

게임이론 비용배분규칙에 의한 항만서비스 가격산정[†]

박병인*·성숙경**

Pricing the Seaport Service according to the Cost Allocation Rule of Game Theory

Byung-In PARK · Souk-Kyung SUNG

Abstract : Since service competition among global supply chains became intensified, market-oriented system, instead of the existing cost-based system, for port service pricing has been strongly recommended in order to enhance their long-term viability and competitiveness. The Owen value of cooperative game frameworks allows us to apply a market-oriented pricing theory for the port pricing in the case of Gwangyang port to verify its usefulness. The analytical results of this paper suggested some solutions in the problem of berth-based cost allocation by a characteristic function and also showed the proper relative weights of factors to derive the quay use index by Budescu(1993). We also suggested a favorable port pricing system to major shipping firms as well as a discount port pricing system for their strategic alliance. To put it differently, the results of this study enable the port managers to make out some strategic port pricing system like the reasonable discount in port charge for the larger ship owners using the ports frequently.

Key Words : Cooperative Game Theory, Port Service Price, Owen Value, Shapley Value, Cost Allocation, Relative Weights

▷ 논문접수: 2012.10.31 ▷ 심사완료: 2012.12.17 ▷ 게재확정: 2012.12.24

† 이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. B00281).

* 전남대학교 물류학전공 교수, bipark@chonnam.ac.kr, 061)659-7351, 대표집필

** 전남대학교 경상학부 강사, ssky6261@gmail.com, 061)659-6933, 교신저자

I. 서론

글로벌 공급사슬에 의해 기업환경이 전 세계적으로 결합됨에 따라 기업간 그리고 산업간 독립적 생존이 갈수록 어려워지고 있다. 과거 우리와 무관하던 외국의 기업이나 환경의 영향이 우리기업이나 사회에도 영향을 미치기 때문이다. 항만서비스업은 해외의 의존도가 매우 높은 우리나라를 외국과 연결해주는 글로벌공급사슬의 주요 연결고리 역할을 한다. 우리나라는 물동량 기준으로 항만에 의한 수출입비중이 99%가 넘기 때문이다.

이와 같은 항만물류산업의 중요성에 비추어 정부는 부산을 비롯하여 광양, 인천 등에 컨테이너전용 처리시설을 건설하여 국가경쟁력제고와 합리적인 국내외 고객서비스를 지향하고 있다. 이와 더불어 항만간 극심한 경쟁에 따라 우리나라 항만의 관리방식도 항만을 사회간접자본으로 간주하는 유럽대륙식 국가관리형에서 기업자본으로 간주하는 앵글로색슨식 기업형 항만공사제로 바뀌고 있다. 정부예산을 통해 항만서비스 공급을 위한 재원을 해결하기보다 항만의 자생력을 갖추도록 하는 것이 국가경제에도 필수적이기 때문이다. 이에 따라 항만이 제공하는 서비스 요금¹⁾의 산정도 항만기업의 존속과 경쟁력제고에 필요한 목적을 달성하기 위한 방식으로 변화되어야만 한다.

본 연구에서는 글로벌 공급사슬 환경의 변화에 따라 항만의 경쟁력 제고를 위한 항만서비스의 요금 산정에 협조적 게임이론을 적용하며, 이에 필요한 특성함수 모형의 구축과 선사들의 전략적 제휴 효과 등의 유용성을 확인하는데 목적이 있다. 구체적으로는 첫째, 기존의 연구(성숙경, 2008a,b; 박병인·성숙경,2011) 특성함수들의 선석규모별 경계상의 배분액 역전현상이 나타날 수 있는 문제점을 해결하는 새로운 특성함수를 구축한다. 둘째, 기존연구(Littlechild & Thompson, 1977; 성숙경, 2008a,b; 박병인·성숙경,2011)에서 비용배분을 위한 공헌지수를 구할 때 요인간의 가중치를 설정하는데 제기된 문제를 다루었다. 셋째, 취항선사들이 전략적 제휴나 인수합병을 통해 대형화 할 경우 항만요금의 변화효과를 분석하고자 한다. 실제효과의 확인을 위해 광양항의 사례에 적용하여 본다.

본 논문은 다음과 같이 구성되었다. 본 장에서 연구의 의의와 목적을 기술하고, II장에 게임이론이 항만서비스업에 적용된 선행연구들에 대해 살펴본다. III장에서는 본 연구에 필요한 분석모형을 제시한 다음, IV장에는 광양항 컨테이너부두에 적용하였다. 마지막으로 V장에 결론을 제시한다.

1) 본 논문에서는 서비스 가격과 요금을 같은 의미로 문맥에 따라 적절하게 사용함

II. 선행연구

항만서비스 분야에도 게임이론의 활용이 늘고 있다. 항만의 경쟁 및 서비스 가격결정 등에 각각 비협조 및 협조적 게임이론이 활용되고 있다.

항만간 경쟁과 관련하여 Min & Guo (2004)는 협력과 경쟁을 동시에 고려 (co-opetition)하면서 글로벌 공급사슬상의 적정 허브항만의 입지를 구하기 위해 협조적 게임이론의 개념을 이용한 분석을 수행하였다. Anderson et al. (2008)은 비협조적 게임이론을 활용하여 부산항과 상하이항을 대상으로 상대항만의 신규투자에 의한 게임보수 (payoff)의 비교를 통해 경쟁을 분석하였다. 그는 '죄수의 딜레마(prisoner's dilemma)' 상황을 가정하여 서비스시간, 항만장비투자 및 신항만 건설전략에 대해 분석하였다. 또한 Kaselimi et al. (2010)는 쿠르노 모형(Cournot competition model)을 이용해 공용터미널로 이루어진 항만에 전용부두를 도입하는 경우의 항만간 및 항만내 경쟁에 대해 분석하였다. 동 연구는 항만간 정태적 경쟁만을 다루었다.

Saaed & Larsen(2010a)은 파키스탄의 세 항만에서 항만당국과 터미널운영사간의 양허계약(concession contract)의 유형에 따른 항만간 경쟁을 검토했다. 버트란드 모형(Bertrand model)을 이용하여 각 터미널은 컨테이너 처리요금을 결정하며 조인된 계약에 따라 요금을 지불한다고 가정하였다. 동 연구에 따르면 터미널 운영업은 서비스업이기 때문에 직접 물동량을 결정할 수 없고 고객에게 적절한 가격이나 서비스정책의 제공을 통해서만 고객들을 유인할 수 있을 뿐이라 한다. 또한 Saaed & Larsen (2010b)는 협조적 및 비협조적 게임이론을 이용하여 파키스탄 카라치 컨테이너항만의 터미널 내 및 터미널간 경쟁을 분석하였다.

항만서비스 가격산정을 위해서는 주로 협조적 게임이론이 활용되고 있다. Talley (1994)는 항만서비스 가격산정에 게임이론의 활용을 제안하였으나, 이를 실제 가격산정에 활용하지는 못하였다. Bergantino & Coppejans (2000)은 항만서비스 가격산정에 게임이론 방법을 최초로 적용하였다. 그들은 협조적 게임이론을 활용한 항만 진입수로의 준설비용 배분방법을 제안하고, 이를 벨기에 앤트워프항의 비용산정에 적용하였다. 실제적용에 있어서는 최대선형기준으로 모든 비용을 할당한 다음 선박의 흘수기준으로 비용을 재할당하는 절차를 채택하였다.

성숙경 (2008a,b)은 부산항의 안벽건설비용을 선박간에 적절히 배분하려고 시도하였다. 동 연구는 항만에 크고 작은 선석이 복합된 항만의 경우 접안선박의 선형에 근거한 안벽건설비용을 배분 하고 있다. 그러나 동 연구는 복수의 선석을 이용한 대형선 작업시 각 선형마다 활용 가능한 선석수의 변동을 모형에 나타내는데 한계가 있다. 이를 수정하여 박병인·성숙경 (2011)은 선석을 연이어 이용하는 경우 소형선석과 대형선석 역

할을 동시에 수행 가능한 모형을 구축하였다. 그러나 위의 연구 모형들은 선석규모의 경계에 있는 선박의 비용이 왜곡될 수 있다.

이에 본 연구는 선석규모 경계선박의 비용부담액 불균형 문제를 해소하는 특성함수 모형을 구축한 후 요인별 가중치 산정을 통해 오웬밸류를 이용하여 항만의 주요 선사들에 대한 항만서비스 가격을 산정한다. 마지막으로 선사들의 전략적 제휴를 감안한 서비스 가격의 변화를 살펴보고 시사점을 도출한다.

Ⅲ. 분석모형

본 논문의 주요목표는 협조적 게임이론을 이용한 항만서비스 가격의 산정이다. 협조적 게임이론은 경기의 참가자가 게임에서 수행할 업무에 대해 게임이 수행되기 전에 협상을 할 수 있는 상황들과 관련이 된다. 이와 같은 협상은 '구속력 있는 계약'의 체결로 완료된다. 공급사슬경영의 개념이 도래되면서 이와 같은 협조적 게임이론의 이용이 늘어났다(Cachon, 2003, Ch. 6). 공급사슬경영의 성공은 신뢰를 바탕으로 한 협력과 결과의 공정하고 합리적인 배분이 관건이기 때문이다.

협조적 게임이론에서는 각각의 연합(coalition)에 대한 보수(payoff)와 연합내에서 각 참가자들이 보수를 얼마나 얻어야만 하는가라는 두 가지의 주요한 논점이 있다. 더욱이 협조적 연합게임(cooperative coalitional games)은 이전될 수 있는 화폐와 같이 이전 가능한 효용(transferable utilities)을 갖는 게임과 이전 불가능한 효용을 갖는 게임으로 나뉜다(Peleg & Sudholter, 2003, 1). 항만서비스 가격산정의 경우 가격은 선박 및 선사가 부담하는 항만 건설비 부담액의 형태로 표현되며, 이 가격은 참가자들 간에 이전될 수 있기 때문에 "이전 가능한 효용"의 개념을 사용할 수 있다.

이전 가능한 효용의 개념을 사용하여 비용배분방법으로 항만서비스가격을 산정하기 위해서는 특성함수의 두가지 조건, 샤플리밸류 및 오웬밸류에 대한 설명이 필요하다.

1. 특성함수(characteristics function)

특정시설을 이용하는 n 명의 경기자의 집합을 $N = \{1, 2, \dots, n\}$ 이라면, 대연합(grand coalition)인 N 의 부분집합 S 는 연합(coalition)이라 한다. 경기자의 집합 S 에 대한 이전 가능한 효용을 갖는 연합게임은 특성함수라 알려진 모형으로 표현되며, 이는 모든 가능한 연합의 값과 연계된다. 즉, 연합 S 가 형성될 때마다 화폐로 나타내는 값인 $c(S)$ 가 창출된다. 협조적 게임은 전체 경기자의 집합 N 과 S 의 특성함수 c 의 쌍 (N, c) 으로 표현된다. 특성함수 $c(S)$ 는 가장 효율적인 방법으로 연합 S 에 속한 경기자들이 부담하는

비용을 나타낸다.

협조적 게임의 특성함수를 사용하기 위해서는 다음과 같은 두가지 조건이 필요하다. 첫째, 참가자가 아무도 없는 연합의 비용은 0이다. 즉, $c(\emptyset) = 0$.

둘째, 두 경기자가 협력하여 시설을 공유하는 경우의 비용은 독립적으로 시설을 활용하는 경우보다 크지 않다. 즉, $c(S \cup T) \leq c(S) + c(T), \forall S, T \subset N, S \cap T = \emptyset$.

2. 샤플리밸류(Shapley Value)

샤플리밸류는 공동비용이나 공동생산물을 분담하는데 이용되는 배분방법이다. 협조적 게임상황에서 항만 시설을 이용하는 선박은 게임에 참여하는 경우 비용을 분담하게 된다. 선박의 비용은 게임에 참여하는 순서에 따라 달라 질 수 있으나, 가능한 모든 경우의 수에 대한 비용을 평균하여 선박마다 공정한 비용배분이 가능하도록 한 배분규칙이 바로 샤플리밸류이다.

m 개 선형의 선박이 안벽을 이용하고 있으며, $n_i (i = 1, \dots, m)$ 를 i 선형의 접안선박 수, $N_i (i = 1, \dots, m)$ 를 i 선형 접안선박의 집합이라 하자. 그러면 총접안선박의 집합은 $N \equiv \bigcup_{i=1}^m N_i$ 그리고 총접안 선박수는 $n \equiv \sum_{i=1}^m n_i$ 가 된다. 이때 i 선형 선박이 부담해야 하는 비용을 c_i 라 하면, 일반성을 잃지 않으면서 $0 = c_0 < c_1 < \dots < c_m$ 이라고 가정할 수 있다. 이때 i 선형 선박을 접안시킬 수 있는 안벽은 당연히 더 소형의 선형 $k < i$ 선박을 수용할 수 있을 것이다. 그러므로 $c_0 \equiv 0$ 및 모든 연합 $S \subseteq N$ 에 대해 $c(S)$ 는 S 에 속한 선박 중 가장 큰 선박이 부담해야하는 비용이라고 하자. 이 때 모든 선형 $i = 1, \dots, m$ 과 선박 $j \in N_i$ 에 대한 샤플리밸류는 다음과 같다(Littlechild & Owen, 1973, 1-2). 여기서 $|S|$ 와 $|M| = n$ 은 각 집합의 경기자수이다.

$$x_i(c) = \sum_{S \subseteq N, i \in S} \{c(S) - c(S - i)\} \cdot \frac{(|S| - 1)! \cdot (|M| - |S|)!}{|M|!} \quad (1)$$

샤플리밸류를 이용하여 안벽건설비용을 배분한 기존연구는 물리적으로 구분된 선석 크기별로 비용을 할당하여 선석크기와 비슷한 선형과 선석크기를 넘는 선형의 경계부분에서 비용의 과도한 배분이 나타날 수 있었다(성숙경, 2008a,b). 그러나 최근 개발된 컨테이너부두의 경우 안벽이 물리적 선석구분없이 하나로 연결되어 있어 선박크기에 따라 편의대로 이용하기 때문에 공항게임(airport game)형태의 특성함수를 적용할 수 있다. 이 경우 모든 선박이 접안가능한 안벽의 건설비는 접안선박 S 의 집합중 최대선형의 선박을 접안시킬 수 있는 안벽을 건설하는 비용과 같다. 따라서 샤플리밸류는 다

음과 같이 간단하게 표현할 수 있다(Vázquez-Brage et al., 1997, 275).

$$x_i(c) = \sum_{k=1}^i (c_k - c_{k-1}) / |N_{\geq k}| \quad (2)$$

여기서 $c_0 \equiv 0$ 이며, $N_{\geq k} \equiv \bigcup_{i=k}^m N_i$ 는 선형 k 보다 크거나 같은 접안선박의 집합을 나타낸다.

3. 오웬밸류(Owen Value)

샤플리밸류가 개별선박의 연합에 대해 분석할 수 있음에 비해, 항만서비스 현장에서는 선사가 개별선박의 움직임에 좌우한다. 즉, 특정 선사의 선박들은 자발적으로 사전에 조성된 연합(a priori Union)을 형성하게 된다. 개별 선박은 선사의 일부이기 때문에 선사단위의 연합에 대한 분석이 우선되어야 하며 그 다음에 개별선박단위의 분석이 필요하다. 입항횟수가 많은 대형 선사들은 소형선사들에 비해 항만서비스비용의 할인이나 다른 비용우위를 얻을 수 있는 협상의 가능성이 더 크다고 할 수 있다. 이러한 점에 착안하여 공항을 분석한 Vázquez-Brage et al. (1997)를 항만분석에 적용할 수 있도록 수정하였다. 이러한 모형은 선사의 전체 항만에 대한 공헌도를 감안하는 시장지향적 방식의 항만서비스 가격산정을 가능하게 한다.

항만을 이용하는 L 개의 선사들이 있고, 선사의 접안선박 집합을 $B = \{B^1, B^2, \dots, B^L\}$ 라 하면, B^l 은 L 선사의 접안선박집합이다. 또한 선형 k 보다 크거나 같은 l 선사의 접안선박 집합은 $N_{\geq k}^l \equiv \bigcup_{i=k}^m N_i \cap B^l$ 이고, k 보다 크거나 같은 선박을 소유한 운항선사집합은 $L_{\geq k} \equiv \{l \in \{1, \dots, L\} | N_{\geq k}^l \neq \emptyset\}$ 이며, $c_0 = 0$ 이다. 이때 모든 비용함수 c 와 모든 선형 $i = 1, \dots, m$ 에 대한 오웬밸류는 다음과 같이 정의된다.

$$x_{l,i}(c) = \sum_{k=1}^i (c_k - c_{k-1}) / (|L_{\geq k}| \cdot |N_{\geq k}^l|) \quad (3)$$

이를 이용하면, i 선형 선박을 소유한 선사 l 의 비용부담액은 $\sum_{i=1}^m |N_i \cap B^l| \cdot x_{l,i}(c)$ 가 된다.

4. 항만서비스 가격산정 게임

항만이 고객에게 제공하는 서비스에 부과하는 가격 또는 요금은 크게 선박료, 화물료, 여객터미널사용료 및 항만시설전용사용료의 네 가지로 나뉜다. 그러나 ESCAP(2002)은 이를 운항료, 선석료, 화물처리료, 기타사업료 및 리스료의 다섯 가지로 나누고 있다. 본 연구에서는 항만서비스 가격중 국토해양부(2011)의 선박료와 ESCAP(2002)의 선석료에 속하는 접안료(berth occupancy charge, berth hire)에 대해 주로 분석한다.

대부분의 국가에서는 항만서비스가격을 비용기준접근법으로 산정하고 있으나, 항만선진국인 싱가포르는 시장지향적 접근법을 사용하고 있다. 우리나라의 경우 비용기준 접근법을 사용하지만 비용을 100% 회수하지는 못하고 있는 실정이다.

국토해양부(2011)에 따르면 현행의 선박접안에 대한 항만서비스요금은 총톤수 150톤 이상의 선박에 대해 총톤과 접안시간을 고려하여 기본료(10톤·12시간당 외항선 340원, 내항선 114원)와 초과사용료(10톤·1시간당 외항선 28.4원, 내항선 9.5원)를 부과한다. 단, 광양항의 경우 항만활성화를 위해 2012년 12월 31일까지 입항하는 선박에 대해서는 접안료를 100% 면제하도록 규정하고 있다. 그러나 항만공사로 관리주체가 이전됨에 따라 수익성제고를 위해 접안료의 100%면제를 지속하기 어려울 것으로 판단된다.

협조적 게임이론을 이용한 항만 서비스가격 산정은 항만의 안벽건설비용을 그 항만에 입항하는 선박 또는 선사들에게 어떻게 공정하게 배분할 수 있는가에 대한 것이다. 최근 개발된 컨테이너부두와 같이 선석이 연이어진 단일안벽 형태의 부두는 전체 안벽을 하나의 시설로 가정하여 가장 큰 선박의 비용을 작은 선박들과 공동으로 부담하는 특성함수를 구성할 수 있다. 이는 협조적 게임이론을 이용한 공항게임과 유사하나, 항만의 경우 각각 다른 주체(t)가 관리하는 여러 개의 부두가 있는 경우가 일반적이기 때문에 여러 개의 게임을 결합한 형태의 모형으로 구축할 수 있다. 이러한 관계는 다음과 같이 표현할 수 있다.²⁾

$$c(S) = \sum_t \max\{c_{s_j}\}_t, c_{s_0} = 0 \quad (4)$$

2) 성숙경(2008a,b)의 모형은 $c(S) = \sum_{j=1:s_j \in S}^m \eta_{s_j}(c_{s_j} - c_{s_{j-1}}), c_{s_0} = 0$ 인데 여기서는 선석을 구분하는 경우의 모형으로 대형 및 소형선이 대형선석을 공동으로 이용할 때 가용 선석수를 판단하기 어려워 박병인·성숙경(2011)은 모형 $c(S) = \sum_{j=1:s_j \in S}^m \eta_{s_j}(c_{s_j} - \tau c_{s_{j-1}}), c_{s_0} = 0$ 으로 수정함.

여기서 선박의 크기가 $i < j$ 이면 선박이 접안할 수 있는 시설의 건설비용은 $c_i < c_j$ 이고, 선박들의 연합 $S = \{s_1, \dots, s_m\}$ 에 대해 $s_j < s_k$ 이면 $c_{s_j} < c_{s_k}$ 이다. $\max\{\}_t$ 는 t 주체가 관리하는 부두에서 이를 이용하는 가장 큰 선박의 비용을 의미한다. 한 항만의 주체가 여러 곳일 때 각 주체의 비용을 더하게 되면 총비용을 구할 수 있다.

이와 같은 협조적 게임이론을 응용하여 항만서비스요금을 산정하기 위해서는 각 선박들의 연합에 대한 공헌도를 결정해야만 한다. 샤플리밸류와 오웬밸류 모두 한계공헌도의 계산을 위한 공헌지수가 필요하기 때문이다. 선박 및 선사의 연합에 따른 비용 배분을 위한 잠재공헌지수는 총톤, 선박만재홀수, 선박길이, 그리고 접안시간을 활용할 수 있다.

활주로 건설비용을 배분하는 공항게임에서는 항공기가 이착륙시에만 활주로를 이용하지만, 항만의 경우는 선박이 일정시간 동안 접안하여 시설을 이용하게 된다. 따라서 시간을 나타내는 접안시간은 공헌지수의 계산에 있어 필수적인 요소이지만 공항게임에 비해 계산 및 활용을 매우 어렵게 만드는 요소이기도 하다. 예를 들어 공항게임의 경우 항공기의 사양이 같다면 동일사양 항공기는 비용부담액이 항상 동일하지만, 항만의 경우는 선박의 사양이 같아도 접안시간에 따라 스펙이 달라져 비용부담액도 차이가 나게 된다. 따라서 계산이 더욱 복잡해지게 된다.

선박공헌지수의 산출을 위해서는 Littlechild & Thompson(1977)을 활용하여 여러 요인들의 공헌지수를 가중합한 총공헌지수를 구한다. 이 총공헌지수가 큰 선박 순으로 번호를 부여한 다음 최대선형이 부담해야만 하는 비용을 곱하면 각 선박이 부담해야만 하는 접안시의 항만서비스요금을 산정할 수 있다. 즉, 각 선박의 전체비용에 대한 공헌지수를 I_i 로 나타내고 입항선박중 최대선박을 m 으로 나타내면 총비용은 c_m 이 되며 선박 i 가 부담할 비용은 $c_i = I_i c_m$ 이 된다.

IV. 사례 연구

1. 대상항만 : 광양항

본 연구에서 산정할 선박접안을 위한 항만서비스 가격인 선박접안료는 접안시설의 건설비용을 선박들에게 분담시키는 것이다. 접안시설 비용은 안벽하역작업에 필요한 공간인 안벽으로부터 내륙 쪽으로 69미터까지의 공사비용을 연간발생액으로 환산한 것이다. 안벽공사비용은 광양항의 3-1단계 기준 규모별 선석공사비를 사용하였다(<표 1> 참조). 광양항 컨테이너부두의 건설비의 연간비용은 2만 톤급 14억 9,400만원, 5만 톤급

게임이론 비용배분규칙에 의한 항만서비스 가격산정

<표 1> 광양항 컨테이너부두 선형별 건설비용

(단위 : 만원)

선석규모(DWT)	규모(TEU)	안벽수심(m)	안벽길이(m)	건설비용	연건설비용
2만 톤급	2,000TEU급	12	250	2,171,500	149,400
5만 톤급	4,000TEU급	15	350	3,485,200	239,800

주 : 연건설비용은 사회적할인률 5.5%와 내용연수 30년 가정.

자료 : ㈜한맥기술.

23억 9,800만원이었다.

대상항만은 광양항 컨테이너부두이며 2009년 자료를 사용하여 분석하였다. 2009년 말 기준 광양항은 직선으로 이루어진 16개의 선석중 운영중단 및 장비부족으로 인한 선석을 제외한 2만 톤급 2선석과 5만 톤급 10선석의 총12개 선석을 실제 활용중이다. 운영사별로는 GICT 5만 톤급 2선석, 동부 5만 톤급 2선석, 2만 톤급 1선석, KIT 5만 톤급 2선석, 2만 톤급 1선석, 그리고 대한통운 5만 톤급 4선석을 운영 중이다(<표 2> 참조). 광양항은 직선으로 이어진 안벽을 이용하기 때문에 선박접안은 관리목적으로 구분된 선석보다는 선박길이, 총톤 및 흘수 등 선박의 사양을 기준으로 하는 것이 타당하다.

한편 본 연구는 컨테이너부두가 대상이기 때문에 컨테이너선의 주기적 서비스(periodic service) 특성을 감안하여, 정기서비스특성이 적은 연간 5회 이하 접안선박을 제외하고 6회 이상 선박만을 분석 대상으로 하였다. 2009년 광양항에 입항한 3,923척중 150톤 미만 소형선과 항만내 작업 선박 이동선박, 그리고 연 5회 이하 접안선박을 제외하고 분석에 활용한 광양항 컨테이너부두 이용선박은 3,625척으로 평균명세는 흘수, 총

<표 2> 광양항 컨테이너부두 접안선박 분석

부두명	선석명	규모(DWT)	접안척수(척)	흘수(m)	총톤(GT)	선박길이(m)	접안시간(시간)
GICT	71	5만	691	8.0	16,826	148.4	8.2
	72	5만	637	9.6	30,668	187.0	8.6
동부	75	5만	180	6.1	6,698	83.2	14.6
	76	5만	533	8.7	12,714	139.6	8.6
	77	2만	34	7.8	10,256	117.9	21.7
KIT	7A	2만	206	11.5	52,070	239.5	11.6
	7B	5만	325	10.9	45,705	227.5	8.6
	7C	5만	338	8.3	11,668	141.2	6.0
대한통운	7D	5만	107	8.0	27,649	138.2	18.6
	7E	5만	195	10.1	38,416	198.3	8.1
	7F	5만	280	11.4	56,338	256.9	11.0
	7G	5만	99	9.5	37,316	167.5	19.3
광양항전체			3625	9.2	27,293	173.2	9.6

자료 : 국토해양부 및 한국컨테이너부두공단.

톤, 길이 및 접안시간이 각각 9.2m, 27,293GT, 173.2m 및 9.6시간이었다.

2. 항만서비스 가격 산정

1) 공헌지수의 산정

전술한대로 협조적 게임이론의 응용연구에서는 비용을 배분하기 위한 공헌지수를 사용한다. Littlechild & Thompson(1977)의 공항게임에서는 활주로의 건설비용을 배분하기 위한 ‘활주거리’, ‘활주하중’, 그리고 ‘기동성’의 세 가지 요인에 대해 공항전문가 협의를 통해 5:2:1 비율의 상대적인 배분 가중치를 산정하였다. 안벽건설비용의 배분에 있어 성숙경(2008a,b)은 ‘만재홀수(총톤)’와 ‘선박길이’를 1:1의 비율로 배분했다. 또한 박병인·성숙경(2011)은 총톤, 선박규모(=선박길이×홀수×선폭)와 접안시간에 1:1:1의 가중치를 부여하였다.

그러나 기존 항만연구에서의 가중치 설정방법은 관련요인간 동일한 가중치의 부과에 대한 검증이 부족했다는 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 상대적 가중치를 구하는데 자주 활용되는 회귀분석법을 통해 광양항의 안벽규모(총톤, 수심, 그리고 선석길이) 및 선박접안시간과 부두별 건설비용을 분석하여 가중치를 구하고자 하였다. 이 경우 항만이나 부두마다 토목건설비용이 다르기 때문에 전국적으로 동일한 항만시설사용료 규정과 달리 적어도 항만별로는 항만시설사용료가 달라져야 할 것으로 판단된다.

$$Y = 1765.730 + 0.21X_1 - 98.212X_2 + 6.117X_3 - 115.846X_4 \quad (5)$$

(4.331) (4.270) (-3.480) (5.952) (-3.442)

$$R^2 = 0.987, F = 288.150, \text{유의확률} = 0.000$$

Y= 연 건설비(단위: 만원)

X₁= 총톤(단위: GT)

X₂= 수심(단위: m)

X₃= 선박길이(단위: m)

X₄= 접안시간(단위: hour)

일반적으로 회귀분석을 이용하여 변수들 간의 상대적 가중치를 구하기 위해서는 계수들의 총합과 각 변수들의 계수 값을 비교하게 되나 본 연구와 같이 변수들의 단위가 서로 다른 경우는 표준화계수값을 이용하게 된다. 그러나 분석대상 요인들 간의 상관관계가 전부 양(+)이나 식(5)의 회귀분석에서는 음(-)의 회귀계수가 나타나기 때문에 회

게임이론 비용배분규칙에 의한 항만서비스 가격산정

귀분석 결과를 그대로 활용할 수 없다. 이러한 경우는 회귀계수들간 서로 상관되어 있을 가능성이 높다. 식(5)는 부두 명세(총톤, 수심, 안벽길이)와 접안시간(실적자료)을 안벽건설비에 대해 회귀 분석한 것이다. 그러나 실제 선박들이 부두에 접안하는 경우는 총톤수, 흘수, 선박길이와 접안시간을 활용하며 비용을 배분해야 한다. 실제 운영 자료에 대한 분석에 따르면 이들 간에는 상관성이 문제가 되지 않았다.

이와 같은 경우 회귀계수 방법 이외에 Budescu(1993)과 Azen & Budescu(2003)이 제시한 상대적가중치 산정방법(dominance analysis)을 활용할 수 있다.³⁾ <표 3>의 산정 방식에 따르면 총톤, 수심, 길이 및 접안시간의 가중치는 각각 26.6971, 27.5751, 34.0088, 그리고 11.7190으로 추산되었다.

<표 3> 상대적 가중치 분석

부분모형	R ²	각 변수의 추가 공헌도			
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
		총톤	수심	선박길이	접안시간
k=0 평균	0	0.8100	0.8840	0.9670	0.3860
X ₁	0.810		0.0870	0.1600	0.1440
X ₂	0.884	0.0130		0.0820	-0.0100
X ₃	0.967	0.0030	-0.0010		-0.0010
X ₄	0.386	0.5680	0.4880	0.5800	
k=1 평균		0.1947	0.1913	0.2740	0.0443
X ₁ , X ₂	0.897			0.0780	0.0530
X ₁ , X ₃	0.970		0.0050		0.0050
X ₁ , X ₄	0.954		-0.0040	0.0210	
X ₂ , X ₃	0.966	0.0090			0.0030
X ₂ , X ₄	0.874	0.0760		0.0950	
X ₃ , X ₄	0.966	0.0090	0.0030		
k=2 평균		0.0313	0.0313	0.0647	0.0203
X ₁ , X ₂ , X ₃	0.975				0.0120
X ₁ , X ₂ , X ₄	0.950			0.0370	
X ₁ , X ₃ , X ₄	0.975		0.0120		
X ₂ , X ₃ , X ₄	0.969	0.0180			
k=3 평균		0.0180	0.0120	0.0370	0.0120
X ₁ , X ₂ , X ₃ , X ₄	0.987				
k=4(전체) 평균		0.2635	0.2722	0.3357	0.1157
상대적 가중치(100%)		26.6971	27.5751	34.0088	11.7190

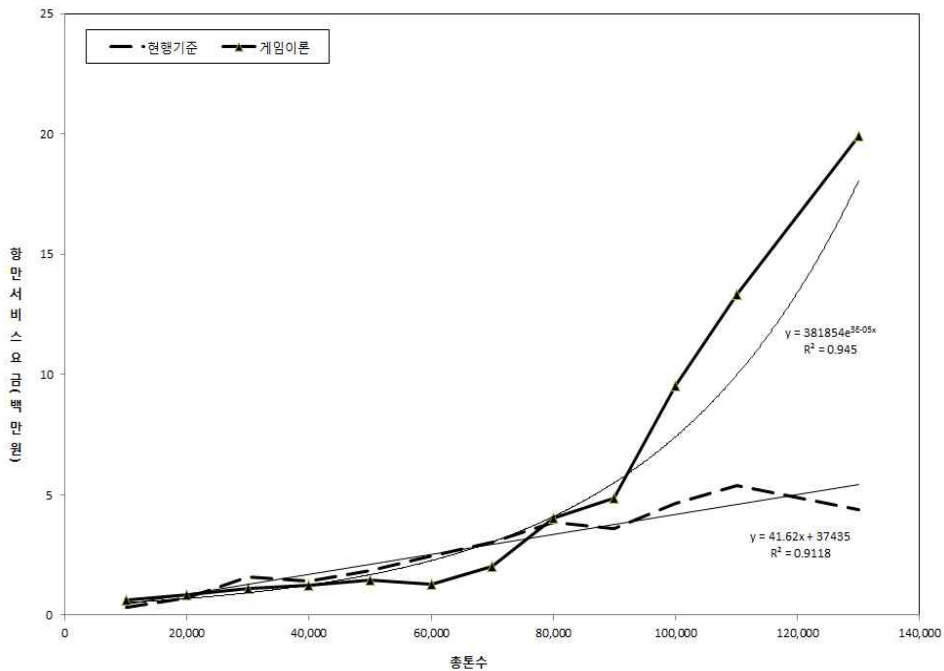
주 : k는 모형의 변수수를 나타냄.

2) 선박별 가격 산정(샤플리밸류)

3) 자세한 산정방법은 Budescu(1993)과 Azen & Budescu(2003)을 참고할 것.

항만서비스요금을 계산하기 위한 공헌지수는 총톤, 선박길이 및 흘수 등 선박규모 요인과 선박이 항만의 안벽을 점유하는 시간인 접안시간으로 크게 나눌 수 있다. 현행기준에 의한 항만서비스 가격과 앞 절에서 구한 요인가중치를 이용한 계산 결과는 <그림 1>과 같다. 협조적 게임이론을 적용한 결과를 기준으로 할 때 9만톤이하 선박들은 현행방법에 비해 적은 서비스요금을 부과해야만 하며, 9만 톤이 넘는 선박들은 더 많은 요금이 부과되어야만 하는 것으로 분석되었다. 이에 따르면 현행방법에 비해 3만 톤급 0.54배, 5만 톤급 0.71배, 7만 톤급 0.63배, 9만 톤급 1.47배, 그리고 11만 톤급 2.22배의 사용료를 부과하는 것이 공평한 항만서비스 요금으로 판단된다.

<그림 1> 게임이론에 의한 선형별 서비스요금 분석



3) 선사별 요금 산정(오웬밸류)

2009년에 광양항을 이용한 컨테이너선사는 28개로 선박명세기준 394개 선형선박이 접안하였다. 이용선사별로 현행방법과 협조적 게임이론에 의한 항만서비스 요금 배분결과를 <그림 2>를 통해 분석해보면, 주요고객인 선사 L01, L02, L06, L10, L20, L24 및 L26은 오웬밸류방식에 의할 때 현행방법보다 요금이 낮게 산정되는 것으로 나타났다.

다중회귀분석을 통해 식(6)과 같이 선사별 배분방식의 항만서비스요금(오웬밸류)의 움직임을 분석해보았다. 선사별 항만서비스가격은 접안횟수와 평균선형이 큰 선사의 요

게임이론 비용배분규칙에 의한 항만서비스 가격산정

금이 현행기준에 비해 낮아지는 것으로 분석되었다. 이에 따르면 대형선박을 자주 접안시키는 주요 선사에 대한 항만서비스요금의 체계적인 할인이 가능하다.

$$D = -16.372 + 0.570X_1 + 0.006X_2 - 1.185X_3 \quad (6)$$

$$(-0.355) \quad (-5.003)^* \quad (3.323)^* \quad (-2.327)^{**}$$

$$R^2 = 0.631, F = 16.387, \text{유의확률}=0.00, \quad * p<0.01, ** p<0.05$$

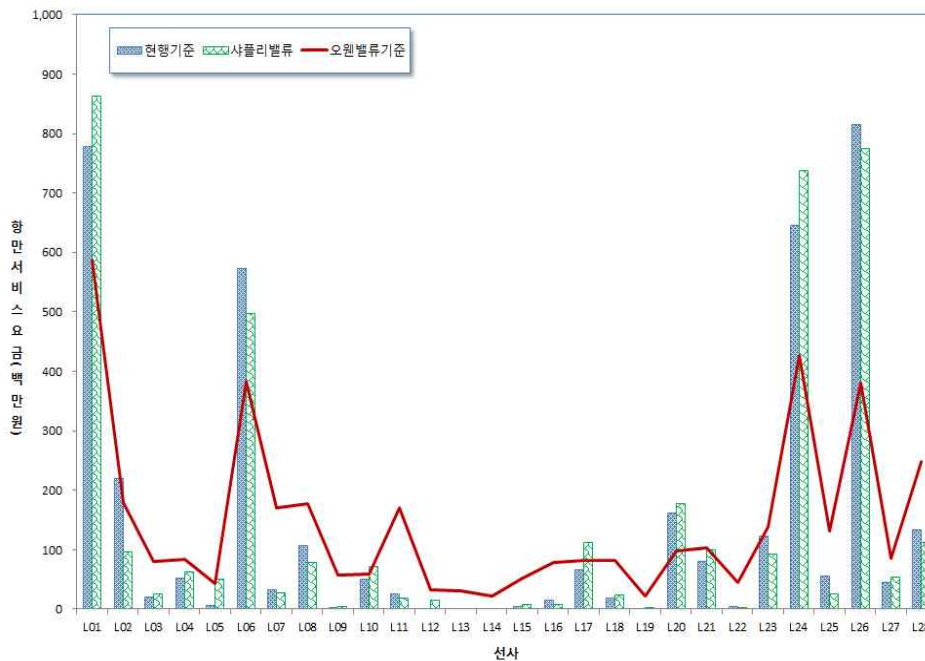
D= 현행기준과 오웬밸류 추정요금의 차이(=현행기준-오웬밸류)(단위: 백만원)

X₁= 선사별 총 접안횟수(단위: 횟수)

X₂= 선사별 접안선박의 평균선형(단위: GT)

X₃= 선사별 접안선박의 평균선박길이(단위: m)

<그림 2> 광양항 컨테이너부두 이용선사별 항만서비스요금 비교



한편 선사들 중 일부가 전략적 제휴를 하는 경우 항만서비스요금의 변화를 검토할 필요가 있다. Vázquez-Brage et al.(1997)의 항공에서와 같이 컨테이너해운의 경우도 전 세계적으로 여러 개의 전략적 제휴(strategic alliance)조직을 통해 운영되기 때문이다. 이러한 변화를 살펴보기 위해 예를 들어 선사 L05, L12, L13 및 L14과 선사 L08, L11, L23 및 L28이 제휴를 통해 각각 LAA 및 LBB라는 동일한 대행기관을 설립(전략적 제휴)한다면, 각각 하나의 선사와 같이 움직이게 될 것이다. 첫 번째 연합(LAA)은 제휴를 하더라도 현행방식의 요금은 차이가 없으나 선사간 연합에 대한 운임부과시 요

금이 1억2,885만원으로부터 5,231만원으로 41%수준까지 감소된다. 또한 두 번째 연합(LBB)의 경우도 7억3,530만원으로부터 2억9,568만원으로 40%수준까지 감소된다.

그러나 동일한 방식의 두 사전 연합임에도 결과는 차이가 난다. 첫 번째 연합은 접안횟수가 311회에 달함에도 불구하고 현행방법에 비해 전략적 제휴의 경우에도 훨씬 많은 요금을 부담해야만 한다. 반면에 두 번째 연합은 접안횟수가 271회에 불과하지만 요금이 현행방법에 비해 크게 줄어드는 것으로 나타났다. 이러한 이유를 식(6)과 <표 4>를 연계하여 설명해보면 일반적으로 대형선박을 자주 운항하는 집단의 요금감소효과가 더 큰 것으로 분석된다. 그러나 선박을 자주 접안하더라도 선박규모가 작고 접안시간이 긴 경우 선사간의 연합에 따른 요금의 감소효과가 적게 나타나게 된다. 따라서 항만에서 제휴를 통해 주요고객 우대혜택을 누리기 위해서는 대형선박을 자주 운항하는 기업들끼리 제휴를 해야 한다. 이 경우 항만도 운영의 효율화를 기할 수 있기 때문에 제휴선사들의 요금을 인하해 주는 것이 적절한 것으로 판단된다.

<표 4> 선사간 전략적 제휴의 효과

선사 구분		선형 명칭	선형 종류	접안 횟수	평균				서비스요금(만원)		
					총톤	길이	흘수	접안시간	현행	오웬밸류	오웬밸류
선사 그룹 A	독립 선사	L05	6	188	2,958	85	6	7	725	5,080	4,242
		L12	15	106	167	25	3	19	41	1,538	3,298
		L13	7	11	213	31	3	52	12	206	3,142
		L14	2	6	198	41	4	5	1	94	2,204
	소계	30	311	1,856	62	5	13	780	6,918	12,855	
제휴	LAA	26	311	1,856	62	5	13	780	6,918	5,231	
선사 그룹 B	독립 선사	L08	13	76	35,135	212	10	9	10,782	7,919	17,705
		L11	3	19	36,531	211	9	7	2,530	1,947	17,119
		L23	22	117	25,233	188	10	11	12,394	9,265	13,861
		L28	8	59	60,394	275	12	11	13,430	11,243	24,844
	소계	46	271	36,457	216	10	10	39,136	30,374	73,530	
제휴	LBB	46	271	36,457	216	10	10	39,136	30,374	29,568	

V. 결 론

본 논문에서는 협조적 게임이론을 이용하여 항만기업이 항만서비스요금을 책정하는 방식에 대해 살펴보았다. 항만의 안벽이 단일의 안벽으로 구성된 현대적인 광양항 컨테이너부두의 경우 수정된 특성함수를 통해 선형간 요금왜곡문제를 해결하였으며, 적절한 공헌지수산출을 위한 가중치산정방법을 구축하여 선박간 선사간 적정 항만서비스요금

을 책정할 수 있었다. 추가적으로 선사간 전략적 제휴의 효과도 분석하였다.

실제 광양항 컨테이너부두의 2009년 자료를 이용하여 적용해본 결과 본 연구에서 활용된 샤플리밸류와 오웬밸류 규칙은 선박간 및 선사간에 발생비용을 공평하게 분담 해 줄 수 있었다. 본 연구의 시사점은 다음과 같다.

첫째, 오웬밸류는 선사들이 사전적으로 전략적인 선박운항을 하는 경우를 고려하기 때문에 선사주체의 시장 지향적 항만서비스 가격산정에는 오웬밸류를 활용 할 수 있다.

둘째, 샤플리밸류에 의한 비용의 산정에 있어 수익자부담원칙에 따라 비용을 배분할 수 있으나, 이를 현실에 적용하기에는 현행기준보다 과도한 비용을 큰 선박에 부담시키는 문제가 있다. 대형선박들을 많이 유치하려는 현행 항만전략과는 배치될 수 있는 것이다. 이러한 경우에 선박별이 아닌 선사별로 총 서비스비용을 분담시키는 오웬밸류방식을 활용하게 되면 대형선박을 자주 운항하는 선사를 우대해 줄 수 있기 때문에 이러한 문제는 해결할 수 있다.

셋째, 선사들이 비용을 줄이기 위해 전략적 제휴를 하는 경우 접안시간이 짧으면서도 대형선박의 접안횟수가 많은 선사들끼리 연합하는 것이 요금절감 효과가 큰 것으로 분석되었다.

항만분야에서는 이러한 협조적 게임해를 먼저 활용한 항공산업의 항공기에 비해 무수히 많은 다양한 명세를 지닌 선박들이 존재한다. 보통 자매선으로 여러 척을 동시에 건조하는 경우에도 선박마다 각각 총톤, 길이, 흘수 등이 차이가 나게 된다. 이러한 명세의 다양화는 합리적 방법론의 적용을 어렵게 하는 동시에 전체 계산 과정을 크게 복잡하게 한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 선박 규모를 등급으로 구분하여 적용하는 방법을 고려해 볼 수 있다. 추후연구에서는 이를 확인해봐야 할 것이다.

참고문헌

- 국토해양부(2011), 『무역항의 항만시설 사용 및 사용료에 관한 규정』, 국토해양부고시 제 2011-841호, 국토해양부 항만운영과, 2011.12
- 박병인·성숙경(2011), “협조적 게임이론에 의한 선사의 시설사용료 우대방법”, 『물류학회지』, 21권 2호, pp.181-204.
- 성숙경(2008a), “게임이론 접근법에 의한 부산항 컨테이너부두의 비용배분에 관한 연구”, 『한국항만경제학회지』, 24권 3호, pp.27-39.
- 성숙경(2008b), “협조적 게임이론을 응용한 부두건설비용 배분”, 『해운물류연구』, 59호, pp.155-174.
- Anderson, C. M., Y.-A. Park, Y.-T. Chang, C.-H. Yang, T.-W. Lee, and M. Luo (2008), "A Game-Theoretic Analysis of Competition among Container Port Hubs: the Case of Busan and Shanghai," *Maritime Policy and Management*, 35(1), pp.5-26.
- Azen, R. & D. V. Budescu(2003), "The Dominance Analysis Approach for Comparing Predictors in Multiple Regression," *Psychological Methods*, 8(2), pp.129-148.
- Bergantino, A. S. & L. Coppejans (2000), "Shipowner Preferences and User Charges: Allocating Port Infrastructure Costs," *Transportation Research Part E*, 36, pp.97-113.
- Budescu, D. V.(2003), "Dominance Analysis : A New Approach to the Problem of Relative Importance of Predictors in Multiple Regression," *Psychological Bulletin*, 114(3), pp. 542-551.
- Cachon, G. P(2003), "Ch. 6 Supply Chain Coordination with Contracts," *Handbooks in Operations Research and Management Science: Supply Chain Management*, Graves, S. & T. Kok ed., North-Holland.
- ESCAP (2002), *Comparative Analysis of Port Tariffs in the ESCAP Region*, ST/ESCAP/2190
- Kaselimi, E. N., T. E. Notteboom, and B. D. Borger (2010), "A Game Theoretical Approach to Competition between Multiuser Terminals: The Impact of Dedicated Terminals," *2010 Annual Conference of the International Association of Maritime Economists*, Lisbon, 7~9 July, 2010.
- Littlechild, S. C. & G. F. Thompson (1977), "Aircraft Landing Fees: a Game Theory Approach," *The Bell Journal of Economics*, 8, pp.186-204
- Littlechild, S. C. & G. Owen (1973), "A Simple Expression for the Shapley Value in a Special Case," *Management Science*, 20(3), pp.370-372.

- Min, H. & Z. Guo (2004), "The Location of Hub-Seaports in the Global Supply Chain Network Using a Cooperative Competition Strategy," *International Journal of Integrated Supply Management*, 1(1), pp.51-63.
- Owen, G. (1977), "Values of Games with a priori Unions," in: Henn, R. & O. Moeschlin (Eds.), *Mathematical Economics and Game Theory*, Springer Verlag, Berlin, pp.76-88.
- Peleg, B. & P. Sudholter (2003), *Introduction to the Theory of Cooperative Games*, Kluwer Academic Publishers, the Netherlands.
- Saeed, N. & O. I. Larsen (2010a), "Container Terminal Concessions: A Game Theory Application to the Case of the Ports of Pakistan," *Maritime Economics and Logistics*, 12(3), pp.237-262.
- Saeed, N. & O. I. Larsen (2010b), "An Application of Cooperative Game among Container Terminals of One Port," *European Journal of Operational Research*, 203, pp.393-403.
- Shapley, L. S. (1953), "A Value for n-person Games," In: Tucker, A. W., H. Kuhn (Eds.), *Contributions to the Theory of Games II*, Princeton University Press, Princeton, pp.307-317.
- Talley, W. K. (1994), "Port Pricing: A Cost Axiomatic Approach," *Journal of Maritime Policy and Management*, 21(1), pp.61-76.
- Vázquez-Brage, M., A. van den Nouweland, and I. Garcíá-Jurado (1997), "Owen's Coalitional Value and Aircraft Landing Fees," *Mathematical Social Sciences*, 34, pp.273-286.

국문요약

협조적 게임이론의 비용배분규칙에 의한 항만서비스 가격산정

박병인·성숙경

글로벌공급사슬간 경쟁이 격화됨에 따라 항만서비스도 항만의 존속과 경쟁력제고를 위한 시장 지향적인 가격산정이 크게 필요하다. 협조적 게임이론의 오웬밸류는 선사주체의 시장지향적 항만서비스가격 산정에 활용될 수 있다. 이를 우리나라 광양항의 사례에 적용하여 그 유용성을 확인해보았다. 본 연구결과 부두용 특성함수를 사용하여 선석별 비용배분 문제를 해결하고, Budescu(1993)방법을 통해 안벽사용지수를 구하기 위한 관련요인의 상대적 가중치를 합리적으로 산정하였다. 또한 주요 선사에 대한 사용료 우대방안과 선사간 전략적 제휴에 의한 항만서비스 가격할인방안을 구축하였다. 본 연구를 결과를 활용하여 대형선박을 자주 운항하는 주요 선사에 대한 체계적인 요금할인을 통해 항만서비스요금을 전략적으로 책정 할 수 있을 것이다.

핵심 주제어 : 협조적게임이론, 항만서비스요금, 오웬밸류, 샤플리밸류, 비용배분, 상대적가중치