

국내항만투자의 방사·비방사적 효율성 측정을 위한 모형개발 및 실증적 적용에 관한 연구*

박노경**

A Study on the Model Development and Empirical Application for Measuring the Radial and Non-radial Efficiencies of Investment in Domestic Seaports

Rokyung Park

Abstract : The purpose of this paper is to show the empirical analysis way for measuring the seaport efficiency by using the previous radial model and the newly modified non-radial models(panel additive model, panel RAM model, and panel SBM model)with Spearman rank order correlation coefficient(SROCC) for 20 Korean ports during 11 years(1997-2007) for 1 inputs(port investment amount) and 4 outputs(Number of Ship Calls, Port Revenue, Customer Satisfaction Score for Port Service and Container Cargo Throughput). The main empirical results of this paper are as follows. First, consistency ratio of SROCC in terms of efficiency scores between radial and panel Additive model was over about 76% and overall consistency ratio was about 71.6%. Second, an efficiency of panel RAM model was higher than that of radial model with similarity. However, panel SBM model shows the very similar efficiency scores with panel radial model. Third, the slack size of radial model is smaller compared to non-radial model. Models' ranking orders in terms of efficiency scores, number of efficient ports are panel RAM model, panel SBM model, and radial model. The order from the minimum efficiency scores was the same order like just before. The policy implication to the Korean seaports and planner is that Korean seaports should introduce the new methods like non-radial models(panel additive model, panel RAM model, and panel SBM model) for measuring the port performance.

Key Words : Seaport Investment Efficiency, Radial-Nonradial Model, Pannel Additive Model, Pannel SBM Model, Pannel RAM Model

▷ 논문접수: 2011.01.30 ▷ 심사완료: 2011.03.24 ▷ 게재확정: 2011.03.25

* 본 논문의 모델결정을 위한 설문지에 응답해 주신 항만분야 전문가(교수님, 항만투자담당자, 해양수산개발원의 전문가) 선생님들과 RAM모형의 측정에 도움을 주신 선문대학교 백철우교수님께 감사를 드립니다. 본 논문은 2010년 12월10일 인천송도컨벤시아에서 개최된 “2010 인천국제물류포럼”에서 발표된 박노경(2010)의 논문을 대폭적으로 수정보완, 요약하였음. 유익한 충고를 해주신 인하대학교 유홍성교수님과, 익명의 심사자들, 그리고 도움을 주신 원광대학교 소순후교수님께 감사를 드립니다. “이 논문은 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2010-327-B00355)”.

** 조선대학교 경상대학 무역학과 교수, nkpark@chosun.ac.kr, (062) 230-6821

I. 서론

국토해양부에서는 보다 과학적이고 체계적인 항만건설을 위해서, 첫째, 트리거 롤[10년 단위로 수립하고 5년 후에 타당성을 검토하는 중장기 항만기본계획에 근거한 기존 항만개발시스템]도입 및 적용, 항만수요예측센터를 한국해양수산개발원 내에 설치(2006.7), 항만수요검토위원회 구성(2007.10) 및 활용 등을 통하여 항만건설계획을 입안하여 시행하고 있다.¹⁾ 그러나, 항만투자계획은 개별항만들에 대한 항만화물처리능력, 항만배후단지개발, 항만에 대한 선사 및 개별하주들의 수요, 지리적인 사회간접망 확보 등등을 감안하여 세워지고 집행되어야만 한다. 그 동안 개별항만들은 항만투자금액을 국토해양부에 요청하는 경우에 투자예정금액은 사업의 성격과 규모, 항만투자의 유발효과 등을 감안하여 신청하고 있다. 그러나 그러한 효과를 효율성 측면에서 사후적으로 측정하는 방사적인 방법에 대한 연구는 많이 있어 왔으나 보다 더 정확하게 효율성을 측정할 수 있는 비방사적인 방법에 대한 관심은 상대적으로 낮았다. 그러나 항만관리체제가 민영화, 지방화, 분권화됨에 따라서 개별항만들에 대해서 전기년도(약 5-10년) 항만투자의 효율성을 정확하게 측정하여, 사후적으로 금년도 및 차기년도 투자금액을 배분하는 경쟁적인 시스템에 대한 인식이 크게 확산되고 있다.

본 논문은 인터넷 및 문헌조사, 항만전문가들을 대상으로 한 설문조사, 비방사적 측정방법에 대한 국내외 문헌조사를 통한 새로운 패널모형의 개발, 국내컨테이너항만을 대상으로 하여 실증분석을 실시하고, 그러한 결과를 비방사적인 측정결과와 비교하고 정책적인 함의를 제시하는 것을 본 논문의 연구방법으로 한다. 특히 국내의 항만분야에서는 거의 사용하고 있지 않는 비방사적인 방법을 도입하기 위해서 Athanassopoulos의 비방사적 모형[(1995, p.541),(1996,p.443)]을 기본으로 하여, Chen and Sherman(2004), Jahanshahloo, Lotfi, Shoja, Tohidi, and Razavyan(2005), Sueyoshi and Sekitani(2007), Zhou, Poh and Ang(2007), Sahoo and Tone(2009a), Sahoo and Tone(2009b), Sueyoshi and Sekitani(2009), Angiz L., Emrouznejad, and Mustafa(2010)의 모형들을 고려하여 항만투자의 효율성²⁾을 정확하게 측정 할 수 있는 새롭게 확장된 비방사적인 모형[비방사적 효율성 모형(Non-radial Efficiency Model)]: Athanassopoulos(1995, 1996)가 주장한 모형으로 비효율적인 개별 DMU들이 효율적이 되기 위해서 투입물을 감축시키면서 동시에 산출물을 증가시켜가는 매우 현실적인 효율성 측정모형. 기존의

1) 국토해양부 물류항만실 홈페이지(<http://logistics.mltm.go.kr>)를 참조요망.

2) 본 논문에서 사용하는 “항만투자의 효율성”에 대한 의미는 DEA기법을 이용한 효율성분석에서 항만투자라는 투입요소가 개별항만들의 효율성에 미치는 효과를 의미하는 것으로 정의한다. 그러나 항만투자요소가 포함된 3개의 투입요소와 5개의 산출요소에 대한 분석은 박노경(2010.12)를 참고하여 주시기 요망.

방사적 모형은 투입물만 감축시키거나, 산출물만 감축시키는 모형으로서, 다소 비현실적인 모형임을 소개하고 개발함으로써 기존의 국내 항만연구들에서 사용한 방사적인 모형이 갖고 있는 한계점(규모수확불변모형, 규모수확가변모형 하에서 투입지향 또는 산출지향모형들은 투입물 감축과 산출물 증대를 함께 고려하지 못함)을 극복하고자 한다.

본 논문의 연구범위는, 국내와 외국에서 선행된 방사-비방사모형 중에서 주로 비방사모형과 관련된 선행연구들을 학자와 년도, 분석방법 측면에서 간단하게 제시하고 그들 연구가 갖고 있는 한계점을 제시하고자 한다. 또한 2001년부터 2007년까지 4개의 산출물(입출항척수, 항만재정수입, 서비스만족도, 컨테이너화물처리량)과 1개의 투입물(항만투자금액)을 7개의 컨테이너항만에 적용[49개 패널자료]하여 실증분석을 시행하고 해석한다.

본 논문의 구성은 I 장의 서론에 이어서 II장에서는 비방사모형을 다룬 연구들에 대하여 간략하게 검토하고 그러한 연구들의 한계점과 함께 본 연구의 핵심을 제시하며, III장에서는 방사모형과 비방사모형을 이용하여 항만투자가 항만의 효율성에 미친 영향을 측정하기 위해서 실증적으로 적용해 본 후에, 어떤 차이점이 있는지를 파악하고 정책적인 함의를 제시한다. IV장에서는 요약과 함께 결론이 제시된다.

II. 기존연구의 방향, 한계점 및 본 연구의 핵심

1. 비방사적인 방법을 이용한 국내-국외 기존연구에 대한 간단한 검토³⁾

국내연구 중에서 비방사적인 모형을 이용하여 항만의 효율성을 측정한 연구는 박노경 외 1인(2007.6)을 제외하고 거의 없다. 이정동·백철우·이운규(2004)는 국내부품산업부분에 RAM모형을 부분적으로 적용하였다.

박노경 외 1인(2007.6)은 국내 컨테이너터미널의 생산효율성을 비방사적인 방법으로 측정하고, 그 결과를 방사적인 측정결과와 비교분석하였다. 가장 중요한 발견점은 비방사적인 방법은 투입/산출믹스를 유지하지 않고서 개별 투입/산출에 집중할 수 있는 목표를 제공해 주기 때문에 방사적인 방법에 비해서 훨씬 엄격하였다는 점이다. 요컨대, 보다 현실성 있는 측정방법임을 부분적으로 보여 주었다.

비방사적인 모형을 이용하여 효율성을 측정한 주요한 연구들을 살펴보면 다음의 <표 1>과 같다.⁴⁾

3) 보다 세부적인 내용은 박노경(2010.12), pp.422-423을 참조요망.

4) 수퍼효율성모형, 비방사적인 SBM모형에 대한 국내외 기존연구의 검토는 박노경(2010.9),

<표 1> 비방사적인 모형을 이용한 대표적인 국내외 기존연구

학자/구분	투입요소	산출요소	연구대상 및 자료	방법론	연구결과
박노경외1인 (2007.6)	종업원수, 부두길이, 부지면적, 컨테리크레인대수,	컨테이너 처리실적 (TEU), 연간선석점유율, 컨테이너 내장화물톤수	국내컨테이너터미널 8곳의 3년간 자료	방사 DEA, 비방사 CCR, BCC	효율성 순위변화를 야기시키는 변수들의 역할규명, 비방사효율성수치의 엄격성 규명함.
이정동·백철우·이운규(2004)	인건비, 감가상각비	부가가치	294개 국내부품소재기업	RAM(Range Adjusted Measure)	투입요소가 부품소재기업의 생산효율성에 기여한 정도를 파악함.
Athanassopoulos(1996)	총고용인수, 인구크기, 농지사용	GDP, 취학전교육을 받지않은 사람수, 실업자총수, 25세이하실업자수, 사고사숫자, 자살자숫자	7개 EU국가	비방사, BCC	평균방사효율성:70%, 평균비방사효율성:73% 스피어만순위상관:79%수준에서 유의함.
Chen and Sherman (2004)	외부위협에 대한 보호수익, 정치적 수익, 미국에 대한 안보비용, 나토참여에 따른 미국에 대한 제약	분쟁에 휘말릴가능성, 회원국으로서의 종속, 사회적비용, 지리적전략적 중요성, 경제적ית점, 인구비율, 군사시설설치, 정치적지지, 사회적 호감	16개 NATO회원국	비방사수퍼효율성, 방사수퍼효율성	전통적인 방사적인 측정에 의한 NATO회원국의 부담 측정이 몇몇 NATO회원국의 순부담비용을 작게 측정하였음을 규명함.
Zhou, Poh, and Ang(2007)	노동력, 1차에너지소비량	GDP [바람직스럽지 못한 경우: CO2, SOx, NOx, CO]	26개 OECD 회원국	방사, 비방사	비방사적인 방법이 환경성과측정에서 방사적인 방법에 비해서 더 높은 차별성을 q임.
Sahoo and Tone(2009b)	차입자금, 고정자산, 직원수	투자금액, 수익대출자산, 비이자소득	인도 약100개은행(1998-2005)	방사, 비방사	비방사적인 방법이 분석적인 풍부함과 실증적인 우월성 때문에 더 추천됨.

pp.22-23을 참조요망.

2. 기존연구의 한계점

첫째, DEA기법을 이용하여 항만의 효율성을 측정한 연구로는 모수원(2008), 나호수 외2인(2008), 하명신(2009) 등이 있으나 항만투자와 비방사용법은 다루지 못하였다. 항만의 효율성을 방사-비방사적인 방법을 이용하여 측정한 박노경 외 1인(2007.6)의 연구도 국내 8개 컨테이너 터미널의 3년간 자료를 이용하여 방사-비방사적인 효율성을 측정하고 비교함으로써 ①항만투자의 비방사적인 효율성을 더욱더 정확하게 측정하지 못하였으며, ② 패널자료를 이용하여 장기적인 항만투자의 비방사적인 효율성 측정은 전혀 다루지 못함으로써, 항만투자의 효율성을 정확하게 측정하기 위한 모형개발, 실증적 검증을 위한 대상기간, 투입-산출요소의 정확성 측면에서 한계를 보이고 있다.

둘째, 항만투자의 비방사적인 효율성 측정은 항만산업분야에서는 국내[박노경 외1인(2007.6)은 제외]와 국외에서도 거의 시도된 적이 없다. 특히, Additive, RAM, SBM모형을 함께 이용하고 방사적인 모형과 비교한 연구는 전혀 없었다.

셋째, 항만투자의 방사적인 측정결과와 비방사적인 측정결과를 패널자료를 이용하여 장기적으로 측정하고 심도 있게 비교분석한 연구는 국내와 국외에서 시도된 적이 없다.

III. 국내항만투자의 방사·비방사적인 효율성 측정을 위한 모형개발 및 실증적 적용

1. 방사적인 모형

(1) CCR 모형과 BCC모형⁵⁾

DEA 분석을 위한 모형은 많은 연구에 의해 다양한 형태로 제시되었으나, 가장 많이 활용되는 모형으로는 Charnes, Cooper & Rhodes(1978)의 CCR 모형과 Banker, Charnes & Cooper(1984)의 BCC 모형을 들 수 있다.

우선 CCR모형을 이용하여 의사결정단위들의 효율성을 분석하기 위해서는 <식 1>과 같은 선형계획모형을 이용할 수 있다. <식 1>은 평가대상 의사결정단위의 가상 투입량(즉, 투입량의 가중합계)을 1로 설정하고 가상 산출량(즉, 산출량의 가중합계)을 최대

5) 민재형·김진한, “한국 생명보험산업의 효율성 평가와 비효율성 원인의 규명”, 『경영학 연구』, 제29권 제1호, 한국경영학회, 2000.2, pp.326-327. 박노경 외1인(2007.6), pp.21-23.

화하는 모형이다.

$$\begin{aligned}
 \text{Max } E_{j_0} &= \sum_{r=1}^s u_r y_{rj_0} \\
 \text{s.t.} \\
 \sum_{i=1}^m v_i x_{ij_0} &= 1 \\
 \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} &\leq 0, \quad j=1, \dots, j_0, \dots, n, \\
 u_r &\geq \varepsilon > 0, \quad r=1, \dots, s, \\
 v_i &\geq \varepsilon > 0, \quad i=1, \dots, m.
 \end{aligned}
 \tag{식 1}$$

여기서, j 는 의사결정단위를 나타내는 지수 ($j=j_0$ 은 효율성을 평가하고자 하는 의사결정단위), x_{ij} 는 의사결정단위 j 의 i 번째 투입요소의 양 ($i=1, 2, \dots, m$), y_{rj} 는 의사결정단위 j 의 r 번째 산출요소의 양 ($r=1, 2, \dots, s$), u_r 는 r 번째 산출요소의 가중치, v_i 는 i 번째 투입요소의 가중치, 그리고 ε 은 비아르키메디안(non-Archimedean) 상수로 매우 작은 양의 상수(일반적으로 10^{-6})를 나타낸다. 따라서 n 개의 의사결정단위의 효율성을 평가하기 위해서는 n 개의 <식 1>과 같은 선형계획모형이 필요하다. <식 1>에서 목적함수가 1의 값을 갖게 되면 해당 의사결정단위는 다른 의사결정단위들에 비해서 상대적으로 효율적인 의사결정단위로 판명이 되고 그렇지 않으면 비효율적인 단위로 판명된다.

여기서, 제약조건의 수를 줄여 모형의 분석 시간을 단축하고 효율성 참조집합(비효율적인 단위의 참조대상들의 집합)에 대한 분석을 위해서 <식 1>의 쌍대모형인 <식 2>가 DEA 분석에서 자주 이용되기도 한다.

$$\begin{aligned}
 \text{Min } \theta_{j_0} - \varepsilon \sum_{r=1}^s s_r^+ - \varepsilon \sum_{i=1}^m s_i^- \\
 \text{s.t.} \\
 x_{ij_0} \theta_{j_0} - \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^- &= 0, \quad i=1, 2, \dots, m, \\
 \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - y_{rj_0} - s_r^+ &= 0, \quad r=1, 2, \dots, s, \\
 \lambda_j, s_i^-, s_r^+ &\geq 0, \quad \forall j, r, i.
 \end{aligned}
 \tag{식 2}$$

여기서, λ_j 는 <식 1>의 두번째 제약조건의 쌍대변수(dual variables)로 참조대상들의 선형조합비율(composite weight)을 나타내는 밀도변수(intensity variables)이고⁶⁾, θ_j 는 <식 1>의 첫번째 제약조건에 대한 쌍대변수로 의사결정단위 j_0 의 효율성을 나타낸다. 그리고 s_j^- 는 <식 1>의 투입요소와 관련된 제약조건의 여유변수(slack variables), s_j^+ 는 <식 1>의 산출요소와 관련된 제약조건의 여유변수를 의미한다.⁷⁾

이러한 CCR 모형과 비교하여 BCC 모형은 규모의 수익 변동을 가정하여 의사결정단위의 효율성을 순수한 기술적 효율성과 규모의 효율성으로 세분할 수 있도록 한다.

BCC모형은 <식 2>에 $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ 이라는 볼록성(convexity) 제약조건을 추가한 모형이다. 이 볼록성 제약조건으로 인해서 BCC 모형은 전반적 효율성에서 규모의 효율성을 제외한 순수한 기술적 효율성만을 측정할 수 있게 된다.

2. 비방사적인 모형 개발

비방사적인 모형에는 대표적으로 (1) 가법모형(Additive Model), (2) RAM모형(Range Adjusted Measure Model), (3) SBM모형(Slack-based Measure Model)모형으로 나눌 수 있다. 기타 Russell Measure 모델이 있으나 SBM모형과 유사함으로 본 장에서는 생략하기로 한다.

(1) 효율성 측정의 조건과 비방사적인 모형들의 장단점⁸⁾

Cooper et al.(1999)에 따르면 효율성 측정(efficiency measure)이 만족해야 할 4가지 조건은 다음과 같다. 즉,

- (1) 효율성 수치가 완전하게 효율적(fully efficient)인 경우 1, 완전하게 비효율적(fully inefficient)한 경우 0으로 수렴해야 한다
- (2) 강단조성 (strong monotonicity): 슬랙이 없는 강한 효율적(strong efficient)인 경우

6) 만일 의사결정단위 j_0 가 비효율적인 단위라면, <식 2>에서 λ_j 의 값이 양수로 나타난 의사결정단위들이 j_0 의 참조대상이 되며, 이 λ_j 값을 이용하여 참조대상들을 선형결합한 가상의 의사결정단위(virtual composite unit)는 의사결정단위 j_0 가 목표로 삼아야 할 효율적 단위가 된다.

7) 방사적 모형의 경우, 설령 j_0 가 효율적이라도(즉, $\theta_{j_0} = 1$) 모든 여유변수의 값이 반드시 0인 것은 아니다.

8) 보다 자세한 비교는 Cooper et al(2000), p.102, L.V. Fulton(2005), p.40을 참고하시기 요망.

여야만 한다.

(3) 단위 불변성 (unit invariance): 투입요소와 산출요소의 개별단위와 상관없이 효율성 수치는 동일해야만 한다.

(4) 평행이동 불변 (translation invariance) --> negative input을 고려 시 중요

: 투입산출요소의 값에 동일한 수치의 값을 더하거나 마이너스 시켜도 효율성에는 변화가 없어야만 한다.

1) 비방사적인 모형들의 공통된 장점

비방사모형(non-radial model)인 관계로 투입지향 또는 산출지향을 가정할 필요가 없다. 모든 투입을 동 비율적으로(equiproportionately) 감소시키거나, 모든 산출을 동비율적으로 증가시키는 것은 상당히 강한 가정인데, 본 절에서 제시한 세 모형은 이런 가정으로부터 자유스럽다.

2) 가법모형의 장점과 단점

가법모형의 장점은 효율성 수치가 강단조성과 평행이동 불변 성질을 만족시킨다는 점이다. 또한 단점은 첫째, 단위불변성을 만족하지 않기 때문에 효율성 수치가 민감하게 반응하며, 동일한 투입, 산출 하에서도 단위를 다르게 하면 다른 효율성 수치가 추정된다는 점이다. 둘째, 효율성 수치가 1보다 큰 값을 가질 수 있기 때문에 효율성 수치의 직관성이 낮다는 점이다. 셋째, 일반적으로 가법모형에서 효율성 수치가 큰 이유는 슬랙들의 단순한 합을 극대화 하기 때문이다. 즉, 투입-산출변수에 아무런 가중치가 없는 상태이기 때문이다. 가장 직관적이기는 하지만, 효율성 수치는 너무 커져서 다른 방법들에 의한 효율성 수치와 비교를 할 수 없다.

3) RAM모형의 장점과 단점

장점은 상기 효율성 수치가 충족해야 할 4가지 성질을 모두 만족시킨다는 점이며, 단점은 Range(범위)를 계산하는데 있어서 outlier(이상치)의 영향을 크게 받게 되며, outlier가 존재 하는 경우 Range가 큰 값을 가지면서 전체적으로 효율성 수치가 큰 값을 가지게 될 가능성이 존재한다는 점이다. 가중치 측정방법은 각각의 투입변수와 산출변수의 최대값과 최소값을 구하는데, 그 차이를 레인지라고 하고, 슬랙을 레인지로 나누고 그것을 극대화시키는 것이다.

4) SBM모형의 장점과 단점

장점은 단위불변성과 강단조성을 만족시킨다는 점이며, 단점은 $s_r^+/y_{ro} > 1$ 이 될 수 있기 때문에 극단적인 경우 효율성 수치가 1보다 클 수 있다는 점이다. 또한 평행이동 불변을 만족하지 않기 때문에 음(-)의 투입, 산출변수를 고려하지 못하게 된다. 또한 현재의 투입산출변수의 역수가 가중치가 된다.

(2) 비방사적인 패널모형개발

1) 패널가법모형(Additive Model)개발⁹⁾

본 항에서는 가법모형에 대한 이론적인 접근을 시도한다. 가법모형의 가장 큰 장점은 여유변수(slack variable)에 의해서 효율성을 측정하고 평가한다는 점이다. 본 항에서는 패널자료를 이용할 수 있도록 목적함수식에 반영한 모형으로 개발[박노경(2008.6)의 논문을 참고함]하였다.

본 논문에서 사용할 가법모형은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 (ADD_0 \max \quad z &= \sum_{t=1}^n es^- + es^+ && \text{<식 3>} \\
 \text{subject to} \quad X\lambda + s^+ &= x_0 \\
 Y\lambda - s^+ &= y_0 \\
 e\lambda &= 1 \\
 \lambda \geq 0, \quad s^- \geq 0, \quad s^+ &\geq 0.
 \end{aligned}$$

<식 3>의 쌍대모형은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 \min \quad w &= \sum_{t=1}^n vx_0 - uy_0 + u_0 && \text{<식 4>} \\
 \text{subject to} \quad vX - uY + u_0e &\geq 0 \\
 v &\geq e
 \end{aligned}$$

9) 수식에 대한 자세한 설명은 Cooper et al.(2000b), pp.91-94,

$$u \geq e$$

$$u_0 \text{ free}$$

2) 패널 RAM(Range Adjusted Measure)모형개발¹⁰⁾

Cooper et al.(1999)은 투입물의 종류를 m , 산출의 종류를 s , 기업수를 n 이라고 할 때, RAM모형은 관측치들의 선형결합으로 생산경계를 형성한 후, 평가하려는 기업과 생산경계와의 거리를 투입과 산출의 여유변수들(s_{io}^{-*}, s_{ro}^{+*})의 합으로 표현하여 효율성을 측정한다고 하였다. 식(5)의 목적식은 0~1 사이의 값을 가지며, 1에 가까울수록 효율성이 높음을 의미하며, S_{io}^{-*}/R_i^{-} 와 S_{ro}^{+*}/R_r^{+} 는 각각 투입과 산출의 비효율성의 정도를 나타낸다. 본 항에서는 제약조건 식에 패널자료가 포함될 수 있도록 panel RAM모형을 개발하여 제시한다.

$$\min \theta = 1 - \frac{1}{m+s} \sum_{i=1}^m \frac{S_{io}^{-*}}{R_i^{-}} + \sum_{r=1}^s \frac{S_{ro}^{+*}}{R_r^{+}} \quad \text{<식 5>}$$

$$s.t. \ x_{io} = \sum_{t=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_{io}^{-} \quad i = 1, \dots, m$$

$$y_{ro} = \sum_{t=1}^n \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_{ro}^{+} \quad r = 1, \dots, s$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

$$\text{where } R_i^{-} = \max_j x_{ij} - \min_j x_{ij}$$

$$R_r^{+} = \max_j y_{rj} - \min_j y_{rj}$$

10) 이정동 · 백철우 · 이운규, “RAM(Range Adjusted Measure)을 이용한 부품소재 기업들의 생산성 분석 및 R&D 현황에 관한 실증연구,” 『생산성논집』 제18권 제2호, 한국생산성학회, 2004, pp.27-28. 보다 자세한 내용은 Cooper, Park, and Pastor(1999), pp.18-22를 참조요망.

3) 패널SBM(Slack-based Measure)모형개발¹¹⁾

$i = 1, 2, \dots, n$ 까지의 DMUs가 있으며 DMU $_i$ 에 대한 투입물과 산출물 벡터의 관측된 자료는 $X_i = (X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{is})$ 그리고 $Y_i = (Y_{i1}, Y_{i2}, \dots, Y_{it})$ 이라고 가정한다. 이 경우에 슬랙변수는 S_j^- , 이고 $j = 1, \dots, s$ 이고, S_k^+ , $k = 1, \dots, t$ 이며 각각 투입물의 과대와 산출물의 과소를 의미한다. λ_i , $i = 1, 2, \dots, n$ 는 음수(-)가 아니라고 가정한다. Tone(2001)가 개발한 슬랙변수모형(Slack-based measure) 효율성은 다음의 <식 6>과 같이 표현 할 수 있으며, 패널자료가 반영된 모형으로 제시할 수 있다. 본 항에서는 패널자료를 고려하여 제약조건식에 패널자료의 내용이 첨가된 panel SBM모형을 개발하여 제시한다.

$$\rho_r = \text{Min } q - \frac{1}{s} \sum_{j=1}^s S_j^- / X_{rj}$$

$$\text{s.t. } q + \frac{1}{t} \sum_{k=1}^t S_k^+ / Y_{rk} = 1 \quad \text{<식 6>}$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^s X_{ij} \lambda_i' + s_j^- = q X_{rj}, \quad j = 1, \dots, s,$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^t Y_{ik} \lambda_i' - s_k^+ = q Y_{rk}, \quad k = 1, \dots, t,$$

패널SBM 모형인 <식 6>의 해를 구함으로써, 투입물 과대와 산출물 과소를 고려한 개별 DMU들의 효율성을 쉽게 구할 수 있다. 여기서, SBM은 현재의 투입산출변수의 역수가 가중치가 된다.

3. 설문조사를 통한 방사·비방사적 효율성 측정을 위한 모형개발

(1) 설문조사를 통한 국내항만투자의 방사·비방사적 효율성 측정을 위한 모형개발

1) 설문조사의 방법, 기간 및 설문조사 결과

<표 2>의 설문지는 2010월 7월 3일부터 2010년 7월 30일 사이에 인천대학교에서 개

11) Shiang-Tai Liu(2009), pp.2814-2815.

최된 한국항만경제학회 국제학술대회(2010년7월2~4일)에서 항만관련 전문가 및 교수에게서 설문지를 직접 받았으며, 또한 지방해양항만청 담당자에게는 직접 전화인터뷰를 통하거나, 인터넷 e-mail을 통해서 수집되었다. 대상은 항만분야 전공교수 16명, 항만분야전문가 8명, 각 지방해양수산청 9명으로 총33명[교수16명(<표 2>에서 1~16), 전문가8인(<표 2>에서 17~24), 각 지방해양수산청의 항만담당자 9명(<표 2>에서 25~33)]으로부터 수집하였다.

다음과 같은 설문문의 내용에 대한 의견이 제기되었다. ① 투입요소간의 상호관련성이 깊어, 요소들의 정제가 필요할 것 같음, ② 투입요소 및 산출요소간의 밀접한 관련이 있는 것끼리 비율을 구하는 것이 필요함(투자금액/처리능력, 선석길이/처리능력, 터미널면적/처리능력, 노무자수/처리능력, 항만화물처리량/년간재정수입) ③ 현지점에서 가장 문제가 되는 것은 선석공급과잉으로 인한 하역비덤핑으로 항만운영수익성이 최악의 상황이 되고 있음, ④ Bulk Cargo 와 컨테이너 Cargo 처리에 대한 구분이 필요함, ⑤ 항운노조와 노무관리(노무독점권, 독점적 추천권)가 필요함. ⑥ 항만접안능력과 항만화물처리능력은 동일한 용어로 사료됨, 선석길기와 터미널면적도 상당히 관련성이 높을 것임. ⑦ 컨테이너처리량과 항만화물처리량은 동질적으로 취급하는 것이 좋을 것임. 항만투자금액도 민자와 국비로 구분이 필요함, 민자는 PF등을 통해 자금이 조달되며 이러한 항만민영화가 항만효율성에 미치는 영향은 구분되어야만 함. 항만취급화물의 특성이 반영되어야만 함, ⑧ 현재 항만의 시설이 공급과잉상태로서 항만에서 제값을 받지 못하고 있음, 물동량을 중심으로 한 수요예측에 따른 개발계획은 잘못된 것임, 각 부두가 처리하는 화물종류가 다르므로 현재 항만의 커페시티에 대한 내용을 확실하게 파악한 후에 현실에 맞게 조정하는 것이 필요함, ⑨ A항만같은 경우에는 개발할 수 있는 구역이 없어서 물동량 증가가 정체되어 있음, ⑩ 부두개발은 70년대에 시작되었음, 그러한 현재는 선박들이 대형화하는 추세에 있으므로, 항만개발도 그러한 방향으로 이루어져야만 함.

위와 같은 지적에도 불구하고 본 논문에서 국내에서 수집할 수 있는 공식적인 통계자료가 『해양수산통계연보』와 『항만편람』 밖에 없기 때문에 <표 2>의 투입요소와 산출요소의 순위를 고려하고, 본 논문이 항만투자의 효과가 항만의 효율성에 미친 영향을 측정된 연구임으로 1개의 투입요소와 4개의 산출요소를 이용한 <표 3>과 같은 모형으로 결정하였다.

<표 2> 국내 항만투자의 방사·비방사 효율성을 측정하기 위한 모형개발을 위한 설문조사결과

투입요소 / 산출요소	투입요소							산출요소				
	항만투자금액	항만접안능력	항만화물처리능력	선석길이	터미널면적	항만노무자수	크레인수	항만화물처리량	항만서비스만족도	항만선박입출항척수	항만의 연간 재정수입	컨테이너화물처리량
1				0	0		0	0				0
2	0		0	0	0	0		0			0	0
3	0	0	0				0	0	0			0
4	0		0					0	0		0	0
5	0	0	0									
6		01	02		03			01	03			02
7	0	0	0					0			0	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
9	0		0					0	0			
10			0		0				0			0
11		02	01		04	03		01	03		04	02
12				0			0	0				0
13		0	0					0		0		0
14	07	02	01	04	03	06	05	02	01	05	04	03
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16		0			0		0	0	0			
17	0		0					0	0			0
18		0	0		0				0	0		0
19	02	01			03			01				02
20		0	0						0			0
21	04	02	01		03			03		02		01
22			0					0				0
23	0	0		0			0	0		0		0
24	0					0	0	0	0	0	0	
25		0	0					0				0
26	0	0	0			0		0	0	0		
27	0	0	0									0
28	0	0	0					0	0			
29	0	0	0					0	0	0		
30		0	0		0			0		0	0	
31		0	0				0	0	0	0		
32	0		0		0			0	0			0
33				0	0			0	0		0	
합계	19	20	27	8	15	7	10	29	20	12	9	21
순위	3	2	1	6	4	7	5	1	3	4	5	2

2) 설문조사결과에 의한 새로운 항만투자의 방사·비방사 효율성을 측정하기 위한 검증모형 개발

<표 2>의 결과에 의해서 <표 3>과 같은 항만투자의 효율성을 방사·비방사적인 방법으로 측정 할 수 있는 새로운 모형을 개발할 수 있다. 원래는 <표 2>에서의 순위에 의거하여 투입요소와 산출요소를 조합하는 것이 타당하겠지만, 국내 20개 무역항만에 대한 공식적인 자료가 국토해양부(구 해양수산부)에서 발행하는 “해양수산통계연보”와 “항만편람” 밖에는 없다. 또한 산출요소 중에서 컨테이너화물처리량은 불과 몇 개 항만만이 해당되며, 항만의 서비스만족도도 해양수산부에서 2000년부터 실시하다가 2007년에 중단되었기 때문에 여러 가지 사항을 고려하여 <표 3>과 같은 모형을 개발하였다. 그러나 본 모형은 개별 년도별로 효율성을 측정하는 것이 타당하다. 왜냐하면, DEA의 특성상 투입요소와 산출요소를 합한 숫자의 3배수에 해당하는 항만의 숫자가 확보되어야 하기 때문이다. 그러한 단점을 극복하기 위해서 7개년의 패널자료를 이용하였다. 본 자료가 갖고 있는 단점은 개별 년도별로 생산기술이 차이가 날 수 있음에도 불구하고 전체대상기간의 생산기술을 모두 동일하다고 가정하여 측정하고 있다는 점이다.¹²⁾ <표 3>의 모형은 논문심사과정에서 심사위원의 강력한 권고에 의해서 선택된 모형을 밝혀둔다.

<표 3> 국내항만투자의 방사·비방사 효율성 측정을 위해 개발된 모형

모형	대상기간	투입요소(순위)	산출요소(순위)	대상항만 수
방사-비방사모형	2001 ~ 2007	항만투자금액(3)	컨테이너화물처리량(2)	49개 (7개항만에 대한 7년간 자료)
			항만서비스만족도(3)	
			항만선박입출항척수(4)	
			항만의 연간 재정수입(5)	

4. 국내항만투자의 방사·비방사적인 효율성 측정모형의 실증적 적용

(1) 분석대상의 모형, 대상기간, 투입-산출요소¹³⁾ 및 단위, 대상항만 수

12) 또한 3개의 투입요소(항만투자금액, 집안능력, 하역능력)과 5개의 산출요소(화물처리량, 컨테이너화물처리량, 항만서비스만족도, 선박입출항척수, 연간 재정수입)를 이용한 동일한 분석은 박노경(2010.12)를 참고하시기 바람.

13) 본 연구에서 사용하고 있는 투입-산출요소들은 다양화 시켜야만 하는 한계점을 가지고 있다. 즉, 항만 입지, 처리화물의 종류, 배후단지의 특성 등등도 반드시 고려되어야만 한다.

국내항만투자의 방사·비방사적 효율성 측정을 위한 모형개발 및 실증적 적용에 관한 연구

분석모형, 대상기간, 투입-산출요소, 대상항만 수는 <표 3>과 같다. 대상은 항만서비스만족도와 컨테이너화물처리량에 대한 자료가 부족하여 7개항만(2001년-2007년)을 대상(총 49개항만)으로 하였으며, 방사모형의 경우에 실증분석은 가변수확모형과 투입지향모형으로 7년간의 패널자료를 이용하였다. 비방사모형의 경우에는 투입지향, 산출지향의 가정이 필요 없지만, 방사모형과의 비교를 위해서 동일한 방법으로 통일하였다. 각 변수의 단위는 다음과 같다. 투입요소는 항만투자금액(백만원), 산출요소는 항만서비스만족도(점), 화물처리량(톤), 선박입출항척수(척), 항만재정수입(천원), 컨테이너화물처리량(TEU)이다.¹⁴⁾

(2) 방사적인 모형을 이용한 항만효율성의 실증적 측정

(1) 가변수확하의 투입지향모형에 의한 실증분석 결과

<표 4>에는 가변수확하의 투입지향모형에 의한 방사적인 실증분석결과를 제시하였다. 여기서는 일반적인 방사적인 DEA효율성 수치를 제시하였다.

<표 4>에서는 다음과 같은 사실을 알 수 있다. 첫째, 군산, 부산, 마산, 울산항의 효율성이 비교적 효율적으로 나타났다. 둘째, 평택, 인천항, 광양항은 비효율적으로 나타났다.

<표 4> 방사적인 모형에 의한 효율성 측정결과[가변수확 투입지향모형]

항만/구분	효율성	순위	투입1슬랙	산출1슬랙	산출2슬랙	산출3슬랙	산출4슬랙
인천2001	0.2333	19	0	0	14.48	0.0006	1222788.69
평택2001	0.0892	35	0	7392.46	0.4771	0.0007	118365.41
군산2001	0.0477	46	0	9480.92	0	0.00024	39996.98
광양2001	0.2609	17	0	0	10.89	6923362.40	0.00001
마산2001	0.6457	10	0	5937.34	10.67	0.0007	51717.34
부산2001	0.2102	21	0	0	15.17	62282197.89	0.00013
울산2001	0.2012	24	0	0	10.53	0	745182.99
인천2002	0.3618	13	0	0	0	16991508.71	2153573.41
평택2002	0.1075	30	0	4141.35	0	2356592.35	0.00004
군산2002	0.0435	49	0	11756.18	2.46	0	276782.10
광양2002	0.0784	38	0	0	0	9006762.41	0.00001
마산2002	0.9836	8	0	4167.02	0	3257366.13	10425.00

14) 이 연구의 분석대상인 49개 패널자료가 가지고 있는 문제점은 매크로스트분석처럼 년도별로 변화하는 효율성을 반영하지 못하며, 단지, 시간적 차이(time lag)만을 반영하는 단점을 내포하고 있다.

한국항만경제학회지 제27집 제1호

부산2002	0.1213	28	0	0	3.42	9603585.10	987223.31
울산2002	0.2591	18	0	0	0	0	727161.28
인천2003	0.2058	23	0	0	0.6900	0	528052.65
평택2003	0.0461	47	0	5499.64	0	0	72566.33
군산2003	0.0445	48	0	11698.82	2.96	0	353697.13
광양2003	0.0681	42	0	0	0	12863661.96	0
마산2003	0.6850	9	0	3883.30	0	2998274.86	11908.21
부산2003	0.1033	32	0	0	2.48	102387162.5	567546.78
울산2003	0.2079	22	0	0	0.71	0	1099485.08
인천2004	0.2694	16	0	0	0	16531405.16	2696130.81
평택2004	0.0959	34	0	6382.41	0	3911439.68	0.00006
군산2004	1.0	1	0	0	0	0.0038	0.00003
광양2004	0.2770	15	0	0	0	6585507.00	0
마산2004	1.0	1	0	0	0	0.00050	0.00007
부산2004	1.0	1	0	0	0	0	0
울산2004	1.0	1	0	0	0	0	0
인천2005	0.1139	29	0	9.84	9.84	8666926.27	0.00001
평택2005	0.0706	41	7306.57	0	0	0.00020	44999.31
군산2005	0.0710	40	9721.15	0	0	0.00020	82605.06
광양2005	0.0525	44	0	0	0	28331331.26	0.00001
마산2005	1.0	1	0	0	0	0.00007	0
부산2005	0.1041	31	0	9.57	9.57	14982577.40	0.00026
울산2005	0.2128	20	0	5.03	5.03	0.00035	1630260.89
인천2006	0.1505	27	0	9.59	9.59	0.00017	587044.78
평택2006	0.0719	39	7636.31	0	0	0.00023	69663.68
군산2006	0.0867	36	12714.64	3.49	3.49	0	408312.88
광양2006	0.0520	45	0	0	0	30746614.63	0.00001
마산2006	0.3166	14	0	0	0	6520639.65	47263.61
부산2006	0.1032	33	0	4.63	4.63	27341504.74	655219.37
울산2006	0.5211	11	0	0	0	26793643.81	3876700.01
인천2007	0.1568	25	1039.99	2.07	2.21	0.00009	2435735.01
평택2007	0.0851	37	5455.80	0	0	4342151.52	0.0006
군산2007	0.47144	12	09946.70	0	0	393889.35	27091.23
광양2007	0.06103	43	0	0	0	33861826.39	183254.25
마산2007	0.15116	26	0	0	0	8164479.97	67319.12
부산2007	1.0	1	0	0	0	0	0.00009
울산2007	1.0	1	0	0	0	0	0

* 투입물 1이 항만투자금액을 의미하는 투입요소임.

(2) 비방사적인 모형을 이용한 항만효율성의 실증적 측정

1) 패널가법모형을 이용한 측정결과

<표 5>에는 가변수확하의 투입지향모형에 의한 비방사적인 패널가법모형을 이용한 실증분석결과를 제시하였다.

<표 5> 패널가법 모형에 의한 효율성 측정결과[가변수확 투입지향모형]

항만/구분	효율성	순위	투입1슬랙	산출1슬랙	산출2슬랙	산출3슬랙	산출4슬랙
인천2001	51909.15	21	51909.15	0	14.48	0	1222788.69
평택2001	36111.01	14	36111.01	7392.46	0.48	0	118365.41
군산2001	76642.84	30	76642.84	9480.92	0	1.27	399996.84
광양2001	30848.19	13	30848.19	0	1087	6923362.42	0
마산2001	1888.13	9	1888.13	5937.34	10.67	0	51717.34
부산2001	152664.3	40	152664.3	0	15.17	62282200.3	0.21
울산2001	55779.56	22	55779.56	0	10.53	0.02	745182.99
인천2002	37144.41	15	37144.41	0	0	16991508.7	2153573.41
평택2002	47684.39	18	47684.39	4141.35	0	2356592.02	0
군산2002	92678.38	35	92678.38	11756.18	2.46	0.02	276782.1
광양2002	143980.09	39	143980.09	0	0	9006762.41	0
마산2002	102.98	8	102.98	4167.02	0	3257366.13	10425
부산2002	353620.79	46	353620.79	0	3.42	96303589	987223.66
울산2002	42097.68	16	42097.68	0	0	0.13	727161.28
인천2003	59514.55	25	59514.55	0	0.69	0	528052.64
평택2003	86757.81	33	86757.81	5499.64	0	0	72566.33
군산2003	100833.45	37	100833.45	11698.82	2.96	0.81	353697.18
광양2003	200640.73	41	200640.73	0	0	12863662	0
마산2003	2773.06	10	2773.06	3883.3	0	2998274.86	11908.21
부산2003	439430.7	47	439430.7	0	2.48	102387163	567546.8
울산2003	59185.13	23	59185.13	0	0.71	0.06	1099485.08
인천2004	59249	24	59249	0	0	16531405.2	2696130.81
평택2004	71006.45	28	71006.45	6382.41	0	3911439.7	0
군산2004	0	1	0	0	0	0	0
광양2004	204114.37	42	204114.37	0	0	6585507.03	0
마산2004	0	1	0	0	0	0	0
부산2004	0	1	0	0	0	0	0
울산2004	0	1	0	0	0	0	0
인천2005	97709.38	36	97709.38	0	9.84	8666926.45	0.01
평택2005	74441.71	29	74441.71	7306.57	0	0	44999.3
군산2005	66923.98	27	66923.98	9721.15	0	0.15	8605.06
광양2005	259133.07	43	259133.07	0	0	28331331.3	0
마산2005	0	1	0	0	0	0	0
부산2005	458982.64	48	458982.64	0	9.57	14982578	0.02

울산2005	62944.7	26	62944.7	0	5.03	0.07	1630260.85
인천2006	80926.85	32	80926.85	0	9.59	4.07	587045.18
평택2006	80463.22	31	80463.22	7636.31	0	0.05	69663.68
군산2006	50607.48	20	50607.48	12714.64	3.49	0.06	408312.88
광양2006	271688.51	45	271688.51	0	0	30746616.9	0.09
마산2006	15384.35	12	15384.35	0	0	6520639.66	47263.61
부산2006	490688.38	49	490688.38	0	4.63	27341504.9	655219.38
울산2006	48249.05	19	48249.05	0	0	26793643.6	3876699.97
인천2007	108100.7	38	108100.7	1040	2.21	0	2435735.01
평택2007	87278.43	34	87278.43	5455.8	0	4342151.53	0
군산2007	3842.61	11	3842.61	9946.7	0	393889.35	27091.23
광양2007	268169.02	44	268169.02	0	0	33861827.9	183254.39
마산2007	46346.87	17	46346.87	0	0	8164480.09	67319.12
부산2007	0	1	0	0	0	0	0
울산2007	0	1	0	0	0	0	0

*투입물 1이 항만투자금액을 의미하는 투입요소임.

2) 패널RAM모형을 이용한 측정결과

<표 6>에는 패널RAM모형에 의한 효율성 측정결과를 제시하였다. 패널RAM의 측정 결과 효율적인 1의 DMUs가 많은 이유는 첫째, 투입산출변수의 숫자가 많기 때문이다. 둘째, 개별년도의 DMUs의 숫자가 적다, 즉, 데이터가 갖고 있는 한계점 때문이다.

<표 6> 패널RAM모형에 의한 효율성 측정결과[가변수확 투입지향모형]

항만/구분	효율성	순위	투입1슬랙	산출1슬랙	산출2슬랙	산출3슬랙	산출4슬랙
인천2001	0.8407	47	22496.69	0	20.38	0	0
평택2001	0.9111	34	0	8050.80	9.67	0	13424.87
군산2001	0.9049	36	30600.71	11550.53	8.0	0	13054.9
광양2001	0.8300	48	0	10777.8	16.32	23128840	0
마산2001	0.8862	39	0	2513.13	14.64	0	0
부산2001	1	1	0	0	0	0	0
울산2001	0.8701	42	0	0	14.05	0	1709291
인천2002	0.9954	20	12586.94	0	0	0	0
평택2002	0.9564	26	5051.30	7077.11	3.62	0	0
군산2002	0.8607	45	61279.65	10490.1	12.74	0	18533.39
광양2002	0.9410	29	85063.77	0	3.75	0	0
마산2002	1	1	0	0	0	0	0
부산2002	1	1	0	0	0	0	0
울산2002	0.9617	23	0	0	2.11	0	149867

국내 항만투자의 방사·비방사적 효율성 측정을 위한 모형개발 및 실증적 적용에 관한 연구

인천2003	0.9534	27	48359.66	0	3.89	0	0
평택2003	0.9030	37	43675.69	6387.30	9.11	0	0
군산2003	0.8507	46	78755.27	8830.61	13.72	0	0
광양2003	0.9479	28	119523.2	0	1.11	0	0
마산2003	0.9937	21	0	733.18	0.63	0	0
부산2003	1	1	0	0	0	0	0
울산2003	0.9365	30	0	0	4.20	0	2142223
인천2004	0.9860	22	0	0	1.89	0	0
평택2004	0.9610	24	34898.55	9032.63	0.96	0	0
군산2004	1	1	0	0	0	0	0
광양2004	1	1	0	0	0	0	0
마산2004	1	1	0	0	0	0	0
부산2004	1	1	0	0	0	0	0
울산2004	1	1	0	0	0	0	0
인천2005	0.8812	41	39224.55	0	14.09	0	0
평택2005	0.9174	31	44654.92	7520.65	6.78	0	0
군산2005	0.9159	33	37091.91	10273.05	6.57	0	0
광양2005	1	1	0	0	0	0	0
마산2005	1	1	0	0	0	0	0
부산2005	0.7846	49	395641.1	0	9.45	0	0
울산2005	0.8929	38	0	0	8.89	0	2726526
인천2006	0.8642	43	0	0	18.33	0	0
평택2006	0.9169	32	57484.49	7100.98	6.33	0	0
군산2006	0.8617	44	31792.82	9317.51	14.40	0	17183.37
광양2006	1	1	0	0	0	0	0
마산2006	1	1	0	0	0	0	0
부산2006	1	1	0	0	0	0	0
울산2006	1	1	0	0	0	0	0
인천2007	0.8839	40	47599.3	5479.48	11.74	0	0
평택2007	0.9575	25	51598.14	7675.48	0.98	0	0
군산2007	0.9074	35	0	7992	9.19	6279037	32088.65
광양2007	1	1	0	0	0	0	0
마산2007	1	1	0	0	0	0	0
부산2007	1	1	0	0	0	0	0
울산2007	1	1	0	0	0	0	0

* 투입물 1이 항만투자금액을 의미하는 투입요소임.

3) 패널SBM모형을 이용한 측정결과

<표 7>에는 가변수확하의 투입 및 비방사적인 패널SBM모형에 대한 실증분석결과를 제시하였다.

<표 7> 패널SBM모형에 의한 효율성 측정결과[가변수확 투입지향모형]

항만/구분	효율성	순위	투입1슬랙	산출1슬랙	산출2슬랙	산출3슬랙	산출4슬랙
인천2001	0.2333	19	51909.15	0	14.48	0	1222788.69
평택2001	0.0892	35	36111.01	7392.46	0.48	0	118365.41
군산2001	0.0477	46	76642.84	9480.92	0	1.27	399996.84
광양2001	0.26093	17	30848.19	0	1087	6923362.42	0
마산2001	0.6457	10	1888.13	5937.34	10.67	0	51717.34
부산2001	0.2102	21	152664.3	0	15.17	62282200.3	0.21
울산2001	0.2012	24	55779.56	0	10.53	0.02	745182.99
인천2002	0.3618	13	37144.41	0	0	16991508.7	2153573.41
평택2002	0.1075	30	47684.39	4141.35	0	2356592.02	0
군산2002	0.0435	49	92678.38	11756.18	2.46	0.02	276782.1
광양2002	0.0784	38	143980.09	0	0	9006762.41	0
마산2002	0.9836	8	102.98	4167.02	0	3257366.13	10425
부산2002	0.1213	28	353620.79	0	3.42	96303589	987223.66
울산2002	0.2591	18	42097.68	0	0	0.13	727161.28
인천2003	0.2058	23	59514.55	0	0.69	0	528052.64
평택2003	0.0460	47	86757.81	5499.64	0	0	72566.33
군산2003	0.0444	48	100833.45	11698.82	2.96	0.81	353697.18
광양2003	0.0681	42	200640.73	0	0	12863662	0
마산2003	0.6850	9	2773.06	3883.3	0	2998274.86	11908.21
부산2003	0.1033	32	439430.7	0	2.48	102387163	567546.8
울산2003	0.2079	22	59185.13	0	0.71	0.06	1099485.08
인천2004	0.2694	16	59249	0	0	16531405.2	2696130.81
평택2004	0.0959	34	71006.45	6382.41	0	3911439.7	0
군산2004	1	1	0	0	0	0	0
광양2004	0.2770	15	204114.37	0	0	6585507.03	0
마산2004	1	1	0	0	0	0	0
부산2004	1	1	0	0	0	0	0
울산2004	1	1	0	0	0	0	0
인천2005	0.1139	29	97709.38	0	9.84	8666926.45	0.01
평택2005	0.0706	41	74441.71	7306.57	0	0	44999.3
군산2005	0.0710	40	66923.98	9721.15	0	0.15	8605.06
광양2005	0.0525	44	259133.07	0	0	28331331.3	0
마산2005	1	1	0	0	0	0	0
부산2005	0.1041	31	458982.64	0	9.57	14982578	0.02
울산2005	0.2128	20	62944.7	0	5.03	0.07	1630260.85
인천2006	0.1504	27	80926.85	0	9.59	4.07	587045.18
평택2006	0.0719	39	80463.22	7636.31	0	0.05	69663.68
군산2006	0.0867	36	50607.48	12714.64	3.49	0.06	408312.88
광양2006	0.0520	45	271688.51	0	0	30746616.9	0.09
마산2006	0.3166	14	15384.35	0	0	6520639.66	47263.61

국내항만투자의 방사·비방사적 효율성 측정을 위한 모형개발 및 실증적 적용에 관한 연구

부산2006	0.1032	33	490688.38	0	4.63	27341504.9	655219.38
울산2006	0.5211	11	48249.05	0	0	26793643.6	3876699.97
인천2007	0.1568	25	108100.7	1040	2.21	0	2435735.01
평택2007	0.0851	37	87278.43	5455.8	0	4342151.53	0
군산2007	0.4714	12	3842.61	9946.7	0	393889.35	27091.23
광양2007	0.0610	43	268169.02	0	0	33861827.9	183254.39
마산2007	0.1512	26	46346.87	0	0	8164480.09	67319.12
부산2007	1	1	0	0	0	0	0
울산2007	1	1	0	0	0	0	0

* 투입물 1이 항만투자금액을 의미하는 투입요소임.

(3) 방사·비방사적인 모형을 이용한 실증분석결과에 의한 비교분석

1) 효율성 수치의 순위에 의한 스피어만(Spearman)의 서열상관관계계수 (Spearman rank order correlation coefficient)를 이용한 관계 비교분석

<표 4>, <표 5>, <표 6>, <표 7>의 효율성 수치에 의한 서열상관관계분석을 실시한 결과는 <표 8>에 제시하였다. <표 8>에서 보면 첫째, 방사모형과 패널가법모형의 효율성 수치에 의한 서열상관이 약 76%수준에서 가장 높게 일치하고 있다. 둘째, 방사모형과 비방사모형들의 효율성 수치에 의한 서열상관관계는 약71.6%수준에서 일치하고 있는 것으로 나타났다. 그 이유는 비방사적인 모형들도 모형의 특성은 약간씩 서로 다르겠지만, 결국은 투입요소와 산출요소의 슬랙을 중심으로 효율성을 측정하기 때문에 그러한 결과가 도출된 것으로 추정된다고 할 수 있다.

<표 8> 국내항만투자의 방사·비방사모형의 서열상관관계분석

	방사모형	패널가법모형	패널RAM모형	패널SBM모형
방사모형	1.0	0.757**	0.392**	1.0**
유의확율		.000	.005	
표본	49	49	49	49
패널가법모형	0.757**	1.000	0.159**	0.757**
유의확율	.000		.274	.000
표본	49	49	49	49
패널RAM모형	0.392**	0.159**	1.000	0.392**
유의확율	.005	.274		.005
표본	49	49	49	49
패널SBM모형	1.0**	0.757**	0.392**	1.000
유의확율		.000	.005	
표본	49	49	49	49

** 상관계수는 .01수준에서 유의함(양쪽)

2) 효율성 수치를 이용한 방사·비방사모형들과의 관계 비교분석¹⁵⁾

방사모형의 효율성 수치와 비방사모형의 효율성 수치를 비교해 보면 다음과 같은 특징을 발견 할 수 있다.

첫째, 방사모형과 패널SBM모형은 비교적 유사한 특성을 나타내고 있다.

둘째, 방사모형에 비해서 패널RAM모형의 효율성 수치가 더 높게 나타나고 있다.

셋째, 방사모형과 패널SBM모형과는 효율성 수치가 거의 유사하였다. 단지, 방사모형에서는 항만투자금액에 대한 슬랙이 적게 나타났으며, 패널SBM모형에서는 산출물슬랙들에서 차이를 보이고 있다. 그 이유는 단 한 개의 투입물인 항만투자금액과 4개의 산출물들에 대한 항만들이 연도별로 가지고 있는 특성에 기인한다고 할 수 있다. 단, 박노경(2010.12)에서와 같이 3개의 투입물과 5개의 산출물을 이용하는 경우, 즉, 요소들이 증대되는 경우에는 패널SBM모형의 효율성 수치가 방사모형에 비해서 매우 낮게 나타나는 경향을 보이고 있다. 그 이유는 모형의 특성 때문이다. 즉, Zhou et al.(2007, p.5)에서 설명한 바와 같이 비방사모형이 더 엄격하기 때문이며, 비방사 효율성 측정모형은 투입/산출믹스를 유지하지 않고서 개별 투입/산출에 집중할 수 있는 목표를 제공해 주기 때문이다.¹⁶⁾

3) 투입 및 산출물 슬랙을 이용한 분석

방사모형과 비방사모형의 투입 및 산출물 슬랙의 크기를 비교해 보면 방사모형의 슬랙들의 크기가 비방사모형의 슬랙들의 크기에 비해서 비교적 적은 것을 발견할 수 있다. 그 이유는 비방사모형의 특징은 슬랙에 중점을 두기 때문이다.

4) 평균효율성, 효율적인 항만숫자, 효율적인 항만숫자의 백분비율, 최저효율성 수치에 의한 비교

방사모형과, 가법모형을 제외한 비방사모형들의 평균효율성, 효율적인 항만숫자, 효율적인 항만숫자의 백분비율, 최저효율성 수치에 의해서 비교해 보면 다음 <표 9>와 같다.

첫째, 효율성수치나 효율적인 항만숫자 측면에서 보면 패널RAM모형, 패널SBM모형,

15) 본 연구결과를 더욱더 치밀하게 분석하기 위해서는 각 모형 간 비교로부터 도출한 학술적·실무적 시사점을 적시하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 차후연구에서 다루고자 한다.

16) 박노경 외 1인(2007), p.35.

방사모형의 순서였다.

둘째, 최저효율성 수치를 비교해 본 결과도 첫번째와 동일한 순서를 나타내었다.

<표 9> 항만들의 효율성측정결과에 의한 비교

	방사모형	패널RAM모형	패널SBM모형
평균효율성	0.2115	0.9444	0.3163
효율적인 항만의 숫자	2	19	7
효율적인 항만숫자의 백분비율	0.0041	0.3878	0.1429
최저효율성 수치	0.0320	0.7846	0.0435

(4) 방사·비방사적인 모형을 이용한 실증분석결과에 따른 정책적인 함의

본 논문이 갖는 정책적인 함의는 다음과 같다.

첫째, 각각의 항만들은 해당 항만들이 어떤 투입물의 슬랙이 과다되어 있으며, 어떤 산출물의 슬랙이 과소되어 있는지를 파악하여 투입물 슬랙은 축소시키고, 산출물 슬랙도 적정하게 관리를 할 수 있는 정책적인 방안을 마련하여 시행해야만 한다. 또한 그러한 경우도 방사모형(비율적으로 축소 또는 확대)의 결과와 비방사모형의 결과에서 나타난 슬랙의 크기들을 비교하여 적정한 정책을 입안하는 것이 좋을 것이다.

둘째, 국내항만당국들은 항만들이 효율적으로 되기 위해서 비효율적인 항만관리에 따른 성과부족과 시장점유율하락에 대한 위험성을 인식하여 시장을 잃을 위험을 대비하여 보다 더 높은 차별성을 갖고 있는[Zhou et al(2007), p.8] 비방사적인 모형을 이용하여 항만관리 및 시장관리를 철저하게 해야만 한다. 왜냐하면, Fried et al(1993)이 지적한 바와 같이 단지 방사적인 비효율성을 측정하는 것은 종합적인 비효율성을 과소평가하게 되어서 항만이 갖고 있는 비중성적인 특성(non-neutral character)을 인식하는데 실패하기 때문이다. 즉, 항만이 투입물에 대한 예산배분 등을 잘못 배분할 수 있기 때문이다.[McKillop et al.(2002), p.1582]

IV. 결 론

본 논문에서는 국내항만투자의 효율성을 조금더 정확하게 측정하기 위한 방법을 개발하기 위해서, 그 동안 국내학자들이 많이 사용하였던 방사적인 방법과 함께, 슬랙을 중심으로 효율성을 파악하는 비방사적인 방법을 새롭게 도입하여, 1997년부터 2007년까지 국내 20개 항만의 5개의 산출물(항만서비스만족도, 수출입물량, 선박입출항척수, 항

만재정수입, 컨테이너화물처리량)과 3개의 투입물(항만투자금액, 집안능력, 하역능력)을 이용하여 국내항만들의 효율성을 방사-비방사적인 방법으로 측정하고 그 결과를 비교하였다.

실증분석의 주요한 결과는 다음과 같다.

첫째, 효율성 수치의 순위에 의한 스피어만(Spearman)의 서열상관관계계수(Spearman rank order correlation coefficient)를 이용한 관계를 비교분석해 보면, ① 방사모형과 패널가법모형의 효율성 수치에 의한 서열상관이 약 76%수준에서 가장 높게 일치하고 있다. ② 방사모형과 비방사모형들의 효율성 수치에 의한 서열상관관계는 약71.6%수준에서 일치하고 있는 것으로 나타났다.

둘째, 방사모형의 효율성 수치와 비방사모형의 효율성 수치를 비교해 보면 다음과 같은 특징을 발견 할 수 있다. ①방사모형과 패널SBM모형은 비교적 유사한 특성을 나타내고 있다. ②방사모형에 비해서 패널SBM모형의 효율성 수치가 더 높게 나타나고 있다. ③방사모형과 패널SBM모형과는 효율성 수치가 거의 유사하였다. 단지, 방사모형에서는 항만투자금액에 대한 슬랙이 적게 나타났으며, 패널SBM모형에서는 산출물 슬랙들에서 차이를 보이고 있다. 그 이유는 투입물과 산출물에 대한 각 항만들의 특성에 기인한다고 할 수 있다.

셋째, 방사모형과 비방사모형의 투입 및 산출물 슬랙의 크기를 비교해 보면 방사모형의 슬랙들의 크기가 비방사모형의 슬랙들의 크기에 비해서 비교적 적은 것을 발견할 수 있다.

넷째, 패널가법모형을 제외하고, 나머지 모형들에 대해서 평균효율성, 효율적인 항만숫자, 효율적인 항만숫자의 백분비율, 최저효율성 수치에 의해서 비교를 해 보면, ① 효율성수치나 효율적인 항만숫자 측면에서 보면 패널RAM모형, 패널SBM모형, 방사모형의 순서였다. ② 최저효율성 수치를 비교해 본 결과도 첫 번째와 동일한 순서를 나타내었다. 본 연구의 정책적인 함의는 다음과 같다.

첫째, 국내항만들은 방사·비방사모형을 이용하여 해당항만의 효율성을 더욱 엄격하게 평가하여 그에 따른 항만경영전략을 도입하여야만 한다.

둘째, 국내항만들은 방사·비방사모형에서 제시할 수 있는 투입 및 산출요소의 슬랙의 크기를 파악하고, 해당항만에 적합한 슬랙을 제거시키는 항만경영전략을 도입하여야만 한다.

셋째, 본 논문에서 제시했던 비방사모형 중에서 해당항만에 적합한 측정방법을 선택하여 해당항만경영에 도입하는 방법을 도입해야만 한다.

본 논문의 한계점은 국내에서는 비방사적인 측정방법에 대한 연구가 극히 부진하여 방사적인 방법과 비방사적인 방법과의 모형별로 심도있는 분석이 시도되지 못했다고

하는 점이다. 이 부분에 대한 연구는 차후에 진행하고자 한다.

참고문헌

- 국토해양부 물류항만실 홈페이지(<http://logistics.mltn.go.kr>)
- 국토해양부(구 해양수산부), 『해양수산통계연보』, 해양수산부, 각년호.
- 나호수 외2인, “한국 5대 항만의 효율성에 대한 비교연구,” 『한국항만경제학회지』, 제24권 제4호, 한국항만경제학회, 2008, 25-46.
- 노형진, 한글 SPSS 10.0에 의한 조사방법 및 통계분석, 형설출판사, 2001.
- 모수원, “국내항만의 효율성 결정요소-패널분석과 이분산 토빗모형을 이용하여,” 『한국항만경제학회지』 제24권 제4호, 한국항만경제학회, 2008, 349-361.
- 민재형·김진한, “한국 생명보험산업의 효율성 평가와 비효율성 원인의 규명,” 『경영학연구』 제29권 제1호, 한국경영학회, 2000.2., 323-356.
- 박노경, “국내항만투자의 방사·비방사적 효율성 측정을 위한 모형개발 및 실증적 적용에 관한 연구,” 『2010 인천국제물류포럼 발표논문집』, 인천광역시, (사)한국항만경제학회, 2010.12.09-11, 419-447.
- 박노경외 1인, “컨테이너터미널의 방사·비방사적 효율성 측정방법비교,” 『해운물류연구』 제53호, 한국해운물류학회, 2007.6, 17-41.
- 박노경, “국내항만투자의 유효성 검증을 위한 모형개발 및 실증적 적용에 관한 연구,” 『한국항만경제학회지』 제24권 제2호, 한국항만경제학회, 2008., 209-239.
- 이정동·백철우·이운규, “RAM(Range Adjusted Measure)을 이용한 부품소재 기업들의 생산성 분석 및 R&D 현황에 관한 실증연구,” 『생산성논집』, 제18권제2호, 한국생산성학회, 2004, 21-37.
- 하명신, “동북아 지역과 미국 주요 컨테이너항만간의 효율성 비교-DEA기법을 중심으로-,” 『한국항만경제학회지』 제25권 제3호, 한국항만경제학회, 2009, 229-250.
- Angiz L. M.Z., A. Emrouznejad, and A. Mustafa, “Fuzzy Assessment of Performance of a Decision Making Units Using DEA: A Non-radial Approach,” *European Journal of Operational Research*, 2010, in printing, 1-5.
- Athanassopoulos, A., “Goal Programming & Data Envelopment Analysis(GoDEA) for Target-based Multi-level Planning: Allocating Central Grants to the Greek Local Authorities,” *European Journal of Operational Research*, Vol.87, 1995, 535-550.
- Athanassopoulos, A., “Assessing the Comparative Spatial Disadvantage(CSD) of Regions in the European Union Using Non-radial Data Envelopment Analysis Methods,” *European Journal of Operational Research*, Vol.94, 1996, 439-452.
- Banker, R. D., A. Charnes and W. W. Cooper, “Some Models for Estimating Technical and Scale

- Inefficiencies in Data Envelopment Analysis," *Management Sciences*, Vol.30, 1984, 1078-1092.
- Charnes, A., W. W. Cooper and E. Rhodes, "Measuring the Efficiency of Decision Making Units," *European Journal of Operational Research*, Vol.2, 1978, 429-444.
- Chen, Y., and Sherman H.D., "The Benefits of Non-radial vs. Radial Super-efficiency DEA: An Application to Burden-sharing amongst NATO Member Nations," *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol.38, 2004, 307-320.
- Cook, W.D., and L.M. Seiford, "Data Envelopment Analysis(DEA)-Thirty Years On," *European Journal of Operational Research*, Vol.192, 2009, 1-17.
- Cooper, W.W., H. Deng, B. Gu, S. Li, and R.M. Thrall, " Using DEA to Improve the Management of Congestion in Chinese Industries (1981-1997)," *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol.35, 2001, 227-242.
- Cooper, W.W., K.S. Park, and J.T. Pastor, " RAM: A Range Adjusted Measure of Inefficiency for Use with Additive Models, and Relations to Other Models and Measures in DEA," *Journal of Productivity Analysis* , Vol.11, 1999, 5-42.
- Cooper, W.W., L.M. Seiford, and J. Zhu, "A Unified Additive Model Approach for Evaluating Efficiency and Congestion," *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol.34, 2000a, 1-26.
- Cooper, W.W., L.M. Seiford, and J. Zhu, *Data Envelopment Analysis*, Boston, Kluwer Academic Publishers. 2000b.
- Fulton, L.V., "Performance of Army Medical Department Health Delivery Components 2001-2003: A Multi-Model Approach," *Ph.D. Thesis*, The University of Texas. 2005.
- Jahanshahloo, G. R., Junior, H. V., Lotfi, F. H. and Akbarian, D., "A New DEA Ranking System Based on Changing the Reference Set," *European Journal of Operational Research*, Vol.181, 2007, 331-337.
- Jahanshahloo, G. R., Hosseinzadeh L., Shoja, N., Tohidi,G., and Razavyan, S., "Undesirable Inputs and Outputs in DEA Models," *Applied Mathematics and Computation*, Vol.169, 2005, 917-925.
- Liu, Shiang-Tai., " Slack-based Efficiency Measures for Predicting Bank Performance," *Expert Systems with Applications*, Vol.36, 2009, 2813-2818.
- McKillop, D.G., J.C. Glass, and C. Ferguson, "Investigating the Cost Performance of UK Credit Unions Using Radial and Non-radial Efficiency Measures," *Journal of Banking and Finance*, Vol.26, 2002, 1563-1591.
- Sahoo, B.K., and K. Tone, "Decomposing Capacity Utilization in Data Envelopment Analysis: An Application to Banks in India," *European Journal of Operational Research*, Vol.195, 2009a, 575-594.

- Sahoo, B.K., and K. Tone, "Radial and Non-radial Decompositions of Profit Change: With an Application to Indian Banking," *European Journal of Operational Research*, Vol.196, 2009b, 1130-1146.
- Sueyoshi, T., and K. Sekitani, "Measurement of Returns to Scale Using a Non-radial DEA Model: A Range-adjusted Measure Approach," *European Journal of Operational Research*, Vol.176, 2007, 1918-1946.
- Sueyoshi, T., and K. Sekitani, "An Occurrence of Multiple Projections in DEA-based Measurement of Technical Efficiency: Theoretical Comparison among DEA Models from Desirable Properties," *European Journal of Operational Research*, Vol.196, 2009, 764-794.
- Tone, K., "A Slack-Based Measure of Efficiency in Data Envelopment Analysis," *European Journal of Operational Research*, Vol.130, 2001, 498-509.
- Zhou, P., K.L. Poh, and B.W. Ang, "A Non-radial DEA Approach to Measuring Environmental Performance," *European Journal of Operational Research*, Vol.178, 2007, 1-9.

국문 요약

국내항만투자의 방사·비방사적 효율성 측정을 위한 모형개발 및 실증적 적용에 관한 연구

박노경

본 논문에서는 국내항만투자의 효율성을 정확하게 측정하기 위해서 기존의 방사모형과 새롭게 개발된 비방사적인 방법(패널 가법모형, 패널 RAM모형, 패널 SBM 모형)으로, 2001년부터 2007년까지 국내 20개 항만의 4개의 산출물(항만서비스만족도, 선박입출항척수, 항만 재정수입, 컨테이너화물처리량)과 1개의 투입물(항만투자금액)을 이용하여 국내항만들의 효율성을 측정하고 그 결과를 비교분석하였다. 실증분석의 주요한 결과는 다음과 같다. 첫째, 효율성 수치의 순위에 의한 스피어만의 서열상관관계계수의 결과는 ① 방사모형과 패널가법모형의 효율성 수치에 의한 서열상관이 약 76%수준 일치 ② 효율성 수치에 의한 서열상관관계는 약71.6%수준에서 일치하였다. 둘째, 방사-비방사모형의 효율성수치들은 ①방사모형과 패널SBM모형(비교적 유사) ② 패널RAM모형의 효율성 수치가 더 높았음, ③패널SBM모형과는 효율성 수치가 매우 유사 하였음. 셋째, 방사모형과 비방사모형의 투입 및 산출물 슬랙의 크기를 비교해 보면 방사모형의 슬랙이 더 적었다. 넷째, 가법모형을 제외한 나머지 모형들에 대한 측정결과를 보면, ① 효율성수치나 효율적인 항만숫자 측면에서 보면 패널RAM모형, 패널SBM모형, 방사모형의 순서였다. ② 최저효율성 수치를 비교해 본 결과도 첫 번째와 동일한 순서를 나타내었다.

본 연구의 정책적인 함의는 다음과 같다.

첫째, 국내항만들은 방사·비방사모형을 이용하여 해당항만의 효율성을 더욱 엄격하게 평가하여 그에 따른 항만경영전략을 도입하여야만 한다. 둘째, 국내항만들은 방사·비방사모형에서 제시할 수 있는 투입 및 산출요소의 슬랙의 크기를 파악하고, 해당항만에 적합한 슬랙을 제거시키는 항만경영전략을 도입하여야만 한다. 셋째, 본 논문에서 제시했던 비방사모형 중에서 해당항만에 적합한 측정방법을 선택하여 해당항만경영에 도입하는 방법을 도입해야만 한다. 본 논문의 한계점은 국내에서는 비방사적인 측정방법에 대한 연구가 극히 부진하여 방사적인 방법과 비방사적인 방법과의 모형별로 심도있는 분석이 시도되지 못했다고 하는 점이다. 이 부분에 대한 연구는 차후에 진행하고자 한다.

핵심 주제어: 항만투자효율성, 방사-비방사모형, 패널가법모형, 패널SBM모형, 패널RAM모형