

DEA 기반의 자원 개선 선호도를 고려한 단계적 벤치마킹 대상 탐색 연구

박재훈* · 성시일**†

*대구한의대학교 화장품공학부 산업품질공학전공

**경기대학교 산업경영공학과

A Study on DEA-based Stepwise Benchmarking Target Selection Considering Resource Improvement Preferences

Park, Jaehun* · Sung, Si-Il**†

*Major in Industrial Quality Engineering, Daegu Haany University

**Department of Industrial Management Engineering, Kyonggi University

ABSTRACT

Purpose: This study proposed a DEA (Data Envelopment Analysis)-based stepwise benchmarking target selection for inefficient DMU (Decision Making Unit) to improve its efficiency gradually to reach most efficient frontier considering resource (DEA inputs and outputs) improvement preferences.

Methods: The proposed method proceeded in two steps. First step evaluates efficiency of DMUs by using DEA, and an evaluated DMU selects benchmarking targets of HCU (Hypothesis Composit Unit) or RU (Real Unit) considering resource improvement preferences. Second step selects stepwise benchmarking targets of the inefficient DMU. To achieve this, this study developed a new DEA model, which can select a benchmarking target of an inefficient DMU in considering inputs or outputs improvement preference, and suggested an algorithm, which can select stepwise benchmarking targets of the inefficient DMU.

Results: The proposed method was applied to 34 international ports for validation. In efficiency evaluation, five ports was evaluated as most efficient port, and the remaining 29 ports was evaluated as relative inefficient port. When port 34 was supposed as evaluated DMU, its can select its four stepwise benchmarking targets in assigning the preference weight to inputs (berth length, total area of pier, CFS, number of loading machine) as (0.82, 1.00, 0.41, 0.00).

● Received 2 February 2019, 1st revised 19 February, accepted 20 February 2019

† Corresponding Author(suil0710@naver.com)

© 2019, The Korean Society for Quality Management

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-Commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

* This work was supported by Ministry of Education of the Republic of Korea and the National Research Foundation of Korea (NRF-2018R1C1B5033711 & NRF-2017R1C1B5015303).

Conclusion: For the validation of the proposed method, it applied to the 34 major ports around the world and selected stepwise benchmarking targets for an inefficient port to improve its efficiency gradually. We can say that the proposed method enables for inefficient DMU to establish more effective and practical benchmarking strategy than the conventional DEA because it considers the resource (inputs or outputs) improvement preference in selecting benchmarking targets gradually.

Key Words: Benchmarking, Efficiency, Stepwise Approach, DEA

1. 서 론

일반적으로 조직의 효율성 평가와 벤치마킹 분석을 위해 DEA(Data Envelopment Analysis) 방법이 널리 적용되고 있다. DEA는 다수의 투입과 산출을 이용하여 유사한 특성을 지닌 의사결정 단위(DMU, Decision Making Unit)들 간의 상대적 효율성을 평가하는 방법으로 효율성 평가와 더불어 참조 집단에 의한 효율성 개선 대상과 효율성 개선 정도를 알 수 있어 벤치마킹을 위한 목적으로 널리 활용되고 있다. DEA 분석을 통해 도출되는 효율성 개선 정도는 벤치마킹을 시행하려는 DMU가 우수한 성과 조직을 벤치마킹하기 위해 개선해야 하는 정도를 의미한다. DEA 방법은 국가 R&D(Lee and Park, 2005; Wang and Huang, 2007; Sharma and Thomas, 2008), 공공 행정(Ammons, 2002), 생산 및 설계(Grupp, 1990), 경영 관리(Spendolini, 1992; Tata et al., 2000), 항만물류(Park and De, 2004) 등 다양한 분야에 적용되어 연구되고 있다. 앞서 DEA 방법을 적용한 일반적인 효율성 평가 및 벤치마킹 연구들은 DMU들의 특성과는 무관하게 효율성이 가장 높은 DMU들만을 벤치마킹 대상으로 제시함으로써 개선해야 하는 자원의 정도가 큰 경우에는 당장의 벤치마킹 대상으로 삼는 것이 현실적인 어렵다는 지적이 있다(Cooper et al., 2006). 하지만 일반적인 경우 자본의 한계로 인한 자원 제약 그리고 내 외부 업체들과의 전략적 상호 관계 등으로 상대적으로 효율성 낮은 조직이 효율성을 높이기 위해서는 다양한 전략과 자본 확보 계획이 필요하고 이를 달성하기 위해 많은 시간이 요구된다. 즉, 단순히 DEA 방법에서 제시하는 벤치마킹 정보(효율성 개선 대상 및 개선 정도)만으로는 효과적이고 실현 가능성이 높은 전략 수립에는 한계가 있다.

본 논문은 DEA를 이용한 DMU들의 상대적 효율성 평가보다는 비효율적인 DMU의 효율성 개선을 위한 벤치마킹에 초점을 두고, 보다 합리적인 벤치마킹 대상 탐색 방법을 제안한다. 비록 일반적인 DEA 방법이 비효율적인 DMU의 벤치마킹 대상이 되는 참조 집단과 참조 집단을 모방하기 위한 입출력 요소 관점에서의 개선 정도에 대한 정보를 제공하지만, 다음의 2가지 문제점을 내포하고 있다. 첫째, 다수의 효율적인 DMU들이 벤치마킹 대상으로 제시되므로 어떤 DMU가 가장 적합한 벤치마킹 대상이 되는지에 대한 구체적인 지표는 제시하지 못한다. 둘째, DMU들의 특성과 무관하게 효율성이 가장 뛰어난 DMU들만을 벤치마킹 대상으로 제시되므로 개선해야 하는 정도가 큰 경우에는 당장의 벤치마킹 대상으로 정하는 것은 현실적으로 어려울 수 있다(Cooper et al., 2006). 이러한 일반적인 DEA가 가지는 벤치마킹 대상 선택의 문제점을 보완하기 위해 제안하는 방법은 비효율적인 DMU가 자원(투입 및 산출 요소)의 개선 선호도를 고려하여 단계적으로 벤치마킹 대상(효율성 개선 대상 DMU)을 선정하는 방법을 제시한다. 본 논문에서 고려하는 자원의 개선 선호도는 비효율적인 DMU가 효율성 개선을 위해 투입 및 산출 자원 중에서 우선적으로 개선해야 하는 자원을 중심으로 벤치마킹 대상을 탐색하기 위한 것이다. 투입 및 산출 요소의 개선 선호도를 고려하는 것에 대한 이해를 돕기 위해 다음의 예를 들어보자. 효율성 평가에서 A 조직이 매우 비효율적인 조직으로 나와 효율성을 개선하고자 한다. A 조직은 3개의 투입 요소(자본, 토지, 인력)와 1개의 산출 요소(수익)로 효율성을 평가

했는데, 산출 요소는 평가대상들이 다 비슷한 수준으로 나와 투입 요소의 과다분을 줄여 효율성을 개선하고자 계획하고 있다. A 조직은 3개의 투입 요소 중 인력은 상대적으로 단기간에 줄일 수 있을 것으로 판단하지만 토지는 복잡한 절차와 많은 시간 투자로 그 양을 줄이기가 상당히 부담스러운 대상으로 판단되었다. 즉, A 조직의 경우 인력은 과다분을 줄이는데 크게 부담이 없고 이런 경우 본 논문에서는 ‘개선 선호도가 높다’라고 판단하며, 토지의 경우 과다분을 줄이는 것이 크게 부담스럽고 이런 경우 ‘개선 선호도가 낮다’라고 판단한다. 벤치마킹 대상 탐색에 있어 자원의 개선 선호도를 고려한다는 것은 A 조직이 효율성 개선을 위해 토지보다는 인력과 자본의 과다분에 대한 감소를 우선적으로 선호해서 벤치마킹 대상을 탐색하는 것이다. 또한, 단계적 벤치마킹 대상 탐색은 비효율적인 DMU가 단번에 가장 효율적인 DMU를 벤치마킹하는 것이 현실적으로 어려운 경우, 효율성을 계층화하여 효율성 격차를 단계적으로 개선하는 벤치마킹 방법이다. 본 논문에서 제안하는 방법은 비효율적인 DMU의 자원 특성을 고려한 현실적인 효율성 개선이 가능하다는 측면에서 일반적인 DEA 방법보다 효과적이라 할 수 있다. 제안하는 방법은 전 세계 34개 주요 항만을 대상으로 효율성을 평가하고 비효율적인 항만이 단계적으로 효율성을 개선하기 위한 벤치마킹 대상을 탐색해 봄으로써 방법의 유효성을 검증하였다.

본 논문에서 제안하는 방법과 유사하게 Mithun and Song(2009)은 SOM(Self-Organizing Map)을 이용하여 투입 자원요소의 유사성을 기반으로 유사그룹을 도출하여 동일한 그룹에 존재하는 DMU를 대상으로 단계적으로 벤치마킹하는 방법을 제안한바 있다. 해당 논문에서는 벤치마킹 활동이 동일 그룹 내에서만 수행된다는 제한이 있어 동일 그룹에 소수의 DMU가 존재할 경우 가장 효율적인 DMU를 벤치마킹하기 어렵다는 단점이 있다. Park et al., (2010)은 DEA 방법에서 불필요하게 많은 벤치마킹을 피하면서 적절한 수준에서 벤치마킹 대상을 결정하기 위한 방법으로 SOM기법을 조합하여 투입 요소 유사성에 따른 단계적 벤치마킹 대상 선택 방법을 제안한바 있다. 이와 대조적으로 본 논문에서는 자원의 개선 선호도를 고려한 방법으로, 벤치마킹을 수행하고자 하는 의사결정자가 자원 개선의 우선순위를 직접 반영하여 다양한 벤치마킹 대상을 탐색할 수 있다는 차이점과 이를 단계적으로 벤치마킹한다는 장점이 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 제안하는 자원 개선 선호도를 고려한 단계적 벤치마킹 대상 탐색 방법에 대해 설명한다. 3장에서는 제안하는 방법을 실제 34개 주요 항만에 적용하여 항만들의 간의 상대적 효율성을 평가하고 비효율적 항만을 대상으로 단계적 벤치마킹 대상을 탐색하였고, 4장에서는 제안하는 방법의 기여, 향후 확장과 더불어 결론을 맺는다.

2. 자원 개선 선호도를 고려한 단계적 벤치마킹 대상 탐색 방법

제안하는 방법은 2단계 절차로 진행된다. 첫 번째는 자원 요소 개선 선호도를 고려한 효율성 평가 단계로, DEA 방법을 적용하여 DMU들의 효율성을 평가하고 비효율적인 DMU가 효율성 개선활동에서 자원의 개선 선호도를 고려하여 벤치마킹 대상을 탐색하는 방법을 다룬다. 두 번째는 벤치마킹 대상 선정 단계로, 비효율적인 DMU가 자원 개선 선호도를 고려하였을 때 벤치마킹 대상을 단계적으로 탐색하는 방법을 다룬다. 각 단계에 대한 구체적인 내용은 2.1장과 2.2장에서 설명하도록 한다.

2.1 자원 개선 선호도를 고려한 효율성 평가

평가대상 DMU들의 상대적 효율성은 DEA 모형을 통해 평가될 수 있다. DEA는 투입과 산출의 명확한 인과관계를

밝히기 어려운 DMU들의 상대적 효율성을 평가하기 위해 개발된 방법이며, 여러 종류의 산출물을 생산하기 위해 여러 종류의 투입물을 이용하는 DMU들 간의 효율성을 평가하기 위한 선형계획법에 기반한 방법이다(Zhu, 2003). DEA를 통해 도출되는 목적함수는 평가대상 DMU의 효율성 값을 나타내게 되는데 효율성 값은 0보다 크고 1보다 작거나 같은 값을 가진다. 각각의 DMU에 대해 효율성 값이 1인 경우 해당 DMU는 효율적이라 하고, 1보다 작을 경우는 비효율적이라 한다. DEA는 자원의 개선 유연성을 투입 요소에 초점을 두는가, 산출 요소에 초점을 두는가에 의해 투입 지향(Input oriented) 모형과 산출 지향(Output oriented) 모형으로 구분되는데 투입 지향 모형은 최소한의 투입 요소를 사용하여 주어진 수준의 산출 요소를 생산하는 것을 목적으로 하고, 산출 지향 모형은 주어진 투입 요소를 가지고 산출 요소를 최대화하는 것을 목적으로 한다.

(1)은 DEA의 기본 모형인 Charnes, Cooper & Rhodes의 투입 지향 CCR 선형계획 모형(Charnes et al., 1978)이다. (1)에서 u_r 은 r 번째 산출 요소의 가중치, v_i 는 i 번째 투입 요소의 가중치, n 은 DMU의 수, s 는 산출 요소의 수, m 은 투입 요소의 수, k 는 평가하고자 하는 특정 DMU 번호, y_{rk} 는 DMU j 의 r 번째 산출물의 양, x_{ij} 는 DMU j 의 i 번째 투입물의 양을 각각 의미한다.

$$\begin{aligned}
 & \max_{u,v} \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} \\
 & s.t \\
 & \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1 \\
 & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, \quad \forall j \\
 & v_i, u_r \geq \epsilon, \quad \forall i, r
 \end{aligned} \tag{1}$$

DEA는 DMU들 간의 상대적 효율성 측정 외에 비효율적인 DMU에게 벤치마킹 대상으로 사용될 수 있는 참조 집단을 제시함으로써 벤치마킹 도구로도 매우 유용하게 사용될 수 있다. 참조 집단은 DEA의 선형계획 모형을 쌍대화(Dual)하여 구할 수 있다. (식 2)은 (식 1)의 DEA모형을 쌍대화한 포락 모형(envelop model)으로 DMU k 에 대하여 모든 DMU들의 투입 요소의 가중합이 단위 k 의 투입 요소의 θ 비율 이하인 범위에서 모든 DMU들의 산출 요소의 가중합이 단위 k 의 산출 요소 이상이 되는 최소비율 θ 를 구하는 모형이다.

$$\begin{aligned}
 & \min \theta \\
 & s.t \\
 & \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq \theta x_{ik} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \\
 & \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_{rk} \quad (r = 1, 2, \dots, s) \\
 & \lambda_j \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n)
 \end{aligned} \tag{2}$$

(2)에서 θ 는 효율성을 개선하기 위해 피평가 DMU k 의 모든 투입 요소에 적용된 비례적 감소를 나타내는 변수(이후 개선 정도로 표현함)이고, λ_j 는 각 DMU의 잠재가격(Shadow price, 피평가 DMU k 의 참조 대상이 되는 효율적 경계선 상의 가상 DMU를 구성하기 위한 모든 DMU들의 가중치를 의미하며 이후 가중치로 줄여서 표현함)을 각각

나타낸다.

평가대상 DMU들 간의 상대적 효율성 평가가 이루어지고 난 후에는, 비효율적인 DMU는 투입 및 산출 요소의 개선 선호도를 고려하여 벤치마킹 대상(효율성 개선 대상)을 선정하게 된다. 본 논문에서는 투입 지향 DEA 모형을 고려하기 때문에 산출 요소는 고정하고 투입 요소의 개선 선호도만 고려하도록 한다. 중요한 것은, 1장에서 언급한 바와 같이 투입 요소의 개선 선호도를 고려한다는 것은 비효율적인 DMU가 자원 특성을 고려하여 투입자원 중에서 효율성 향상을 위해 더 효과적으로 줄일 수 있는 자원을 우선적으로 개선하고자 하는 경우 적절한 벤치마킹 대상이 탐색되도록 하기 위한 것이다. 투입 요소의 개선 선호도를 고려한 벤치마킹 대상은 다음 (3)과 (4)에 의해 선정된다.

$$\begin{aligned}
 h_i^* &= \min \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m h_i - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \\
 s.t. \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- &= h_i x_{ik}, \quad (i = 1, \dots, m) \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ &= y_{rk}, \quad (r = 1, \dots, s) \\
 w_i &\leq h_i < 1, \quad (i = 1, \dots, m-1) \\
 h_i &> h_{i+1}, \\
 \lambda_j &\geq 0 \quad \forall j, \\
 s_i^-, s_r^+ &\geq 0
 \end{aligned} \tag{3}$$

(3)에서 h_i 는 i 번째 투입자원이 효율적인 DMU가 되기 위해 원래 투입자원 대비 감소해야 하는 비율 값을 의미하는 것으로 0과 1사이의 값을 가진다. 일반적인 DEA는 (식 2)와 같이 모든 투입 요소에 감소해야 하는 비율 값이 동일한 값으로 부여되어 원점을 향해 벤치마킹 대상을 찾게 된다. 비효율적인 DMU의 효율성 개선 정도는 감소해야 하는 비율 값에 의해 결정되는 것으로($\Delta x_i = x_i(1 - h_i^*)$), 감소해야 하는 비율 값이 1인 경우에는 해당 자원들은 개선할 필요가 없으며, 0에 가까울수록 자원들이 개선해야 하는 정도는 크다 할 수 있다. 즉, (3)에서 h_i 가 0.5이면 i 번째 투입자원이 기존 대비 50%를 감소해야 효율적인 DMU가 될 수 있음을 의미한다. w_i 는 0과 1사이의 값을 가지는 i 번째 자원에 부여한 선호도 가중치를 의미한다. 제약 조건에서 $h_i > h_{i+1}$ 은 투입자원 중 개선 우선순위가 높은 순서대로 정렬했을 때(개선 우선순위가 높을수록 1에 가까움), 개선 우선순위가 높은 자원이 감소해야 하는 비율 값은 상대적으로 개선 우선순위가 낮은 자원이 감소해야 하는 비율 값보다 커야 한다는 의미이다. (3)은 일반적인 DEA 모형과는 달리 각 자원마다 감소해야 하는 비율 값을 달리 부여하여 각 자원에 가장 유리한 효율성 값이 산출되도록 한다. 단, 각 자원이 감소해야 하는 비율 값을 선호도 가중치 값으로 제약을 두어 자원들이 개선해야 하는 정도를 제약하였다. 즉, 개선 우선순위가 높은 자원에는 선호도 가중치를 0에 근접하게 할당하여 개선할 수 있는 폭을 넓게 부여하고, 우선순위가 낮은 자원에는 1에 근접한 선호도 가중치를 할당하여 개선할 수 있는 폭을 제한하였다. (3)을 적용함에 있어 중요한 것은 수식의 특성상 자원 중 최소 하나에는 가중치 값이 0($w_i=0$)이 되어야 하는 전제조건이 따른다. 이는 투입자원 중 최소 하나 이상의 자원은 효율적 프론티어상에 존재하게 만들기 위함이다. (3)에서는 각 투입자원이 감소해야 하는 비율 값을 산출하는데, 이를 통해 비효율적 DMU의 벤치마킹 대상을 모방하기 위한 투입자원(\hat{x}_{ik})의 값과 개선해야 하는 투입자원의 정도(Δx_{ik})를 (4)을 이용하여 구한다.

$$\begin{aligned} \hat{x}_{ik} &= h_i^* x_{ik} - s_i^{-*}, \\ \Delta x_{ik} &= x_{ik}(1 - h_i^*) - s_i^{-*} \end{aligned} \tag{4}$$

(3)에 대한 이해를 돕기 위해 다음 Table 1의 데이터를 예로 들어 보자. Table 1의 데이터는 2개의 투입과 동일한 값을 가지는 1개의 산출로 이루어진 9개의 DMU들로 Figure 1과 같이 2차 평면으로 나타낼 수 있다. 일반적인 DEA 모형인 (2)를 통해 효율성을 평가하면, DMU A, B, D는 효율성이 가장 높고 DMU I는 상대적으로 효율성 낮게 나온다.

Table 1. Sample data

DMU	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Input 1	2	1	4	3	4	5	4	6	5
Input 2	2	4	1	4	3	4	5	3	7
Output 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

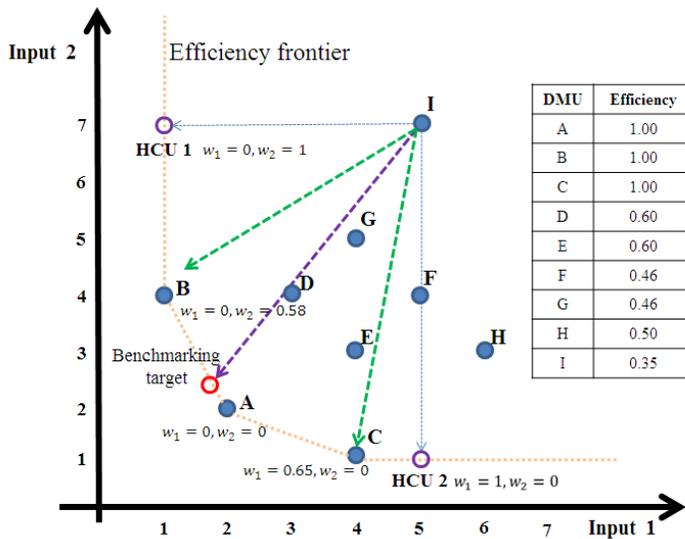


Figure 1. Benchmarking targets of DMU I according to the change of the weights

이때 DMU I의 참고 집합은 DMU A과 B가 되고 벤치마킹 대상은 DMU A과 B 사이에 존재하는($x_1=1.765, x_2=2.471$) 지점이 된다. 이는 DMU I가 효율적인 DMU가 되기 위해서는 각 자원들 중에서 x_1 을 3.232만큼, x_2 를 4.53만큼 줄여야 됨을 의미다. 다음으로 (3)을 적용하여 벤치마킹 대상을 산출해 보자. 먼저 두 투입 요소에 아무런 제약을 가하지 않을 경우($w_1=0, w_2=0$) 효율성 개선 대상은 ($x_1=1.765, x_2=2.471$)이 되며, 이는 일반적인 DEA 모형에 의해 도출되는 효율성 개선 대상과 동일하다. 만약 DMU I가 벤치마킹 전략상 Input 1에는 개선 활동을 집중(개선 우선순위가 높음을 의미)하고 Input 2에는 Input 1에 비해 상대적으로 58% 정도 개선 활동에 제약을 줄 경우($w_1=0, w_2=0.58$) 벤치마킹 대상은 DMU B($x_1=1, x_2=4$)가 된다. 이는 두 투입 요소에 아무 제약 조건을 주지 않았을 경우

보다 효율적인 DMU가 되기 위해 Input 2는 개선 활동을 줄이고 Input 1에 더 많은 개선 활동을 수행하게 됨을 알 수 있다. 반대로 Input 2에 개선 활동을 집중하고 상대적으로 Input 1에는 Input 2에 비해 65% 정도 개선 활동에 제약을 둘 경우($w_1=0.65, w_2=0$) 벤치마킹 대상은 DMU C가 된다. 즉, Input 1에 개선 우선순위를 많이 부여하고 Input 2에는 제약을 많이 가할수록 벤치마킹 대상은 HCU(Hypothesis Composite Unit) 1쪽으로 근접하고, 반대로, Input 2에 개선 우선순위를 많이 부여하고 Input 1에는 제약을 많이 가할수록 벤치마킹 대상은 HCU 2에 근접하게 된다.

2.2 자원 개선 선호도를 고려한 단계적 벤치마킹 대상 탐색

비효율적 DMU가 벤치마킹 대상을 단계적으로 결정하기 위해 (식 3)에 Seiford and Zhu (2003)가 제시한 계층적 DEA 방법을 적용하도록 한다. Seiford and Zhu (2003)가 제안한 계층적 DEA 방법(Stratification DEA method)은 가장 효율적인 DMU 집단이 다음 차 순위자를 결정할 때는 제외되는 방법으로 효율적인 DMU 집단에 따라 계층을 구성하게 된다. 본 논문에서는 계층적 DEA 방법을 통해 구성된 각 계층들과 해당 계층에 존재하는 DMU들을 비효율적인 DMU의 잠재적 단계적 벤치마킹 대상으로 한다. 투입 요소의 개선 선호도를 고려한 비효율적인 DMU의 단계적 벤치마킹 대상 탐색 알고리즘은 다음과 같다.

Procedure: 투입 요소의 개선 선호도를 고려한 단계적 벤치마킹 대상 탐색

Indexes:

- l : 계층의 색인(index)
- k : l -th 계층에 존재하는 개별 DMU의 색인(index)
- t : 단계적 벤치마킹 대상의 색인(index)

Parameters:

- J^l : l -th 계층에 존재하는 DMU 집합 (J^1 은 전체 DMU 집합)
- E^l : J^l 에서 효율성 값이 1인 DMU 집합 ($E^l = \{DMU_k \in J^l | \theta^*(l, k) = 1\}$)
- DMU^e : 효율성 개선을 희망하는 평가 대상 DMU
- $Target^t$: 각 계층에서 DMU^e 의 t -th 벤치마킹 대상

Method:

- (1) $l=1$.
- while** $J^{l+1} = \emptyset$ **do**
- (2) (식 5)를 이용하여 J^l 에서 E^l 을 구한다.

$$\theta^*(l, k) = \min \theta \tag{식 5}$$

$$\begin{aligned}
 & s.t \\
 & \sum_{j \in J^l} \lambda_j x_{ij} + s_i^- = \theta x_{ik} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \\
 & \sum_{j \in J^l} \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{rk} \quad (r = 1, 2, \dots, s) \\
 & \lambda_j \geq 0 \quad (j \in F(J^l)) \\
 & s_i^-, s_r^+ \geq 0
 \end{aligned}$$

(3) J^l 에서 E^l 을 제외하고($J^l - E^l$), $l=l+1$ 로 두고, $J^{l+1} = J^l - E^l$ 이 되게 한다.

end

(4) DMU^c 가 포함된 E^l 를 찾고, $E^l = E^{l-1}$ 이 되게 한다.

(5) $t=1$.

while $E^l = E^0$ do

(6) DMU^c 는 E^l 을 대상으로 (식 3)을 적용하여 DMU^c 의 t -th 잠재적 벤치마킹 대상($Target^t$)을 탐색한다. (즉, $Target^t$ 는 DMU^c 의 E^l 계층에서의 단계적 벤치마킹 대상)

(7) $t=t+1$ 로 두고, $E^l = E^{l-1}$ 이 되게 한다.

end

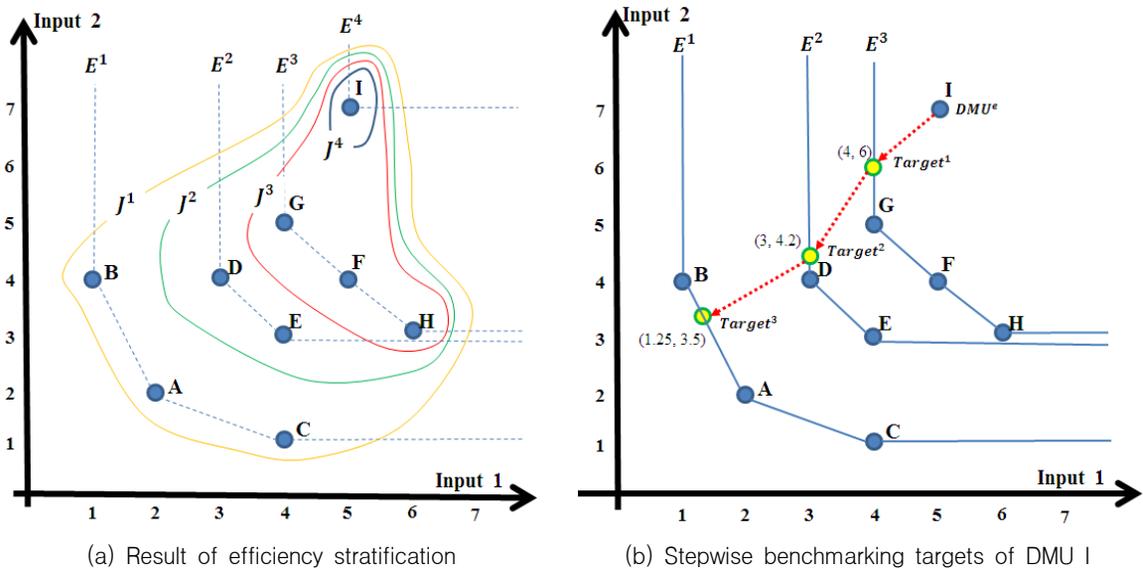


Figure 2. Results of stratification and stepwise benchmarking targets for DMU I

이해를 돕기 위해 투입 요소의 개선 선호도를 고려한 단계적 벤치마킹 대상 탐색 방법을 Table 1의 데이터에 적용하여 보자. Procedure의 (1)~(3)까지의 단계를 수행한 결과는 Figure 2(a)와 같다. 우선, 전체 DMU를 대상(J^1)으로 (식 5)를 적용하면 DMU A, B, C가 효율성 값이 1인 DMU(E^1)로 도출된다. 전체 DMU에서 DMU A, B, C를

제외한($J^1 - E^1$) 나머지를 대상(J^2)으로 (식 5)를 적용하면 DMU D, E가 효율성 값이 1인 DMU(E^2)로 도출된다. J^2 에서 E^2 를 뺀 나머지 DMU들을 대상(J^3)으로 (식 5)를 적용하면 DMU G, F, H가 효율성 값이 1인 DMU(E^3)로 도출된다. 마지막으로, J^3 에서 E^3 를 뺀 나머지 DMU들(J^4)을 대상으로 (식 5)를 적용하면 DMU I가 효율성 값이 1인 DMU(E^4)로 도출된다. 결과적으로 총 4개의 집단으로 계층화(J^1, J^2, J^3, J^4)와, 각 계층마다 효율성 값이 1인 프론티어가 4개 구성된다. DMU I가 효율성 값이 상대적으로 가장 나기 때문에 DMU^6 로 간주하자. Input 1과 2에 부여한 선호도 가중치가 $w_1=0, w_2=0.5$ 일 때, DMU I의 투입 요소의 개선 선호도를 고려한 단계적 벤치마킹 대상 탐색을 위해 (4)~(7)까지의 단계를 수행한 결과는 Figure 2(b)와 같다. DMU I는 E^4 에 포함되므로, E^3 를 대상으로 (식 3)을 적용하면, DMU I의 첫 번째 단계적 벤치마킹 대상($Target^1$)은 Input 1과 2가 (4, 6)인 지점이 된다. 또다시, DMU I는 E^2 를 대상으로 (식 3)을 적용하면, 두 번째 단계적 벤치마킹 대상($Target^2$)은 Input 1과 2가 (3, 4.2)인 지점이 된다. E^1 를 대상으로 (식 3)을 적용하면, DMU I의 세 번째 단계적 벤치마킹 대상($Target^3$)은 Input 1과 2가 (1.25, 3.5)인 지점이 되며, 다음 벤치마킹 대상이 E^0 이 되므로 절차는 종료된다.

3. 항만 사례연구

컨테이너 선박의 대형화로 대형 선박을 자국으로 기항시키기 위한 선진 항만들 간의 경쟁은 치열해지고 있다. 특히, 세계 물류 시장의 경제권 비중이 증대되고 있는 동북아 국가들은 자국 항만이 보다 나은 경쟁력을 확보하기 위해 막대한 비용을 투자하고 있다. 비록, 각국의 정부가 항만 경쟁력 향상을 위해 다양한 방법으로 항만 투자를 늘리고는 있지만 항만의 특성상 투자되는 비용이 타 산업에 비해 방대하고 투자 대비 생산 효과가 즉각적으로 나타나지 않는다는 이유로 보다 전략적이고 합리적인 투자가 요구되고 있다. 이러한 상황 속에서 각 항만들은 자국 항만의 경쟁력을 정확하게 평가하고 이를 기반으로 경쟁력을 높이기 위한 전략적 접근 방법에 대한 연구를 지속적으로 수행하고 있다. 이는 항만의 경쟁력이 상대적임을 감안할 때, 항만의 효율성을 상대적이며 객관적으로 평가할 수 있는 방법의 개발과 상대적 비교를 통한 합리적이고 효과적인 개선 방법 연구의 필요성이 강조되고 있다. DEA 기법을 항만에 적용하여 효율성을 평가하거나 벤치마킹 대상을 탐색한 연구는 지금까지 많이 진행되어 왔다. 대표적으로 Hayuth and Roll (1993)는 DEA의 CCR 모형을 이용하여 20개 항만을 대상으로 이론적으로 효율성을 평가하였고, Martinez et al. (1999)는 BCC2 모형을 제시하였고 스페인에 존재하는 26개 항만을 대상으로 1993년부터 1997년까지의 투입 및 산출 데이터를 이용하여 효율성 평가를 하였다. Tongzon (2001)은 additive CCR DEA model을 적용하여 항만 효율성에 영향을 미치는 다양한 자원 요소를 평가하였다. Valentine and Gray (2001)는 세계 31개 항만 터미널을 대상으로 DEA의 CCR 모형을 이용하여 조직 구조 관점에서 효율성을 평가하였다. Park and De (2004)는 단단계 DEA 방법을 적용하여 해양 항만 도시들 간의 상대적 효율성을 평가하였다. Barros and Athanassiou (2004)는 일반적 DEA 모형으로 포르투갈과 그리스 해양 항만 도시들 간의 상대적 효율성을 평가하였다. Mithun and Song (2009)은 비효율적인 터미널의 최대 개선 능력과 투입 요소의 유사성을 고려하여 효과적인 효율성 진단과 개선을 위한 방법을 제시하였다. 하지만, 이러한 연구들은 대부분인 항만들 간의 상대적 효율성 분석에 초점을 두고 있으며, 효율성 개선을 위한 전략적 접근은 크게 다루고 있지 않다. 하지만, 항만 터미널은 자본 집약적 자원 구조, 내 외부 업체들과의 전략적 상호 관계, 그리고 항만 자원 제약으로 인해 효율성이 상대적으로 뒤처지는 항만이 효율성을 높이기 위해서는 다양한 전략과 자본이 필요할 뿐만 아니라 많은 시간이 요구된다. 특히, 항만의 특성상 효율성이 극단

적으로 뒤쳐지는 항만은 효율성 개선을 위한 보다 엄격하고 점진적인 전략이 요구되고 있지만, 단순히 DEA 방법에서 제시하는 효율성 개선 대상 및 개선 정보 정도만으로는 현실적이고 실현 가능성이 높은 전략 수립이 불가능할 수 있다. 이러한 이유로 본 논문에서 제시하는 방법을 전 세계 34개 대표 항만을 대상으로 효율성 평가와 비효율적인 항만의 단계적 벤치마킹 대상을 탐색하므로 방법의 실효성을 검증하였다. 일반적으로 DMU가 유사성과 동질성이 클수록 DEA를 이용한 상대적 효율성 측정이 유효한데, 항만 터미널의 컨테이너 처리가 작업 대상이 되며 이러한 컨테이너를 처리하기 위한 작업과 장비 특성이 전 세계적으로 유사하여 각 항만은 동질성이 크다고 할 수 있다. 이는 항만 효율성 분석에 DEA가 적합함을 뜻한다.

분석에 사용된 자료와 변수는 Containerization International Year book 2005-2007의 내용 중에서 발췌하였으며 투입 변수로는 선석 길이(m), 부두 총면적(m²), CFS(Container Freight Station) 그리고 적재 장비를 사용하였으며 산출 변수로는 양하, 적하 처리 물동량(TEU)를 사용하였다. 전체 항만의 투입 및 산출 변수의 기술 통계량은 Table 2와 같다.

Table 2. Descriptive statistics for inputs and outputs of 34 ports

	Resource	Min	Max	Mean	Standard deviation
Input	Berth length	181	15,585	4,054	3,210
	Total area of pier	105,000	7,156,000	1,697,593	1,524,231
	CFS	5,000	1,535,000	161,850	288,312
	# of loading machine	8	1,955	363	369
Output	# of unloading containers	46,393	7,180,397	1,280,869	1,639,527
	# of loading containers	44,537	7,386,658	1,290,066	1,650,742

34개 항만의 상대적 효율성 평가 결과는 Table 3과 같다.

Table 3. Relative efficiency result of 34 ports

Port No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Port Name	Hong****	Singa****	Kaohs****	Rotte****	B****	Ham****	Yoko****	Los Ang****	Ant****	New****	D****	Kee****
efficiency	1.000	1.000	1.000	0.297	0.818	0.260	0.369	0.492	0.152	0.147	0.421	0.319
Port No	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Port Name	Ma****	Oak****	Sea****	Tanjung P****	Port K****	Col****	Ban****	O****	Hampton R****	Charle****	Melbo****	La Sp****
efficiency	0.183	0.213	0.184	0.559	0.233	0.924	0.303	0.281	0.339	0.281	0.217	0.389
Port No	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34		
Port Name	G****	Laem Cha****	Qin****	Southam****	Sa****	Barce****	Je****	Sy****	Khor Fa****	Vale****		
efficiency	0.310	1.000	0.670	0.441	0.752	0.207	1.000	0.055	0.510	0.149		

전체 효율성 평가에서 5개 항만(항만 No. 1, 2, 3, 26 그리고 31)이 효율성이 가장 높게 항만으로, 나머지 29개 항만은 비효율적인 항만으로 구분된다. 특별히 6개 항만(항만 No. 9, 10, 17, 22, 30 그리고 34) 상대적으로 가장 효율성이 낮은 항만으로 구분된다. 일반적인 DEA에서 효율성이 낮은 항만은 참조 집합을 대상으로 효율성 개선 대상을 선택하게 된다. 예를 들면 상대적으로 가장 비효율적인 항만 34는 참조 집합인 항만 1과 2를 효율성 개선 대상으로 선택할 수 있다. 하지만 두 항만은 효율성 차이(0.851)가 많이 나서 효율성 차이를 단번에 극복하는 것은 현실적으로 어려운 부분이 된다. 이를 위해서는 상당히 많은 규모의 투입요소를 줄이고 산출요소를 늘여야 하는 부담이 존재한다. 또한, 일반적인 DEA의 경우에는 4가지 자원을 동시에 동일한 비율로 개선해야 하는데, 항만 관리자의 입장에서는 투입자원 중 선석 길이 및 부두 총면적 보다는 비교적 개선 탄력성이 높은 적재 장비 수 혹은 CFS에 효율성 개선 노력을 집중할 수 있다면 보다 현실성이 높으며 전략적인 벤치마킹 활동이 될 것이다. 특히, 일반적인 DEA의 경우에는 선석 길이 혹은 부두 총면적과 같이 개선이 상당히 어려운 자원이 존재함에도 그 특성을 고려하지 못하고 효율성의 개선정도를 제시한다. 예를 들면, 항만 34는 항만 1과 2를 벤치마킹하기 위해 부두 총면적을 오히려 상당히 줄일 것을 제안하는데 이는 장기적으로 항만의 컨테이너 처리량 증가를 통한 경쟁력 확보와는 반대되는 제안일 수 있다.

투입자원 중 현실적으로 개선 탄력성은 적재 장비 수, CFS, 선석 길이, 부두 총면적 순으로 높다고 판단해서 효율성 개선 우선순위를 정하였다. 효율성 개선 우선순위를 고려하여 선호도 가중치를 Table 4와 같이 적재 장비 수에 0, CFS에 0.407, 선석 길이 0.824, 그리고 부두 총면적에는 1을 부여하였다. 본 논문에서는 투입자원 요소의 선호도 가중치 부여를 위한 방법은 고려하지 않는다. 단순히, 의사결정자의 판단에 의해 개선 탄력성이 높다고 판단하는 자원에 보다 호의적인(0에 가까운) 가중치를 부여하는 것으로 연구의 범위를 한정한다.

Table 4. The preference weight assigned to the inputs

Inputs	Berth length	Total area of pier	CFS	# of loading machine
w_i	0.82	1.00	0.41	0.00

34개 항만은 Figure 3과 같이 5개의 집단으로 계층화가 이루어진다. 앞서 부여한 선호도 가중치를 바탕으로 상대적으로 효율성이 낮은 항만 34번을 대상으로 단계적 벤치마킹 대상을 탐색하면 E^4 에서 E^1 까지 총 4개의 단계적 벤치마킹 대상을 선택할 수 있다. 즉, 항만 34번은 E^4 의 프론티어에 존재하는 HCU(Hypothesis Composite Unit, 가상의 투입 혹은 산출 요소의 지점) 혹은 RU(Real Unit, 실제 존재하는 DMU)을 대상으로 첫 번째 단계적 벤치마킹 대상을 정하고, 동일하게 E^3 , E^2 , E^1 을 대상으로 단계적 벤치마킹 대상을 탐색하게 된다. 항만 34번의 각 단계적 벤치마킹 대상은 Table 5와 같다. 첫 번째 효율성 개선 대상은 E^4 번째 프론티어에 존재하는 지점으로 투입 자원들(선석 길이, 부두 총면적, CFS, 적재 장비 개수)이 (1,491, 1,659,200, 14,499, 157)인 지점이 되고, 두 번째 효율성 개선 대상은 E^3 번째 프론티어에 존재하는 지점으로 투입 자원들이 (1,400, 1,659,200, 14,201, 146)인 지점이 되며, 세 번째 효율성 개선 대상은 E^2 번째 프론티어에 존재하는 지점으로 투입 자원들이 (1,400, 1,659,200, 13,965, 139)인 지점이 되며, 마지막으로 최종 효율성 개선 대상은 E^1 번째 프론티어에 존재하는 지점으로 투입 자원들이 (1,387, 1,659,200, 13,704, 124)인 지점이 된다. 앞서 제시한 항만 34번의 각 단계적 효율성 개선 대상은 실제 존재하는 대상(RU)이 아닌 가상의 투입자원들의 지점(HCU)이다. 참조 집단을 참고로 해당 투입자원의 지점과 가장 유사한 실제 존재하는 항만을 유추해 보면 첫 번째 벤치마킹 대상은 항만 21이 가장 근접하고, 두 번째 벤치마킹

대상은 항만 29가 가장 근접하고, 세 번째 벤치마킹 대상은 항만 5가 가장 근접하며, 마지막으로 세 번째 효율성 개선 대상은 항만 2가 가장 근접하다.

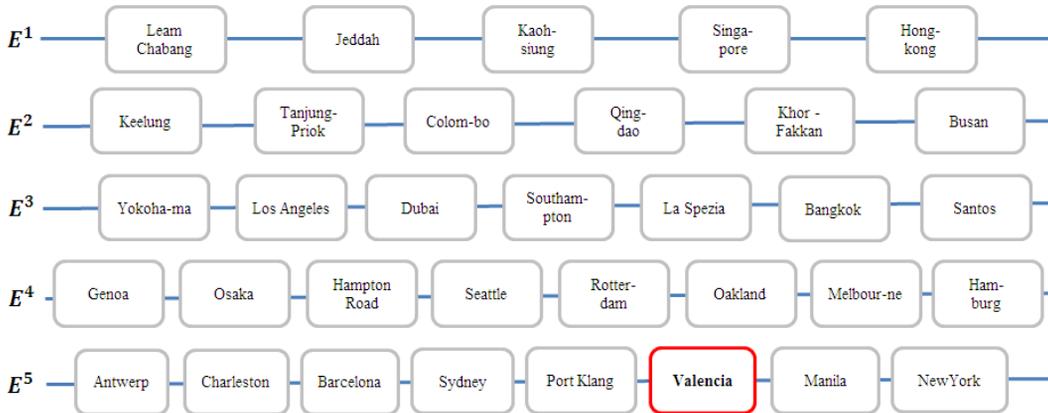


Figure 3. Stratification result of 34 ports

Table 5. Result of stepwise benchmarking targets(HCU and RU) for port 34

Stepwise Benchmarking No.	Benchmarking target (HCU)				Benchmarking target (RU)
	Berth length	Total area of pier	CFS	# of loading machine	
1	1,491	1,659,200	14,494	157	Port 21
2	1,400	1,659,200	14,201	146	Port 29
3	1,400	1,659,200	13,965	139	Port 5
4	1,387	1,659,200	13,704	124	Port 2

4. 결론

조직들 간의 상대적 효율성 평가와 벤치마킹 정보를 알기 위해 DEA방법이 널리 적용되고 있다. 하지만, 현실적인 벤치마킹 적용 관점에서 다수의 효율적인 DMU들이 벤치마킹 대상으로 제시되므로 어떤 DMU가 가장 적합한 벤치마킹 대상이 되는지에 대한 구체적인 지표는 제시하지 못하는 것과, DMU들의 특성과 무관하게 효율성이 가장 뛰어난 DMU들만을 벤치마킹 대상으로 제시되므로 개선해야 하는 정도가 큰 경우에는 당장의 벤치마킹 대상으로 정하는 것은 현실적으로 어렵다는 문제점을 내포하고 있다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 본 논문에서는 비효율적인 DMU가 자원(투입 및 산출 요소)의 개선 선호도를 고려하여 단계적으로 벤치마킹 대상(효율성 개선 대상 DMU)을 선정하는 방법을 제시하였다. 본 논문에서 고려한 자원의 개선 선호도는 비효율적인 DMU가 효율성 개선을 위해 투입 및 산출 자원 중에서 우선적으로 개선해야 하는 자원을 중심으로 벤치마킹 대상과 효율성 개선 정도를 탐색하기 위한 것이었다. 본 논문에서 제안하는 방법은 비효율적인 DMU의 특성을 고려한 현실적인 효율성 개선이 가능하다는 측면에서 일반적인 DEA 방법보다 효과적이라 할 수 있다. 제안하는 방법의 유효성과 실효성을 검증하기 위해

전 세계 34개 주요 항만을 대상으로 효율성을 평가하고 비효율적인 항만이 단계적으로 효율성을 개선하기 위한 벤치마킹 대상을 탐색해 보았다.

하지만 본 논문에서는 자원의 개선 선호도를 고려함에 있어 선호도 가중치를 부여함에 의사결정자의 주관적인 판단에 의해 가중치가 부여되게 된다. 이는 보다 객관적인 벤치마킹 전략을 수립하는데 의사결정자의 주관적인 판단이 개입되므로 객관성을 저하시키는 요인으로 작용할 수 있다. 이에 향후에는 Tobit 모형이나 Bootstrapping 모형을 적용하여 효율성에 가장 민감하게 반응하는 자원 혹은 영향력이 큰 자원을 선별하고 이를 기준으로 우선순위를 부여하고 단계적으로 벤치마킹 대상을 탐색하는 연구를 진행하고자 한다.

REFERENCES

- Ammons, D. N. 2002. "Benchmarking as a performance management tool: experiences among municipalities in North Carolina." *European Journal of Operational Research* 140:249-65.
- Barros, C. P., and Athanassiou, M. 2004. "Efficiency in European seaports with DEA: Evidence from Greece and Portugal." *Maritime Economics and Logistics* 6:122-40.
- Charnes, A., Cooper, W. W., and Rhodes, E. 1978. "Measuring the efficiency of decision making units." *European Journal of Operational Research* 2:429-44.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., and Tone, K. 2006. *Introduction to Data Envelopment Analysis and Its uses: with DEA solver software and reference*. Interface.
- Grupp, H. 1990. *Technometrics as a missing link in science and technology indicators. Measuring the Dynamics of Technological Change*.
- Hayuth, Y., and Roll, Y. 1993. "Port performance comparison applying data envelopment analysis (DEA)." *Maritime Policy and Management* 20:153-61.
- Lee, H. Y., and Park, Y. T. 2005. "An international comparison of R&D efficiency: DEA approach." *Asian Journal of Technology Innovation* 13(2):207-222.
- Martinez, E. Diaz, R., Navarro, M., and Ravelo, T. 1999. "A study of the efficiency of Spanish port authorities using data envelopment analysis." *International Journal of Transport Economics* 26:237-53.
- Mithun, J. S., and Song, J-Y. 2009. "Performance based stratification and clustering for benchmarking of container terminals." *Expert Systems with Application* 36:5016-022.
- Park, R-K., and De, P. 2004. "An alternative approach to efficiency measurement of seaports." *Maritime Economics and Logistics* 6:53-69.
- Park, J, Bae H, and Lim S. 2010. "Method of benchmarking route choice based on the input-similarity using DEA and SOM." *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers* 36(1):32-41.
- Seiford, L.M., and Zhu, J. 2003. "Context-dependent data envelopment analysis—Measuring attractiveness and progress." *Omega* 31:397-408.
- Sharma, S., and Thomas, V. 2008. "Inter-country R&D efficiency analysis: An application of data envelopment analysis." *Scientometrics* 76(3):483-501.
- Spendolini M. J., 1992. *The benchmarking book*. America management association, New York.
- Tata, J., Prasad, S., and Motwani, J. 2000. "Benchmarking quality management practices: U.S. Versus Costa Rica." *Multinational Business Review* 8(2):37.

- Tongzon, J. 2001. "Efficiency measurement of selected Australian and other international ports using data envelopment analysis." *Transportation Research Part A* 35:113–28.
- Valentine, V. C., and Gray, R. 2001. "The measurement of port efficiency using data envelopment analysis." *Processing of the Ninth World Conference on Transport Research*, Seoul.
- Wang, E. C., and Huang, W. 2007. "Relative efficiency of R&D activities: A cross-country study accounting for environmental factors in the DEA approach." *Research Policy* 36(2):260–273.
- Zhu, J. 2003. *Quantitative models for performance evaluation and benchmarking—Data Envelopment Analysis with Spreadsheets and DEA Excel Solver*, Kluwer Academic Publishers.