
DEA를 활용한 민간 기업의 R&D 효율성 분석 사례: 공작기계 A사를 중심으로

전수진* · 이진수** · 홍재범***

<목 차>

- I. 서론
- II. 이론적 배경
- III. 연구방법
- IV. 분석결과
- V. 결론

국문초록 : 본 사례는 공작기계산업의 A사에서 수행한 R&D 개발완료 과제 79건을 대상으로 R&D 효율성을 DEA를 활용하여 분석하고, 그 개선방안을 제시한 것이다. DEA 분석에서 투입변수는 R&D 투자비와 연구인력 맨먼스, 산출변수는 개발기간 목표달성률과 예상매출액(5년간)으로 설정하였으며, 표본은 제품, 선행기술, 제어기술로 구분하여 분석하였다. 여기서 선행기술은 제품성능을 위한 요소기술과 응용프로그램을 개발하는 것이고 제어기술은 컴퓨터를 토대로 수치제어 프로그램을 설계하는 것이다.

분석결과에 따르면 제품, 제어기술, 선행기술 순으로 효율적으로 운영되고 있어 선행기술의 효율성이 가장 낮았다. 그 이유는 선행기술의 불확실성에 기인한다. 선행기술은 개발목표를 정하기 어렵고 개발계획도 수립하기 어렵다. 심지어 운영하는 과정에도 환경변화가 영향을 미친다. 투자효율성 분석결과에서 CRS는 제품 34.6%, 선행기술 14.3%, 제어기술 38.9%이

* 부경대학교 일반대학원 경영학과 박사과정, 주저자 (dongjii@nate.com)

** 부경대학교 경영대학 경영학부 부교수, 공동저자 (j28929@pknu.ac.kr)

*** 부경대학교 경영대학 경영학부 교수, 교신저자 (jbhong@pknu.ac.kr)

다. IRS는 제품 53.8%, 선행기술 85.7%, 제어기술 38.9%이다. DRS는 제품 11.5%, 선행기술 0%, 제어기술 22.2%이다.

전체적으로 본 사례는 과다투입보다는 과소투입이 문제가 되고 있다. 이는 R&D 투자 부족을 의미한다. 주목할 부분은 기업의 미래 경쟁력이 될 수 있는 응용기술에 대한 과소투입이 심각하다는 것이다. 비효율적 DMU의 효율적 운영을 위해서는 최적의 투입량을 관리해야 하며, 이것은 준거집단과의 비교를 통해 구할 수 있다.

주제어 : DEA, R&D, 효율성, 민간기업, 공작기계

R&D Efficiency Analysis Case of the Machine Tools Industry by Using DEA

Soo-Jin Jeon · Jin-Soo Lee · Jae-Bum Hong

Abstract : This case analyzed the efficiency of 79 R&D projects performed within one private research center in machine tools industry. DEA was used for efficiency analysis. Input variables were R&D investment expense and man-month. Output variables were achievement rate on target development period and expected net sales within 5-years. Samples are divided into product development, Prior technology development, and control technology development. The key result is that Prior technology showed the lowest efficiency because of high uncertainty. It was so difficult to determine its goals and to make its specific plans. With respect to scale, the proportions of CRS(constant returns to scale) were 34.6%, 14.3% and 38.9% for product development, prior technology, control technology respectively. As for IRS(increase returns to scale), they were 53.8%, 85.7% and 38.9% for product development, prior technology, control technology respectively. As for DRS(decrease returns to scale) they were 11.5%, 0% and 22.2% for product development, prior technology, control technology respectively. On the whole, in this case, insufficient input was more problematic than excessive input, which means the lack of investment in R&D. Prior technology can be the source of the future competitiveness of companies. To operate inefficient DMU efficiently, the optimal input should be managed and it is derived from comparison with the reference group.

Key Words : DEA, R&D, Efficiency, Private enterprise, Machine tools

I. 서론

기업은 R&D를 통해 고객의 요구에 부합하는 제품을 경쟁사보다 먼저 시장에 출시하고자 노력함으로써, R&D는 기업 경영에 있어서 매우 중요한 이슈가 되고 있다. R&D는 그 활동이 단계별로 기업 내부의 서로 다른 조직과 연계하여 이루어지기 때문에 성과에 영향을 미치는 변수가 매우 다양하며, 그 성과도 무형의 산출물이 많아 이를 측정하기 힘들다(이장재, 1996).

본 사례는 공작기계산업에 속하는 A사에서 내부적으로 수행한 R&D 과제를 대상으로 효율성을 분석하고, 그 개선방안을 제시한 것이다. 2012년부터 2014년까지 개발이 완료된 79건의 과제를 대상으로 투입과 산출변수를 설정하여 그 효율성을 자료포락분석(DEA, data envelopment analysis, 이하 DEA)으로 분석하였다. 이때 분석은 개발과제나 수행조직의 특성, 경영성과를 연계하여 다양하게 진행하였으며, 분석 결과를 바탕으로 결론 및 시사점을 도출하였다.

R&D의 효율성을 분석한 연구는 기관이나 연구소와 같이 공식적인 연구조직과 이들 연구조직에서 수행한 연구과제를 대상으로 한 연구로 구분할 수 있다. 조직을 대상으로 한 연구의 예를 들면 다음과 같다. 이동규(1993)는 대덕 소재 정부출연연구소 11곳, 장진규 등(1996)은 정부투자기관 11곳, 정은재 등(1999)은 연구조직 9곳, 권철신 등(2001)은 전자산업의 대규모 기술연구소, 조정식 등(2007)은 전기·전자연구소, 전성욱 등(2014)은 경제인문사회연구회 소관 23개 정부출연 연구기관을 대상으로 R&D 조직의 효율성을 평가하였다.

이들 조직에서 수행한 과제를 대상으로 한 연구는 다음과 같다. 박상혁 등(2007)은 한국건설교통기술평가원 과제 83개, 황석원 등(2009)은 국가 R&D 사업 자료를 이용한 사업단위의 R&D 과제, 백철우 등(2010)은 선도기술개발사업으로 지원한 48개, 박정희 등(2010)은 지역산업기술개발사업으로 지원한 342개, 이상현 등(2011)은 지역산업기술개발사업으로 지원한 과제 중 광산업 및 전자부품산업과 관련된 204개, 이형진 등(2014)은 국방기술 R&D 사업 145개, 이철행 등(2014)은 보건의료기술 R&D 사업으로 지원한 316개의 과제를 대상으로 R&D 수행의 효율성을 평가하였다.

흥미로운 점은 과제를 대상으로 한 연구가 대부분 정부지원 사업을 대상으로 하고 있다는 것이며, 특정 연구소나 조직에서 수행한 기술개발과제를 대상으로 하고 있지 않다는 것이다. 그 이유는 두 가지로 생각된다. 첫째, 정부의 R&D 과제는 그 활동을 투입, 과정, 산출로 구분하여 정의한 후 이를 관리하고 있으며, 그 내용은 관리기관 등을 통해 어

는 정도 외부에 공개되고 있다. 하지만 민간에서 자체적으로 수행한 과제는 외부에 자료가 공개되지 않고, 기업 내부의 R&D는 국가와 같이 그 활동을 일괄적으로 투입, 과정, 산출로 구분해서 정의하여 이를 관리하고 있지 않아 내부에서도 분석 자료를 확보하기가 어렵다. 둘째, 특정조직을 대상으로 하기 때문에 이를 일반화하여 진행하기가 어렵다는 문제가 있고 기존에 연구가 거의 없어 다른 연구들과 비교를 통해 그 의미를 찾기도 힘들다. 결국, 특정기업의 사례라는 제한된 범위 속에 진행할 수밖에 없는 한계가 있다.

따라서 이러한 한계 속에서도 본 사례가 지니는 의미는 민간 조직 내부에서 수행된 기술개발과제 수행의 효율성을 분석했다는 것이다. 국가가 지원한 기술개발과제를 대상으로 수행한 효율성 분석에서는 다루지 못한 민간 조직의 투입변수와 산출변수를 정의한 후 DEA 모형에 적용하여 R&D 과제의 효율성을 분석한 것이다. 예를 들어 R&D 연구인력의 맨먼스(man month), 목표달성률(개발기간)과 같은 변수는 과거 공공 R&D 과제에서는 분석에 적용할 수 없었던 변수들이다. 또한 본 연구에서는 기술개발과제를 응용기술과 개발기술로 구분하였다. 즉, 제품에 적용되는 제어기술개발과 향후 제품이나 서비스에 적용되는 선행기술개발을 분석하였다. 이러한 접근법은 대부분의 과제가 개발 기술이나 응용기술로 동질적인 공공과제에서는 접근해 볼 수 없는 시도이다. 이러한 시도는 기업에서 내부 R&D 과제의 효율성을 분석하고 향후 연구에 기반이 될 수 있다는 점에서 그 의미를 찾을 수 있다고 생각한다.

II. 이론적 배경

1. 자료포락분석(DEA: Data Envelopment Analysis)

DEA모형은 선형계획법에 근거한 효율성 측정방법으로 Charnes, Cooper and Rhodes (CCR, 1978)가 Farrell(1957)의 효율성을 재해석하고, 이를 다수 투입물과 다수 산출물과의 모형으로 연장하여 비선형계획모형으로 새롭게 제시한 것이다. DEA 측정기법은 일련의 선형계획법을 각 의사결정단위(DMU)의 투입 및 산출물에 적용하여 최선의 의사결정단위들을 선별해내고 이 최선의 의사결정단위들로부터 프론티어를 구성하는 것으로 시작한다. 프론티어가 구축되면 각 DMU들이 이 프론티어로부터 얼마만큼 떨어져 있는가 하는 거리(distance function)를 계산하여 상대적 효율성을 측정한다. 이러한 DEA 측

정은 두 가지의 모델에 기초하는데 CCR(Charnes, Cooper and Rhodes)모형과 BCC(Banker, Charnes, and Cooper)모형이다.

CCR모형은 Charnes, Cooper and Rhodes(1978)가 제시한 모형으로 모든 비교 대상 DMU들의 효율성은 1보다 작거나 같다는 제약 조건 하에서 평가하고자 하는 DMU의 효율성을 극대화하는 것이다. 즉, 모든 의사결정단위 각각의 투입물 가중 합계에 대한 산출물 가중 합계의 비율, 즉 효율성이 1보다 작거나 같아야 하며, 각 투입요소와 산출요소의 가중치들은 0보다 크다는 단순한 제약조건하에서 평가의 대상이 되는 의사결정단위(DMU)의 투입물 가중합계에 대한 산출물 가중 합계의 비율을 최대화시키고자 하는 선형 분수계획모형(fractional linear programming model)이다. Banker, Charnes and Cooper(1984)는 CCR모형이 규모효율성과 순기술효율성을 구분하여 측정하지 못한다는 단점을 지적하고 이를 극복하기 위한 방법으로 BCC모형을 제시하였다. BCC모형은 규모에 대한 보수 변화만을 허용하여 각 DMU들의 순수한 기술적 효율성만을 측정하는 것이다.

CCR모형과 BCC모형을 비교하면, CCR모형은 규모의 경제불변 생산 가능집합을 가정하며, 즉 모든 관찰된 DMU의 증가와 감소를 가정하므로, CCR모형 점수는 기술효율성(technical efficiency)이다. BCC모형은 관찰된 DMU들이 형성하는 생산 가능집합의 볼록 결합(convex combination)을 가정하며, BCC모형 점수를 순기술효율성(pure technical efficiency)이라 한다. 만약 DMU가 CCR모형 및 BCC모형 점수에서 완전히(100%) 효율적이라면 이는 가장 생산적 규모의 크기로 운영되는 것이다. DMU가 BCC모형으로 완전히 효율적이나 CCR모형의 점수가 낮다면, 이는 부분적으로는 효율적으로 운영되지만 DMU의 규모크기 때문이기에 전체적으로는 효율적으로 운영되는 것이 아니다.

CCR모형과 BCC모형 두 가지 점수의 비율에 의하여 DMU의 투자효율성을 평가한다. 평가대상 DMU가 규모에 대한 투자효율성이 일정한(constant returns to scale: CRS) 상태에 있는 경우에는 투자의 비효율성이 존재하지 않으며, 규모효율성이 100% 미만인 경우에는 투자의 비효율성이 존재하고, 이러한 비효율성은 규모에 대한 수익증가(increasing returns to scale: IRS) 혹은 규모에 대한 수익감소(decreasing returns to scale: DRS) 상태로 나타난다. 따라서 규모 비효율성이 존재하는 경우에는 그 이유를 규모에 대한 수익증가와 규모에 대한 수익감소로 분석하여 개선방안을 찾을 수 있다.

DEA모형은 분석목적에 따라 투입지향(input-oriented)모형과 산출지향(output-oriented)모형으로 분류된다. 투입지향(input-oriented)모형은 산출을 고정시킨 상태에서 투입을 최소화하는 것이며, 산출지향(output-oriented)모형은 투입을 고정시킨 상태에서 산출을 최대화하는 것이다(박만희, 2008).

2. 선행연구

연구자원의 배분과 성과관리를 위하여 R&D 효율성에 관한 많은 연구가 진행되었다. 최근 들어서 R&D 효율성 연구를 DEA 모형으로 분석하는 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 의사결정과정에 객관성을 부여할 수 있는 분석방법 중 하나라고 할 수 있다(임호순 외, 1999; 황성원 외, 2009).

2.1 조직단위의 R&D 효율성 분석

이동규(1993)는 대덕 연구단지 소재 정부출연연구기관 11곳의 효율성을 DEA로 분석하였다. 분석 시, 투입변수는 연구/기술직과 행정직원수, 시설/장비 투입이며, 산출변수는 연구보고서건수, 연구논문 학술지 게재건수, 연구과제 실적금액이다. 투입요소 각각에 대한 비능률요인을 분석하여 시사점을 도출하였고, DEA 효율성 평가가 전통적인 평가방법을 보완할 수 있는 대안임을 제시하였다.

장진규, 윤문섭, 박필, 신동일(1996)은 정부투자기관 24개 중 R&D 활동을 수행하는 15개 기관에서 민영화 대상 4개를 제외한 11개 기관의 R&D 투자흐름 및 R&D 효율성을 분석하였다. 분석에서 투입변수는 연구개발소득, 연구개발인력수이며, 산출변수로 매출원가개선율, 총자본경상이익률, 매출증가율이다. 분석결과, 효율성이 높은 기관은 6개이고 효율성이 낮은 기관은 5개였으며, 효율성이 낮은 기관은 R&D 효율성 증대방안을 도출하였다.

정은재, 김지수(1999)는 9개 연구조직의 연구 성과를 측정하고자 DEA 모형 중 규모수익변화와 산출물 극대화를 가정하여 기술적 효율성을 분석하였다. 투입변수는 연간 예산액과 연구원 수로 고정하고, 산출변수는 논문건수, 논문총점수, 특허건수, 프로그램 등록건수를 선택 적용하였다. 선택된 변수에 따라 효율성 값의 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 시에 좋은 방안이 될 수 있음을 제시하였다.

권철신, 조근태, 이원재(2001)는 전자산업의 기술연구소를 대상으로 연구효율성을 측정하였다. R&D 활동의 특성을 R&D 투입과 산출 성과간의 일정한 시간간격인 시간지연

(time-lag)요소를 고려하고, 특허를 국내와 국외로 구분하여 분석하였다. 이를 통해 R&D 활동의 주체인 연구소별 비효율 원인을 규명하고, 연구효율성 증대를 위한 R&D 자원관리 방안을 제시하였다.

조정식, 안기현, 강일중, 권철신(2007)은 전기·전자연구소를 대상으로 R&D 조직의 효율성을 평가하였다. 조직은 기초/응용/개발연구로 분류하고, R&D 성과지표도 질과 양을 구분하였다. 투입변수는 R&D 비용과 R&D 인재이며, 산출변수는 기초연구(특허성과, 학술업적), 응용연구(특허성과, 특허의 확산 및 활용성), 개발연구(순기술가치, 기술중요도)로 각각 구별하였다. R&D 조직의 특성이 반영된 성과물들의 구성형태를 통해 R&D 수행능력을 규명함으로써 연구모형의 유용성을 확인하였다.

전성욱, 김성중(2014)은 경제인문사회연구회 소관 23개 정부출연연구기관을 대상으로 2006년부터 2010년도까지 생산성 변화를 분석하고, 관련 요인을 파악하여 정책적 시사점을 도출하였다. 분석을 위해 투입변수는 연구인력, 연구예산으로 하고, 산출변수는 연구보고서 생산건수, 특허등록건수, 연구기관평가결과(연구성과)로 설정하였다. Malmquist 생산성 지수 분석 결과, 연구기관의 평균 생산성은 6.5% 하락하였다. 이를 효율성 변화와 기술변화로 나누면 효율성은 평균 4.7% 향상되었지만 기술변화율이 평균 10.8% 하락한 것으로 나타난다. 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 외부환경변화에 대응하여 핵심 연구인력 확충, 연구개발비 확대, 연구개발방식 변화 등 R&D 기능 강화를 통한 기술진보를 도모해야 하는 정책적 시사점을 제공하였다.

2.2 과제단위의 R&D 효율성 분석

박상혁, 한승현, 김대환(2007)은 1998년부터 2005년까지 한국건설교통기술평가원의 83개 과제의 효율성을 분석하였다. 투입변수는 투입연구비와 참여연구원 수이고 산출변수는 다양한 논문으로 구성된 지식축적요소와 특허, 신기술과 같은 지식전파요소로 구성하였다. 건설 R&D 투자의 우선순위 결정 및 비효율적인 건설 R&D 사업의 성과향상 기준에 효율성 분석 자료의 활용가능성을 제시하였다.

황석원 외 6명(2009)은 국가 R&D 사업 자료를 이용하여 사업단위에서 R&D 효율성을 측정하고, 다양한 관점에서 집단 간의 효율성 격차를 비교 분석하였다. 2001년~2007년의 조사/분석 자료를 대상으로 효율성을 측정하였다. 정부출연연구소의 R&D 효율성

저해요인을 분석하고, DEA를 활용한 벤치마킹으로 벤치마킹 대상과 성과목표를 도출하는 등의 R&D 효율성 제고 방안을 제안하였다.

백철우, 이순배(2010)는 (구)정보통신연구원에서 선도기술개발사업으로 지원한 48개 과제에 대해 피인용지수(IF)등 질적 성과를 고려한 R&D 효율화를 분석하였다. 이를 통해 R&D의 양적, 질적 성과를 모두 아우를 수 있는 평가를 위하여 RAM 모형으로 측정된 효율성을 산출지향 DEA 모형의 효율성과 비교 분석하였다. 질적 성과를 고려한 R&D 효율성분석 모형을 국가 R&D 사업에 적용하기 위해서는 질적 성과에 대한 변수의 보장 및 과제의 성과점검시스템 개선이 필요함을 제안하였다. 여기서 RAM(range adjusted measure)모형은 Cooper, Park, Pastor(1999)가 제안한 것으로 BCC 모형과 동일하게 규모수익 가변을 가정하지만, 투입지향이나 산출지향처럼 방향성에 대한 사전적 가정 없이 비효율성을 최대한 제거하는 방향으로 효율성을 측정하는 방법이다.

박정희, 문중범(2010)은 지역산업 기술개발사업의 효율성을 분석하였다. 2008년도에 조사된 성과활용보고서 중 과제완료 후 2년차인 342건을 대상으로 진행하였다. 투입변수는 연구비, 지식보유수, 개발기간이며, 산출변수는 특허, 논문, 매출액, 고용창출이다. 분석결과에 기초하여 정부가 추진하고 있는 지역산업 지원사업의 효율성을 향상시킬 수 있는 개선방안을 제안하였다.

이상현, 김상영, 이상준(2011)은 광산업/전자부품산업을 중심으로 지역산업기술개발사업의 파급효과 연구를 위하여 204개 과제에 대한 산업연관성과 효율성을 분석하였다. 투입변수는 연구비(정부/민간), 연구인력, 사업성과기간이며, 산출변수는 논문, 산업재산권, 기술선진화, 기술혁신, 매출액, 고용창출로 설정하여 분석하였다. 분석 결과, 사업성과에 영향을 끼치는 주요인은 기술개발인력이고, 매출액 변화는 가시적으로 실현되지 못했다. 사업유형별은 공통과제에 비해 중점과제의 효율성 지수가 높았는데, 이는 사업기간이나 사업비 규모가 영향을 주는 것으로 분석되었다. 지역산업 기술개발사업은 인력과 사업기간, 사업비 규모의 확충과 함께 기술개발의 결과가 매출이나 고용증가 등의 성과로 나타날 수 있도록 노력해야 함을 제안하였다.

이형진, 정선양(2014)은 국방핵심기술개발 145개 과제에 대하여 핵심기술 8대 분류에 대한 R&D 투자의 효율성을 분석하였다. 투입변수는 R&D 비용, 인력, 기간이며, 산출변수는 특허, 논문, 실용화이다. 분석결과, 국방기술 R&D 사업의 투자 효율성은 개선할 필요가 있으며, 효율적인 R&D 배분 및 투자를 위한 정책적 시사점을 제시하였다.

이철행, 조근태(2014)는 보건의료기술 R&D 사업의 효율성을 분석하였다. 대상은 13개 표적질환, 316개 과제이며, 산출지향 DEA를 활용하였다. 투입변수는 연구인력과 기간,

연구비이며, 산출변수는 양적 성과로 SCI 논문과 특허출원등록, 질적 성과로 피인용지수(IF)를 선정하였다. 표적질환을 효율성 평균값을 기준으로 고효율질환과 저효율질환 집단으로 각각 분류하여 연구유형과의 조합을 통해 투자전략 수립과 성과 제고를 위한 전략적 포트폴리오 모형을 제시하였다.

〈표 1〉 DEA를 활용한 R&D 효율성 : 선행연구

단위	주관	연구자	대 상	투입변수	산출변수	
조직	공공	이동규 (1993)	정부출연연구기관 (11곳, 대덕연구단지)	연구/기술직 행정직원수 시설/장비투입	연구보고서수, 연구논문학술지게재수, 연구과제 실적금액	
		장진규, 윤문섭, 박필, 신동일 (1996)	정부투자기관 (11곳)	연구개발스톡 연구개발인력수 *종업원일인당	매출원가개선율 총자본경상이익률 매출증가율	
		전성욱, 김성중 (2014)	정부출연연구기관 (23곳, 경제인문사회)	연구인력 연구예산 -정부출연/자체수입	연구보고서 생산건수 특허등록건수 연구기관평가결과(연구성과)	
	민간	정은재 (1999)	연구조직 (9곳)	연간 예산액, 연구원 수	문건 수, 논문총집수, 특허건수, 프로그램등록건수(선택적용)	
		권철신, 조근태, 이원재 (2001)	전자산업 기술연구소 (8곳)	연구원 수 R&D 총투자비	국내/국의 특허 등록건수	
		조정식, 안기현, 강일중, 권철신 (2007)	전기/전자연구소	R&D 비용 R&D 인계	기초(특허성과, 학술업적) 응용(특허성과, 특허확산) 개발(순기술가치, 기술중요도)	
	과제	공공	박상혁, 한승현, 김대환 (2007)	한국건설교통기술평 가원 (83개 과제)	투입연구비 참여연구원 수	지식축적요소(논문) 지식전파요소(특허, 신기술)
			황석원 외 6명 (2009)	국가R&D사업 (01-07년)	총투자(백만원) 투입시간(년)	논문(SCI/비SCI), 특허(출원/등록) 매출(증가), 고용(창출)
			백철우, 이순배 (2010)	(구)정보통신연구원 (48개 과제)	연구비(정부/민간) 연구인력	양적성과(논문, 특허출원, 기술이전) 질적성과(심사청구, 피인용지수, 기술료비중)
박정희, 문종범 (2010)			지역산업기술개발사업 (342개 과제)	연구비(정부/민간) 지식보유수 개발기간	특허, 논문, 매출액, 고용창출	
이상현, 김상영, 이상준 (2011)			지역산업기술개발사업 (204개 과제) -광산업/전자부품산업	연구비(정부/민간) 연구인력 사업성과 기간	논문, 산업재산권 기술선진화, 기술혁신, 매출액, 고용창출	
이형진, 정선양 (2014)			국방기술R&D사업 (145개 과제)	연구비, 연구인력, 연구기간	특허, 논문, 실용화	
이철행, 조근태 (2014)			보건의료기술R&D사업 (316개 과제)	연구비, 연구인력, 연구기간	양적성과(SCI논문, 특허출원) 질적성과(피인용지수)	

Ⅲ. 연구방법

1. 연구표본

본 사례는 공작기계산업 내 특정기업의 R&D를 분석대상으로 설정하였다. 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·후방 관련 산업의 가교 역할을 담당한다. 공작기계 제품은 기계부품과 전자의 복합된 기술이 적용되며, 현재는 IT 기술과 융합하여 제조업을 혁신하기 위한 R&D 활동이 활발하게 진행되고 있다.

분석대상은 2012년부터 2014년 사이에 개발이 완료된 제품과제 26건과 기술과제 53건을 합친 총 79건이다. 제품개발은 기계설계 단계를 거쳐 상품으로 판매되는 완제품, 즉 하드웨어 개발활동을 의미한다. 기술개발은 기계동작과 관련된 소프트웨어 개발활동을 의미하며, 선행기술과 제어기술로 구분 가능하다. 선행기술은 제품성능을 위한 요소기술과 응용프로그램을 개발하는 분야이며, 제어기술은 컴퓨터를 토대로 수치제어 프로그램을 설계하는 분야이다. 기술개발과제에서 선행기술은 35개, 제어기술은 18개이다.

DEA 모형에서는 DMU의 동질성이 확보되어야 한다. 앞서 설명한 R&D 활동을 고려하여 총 과제를 2개 유형(제품/기술)으로 구분한 후 실제 관리되고 있는 조직 단위인 3개 유형(제품, 기술(선행, 제어))으로 분류하였으며, <표 2>에 정리하였다. DMU는 개수가 많을수록 효율성을 확보할 수 있으며 통상 투입변수와 산출변수의 총합에 2배 또는 3배의 값보다 커야 변별력이 있다(Fitzsimmons, J.A. & M.J. Fitzsimmons, 1994). 본 연구의 표본은 이러한 조건을 만족시킨다.

<표 2> 분석대상

제품개발 (a)	기술개발			합계 (e=a+b)
	전체 (b=c+d)	선행기술 (c)	제어기술 (d)	
26	53	35	18	79

2. 변수 선정

투입변수는 R&D 활동에 소요되는 요소로서, R&D 투자비, 연구인력, 연구시설과 장비, 지식스톡, 시간 등이 해당된다. 산출물보다 정량화가 쉬운 편이며, 변수의 정의 및 관리도 가능하다. 산출변수는 투입변수 간의 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 상이하어 측정방법이 달라지며, 명확한 관리기준이 없어서 가중치를 고려한 합의가 요구될 때도 있다(장진규, 2001; 황석원 외 6명, 2009).

일반적으로 가장 많이 사용되는 투입변수는 연구비와 연구인력이며, 산출변수는 논문, 특허, 매출, 고용이다. 투입변수에서 연구비와 연구인력이 많이 사용되는 이유는 연구비가 자본의 대용치고 연구인력이 노동의 대용치이기 때문이다. 산출변수에서 논문과 특허는 연구개발의 1차 목표이고, 연구개발의 과제 특성이 단기 상용화인 경우 매출이 추가로 사용되며 고용은 사실 정부지원사업의 경우 정책목표로 주어진 산출목표이다. <표1>에서도 기초에 해당하는 국방관련기술개발 사업의 산출은 논문과 특허이고 지역산업 활성화와 관계된 기술개발사업에는 매출과 고용이 포함된다.

본 사례에서는 투입변수로 R&D투자비와 연구인력, 산출변수로 목표달성률과 예상매출액을 설정하였다. R&D투자비와 연구인력은 기업의 기술성과요인으로 중시하고 있는 변수이며 많은 연구에서 투입변수로 활용되고 있다(김현우 외 2명, 2012). 본 사례가 기존 연구와 조금 차이가 있는 것은 인력투입을 단순히 인원수로 정의하지 않고 연구인력 맨먼스(man month)로 정의한 부분이다. R&D투자비는 자체개발 프로젝트 코드로 관리되는 과제별 사용실적이며, 인건비를 제외한 재료비와 경비만 포함하여 사용한다. 인건비를 제외한 것은 R&D투자비에서 가장 비중이 큰 연구인력 인건비를 맨먼스로 별도 산출하여 투입요소로 반영했기 때문이다.

연구인력 맨먼스는 과제의 성격에 따라 투입되는 인원의 근무연수, 과거 유사과제의 수행경험 및 개인의 역량 등이 동일과제에서도 달리 적용될 수 있다는 점을 고려하여 일반화한 변수이다. 따라서 맨먼스는 개발기간 동안 매달 얼마만큼의 소요인력이 발생하는가를 의미하며 개발과제에 참여한 연구인력 총인건비를 월평균 급여로 나눠 산출했다. 즉, 개발인력에 따라 인건비 차이가 있을 수 있으며 이는 투입된 인력의 질이 함께 반영될 수 있다는 것이다.

산출변수는 개발기간 목표달성률과 예상매출액이다. 본 사례에서 개발기간의 목표달성률을 산출변수로 설정한 것은 기업이 시장의 요구에 부합하는 제품을 생산하고 판매하여 수익을 얻기 위해서는, R&D 활동에서 제대로 된 제품을 적기에 개발해야 하기 때문에 그 중요성을 반영하기 위한 것이다. 정부가 지원한 기술개발과제는 대부분 2년, 3년과 같이 연단위로 목표가 설정된다. 하지만 민간에서는 연 단위가 아니라 일 단위 주 단위 월 단위가 모두 중요할 수 있다.

개발기간 목표달성률은 제품 또는 기술과제의 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 있는 것을 절대적 기간 차이로서는 판단하기 어렵다. 이런 문제점들은 목표대비 증감률로 측정하였다. 예를 들어, 개발과제의 목표기간이 10주이고 완료기간이 8주이면, 단축기간은 2주이다. 따라서 단축기간을 목표기간으로 나누면 $-2/10$ 로 -0.20% 로 기간을 20% 단축한 것이다. 반대로 개발과제의 목표기간이 10주이고 완료기간이 12주이면, 증가기간은 2주이다. 따라서 $2/10$ 로 기간이 20% 증가한 것이다. 사례에서 목표기간을 100% 초과 진행될 경우 측정방법에 대한 수정이 필요할 수도 있지만 프로젝트기간이 100% 초과된 경우는 없다.

예상매출액은 신제품의 상품화 성과를 나타내므로 제품개발 과제에만 한정시켜 적용한다. 제품의 총 수명은 시장, 경쟁, 기술적 요인에 따라 각기 다르게 책정되어 일반화가 어렵다. 신제품에서 상품화를 통한 매출 발생기간은 개발이 완료되고 론칭 단계를 거쳐 양산 시작 후 5년간으로 설정하였다. 5년이라는 기간은 신제품개발을 통해 매출이 대부분 발생할 때까지의 기간이고 개발계획 수립 시의 제품 판매 목표 금액이다.

과제별 투입량과 산출량은 관련부문의 인력들로 구성된 회의체에서 협의과정을 거쳐 최종 확정한다. 과제의 중요도와 해당 제품(기술)의 시장 니즈를 포함한 내·외부 상황을 종합적으로 판단하여 정해진 목표치는 향후 개발프로세스 진행 과정에서 지속적인 모니터링을 통하여 관리된다.

공작기계사업의 R&D 효율성 분석에 활용되는 투입과 산출변수는 각각 2개로 구성되며, 투입변수는 동일하지만 산출변수는 R&D 성격에 따라 차이가 있다. 즉, 제품개발인 경우에는 목표달성률(개발기간)과 예상매출액(5개년)을 모두 사용하여 분석 가능하지만, 기술개발은 예상매출액을 산정할 수 없어서 목표달성률(개발기간)로만 산출을 정의하였다. 이는 공공기술개발사업에서도 원천기술개발은 특허와도 같은 기술적 목표의 달성여부만으로 그 결과를 판단하고, 상용화기술개발사업은 매출액으로 그 결과를 판단하는 것과 같다.

〈표 3〉 DEA 모형에서의 투입변수와 산출변수

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

3. 분석모형

R&D 개발은 투입에서 통제가 가능하여 투입지향 DEA 모형을 적용하여 분석하였다. R&D 개발은 산업 특성상 산출물의 상품화 성공여부가 불확실하며, 수요시장 상황에 맞춰 공급물량 또는 출시시점을 조절하는 경우가 많다. 이런 점을 감안하면 최대 산출보다는 최소 투입이 실질적으로 통제 가능하며, 효율성 분석결과를 현업에 적용할 때의 실패 가능성도 낮출 수 있다. 개발과제 추진 여부를 결정할 때에도 투입요소가 주요 의사결정 요소로 관리되는 경우가 많다.

효율성 측정 소프트웨어는 EnPAS(efficiency & productivity analysis system) 1.0을 이용하였으며 분석절차는 다음과 같다. 분석대상인 DMU는 개발활동 단위의 제품과 기술로 구분해서 1차 진행한 후에 기술은 실제의 관리조직 단위인 섹터와 제어로 DMU를 재분류하여 효율성 값을 2차 측정한다. 각각의 효율성 분석 정보는 비효율적인 DMU의 벤치마킹 할 대상으로 삼을 수 있는 DMU를 세부적으로 제공할 때 유용하게 사용할 수 있다.

IV. 분석결과

79개 R&D 개발과제의 효율성을 CCR 모형과 BCC 모형으로 분석하였다. CCR 모형은 주어진 생산 하에서 최대 산출을 얻기 위한 기술효율성(TE)을 분석하며, BCC 모형은 비용을 얼마나 효율적으로 사용하였는가를 나타내는 순기술효율성(PTE)을 분석한다. 기술효율성과 순기술효율성을 조합하면 규모효율성(SE)을 구할 수 있다.

1. 효율성분석

효율성을 분석한 결과는 <표 4>에 정리하였다. 전체적으로 CCR 모형과 BCC 모형의 결과는 유사하고 전체적으로 BCC 모형으로 분석한 효율성의 결과가 좀 높다. DMU의 점수는 제품개발과제가 기술개발과제에 비해 효율성 정도가 높으며, 이는 산출변수 수가 제품개발과제에서 더 많기 때문이다. 기술개발과제에서는 제어과제가 선행과제에 비해서 효율성 점수가 높다. 여기서 제품개발과제는 하드웨어 개발활동을 의미하고 기술개발과제는 소프트웨어 개발활동을 의미한다. 기술개발과제에서 선행은 제품성능을 위한 요소 기술과 응용프로그램을 개발하는 분야이며, 제어는 컴퓨터를 토대로 수치제어 프로그램을 설계하는 분야이다.

비효율적으로 운영되는 DMU가 가장 많은 것은 기술과제 중 선행과제이다. 그 이유는 선행연구개발 자체가 특정한 제품이나 서비스를 개발하는 것이 아니고 여러 제품이나 서비스에 적용할 향후 응용기술을 개발하는 것으로 개발기획부터 개발목표를 구체적이며 명확하게 확정하기 어렵기 때문이다. 따라서 이러한 선행기술 개발의 효율성을 높이기 위해서는 기획 단계부터 개발과정에 이르기까지의 전체과정에 관련부문의 인력이 참여하는 협업이 중요하다고 생각한다.

<표 4> 효율성 분석

구 분		제품개발 (전체)	기술개발			
			전체	선행기술	제어기술	
CCR 모형	효율성 점수	average	0.623	0.568	0.599	0.738
		SD	0.398	0.356	0.325	0.370
		max.	1	1	1	1
		min.	0.063	0.002	0.005	0.004
	기술 효율성	1.000	9	7	5	5
		0.900-0.999	2	8	5	4
		0.800-0.899	2	5	3	3
		0.700-0.799	2	2	3	2
		0.600-0.699	0	5	2	0
		0.500-0.599	1	5	3	0
		0.400-0.499	1	2	1	0
		0.300-0.399	0	4	4	1
		0.200-0.299	1	4	5	0
0.100-0.199		4	2	2	0	
0.000-0.099	4	9	2	3		
Total	26	53	35	18		
기술효율성이 1 DMU 비중(%)		34.6	13.2	14.2	27.7	

BCC 모형	효율성 접수	average	0.724	0.674	0.686	0.866
		SD	0.382	0.386	0.347	0.307
		max.	1	1	1	1
		min.	0.098	0.002	0.058	0.007
	순기술 효율성	1.000	14	12	9	9
		0.900-0.999	2	15	7	6
		0.800-0.899	1	4	4	0
		0.700-0.799	0	2	0	1
		0.600-0.699	0	0	1	0
		0.500-0.599	2	1	1	0
		0.400-0.499	0	2	2	0
		0.300-0.399	0	4	4	0
		0.200-0.299	1	2	4	0
		0.100-0.199	5	4	2	0
0.000-0.099	1	7	1	2		
Total	26	53	35	18		
기술효율성이 1 DMU 비중(%)		53.8	22.6	25.7	50.0	

CCR모형과 BCC모형의 효율성 분석결과를 활용하여 DMU의 규모에 대한 투자효율성을 분석하여 <표 5>에 정리하였다. <표 5>에서 CRS(constant returns to scale)는 규모의 비효율성이 존재하지 않으며, IRS(increasing returns to scale)는 규모에 대한 수익증가, DRS(decreasing returns to scale)는 규모에 대한 수익감소의 상태이다.

CRS는 투입과 산출의 모든 요소들이 규모증가에 따라서 동일 수준에서 안정되게 운영됨을 의미한다. 제품 34.6%, 선행기술 14.3%, 제어기술 38.9%이다. 제품과 제어기술의 CRS 비중은 비슷한 수준이지만 선행기술에서 CRS 비중은 상당히 낮다. IRS는 투입이 증가하면 산출이 더 크게 증가하는 구조로 과소 투입이 문제가 되는 영역으로 전체의 70.9%이다. 제품 53.8%, 선행기술 85.7%, 제어기술 38.9%이다. DRS는 투입과 산출의 모든 요소들이 규모증가에 따라서 효율성은 감소하는 경우로 전체의 6.3%이다. 제품 11.5%, 선행기술 0%, 제어기술 22.2%이다. 따라서 선행기술에서 과소투입문제가 심각한 상황이며 심지어 과다투입문제가 발생하지 않고 있다.

IRS에 해당하는 과제는 투입규모를 적정수준까지 끌어올려서 효율성을 높일 수 있다. 즉, 설계의 외주용역 또는 소프트웨어의 외주개발 등에 따른 분업화로 전체 투입규모가 감소하였다면, 유사 성격의 개발과제를 통합하여 과제의 총 규모를 확대할 수 있다. 이 과정에 추가적인 투입과 산출이 일어나게 되며, 적정수준에서 조절 가능하다면 규모효율성을 기대할 수 있다. DRS는 투입과 산출의 모든 요소들이 규모증가에 따라서 효율성은 감소하는 경우이므로, 규모가 증가함에 따라 발생 가능한 경영상의 비효율 요소를 찾아서 제거해야 한다. 개발과 관련된 주요 의사결정 사항이나 협업관계로 연결된 유관 팀과

의 정보공유 방법을 점검하여, 불필요한 활동이나 요소들이 어느 단계에서 발생하는지 파악한 후에는 프로세스를 재구성하고 체계화시키는 작업이 병행되어야 한다.

이러한 결과에서 파악된 흥미로운 시사점은 선행 기술개발에서 과소투입문제가 심각하다는 것이다. 전반적으로 과소투입현상이 발생하고 있는 상황에서 현재 수익과 관계가 되는 개발기술인 제품개발이나 제어기술에 대한 투자는 과도하게 진행되는 경우도 발생하고 있으나, 미래 기업의 경쟁력이 될 수 있는 응용기술에 대해서는 투자가 부족하다는 것이다.

〈표 5〉 규모의 효율성 분석

구분	제품개발	기술개발		
		전체	선행기술	제어기술
CRS	9	9	5	7
IRS	14	42	30	7
DRS	3	2	0	4
계(개)	26	53	35	18
CRS	34.6	17.0	14.3	38.9
IRS	53.8	79.2	85.7	38.9
DRS	11.5	3.8	0.0	22.2
계(%)	100.0	100.0	100.0	100.0

2. 벤치마킹

DEA 모형은 측정된 효율성 값으로 비효율 정도를 제시하고 벤치마킹할 준거집단인 DMU의 정보도 알려준다. 준거집단은 주어진 투입과 산출변수의 조합에 있어서 비효율적인 DMU의 벤치마킹할 대상으로 삼을 수 있는 DMU이다(박만희, 2008). 연구결과, 전체 DMU 중 참조횟수가 가장 많은 준거집단은 제품의 17번(참조횟수 22회), 선행기술의 04번(참조횟수 21회), 제어기술의 16번(참조횟수 15회)이다.

제품개발과제 DMU17은 양산 중인 제품과 유닛 부품을 상호 조합한 모듈러 설계를 통해서 신제품을 개발하는 과제였다. 기존에 이미 개발된 제품과 부품을 새롭게 조합하는 것으로 처음부터 투입을 최소화하는 방향에서 과제를 진행하였으며, 검증과정과 개발 심사단계를 간소화하여 개발일정을 잘 관리하였다. DMU17을 효율적으로 참조하는 DMU18과 DMU19는 IRS로 이들 과제 모두 DMU17과 같이 모듈러 설계를 통해서 신제

품을 개발하는 과제이고 그 제품개발의 내용도 유사한 경우였다. 이 경우에 DMU17과 같이 검증과정과 개발심사단계를 간소화하여 개발일정을 잘 관리하거나 이들 과제를 공동으로 진행했었다면 효율적 운용이 가능할 수 있었을 것으로 판단된다.

선행기술개발과제 DMU04는 유사 기능을 통합해서 동시에 개발하고자 진행한 기술개발과제이다. 사전에 중장기 개발 로드맵을 세부적으로 검토하여 유사 과제를 통합해서 개발했고, 인력과 업무범위도 공통과 개별로 재분배하여 과제 관리의 효율화를 이뤘다. 동일한 준거집단을 참조하는 DMU12와 DMU13, DMU31은 IRS이며, 개발배경 측면에서 상호 연관성이 많은 과제이다. 따라서 개발 로드맵 상의 유사 과제를 통합하되, 연장된 개발기간을 단계별로 관리하고, 인력과 개발업무를 재조정하여 유연성과 전문화를 키웠다면 효율성을 높일 수 있었을 것으로 판단된다.

제어기술개발과제 DMU16은 제품이 양산되는 시점에 제어유닛을 적용하기 위해 진행한 사전설계기술개발과제이다. 사전에 적용대상 기종과 유닛을 사전에 명확하게 정의하고, 개발심사 단계를 최소화하여 개발기간을 줄였다. 동일한 준거집단을 참조하는 DMU02와 DMU07은 DRS이며, 투입규모가 과다한 상황이다. 개발과제의 규모와 특성을 고려하여 개발심사 단계를 재검토하고, 그에 맞춰 투입규모를 적절하게 조절했다면 운영상의 비효율 요인 제거가 가능했을 것으로 판단된다. 투입규모를 줄일 수 있는 방법은 외부네트워크의 활용 및 원재료 구입처 관리, 전문화된 연구인력 확보 등이 있다.

이러한 결과는 준거집단 내의 R&D 활동이 비교적 본 사례에서 제시한 효율적 운영방안과 일치한다는 것을 보여준다. 개발과제가 IRS인 경우에는 과제 규모를 확대하여 투입변수를 증가시키고, DRS인 과제는 투입변수를 감소시켜 효율성을 올릴 수 있다. 더불어 과제 규모의 확대는 중장기 개발과제가 사전에 수립되어 관리되어 질수록 보다 쉽고 빠르게 적용 가능하며, 규모 증가에 따라 발생 가능한 경영상의 비효율 요소를 제거하는 활동들도 함께 병행되어야 CRS를 지속적으로 유지할 수 있다. 중장기 개발과제는 기획 단계에서부터 효율화 여부를 점검하고 관리해야 한다. 과거 데이터의 분석을 통한 개발 유형별 기준(안)을 마련하고, 이를 지속적으로 체계화시킬 수 있으면 개발이 예정되거나 진행 중인 과제에 적용하여 과제의 효율화를 기할 수 있다.

〈표 6〉 DMU별 효율성 분석: 제품개발

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 7〉 DMU별 효율성 분석: 선행기술개발

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	-
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					

〈표 8〉 DMU별 효율성 분석: 제어기술개발

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					

V. 결론

본 사례는 2012년부터 2014년까지 공작기계산업 내 특정기업의 내부 R&D 활동을 DEA모형으로 적용하여 그 효율성을 분석한 것이다. 개발 완료된 79개 과제가 분석대상이었으며, 과제특성을 고려하여 개발과제를 제품과 기술로 구분하여 분석하였다. 투입변수는 R&D 투자비와 연구인력맨먼스, 산출변수는 목표달성률(개발기간)과 예상매출액(제품에 한함)으로 설정하였다.

분석결과, 제품개발과제가 기술개발과제에 비해서 효율적으로 운영되고 있고 기술개발과제에서는 제어기술이 선행기술에 비해 효율적으로 운영되고 있다. 가장 효율성이 낮은 것이 선행기술이다. 여기서 선행기술은 제품성능을 위한 요소기술과 응용프로그램을

개발하는 것으로 컴퓨터를 토대로 수치제어 프로그램을 설계하는 제어기술보다 불확실성이 크다. 즉, 개발기획부터 개발목표를 구체적이며 명확하게 확정하기 어렵고 운영하는 과정에도 불확실성이 높다.

규모의 효율성을 분석한 결과, CRS는 제품 34.6%, 선행기술 14.3%, 제어기술 38.9%이다. IRS는 제품 53.8%, 선행기술 85.7%, 제어기술 38.9%이고, DRS는 제품 11.5%, 선행기술 0%, 제어기술 22.2%이다. 이러한 결과는 전체적으로 과다투입보다는 과소투입이 문제가 되고 있다는 것이며 이는 연구개발투자 부족을 의미한다. 더욱 큰 문제는 수익에 직접적인 관계가 없지만 기업의 미래 경쟁력이 될 수 있는 응용기술에 대한 과소투입 문제가 심각하다는 것이다.

DEA 모형은 상대적 비효율 정도와 함께 효율적 DMU 중에서 벤치마킹할 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), 선행기술의 04번(참조횟수 21회), 제어기술의 16번(참조횟수 15회)이다. 비효율적 DMU의 효율적 운영을 위해서는 규모수익 상태에 적당한 효율화 방안이 수립되어야 하며, 준거집단을 참조하여 최적의 투입량을 관리해야 한다. 아울러, 과거 데이터를 충분히 확보하여 R&D 효율성을 분석하고 과제 특성에 맞는 기준(안)을 마련함으로써, 개발 예정이거나 진행 중인 과제의 비효율적 요소를 사전에 관리할 수 있도록 해야 한다.

본 사례의 의미는 민간기업의 내부 과제 단위에서 DEA 모형을 통한 R&D 효율성을 분석하였다는 것이다. 기존 연구는 대부분 연구소나 기관, 기업과 같이 공식적인 조직을 대상으로 한 경우이거나 아니면 정부가 지원한 기술개발과제를 대상으로 이들 사업의 성과평가 자료를 활용해서 진행되었다. 따라서 특정조직에서 수행한 기술개발과제들 간의 상대적인 효율성을 비교하고 분석한 경우는 찾아보기 힘들다. 또한 정부의 가이드라인에 따라 분석된 자료에 기초하여 연구를 진행하는 것도 변수 설정 등에 한계가 있다.

이에 본 사례가 기존 연구에서는 다루기 어려웠던 과제 단위에서의 투입변수와 산출변수를 정의하고, DEA 모형에 적용하여 R&D 활동의 상대적 효율성을 분석하였다는 점에서 의미가 있다. 예를 들어 투입에서 맨먼스나 산출에서 개발기간목표달성률과 같은 변수들은 기존 연구에서 시도된 바가 없는 변수들이다. 따라서 본 사례는 민간기업(특히, 제조기업)의 유사 연구에서 실무적으로 활용 가능하다는 시사점을 제공한다. 또 한 가지 흥미로운 것은 기술개발과제를 응용기술과 개발기술로 구분하여 분석한 것이며 이를 통해 특정기업의 기술개발투자에 대한 전반적인 상황을 파악할 수 있었다.

본 사례에서 R&D 효율성 분석은 다음의 한계점을 갖는다. 기존의 연구는 특정사업을 대상으로 진행된 여러 가지 과제를 대상으로 진행하여 해당사업에 대한 시사점을 줄 수 있고 다른 공공기술개발 사업과 비교하여 이를 일반화할 수 있다. 하지만 본 연구는 특정조직의 내부 R&D 과제들의 상대적 효율성을 분석한 자료이므로, 산업유형이나 조직 특성과 과제특성에 따라서 R&D 효율성 결과가 다를 수 있다. 따라서 학술연구로서의 의미가 다소 낮아질 수밖에 없어 사례로 제시될 수밖에 없는 한계가 있다.

참고문헌

(1) 국내문헌

- 권철신·조근태·이원재 (2001), “기술특성을 고려한 연구생산성 측정모형”, 『한국경영과학회 춘계학술대회논문집』, pp. 773-776.
- 김현우·김재희·김승권 (2012), “특허지표를 고려한 글로벌 자동차기업의 그린카 기술혁신 효율성 평가를 위한 ANP/DEA 통합모형”, 『기술혁신연구』, 제20권 3호, p. 266.
- 미래창조과학부 (2014), “2013년도 연구개발활동 조사보고서”, 한국과학기술기획평가원.
- 박만희 (2008), 『효율성과 생산성 분석』, 한국학술정보(주)
- 박상문·박일수 (2013), “기술이전 경험과 수행과제 수가 개인의 기술사업화 성과에 미치는 영향”, 『기술혁신연구』, 제21권 제3호, pp. 95-119.
- 박상혁·한승헌·김대환 (2007), “건설R&D사업의 효율성평가를 위한 DEA 연구”, 『한국건설관리학회 학술대회논문집』, pp. 255-260.
- 박석중·김경화·정상기 (2011), “과학기술적 성과 관점에서 정부 R&D 사업 효율성 분석에 관한 연구”, 『기술혁신학회지』, 제14권 2호, pp. 205-222.
- 박정희·문중범 (2010), “DEA를 이용한 지역산업 기술개발 사업의 효율성 분석”, 『산업경제연구』, 제23권 제4호, pp. 2047-2068.
- 백철우·이순배 (2010), “질적 성과를 고려한 R&D 효율성 분석연구”, 『생산성논집』, 제24권 제4호, pp. 251-274.
- 서호준 (2013), “공공부문에 대한 효율성 측정 기법의 적용: 국내 중소기업 신용보증기관의 사례 분석을 중심으로”, 『한국공공관리학보』, 제27권 제1호, pp. 141-167.
- 신태영·박병무 (1998), “거시계량경제모형을 이용한 연구개발투자의 정책효과 분석”, 『과학기술정책, 정책자료』, 98-15, pp. 1-28.
- 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”, 『대한경영학회』, 제27권 제10호, pp. 1747-1765.
- 이광민·홍재범 (2012b), “DEA를 활용한 광역시도별 수협상호금융 영업점의 효율성 분석”, 『산업혁신연구』, 제28권 제2호, pp. 35-57.
- 이동규 (1993), “정부출연연구기관의 효율성에 관한 DEA의 적용”, 『경영논집』, 제9권 제1호, pp. 89-123.
- 이상현·김상영·이상준 (2011) “자료포락분석 기법을 이용한 지역산업 기술개발 사업의 과급효과 분석”, 『디지털융복합연구』, 제9권 제6호, pp. 1-11.

- 이성화·조근태 (2012), “R&D 투자가 경영성과에 미치는 영향: 기술사업화 능력의 매개효과를 중심으로”, 『기술혁신연구』, 제20권 제1호, pp. 265-290.
- 이원재·권철신·조근태 (2001), “기술특성을 고려한 연구생산성 측정모형”, 『한국경영과학회 / 대한산업공학회 춘계공동학술대회』, pp. 771-774.
- 이장균 (2014), “제조업 혁신 정책의 현황 평가와 시사점”, 『현대경제연구원 VIP 리포트』, 576호, pp. 1-25.
- 이장재 (1996), “연구개발생산성의 개념과 측정 접근방법”, 『과학기술정책동향』, 제89호, pp.28-39.
- 이철행·조근태 (2014), “DEA를 이용한 보건의료기술 R&D 사업의 효율성 분석과 전략적 포트폴리오 모형”, 『대한산업공학회지』, 제40권 제2호, pp. 172-183.
- 이형진·정선양 (2014), “DEA를 활용한 국방연구개발사업의 효율성분석”, 『한국기술혁신학회 학술대회』, pp. 355-363.
- 임성묵 (2009), “DEA에서의 투입·산출 요소 선택 방법”, 『대한산업공학회』, 제22권 제1호, pp. 44-55.
- 임호순·유석천·김연성 (1999), “연구개발사업의 평가 및 선정에 관한 DEA/AHP 통합모형에 관한 연구”, 『한국경영과학회지』, 제24권 제4호, pp. 1-12.
- 장정주 (2010), “사회적 기업의 경영 효율성 평가를 위한 DEA 모형 도입에 관한 연구: H지역의 간병·가사 지원업을 중심으로”, 『한국기업경영학회』, 제17권 제2호, pp. 181-193.
- 장진규·윤문섭·박필·신동일 (1996), “정부투자기관의 R&D 투자흐름 및 R&D 효율성 분석”, 『과학기술정책연구원, 『정책연구』, 96-06, pp. 1-210.
- 장진규 (2001), “공공연구개발투자의 생산성 분석 방법론 개발”, 『과학기술정책연구원, 『정책연구』, 2001-24, 3월호, pp. 1-138.
- 전성욱·김성중 (2014), “경제인문사회분야 정부출연연구기관의 생산성 변화 분석”, 『한국산학기술학회 논문지』, 제15권 제10호, pp. 6066-6075.
- 정대철·박은경 (2008), “경남의 중소기업 R&D 실태와 효율적인 지원방안”, 『경남발전연구원 중점정책연구 기본연구』, 10월호, pp. 1-215.
- 정민·한재진 (2015), “한중일 상장기업 R&D 투자 효율성 비교”, 『현대경제연구원, 『이슈리포트』, 2015권 16호, pp. 1-19.
- 정은재·김지수 (1999), “연구생산성 측정을 위한 DEA 접근과 비율(Ratio) 분석”, 『한국경영과학회 학술대회논문집』, 제1권, p. 269.
- 조영란·이성주·윤재욱 (2012), “신제품, 신서비스, 신기술 개발을 위한 맞춤형 R&D 프로세스 평가 방법론”, 『기술혁신연구』, 제20권 제2호, pp. 109-134.
- 조정식·안기현·강일중·권철신 (2007), “R&D 능률성 측정지표 체계의 개발”, 『대한산업공학회 추계학술대회 논문집』, pp. 7-12.
- 황석원 (2008), “표준산업분류에 의한 사업유형별 연구개발 효율성 측정과 그 지표”, 『과학기술정

책」, 제18권 제2호, pp. 103-115.

황석원 외 6명 (2009), “국가 연구개발 사업 R&D 효율성 분석 및 제고방안”, 과학기술정책연구원, 「정책연구」, 2009-24, pp. 1-316.

(2) 국외문헌

Banker, R. D., Charnes, A., Cooper, W. W. (1984), “Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis”, *Management Science*, Vol. 30, No. 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, pp. 9-37.

Charnes, A., Cooper, W. W., Rhodes, E. (1978). “Measuring Efficiency of Decision Making Units”, *European Journal of Operations Research*, Vol. 2, No. 6, pp. 429-444.

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*, Vol. 14, No. 3, pp. 50-59.

Cooper W. W., Park, K. and Pastor, J. T. (1999), “RAM: A Range Adjusted Measure of Inefficiency for use with Additive Models, and Relations to Other Models and Measure in DEA”, *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 11, pp. 5-42.

Cooper, Seiford and Tone (2000), *DATA ENVELOPMENT ANALYSIS- A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA - Solver Software*, Kluwer Academic Publishers.

Farrell, M. J. (1957), “The Measurement of Productive Efficiency”, *Journal of the Royal Statistical Society Series A General*, Vol. 120, No. 3, pp. 253-281.

Fitzsimmons, J. A., M. J. Fitzsimmons (1994), *Service Management for Competitive Advantage*, Mcgraw-Hill Inc.

Hashimoto, A., Haneda. S. (2008), “Measuring the change in R&D efficiency of the Japanese pharmaceutical industry”, *Research Policy of elsevier*, Vol. 37, pp. 1829-1836.

Hatzichronoglou, T. (1997), “Revision of the High-Technology Sector and Product Classification”, *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*, 1997/02, OECD Publishing. pp. 3-9.

Lim, S. M. (2009), “A Method for Selection of Input-Output Factors in DEA”, *IE Interfaces*, Vol. 22, No. 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*, Vol. 14, No. 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.

□ 투고일: 2016. 05. 23 / 수정일: 2016. 07. 25 / 게재확정일: 2016. 08. 16