

# 비모수 분석방법에 의한 국내 건설조직 성과 측정 방향에 관한 연구 - DEA를 이용한 국내 연구 문헌 고찰을 기반으로 -

이윤선\*

\*한양대학교 에리카캠퍼스 건축학부

## A Survey of DEA Applications in Measuring the Efficiency Performance of Construction Organizations

Lee, Yoon-Sun\*

\*Division of Architectural Engineering, Hanyang University, Erica Campus

**Abstract :** Data envelopment analysis (DEA) measures the relative efficiency of decision making units (DMUs) with multiple performance factors that are grouped into outputs and inputs. DEA has proven to be superior to simple aggregation of performance measures, and is also useful for evaluating the performance of construction companies for comparison with competitor performance. The purpose of this study was to survey literatures on the application of DEA methodology and to propose a methodological scheme to measure the performance of construction organizations. Articles on previous studies were surveyed and examined as part of a comprehensive review. The survey revealed that the application of DEA in the construction industry was limited. Further, the survey indicated that there is a need for the development of a methodological framework on the special goals and subjects of performance measurement, methods of data structure and collection, selection of appropriate DEA models, analysis of results, and post-test. Based on the survey, this study identified and discussed the types of major issues and topics for future studies from a methodological perspective, which could be helpful to researchers interested in using DEA to study performance issues in construction organizations.

**Keywords :** Data Envelopment Analysis, Literature Survey, Construction Industry, Efficiency, Performance Measurement Framework

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

생산조직이 생산성제고를 위해 요소투입형(input driven)에서 생산성주도형(production-driven)으로 전환됨에 따라 비즈니스 환경의 경쟁적 특성은 경쟁자와 상대적 성과수준을 비교하는 것을 요구(Samoilenko & Osei-Bryson 2013)하며 조직의 경영성과로 효율성을 측정하는 것은 중요한 주제가 되어왔다(Cook & Seiford 2009). 경영효율성 측정은 비율분석, 모수적(parametric)

분석, 비모수적분석 방법으로 분류될 수 있다(Vincova 2005). 비율분석은 재무제표를 이용하여 재무비율을 계산한 후 기업의 재무상태와 경영성과를 파악하는 단순한 방법이다. 모수적 방법은 독립변수와 종속변수의 인과관계로 정의되는 회귀 또는 생산 함수 등 특정한 함수형태를 전제로 한다. 대표적인 비모수적 방법인 자료포락분석(data envelopment analysis; 이하 DEA)모형은 통계적으로 생산함수를 추정하지 않고 다수의 투입물과 산출물 비율로 생산조직의 상대적 효율성을 직접적으로 측정한다. 생산시스템의 투입-산출요소들간 비효율성 원인과 정도를 확인하여 경영주체 및 산업조직의 성과에 대한 통찰력과 지침을 도출하는 중요하고 충분한 양의 정보를 제공함으로써 성과 측정과 벤치마킹을 위한 유용한 기법으로 활용되고 있다(Akcay et al. 2012). 초기에는 비영리적 공적의사결정체의 상대적 효율성을 측정하기위해 고안되었으나 응용지향적 방법론으

\* Corresponding author: Lee, Yoon-sun, Division of Architectural Engineering, Hanyang University, Erica Campus, Gyeonggi-do, 426-791, Korea  
E-mail: yoonsunlee@hanyang.ac.kr  
Received March 25, 2014; revised June 11, 2014  
accepted June 27, 2014

로 발전되어 다양한 분야에서 활용되고 있다.<sup>1)</sup> 각 산업 및 조직에 적용되며 기본 DEA모형의 제약사항과 문제점들을 보완·해결하는 다양한 확장 모형이 제안되어 왔으며(Cook & Seiford 2009), 건설산업에서도 복잡하고 동적특성을 반영한 성과측정도구로 유용하게 적용되고 있다(Deng & Smyth 2013). 국내에서는 외환위기 이후 산업의 생산성을 개선시키고자 적용(O 2001a)된 후 활용 용이성, 결과에 대한 높은 설명력, DEA 분석을 수행하는 전문화된 컴퓨터 소프트웨어가 개발 되어왔지만 기본 DEA모형의 범주 내에서만 적용되고 있어 방법론적 한계와 연구 결과의 검증에 대한 문제가 제기되고 있다.

본 연구는 DEA에 관련된 문헌들을 방법론적 측면에서 분석하고, 적용 과정에서 발생하는 주요이슈들을 반영하여 건설 생산조직의 성과 측정 체계를 제안하고자 한다. 이는 경쟁적 시장 환경 하에서 건설 생산 조직 스스로 생산 프로세스의 성과를 진단하고 개선 전략을 수립하는 의사결정시스템 개발을 위한 이론적 체계로 활용될 수 있을 것이다.

### 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 DEA기반 성과측정방법론에 대한 이론 조사와 선행연구결과에 대한 실증분석을 통해 진행하였다. 2장에서는 효율성 측정방법론에 대한 이론 고찰을 통해 건설조직 성과측정체계의 단계별 정의와 수행방법을 제안한다. 3장에서는 국내건설조직에 관련된 선행연구결과를 실증분석한다. 한국교육학술정보원(<http://www.riss.kr>)과 건축·도시연구센터(<http://www.auric.or.kr>)의 검색엔진을 통해 1997-2013년까지 총 21개의 학술논문을 검색하여, 연구 결과의 관찰을 통해 제기된 국내 건설 생산조직의 효율성 분석 과정의 적용 수준 및 문제점을 도출하며 향후 DEA를 적용한 건설시스템 성과 측정 연구 방향을 제시한다.

## 2. DEA를 이용한 성과 측정 모형 및 체계

### 2.1 DEA를 이용한 성과 측정 모형

DEA는 다수의 산출을 생성하기 위해 다수의 투입을 사용하는 일련의 동질적(homogeneous) 의사결정단위(decision making units; 이하 DMUs)를 평가하는 비모

수적방법이다. 각 DMU의 경험적 투입/산출 자료를 이용하여 효율적 프론티어(frontier)<sup>2)</sup>를 도출한 후 평가대상의 상대적 효율성을 계산한다. 이러한 특정 수준의 투입으로 특정 수준의 산출을 만들어 내는 생산가능한 투입/산출의 조합들을 모아놓은 것을 생산가능집합(production possibility set, 이하 PPS)이라고 정의한다(Kim & Kang 2008). 효율성은 다수의 투입과 산출이 복합적으로 존재하는 상황에서 단일한 상대적 효율성 값<sup>3)</sup>을 도출하기 위해 투입물과 산출물을 선형결합하고, 각 요소(투입, 산출)에 대한 가중치( $\lambda$ )를 선형계획의 해로 결정하는데<sup>4)</sup>, 측정 모형은 PPS(또는 참조기술)의 특성과 효율성척도를 통해 분류된다(Zhou et al. 2008).

### 2.2 DEA 모형을 이용한 성과 측정 체계

생산성은 생산기술 차이, 생산 프로세스, 생산이 발생하는 환경에서의 차이에 따라 다르다(Porcelli 2009). 따라서 DEA를 통해 성과를 측정하는 과정은 고도의 방법론적 체계를 요구한다. 다양한 DEA 요소에 대한 분류법<sup>5)</sup>, 은행, 서비스, 환경 등 각 산업별 생산시스템의 특성에 따른 분석절차와 방법론이 제안되었으며(Zhou 2008), COOPER Framework,<sup>6)</sup> SmartDEA(Akçay et al. 2012) 등 연구자가 연구문제를 정의하는 단계부터 효율성을

2) 개별 투입물 수준에서 달성가능한 최대산출을 의미하는 것으로, 기술적으로 효율적이라면 생산변경상에서 운영되고 있고, 기술적으로 비효율적이라면 생산변경 아래서 운영된다.

3)

$$\text{효율성} = \frac{\text{산출물의 가중평균 합}}{\text{투입물의 가중평균 합}} = \frac{\sum_{r=1}^s y_r u_r}{\sum_{i=1}^m x_i v_i}$$

4) 가장 기본적 DEA모형인 CCR모형은 비율모형(ratio model)에 승수변환을 취한 승수(multiplier)모형과 쌍대문제(dual)인 포락모형(envelopment)이 있다. (1)은 산출최대화를 선형계획으로 나타낸 모형이고, (2)는 최대화를 최소화의 문제로 변형한 투입지향 CCR포락모형이다. 일반적으로 효율성점수는 쌍대문제로 측정되며(Zhou et al. 2008), 최종적으로 일때 효율적이라 판정한다(Cook & Seiford, 2009).

(1) 투입지향 CCR 승수모형	(2) 투입지향 CCR 포락모형
$\text{Max} \quad \sum_{r=1}^s u_r y_{r0}$	$\text{Min} \quad \theta_0 - \epsilon \left( \sum_{r=1}^s S_r^+ + \sum_{i=1}^m S_i^- \right)$
$s.t. \quad \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1$	$s.t. \quad \sum_{i=1}^m \lambda_i x_{ij} + S_i^- = \theta x_{i0} \quad \forall i$
$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, \quad \forall j$	$\sum_{r=1}^s \lambda_r y_{rj} - S_r^+ = y_{r0} \quad \forall r$
$u_r, v_i \geq \epsilon, \quad \forall r, i$	$\lambda_j, S_i^-, S_r^+ \geq 0 \quad \forall j$

y<sub>rj</sub>번째 산출요소의 측정값, x<sub>ij</sub>번째 투입요소의 측정값  
u<sub>r</sub>번째 산출요소의 가중치(또는 잠재가격), v<sub>i</sub>번째 투입요소의 가중치  
s:산출요소의 수, m:투입요소의 수  
θ: 기술효율성, λ<sub>j</sub> 가중치, S<sub>i</sub><sup>-</sup>, S<sub>r</sub><sup>+</sup> :여유 변수

1) Liu et al. (2013)은 1978년-2010년까지 Web of Science data banks에서 출판된 문헌조사결과, DEA기법이 가장 많이 적용된 산업은 은행, 의료서비스, 농업 및 농장, 교통, 교육 분야이며, 금융, 에너지 및 환경 분야에 대한 연구가 가장 증가하고 있다고 발표하였다.

5) Gattoufi 등(2004)은 DEA의 분류법(taxonomy)를 제시하고 그에 따른 DEA 참고문헌(bibliographic) 온라인 데이터베이스를 구축, 운영하고 있다(<http://www.deabib.org/>).

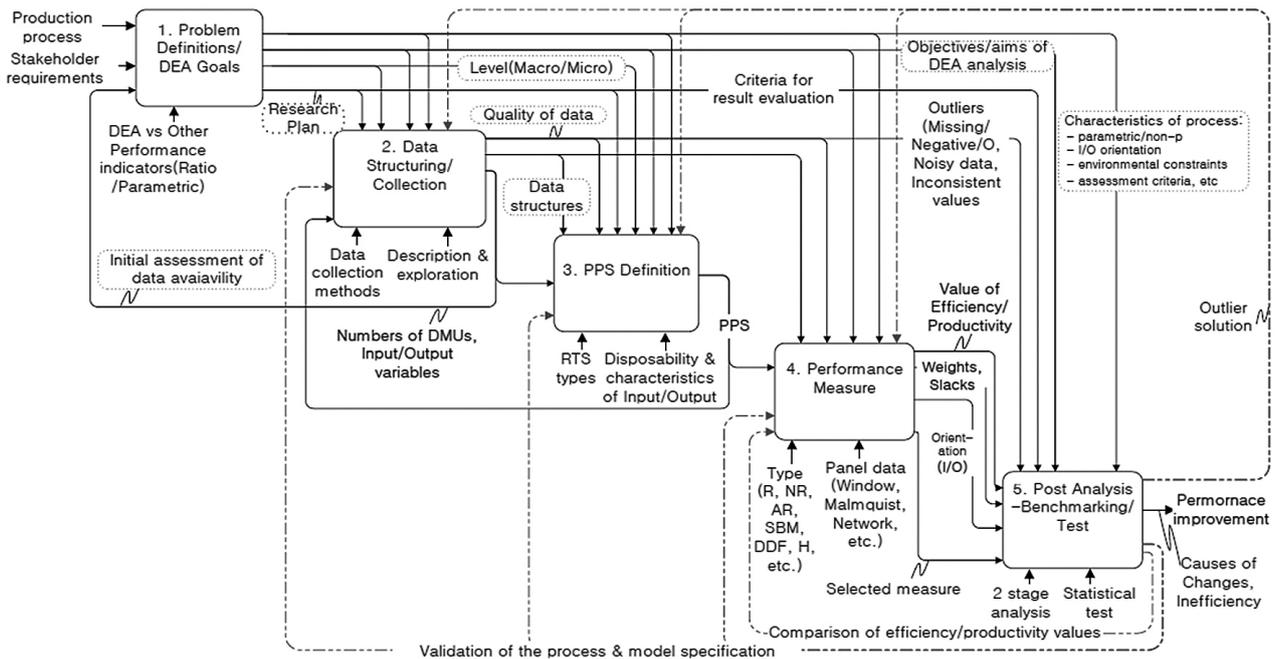


Fig. 1. DEA based Performance Measurement Framework

측정하고 결과를 검증하는 일련의 전과정을 다루는 의사결정체계가 제안되고 있다. 본 연구는 국내외 연구 문헌에서 수행된 효율성 및 생산성 측정 방법 및 적용 체계 등을 분석하여 방법론적 관점에서 Fig. 1과 같은 건설생산조직의 성과측정체계를 제안하였다.

첫 번째 단계는 생산 조직과 이해관계자로부터의 요구사항을 이해하는 단계로, 연구문제를 정의하고 효율성 평가 목표를 선정한다. 이 단계에서는 DMU를 선정하고, 성과측정을 위한 평가기준 및 지표를 결정한다. 두 번째 단계는 분석에 필요한 자료의 유형을 분석하고 양질의 자료를 얻을 수 있도록 자료를 구조화하고 실증 자료를 수집하는 단계이다. 만족할 만한 수준의 자료가 수집되면 적합한 효율성 평가 모형을 선정한다. 세 번째와 네 번째 단계는 효율성 측정모형을 선정하는 단계로 먼저, 연구목적, 분석 자료의 유형과 질에 따른 PPS를 정의한 후, 효율성 척도를 선정한다. 분석이 완료되면, 성과 측정 진행 단계를 검토하고, 부족한 사항이 발생되면 이전단계로 피드백하면서 선정된 모형을 검증

하고, 비효율적인 DMU에 대한 효율성 개선방안을 도출한다. 이러한 일련의 단계 속에서 본 연구에서 제안한 성과측정 체계는 건설생산조직의 성과측정 단계별 연구자와 실무자들의 의사결정 과정에서 방법론적 체크리스트로 활용될 수 있을 것이다.

### 2.2.1 연구 문제 정의 및 효율성 평가 목표

#### 1) DMU 선정

DMUs는 산업, 민간/공기업, 하위산업 같은 경제 실체를 대표하며, 연구대상으로 선정된 DMU들은 모두 유사한 환경 하에서 개별 DMU들의 재량적인 경영활동을 통하여 산출물을 창출하는 개체들로 가정한다.

#### 2) 생산프로세스의 특성에 따른 평가 목표 선정

현실적으로 개별 DMU들이 위치한 경영환경 자체가 성과에 중요한 차이를 초래한다. 거시적/미시적 환경 수준, 특정 시스템 도입에 따른 성과 차이 등 외부환경 제약과 관리자가 통제할 수 없는 비재량적 요소가 작용하기 때문이다. 따라서 생산 프로세스에서 발생하는 의사결정 문제들<sup>7)</sup>을 조사하여 그에 따른 평가 목표를 구체화하여 적합한 성과 측정 지표와 모형이 선정되어야 한다.

6) Emrouznejad & Witte(2010)은 가장 유명한 DEA 연구자인 Charles Cooper 교수의 이름을 따라 "COOPER Framework"로 불리는 비모수적 프로젝트 수행을 위한 통합프로세스를 제안하였다. 또한 연구자와 실무자들이 관련된 참고문헌 등 관련 자료, 소프트웨어 등에 대해 쉽게 접근할 수 있도록 웹사이트(www.DEAzone, 1995)를 운영하고 있다.

7) 자재공급자 선정, 발주방식 선정 등 평가결과와 시연화, 효율적 기업 분류·예측, 시간에 따른 기술변화 추적 등.

3) DMU의 개수 및 수준 선정

일단 연구문제가 정의되면 문제를 평가하기 위한 가장 적합한 방법을 선정해야 한다. 비모수적 모형에서 DMU의 선정은 고유하고 중요한 단계이며 관측할 수 있는 DMU의 수와 분석수준에 대해 고려해야 한다. DMU수는 투입, 산출 변수 수에 의해 영향을 받고<sup>8)</sup>, DMU수준이 달라지면 PPS도 변화된다.

2.2.2 자료의 구조화 및 자료 수집

1) 투입 산출변수의 선정

DEA모형은 투입과 산출을 대표하는 변수의 선택에 따라 그 결과가 민감하게 반응한다. 경영효율성을 평가하기 위해 사용되는 투입산출지표는 기업경영성과를 포괄적으로 포함하며 합리적인 자원배분을 반영해야 된다는 요구에 따라 각 산업에서 성과를 대표하는 투입과 산출변수에 대한 개수와 수준 선정에 관한 이론적·실무적 이슈가 존재한다. 투입변수와 산출변수는 우선 직·간접적인 인과관계를 갖고 있어야 하며, DMU의 활동과 관련된 요소들을 포함하여야 한다<sup>9)</sup>. 전통적 투입 요소는 노동, 자본, 자재로 측정되어왔으나(Xue et al. 2008), 재무적 측면이외에도 DMU의 다양한 측면을 평가하고자 균형성과표(BSC)가 적용되었다(Amado et al. 2012). 투입산출변수의 선택은 변수의 대표성, 관리가능성, 상대적인 중요성, 비교가능성, 검증가능성을 원칙을 적용하여야 한다(O 2001a). 생산프로세스의 성과를 대표하는 단일성과변수(주식가격)를 선정하여 평가목적에 부합한 투입·산출요소 선정방법론(Lim 2009), 투입과 산출변수를 통합하여 변수를 반복적으로 줄이는 방법(Amirteimoori et al. 2012)이 제안되었으며, 투입산출변수를 선정하는 방법들에 대한 비교도 수행되었다<sup>10)</sup>.

2) 관측 자료의 유형 및 질 분석

변수가 선정되면 통계 DB, 연도별 회계, 가격 정보 등을 통해 관측자료를 수집한다. 자료를 탐색하는 작업은 자료를 요약하고, 시각화하는 과정이다. DEA분석 대상 자료는 선형계획모형에 이용되는 연속형 변수지만, 현실적으로 성과는 범주형자료 등 질적 자료들에 대한 고

려를 포함하고 있다. 낮은 질의 자료는 실증 분석결과에 심각한 영향을 줄 수 있어 통계적 방법론을 적용하여 보완되고 있다<sup>11)</sup>.

2.2.3 PPS 정의

생산프로세스를 분석하여 투입 최소화/산출 최대화를 추구하는 조직구분, 특정함수를 이용하여 생산성을 분석하는 모수적 방법 사용, 외적 환경요인을 반영해야 하는지에 따라 생산가능집합(PPS)이 결정된다. PPS는 물량과 가격기준, 규모에 대한 수익(returns to scale; RTS), 투입과 산출 변수의 처분(disposability) 및 운영특성(operating characteristics)에 의해 구분된다(Zhou et al. 2008).

1) 물량과 가격 정보

생산조직의 통합된 효율성 측정을 시도한 Farrell<sup>12)</sup>은 총생산성을 배분효율성과 기술효율성으로 정의<sup>13)</sup>했다. 배분효율성, 총효율성은 투입, 산출에 대한 가격정보가 있을 때만 분석가능하지만, DEA는 물량정보만으로 분석가능하고, 이는 DEA가 짧은기간에 널리 확산되는 것을 가능케했다<sup>14)</sup>.

2) 규모에 대한 수익(RTS)

기본 DEA모형은 RTS에 따라 규모 수익불변을 가정(Constant Return to Scale; CRS)하는 CCR모형(Charnes, Cooper and Rhodes 1978)과 규모 수익을 가정(Variable Return to Scale; VRS)한 BCC모형(Banker, Charnes, and Cooper 1984)이 있다.

3) 처분 및 운영 특성

CCR모형에서 PPS는 투입, 산출 변수에 대해 강처분 또는 자유가처분<sup>15)</sup>, 볼록성(convexity)을 가정한다<sup>16)</sup>. 또한 비재량(non-discretionary), 범주형, 환경 변수<sup>17)</sup> 같은

8) 투입과 산출요소 합의 3배를 만족시키거나, 투입, 산출변수 곱보다 커야한다(Lee et al., 2012a)  
 9) 현만석(2008). DEA를 이용한 공공연구기관의 기술이전효율성 개선 전략에 관한 연구. 건국대학교 대학원, 박사학위 논문.  
 10) 효율성기여측정(ECM), 주성분분석(PCA-DEA), 회귀분석, 부트스트랩 방법들을 비교한 결과 PCA-DEA가 비교적 적은 표본크기서 잘 수행된 것으로 나타났다(Nataraja et. al.(2011). Guidelines for using variable selection techniques in data envelopment analysis, European Journal of Operational Research, 215(3), pp.662-669.)

11) 결측치, 음수, 0값, 비율자료 문제를 해결하는 방법들과 부트스트랩 기법과 통계적추론을 통해 자료를 검증하고 보완하는 방법들이 제시되고 있다(Emrouznejad & Witte, 2010).  
 12) Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General), pp. 253-290.  
 13) 총효율성= 기술효율성 \* 배분 효율성  
 14) 이정동, 오동현 저, 효율성 분석이론, p.4.  
 15) 바람직하지 않은 자원을 비축, 처리하는 능력으로, 자유처분성은 투입(산출)이 생산가능한조합일 때, 그보다 많은 투입/적은 산출을 가진 투입산출조합도 생산가능하다는 것을 의미한다. 강처분은 산출물에 대한 비용만 고려하고, 약처분은 오염처리비용 일정한 환경계약 기준을 고려한다(한국환경정책평가연구원, 환경경제효율성 실증분석을 위한 국가별비교연구, 2004).  
 16) DEA모형별 가정은 Cook & Seiford(2009) p.6 참조.  
 17) 관리자가 마음대로 조절할 수 없는 투입 또는 산출물. 지방자치단체간 효율성을 비교할 경우 인구, 관할면적과 같은 비재량적 변수를 통제 불가능한 변수로 설정한다(유금록(2007). 공공병원의 효율성 평가의 방법론적 개선방안. 한국자치행정학보, 21(2), pp.43-56).

통제불가능한 변수도 PPS를 결정하는 요인이다(Zhou et al. 2008).

### 2.2.4 성과 측정 모형 선정

#### 1) 효율성 척도

효율성 척도는 유형<sup>18)</sup>과 투입 또는 산출 중심 방향<sup>19)</sup>에 따라 결정된다(Zhou et al. 2008). 기본모형인 CCR모형에서는 기술효율성(technology efficiency; TE)을 통해 DMU의 성과를 평가한다.

Table 1. Efficiency Characteristics of Basic DEA Model

CCR	BCC	Scale Index	SE	Causes of Inefficiency		RTS		
TE	PTE	$\sum \lambda^n$	$\frac{CCR}{BCC}$	PTE	Scale	DRS	CRS	IRS
				PTE<SE	PTE>SE	$\lambda^n > 1$	$\lambda^n = 1$	$\lambda^n < 1$

Table 1에서 TE>1이면 기술적으로 효율적이고, TE< 1이면 비효율적이다<sup>20)</sup>. 순수기술적 효율성(pure technology efficiency; PTE)은 BCC모형으로 측정되며, PE와 PTE로부터 규모 효율성(scale efficiency; SE)이 계산되며 비효율성의 원인이 규모효율성 또는 기술효율성에 기인한지를 판단할 수 있다(Kim et al. 2010). 규모에 대한 수익이 발생할 경우, IRS(increasing returns rate)는 투입, 산출 모두 과부족 상태로 투입을 늘려야 하고, DRS(decreasing returns rate)는 과잉투입된 자원은 줄이고 산출자원은 과부족 상태로 늘임으로써 DMU의 효율성을 증가시킬 수 있다.

#### 2) 확장된 DEA 모형을 이용한 효율성 측정 방법

DEA모형이 가진 비모수기법의 본원적인 한계와 효율성지수라는 단일척도만으로 성과를 평가하는 등의 문제점들을 보완하기 위해 응용문제의 성격과 주어진 자료의 특성에 맞추어 다양한 모형이 제안되고, 모수적 기법들과 보완하는 방법이 제안되어왔다(Amirteimoori et al. 2012). 승수모형(Multiplicative model)<sup>21)</sup>, 합계모형(additive model)<sup>22)</sup>, 여유분기준모형(slack-based model; SBM)<sup>23)</sup>, 방향

거리함수(directional distance function, DDF)<sup>24)</sup> 모형, FDH<sup>25)</sup> 등이 제안되었다. 또한 순위(서열) 결정<sup>26)</sup>, 분류(클러스터링)<sup>27)</sup>, 가중치 제약화<sup>28)</sup>, 효율성 변화와 같은 동적 특성 분석<sup>29)</sup> 등 분석목적에 따라 다양한 확장모형이 개발·적용되어왔다<sup>30)</sup>. 현재 DEA 적용 시 가장 큰 이슈는 성과측정이 DMU의 내부구조를 고려하지 않는 블랙박스론 이루어져 생산프로세스 단계간 관계를 고려할

22) Charnes, et al.(1985). Foundations of data envelopment analysis for Pareto-Koopmans efficient empirical production functions. *Journal of econometrics*, 30(1), pp. 91-107.

23) 거리함수모형은 특정 투입(산출)을 마음대로 처분할 수 있는데, 이를 여유분(slack)이라한다. 기본 DEA모형들은 산출을 고정·투입을 줄이거나(투입기준), 투입을 고정·산출을 늘이는(산출기준) 특정한 방향을 가진 방사적모형(radial model)이다. 현실적으로 투입과도와 산출부족을 모두 고려하는 비방사적모형인 여유분기준모형(SBM)을 제시하여 투입의 과다사용과 산출의 과소산출을 동시에 밝혀낼 수 있다(Tone, 2001).

24) 부실여신, 환경오염물질 등 유해산출물(undesirable output) 규모를 감소시키게 되면 DMU의 효율성이 개선되도록 만들어진 모형으로 투입 및 산출(good output), 유해산출물의 이동방향과 잠재가능성 정도를 측정하는데 유용한 모형이다(Chung, Y. H., Färe, R., & Grosskopf, S. (1997). Productivity and undesirable outputs: a directional distance function approach. *Journal of Environmental Management*, 51(3), 229-240.)

25) FDH(free disposal hull model)은 효율성 경계에 대한 기본적인 가정 중의 하나인 블록성 공준을 완화시킨 모형으로 선형구분 형태의 효율적 경계가 아니라 각 의사결정단위로 이루어진 계단식 프론티어가 형성된다(Deprins et al. (1984). Measuring labor efficiency in post offices. In: *The Performance of Public Enterprises: Concepts and Measurement*).

26) DEA기반 순위결정방법은 교차효율성(Cross efficiency; CE), 초효율성(Supe-efficiency; SE), 벤치마킹, 통계기반 모델, 비효율적 DMU의 순위부여, MCDM/DEA 등이 있다(Adler et al. 2002. Review of ranking methods in the data envelopment analysis context. *European Journal of Operational Research*, 140(2)).

27) DEA를 이용한 클러스터링은 CCR승수, Tier 및 층화, 컨텍스트의존형(Context), 측정특유모형 등이 있다(박노경(2012). 컨텍스트의존모형 및 측정특유 모형을 이용한 아시아항만들의 클러스터링 측정 및 추세분석에 관한 실증적 연구. *Journal of Korea Port Economic Association*, 28(1)).

28) DMU별로 투입·산출에 대한 가중치는 DMU의 효율성이 가장 유리하게 평가되는 상대적 가치체계를 따르기 때문에 비효율적 DMU가 효율적으로 평가되거나 사전적 지식과 모순되는 등의 문제가 발생된다. 이를 해결하기 위해 의사결정자의 가치판단을 평가에 반영하는 대표적 방법으로 Thompson 등(1986)이 확산영역(assurance region; AR)과 Charnes 등(1990)의 원추비율(cone ratio; CR) 모형이 있다(이준배 저, DEA 경영효율성, p.299).

29) 단위 DMU의 효율성 상승(하락) 같은 변화추이나 효율성 변동의 안정성을 비교하기 위한 방법으로 Klopp(1985)에 의해 윈도우(window analysis)가 제안되었다. 한편, 총요소생산성(total factor productivity; TFP)의 증가율을 추정하는 방법으로 Malmquist 생산성지수(MPI)가 사용된다(박만희 저, 효율성과 생산성 분석).

30) Cook & Seiford(2009)는 30년간 DEA 문헌에 대한 고찰을 통해 1) 효율성 측정을 위한 다양한 모형, 2)승수에 제약사항을 결합하는 방법, 3)변수 상태에 관련된 고려사항, 4)자료분동 모델링 방법에 관련된 방법론적 개발내용을 정리하였다.

18) 방사적, 여유기반, 거리함수 등으로 '2)확장모형'에서 설명한다.

19) 투입방향(input-oriented)모형은 산출수준을 일정하게 유지하면서 투입요소를 최소화에 대해 평가하는 투입요소 최소화(Input minimization)이고, 산출방향(output-oriented)모형은 일정 수준의 투입요소가 주어졌을 때, 어느 정도까지 산출을 달성해야 하는 지 평가하는 산출극대화(Output maximization)가 목표이다.

20) 기술적 효율성이란 주어진 산출수준에서 투입최소화 또는 주어진 투입수준에서 산출최대화를 의미한다. 기술효율성에서 다루는 문제는 생산대상인 재화의 생산방법, 자본과 노동의 투입비율 결정, 기계와 원료의 선택 등이다.

21) Charnes, et al.(1981). Evaluating program and managerial efficiency. *Management Science*, 27(6), pp. 668-697.

수 없다는 것이다. 이에 대해 단계 또는 네트워크 모형이 제안되었다(Keramidou et al. 2013). 하부기술(sub-technologies)에 대한 연구(Färe & Grosskopf 2000)로부터 시작되어, 생산 프로세스 단계별 성과지표들을 복합적으로 고려한 네트워크 분석 모형이 제안되었으며, 기업의 경영적인 평가뿐만 아니라 환경요인을 함께 평가하는 성과지표들이 개발되었다<sup>31)</sup>. 한편, 현실문제에서 부정확 또는 모호한 투입/산출 관찰치를 다루기 위해 퍼지(Fuzzy) 기법을 적용한 방법이 제안되고 있다(Hatami-Marbini, et al. 2011).

한편 다양한 DEA 모형들 중 어떤 유형의 DEA 모형이 적용하는 것이 불분명한 경우가 많아 적합한 DEA 모형을 선정하는 방법도 제시되고 있다<sup>32)</sup>.

### 2.2.5 벤치마킹 및 모형 검증

DEA를 통해 관측치의 효율성을 계산한 후에는 효율성을 향상시키기 위해 어떤 생산자를 벤치마크의 대상으로 삼아서 투입과 산출을 어떻게 조정하여야 하는지에 대한 정보를 산출함으로써 조직의 가능한 개선 방안을 도출한다. 또한 진행 단계별로 분석에 필요한 사항이 무시되지 않았는지 검토하며 선정된 모형을 철저하게 평가하여야 한다.

#### 1) 벤치마킹

DEA에 의한 평가결과는 상대적으로 비효율적인 DMU들에 대해서 효율성 개선을 위한 참조집합(reference set)을 제공한다. 효율적으로 나타난 기업이 비효율적인 기업의 참조집합으로 기여하는 정도는 기본적으로 참조집합으로 사용된 참조집수로 측정할 수 있다. 또한 비효율적인 DMU는 투입, 산출과 관련된 여유변수 및 참조집합이 제공하는 가중치의 결합을 통해 비효율성의 정도를 투영할 수 있으며 비효율성의 원인에 대하여 벤치마킹을 할 수 있다<sup>33)</sup>. 한편 기본 CCR, BCC모형에 의한 효율성은 효율적인 프론티어를 구하기 위해 모든 투입물이 비례적으로 변동한다는 가정하에서 구하지만, 요소별 효율성을 통해 다른 투입물이나 산출물은 현재 수준에서 동결한 상태에서 특정의 투입물을 감소시키거나 산출물을 증가시킬 수 있는 최대한의 가능성을 측

정할 수 있다(Zhu 2000, O 2001a).

#### 2) 모형 검증 및 2단계분석

수행된 단계는 검토되어야 하고, 선정된 모형의 적합성과 함께 투입/산출 변수에 대한 민감도분석도 요구된다. 전통적인 DEA는 통계적인 가정이 불필요하기 때문에 분석절차가 상대적으로 간단하고 통계적 가정과 관련된 연구자의 자의적 판단이 배제된다는 점에서 비통계적 속성으로서 장점을 갖지만, 통계적 개념의 결여로부터 발생하는 문제들이 많기 때문에 모수적생산함수, 사례조사, 구조적 방법론, 회귀분석법 등을 활용하여 효율성 값을 보정하고 변화원인을 분석해왔다<sup>34)</sup>. DEA는 확정적모형으로 모든 관측치가 생산변경에 있다는 가정은 외진관측치(이상치)에 민감한데, 이는 확률적프론티어 모형(stochastic frontier model; SFM)과 같은 모수적생산함수로 해결할 수 있다<sup>35)</sup>. 분석결과 (비)효율성 결정 요인을 추정하기 위한 2단계 분석법으로 토빗회귀(Tobit)분석<sup>36)</sup>과 최소자승법<sup>37)</sup>이 활용되고 있다. 부트스트랩<sup>38)</sup>을 통해 효율성 값의 신뢰구간을 추정하고, 윌콕스-만-위트니 검정법(Wilcoxon-Mann-Whitney test)을 통해서도 다른 집단간 효율성 차이를 검증할 수 있다.

## 3. 건설생산조직의 DEA 적용 수준 및 개선 방향

### 3.1 분석 목적 및 DMU 선정

Table 2는 DEA모형을 활용하여 국내 건설 생산 조직의 성과측정을 한 연구들을 앞서 제안한 성과측정 체계에 따라 정리한 결과이다. 국내 연구는 1997년 외환위기 이후 건설기업의 효율성을 분석하며[1] 시작되었다. 연구 목적은 단순 효율성 분석 및 비교가 대부분이고, 효율적 기업을 분류하고 예측([17]), 개선 방법 제안([18],[21])이 있다. 그러나 생산 프로세스의 내부구조를 반영하거나 시장성(주식가격 등)과의 관계를 고려한 네트워크 분석에 대한 연구는 수행되

31) Zhu(2000)가 수익성과 시장 성과라는 두 단계의 성과를 사용하는 2단계 모형을 제안한 이후, 환경오염, 부채 등 유해산출물을 중간투입척도(intermediate measure)로 한 네트워크모형 연구들이 수행되고 있다(Maghboubi, et al., 2014, Song et. al, 2014).

32) 임성목(2009)은 투입·산출 요소 선정을 포함한 다양한 DEA 모형 중 어떤 것이 더 적합한지를 판단할 수 있는 방법을 제안하였다.

33) 비효율적 기업의 투입/산출의 개선가능성을 측정하기위해 참조율(reference share: Zhu(2000); O(2001a), 투영점(projection point: 박만희저, 생산성과 효율성분석, p.57~70)을 구한다.

34) 이정동, 오동현 저, 효율성 분석이론, p.243~272.

35) Kumbhakar & Lovell (2000), Stochastic Frontier Analysis. Cambridge : Cambridge University Press.

36) Lovell et al.(1994), Stratified models of education production using modified DEA and regression analysis. In Data Envelopment Analysis, pp.329-351.

37) Hoff (2007). Second stage DEA: Comparison of approaches for modelling the DEA score, European Journal of Operational Research, 181(1), pp.425-435.

38) Simar & Wilson (1998). Sensitivity analysis of efficiency scores: How to bootstrap in nonparametric frontier models. Management science, 44(1), pp.49-61.

Table 2. Studies of DEA in Construction Organizations with their specific features

No.	Publication	1. DMU selection*		2. Data structure**			3. PPS***	4. Measure****		5. Post-Analysis*****		Analysis SW						
		Type	Number	Analysis period	Data sources	Variables (I,O)		Type	Orientation	Benchmarking	Two stage/ Post-test							
1	O(2001a)	well-performed LCM	15*3yrs = 45	1997-1999	BLC, KIS	8(4,4)	C,V Cost	R	I	FSM, RS	Tobit	-						
2	O(2001b)							R	O		SE							
3	Zi & You(2003)	LCM	37	1996-2000	KIS	7(6,1) Cost	C,V Cost	R,MPI	O	X	MANOVA Tobit	-						
4	Kim(2005)	LCM & Top 50 CCF	38 *4yrs =152	1999-2003	BM,AR	6(3,3)	C,V	R, Window	I	PP	CR, MW	DEAP						
5	You & Zi(2007)	LCM	25	1996-2000	Financial statement & transaction data	7(6,1) cost	C,V Cost	R	I	X	Tobit	-						
6	Kim & Kang(2008)	Top 20 CCF	20	2006	Korchambiz	4(2,2)	C,V	R	I	RF, PP	SE	DEA Solver						
7	Kim & Nam(2010)	Top 30 CCF	25	2007	FSS DART	5(3,2)	C	R	O	X	SA(Input)	Excel-Solver						
8	Lee et al. (2010)	Top 100 CCF	88	2009	Korchambiz	5(3,2)	C,V	R	I	X	CR	Enpas						
9	Kim et al. (2010)	CAK Members	50	-	-	5(3,2)	C,V	R	I,O	MPSS	MW	Excel-Solver, Frontier Analyst						
10	Seo & Choi(2011)	LCM(KOSPI, KOSDAQ)	57	2009	Edaily MARKETPOINT	5(3,2)	C,V	R, AHP	-	RF, PP	SA, CR	Frontier Analyst						
11	Seo(2011)							R, ANP	-	RF, PP	X							
12	Kim et al. (2011)							57*2yrs=114	2009-2010	Kis-Value	6(3,3)		C,V	R	I	RF	CR, Tobit	ENPAS
13	Ryu & Shin(2012)							56	2007~2010	-	3(2,1)		V	R	I	-	Portfolio selection	-
14	Lee et al. (2012a)	Top 20 CCF	20*3yrs=60	2008~2010	KOCOinfo	4(3,1)	C,V	R, AR-AHP	I	X	X	EMS						
15	Lee et al. (2012b)	Top 20 CCF	20	2006,2008, 2010	KOCOinfo	5(3,2)	C	R	I	X	PCA	Enpas						
16	Kim et al. (2012)	Top 50 Architectural Firms	20*4 yrs=200	2006-2010	Korchambiz	4(2,2)	C,V	R,Window	I	RF	X	EMS						
17	Lee et al. (2012c)	CCF	37	2011	KOCOinfo	4(3,1)	C,V	R	I	RF	Logit	Enpas						
18	Kim et al. (2013)	Architectural Firms	30 *3yrs =90	2009-2011	Korchambiz	4(2,2)	C	R	I	RF	DEA-Tier	Enpas						
19	Ryu & Shin(2013)	LCM(KOSPI, KOSDAQ)	53	2007-2011	Edaily MARKETPOINT	-	V	R	I	-	Portfolio selection	-						
20	Youn et al. (2013)	CM Firms	22*3yrs=66	2009-2011	CM Ability Calculation	4(2,2)	V	MPI	I	X	Comparison with market share rate	Enpas						
21	Ryu et al. (2013)	CCF	35	2012	KOCOinfo	4(2,2)	C	R	I	RF	DEA-Tier, CA	Enpas						

\* LCM: Listed Construction Companies, CCF: Capabilities of Construction Firms, CAK: Construction Association of Korea, KCCI: Korea Chamber of Commerce & Industry  
 \*\* BLC: Bibliography of Listed Companies, KIS: Korea Investors Services, BM: Business report, AR: Audit report, FSS: Financial Supervisory Service  
 \*\*\* C: CRS(CCR), V: VRS(BCC), Char: Operating Characteristics  
 \*\*\*\* R: Radial, I: Input-oriented, O: Output-oriented, MPI: Malmquist Productivity Index, -: No information in the paper  
 \*\*\*\*\* FSM: Factor Specific measures, RS: Reference Share, RF: Reference Frequency, PP: Projection Point, MPSS: Most Productive Scale Size, SE: Super-Efficiency, CR: Correlation Analysis, MW: Mann-Whiney test, SA: Sensitivity Analysis, CA: Cluster Analysis

고 있지 않았다<sup>39)</sup>. 건설산업의 효율성 및 생산성 분석을 수행하기 위해 선정한 DMU들은 대부분 상장건설회사들이다. 적게는 15개([1], [2])부터 많게는 88개[8]의 기업을 대상으로 단일년도에 대한 분석이 대부분이고 3년 이상의 기간을 포함하는 연구들은([1],[2],[3],

[14],[16],[18],[20]) 적은 것으로 나타났다. 특히 시공 조직에 대한 분석이 대부분인데 엔지니어링 서비스 조직([16], [18], [20])에 대한 연구는 상대적으로 적다. 향후 토목, 건축, 주택 등 세부 공종 등으로 다양하게 분석할 필요가 있으며[1], 무엇보다 DEA가 가장 유용하게 적용될 수 있는 공공기관 등 객관적인 성과측정이 불가능한 분야에 대한 연구가 시급히 요구된다.

### 3.2 자료 구조화 및 수집

Table 3, 4는 Table 2에 표시된 연구자별 투입산출 변수를 정리한 것이다. 대부분의 연구가 물량변수들만 고

39) CM회사의 생산성지수와 시장점유율간 관계분석[20], 주식시장에서 건설기업의 포트폴리오를 선택하는 연구들은 있으나([13],[19]), DEA기반 네트워크 모형은 아니다. 국외의 경우 건설기업의 수익효율성과 시장효율성을 반영한 내부구조 분석연구가 수행되고 있다 (Tsolas, 2012).

려하고 노동의 대리변수<sup>40)</sup>로는 직원 수<sup>41)</sup>가 가장 많았다. 자본은 총자산<sup>42)</sup>이 가장 많았고, 비유동자산과 자산도 많이 고려되고 있다. 한편 [1],[2]는 배분적 효율성을 구하기 위해 가격에 대한 변수는 투입인력과 관련된 가격은 1인당연간총인건비로 측정하고, 투자자본과 관련된 가격은 가중평균자본비용으로 측정하였다. 산출변수는 매출액이 가장 많았고, 당기순이익, 영업이익도 활용되었다.

Table 3. Input Variables

Input.	Variables	Publication	
Labor (L)	Q	Number of employees	1,2,3,4,6,8,11,14,15,16,17,18,21
		Total labor cost	7
	Technical staff	9	
Capital (K)	P	Labor price	1,2,3,5,12,20
		Fixed asset	3,5,7,12,14,15
	Q	Operating asset	4
		Capital	1,2,5
		Total capital	6,8,14,15,16,17,18
		Total asset	9,11,12,,13,21
		Total liabilities	11
		Construction capacity	9
P	Capital Cost	1,2,3,5	
Inter-mediate (M)	Q	Selling and administrative expenses	3,8,13,17
		Invested cost	4
		Materials	5
	Sales cost	8	
P	Material price	3,5	
Cost	C	Total Costs	3,5

Table 4. Output Variables

Output	Variables	Publication
Sales	Revenue(Sales volume)	1,2,3,4,5,6,7,8,9,11,12,13,14,15,16,17,18,21
	Contracts outstanding	4
Profit	EBITDA*	1,2
	Net profit current year	1,2,6,8,11,,12,14,15,16,17,18,20, 21
	Value added	4
	Operating income	7,9,11,17
	Operating cash flow	12
Market	Total market value	1,2

\*Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization

40) 작업에 대한 아웃소싱은 노동생산성을 측정 결과를 왜곡시킬 수 있고, 노동자들의 기술, 교육수준, 경험이 다르므로 이에 대해서도 고려해야한다. 노동과 재료의 종합적으로 운영비용(operating expenditures; OPEX)으로 측정되기도 한다(Xue et al. 2008).

41) 국내 연구에서 제시된 종업원수에 대한 변수의 정의는 연구자마다 다르다. [4]는 기초 및 개발 자료의 평균, [5]는 임원 및 정규직원수, 연말정규직원수([1], [2]), 상시종업원수[19]라고 정의하였다.

42) 투자자본은 총자산과 달리 실질적으로 생산과정에 투입한 자원의 크기를 측정할 수 있다. 세후 순영업이익 및 가중평균자본비용과 함께 기업의 경제적부가가치(EVA)를 측정해줌으로써 기업경영성과를 결정하는 주요투입요소라는 특징도 있다[1]. 그의 다른 연구자들은 자본금으로 정의하였다.

DEA 분석에 쓰이는 변수를 선정하기 위해 AHP/ANP 모형을 이용하여 가중치를 산출하고([10],[11]), 건설기업의 핵심 투입-산출변수 추출에 대한 연구[15]가 있었다. 서로 다른 투입산출변수와 표본크기의 선택은 효율성에 대한 평가도 다른 것으로 나타났다. S 건설은 2006년에 [6]에서는 비효율(IRS)라고 나왔으나 [15]는 효율이라고 도출되었다. K건설도 2009년 [10]에서는 효율적이지만 [8](투입지향 BCC)에서는 비효율(DRS)로 나왔다. 투입·산출변수에 대한 관측치를 수집하고 정리하는 과정에서 투입물과 산출물 변수 중에서 단위가 금액인 경우 가격에 따른 오차를 통제하고 연도별 효율성의 비교가 가능하도록 GDP 디플레이터를 사용하여 불변가격으로 조정했다(3],[4],[5). 당기순손실 등 음의 산출물이 있는 경우 제외([1],[2],[17]) 하였으나, 투입지향 BCC모형에서는 산출요소의 값에 일정한 값을 더하거나 빼더라도 결과가 동일하다(Cooper et al. 2000)는 가정하에 절대상수가산법을 이용해서 음의 값을 가진 당기순이익, 영업현금흐름 등을 보정하였다(8],[12].

국외의 경우 핵심성과지표(KPI)를 DEA에 결합하여 건설조직의 성과를 평가하고 있지만 (Horta et al. 2009). 국내 성과측정지표는 단순한 재무지표로만 평가되고 있다. 건설생산시스템이 적절한 투입 대비 산출을 발생하였는지에 대한 측정은 생산시스템으로 구성되는 서로 다른 프로젝트의 규모, 생산기간, 생산방법 외에도 비정규직 근로자[1], 전문기술인력에 대한 의존도가 높고 정부의 건설정책에 민감하게 반응하는 산업의 특성<sup>43)</sup> 뿐만 아니라 의사결정자의 전략을 평가할 수 있는 변수도 고려되어야 할 것이다.

### 3.3 PPS에 대한 가정

건설산업의 효율성을 측정하기 위해 가격정보를 이용한연구는 [1],[2],[3],[5]만이 경제적 효율성과 배분적 효율성을 측정하였고, 그 외의 연구는 물량정보만으로 효율성을 측정하였다. RTS에 대해서는 대부분의 연구가 규모수익불변을 가정하는 CCR모형만 적용(7],[15],[18],[21])하기보다는 BCC모형도 적용하여 결과 값을 비교하였다. 한편, Junior et al(2012)는 건설산업은 규모 수익불변의 환경하에서 작업할 수 없게 하는 불완전 경쟁하에서 정부 간섭, 재무 제약 그리고 다양한 다른 요소들에 의존하므로 규모수익가변(VRS)이 적합하다고 제시했다. 투입, 산출 변수에 대한 처분에 대한 가정은 CCR모형과

43) 이도훈, 김선형, 권기덕, 김만기, 김선국, (2011). 국내 건설기업 경영성과의 핵심성과지표 도출에 관한 연구, 한국건축시공학회지, 11(1), pp. 35-44.

BCC모형을 선택함에 따라 투입 및 산출 변수가 비례적으로 변동한다고 가정하였다. 운영 특성도 현실에서는 특성의 투입, 또는 산출에 대한 사전적인 선호가 있을 경우가 있고, 재량적이며 통제가능한 변수뿐만 아니라 비재량적이며 통제불가능한 환경변수를 고려해서 투입물과 산출물을 조정해야 할 것이다.

### 3.4 효율성 척도

Liu et al.(2013)은 사회 네트워크(social network) 분석 프로그램인 Pajeck을 통해 은행, 의료서비스, 농업 및 농장, 교통, 교육, 에너지 및 환경 분야에 대한 연구경로를 추적한 결과 각 분야별로 생산조직 특성에 맞는 측정 모형과 적용이 활발히 이루어지고 있지만, 건설분야는 아직까지 활발히 적용되고 있지 않다고 나타났다. 대부분의 국내 연구에서 효율성 척도는 기본 DEA모형을 적용한 방사형모형이다. 효율적기업의 순위를 부여하기 위해 초효율성모형[2],[6], DEA-AR/AHP[14], 벤치마킹을 위해 DEA-Tier[18]와 클러스터분석[21]이 적용되었다. 시계열자료를 활용해 생산성변화를 측정하는 연구도 수행되었다[3],[16], [20].

효율성 측정 방향은 대부분 투입지향을 선택하였는데, [4]는 수주산업인 건설산업의 특성상 산출물에 따라 투입물을 조정하는 방식을 주로 사용하는 건설회사의 속성을 고려하여 투입지향모형을 선택했다. 그러나 [2]는 투입물중심모형에는 드러나지 않는 과잉투입을 산출물 중심모형에서는 밝힐 수 있다고 하며 산출물 중심의 모형을 이용하였다. 국외 연구도 상장회사의 성과를 평가하기 위해 산출지향 모형을 선택했다(Mohamd & Said 2010). 연구 대상이 공공부문이나 유해산출물을 제어해야하는 환경분야라면 투입지향모형이 적절하다고 제안되고 있다. 그러나 수익최대화를 목표로 하는 민간기업이라면 기업간 산출극대화 성과비교가 중요한 고려사항일 것이다.

### 3.5 성과 개선 및 사후 분석

성과개선을 하지 않고 단순히 효율성 분석을 수행한 연구들도 있지만, 대부분의 연구가 참조집합을 이용하여 비효율적 기업의 벤치마킹 정보를 도출하였다. 그러나 효율적인 기업이 비효율적인 기업의 참조집합을 이루는 과정에서 어느 정보의 중요성을 가지는지 고려하기 위해서는 투입, 산출과 관련된 여유변수 및 참조집합이 제공하는 가중치를 구함으로써[1],[4],[6],[11],[12], 비효율성의 정도를 투영할 수 있으며, 최대생산규모(MPSS)을 이용하여 비효율적 기업의 이상적 투입/산출량을 제시할 수 있다[9]. 한편 요소별효율성을 적용하

면 관심대상인 변수만을 움직이며 기업이 특정한 투입(산출)물에 어느 정도 역량을 집결시켜야 하는지를 알 수 있게 되고 집중적으로 관리해야 할 관리중심점을 파악할 수 있다[1].

이상의 효율성 분석 및 개선과정은 Table 2에 나타난 다양한 DEA 분석 소프트웨어를 활용하면 효율성 및 생산성 결과 값을 비교하며 벤치마킹 수행 과정까지의 일련의 과정을 간단하게 수행할 수 있다.

2단계분석은 효율성에 미치는 각종요인과 효율성 점수[4], 효율성 점수와 시공능력[8] 및 추가[11] 등과의 상관관계를 분석한 연구들이 있고, Tobit 분석을 이용하여 효율성에 미치는 각종요인과 효율성 점수간 관계분석[1],[3],[5] 기업 특성이 효율성에 미치는 영향 분석[12]이 수행되었다. Mann-Whitney의 검정을 통해 기업집단 소속여부에 따른 효율성의 차이가 있는지[4], 규모효율성 영역별로 차이가 있는지[9]도 검증되었지만, 모형 및 변수에 대한 검증을 위해 민감도 분석을 수행한 연구는 [7],[10]뿐으로 거의 대부분이 분석과정에 대한 검토를 수행하지 않고 있다.

## 4. 결론

기업이 효율성을 모니터링하는 것은 핵심활동 중 하나이다. DEA 모형은 객관적인 성과측정이 불가능한 생산조직에서도 다수의 투입물에 대한 다수의 산출물의 비율, 즉 효율성을 측정하여 가장 효율성이 높은 DMU를 지정하고 이들과 비교한 상대적 효율성을 측정하는 방법론으로 전 산업 분야에서 조직의 성과측정 시 유용한 방법론으로 활발히 적용되고 있다. 본 연구에서는 DEA 모형을 건설 생산 체계의 현실 문제에 적용하고자 하는 연구자들에게 측정 목적, 수집가능한 자료, 기술수준 등을 고려한 실증 모형을 선정하고 평가하는 이론적인 방법론적 체계를 제안하였다. 현재 타 산업, 국외 연구와 비교하여 다양한 측정모형 등이 적용되지 못하고 있고, 대부분 민간 상장건설기업으로 한정되어 무엇보다 DEA가 가장 유용하게 적용될 수 있는 공공 조직 등 객관적인 성과측정이 불가능한 생산 조직을 포함한 의사결정자의 전략적 성패까지 평가할 수 있는 포괄적인 성과 측정방법론과 연구 방향을 제시함으로써 건설시스템 성과측정 분야를 연구하는데 관심 있는 연구자들과 실무자들에게 방법론적 지침으로 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(과제번호: 2012R1A1A3013772)

## References

- Akçay, A. E., Ertek, G., and Büyüközkan, G. (2012). "Analyzing the solutions of DEA through information visualization and data mining techniques: SmartDEA", framework. *Expert Systems with Applications*, 39(9), pp. 7763-7775.
- Amado, C. A., Santos, S. P., and Marques, P. M. (2012). "Integrating the Data Envelopment Analysis and the Balanced Scorecard approaches for enhanced performance assessment". *Omega*, 40(3), pp. 390-403.
- Amirteimoori, A., Despotis, D. K., and Kordrostami, S. (2014). "Variables reduction in data envelopment analysis". *Optimization*, 63(5), pp. 735-745.
- Banker, R. D., Charnes, A., and Cooper, W. W. (1984). "Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis", *Management science*, 30(9), pp. 1078-1092.
- Charnes, A., Cooper, W. W., and Rhodes, E. (1978). "Measuring the efficiency of decision making units", *European journal of operational research*, 2(6), pp. 429-444.
- Charnes, A., Cooper, W. W., Huang, Z. M., and Sun, D. B. (1990). "Polyhedral cone-ratio DEA models with an illustrative application to large commercial banks", *Journal of econometrics*, 46(1), pp. 73-91.
- Cook, W. D., and Seiford, L. M. (2009). "Data envelopment analysis (DEA)-Thirty years on", *European Journal of Operational Research*, 192(1), pp. 1-17.
- Cook, W. D., Liang, L., and Zhu, J. (2010). "Measuring performance of two-stage network structures by DEA: a review and future perspective". *Omega*, 38(6), pp. 423-430.
- Deng, F., and Smyth, H. (2013). "Nature of Firm Performance in Construction". *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(2).
- Färe, R., and Grosskopf, S. (2000). Network dea. *Socio-economic planning sciences*, 34(1), pp. 35-49.
- Gattoufi, S., Oral, M., and Reisman, A. (2004). "A taxonomy for data envelopment analysis", *Socio-Economic Planning Sciences*, 38(2), pp. 141-158.
- Hatami-Marbini, A., Emrouznejad, A., and Tavana, M. (2011). "A taxonomy and review of the fuzzy data envelopment analysis literature: two decades in the making", *European Journal of Operational Research*, 214(3), pp. 457-472.
- Horta, I. M., Camanho, A. S., and Da Costa, J. M. (2009). "Performance assessment of construction companies integrating key performance indicators and data envelopment analysis", *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(5), pp. 581-594.
- De Araújo Junior, A. F., Nogueira, D. G., and Shikida, C. D. (2012). "Analysis of the efficiency of national civil construction firms", *Brazilian Business Review(English Edition)*, 9(3).
- Keramidou, I., Mimis, A., Fotinopoulou, A., and Tassis, C. D. (2013). "Exploring the relationship between efficiency and profitability", *Benchmarking: An International Journal*, 20(5), pp. 647-660.
- Kim, H, Yoo, H., Song, G, (2010). "A Study on the evaluation of efficiency in the Korean small and medium sized construction firms", *Journal of the Korean Society of Quality Management*, 38, pp. 463-475.
- Kim, J., Kang, D. (2008). "MEasuring efficiency of Korean Apartment construction firms using DEA", *Journal of the Korea Contents Association*, 8(7), pp. 201-207.
- Kim, J., Lee, H., Lee, Y., and Kim, J. (2013). "Improving the performance of innovation in a knowledge-based design service industry using DEA-Tier", *Korean journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 14(2), pp. 160-170.
- Kim, K. (2005). "Analyzing the technical efficiency of korean engineering and construction firms after the financial crisis", *Korean journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 6(1), pp. 151-161.
- Kim, M., Baek, M., and Moon, S. (2011). "Study on changes of construction industry and efficiency of construction firm using DEA", *The Journal of Business History*, 60. pp. 229-259.
- Kim, S., Park, J. Kim J., and O, J. (2012). "Measuring relative efficiency of architectural firms in

- Korea using DEA/Window models”, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 28(9), pp. 165-172.
- Kim, Y. m., and Nam, Y. (2010). “The management efficiency analysis of construction companies using data envelopment analysis”, *Journal of Korea Real Estate Academy*, 42, pp. 359-370.
- Klopp, G. (1985). “The analysis of the efficiency of productive systems with multiple inputs and outputs”, Ph.D. dissertation, *University of Illinois, Chicago*.
- Lee, H., Moon, S., Kim, S., Kim. K., and Kim, J. (2010). “A correlation analysis between the capability of construction firms and efficiency of construction company using DEA”, *Journal of The Architectural Institute of Korea*, 26(5), pp. 125-132.
- Lee, J. (2013). *Data Envelopment Analysis*, Myungjinbooks.
- Lee, K., Park, J., and Kim, J. (2012a). “Measuring relative efficiency of Korean construction company using DEA-AR/AHP”, *Journal of The Architectural Institute of Korea*, 28(6), pp. 93-101.
- Lee, K. Park, J. and Kim, J. (2012b). “A Study on the extracting the core input and output variables in construction company using DEA&PCA”, *Korean journal of Construction Engineering and Management, KICEM*, 13(5), pp. 94-102.
- Lee, K., Park J., and Kim, J. (2012c). “Management efficiency prediction model for the korean construction firms using DEA-Logit Methodology”, *Journal of The Architectural Institute of Korea*, 28(11), pp. 167-174.
- Li, Y., Chen, Y., Liang, L., and Xie, J. (2012). “DEA models for extended two-stage network structures. *Omega*”, 40(5), pp. 611-618.
- Lim, S. (2009). “A method for selection of input-output factors in DEA”, *IE interface*, 22, pp. 44-55.
- Liu, J. S., Lu, L. Y., Lu, W. M., and Lin, B. J. (2013). “A survey of DEA applications”. *Omega*, 41(5), pp. 893-902.
- Maghbouli, M., Amirteimoori, A., and Kordrostami, S. (2014). “Two-stage network structures with undesirable outputs: A DEA based approach”, *Measurement*, 48, pp. 109-118.
- Mohamad, N., and Said, F. (2010). “Measuring the performance of 100 largest listed companies in Malaysia”, *African Journal of Business Management*, 4(13), pp. 3178-3190.
- Nataraja, N. R., and Johnson, A. L. (2011). “Guidelines for using variable selection techniques in data envelopment analysis”, *European Journal of Operational Research*, 215(3), pp. 662-669.
- O, D. (2001a), “Efficiency evaluation of well-performed listed construction companies during 3 years in the period of Korean Financial Crisis by DEA”, *Korean Accounting Review*, 26(4), pp. 27-57.
- O,D. (2001b). “Unproductive of congestions of well- performed listed construction companies”, *Accounting Information Review*, 15, pp. 203-218
- Porcelli, F. (2009). “Measurement of Technical Efficiency”, A brief survey on parametric & non-parametric techniques.
- Ryu, H., Park, J. Kim, J., and Kim J. (2013). “Measuring managerial efficiency of Korean construction firms using DEA-Tier and Cluster Analysis”, *Journal of The Architectural Institute of Korea*, 29(12), pp. 121-128.
- Ryu., J. and Shin, H. (2012). “A portfolio selection strategy with consideration of managerial efficiency and growth potential of construction corporations”, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 13(2), pp. 878-888.
- Ryu., J. and Shin, H. (2013). “An Investment strategy for construction companies using DEA-Markowitz’s Model”, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 14(2), pp. 899-904.
- Samoilenko, S., and Osei-Bryson, K. M. (2013). “Using Data Envelopment Analysis (DEA) for monitoring efficiency-based performance of productivity-driven organizations: Design and implementation of a decision support system. *Omega*”, 41(1), pp. 131-142.
- Seo, K. (2011). “A Combined ANP and DEA model based efficiency analysis of the listed construction firms”, *Journal of academia-industrial technology*, 12(11), pp. 295-302.
- Seo, K. K., and Choi, D. Y. (2011). “Efficiency Analysis of Construction Firms Using a Combined AHP and DEA Model”, *The Journal of the Korea Contents Association*, 11(6), pp. 302-310.
- Song, M., Wang, S., and Liu, W. (2014). “A two-

- stage DEA approach for environmental efficiency measurement”, *Environmental monitoring and assessment*, 186(5), pp. 3041-3051.
- Thompson, R. G., Singleton Jr, F. D., Thrall, R. M., and Smith, B. A. (1986). “Comparative site evaluations for locating a high-energy physics lab in Texas”, *Interfaces*, 16(6), pp. 35-49.
- Tsolas, I. E. (2012). “Modeling profitability and stock market performance of listed construction firms on the Athens Exchange: Two-Stage DEA Approach”, *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(1), pp. 111-119.
- Vincova, K. (2005). Using DEA models to measure efficiency. *BIATEC*, 13(8), pp. 24-28.
- Xue, X., Shen, Q., Wang, Y., and Lu, J. (2008). “Measuring the productivity of the construction industry in China by using DEA-based Malmquist productivity indices”, *Journal of Construction engineering and Management*, 134(1), pp. 64-71.
- Yang, F., Wu, D., Liang, L., Bi, G., and Wu, D. D. (2011). “Supply chain DEA: production possibility set and performance evaluation model”, *Annals of Operations Research*, 185(1), pp. 195-211.
- You, T., and Zi, H. (2007). “The economic crisis and efficiency change: evidence from the Korean construction industry”, *Applied Economics*, 39(14), pp. 1833-1842.
- Youn, H., Lee, Y., and Kim, J. (2013). “An analysis of the competitive structure of the construction management market”, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 13(2), pp. 193-202.
- Zhou, P., Ang, B. W., and Poh, K. L. (2008). “A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies”, *European Journal of Operational Research*, 189(1), pp. 1-18.
- Zhu, J. (2000). “Multi-factor performance measure model with an application to Fortune 500 companies”, *European journal of operational research*, 123(1), pp. 105-124.
- Zi, H., You, T. (2003). “Analyzing efficiency and productivity in the construction industry before and after the Korean Financial Crisis”, *Korea Business Review*, 32(3), pp. 809-833.

---

**요약 :** 자료포락분석모형은 다수의 산출을 생성하기 위해 다수의 투입을 사용하는 생산시스템의 상대적 효율성을 평가하는 비모수적 방법으로 건설생산체계의 복잡하고 동적인 특성을 반영할 수 있는 유용한 성과측정도구로 활용되고 있다. 본 연구는 DEA 방법론을 적용한 건설 생산조직의 성과측정 문헌들을 체계적으로 분석하고, 주요 이슈들과 향후 연구과제를 도출하였다. 국내외 선행 연구를 분석하여 성과 측정 목표 및 대상, 자료 구조화 방법, 생산가능집합과 효율성 척도 선정, 벤치마킹 및 사후 검증 등의 일련의 단계로 이루어진 성과측정체계를 제안하고, 1997년부터 2013년까지 DEA를 적용하여 국내 건설산업 성과측정 연구를 수행한 21편의 학술지를 분석하였다. 관찰된 주요 특성 및 결과들은 건설기업이 자신의 상대적 효율성 수준을 진단하고, 개선 방향을 제시하고, 향후 예측을 하는데 DEA방법론이 유용하게 적용되어왔다고 나타났다. 그러나 타산업의 연구와 비교해볼 때 국내 건설산업의 효율성 측정은 제한적으로 적용되고 있었다. 본 연구는 연구대상, 자료의 구조화, 측정모형, 모형 검증 등에 대한 개선방향을 제시함으로써 향후 DEA를 적용한 건설산업의 생산성 제고를 위한 연구 체계를 수립하는데 활용할 수 있을 것이다.

**키워드 :** 자료포락분석, 문헌고찰, 건설산업, 효율성, 성과측정체계

---