



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

DEA를 활용한 민간기업의
R&D 효율성 분석
: 공작기계 A사 사례를 중심으로



2016년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

기술경영협동과정

전 수 진

공 학 석 사 학 위 논 문

DEA를 활용한 민간기업의
R&D 효율성 분석

: 공작기계 A사 사례를 중심으로

지도교수 홍 재 범

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2016년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

기술경영협동과정

전 수 진

전수진의 공학석사 학위논문을 인준함.

2016년 2월 26일



위 원 장 경영학박사 박 병 무 (인)

위 원 경영학박사 이 진 수 (인)

위 원 경영학박사 홍 재 범 (인)

목 차

제 1 장 서론	1
제1절. 연구의 배경 및 목적	1
제2절. 연구의 방법 및 구성	2
제 2 장 이론적 배경 및 기존연구 고찰	4
제1절. 이론적 배경	4
가. 효율성 개념	4
나. DEA 모형의 개념	7
제2절. DEA를 활용한 R&D 효율성 선행 연구	14
가. 공공 기관	15
나. 민간 조직	17
제 3 장 연구방법론	20
제1절. 연구 표본	20
제2절. 변수 선정	21
제3절. 모형 결정	23
제 4 장 분석결과	25
제1절. CCR 모형	25
제2절. BCC 모형	26
제3절. 효율성 분석결과	29
제 5 장 결론	36
제1절. 연구의 결과	36
제2절. 연구의 한계점	37
참 고 문 헌	39

표 목 차

<표 1-1> 연구의 구성	3
<표 2-1> DEA를 활용한 R&D 효율성	19
<표 3-1> R&D 과제 대상	21
<표 3-2> DEA 모형에서의 투입변수와 산출변수	23
<표 4-1> 투입지향 CCR 모형에서의 효율성 분석	25
<표 4-2> 투입지향 BCC 모형에서의 효율성 분석	27
<표 4-3> R&D 효율성 분석	29
<표 4-4> DMU별 효율성 분석 (제품)	32
<표 4-5> DMU별 효율성 분석 (기술)	33

그림 목 차

<그림 2-1> 효율성 개념	5
<그림 2-2> 규모 효율성	11

DEA를 활용한 민간기업의 R&D 효율성 분석

: 공작기계 A사 사례를 중심으로

전 수 진

부경대학교 대학원 기술경영협동과정

요 약

국가경제와 산업발전의 토대가 되는 제조업은 기술력이 안정적인 수요 확보의 원천이다. 제조업체는 R&D 투자를 통하여 핵심기술을 확보하고자 노력하며, 고객이 원하는 제품을 경쟁사보다 먼저 개발하여 상품화하도록 개발기간을 단축한다. 이는 R&D 활동의 효율화를 요구하지만, 실제 R&D 활동의 정의와 평가는 매우 어려운 일이다. 본 연구는 공작기계산업의 A사에서 수행한 R&D 개발 완료 과제 79건을 대상으로 R&D 효율성을 분석하였다. 투입변수는 R&D 투자비와 연구인력, 산출변수는 목표달성율(개발기간)과 예상매출액 (5년간)을 설정하였으며, 투입지향의 DEA 모형을 활용하였다.

효율성 분석결과, 효율적 DMU는 CCR 모형 16건과 BCC 모형 26건이 해당되며, 규모효율은 IRS 56건, CRS 18건, DRS 5건이다. 효율성 점수가 CCR 모형과 BCC 모형 전체에서 평균 이상인 과제는 제품이며, 규모효율은 전체 과제가 평균 수준이다. R&D 개발과제의 주된 비효율 원인은 기술적 비효율에 해당하며, 이는 과제의 효율적인 운영으로 개선될 수 있다. 비효율적 DMU는 효율적 DMU를 대상으로 벤치마킹할 DMU의 정보를 참조하면 효율적 제고 방안 수립 시 도움 될 것이다.

본 연구의 의의는 DEA 모형을 기존의 공공 R&D 과제에서는 다루지 못한 민간조직의 투입과 산출변수를 정의하여 R&D 과제의 효율성을 다른 시각으로 살펴봤다는 것과 제조기업의 실 사례연구를 통한 R&D 활동의 상대적 효율성을 분석하여 유사과제 연구 시 실무적으로 활용 가능하다는 것에 있다. 본 연구의 한계는 전체 DMU를 만족하는 변수 및 관련 데이터 확보가 어려웠던 것과 연구과제가 내부 R&D 대상의 상대적 효율성을 분석했기 때문에 제조기업의 산업특성에 따라 다른 분석 결과를 얻을 수 있다는 것이다.

향후 본 연구를 기반으로 제조업에 속하는 민간조직의 R&D 연구과제들이 확대되면 R&D 활동의 효율적 운영 및 경영 활동에 많은 도움이 될 것으로 기대한다.

주제어 : DEA, 자료포락분석법, R&D, 효율성, 민간조직

R&D Efficiency Analysis of the Private Companies by Using DEA : Focusing on the Case Company A Machine Tools

Soo Jin Jeon

*Department of Management of Technology, The Graduate School,
Pukyong National University*

Abstract

The manufacturer makes effort to secure core technologies through R&D investment and shorten the development period by developing to commercialize the desired product than its competitors. This requires the streamlining of R&D activities, but the definition and evaluation of the actual R&D activities is very difficult. This study analyzed the R&D efficiency for R&D projects 79 cases performed by company "A" in the machine tool industry. Input variables were set R&D investment and researchers, output variables were set target achievement rate (development period) and expected net sales (5 years). utilizing DEA model of the input-oriented.

The results of efficiency analysis, efficient DMU is CCR model 16 cases and BCC model 26 cases, the scale efficiency is IRS 56 cases, CRS 18 cases, DRS 5 cases. The main cause of inefficiency in the R&D projects corresponds technically inefficient, which can be improved in the efficient operation of the task.

The significance of this study are as follows. One is looked at the effectiveness of R&D projects by defining the DEA model as input & output variables of the private organization. Another is that when similar research into practical utilization possible by analyzing the relative efficiency of R&D activities through a real case study. This study has the limitations to generalize because the relative efficiency analysis to target a specific enterprise's internal R&D projects in the machine tool industry.

We expect to be helpful in efficient operation and management of R&D activities if the R&D projects are the expansion of private organizations belonging to the manufacturing industry in the future based on this study.

Keywords: DEA, Data envelope analysis, R&D, Efficient, Private organizations



제 I 장 서 론

제1절 연구의 배경 및 목적

국가경제와 산업발전의 토대가 되는 제조업은 기술력이 안정적인 수요 확보의 원천이다. 제조업체는 핵심기술을 확보하기 위한 R&D 투자를 지속적으로 추진하여 우수한 성능과 품질의 제품을 개발하고, 고객의 요구에 부합하는 제품을 경쟁사보다 먼저 시장에 출시하고자 노력한다. 이를 위하여 기업은 제품과 기술의 개발기간 단축 및 조기 상품화를 추진하려 한다. 따라서 이를 위한 R&D 활동의 효과적이고 효율적인 운영은 조직 경영에 있어서 중요한 이슈가 되고 있다.

문제는 기업 내부의 R&D 활동을 정의하고 평가하는 일이 매우 어렵다는 것이다. R&D 활동은 연구단계에 따라 각각의 활동들이 서로 다른 조직과 연계하여 이루어지고, 이에 따라 R&D 활동의 성과에 영향을 미치는 변수가 매우 다양하게 존재하며, 나아가 R&D 활동의 성과는 무형의 산출물이 많고 이를 정량화하기 어려워 그 개념과 측정방법을 명확하게 정의하기 힘들다 (이장재, 1996).¹⁾

이러한 이유로 국가가 지원한 R&D 과제에 대한 효율성 분석 연구는 많지만, 기업 내부에서 수행된 R&D 과제를 대상으로 효율성을 분석한 연구를 찾아보긴 힘들다. 이는 국가가 지원한 R&D 과제는 정부가 일정시간이

1) 이장재 (R&D 생산성의 개념과 측정 접근방법, 과학기술정책동향, 28-39:1996)

경과한 후 어느 정도 정형화된 틀에 따라 일괄적으로 성과평가를 시행하고 이러한 결과가 관리 기관을 통해서 부분적이거나 외부에 공개되는 반면에, 기업 내부에서 수행된 R&D 과제는 앞서 설명한 바와 같이 변수 설정하는데 어려움도 존재하기 때문이다.

본 연구가 지니는 의미는 기존에 공공 R&D 과제에서 다루지 못한 민간 조직의 투입변수와 산출변수를 정의하여, R&D 과제의 효율성을 다른 시각에서 조명했다는 것이다. 예를 들어 R&D 개발인력의 맨먼스(Man month), 목표 대비 달성율(개발기간), 예상 매출액(5년간)과 같은 변수는 과거 공공 R&D 과제에서는 분석에 적용할 수 없었던 변수들이다.

제2절 연구의 방법 및 구성

본 연구는 공작기계산업에 속하는 A사가 내부적으로 수행한 R&D 과제를 대상으로 R&D 효율성을 측정하고, 그에 따른 효율성 제고 방안을 제시한다. R&D 효율성은 DEA(Data Envelopment Analysis: 자료포락분석) 모형을 활용하며, DEA 분석은 EnPAS 1.0 소프트웨어 프로그램을 이용한다. R&D 효율성은 기업의 내부 성과목표를 고려하여 2012년부터 2014년까지 개발이 완료된 과제를 대상으로 하며, 공통의 투입변수와 산출변수를 각각 설정하여 분석 작업을 수행한다. 분석은 개발과제나 수행조직의 특성, 경영 성과를 연계하여 다양하게 진행하며, 그 결과를 바탕으로 연구의 결론 및 시사점을 도출한다.

본 연구의 구성은 다음으로 이뤄진다. 1장은 서론이며 연구의 배경 및 목적, 방법론을 정리한다. 2장은 연구개발의 효율성 개념과 DEA 모형을 설명하고, 선행연구를 검토한다. 3장은 연구방법론에 따른 효율성 분석을

수행하고, 결과를 도출한다. 4장은 연구결과와 의의 및 한계점을 정리하고, 향후 연구방향을 제시한다.

〈표 1-1〉 연구의 구성

1장	서론	연구의 배경 및 목적 연구의 방법 및 구성
2장	이론	연구개발의 효율성 연구개발의 DEA 모형 선행 연구 검토
3장 & 4장	분석	연구 표본과 모형 결정 연구의 투입/산출 변수 선정 연구개발 효율성 분석 분석결과 도출
5장	결론	연구의 결과 및 의의 연구의 한계점 향후 연구방향 및 과제 제시

제II장 이론적 배경 및 기존연구 고찰

제1절 이론적 배경

가. 효율성 개념

효율성은 최소한의 투입으로 기대하는 산출의 비율이며, 값이 클수록 효율이 높다고 평가한다. 기업에서는 생산에 필요한 자본, 노동력, 기술력을 얼마나 투입하여 원하는 제품, 이익, 품질을 산출물로 얻을 수 있는가 판단하여 효율여부를 결정한다.

효율성 연구의 효시인 Farrell(1957)²⁾은 기업의 효율성이 물리적 요소와 경제적 요소에 의해 결정된다고 주장하였다. 물리적 요소는 기업에게 주어진 투입량-직원의 서비스나 기계와 같은-에서 최대의 산출물을 생산하는 능력을 나타내는 것으로 “기술적 효율성(Technical efficiency)”³⁾이라 표현한다. 여기서의 효율성은 비용요소가 아니라 기술적 관계에 기초하여 계산되며, 관리관행이나 운용규모 등의 영향을 받는다.

경제적 요소는 기업이 가격관점에서 최적비율로 투입물 간의 결합을 결정하는 능력이며, “분배적 효율성(Allocative efficiency)”이라고 한다. 이는 기술적 효율성이 완전히 달성되었다는 가정 하에 계산된다. 상기의 두 가지 효율성 점수를 곱하면 “비용 효율성(Cost efficiency)”이라는 기업의 총

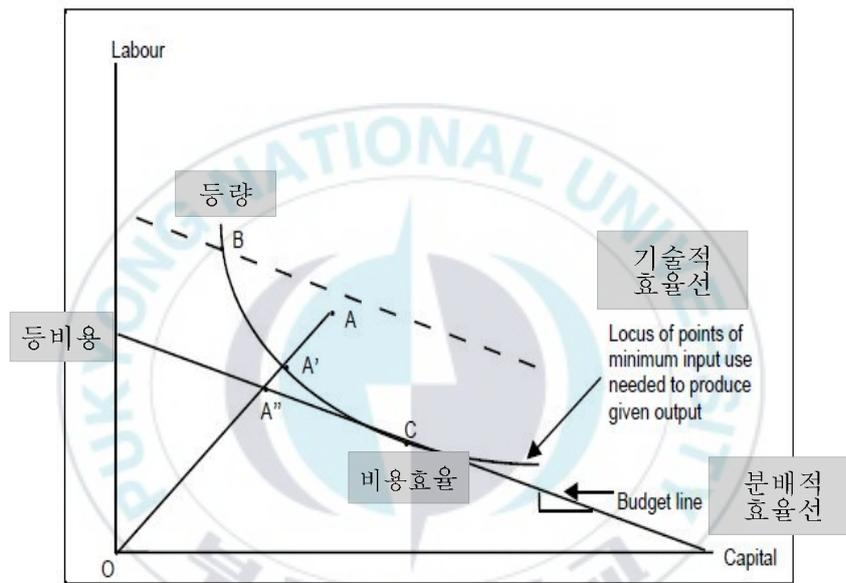
²⁾ Farrell, M. J. (The Measurement of Productivity Efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society Series A General*, Vol.120 (No.3), 253-290:1957)

³⁾ Steering Committee for the Review of Commonwealth / State Service Provision (Data Envelopment Analysis: A technique for measuring the efficiency of government service delivery, *AGPS, Canberra*. 09-18:1997)

체적 효율성인 총경제적 효율성이 결정되며, 기술적 효율성과 분배적 효율성이 모두 달성된 경우에만 비용 효율적일 수 있다.

Farrell은 자본과 노동을 투입하여 산출물(O)를 생산하는 규모수익불변 조건의 기업인 <그림 2-1>을 통하여 효율성 개념을 설명한다.

<그림 2-1> 효율성 개념 4)



* 자료: Steering committee for the review of commonwealth / State service provision (1997)

가장 효율적인 기업은 등량곡선에 위치하며, 이를 기준으로 기업 간 상대적 효율성을 평가할 수 있다. A는 등량곡선에 위치한 A'와 동일 비율로 투입요소를 결합하여 산출물을 생산한다. 이때 A와 A'사이인 $\overline{AA'}$ 거리만큼 작게 사용하면서도 동일한 산출이 가능하면, $\overline{AA'}$ 거리는 A의 비효율성

- 4) 등량곡선 (같은 양을 만드는데 필요한 노동과 자본재의 관계를 나타내는 곡선)
 등비용곡선 (동일 비용으로 노동과 자본재의 2가지 생산요소를 구입할 수 있는 가능성을 나타내는 직선)

을 의미한다. 이는 기술적 효율성 수준에서 산출을 위해 필요로 하는 투입 요소보다 더 많은 투입요소를 사용했기 때문에 기술적 비효율을 나타낸다. A의 기술적 효율성은 $\frac{OA'}{OA}$ 이며, 기술적 비효율은 $1 - \frac{OA'}{OA}$ (또는 $\frac{AA'}{OA}$)로 측정된다. 기술적 효율성은 0과 1사이의 값을 취하며, 등량곡선 상에 위치한 A'의 기술적 효율성은 1이 된다.

분배적 효율성은 \overline{OA} 가 최적의 위치인 C를 통과하지 않아 투입요소 간의 결합비율이 최적이지 아닌 상태에서 생산이 이뤄졌을 때 발생한다. 만약 투입요소의 가격비율이 등비용곡선으로 알려졌다면 기술적 효율성과 함께 분배적 효율성을 측정할 수 있다. A'와 C는 모두 기술적 효율성을 갖고 있으나, 등량곡선과 등비용곡선이 만나는 점에서 생산하는 C만이 기술적 효율성과 분배적 효율성을 동시에 달성하고 있으며, A'의 분배적 비효율성 거리 $\overline{A'A''}$ 로 측정된다. 이때 A의 비용 효율성 또는 전체 효율성은 기술적 효율성과 분배적 효율성의 곱으로 나타낸다. A의 효율성은 다음과 같다. B는 기술적 효율이나 비용 측면에서 C보다 많이 예산이 소요되므로 비용 비효율적이다.

- 기술적 효율성 = $\frac{OA'}{OA}$

- 분배적 효율성 = $\frac{OA''}{OA'}$

- 전체 효율성 = 기술적 효율성 \times 분배적 효율성 = $\frac{OA''}{OA}$

효율성 측정 방법은 크게 함수적 접근법, 비율분석법, 생산성지수법 등으로 구분된다. 함수적 접근법에는 회귀분석, Cobb-Douglas 모형, 지수법이

있다. 회귀분석은 독립변수와 종속변수의 선형결합관계를 유도하여 변수간의 상관관계가 어느 정도인지 알 수 있게 하며, 변수 간의 종속관계성격을 설명하는 기법이다. 주로 효율적인 투입, 산출의 관계가 불명확한 분야에서 생산관계를 파악하는데 사용되었고, 특정변수에 대한 회귀식으로 추정되어 특정변수 외의 정보는 미 반영되는 문제가 있다.

Cobb-Douglas 모형은 총 생산물지수의 함수 형태인 $Q = \alpha L^{\alpha} K^{\beta}$ (L : 노동, K : 자본) 식을 일반화한 모형이다. 비율분석법은 기업의 재무지표와 영업성과를 분석하여 재무비율을 산출한 후, 기업의 수익성, 유동성, 안정성, 성장성 등을 평가하는 경영분석 기법이다. 생산성지수법은 자원 투입량에 대한 산출량의 비율을 산정하는 방법이며, 투입과 산출의 구성요소나 측정 방법, 산출기준 등에 따라서 여러 모형이 존재한다.

기존의 효율성 측정 방법이 갖는 한계점은 다음과 같다. 첫째, 공공부문이나 서비스부문은 정확한 비용함수 도출이 어렵고, 투입, 산출의 상관관계를 객관적으로 증명하기 어렵다. 둘째, 다수의 투입물과 산출물을 동시에 고려하여 효율성을 측정하기 어렵다. 셋째, 다른 조직과의 상대적 효율성을 평가할 때 평가자의 자의에 의하여 평가결과가 달라질 수 있다. 넷째, 모든 투입물과 산출물의 단위가 화폐액이므로, 가격효과 작용으로 인한 생산성 측정 시 오류가 발생할 수 있다. 다섯째, 변수들의 환경적 요인이나 외생 변수를 고려할 수 없다. 여섯째, 측정결과가 비효율적일 때의 비효율 요인 또는 규모를 정확하게 파악할 수 없다.

이런 한계점들을 극복하고 효과적으로 생산성을 평가하기 위하여 새롭게 등장한 방법이 DEA(Data Envelopment Analysis: 자료포락분석) 모형이다.

나. DEA 모형의 개념

Charnes, Cooper & Rhodes(1978, 이하 CCR)⁵⁾에 의해 개발된 DEA (Data Envelopment Analysis: 자료포락분석) 모형은 기존의 효율성 측정 방법에서 지적된 한계점을 극복한 분석법이다. 비모수적 효율성 측정 (Farrell, 1957)과 거리함수 개념(Shephard, 1970)이 근간을 이루는 DEA 모형은 사전에 구체적인 함수 형태의 가정 없이 선형계획법에 근거하여 다수의 투입변수와 산출변수를 분석하여 경험적 효율 변경을 산출한 후, 평가 대상들이 효율적 변경으로부터 얼마나 떨어져 있는가를 측정하여 상대적 비효율성 여부를 판단한다.

효율적 평가의 대상은 기업이나 조직, 기능 등 다양하게 적용 가능하다 (임동진, 김상호: 2000).⁶⁾ 이들은 서로 유사한 속성을 가져야 하며, DEA 분석 시 투입변수를 결합하여 산출변수를 만드는 과정에서 독자적인 의사결정능력을 갖는 식별 가능한 조직단위로서, DMU (Decision-making unit: 의사결정단위)라고 칭한다.

DEA 모형은 가장 효율적인 DMU를 중심으로 거리함수 개념을 활용하면 개별 DMU의 상대적 효율성을 산출할 수 있다. 예를 들어, 어떤 회사에 동일한 제품을 개발하는 부서가 10개일 경우에 DMU는 10개가 된다. DEA 모형을 통하여 투입변수와 산출변수 간 관계가 가장 효율적인 DMU의 효율성을 1이라고 하면, 다른 9개의 DMU는 투입이나 산출에 있어서 1보다 작은 값을 갖는 상대적 비효율성으로 평가된다.

DEA 모형은 가정과 목적에 따라 분류 가능하다. 가정에 따른 분류는 불변규모수익 (CRS: Constant Returns to Scale)의 CCR (Charnes, Cooper & Rhodes) 모형과 가변규모수익 (VRS: Variable Returns to Scale)의

⁵⁾ Charnes,A., Cooper,W.W., Rhodes,E. (Measuring Efficiency of Decision Making Units, *European Journal of Operations Research*, 2, 429-444: 1978)

⁶⁾ 임동진, 김상호 (DEA를 통한 지방정부의 생산성 측정, *한국행정학보*, 34권 4호, 217-234: 2000)

BCC (Banker, Charnees& Cooper) 모형이 있다.

CCR 모형은 투입과 산출 관계가 DMU 규모에 상관없이 일정 비율로 동일하다는 불변규모수익 가정 하에서 추정하는 모형이며, 식(1)로 표현된다. 이 경우에 DMU는 투입물의 가중합계에 대한 산출물의 가중합계 비율이 1을 초과해서는 안 되며, 각 투입변수와 산출변수의 가중치는 0보다 커야 한다는 제약조건을 갖는다.

DEA가 비율모형이라는 점을 감안하면 효율적 DMU의 효율성 값은 1이며, 비효율적 DMU의 효율성 값은 1보다 작다. (E_k 는 DMU_k 의 효율성이며, x_{ki} 는 총 투입물 m 개 중 i 번째 투입물의 크기, y_{kr} 는 총 산출물 s 개 중 r 번째 산출물의 크기를 나타낸다. u_r 은 r 번째 산출물과 u_i 는 i 번째 투입물에 부여되는 가중치이다.)

$$\begin{aligned}
 \text{Max } E_k &= \frac{\sum_{r=1}^s u_{kr} y_{kr}}{\sum_{i=1}^m u_{ki} x_{ki}} \quad (u_{ki}, u_{kr} \geq 0, \quad r=1,2,\dots,s, \quad i=1,2,\dots,m) \\
 \text{s.t. } E_{kj} &= \frac{\sum_{r=1}^s u_{kr} y_{jr}}{\sum_{i=1}^m u_{ki} y_{ji}} \leq 1 \quad (j=1,2,\dots,m) \quad (\text{식 1})
 \end{aligned}$$

BCC 모형은 CRS 모형의 투입과 산출 간 관계가 규모에 상관없이 일정 비율로 동일하다는 가정을 완화한 모형이다. CCR 모형은 불변규모수익 가정 하에서 도출되었기 때문에 규모 효율성과 순수기술 효율성을 구분하지 못한다. 이런 점을 개선하여 가변규모수익을 가정하고 볼록성(Convexity constraints) 조건을 추가한 BCC 모형이 개발되었다.

BCC 모형에서는 CCR 모형으로 도출된 총 효율성의 수준이 순수한 기술적 요인에 의한 것인지 아니면 규모에 의한 것인지 판단 가능하며, 식(2)로 표현할 수 있다. (U_0 는 효율적 DMU의 규모수익 효과를 평가하는 척도이다. $U_0 > 0$ 이면 규모수익증가(IRS), $U_0 < 0$ 이면 규모수익감소(DRS)를 나타낸다.)

$$\begin{aligned}
 \text{Max } E_k &= \sum_{r=1}^s u_r y_{kr} + U_0 \\
 \text{s.t. } &\sum_{i=1}^m u_i x_{ki} = 1 \\
 &\sum_{r=1}^s u_r y_{jr} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ji} + U_0 \leq 0 \\
 &j = 1, 2, \dots, n \\
 &v_i \geq \epsilon, \quad i = 1, 2, \dots, m \\
 &u_r \geq \epsilon, \quad r = 1, 2, \dots, s
 \end{aligned} \tag{식2}$$

이 두 모형의 기술적 효율성 차이에서 규모에 따른 비효율성을 유추할 수 있다. 즉, CCR 모형에서 구한 효율성을 E_{CCR} 이라고 하고, BCC 모형의 효율성 값을 E_{BCC} 라고 할 때 $E_{CCR} \leq E_{BCC}$ 의 관계가 성립한다. 이러한 차이를 규모효율성(SE: Scale Efficiency)이라고 하며 다음의 식(3)과 같다.

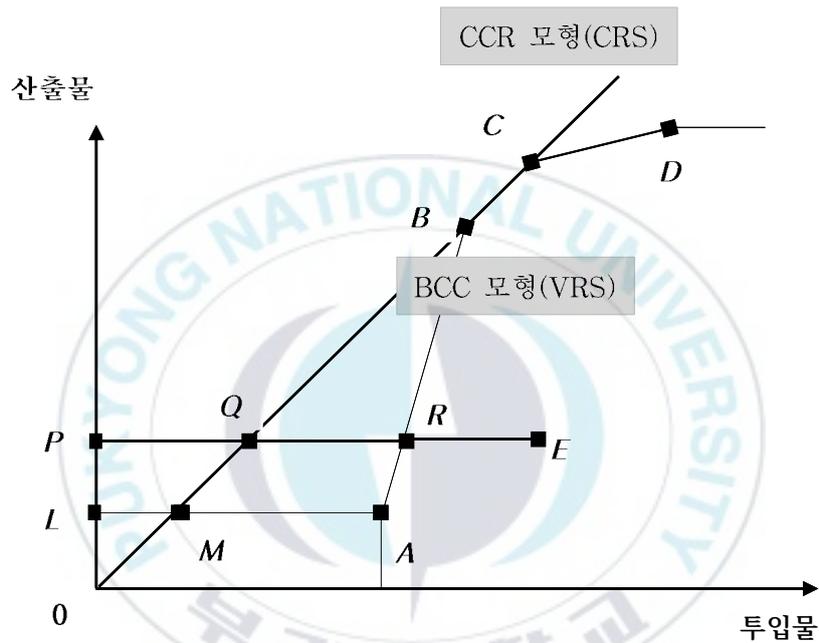
$$SE = E_{CCR} / E_{BCC} \tag{식3}$$

규모효율성 값이 1이면 해당 DMU는 불변규모수익 상태이므로 규모로 인한 비효율이 존재하지 않는다. 규모효율성 값이 1이 아닐 경우에는 규모의 경제성(IRS, Increasing Returns to Scale: 규모수익증가) 혹은 규모의 불경제성(DRS, Decreasing Returns to Scale: 규모수익감소) 상태가 되어

규모에 따른 비효율이 존재하게 된다.

<그림 2-2>는 CRS 및 VRS 가정 하에서의 규모 효율성을 설명한다.

<그림 2-2> 규모 효율성



* 자료: Cooper, Seiford and Tone, *Data Envelopment Analysis*, Kluwer Academic Publishers, p.137: 2000

CRS 가정의 CCR 모형은 \overline{OC} 에 해당하며, E 지점의 기술적 비효율은 \overline{QE} 이다. VRS 가정의 BCC 모형은 \overline{AD} 에 해당하며, E 지점의 기술적 비효율은 \overline{RE} 이다. CRS 가정에서 기술적 효율은 $\frac{PQ}{PE}$ 이고, VRS 가정에서 기술적 효율은 $\frac{PR}{PE}$ 이다. 규모 효율성은 $\frac{PQ}{PR}$ 이다. VRS 가정에서 A

에서 B에 이르는 구간은 투입물의 증가에 따라 한계수익이 증가하고 있는 구간으로 IRS 상태이며, B를 지나 D에 이르는 구간은 투입요소의 증가에 따라 한계수익이 감소하고 있는 구간이므로 DRS 상태에 해당 된다 (이경재 외 2인, 2007).⁷⁾ CCR 모형에서의 효율성은 규모효과를 고려하지 않으므로 기술적 효율성이라고 하며, BCC 모형의 효율성은 규모수익가변을 고려하므로 순기술적 효율성이라고 한다.

목적에 따른 분류는 투입을 최소화하는 투입지향(Input-oriented) 모형과 산출을 최대화하는 산출지향(Output-oriented) 모형으로 구분된다. 투입지향 모형은 산출을 고정시킨 상태에서 투입을 최소화하는 것이며, 산출지향 모형은 투입을 고정시킨 상태에서 산출을 최대화하는 것이다. 두 모형은 CRS 가정 하에서 동일한 값을 가지나, VRS 가정 하에서는 서로 다른 값을 갖는다. 투입지향모형과 산출지향모형은 최소화 혹은 최대화 하고자 하는 요소가 무엇인가에 따라 선택 가능하다.

DEA 모형은 다음과 같은 장점을 가지기 때문에 공공부문이나 민간기업의 조직, 단위기능 등에서 효율성 평가 도구로 유용하게 활용된다.

첫째, 다수의 투입요소와 산출요소에 대한 분석이 가능하며, 각 요소들의 단위가 다른 경우에도 모형에 적용할 수 있다.

둘째, 분석대상의 함수형태를 사전에 가정할 필요가 없으며, 투입과 산출 요소에 대한 가중치를 직접 추정하여 DMU의 효율성을 평가하기 때문에 요소와 관련된 지식이 없어도 추정 가능하다.

셋째, 각각의 DMU 개선과 전부문의 효율성을 향상시킬 유용한 정보를 제공하며, 비효율 DMU는 비효율성의 원인과 규모를 파악하여 효율적 DMU가 되기 위한 방향성 제시와 목표치 부여도 가능하다.

7) 이경재, 김재진, 조건 (DEA모형을 활용한 인터넷 기업의 효율성 평가, *대한경영학회지*, 20(1), 109-136: 2007)

넷째, 시장 상황이나 경쟁 환경 변화, 지리적 위치 등의 다양한 외생변수를 고려하거나 조정하는 것이 가능하다.

다섯째, 공공부문에서 투입과 산출요소의 계량화가 어렵거나, 여러 개의 요소를 단일로 나타내고자 할 때도 적용 가능하다.

DEA 모형은 기존의 효율성 측정 모형과 비교하여 많은 장점을 가지고 있지만, 극복해야 할 한계점도 존재한다.

첫째, DEA 모형에 사용된 투입 및 산출 변수 또는 DMU의 설정방법에 따라서 상대적 효율성 값이 다르게 나타날 수 있다.

둘째, 효율성 평가의 변별력을 위하여 투입과 산출 지표의 수를 한정 지어야 하므로 평가 지표의 포괄성을 충족하지 못하며, 비교적 표본 크기가 작을 경우에 적합하다.

셋째, 비모수적 기법이므로 통계적 가설검증이 어렵고, 효율성 분석결과 값에는 측정오차가 포함되므로 잘못된 측정결과를 야기할 수 있다.

넷째, 모형에서 변수들에 대한 가중치가 임의로 부여되므로, 외생변수의 영향이나 변수의 중요도를 감안한 조절이나 통제가 어렵다.

다섯째, 분석대상의 준거집단이 되는 조직의 효율성은 평가할 수 없다.

이로써, DEA 모형에서의 장점과 한계점을 모두 살펴보았다. DEA 모형으로 효율성을 분석하고자 할 때에는 다음 사항에 유의해야 한다.

첫째, 특성이 다른 조직을 포함한 효율성 순위 평가는 적용할 수 없다.

둘째, 효율성 평가는 적용 대상과 목적이 구체화되어야 한다.

셋째, DMU 및 투입과 산출변수 선정 시에는 신중해야 한다.

넷째, DMU는 서로 유사한 속성을 가지면서 독자적인 의사결정능력을 갖는 식별 가능한 조직이어야 하고, 충분한 개수를 확보해야 한다.

다섯째, DEA 모형의 효율성은 효율적인 DMU를 대상으로 각 DMU의 상대적 거리치를 측정한 후 비교분석하는 상대적 개념임에 유의해야 한다.

제2절 DEA를 활용한 R&D 효율성 선행연구

효율성의 측정방법과 사례연구는 여러 분야에서 다양하게 진행되었다. Aigner, Chu (1968)⁸⁾는 생산함수의 기술적 비효율성 측정이 가능하도록 한 추정방법을 최초로 제시하였으며, 이후로 상대적 효율성 분석을 이용한 DEA 모형을 Charnes, Cooper & Rhodes(1978)가 제시하기까지 효율성에 관한 선행연구는 계속 이어졌다. R&D 효율성 연구도 연구자원의 배분과 성과 관리를 위하여 국가 또는 산업 차원에서 많은 연구가 이뤄졌다.

R&D 활동과 관련된 조직이나 과제는 특정시점의 평가를 대비하여 내부 기준을 마련하고 운영하는 경우가 많다. 평가기준은 변수들의 중요도에 따라 가중치를 부여하는 것이 일반적 방법이며, 합의과정을 거쳐서 확정하기도 한다. 합의란 이해관계자의 지식, 경험, 의견 등을 통합하는 절차이므로, 자연스럽게 개인의 주관적 판단이 개입되기도 한다. 최근 들어서 R&D 효율성 분석을 DEA 모형으로 연구하는 사례가 많다. 이는 DEA 모형의 장점과 R&D 활동의 특성이 부합되기 때문이다. 다수의 변수를 활용하면서 개별 변수의 중요도는 판단하지 않아도 분석 가능하며, 최소의 정보로 조직이나 과제의 효율성을 평가할 수 있는 점은 양쪽 모두에게 적용된다. DEA 모형은 R&D 활동을 평가하고, 활동과제를 선정하는 의사결정과정에서 객관성을 부여할 수 있는 분석방법 중 하나라고 볼 수 있다 (임호순 외: 1999, 황성원 외: 2009).⁹⁾

8) Aigner, D.J. and SF. Chu (On estimating the industry production function, *American Economic Review* 58,826839: 1968)

9) 임호순, 유석천, 김연성 (연구개발사업의 평가 및 선정을 위한 DEA/AHP 통합 모형에 관한 연구, *한국경영과학회지* 제24권 제4호, 1-12: 1999)
황석원, 안두현, 최승현, 권성훈, 천동필, 김아름, 박종혜 (국가연구개발사업 R&D 효율성 분석 및 제고방안, *과학기술정책연구원*, 38-42: 2009)

가. R&D 조직 평가 : 공공 기관

이동규(1993)¹⁰⁾는 대덕 연구단지 소재 정부출연연구기관 11곳의 자료를 DEA로 처리하여 상대적 효율성을 분석하였다. 투입변수는 연구/기술직과 행정직원(수), 시설/장비 투입이며, 산출변수는 연구보고서(건), 연구논문 학술지 게재(건), 연구과제 실적(액)으로 산정하였다. 투입요소 각각에 대한 비능률요인을 분석하여 시사점을 도출하였고, DEA 효율성 평가가 전통적인 평가방법을 보완할 수 있는 대안임을 제시하였다.

장진규, 윤문섭, 박필, 신동일(1996)¹¹⁾은 '94년/末 정부투자기관 24개 중 R&D 활동을 수행하는 15개 기관에서 민영화 대상 4개를 제외한 11개 기관의 R&D 투자흐름 및 연구개발 효율성을 분석하였다. 분석결과, 효율성이 높은 기관은 6개로 나타났고, 효율성이 낮은 5개 기관은 R&D 효율성 증대방안을 도출하였다. 이를 통해 정부투자기관의 R&D 활동에 대한 체계적인 실태파악이 이뤄졌으며, R&D 투자권고 가이드라인 수립을 위한 기초자료가 R&D 조직유형과 분석결과에 근거하여 제시되었다.

설현주, 김승겸, 박용태(2006)¹²⁾는 조직 운영 관점에서의 벤치마킹 대상을 선정하기 위하여 71개 구청의 정보화투자 관련 자료를 기반으로 한 DEA 효율성을 분석하였다. 벤치마킹 대상은 DMU의 효율성 값과 참조집합에서 선정하며, 목표 달성도를 평가하여 적절하면 분석을 종료하고, 그렇지 않으면 적절한 벤치마킹 대상을 찾을 때까지 분석과정을 반복하였다. 제안한 방법으로 조직운영 관점에서 적절한 벤치마킹 대상을 선정할 수 있었으며,

10) 이동규 (정부출연연구기관의 효율성에 관한 DEA의 적용, 충남대학교 경영경제연구소, 경영논집, 89-123: 1993)

11) 장진규, 윤문섭, 박필, 신동일 (정부투자기관의 R&D 투자흐름 및 R&D효율성 분석, 과학기술정책연구회, 1996)

12) 설현주, 김승겸, 박용태 (조직운영 관점을 고려한 DEA 기반의 벤치마킹 대상 및 목표설정 방법론, 대한산업공학회, 1422~1427: 2006)

이에 따른 목표수립도 가능하다고 하였다.

황석원 외 6명(2009)¹³⁾은 국가 R&D사업 자료를 이용하여 사업단위에서 R&D 효율성을 측정하고, 다양한 관점에서 집단 간의 효율성 격차를 비교, 분석하였다. 2001년~2007년의 조사/분석 자료를 대상으로 3단계 접근법¹⁴⁾을 적용하였으며, 직접적 및 경제적 성과 측면에서의 효율성을 측정하고 관계를 정의하였다. 정부출연연구소의 R&D 효율성 저해요인을 분석하고, DEA를 활용한 벤치마킹으로 벤치마킹 대상과 성과목표를 도출하는 등의 R&D 효율성 제고를 위한 방안을 제안하였다.

전성욱, 김성중(2014)¹⁵⁾은 경제.인문사회연구회 소관 23개 정부출연연구기관의 2006년부터 2010년도까지 생산성 변화를 분석하고, 관련 요인을 파악하여 정책적 시사점을 도출하였다. DEA Malmquist 생산성 지수 분석 결과로 연구기관의 평균 생산성은 6.5% 하락하였고, 이를 효율성 변화와 기술변화로 나누면 효율성은 평균 4.7% 향상되었지만 기술변화율이 평균 10.8% 하락한 것이다. 이 기간 중 정부출연연구기관의 구조조정과 경영합리화에 대한 외부 압력이 높았다는 점을 고려할 때, 추격효과로 해석되는 효율성 향상은 내부적 경영합리화의 긍정적 결과이다. 반면 기술변화율의 하락은 전체적인 생산성 저하에 영향을 주므로, 향후 급변하는 외부환경 변화에 대응하여 핵심 연구인력 확충, 연구개발비 확대, 연구개발방식 변화 등 R&D의 기능 강화를 통한 기술진보를 도모해야 하는 정책적 시사점을 제공하였다.

13) 황석원, 안두현, 최승현, 권성훈, 천동필, 김아름, 박종혜 (국가연구개발사업 R&D 효율성 분석 및 제고방안, 과학기술정책연구원, 38-42: 2009)

14) 다양한 투입과 산출을 가진 DMU를 동질적 환경에서 효율성을 측정하기 위하여 1단계와 3단계는 DEA 기법이, 2단계에서는 토빗모형이 적용됨

15) 전성욱, 김성중 (경제인문사회분야 정부출연연구기관의 생산성 변화 분석, 한국산학기술학회논문지, 15권 10호, 6066-6075: 2014)

나. R&D 조직 평가 : 민간 조직

정은재(1999)¹⁶⁾는 9개 연구조직의 연구 성과를 측정하고자 DEA 모형 중 규모수익변화와 산출물 극대화를 가정하여 기술적 효율성을 분석하였다. 투입변수는 연간 예산액과 연구원 수를 고정하고, 산출변수는 논문건수, 논문총점수, 특허건수, 프로그램 등록건수를 선택적으로 적용하였다. 선택된 변수에 따라 효율성 값이 차이가 났으며, 산출물 변수가 증가될수록 효율성 값의 변화폭이 작아짐을 도출했다. 여러 변수를 전체적으로 고려하는 DEA 분석과 개별 변수를 단일 차원에서 분석하는 비율분석을 상호 보완하여 활용하면 연구 성과의 측정 및 평가 시의 좋은 방안이 될 수 있음을 제시하였다.

권철신, 조근태, 이원재(2001)¹⁷⁾는 우리나라 전자산업의 대규모 기술연구소를 대상으로 DEA를 이용한 연구효율성을 측정하였다. 이를 위해 R&D 활동의 특성을 R&D 투입과 산출 성과간의 일정한 시간간격 “시간지연(Time-lag) 요소 및 특허를 국내와 국외로 구분한 R&D 성과의 질적 특성 요소로 나눠서 고려하였다. 이러한 모형을 분석의 틀로 삼아 R&D 활동의 주체인 연구소별 비효율 원인을 규명하고, 연구효율성 증대를 위한 R&D 자원관리 안을 제시하였다.

조정식, 안기현, 강일중, 권철신(2007)¹⁸⁾은 전기/전자 연구소를 대상으로 DEA-CCR 모형을 통한 R&D 조직의 효율성을 평가하였다. 조직은 기초/응용/개발 연구로 분류하고, R&D 성과 지표는 결과 양으로 구분하였다.

16) 정은재, 김지수 (연구 생산성 측정을 위한 DEA 접근과 비율(Ratio) 분석, *한국경영과학회*, 학술대회논문집, 269: 1999)

17) 권철신, 조근태, 이원재 (기술특성을 고려한 연구생산성 측정모형, *한국경영과학회*, 771-774: 2001)

18) 조정식, 안기현, 강일중, 권철신 (R&D능률성 측정 DEA모형의 개발, *한국경영과학회*, 141-144: 2007)

투입변수는 R&D 비용과 R&D 인재이며, 산출변수는 기초연구(특허성과, 학술업적), 응용연구(특허성과, 특허의 확산 및 활용성), 개발연구(순기술가치와 기술 중요도)로 각각 구별하였다. R&D 과제 유형별 개발성과지표를 분류하고 체계화하였다.

박상혁, 한승현, 김대환(2007)¹⁹⁾은 건설 R&D 사업의 효율성을 분석하여 R&D 성과에 대한 근거를 마련하였다. 대상은 1998년부터 2005년까지 한국 건설교통기술평가원에서 수행한 프로젝트 375건 중 분석 가능한 83건이다. DEA-CCR 모형을 적용하여 효율성을 산출하고 효율적 가상사업과 비교를 통해 개선량을 제시하였다. 투입변수는 투입연구비와 참여연구원의 수이고 산출변수는 다양한 논문으로 구성된 지식축적요소와 특허, 신기술과 같은 지식전파요소로 구성하였으며 연구결과는 건설 R&D투자의 우선순위 결정 및 비효율적인 건설 R&D사업의 성과향상 기준제시에 활용이 가능하다.

상기 R&D 효율성에 관한 선행연구는 <표2-1>로 정리된다. R&D 활동에 필요한 투입변수는 주로 인력과 자금이며, 설비, 지식스톡, 기간 등이 설정되기도 한다. 인력과 자금을 세분류한 사례가 있지만, 내재적 관점보다 외적요인을 고려한 연구가 일반적으로 보인다. R&D 활동의 결과물인 산출변수는 논문, 특허, 보고서 등의 학술적 자료와 재무효과가 해당된다. R&D 활동의 결과물은 검증과 평가를 거쳐 상용화로 이어지며, 이는 공공기관 - 특히, 산학협력²⁰⁾- 및 민간조직에게 동일시 요구된다. 기업은 제품과 기술의 발전 속도가 점점 빨라지는 상황에서 새로운 제품과 기술의 개발 또는 도입을 타사보다 선점하기 위하여 노력한다. 공공기관은 일정 시점이 지나면 R&D 성과물을 외부에 공개하여 기업의 기술도입을 지원하기도 하지만,

19) 박상혁, 한승현, 김대환 (건설R&D사업의 효율성평가를 위한 DEA 연구, 한국 건설관리학회, 학술대회논문집, 255-260: 2007)

20) 산업교육기관과 국가, 지방자치단체, 정부출연연구기관 및 산업체 등이 상호 협력하여 행하는 활동임 (산업교육진흥및산학협력촉진에관한법률 제2조 제5항)

상용화 이후를 구체적으로 파악하긴 어렵다. 반면에, 기업은 관련 연구가 한정적이므로 개발 이후의 변수 설정 시 어려움이 존재한다.

〈표 2-1〉 DEA를 활용한 R&D 효율성 : 선행연구

구분	연구자	대 상	투입변수	산출요소
공공 기관	이동규 (1993)	정부출연연구 기관 (11곳)	연구/기술직 행정직원(수)	연구보고서(건), 연구논문학술지게재(건)
		-대덕연구단지	시설/장비투입	연구과제 실적(액)
	장진규, 윤문섭, 박필, 신동일 (1996)	정부투자기관 (11곳)	연구개발스톡 연구개발인력수 *종업원일인당	매출원가개선율 총자본경상이익율 매출증가율
		시청/구청 (71곳)	정보화인력 정보화예산	민원처리건수 생성문서수
황석원 외 6명 (2009)	국가R&D사업 (01-07년)	총투자(백만원) 투입시간(년)	논문(SCI/비SCI), 특허(출원/등록) 매출(증가), 고용(창출)	
민간 조직	전성욱, 김성중 (2014)	정부출연연구 기관 (23곳)	연구인력 연구예산	연구보고서 생산건수 특허등록건수
		-경제.인문사회 연구회 소관	-정부출연금 -자체수입금	연구기관평가결과(연구성과)
	정은재 (1999)	연구조직 (9곳)	연간 예산액 연구원 수	문건수, 논문총점수, 특허건수, 프로그램등록건수 (선택적용)
		권철신, 조근태, 이원재 (2001)	전자산업 기술연구소 (8곳)	연구원 수 R&D 총투자비
조정식, 안기현, 강일중, 권철신 (2007)	전기/전자 연구소	R&D 비용	기초(특허성과, 학술업적)	
		R&D 인재	응용(특허성과, 특허확산) 개발(순기술가치, 기술중요도)	
박상혁, 한승현, 김대환 (2007)	한국건설교통 기술평가원 (83건 과제)	투입연구비	지식축적요소(논문)	
		참여연구원 수	지식전파요소(특허, 신기술)	

제Ⅲ장 연구방법론

제1절 연구 표본

본 연구는 제조업에 속하는 공작기계산업의 R&D 과제를 분석대상으로 수행한다. 공작기계는 기계를 만드는 기계(Mother machine)로 일컬으며, KS(한국산업규격)에서는 “주로 금속 공작물을 절삭, 연삭 등에 의하여 불필요한 부분을 제거해 내어 필요한 형상을 만드는 기계”로 정의하고 있다. 공작기계산업은 자본재 산업의 핵심이며, 산업구조 고도화와 제조업 경쟁력 강화를 실현하는데 있어서 전·후반 관련 산업의 가교 역할을 담당한다. 공작기계에는 기계부품과 전자의 복합된 기술이 적용되며, 현재는 IT 기술과 융합하여 제조업을 혁신하기 위한 R&D 개발 활동이 진행되고 있다.

분석대상 수행과제는 2012년~2014년 사이에 개발 완료된 기술개발 53건과 제품개발 26건을 합친 총 79건이며, 제품개발은 단위 매출액이 발생하지 않는 부품개발과 수주성 개발과제 11건을 제외한 숫자이다. 여기서 제품개발은 기계 설계 단계를 거쳐 상품으로 판매되는 완제품, 즉 하드웨어 개발활동을 의미하며, 기술개발은 기계 동작과 관련된 소프트웨어 개발과 관련된 활동이다. 기술개발을 선행과 제어로 구분 시, 선행은 제품의 성능을 위한 요소기술과 응용프로그램 위주로 개발하며, 제어는 컴퓨터 토대의 수치제어 프로그램을 설계한다.

DEA 모형에서는 DMU의 동질성이 확보되어야 하므로, R&D 과제를 개발 활동 특성에 따라 2개 유형(제품/기술)으로 구분한 후, 실제 관리되고 있는 조직 단위의 3개 유형(제품, 기술(선행, 제어))으로 최종 분류하여

<표 3-1>과 같이 정리하였다. DMU는 개수가 많을수록 효율성을 확보할 수 있다. 통상 투입과 산출 변수의 총합에 2배 또는 3배의 값보다 커야 변별력이 있다는 사례연구²¹⁾가 있으며, 이를 만족하므로 투입변수와 산출변수 간 효율성 분석은 가능하다.

〈표 3-1〉 R&D 과제 대상

구분	DMU (ea.)	2012-2014 개발 완료된 R&D 과제				비고
		제품개발	기술개발	(2차 분류)		
				선행기술	제어기술	
R&D 과제	79	26	53	35	18	

제2절 변수 선정

투입변수는 R&D 활동에 소요되는 요소로서, R&D 투자비, 연구인력, 연구시설과 장비, 지식스톡, 시간 등이 주로 해당된다. 산출물보다 정량화가 쉬운 편이며, 변수의 정의 및 관리도 가능하다. 반면에 연구 환경이나 제도, 프로세스, 연구자의 노력과 창의성 등 양적 및 질적 측면, 세부 정보의 부족, 측정이 어려운 투입물도 다수 존재하므로 많은 한계가 있다.

산출변수는 투입변수간의 상호작용에 의해 나타나는 산출물의 총체로서, 신제품(기술/공정), 보고서, 특허, 논문, 기술이전, 재무효과(매출, 이익), 고객만족도 등 지표가 다양하다. R&D 유형이나 시간간격에 따라 산출변수가 상이하여 측정방법이 달라지며, 명확한 관리기준이 없어서 가중치를 고려

²¹⁾ Fitzsimmons, J.A. & M.J.Fitzsimmons (Service Management for Competitive Advantage, McGraw-HillInc. 1994)

한 합의가 요구될 때도 있다 (장진규: 2001, 황석원 외 6명: 2009).²²⁾

DEA 모형에 적용될 투입변수는 R&D 투자비와 연구인력 맨먼스(Man month)로 설정하였다. R&D 투자비는 자체개발 프로젝트 코드로 관리되는 과제별 사용 실적이다. R&D 투자비는 인건비를 제외한 재료비와 경비만 포함하여 사용한다. 이는 R&D 투자비에서 가장 비중이 큰 연구인력 인건비를 맨먼스로 별도 산출하여 투입요소로 반영했기 때문이다.

연구인력 맨먼스는 과제의 성격에 따라 투입되는 인원의 근무연수, 과거 유사 과제 수행경험 및 개인의 역량 등이 동일 과제에서도 달리 적용될 수 있다는 점을 고려하여 일반화된 변수이다. 즉, 연구인력의 운영방법에 따라 개발목표 달성 여부가 결정되는 점을 보정하였으며, 이는 개발과제에 참여한 연구인력 총인건비를 월평균 급여로 나눠서 산출했다. 따라서 맨먼스는 개발 기간 동안 매달 얼마만큼의 소요인력이 발생하는가를 의미한다.

산출변수는 개발목표 달성율(기간)과 예상 매출액(제품개발 과제 대상, 양산 후 5개년 추정)으로 설정하였다. 개발목표 달성율은 제품 또는 기술 과제의 개발계획 수립 시 승인된 목표일정 대비 실제 개발완료까지의 단축 또는 지연 여부로 판단한다. 개발수행기간은 일자 기준으로 집계하여 목표 대비 백분율로 환산한다. 실제로 개발기간이 과제의 규모나 중요도에 따라 달라질 수 있다는 것을 절대적 기간 차이로서는 판단하기 어렵다. 또한, 일자 기준에서는 단축일자가 음수로 표현되기 때문에, DEA 모형을 활용할 경우에는 측정이 불가능하다. 이런 문제점들은 목표대비 증감률 관리를 통한 비교방법으로 해결 가능하다.

예상매출액은 신제품의 상품화 성과를 감안하여 제품개발 과제에만 한정시켜 적용한다. 매출 발생기간은 개발이 완료되고 런칭 단계를 거쳐 양산

²²⁾ 장진규 (공공연구개발투자의 생산성 분석 방법론 개발, *STEPI*, 17-21: 2003)
황석원, 안두현, 최승현, 권성훈, 천동필, 김아름, 박종혜 (국가연구개발사업 R&D 효율성 분석 및 제고방안, *과학기술정책연구원*, 38-42: 2009)

시작 후 5년간이며, 통상 양산 이후부터 안정적으로 매출이 발생하기까지의 기간에 해당된다. 이는 개발계획 수립시의 목표 판매금액이기도 하다. 발생 가능한 외생변수로 물가상승율과 환율, 유가, 국내외 경쟁상황 등이 예상되나, 이는 과제의 연구조사 기간이 3년이므로 금번 연구에서는 논외로 처리하였다.

공작기계사업의 R&D 효율성 분석에 활용되는 투입과 산출변수는 각각 2개씩으로 투입변수는 동일하지만 산출변수는 R&D 성격에 따라 차이가 있다. 즉, 제품개발인 경우에는 목표달성율(개발기간)과 예상매출액(5개년)을 모두 사용하여 분석 가능하지만, 기술개발은 예상매출액을 산정할 수 없어서 목표달성율(개발기간)로만 산출을 정의하였다.

〈표 3-2〉 DEA 모형에서의 투입변수와 산출변수

투입변수			산출변수		
구분	변수 명	단위	구분	변수 명	단위
자본	R&D 투자비	백만원	기술	목표달성율 (개발기간 대비)	백분율(%)
노동	연구인력	맨먼스	제품	목표달성율 (개발기간 대비)	백분율(%)
				예상매출액 (양산 후 5개년)	백만원

제3절 모형 결정

본 연구는 투입지향 DEA 모형으로 접근한다. 사업의 특성상 산출물은

상품화 성공여부가 불확실하며, 수요시장 상황에 맞춰 공급량 또는 출시 시점을 조절하는 경우가 많다. 이런 점을 감안하면 최대 산출보다는 최소 투입이 실질적으로 통제 가능하며, 효율성 분석결과를 현업에 적용할 때의 실패 가능성도 낮출 수 있다. 개발과제 추진여부를 결정할 때도 투입요소가 주요 의사결정요소로 관리되는 경우가 많다. 효율성 측정 소프트웨어는 EnPAS(efficiency & productivity analysis system) 1.0을 이용한다.



제Ⅳ장 분석결과

79개 R&D 개발과제의 효율성을 분석하기 위하여 DEA 모형은 CCR과 BCC 모형으로 각각 수행한다. CCR 모형은 주어진 생산 하에서 최대 산출을 얻기 위한 기술 효율성(TE)을 분석하며, BCC 모형은 비용을 얼마나 효율적으로 사용하였는가를 나타내는 순기술 효율성(PTE)을 분석한다. 기술 효율성과 순기술 효율성을 조합하면 규모 효율성(SE)을 구할 수 있다. DEA 모형에서 효율성 값이 1에 가까울수록 효율적이라고 판단한다.

제1절 CCR 모형

투입지향 CCR 모형에서의 효율성 분석 결과는 <표 4-1>과 같다. 전체 DMU 평균점수는 0.6 수준이며, 표준편차는 0.3 수준에서 비교적 점수가 고르게 분포하고 있다. 기술 효율성 값이 1인 DMU는 전체의 20%(16개)에 속한다. 제품 9개, 기술 7개가 속하며, 해당 DMU는 비교적 안정된 조건에서 주어진 투입요소를 효율적으로 운영하였음을 의미한다.

기술과제 중 선행의 비효율 DMU 비중은 85%(30개)이다. R&D 활동에 있어서 응용개발에 해당하는 선행과제가 비교적 외부환경의 제약조건에 더 불리할 것으로 여겨진다. 이런 점을 감안하여 과제 검토 시에는 개발계획 단계에서부터 환경요인 분석과 대응방안 수립을 통한 효율성 제고가 요구된다. 제어는 기술 효율성 값이 1에 근접한 DMU 비중이 상대적으로 많은 것으로 분석된다.

〈표 4-1〉 투입지향 CCR 모형에서의 효율성 분석

DMU		제품	기술	(2차 분류)		총계 (제품/기술)
				선행	제어	
효율성 점수	average	0.623	0.568	0.599	0.738	0.638
	SD	0.398	0.356	0.325	0.370	0.360
	max.	1	1	1	1	1
	min.	0.063	0.002	0.005	0.004	0.004
	1.000	9	7	5	5	16
	0.900-0.999	2	8	5	4	10
	0.800-0.899	2	5	3	3	7
	0.700-0.799	2	2	3	2	4
	0.600-0.699	0	5	2	0	5
기술	0.500-0.599	1	5	3	0	6
효율성	0.400-0.499	1	2	1	0	3
	0.300-0.399	0	4	4	1	4
	0.200-0.299	1	4	5	0	5
	0.100-0.199	4	2	2	0	6
	0.000-0.099	4	9	2	3	13
	Total(ea)	26	53	35	18	79
	기술효율성이 1 DMU 비중(%)		34.6	13.2	14.2	27.7

제2절 BCC 모형

투입지향 BCC 모형의 분석 결과, 효율성 점수가 전반적으로 CCR 모형과 비교하여 상향되었다. 이는 공작기계산업이 자본재 산업이라는 구조적 특성으로 인하여 경기 및 기술적으로 제약조건이 많은 불완전한 경쟁에서 최적의 생산 활동이 어려움을 보여준다.

효율성 분석 결과는 <표 4-2>와 같다. 평균점수는 0.7 수준이며, 표준편차는 0.3 수준에서 CCR 모형과 비슷하게 고른 분포를 보여준다. 순기술

효율성 값이 1인 DMU는 전체의 33%(26개)를 차지한다. 제품 14개, 기술 12개 과제가 대상이며, 해당 DMU는 투입요소가 안정적으로 잘 운영되고 있음을 의미한다.

개발과제 범위와 유사과제 수행경험, 외부 네트워크 활용 여부에 따라 투입량이 달라질 수 있으므로, 기술과제의 효율성 값이 0.1 이하인 7건의 DMU는 개발계획 단계에서부터 적정 수준의 투입량을 분석하여 투입 초과분을 줄이는 노력이 필요하다. 선행과 제어과제의 효율성 분포도는 CCR 모형과 비슷하다.

규모효율은 IRS가 전체의 71%(56건)이며, CRS는 23%(18건), DRS는 6%(5건)이다. 제품과제는 IRS 14건, CRS 9건, DRS 3건이며, 기술과제는 IRS 42건, CRS 9건, DRS 2건이다.

IRS 상태는 규모가 증가되면서 투입이 점차 작아지는 경우로서 규모의 경제가 존재한다. 이는 투입요소의 분업화와 전문화를 통해서도 이뤄진다. IRS 과제는 산출규모를 현재보다 확대하되 투입규모를 적정수준까지 끌어 올려서 효율성을 높일 수 있다. 예를 들면 선행 과제에서 설계용역 또는 소프트웨어 외주개발 등의 분업화로 인하여 절감된 투입규모는 과제규모를 좀 더 확대하여 산출을 늘리고, 투입을 추가하여 효율성을 올릴 수 있다.

CRS 상태에서는 투입과 산출의 모든 요소들이 규모증가에 따라서 동일 수준에서 안정되게 운영됨을 나타낸다. 선행을 제외한 과제들의 DRS 상태는 효율성을 높이기 위하여 운영 측면에서 투입규모를 줄이거나 산출규모를 늘리는 방안 마련이 필요하다. 또한, 규모가 증가함에 따라 발생 가능한 경영상의 비효율 요소를 찾아서 제거해야 한다. 개발과 관련된 주요 의사결정사항이나 협업관계로 연결된 유관 팀과의 정보공유방법을 점검하여, 불필요한 요소가 어느 단계에서 발생하는지 파악한 후 프로세스를 재구성하고 체계화시키는 작업이 병행되어야 한다.

〈표 4-2〉 투입지향 BCC 모형에서의 효율성 분석

DMU	제품	기술	(2차 분류)		총계 (제품/기술)	
			선행	제어		
효율성 점수	average	0.724	0.674	0.686	0.866	0.740
	SD	0.382	0.386	0.347	0.307	0.354
	max.	1	1	1	1	1
	min.	0.098	0.002	0.058	0.007	0.007
	1.000	14	12	9	9	26
	0.900-0.999	2	15	7	6	17
	0.800-0.899	1	4	4	0	5
	0.700-0.799	0	2	0	1	2
	0.600-0.699	0	0	1	0	0
순기술	0.500-0.599	2	1	1	0	3
효율성	0.400-0.499	0	2	2	0	2
	0.300-0.399	0	4	4	0	4
	0.200-0.299	1	2	4	0	3
	0.100-0.199	5	4	2	0	9
	0.000-0.099	1	7	1	2	8
	Total(ea)	26	53	35	18	79
규모 효율성	IRS	14	42	30	7	56
	CRS	9	9	5	7	18
	DRS	3	2	0	4	5

제3절 효율성 분석결과

R&D 개발과제 79건의 DEA 효율성 분석 결과는 <표 4-3>과 같다. 효율적 DMU는 CCR 모형 16개, BCC 모형 26개이다. 개발과제 측면으로 비교하면 CCR 모형은 제품개발 9개, 기술개발 7개이며, BCC 모형은 제품개발 14개, 기술개발 12개이다. 비효율 여부는 규모효율성을 통하여 파악할 수 있으며, 규모효율성 값이 1에 가까울수록 효율성이 높음을 의미한다. 본 연구 결과에서는 총 R&D 개발과제의 평균적 규모효율성 값이 1보다 작게 분석되므로 비효율이 존재한다고 할 수 있다.

모형별로 측정하여 전체 평균값을 요약하면 기술효율성은 0.638, 순기술 효율성은 0.740, 규모효율성은 0.857이다. R&D 개발과제의 비효율적 원인을 기술적 요인과 투입-산출 규모의 효과적 측면에서 살펴볼 수 있는데, 이는 규모효율성과 순기술효율성의 분석된 값을 비교하여 파악 가능하다. 즉, 규모효율성 값이 순기술효율성 값보다 크면 기술적 비효율에 해당하며, 반대일 경우에는 투입-산출 규모의 비효율에 해당한다.

본 연구 결과에서는 전반적으로 규모효율성 값이 순기술 효율성 값보다 크므로 기술적 비효율에 해당됨을 알 수 있다. 따라서 연구개발 핵심인력 육성, 장비 및 소프트웨어 운영 인프라 확보, 개발 프로세스 최적화 등을 통한 개발과제의 효율적 운영이 요구되며, 이를 추진하기 위한 개선방안이 실질적으로 뒷받침되어야 한다. 반면에, 제어는 순기술효율성이 규모효율성 값보다 크기 때문에 투입-산출 규모의 비효율에 해당된다. 효율성을 개선하기 위한 방안은 투입규모를 줄이거나 산출규모를 늘리는 것이다. 본 연구는 투입지향 모형이므로, 효율성 분석 시 각 투입변수의 과다투입량을 파악하여 최적의 투입규모를 산출하고 집중 관리해야 할 투입변수를 선정하면 그에 맞는 대안을 마련할 수 있다.

〈표 4-3〉 R&D 효율성 분석 (평균)

구분	DMU (전체/개)	CCR		BCC		규모 효율 (SE)
		기술적 효율성 (TE)	효율적 DMU (개)	순기술 효율성 (PTE)	효율적 DMU (개)	
제품	26	0.623	9	0.724	14	0.866
기술	53	0.568	7	0.674	12	0.844
-선행	35	0.599	5	0.686	9	0.875
-제어	18	0.738	5	0.866	9	0.808
총합	79	0.638	16	0.740	26	0.857

2차 분류 기준으로 개별 DMU의 효율성을 분석한 결과는 <표 4-4> 및 <표 4-5>와 같다. 규모효율성 값이 1인 CRS는 21건(제품 9건, 선행 5건, 제어 7건)이며, 해당 DMU는 불변규모수익 상태가 되므로 규모로 인한 비효율이 존재하지 않는다. CRS를 제외한 DMU는 규모에 따른 비효율이 존재하며, 규모수익에 있어서 IRS 51건(제품 14건, 선행 30건, 제어 7건), DRS 7건(제품 3건, 선행 0건, 제어 4건)이 해당된다. IRS 상태인 DMU는 산출규모를 확대하되 투입규모도 적정 수준까지 끌어올려서 효율성을 향상시키는 방안이 필요하다. DRS 상태의 DMU는 투입규모를 축소하거나 산출규모를 확대하는 것과 함께 운영상의 비효율 요소를 점검하여 효율화 방안을 수립해야 한다.

DEA 모형은 주어진 투입 및 산출변수를 이용하여 가장 효율적 DMU를 찾은 후, 각 DMU와의 거리를 비교하여 상대적 비효율성을 측정한다. DEA 모형은 측정된 효율성 값으로 비효율 정도를 알려주며, 동시에 효율적인 DMU 중에서 벤치마킹할 DMU(준거집단)의 정보-투입과다, 투영점,

준거집단, 참조횟수-도 알려준다. 참조횟수가 많을수록 효율적인 DMU라고 판단할 수 없지만, 준거집단은 주어진 투입과 산출변수의 조합에 있어서 비효율적인 DMU의 벤치마킹할 대상으로 삼을 수 있는 DMU라는 점에서 중요하다 (박만희, 2008).²³⁾

참조횟수가 많은 준거집단은 효율적 요소를 파악하고 원인을 분석하여 향후 성공사례로 관리 가능한지 살펴봐야 한다. 해당 준거집단에서 특이 사항이 발견되지 않으면 비효율적 DMU의 효율화 방안 도출 시에 활용할 수 있다. 연구결과, 전체 DMU 중에서 참조횟수가 가장 많은 준거집단은 제품의 17번(참조횟수 22회), 선행의 04번(참조횟수 21회), 제어의 16번(참조횟수 15회)이 해당된다.

준거집단의 특징을 살펴보면, 제품과제 DMU17은 과제의 범위 및 개발 방향성을 투입 최소화에 맞췄다. 양산 중인 제품과 유닛 부품을 상호 조합한 모듈러 설계로 신제품을 개발하여 R&D 투자비와 연구인력의 맨먼스를 줄였으며, 검증 과정과 개발심사 단계의 간소화로 개발일정을 관리하였다. 제품개발에서 과제유형이 비슷한 DMU18/19는 IRS 상태이다. 유닛 부품의 모듈화 추진으로 투입변수를 줄인 사례인데, 두 과제를 공동 개발하여 과제규모를 확대하였다면 규모의 효율적 운영이 가능했을 것으로 판단된다.

기술과제 중 선행과제 DMU04는 여러 기능을 동시에 개발하여 규모의 확대가 이뤄졌고 전문화와 분업화를 통해 규모수익의 효율적 운영을 이뤘다. 준거집단이 동일하면서 IRS 상태인 DMU12/13/31은 개발배경 측면에서 상호 연관성이 높은 과제이다. 개발기획 단계에서 중장기 개발 로드맵을 폭넓게 검토하여 유사 과제를 통합 관리하였다면 과제의 효율적 운영이 가능했을 것으로 여겨진다. 이는 곧 단위 개발과제의 규모 확대로 연결되며, 이로 인한 개발기간의 연장은 개발과제 진행에 따른 단계별 점검으로

²³⁾ 박만희 (효율성과 생산성 분석, 한국학술정보(주), 2008)

관리 가능하다. R&D 투자비와 연구인력의 활용에 있어서도 개별 과제로 진행할 때보다 유연성과 전문화가 추가적으로 확보되어 개발과제의 효율화 향상에 기여 가능할 것으로 판단된다.

반대로 제어과제 DMU16은 과제의 범위를 축소하여 효율화를 이뤘다. 과제 유형은 제품이 양산되는 시점에 제어 유닛을 적용할 수 있도록 하기 위하여 진행한 사전설계에 속한다. 적용대상 기종과 유닛을 사전에 명확하게 정의하고, 개발심사 단계를 최소화하여 개발기간을 줄였다. 동일한 준거 집단을 참조하는 DMU02/07은 DRS 상태이며, 투입규모가 비교적 과다한 편이다. R&D 투자비와 연구인력 중에서 투입규모가 상대적으로 큰 변수를 선정하여 외부 네트워크 활용을 통한 협업 추진 또는 전문화된 연구인력 확보 등으로 효율화를 기할 수 있다. 이와 함께 개발과제 규모를 고려하여 적절한 개발심사 단계를 검토한 후, 과제 별로 적용하면 운영상의 비효율 요인도 제거 가능할 것으로 보인다.

준거집단 내의 R&D 활동은 비교적 본 연구에서 제시한 효율적 운영방안과 일치한다. 이와 같이 과제가 IRS 상태인 경우에는 과제규모를 확대하여 투입변수를 증가시키고, DRS 상태인 과제는 투입변수를 감소시켜 효율성을 올릴 수 있다. 더불어 과제규모의 확대는 중장기 개발과제가 사전에 계획되어야 적용될 수 있으며, 규모증가에 따라 발생 가능한 경영상의 비효율 요소를 제거하는 활동들도 함께 병행되어야 CRS 상태를 지속적으로 유지할 수 있다.

〈표 4-4〉 DMU별 효율성 분석 : 제품

구분	DMU	CRS (TE)	VRS (PTE)	SE	규모 수익	비효율 원인		참조	
						순기술 (PTE<SE)	규모 (PTE>SE)	준거 집단	참조 횟수
제품	DMU01	0.876	1	0.876	DRS	-	●	10,17,22	-
제품	DMU02	1	1	1	CRS	-	-	17,22	-
제품	DMU03	1	1	1	CRS	-	-	10,11,17	-
제품	DMU04	1	1	1	CRS	-	-	10,17,22	-
제품	DMU05	0.201	0.209	0.962	IRS	●	-	17,22	-
제품	DMU06	0.129	0.169	0.760	IRS	●	-	17	-
제품	DMU07	0.939	1	0.939	IRS	-	●	17	-
제품	DMU08	0.519	0.538	0.965	IRS	●	-	17,22	-
제품	DMU09	1	1	1	CRS	-	-	11,17,22	-
제품	DMU10	1	1	1	CRS	-	-	10	7
제품	DMU11	1	1	1	CRS	-	-	11	4
제품	DMU12	0.948	1	0.948	IRS	-	●	10,17	-
제품	DMU13	0.796	0.865	0.921	IRS	●	-	10,11,17,22	-
제품	DMU14	0.722	0.964	0.749	IRS	-	●	17,22	-
제품	DMU15	0.483	0.522	0.925	IRS	●	-	17,22	-
제품	DMU16	1	1	1	CRS	-	-	17,22	-
제품	DMU17	1	1	1	CRS	-	-	17	22
제품	DMU18	0.085	0.121	0.699	IRS	●	-	17	-
제품	DMU19	0.085	0.121	0.699	IRS	●	-	17	-
제품	DMU20	0.137	1	0.137	DRS	-	●	10,17	-
제품	DMU21	0.063	1	0.063	DRS	-	●	10,11,17,22	-
제품	DMU22	1	1	1	CRS	-	-	22	14
제품	DMU23	0.097	0.098	0.985	IRS	●	-	17,22	-
제품	DMU24	0.139	0.140	0.991	IRS	●	-	17,22	-
제품	DMU25	0.133	0.134	0.999	IRS	●	-	17,22	-
제품	DMU26	0.844	0.952	0.887	IRS	-	●	17	-
평균		0.623	0.724	0.866					

〈표 4-5〉 DMU별 효율성 분석 : 기술 (선행/제어)

구분	DMU	CRS (TE)	VRS (PTE)	SE	규모 수익	비효율 원인		참조	
						순기술 (PTE<SE)	규모 (PTE>SE)	준거 집단	참조 횟수
선행	DMU01	1	1	1	CRS	-	-	20,27	-
선행	DMU02	0.748	0.812	0.922	IRS	●	-	4	-
선행	DMU03	0.931	1.000	0.931	IRS	-	●	4,26	-
선행	DMU04	1	1	1	CRS	-	-	4	21
선행	DMU05	0.921	0.991	0.930	IRS	-	●	4,26	-
선행	DMU06	0.193	0.209	0.922	IRS	●	-	4	-
선행	DMU07	0.365	0.385	0.949	IRS	●	-	26,27	-
선행	DMU08	0.215	0.240	0.894	IRS	●	-	4	-
선행	DMU09	0.910	0.990	0.919	IRS	-	●	20,27	-
선행	DMU10	0.573	0.690	0.831	IRS	●	-	4	-
선행	DMU11	0.318	0.345	0.922	IRS	●	-	4	-
선행	DMU12	0.053	0.058	0.922	IRS	●	-	4	-
선행	DMU13	0.922	0.995	0.926	IRS	-	●	4,26	-
선행	DMU14	0.885	0.990	0.894	IRS	-	●	26,27	-
선행	DMU15	0.538	0.990	0.544	IRS	-	●	20,27	-
선행	DMU16	0.206	0.312	0.660	IRS	●	-	26,27	-
선행	DMU17	0.997	1.000	0.997	IRS	-	●	4,26	-
선행	DMU18	0.419	0.420	0.997	IRS	●	-	4	-
선행	DMU19	0.526	1.000	0.526	IRS	-	●	26,27	-
선행	DMU20	1	1	1	CRS	-	-	20	4
선행	DMU21	0.698	0.996	0.701	IRS	-	●	26,27	-
선행	DMU22	0.658	0.840	0.784	IRS	-	●	4	-
선행	DMU23	0.859	0.998	0.861	IRS	-	●	4,26	-
선행	DMU24	0.212	0.259	0.819	IRS	●	-	4	-
선행	DMU25	0.310	0.311	0.997	IRS	●	-	4	-
선행	DMU26	1	1	1	CRS	-	-	26	11
선행	DMU27	0.882	1.000	0.882	IRS	-	●	27	10
선행	DMU28	1	1	1	CRS	-	-	4	-
선행	DMU29	0.261	0.289	0.902	IRS	●	-	4	-
선행	DMU30	0.739	0.823	0.898	IRS	●	-	20,27	-

〈표 4-5 계속〉 DMU별 효율성 분석 : 기술 (선행/제어)

구분	DMU	CRS (TE)	VRS (PTE)	SE	규모 수익	비효율 원인		참조	
						순기술 (PTE<SE)	규모 (PTE>SE)	준거 집단	참조 횟수
선행	DMU31	0.099	0.103	0.962	IRS	●	-	4	-
선행	DMU32	0.737	0.878	0.839	IRS	-	●	26,27	-
선행	DMU33	0.126	0.133	0.945	IRS	●	-	4	-
선행	DMU34	0.352	0.501	0.703	IRS	●	-	4	-
선행	DMU35	0.297	0.456	0.651	IRS	●	-	4	-
평균		0.599	0.686	0.875					

구분	DMU	CRS (TE)	VRS (PTE)	SE	규모 수익	비효율 원인		참조	
						순기술 (PTE<SE)	규모 (PTE>SE)	준거 집단	참조 횟수
제어	DMU01	0.916	0.952	0.963	IRS	●	-	16	-
제어	DMU02	0.017	0.070	0.247	DRS	●	-	5,16	-
제어	DMU03	0.980	0.980	1.000	CRS	●	-	16	-
제어	DMU04	1	1	1	CRS	-	-	5	-
제어	DMU05	1	1	1	CRS	-	-	5	6
제어	DMU06	0.004	0.007	0.571	IRS	●	-	5,16	-
제어	DMU07	0.021	1.000	0.021	DRS	-	●	5,16	-
제어	DMU08	0.980	0.980	1.000	CRS	●	-	16	-
제어	DMU09	0.869	0.980	0.886	IRS	-	●	16	-
제어	DMU10	0.344	1.000	0.344	DRS	-	●	5,16	-
제어	DMU11	0.982	1.000	0.982	DRS	-	●	5,16	-
제어	DMU12	0.737	1.000	0.737	IRS	-	●	16	-
제어	DMU13	1	1	1	CRS	-	-	16	-
제어	DMU14	1	1	1	CRS	-	-	16	-
제어	DMU15	0.897	0.968	0.927	IRS	-	●	16	-
제어	DMU16	1	1	1	CRS	-	-	16	15
제어	DMU17	0.806	0.910	0.886	IRS	-	●	16	-
제어	DMU18	0.725	0.746	0.972	IRS	●	-	16	-
평균		0.738	0.866	0.808					

제 V 장 결론

제1절 연구의 결과

본 연구는 2012년부터 2014년까지 공작기계산업의 R&D 활동으로 개발 완료된 79건이 대상이며, DEA 효율성은 투입지향의 CCR 및 BCC 모형을 통하여 분석하였다. DMU는 개발과제의 활동별 특성을 고려하여 제품과 기술로 구분하였으며, 개발조직 단위로 분석할 경우에는 제품, 기술(선행, 제어)로 확장 가능하다. 투입변수는 R&D 투자비와 연구인력, 산출변수는 목표달성율(개발기간)과 예상매출액(제품개발과제 대상, 5개년 추정)이다.

효율성 분석 결과를 개발 활동별로 살펴보면 다음과 같다.

CCR 모형에서 효율적 DMU는 16건으로, 제품(9건)이 기술(7건)보다 투입요소를 효율적으로 운영하였다. BCC 모형은 효율적 DMU가 26건이며, CCR 모형처럼 제품(14건)이 기술보다 효율적으로 운영되었다.

규모 효율은 IRS 56건, CRS 18건, DRS 5건이다. IRS 상태가 제품(14건)보다 기술(42건) 과제에서 많은 이유는 투입규모 증가 시에 기능 개발과 관련된 R&D 인력의 전문화와 분업화, 전문기관과의 협업체계 구축 등이 투입물의 감소로 연결되어 효율성 분석 결과에서 규모수익 증가 상태로 나타난 것 같다. 해당 DMU는 투입규모 축소를 통한 산출물의 유지보다는 과제규모 확대를 통한 투입규모 확대가 산출물 확대에 연결되면 보다 더 효율성을 향상시킬 수 있다.

CRS 상태는 모든 요소들이 규모 증가에 따라 동일 수준에서 안정되게 운영됨을 나타내며, 선행을 제외한 과제의 DRS 상태는 해당 DMU의 투입규모가 과다 상태를 의미하므로 운영 측면에서 투입규모를 줄여 주거나,

산출물을 확대할 수 있는 방안 마련으로 효율성을 향상시킬 수 있다.

효율성 점수가 CCR 모형과 BCC 모형 전체에서 평균 이상인 DMU는 제품 과제이며, 규모효율성은 대상과제 전체가 평균 수준으로 나타난다. R&D 개발과제의 비효율적 원인은 기술과 규모 측면에서 기술적 비효율에 해당하며, 이는 DMU 과제의 효율적인 운영으로 개선될 수 있다.

DEA 모형은 상대적 비효율 정도와 함께 효율적 DMU 중에서 벤치마킹 할 DMU(준거집단)의 정보도 알려준다. 참조횟수가 많은 준거집단은 비효율적 DMU의 효율화 방안 도출 시에 활용할 수 있다. 전체 DMU 중 참조횟수가 가장 많은 준거집단은 제품의 17번(참조횟수 22회), 선행의 04번(참조횟수 21회), 제어의 16번(참조횟수 15회)이다. 비효율적 DMU의 효율적 운영을 위해서는 규모수익 상태에 적당한 효율화 방안이 수립되어야 하며, 준거집단을 참조하여 최적의 투입량을 관리해야 한다.

본 연구의 의의는 DEA 모형을 기존의 공공 R&D 과제에서는 다루지 못한 민간조직의 투입과 산출변수를 정의하여 R&D 과제의 효율성을 다른 시각으로 살펴봤다는 것이다. 또한, 제조기업의 실 사례연구를 통한 R&D 활동의 상대적 효율성 분석은 유사 연구에서 실무적으로 활용 가능하다.

제2절 연구의 한계점

본 연구에서의 R&D 효율성 분석은 다음의 한계점을 갖는다.

첫째, 전체 DMU를 대상으로 효율성 분석이 가능한 투입과 산출 변수가 한정적이다. 제품과 기술은 R&D 활동 범위가 상이하므로 상호 만족할 수 있는 변수를 찾기가 쉽지 않았으며, 그로 인하여 관련 데이터를 확보하는 것에도 어려움이 있었다.

둘째, 본 연구는 내부 R&D 과제들의 상대적 효율성을 분석한 자료이므로, 민간 제조기업의 산업유형과 과제특성에 따라서 R&D 효율성 결과 값이 다르게 나타날 수 있다. 아울러, 본 연구는 R&D 개발과제 자체로서 효율성을 분석하였기 때문에, 그 결과 값이 R&D 조직 전체를 대변할 수 없다는 점을 인지해야 한다.

셋째, R&D 활동에 따른 분류를 세분화하여 과제 유형별로 효율성을 분석하면 규모수익성 값이 일부 달라질 수 있으며, 이는 의사결정의 관점을 어디에 둘 것인가에 따라 DMU를 선택 적용할 필요가 있다.

넷째, 제품과제는 예상 매출액을 산출변수로 설정함으로써 외생변수에 대한 시장상황을 고려하지 않았다. 제품이 시장에 출시되어 본격적으로 매출을 발생시키는 기간까지 감안하여 본 과제를 보완한다면 - 실제 발생된 매출금액을 산출변수로 설정한다면 - 환경변수를 감안할 수 있게 되며, 아울러 R&D 투입과 산출 성과 사이의 일정한 시간 간격 -시간적 지연(Time-lag) - 요소 또한 다시 살펴볼 수 있을 것으로 여겨진다.

마지막으로 비효율적 DMU가 참조횟수가 많은 준거집단을 벤치마킹의 대상으로 활용하기 위해서는 비효율적 DMU들의 규모수익 상태를 고려한 효율적 운영 기준과 방법, 최적의 개선 값 등이 개별로 제공되어야 하며, 그와 관련된 분석은 별도로 보완될 필요가 있다.

향후 본 연구를 기반으로 제조업종에 속하는 민간조직의 R&D 효율성 연구가 확대된다면, 투입과 산출 요소의 관점에서 R&D 활동의 비효율적 요인을 제거할 수 있을 것으로 판단하며, 경영상 주요 의사결정 단계에서도 많은 도움이 되리라 기대한다.

참 고 문 헌

- 미래창조과학부 (2014) “2013년도 연구개발활동조사보고서”, 한국과학기술기획평가원
- 박만희 (2008), “효율성과 생산성 분석”, 한국학술정보(주)
- 박석중, 김경화, 정상기 (2011) “과학기술적 성과 관점에서 정부 R&D 사업 효율성분석에 관한 연구”, 기술혁신학회지 제14권 2호, pp.205-222
- 박정희, 문종범 (2010), “DEA를 이용한 지역산업 기술개발사업의 효율성 분석”, 산업경제연구 제23권 제4호, pp.2047-2068
- 서호준 (2013), “공공부문에 대한 효율성 측정기법의 적용: 국내 중소기업 신용보증기관의 사례분석을 중심으로”, 한국공공관리학보 제27권 제1호, pp.141-167
- 신태영, 박병무 (1998), “거시 계량 경제 모형을 이용한 연구개발 투자의 정책 효과 분석”, 과학기술정책연구원
- 안상인, 권성훈, 송성환, 배영임 (2009), “DEA를 이용한 R&D 효율성의 국제 비교 분석”, 한국경영과학/ 대한산업공학 춘계공동학술대회, pp.1356-1363
- 윤정목 외 3명 (2014), “DEA를 통한 산업단지 내 강소기업의 효율성 평가 및 특성에 관한 연구: R&D 투자를 중심으로”, 대한경영학회지 제27권 제10호, pp.1747-1765
- 이광민, 홍재범 (2012b) “DEA를 활용한 광역시도별 수협 상호금융 영업점의 효율성 분석”, 산업혁신연구, 제28권 제2호, pp.35-57
- 이원재 (2001) “기술특성을 고려한 연구생산성 측정모형”, 한국경영과학회, pp.771-774

- 이장균 (2014), “제조업 혁신 정책의 현황 평가와 시사점”, 현대경제연구원, VIP Report, 576호
- 이형진, 정선양 (2015), “DEA를 활용한 국방연구개발사업의 효율성분석”, 한국기술혁신학회, pp.355-363
- 임성복 (2009), “DEA에서의 투입. 산출 요소 선택 방법”, 대한산업공학회, 제22권 제1호, pp.44-55
- 장진규 (2003), “공공연구개발투자의 생산성 분석 방법론 개발”, 과학기술정책연구원 정책연구 2001-24
- 정대철, 박은경 (2008), “경남의 중소기업 R&D 실태와 효율적인 지원방안”, 경남발전연구원, 중점정책연구 기본연구, pp.01-215
- 정민, 한재진 (2015), “한중일 상장기업 R&D 투자 효율성 비교”, 현대경제연구원, 15-16호
- 조정식, 안기현, 강일중, 권철신 (2007), “R&D 능률성 측정 지표 체계의 개발”, 대한산업공학회 추계학술대회 논문집, pp.07-12
- 장정주 (2010) “사회적기업의 경영효율성 평가를 위한 DEA 모형 도입에 관한 연구: H지역의 간병. 가사 지원업을 중심으로”, 한국기업경영학회, 제17권 제2호, pp.181-193
- 한국공작기계산업협회 (2014), “산업정보”, KOMMA 홈페이지
- 황석원 외 6명 (2009) “국가연구개발사업 R&D 효율성 분석 및 제고방안”, 과학기술정책연구원, 정책연구
- 황석원 (2008), “표준사업분류에 의한 사업유형별 연구개발 효율성 측정과 그 지표”, 과학기술정책연구원, 과학기술정책
- A, Hashimoto, S. Haneda. (2008), Measuring the change in R&D efficiency of the Japanese pharmaceutical industry. Research Policy of elsevier, 37, pp.1829-1836

- Banker, R. D., Charnes, A., Cooper, W. W. (1984). Some Models for Estimating Technical & Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis, *Management Science*, 30(9), pp.1078-1092.
- Bill Scales (1997), *Data Envelopment Analysis - A Technique for Measuring the Efficiency of Government Service Delivery*, Steering Committee for the Review of Commonwealth/State Service Provision
- Cooper, Seiford, and Tone (2000), *Data Envelopment Analysis*, Kluwer Academic Publishers
- Chen, C. T., Lin, M. H. (2006). Using DEA to Evaluate R&D Performance in the Integrated Semiconductor Firm - Case Study of Taiwan. *International Journal of The Computer, the Internet and Management*, 14(3), pp.50-59.
- Farrell, M. J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society Series A General*, 120(3), pp.253-281.
- Fitzsimmons, J. A., M. J. Fitzsimmons (1994). *Service Management for Competitive Advantage*, McGraw-Hill Inc.
- Hatzichronoglou, Thomas (1997), "Revision of the High-Technology Sector and Product Classification", *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*, 1997/02, OECD Publishing.
- Lim, S. M. (2009), A Method for Selection of Input-Output Factors in DEA, *IE Interfaces*, 22(1), pp.44-55
- Park, S. J., Kim, K. H., Jeong, S. K. (2011), The Study on the Analysis of Efficiency of Governmental R&D Programs Regarding to the S&T Outcomes, *Technology Innovation Society*, 14(2),

pp.205-222.

Raquel Ortega-Argilés (2009), "Is Corporate R&D Investment in High-Tech Sectors More Effective? : Some Guidelines for European Research Policy", IZA Discussion Paper No. 3945

