

국내항만투자의 효율성 및 적정 투자규모 예측을 위한 모형개발 및 실증적 적용에 관한 연구

박노경*

A Study on the Model Development and Empirical Application for Predicting the Efficiency and Optimum Size of Investment in Domestic Seaports

Ro-Kyung Park

목 차

I. 서론	이론적 접근
II. 기존연구의 방향, 한계점 및 본 연구의 핵심	IV. 항만투자의 효율성 및 적정투자규모를 예측하기 위한 실증분석
III. 항만효율성 및 적정투자규모를 예측하기 위한 실증적 적용을 위한 모형개발 및	V. 결론

Key Words: 항만 효율성 예측, 항만 적정투자규모예측, 슈퍼SBM모형, 윌콕슨부호순위검정

Abstract

The purpose of this paper is to show the empirical measurement way for predicting the seaport efficiency by using Super SBM(Slack-based Measure) with Wilcoxon signed-rank test under CRS(constant returns to scale) condition for 20 Korean ports during 11 years(1997-2007) for 3 inputs(port investment amount, birthing capacity, and cargo handling capacity) and 5 outputs(Export and Import Quantity, Number of Ship Calls, Port Revenue, Customer Satisfaction Point for Port Service and Container Cargo Throughput). The main empirical results of this paper are as follows. First, Super SBM model has well reflected the real data according to the Wilcoxon signed rank test, because p values have exceeded the significance level. Second,

▷ 논문접수: 2010.7.8 ▷ 심사완료: 2010.08.31 ▷ 게재확정: 2010.09.10

* 본 논문의 모델결정을 위한 설문지에 응답해 주신 분들과 귀중한 자료를 제공해 주신 국토해양부 항만운영과 홍성진 선생님께 진심으로 감사를 드립니다. 본 논문은 2010년7월1~3일 인천대학교에서 개최된 (사)한국항만경제학회 국제학술대회에서 영문으로 작성하여 발표된 논문[Park, R.K.(2010)]을 수정보완 하였음. “이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2009-327-B00381)”.

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

Super-SBM has shown about 87% of predicting ratio for the ports efficiency and the optimal size of investment in domestic seaport. The policy implication to the Korean seaports and planner is that Korean seaports should introduce the new methods like Super-SBM method with Wilcoxon signed rank test for predicting the efficiency of port performance and the optimal size of investment as indicated by Panayides et al.(2009, pp.203-204).

I. 서론

수출입화물의 99.7%를 처리하는 국제물류의 핵심인프라인 항만은 무역의존도가 높은 우리 경제의 대동맥의 역할을 수행하고 있으며, 국가 및 지역경제 발전에 막대한 기여를 하고 있다.¹⁾ 또한 국제물류의 동향을 살펴보면, 첫째, 해상물동량 증가의 지속과 동북아물동량 비중증가, 둘째, 해운 및 항만운영의 국제network화와 복잡화 진전, 셋째, 항만인프라 및 항만물류산업의 대형화와 거점화, 넷째, 중심항만 간 시설확충, 운영효율화와 경쟁심화 등이다.²⁾ 물류중심지로서의 국내항만들의 특성과 우리의 여건을 살펴보면, 첫째, 천혜의 지경학적 입지, 둘째, 중심항만의 필수여건인 환적화물의 증가, 셋째, 신항 개장 등 시설확충, 인센티브 제공으로 인한 대형선사의 유지 등이 강점들이며, 약점은 첫째, 국제물류수송의 핵심인프라인 항만시설 부족, 둘째, 항만시설 부족에 따른 체선현상(2010년 현재는 항만시설이 초과공급상황으로 전환됨)으로 매년 5천억 이상의 경제적 손실 발생, 셋째, 국제물류센터의 역할을 수행하는 항만배후단지 부족 등이다. 위와 같은 상황 하에서 국토해양부에서는 보다 과학적이고 체계적인 항만건설을 위해서, 첫째, 트리거 룰[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.³⁾

그 동안의 항만투자계획에서는 이미 투자된 금액이 어느 정도로 개별항만의 투입-산출요소와 효율성에 영향을 미치고 있는지에 대해서 사전적으로 예측하는 문제에 대해서는 상대적으로 낮은 비중을 차지해 온 것이 사실이다. 또한 개별항만들 자체적으로 항만투자에 대해서 그 효과를 예측하는 모형을 개발하는데도 다소 미흡하였다. 따라서 앞으로 국내항만들이 항만투자 관리를 과학적으로 수행하기 위해서는, 해당항만에 적합하면서 국내항만들 전체에 적용할 수 있는 통일된 미시적인 항만투자의 적정한 투자규모와 투자 후의 효율성을 사전적으로 예측할 수 있는 모형을 개발해야만 하는 시점에 와있다. 그러한 모

1) GDP의 64.5%가 무역의존도임. GDP의 5.4%에 달하는 25조 4천억원의 국가경제적 과급효과가 있음. 보다 자세한 내용은 국토해양부 물류항만실 홈페이지(<http://logistics.mltmgo.kr>)를 참조요망.

2) 상계홈페이지.

3) 상계홈페이지,

형을 새롭게 개발하고 실증적으로 적용하면서, 연차적으로 더 많은 평가요소들을, 항만투자의 적정 투자규모 예측모형에 도입하여 개선해 나갈 때 더욱 현실적인 예측모형개발이 가능해 질 수 있다.

본 연구는 국내와 국외의 선행연구 및 관련 문헌연구, 설문지조사, 모형설계, 실증분석을 실시한다. 연구내용과 방법의 핵심을 정리해 보면 다음과 같다. 즉, 국내 26개 무역항만 들에 대한 항만투자의 효율성 및 적정 투자규모를 예측하기 위한 모형을 개발하고 실증적으로 적용해 보기 위해서 다음과 같은 다섯 가지 방법을 사용한다. 첫째, 선진국 항만들에서 사용되고 있는 항만투자의 효율성 및 적정 투자규모를 예측하기 위한 모형에 대하여 인터넷 및 문헌조사를 시행한다. 둘째, 26개 국내 무역항만의 항무과(항만개발 및 투자 관련부서)의 담당자, 항만분야 전공교수, 항만분야 전문가(해양수산개발원)에 대하여 설문조사를 통하여 항만투자의 효율성 및 적정 투자규모를 예측하기 위한 모형지표를 선정한다. 셋째, 항만투자의 효율성 및 적정 투자규모를 예측하는 것을 주제로 삼고 있는 국내와 국외의 선행연구와 관련문헌을 검토하여 항만투자의 효율성 및 적정 투자규모를 예측할 수 있는 새로운 모형을 개발한다. 즉, Kaoru Tone(2001)의 슬랙변수모형을 기본으로 하여, Kaoru Tone(2002)의 수퍼효율성모형, Tammie A. et al(2009), Kaoru Tone(2009), Kaoru Tone and Miki Tsutsui(2009)의 모형들을 고려하여 항만투자의 효율성과 적정 투자규모를 예측할 수 있는 새로운 확장된 모형[슬랙변수모형(Slack-based Measure of Efficiency): Kaoru Tone(2001, pp.499-501)가 주장한 모형으로 개별 DMU들에 대한 투입물의 과다와 산출물의 과소를 직접적으로 파악할 수 있도록 해 주는 모형]을 개발함으로써 Shiang-Tai Liu(2009)의 모형이 갖고 있는 한계점(항만들의 순위를 정확하게 알 수 있는 수퍼효율성모형을 이용하지 못함으로써, 월콕순부호순위검정에 있어서 정확성이 결여됨)을 극복하고자 한다. 넷째, 선진국 학자의 예측모형을 토대로 하여 위에서 발견한 내용들을 첨가하고, 수정 보완하여 국내 항만들에 적합한 항만투자에 대한 새로운 효율성 및 적정 투자규모를 예측하기 위한 모형을 개발한다. 또한 새롭게 개발된 SBM모형을 실증적으로 11년 동안(1995년~2005년)의 분석기간에 적용하고 효율성을 예측하여 측정하는 한편, 실제 년도의 자료와의 비교검토를 통해서 예측력을 검증하는 한편, 새롭게 수퍼효율성 모형을 도입하여 개별항만들의 순위를 정확하게 파악한 후에 그러한 순위를 다시 예측자료와 실제자료로 나누어서 월콕순부호순위검정을 실행하여 비교함으로써 본 연구에서 개발한 수퍼SBM모형과 월콕순부호순위검정을 이용한 모형들이 과연 개별항만들의 효율성 및 적정 투자규모를 예측하는데 있어서 예측력이 어느 정도 인지를 파악한다. 또한 개별항만별로 항만투자의 적정한 투자규모를 실제 투입요소와 산출요소의 자료를 이용한 분석과 예측치의 자료를 비교분석함으로써 10년의 기간 동안에 걸쳐서 어느 정도가 적정 투자규모였는지를 년도별로 예측하고 그 규모를 제시한다.

항만의 효율성을 측정하는 방법 중에서 비모수적인 DEA(Data Envelopment Analysis: 자료포괄분석)측정방법은 Charnes, Cooper, and Rhodes (1978, CCR모형이라 칭함)가 분수형태의 선형측정방법을 선형계획(linear programming)형태로 변화시킴으로써 보여 주었던

1978년에 처음으로 소개되었으며, Banker, Charnes, and Cooper(1984, BCC모형이라 칭함)는 규모수확변화(variable returns to scale, VRS라 칭함)하에서 효율성을 측정하는 방법을 보여 주었다.⁴⁾

그러나 위와 같은 DEA의 기본모형인 CCR모형과 BCC모형의 가장 큰 단점은 효율적인 DMU들의 순위를 결정할 수 없다는 점이었다. 그러한 문제점을 해결한 것이 슬랙변수모형(Slack-based Measure of Efficiency, 이하 슬랙변수모형 또는 SBM이라 칭함)이다. 본 논문의 주제가 되는 슬랙변수모형은 일반적인 DEA효율성 측정시 발생하는 여유변수(slack variable)의 크기에 의해서 DMU의 효율성수치를 보여 줌으로써 효율적인 DMU(효율성수치가 1인 DMU)들의 순위를 밝혀내어 줄 수 있다. 위와 같이 슬랙변수모형에 의한 효율성측정방법은 효율적인 DMU들 사이의 순위를 슬랙변수로서 간접적으로 밝혀 줌으로써 효율적인 DMU들간의 경쟁관계를 명확히 해 줄 수 있는 장점 때문에 외국에서는 II장의 기존연구에서 소개하는 바와 같이 부분적으로 연구가 진행되고 있다. 그러나 국내에서는 슬랙변수모형을 소개한 논문은 박노경(2004.8, 2008.6, 2008.12)을 제외하고 거의 없는 상황이다.⁵⁾ 그동안 국내에서도 국내항만에 대한 효율성을 II장에서 소개하는 바와 같이 DEA기법을 이용하여 많이 측정하였다. 그러나 항만분야에서는 본 논문에서 다루고 있는 슈퍼SBM(Super Slack-Based Measure of Efficiency:여유변수에 의한 효율성 측정)과 윌콕슨부호순위검정을 통해서 항만의 효율성을 예측하고 검증한 연구는 시도된 적이 없었다.⁶⁾ 국외에서도 최근에 Shiang-Tai Liu(2009)⁷⁾가 그러한 슬랙변수모형을 이용하여 은행성과를 예측하는 방법을 측정모형과 함께 제시하였다.

따라서 본 논문은 Liu(2009)가 제시하고 있는 슬랙변수모형과 새롭게 슈퍼효율성모형을 도입한 슈퍼SBM 측정모형[Tone(2002)]으로 효율성을 측정하는 한편 그 순위를 이용하여 윌콕슨의 순위부호검증 결과를 비교함으로써 Liu(2009)의 슬랙변수모형, Tone(2002)의 슈퍼SBM모형이 갖고 있는 항만효율성측면의 예측력을 검증하는 한 방법을 소개하고자 하는데 본 논문의 연구 목적을 두고자 한다.

본 논문의 연구범위는, 국내와 외국에서 선행된 슬랙변수모형과 관련된 선행연구들을 학자와 년도만을 제시하고 그들 연구가 갖고 있는 한계점을 제시하고자 한다. 또한 1997년부터 2007년까지 5개의 산출물[화물처리량, 입출항척수, 항만재정수입, 서비스만족도, 컨테이너화물처리량]과 3개의 투입물[항만투자금액, 접안능력, 하역능력, (선석수는 자료는 수집하였으나 항만별 적용의 문제 때문에 제외함)]을 이용하여 실증분석을 시행하고 해석한다.

4) N. Adler, L. Friedman, and Z. Sinuany-Stern, " Review of Ranking Methods in the Data Envelopment Analysis Context," *European Journal of Operational Research*, Vol. 140, 2002, pp. 249-250. 박노경(2004.8), p1825, 박노경(2008.12),p.314의 내용을 전재함.

5) 박노경(2004.8), p.1826, 박노경(2008.12),p.315의 내용을 전재함.

6) 다년도를 대상으로 항만분야에 대해서 최근에 박노경(2008.12)에 의해서 시도된 적이 있다.

7) Shiang-Tai Liu, "Slacks-Based Efficiency Measures for Predicting Bank Performance," *Expert System with Applications*, Vol.36, 2009, pp.2813-2818.

본 논문의 구성은 I 장의 서론에 이어서 II장에서는 DEA기법을 이용한 연구들과 슬랙변수모형을 다룬 연구들에 대하여 간략하게 검토하고 그러한 연구들의 한계점과 함께 본 연구의 핵심을 제시하며, III장에서는 Liu(2009)의 슬랙변수모형과 새롭게 도입한 슈퍼SBM 효율성 측정모형, 윌콕슨부호순위검정방법을 이론적으로 제시하는 한편 슬랙변수모형과 슈퍼효율성 모형을 결합시킨 Super-SBM모형으로 항만산업의 효율성측정에 적용해 본 후, 효율성 순위를 결정하고, 그러한 순위에 근거하여 Wilcoxon의 순위부호테스트를 통해서 슈퍼SBM모형이 갖고있는 항만효율성측면의 예측력을 측정하는 방법을 보여 주고자 한다. IV장에서는 요약과 함께 결론이 제시된다.

II. 기존연구에 대한 검토

1. SBM모형과 슈퍼SBM모형을 이용한 기존연구에 대한 간단한 검토

외국의 기존연구들을 살펴보면, SBM모형은 Tone(2001)가 처음으로 제시하였다. 그는 SBM과 CCR모형과의 관계, 이익극대화시키는 경우에는 SBM모형의 쌍대프로그램, 비용/가격 정보를 고려한 경우 등을 5개의 DMU들과 2개의 투입물과, 2개의 산출물을 예로 들어서 보여 주었다. 또한 투입물과 산출물에 0이 있는 경우, 러셀의 효율성과의 차이점 등을 제시하였다. Tone and Tsutsui(2010)은 동학적인 경우의 SBM모형을 다루었다. 즉, 기준년의 바람직스러운 또는 바람직스럽지 못한 성과가 차기의 성과에 어떤 영향을 미치는 지를 보여 주었다. Tone(2002)는 SBM모형과 슈퍼효율성 모형을 결합시킨 슈퍼SBM모형을 처음으로 소개하였으며, 7개의 DMU들과 두개의 투입물과 1개의 산출물을 이용하여 증명하였다. 또한 Anderson and Peterson(1993)모형과의 차이점, 그리고 투입-산출자료에 0이 있는 경우를 확장시켜서 보여 주었다. Du, Liang, and Zhu(2010)는 Tone(2002)의 슈퍼SBM모형을 확장시켜서 새롭게 Additive 슈퍼효율성 모형을 도입하여 사례를 통해서 양자가 DMU들의 순위 면에서 동일한 결과를 보여줌으로써 모형을 확장시켰다.

국내의 기존연구를 살펴보면, 박노경(2004.8)은 슬랙변수모형을 이용하여 은행산업의 효율성을 측정하는 방법을 단년도 자료를 이용하여 간단하게 보여 주었다. 본 연구와 직접적으로 관련된 연구는 박노경(2008.12)이 Liu(2009)의 연구를 한국의 항만에 처음으로 적용하여 보았다. 즉, 20개항만을 대상으로 10년(1994-2003)의 기간동안 2개의 투입요소(접안능력, 하역능력)와 3개의 산출요소(수출입물량, 선박입출항척수, 항만재정수입)를 이용하여 실증분석하였다. 실증분석결과를 보면, 다년도 윌콕슨 부호순위 검정결과에 의하면, 년도별로 예측력에 차이를 보이지만, p값이 평균 0.473 수준에서 성과예측력을 가지는 것으로 나타났다.

국내항만투자의 효율성 및 적정 투자규모 예측을 위한 모형개발 및 실증적 적용에 관한 연구

<표 1> 슈퍼효율성 모형, SBM모형, 슈퍼SBM모형을 이용한 기존연구

학자/구분	투입요소	산출요소	연구대상 및 자료	방법론	연구결과
박노경(2004)	종업원수, 고정 자본, 지점수	예금액, 대출액, 유가증권투자액	국내25개은행의 1995년도 자료	Super CCR, BCC, Slack CCR, BCC	일반적인 CCR모형에 비해서 Super 효율성 모형과 Slack모형은 효율적인 은행들의 순위를 밝혀주었다.
박노경(2008)	집안능력, 하역능력	수출입물량, 선박입출항척수, 항만재정수입	20개항만, 1994-2003	SBM모형과 윌콕순부호순위검정	다년도 분석 결과 는 47.3%의 예측력을 갖 음. 2000-2001, 2003-2004는 60%의 예측력을 갖 음
Tone(2001)	2개의 투입물	2개의 산출물	5개 DMUs	SBM&CCR, BCC모형과 비교,	SBM모형은 여유변수 에 대한 단위불변성, 단조증가성, 이익극대 화를 증명함.
Tone(2002)	2개의 투입물 4개의 투입물	1개의 산출물 2개의 산출물	7개 DMUs 6개 DMUs	Super-CCR Super-SBM	Super-SBM모형이 순 위를 결정함에 있어서 우월성이 있음.
Du, Liang, and Zhu(2010)	2개의 투입물 4개의 투입물	1개의 산출물 2개의 산출물	7개 DMUs 6개 DMUs	Super-SBM Super-Additive	1개 모형에서 동일한 순위의 결과를 보임. Super-SBM모형에서 실행불가능성은 발견 되지 않았음.
Tone and Tsutsui(2010)	4개의 투입물 2개(종업원수, 소비연료)	4개의 산출물 1개(생산된 전력)	8개 DMUs 50개 발전회사	DSBM(동학SBM)	4가지 종류의 Carry-Over 활동을 반영한 효율성(free, bad, good, fix) 측정
본 연구	항만투자금액 화물처리능력 집안능력	화물처리량 항만서비스만족도, 컨테이너화물처리량, 항만의 연간재정수입, 항만선박입출항척수	1모형: 7개 항만의 7년 자료 2모형: 20개항만의 7년 자료	슈퍼SBM과 윌콕순부호순위검정	항만투자의 적정투자 규모를 밝혀냄. 예측력 은 1모형은 약98%, 2모형은 76%를 보임.

2. 기존연구의 한계점 및 본 연구의 핵심

박노경(2008.12)의 연구는 항만의 효율성을 예측하기 위해서 다년도(1994년부터 2003년까지)를 대상으로 SBM모형에 의한 효율성 수치를 이용하여 월콥슨부호순위검정방법으로 검증을 시도하였지만, 첫째, 단 한 개의 모형을 이용함으로써 연구결과의 신뢰성을 높이지 못했다. 둘째, 항만들의 연도별 순위를 결정함에 있어서, SBM모형과 슈퍼효율성 모형을 결합시킨 슈퍼SBM효율성 모형을 사용하지 못함으로써 효율적인 항만들의 순위를 정확하게 제시하지 못했다. 결과적으로 실증분석결과의 신뢰성을 완전하게 확보하지 못했다. 셋째, 개별 항만들의 항만투자규모의 증감, 적정투자규모를 정확하게 예측하여 제시하지 못했다.

III. 항만효율성 및 적정투자규모를 예측하기위한 실증적 측정을 위한 모형개발 및 이론적 접근: 슈퍼SBM효율성 측정모형과 월콥슨부호순위검정이론

1. Liu(2009)의 슬랙변수모형⁸⁾

$i = 1, 2, \dots, n$ 까지의 DMUs가 있으며 DMU r 에 대한 투입물과 산출물 벡터의 관측된 자료는 $X_r = (X_{r1}, X_{r2}, \dots, X_{rs})$ 그리고 $Y_r = (Y_{r1}, Y_{r2}, \dots, Y_{rt})$ 이라고 가정한다. 이 경우에 슬랙 변수는 S_j^- , 이고 $j = 1, \dots, s$ 이고, S_k^+ , $k = 1, \dots, t$ 이며 각각 투입물의 과다와 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 1)과 같이 표현 할 수 있다.

$$p_r = \text{Min} \frac{1 - \frac{1}{s} \sum_{j=1}^s S_j^- / X_{rj}}{1 + \frac{1}{t} \sum_{k=1}^t S_k^+ / Y_{rk}} \quad (\text{식 1})$$

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

$$\sum_{i=1}^n Y_{ik} \lambda_i - S_k^+ = Y_{rk} \quad k = 1, \dots, t$$

8) Shiang-Tai Liu(2009), pp.2814-2815. 박노경(2008.12), pp.316-318의 내용을 전재함.

국내항만투자의 효율성 및 적정 투자규모 예측을 위한 모형개발 및 실증적 적용에 관한 연구

$$\lambda_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n, \quad s_j^- \geq 0,$$

$$j = 1, \dots, s, \quad s_k^+ \geq 0, k = 1, \dots, t$$

$0 < \rho_r^* \leq 1$ 은 쉽게 증명될 수 있으며, 단위불변성과 단조증감성(monotone)의 특성을 만족시킨다.

ρ_r^* 의 큰 값은 DMUr이 성과측면에서 더 잘 수행한다는 것을 의미한다. 만일에 어떤 최적해가 어떠한 투입요소의 과다와 산출요소의 과소가 없는 즉, $S_j = s_k^+ = 0$ 이라면,

$\rho_r^* = 1$ 이며, 평가되는 DMU는 효율적인 것으로 간주할 수 있다.

모형식(1)은 계산하는 것이 어렵도록 만드는 분수프로그래밍 문제를 가지고 있다. 따라서 Tone(2001)에서 설명하는 바와 같은 Charnes-Cooper 변환이론을 이용하여 변환시킬 수 있다. 모형식(1)의 목적함수식의 분모와 분자에 스칼라 변수 $q(>0)$ 를 곱한다. 이것은 ρ_r^* 에 아무런 변화를 야기시키지 않는다. 그리고 분모가 1이 되도록 하기 위해서 q 를 조정할 수 있으며, 이러한 조건을 제약조건에도 적용한다. 결과적으로 모형식 (1)은 모형식 (2)와 같이 된다.

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

$$\text{s.t. } q + \frac{1}{t} \sum_{k=1}^t \phi_k^+ / Y_{rk} = 1, \quad (\text{식 2})$$

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

$$\sum_{i=1}^n Y_{ik} \lambda_i - s_k^+ = Y_{rk}, \quad k = 1, \dots, t$$

$$\lambda_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad s_j \geq 0$$

$$j = 1, \dots, s, \quad s_k^+ \geq 0, \quad k = 1, \dots, t$$

모형식(2)의 문제는 목적함수에서 비선형 용어인 ϕ_j 와 제약조건에서 qs_j^+ 를 포함하고

있는 점이다. $S_j^- = \theta_j^-$, $S_k^+ = qs_j^+$, $\lambda_i' = q\lambda_i'$ 라고 표시하자. 그렇게 되면, 모형식 (2)는 모형식(3)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \rho_r &= \text{Min } q - \frac{1}{s} \sum_{j=1}^s S_j^- / X_{rj} \\ \text{s.t. } & q + \frac{1}{t} \sum_{k=1}^t S_k^+ / Y_{rk} = 1 \\ & \sum_{i=1}^n X_{ij} \lambda_i' + s_j^- = qX_{rj}, \quad j=1, \dots, s, \\ & \sum_{i=1}^n Y_{ik} \lambda_i' - s_k^+ = qY_{rk}, \quad k=1, \dots, t, \end{aligned} \tag{식 3}$$

모형식 (3)의 해를 구함으로써, 투입물 과대와 산출물 과소를 고려한 개별 DMU들의 효율성을 쉽게 구할 수 있다.

2. 슈퍼효율성을 추가한 새로운 슈퍼SBM 모형의 도입 및 적용을 위한 개발⁹⁾

Super효율성모형¹⁰⁾은 Andersen and Petersen(1993)이 효율적인 DMU들을 구분하기 위한 방법으로 제안되었다. 특히 Super효율성 모형은 어떤 관측치가 효율적인 상태로 유지하기 위한 투입물 또는 산출물에서 극대방사변화를 검토하는 모형이다. 즉, 어떤 DMU가 비효율적이 되지 않으면서 투입물을 어느정도로 증대시키는지(또는 산출물을 감소시키는) 방법을 보여주는 모형이다. 따라서 Super-효율성의 값이 커지면 커질수록 효율적인 DMU들 사이에서의 순위는 높아지게 된다. Super효율성은 비효율적인 DMU들이나 효율적인 DMU들 사이에서 측정할 수 있다. 비효율적인 DMU들의 경우에는 효율성측정값은 일반적인 DEA분석방법에의 결과와 동일한 수치를 보이며 변화가 없다. 반면에 효율적인 DMU들은 1보다 더 높은 수치를 보이게 된다. Super효율성은 최고참조기술(the

9) 슈퍼SBM에 대한 자세한 모형식과 설명은 다음의 논문을 참조하시기 바람. 또한 본 연구에서 도입한 슈퍼SBM모형은 각주17번에서 설명한 바와 같이 윌콕슨부호순위검정단계를 3단계만큼 축소시켰다. Tone(2001,2002)의 모형을 뛰어 넘는 슈퍼SBM모형의 개발은 현실적으로 어려워서 국내에서는 처음으로 Tone의 슈퍼SBM모형을 도입하여 실증분석에 적용하였다. 그러나 본 연구는 첫째, 설문조사를 통한 2개의 평가모형을 개발, 둘째, 윌콕슨부호순위검정의 절차에 슈퍼효율성모형을 처음으로 적용한 모형을 개발함으로써 국내 및 Liu(2009)의 기존연구를 학술적으로 확장시켰다.

K.Tone, "A Slack-based Measure of Super-efficiency in Data Envelopment Analysis," *European Journal of Operational Research*, Vol.143, 2002, pp.32-41.

10) L. M. Seiford and J. Zhu,(1999),pp.175-176, 박노경(2003.2),p.282. 보다 자세한 내용은 박노경(2003.2),pp.277-298을 참조요망.

best-practice reference technology)로부터 생산단위를 제거시키지 않으면서 측정할 수 있다. 따라서 비효율적인 DMU들이 Super효율성을 계산할때, 수치의 변화가 일어나지 않는다.¹¹⁾

모형식 (3)에 다음과 같은 슈퍼효율성을 측정할 수 있는 제약조건식을 추가하면 된다.¹²⁾ Super-CCR에 대해서는 아무조건도 따르지 않음.

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

$$\text{Super_NIRS은 } \sum_{j=1}^n \lambda_j \leq 1$$

$$\text{Super_NDRS은 } \sum_{j=1}^n \lambda_j \geq 1 \text{의 조건들이 첨가된다.} \quad (\text{식 4})$$

단, (x_0, y_0) 는 DMU_0 를 표현한다. Super-CCR은 규모수확불변을 가정하는 Super효율성 CCR모형이며, Super-BCC는 규모수확변화하에서의 Super효율성 BCC모형을 나타낸다. 왜냐하면, 램다값에 대한 블록성 제약조건이 있기 때문이다. Super-NIRS와 Super-NDRS는 규모수확에 대한 비체증, 비체감을 만족시키는 2종류의 Super효율성 DEA 모형이다.

3. 윌콕슨부호순위검정이론¹³⁾

윌콕슨 부호순위검정(符號順位檢定)은 관측값이 θ_0 보다 크고 작음뿐만 아니라 관측값의 상대적인 크기도 고려하여 검정을 실시하는 방법으로서, 일표본 문제에서 가장 널리 사용되는 비모수적 검정법이다. 윌콕슨 부호순위검정에서는 부호검정에서 적용되는 가정에 더하여 '오차항 e 는 0에 대하여 대칭인 분포를 따른다'라는 가정이 필요하다. 윌콕슨 부호순위 통계량은 다음과 같이 정의된다.¹⁴⁾

Step 1. X_i 와 θ_0 의 차를 구한다. 즉,

$$Z_i = X_i - \theta_0$$

Step 2. $|Z_1|, |Z_2|, \dots, |Z_n|$ 중에서 $|Z_i|$ 의 순위를 R_i 로 정의한다.

11) Holvad, T., An Analysis of Efficiency Patterns for A Sample of Norwegian Bus Companies, mimeo, 2001, p.282. (<http://www.trg.dk/td/papers/papers01/K01-tra/Holvad1606.pdf>)

12) 박노경(2003.2), pp.283-284.

13) 박노경(2008.12), pp.318-320의 내용을 전재함.

14) <http://sasmania.com/zb41/contents.php?id=338>

Step 3. 다음의 식에 의해 윌콕슨 부호 순위 통계량을 계산한다.

$$W^+ = \sum_{i=1}^n \psi_i R_i^+, \text{ where } \psi_i = \begin{cases} 1, & X_i > \theta_0 \\ 0, & X_i \leq \theta_0 \end{cases}$$

부호검정과 마찬가지로 윌콕슨 부호순위검정 역시 SAS(Statistical Analysis for Social Science)패키지의 PROC UNIVARIATE에서 수행된다.

위의 내용을 알기 쉽게 풀이하면 다음과 같다. 즉, 먼저 윌콕슨의 부호순위검정을 위한 귀무가설과 대립가설은 다음과 같다.¹⁵⁾

(양측검정의 경우)

귀무가설 Ho : 두 그룹의 중심위치는 같다.

대립가설 H1 : 두 그룹의 중심위치는 어긋나 있다.

(단측검정의 경우)

귀무가설 Ho: 두 그룹의 중심위치는 같다.

대립가설 H1: 한 그룹의 중심위치는 오른쪽(왼쪽)으로 어긋나 있다.

윌콕슨의 부호순위검정에서는 앞에서 설명한 바와 같이 먼저 쌍의 차(예측자료와 실제 자료의 차) d 를 구한다. 그리고 차의 절대값 $|d|$ 에 대해서 작은 쪽부터 순서대로 순위를 매긴다. 또한 순위를 매길 때에 차 d 가 0인 것은 무시한다. 다음에 $d > 0$ 과

$d < 0$ 인 2군(群)으로 나눈다. 그리고 $d > 0$ 인 군에 대한 순위합 T_1 과 $d < 0$ 인 군에 대한 순위합 T_2 를 구한다. T_1 과 T_2 의 작은 쪽을 T라 하고 데이터의 수(쌍의 수)를 n이라 하면, 검정통계량 Z는 다음 (식 4)와 같이 된다.

$$z = \frac{T - \frac{n(n+1)}{4}}{\sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{24}}} \quad (\text{식 4})$$

p값은 검정통계량 Z가 귀무가설하에서 평균이 0, 표준편차가 1인 표준정규분포에 따른다는 것을 이용하여 산출한다.

지금까지 설명한 SBM모형, 수퍼SBM모형, 윌콕슨의 부호순위검증모형은 다음과 같은 관계를 갖고 있다. 슬랙변수모형과 수퍼SBM모형은 Tone(2001,2002)가 설명한 바와 같이 기존의 CCR, BCC모형에 비해서 슬랙(투입물의 과다, 산출물의 과소)이 발생하지 않도록 투입-산출요소를 최적화 시켜주는 모형들이며, 수퍼SBM은 SBM에 비해서 슬랙에 따라서

15) 노형진, 『한글 SPSS 10.0에 의한 조사방법 및 통계분석』 (서울: 형설출판사, 2001), pp.214-217.

DMUs의 순위를 더욱 정확하게 파악할 수 있도록 해 주는 모형이다. 본 연구에서 도입한 윌콕슨부호순위검증모형은 항만투자의 예측치와 실제치가 어느 정도로 합치하는지를 실증적으로 파악할 수 있는 모형으로서 상호인과관계를 파악하는데 필수적인 모형이다.

2. 설문조사를 통한 적정투자규모 예측을 위한 모형개발

1) 설문조사를 통한 국내항만투자의 적정투자규모 예측을 위한 모형개발

가) 설문조사의 방법, 기간 및 설문조사 결과

<표 2>의 설문지는 2009년 12월 1일부터 2010년 1월 30일 사이에 한국항만경제학회에서 항만관련 전문가 및 교수에게서 설문지를 직접 받았으며, 기타 국토해양부, 지방해양항만청 및 한국해양수산개발원 담당자에게는 인터넷 e-mail을 통해서 수집되었다. 대상은 항만분야 전공교수 20명, 한국해양수산개발원의 항만분야전문가 4명, 각 지방해양수산청 10명으로 총34명에게 송부하여 23명[교수13명(A~M), 전문가3인(N~P), 각 지방해양수산청의 항만담당자 7명(Q~W)]으로 부터 회신을 받았다. 따라서 회수율은 약 68%였다.

다음과 같은 설문지 내용에 대한 의견이 제기되었다. 첫째, 투입요소에 하부공사, 상부공사, 기타로 구분하여 각 Dimension별로 변수를 찾아 정하는 것이 필요함. 또한 정량적 투입요소 뿐만 아니라 정성적 투입요소의 정량화가 필요함, 경제학적 기반의 연구모형과 경영학 기반의 연구모형 간 통합이 필요 할 것으로 생각됨. 항만단일의 투입과 산출요소 보다는 항만과 선사 간 네트워크 모형에 기초한 연구 설계가 이루어진다면 보다 나은 새로운 식견을 제시할 수 있을 것임. 화물특성에 따라 달라지는 전용항 개념의 확인이 필요함, 둘째, 항만투자의 적정규모를 결정하는 요소란, 항만투자규모는 처리해야하는 물동량의 규모가 결정되어야 하며, 선석 당 처리능력이 결정되면 개발규모가 결정되게 되며, 이때 투입요소라고 하면 기 개발된 항만의 생산투입요소는 장비, 이력, 기술수준일 것이고, 개발하려고 하는 항만의 투입요소는 항만개발을 의미할 때는 투자금액의 규모 외에는 없을 것 같음으로 사전에 조작적 정의가 필요함, 셋째, 무엇보다도 중요한 항만물동량 전망치가 있어야만 함, 그 다음이 화물처리능력이고, 나머지 선석길이, 터미널 면적, 항만접안 능력은 화물처리능력을 구성하는 요소에 불과할 것이라고 판단됨. 설문지에 제시된 12개의 요소(투입요소 7개, 산출요소 5개)를 선정하는 것은 아주 무모한 설문방법이며 의미가 없으므로 각 요소에 대한 중요도를 설문한 후순위를 부과하는 방법으로 전환하여야만 함.

위와 같은 지적에도 불구하고 본 논문에서 국내에서 수집할 수 있는 공식적인 통계자료가 『해양수산통계연보』와 『항만편람』 밖에 없기 때문에 원래의 계획대로 2개의 모형으로 나누어서 진행할 수밖에 없었다.

<표 2> 국내 항만투자의 효율성 및 적정투자규모 예측을 위한 모형에 대한 설문조사결과

투입 요소 /산출 요소	투입요소							산출요소				
	항만 투자 금액	항만 접안 능력	항만 화물 처리 능력	선석 길이	터미 널면 적	항만 노무 자수	크레 인수	항만 화물 처리 량	항만 서비 스만 족도	항만 선박 입출 항척 수	항만 의 년간 재정 수입	컨테이 너화물 처리량
A	○	○		○	○			○	○			○
B			○	○	○	○	○	○	○			○
C	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
D	○	○			○			○	○		○	
E	○	○	○		○			○	○	○		
F	○	○	○					○	○			
G		○	○		○		○	○			○	○
H	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○
I	○			○	○			○		○	○	
J	○		○					○				○
K	○		○	○		○	○		○		○	○
L	○	○	○					○			○	○
M		○	○		○			○	○			
N			○					○	○	○	○	○
O	○						○	○		○		○
P			○				○	○	○			
Q	○			○	○			○				
R		○	○	○	○			○		○		○
S	○							○				
T	○	○	○				○	○	○	○		
U		○						○				
V	○	○	○								○	
W		○	○					○			○	
합계	15	14	16	8	11	3	7	21	12	7	9	10
순위	2	3	1	5	4	7	6	1	2	5	4	3

나) 설문조사결과에 의한 새로운 항만투자의 효율성 및 적정투자규모를 예측하기 위한 평가모형 개발

<표 2>의 결과에 의해서 <표 3>과 같은 항만투자의 효율성 및 적정투자규모를 예측할 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 가

국내항만투자의 효율성 및 적정 투자규모 예측을 위한 모형개발 및 실증적 적용에 관한 연구

지 사항을 고려하여 <표 3>과 같은 제1모형, 제2모형을 개발하였다. 그러나 제1모형은 DEA의 특성상 투입요소와 산출요소를 합한 숫자의 3배수에 해당하는 항만의 숫자가 확보되어야만 하지만 그렇지 못한 단점을 내포하고 있다. 따라서 항만투자를 중심으로 효율성을 측정하고 순위를 정하고자 한다.¹⁶⁾

<표 3> 국내항만투자의 효율성 및 적정투자규모 예측을 위한 검증모형

모형	대상기간	투입요소(순위)	산출요소(순위)	대상항만 수
제1모형	2001 ~ 2007	항만투자금액(2)	화물처리량(1)	49개 (7개항만에 대한 7년간 자료)
			항만서비스만족도(2)	
			컨테이너화물처리량(3)	
모형	대상기간	투입요소(순위)	산출요소(순위)	대상항만 수
제2모형	1997 ~ 2003	항만화물처리능력(1)	화물처리량(1)	140개 (20개 항만에 대한 7년간 자료)
		항만투자금액(2)		
		접안능력(3)	항만의 연간 재정수입(4)	
			항만선박입출항척수(5)	

IV. 항만의 효율성과 적정투자규모를 예측하기 위한 실증적 측정분석

1. 분석대상의 모형, 대상기간, 투입-산출요소, 대상항만수

분석대상은 <표 3>과 같다. 제1모형은 항만서비스만족도와 컨테이너화물처리량에 대한 자료가 부족하여 7개항만(2001년-2007년)을 대상으로 하였으며, 제2모형은 국내수출입항만 20개(항만재정수입에 대한 자료의 제약 때문에 20개 항만 만을 선택하였음)를 대상으로 하였으며, 대상연도 또한 항만재정수입, 항만투자금액 등의 자료의 통일성 때문에 7년간(1997년~2003년)으로 제안할 수 밖에 없었다. 실증분석은 투입지향모형으로 개별 년도 별로 시행하였다. 각 변수의 단위는 다음과 같다. 투입요소는 항만투자금액(백만원), 접안능력(척수), 하역능력(천톤), 선석길이(m)이며, 산출요소는 항만서비스만족도(점), 화물처리량(톤), 선박입출항척수(척), 항만재정수입(천원), 컨테이너화물처리량(TEU)이다.

16) 본 연구에서 제시되고 있는 2개의 모형은 항만별 적용의 문제로서 논문의 방법에 일관성이 결여 되는 단점을 내포하고 있다.

2. 슈퍼SBM 효율성 측정모형 및 윌콕슨의 부호순위검정법을 이용한 항만의 효율성을 예측하기 위한 실증적 측정

1) 슈퍼SBM 효율성측정모형 및 윌콕슨의 부호순위검정법을 이용한 항만의 효율성을 예측하기 위한 실증적 측정방법의 순서¹⁷⁾

첫째, 기준년도(예측년도)와 차기년도(실제년도) 자료를 이용하여 각 항만별 슈퍼SBM 효율성모형에 의해서도 효율성을 측정한다.

둘째, 슈퍼 SBM효율성 점수에 의거하여 순위를 결정한다.

셋째, Wilcoxon의 부호순위검정을 실시하고 가설검정을 검정한다.

2) 슈퍼슬랙변수 모형에 의한 효율성 측정 및 분석결과

**<표 4> 제1모형에 대한 슈퍼SBM모형에 의한 효율성 측정결과
(효율성 수치 및 순위)**

항만 /구 분	2001 효율성	2001 순위	2002 효율성	2002 순위	2003 효율성	2003 순위	2004 효율성	2004 순위	2005 효율성	2005 순위	2006 효율성	2006 순위	2007 효율성	2007 순위
인천	0.6772	5	1.2918	3	1.1949	3	0.9790	4	0.5156	3	1.2868	4	0.1784	5
평택	0.3433	6	0.3189	6	0.2788	6	0.3015	6	0.1573	6	0.4865	7	0.1091	6
군산	0.0809	7	0.0843	7	0.1274	7	0.1161	7	0.0745	7	0.5311	5	1.9698	3
광양	1.5779	3	0.4592	5	0.4675	5	0.4068	5	0.2677	5	0.4997	6	0.0778	7
마산	6.4345	1	8.6438	1	9.2695	1	8.9959	1	22.550	1	3.2460	1	0.1818	4
부산	2.0380	2	1.7761	2	1.9383	2	1.9980	2	1.3253	2	1.5220	2	8.7004	1
울산	0.7102	4	1.0400	4	1.1248	4	1.4216	3	0.4891	4	1.2987	3	2.6377	2

17) 박노경(2008.12), p.320의 내용을 전재함. 단, 슈퍼SBM효율성 모형을 새롭게 측정순서에 도입하였음. 따라서 박노경(2008.12)의 연구에서의 여섯단계였으나, 슈퍼SBM효율성모형을 도입하는 경우에는 3단계로 단축시켰다. 또한 슬랙변수모형을 이용한 기본적인 측정방법 및 실증분석결과에 대한 해석에 대해서는 박노경(2008.12),pp.321-324를 참고하시기 바람.

**<표 5> 제2모형에 대한 슈퍼SBM모형에 의한 효율성 측정결과
(효율성 수치 및 순위)**

항만/구분	1997 효율성	1997 순위	1998 효율성	1998 순위	1999 효율성	1999 순위	2000 효율성	2000 순위	2001 효율성	2001 순위	2002 효율성	2002 순위	2003 효율성	2003 순위
인천	0.6910	11	1.2302	6	1.3194	5	0.9149	9	1.1435	7	0.8632	10	0.7034	11
평택	9.5682	1	18.3347	1	15.2419	1	49.750	1	1.0718	9	0.6112	14	0.5276	16
장항	0.6330	12	0.2552	17	0.2582	17	0.2754	20	0.2625	20	0.2903	20	0.4927	18
군산	0.3788	15	0.6576	8	1.0144	9	0.5331	14	0.5948	18	0.7513	13	1.0398	8
목포	0.7221	10	0.4759	13	0.6380	11	0.7283	11	1.0507	11	0.8189	11	0.5312	15
완도	2.0002	4	4.8838	2	2.5498	2	1.1272	8	0.6278	17	1.1459	6	1.5330	4
여수	2.4329	3	1.5920	3	1.4123	4	1.7815	2	1.5819	5	1.9538	1	1.5540	3
광양	0.2311	18	0.3151	15	0.3437	14	0.4594	16	1.0510	10	0.4113	18	0.4049	20
제주	1.0111	8	0.5611	11	1.6597	3	1.3027	5	1.0184	12	0.5452	16	0.5343	14
서귀포	1.1165	6	0.5013	12	0.5111	12	0.5336	13	1.0050	14	1	9	0.4617	19
삼천포	0.3383	16	0.2929	16	0.2156	18	0.4393	17	1.0059	13	1.0713	8	1.2783	5
마산	4.6906	2	1.3085	5	1.2392	7	1.4599	4	1.6499	2	1.4132	4	1.2216	6
진해	0.8676	9	0.5955	10	0.6647	10	0.5951	12	0.7340	16	0.5863	15	0.5734	13
부산	0.6324	13	1.1848	7	1.1092	8	1.2558	6	1.2361	6	0.8044	12	0.9557	9
울산	1.0543	7	1.3882	4	1.3072	6	1.4705	3	1.5905	3	1.4930	3	1.9905	1
포항	0.4583	14	0.4025	14	0.3174	16	0.3453	19	0.4984	19	1.1354	7	0.7021	12
삼척	1.3976	5	0.2496	18	0.4006	13	0.4363	18	1.9950	1	1.6278	2	1.7101	2
동해	0.1924	19	0.2363	19	0.2090	19	1.1525	7	1.5827	4	1.2491	5	1.2112	7
목호	0.3243	17	0.6145	9	0.3385	15	0.7591	10	1.0027	15	0.5374	17	0.4987	17
속초	0.0513	20	0.0700	20	0.0951	20	0.4968	15	1.0904	8	0.3665	19	0.8344	10

3) 슈퍼SBM모형의 효율성순위를 이용한 월곡슨 부호순위검정의 측정결과

제1모형에 대한 월곡슨 부호순위검정을 측정한 결과는 <표 6>에 제시하였으며, 제2모형에 대한 결과는 <표 7>에 제시하였다.

1. 제1 모형에 대한 월곡슨 부호순위 검정결과

제1모형에 대한 월곡슨 부호순위검정을 측정결과의 가장 큰 특징은 두가지로 나눌 수 있다. 첫째, 6개년 중에서 5개년의 p값이 1.0으로서 $p\text{값}=1.0 > \text{유의수준 } \alpha =0.05$ 를 훨씬 초과하는 것으로 나타났다. 둘째, 2006/2007년의 경우도 $p\text{값}=0.861 > \text{유의수준 } \alpha =0.05$ 를 17배 만큼 초과하는 것으로 나타났다. 따라서 매년도의 슈퍼SBM효율성 수치는 차기년도의 효율성 수치를 잘 예측하고 있는 것으로 나타났다.

<표 6> 제 1 모형에 대한 윌콕슨 부호순위 검정결과(순위 및 검정통계량)

년도/항목	윌콕슨 부호순위				검정통계량e	
	항목	N	평균순위	순위합	Z값	근사유의확률(양쪽)
2001/2002	음의순위	1a	1.5	1.5	0.000d	1.000
	양의순위	1b	1.5	1.5		
	동률	5c				
	합계	7				
2002/2003	음의 순위	0	0.00	0.00	0.000	1.000
	양의 순위	0	0.00	0.00		
	동률	7				
	합계	7				
2003/2004	음의 순위	1	1.5	1.5	0.000	1.000
	양의 순위	1	1.5	1.5		
	동률	5				
	합계	7				
2004/2005	음의 순위	1	1.5	1.5	0.000	1.000
	양의 순위	1	1.5	1.5		
	동률	5				
	합계	7				
2005/2006	음의 순위	2	3.75	7.50	0.000	1.000
	양의 순위	3	2.50	7.50		
	동률	2				
	합계	7				
2006/2007	음의 순위	4	3.75	15.00	-0.175	0.861
	양의 순위	3	4.33	13.00		
	동률	0				
	합계	7				

a. 실제자료(실제연도, 차기년도) < 예측자료(기준년도, 당해년도), b. 실제자료 > 예측자료, c. 예측자료 = 실제자료, d. 음의 순위를 기준으로, e. Wilcoxon 부호순위 검정

2. 제2모형에 대한 윌콕슨 부호순위 검정결과(순위 및 검정통계량)

제2모형에 대한 윌콕슨 부호순위검정을 측정결과의 가장 큰 특징은 두가지로 나눌 수 있다. 첫째, 6개년 중에서 4개년의 p값이 0.8이상으로서 $p\text{값}=0.8 > \text{유의수준 } \alpha = 0.05$ 를 16배 만큼 초과하는 것으로 나타났다. 둘째, 1998/1999년, 1999/2000, 2000/2001년의 경우도 p값들이 유의수준 $\alpha = 0.05$ 를 11배에서 14배 만큼 초과하는 것으로 나타났다. 따라서 제2모형에서도 매년도의 슈퍼SBM효율성 수치는 차기년도의 효율성 수치를 잘 예측하고 있으며, 그 평균 예측율은 약 76.1%로 나타났다.

<표 7> 제 2 모형에 대한 윌콕슨 부호순위 검정결과(순위 및 검정통계량)

년도/항목	윌콕슨 부호순위				검정통계량	
	항목	N	평균순위	순위합	Z값	근사유의확률(양쪽)
1997/1998	음의 순위	7	8.00	56.00	-0.221	0.825
	양의 순위	7	7.00	49.00		
	동률	6				
	합계	20				
1998/1999	음의 순위	5	7.60	38	-0.531	0.596
	양의 순위	8	6.63	53		
	동률	7				
	합계	20				
1999/2000	음의 순위	8	9.69	77.50	-0.350	0.726
	양의 순위	10	9.35	93.50		
	동률	2				
	합계	20				
2000/2001	음의 순위	7	7.57	5.00	-0.398	0.691
	양의 순위	8	8.38	67.00		
	동률	5				
	합계	20				
2001/2002	음의 순위	7	10.50	73.50	-0.142	0.887
	양의 순위	10	7.95	79.50		
	동률	3				
	합계	20				
2002/2003	음의 순위	9	10.00	90.00	-0.200	0.841
	양의 순위	9	9.00	81.00		
	동률	2				
	합계	20				

a. 실제자료(실제연도, 차기년도) < 예측자료(기준년도, 당해년도), b. 실제자료 > 예측자료, c. 예측자료 = 실제자료, d. 음의 순위를 기준으로, e. Wilcoxon 부호순위 검정

3. 측정결과를 통한 가설검정

<표 6>과 <표 7>의 Wilcoxon의 부호순위 검정통계량에 의거하여 가설검정을 해 보면 주요한 결과는 다음과 같다. 첫째, p값들이 유의수준들보다 훨씬 더 크게 나타났다. 따라서 귀무가설 H_0 는 채택된다. 즉, 예측자료와 실제자료의 차이가 있다고 할 수 없다. 즉, 예측자료는 실제자료를 잘 반영하고 있다고 할 수 있다. 요컨대, 수퍼SBM모형은 국내항만의 효율성을 예측하는데 유효한 방법이라고 할 수 있다. 둘째, Wilcoxon 부호순위 검정결과에 의하면, 년도별로 예측력에 차이를 보이지만, 제1모형에서는 p값이 평균 97.68% 수준에서 성과예측력을 가지는 것으로 나타났으며, 제2모형에서는 약 76.1%로 나타났다. 즉, 항만투자 하나만을 투입요소로 고려하고 3개의 산출물을 이용한 제1모형의 효율성 예측력이 3개의 투입요소와 3개의 산출요소를 이용한 제2모형의 예측력보다 월등하게 좋은 것으로 나타났다.

5. 수퍼SBM모형의 효율성 측정을 통한 항만별 적정투자규모의 예측분석

1) 제1 모형에 대한 항만별 항만투자의 적정투자규모 예측

<표 8>에는 제1모형에 대한 수퍼SBM모형에 의한 항만별 항만투자의 적정투자규모를 제시하였다. 즉, 년도별로 효율적인 항만이 되기 위해서 항만투자금액을 감축시켜야만 할 것인가, 증대시켜야만 할 것인가를 표시하였다. 부호가 음수(-)이면 항만투자금액을 감축시켜야만 하고, 양수(+)이면 항만투자금액을 증대시켜야만 한다는 것을 의미한다. <표 8>은 다음과 같은 사실을 알려 주고 있다. 첫째, 항만투자금액이 과다하여 감축시켜야만 하는 항만들은 인천, 평택, 군산, 광양항으로 나타났다. 둘째, 항만투자금액이 과소하여 증대시켜야만 하는 항만들은 마산,부산, 울산항이었다. <표 8>에서 “투자금액의 차이”는 해당년도의 투자금액과 비교하여 효율적인 항만이 되기 위해서 투자금액을 어느 정도로 증액(기호가 +인 경우) 또는 감축(기호가 -인 경우)시켜야만 하는 것을 의미한다.

<표 8> 제1모형에 대한 수퍼SBM모형에 의한 항만별 항만투자의 적정투자규모 예측

항만/구분	항목	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
인천	투자금액 차이	-21853.25	16985.20	14604.52	-1706.76	-53415.78	27319.63	-105330.03
	%	-32.28	29.18	19.49	-2.10	-48.44	28.68	-82.16
평택	투자금액 차이	-26036.49	-36388.82	-65584.59	-54860.97	-67498.05	-44520.24	-84988.54
	%	-65.67	-68.11	-72.12	-69.85	-84.27	-51.35	-89.09
군산	투자금액 차이	-73971.78	-88722.83	-92078.24	-75940.30	-66674.62	-25982.04	7050.18
	%	-91.91	-91.57	-87.26	-88.39	-92.55	-46.89	96.98
광양	투자금액 차이	24121.20	-84477.34	-114639.08	-167462.5	-200295.99	-143399.46	-263370.46
	%	57.79	-54.08	-53.25	-59.32	-73.23	-50.03	-92.22
마산	투자금액 차이	28960.60	47972.71	72805.03	65030.37	68636.42	50557.31	-44674.81
	%	543.45	764.38	826.95	799.59	999.90	224.60	-81.82
부산	투자금액 차이	200649.5	312335.65	459808.26	497937.29	166628.75	285628.46	449859.15
	%	103.80	77.61	93.83	99.80	32.53	52.20	770.04
울산	투자금액 차이	-20232.16	2272.82	9322.89	31044.63	-40852.29	30094.80	23878.33
	%	-28.98	4.0	12.48	42.16	-51.09	29.87	163.77

2) 제2 모형에 대한 수퍼SBM모형에 의한 항만별 항만투자의 적정투자규모 예측

제2모형에 대한 수퍼SBM모형에 의한 항만별 항만투자의 적정투자규모예측 결과를 <표 9>에 제시하였다. <표 9>는 다음과 같은 사실을 알려 주고 있다.

<표 9> 제2모형에 대한 수퍼SBM모형에 의한 항만별 적정투자규모 예측

항만/ 구분	항목	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
인천	투자금액차이	0	0	1029.55	-1679.34	0	0	-451.99
	%	0	0	11.49	-1.91	0	0	-0.60
평택	투자금액차이	95059.57	221658.14	89068.25	783308	0	-37773.41	-68210.69
	%	169.23	485.65	258.06	999.90	0	-70.70	-75
장항	투자금액차이	-89.69	-2541.15	-3798.04	-6655.16	-7952.09	-1548.99	-531.53
	%	-21.46	-95.60	-83.02	-84.98	-83.14	-59.49	-21.6
군산	투자금액차이	-49299.49	-65505.74	0	-62780.99	-59591.6	-63256.56	0
	%	-81.69	-83.89	0	-80.31	-74.04	-65.29	0
목포	투자금액차이	-4591.01	-27849.59	-34813.98	-725.42	0	-5153.69	-14865.51
	%	-58.92	-73.89	-72.03	-3.05	0	-13.86	-39.78
완도	투자금액차이	0	193.76	0	0	-5534.99	0	1723.92
	%	0	227.96	0	0	-56.86	0	26.48
여수	투자금액차이	380.29	0	0	0	4166.36	3666.25	0
	%	7.63	0	0	0	32	35.06	0
광양	투자금액차이	-54230.16	-68623.04	-35695.36	-25921.89	6391.71	-97473.32	-131345.11
	%	-65.62	-89.81	-78.62	-55.44	15.31	-62.39	-61.01
제주	투자금액차이	0	-5710.36	69.94	3976.25	429.10	-2929.93	-3735.21
	%	0	-87.14	1.21	90.82	5.51	-29.31	-30.70
서귀포	투자금액차이	0	-12509.1	-10409.33	-13579.02	0	0	-5318.89
	%	0	-90.38	-83.72	-78.69	0	0	-70.53
삼천포	투자금액차이	-1922.90	-6107.59	-7916.67	-2172.51	125.06	1270.18	2449.96
	%	-67.85	-86.10	-89.87	-24.27	1.77	21.38	65.07
마산	투자금액차이	4419.69	618.10	866.84	7997.30	7695.50	7779.64	4719.86
	%	999.90	92.12	67.83	137.96	144.41	123.96	53.61
진해	투자금액차이	-54.04	-327.84	-715.96	-577.72	-475.18	-3033.27	-2538.92
	%	-7.95	-68.30	-51.58	-41.27	-26.77	-56.54	-46.31
부산	투자금액차이	0	0	0	0	0	-152226.5	-44447.88
	%	0	0	0	0	0	-37.83	-9.07
울산	투자금액차이	0	0	0	2777.32	60264.75	2272.82	9322.89
	%	0	0	0	4.76	86.31	4	12.48
포항	투자금액차이	-4657.61	-21860.74	-24875.97	-39484.06	-40575.17	4421.60	-4377.61
	%	-57.89	-85.83	-87.21	-61.43	-61.82	20.75	-8.25
삼척	투자금액차이	522.45	-2664.63	-1997.89	-811.97	1404.73	0	232.10
	%	119.28	-88.82	-79.92	-19.57	52.03	0	6.79
동해	투자금액차이	-12191.56	-18741.68	-8238.99	1103.28	3636.35	2609.05	2416.85
	%	-74.11	-94.62	-87.04	45.74	174.82	74.72	63.35
목호	투자금액차이	-4233.51	-3757.77	-7110.48	0	46.42	-3187.75	-1941.39
	%	-77.69	-48.66	-56.80	0	0.80	-42.01	-25.99
속초	투자금액차이	-5976.69	-8620.88	-3834.60	-14689.86	0	-14994.27	0
	%	-98.45	-95.59	-88.83	-93.86	0	-93.12	0

첫째, 항만투자규모가 적정했던 항만들은 인천(1997,1998,2000,2002), 완도(1999,2000,2002), 여수(1998~2000, 2003), 서귀포(2001,2002), 부산(1997~2001), 울산(1997~1999), 속초(2001~2003)으로 나타났다. 둘째, 거의 모든 항만들에서 투자금액이 과다한 것으로 나타났으며, 과소한 항만들은 삼천포, 마산, 울산, 삼척, 동해항으로 나타났다. 셋째, 슈퍼SBM모형에 의한 항만별 년도별로 적정투자규모를 밝혀낼 수 있었다. 즉, 해당 년도의 효율적인 항만들에 비해서 어느 정도로 항만투자규모를 조정해야만 하는 지를 정확하게 제시하였다. 즉, 평택항의 1997년도의 예를 들면, 항만투자 금액이 56173백만원이었지만, 효율적인 항만이 되기 위해서는 95059.57 백만원으로 투자금액을 69.23%만큼 증액시켜야만 하였다. 넷째, 차기년도의 항만의 적정투자규모를 예측하여 제시할 수는 있었다. 그러나 다른 항만들의 투자금액과 산출요소에 따라서 당해항만의 효율성이 달라지기 때문에 차기년도의 해당항만의 상대적인 적정투자규모를 예측하기는 어렵다는 것을 발견하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 Liu(2009)의 슬랙변수모형과 윌콕슨 부호순위 검정방법을 도입하고 새롭게 슈퍼효율성모형을 도입하여 Tone(2002)의 슈퍼SBM모형에 대해서 이론적으로 설명하고 1997년부터 2007년까지 국내 20개 항만의 5개의 산출물(항만서비스만족도, 수출입물량, 선박입출항척수, 항만재정수입, 컨테이너화물처리량)과 3개의 투입물(항만투자금액, 접안능력, 하역능력)을 이용하여 국내항만들의 효율성을 측정 한 후, 효율성 순위를 이용하여 윌콕슨의 부호순위검정을 통해서 슈퍼SBM모형이 갖고 있는 항만효율성측면의 예측력을 측정하는 방법을 보여 주었다. 또한 항만투자금액이 항만별로 년도별로 어느 정도로 적정한지를 검증하였다.

실증분석의 주요한 결과는 다음과 같다.

첫째, Wilcoxon의 부호순위 검정통계량에 의거하여 가설검정을 해 보면 주요한 결과는 다음과 같다. 첫째, p값들이 유의수준들보다 훨씬 더 크게 나타났으므로 슈퍼SBM모형은 국내항만의 효율성을 예측하는데 유효한 방법이라고 할 수 있다. 둘째, Wilcoxon 부호순위 검정결과에 의하면, 년도별로 예측력에 차이를 보이지만, 제1모형에서는 p값이 평균 97.68% 수준에서 성과예측력을 가지는 것으로 나타났으며, 제2모형에서는 약 76.1%로 나타났다. 셋째, 제1모형에 대한 슈퍼SBM모형에 의한 항만별 항만투자의 적정투자규모를 적정한 경우는 0, 감축해야만 하는 경우는 음수(-)로, 증대해야만 하는 경우는 양수(+)로 그 감축과 증대비율을 백분율로도 제시하였다. 항만투자금액이 과다하여 감축시켜야만 하는 항만들은 인천, 평택, 군산, 광양항으로 나타났다. 항만투자금액이 과소하여 증대시켜야만 하는 항만들은 마산,부산, 울산항이었다. 넷째, 제2모형에 대한 슈퍼SBM모형에 의한 항만

국내항만투자의 효율성 및 적정 투자규모 예측을 위한 모형개발 및 실증적 적용에 관한 연구

별 항만투자의 적정투자규모예측 결과는 다음과 같다. (ㄱ) 항만투자규모가 적정했던 항만들은 인천(1997,1998,2000,2002), 완도(1999,2000,2002), 여수(1998~2000, 2003), 서귀포(2001,2002), 부산(1997~2001), 울산(1997~1999), 속초(2001~2003)으로 나타났다. (s) 거의 모든 항만들에서 투자금액이 과다한 것으로 나타났으며, 과소한 항만들은 삼천포, 마산, 울산, 삼척, 동해항으로 나타났다. (ㄷ) 슈퍼SBM모형에 의한 항만별 년도별로 적정투자규모를 밝혀낼 수 있었다. (ㄹ) 차기년도의 항만의 적정투자규모를 예측하여 제시할 수는 있었다. 그러나 다른 항만들의 투자금액과 산출요소에 따라서 당해항만의 효율성이 달라지기 때문에 차기년도의 해당항만의 상대적인 적정투자규모를 예측하기는 어렵다는 것을 발견하였다.

본 연구가 갖는 시사점 및 정책적인 함의는 다음과 같다.

첫째, 국내항만들은 슈퍼SBM모형을 이용하여 차년도의 효율성, 또는 경영성과를 예측하여 제시하는 것도 한 가지 방법이 될 수 있다.

둘째, 국내항만들은 슈퍼SBM모형에서 제시할 수 있는 투입 및 산출요소의 타겟을 설정하여 차년도의 경영성과를 설정하는 것도 효율성을 증진시킬 수 있는 한 방법이 될 수 있다. 인천, 평택, 군산, 광양항의 경우에는 항만투자금액을 축소시키고, 삼천포, 마산, 부산, 울산항은 증대시켜야만 한다. 그러나 이 때 반드시 고려해야만 하는 점은 해당항만들의 투입-산출요소와 관련한 특별한 상황을 고려한 후에 적정투자금액에 대한 결정을 해야만 한다.

셋째, Panayides et al.(2009, pp.203-204)에서 지적한 바와 같이 항만의 경영관리자, 정책입안자는 여러 가지 DEA모형들의 장단점을 파악하고, 그러한 기법의 한계점을 인식하여 적용해야만 하며, 새로운 항만의 생산효율성 측정기법들이 출현하고 있는 점들도 잘 인식하여 항만효율성 측정에 이용하여야만 한다.

본 논문의 한계점은 첫째, 투입산출요소의 적합성, 다중공선성에 대해서는 본 연구의 특성상, 그리고 자료수집의 제약의 문제점 때문에 시도하지 않았다. 둘째, 항만별, 년도별 적정투자규모의 과다과소를 정확하게 제시하였고, 차기년도의 항만의 적정투자규모를 예측하여 제시하였지만, 다른 항만들의 항만투자금액이나 산출요소에 따라서 달라질 수 있기 때문에 정확한 금액을 제시하는 것은 매우 어렵다는 것을 발견하였다. 셋째, 항만별 특성(중심 및 피더항만, 화물별 특성)을 고려하지 못했다. 넷째, <표 8> <표 9>에서 적정투자규모가 달성되었다가 다시 과잉 또는 과소가 발생하는 이유에 대해서 자세하게 설명하지 못하였다. 다섯째, 실증분석결과와 관련되어 그러한 결과가 발생된 원인을 항만별로 파악하지 못함으로써 의미 있는 시사점과 정책적인 함의를 도출하지 못했다. 여섯째, Tone and Tsutsui(2010)에 제안한 동태적 예측 분석을 시도하지 못했다. 일곱째, 투입-산출요소에 대한 설문조사에서 요소별로 중요도에 따라서 순위를 매겨서 반영해야만 하지만 그렇게 하지 못하였다. 이 부분에 대한 연구는 차후에 진행하고자 한다.

참 고 문 헌

1. 국토해양부 물류항만실 홈페이지(<http://logistics.mltn.go.kr>)
2. 김학소 · 성숙경, "항만투자가 국민경제에 미치는 효과," 『해양수산』 통권196호, 한국해양수산개발원, 2001.01, pp.47-62.
3. 노형진, 한글 SPSS 10.0에 의한 조사방법 및 통계분석, 형설출판사, 2001.
4. 박노경, "슬랙변수모형을 이용한 효율성 측정방법: 은행산업 적용소고," 『대한경영학회지』, 제45호, 대한경영학회, 2004, pp.1823-1847.
5. 박노경, "국내항만투자의 유효성 검증을 위한 모형개발 및 실증적 적용에 관한 연구," 『한국항만경제학회지』 제24집 제2호, 2008.6, pp.209-239.
6. 박노경, "항만의 효율성을 예측하기 위한 실증적 측정방법-SBM과 월콕스부호순위검정접근," 『한국항만경제학회지』, 제24집 제4호, 2008.12, pp.317-327.
7. 박노경, "국내항만투자의 가치사슬 효율성 측정," 『무역학회지』 제28권 제3호, 한국무역학회, 2003.6., pp.181-204.
8. 박노경, "항만투자의 유효성 측정방법: Congestion 모형접근," 『한국항만경제학회지』 제19집 제2호, 한국항만경제학회, 2003.12, pp.33-53.
9. 박노경, "효율적인 국내은행의 순위변화 측정: Super효율성 접근," 『대한경영학회지』 제16권 1호, 대한경영학회, 2003.2, pp.277-298.
10. 국토해양부(구 해양수산부), 『해양수산통계연보』, 해양수산부, 각년호.
11. Adler, N., L. Friedman, and Z. Sinuani-Stern (2002), "Review of Ranking Methods in the Data Envelopment Analysis Context," *European Journal of Operational Research* 140, 249-265.
12. Banker, R. D., A. Charnes and W. W. Cooper (1984), "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis," *Management Sciences*, Vol. 30, pp. 1078-1092.
13. Charnes, A., W. W. Cooper and E. Rhodes (1978), "Measuring the Efficiency of Decision Making Units," *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, pp. 429-444.
14. Du, J., L. Liang, and J. Zhu (2010), "A Slack-Based Measure of Super-Efficiency in Data Envelopment Analysis: A Comment," *European Journal of Operational Research*, Vol.204, pp.694-697.
15. Liu, Shiang-Tai (2009), "Slacks-based Efficiency Measures for Predicting Bank Performance," *Expert Systems with Applications*, Vol.36, pp.2813-2818.
16. Panayides, P.M., C.N. Maxoulis, T.F.Wang, and K.A. Ng(2009), "A Critical Analysis of DEA Applications to Seaport Economic Efficiency Measurement," *Transport Reviews*, Vol.29, No.2, pp.183-206.
17. Park, R.K.(2010), "A Study on the Model Development and Empirical Application for Predicting the Efficiency and Optimum Size of Investment in Domestic Seaports," *Proceedings of the Incheon Port Policy Forum & 2010 The International Conference of KPEA, Incheon, Korea, July 1-3, 2010*, pp. 373-393.
18. Park, R.K. and P. De(2004a), "An Alternative Approach to Efficiency Measurement of Seaports," *Maritime Economics and Logistics*, Vol.6, pp.54-69.
19. Seiford, L.M. and J. Zhu(1999), "Infeasibility of Super-Efficiency Data Envelopment Analysis Models," *INFOR*, Vol.37, pp.174-187.
20. Tone, K.(2001), "A Slack-Based Measure of Efficiency in Data Envelopment Analysis," *European Journal of Operational Research*, Vol.130, pp.498-509.
21. Tone, K. (2002), "A Slack-Based Measure of Super-Efficiency in Data Envelopment Analysis," *European Journal of Operational Research*, Vol.143, pp.32-41.
22. Tone, K., and M. Tsutsui (2010), "Dynamic DEA: A Slack-Based Measure Approach," *Omega*, Vol.38, No.3-4, pp.145-156.

< 요약 >

국내항만투자의 효율성 및 적정 투자규모 예측을 위한 모형개발 및 실증적 적용에 관한 연구

박 노 경

본 논문에서는 Liu(2009)의 슬랙변수모형과 윌콕슨 부호순위 검정방법을 도입하고 새롭게 수퍼효율성모형을 도입한 Tone(2002)의 수퍼SBM모형에 대해서 이론적으로 설명하였다. 또한 1997년부터 2007년까지 국내 20개 항만의 5개의 산출물(항만서비스만족도, 수출입물량, 선박입출항척수, 항만재정수입, 컨테이너화물처리량)과 3개의 투입물(항만투자금액, 접안능력, 하역능력)을 이용하여 국내항만들의 효율성을 측정 한 후에, 효율성 순위를 이용하여 윌콕슨의 부호순위검정을 통해서 수퍼SBM모형이 갖고 있는 항만효율성측면의 예측력을 측정하는 방법을 보여 주었다. 또한 개별항만별, 연도별로 적정한 항만투자의 금액을 예측하여 보여 주었다. 실증분석의 주요한 결과는 다음과 같다. 첫째, Wilcoxon의 부호순위 검정통계량에 의거하여 효율성 예측에 대한 가설검정을 해 보면, 제1모형에서는 p값이 평균 97.68% 수준에서 성과예측력을 가지는 것으로 나타났으며, 제2모형에서는 약 76.1%로 나타났다. 둘째, 수퍼SBM모형에 의한 항만별 항만투자의 적정투자규모를 정확하게 제시하였다. 셋, 제2모형에 대한 수퍼SBM모형에 의한 항만별 항만투자의 적정투자규모예측 결과는 다음과 같다. (ㄱ) 항만투자규모가 적정했던 항만들은 인천, 완도, 여수, 서귀포, 부산, 울산, 속초로 나타났다. (ㄴ) 거의 모든 항만들에서 투자금액이 과다한 것으로 나타났으며, 과소한 항만들은 삼천포, 마산, 울산, 삼척, 동해항으로 나타났다. (ㄷ) 차기년도의 항만의 적정투자규모를 예측하여 제시할 수는 있었다.

본 연구의 정책적인 함의는 국내항만관리자들은 항만의 환경이 변하고 있으므로 본 연구에서 제시하고 있는 수퍼SBM모형을 이용하여 항만들의 항만투자의 효율성 측정이나, 경영성과를 예측하는데 도입을 해야만 한다.

□ 주제어: 항만효율성 예측, 적정투자규모 예측, 슬랙변수모형, SBM, 윌콕슨부호순위검정, 수퍼SBM,