

항만 혼잡과 대응정책 : 게임이론적 이해

김 종 석

The Game-Theoretic Interpretation of Congestion Policies of a Port : Congestion Tax, Investment and their Implication for Cost Recovery

Jong-Seok Kim

Abstract

Congestion at a port is a game situation in the sense that a shipping firm's profit is a function of other shipping firms amount of operation as well as of its own. In this paper, we model congestion policies as an extensive form game; at the first stage, government moves first by setting a policy or a combination of policies; at the second stage, the shipping firms compete around the amount of use of the port. By applying the concept of subgame perfect equilibrium, we can characterize the properties that the optimal congestion tax and the optimal investment policy should take. The conventional rule that the optimal tax equals external marginal cost imposed by a shipping firm. Also marginal benefit of investment should equal marginal cost of capital. In addition, the exact cost recovery condition is obtained by imposing a set of suitable assumptions on the port's cost and external cost functions.

1. 서 론

도시교통에서의 혼잡이 게임상황임을 인식한 것은 오래된 일이다(Wardrop, 1952). 워드롭은 혼잡한 상황에서 개인차량이용자들의 도로이용방법은 사용자균형(user equilibrium)이라고 불리는 수준에서 결정되리라고 예측하고, 이것이 사

* 한국해양대학교 국제무역경제학부

회전체의 이익을 극대화하는 사회최적(social optimum)상태와는 차이가 있음을 밝혔다. 윈스톤(Winston, 1985)은 항만이나 공항 등 지역간 교통시설의 이용에 따른 혼잡문제를 최적요금과 최적시설규모 도출을 위한 모형으로 설명한 바 있다. 그러나 이 모형에서는 혼잡에 대한 게임상황적 인식이 결여되어 있다.

게임상황이란, 한 기업이나 개인의 이윤 또는 효용이 자신의 행동뿐 아니라 타인의 행동에 의해서도 영향을 받는 경우를 일컫는다. 항만의 혼잡도 게임상황으로서, 한 해운선사가 항만을 이용하면서 얻는 이윤의 크기는 자신의 항만 이용량에 의해서뿐만 아니라 다른 해운선사들의 항만이용량에 의해서도 영향을 받는다. 따라서 항만의 혼잡은 게임이론과 그것에 적용되는 해의 개념을 응용하여 그 혼잡의 크기와 경제적 효과를 분석할 수 있다.

본 논문에서는 항만이용에 따른 혼잡의 문제가 게임상황임을 기초로 하여 항만과 정부¹⁾의 정책에 따라 그 게임의 균형이 달라진다는 점과 단기적 혼잡요금이나 장기적 투자정책의 사용에 있어서 선사들간 게임의 결과가 정책에 따라 달라지며, 이에 따라 항만의 목표달성에 차이가 난다는 점을 명시적으로 고려하여 항만의 최적정책을 도출하고자 한다.

이를 구체화하면, 본 논문은 우선 항만당국이 취할 수 있는 요금 및 투자 정책 등 장단기 정책의 효과가 항만과 선사들간의 순차적 게임²⁾임을 밝히고, 장단기 최적정책을 게임의 부분게임완전균형의 해 개념을 적용하여 도출한다. 또한 항만, 선사, 혼잡에 따른 비용이 일정 성질을 따를 때 항만 투자에 따른 수지관계가 어떻게 되는지를 밝힌다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 우선 2절에서는 항만의 혼잡이 게임상황임을 보이고, 항만의 혼잡정책을 포함한 선사간 경쟁이 게임으로서 어떻게 묘사되며 최적정책이 어떤 과정을 통해 도출되는지 살펴본다. 3,4절에서는 2절에서 설정한 기본틀을 이용하여 항만의 단기혼잡세정책과 투자정책에 대해 사회적 잉여의 극대화라는 항만목표의 관점에서 살펴본다. 5절에서는 혼잡비용과 항만 비용이 지니는 성질에 따라 투자비용을 최적의 혼잡세로 복원할 수 있는지 여부에 대해 살펴본다. 6절에서는 논문의 결론을 맺는다.

- 1) 본 논문에서는 항만의 소유 및 운영 주체가 정부라고 가정하고 최적정책에 대해 검토한다. 항만과 정부가 분리되더라도 항만의 목표가 정부의 목표와 일치하는 경우에는 항만과 정부를 분리할 필요가 없다. 그러나 항만의 목표가 정부와 달라지면 항만에 대한 혼잡정책은 정부의 정책과 항만의 정책으로 분리하여 고찰해야 할 것이다.
- 2) 순차적 게임이란, 한 경기자가 먼저 전략을 선택한 후 다음 경기자가 자신의 전략을 선택하는 게임을 일컫는다.

2. 기본적 분석틀

항만을 이용하는 선사는 n 개이다. 그 중 선사 i 가 일정 기간동안 항만을 q_i 만큼 이용하며 지불하고자 하는 한계 금액은 $p_i(q_i)$ 로서 q_i 가 증가할수록 한계지불의사금액 p_i 는 감소한다. 즉 $dp_i/dq_i < 0$ 이다.

각 선사가 $q = (q_1, \dots, q_n)$ 만큼 항만을 이용할 때 개별 선사가 지불하는 비용은 $C_i(q_i)$ 이며 q_i 가 증가할수록 C_i 가 증가한다. 즉 $dC_i/dq_i > 0$ 이다.

또한 이용량 조합 $q = (q_1, \dots, q_n)$ 에서 선사 i 에게 발생하는 혼잡비용은 $EC_i(q_{-i}, k)$ 이다. 여기에서 q_{-i} 는 q 의 이용량 조합에서 q_i 가 생략된 이용량 조합이다. 즉, $q_{-i} = (q_1, \dots, q_{i-1}, q_{i+1}, \dots, q_n)$. 또한 k 는 항만의 시설용량(선석수, 안벽길이 등)을 나타낸다. EC_i 는 q_i 의 구성 항목이 증가하면 그 값이 감소하지 않으며, k 가 증가하면 주어진 q_i 에 대해 그 값이 하락한다. 즉, $\partial EC_i / \partial q_i \geq 0$, $\partial EC_i / \partial k < 0$ 이다.

k 의 시설용량 하에서 q 의 이용량 조합을 처리하기 위해 항만이 지불하는 비용은 $C(q, k)$ 이다. q 의 개별구성요소 q_i 가 증가하면 C 가 증가한다. 즉 $\partial C / \partial q_i > 0$ 이다.

항만을 1회 이용할 때 선사가 지불하는 이용요금을 s 라고 하면 선사들은 혼잡 때문에 서로 간에 일정한 게임을 하게 된다. 선사 i 의 이윤은 자신의 이용량 q_i 뿐만 아니라 다른 선사들의 이용량 조합 q_{-i} 에 의해서도 그 크기가 좌우되기 때문이다. 선사 i 의 이윤을 π_i 라고 하면, 이는 다음과 같이 계산된다.

$$\langle 1 \rangle \quad \pi_i(q_i, q_{-i}, s, k) = \int_0^{q_i} p_i(z_i) dz_i + \{C_i(q_i) + EC_i(q_{-i}, k) + sq_i\}$$

식<1> 좌변의 첫 번째 항은 선사 i 가 항만을 q_i 만큼 이용할 때 얻을 수 있는 수입을 의미한다. 중괄호안에 들어있는 세 개의 항은 각기 q_i 만큼 이용할 때 지불하는 개별 선사의 비용, 다른 선사들이 q_{-i} 만큼 이용할 때 선사 i 에게 발생하는 혼잡으로 인한 지체비용(혼잡비용 혹은 외부비용), 선사가 지불하는 항만이용비용을 의미한다.

(s, k) 가 주어져 있을 때 선사간 게임의 해를 내쉬균형³⁾으로 표현하고, 그

값을 각기 $\hat{q} = (\hat{q}_1, \dots, \hat{q}_n)$ 이라 할 때 이는 다음의 연립 방정식을 푸는 해이다.⁴⁾

$$\langle 2 \rangle \quad \frac{\partial \pi_1}{\partial q_1} = 0, \dots, \frac{\partial \pi_n}{\partial q_n} = 0$$

이 혼잡게임의 내쉬균형 \hat{q} 은 항만이용요금 s 와 시설용량 k 의 값에 따라 그 값이 변한다. 항만당국은 이 사실을 이용하여 최적정책을 개발할 수 있다.

일반적으로 $w(q_1, \dots, q_n, s, k)$ 를 항만의 목표라고 하자. 항만은 이를 극대화하기 위해 단기와 장기에 따라 정책수단이 달라진다. 우선, 단기적으로는 시설용량 k 가 현재 수준에서 고정되어 있다고 전제한 후, w 를 극대화하는 항만이용요금 s 를 결정한다. 장기적으로는 이와 더불어 시설용량 k 에 대한 투자를 통해 시설용량의 크기에 변화를 일으키며 이를 이용하여 w 를 극대화 한다. 여기에서 주목할 점은 $q = (q_1, \dots, q_n)$ 은 s 와 k 가 주어진 상태에서 얻어진 내쉬균형상의 이용량 조합이라는 점이다. 따라서 단기적으로 항만의 s 에 대한 결정은 다음 식을 푸는 해 s^* 이다. 즉,

$$\langle 3 \rangle \quad \frac{\partial w}{\partial q_1} \cdot \frac{\partial \hat{q}_1}{\partial s} + \dots + \frac{\partial w}{\partial q_n} \cdot \frac{\partial \hat{q}_n}{\partial s} + \frac{\partial w}{\partial s} = 0$$

식<3>에서 처음 n 개의 식은 s 의 변화에 따라 내쉬균형상의 개별 이용량 q_1, \dots, q_n 이 변화하고 이것이 항만의 경영정책목표에 미친 영향의 합계를 나타낸다. 마지막 항은 s 의 변화가 w 에 직접적으로 영향을 준 부분이다. 시설용량 k 가 주어진 상태에서 식<3>을 풀면 항만의 목표 w 를 극대화하는 항만이용요금 s 를 구할 수 있다.

장기적으로 항만은 이용요금 뿐만 아니라 시설용량도 변화시킬 수 있다. 시설용량의 변화는 선사간의 혼잡게임의 내쉬균형인 \hat{q} 에 영향을 미칠 뿐 아니라 직접적으로도 경영목표 w 를 변화시키므로 최적시설용량 k^* 와 그때의 최적 항만이용요금 s^* 은 다음 식<4>를 연립시켜 풀 해라 할 수 있다.

3) 내쉬균형이란 다른 선사들의 이용량이 q_{-i} 으로 주어졌을 때 q_i 을 선택하는 것이 선사 i 의 이윤을 극대화하며 그것이 모든 선사에 대해 성립하는 이용량 조합을 의미한다.

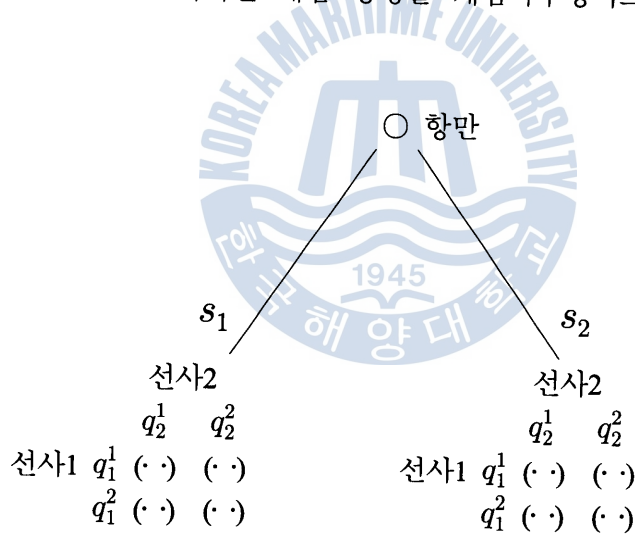
4) 여기에서는 내부해가 존재한다고 전제한다.

$$\langle 4 \rangle \frac{\partial w}{\partial \hat{q}_1} \cdot \frac{\partial \hat{q}_1}{\partial k} + \dots + \frac{\partial w}{\partial \hat{q}_n} \cdot \frac{\partial \hat{q}_n}{\partial k} + \frac{\partial w}{\partial k} = 0$$

항만 혼잡에 따른 선사간 경쟁과 이를 전제로 한 최적의 정책을 도출하는 과정을 게임이론적으로 해석하면 다음과 같다.

우선 단기적으로, 항만은 이용요금 s 를 정한다. s 가 주어지면 선사들은 두 번째 단계에서 혼잡게임을 펼친다. 장기적으로는 항만은 우선 (k, s) 를 정한다. 두 번째 단계에서 해운선사는 혼잡게임을 펼친다. 식 $\langle 2 \rangle$ ~ $\langle 4 \rangle$ 에서 제시한 해들은 이와 같은 순차적 게임의 해⁵⁾를 구하는 과정이라고 할 수 있다.

단기적으로 항만이 사용할 수 있는 이용요금⁶⁾이 s_1 과 s_2 의 두 가지만 존재하며 선사는 1과 2의 두 개만 존재하고, 각 선사별 이용량이 $(q_1^1, q_2^1), (q_1^2, q_2^2)$ 의 두 가지씩만 존재하는 단기적인 게임 상황을 게임나무형식으로 표현하면 다음과 같다.



[그림] 혼잡과 항만정책의 전개형 묘사

여기에서 (·)는 각 주체의 s, q_1, q_2 의 선택에 따라 선사1, 선사2, 항만이 각기 얻는 성과⁶⁾의 크기를 적어 넣은 것이다. 장기 게임의 경우는 단기의 경우와 유

5) 이 해는 부분게임완전균형(subgame perfect equilibrium)이라고 불린다.

6) 선사의 성과는 선사의 이윤을 의미하지만, 항만의 성과는 항만의 경영목표에 따라 달라진다. 즉, 항만이 항만이용에 따른 사회적 잉여의 극대화를 추구할 것인가 또는 이윤의 극대화를 추구할 것인가 등 해당 항만의 경영목표에 따라 정책수단이 달라진다. 따라서 추진정책수단에 따라 그 성과도 달라질 것이다.

사하게 묘사할 수 있다.

3. 항만 혼잡에 대한 단기정책 : 혼잡세

항만의 목표가 사회적 잉여의 극대화라고 하자. 이 경우 항만의 목표함수 w 는 다음의 형태를 지닌다.

$$\langle 5 \rangle w(q, s, k) = \sum_{i=1}^n \int_0^{q_i} p_i(z_i) dz_i - \sum_{i=1}^n \{ C_i(q_i) + EC_i(q_{-i}, k) \} - C(q, k)$$

여기에서 $q = (q_1, \dots, q_n)$ 는 선사별 항만이용량조합, p_i 는 q_i 를 이용하면서 선사 i 가 지불하고자 하는 한계금액, C_i 는 선사 i 의 q_i 이용에 따른 비용, EC_i 는 다른 선사들의 이용량조합 q_{-i} 에 의해 선사 i 가 받는 혼잡비용, C 는 항만의 비용을 각기 의미한다.

식<5>의 첫 번째 항은 각 선사가 q 의 이용량조합에서 항만에게 지불할 의사가 있는 최대금액의 합을 의미하며, 두 번째 항은 이용량조합 q 에서 선사가 지불하는 내부비용 C_i 와 외부비용(혼잡비용) EC_i 의 합이며, 세 번째 항은 항만의 총비용을 각기 의미한다. 선사가 항만에 지불하는 이용요금은 항만의 입장에서 수입이 되므로 서로 상쇄되어 식에는 표현되지 않는다.

혼잡에 대한 단기정책은 주어진 시설용량하에서 이용요금 s 를 결정하는 것이다. 2절에서 살펴본 바와 같이, 항만이용요금을 정책수단으로 사용하면 선사들은 이용요금 s 를 주어진 것으로 간주하고 선사간 항만이용량을 결정하게 된다. 항만의 목표는 이용요금에 따라 변화하는 내쉬균형 중 항만의 목표를 극대화하는 이용요금을 선택하는 것이다. 이를 극대화문제로 표현하면 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned} \langle P1 \rangle \quad & \underset{s}{Max} w(q, s, k) \\ & \text{subject to } q \in NE(s, k) \end{aligned}$$

극대화 문제 P1에서 $NE(s, k)$ 는 k 와 s 가 주어졌을 때 선사간 이용량경쟁의 내쉬균형집합, 즉, 앞 절의 식<2>의 해 집합을 의미한다. 만일 내쉬균형이 유일

하며, q 가 (s, k) 의 함수형태로 표현된다면 $q = \hat{q}(s, k)$ 라고 할 수 있다. 이 경우 \hat{q} 을 목적함수 w 의 q 대신 대입함으로써 q 에 대한 제약부분을 삭제할 수 있다. 다시 말해 P1는 다음의 P1'로 변환된다.

$$\langle P1' \rangle \quad \underset{s}{Max} w(\hat{q}(s, k), s, k)$$

지금부터 단기적으로 사회적 잉여를 극대화하는 이용요금의 해 s^* 가 충족해야 할 성질에 대해 살펴본다. 이를 위해 우선 사회적 잉여 w 를 극대화하는 이용량조합 $q^* = (q_1^*, \dots, q_n^*)$ 가 만족시켜야 할 조건부터 살펴본다. P1에서 제약식 없이 w 를 극대화하는 이용량을 구하면 다음의 연립방정식 체계의 해로 표현된다.

$$\langle 6 \rangle \quad p_i - MC_i - EMC_i - PC_i = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

여기에서 p_i 는 선사 i 의 한계지불의사금액, MC_i 는 C_i 의 한계비용, EMC_i 는 $\sum_{j \neq i} EC_j(q_{-j}, k)$ 를 q_i 에 대해 편미분하여 얻은 한계혼잡비용, 다시 말해 선사 i 의 항만이용에 의해 i 이외의 다른 선사들이 지불하는 한계외부비용을 의미한다. PC_i 는 항만비용 C 의 q_i 에 대한 한계비용을 의미한다.

식<6>는 각 선사별로 지불하고자 하는 한계금액이 항만이용에 의해 발생하는 모든 한계비용의 합, 즉, 선사 자신이 치루는 한계비용과 다른 선사들이 치루는 한계 혼잡비용 및 항만이 치루는 한계비용의 합과 일치하는 이용량조합에서 사회적 잉여가 극대화됨을 의미한다.

선사 i 에게 s 만큼의 항만이용요금이 부과될 때 선사 i 는 자신의 이윤을 극대화하기 위해 다음의 조건을 충족하는 이용량을 선정한다.

$$\langle 7 \rangle \quad p_i - MC_i - s = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

2절에서와 마찬가지로 s 가 주어졌을 때 식<7>에 나타난 n 개의 방정식의 합이 선사간 혼잡게임, 혹은 항만이 s 를 선택한 이후 선사간 전개되는 이용량 선정 게임의 내쉬균형을 형성한다.

만일 선사별 1회 추가운항에 따른 항만이 치루는 한계비용과 한계혼잡비용이 선사별로 동일하다면 P1 혹은 P1'을 푸는 해 s^* 는 다음과 같다.

$$\langle 8 \rangle s^* = C_i + EMC_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

s^* 가 식 <8>과 같이 주어지면 선사간 혼잡게임의 내쉬균형 $\hat{q}(s^*, k)$ 는 식 <6>을 푸는 이용량조합 q^* 와 일치하며 이는 또한 항만의 목표인 사회적 잉여를 극대화한다. 흔히 s^* 가운데 PC_i 크기에 해당하는 부분은 항만이용요금, EMC_i 에 해당하는 부분은 혼잡세라고 불린다.

만일 선사별로 이용하는 선박의 크기가 다르고 그에 따라 일회화물 운송용량에 차이가 발생하면 항만이 치루는 처리비용과 다른 선박에 미치는 외부비용은 달라진다. 이 경우에 식 <6>의 해와 일치하는 혼잡게임의 내쉬균형 \hat{q} 을 유도하는 식<8>의 s^* 와 같은 값은 존재하지 않는다.

이런 상황에서 사회적 잉여를 극대화하는 이용량조합 q^* 를 도출하기 위해서는 선사별로 차별화된 이용요금 (s_1^*, \dots, s_n^*) 를 활용해야 한다.

$$\langle 9 \rangle s_i^* = C_i + EMC_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

식<9>와 같이 차별화된 이용요금을 부과한다면, 혼잡게임의 내쉬균형인 식 <7>의 \hat{q} 은 q^* 과 일치한다. 이는 사회적 잉여를 극대화하는 이용량조합이라 할 수 있다. 따라서 차별화된 이용요금이 단기적 최적요금이라 할 수 있다.

4. 항만혼잡에 대한 장기적 정책 : 투자정책

장기적으로 항만은 시설용량의 조정을 통해 혼잡비용을 감소시킴으로써 사회적 잉여를 증진시킬 수 있다. 이와 같은 항만의 장기적 정책을 구하는 문제는 사회적 잉여를 극대화하는 다음 P2로 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} P2 \quad & \text{Max}_s w(q, s, k) \\ & \text{subject to } q \in NE(s, k) \end{aligned}$$

P2의 해를 (k^*, s^*) 라 할 때 최적 정책이 지녀야할 성질이 무엇인지 살펴볼도록 하자. 사회적 잉여 식<5>를 극대화하는 이용량조합과 시설용량을

(q^*, k^*) 라고 하면 이는 다음 조건을 충족시킨다.

$$\langle 10 \rangle p_i - MC_i - EMC_i - PC_i = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

$$\langle 11 \rangle -C_k - EMC_k = 0$$

식<10>의 의미는 3절에서와 동일하다. 식<11>에서 C_k 는 시설용량의 추가적 증가에 따라 항만이 치루는 한계비용 ($\partial C/\partial k$)를 의미하며 EMC_k 는 k 의 추가에 따라 개별 선사가 치루는 혼잡비용변화의 합, 즉 $\sum_i \partial EC_i/\partial k$ 를 나타낸다. 항만시설에 대한 투자 확대가 이루어질 경우 항만은 C_k 의 추가비용을 치르게 되지만, 해운선사들은 EMC_k 만큼 혼잡비용의 감소를 경험하게 된다. 여기에서 사회적 잉여를 극대화하기 위해서는 양자가 일치해야 하므로 두 값이 같아지도록 시설용량 수준이 결정되어야 한다.

시설용량을 k^* 로 고정시킨 후 항만이 s 만큼의 이용요금을 각 선사에게 부여하면 그때 전개되는 혼잡게임의 내쉬균형은 $\hat{q}(s, k^*)$ 라고 할 수 있다. 이는 3절의 식<7>을 $k = k^*$ 에서 푼 것과 동일하다. 따라서 항만의 목표인 사회후생함수를 극대화하는 장기이용요금 s^* 는 3절의 식<8>과 동일한 형태를 지닌다.⁷⁾ 만일 선사별 추가운항시 항만과 혼잡비용에 미치는 영향이 서로 다른 경우에는 식<9>와 동일한 형태의 선사별로 차별화된 이용요금정책을 사용하면 사회적 잉여를 극대화하는 결과를 얻을 수 있다.

5. 혼잡세 수입과 항만의 수지

앞 절까지는 장단기적 관점에서 항만의 혼잡문제를 푸는 정책에 대해 게임이론적 분석의 시각에서 살펴보았다.

본 절에서는 항만주체가 자신이 벌어들인 수입으로 항만비용을 장단기적으로 충당할 수 있는가의 여부 즉, 항만운영과 투자비용의 항만수입에 의한 충당 가능성에 대해 검토해 보고자 한다.

$s^* = (s_1^*, s_2^*, \dots, s_n^*)$ 는 선사별 장기 최적의 항만이용요금(혼잡세 포함)조합,

7) 단, 여기에서도 $k = k^*$ 로 주어져 있다.

k^* 는 최적시설규모라고 하고, $q^* = (q_1^*, \dots, q_n^*)$ 를 (s^*, k^*) 가 주어졌을 때 해운선사가 전개하는 혼잡게임의 내쉬균형⁸⁾상에 발생하는 이용량조합이라고 하자. 이때 $\sum_{i=1}^n s_i q_i^* = C(q^*, k^*)$ 이면 혼잡세를 포함한 항만의 수입이 정확하게 항만의 최적장기비용을 복원한다고 하고, 전자가 후자보다 크거나 작으면 과잉으로 복원하거나 복원하지 못한다고 하자.

$EC(q, k) = \sum_i EC_i(q_{-i}, k)$ 라고 정의하자. EC 는 개별선사들이 지불하는 혼잡비용의 합으로서 혼잡에 따른 총외부비용을 의미한다. 총혼잡비용함수 $EC(q, k)$ 가 (q, k) 에 대해 영차동차함수의 성질을 지닌다고 가정하면 이는 다음 사실을 의미한다.

$$\langle 12 \rangle \quad \sum_i EC_{i,q_i} + EC_k K = 0$$

여기에서 EC_{i,q_i} 는 EC 의 q_i 에 대한 편미분, 즉 선사 i 의 추가운항으로 인해 타선사들이 겪는 추가혼잡비용을 의미한다. EC_k 는 EC 의 k 에 대한 편미분, 즉 시설용량의 추가적 증가로 인한 혼잡비용의 추가적 감소를 의미한다. 총혼잡비용이 영차함수라는 가정은 각 선사의 운항량이 t 배 증가하고 시설용량도 t 배 증가할 때 총혼잡비용의 크기에는 변화가 없다는 사실을 나타낸다.

다음은 항만의 비용함수 $c(q, k)$ 에 대한 성질이다. 다음 식 $\langle 13-1 \rangle$ 은 c 가 (q, k) 안에서 영차와 일차동차함수 사이이며, 식 $\langle 13-2 \rangle$ 는 일차동차함수일 때, 식 $\langle 13-3 \rangle$ 은 일차 이상의 동차함수일 때 각기 성립한다.

$$\langle 13-1 \rangle \quad \sum_i PC_{i,q_i} + C_k k > c(q, k)$$

$$\langle 13-2 \rangle \quad \sum_i PC_{i,q_i} + C_k k = c(q, k)$$

$$\langle 13-3 \rangle \quad \sum_i PC_{i,q_i} + C_k k < c(q, k)$$

항만의 비용함수가 일차동차함수라 함은 k, q 를 동시에 t 배 증가시켰을 때 항만이 지불하는 총비용 $c(tq, tk)$ 가 원래상태 때의 총비용을 t 배한 $tc(q, k)$ 와 일치한다는 사실을 의미한다. 이는 항만의 장기비용함수⁹⁾가 규모에 대해 불변

8) 3절과 4절의 선사간 혼잡게임의 내쉬균형과 동일한 내용이다.

9) 항만의 장기비용함수란, 개별 항만이용조합 q 에 대해 최소비용을 산출하는 k 를 조합시킴으로 얻어지는 총비용을 나타내며 이용량조합만의 함수로 표현된다. 흔히 단기비용함수 $c(q, k)$ 의 k 의 변화에 따른 곡선을 포락하여 장기비용곡선이 얻어진다.

이라는 것과 동일하다. 한편 (q, k) 가 t 배 증가했을 때 총비용이 t 배 보다 작으면 영과 일차 사이의 동차함수가 되며 그 반대의 경우는 일차 이상의 동차함수가 된다. 전자의 경우는 장기비용함수가 규모의 경제를 지니며 후자의 경우는 규모의 불경제를 지닌다는 사실을 의미한다.

장기최적상태인 $((s^*, k^*), q^*)$ 에서의 수입은 $\sum_i s_i^* q_i^*$ 이고 항만의 총비용은 $c(q^*, k^*)$ 이므로 비용함수가 취하는 동차함수성질에 따라 장기최적상태에서 다음의 부등식이 성립한다.

$$\begin{aligned}
 \sum_i s_i^* q_i^* &= \sum (PC_i + \sum_{j \neq i} EMC_j) q_i^* \\
 &= \sum PC_i q_i^* + \sum_i \sum_{j \neq i} EMC_j q_i^* \\
 <14> \quad &= \sum PC_i q_i^* + \sum EC_i q_i^* \\
 &= \sum PC_i q_i^* - EC_k k^* \\
 &= \sum PC_i q_i^* + C_k k^* \leq c(q^*, k^*)
 \end{aligned}$$

식<14>의 첫 번째 등식은 최적항만이용요금 s^* 의 구성내용에 의해 성립한다. 세 번째 등식은 총혼잡비용 EC 와 개별혼잡비용 EC_i 와의 관계로부터 성립하며 네 번째 등식은 EC 의 영차동차함수의 성질로부터, 마지막 등식은 최적시설용량규모 k^* 가 지녀야 하는 성질로부터 도출된다. 따라서 혼잡세 수입을 통합한 항만수입은 항만의 장기비용함수가 규모에 대해 불변이면 항만의 총비용과 정확히 일치한다. 다시 말해, 혼잡세 수입은 시설투자를 통한 증대에 필요한 추가자본비용과 정확하게 일치한다.

그러나 규모의 불경제가 존재하는 경우 혼잡세 수입은 추가투자비용을 충당하고도 잉여를 보이며 항만비용이 규모의 경제를 보이는 경우 혼잡세 수입은 투자비용에도 미치지 못한다. 따라서 이 경우에는 최적시설규모 k^* 를 맞추기 위해 정부로부터 별도의 보조금이 필요하다.

6. 결 론

본 논문에서는 다음과 같은 사실이 밝혀졌다. 첫째, 항만의 혼잡상황은 게임상황과 일치하며 한 선사의 항만이용에 따른 이윤은 다른 선사들의 항만이용에 의해 영향을 받는다. 둘째, 항만은 일정한 목표를 극대화하기 위해 장단기 정책

을 사용할 때는 자신의 정책에 따라 전개되는 혼잡게임의 내쉬균형이 달라진다는 점을 염두에 두어야 한다. 셋째, 이를 기초로, 사회적 잉여를 극대화하는 단기최적혼잡세는 개별선사가 타 선사의 혼잡비용에 미친 한계적 효과와 항만비용에 미친 추가적 효과를 합한 값과 일치하는 수준에서 결정하여야 한다. 넷째, 최적의 항만시설규모는 그로 인해 추가된 항만비용과 그로 인해 감소한 혼잡비용이 일치하는 수준에서 결정되어야 한다. 여섯째, 항만의 장기비용이 규모에 대해 불변이고 혼잡비용이 항만이용량과 시설규모에 대해 영차동차의 성질을 지니면 혼잡세 수입은 투자비용을 정확히 상쇄하지만 그렇지 않을 경우 수입과 투자비용 사이에 괴리가 발생한다.

본 논문의 결과를 정책적으로 활용하기 위해서는 다음 몇 가지 측면에 대한 정보가 필요하다. 즉, 해운선사간 항만이용량 결정이 과연 게임이론에서 설명하고 있는 내쉬균형에서 이루어질 것인가, 또한 혼잡에 따라 선사들이 가외로 치르는 혼잡비용함수는 어떤 성질을 지니며 항만 자체의 비용함수는 과연 어떤 성질을 지니는가?

이 질문들은 모두 각종 비용과 행동방식에 대한 실증적 연구를 요구한다. 이와 같은 실증연구의 추가는 본 논문의 이론적 논의를 보강하여 보다 유의미한 정책적 결론을 산출하는데 기여할 것이다.

또한 항만 민영화와 항만간 제휴, 선사간 제휴 등 해운항만업계를 둘러싼 경영환경의 변화는 항만의 목표와 항만, 해운선사들의 행동방식을 변화시킨다. 따라서 사회적 잉여 등 보다 그럴듯한 정책목표의 극대화를 위한 정부의 장단기 정책도 변화를 맞게 된다. 보다 현실적인 시장변화를 고려한 이론적, 실증적 연구의 추가도 매우 의미있는 작업이 될 것이다.

참고문헌

1. 김종석(2003), "혼잡과 개인의 대응: 게임이론적 접근", 미발간된 수고.
2. Winston, Clifford(1985), "Conceptual Development in the Economics of Transportation: An Interpretive Survey", *Journal of Economic Literature*, Vol. 23, Issue. 1, pp.57-94.
3. Mohring, Herbert(1976), "The Economics of Transport", Ballinger Pub Co.
4. Mohring, Herbert(1994), "The Economics of Transport", Edward Elgar Publishing Ltd.

5. Wardrop, J. G(1952), "*Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research*", ICE(Institute of Civil Engineers) Proceedings, Engineering Divisions, Vol.1, Issue.3, pp.325-362.



