

DEA와 BSC 기법을 이용한 조직 효율성 비교에 대한 연구

김범수* · 장태우** · 신기태*** · 박진우****

*한국씨티그룹캐피탈㈜ · **한국전자통신연구원 · ***대진대학교 산업시스템공학과 · ****서울대학교 산업공학과

A Combined DEA-BSC methodology for evaluating organizational efficiency

Bum-Soo Kim* · Tai-Woo Chang** · Ki-Tae Shin*** · Jin-Woo Park****

*Citigroup Capital Korea · **ETRI · ***Daejin University · ****Seoul National University

The balanced scorecard(BSC) overcomes the limit of traditional financial statement that focuses on only financial performance. BSC is widely used in government and industry because of the clear representation of the relationship and logic between the key performance indicators(KPI) of 4 perspectives - financial, customer, internal process, and learning and growth. However, traditional BSC does not consider evaluating the difference between the results measured by BSC. By using relatively small number of inputs and outputs in comparing decision-making units, data envelopment analysis(DEA) can aggregate multiple performance measures.

In this research, we propose a methodology named CDB(Combined DEA and BSC) to evaluate the performance of organization considering financial and non-financial perspectives. CDB uses KPI of cause-and-effect relationship on BSC as inputs and outputs of DEA method. In addition, this research proposes a method of converting the KPI of BSC to the input and output variables of DEA, and enhancing discrimination power using the limit number of variables. We illustrate the methodology by giving an example of evaluating aquisition-unit efficiency in a supply chain.

Keywords : Balanced Scorecard(BSC), Data Envelopment Analysis(DEA), Organizational Efficiency Evaluation

1. 서 론

산업화시기에 기업의 성과측정을 위해 사용되던 전통적인 재무적 정보만으로는 현재의 바뀐 기업 환경에서 사용하기에 충분하지 않다는 인식 아래, 미래 조직의 성과측정 시스템으로서 BSC(Balanced Scorecard)가 제안되었다[11]. BSC는 그 후 기업의 성과 측정 및 정부의 예산을 사용하는 조직의 성과 측정을 위한 도구로서 적용영역을 넓히게 되었으며[12], 현재 단일 기업의 성과 측정뿐만 아니라 특정 산업의 성과에 대한 범용적인 측정 도구로도 활용되고 있다[4].

조직의 목적과 이에 대한 측정 기준을 제공하는 BSC의 경우 다수의 성과 측정 기준을 포함하게 된다. 통합

된 결과를 만드는 전통적인 방법은 다중속성 효율함수를 이용하거나 가중 목적함수를 이용하는 것으로서 이러한 기법의 경우, 고정된 가중치나 모수를 사용하는 것이 일반적이었다[8].

고정된 가중치나 모수를 사용하여 효율성을 측정할 경우, 비교 대상이 되는 각 의사결정 단위(decision making unit; 이하 DMU) 모두를 만족시킬 수 있는 객관적인 수치를 결정하기 어렵다는 문제와 각 DMU별로 자원을 활용하기 위한 조직화의 특성을 반영하기 어렵다는 문제가 발생하였으며, 이에 대한 대안으로 고정되지 않은 가중치를 사용하는 DEA(Data Envelopment Analysis)가 제시되었다. DEA는 조직의 효율성 측정이나, 서열 결정 및 대안 선택 등에 활용되고 있는 기법으로, 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 DEA는 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 및 출력 변수를 사용하거나 다수의 DMU 비교에 사용하거나 가중치 자체에 제한을 두는 것이 일반적인 해결책으로 제시되고 있다[9].

본 연구는 이러한 효율성 측정에 사용되는 DEA 기법에 조직의 전략적 성과 측정 시스템인 BSC에 포함된 정량적인 측정 기준과 네 가지 시각을 활용하여, 조직의 내부 및 외부에 포괄하는 효율성 비교 기법(Combined DEA & BSC methodology; 이하 CDB)을 제공하는 것을 목적으로 한다. 또한, DEA 모형에서는 입력 및 출력의 개수가 증가함에 따라 효율적인 것으로 평가되는 DMU가 증가되어 DMU간의 효율성을 비교하기 힘들어지는데, BSC의 네 가지 시각을 고려하는 DEA 모형을 이용하여 소수의 DMU 분석에서 DEA 분석을 이용할 수 있는 기법을 제공한다. 그리고 비교에 사용하기 어렵다는 BSC의 단점을 극복하여, BSC를 효율성 비교 도구로서 사용할 수 있는 기법을 보인다. 이를 위해 본 연구는 기구화된 BSC의 자료를 사용하고, 기구화된 BSC에 포함된 측정 기준을 DEA에 적용할 수 있도록 변수를 변환하는 방법을 언급하며, BSC에서 일반적으로 고려되는 측정 기준간의 인과관계를 고려하여 DEA의 효율성 비교 모형을 구성하는 방법을 설명한다.

제시한 방법론의 적용 가능성을 보이기 위해 공급사슬 상의 구매 담당 부문의 효율성 비교 문제에 CDB를 적용한 사례를 제안한다. 측정된 효율성은 효율성이 측정된 DMU 간에 벤치마킹할 수 있는 최적 사례를 찾아내는 데 사용될 수 있으며, 이를 통해 각 DMU의 개선 방향을 찾아내는 데 사용될 수 있다.

다음 2절에서 본 연구와 관련된 기법과 기존 연구에 대하여 살펴보고, 3절에서 본 연구의 효율성 비교 기법을 적용할 문제를 정의한다. 해당 문제를 해결하기 위한 방법론과 적용한 결과를 4절과 5절에서 제시한 후, 6절에서 결론 및 추후 연구과제를 제시한다.

2. 관련 연구

효율성 측정이론에서 고려되는 방법론은 비율의 추이를 분석하여 효율성을 평가하는 ratio analysis approach, 산출에 대한 투입 등을 고려하여 지수를 내는 productivity

index approach, 생산 및 비용함수를 이용하는 multi-product cost function approach 등이 있다[1,2]. 하지만 이러한 방법들은 각각 비율지표 간의 가중치가 주관적으로 결정되거나 규모의 경제를 포함하기 힘들고 다수의 산출 및 투입을 동시에 고려하기 힘들거나 비용함수 자체를 가정하는 등의 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 입력 및 출력의 가중치 결정에 주관성이 포함되지 않고 규모의 경제를 포함할 수 있는 모형으로 다수의 투입과 산출을 고려할 수 있는 DEA 모형과, 균형 잡힌 성과 지표를 고려하기 위하여 BSC 기법을 이용하기로 하고, 아래에서 두 가지 기법에 대해 간략히 설명한다.

2.1 DEA 기법

DEA는 선형계획법에 기반을 둔, 조직(organizational units, DMU)의 상대적인 효율성을 측정하기 위한 기법이며[10], 확정적이며 비모수적인 접근 방법이다[15]. DEA는 입력과 출력에 대한 가중치 정보를 구할 수 없거나 알려지지 않은 상태에서 DMU간의 상대적 효율성을 측정하기 위한 기법으로 제안되었으며, 상대적으로 유사한 성격을 지니는 지방 자치단체나, 학교, 병원, 은행, 산업군에 대한 효율성 측정[3,6,16,18,20], 서열 결정 및 대안 선택 등을 위해 사용되었다[13,17,19,21].

일반적으로 상대적 효율성을 측정하기 위한 방법으로 가중 평균을 이용하는 기법이 있는데, DMU를 평가하기 위해 입력과 출력의 가중 평균치를 이용한다. 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 선택하도록 제안하였고, 이것이 DEA의 시초가 된다.

DEA 기법은 결과를 하나의 지수로 종합화하는 것이 가능하고, 효율적인 집단을 기준으로 상대평가가 이루어지므로 실현 가능한 목표치의 설정이 가능하며, 가중치의 주관적 결정이 불필요하고, 구체적인 생산함수에 관한 정의가 불필요하다는 장점을 가지고 있다. 하지만, 측정 가능한 투입과 산출이 포함되어야 한다는 점과, 모형의 특성상 동질적인 자료들을 필요로 하며, 모든 잔차가 비효율로만 구성된다고 가정하며, 단일 계층의 입력력만 고려하므로 내재적인 비효율성의 파악이 힘들다는 단점이 있다[10].

2.2 BSC 기법

BSC는 Kaplan과 Norton에 의해 제안된 전략적 관리 시스템이다[12]. BSC는 재무적 측정치가 조직을 관리하는데 충분하지 않다는 점에 주목하고, 이러한 기업의 과거 및 미래 효율성과 관련된 성과 측정지표를 포함하여 회사의 비전과 전략을 구현하기 위한 스코어카드(scorecard)로써 제시되었다[11].

BSC는 재무(finance), 고객(customer), 내부 업무처리(internal business process) 및 학습과 성장(learning and growth)의 네 가지 시각(perspective)으로 구성된다. BSC는 장기적 목표와 단기적 목표, 재무적 측정지표와 비재무적 측정지표, 후행지표와 선행지표, 성과에 대한 외부적인 시각과 내부적 시각간의 균형을 강조한다. 또한 관리를 위해 측정이 필요하다는 점을 강조하며, 기존의 재무적 측정과 함께 정보 및 고객 및 내부 프로세스, 종업원의 성과를 고려할 수 있는 성과 측정 시스템으로서 제안되었다.

BSC의 목적과 측정지표는 기업의 비전과 전략으로부터 도출되는데, 이 목적은 각각 네 가지 시각에 속하게 되며 실제로 구축된 전체적인 BSC는 20~25여 개의 측정지표로 이루어지게 된다. 특정 전략에 대한 측정지표들을 관리하기 위해서는 목적과 측정지표 간의 관계 정의가 필요하고, 이러한 인과관계들은 BSC의 네 시각에 모두 걸쳐있게 된다.

BSC의 측정지표를 전략과 연결시키는 데는 인과관계(cause-and-effect relationship), 성과 유인(performance drivers), 재무지표와의 연결(linkage to financials)의 세 가지 원칙이 필요하다. 각 원칙은 측정지표와 성과 유인간의 인과관계가 명확하게 정의되어서 모든 측정지표가 인과관계 사슬 상의 한 요소가 되어야 함을 의미하며, 후행지표로서의 결과 값과 선행지표로서의 성과 유인의 배합이 적절해야 하며, 모든 측정지표들은 재무적 시각과 연결되어 있어야 함을 의미한다.

본 연구에서는 DEA 기법을 이용하여 구매 담당 조직의 효율성 평가를 수행할 때, 미국 PEA(Procurement Executives' Association)의 지원으로 만들어진 BSC에서 입력과 출력에 포함될 측정지표를 차용하기로 한다.

3. 문제 정의

본 연구에서 제시하는 CDB는 정량적인 핵심성과지표(KPI : key performance indicators)로 구성된 BSC를 조직의 효율성 비교에 사용하는 방법이다. 방법론의 적용 가능성을 보이기 위해 공급사슬 상의 구매 담당 부문의 효율성 비교 문제에 CDB를 적용한 사례를 보인다. 구매

담당 부분이 갖추어야 할 전략과 측정지표는 정부의 구매 담당 부문과 관련된 PEA BSC의 것을 이용하기로 한다. 구매 담당 부문과 관련하여 전략에 대한 BSC의 목적함수와 측정지표에 대해 PEA는 <표 1>과 같이 정리하였다[14].

<표 1> PEA BSC의 목적 및 측정지표

재무	<ul style="list-style-type: none"> - 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
고객	<ul style="list-style-type: none"> - 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
내부 업무처리	<ul style="list-style-type: none"> - Acquisition Excellence 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
학습 및 성장	<ul style="list-style-type: none"> - 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

재무 시각과 관련된 측정지표를 포함하는 벡터를 f , 고객은 c , 내부 업무처리는 i , 학습과 성장은 l 이라 하면 각 측정지표와 시각간의 관계는 $f_{original}(f_1, f_2, f_3)$, $c_{original}(c_1, c_2, c_3)$, $i_{original}(i_1, i_2, i_3, i_4)$, $l_{original}(l_1, l_2, l_3)$ 과 같이 표시된다.

<표 1>의 BSC에 대하여 DEA 기법을 이용한 분석을 위해서는 몇 가지 가정이 필요하다. 첫째, l_0 의 경우 구체적인 측정 단위가 제시되어 있지 않은 측정지표이므로 본 모형에서는 고려하지 않는다. 둘째, 인과관계의 경우 f 와 c , c 와 i , i 와 l 간에만 인과관계가 존재하는 것으로 가정한다. 분석의 대상이 되는 BSC 자료에는 인과관계가 상세하게 나타나 있지 않으며, f 와 i , c 와 l 과 같은 인과관계가 존재할 수도 있으나, 이러한 경우 원인이 되는 측정지표를 선택하여 결과가 되는 시각 효율성 모형에 추가하면 되므로 이 문제에 대해서도 깊이 다루지 않기로 한다. 또한, 모형과 관련된 수치 자료의 경우,

1995년부터 2000년까지의 실제 자료가 존재하나[5], DEA 분석에 사용하기에는 자료의 개수가 적은 관계로 가상의 DMU를 구성하여 분석하기로 한다.

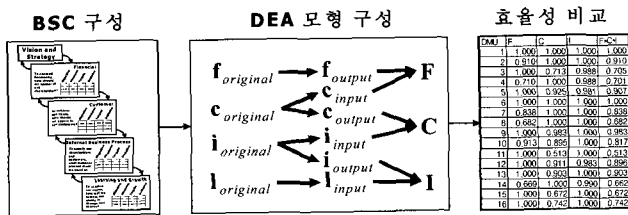
4. CDB 방법론

4.1 개요

DEA를 이용한 기존의 연구들은 단일 계층의 출력과 입력을 이용하므로, 비교하는 DMU의 단편적인 측면만을 고려하게 되며, 위에서 언급한 바와 같이 그러한 출력을 만들어내게 된 내부적인 효율성을 측정할 수 없다는 한계가 있다. 또한, 전략의 실행을 위해 선택된 조직의 성과 측정지표에 따라 조직의 행동양식이 영향을 받으므로 조직의 효율성 측정을 위해서는 전략의 관점에서 측정이 되어야 정확한 결과를 찾아낼 수 있다[9].

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, 고객, 내부 업무처리, 학습과 성장의 인과관계를 입출력 관계로 대응하여 효율성을 측정하는 모형을 제안한다.

BSC 개념을 이용한 DEA 기반의 조직 효율성 비교 기법인 CDB는 문제에 대하여 다음과 같은 순서로 접근하며, 이를 그림으로 나타내면 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 제시된 CDB 방법론의 순서

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 모형에 적합하도록 입출력 변수들을 가공
3. 자료를 DEA 모형에 적용해 효율성 비교 결과 도출
 - 3.1. DEA 모형에 적용
 - 3.2. 결과 도출

4.2 분석 절차

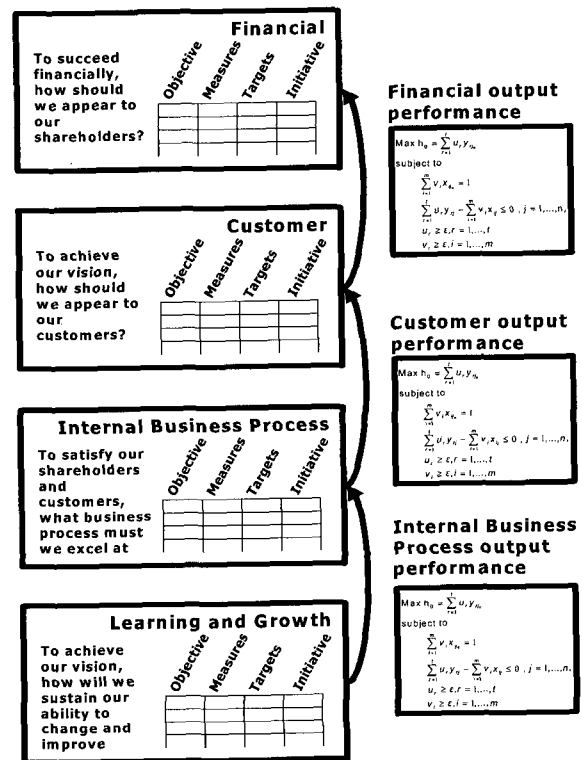
전략과 관련된 측정지표를 포함하여 BSC를 구성하는

첫 번째 단계는 기 구축된 BSC를 이용하기로 가정하였으므로, 두 번째와 세 번째 단계를 중심으로 살펴본다.

(1) 효율성 비교를 위하여 DEA 모형을 구성

먼저 BSC의 네 시각과 인과관계의 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 세 가지 구축할 수 있게 된다(<그림 2>). 세 모형은 출력을 중심으로 구성이 되므로 각각의 출력 성과를 재무 출력 성과 F, 고객 출력 성과 C, 내부 업무처리 성과 I로 부르기로 한다.

이렇게 시각과 인과관계를 고려한 후에 DEA 모형에 적합하도록 입출력 변수들을 가공해야 한다. DEA에 각 시각에 들어가는 측정지표들을 사용하기 위해서는 % 측정지표나 역관계(inverse relationship) 및 기타 변수에 대한 변환을 필요로 한다. 일관적인 DEA 분석 결과가 나오기 위해서는, 입력은 적을수록 효율적이고 출력은 클수록 효율적이며, % 측정치를 고려할 때 출력 성과는 입력의 최소화가 아니고 출력의 최대화라는 점을 고려한 모형이 필요하다. 이와 같이 고려하면 다음과 같은 순서에 따라 출력과 입력에 대한 변수를 차례대로 변환하게 된다.



<그림 2> 인과관계를 고려한 DEA 모형 구성

DMU	F	C	I	F-C-I
11	1.000	1.000	1.000	1.000
21	0.910	1.000	1.000	0.910
3	1.000	0.713	0.888	0.705
4	0.710	1.000	0.888	0.701
5	1.000	0.925	0.888	0.807
6	1.000	1.000	1.000	1.000
7	0.888	1.000	1.000	0.888
8	0.682	1.000	1.000	0.682
9	1.000	0.883	1.000	0.883
10	0.910	0.855	1.000	0.917
11	1.000	0.513	1.000	0.513
12	1.000	0.211	0.882	0.882
13	1.000	0.202	1.000	0.802
14	0.659	1.000	0.990	0.652
15	1.000	0.672	1.000	0.672
16	1.000	0.745	1.000	0.745

1. 출력이 % 측정치이면 값을 분자와 분모로 구분
2. 분자와 분모로 구분된 출력이 isotonic한 결과를 표시할 경우, 해당 단계 출력 성과의 출력에 분자를 포함하며 입력에 분모를 포함
3. 분자와 분모로 구분된 출력이 anti-isotonic한 결과를 표시할 경우, 해당 단계 출력 성과의 출력에 분모를 포함하며 입력에 분자를 포함
4. volume measure인 출력이 anti-isotonic한 결과를 표시할 경우, 해당 단계 출력 성과의 출력에서 제거하며, 입력에 포함
5. 입력이 % 측정치이면 값을 분자와 분모로 구분
6. 분자와 분모로 구분된 입력이 isotonic한 결과를 표시할 경우, 해당 단계 출력 성과의 입력에 분자를 포함
7. 분자와 분모로 구분된 입력이 anti-isotonic한 결과를 표시할 경우, 해당 단계 출력 성과의 입력에 분모를 포함
8. volume measure인 입력이 anti-isotonic한 결과를 표시할 경우, 해당 단계 출력 성과의 입력에서 제거하며, 출력에 포함

기타 지수(index) 및 서열(ranking)과 관련된 변수의 처리는 본 연구의 범위를 벗어나며 관련 자료는 [7]을 참고하면 된다. 또한, [9]에는 모형 구축에 대한 기본 가정 및 지수나 서열, 비율 값 또는 정규화된 값들의 변환에 대한 입출력 변수들의 변환과 모형 구축 시 문제점의 해결방법이 좀 더 자세히 언급되어 있다.

원 자료 $f_{original}$, $c_{original}$, $i_{original}$ 및 $l_{original}$ 의 경우, 각 출력 성과에 고려되기 위해서는 적절한 자료의 변환을 필요로 한다. 예로, 재무 출력 성과를 계산할 경우, 출력으로 고려되는 재무적 시각이나 입력으로 고려되는 고객 시각에 % 측정치로 표시된 값이 존재할 수 있으며, 이러한 값은 DEA 모형에서 적용될 경우 잘못된 결과를 도출할 수 있다. 이에 대한 해결 방법으로는 % 측정치를 분자와 분모로 분해한 다음, 기존의 모형의 입력과 출력에 적용하는 것이 사용된다. 즉, 원 자료들은 각각이 DEA 모형의 출력으로 사용될 때와 입력으로 사용될 때를 구분하여 변환되어야 한다는 것을 의미한다.

모형의 변화에 따라 원 자료에는 측정지표가 추가되거나 제거되어 출력을 위한 f_{output} , c_{output} , i_{output} 와, 입력을 위한 c_{input} , i_{input} , l_{input} 로 변환된다. 변환된 자료는 재무 출력 성과 F 의 계산에 대해서는 f_{output} 와 c_{input} , 고객 출력 성과 C 에 대해서는 c_{output} 와 i_{input} , 내부 업무처리 성과 I 에 대해서는 i_{output} 와 l_{input} 이 사용된다.

(2) DEA 모형에 적용하여 효율성 비교 결과 도출

자료 변환이 완성되면 DEA 모형에 적용한다. 각 시각을 표시하는 벡터는 각 DEA 모형의 입출력으로 포함된다. 적용한 결과 도출하기 위해 본 방법론에서는 DEA의 효율성 측정지표를 중심으로 계산하며, 가능해가 영향을 받지 않는 범위 내에서 ϵ 을 이용하여 판별력(discrimination) 문제를 해결한다.

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

4.3 효율성 분석

각각의 출력 성과 F , C 와 I 에서 효율적으로 평가되는 DMU를 약우세(weak domination) DMU이라고 부르기로 하고, 약우세 DMU들 중에서 출력 성과 F , C 와 I 가 모두 1인 DMU가 존재할 경우에 해당 DMU를 강우세(strong domination) DMU라고 부르기로 한다.

(1) 강우세 DMU가 존재하지 않는 경우

출력 성과 F , C 와 I 가 모두 1인 DMU가 존재하지 않을 경우에는 강우세 DMU는 존재하지 않고 각 출력 성과에 대해 약우세 DMU들만이 존재하게 된다.

출력 성과 F 와 C 의 경우, F 의 입력 c_{input} 과 C 의 출력 c_{output} 은 상당 부분 동일한 측정지표를 사용하게 되므로 특정 DMU j_0 의 C 가 1로 평가되었다고 가정할 경우, 이는 해당 DMU가 다른 것에 비해 큰 c_{output} 를 가지게 된다는 것을 의미하고 c_{input} 또한 큰 값을 가지게 된다는 것을 의미한다. DMU j_0 의 F 가 1이 되기 위해서는 상대적으로 큰 값을 가지는 c_{input} 에 알맞도록, 다른 DMU에 비해 큰 f_{output} 값을 가져야 된다는 것을 의미한다. 또한 BSC의 고객 시각에 대하여 효율적으로 평가를 받은 조직이 재무적 시각에서도 효율적으로 평가받기 위해서는 효율적인 고객 시각을 활용하여 재무적 시각에서도 더 나은 결과를 나타내야 함을 의미한다고 할 수 있다.

F 와 C 의 예와 마찬가지로 C 와 I 에도 동일 관계가 성립하므로, 비교대상이 된 DMU들 중에 F , C 와 I 가 모두 효율적으로 평가되는 것이 없을 수 있게 된다.

이러한 경우, 각 출력 성과에서 1로 평가되는 약우세 DMU는 해당 시각에 대하여 최적 사례가 되며, 해당 DMU의 시각에 대하여 벤치마킹의 대상이 될 수 있다.

<표 2> 성능평가 측정지표의 변환

변수	변환된 변수
f_1	c_4 : administrative cost f_1' : total spending
f_2	f_2
f_3	c_5 : penalty f_1' : total spending
c_1	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 i_5 : total customer
i_1	i_1' : # of protest sustained by GAO and COFC l_4 : # 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

(2) 강우세 DMU가 존재하는 경우

출력 성과 F , C 와 I 가 모두 1인 DMU가 존재할 경우에는 각 출력 성과에 대해 약우세 DMU들이 존재하고, 강우세 DMU들도 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 측정지표 개수가 많을 경우, 효율적인 DMU의 개수 또한 증가할 수 있음을 의미한다.

이와 같이 효율적인 DMU가 다수 존재하여 약우세 DMU의 개수가 많아질 경우에도, 4.3절의 (1)에서 언급

한 F 와 C , C 와 I 간의 관계로 인하여 강우세 DMU는 상대적으로 소수 존재하게 된다.

그러므로 효율적인 DMU가 많을 경우에는 출력 성과 F , C 와 I 를 개별적으로 고려하지 않고, F , C 와 I 가 모두 1인 강우세 DMU는 비교 대상이 되는 DMU에 대해 모든 시각에서 최적 사례가 되며, 강우세 DMU 전체가 벤치마킹의 대상이 될 수 있다.

(3) 원모형(Primal model)과 쌍대모형(Dual model)

쌍대모형을 구성하여 계산을 하면 효율적으로 평가되는 DMU-efficiency는 자신을 나타내는 λ 가 1이 되며, 효율적이지 않은 것으로 평가되는 DMU-inefficiency는 1이 아닌 λ 가 2개 이상 존재하게 된다.

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

5. 실험 및 결과

적용 예시로 사용된 PEA BSC 경우, DEA기법에 적용되기 알맞도록 대다수의 측정기준이 수리적인 측정지표였다. 본 연구에서는 DEA 분석을 위하여 ILOG CPLEX 7.0과 OPL Studio 3.1을 이용하였으며, DEA 모형을 직접 입력하여 실험하였다.

5.1 BSC 구성

모형 검증을 위해 <표 1>에 제시된 BSC를 사용한다.

5.2 DEA 모형의 구성

원 자료의 측정지표들을 DEA 모형에 사용할 수 있도록 변환한 방법은 <표 2>와 같다. 비율로 측정되는 지표인 경우 각각 분자와 분모로 나누어 변환하였다. 예로, 품질에 만족하는 고객의 비율(c_2)은 품질에 만족하는 고객의 수(c_2')를 전체 고객 수(i_5)로 나눈 수치라는 의미이다. 학습과 성장에 대한 측정지표의 경우 모든 분모가 총 종업원 수로 같으므로 분자로 단순 변환하였다.

5.3 결과 도출

(1) DEA 모형에 적용

DMU j_0 에 대해 DEA에서 사용되는 출력과 입력을 각

각 y_{j_0} , x_{j_0} 라 하고, BSC의 각 측정지표별 변환을 고려하면 각 시각을 표시하는 벡터는 <표 3>과 같은 값을 이용하여 출력 성과를 측정하게 된다.

(2) 결과 도출

위의 절차를 이용하여 만들어진 모형에 각 시각별로 열등한 상태와 우수한 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.

<표 3> 각 출력 성과에 사용되는 벡터

출력 성과	벡터 입출력
F	$y_j = f_{output} (f_1', f_2)$ $x_i = c_{input} (c_1', c_2', c_3', c_4, c_5)$
C	$y_j = c_{output} (c_1', c_2', c_3')$ $x_i = i_{input} (i_1', i_2, i_3', i_4', i_5)$
I	$y_j = i_{output} (i_1', i_2, i_3', i_4')$ $x_i = l_{input} (l_1', l_2', l_3', l_4, l_5, l_6)$

<표 4> DEA 모형에 사용되는 측정지표별 수치

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

원 자료의 측정지표에 대한 값으로 자료를 구성하고, f_1' , i_1' , i_3' , i_5' , l_6 및 총 종업원 수에 대하여 비교 편의를 위해 각 1000, 10, 100, 10, 5로 가정하면 <표 4>와 같이 변환되며, 출력 성과 계산에 사용되는 각 시각별 값 및 이에 대한 DMU의 효율성을 정리하면 <표 5>와 같다.

<표 5> DEA 모형에 사용되는 측정지표별 수치 및 각 출력 성과($\epsilon=0.0001$)

DMU	f	c	i	l	F	C	I	F×C×I
1	f_b	c_b	i_b	l_{b1}	0.970	0.500	0.999	0.484
2	f_b	c_b	i_b	l_{g1}	0.970	0.500	0.984	0.477
3	f_b	c_b	i_g	l_{b2}	0.970	0.499	1.000	0.484
4	f_b	c_b	i_g	l_{g2}	0.970	0.499	0.985	0.477
5	f_b	c_g	i_b	l_{b1}	0.490	1.000	0.999	0.489
6	f_b	c_g	i_b	l_{g1}	0.490	1.000	0.984	0.482
7	f_b	c_g	i_g	l_{b2}	0.490	0.999	1.000	0.489
8	f_b	c_g	i_g	l_{g2}	0.490	0.999	0.985	0.482
9	f_g	c_b	i_b	l_{b1}	1.000	0.500	0.999	0.499
10	f_g	c_b	i_b	l_{g1}	1.000	0.500	0.984	0.492
11	f_g	c_b	i_g	l_{b2}	1.000	0.499	1.000	0.499
12	f_g	c_b	i_g	l_{g2}	1.000	0.499	0.985	0.492
13	f_g	c_g	i_b	l_{b1}	0.988	1.000	0.999	0.987
14	f_g	c_g	i_b	l_{g1}	0.988	1.000	0.984	0.972
15	f_g	c_g	i_g	l_{b2}	0.988	0.999	1.000	0.987
16	f_g	$0c_g$	$0i_g$	$0l_{g2}$	0.988	0.999	0.985	0.972

$\epsilon=0$ 인 경우에는 특정 입력이나 출력의 가중치가 집중이 되는 현상이 발생하여, 모형의 판별력이 떨어지게 된다. 이에 ϵ restriction을 통해 문제를 해결하였으며, $\epsilon=0.0001$ 을 사용하여 결과를 구하였다.

결과를 보면, 최고의 효율성은 열등한 입력하에서 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.

<표 5>의 결과에서는 각 출력 성과별로 효율적인 DMU가 존재하나 $F \times C \times I$ 가 1인 경우 세 DMU는 존재하지 않는다. 이는 각 출력 성과별로는 최적 사례가 되는 DMU가 존재하나 BSC 전체적 시각을 고려할 때 최적 사례가 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 찾아내

는 것이 용이하게 되었다.

쌍대모형을 이용하여 평가한 결과, F에 대하여는 DMU 12(9, 10, 11도 동일), C에 대하여는 DMU 14(5, 6, 13도 동일), I에 대하여는 DMU 15(3, 7, 11도 동일)가 모든 DMU에 대해 각 출력 성과에서 참조되는 DMU로 나왔다.

6. 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.

기존 DEA를 이용한 연구들은 효율성의 측정과 관련된 있는 입력과 출력을 통계적인 기법을 이용하여 찾아낸 후 하나의 DEA 모형을 이용하여 효율성을 단일 지수로 표시하는 것을 강조하고 있다. 본 연구에서 제안한 방법론(CDB)은 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 출력 성과 전체에 대해서 고려하게 될 경우 각 시각이 인과관계로 연결되므로 실제 모든 출력 성과가 효율적인 DMU는 줄어들게 되어 상대적으로 적은 수의 DMU 분석에서도 사용될 수 있음을 보였다.

CDB가 사용되기 위해서는 몇 가지 갖추어야 할 조건이 있다. 첫째, 선형계획법을 사용해야 하므로 조직에서 사용하는 BSC가 정량적인 측정지표를 사용해야 한다. 둘째, 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 사료된다.

실제 BSC를 활용하는 환경에서는 범주형변수(categorical variable)나 순서변수(ordinal variable)에 속하는 측정지표들이 많을 것으로 사료되나 본 연구에서는 이러한 변수를 포함한 DEA-BSC에 대하여는 고려하지 않았고, 또한 DEA를 적용할 것을 BSC 구축에서부터 고려한 모형이 아니므로 측정지표들 간의 상관관계와 이러한 상관관계를 처리하는 방법에 대해서 고려하지 못했으며 이에 대한 연구가 추가적으로 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 백경민; “DEA를 이용한 우정사업 경영성과 평가모형에 관한 연구”, 석사학위논문, 서울대학교, 2001.
- [2] 신정호; “DEA를 이용한 생명보험회사의 효율성 측정에 관한 연구”, 석사학위논문, 서울대학교, 2000.
- [3] 윤석진 외; “은행 지점의 효율성 평가: DEA 모형을 이용한 분석 절차 및 사례 분석”, 한국경영과학회지, 26(3) : 29-52, 2001.
- [4] 이명호, 이우형, 손성혁; “인터넷 벤처비즈니스 평가 체계에 관한 연구”, 한국경영과학회지, 26(3) : 21-37, 2001.
- [5] Balanced Scorecard (BSC) Homepage, <<http://professionals.pr.doe.gov/ma5/MA-5Web.nsf/Business/Balanced+Scorecard?OpenDocument>>
- [6] Chandra, P., Cooper, W. W., Li, S., Rahman, A.; “Using DEA to evaluate 29 Canadian textile companies”, International Journal of Production Economics, 54(2) : 129-141, 1998.
- [7] Cooper, W. W., Park, K. S., Yu, G.; “IDEA and AR-IDEA : models for dealing with imprecise data in DEA”, Management Science, 45(4) : 597-608, 1999.
- [8] Dyson, R. R.; “Strategy, performance and operational research”, Journal of the Operational Research Society, 51(1) : 5-11, 2000.
- [9] Dyson, R. G., Allen, R., Camanho, A. S., Podinovski, V. V., Sarrico, C. S., Shale, E. A.; “Pitfall and protocols in DEA”, European Journal of Operational Research, 132(2) : 245-259, 2001.
- [10] Emrouznejad, A., Ali Emrouznejad's DEA Homepage, <<http://www.deazone.com/>>
- [11] Kaplan, R. S., Norton, D. P.; “The balanced scorecard-measures that drive performance”, Harvard Business Review, 70(1) : 71-79, 1992.
- [12] Kaplan, R. S., Norton, D. P.; The balanced scorecard : translating strategy into action. Harvard Business School Press, Boston, 1996.
- [13] Liu, J., Ding, F.-Y. and Lall, V.; “Using data envelopment analysis to compare suppliers for supplier selection and performance improvement”, Supply Chain Management, 5(3) : 143-150, 2000.
- [14] Procurement Executives' Association; Guide to a Balanced Scorecard Performance Management Methodology, <<http://oamweb.osec.doc.gov/bsc/guide.htm>>
- [15] Ritchie, P. C., Rowcroft, J. E.; “Choice of metric in the measurement of relative productive efficiency”,

- International Journal of Production Economics, 46-47 : 433-439, 1996.
- [16] Saha, A., Ravisankar, T. S.; "Rating of Indian commercial banks : A DEA approach", European Journal of Operational Research, 124(1) : 187-203, 2000.
- [17] Sarrico, C. S., Hogan, S. M., Dyson, R. G., Athanassopoulos, A. D.; "Data envelopment analysis and university selection", Journal of the Operational Research Society, 48(12) : 1163-1177, 1997.
- [18] Sarrico, C. S., Dyson, R. G.; "Using DEA for planning in UK universities", Journal of the Operational Research Society, 51(7) : 789-800, 2000.
- [19] Shafer, S. M., Bradford, J. W.; "Efficiency measurement of alternative machine component grouping solutions via data envelopment analysis", IEEE Transactions on Engineering Management, 42(2) : 159-165, 1995.
- [20] Al-Shammari, M.; "Optimization modeling for estimating and enhancing relative efficiency with application to industrial companies", European Journal of Operational Research, 115(3) : 488-496, 1999.
- [21] Shang, J. and Sueyoshi, T.; "A unified framework for the selection of a Flexible Manufacturing System", European Journal of Operational Research, 85(2) : 297-315, 1995.