

체선을 고려한 항만의 효율성 분석에 관한 연구

이태휘*

Efficiency Analysis of Port Considering Congestion

Tae-Hwee Lee

Abstract

This study first raises the following research question, How does the port congestion affect port operational efficiency? To answer the question, this study adopts slacks based measure data envelopment analysis (SBM-DEA) model to analyze the efficiency of port considering the congestion. As a result of the DEA-CCR(Charnes, Cooper and Rhodes) model, both Busan(2011) and Ulsan(2011) are the most efficient decision making units(DMUs). As a result of the DEA-BCC(Banker, Charnes, and Cooper) model, Busan(2011), Ulsan(2011), Ulsan(2012), Busan(2012),and Yeosu · Gwangyang(2012) are the most efficient DMUs. As a result of SBM-DEA model, Ulsan(2012), Busan(2011), Busan(2012), Incheon(2011), and Ulsan(2011) are the most efficient DMUs considering the port congestion. The result of DEA-CCR · BCC model is not identical with the result of SBM-DEA model analysis. It means the port congestion does less affect the port operational efficiency. Should the number of the vessels with the port congestion minimize, Incheon and Yeosu · Gwangyang port could save lots of the port congestion cost for a total of three years.

Key words: Congestion, Port efficiency, SBM-DEA model, Congestion Cost

▷ 논문접수: 2017. 10. 08. ▷ 심사완료: 2017. 12. 12. ▷ 게재확정: 2017. 12. 27.

* 경남과학기술대학교 전자상거래학과 교수, taylor@gntech.ac.kr

I. 서론

우리나라는 2015년 무역의존도가 88%로 세계 9위의 무역 대국이다. 우리나라가 무역 대국으로 발돋움하기까지 항만의 역할은 지대하였다. 수출입화물의 99.7%가 항만을 통해 처리되며 10대 도시 중 4개 도시(부산, 인천, 울산, 창원)가 항만을 기반으로 발전해오고 있다. 울산, 광양, 포항, 대산항 등에서는 국가와 지역의 기간산업인 석유화학, 자동차, 제철 산업의 발전을 견인하고 해당 산업의 물류 관문 역할을 해오고 있다(제3차 전국 항만기본계획 수정계획).

이제 항만은 과거 고유 기능이었던 하역뿐만 아니라 보관, 운송 등을 제공하면서 통합 물류 서비스를 제공하고 다양한 부가가치활동(value added activity)을 수행하고 있다(이동현, 2013). 또한 항만의 개발과 운영은 타 산업의 생산, 고용, 부가가치를 유발함으로써 국가와 지역경제 성장에 기여하고 있다(주경원 외, 2009; 김상춘·최봉호, 2015; 최봉호, 2009; 이민규·이기열, 2016).

항만의 이러한 순기능에 불구하고 입항 선박이 접안하지 못하여 체선이 발생하고 있으며 이에 따른 사회적 비용이 막대하다. 체선이란 일반적으로 선박이 12시간 이상 항만에서 접안을 위해 대기하고 있는 상태를 말한다(이민규, 2012). 2013년 홍문표 의원의 보도 자료에 따르면 전국의 4개 항만공사에 체선으로 3년 간 총 995억 원의 손실이 발생한 것으로 나타났다. 항만별로 살펴보면 인천항은 91.5억 원, 울산항 409.7억 원, 여수·광양항 427.8억 원, 부산항 66.4억 원의 손실이 발생하였다.

이러한 배경에도 불구하고 항만의 체선과 관련한 연구는 선박 재항시간 추정 방법론을 제시한 장영태(1991), 체선의 시간적 비용을 추정한 장영태 외(1993), 벌크선의 체선 원인을 분석한 사공훈 외(2009), 선박의 재항 시간에 영향을 미치는 요인을

실증 분석한 이민규(2012), 캐나다 서부 지역 항만의 체선 관련 갈등요인에 대해 시스템 접근을 시도한 Ke et al.(2012), 부산북항의 해상교통 혼잡도를 평가한 Yeo et al.(2007), 대기행렬이론을 이용하여 나이지리아 항만의 체선을 분석한 Oyatoye et al.(2011) 등이 있으나 체선이 항만의 운영 효율성에 어떠한 영향을 미치는지 그 변화를 추적한 연구는 부족하다.

본 연구는 다음과 같은 문제를 제기하고자 한다. 체선은 항만의 운영 효율성에 어떠한 영향을 어느 정도 미치는가?

위 연구 문제에 답하기 위해 본 연구에서는 SBM-DEA(Slacks Based Measure Data Envelopment Analysis) 모형을 이용하여 체선을 고려한 항만의 효율성 분석을 시도하고, 전통적인 DEA-CCR(Charnes, Cooper, and Rhodes), DEA-BCC(Banker, Charnes, and Cooper) 모형의 연구 결과와 비교하고자 한다.

본 연구는 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 항만 효율성 및 생산성 관련 연구 동향을 살펴보고 3장에서 연구방법론과 구성 변수에 대해 고찰한다. 4장에서 효율성 분석과 그 결과를 논의하고 마지막 5장에서 결론으로 정리한다.

II. 선행연구

신자유주의의 물결이 항만 당국에도 영향을 미치면서 한국, 영국, 싱가포르 등 많은 국가의 항만들에서 민간의 역할이 증대되었다. 항만의 민영화 추세는 항만 서비스의 생산성과 효율성의 향상과 항만 운영의 경쟁체제 도입을 통한 경제적 편익의 증대라는 변화를 가져왔다(정봉민·성숙경, 2003).

항만 연구 분야에서도 DEA(Data Envelopment Analysis), Malmquist, SFA(Stochastic Frontier

Analysis) 등 계량모형을 이용한 효율성·생산성 측정 연구가 지난 20년 전부터 현재까지 한 축을 담당하고 있다(Woo et al., 2011).

DEA 모형을 최초로 항만에 적용한 연구는 Roll and Hayuth(1993)로서 DEA 방법론의 장점 등을 잘 설명하고 있다. 이후 항만의 효율성 측정 연구는 상대적 효율성을 측정하는 DEA 방법론의 장점을 이용하여 국내외를 막론하고 많은 연구들이 방법론으로 채택하였으며, 분석 결과를 바탕으로 참조집단의 벤치마킹을 통해 항만의 운영적 시사점을 획득해왔다(Roll and Hayuth, 1993; Tongzon, 2001; Cullinane, 2002; Cullinane et al., 2005; Wang and Cullinane, 2006; Oliverira and Cariou, 2011; 송재영, 2004; 류동근, 2005; 조윤기, 2006; 모수원 외, 2010; 여희정, 2011; 구중순 외, 2011; 이세훈 외, 2012).

현재까지 한국항만경제학회지에 게재된 항만 효율성 및 생산성 측정 연구를 살펴보면, 세계 28개 컨테이너항만의 효율성을 측정한 오성동 외(2001), Malmquist 모형을 이용하여 국내 무역항의 생산성을 측정한 김안호 외(2005), 항만 효율성 측정의 이론적 접근을 시도한 박노경 외(2007), 국내 5대 항만의 효율성을 비교한 나호수 외(2008), 국내 항만의 효율성과 그 결정요소를 제시한 모수원(2008), 항만 효율성 예측 방법론을 제시한 박노경(2008), 군산항의 효율성을 측정한 나호수 외(2009), 동북아 및 미국 항만의 효율성을 분석한 하명신(2009), 환적화물의 컨테이너터미널 효율성을 분석한 박홍균(2010) 등을 들 수 있다.

한국항만경제학회지 게재된 논문을 요약하면 연구방법론으로 DEA, SFA, Malmquist 등이 적용되었으며 DEA에서 보다 심화된 방법론 등이 적용되었다. 또한 연구의 공간적 범위로써 국내 중소 및 대형 항만, 동북아, 유럽 지역까지 확대하고 있다. 또한 컨테이너화물 뿐 아니라 벌크 중심 항만의 효율성과 생산성 측정도 이루어져 왔다.

III. 연구의 설계

1. SBM-DEA 모형의 개념 및 적용 연구

SBM 모형은 Tone(2001)이 제안한 모형으로 기존 DEA 모형과 동일하게 거리 개념으로 Decision Making Unit(DMU) 간 효율성을 측정하지만 DEA에서 간과하는 잔여물(Slack)의 발생을 주목한다. <그림 1>은 투입물 X_1 , X_2 로 구성된 DMU들의 효율 프론티어를 나타낸다. DMU D는 효율 프론티어 안쪽에 위치하므로 비효율적인 DMU라 할 수 있다. DMU D가 효율적이기 위해서는 DMU D*으로 이동해야 한다. 그러나 이때에도 사용된 투입물의 조합이 DMU D*는 현재 X_{1D^*} , X_{2B} 만큼의 투입물을 사용하고 있으나 프론티어 상의 DMU B는 X_{1B} , X_{2B} 를 사용하면서도 효율적인 DMU라 해석할 수 있다. DMU D*는 투입물 X_1 의 사용에서 X_{1D^*} , X_{1B} 만큼 과다 투입되었으며 비방사적 DEA모형에서는 이를 잔여(Slack)라고 부른다. 잔여는 투입부문에서 발생할 경우, 투입을 감소시킬 수 있는 양이며, 산출부문에서 발생할 경우 산출을 더 증가시킬 수 있는 양으로 해석한다. 따라서 DMU D가 DMU D*로 이동하여도 효율적으로 판단하지는 않으며, 발생하는 잔여부분이 0이 되는 경우 효율적인 DMU로 판단한다(전영인 외, 2013).

이러한 SBM-DEA 모형은 OECD 30개국의 환경 효율성 측정을 위해 산출 변수에 유해산출물(undesirable output)를 추가로 고려한 Zhou et al.(2006)에 의해 확장되었으며 Choi et al.(2012) 등에 의해 다양한 분야에 적용되었다. 또한 물류 분야에는 탄소배출을 고려한 항만 효율성을 측정한 Chang(2013)과 중국 운송 분야의 환경효율성을 분석한 Chang et al.(2013), 글로벌 항공사의 경제적·환경적 효율성을 분석한 Chang et al.(2014), 항만도시의 환경효율성을 분석한 Lee et al.(2014), 항공기 출발 지연을 고려한 공항 효율성 분석의 Lozano and Gutiérrez(2011)와 이태희 외(2015) 등이 있다.

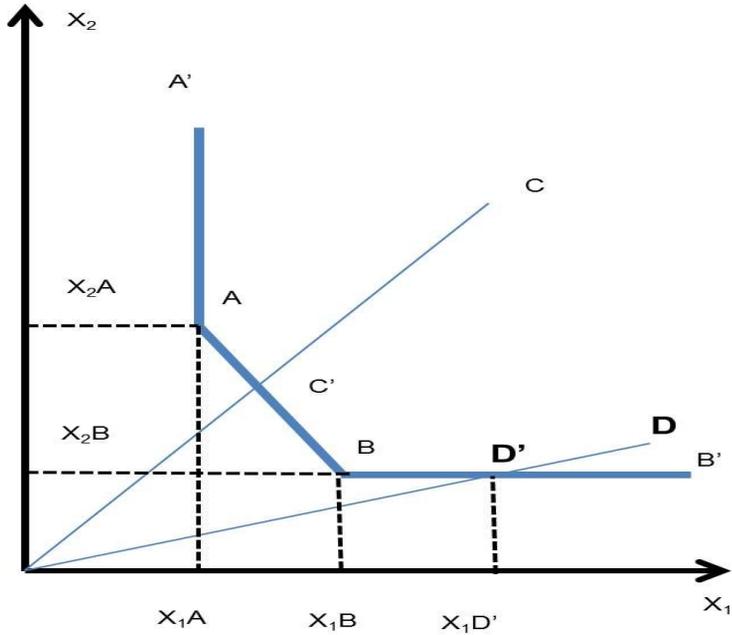


그림 1. 효율 프론티어 상에서 잔여물의 개념

주: 전영인 외 (2013)에서 인용

2. 유해산출물을 고려한 SBM-DEA 모형 개요

체선을 고려한 항만 효율성을 측정하기 위해 본 연구에서는 Zhou et al.(2006)이 제안한

SBM-DEA 모형을 적용한다. 수식은 다음과 같다.

- i : 투입변수의 단위
- g : 기대 산출변수의 수
- $k = 1, 2, \dots, g$: 기대 산출변수의 단위
- b : 유해 산출변수의 수
- $r = 1, 2, \dots, b$: 유해 산출변수의 단위
- N : 항만의 수
- $j = 1, 2, \dots, N$: 항만의 단위

- x_{ij} : 항만 j 의 관측된 투입변수 i
- y_{kj} : 항만 j 의 관측된 기대 산출변수
- u_{rj} : 항만 j 의 관측된 유해 산출변수 r
- $(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N)$: 선형 결합된 항만의 변수를 계산하기 위한 긍정적인 승수

- S_{k0}^+ : 항만의 기대 산출물의 잔여물
- S_{r0}^- : 항만의 유해 산출물의 잔여물
- a : 기대·유해 산출물의 공동처분에 따른 보조변수

SBM-DEA 모형은 식 (1)과 같이 요약 가능하다.

$$Min_{\rho_0} = \frac{1 - (1/b) \sum_{r=1}^b (S_{r0}^- / u_{r0})}{1 + (1/g) \sum_{k=1}^g (S_{k0}^+ / y_{k0})}$$

여기에서,

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j \lambda_{ij} \leq x_{i0} \forall i$$

$$a \times \sum_{j=1}^N \lambda_j y_{kj} = y_{k0} + S_{k0}^+ \forall k$$

$$a \times \sum_{j=1}^N \lambda_j u_{rj} = u_{r0} - S_{r0}^- \forall r$$

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

$$0 \leq a \leq 1$$

$$\lambda_j \geq 0 \forall j \quad S_{k0}^+ \geq 0 \forall k \quad S_{r0}^- \geq 0 \forall r$$

위의 모형은 부분적으로 비선형모형이므로 선형 모형으로 변형시키는 것이 필요하다. 이를 위해 $\lambda_j = \alpha \cdot \lambda_j \cdot \forall_j$ 라는 정의를 통해 비선형 제약식을 제거해주는 것이 필요하다. 수정된 SBM-DEA 모형은 아래 식과 같다.

$$Min \rho_0 = \frac{1 - (1/b) \sum_{r=1}^b (s_{r0}^- / u_{r0})}{1 + (1/g) \sum_{k=1}^g (s_{k0}^+ / y_{k0})}$$

여기에서,

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j' x_{ij} \leq \alpha \cdot x_{i0} \forall i$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j' y_{kj} = y_{k0} + S_{k0}^+ \forall k$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j' u_{rj} = u_{r0} - S_{r0}^- \forall r$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j' = \alpha$$

$$0 \leq \lambda_j' = \alpha$$

$$\lambda_j' \geq 0 \forall j$$

$$S_{k0}^+ \geq 0 \forall k$$

$$S_{r0}^- \geq 0 \forall r$$

다음 단계로 SBM-DEA 모형을 전통적인 DEA-CCR 모형으로 재구성하기 위해서 Tone (2001)이 제안한 방법을 이용하여 새로운 변수 $t > 0$ 을 정의하면

$$\begin{aligned} t \cdot \lambda_j' \forall j \quad a = t \cdot \alpha S_{k0}^+ \\ = t \cdot S_{k0}^+ \forall S_{r0}^- = t \cdot S_{r0}^- \forall r \end{aligned}$$

이 된다. 이렇게 해서 수정된 SBM-DEA 모형은 아래와 같이 구성된다.

$$Min \rho_0 = t - \frac{1}{b} \sum_{r=1}^b \frac{S_{r0}^-}{u_{r0}}$$

여기에서,

$$t + \frac{1}{g} \sum_{k=1}^g \frac{S_{k0}^+}{y_{k0}}$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j' x_{ij} \leq \hat{\alpha} \cdot x_{i0} \forall i$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j' y_{kj} \leq t \cdot y_{k0} + S_{k0}^+ \forall k$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j' u_{rj} = t \cdot u_{r0} - S_{r0}^- \forall r$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j' = \hat{\alpha}$$

$$0 \leq \hat{\alpha} \leq t$$

$$\lambda_j \geq 0 \forall j$$

$$S_{k0}^+ \geq 0 \forall k$$

$$S_{r0}^- \geq 0 \forall r$$

추가적으로, 잔여기반 효율성 ρ_0 은 t^* , λ_j^* , α^* , $(S_{k0}^+)^*$, $(S_{r0}^-)^*$ 을 고려하여 항만 O가 목표산출량을 계산한다고 할 때 아래와 같은 공식을 따른다.

$$\begin{aligned} y_{k0}^* &= \alpha \cdot \sum_{j=1}^N \lambda_j y_{kj} = \sum_{j=1}^N \lambda_j' y_{kj} = \frac{1}{t^*} \sum_{j=1}^N \lambda_j y_{kj} \\ &= \frac{1}{t^*} [t^* \cdot y_{k0} + (S_{k0}^+)] = y_{k0} + \frac{(S_{k0}^+)}{t^*} \forall k \\ u_{r0}^* &= \alpha \cdot \sum_{j=1}^N \lambda_j u_{rj} = \frac{1}{t^*} \sum_{j=1}^N \lambda_j u_{rj} \\ &= \frac{1}{t^*} [t^* \cdot u_{r0} - (S_{r0}^-)] = u_{r0} - \frac{(S_{r0}^-)}{t^*} \end{aligned}$$

3. DMU 및 변수의 선정

본 연구에서 DMU와 변수를 설정하기 위해 다음과 같은 제약 조건을 고려하였다.

첫 번째, 항만 체선 통계의 접근이 용이하지 않으며, 국내 4개 항만의 3년 치 체선 실태 자료만 제공하고 있다.

두 번째, 선행연구에서 일반적으로 이용하는 복수의 항만 시설 자료를 동일하게 투입 변수로 설정하기에는 변수의 개수가 많아지므로 DMU는 총 변수 개수의 2~3배 이상이어야 한다는 조건에 위배된다.¹⁾

세 번째, 각 항만의 특성을 고려하면 컨테이너처리량만을 산출변수로 설정하기에 무리가 있으므로 비컨테이너처리량을 산출변수로 추가하는 것이 필요하다.

이상의 제약들을 고려하여 DMU는 부산, 인천, 여수·광양²⁾, 울산의 각 연도별 자료로 총 12개를 선정하였다. 산출변수는 컨테이너처리량(RT)과 비컨테이너처리량(RT)을 사용하였으며 자료는 해운항만 통계(SP-IDC)에서 입수하였다.

투입변수는 복수의 항만 시설 자료를 사용하기에 변수의 개수가 많아지므로 항만 시설을 종합적으로 고려한 항만하역능력을 사용하였으며 자료의 출처는 한국해양수산개발원에서 제공하는 통계 자료이다. 체선선박척수는 2013년 국회 보도 자료³⁾를 활용하였다.

자료의 기술통계와 상관분석 결과는 표 1과 2에 정리하였다. 컨테이너처리량과 하역능력 간 상관관계가 0.980로 다소 높지만 선행연구⁴⁾에서 제시한 수준에는 부합한다고 할 수 있다.

1) 이정동 외(2012)

2) 여수항의 자료와 광양항의 자료를 합함

3) 홍문표 의원 보도자료(2013)

4) 조윤기(2006) 0.869, 류동근(2005) 0.987

표 1. 기술통계량

	N	최소값	최대값	평균	표준편차
컨테이너처리량(R/T)	12	4,651,526.00	284,603,873.00	82,879,486.75	109,552,387.63
비컨테이너처리량(R/T)	12	25,434,497.00	208,466,795.00	130,863,181.75	71,394,886.68
하역능력(천톤)	12	56,740.00	292,410.00	136,809.17	84,529.76
체선선박척수	12	158.00	1,317.00	686.58	499.65

표 2. 변수 간 상관관계

		컨테이너처리량	비컨테이너처리량	하역능력	체선선박척수
컨테이너처리량	Pearson Correlation	1	-0.887**	0.980**	-0.643*
	Sig. (2-tailed)		0.000	0.000	0.024
비컨테이너처리량	Pearson Correlation	-0.887**	1	-0.831**	0.886**
	Sig. (2-tailed)	0.000		0.001	0.000
하역능력	Pearson Correlation	0.980**	-0.831**	1	-0.601*
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.001		0.039
체선선박척수	Pearson Correlation	-0.643*	0.886**	-0.601*	1
	Sig. (2-tailed)	0.024	0.000	0.039	

IV. 효율성 분석

1. DEA 모형 분석 결과

본 장에서는 먼저 DEA-CCR·BCC 모형의 분석 결과를 살펴보고 체선을 고려한 SBM-DEA 모형의 분석 결과와 비교하고자 한다. DEA-CCR·BCC 모형 모두 산출지향(output oriented) 모형을 사용하였으며 DEA-CCR·BCC 모형의 분석을 항만의 운영 효율성이라고 정의하고자 한다. DEA-CCR 모형 분석 결과, 부산(2011), 울산(2011)이 효율적인 것으로 나타난 반면, 인천(2011), 인천

(2010), 인천(2012) 등이 0.64~0.65의 효율성 결과를 보였다. 이 외에도 울산(2010) 0.89, 부산(2010) 0.89, 여수·광양(2012) 0.74, 여수·광양(2011) 0.70, 여수·광양(2010) 0.66의 결과를 나타내었다.

DEA-BCC 모형 분석 결과, 부산(2011), 울산(2011), 울산(2012), 부산(2012), 여수·광양(2012)이 효율적인 DMU로 나타났고 울산(2010) 0.98, 부산(2010) 0.89, 여수·광양(2011) 0.97의 결과를 나타내었다. 본 DEA-CCR·BCC 분석은 SBM-DEA 분석 결과와의 비교에 목적이 있으므로 분석 결과를 바탕으로 한 참조집단 및 DMU 효율화 방안 등에 대한 논의는 생략하고자 한다.



그림 2. DEA-CCR · BCC 모형 분석 결과

2. SBM-DEA 모형 분석 결과

체선을 고려한 SBM-DEA 모형 분석 결과, 울산(2012), 부산(2011), 부산(2012), 인천(2011), 울산(2011)이 효율적인 DMU로 나타났다. 이 외에도 인천(2012) 0.93, 인천(2010) 0.93, 여수·광양(2012) 0.73, 여수·광양(2011) 0.72, 울산(2010) 0.69, 부산(2010) 0.67, 여수·광양(2010) 0.63의 결과를 나타내었다.

잔여물의 결과를 살펴보면 우선 하역능력(투입변수)은 인천(2012)이 2,036.57(천톤), 여수·광양(2012)이 28,521.56(천톤), 여수·광양(2010)이 38,793.41(천톤)로 나타났다.

컨테이너처리량의 경우 인천(2010)이 957,297.95(R/T), 여수·광양(2011)이 36,305,273.28(R/T), 울산(2010)이 6,145,633.66(R/T)의 증대가 필요한 것으로 나타났다.

비컨테이너화물처리량의 경우 부산(2010)이 38,220,118,87(R/T)의 화물 증대가 필요한 것으로 나타났다.

마지막 체선선박척수의 경우 인천(2012)이 38.92척, 인천(2010)이 59.76척, 여수·광양(2012)이 203.22척, 여수·광양(2011)이 18.95척, 여수·광양(2010)이 320.50척을 감소시켜야 DMU의 효율화가 이루어지는 것으로 나타났다.

표 3. SBM-DEA 모형 분석 결과(상세)

DMU	효율성 결과	하역처리능력 잔여물 (1천톤)	컨테이너처리량 잔여물 (R/T)	비컨테이너처리량 잔여물 (R/T)	체선선박척수 잔여물
울산(2012)	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
부산(2011)	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
부산(2012)	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
인천(2011)	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
울산(2011)	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
인천(2012)	0.93	2,036.57	0.00	0.00	38.92
인천(2010)	0.93	0.00	957,297.95	0.00	59.76
여수·광양(2012)	0.73	28,521.56	0.00	0.00	203.22
여수·광양(2011)	0.72	0.00	35,305,273.28	0.00	18.95
울산(2010)	0.69	0.00	6,145,633.66	0.00	0.00
부산(2010)	0.67	0.00	0.00	38,220,118.87	0.00
여수·광양(2010)	0.63	38,793.41	0.00	0.00	320.50

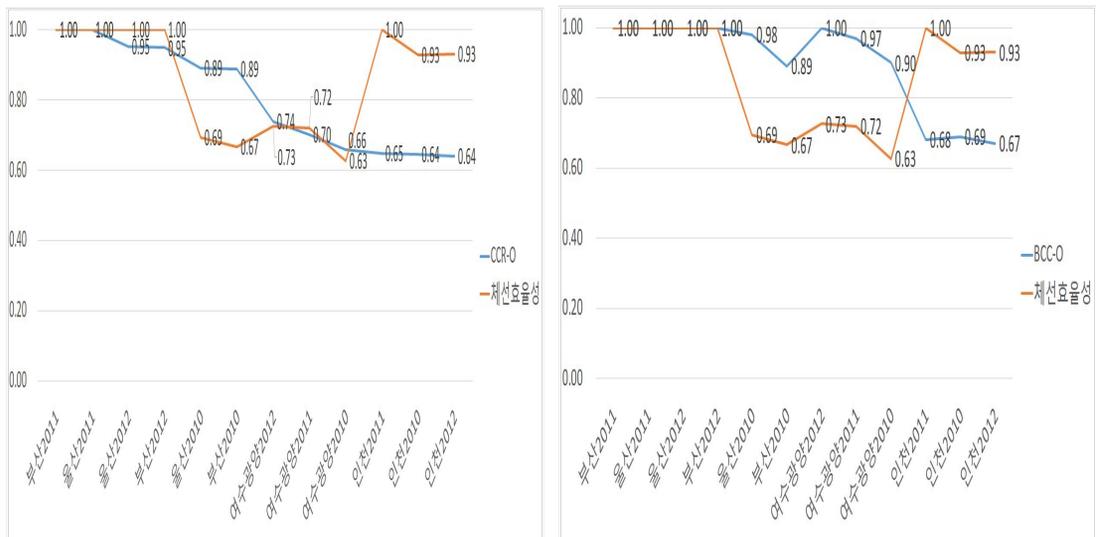


그림 3. DEA-CCR·BCC 및 SBM-DEA 모형 간 분석 결과 비교

DEA-CCR 모형 결과와 체선을 고려한 SBM-DEA 모형 결과 간 비교를 살펴보면 다음과 같다. 부산(2011), 울산(2011), 울산(2012), 부산(2012), 여수·광양(2012), 여수·광양(2011) 등은 대체로 동일한 결과를 보였다.

하지만 울산(2010), 부산(2010), 인천(2011), 인천(2010), 인천(2012) 등은 DEA-CCR 결과와 체선효율성 결과 간 불일치를 나타내었다.

DEA-BCC 모형 결과와 SBM-DEA 모형의 분석 결과를 비교하면 다음과 같다. 부산(2011), 울산(2011), 울산(2012), 부산(2012)의 두 모형 간 결과가 일치했다. 하지만 울산(2010), 부산(2010), 여수·광양(2012) 등 대부분의 DMU가 불일치했다.

DEA-CCR·BCC 결과와 SBM-DEA 결과 간 비교를 종합해보면 여수·광양(2010)을 제외하고는 체선이 항만의 운영 효율성에 미치는 영향이 크지 않은 것으로 나타났다. 오히려 기대 산출물 즉, 화물처리량 증대나 하역능력의 조정이 항만 운영 효율성 증대에 보다 효과적인 것으로 나타났다.

마지막으로 2013년 국회 보도자료에서 제공하는 체선비용을 종속변수로하고 체선선박척수를 독립변수로 하는 회귀식을 추정하고 이 회귀식을 이용하여 항만 별 체선비용 보존가능액을 추정하고자 한다. 추정된 회귀식은 아래와 같다.

$$y = 0.1209x - 0.0277$$

위 식에 앞서 도출한 체선선박 척 수의 잔여물을 대입하면 항만 별 체선비용 보존가능액을 추산할 수 있다.

분석 결과, 인천(2012)은 7.2억 원, 인천(2010)은 4.7억 원, 여수·광양(2010)은 38.72억 원, 여수·광양(2011)은 2.26억 원, 여수·광양(2012)은 24.54억 원의 체선비용을 보존 가능한 것으로 추산하였다.

V. 결론

체선이 항만의 운영 효율성에 어느 정도 영향을 미치는가?

위 연구 문제에 대한 답하기 위해 본 연구에서는 SBM-DEA 모형을 이용하여 체선을 고려한 항만의 효율성을 분석하고 DEA-CCR-BCC 모형의 연구 결과와 비교하였다.

분석 결과는 다음과 같다. DEA-CCR-BCC 분석 결과, 부산(2011), 울산(2011)이 효율적인 DMU로 나타났으며 DEA-BCC 모형 분석 결과, 부산(2011), 울산(2011), 울산(2012), 부산(2012), 여수·광양(2012)이 효율적인 DMU로 나타났다. 체선을 고려한 SBM-DEA 모형 분석 결과, 울산(2012), 부산(2011), 부산(2012), 인천(2011), 울산(2011)이 효율적인 DMU로 나타났다. DEA-CCR·BCC 결과와 SBM-DEA 결과 간 불일치를 보여 체선이 항만의 운영 효율성에 미치는 영향이 크지 않은 것으로 나타났다. 체선선박척수의 잔여물을 제거한다면 인천항은 3년 간 총 11.9억 원, 여수·광양항은 3년간 총 65.52억 원의 비용 보존이 가능한 것으로 나타났다.

본 연구는 유해산출물을 고려한 SBM-DEA 연구 동향이 대기오염물질, 항공기 출발 지연 등에 국한되어오다가 체선을 유해산출물로 고려하여 분석하였다는 점에서 학문적 의의가 크다고 할 수 있다.

하지만 국내 4개 항만의 3년 치 자료만을 사용하였다는 점과 동일 항만의 연도별 자료를 DMU로 사용하였다는 점은 연구의 한계로 들 수 있다. 또한 보다 많은 자료와 DMU의 확보가 가능하다면 체선이 항만 운영 효율성에 어떠한 영향을 미치는지 심층적인 연구가 될 수 있다고 판단된다.

참고문헌

- 구중순, 이정선, 전동화(2011), 한·중·일 항만효율성 비교연구, 해운물류연구, 제27권, 457-474.
- 김상춘, 최봉호(2015), 부산지역 해운·항만산업의 지역경제 파급효과 재조명, 무역연구, 제11권 제1호, 601-627.
- 김안호, 차용우(2005), 국내 무역항만의 효율성 변화분석: 맴퀴스트접근, 한국항만경제학회지, 제21집 제2호, 173-188.
- 나호수, 김현초(2009), 군상항만의 효율성 비교연구, 한국항만경제학회지, 제25권 제2호, 277-300.
- 나호수, 이우, 이경수(2008), 한국 5대 항만의 효율성에 대한 비교연구, 한국항만경제학회지, 제24권 제4호, 25-46.
- 류동근(2005), 국내 컨테이너 전용터미널의 효율성 비교: DEA 접근, 해운물류연구, 제47호, 21-37.
- 모수원(2008), 국내항만의 효율성 결정요소 - 패널분석과 이분산 토빗모형을 이용하여 -, 한국항만경제학회지, 제24권 제4호, 349-361.
- 모수원, 박홍균, 이민희(2010), "컨테이너 터미널의 생산성과 효율성 변화의 결정요소", 『해운물류연구』, 제26권, 583-600.
- 박노경, 박길영(2007), 항만효율성 측정 자료의 정규성과 변환 불변성 검증 소고: DEA접근, 한국항만경제학회지, 제23권 제2호, 109-120.
- 박노경(2008), 항만의 효율성을 예측하기 위한 실증적 측정방법, 한국항만경제학회지, 제24권 제4호, 313-327.
- 박홍균(2010), 환적화물의 컨테이너 터미널 효율성 분석, 한국항만경제학회지, 제26권 제1호, 1-19.
- 송재영(2004), 컨테이너 항만의 효율성 분석에 관한 연구, 한국해양대학교 공학 박사학위 논문.
- 사공훈, 최석범(2009), 국내 벌크선박의 체선원인에 관한 실증분석 - 집안대기시간을 중심으로 -, 해운물류연구, 제25권 제2호, 263-284.
- 여희정(2011), 중국 및 유럽 항만의 상대적 효율성 분석, 해운물류연구, 제27권, 563-581.
- 오성동, 박노경(2001), 컨테이너항만의 국제경쟁력분석방법: DEA접근 - 생산효율성분석을 중심으로 -, 한국항만경제학회지, 제17집 제1호, 27-51.
- 이동현(2013), 평택당진항의 갈등 원인과 거버넌스 접근을 통한 해결방안, 한국항만경제학회지, 제29집 제3호, 135-158.
- 이민규, 이기열(2016), 항만물류산업의 지역경제 파급효과 분석 - 부산, 인천, 울산을 대상으로 -, 해운물류연구, 제32권 제2호, 299-320.
- 이민규(2012), 항만 서비스 혁신 관점에서의 선박 재항 시간의 결정요인 분석, 한국혁신학회지, 제7권 제1호, 51-69.
- 이세훈, 이태휘, 여기태(2012), 국내 주요 벌크터미널의 효율성 분석에 관한 연구, 해운물류연구, 제28권, 245-264.
- 이정동, 오동현(2012), 효율성 분석이론-DEA 자료포락분석법, 지필미디어.
- 이태휘, 여기태(2015), 탄소배출을 고려한 공항 효율성 측정에 관한 연구, 로지스틱스연구, 제23권 3호, 81-91.
- 장영태, 김성귀(1993), 선박체항시간비용의 추정에 관한 연구, 해운학회지, 제16호, 229-259.
- 장영태(1991), 항만에서의 선박대기시간 추정 방법론, Ocean and Polar Research, 제13권 제2호, 57-67.
- 전영인, 민경창, 하현구(2013), 방사적 및 비방사적 접근법을 이용한 국내공항의 효율성 분석, 대한교통학회지, 제31권 제2호, 11-19.
- 정봉민, 성숙경(2003), 우리나라의 항만민영화 추진성과와 정책방향, 한국해양수산개발원
- 제3차 전국 항만기본계획 수정계획(2015), 해양수산부.
- 조윤기(2006), 한·중·일 컨테이너항만의 효율성 비교 분석, 동북아경제연구, 제18권 제3호, 1-22.
- 주경원, 박병인, 배종욱(2009), 광양항 해운항만산업의 경제적 효과 분석, 해운물류연구, 제25권 제2호, 285-309.
- 최봉호(2009), 광역권 항만산업의 경제적 파급효과 분석, 한국항만경제학회지, 제25집 제3호, 21-42.
- 하명신(2009), 동북아 지역과 미국 주요 컨테이너항만간의 효율성 비교 - DEA 기법을 중심으로 -, 한국항만경제학회지, 제25권 제3호, 229-250.
- Chang, Y. T.(2013), Environmental efficiency of ports: a data envelopment analysis approach, Maritime Policy & Management, 40, 467-478.
- Chang, Y., , Zhang, N., Danaoa, D., & Zhanga, N.(2013), Environmental efficiency analysis of transportation system in China: A non-radial DEA approach, Energy Policy, 58, 277-283.
- Chang, Y., , Park, H. S., Jeong, J., & Lee, J.(2014), Evaluating economic and environmental efficiency of global airlines: A SBM-DEA approach, Transportation Research Part D, 27, 46-50.

- Choi, Y., Zhang, N., & Zhou, P.(2012), Efficiency and abatement costs of energy-related CO₂ emissions in China: a slacks-based efficiency measure, *Applied Energy*, 98, 198-208.
- Cullinane, K.(2002), The Productivity and Efficiency of Ports and Terminals: Methods and Applications, *Handbook of Maritime Economics and Business*, 803-831.
- Cullinane, K., Ping, J., & Wang, T.(2005), The relationship between privatization and DEA estimates of efficiency in the container port industry, *Journal of Economics & Business*, 57, 433-462.
- Ke, G. Y., Li, K. W., & Hipel, K. W.(2012), An integrated multiple criteria preference ranking approach to the Canadian west coast port congestion conflict, *Expert Systems with Applications*, 39, 9181-9190.
- Lozano, S., & Gutiérrez, E.(2011), Slacks-based measure of efficiency of airports with airplanes delays as undesirable outputs, *Computers & Operations Research*, 38, 131-139.
- Lee, T., Vinh, V., & Yeo, G.(2014), Environmental efficiency analysis of port cities: Slacks-based measure data envelopment analysis approach, *Transport Policy*, 33, 82-88.
- Oliveira, G., & Cariou, P.(2011), A DEA study of the efficiency of 122 iron ore and coal ports and of 15/17 countries in 2005, *Maritime Policy & Management*, 38, 727-743.
- Oyatoye, E. O., Olanrewaju, A. S., Chinweze, O. J., & Bolane, A. B.(2011), Application of Queueing theory to port congestion problem in Nigeria, *European Journal of Business and Management*, 3, 24-36.
- Roll, Y., & Hayuth, Y.(1993), Port performance comparison applying data envelopment analysis, *Maritime Policy & Management*, 20, 153-161.
- Tone, K.(2001), A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis, *European Journal of Operational Research*, 130, 498-509.
- Tongzon, J.(2001), Efficiency Measurement of Selected Australian and other International Ports using Data Envelopment Analysis, *Transportation Research Part A*, 35, 107-122.
- Wang, T., & Cullinane, K.(2006), The Efficiency of European Container Terminals and Implications for Supply Chain Management, *Maritime Economics & Logistics*, 8, 82-99.
- Woo, S. H., Pettit, S. J., Kwak D. W., & Beresford, A. K. C.(2011), Seaport research: A structured literature review on methodological issues since the 1980s, *Transportation Research Part A*, 45, 667-685.
- Yeo, G. T., Roe, M., & Soak, S. M.(2007), Evaluating of the Marine Traffic Congestion of North Harbor in Busan Port, *Journal of Waterway, Port, and Ocean Engineering*, 133, 87-93.
- Zhou, P., Ang, B. W., & Poh, K. L.(2006), Slack-based efficiency measures for modeling environmental performance, *Ecological Economics*, 60, 111-118.

체선을 고려한 항만의 효율성 분석에 관한 연구

이태휘

국문요약

본 연구는 다음과 같은 문제를 제기한다. 체선이 항만의 운영 효율성에 어느 정도 영향을 미치는가? 이 연구 문제에 대한 답하기 위해 본 연구에서는 SBM-DEA 모형을 이용하여 체선을 고려한 항만의 효율성을 분석하고 DEA-CCR·BCC 모형의 연구 결과와 비교하였다. 먼저 DEA-CCR·BCC 분석 결과, 부산(2011), 울산(2011)이 효율적인 DMU로 나타났으며 DEA-BCC 모형 분석 결과, 부산(2011), 울산(2011), 울산(2012), 부산(2012), 여수·광양(2012)이 효율적인 DMU로 나타났다. 체선을 고려한 SBM-DEA 모형 분석 결과, 울산(2012), 부산(2011), 부산(2012), 인천(2011), 울산(2011)이 효율적인 DMU로 나타났다. DEA-CCR·BCC 결과와 SBM-DEA 결과 간 불일치를 보여 체선이 항만의 운영 효율성에 미치는 영향이 크지 않은 것으로 나타났으며 체선선박척수의 잔여물을 제거한다면 인천항은 3년간 총 11.9억 원, 여수·광양항은 3년 간 총 65.52억 원의 비용 보존이 가능한 것으로 나타났다.

주제어 : 체선, 항만 효율성, SBM-DEA, 체선비용

