

BSC/DEA를 활용한 기업 연구개발 프로젝트 성과평가*

전익진¹ · 이학연^{2†}

¹서울과학기술대학교 IT정책전문대학원, ²서울과학기술대학교 글로벌융합산업공학과

Performance Evaluation of Private R&D Projects using BSC/DEA

IkJin Jeon¹ · Hakyeon Lee^{2†}

¹Graduate School of Public Policy and Information Technology,

Seoul National University of Science and Technology

²Department of Industrial and Systems Engineering,

Seoul National University of Science and Technology

■ Abstract ■

This paper proposes a R&D project performance measurement model for private firms combining balanced scorecard (BSC) and data envelopment analysis (DEA). The efficiency of R&D projects is measured in terms of each of the three perspectives of BSC by using DEA : the internal process perspective (DEA-P), the customer perspective (DEA-C), and the financial perspective (DEA-F). The performance indicators of the three perspectives of BSC are considered as outputs of the corresponding DEA models. To provide strategic implications for R&D planning, we also propose the R&D project performance matrices composed of two different types of efficiency dimensions. The proposed model is expected to be fruitfully utilized for R&D performance measurement of private firms.

Keywords : R&D Performance, R&D Efficiency, Balanced Scorecard(BSC), Data Envelopment Analysis(DEA)

논문접수일 : 2017년 03월 06일 논문게재확정일 : 2016년 05월 16일

논문수정일 : 1차(2017년 04월 16일), 2차(2017년 05월 16일)

* 이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다(2016-1235).

† 교신저자, hylee@seoultech.ac.kr

1. 서론

현재의 지식기반 사회에서 R&D는 기술혁신을 창출하는 핵심 활동으로 인식되고 있다[20]. 기업의 R&D 투자가 기업 경쟁력을 향상시키고 기업 가치를 증대시켜 지속성장을 가능하게 하는 핵심 요인으로 인식됨에 따라, 대기업은 물론 R&D를 수행하는 중소기업의 수는 지속적으로 증가하고 있다. 기업의 R&D 활동은 궁극적으로는 기업의 경영성과 촉진을 목적으로 하므로, R&D 투자가 기업의 경영성과, 즉 전략과 비전에 얼마나 영향을 주었는지에 대해 명확한 성과평가가 이루어져야 한다. 그러나 공공 R&D 프로젝트에 대한 성과평가 연구는 활발히 이루어져 온 반면, 기업 R&D 프로젝트의 성과평가 연구는 상대적으로 미진한 수준이다. 본 연구에서는 기업 R&D 프로젝트의 성과평가를 위해 균형성과표(balanced scorecard; 이하 BSC)와 자료포락분석(data envelopment analysis; 이하 DEA)을 활용한 모형을 제시한다.

Kaplan and Norton[21]에 의해 제안된 BSC는 지금까지도 많은 기업에서의 경영 성과 측정 및 관리에 활용되고 있다. BSC는 기업의 비전과 전략을 달성하기 위한 평가지표로서 기존의 재무적 관점과 더불어 비재무적 관점의 성과지표를 추가하여 균형 잡힌 평가가 이루어지게 하는 도구이다. 최근 들어 BSC는 R&D 프로젝트 성과평가에도 많이 활용되고 있으며, BSC의 네 가지 관점은 원인과 영향으로 연결되어 R&D 성과의 달성 여부를 평가하는데 유용한 도구로 활용될 수 있다[18]. 그러나 BSC 성과지표만을 활용한 R&D 프로젝트 평가는 성과의 다양한 측면 중 효과성 측면에만 치우친다는 한계가 있다. 기업의 R&D 투자 규모가 지속적으로 증가함에 따라 투자의 효율성을 확보하는 것이 R&D 관리의 최우선 목표로 인식되고 있음에도 불구하고, BSC만으로는 효율성 관점에서의 성과 평가가 불가능하다. 따라서 R&D 프로젝트의 성과평가에 있어서 R&D 활동에 투입된 자원 대비 결과를 고려한 효율성 측면의 평가 방법론 개발이 요구된다.

이러한 이유로 최근 들어 R&D 평가에 있어서 효율성 측면을 고려하기 위해 DEA를 활용하려는 시

도가 활발히 이루어지고 있다. DEA는 복수의 투입 요소와 출력요소를 바탕으로 의사결정단위(decision making unit; 이하 DMU)의 상대적 효율성을 측정하기 위한 선형계획법 모형이다[13]. DEA는 다양한 투입 및 산출 변수를 고려하되, 변수별 가중치를 고정할 필요가 없을 뿐만 아니라 투입과 산출의 관계를 특정 함수 형태로 정의하지 않아도 된다는 장점으로 인해 다양한 주체의 R&D 효율성 평가에 널리 활용되고 있다[2, 28].

한편, BSC와 DEA의 장점을 모두 활용하고자 BSC 프레임워크와 DEA 기법을 결합한 성과평가 모형이 최근 주목을 받고 있다. BSC로부터 성과변수를 도출하여 DEA를 적용함으로써, 재무적 성과뿐만 아니라 다양한 관점의 성과를 고려하여 균형적인 관점에서 효율성을 측정할 수 있다[4]. 이러한 장점으로 인해 서비스 산업의 기업 또는 지점의 효율성 비교에 BSC/DEA를 활용한 성과평가가 활발히 적용되고 있으나, R&D 성과평가 측면에서의 연구는 미미한 수준이다. 그러나 R&D의 성과가 재무적인 성과로 나타나기까지는 상당한 시간이 소요될 뿐만 아니라, 장기적인 관점에서의 내부 프로세스 개선 및 고객 만족도 향상 역시 R&D의 주요 목적이라고 할 수 있으므로, 균형적인 관점에서 R&D의 효율성을 측정하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 BSC와 DEA를 결합하여 기업 R&D 프로젝트의 효율성을 다양한 관점에서 측정하는 성과평가 모형을 제시한다.

본 연구에서 제시하는 BSC/DEA 모형은 BSC의 네 가지 관점 중 학습과 성장 관점을 제외한 세 가지 관점을 기준으로 효율성을 측정한다. 투입변수로는 동일한 변수를 활용하되, 산출변수로써 각 관점의 핵심지표들을 활용하여 세 가지 유형의 DEA 효율성 점수를 측정한다. 사례연구로써 방송통신 장비 제조업체 'K'사가 2015년에 수행한 76개의 R&D 프로젝트를 대상으로 개발된 모형을 적용하여 효율성을 측정하고, 세 가지 유형의 효율성 점수 간 관계를 분석한다. 또한 측정된 DEA 효율성 점수를 바탕으로 향후 R&D 방향 및 목표 설정에 시사점을 제공할 수 있는 R&D 성과 매트릭스를 제시한다.

이후 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 BSC와 DEA에 관련된 이론적 배경과 BSC와 DEA를 결합한 성과평가에 대한 기존 연구를 고찰한다. 제 3장에서는 본 연구에서 제시하는 BSC/DEA 성과모형을 제시하고, 제 4장에서는 본 모형을 실제 사례에 적용하여 R&D 프로젝트의 성과를 측정된 결과를 설명한다. 마지막으로 제 5장에서는 본 연구의 의의와 한계 그리고 향후 연구방향을 제시한다.

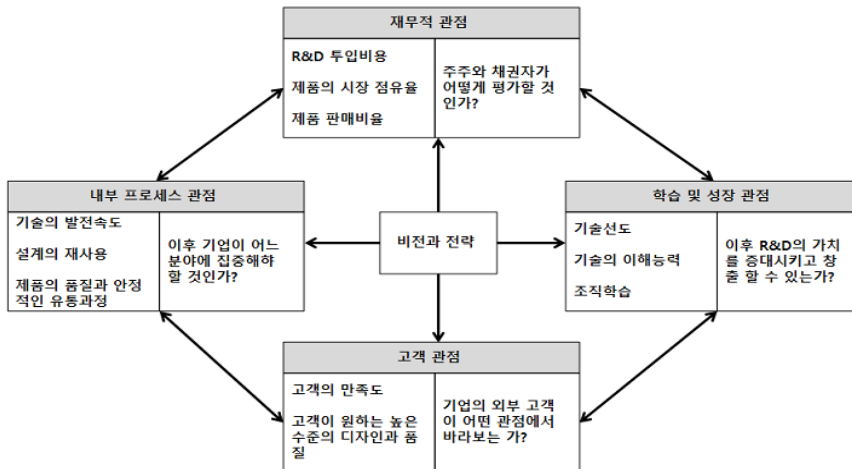
2. 이론적 배경 및 선행 연구

2.1 BSC를 활용한 R&D 프로젝트 성과평가

BSC는 조직 내외부의 개선영역과 문제점을 공개하고 개선점을 찾기 위한 방법으로 전체 조직의 정책과 방향성에 대해 측정하고 하향식(top-down process) 평가를 통해 조직을 재정비 할 수 있는 도구로서 제안 되었다[22]. BSC는 기업이 비전에 대해 전략을 세우고 목표를 달성하기 위한 활동의 성과평가를 진행하는 동안 비전, 전략 그리고 성과의 연계성에 대해 일관성을 유지한다. 또한 경영목표를 보다 효율적으로 관리하게 함으로써 기업의 가치를 지속적으로 창출해 나갈 수 있게 한다. BSC는 전통적인 재무적 관점의 성과평가와 함께, 내부 프로세스 관점, 고객 관점, 학습 및 성장 관점의 4가지 관점에

서 성과를 측정한다.

성과평가 도구로써 BSC의 유용성이 널리 인식됨에 따라, 조직 전체의 성과가 아닌 특정 부문별로 특화된 BSC를 구축하려는 시도가 이루어져 왔는데, 대표적인 예가 R&D 부문에 대한 BSC이다. Kerssens-van Drongelen and Cooke[24]는 기업 R&D 프로젝트의 성과평가를 BSC를 통해 진행 할 때 비전과 전략을 이끌어 내기 위한 미션설정, 핵심활동의 선정 그리고 핵심지표 설정 시 고려해야 할 사항을 모델로서 제시하였다. 먼저 재무적 관점에서 R&D를 통한 재무성과에 대해 관련된 주주와 채권자가 해당 성과, 즉 R&D 투입비용, 제품의 시장 점유율 그리고 제품 판매비용 등에 대해 어떻게 평가할 것인지를 고려해야 하고 내부 프로세스 관점에서 기술의 발전 속도와 설계의 재사용, 제품의 품질 그리고 안정적인 유통과정 등에 대해 이후 기업이 어느 분야에 집중해야 할 것인지를 고려해야 한다고 하였다. 다음으로 고객 관점에서 고객의 만족도와 고객이 원하는 높은 수준의 디자인과 품질 등에 대하여 기업의 외부 고객이 어떤 관점에서 바라보는 가를 고려하며 학습 및 성장 관점에서 기술선도, 기술의 이해능력 그리고 조직학습이 이후 계속적으로 R&D의 가치를 증대시키고 창출 할 수 있는지를 충분히 고려해야 한다고 하였다. <그림 1>은 Kerssens-van Drongelen and Cooke가 제시한 기업 R&D 성과의 BSC 관점 별 분류를 도식화 한 것이다.



<그림 1> 기업 R&D 성과의 BSC 관점별 분류[23]

BSC는 재무적 관점의 성과는 물론 비 재무적 관점의 성과를 포괄하여 다루므로, 기업의 R&D 프로젝트가 단순히 재무적 성과로 연결 되는 것뿐만 아니라 비 재무적 관점에서의 성과도 함께 판단하는데 유리하게 작용한다. BSC를 활용한 기업 R&D 프로젝트 성과평가는 기업이 경쟁력을 확보하기 위해 단기적 프로젝트는 물론 중장기적 프로젝트의 평가가 가능하여 기업의 가치 창출로 연결하고 증대시키는 장점이 있다. 또한 R&D의 명확한 비전과 전략에 따른 목표 달성여부의 판단, 목표와 보상간의 연계성 [29] 그리고 결과와 성공요인간의 인과관계를 명확하게 구분한다. 이러한 장점으로 기업 R&D 활동의 성과평가를 위해 BSC를 활용하고 구성하는 연구는 다수 존재한다[7, 24, 25, 30, 35]. 그러나 BSC만을 활용한 R&D 프로젝트 평가는 R&D의 산출 측면만을 강조하기 때문에 투입 측면을 고려한 투자 효율성 관점의 평가가 어렵다는 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 효율성 관점의 평가를 위해 BSC와 DEA를 결합한 성과평가 모형을 제시한다.

2.2 DEA를 활용한 R&D 프로젝트 성과평가

DEA는 다수의 투입요소와 산출요소를 가지는 DMU의 상대적 효율성을 측정하는 선형계획모형으로, 투입요소와 산출요소 간의 관계를 정의하는 생산함수(production function) 및 각 요소들 간의 상대적 중요성에 대한 사전 가정이 필요 없는 비모수적(nonparametric) 기법이다[14]. DEA와 같은 비모수적 분석 기법은 모수적 기법에 비해 R&D 프로젝트 성과평가 시 몇 가지 장점을 가지고 있다[28, 43]. 첫째, R&D 활동은 다양한 투입과 산출요소를 포함한다. 이 때 DEA는 다수의 투입과 산출요소를 반영하여 효율성 측정이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 둘째, 다양한 산출 및 투입변수를 반영하여 효율성 측정을 할 경우 각 변수마다 상대적 중요도에 따른 가중치를 미리 정의해야 하지만 R&D 활동의 경우 각 변수들 간의 중요도를 사전에 정의하기 어렵다. 그러나 DEA의 경우 평가대상이 되는 DMU의 효율

성을 최대화 하기 위해 가중치를 자동으로 결정하여 R&D 활동과 같이 사전 중요도 설정이 어려운 효율성 측정에 효과적이다. 셋째, 모수적 분석 기법을 활용할 경우 투입과 산출의 관계를 사전에 특정 함수로 정의해야 한다. 그러나 R&D 활동은 투입과 산출의 관계를 특정한 함수로 정의하기 불가능하므로 관계에 대한 사전정의를 불필요한 DEA를 활용하는 것이 효과적이다. 이러한 장점들로 인해 DEA는 국가, 대학, 연구소 등 공공 부문의 R&D 프로젝트 평가에 널리 활용되어 왔다[20].

이에 반해 기업의 R&D 프로젝트 성과평가에 DEA를 적용한 연구는 상대적으로 저조한 수준이다. 이는 공공 부문의 R&D 성과평가 시에는 논문 등의 기초 연구 성과, 특허 등의 응용 연구 성과, 기술이전 등의 사업화 성과 등 다양한 관점에서의 성과가 고려되어야 하므로, 다수의 산출변수를 고려할 수 있는 DEA가 장점을 가지는 반면, 기업의 경우 R&D의 성과로써 매출액과 같은 재무적 성과만을 고려하기 때문이다. 기업 R&D 프로젝트의 성과를 DEA를 이용해 측정한 연구를 살펴보면, Co and Chew[12]는 일본과 미국의 제조 기업을 대상으로 DEA를 활용하여 기업별 R&D 활동의 성과를 분석하였다. 자동차, 화학, 전자 그리고 제약 산업 군을 대상으로 하여 기업의 총자산과 고용인 수 그리고 R&D 투자비용을 투입변수로 하고 제품에 따른 연간 판매량과 순이익을 산출변수로 하여 연도별 DEA 윈도우 분석을 통해 R&D 투자와 기업의 성과가 어떤 상관성을 보이는지를 규명하였다. Kwon et al.[27]은 기업의 R&D 성과를 기술적 성과와 사업화 성과의 2단계로 구분하고, 1단계인 기술적 성과의 경우 공공 부문에서 일반적으로 활용되는 특허, 기술역량, 직원역량 등을 산출변수로 활용하였으며, 2단계인 사업화 성과로는 매출액 및 비용절감액 등의 재무적 성과를 고려하였다. 한편, Linton et al.[31, 32]의 경우 R&D 프로젝트의 성과 평가가 아닌 선정 평가를 위해 포트폴리오를 구축하는 과정에서 DEA 효율성을 측정하였다. 이 연구에서는 투자금액과 제품 수명주기를 투입변수로 설정하고, 산출변수로는 낙관적/중립적/비관적

관점에서 측정된 미래 현금흐름을 활용하여 프로젝트별 효율성을 측정하였으며, 이를 바탕으로 유망 과제를 선별하였다. 이처럼 DEA를 이용하여 기업 R&D 프로젝트의 성과를 측정된 연구의 대부분은 산출변수로 재무적 변수를 주로 사용하였다. 그러나 R&D의 목적이 신제품 개발을 통한 매출액 향상에만 있는 것이 아니므로, 보다 다양한 관점을 고려한 균형적인 성과평가가 요구된다. 따라서 본 연구에서는 재무적 관점의 변수뿐만 아니라 BSC의 각 관점별 성과변수를 고려하여 R&D 효율성을 측정한다.

2.3 BSC/DEA를 활용한 R&D 프로젝트 성과평가

BSC와 DEA를 결합하여 균형적인 관점에서 효율성을 측정하여 성과를 평가하려는 시도가 다양한 산업에서 이루어져 왔다[4]. Banker et al.[6]은 미국의 통신 산업 군을 대상으로 성과평가를 진행하고 성과지도를 작성하여 거래유형을 분석하였다. Chen and Chen[8]은 대만의 반도체 산업에 대해 BSC와 DEA를 결합하여 성과를 평가하였고, Chen et al.[9]은 대만의 신용저축은행을 대상으로 성과지표의 선택이 성과에 미치는 영향에 대해 분석하였다. Chiang and Lin[11]은 미국의 은행과 자동차 회사를 중심으로 서로 다른 두 산업 군의 성과평가를 BSC와 DEA를 활용하여 진행하였다. Min et al.[34]은 브라질의 은행지점을 대상으로, Rickards[39]는 유럽의 다국적 기업을 대상으로 하여 BSC 관점별 성과를 DEA를 통해 진행하였고 Rouse et al.[40]은 항공사 국제선 기술 서비스에 대해 성과평가를 하였다.

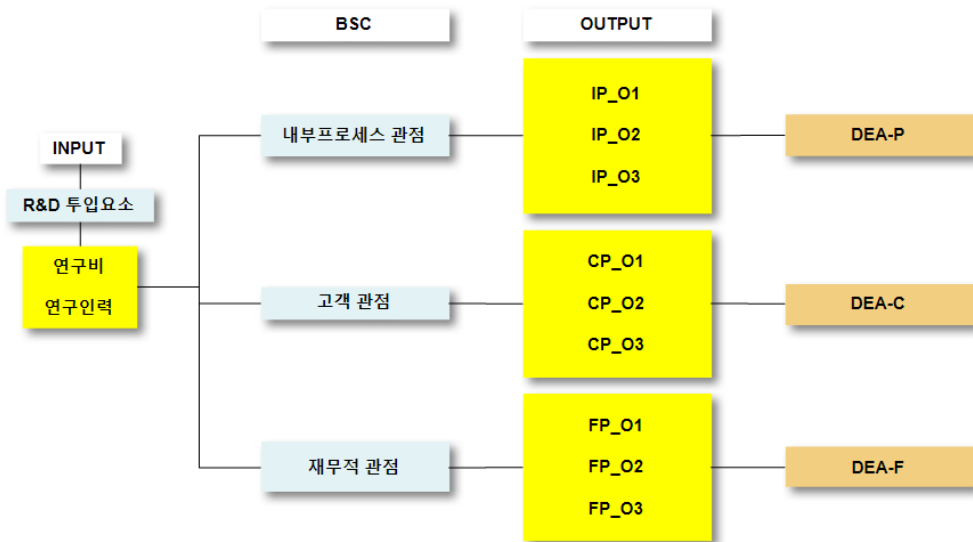
이처럼 대부분의 연구가 산업 내 기업 간 경영 성과 비교 또는 기업 내 지점 간 효율성 비교를 주목적으로 하고 있으며, R&D 부문에 대해 BSC와 DEA를 결합하여 성과를 측정된 사례는 일부 존재하기는 하나 여전히 미미한 수준이다. Eilat et al.[16]은 효율성과 효과성 그리고 균형성을 고려하여 서로 통합 가능한 R&D를 선정할 수 있도록 포트폴리오를 구성하고 분석하는 방법을 DEA와 BSC를 활용하여 제안하였다. 계속적으로 Eilat et al.[17]은 이전 연구를

확장하여 서로 다른 환경에서의 R&D 프로젝트를 평가하는 다기준 접근방식을 제안하였다. BSC의 성과지표를 투입 및 산출 변수로 적용하는 방법과 DEA를 통해 이를 평가하고 참조 집합을 통한 포트폴리오를 구성하는 절차를 제시하였다. 그러나 위 연구들은 기 수행된 R&D 프로젝트의 성과평가가 아닌 향후 수행할 R&D 프로젝트의 선정을 위한 포트폴리오 구성을 목적으로 하므로, 구체적인 성과변수들이 아닌 경제적/과학적/사회적 기여도와 같은 추상적인 변수를 추정하여 산출변수로 활용했다는 측면에서 한계가 있다. 이에 반해 Garcia-Valderrama et al.[18]은 스페인의 화학 및 제약 회사의 R&D 활동에 대해 BSC 관점별 효율성 관계를 분석하였다. BSC의 관점을 재무, 고객, 혁신, 내부성장, 교육 및 성장의 5가지로 구분하고 각 관점의 관계를 선형적인 인과관계로 정의한 후, 앞 단계의 성과지표를 투입변수로 설정하고 뒤 단계의 성과지표를 산출변수로 고려하는 DEA 모형을 구성하였다. 이 연구는 개념적인 측면에서 BSC 관점 간 인과관계를 규명하였다는 의의가 있으나, 실질적인 측면에서 R&D 프로젝트 수행에 투입된 연구비 및 연구인력 등의 투입변수들이 관점별 성과에 모두 영향을 미친다는 측면을 고려하지 않았다는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 공통된 투입변수들을 고려하되, 산출 측면에서 BSC의 각 관점을 분리하여 고려하는 모형을 제시한다.

3. BSC/DEA 기반 R&D 프로젝트 성과평가

3.1. DEA 효율성 평가모형

본 연구에서 제시하는 BSC/DEA 기반 R&D 프로젝트 성과평가 모형은 BSC의 각 관점별로 별도의 DEA 모형을 구축하여 관점별 효율성을 측정하는 형태이다. 기존의 기업 R&D 프로젝트 성과 평가가 재무적 관점에만 치우쳤던 한계를 극복하기 위해, 재무적 관점뿐만 아니라 내부 프로세스 관점과 고객



〈그림 2〉 기업 R&D프로젝트에 대한 BSC/DEA 성과평가 모형

관점에서의 평가를 함께 수행한다. 다만 BSC의 네 가지 관점 중 하나인 학습과 성장 관점의 평가는 수행하지 않는다. 이는 학습과 성장 관점의 성과를 결정하는 요인들이 내부 교육 및 조직원의 개별 노력 등 R&D이외의 요소들이 많으며, R&D 프로젝트별로 해당 지표들의 기여도를 분리하여 측정하는 것이 현실적으로 불가능하기 때문이다.

〈그림 2〉는 BSC/DEA 기반 R&D 프로젝트 성과평가 모형을 나타낸 것이다. 평가 관점별로 DEA-C, DEA-F, DEA-P의 세 가지 DEA 모형을 통해 관점별 효율성을 측정한다. 각 DEA 모형은 산출변수로서 BSC의 관점별 성과지표를 포함하고 있으며, 구체적인 성과지표는 기업별로 활용 중인 BSC에 따라 결정된다. 투입요소로는 공통적으로 연구비와 연구인력을 고려한다. R&D 프로젝트의 투입요소로써 다양한 요인을 고려할 수 있으나, R&D 효율성 측정관련 기존 연구에서는 대부분 노동과 자본의 대응지표로 연구인력과 연구비를 일반적으로 활용하고 있다 [28]. DEA-P 모형에서는 R&D 프로젝트를 통해 생산되는 제품의 제조프로세스 관점의 효율성을 측정한다. DEA-C 모형에서는 R&D 프로젝트를 통해 생산된 제품에 대한 고객만족 중심의 고객 관점의 효

율성을 평가한다. DEA-F 모형에서는 R&D 프로젝트를 통해 출시된 신제품 또는 개선된 기존 제품의 매출액 등 재무적 관점의 효율성 평가가 이루어진다.

3.2 분석대상 및 변수선택

제 3.1절에 제시된 BSC/DEA 기반 R&D 프로젝트 성과평가 모형을 활용하여 방송통신 장비 제조업체인 'K'사의 2015년 76개 R&D 프로젝트에 대한 효율성을 측정하였다. 'K'사는 2001년 디지털 방송 전문가들이 모여 설립한 디지털 멀티미디어 전문 기업으로 셋톱박스 업체 기술력의 척도가 되는 CAS라이센스를 국내 최다 수준으로 보유하고 있으며 대표적인 미들웨어(middleware)플랫폼 확보를 통해 차별화된 디지털 방송 통신 융합 서비스를 제공하고 있다. 매년 100여 개의 R&D 프로젝트를 내/외부를 통해 시행하고 있으며 R&D를 통해 제품으로 생산하여 판매까지 이루어지는 비율이 높아 사례 연구대상으로 적합하다.

각 관점 별 산출변수는 'K'사에서 실제 BSC 성과지표로 활용되고 있는 변수를 활용하였다. 내부 프로세스 관점은 R&D가 기업 내부적으로 제품화 되

는 과정을 의미하게 된다. 이때 로열티의 경우 생산 제품에 투입되었던 자재 또는 소프트웨어 상에 지불된 로열티를 말한다. 로열티는 기업 내부적으로 기술전략 측면에서 해당 기술의 확보와 기술역량을 평가할 수 있는 항목이다[37]. 생산량은 생산 활동을 통해 실제 완제품화 된 생산대수를 의미한다. 생산 활동을 위해 투입된 인건비를 임가공비로 하고 투입된 자재의 총 비용을 자재 투입비로 선정하였다. 임가공비와 자재 총 투입 비용은 기업이 내부적으로 경영 기여도 측면에서 얼마나 원가 경쟁력을 가질 수 있는지 판단하는 항목이다[36]. 고객 관점에 대해서는 마케팅비와 사후 관리비 그리고 고객 만족도를 선정 하였다. 이 중 고객 만족도[17] 항목은 R&D를 포함하여 모든 BSC 성과에서 고객 관점의 일반적인 평가항목으로 활용되는 변수이다. 본 연구에서 고객 만족도는 사례연구 대상 기업의 평가기준을 그대로 적용하여 very high-10, high-8, avg-5, low-3, very low-1의 다섯 단계로 구분하여 반영 하였다. 이때 표기된 뒤쪽 숫자가 실제 산출 변수의 값을 의미하게 된다. 마케팅비의 경우 R&D를 통해 생산된 제품의 판매를 위해 고객에게 투입된 홍보비를 의미한다. 마케팅 비용은 고객에게 기업의 긍정적인 선호도를 형성하여 고객 유지와 경영성과를 모두 향상시키는 전략[26]으로 고객 만족도와 직결된 변수로 인식된다. 사후 관리비는 판매가 이루어지고 난 후 고객에

게 납품된 제품의 사후관리 투입비용을 의미한다. 여기에는 제품의 AS비용과 고객관계 유지를 위한 관관비가 포함된다. AS비용의 경우 판매된 제품의 성능과 품질이 고객이 원하는 수준을 만족하여도 제품의 고장 등의 사유로 신속한 대응이 되지 않는다면 고객만족도가 하락하여 다음 판매 시에 영향을 줄 수 있는 항목이다. 또한 관관비의 경우 제품을 고객이 원하는 장소까지 안전하게 전달하는 과정상에 투입되는 비용으로 이 역시 고객 만족도에 영향을 주는 항목이다. 마지막으로 연구개발을 통해 생산된 제품의 판매액, 판매를 통한 영업이익 그리고 판매수량을 각각 매출액, 영업이익 그리고 판매수량으로 정의하여 재무관점의 산출 변수로 선정하였다. 판매수량은 내부 프로세스 관점의 산출 변수 중 하나인 생산수량과는 다르다. 실제 생산이 완료 되어도 판매까지 이루어진 수량과는 구분되기 때문이다. 매출액 변수의 경우 해당 제품의 시장 점유율을 판단할 수 있는 항목이며, 판매수량의 경우 R&D를 통해 판매된 전체 제품 중 해당 제품의 판매비율이 어느 정도인지를 가늠하는 항목이다[24]. 영업이익은 기업의 BSC 성과평가에서 일반적으로 반영되는 항목이다. <표 1>은 사례연구 대상인 'K'사의 R&D에 대한 BSC/DEA 변수 구성을 나타내며 계속해서 76개 R&D 프로젝트의 변수별 기초통계량은 <표 2>에 제시되어 있다.

<표 1> 기업 R&D에 대한 BSC/DEA 변수 구성

구분	변수명	설명	유형	
투입	연구비	연구를 위해 투입된 총 사업비용(금액)	양의변수	
	연구인력	연구를 위해 투입된 인력의 총 수	양의변수	
산출	DEA-P (내부 프로세스 관점)	로열티	연구를 통해 생산될 제품을 생산하기 위한 로열티 구매 비용(금액)	음의변수
		생산량	연구를 통해 생산된 제품의 총 생산 대수	양의변수
		임가공비	연구를 통해 생산된 제품을 위해 투입된 총 인건비(금액)	음의변수
		자재 투입비	연구를 통해 생산된 제품을 위해 투입된 총 자재 비용(금액)	음의변수
	DEA-C (고객 관점)	마케팅비	제품의 판매를 위해 고객에게 투입된 홍보비(금액)	음의변수
		사후 관리비 (AS+관관비)	고객 만족도를 유지하기 위한 제품의 전달과 유지보수 금액	음의변수
		고객 만족도	제품에 대한 고객 만족도	양의변수
	DEA-F (재무적 관점)	매출액	연구를 통해 생산된 제품의 판매액(금액)	양의변수
		영업이익	연구를 통해 생산된 제품을 판매하여 얻은 영업이익(금액)	양의변수
판매수량		연구를 통해 생산된 제품의 판매수량	양의변수	

〈표 2〉 'K'사 76개 R&D 프로젝트에 대한 기초통계

구 분	변수명	평균	표준편차	최소값	최대값	
투입	연구 비 (KRW10,000)	11,786	13,890	19	55,134	
	연구인력	5	3	1	16	
산출	DEA-P (내부 프로세스 관점)	로열티 (KRW10,000)	29,696	70,432	76	544,382
		생산량	106,444	162,481	1,000	1,100,000
		임가공비 (KRW10,000)	24,809	34,284	1	134,575
		자재투입비 (KRW10,000)	276,830	434,612	2,199	2,149,883
	DEA-C (고객 관점)	마케팅 비 (KRW10,000)	2,451	4,048	0	23,513
		사후관리비 (KRW10,000)	2,547	6,989	0	55,675
		고객만족도	5	3	0	10
	DEA-F (재무적 관점)	매출액 (KRW10,000)	405,758	599,046	3,897	2,673,181
		영업이익 (KRW10,000)	51,971	79,439	-19,370	488,143
		판매수량	75,314	94,242	1,000	456,712

산출요소의 유형은 양의변수와 음의변수 두 가지로 구분된다. 양의변수는 R&D 프로젝트를 통해 산출된 값이 높을수록 긍정적인 산출요소(desirable output)를 의미하고 음의 변수는 그 값이 낮을수록 부정적인 산출요소(undesirable output)를 나타낸다. 따라서 음의변수인 마케팅비, 사후관리비, 로열티, 임가공비, 자재 투입비의 실제 관측 값을 그대로 활용하게 되면 성과가 좋을수록 효율성 값이 낮아진다는 문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위한 하나의 대안으로써 비용 관점에서 해당 변수들의 값을 모두 음의 값으로 대체하는 방법을 고려할 수 있지만, 규모의 수익 불변(constant returns to scale)을 가정하는 DEA CCR 모형에서는 투입 및 산출 변수 값을 양이라고 가정하므로 생산가능영역(production possibility set) 내에서의 정확한 효율성 측정이 불가능하다[38]. 다만 규모의 수익 가변(variable returns to scale)을 가정하는 BCC 모형의 경우, 음의 변수 값에 절대 상수를 가산하여 효율성을 측정 하더라도 변환 불변(translation invariant)이 존재한다는 것이

알려져 있으나, 이 역시 추가적인 변환이 요구될 뿐만 아니라 비현실적인 참조집합(reference set)이 산출될 가능성이 높다는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 아래와 같은 가산적 변환(additive transformation) 방법을 활용하여 해당 변수 값들을 보정하여 효율성을 측정한다[4, 15].

$$V_{to} = \text{Max}(V_o) - V_s + C$$

이 때, V_{to} 는 보정된 산출 변수의 값을 의미하고 $\text{Max}(V_o)$ 는 보정 대상이 된 해당 산출 변수의 최대값을 나타낸다. V_s 는 대상 변수 자신의 값이며 마지막 C는 임의 상수를 나타낸다. 위의 가산적 변환 방법은 가산 전과 동일한 효율적 DMU 집합을 산출하게 되므로, 많은 연구에서 부정적 산출요소(undesirable output)의 변환에 널리 활용되어 왔다[41]. 다만 C의 값에 따라 비효율적 DMU의 효율성 점수에 차이가 존재하므로 효율적 경계선의 변화를 최소화하기 위해 가급적 C 값을 작게 설정하는 것이 권장되며[15], 본 연구에서는 C값을 0.1로 설정하였다.

3.3 DEA 효율성 측정 결과

수집된 변수별 데이터를 바탕으로 'K'사의 76개의 R&D 프로젝트의 관점별 효율성을 산출 지향 BCC 모형을 활용하여 측정하였다. DMU별 효율성 점수는 <부록 1>에 첨부하였으며, 각 관점 별 효율성 측정 결과를 <표 3>에 요약하여 나타내었다. DEA-P 효율성 점수의 평균이 0.553으로 가장 높게 나타난 반면, DEA-C 효율성 점수의 평균은 0.448로 가장 낮게 나타났다. 그러나 DEA는 상대적 효율성을 측정하므로 평균 효율성 점수만을 가지고 K사의 관점별 성과의 상대적 우수성을 비교할 수는 없다. 다만 이를 통해 각 R&D 프로젝트들의 고객 관점의 성과의 편차가 내부 프로세스 관점에 비해 크다는 사실을 파악할 수 있다. 한편, 효율적인 프로젝트 비율의 경우 DEA-P 관점에서는 23.7%로 높게 나타난 반면, 나머지 두 관점의 평가에서는 비율이 10% 초반으로 낮게 나타났다. 이는 내부 프로세스 관점의 효율성이 우수한 프로젝트가 더 많다고 해석하기보다는 DEA의 고유한 특성에 기인한 것으로 보인다. 일반적으로 DEA에서는 효율성 측정에 사용되는 변수의 개수가 많을수록 효율적으로 평가되는 DMU수가 증가한다. DEA는 각 DMU의 효율성 점수를 최대화 할 수 있는 가중치를 DMU별로 다르게 부여하므로, 변수의 개수가 많을수록 각 DMU가 특정 변수에서 높은 가중치를 부여 받을 기회가 높기 때문이다. 특히 DMU의 개수가 변수의 개수에 비해 과도하게 적을 경우, 너

〈표 3〉 DEA 효율성 측정 결과

구 분	효율적인 DMU 수	효율적 DMU 비율(%)	평균 효율성 점수
DEA-P (내부 프로세스 관점)	18	23.7	0.553
DEA-C(고객 관점)	9	11.8	0.448
DEA-F(재무적 관점)	10	13.2	0.542

무 많은 DMU가 효율적으로 평가되어 변별력이 떨어진다라는 문제가 있다. 본 연구에서는 충분한 수의 DMU가 확보되어 판별력의 문제는 없으나, 3개의 산출변수를 활용한 DEA-C와 DEA-F 보다 4개의 산출변수를 고려한 DEA-P에서 효율적인 DMU 수가 두 배 가량 도출되었다.

한편, 세 가지 관점에 모두에서 효율적으로 평가된 프로젝트는 총 76개의 프로젝트 중 단 2개로 나타났다. 이는 각 DEA 모형이 서로 다른 관점에서 효율성을 측정하므로, 효율성 점수 간에 상관성이 높지 않기 때문이다. 세 가지 유형의 효율성 점수 간의 구체적인 관계를 살펴보기 위해 윌콕슨 부호 순위합 검정(Wilcoxon signed-rank test)을 수행하였다. DEA 효율성 점수는 정규성을 가정할 수 없으므로, 혼합표본에서 관측 값의 순위를 바탕으로 두 표본 간의 차이를 분석하는 비모수적 기법인 윌콕슨 부호 순위합 검정을 이용하여 세 가지 유형의 DEA 효율성 점수 간의 차이를 분석하였으며, 그 결과가 아래 <표 4>에 제시되어 있다.

〈표 4〉 윌콕슨 부호순위 검정결과

자료	구 분		N	평균순위	순위합
DEA-C-DEA-F (**p = 0.08)	음의순위	DEA-C > DEA-F	25	33	841
	양의순위	DEA-C < DEA-F	47	38	1787
	동률	DEA-C = DEA-F	4		
DEA-C-DEA-P (*p = 0.02)	음의순위	DEA-C > DEA-P	22	36	796
	양의순위	DEA-C < DEA-P	51	37	1905
	동률	DEA-C = DEA-P	3		
DEA-F-DEA-P (p = 0.195)	음의순위	DEA-F > DEA-P	44	33	1464
	양의순위	DEA-F < DEA-P	26	39	1021
	동률	DEA-F = DEA-P	6		

*p ≤ 0.05, **p ≤ 0.1.

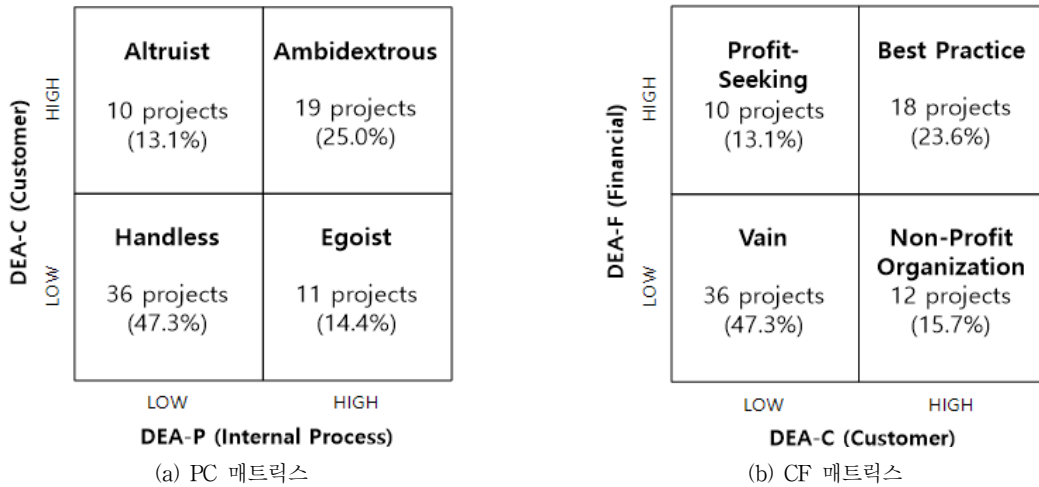
분석 결과 DEA-C와 DEA-F, DEA-C와 DEA-P 간에는 유의수준 10% 내에서 프로젝트별 효율성 점수에 유의한 차이가 있는 것으로 나타난 반면, DEA-F와 DEA-P 간에는 유의한 차이가 없으므로 나타났다. 즉, 내부 프로세스 관점의 효율성이 높은 프로젝트는 재무적 관점에서의 효율성도 높은 경향을 보이나, 고객 관점의 효율성과 나머지 두 관점의 효율성 측면의 성과는 유의미한 연관 관계를 찾을 수 없다. 이는 2세대 BSC 전략지도(strategy map)에서 가정하는 관점별 인과관계와는 모순된 결과이다. BSC 전략지도에서는 내부 프로세스 관점의 성과가 고객 관점의 성과로 연결되고, 고객 관점의 성과가 최종적으로는 재무적 성과로 이어진다고 가정한다. 그러나 위의 분석에 따르면 내부 프로세스 관점과 고객 관점, 고객 관점과 재무적 관점의 성과는 서로 연관관계가 존재하지 않는다. 다만 본 연구에서는 성과지표 간의 상관관계가 아닌 효율성 간의 상관관계를 분석했으며, 특정 사례분석 결과만을 가지고 이를 일반화하기에는 무리가 있으나, 위 분석 결과는 본 연구의 목적인 관점별 효율성 평가의 필요성을 입증한다고 할 수 있다. 즉, 기존의 재무적 성과 중심의 R&D 효율성 평가만으로는 R&D 프로젝트의 또 다른 목적이라고 할 수 있는 내부 프로세스 및 고객 관점의 성과 향상 정도를 반영할 수 없으므로, 각 관점별 효율성을 구분하여 성과 평가를 수행할 필요가 있다.

4. R&D 프로젝트 성과 매트릭스

R&D 성과평가 결과는 단순히 성과를 확인하는 것에 그치는 것이 아니라, 향후 R&D 기획 및 전략 수립에 반영되어야 한다. 본 연구에서는 기 수행된 R&D 프로젝트 성과평가 결과를 바탕으로 기업의 향후 R&D 전략 수립에 시사점을 도출할 수 있는 R&D 프로젝트 성과 매트릭스를 제시한다. R&D 프로젝트 성과 매트릭스는 각 관점별 DEA 효율성 점수의 높고 낮음을 바탕으로 성과 유형을 4가지로 구분한다. DEA 효율성 점수를 이용한 2차원 매트릭스

를 작성하고 성과의 유형을 구분하는 방법은 기존 연구에서도 종종 활용되었다[10]. 본 연구에서는 세 가지 관점에서 DEA 효율성을 측정하였으므로, 관점별 조합을 통해 총 세 개의 2차원 매트릭스의 구축이 가능하다. 그러나 부호순위합 검정 결과 DEA-P와 DEA-F의 경우 프로젝트별 효율성 점수에 상관관계가 존재하는 것으로 나타났기 때문에, 두 관점 별 효율성 점수를 2차원 평면에 나타내면 선형 형태를 보이기 때문에 높고 낮음을 바탕으로 유형을 구분하는 것이 무의미하다. 따라서 본 연구에서는 내부 프로세스 관점의 DEA-P와 고객 관점의 DEA-C를 조합한 PC 성과 매트릭스와 고객 관점의 DEA-C와 재무 관점의 DEA-F를 조합한 CF 성과 매트릭스를 제시한다.

<그림 3(a)>와 <그림 3(b)>는 각각 PC 성과 매트릭스와 CF 성과 매트릭스를 나타낸 것이다. PC 성과 매트릭스는 Altruist, Egoist, Ambidextrous, Handless의 네 가지 유형으로 구분된다. Altruist는 R&D를 통해 생산된 제품의 고객 만족도는 매우 높지만 내부 프로세스에 미미한 성과를 보이므로 기업의 내부보다 고객 중심의 프로젝트라고 할 수 있으며, 반대로 Egoist는 고객 만족보다는 기업 내부 프로세스 개선 측면의 성과가 더 뛰어난 프로젝트라고 할 수 있다. 고객만족 및 내부성과가 모두 우수한 프로젝트는 양방향 모두의 우수함을 뜻하는 Ambidextrous로 명명하였고, 두 측면에서 모두 성과가 저조한 프로젝트는 반대의 의미로 Handless로 정의한다. CF 성과매트릭스의 네 가지 유형은 Profit-Seeking, Non-Profit Organization, Best Practice, Vain으로 정의된다. 비록 고객의 만족도는 낮았지만 기업의 재무적 이익에 기여한 프로젝트는 Profit-Seeking으로 구분되며, 반대로 고객 만족도가 높지만 기업의 재무적 이익에 도움이 되지 않은 프로젝트는 Non-Profit Organization으로 명명하였다. 고객의 만족과 기업의 재무적 성과 모두 우수한 프로젝트는 Best Practice에 속하는 반면, 기업의 재무적 성과도 미미하고 고객 만족도에 대한 기여도 낮은 프로젝트는 Vain으로 구분된다.



〈그림 3〉 R&D 프로젝트 성과 매트릭스

R&D 프로젝트 성과 매트릭스를 통해 각 유형별 분포를 파악함으로써 향후 R&D 기획 및 전략 수립에 시사점을 도출할 수 있다. <그림 3>에 제시된 유형별 과제 수 및 비중은 K사의 프로젝트에 대한 사례 연구 결과를 나타낸 것이다. 높고 낮음의 구분은 각 관점 별 평균 효율성 점수(내부 프로세스 관점 : 0.553, 고객 관점 : 0.448, 재무적 관점 : 0.542)를 기준으로 하였다. PC 성과 매트릭스를 살펴보면, Handless 프로젝트가 36개(47.3%)로 가장 많은 비중을 차지하고 있다. Altruist와 Egoist는 각각 10개, 11개로 비슷한 비중을 차지하고 있으며, 이들 프로젝트에 대해서는 프로젝트별 성과 요인을 파악함으로써 향후 연속 또는 유사 과제 수행 시 부족한 관점의 성과를 개선하여 Ambidextrous에 위치할 수 있는 방안을 마련해야 한다. CF 성과 매트릭스 역시 유사한 분포를 가지고 있다. 고객 관점과 재무 관점의 성과가 모두 저조한 Vain 프로젝트의 비중이 가장 많으며, Best Practice는 23.6% 수준에 그치고 있다. 두 유형의 매트릭스 모두에서 모든 관점의 성과가 좋지 않은 Handless와 Vain의 비중이 절반에 달한다는 것은 R&D 프로젝트의 성과가 전반적으로 하향 평준화되어 있음을 의미하며, 특히 두 매트릭스에 공통적으로 포함된 고객 관점의 효율성이 낮은 프로젝트들이 다수 존재함을 알 수 있다. 이를 개선하기 위

해서는 고객 관점의 성과를 향상시킬 수 있는 R&D 프로젝트의 발굴 및 기획이 요구된다. 생산된 제품의 마케팅비 및 사후관리비를 감축시킬 수 있는 방안이 R&D 프로젝트 기획에 포함되어야 하며, 고객 만족도에 영향을 미치는 요인을 판별하고 이를 개선하는 것을 프로젝트의 핵심 목표로 설정할 필요가 있다. 이를 통해 고객 관점의 효율성을 향상시킴으로써 Altruist와 Non-Profit Organization의 비중을 확대시킬 수 있으며, 추가적인 개선을 통해 이들을 Ambidextrous와 Best Practice에 위치할 수 있도록 하는 단계적 개선 전략이 요구된다.

5. 결론 및 시사점

5.1. 시사점

본 연구는 기업의 성과 측정 도구로 널리 활용되어 온 BSC와 R&D 성과 평가에서 폭넓게 활용되고 있는 DEA를 결합하여 균형적인 관점에서 R&D 프로젝트의 효율성을 측정하는 성과 평가 모형을 개발하였다. K사의 R&D 프로젝트에 대해 BSC의 세 가지 관점별 효율성을 측정된 결과, 내부 프로세스 관점과 고객 관점, 그리고 고객 관점과 재무 관점 사이에는 프로젝트별 효율성 점수에 유의한 차이가 있는 것으로

나타났다. 이는 2세대 BSC 전략지도(strategy map)에서 가정하는 관점별 인과관계와는 다소 모순된 결과로 해석할 수 있다. BSC 전략지도에서는 내부 프로세스 관점의 성과가 고객 관점의 성과로 연결되고, 고객 관점의 성과가 최종적으로는 재무적 성과로 이어진다고 가정하나, 사례 분석 결과에 따르면 내부 프로세스 관점과 고객 관점, 고객 관점과 재무적 관점의 성과는 서로 연관관계가 존재하지 않는다. 다만 본 연구에서는 성과지표 간의 상관관계가 아닌 효율성 간의 상관관계를 분석했으며, 특정 사례분석 결과만을 가지고 이를 일반화하기에는 무리가 있으나, 위 분석 결과는 재무적 관점만의 평가가 아닌 관점별 효율성 평가의 필요성을 뒷받침한다고 할 수 있다.

본 연구에서 제시된 모형은 기업별 맞춤화를 통해 R&D 관리 실무에서 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서 활용된 관점별 산출변수들은 사례 연구 대상인 K사에 한정된 것이므로, 각 기업에서 활용 중인 성과관리 시스템에 맞게 산출변수를 선정하는 것이 필요하다. 이미 R&D 성과 관리에 BSC를 도입한 기업의 경우 각 관점별 성과지표를 산출변수로 활용할 수 있으나, 아직 BSC를 도입하지 않은 기업의 경우 효과적인 R&D 성과관리를 위한 관점 설정 및 지표 선정 등을 통한 R&D BSC 도입이 선행되어야 한다.

또한 본 연구에서 제시한 R&D 프로젝트 성과 매트릭스는 기업의 향후 R&D 기획 및 전략 수립에 유용한 시사점을 제공할 수 있다. 예를 들어, PC 성과 매트릭스 상의 Ambidextrous의 비중이 높을수록 바람직하다고 할 수 있으나, 상대평가의 특성으로 인해 모든 프로젝트가 Ambidextrous에 속하는 것은 불가능하다. 다만 Handless의 비중이 Ambidextrous에 비해 높다면, 현재 R&D 프로젝트 관리가 제대로 이루어지지 않거나, 초기 R&D 프로젝트 발굴 및 선정 프로세스에 문제가 있다고 할 수 있다. 따라서 기업의 R&D 비전과 전략에 부합하면서도 가시적인 성과를 낼 수 있는 R&D 프로젝트 선정이 요구된다. 또한 CF 성과 매트릭스 상의 Profit-Seeking과 Non-Profit Organization 중 어느 한 쪽의 비중이 높다면

균형적인 R&D 프로젝트 기획이 요구된다. 예를 들어 Profit-Seeking의 비중이 지나치게 높다면, 기존의 R&D가 단기적인 이윤 창출에만 치우쳐져 있으므로, 고객 만족도를 높일 수 있는 R&D 프로젝트를 기획하고 발굴하는 것이 필요하다.

5.2 한계점 및 추후 연구 방향

본 연구에는 몇 가지 한계점이 있으며, 이는 추후 연구에서 보완될 필요가 있다. 첫째, 본 연구는 사례 연구 대상이 된 'K'사의 BSC 지표만을 활용하여 모형을 구축함으로써 균형성과 효율성을 모두 반영한 포괄적인 의미의 기업 R&D 프로젝트 성과모형이 될 수 없다. 특정 기업의 BSC 성과지표가 모든 기업의 지표를 대변한다고 할 수 없으며 각 기업의 비전과 전략, 목표에 따라 지표의 선택이 달라질 수 있기 때문이다. 따라서 BSC 성과 지표의 체계화 및 일반화를 통해 범용적인 기업 R&D 프로젝트 성과 평가 모형을 구축하는 것이 필요하다. 둘째, 본 연구는 BSC의 네 가지 관점 중 학습과 성장 관점을 제외한 세 가지 관점만을 반영하여 모형을 구축하였다. 그러나 학습과 성장 관점은 기업의 비전과 전략을 반영하여 장기적인 성과를 결정짓는 매우 중요한 성과 관점이므로, 이를 구체적인 성과지표 및 점수로 계량화하여 성과 평가 모형에 반영할 수 있는 방법에 대한 연구가 이루어져야 한다.

또한 추후 연구에서는 보다 다양한 DEA 모형을 활용하여 평가의 신뢰성과 활용성을 향상시키는 방향을 모색할 필요가 있다. 본 연구에서는 규모의 수익 불변을 가정할 근거가 없을 뿐만 아니라, 음의 변수 변환을 위해 DEA의 기본 모형인 산출지향 BCC 모형만을 활용하였다. 그러나 일반적인 DEA 모형은 복수의 DMU를 동일하게 효율적으로 평가하므로, 효율적으로 평가된 DMU 간의 성과 비교가 불가능하다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 초효율성 모형[5]과 같이 모든 DMU를 성과 순서로 나열할 수 있는 모형을 활용함으로써 판별력을 향상시킬 수 있다. 또한 DEA는 변수 간 상대적 중요도를 사전에

정의하지 않고, 각 DMU의 효율성을 최대로 하는 가중치를 개별적으로 부여하게 되므로, 현실에서의 변수 간 중요도를 반영하지 못 한다는 문제가 있다. 예를 들어, 고객 관점에서의 성과 평가 시에 실무적인 관점에서는 고객 만족도가 마케팅비에 비해 중요함에도 불구하고, 마케팅비 측면에서 강점을 가지는 프로젝트의 경우 더 높은 가중치가 마케팅비에 부여된다. 이처럼 변수 간 상대적 중요도가 명확한 경우, 이들 간의 선호도를 반영하여 효율성을 측정함으로써 평가의 공정성을 향상시킬 수 있으며, 이를 위해서는 변수별 가중치에 제약을 두는 AR(assurance region) 모형[42] 등을 도입할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 김현정, “공공기관의 유형별 효율성평가와 비 효율성 원인의 규명에 관한 연구”, 『한국경영과학회지』, 제40권, 제1호(2015), pp.75-89.
- [2] 이성희, 김태수, 이학연, “DEA 윈도우 분석을 이용한 정부출연연구기관의 연구개발 사업화 동태적 효율성 분석”, 『경영과학』, 제32권, 제4호(2015), pp.193-207.
- [3] 전 훈, 이학연, “DEA 윈도우 분석을 이용한 국내 온라인 게임 기업의 운영 효율성 평가”, 『한국경영과학회지』, 제39권, 제3호(2014), pp.23-40.
- [4] Amado, C.A., S.P. Santos, and P.M. Marques, “Integrating the Data Envelopment Analysis and the Balanced Scorecard approaches for enhanced performance assessment,” *Omega*, Vol.40, No.3(2012), pp.390-403.
- [5] Andersen, P. and N.C. Petersen, “A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis,” *Management Science*, Vol.39, No.10 (1993), pp.1261-1264.
- [6] Banker, R.D., H. Chang, S.N. Janakiraman, and C. Konstans, “A balanced scorecard analysis of performance metrics,” *European Journal of Operational Research*, Vol.154, No.2(2004), pp. 423-436.
- [7] Bremser, W.G. and N.P. Barsky, “Utilizing the balanced scorecard for R&D performance measurement,” *R&D Management*, Vol.34, No.3 (2004), pp.229-238.
- [8] Chen, T.Y. and L.H. Chen, “DEA performance evaluation based on BSC indicators incorporated: The case of semiconductor industry,” *International Journal of Productivity and Performance management*, Vol.56, No.4(2007), pp. 335-357.
- [9] Chen, T.Y., C.B. Chen, and S.Y. Peng, “Firm operation performance analysis using data envelopment analysis and balanced scorecard : A case study of a credit cooperative bank,” *International Journal of Productivity and Performance Management*, Vol.57, No.7(2008), pp. 523-539.
- [10] Chun, H. and H. Lee, “A DEA-Based Portfolio Model for Performance Management of Online Games,” *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol.39, No.4(2013), pp.260-270.
- [11] Chiang, C.Y. and B. Lin, “An integration of balanced scorecards and data envelopment analysis for firm’s benchmarking management,” *Total Quality Management*, Vol.20 No.11(2009), pp.1153-1172.
- [12] Co, H.C. and K.S. Chew, “Performance and R&D expenditures in American and Japanese manufacturing firms,” *International Journal of Production Research*, Vol.35, No.12(1997), pp. 3333-3348.
- [13] Cooper, W.W., L.M. Seiford, and K. Tone, *Data Envelopment Analysis : Theory, Methodology, and Applications, References and DEA-Solver Software*, Kluwer Academic, Boston, 2000.
- [14] Cooper, W.W., L.M. Seiford, and K. Tone, *Data*

- envelopment analysis : A comprehensive text with models, applications, references and DEA-Solver Software, Second editions, 490*, Springer, 2007.
- [15] Dyson, R.G., R. Allen, A.S. Camanho, V.V. Podinovski, C.S. Sarrico, and E.A. Shale, "Pitfalls and protocols in DEA," *European Journal of Operational Research*, Vol.132, No.2(2001), pp.245-259.
- [16] Eilat, H., B. Golany, and A. Shtub, "Constructing and evaluating balanced portfolios of R&D projects with interactions : A DEA based methodology," *European Journal of Operational Research*, Vol.172, No.3(2006), pp.1018-1039.
- [17] Eilat, H., B. Golany, and A. Shtub, "R&D project evaluation : An integrated DEA and balanced scorecard approach," *Omega*, Vol.36, No.5(2008), pp.895-912.
- [18] Garcia-Valderrama, T., E. Mulero-Mendigorri, and D. Revuelta-Bordoy, "Relating the perspectives of the balanced scorecard for R&D by means of DEA," *European Journal of Operational Research*, Vol.196, No.3(2009), pp.1177-1189.
- [19] Ittner, C.D. and D.F. Larcker, "Are nonfinancial measures leading indicators of financial performance? An analysis of customer satisfaction," *Journal of Accounting Research*, Vol.36(1998), pp.1-35.
- [20] Jeon, I.J. and H.Y. Lee, "Performance evaluation of R&D commercialization : A DEA-based three-stage model of R&BD performance," *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol.41, No.5(2015), pp.425-438.
- [21] Kaplan, R.S. and D.P. Norton, "Putting the balanced scorecard to work," *Harvard Business Review*, Vol.71, No.5(1993), pp.134-142.
- [22] Kaplan, R.S. and D.P. Norton, *Using the balanced scorecard as a strategic management system*, 1996.
- [23] Kaplan, R.S. and D.P. Norton, *The Strategy-Focused Organisation*, Harvard Business School Press, Boston, 2001.
- [24] Kerssens-van Drongelen, I.C. and A. Cook, "Design principles for the development of measurement systems for research and development processes," *R&D Management*, Vol. 27, No.4(1997), pp.345-359.
- [25] Kerssens-van Drongelen, I.C. and J. Bilderbeek, "R&D performance measurement : more than choosing a set of metrics," *R&D Management*, Vol.29, No.1(1999), pp.35-46.
- [26] Kim, H.J. and J.W. Park, "An Empirical Study on the Effect of CRM System on the Performance of Pharmaceutical Companies," *Journal of Intelligent Information System*, Vol.16, No.4(2010), pp.43-65.
- [27] Kwon I.S., S.M. Park, and W.S. Sul, "R&D Investment and Efficiency of the Manufacturing Industry : Focused on the Application of Two-staged DEA Model," *Korean Society of Management Consulting*, Vol.13, No.3(2013), pp.155-174.
- [28] Lee, H., Y. Park, and H. Choi, "Comparative evaluation of performance of national R&D programs with heterogeneous objectives : A DEA approach," *European Journal of Operational Research*, Vol.196, No.3(2009), pp.847-855.
- [29] Lee S.W. and J.Y. Shin, "Knowledge Assets and Value Creation through BSC-Evidences from BSC Introduction of Korean Listing Large Firms," *Korean Management Review*, Vol.35, No.2(2006), pp.579-607.
- [30] Li, G. and D. Dalton, "Balanced scorecard for I+D," *Pharmaceutical Executive*, Vol.23, No.10

- (2003), pp.84-90.
- [31] Linton, J.D., J. Morabito, and J.S. Yeomans, "An extension to a DEA support system used for assessing R&D projects," *R&D Management*, Vol.37, No.1(2007), pp.29-36.
- [32] Linton, J.D., S.T. Walsh, and J. Morabito, "Analysis, ranking and selection of R&D projects in a portfolio," *R&D Management*, Vol.32, No.2 (2002), pp.139-148.
- [33] Macedo, M.A., A.C. Barbosa, and G.T. Cavalcante, "Performance of bank branches in Brazil : applying data envelopment analysis (DEA) to indicators related to the BSC perspectives," *E&G-Revista Economia e Gestao*, Vol.19, No.19(2009), pp.65-84.
- [34] Min, H., H. Min, and S.J. Joo, "A data envelopment analysis-based balanced scorecard for measuring the comparative efficiency of Korean luxury hotels," *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol.25, No.4(2008), pp.349-365.
- [35] Neufeld, G.A., P.A. Simeoni, and M.A. Taylor, "High-performance research organizations," *Research Technology Management*, Vol.44, No.6(2001), pp.42-52.
- [36] Oh, J.S. and J.S. Yang, "A Case Study of Implementation of a BSC Performance Evaluation System in Manufacturing Industry based on Product Data Management," *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol. 23, No.4(2010), pp.275-285.
- [37] Park, J.H., H.R. Bae, and S.M. Lim, "Method of Benchmarking Route Choice Based on the Input-similarity Using DEA and SOM," *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol.36, No.1(2010), pp.32-41.
- [38] Portela, M.S., E. Thanassoulis, and G. Simpson, "Negative data in DEA : A directional distance approach applied to bank branches," *Journal of the Operational Research Society*, Vol.55, No.10(2004), pp.1111-1121.
- [39] Rickards, R.C., "Setting benchmarks and evaluating balanced scorecards with data envelopment analysis," *Benchmarking : An International Journal*, Vol.10, No.3(2003), pp.226-245.
- [40] Rouse, P., M. Putterill, and D. Ryan, "Integrated performance measurement design : insights from an application in aircraft maintenance," *Management Accounting Research*, Vol.13, No.2(2002), pp.229-248.
- [41] Scheel, H., "Undesirable outputs in efficiency valuations," *European Journal of Operational Research*, Vol.132, No.2(2001), pp.400-410.
- [42] Thompson, R.G., L.N. Langemeier, C.T. Lee, E. Lee, and R.M. Thrall, "The role of multiplier bounds in efficiency analysis with application to Kansas farming," *Journal of Econometrics*, Vol.46, No.1(1990), pp.93-108.
- [43] Wang, E.C. and W. Huang, "Relative efficiency of R&D activities : A cross-country study accounting for environmental factors in the DEA approach," *Research Policy*, Vol.36, No.2(2007), pp.260-273.

〈부록 1〉 BSC/DEA 효율성 분석 결과

DMU	DEA-P	DEA-C	DEA-F
S11R-00064	0.3469	1.0000	0.6084
S11R-00066	1.0000	0.8701	0.8539
S11R-00069	0.2580	0.5076	0.2814
S11R-00074	0.1825	0.4047	0.3559
S11R-00077	0.3430	0.3541	0.3964
S11R-00079	0.3690	0.2553	0.7263
S11R-00085	0.5263	0.3333	0.3493
S11R-00091	0.5095	0.5172	0.5101
S11R-00095	0.1916	0.1542	0.1913
S11R-00096	1.0000	0.1698	0.1860
S11R-00103	0.3524	0.3845	0.4995
S11R-00104	0.3699	0.1630	0.7206
S11R-00108	0.2434	0.1459	0.3498
S11R-00114	0.5365	0.3616	0.4474
S11R-00115	0.1844	0.3285	0.1242
S11R-00117	1.0000	0.1748	0.2649
S11R-00119	0.3485	0.2888	0.9169
S11R-00120	0.1235	0.0917	0.3750
S11R-00122	0.3126	1.0000	0.3087
S11R-00123	0.2573	0.2500	0.2709
S11R-00125	1.0000	0.1737	0.8102
S11R-00126	1.0000	0.7663	0.7836
S11R-00130	0.2173	0.3778	0.2072
S11R-00132	0.1869	0.1866	0.1819
S11R-00133	0.2843	0.4861	0.3183
S11R-00134	0.7347	0.8298	0.7409
S11R-00139	0.3404	0.2337	0.3444
S11R-00140	0.4293	0.7978	0.4286
S11R-00141	0.5327	0.3333	0.5155
S11R-00142	0.6721	0.5868	0.7330
S11R-00143	1.0000	1.0000	1.0000
S11R-00144	1.0000	1.0000	1.0000
S11R-00145	0.4085	1.0000	0.4337
S11R-00146	0.3520	0.4891	0.3862
S11R-00147	0.2804	0.1773	0.4725
S11R-00148	0.8013	0.5892	0.7168
S11R-00152	1.0000	0.6482	1.0000

S11R-00154	0.2774	0.2357	0.4565
S11R-00157	0.3344	0.2357	0.5360
S11R-00158	0.9024	1.0000	1.0000
S12R-00068	0.1895	0.1662	0.2162
S12R-00080	1.0000	0.2972	0.2595
S12R-00098	0.9421	1.0000	1.0000
S12R-00102	0.4234	0.4204	0.4374
S12R-00112	1.0000	0.8197	0.6571
S12R-00114	0.2963	0.3397	0.3540
S12R-00115	0.6143	0.2000	0.5027
S12R-00116	0.3307	0.2403	0.5052
S12R-00117	0.2173	0.1021	0.2370
S12R-00122	0.3003	0.2313	0.8613
S13R-00032	0.1651	0.1605	0.1657
S13R-00033	0.1749	0.1208	0.1792
S13R-00035	0.3064	0.2777	0.4441
S13R-00037	0.8795	0.2500	1.0000
S13R-00038	0.9500	1.0000	0.8523
S13R-00040	0.7452	0.5982	1.0000
S13R-00041	0.3579	0.2659	0.4173
S14R-00020	0.7364	0.5000	0.6943
S14R-00025	0.1874	0.1111	0.3100
S14R-00026	1.0000	0.1602	1.0000
S14R-00028	1.0000	0.2378	1.0000
S14R-00031	0.3521	0.6408	0.3912
S14R-00038	1.0000	0.2085	1.0000
S14R-00044	1.0000	0.7511	0.5047
S14R-00047	1.0000	0.4358	0.3588
S14R-00051	0.2361	0.1773	0.3193
S14R-00053	0.7807	0.8578	0.8121
S14R-00054	0.5086	0.3148	0.4768
S14R-00057	0.4235	0.6472	0.4836
S14R-00058	0.3677	0.3545	0.5418
S14R-00062	0.4874	0.2835	0.7254
S14R-00063	1.0000	0.3781	0.3962
S14R-00065	0.2915	0.1473	0.3720
S14R-00076	1.0000	1.0000	0.9135
S16R-00002	0.5706	0.6524	0.6089
S98R-00001	1.0000	0.7926	0.3682