대한산업공학회/한국경영과학회 2002 춘계공동학술대회
한국과학기술원(KAIST) 2002년 5월 3일~4일

BSC와 DEA 기법을 이용한 조직 성과 비교에 대한 연구

신기태
경기도 포천군 포천읍 대진대학교 산업공학과 교수

김범수
서울특별시 관악구 신림동 서울대학교 산업공학과 제조통합자동화 실험실

박진우
서울특별시 관악구 신림동 서울대학교 산업공학과 교수

Abstract

전통적 재무제표가 기업의 재무적인 성과 측정에만 초점을 맞춘다는 한계를 극복하기 위한 방법으로서 BSC(Balanced Scorecard)가 제시되었다. BSC는 KPI(key performance indicator)들의 상관관계가 명확하고 논리적이라는 장점 때문에 정부 및 기업의 다양한 분야에서 적용되어왔다. 이러한 BSC는 KPI를 통해 측정된 값의 비교에 대한 고려를 하고 있지 않으므로 다수 조직의 성과를 비교하기에 어려움이 있다.

조직의 효율성을 계량적으로 나타내는 여러 기법 중, 경영과학 기법을 이용한 DEA의 경우 다수의 측정 지표를 단일의 통합된 성과 측정 지표(aggregate performance measure)로 나타낼 수 있다는 장점이 있으나, DEA에 고려되는 입력 및 출력의 개수에 제한이 있으며 다수 조직의 분석에 사용해야 한다는 단점이 있다.

본 연구에서는, 재무적인 요소와 비재무적인 요소를 포괄하여 조직간의 효율성을 비교하기 위한 방법으로서, DEA를 이용한 효율성 평가에 조직의 성과측정 기법인 BSC가 제공하는 KPI간의 논리적 인과관계(cause-and-effect relationship)와 측정 지표를 이용하는 방법으로 CDB(combined DEA and BSC methodology)를 제안한다. 이를 위하여 BSC 정보를 비교 가능한 형태로 바꾸는 방법을 제시하며, 기존 DEA가 지니는 입력 및 출력 변수 개수의 증가에 따른 효율성의 구분능력의 감소와 관련된 한계를 극복할 수 있는 방법을 제시한다.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

산업화 시기에 기업의 성과를 측정하기 위하여 사용되던 전통적인 재무적 정보만으로는 현재의 바뀐 기업 환경에서 사용되는 것에 충분하지 않다는 인식아래, 미래 조직의 성과 측정 시스템으로서 BSC (Balanced Scorecard)가 제안되었다[Kaplan 1992].

BSC는 그 후 기업의 성과 측정 및 정부의 예산을 사용하는 조직의 성과 측정을 위한 도구로서 적용영역을 넓히게 되었으며[Kaplan B 1996], 현재 단일 기업의 성과 측정뿐만 아니라 특정 산업의 성과에 대한 범용적인 측정 도구로도 활용되고 있다[이명호 2001].

조직의 목적과 이에 대한 측정 기준을 제공하는 BSC의 경우, 다수의 성과 측정 기준(performance measure)을 포함하게 된다. 통합된 결과를 만드는 전통적인 방법은 multi attribute utility function을 이용하거나 weighted objective function을 이용하는 것으로서 이러한 기법의 경우, 고정된 가중치(weight)나 모수(parameter)를 사용하는 것이 일반적이었다[Dyson 2000].

고정된 가중치나 모수를 사용하여 효율성을 측정할 경우, 효율성 측정의 비교 대상이 되는 각 의사결정 단위(decision making unit; DMU) 모두를 만족시킬 수 있는 객관적인 수치를 결정하기 어렵다는 문제와, 각 DMU 별로 자원을 활용하기 위한 조직화의 특성을 반영하기 어렵다는 문제가 발생하였으며 이에 대한 대안으로 고정되지 않은 가중치를 사용하는 DEA(data envelopment analysis)가 제시되었다.

DEA의 경우, 조직의 효율성 측정이나, 서열 결정 및 대안 선택 등에 활용되고 있는 기법이다. 이 중 조직의 효율성 측정에 활용된 연구들의 경우, 조직에 대해 단일 계층의 입력과 단일 계층의 출력을 고려하는 모형이 일반적으로 사용되고 있다

선형계획법을 이용하여 문제를 해결해 나가는 DEA의 경우, 입력 변수와 출력 변수의 개수가 늘어날 경우, 각 DMU에서 측정된 효율성 값 사이에 차이가 줄어들게 된다는 문제점을 가지고 있으며 이를 해결하기 위해서는 적은 수의 입력, 출력 변수를 사용하거나, 다수의 DMU 비교에 사용하거나, 또는 가중치 자체에 제한을 두는 것(weight restriction)이 일반적인 해결책으로 제시되고 있다[Dyson 2001].

본 연구는 이러한 효율성 측정에 사용되

는 DEA 기법에 조직의 전략적 성과 측정 시스템인 BSC에 포함된 정량적인 측정 기준과 4 가지 시각을 활용하여, 조직의 내부 및 외부를 포괄하는 효율성 비교 기법(combined DEA & BSC methodology; CDB)을 제공하는 것을 목적으로 한다. 또한, DEA모형에서는 입력 및 출력의 개수가 증가함에 따라 효율적(efficient)으로 평가되는 DMU가 증가되어 DMU간의 효율성을 비교하기 힘들어지는데, BSC의 4 가지 시각을 고려하는 DEA 모형을 이용하여 소수의 DMU 분석에서 DEA 분석을 이용할 수 있는 기법을 제공한다. 그리고, 비교에 사용하기 어렵다는 BSC의 단점[Bontis 1999]을 극복하여, BSC를 효율성 비교 도구로서 사용할 수 있는 기법을 보인다.

측정된 효율성은 효율성이 측정된 DMU간에 벤치마킹(benchmarking) 할 수 있는 최적 실례(best practice)를 찾아내는 데 사용될 수 있으며, 이를 통해 각 DMU의 개선 방향을 찾아내는데 사용될 수 있다.

2. 연구의 범위 및 연구 구성

본 연구의 연구와 관련된 범위 및 환경은 다음과 같다.
- 기 구성된 BSC의 자료를 사용한다.
- 기 구축된 BSC에 포함된 측정 기준을 DEA에 적용할 수 있도록 변수를 변환하는 방법을 언급한다
- BSC에서 일반적으로 고려되는 측정 기준간의 인과관계를 고려하여, DEA의 효율성 비교 모델을 구성하는 방법을 설명한다.

II. 관련 연구

효율성 측정이론에서 고려되는 방법론은 ratio analysis approach, productivity index approach, multi-product cost function approach등이 있다. [백경민 2001][신정호 2000]

본 연구에서는 입력 및 출력의 가중치 결정에 주관성이 포함되지 않고, 규모의 경제를 포함할 수 있는 모형이며, 다수의 투입과 산출을 고려할 수 있는 DEA 모형을 이용하기로 하며, 균형 잡힌 성과 지표를 고려하기 위하여 BSC 기법을 이용하기로 한다.

1. DEA 기법

1.1. 정의 및 배경

DEA는 선형계획법(linear programming, LP)에 기반을 둔 조직(organizational units, DMU)의 상대적인 효율성(relative performance)을 측정하기 위한 기법[Emrouznejad 1995]이며, 확정적이며 비모수적인 접근 방법이다[Ritchie 1996]. DEA는 입력과 출력에 대한 가중치 정보를 구할 수 없거나 알려지지 않은 상태에서 DMU간의 상대적인 효율성을 측정하기 위한 기법으로 제안되었다.

일반적으로 상대적인 효율성을 측정하기 위한 방법에는 Farrell과 Fieldhouse에 의해 1962년에 제시된 가중 평균을 이용하는 기법이 있다. 이 기법은 DMU를 평가하기 위하여 입력과 출력의 가중평균치를 이용한다.

$$\text{Efficiency of unit} = \frac{\text{Weighted sum of outputs}}{\text{Weighted sum of inputs}}$$

[수식 1]

이러한 접근 방법은 DMU에 사용되는 공통되는 가중치를 구하는 것이 어렵다는 점과, 사용될 입력 및 출력의 측정 방법의 차이점을 고려해야 한다는 문제점이 있다.

이와 같은 문제에 대해 1978년 Charnes, Cooper와 Rhodes는 DMU들이 각각의 입력과 출력을 다른 식으로 평가하기 때문에 각기 다른 가중치를 사용하는 것이 적합하므로, 각 DMU가 다른 DMU와 비교되었을 때 제일 호의적인 결과를 가지게 되는 가중치를 선택 하도록 제안하였고, 이것이 DEA의 시초가 된다.

1.2. DEA모형의 개요 및 의의

Charnes, Cooper와 Rhodes가 처음 제안한 DEA(CCR-DEA)를 수식으로 평가하면 아래와 같다. n은 DMU의 개수, t는 입력의 개수, m은 출력의 개수, u_r 은 출력의 가중치, v_i는 입력의 가중치, y_r은 실제 출력 값, x_i 는 실제 입력 값, 그리고 j_0 는 평가가 되는 목적 DMU를 나타낸다. j_0는 자신의 효율성 h_0를 최대화하는 u_r, v_i를 선택하게 되는데, 이때 각 DMU의 효율성 h_j는 1을 넘을 수 없게 된다. 또한, 아래의 선형화된 모델에 선형계획법을 이용할 경우, 가중치가 0이 되어 효율성 결정에서 완전히 무시가 될 수 있는데, 이러한 점을 방지하기 위하여 ε을 사용하게 된다.

$$\text{Max } h^0 = \frac{\sum_r u_r y_{rn}}{\sum_i v_i x_{in}}$$

$$\text{subject to } \frac{\sum_r u_r y_{rj}}{\sum_i v_i x_{ij}} \le 1,\ j = 1,\dots,n,$$

$$u_r \ge \varepsilon, r = 1,\dots,t$$

$$v_i \ge \varepsilon, i = 1,\dots,m$$

u_r = the weight for output r;
v_i = the weight for input i;
y_{rn} = the amount of output r of DMU j;
x_{in} = the amount of input i of DMU j;
t = the number of outputs;
m = the number of inputs;
n = the number of DMUs; and

[수식 2]

위의 식을 선형화하면, [수식 3]과 같아지며, 이를 통해 LP를 이용하여 문제를 풀 수 있게 된다. 이를 통해 얻어지게 h_0가 1인 경우 해당 DMU는 다른 DMU와 비교하여 효율적임을 의미한다.

$$\text{Max } h^0 = \sum_r u_r y_{rn}$$

$$\text{subject to } \sum_i v_i x_{in} = 1$$

$$\sum_r u_r y_{rj} - \sum_i v_i x_{ij} \le 0,\ j = 1,\dots,n,$$

$$u_r \ge \varepsilon, r = 1,\dots,t$$

$$v_i \ge \varepsilon, i = 1,\dots,m$$

[수식 3]

$$\text{Min } z^0 = \varepsilon \sum_r s^{r+} + \varepsilon \sum_i s^{i-}$$

$$\text{subject to } x_{in} z^0 - s^{i-} - \sum_j x_{ij} \lambda_j = 0, i = 1,\dots,m$$

$$-s^{r+} + \sum_j y_{rj} \lambda_j - y_{rn} = 0, r = 1,\dots,t$$

$$\lambda_j \ge 0,\ s^{r+} \ge 0,\ s^{i-} \ge 0 \text{ for all } r, i, j$$

[수식 4]

또한 dual model로 구성하게 되면, [수식 4]와 같아지게 된다.

여기서 구해진 λ를 이용하여 비효율적인 DMU가 참조(reference)하게 되는 효율적인 DMU를 알 수 있게 된다.

DEA 기법은 위의 내용에서 보듯 (i) 결과를 하나의 지수로 종합화 하는 것이 가능하고, (ii) 효율적인 집단을 기준으로 상대평가가 이루어지므로 실현 가능한 목표치의 설정이 가능하며, (iii) 가중치의 주관적 결정이 불필요하고, (iv) 구체적인 생산함수에 관한 정의가 불필요하다는 장점을 가지고 있다. 하지만, (i) 측정 가능한 투입과 산출이 포함되어야 한다는 점과, (ii) 모델의 특성상 동질적인 자료들을 필요로 하며, (iii) 모든 잔차가 비효율로만 구성된다고 가정하며, (iv) 단일 계층의 입출력만 고려하므로 내재적인 비효율성의 파악이 힘들다는 단점이 있다[Emrouznejad 1995].

2. BSC 기법

2.1. 정의 및 배경

BSC는 Robert S. Kaplan 과 David P. Norton에 의해 제안된 전략적 관리 시스템이다[KaplanB 1996].

BSC는 재무적 측정치(financial measure)가 조직을 관리하는데 충분하지 않다는 점에 주목하고, 이러한 기업의 과거 효율성 및 미래 효율성과 관련된 과거 및 현재의 성과 측정 지표(past and future performance indicator)를 포함하여 회사의 비젼(vision)과 전략(strategy)을 구현하기 위한 스코어카드(scorecard)로써 제시되었다[Kaplan 1992].

2.2. BSC의 개요 및 의의

BSC는 재무(finance), 고객(customer), 내부 업무 처리(internal business process) 및 학습과 성장(learning and growth)의 4 가지 시각으로 구성된다. BSC는 장기적 목표와 단기적 목표, 재무적 측정지표와 비재무적 측정지표, 후행지표와 선행지표, 성과에 대한 외부적인 시각과 내부적 시각간의 균형(balanced)을 강조한다. BSC는 관리를 위해서 측정이 필요하다는 점을 강조하며, 기존의 재무적 측정과 함께 정보 및 고객 및 내부 프로세스, 종업원의 성과를 고려할 수 있는 성과 측정 시스템으로서 제안되었다.

BSC의 목적(objective)과 측정지표는 [KaplanB 96]및 [Dyson 2000]과 같이 기업의 비전과 전략으로부터 도출된다. 이 목적은 각각 4 가지 시각에 속하게 되며, 실제로 구축된 전체적인 BSC는 20~25여 개의 측정 지표로 이루어지게 된다.

BSC에서 전략은 원인 및 결과와 관련된 전제(hypothesis)의 집합으로 규정된다. 특정 전략에 대한 측정지표들을 관리하기 위해서는 목적과 측정지표 간의 관계 정의가 필요하다. 이러한 인과관계들은 BSC의 4가지 시각에 모두 걸쳐있게 된다.

BSC의 측정지표를 전략과 연결시키는 데는 (i) 인과관계(cause-and-effect relationship), (ii) 성과 유인(performance drivers), (iii) 재무지표와의 연결(linkage to financials)의 세 가지 원칙이 필요하다. (i)은 측정지표와 성과 유인간의 인과관계가 명확하게 정의되어서 모든 측정지표가 인과관계 사슬(cause-and-effect relationship chain)상의 한 요소가 되어야 함을 의미하며, (ii) 후행 지표로서의 결과치(outcome)와 선행 지표로서의 성과 유인의 배합이 적절해야 하며, (iii) 모든 측정지표들은 재무적 시각(financial perspective)과 연결되어 있어야 함을 의미한다.

본 연구에서는 DEA 기법을 이용하여 구매 담당 조직의 효율성 평가를 수행할 때, 미국 연방 정부의 PEA(Procurement Executives' Association)의 지원에 의해 만들어진 BSC로부터 입력과 출력에 포함될 측정지표를 가져오기로 한다.

III. 문제 정의

CDB는 정량적인 KPI로 구성된 BSC를 조직의 효율성 비교에 사용하는 방법이다. 본 연구에서는 방법론의 적용 사례를 보이기 위하여 구매 담당 부문의 효율성 비교 문제에 CDB를 적용한 사례를 제안한다. 구매 담당 부분이 갖추어야 할 전략과 측정지표는 정부의 구매 담당 부문과 관련된 BSC로 이전 장에서 제시된 PEA BSC의 것을 이용하기로 한다.

구매 담당 부분과 관련하여 BSC의 전략에 해당하는 Federal Acquisition System의 지표는 [표 1]과 같다[PEA 1999].

strategy에 대한 BSC의 목적과 측정지표에 대하여 PEA는 [표 2]과 같이 정리하였다.

설명의 편의를 위해서 각 시각(perspective)과 측정 지표(measure)는 아래와 같이 정의하기로 한다. 재무 시각(finance perspective)과 관련된 측정지표를 포함하는 벡터를 $\mathbf{f}$, 고객(customer)은 $\mathbf{c}$, 내부 업무 처리(internal business process)는 $\mathbf{i}$, 학습과 성장(learning and growth)은 $\mathbf{l}$이라 하면 각 측정지표와 시각간의 관계는 $\mathbf{f}_{original}(f_1,f_2,f_3)$, $\mathbf{c}_{original}(c_1,c_2,c_3)$, $\mathbf{i}_{original}(i_1,i_2,i_3,i_4)$, $\mathbf{l}_{original}(l_1,l_2,l_3)$과 같이 표시가 된다.

[표 2]의 BSC에 대하여 DEA 기법을 이용한 분석을 위해서는 몇 가지 가정이 필요하다. 첫 번째, l_0의 경우 구체적인 측정 단위가 제시되어 있지 않은 측정지표이므로 본 모형에서는 고려하지 않는다. 두 번째, 인과관계의 경우 와 , 와 , 와 간에만 인과간계가 존재하는 것으로 가정한다. 분석의 대상이 되는 BSC 자료에는 인과관계가 상세하게 나타나 있지 않으며, 와 , 와 과 같은 인과관

계가 존재할 수도 있으나, 이러한 경우 원인이 되는 측정지표를 선택하여 결과가 되는 시각 효율성 모델에 추가하면 되므로 이 문제에 대해서도 깊이 다루지 않기로 한다.

1.102 Statement of guiding principles for the Federal Acquisition System. (a) The vision for the Federal Acquisition System is to deliver on a timely basis the best value product or service to the customer, while maintaining the public's trust and fulfilling public policy objectives. Participants in the acquisition process should work together as a team and should be empowered to make decisions within their area of responsibility. (b) The Federal Acquisition System will (1) Satisfy the customer in terms of cost, quality, and timeliness of the delivered product or service by, for example (i) Maximizing the use of commercial products and services; (ii) Using contractors who have a track record of successful past performance or who demonstrate a current superior ability to perform; and (2) Minimize administrative operating costs; (3) Conduct business with integrity, fairness, and openness; and (4) Fulfill public policy objectives.

[표 1] Federal Acquisition System 지표

FINANCE
Minimize Administrative Cost f_1: cost to spend ratio - Maximize Contract Cost Avoidance f_2: cost avoidance through use of purchase cards f_3: % of prompt payment interest paid of total $ disbursed
CUSTOMER
- Customer Satisfaction c_1: % of customers satisfied with timeliness c_2: % of customers satisfied with quality Effective Service Partnership c_3: % of customers satisfied with the responsiveness, cooperation, and communication skills of the acquisition office
INTERNAL BUSINESS PROCESS
- Acquisition Excellence - Procurement Practices i_1: Ratio of protest sustained by GAO and COFC i_2: # of actions using Electronic Commerce - Fulfill Public Policy Objectives i_3: % achievement of socio economic goals i_4: % competitive procurement of total procurements
LEARNING AND GROWTH
- Information Availability for Strategic Decision Making l_0: extent of reliable management information - Quality Workforce l_1: % of employees meeting mandatory qualification standards Employee Satisfaction l_2: % of employees satisfied with the work environment l_3: % of employees satisfied with the professionalism, culture, values and empowerment

[표 2] PEA BSC의 objective 및 측정지표

또한, 모형과 관련된 수치 자료의 경우, 1995년부터 2000년까지의 실제 자료가 존재하나[DOE 2001], DEA 분석에 사용하기에는 자료의 개수가 적은 관계로 가상의 DMU를 구성하여 분석하기로 한다.

IV. 방법론

1. 개요

DEA를 이용한 기존의 연구들은 단일 계층의 출력과 입력을 이용하므로, 비교하는 DMU의 단편적인 측면만을 고려하게 되며, 위에서 언급한 바와 같이 그러한 출력을 만들어 내게 된 내부적인 효율성을 측정할 수 없다는 한계가 있다.

또한, 전략의 실행을 위해 선택된 조직의 성과 측정 지표(performance measure)에 따라 조직의 행동양식이 영향을 받으므로 조직의 효율성 측정을 위해서는 전략의 관점에서 측정이 되어야 정확한 결과를 찾아낼 수 있다[Dyson 2000].

조직전반을 기능과 전략을 고려한 효율성을 측정하기 위하여, 본 연구에서는 기업의 전략을 실행하기 위한 도구로서 조직화된 BSC에서 사용되는 측정지표를 DEA 기법의 입력과 출력으로 사용하는 것과 재무(finance), 고객(customer), 내부 업무 처리(internal business process), 학습과 성장(learning and growth)의 인과관계를 입/출력 관계로 대응하여 효율성을 측정하는 모형을 제안한다.

BSC 개념을 이용한 DEA 기반의 조직 효율성 비교 기법인 CDB는 문제에 대하여 다음과 같은 순서로 접근한다.

1. 전략과 관련된 측정지표를 포함하여 BSC 구성 2. 효율성 비교를 위하여 DEA 모형을 구성 2.1. BSC의 4가지 시각 및 인과관계 고려 2.2. DEA 모델에 적합하도록 입출력 변수들을 가공 3. 자료를 DEA 모형에 적용하여 효율성 비교 결과 도출 3.1. DEA 모형에 적용 3.2 결과 도출

2. 분석 절차

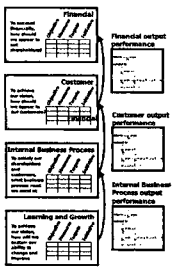
2.1. 전략과 관련된 측정지표를 포함하여 BSC 구성

첫번째 단계는, 기 구축된 BSC를 이용하기로 가정하였으므로 두 번째 단계와 세 번째 단계 중심으로 살펴보기로 한다.

2.2. 효율성 비교를 위하여 DEA 모형을 구성

2.2.1. BSC의 4가지 시각 및 인과관계 고려

BSC의 4가지 시각과 인과관계(cause-and-effect relationship)의 일반적인 구성을 따르면 f와 c, c와 i, i와 l 간에는 인과관계가 존재하게 되며, 해당 인과관계에 따라 원인이 되는 시각을 입력, 결과가 되는 시각을 출력으로 하는 DEA 모형을 세가지 구축할 수 있게 된다. 세 모형은 출력을 중심으로 구성이 되므로 각각 financial output performance , customer output performance , internal business process performance 로 부르기로 한다.



[그림 1] Cause-and-effect relationship을 고려한 DEA 모형 구성

2.2.2 DEA 모델에 적합하도록 입출력 변수들을 가공

DEA에 각 시각에 들어가는 측정지표들을 사용하기 위해서는 % measure나 inverse relationship 및 기타 변수에 대한 변환을 필요로 한다. 일관적인 DEA 분석 결과가 나오기 위해서는, 입력은 적을수록 효율적이고, 출력은 클수록 효율적이며, % measure를 고려할 때 output performance는 입력의 최소화가 아니고 출력의 최대화라는 점을 고려한 모형이 필요하다. 이와 같이 고려를 하면 다음과 같은 순서로 변수를 변환하게 된다.

1. 출력이 % measure이면 값을 분자와 분모로 구분한다.
2. 분자와 분모로 구분된 출력이 isotonic한 결과를 표시할 경우, 해당 단계의 output performance 의 출력에 분자를 포함하며, 입력에 분모를 포함한다.
3. 분자와 분모로 구분된 출력이 anti-isotonic한 결과를 표시할 경우, 해당 단계의 output performance의 출력에 분모를 포함하며, 입력에 분자를 포함한다.
4. volume measure인 출력이 anti-isotonic한 결과를 표시할 경우, 해당 단계의 output performance의 출력에서 제거하며, 입력에 포함한다.
5. 입력이 % measure이면 값을 분자와 분모로 구분한다.
6. 분자와 분모로 구분된 입력이 isotonic한 결과를 표시할 경우, 해당 단계의 output performance의 입력에 분자를 포함한다.
7. 분자와 분모로 구분된 입력이 anti-isotonic한 결과를 표시할 경우, 해당 단계의 output performance의 입력에 분모를 포함한다.
8. volume measure인 입력이 anti-isotonic한 결과를 표시할 경우, 해당 단계의 output performance의 입력에서 제거하며, 출력에 포함한다.

기타, 지수(index) 및 서열(ranking)과 관련된 변수의 처리는 이 연구의 범위를 벗어나며 관련 자료는 [Cooper 1999]을 참고하기 바란다. 또한, [Dyson 2001]에는 모형 구축에 대한 기본 가정 및 지수나, 서열, 비율(percentage) 값 또는 정규화된(normalized) 값들의 변환에 대한 입출력 변수들의 변환과 모형 구축시 문제점의 해결방법이 좀 더 자세히 언급되어 있다.

원 자료 $\mathbf{f}_{original}$, $\mathbf{c}_{original}$, $\mathbf{i}_{original}$ 및 $\mathbf{l}_{original}$의 경우, 각 output performance에 고려되기 위해서는 적절한 자료의 변환을 필요로 한다. 예로서, financial output performance을 계산할 경우, 출력으로 고려되는 재무적 시각이나 입력으로 고려되는 고객 시각(customer perspective)에 % measure로 표시된 값이 존재할 수 있으며, 이러한 값은 DEA 모형에서 적용될 경우 잘못된 결과를 도출할 수 있다. 이에 대한 해결 방법으로는 % measure를 분자와 분모로 분해한 다음, 기존의 모형의 입력과 출력에 적용하는 것이 사용된다.

즉, 원 자료 $\mathbf{f}_{original}$, $\mathbf{c}_{original}$, $\mathbf{i}_{original}$ 및 $\mathbf{l}_{original}$은 각각이 DEA 모형의 출력으로 사용될 때와 입력으로 사용될 때를 구분하여 변환되어야 한다는 것을 의미한다. 모형의 변화에 따라 원 자료에는 측정 지표가 추가되거나 제거되게 되어 출력을 위한 $\mathbf{f}_{output}$, $\mathbf{c}_{output}$, $\mathbf{i}_{output}$와, 입력을 위한 $\mathbf{c}_{input}$, $\mathbf{i}_{input}$, $\mathbf{l}_{input}$으로 변환 된다. 변환된 자료는, financial output performance $\mathbf{F}$의 계산에 대해서는 $\mathbf{f}_{output}$와 $\mathbf{c}_{input}$, customer output performance $\mathbf{C}$에 대해서는 $\mathbf{c}_{output}$와 $\mathbf{i}_{input}$, internal business process performance $\mathbf{I}$에 대해서는 $\mathbf{i}_{output}$와 $\mathbf{l}_{input}$이 사용되게 된다.

2.3. 자료를 DEA 모형에 적용하여 효율성 비교 결과 도출

2.3.1. DEA 모델에 적용

자료 변환이 완성되면 DEA 모형에 적용한다. 각 시각을 표시하는 vector는 각 DEA 모형의 입출력으로 포함된다.

2.3.2.결과 도출

본 방법론에서는 DEA의 efficiency measure를 중심으로 계산하며, 가능해(feasibility)가 영향을 받지 않는 범위 내에서 ε을 이용하여 판별력(discrimination) 문제를 해결한다.

DEA 모형이 완성된 후 자료를 적용하여 각 시각 사이에 효율성을 계산한다. 이를 통해, 각 output performance가 1로 나타나는 DMU 가 존재하게 되며, 이 DMU들이 각 측면에서 효율적인 DMU가 된다.

3. 효율성 분석

각각의 output performance $\mathbf{F}$, $\mathbf{C}$와 $\mathbf{I}$에서 효율적으로 평가되는 DMU를 DMU-weak domination이라고 부르기로 하고, DMU-weak domination 들 중에서 output performance , 와 가 모두 1인 DMU가 존재할 경우에 해당 DMU를 DMU-strong domination라고 부르기로 한다.

3.1. DMU-strong domination이 존재하지 않는 경우

Output performance F, C 와 I가 모두 1인 DMU가 존재하지 않을 경우에는 DMU-strong domination은 존재하지 않고 각 output performance에 대해 DMU-weak domination 들만이 존재하게 된다.

Output performance F와 C 의 경우, F의 입력 c_{input}과 C의 출력 c_{output} 은 상당 부분 동일한 측정 지표를 사용하게 되므로 특정 DMUj_0의 C가 1로 평가 되었다고 가정할 경우, 이는 해당 DMU가 다른 DMU에 비해 큰 c_{output}를 가지게 된다는 것을 의미하고 c_{input} 또한 큰 값을 가지게 된다는 것을 의미한다. 이는, DMUj_0의 F가 1이 되기 위해서는, 상대적으로 큰 값을 가지는 c_{input}에 알맞도록, 다른 DMU에 비해 큰 f_{output} 값을 가져야 된다는 것을 의미한다.

이는 BSC의 고객 시각에 대하여 효율적으로 평가를 받은 조직이 재무적 시각에서도 효율적으로 평가 받기 위해서는, 효율적인 고객 시각을 활용하여 재무적 시각에서도 더 나은 결과를 나타내야 함을 의미한다.

위의 F와 C의 예와 마찬가지로 C와 I에도 동일한 관계가 성립하므로, 비교대상이 된 DMU들 중에 F, C와 I가 모두 효율적으로 평가되는 것이 없을 수 있게 된다.

이러한 경우, 각 output performance에서 1로 평가되는 DMU-weak domination은 해당 시각에 대하여 최적 실례(best practice)가 되며, 해당 DMU의 시각에 대하여 벤치마킹(benchmarking)의 대상이 될 수 있다

.

3.2. DMU-strong domination이 존재하는 경우

Output performance F, C 와 I가 모두 1인 DMU가 존재할 경우에는 각 output performance에 대해 DMU-weak domination 들이 존재하고, DMU-strong domination 들도 존재하게 된다.

DEA 기법에서 효율적으로 평가되는 DMU의 개수는 이론적으로 입력 변수 개수와 출력 변수 개수의 곱만큼 나타날 수 있다. 이는 DEA를 이용한 효율성 비교에 사용되는 BSC의 측정 지표 개수가 많을 경우, 효율적인 DMU의 개수 또한 증가할 수 있음을 의미한다.

이와 같이 효율적인 DMU가 다수 존재하여 DMU-weak domination의 개수가 많아질 경우에도, 3.1에서 언급한 와 , 와 간의 관계로 인하여 DMU-strong domination은 상대적으로 소수 존재하게 된다.

그러므로 효율적인 DMU가 많을 경우에는 output performance , 와 를 개별적으로 고려하지 않고, F, C와 I가 모두 1인 DMU-strong domination은 비교 대상이 되는 DMU에 대해 모든 시각에서 최적 실례가 되며, DMU-strong domination 전체가 벤치마킹의 대상이 될 수 있다.

3.3. Primal model과 Dual model

[수식 4]와 동일한 방식으로 dual model을 구성하여 계산을 하면 효율적으로 평가되는 DMU-efficiency는 자신을 나타내는 λ가 1이 되며, 효율적이지 않은 것으로 평가되는 DMU-inefficiency는 1이 아닌 λ가 2개 이상 존재하게 된다.

DMU-inefficiency에서 1이 아닌 λ가 나타내는 DMU는, DMU-inefficiency가 참고로 하게 되는 DMU-efficiency가 되게 되며, 해당 DMU-efficiency가 DMU-inefficiency에 알맞은 최적 실례가 된다.

V. 실험 및 결과

적용 예시로 사용된 PEA BSC 경우, DEA기법에 적용되기 알맞도록 대다수의 측정기준이 수리적인 측정지표였다.

1. BSC 구성

모형의 검증을 위해서 [표 2]에서 제시된 BSC를 사용한다.

2. DEA 모형의 구성

원 자료의 측정지표들을 DEA 모형에 사용할 수 있도록 변환한 방법은 [표 3]과 같다.

3. 결과 도출

3.1. DEA 모델에 적용

DMU j_0에 대해 DEA에서 사용되는 출력과 입력을 각각 $\mathbf{y}_{j_0}$, $\mathbf{x}_{j_0}$라 하고, BSC의 각 측정지표별 변환을 고려하면 각 시각을 표시하는 vector는 [표4]와 같은 값을 이용하여 output performance를 측정하게 된다.

3.2. 결과 도출

위의 절차를 이용하여 만들어진 모형에 각 시각별로 열등(bad)한 상태를 나타내는 값과 우수(good)한 상태를 나타내는 두 가지 값을 사용하여 효율성을 계산하기로 한다. 각 시각별로 두 가지의 값을 사용하므로 총 16개의 조합이 생기게 되며, 이를 통해 각각 값이 다른 16개의 DMU가 생성된다.

변수	변환된 변수
f_1	f_1' : total spending c_4 : administrative cost
f_2	f_2
f_3	f_1' : total spending c_5 : penalty
c	c_1' : # of customers satisfied with timeliness i_5 : total customer
c_2	c_2' : # of customers satisfied with quality i_5 : total customer
c_3	c_3' : # of customers satisfied with the responsiveness, cooperation, and communication skills of the acquisition office i_5 : total customer
i_1	i_1' : # of protest sustained by GAO and COFC l_4 와# of total contract
i_2	i_2
i_3	i_3' : # of achieved socio-economic goals l_5 : # of total socio-economic goals
i_4	i_4' : # of competitive procurement l_6 : # of total procurement(>$25,000)
l_1	l_1' : # of employees meeting mandatory qualification standards
l_2	l_2' : # of employees satisfied with the work environment
l_3	l_3' : # of employees satisfied with the professionalism, culture, values and empowerment

[표 3] Performance 측정 지표의 변환

Output performance	Vector Output/Input
F	$\mathbf{y}_j = \mathbf{f}_{output}\ (f_1', f_2)$ $\mathbf{x}_i = \mathbf{c}_{input}\ (c_1',\ c_2',\ c_3',\ c_4,\ c_5)$
C	$\mathbf{y}_j = \mathbf{c}_{output}\ (c_1',\ c_2',\ c_3')$ $\mathbf{x}_i = \mathbf{i}_{input}\ (i_1',\ i_2,\ i_3',\ i_4',\ i_5)$
I	$\mathbf{y}_j = \mathbf{i}_{output}\ (i_1',\ i_2,\ i_3',\ i_4')$ $\mathbf{x}_i = \mathbf{l}_{input}\ (l_1',\ l_2',\ l_3',\ l_4,\ l_5,\ l_6)$

[표 4] 각 output performance에 사용되는 vector

원 자료의 측정지표에 대한 값으로 자료를 구성하고, f_1', i_1', i_5, l_5, l_6 및 # of total employee에 대하여 비교 편의를 위하여 각각 f_1'은 1000, i_1'은 10, i_5는 100, l_5는 10, l_6은 5로 가정하면 [표 5]와 같이 변환이 된다.

output performance 계산에 사용되는 각 시각별 값 및 이에 대한 DMU의 효율성을 정리하면 [표 6]과 같다(ε=0.0001)

ε=0인 경우에는 특정 입력이나 출력의 가중치(weight)가 집중이 되는 현상이 발생하여, 모델의 판별력(discrimination)이 떨어지게 된다. 이에 ε restriction을 통해 문제를 해결하였으며, ε=0.0001을 사용하여 결과를 구하였다.

결과를 보면, 최고의 효율성은 열등한 입력 하에서 우수한 출력을 만들어 낸 경우에만 효율성이 1로 나오며, 그 이외의 경우 효율성이 1로 나오지 못한다. 이는, 우수한 입력 하에서 더 우수한 출력을 내지 못한다면 열등한 입력 하에서 열등한 출력을 내는 것 보다 효율성이 높지 않을 수도 있다는 것을 뜻한다.

	원래 값	변환된 값
$\mathbf{f_b}$	(20%,$100, 20%)	($1000,$100)
$\mathbf{f_g}$	(10%,$200, 10%)	($1000,$200)
$\mathbf{c_b}$	(40%,40%,40%)	(40,40,40,$200,$200)
$\mathbf{c_g}$	(80%,80%,80%)	(40,40,40,$100,$100)
$\mathbf{i_b}$	(20%,10,10%,10%)	(10,10,1,1,100)
$\mathbf{i_g}$	(10%,20,20%,20%)	(10,20,2,2,100)
$\mathbf{l_{b1}}$	(50%,50%,50%)	(50,50,50,2,10,5)
$\mathbf{l_{g1}}$	(100%,100%,100%)	(100,100,100,2,10,5)
$\mathbf{l_{b2}}$	(50%,50%,50%)	(50,50,50,1,10,5)
$\mathbf{l_{g2}}$	(100%,100%,100%)	(100,100,100,1,10,5)

[표 5] DEA 모형에 사용되는 측정지표별 수치

DMU	f	c	i	l	F	C	I	F×C×
1	$\mathbf{f_b}$	$\mathbf{c_b}$	$\mathbf{i_b}$	$\mathbf{l_{b1}}$	0.970	0.500	0.999	0.484
2	$\mathbf{f_b}$	$\mathbf{c_b}$	$\mathbf{i_b}$	$\mathbf{l_{g1}}$	0.970	0.500	0.984	0.477
3	$\mathbf{f_b}$	$\mathbf{c_b}$	$\mathbf{i_g}$	$\mathbf{l_{b2}}$	0.970	0.499	1.000	0.484
4	$\mathbf{f_b}$	$\mathbf{c_b}$	$\mathbf{i_g}$	$\mathbf{l_{g2}}$	0.970	0.499	0.985	0.477
5	$\mathbf{f_b}$	$\mathbf{c_g}$	$\mathbf{i_b}$	$\mathbf{l_{b1}}$	0.490	1.000	0.999	0.489
6	$\mathbf{f_b}$	$\mathbf{c_g}$	$\mathbf{i_b}$	$\mathbf{l_{g1}}$	0.490	1.000	0.984	0.482
7	$\mathbf{f_b}$	$\mathbf{c_g}$	$\mathbf{i_g}$	$\mathbf{l_{b2}}$	0.490	0.999	1.000	0.489
8	$\mathbf{f_b}$	$\mathbf{c_g}$	$\mathbf{i_g}$	$\mathbf{l_{g2}}$	0.490	0.999	0.985	0.482
9	$\mathbf{f_g}$	$\mathbf{c_b}$	$\mathbf{i_b}$	$\mathbf{l_{b1}}$	1.000	0.500	0.999	0.499
10	$\mathbf{f_g}$	$\mathbf{c_b}$	$\mathbf{i_b}$	$\mathbf{l_{g1}}$	1.000	0.500	0.984	0.492
11	$\mathbf{f_g}$	$\mathbf{c_b}$	$\mathbf{i_g}$	$\mathbf{l_{b2}}$	1.000	0.499	1.000	0.499
12	$\mathbf{f_g}$	$\mathbf{c_b}$	$\mathbf{i_g}$	$\mathbf{l_{g2}}$	1.000	0.499	0.985	0.492
13	$\mathbf{f_g}$	$\mathbf{c_g}$	$\mathbf{i_b}$	$\mathbf{l_{b1}}$	0.988	1.000	0.999	0.987
14	$\mathbf{f_g}$	$\mathbf{c_g}$	$\mathbf{i_b}$	$\mathbf{l_{g1}}$	0.988	1.000	0.984	0.972
15	$\mathbf{f_g}$	$\mathbf{c_g}$	$\mathbf{i_g}$	$\mathbf{l_{b2}}$	0.988	0.999	1.000	0.987
16	$\mathbf{f_g}$	$\mathbf{c_g}$	$\mathbf{i_g}$	$\mathbf{l_{g2}}$	0.988	0.999	0.985	0.972

[표 6] DEA 모형에 사용되는 measure 별 수치 및 각 output performance

[표6]의 결과에서는 각 output performance별로 효율적인 DMU가 존재하나 **F×C×I**가 1인 DMU는 존재하지 않는다. 이는 각 output performance 별로는 최적 실례가 되는 DMU가 존재하나 전체적인 BSC의 시각을 고려할 때 최적 실례가 되는 DMU는 존재하지 않음을 의미한다.

위의 모형을 통해 기존의 3+3+4+3 = 13개의 측정지표가 3개의 측정지표로 줄어들게 되어 자료의 비교가능성이 높아지게 되었고, 각 단계별로 효율적인 DMU를 찾아내는 것이 용이하게 되었다.

Dual 모형을 이용하여 평가한 결과, 에 대하여는 DMU 12(9, 10, 11도 동일), 에 대하여는 DMU 14(5, 6, 13도 동일), 에 대하여

는 DMU 15(3, 7, 11도 동일)가 모든 DMU에 대해 각 output performance에서 참조(reference) 되는 DMU로 나왔다.

VI. 결론 및 추후 연구 방향

본 연구에서는 BSC를 활용하고 있는 조직들이 DEA 기법을 활용하여 3가지 측면에서 다른 조직과의 상대적 효율성을 발견할 수 있는 방법을 제안하였으며, 실제 BSC를 효율성 측정 모형에 적용하는 방법 및 결과를 분석하는 방법을 보였다.

기존의 DEA를 이용한 연구들은 효율성의 측정과 관련 있는 입력과 출력을 통계적인 기법을 이용하여 찾아낸 후 하나의 DEA 모형을 이용하여 효율성을 단일 지수로 표시하는 것을 강조하고 있다. 본 연구의 CDB는 조직에 대한 4가지 요소들 간의 인과 관계를 고려한 효율성을 측정할 수 있는 방법을 제시하였다.

또한, DEA기법에서 효율성 있는 DMU가 입력 및 출력의 개수와 비례하게 증가하여 DMU가 다수 존재할 경우의 효율성을 측정하는데 사용해야 한다는 특징이 있으나, 세 output performance 전체에 대해서 고려하게 될 경우 각 시각이 인과관계로 연결이 되므로 실제로 모든 output performance가 효율적인 DMU는 상대적으로 줄어들게 되어 상대적으로 적은 수의 DMU 분석에서도 사용될 수 있음을 보였다.

CDB가 사용되기 위해서는 몇 가지 갖추어야 할 조건이 있다. 첫번째, 선형 계획법을 사용해야 하므로 조직에서 사용하는 BSC가 정량적인 측정지표를 사용해야 한다. 두 번째, 재무적인 측면이 상대적으로 강조되며 나머지 시각의 비중에 대하여 경영진의 영향을 크게 받는 영리 조직보다는, 본 연구에서 언급한 예와 같은 4가지 시각을 고루 강조하는 비영리 조직이 분석을 사용하는 데 알맞을 것으로 생각된다.

실제 BSC를 활용하는 환경에서는 categorical variable이나 ordinal variable에 속하는 측정지표들이 많을 것으로 사료되나 본 연구에서는 이러한 변수를 포함한 BSC-DEA에 대하여는 고려하지 않았고, 또한 DEA를 적용할 것을 BSC 구축에서부터 고려한 모델이 아니므로 측정지표들 간의 상관관계와 이러한 상관관계를 처리하는 방법에 대해서 고려하지 못했으며 이에 대한 연구도 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

[백경민 2001] 백경민, DEA를 이용한 우정사업 경영상과 평가모형에 관한 연구, 석사연구, 서울대학교 경영학과, 2001년 2월

[신정호 2000] 신정호, DEA를 이용한 생명보험회사의 효율성 측정에 관한 연구, 석사연구, 서울대학교 경영학과, 2000년 2월

[이명호 2001] 이명호, 이우형, 손성혁 인터넷 벤처비즈니스 평가체계에 관한 연구, [한국경영과학회지], 제26권 제3호(2001), pp.21-37

[이영용 2001] 이영용 정보통신 투자와 경쟁도입의 생산성 효과에 관한 실증 분석, 박사연구, 서울대학교 산업공학과, 2001년 2월

[Bontis 1999] Bontis, Nick, Nicola C. Dragonetti, Kristine Jacobsen and Gran Roos, The knowledge toolbox: a review of the tools available to measure and manage intangible resources, European Management Journal 17(4): 391-402, 1999

[CooperB 1999] Cooper, William W., Lawrence M. Seiford, Kaoru Tone, Data envelopment analysis : a comprehensive text with models, applications, references, and DEA-Solver software. (Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 1999)

[Cooper 1999] Cooper, William W., Kyung Sam Park, Gang Yu, IDEA and AR-IDEA: models for dealing with imprecise data in DEA, Management Science 45(4):597-608, 1999

[DOE 2001] Balanced Scorecard (BSC) Home Page, <http://professionals.pr.doe.gov/ma5/MA- 5Web.nsf/Business/Balanced+Scorecard?OpenDocument> (9 November 2001)

[Dyson 2000] Dyson, R. Robert, Strategy, performance and operational research, Journal of the Operational Research Society 51(1): 5-11, 2000

[Emrouznejad 1995] Emrouznejad, A., "Ali Emrouznejad's DEA HomePage", <http://www.deazone.com/tutorial/index.htm> (24 October 2001)

[Kaplan 1992] Kaplan, Robert S., David P, Norton, The balanced scorecard- measures that drive performance, Harvard Business Review 70(January-February): 7179, 1992

[PEA 1999] Procurement Executives' Association, Guide to a Balanced Scorecard Performance Management Methodology, <http://oamweb.osec.doc.gov/bsc/guide.htm> (9 November 2001)

[Ritchie 1996] Ritchie, P. C., J. E. Rowcroft, Choice of metric in the measurement of relative productive efficiency, International Journal of Production Economics 46-47: 433-439, 1996

[SAP99] Norton, David, The Balanced Scorecard Collaborative. Inc., SEM Product Management, SAP AG, Translating Strategy into Action: The Balanced Scorecard [Whitepaper on-line]; available from http://www.sap.com/solutions/ financials/keycapabilities/sem/brochures.asp