자의 역할이 다른 경우 의사결정의 조합은 기하급수적으로 늘어나나 본 논문에서와 같이 운임이 외생변수이며 시장점유율이 일정한 경우는 하위게임 완전내시균형해(SPNE)방식으로 최적 해를 구할 수 있기 때문에 간단하게 경기자들의 최적 전략을 구성할 수 있으며 본 논문의 사례에서 이 해들은 동시진행게임의 해와 같았다.

둘째, 최적선형은 일반적으로 선박 수송능력을 가능한 한 최대 이용하는 선형이 된다. 이는 규모의 경제 효과 때문에 선박에 만재(full load)할 때 개별화물의 비용이 최소화되기 때문이다.

셋째, 최적항로는 운임을 차이로 결정된다. 단거리항로와 장거리 항로 모두 인천항항로가 최적해로 선정된 것은 운임률이 다른 항로에 비해 높기 때문인 것이다.

넷째, 주간 항차수는 물동량규모와 가용선형에 의해 결정된다. 물동량이 본 사례에서 가정된 주간 3,000 TEU가 넘게 되면 더 작은 선박으로 여러 번 운항할 수 있게 최적선형이 수정되는 것이다.

다섯째, 다양한 민감도 분석의 결과 운항선사가 결정하는 최적 운항전략은 관련요인들의 변화에도 불구하고 상대적으로 강건하다. 최적해가 쉽게 변경되지 않는 것이다. 운임 인상, 연료유가 변화, 하역료 인상, 그리고 항만사용료 감면의 경우에도 운항전략은 수정되지 않고 그대로 활용이 가능하였다. 특히 항만사용료 감면정책은 크게 효과가 나타나지 않는 재고할 정책임을 Park and Min(2013)에 이어 다시 확인하였다.

마지막으로 선사들의 운항전략을 변경시키려면 경쟁항만과의 대폭적인 항만하역료 격차와 물동량의 증대 등이 가장 중요한 항만의 전략으로 활용될 수 있다. 이는 본 사례분석에서 부산항이 최적항로전략으로 선정되지 않았지만 실제로는 부산항 물동량이 가장 많아 선사들이 부산항에 운항 우선순위를 두고 있다는 점을 재확인 할 수 있다.

V. 결 론

본 연구의 목적은 비용모형과 게임이론을 이용하여 선사들이 선형, 항로 및 주간항차를 결정하는 방법을 이해하면서 항만이 선사들의 운항전략에 자기 항만을 포함시킬 수 있는 전략을 구축하는 것이다. 우선적으로 본 연구는 위의 목적을 위해 9개의 선형, 3

개의 항로 및 4개의 항차를 대상으로 시간비용모형과 비협조적 게임이론의 순차적 진행 게임모형을 이용하여 모형화한 후 분석하였다.

연구 결과 해운선사를 위한 전략방안들을 다음 같이 제시할 수 있다.

첫째, 운항선형은 규모의 경제 효과를 감안하여 만재(full load) 정도가 높은 선형을 배선한다.

둘째, 최적항로는 운임률 차이로 쉽게 결정 할 수 있다.

셋째, 운항선사가 결정하는 최적 운항전략은 상대적으로 강건하다. 최적해는 쉽게 변경되지 않기 때문에 반드시 최적 운항전략을 구성하여야 한다.

항만의 전략들은 다음과 같다.

첫째, 항만운영사가 하역료 인하를 통해 선사들의 운항전략을 변경시키려면 경쟁사 대비 대폭적인 가격할인이 필요하다. 실제로 우리나라 항만 운영사들의 가격 경쟁력 제고를 위한 타 항만 및 타사 대비 경쟁적인 하역료 인하가 기업의 수익성을 악화시키는 문제를 야기하고 있다. 그러나 적절하지 못한 하역료 할인은 선사들의 운항전략을 변화시키지 못하고 항만 운영의 채산성만을 악화시킬 것이기 때문에 지양해야 한다.

둘째, 선사 운항전략을 변경시켜 자항에 선사의 기항을 많이 시키기 위한 항만의 다양한 전략중 물동량의 확보가 가장 우선 되어야 한다. 항만당국은 선사유치를 위한 마케팅노력도 중요하지만 그것 보다는 주변 배후지의 개발 등을 통한 처리물동량 증대가 가장 중요한 점을 다시한번 명심해야 한다.

본 연구결과는 향후 다양한 선형, 항로 및 항차를 감안한 선사들의 운항전략에 활용될 수 있다. 그러나 향후에는 연구과정의 여러 가정을 완화하는 분석이 필요하다.

첫째, 본 연구에서는 항로별 운임이 외생변수라고 가정함으로써 문제의 상황을 상대적으로 확정적(deterministic)으로 구성하여 분석이 용이하게 되었지만 실제 활용성을 더욱 높이기 위해서는 해운시장에서 주요한 전략수단이 되는 선사들의 운임 변화 메커니즘을 모형에 반영하는 것이 필요하다. 이를 위해서는 동적 모형화(dynamic modelling) 방법을 적용할 수 있을 것이다.

둘째, 특정한 국가나 지역의 항만들이 경쟁관계가 아니고 협조관계(Park et al. 2013) 일 경우를 가정하는 협조적 게임이론으로의 수정 또는 확장도 고민해보아야 할 것이다.

마지막으로 상황을 단순하게 하기 위해 시장마다 두 선사만 존재, 모든 운송화물은 일반컨테이너(dry container), 항만에 체선 없음, 그리고 기항 항만마다 적재화물 전체를 양하 및 적하한다는 가정을 감안하여 본 논문의 결과를 활용해야 할 것이며, 추후연구에서는 이를 완화해야 할 것이다.

참고문헌

- 건설교통부(2007), 『교통시설 투자평가 지침』, 건설교통부.
- 국토해양부(2012), 『항만하역요금표』, 국토해양부.
- 박병인·배종욱·박상준(2009), “선박당 평균 대기비용에 의한 항만의 서비스 수준 평가”, 『한국항만경제학회지』, 제25권 제4호, pp.183-202.
- Baird, A. J.(2006), "Optimising the Container Transshipment Hub Location in Northern Europe," *Journal of Transport Geography*, 14(3), 195-214.
- Cullinane, K. and M. Khanna(1999), "Economics of Scale in Large Containerships," *Journal of Transport Economics and Policy*, 33(2), 185-208.
- Cullinane, K. and M. Khanna(2000), "Economics of Scale in Large Containerships : Optimal Size and Geographical Implications," *Journal of Transport Geography*, 8, 181-195.
- Givoni, M. and P. Rietveld(2009), "Airline's choice of aircraft size - Explanations and implications," *Transportation Research Part A*, 43, 500-510.
- Goss, R. O. and M. C. Mann(1977), "The Cost of Ship's Time," *Advances in Maritime Economics*, edited by R. O. Goss, Cambridge University Press.
- Hsu, C. and Y. Hseih(2007), "Routing, ship size, and sailing frequency decision-making for a maritime hub-and-spoke container network," *Mathematical and Computer Modeling*, 45, 899-916.
- Lim, S.(1994), "Economies of Ship Size: A New Evaluation," *Maritime Policy and Management*, 21(2), 149-166.
- Park, B. and H. Min(2013), "Impact of Port Charges on Ocean Carriers' Choice of Vessel Size and Service Routes: A Game Theoretic Approach," *Working Paper*, Bowling Green State University.
- Park, B., Sung, S. and Min, H.(2013), "A Game-Theoretic Approach to Determining the Preferential Berthing Charges of Ocean Carriers", *International Journal of Shipping and Transport Logistics(SSCI)*, forthcoming.
- Ryder, S. C. and D. Chappell (1980), "Optimal Speed and Ship Size for Liner Trades," *Maritime Policy and Management*, 7(1), 55-57.
- Tally, W. K.(1990), "Optimal Container Ship Size," *Maritime Policy and Management*, 17(3), 165-175.
- Wei, W. and M. Hansen(2005), "Impact of Aircraft Size and Seat Availability on Airlines' Demand and Market Share in Duopoly Markets," *Transportation Research Part E* 41, 315-327.

한국항공경제학회지 2013 제29권 제4호, 73-95.

Wei, W.(2006), "Impact of landing fees on airlines' choice of aircraft size and service frequency in duopoly markets," *Journal of Air Transport Management*, 12, 288-292.

Wong, H., S. Hsieh, and C. Wang(2007), "Optimizing Containership size and Speed: Model formulation and Implementation," *Wseas Transactions on Business and Economics*, 7(4), 111-116.

국문 요약

동아시아 해운시장의 컨테이너선사 선대 운항전략: 게임이론 접근법

박병인

본 논문은 컨테이너 선사들의 선형, 항로 및 항차의 결정방법을 구축하기 위해 동아시아지역의 경쟁적인 해운시장을 분석하였다. 상하이항과 홍콩항으로부터 국내의 부산, 광양 및 인천항 서비스 항로에 운송량, 운임, 원가, 그리고 시장점유율을 기반으로 한 모형에 비협조적게임이론에 기초한 순차진행게임을 적용하였다. 이러한 모형의 문제를 풀도록 제안된 하위게임 완전 내시균형해에 따르면, 경쟁환경에서 선사들의 의사결정은 운항거리, 운송수요, 그리고 운임수준에 따라 달라지는 것으로 분석되었다. 그러므로 선사들은 운송네트워크와 최적선대에 대한 전략을 구성할 때 최적균형해를 이용하고 이를 위해 다양한 의사결정 요인들을 동시에 고려해야만 한다. 추가적으로, 항만들은 다양한 요인들을 이용해 각 항만이 선사 운송네트워크의 최적 균형을 제공하기 위한 경영전략을 구축해야만 할 것이다.

핵심 주제어 : 비협조적 게임이론, 순차진행 게임, 하위게임 완전내시균형