

# 연구개발 활동 효율성의 산업간 비교 분석: 기술혁신형 중소기업을 대상으로

전수진\*

## <목 차>

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

**국문초록 :** 본 연구는 기술혁신형 중소기업의 연구개발 활동 효율성을 산업 간 비교하여 개선방안을 제시한다. 연구표본은 2008년부터 2011년까지 기술보증기금의 기술평가보증을 받은 6,708개 기업이다. 투입변수는 기술인력수준과 연구개발투자, 산출변수는 특허출원과 시제품제작실적이다. 효율성은 DEA 모형으로 측정하며, 산업별 개별측정하는 간접비교를 수행한다. 그 결과로 최적의 규모수익을 판단하는 기술효율성(CCR)은 0.19, 최적의 투입분배를 판단하는 순수기술효율성(BCC)은 0.70, 최적의 산출규모를 판단하는 규모효율성(SE)은 0.30으로 나타났다. 산업유형으로 살펴보면, 중·저급기술산업군은 규모효율성이 낮아서 연구성과 확대가 요구되고, 고급·첨단기술산업은 순수기술효율성이 낮아서 투입요소 관리가 필요하다. 산업 전반에 규모의 비효율이 크므로 연구성과 관리를 통한 규모의 확대가 이뤄져야 하며, 이를 위한 연구인력과 투자비의 분배가 병행되어야 효율성이 향상될 것이다. 본 연구는 우리나라 기술혁신형 중소기업에서 연구개발의 비효율성 원인이 규모에 있다는 것을 기술보증기금의 기술평가자료로 규명한 것이 특징이다.

핵심어: 연구개발, 효율성, 기술혁신형 중소기업, 산업, 자료포락분석(DEA)

\* 부경대학교 경영학부 강사, 511163@pknu.ac.kr

\*\* 본 논문은 박사학위 논문을 바탕으로 추가 연구하여 작성한 것입니다.

---

---

## Analysis of R&D Efficiency between Industries : focusing on Technology-innovative SMEs

Soojin Jeon

---

---

**Abstract :** This study compares and analyzes the efficiency of R&D activities of technology-innovative small and medium-sized enterprises(SMEs) between industries and proposes ways to improve efficiency. The research samples are 6,708 technology-innovative SMEs, which have received a guarantee by the KIBO from 2008 to 2011. Input variables are the level of R&D personnel, R&D investment, and output variables are patent applications, prototype. Efficiency is measured by the DEA model, and indirect comparisons that are individually measured by industry are performed. As a result of the analysis, the CCR for determining the optimal returns to scale is 0.19, the BCC for determining the optimal input distribution is 0.70, and the SE for determining the optimal output is 0.30. By industry type, the medium and low-tech industries have high CCR and BCC, while the high-end and high-tech industries have high SE. R&D activities need to be operated on an optimal scale through managing R&D performance because there is the inefficiency of scale across the industry. The contribution of the study is to analyze the R&D efficiency of each industry of technology-innovative SMEs by the technology evaluation data of the KIBO.

Key Words : R&D, Efficiency, Technology-innovative SMEs, Industry, DEA

# I. 서론

한국의 총연구개발비는 2019년 기준 89조 471억 원으로 세계 5위의 규모이며, GDP 대비 총연구개발비 비율은 4.64%로 미국, 중국, 일본 및 OECD 회원국 평균보다 높다(과학기술정보통신부, 2020). 총연구개발비에서 기업은 전체의 80%인 70조 원을 투자할 정도로 적극적이나, 원천기술 확보를 위한 기초연구보다 제품 상용화를 위한 개발연구의 투자 비중이 높아서 해당 기업의 경쟁력 약화는 물론 산업 전반의 경쟁력까지 약화한다는 의견이 있다(이기섭, 2013). 이는 완제품 기술 수준과 비교하여 부품이나 소재 등 핵심기술 수준이 미약하다는 것이기에, 최근 들어 소재·부품·장비 산업의 경쟁력 강화로 ‘기술 독립’을 이루려는 산·학·연·관의 노력이 강화되고 있다.

기업의 연구개발 비율이 연구성과에 미치는 영향에 관한 연구를 살펴보면, OECD 15개국의 연구개발 투자 효율성을 측정한 오준병(2006)은 국가별 민간기업의 연구개발 비율이 특허 등 연구성과에는 영향을 미치지 않으며, 연구개발 투자에서 중요한 것은 효율적인 운영이라고 주장하였다. 황석원·안두현·최승현·권성훈·천동필·김아름·박종혜(2009)는 연구개발 투자와 성과 간 절대 규모의 확대는 바람직하나, 투자를 성과로 연결하는 효율성 확보 또한 중요하므로 연구개발 효율성을 제고하는 노력이 요구된다고 하였다. 이에, 기업의 연구개발 투자는 확대 자체도 필요하나, 단순한 규모의 확대보다 운영의 효율성에 집중할수록 연구성과가 높아짐을 짐작하게 한다(신진교·장수덕, 2009; 장성근·신영수·정해혁, 2009; Lieberman and Montgomery, 1988).

기업의 연구개발 효율성 연구는 주로 특정 산업의 인력과 투자비를 투입요소, 특허와 경영성과를 산출요소로 설정하여 수행되었고(윤상흠·박춘식·하귀룡, 2017; 천동필·정양현·방성식, 2014; Bae and Chang, 2012), 최근에 산업을 확대하거나 기술 수준 등 유형 세분화를 통하여 이들의 관계를 측정하는 연구가 이뤄지고 있다(서용윤·김문수, 2011; 이종대·정양현, 2015). 이에 본 연구는 국내 산업의 전반적 효율성을 살펴보고자 한국표준산업분류의 중분류기준으로 기술성과에 대한 연구개발 활동 효율성을 측정하며, 이를 통하여 비효율성의 원인을 도출하고 효율성 개선방안을 벤치마킹하는 산업 중심으로 제시하고자 한다. 또한, 산업별 투입 및 산출 요소의 공통점을 찾아서 기술유형에 따른 산업군별 생산행태도 살펴본다.

연구대상은 2008년부터 2011년까지 기술보증기금의 기술평가보증을 통해 기술혁신자금을 지원받은 중소기업이다. 투입변수는 기술인력수준, 연구개발투자이고, 산출변수는

특허출원, 시제품제작 실적이다. 효율성은 자료포락분석(DEA) 모형으로 측정된다. 본 연구는 기업의 기술사업성을 설문조사가 아닌, 전문기관이 평가하여 검증한 결과를 활용하여 연구개발 활동 효율성을 측정하며, 측정변수는 기술평가모형의 평가항목 중 일부를 선정하여 활용한다. 산업군은 중소기업 기술통계조사의 분류기준에 맞춰 기술유형을 구분하며, 이를 중심으로 산업군 간 연구개발 활동 효율성을 비교하여 산업별 비효율성의 원인과 개선방안을 제시한 것이 특징이다.

## II. 이론적 배경

### 1. 효율성 개념과 자료포락분석(DEA)

DEA(data envelopment analysis)는 측정단위가 다른 다수의 투입요소와 산출요소에 대하여 이들 간 비율이 가장 효율적인 생산변경(frontier)을 산출한 후, 이를 기준으로 측정된 평가대상과의 거리로 상대적 비효율성을 판단한다(Cooper, Seiford, and Tone, 2000). DEA의 분석대상은 DMU(decision-making unit)로, 투입요소가 산출요소로 변할 때 독자적인 의사결정능력을 가진 식별 가능한 조직 단위이다. 통상, 투입요소와 산출요소의 총합보다 2~3배 이상 많아야 DMU로 변별력을 가진다(박만희, 2008).

DEA는 투입·산출의 관계가 DMU 규모에 상관없이 일정 비율로 같은 규모수익불변(CRS, constant returns to scale) 가정의 CCR(Charnes, Cooper and Rhodes) 모형과 규모수익가변(VRS, variable returns to scale) 가정의 BCC(Banker, Charnes and Cooper) 모형으로 구분한다. CCR 모형은 최적의 규모수익을 고려하는 기술효율성(TE, technical efficiency)을 측정하며, BCC 모형은 최적의 투입분배를 고려하는 순수기술효율성(PTE, pure technical efficiency)을 측정한다. 두 모형을 활용하면 최적의 산출규모를 고려하는 규모효율성(SE, scale Efficiency)을 측정할 수 있다. 또한, DEA 모형은 산출물을 고정하고 투입물을 최소화하는 투입지향(input-oriented)과 투입물을 고정하고 산출물을 최대화하는 산출지향(output-oriented) 모형으로도 분류한다.

기간별로 측정변수가 분류될 때는 DMU의 효율성 변화추이나 효율성 변동의 안정성을 윈도우 분석(window analysis) 또는 맘퀴스트 생산성 지수(MPI, malmquist productivity index)로 측정한다. 윈도우 분석은 분석기간(년, 분기 등) 단위로 윈도우를

설정하고 동일 DMU를 다른 DMU로 간주하여 분석한다. 행(row)은 동일 데이터 집합의 윈도우별 추세, 행태, 안정성 여부를, 열(column)은 이동과 대체에 따른 다른 데이터 집합의 안정성 및 효율성 변화 여부를 판단한다. 맘퀴스트 생산성 지수(MPI)는 특정 시점(t)의 생산기술을 가정하여 서로 다른 기간(t, t+1)의 투입과 산출 간 조합으로 측정되며, 생산기술의 진보 또는 퇴보를 파악한다. 기업 자체의 효율성 변화는 기술효율성 변화지수(TECI, technical efficiency change index), 산업의 생산성 변화는 기술변화지수(TCI, technical change index)를 활용한다(박만희, 2008).

연구개발 활동 효율성 연구는 세 가지로 구분할 수 있다. 첫째, 특정 시점의 효율성 분석이다. 유사 속성 개체 간 상대적 효율성 수준을 자료포락분석(DEA)으로 측정하고, 비효율 원인과 효율성 개선방안을 찾는다. 둘째, 효율성 수준 측정과 시간에 따른 변화분석이다. 시계열 자료는 윈도우 분석이나 맘퀴스트 생산성 지수로서 효율성(생산성) 변화를 분석한다. 셋째, 효율성 제고에 영향을 끼치는 결정요인 분석이다. 효율성을 종속변수로 선정하고, 그에 영향을 미치는 요인을 토빗(tobit) 회귀 모형으로 분석하여 파악한다(전수진·홍재범, 2020). 본 연구는 특정 시점의 연구개발 활동 효율성을 분석하기 위하여 DEA 모형을 활용한다.

## 2. 특정 시점의 효율성 측정에 관한 연구

DEA 모형으로 특정 시점의 효율성을 측정한 연구는 다음과 같다. 윤상흠 외(2017)는 제약업종 내 상장된 39개 사의 연구인력수, 유형자산, 연구개발비를 투입변수, 특허(출원), 당기순이익은 산출변수로 두고서 기술혁신 효율성을 측정하였다. 분석결과로 기술 효율성 59.7%, 순수기술효율성 80.8%, 규모효율성 72.8% 수준이며, 투입보다 산출의 증가율이 높은 규모수익증가 기업의 기술혁신효율성이 낮은 것으로 파악되었다.

이종대·정양현(2015)은 중소 제조업 826개 사의 연구개발단계와 기술수준에 따른 효율성을 측정하였다. 투입변수는 내·외부 연구개발비와 연구개발인력 수이며, 산출변수는 특허(출원), 매출액, 영업이익이다. 연구개발단계는 혁신효율성 0.02, 상업화효율성 0.77이며, 기술수준은 로우테크(low-tech)산업이 하이테크(high-tech)산업보다 효율성이 높았다. 천동필·정양현·방성식(2014)은 비금융업 121개 사의 연구개발 효율성에 대해 당기 처리(비용)와 이연처리(자산)된 각각의 연구개발비는 투입변수로 정하고, 특허등록, 매출액, 영업이익은 산출변수로 정의하였다. 투입보다 산출 증가율이 낮은 규모수익감소 기

업이 많았으며, 순수기술효율성은 평균 73.2%이다.

Chen and Lin(2006)은 대만 반도체기업 52개 사의 연구인력과 연구개발비, 자본금, 업력은 투입변수로 두고, 특허, 매출액은 산출변수로 정의하여 연구개발 효율성을 측정하였다. 기술효율성 56%, 순수기술효율성 70%, 규모효율성 79%이며, 다수 기업이 규모수익증가 상태로 나왔다. Khoshnevis and Teirlinck(2018)는 벨기에의 연구개발기업 417개 사를 기업규모와 유형별 연구개발 효율성을 측정하였다. 투입변수는 내·외부 연구개발비, 종업원, 연구원, 연구개발집중도, 특허이며, 산출변수는 인당 매출액, 인당 부가가치, 매출액이다. 기술효율성 21%, 순수기술효율성 34%, 규모효율성 66%이며, 규모수익증가 기업이 다수이다. 기업의 규모는 대기업이, 유형은 전문공급업체(specialized suppliers)의 규모효율성이 높다.

효율성 측정에 대한 선행연구는 주로 연구인력과 연구개발비를 투입변수, 특허와 연구개발의 간접성과인 재무지표를 산출변수로 활용하였으며, 특정 산업을 중심으로 분석되었다. 최근에는 산업을 확대하거나 변수를 세분화시켜 효율성을 측정하는 연구들이 진행 중이나, 연구개발의 직접성과를 다룬 연구는 미미하다. 이에 본 연구는 연구개발 활동의 직접성과에 대한 효율성을 산업 중심으로 측정하고자 한다.

산업 중심의 연구개발 활동 효율성은 산업 단위로 개별측정하는 간접비교와 전체 통합하여 동시에 측정하는 직접비교가 있다. 직접 또는 간접비교 연구의 기준은 DMU의 유사 속성을 어느 수준에서 정의할 것인가에 대한 연구자의 판단과 연구목적 등에 기인할 것으로 여겨진다. 다수의 연구는 산업 간 간접비교를 수행하였다.

간접비교를 위해 Cruz-Cázares, Bayona, and García(2013)는 19개 산업 간 기술혁신 효율성을 측정하면서 산업 내 하위표본은 균질성 조건(conditions of homogeneity)을 충족한다는 가정을 두었다. Coelli, Rao, O'Donnell, and Battese(2005)는 산업의 효율성을 해당 산업에 속한 기업의 효율성 평균(the average of the efficiencies of all the firms in the industry)으로 관찰할 수 있다고 하였다. 이종대·정양현(2015)과 Khoshnevis and Teirlinck(2018) 연구가 해당하며, 그 외에 정분도(2014)는 한국표준산업의 중분류별 효율성을 하위 소분류별 효율성의 평균으로 산출하고, 황동현·박재민(2018)은 산업별 기술수준을 OECD의 고/중상/중하/저급기술로 나눠 효율성을 측정하였다. Chiu, Huang and Chen(2012)은 하이테크산업의 하위 21개 산업 평균으로 효율성을 비교하였다. Salas-Velasco(2018)은 Coelli et al.(2005)의 연구방법으로 OECD 국가별 효율성을 측정하였고, Park(2018)는 한국표준산업 중분류별 효율성 평균으로 제조업의 효율성을 분석하였다.

직접비교 연구는 천동필 외 2인(2014)의 주요 기업 121개 사 대상 연구개발 효율성 분

석을 포함하여 소수 이뤄졌다. 직접비교는 전체 산업에 대하여 동일로 형성된 하나의 변경(frontier)에 대한 효율성을 측정할 수 있지만, 산업마다 연구개발 활동의 특성이 다르게 나타나므로 공통되면서 산업 특성이 명확한 변수를 반영해야 변별력이 높아질 것이다. 직접비교와 간접비교를 모두 수행한 연구는 서용운·김문수(2011)가 제조업(735개 사) 및 서비스업(359개 사)의 기술혁신 활동 효율성을 비교한 경우가 해당한다.

본 연구는 국내 주요 산업의 연구개발 활동 효율성을 산업 단위로 개별측정하는 간접비교로 분석된다.

### Ⅲ. 연구 방법

#### 1. 연구표본

연구표본은 2008년부터 2011년까지 기술보증기금이 기술사업성을 평가한 후, 보증을 지원한 기술혁신형 중소기업이다. 기술혁신형 중소기업은 「중소기업기술혁신촉진법 제2조」에서 “기술혁신활동을 통하여 기술경쟁력의 확보가 가능하거나 미래 성장가능성이 있는 중소기업으로서 제15조(기술혁신형 중소기업 발굴·육성)에 따라 중소벤처기업부장관이 선정한 기업”이다. 통상적으로 기술혁신형 중소기업에서 일반 중소기업보다 기술혁신투자가 더 많이 진행되며, 그에 대한 성과 또한 높다.

연구개발 활동은 해당 산업의 특성에 따라 재료와 공정, 기술 등이 상이하게 운영된다. 이에, 연구표본은 한국표준산업분류(KSIC)의 9차 기준 중분류산업으로 분류한다. 한국표준산업분류는 현재 10차까지 개정되었으나, 연구표본 내 산업이 9차 기준이므로 이를 적용하여 분류작업을 진행하며, 이후 요소별 특징을 찾아 산업유형을 구분한다.

전체 데이터는 총 9,405개이며, 이들을 정제하여 최종 6,708개 사가 표본으로 선정되었다. 정제과정은 첫째, 전체 9,405개 사 중에서 대분류 상의 기업이 100개 이하인 산업을 제외하며, 둘째, 중분류 상의 기업이 30개 이하인 산업을 추가 제외한다. 셋째, 표본 내 평균의 오류를 줄이고자 평가점수가 상·하위 각 10%에 해당하는 기업을 절사한다. 데이터 정제과정을 도표로 정리하면 <표 1>과 같다.

<표 1> 연구표본 선정 기준

연구표본 선정 기준		표본기업 수
기술혁신형 중소기업 (평가기간 : 2008년-2011년)		9,405개 사
제외	1단계 : KSIC-대분류 - 기업 수 100개 미만	
	2단계 : KSIC-중분류 - 기업 수 30개 미만	
	3단계 : KSIC-중분류 - 상/하위 10% 해당 기업	
최종 선정된 표본 수		6,708개 사

<표 2>는 한국표준산업분류(KSIC) 9차 기준의 산업유형별 빈도분포이다. 대분류로는 제조업(C) 5,724개(85.3%), 출판·영상·방송 및 정보서비스업(J) 605개(9.0%), 전문·과학 및 기술서비스업(M) 265개(3.9%)고, 건설업(F)과 도매업(G)은 각 1% 수준이다. 중분류로는 제조업의 기타 기계/장비 1,532개(22.8%), 금속가공 767개(11.4%), 전자 594개(8.9%) 순으로 분포하며, 인쇄, 기타전문·과학·기술서비스, 도매·상품중개, 가구, 정보서비스, 기타 제품제조, 의복은 1% 미만 산업이다.

<표 3>은 연구표본 기업의 일반적인 특성이다. 기업의 업력은 평균 9.9년, 창업 후 10년 미만이 56.8%이다. 종업원은 평균 28.2명이고, 50인 미만의 소기업이 87.0%이다. 경영자의 동업종 경험은 평균 20.6년이며, 10년에서 30년 미만인 경우가 77%이다.



<표 2> 산업별 빈도분포 (N=6,708)

대분류(코드)	코드	중분류산업명 (KSIC-9차)	기업수	비중(%)
제조업(C)	10	식료품 제조업	96	1.43
	13	섬유제품 제조업; 의복제외	116	1.73
	14	의복, 의복액세서리 및 모피제품 제조업	38	0.57
	17	펄프, 종이 및 종이제품 제조업	68	1.01
	18	인쇄 및 기록매체 복제업	61	0.91
	20	화학물질 및 화학제품 제조업;의약품 제외	300	4.47
	22	고무제품 및 플라스틱제품 제조업	417	6.22
	23	비금속 광물제품 제조업	100	1.49
	24	1차 금속 제조업	210	3.13
	25	금속가공제품 제조업;기계 및 가구 제외	767	11.43
	26	전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업	594	8.86
	27	의료, 정밀, 광학기기 및 시계 제조업	317	4.73
	28	전기장비 제조업	470	7.01
	29	기타 기계 및 장비 제조업	1,532	22.84
	30	자동차 및 트레일러 제조업	460	6.86
	31	기타 운송장비 제조업	94	1.40
	32	가구 제조업	45	0.67
	33	기타 제품 제조업	39	0.58
건설업(F)	42	전문직별 공사업	72	1.07
도매업(G)	46	도매 및 상품중개업	48	0.72
출판,영상,방송 및 정보서비스(J)	58	출판업	421	6.28
	62	컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업	136	2.03
	63	정보서비스업	44	0.66
전문,과학,기술 서비스(M)	72	건축기술, 엔지니어링 및 기타 과학기술 서비스업	213	3.18
	73	기타 전문, 과학 및 기술 서비스업	50	0.75

<표 3> 연구표본의 일반적 특성 (N=6,708)

구분	항 목	빈도(사)	비중(%)	구분	항 목	빈도(사)	비중(%)
업력	5년 미만	1,259	18.77	종업원 수	30인 미만	4,759	70.95
	5~10년 미만	2,549	38.00		40~50인 미만	1,076	16.04
	10~20년 미만	2,395	35.70		50~100인 미만	621	9.26
	20년 초과	505	7.53		100~300인 미만	241	3.59
					300인 이상	11	0.16
동업종 경험	10년 이내	646	9.63	* 평균 : 기업업력 9.9년, 종업원 수 28.2명, 경영자의 동업종경험 20.6년			
	10~20년 미만	2,587	38.57				
	20~30년 미만	2,580	38.46				
	30년 초과	895	13.34				

## 2. 변수선정과 연구방법

연구개발 활동의 효율성 측정을 위한 투입변수는 기술인력수준과 연구개발투자이다. 기술인력수준은 평가일 현재 상주하는 기술인력이 해당 분야의 학위나 자격증을 취득한 이후 업무수행 기간을 고려하며, 계량화된 점수이다. 연구개발투자는 신청기업과 해당 기업이 속한 산업의 연구개발투자 비율을 비교하고, 기업의 연구개발시설 등 실 투입된 비용을 종합 검토하여 계량화된 점수로 평가한다.

산출변수는 연구개발 활동의 직접 성과인 특허출원과 시제품제작 실적이다. 특허출원은 기업이 특허청에 출원한 건수이다. 특허는 지식자산의 대리변수로 기술혁신 성과측정에 많이 활용된다(신태영·송종국·이우성·송치웅·김현호·손수정, 2006). 연구에 따라 특허출원(오준병, 2006; 윤상흠 외 2인, 2017), 특허등록(이수철·이동호, 2016; 천동필 외 2인, 2014; Bae and Chang, 2012; Chen and Lin, 2006), 특허획득(Khosshnevis and Teirlinck, 2018)이 병행된다. 연구개발 활동은 투입과 산출요소 간 시차가 존재하는바, 이현준·백철우·이정동(2014)은 업종별 1~2년, 이지영·김철연·최경현(2016)은 중소기업 평균 6.9개월을 산출했다. 중소기업기술통계조사(2018)는 평균 15.1개월- 개발기획 4.0개월, 진행 6.1개월, 사업화 5.0개월-을 제시했고, 소기업(14.7개월)이 중기업(17.0개월)에 비해 짧다. Hashimoto and Haneda(2008)와 Hollanders and Celikel-Esse(2007)는 연구개발 시차가 성과에 영향을 주지 못함을 제시했다. 본 연구는 시차 추정을 위한 데이터가 부족하다는 한계와 표본기업 다수가 50인 미만 제조기업이라는 것에 이지영 외 2인(2016)과 중소기업기술통계조사(2018)를 참고하여 1년 이내의 시차를 가정한다.

시제품(prototype) 제작은 최근 3년간 기존 기술과 차별화된 다른 기술로서 시제품이 제작 완료된 기술개발 실적 건수이다. 시제품은 연구개발성과인 신기술을 상품화하기 전에 성능을 검증 및 확인하고자 제작되는 기본모델이다. 측정변수는 <표 4>와 같다.

<표 4> 효율성 측정변수의 조작적 정의

구분	측정변수	단위	변수의 조작적 정의	연구자
투입 변수	기술인력 수준	점	기술인력의 기술분야지식수준으로 분류 취득점수는 업종별 최고기준점수 대비 계량점수로 산출(우수 5점, 취약 1점)	송주영·성형석(2015) 이인기·양동우(2016)
	연구개발 투자	점	산업의 연구개발투자비율과 비교 연구개발시설 등 포함하여 실 투입된 비용을 검토(우수 5점, 취약 1점)	Khoshnevis & Teirlinck (2018), Park(2018)
산출 변수	특허출원 실적	건	신청기업이 특허청에 출원 중인 특허 출원실적으로 평가	오준병(2006), 윤상흠 외(2017)
	시제품 제작실적	건	최근 3년간 기존 기술과 차별화된 기술을 활용, 시제품(prototype) 제작이 완료된 실적으로 평가	국가R&D사업관리(조용래· 유상욱·김명순(2017), 황석원 외 6인(2009))

앞서 언급한 DEA 모형은 가장 효율적인 DMU와 평가대상 DMU 간 거리로 상대적 비효율성을 측정한다. 본 연구의 DMU는 KSIC(9차) 중분류에 속한 기업이며, 산업별 최소 30개 이상으로 변별력을 가진다. DEA 모형은 규모수익과 목적에 따라 크게 두 가지로 분류된다. 전자는 규모수익불변의 CCR 모형과 규모수익가변의 BCC 모형이고, 후자는 투입지향과 산출지향이다. 본 연구는 규모수익 각각에 대해 투입지향 모형을 적용한다. 중소기업은 대기업보다 규모의 한계로 인해 자원적 제약과 역량 간 차이를 나타내므로, 경영주는 연구개발 대상에 따라 핵심 자원의 투입분배를 고려해야 할 것이다. 특히, 대·중소기업 간 하도급 관계에서 양산품 개선활동과 신제품(서비스) 개발활동을 동시에 병행하며 성과를 창출해야 하므로, 투입자원인 기술인력과 연구개발비의 적절한 배분은 의사결정에서 필요하다.

효율성은 DMU의 투입요소 가중치와 산출요소 가중치 간 비율을 최대화하는 선형분수계획법으로 산출된다. 이를 투입지향 BCC 모형에서 정리하면 다음 수식으로 표현된다.  $h_j$ 는 DMU<sub>j</sub>의 효율성이다.  $x_{ij}$ 는 DMU<sub>j</sub>의  $i$ 번째 투입량( $x$ ),  $y_{rj}$ 는 DMU<sub>j</sub>의  $r$ 번째 산출량( $y$ )이다.  $\lambda_n$ 는 DMU<sub>n</sub>의 투입과 산출에 적용되는 가중치이다. 수식의 (2), (3)은 투입량과 산출량에 대한 제약이다. (4)는 BCC 모형이 규모수익가변을 허용하기 위하여 추가된 볼록성 제약으로, CCR 모형과 구분되는 특징적 수식이다. (5)의 식은 투입물과 산출물의 가중치가 음수가 아니어야 한다는 제약조건이다(Cooper et al., 2007).

$$\text{Min } h_j = \theta_j \quad (1)$$

$$\text{s.t. } \theta_j x_{ij} - \sum_{n=1}^N \lambda_n x_{in} \geq 0, \quad i = 1, \dots, m \quad (2)$$

$$y_{rj} - \sum_{n=1}^N \lambda_n y_{rn} \leq 0, \quad r = 1, \dots, s \quad (3)$$

$$\sum_{n=1}^N \lambda_n = 1 \quad (4)$$

$$\lambda_n \geq 0, \quad \forall_n = 1, \dots, N \quad (5)$$

DEA 모형에서 효율성은 0~100% 범위에 속하며, 효율성이 100%이면 가장 효율적인 DMU이다. DMU의 상대적 효율성을 최대화하기 위한 변수들의 가중치는 평가 기준간 선형적인 부여가 필요하지 않으며, 가중치가 모형에 추가되더라도 구간 값만 가지면 충분하다. 이에, DEA 모형은 연구개발사업의 평가와 선정이라는 의사결정과정에 객관성을 부여할 수 있는 모형으로 볼 수 있다(임호순·유석천·김연성, 1999).

## IV. 연구 결과

### 1. 기술통계

측정변수별 기술통계 결과는 <표 5>와 같다. 투입변수인 기술인력수준은 평균 3.0점이며, 표준편차 1.3점이다. 연구개발투자는 평균 2.0점이다. 산출변수인 특허출원은 평균 0.5건이며, 시제품제작은 평균 1.3건, 표준편차는 1.5건이다.

<표 5> 측정변수의 기술통계 (N=6,708)

변수	측정변수	단위	평균	표준편차	최솟값	최댓값
투입	기술인력수준	점	3.00	1.30	0	5
	연구개발투자	점	2.02	1.16	1	5
산출	특허출원	건	0.46	1.14	0	9
	시제품제작	건	1.28	1.45	0	15

산업유형을 구분하고자 표본의 평균을 기준으로 평균이 낮은(A) 또는 높은(B) 산업군을 파악하였다. <표 6>에서 평균이 낮은 집단은 고무/플라스틱, 금속, 가구 등이며, 산업

의 기반인 기초소재(예: 공업용 판지, 타이어, 튜브, 압연/합금제품 등)를 생산 또는 활용하여 가공·조립 형태의 중·저급기술 제조를 하는 업종으로 부가가치 창출 효과가 낮은 편이다. 기술인력수준 2.7점, 연구개발투자 1.8점, 특허출원 1.0건, 시제품제작 0.3건이다. 표본 평균 대비 기술인력수준 0.3점, 연구개발투자 0.3점, 특허출원 -0.6건, 시제품제작 1.0건이다.

평균이 높은 집단은 전자, 정밀기기, 출판 등의 산업이며, 정보통신기술 등 첨단기술기반 제조업과 지식집약서비스업종으로 비교적 기술 과급효과나 부가가치 창출 효과가 높은 편이다. 기술인력수준 3.6점, 연구개발투자 2.3점, 특허출원 1.5건, 시제품제작 0.6건이다. 표본의 평균보다 기술인력수준 0.6점, 연구개발투자 0.3점, 특허출원 1.1건, 시제품제작 -0.2건이다. 집단 간 평균차는 기술인력수준이 제일 크다.

제조업에 속한 C10에서 C33까지 코드는 「2020년 중소기업 기술통계조사 보고서」(중소벤처기업부, 2020)의 첨단기술/고기술/중기술/저기술 업종으로 구분한다. 첨단기술은 의료용물질 및 의약품(C21), 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비(C26), 의료, 정밀, 광학기기 및 시계(C27), 항공기, 우주선 및 부품(C313) 업종이다. 고기술은 화학물질 및 화학제품(C20), 전기장비(C28), 기타기계 및 장비(C29), 자동차 및 트레일러(C30), 철도장비(C312), 그 외 기타운송장비(C319) 업종이다. 중기술은 고무제품 및 플라스틱제품(C22), 비금속광물제품(C230), 1차금속(C24), 금속가공제품(C25), 선박 및 보트건조업(C311) 업종이다. 저기술은 식료품(C10), 음료(C11), 섬유제품(C13), 의복, 의복액세서리 및 모피제품(C14), 가죽, 가방 및 신발(C15), 목재 및 나무제품(C16), 펄프, 종이 및 종이제품(C17), 인쇄 및 기록매체복제업(C18), 가구(C32), 기타제품(C33) 업종이다.

상기 기술분류에 맞춰 <표 6>을 정리하면, 평균이 낮은 산업군은 중/저급기술에 해당하는 업종이고, 평균이 높은 산업군은 고급/첨단기술에 해당하는 업종으로 귀결된다.

<표 6> 표본 vs. 개별산업 간 평균 차이 (N=6,708)

코드	KSIC-9차 중분류 산업명	투입변수		산출변수		비고
		기술인력	R&D투자	특허출원	시제품	
17	펄프, 종이 및 종이제품	-0.27	-0.18	-0.39	-0.04	표본 평균 대비 낮은 산업(A) -중/저급 기술
18	인쇄 및 기록매체 복제	-0.20	-0.41	-0.33	-0.27	
22	고무제품 및 플라스틱제품	-0.51	-0.11	-0.15	-0.10	
24	1차 금속	-0.18	-0.22	-0.19	-0.20	
25	금속가공제품	-0.46	-0.22	-0.16	-0.17	
31	기타 운송장비 제조 (311_선박)	-0.20	-0.54	-0.38	-0.35	
32	가구	-0.55	-0.20	-0.10	-0.08	
26	전자부품, 컴퓨터, 통신장비	0.46	0.17	0.20	0.19	표본 평균 대비 높은 산업(B) -고급/첨단 기술
27	의료, 정밀, 광학기기	0.17	0.28	0.27	0.36	
58	출판업 (582_소프트웨어)	0.65	0.24	0.18	0.06	
63	정보서비스	0.52	0.55	0.51	0.23	
72	건축기술, 과학기술 서비스	0.98	0.11	0.04	0.02	
표본 평균 대비 평균이 낮은 산업군(A)		2.66	1.75	1.04	0.28	(평균)
표본 평균 대비 평균이 높은 산업군(B)		3.55	2.29	1.52	0.63	(평균)
집단 간 평균 차이 (A-B)		-0.90	-0.54	-0.48	-0.34	

## 2. 변수 간 상관관계

피어슨 상관계수를 활용하여 측정변수 간의 상관관계를 살펴보면 <표 7>과 같다. 상관관계 강도는 모든 변수가 상관계수(r) 0.3 이하로서 약하며, 유의수준 0.01에서 유의미하다. 상관관계 방향도 모든 변수가 상호 정(+)적 관계이다. 기술인력수준과 연구개발투자 또는 연구개발투자와 특허출원 간 상관관계가 높으며, 투입변수는 기술인력수준보다 연구개발투자와 산출변수 간 상관관계가 높다. 이에 산업의 기술 수준과 공업구조, 산업형태 등에 따라 측정변수 간 상관관계 강도가 달라질 것으로 여겨진다.

<표 7> 측정변수 간 상관관계 분석

구분		기술인력수준	연구개발투자	특허출원	시제품제작
투입 변수	기술인력수준	1			
	연구개발투자	.23**	1		
산출 변수	특허출원	.11**	.20**	1	
	시제품제작	.14**	.15**	.14**	1

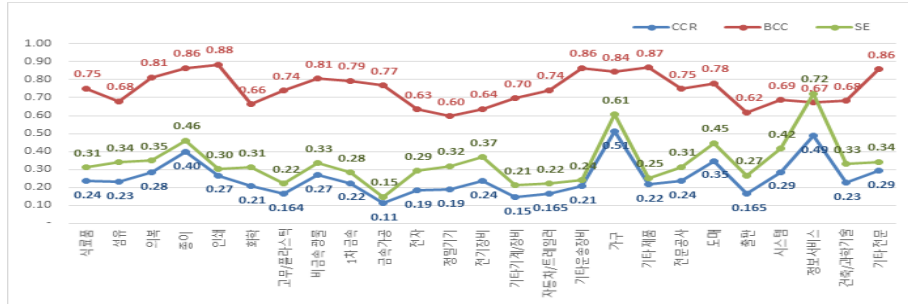
### 3. 산업 간 간접비교의 효율성 분석

본 연구는 산업 간 연구개발 활동 효율성을 간접비교로 측정한다. 연구개발 활동이 재료와 공정, 기술 수준에 따라 산업 간 다르나 표본기업 다수가 개발연구의 동질성을 가지므로, Cruz-Cázares et al.(2013)의 표본균질성 조건(conditions of homogeneity)을 충족시킨다는 가정과 Coelli et al.(2005)의 산업 효율성 측정법을 적용한다. 간접비교 효율성 측정결과는 <표 8>과 같다. 평균적으로 CCR 모형의 기술효율성은 0.19, BCC 모형의 순수기술효율성은 0.70, 규모효율성은 0.30이다. BCC 모형의 순수기술효율성이 0.7이라는 것은 효율적인 DMU가 되기 위해 산출요소의 감소분 없이 모든 투입요소를 0.3, 즉 30%(=1-70%) 절감할 수 있다는 의미이다. 효율성 척도별 표준편차는 기술효율성 0.22, 순수기술효율성 0.32, 규모효율성 0.30이며, 표본기업 간의 효율성 차이가 다소 발생하는 것으로 여겨진다.

<표 8> 연구표본의 효율성 기술통계 (N=6,708)

CCR(TE, 기술효율성)				BCC(PTE, 순수기술효율성)				SE(규모효율성)			
평균	표준편차	최소	최대	평균	표준편차	최소	최대	평균	표준편차	최소	최대
0.19	0.22	0	1.0	0.70	0.32	0.2	1.0	0.30	0.30	0	1.0

산업별 연구개발 활동의 효율성을 비교한 <그림 1>에서 CCR 모형의 기술효율성은 가구, 정보서비스, 종이산업 순으로 높고, 금속가공, 기타 기계장비, 고무산업 등이 낮다. 효율적인 산업은 주로 생활 관련 저급기술의 제조업과 서비스업이며, 제조업은 연구개발 투자와 기술성도가 표본의 평균보다 낮다. BCC 모형의 순수기술효율성은 인쇄, 기타제품, 종이산업 등에서 높고, 전자, 정밀기기, 출판산업 등이 낮다. 효율적인 산업은 생활 관련 저급기술 또는 중급기술의 기초소재와 가공조립 위주의 제조업이며, 연구개발투자가 표본 평균보다 낮다. 비효율적인 산업은 고급·첨단기술의 기초소재 또는 가공조립 위주의 제조업으로 시설투자가 필요한 산업인만큼 연구개발투자가 표본의 평균보다 많다. 규모효율성은 기술효율성 대비 순수기술효율성 간 비율로, 기술효율성과 유사 패턴에서 생활 관련 저급기술의 제조업과 서비스업종이 효율적이다. 정보서비스, 가구, 종이산업 순으로 높고, 금속가공, 기타 기계장비, 고무산업 등은 낮다. 특이한 점은 정보서비스의 규모효율성이 기술효율성과 순수기술효율성보다 높다는 것이다.



<그림 1> 산업별 효율성 비교

<표 9>는 산업별 효율성 수준을 비교하고, 비효율성 원인을 정리한 것이다. 측정변수의 평균이 표본보다 낮은 중·저급기술산업군(A)은 기술효율성 0.27, 순수기술효율성 0.82, 규모효율성 0.32이다. 측정변수의 평균이 표본보다 높은 고급·첨단기술산업군(B)은 기술효율성 0.25, 순수기술효율성 0.64, 규모효율성 0.39이다. 산업유형에 따른 연구개발 효율성은 중·저급기술산업군이 고급·첨단기술산업군보다 기술효율성과 순수기술효율성은 높지만, 규모효율성은 낮다. 이는 중·저급기술산업이 고급·첨단기술산업보다 기술인력과 연구개발자금의 배분은 효율적으로 운영되나, 연구성과의 산출규모 관리는 비효율적임을 의미한다.

비효율성 원인은 사업 특성에 따라 규모를 키울수록 규모수익(RTS, returns to scale) 문제를 고려해야 한다. 규모수익은 모든 투입요소를 비례적으로 증가시킬 때 산출량의 변화량을 설명하는 개념이다. 이에, 규모수익의 비효율성 원인이 DMU의 자체 운영적 문제인지, DMU의 불합리한 상황에 근거하는 문제인지를 먼저 파악할 필요가 있다(박만희, 2008). 기술을 규모수익가변(VRS)으로 가정할 때, 개별산업의 규모효율성은 기술효율성과 순수기술효율성을 측정한 후, 이를 분해하여 구한다. 즉, 특정 산업에 대하여 기술효율성과 순수기술효율성 간 차이가 발생하면 해당 산업은 규모비효율성이 존재한다. 순수기술효율성이 규모효율성보다 작으면 순수기술효율성에 비효율성이 존재하므로 투입요소를 검토하고, 규모효율성이 순수기술효율성보다 작으면 규모효율성에 비효율성이 존재하므로 규모 측면을 검토한다.

<그림 1>과 <표 9>를 살펴보면, 정보서비스산업은 순수기술효율성이 규모효율성보다 작으므로 순수기술 비효율을 가진다. 정보서비스산업은 수집된 자료를 데이터베이스화하고, 주문에 따라 온라인 등 전자매체로 정보를 제공하는 산업활동이다(통계청, 2017). 정보통신기술의 발전은 영상, 음악, 학습 등에 새로운 정보서비스를 지속 제공할 길 요구하여 산업 내 투자 불균형을 초래할 수 있으므로, 규모수익에 맞춰 투입요소를



적정수준에서 조정 관리해야 비효율성을 줄일 수 있다.

그 외의 산업들은 규모의 비효율을 보인다. 금속가공, 기타 운송장비, 기타제품은 순수 기술효율성과 규모효율성 간 차이가 0.6 이상이며, 가구, 정밀기기, 전기산업 등은 0.2 정도로 미미하다. 이들은 개별산업의 특성과 규모수익이 먼저 검토되어야 하지만, 연구표본 다수가 중소기업이므로 기업 내 연구개발이 최적의 상태를 유지하긴 어려울 것이다. 적정규모 산출과 그에 따른 운영방안 마련 이후에 투입요소의 조정 관리가 병행되어야 한다. 효율성 제고 방안을 정리하면, 전체 산업에서 규모의 비효율이 크므로 최적 규모를 유지해야 한다.

<표 9> 산업별 효율성 비교 및 비효율성 원인

코드	(KSIC-9차) 중분류 산업명	효율성 척도 (평균)			평균 대비			비효율성		비고
		CCR (TE)	BCC (PTE)	SE	CCR (TE)	BCC (PTE)	SE	차이 (PTE-SE)	비효율 원인	
17	종이	0.40	0.86	0.46	0.21	0.16	0.17	0.40	규모	중/저급 기술 산업군 (A)
18	인쇄	0.27	0.88	0.30	0.08	0.18	0.01	0.58	규모	
22	고무/플라스틱	0.16	0.74	0.22	-0.03	0.03	-0.07	0.52	규모	
24	1차 금속	0.22	0.79	0.28	0.03	0.09	-0.01	0.51	규모	
25	금속가공	0.11	0.77	0.15	-0.07	0.06	-0.15	0.62	규모	
31	기타운송장비(선박)	0.21	0.86	0.24	0.02	0.16	-0.06	0.62	규모	
32	가구	0.51	0.84	0.61	0.32	0.14	0.31	0.24	규모	
23	비금속 광물	0.27	0.81	0.33	0.08	0.10	0.04	0.47	규모	
33	기타 제품	0.22	0.87	0.25	0.03	0.16	-0.04	0.61	규모	
29	기타 기계/장비	0.15	0.70	0.21	0.04	-0.03	0.04	0.48	규모	
13	섬유제품	0.23	0.68	0.34	-0.04	-0.01	-0.08	0.34	규모	
10	식료품	0.24	0.75	0.31	0.05	0.05	0.02	0.44	규모	
20	화학	0.21	0.66	0.31	0.02	-0.04	0.02	0.35	규모	
28	전기	0.24	0.64	0.37	0.05	-0.07	0.07	0.27	규모	
14	의복	0.28	0.81	0.35	0.10	0.11	0.05	0.46	규모	
42	전문직 공사	0.24	0.75	0.31	0.05	0.04	0.02	0.43	규모	
30	자동차/트레일러	0.16	0.74	0.22	-0.02	0.04	-0.07	0.52	규모	
73	기타전문/기술서비스	0.29	0.86	0.34	0.11	0.15	0.05	0.51	규모	
62	프로그래밍/시스템	0.29	0.69	0.42	0.10	-0.02	0.12	0.27	규모	
46	도매/상품중개	0.35	0.78	0.45	0.16	0.08	0.15	0.33	규모	
26	전자/컴퓨터/통신	0.19	0.63	0.29	0.00	-0.07	0.00	0.34	규모	고급/첨단 기술 산업군 (B)
27	의료/정밀/광학기기	0.19	0.59	0.32	0.00	-0.11	0.02	0.28	규모	
58	출판업(소프트웨어)	0.16	0.62	0.27	-0.02	-0.09	-0.03	0.35	규모	
63	정보서비스	0.49	0.67	0.72	0.30	-0.03	0.43	-0.05	순수기술	
72	건축/과학기술서비스	0.23	0.68	0.33	0.04	-0.02	0.04	0.35	규모	
전체 평균		0.19	0.70	0.30	-	-	-	0.40		
중/저급 기술산업 (A)		0.27	0.82	0.32	0.08	0.12	0.03	0.49	규모	
고급/첨단기술산업 (B)		0.25	0.64	0.39	0.06	-0.06	0.09	0.25	규모	
평균 차이 (A-B)		0.02	0.18	-0.06	0.02	0.18	-0.06			

<표 10>은 산업유형 간 규모수익의 비교이다. 규모수익은 산출량의 변화에 따라 생산 형태를 구분한다. 규모수익불변(CRS, constant returns to scale)은 투입요소의 증가율만큼 비례하여 산출량이 증가하여 최적의 효율성을 가지는 상태이다. CRS 100% 산업은 기타운송장비이다. 규모수익증가(IRS, increasing returns to scale)는 투입요소보다 산출물의 증가량이 많으며, IRS 90% 산업인 고무, 의복, 과학기술 등은 투입요소를 증가시켜 최적 상태인 CRS로 개선할 수 있다. 규모수익감소(DRS, decreasing returns to scale)는 투입요소가 산출물의 증가량보다 많으며, DRS 10% 이상인 정보서비스는 투입요소를 적정수준으로 조정하여 성과를 개선할 수 있다.

산업유형에서 중·저급기술산업군(A)은 IRS 상태가 많다. CRS는 평균 59.4개(25.0%)로, 가구의 62.2%이다. IRS는 평균 175.9개(74.1%)로 고무/플라스틱은 97.1%, 1차금속은 89.5%가 해당한다. DRS는 평균 2.1개(0.9%)로 종이의 상대적 비중(5.9%)이 높다. 고급·첨단기술산업군(B)은 CRS 상태가 가장 많다. CRS가 평균 169.4개(53.3%)로 전자는 94.6%, 정보서비스는 86.4% 해당한다. IRS는 평균 135.2개(42.5%)로 정밀기기와 출판, 과학기술 산업 위주이다. 특히, 과학기술은 전체의 93.9%이다. DRS는 평균 13.2개(4.2%)로 정보서비스의 상대적 비중(11.4%)이 높다. 전체적으로 중·저급기술산업이 고급·첨단 기술산업보다 IRS는 31.5%p 높지만, CRS가 28.3%p 낮고 DRS는 3.3%p 낮다.

<표 10> 표본 대비 집단 간 규모수익 생산형태

코드	KSIC-9차 중분류 산업명	규모수익 생산형태						총합 (개)	집단 구분
		증가(IRS)		불변(CRS)		감소(DRS)			
		개수	비중(%)	개수	비중(%)	개수	비중(%)		
17	펄프/종이	52	(76.5)	12	(17.6)	4	(5.9)	68	중/저급 기술 산업군 (A)
18	인쇄/기록매체 복제	33	(54.1)	27	(44.3)	1	(1.6)	61	
22	고무/플라스틱	405	(97.1)	12	(2.9)	-	(0.0)	417	
24	1차 금속	188	(89.5)	17	(8.1)	5	(2.4)	210	
25	금속가공제품	538	(70.1)	226	(29.5)	3	(0.4)	767	
31	기타 운송장비(선박)	-	(0.0)	94	(100)	-	(0.0)	94	
32	가구	15	(33.3)	28	(62.2)	2	(4.4)	45	
26	전자/컴퓨터	6	(1.0)	562	(94.6)	26	(4.4)	594	고급/첨 단 기술 산업군 (B)
27	의료/정밀/광학기기	202	(63.7)	96	(30.3)	19	(6.0)	317	
58	출판업(소프트웨어)	267	(63.4)	140	(33.3)	14	(3.3)	421	
63	정보서비스	1	(2.3)	38	(86.4)	5	(11.4)	44	
72	건축/과학기술서비스	200	(93.9)	11	(5.2)	2	(0.9)	213	
산업 평균이 낮은 집단 (A)		175.9	(74.1)	59.4	(25.0)	2.1	(0.9)	237.4	(평균)
산업 평균이 높은 집단 (B)		135.2	(42.5)	169.4	(53.3)	13.2	(4.2)	317.8	(평균)
집단 간 차이 (A-B)		40.7	(31.5)	-110.0	(-28.3)	-11.1	(-3.3)	-80.4	

산업 내 비효율적 DMU의 적정수준을 판단하기 위하여 과다투입량과 과소산출량을 살펴보았다. 이는 측정변수 실적에서 효율적이라고 추정되는 적정치를 차감하여 산출한다. 효율적으로 기대되는 추정치는 투영점(projected point)이며, 측정변수가 투입요소이면 감소시켜야 할 투입물의 초과분이고 산출요소이면 증가시켜야 할 산출물의 부족분이다. <표 11>에서 CCR 모형은 기술인력수준이 평균 0.12점 과다투입되었으며, 가구와 정보서비스의 투입량이 많다. 연구개발투자는 평균 0.05점 과다투입되었으며, 산업 간 큰 차이는 없이 정밀기기가 적정수준이다. 특허출원은 평균 0.14건 과소산출되었으며, 종이를 포함한 중·저급기술산업군의 산출량이 적고 고급·첨단기술산업군은 적정 수준이다. 시제품제작의 실적은 평균 0.04건 과소산출되었으며, 고급·첨단기술산업군의 산출량이 부족하다.

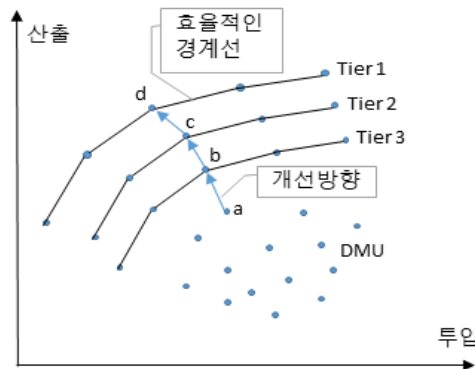
BCC 모형에서 기술인력수준은 평균 1.24점 과다투입되었고, 금속가공 등의 중·저급기술산업 투입량이 많다. 연구개발투자는 평균 0.04점 과다투입되었으며, CCR 모형과 유사 수준에서 산업 간 큰 차이는 없다. 특허출원은 평균 0.39건 과소산출되었다. CCR 모형 대비 중·저급기술산업군은 유사하며, 고급·첨단기술산업군은 과소산출량이 증가했다. 시제품제작의 실적은 평균 0.59건 과소산출로, CCR 모형 대비 집단 간 과소산출량이 증가했다.

<표 11> 여유변수 산출

KSIC - 9차		CCR 효율성 여유변수				BCC 효율성 여유변수			
코드	중분류 산업명	과다투입		과소산출		과다투입		과소산출	
		인력(S-)	투자(S-)	특허(S+)	시제(S+)	인력(S-)	투자(S-)	특허(S+)	시제(S+)
17	종이	0.16	0.01	0.77	0.07	0.93	0.11	0.03	0.04
18	인쇄/복제	0.22	0.13	-	-	1.19	0.11	1.56	-
22	고무	0.01	0.04	0.22	0.05	1.30	0.02	0.08	0.44
24	1차금속	0.06	0.11	0.41	0.03	1.45	0.06	0.07	0.03
25	금속가공	0.01	0.01	0.08	0.01	1.78	0.01	0.03	0.11
31	운송	0.14	0.02	-	0.02	1.56	0.04	-	2.12
32	가구	0.39	0.00	0.09	0.06	0.80	0.003	0.12	0.47
26	전자/컴퓨터	0.15	0.03	-	0.10	1.33	0.01	0.66	0.88
27	의료/정밀	0.03	-	0.07	0.09	1.57	0.002	0.65	0.55
58	출판(S/W)	0.02	0.04	0.26	0.11	1.09	0.02	1.41	0.92
63	정보서비스	0.37	0.05	-	0.04	0.50	0.11	-	1.01
72	과학기술	0.13	0.07	0.003	0.02	1.28	0.06	0.17	0.02
전체 평균		0.12	0.05	0.14	0.04	1.24	0.04	0.39	0.59
중/저급기술(A)		0.14	0.05	0.22	0.03	1.29	0.05	0.27	0.46
고급/첨단기술(B)		0.14	0.04	0.07	0.07	1.15	0.04	0.58	0.68
차이 (A-B)		-	0.01	0.16	-0.04	0.13	0.01	-0.31	-0.22

비효율성에 대한 개선방안을 벤치마킹하는 산업으로 제시하기 위하여 Tier 분석을 활용하였다. Tier 분석은 DEA 모형을 반복 수행하면서 DMU를 효율성 크기에 따라 계층화한 것이다. 즉, 효율적 DMU로 형성된 변경을 Tier 그룹으로 묶되, 남은 DMU로 효율성을 측정하여 다시 Tier 그룹을 만드는 과정이 DMU 개수가 투입과 산출 요소의 총합이 3배 미만일 때까지 반복된다(홍한국·하성호·박상찬, 2000). <그림 2>는 비효율적 DMU가 Tier 3, Tier 2, Tier 1의 단계를 거치면서 단기에서 중·장기적으로 효율적 DMU가 되는 과정을 보여준다.

<표 12>는 <표 9>의 25개 산업을 CCR 모형으로 Tier 분석한 결과이다. 준거집단을 DMU의 총 개수가 12개 미만( $= (2+2)*3$ )이 되는 Tier 4까지 수행하면 연구개발 활동이 비효율적인 산업은 10개가 된다. 가장 효율적인 Tier 1은 기타제품제조이며, 이후의 Tier 2는 정밀기기와 정보서비스 등이다. Tier 3은 화학, 전자 등이며, Tier 4는 자동차, 출판 등이다. 제조산업은 자동차에서 정밀기기로, 비제조산업은 출판에서 정보서비스로 벤치마킹하는 대상을 확장하여 연구개발 활동 효율성을 높일 수 있다. 예로, 의복산업은 규모의 비효율성이 존재하여 규모 확대를 통한 효율성 개선이 필요하다. 자동차산업과 비교하면 투입요소는 유사 수준이나 산출요소가 열세이므로, 규모를 적정수준으로 확대 운영해야 한다. 또한, 중장기 관점에서 연구개발투자와 산출요소가 우세한 전자와 정밀기기 산업을 벤치마킹하면서 연구개발투자 확대를 통한 산출규모 증대가 필요하다.



<그림 2> Tier 분석 단계별 절차

\* 출처 : 홍한국 외 2인(2000) 논문에서 재인용

<표 12> Tier 단계별 벤치마킹하는 산업

KSIC-9차		Tier 1		Tier 2		Tier 3		Tier 4	
코드	중분류산업	CCR	준거집단	CCR	준거집단	CCR	준거집단	CCR	준거집단
14	의복	0.58	기타 제품 제조 (33)	0.62	27, 63, 73	0.67	26	0.69	30
17	펄프/종이	0.62		0.71	27, 73	0.78	23, 26	0.95	29
18	인쇄	0.76		0.80	27, 73	0.87	26	0.90	30
22	고무/플라스틱	0.85		0.88	10, 63	0.92	13, 20	0.95	32
24	1차금속	0.78		0.84	63, 73	0.90	20, 26	0.92	30, 32
25	금속가공	0.83		0.89	63, 73	0.94	20, 26	0.96	30, 32
31	기타운송장비	0.78		0.80	27, 73	0.90	26	0.93	30
46	도매/상품중개	0.74		0.81	27, 73	0.86	26	0.89	30, 58
62	시스템	0.71		0.77	27, 73	0.82	26	0.85	30, 58
72	건축/과학기술	0.79		0.87	27, 73	0.91	26	0.97	30, 58

주) Tier 1: 33(기타제품제조)

Tier 2: 10(식료품), 27(의료/정밀/광학기기), 63(정보서비스), 73(기타전문서비스)

Tier 3: 13(섬유제품), 20(화학제품), 23(비금속광물제품), 26(전자부품, 컴퓨터)

Tier 4: 29(기타기계및운송), 30(자동차/트레일러), 32(가구), 58(출판)

마지막으로 중분류 25개 산업의 연구개발 효율성에 대한 통계적 유의성을 Kruskal-Wallis H 검정으로 살펴보았다. 이는 세 집단 이상의 집단분포를 비교하는 비모수 통계분석이다(이학식·임지훈, 2013). 본 연구에서 검정변수는 효율성이고 집단변수는 산업이다. 기술효율성은 카이제곱 344.65이고, 순수기술효율성은 카이제곱 263.60이다. 규모효율성의 카이제곱은 461.71이다. 효율성 척도 간 유의확률은 모두 0.000이므로 귀무가설을 기각한다. 이로써 25개 산업의 효율성이 모두 같지 않다고 할 수 있다. 분석결과는 <표 13>이다.

<표 13> Kruskal-Wallis H 검증결과 (N= 6,708)

구 분	기술효율성	순수기술효율성	규모효율성
평균 순위의 총합	92,364.51	89,955.90	90,466.68
카이제곱	344.65	263.60	461.71
자유도	24	24	24
근사 유의확률	0.00***	0.00***	0.00***

## V. 결론

### 1. 연구의 요약

본 연구는 기술혁신형 중소기업의 연구개발 활동 효율성을 측정하고, 비효율적 원인의 개선방안을 제시한다. 연구대상은 2008년부터 2011년까지 기술보증기금의 기술평가보증을 지원받은 6,708개 기업이다. 연구개발 활동 효율성은 한국표준산업분류(9차)의 중분류 기준에서 투입지향 DEA 모형으로 측정하며, 투입변수는 기술인력수준과 연구개발투자, 산출변수는 특허출원과 시제품제작실적이다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 측정변수의 평균을 중심으로 평균이 낮거나 높은 산업군을 구분하여 이들의 특징을 살펴보았다. 평균이 낮은 산업군은 종이, 인쇄, 금속 등 범용성 부품개발 또는 단순 가공조립의 중·저급기술산업이다. 평균이 높은 산업군은 전자, 정밀기기, 정보서비스 등의 부가가치가 높은 고급·첨단기술산업이다.

둘째, 연구개발 활동을 측정하면, 기술효율성 0.19, 순수기술효율성 0.70, 규모효율성 0.30이다. 중·저급기술산업군은 기술효율성과 순수기술효율성이 높으며, 고급·첨단기술산업은 규모효율성이 높다. 이종대·정양현(2014)은 중소제조기업의 연구개발 생산성 분석에서 로우테크산업 기업이 하이테크산업 기업보다 혁신효율성과 상업화효율성에서 모두 높다고 밝혔다. 김건식(2018)은 저급기술산업 기업이 고급기술산업 기업보다 한 단위의 추가 연구개발투자로 인해 평균 한 개 이상 특허출원을 추가하며, 연구개발투자수준(기술집약도)이 낮으면 혁신성과와 비선형이나, 높으면 선형관계를 나타낸다고 하였다. 이에 본 연구는 기존연구의 분석 결과를 일부분 뒷받침한다고 할 수 있다.

중·저급기술산업은 단기성과, 고급·첨단기술산업은 장기성과에 치중할 것으로 판단되는바, 표본기업의 업력이 평균 10년 남짓임을 고려하면 고급·첨단기술산업은 기술투자의 성과를 충분히 거두지 못했을 수 있다. 반면에 중·저급기술산업은 기술성과의 수확체감기간이 상대적으로 빠르게 이뤄졌을 수 있다. 고급·첨단기술산업이 중·저급기술산업보다 기술적 투자와 활동을 중시한다는 연구(Frenkel et al., 2001; Shefer and Frenkel, 2005)처럼 본 연구도 고급·첨단기술산업이 전체평균 대비 기술인력수준과 연구개발투자, 특허출원이 많으며, 시제품제작만 작다. 이에 표본의 업력을 참작할 때, 아직은 연구개발 성과를 제대로 일궈내지 못한 것에 그 원인이 있을 것으로 여겨진다.

셋째, 산업 간 비교에서 정보서비스는 순수기술의 비효율성, 그 외 산업들은 규모의 비효율성이 존재하였다. 산업 전반에 규모의 비효율성이 존재하므로 적정수준의 규모 확

대가 필요하다. 규모수익형태는 중·저급기술산업이 규모수익증가(IRS), 고급·첨단기술산업이 규모수익불변(CRS) 상태가 많다. 중·저급기술산업군은 연구개발 활동이 주로 단기 상용화에 치우친 범용성 소재·부품을 개발하거나 구조물 또는 선박 건조 등의 단순가공조립 공정에 수반되는 활동 등으로 집중되어 고급·첨단기술산업보다 성과가 빨리 나타났을 것으로 여겨진다. 장기적으로 중·저급기술산업은 고급연구인력과 연구개발비 확보를 통한 핵심 부품·소재의 원천기술 확보가 기술성과와의 관계를 최적의 상태로 유지하게 도울 것이다. 정리하면, 중·저급기술산업은 투입과 산출 간 효율성 저하 및 규모수익감소를 대비한 연구성과 관리로 최적의 규모 유지가 필요하나, 고급·첨단기술산업군은 투입요소와 산출물간 선형관계가 강하다는 김건식(2018) 연구를 토대로 기술성과의 지속적인 창출을 위한 인력과 투자비의 효율적 배분과 활동이 필요하다.

넷째, Tier 분석을 통해 최종 10개의 비효율 산업에 대한 벤치마킹하는 대상을 선정하였다. 단기적으로 자동차 또는 출판, 중기적으로 전자, 장기적으로 정밀기기 또는 정보서비스, 기타전문/기술서비스산업을 벤치마킹하여 연구개발 효율성을 높일 수 있다.

본 연구의 학문적 시사점은 다음과 같다. 첫째, 연구개발 활동 효율성에 관한 기존연구가 주로 투입(input)과 성과(outcome) 측면에서 이뤄졌다면, 본 연구는 연구개발 활동의 투입(input)과 산출(output) 요소 간 관계를 다루었다. 기존연구가 기술성과와 재무성과를 동시에 반영하거나 재무성과로만 효율성을 측정했던 성과(outcome) 관점이 많아 연구개발 활동의 기술 수준을 살펴보기엔 미흡한 부분이 있었다. 이에 연구개발 활동의 종료 시점을 상업화 직전으로 정의하여 이때의 산출물(output)인 특허와 이를 활용한 시제품을 대상으로 연구개발 활동의 실질적 효율성을 측정하였다.

둘째, 기존의 효율성 연구가 해당 기업이 속한 특정 산업 위주였다면, 본 연구는 한국 표준산업분류의 중분류기준으로 주요 산업을 망라하였다. 또한, 효율성 측정변수의 표본 평균 대비 평균이 낮거나 높은 산업으로 산업유형을 구분하여 효율성 수준을 짚었다. 다수의 연구가 선행단계에서 기술 수준별 산업을 분류한 Pavitt(1984)이나, 연구개발 집중도별 산업을 구분한 OECD(2002)의 산업분류로 분석되었다면, 본 연구는 측정변수의 산업평균에 기초한 산업간 특징으로 산업유형을 구분하여 분석하였다.

셋째, 민간기업의 연구개발 활동은 비공개로 이뤄지기에 효율성은 주로 연구기관의 설문조사 결과로 측정된다. 본 연구는 기술보증기금이 기술사업성 평가를 위해 검증한 자료를 데이터로 활용하였으므로, 설문조사를 통해 추출된 자료보다 상대적 신뢰도가 높다고 할 수 있다. 따라서, 연구자료 그 자체로도 의미를 지닌다.

본 연구의 실무적 시사점은 기술혁신형 중소기업의 연구개발 활동 효율성을 산업 전

반으로 살펴보면서 산업구조를 이해하고, 정책 수립의 기초자료를 제공한 것이다. 산업 구조 조정정책은 기존산업의 고부가가치화를 실현하고 미래 성장산업을 육성하여 산업 전반의 고부가가치를 달성하는 것이다(민완기, 2009). 주요 5개국(한국, 중국, 일본, EU, 미국) 간 기술수준 및 기술격차를 비교한 「제4차 과학기술기본계획」(2018)에서 조사된 향후 5년간 중점 추진 필요정책은 연구비 확대, 인력양성 및 유치, 인프라 구축 순이었으며, 이 순위는 2012년 이후 변동 없다. 기초연구 역량은 선진국과 비교하여 열위 수준이며, 그에 대한 국내기업의 연구개발비 투자 비중은 2011년 18% 이후 지속 감소 추세로 2019년 15% 수준이다. 이에, 연구자료가 다소 오래되었음에도 현재 시점에서 본 연구가 산업정책 발전에 도움 되길 바란다.

아울러, 우리 산업의 중추 기반인 중소기업은 기술수준 향상을 위하여 무엇을 할 것인가에 대한 내부 고민을 산학연 공동 연구로 발전시킴으로써, 고부가가치 기술개발을 지속 확대해야 할 것이다. 또한, Salas-Velasco, M.(2018)의 연구에서 언급한 혁신의 장려와 연구개발의 공공투자를 지원하는 정부의 우선 정책, 비즈니스 프로세스 변경, 관리혁신 도입 등 기업의 조직적 변화를 병행하면 연구개발 효율성도 향상될 것이다.

## 2. 연구의 한계 및 향후 연구방향

본 연구는 다음의 한계를 가진다. 첫째는 표본선정에서 일반화 가능성의 문제이다. 연구표본이 기술혁신형 중소기업이기에 대기업과 중견기업으로의 적용은 제한적이며, 제약산업 등은 표본 수 부족으로 제외되었다. 기업규모나 한국표준산업분류의 세분류 기준에서 산업 간 연구개발 효율성 연구가 이뤄지면 Tier 분석으로 벤치마킹하는 대상을 선별할 때보다 실질적 도움이 될 것이다.

둘째, 측정변수의 한계이다. 본 연구는 연구개발 시차를 1년으로 가정하고, 변수의 결과치는 2차 자료를 활용하였다. 즉, 기술인력과 연구개발투자가 5점 척도로 기업 간 차이가 크지 않았기에 연구성과와의 관계 분석을 통한 메커니즘 파악 시 제한 요소가 되었다. 향후, 1차 자료로 효율성을 측정한다면 산업 간 연구개발 특성을 세밀하게 파악할 수 있을 것이다. 아울러, 산출변수로 재무성과를 추가시켜 측정한다면 기업경영에 미치는 전반적 영향도까지 살펴볼 수 있을 것이다.

셋째, 본 연구는 상대적 개념의 효율성 분석이므로 비교 대상에 따라 분석 결과가 다를 수 있다. 이에 윈도우 분석이나 맘퀴스트생산성지수 분석 등의 다양한 측정법을 활용하여 효율성 변화추이를 살펴볼 필요가 있다.



# 참고 문헌

## (1) 국내 문헌

- 과학기술정보통신부·국가과학기술기획평가원 (2020), 「2019년도 과학기술통계백서」, 세종 : 과학기술정보통신부.
- 김건식 (2018), “연구개발투자와 혁신성과 간의 비선형 관계에서 업종별 기술집약도의 역할과 상호작용,” 「중소기업연구」, 제40권 제1호, pp. 1-23.
- 류성진 (2013), 「커뮤니케이션 통계방법」, 서울 : 커뮤니케이션북스.
- 민완기 (2009), 「한국산업의 이해」, 대전 : 글누리.
- 박만희 (2008), 「효율성과 생산성 분석」, 서울 : 한국학술정보(주).
- 서용윤·김문수 (2011), “DEA를 활용한 제조 및 서비스산업의 기술혁신활동 효율성 비교연구,” 「산업공학(IE interfaces)」, 제24권 제4호, pp. 330-340.
- 서환주·강성진·김정연 (2008), “IT 중소기업의 연구개발투자 효율성 분석,” 「기술혁신연구」, 제16권 제2호, pp. 41-63.
- 송주영·성형석 (2015), “기술자원의 전략적 자원속성과 경쟁우위 간의 관계에 관한 연구: 기술 중소기업의 기술평가자료를 이용한 VRIO Framework의 실증분석,” 「기술혁신학회지」, 제18권 제3호, pp. 416-443.
- 신진교·장수덕 (2009), “중소 제조기업의 R&D 투자 효율성 결정요인,” 「인적자원관리연구」, 제16권 제4호, pp. 165-178.
- 신태영·송종국·이우성·송치용·김현호·손수정 (2006), 「제조업 부문 기술혁신의 결정요인과 정책 과제 (정책연구 2006- 02)」, 서울 : 과학기술정책연구원.
- 오승환·김선우 (2018), 「중소기업 R&D 지원의 성과와 방향 (STEPI Insight 224)」, 세종: 과학기술정책연구원.
- 오준병 (2006), “연구개발투자의 효율성 분석 - OECD 국가들을 중심으로,” 「경상논집」, 제20권 제1호, pp. 105-128.
- 윤상흠·박춘식·하귀룡 (2017), “국내 제약기업의 기술혁신 효율성 분석에 관한 연구: 상장기업을 중심으로,” 「經營教育研究」, 제32권 제1호, pp. 25-46.
- 이기섭 (2013), 「창조경제와 R&D 전략」, 서울 : 매일경제신문사.
- 이수철·이동호 (2016), “Cumulative DEA/ Malmquist Index 기법을 이용한 정부출연 연구기관 연구개발 효율성 변화 분석,” 「한국경영과학회지」, 제41권 제1호, pp. 99-111.
- 이인기·양동우 (2016), “CEO의 기술적 역량이 경영성과에 미치는 효과에 관한 실증연구: 기업의 기술적 역량 매개효과 중심으로,” 「벤처창업연구」, 제11권 제20호, pp. 167-182.
- 이정동·오동현 (2012), 「효율성 분석이론」, 서울 : (주)지필미디어.
- 이종대·정양현 (2014), “한국 중소 제조기업의 R&D 생산성 분석 : R&D 단계 및 산업 유형,” 「회계정보연구」, 제32권 제1호, pp. 51-68.
- 이지영·김철연·최경현 (2016), “외부 R&D가 혁신 효율성에 미치는 영향 분석: 국내 제조산업을 중심으로,” 「산업경영시스템학회지」, 제39권 제4호, pp. 125-136.
- 이학식·임지훈 (2013), 「SPSS 20.0 매뉴얼」, 서울 : 집현재.
- 이현준·백철우·이정동 (2014), “기업 R&D 투자의 시차효과 분석,” 「기술혁신연구」, 제22권 제1

호, pp. 1-21.

- 임호순·유석천·김연성 (1999), “연구개발사업의 평가 및 선정을 위한 DEA/AHP 통합모형에 관한 연구,” 「한국경영과학회지」, 제24권 제4호, pp. 1-12.
- 장성근·신영수·정해혁 (2009), “R&D투자, 기술경영능력, 기업성과 간의 관계,” 「경영학연구」, 제38권 제1호, pp. 105-132.
- 전수진·홍재범 (2020), “기술혁신형 중소기업의 연구개발 효율성 결정요인 분석: 경영주역량의 조절효과를 고려하여,” 「중소기업연구」, 제42권 제4호, pp. 147-172.
- 정분도 (2014), “ICT 제조업과 서비스업의 효율성과 생산성,” 「통상정보연구」, 제16권 제4호, pp. 55-75.
- 조용래·유상욱·김명순 (2017), 「정부 연구성과 실증사업의 유형과 추진전략 (STEPI Insight 210)」, 세종 : 과학기술정책연구원.
- 중소벤처기업부·중소기업중앙회 (2018), 「2018년 중소기업기술통계조사 보고서」, 대전 : 저자.
- 천동필·정양현·방성식 (2014), “한국 주요기업의 연구개발 생산성 분석,” 「회계연구」, 제19권 제4호, pp. 173-190.
- 홍한국·하성호·박상찬 (2000), “SI 프로젝트의 효율성 평가를 위해 자료포괄분석과 기계학습을 결합한 하이브리드 분석,” 「Asia Pacific Journal of Information Systems」, 제10권 제1호, pp. 19-35.
- 황동현·박재민 (2018), “제조업 기술수준별 효율성 비교 및 결정요인 분석,” 「생산성논집(구. 생산성연구)」, 제32권 제1호, pp. 209-237.
- 황석원·안두현·최승현·권성훈·천동필·김아름·박종혜 (2009), 「국가 연구개발사업 R&D 효율성 분석 및 제고방안 (정책연구 2009-24)」, 서울 : 과학기술정책연구원.

## (2) 국외문헌

- Aiken, L. S. and West, S. G. (1991), *Multiple regression: Testing and interpreting interactions*, Newbury Park, CA : Sage Publications.
- Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'Donnell, C. J., and Battese, G. E. (1998), *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*, 2nd ed., New York : Springer.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M. and Tone, K. (2000), *Data Envelopment Analysis*, Kluwer : Academic Publishers.
- OECD (2002), *Frascati Manual: Proposed Standard Practice for Surveys on Research and Experimental Development*, Paris : OECD.
- Hashimoto, A. and Haneda, S. (2008), “Measuring the change in R&D efficiency of the Japanese pharmaceutical industry,” *Research Policy*, Vol. 37, No. 10, pp. 1829 - 1836.
- Hollanders, H. J. G. M. and Celikel-Esser F. (2007), “*Measuring Innovation Efficiency*,” Brussels : European Commission
- Atkinson, S. E. and Halvorsen, R. (1980), “A Test of Relative and Absolute Price Efficiency in Regulated Utilities,” *The Review of Economics and Statistics*. Vol. 62, No. 1, pp. 81-88.
- Bae, Y. and Chang, H. (2012), “Efficiency and effectiveness between open and closed innovation: empirical evidence in South Korean manufacturers,” *Technology Analysis*

& *Strategic Management*. Vol. 24, No. 10, pp. 967-980.

- Banker, R. D., Charnes, A., and 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.
- Charnes, A., Cooper, W. W., and Rhodes, E. (1978), "Measuring the efficiency of decision making units", *European journal of operational research*, Vol. 2, No. 6, pp. 429-444.
- Chen C. T. and Lin, M. H. (2006), "Using DEA to Evaluate R&D Performance in the Integrated Semiconductor Firms-Case Study of Taiwan," *International Journal of The Computer, the Internet and Management*, Vol. 14, No. 3, pp. 50-59.
- Chiu, Y. H., Huang, C. W. and Chen, Y. C. (2012), "The R&D value-chain efficiency measurement for high-tech industries in China," *Asia Pacific Journal of Management*, Vol. 29, No. 4, pp. 1-18.
- Cruz-Cázares, C., Bayona-S, C., and García-M. T. (2013), "You Can't Manage Right What You Can't Measure Well: Technological Innovation Efficiency," *Research Policy*, Vol. 42, pp. 1239-1250.
- Emrouznejad, A. and Yang, Guo-liang (2017), "A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978-2016," *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol. 61, pp. 4-8.
- Frenkel A., Shefer D., Koschatzky K., and Walter G. H. (2001), "Firm Characteristics, Location and Regional Innovation : A Comparison between Israeli and German Industrial Firms," *Regional Studies*, Vol. 35, No. 5, pp. 415-429.
- Khoshnevis, P. and Teirlinck, P. (2018), "Performance evaluation of R&D active firms," *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol. 61, pp. 16-28.
- Lieberman, M. and Montgomery, D. (1988), "First-mover advantages," *Strategic Management Journal*, Vol. 9, No. 1, pp. 41-58.
- Lim, S. M. (2009), "A Method for Selection of Input-Output Factors in DEA," *IE Interfaces*, Vol. 22, No. 1, pp. 44-55.
- Park, J. H. (2018), "Open innovation of small and medium-sized enterprises and innovation efficiency," *Asian Journal of Technology Innovation*, Vol. 26, No. 2, pp. 115-145.
- Pavitt, K. (1984), "Sectoral Patterns of Technical Change: Towards a Taxonomy and a Theory," *Research Policy*, Vol. 13, No. 6, pp. 343-373.
- Salas-Velasco, M. (2018), "Production efficiency measurement and its determinants across OECD countries: The role of business sophistication and innovation," *Economic Analysis and Policy*, Vol. 57, pp. 60-73.
- Shefer, D., and Frenkel, A. (2005), "R&D, Firm Size and Innovation : An Empirical Analysis," *Technovation*, Vol. 25, No. 1, pp. 25-32.
- Thanassoulis, E. (1995), "Assessing Police Forces in England and Wales Using Data Envelopment Analysis," *European Journal of Operational Research*, Vol. 87, pp. 641-657.

□ 투고일: 2021.04.01. / 수정일: 2021.08.03. / 게재확정일: 2021.08.24.

## 【 부 표 】

<부 표 1> CCR 모형의 효율성

KSIC-9차		CCR 평균	효율성 수준						
코드	중분류 산업명		효율성=1		효율성≥0.5		0.5<효율성		총계
			개수	비중(%)	개수	비중(%)	개수	비중(%)	
10	식료품	0.24	2	(2.1)	2	(2.1)	92	(95.8)	96
13	섬유제품	0.23	5	(4.3)	10	(8.6)	101	(87.1)	116
14	의복/모피제품	0.28	4	(10.5)	6	(15.8)	28	(73.7)	38
17	펄프/종이제품	0.40	12	(17.6)	19	(27.9)	37	(54.4)	68
18	인쇄/기록매체복제	0.27	5	(8.2)	11	(18.0)	45	(73.8)	61
20	화학물질/화학제품	0.15	7	(2.3)	30	(10.0)	263	(87.7)	300
22	고무/플라스틱제품	0.16	6	(1.4)	21	(5.0)	390	(93.5)	417
23	비금속 광물제품	0.27	6	(6.0)	14	(14.0)	80	(80.0)	100
24	1차 금속	0.23	4	(1.9)	28	(13.3)	178	(84.8)	210
25	금속가공제품	0.11	7	(0.9)	17	(2.2)	743	(96.9)	767
26	전자부품, 컴퓨터	0.16	7	(1.2)	35	(5.9)	552	(92.9)	594
27	의료/정밀/광학기기	0.19	5	(1.6)	18	(5.7)	294	(92.7)	317
28	전기장비	0.24	15	(3.2)	54	(11.5)	401	(85.3)	470
29	기타 기계/장비	0.15	11	(0.7)	63	(4.1)	1,458	(95.2)	1,532
30	자동차/트레일러	0.17	8	(1.7)	22	(4.8)	430	(93.5)	460
31	기타 운송장비	0.21	4	(4.3)	17	(18.1)	73	(77.7)	94
32	가구	0.51	11	(24.4)	17	(37.8)	17	(37.8)	45
33	기타 제품제조	0.22	1	(2.6)	4	(10.3)	34	(87.2)	39
42	전문직별 공사	0.24	4	(5.6)	7	(9.7)	61	(84.7)	72
46	도매 및 상품중개	0.35	3	(6.3)	9	(18.8)	36	(75.0)	48
58	출판	0.15	4	(1.0)	24	(5.7)	393	(93.3)	421
62	프로그래밍/시스템	0.29	6	(4.4)	23	(16.9)	107	(78.7)	136
63	정보서비스	0.49	7	(15.9)	14	(31.8)	23	(52.3)	44
72	건축/과학기술서비스	0.23	7	(3.3)	18	(8.5)	188	(88.3)	213
73	기타전문/기술서비스	0.29	4	(8.0)	10	(20.0)	36	(72.0)	50
합 계		-	155	(2.3)	493	(7.3)	6,060	(90.3)	6,708

<부표 2> BCC 모형의 효율성

KSIC-9차		BCC 평균	효율성 수준						
코드	중분류 산업명		효율성=1		효율성≥0.5		0.5<효율성		총계
			개수	비중(%)	개수	비중(%)	개수	비중(%)	
10	식료품	0.75	53	(55.2)	14	(14.6)	29	(30.2)	96
13	섬유제품	0.68	60	(51.7)	7	(6.0)	49	(42.2)	116
14	의복/모피제품	0.81	25	(65.8)	5	(13.2)	8	(21.1)	38
17	펄프/종이제품	0.87	50	(73.5)	10	(14.7)	8	(11.8)	68
18	인쇄/기록매체복제	0.88	49	(80.3)	3	(4.9)	9	(14.8)	61
20	화학물질/화학제품	0.66	137	(45.7)	43	(14.3)	120	(40.0)	300
22	고무/플라스틱제품	0.74	246	(59.0)	33	(7.9)	138	(33.1)	417
23	비금속 광물제품	0.81	63	(63.0)	17	(17.0)	20	(20.0)	100
24	1차 금속	0.79	138	(65.7)	20	(9.5)	52	(24.8)	210
25	금속가공제품	0.77	498	(64.9)	41	(5.3)	228	(29.7)	767
26	전자부품, 컴퓨터	0.63	243	(40.9)	111	(18.7)	240	(40.4)	594
27	의료/정밀/광학기기	0.59	112	(35.3)	56	(17.7)	149	(47.0)	317
28	전기장비	0.64	200	(42.6)	58	(12.3)	212	(45.1)	470
29	기타 기계/장비	0.70	824	(53.8)	101	(6.6)	607	(39.6)	1,532
30	자동차/트레일러	0.74	270	(58.7)	46	(10.0)	144	(31.3)	460
31	기타 운송장비	0.86	73	(77.7)	19	(20.2)	2	(2.1)	94
32	가구	0.84	30	(66.7)	6	(13.3)	9	(20.0)	45
33	기타 제품제조	0.87	30	(76.9)	2	(5.1)	7	(17.9)	39
42	전문직별 공사	0.75	44	(61.1)	3	(4.2)	25	(34.7)	72
46	도매 및 상품중개	0.78	26	(54.2)	12	(25.0)	10	(20.8)	48
58	출판	0.62	141	(33.5)	105	(24.9)	175	(41.6)	421
62	프로그래밍/시스템	0.69	61	(44.9)	33	(24.3)	42	(30.9)	136
63	정보서비스	0.67	17	(38.6)	13	(29.5)	14	(31.8)	44
72	건축/과학기술서비스	0.68	98	(46.0)	37	(17.4)	78	(36.6)	213
73	기타전문/기술서비스	0.86	35	(70.0)	8	(16.0)	7	(14.0)	50
합 계		-	3,523	(52.5)	803	(12.0)	2,382	(35.5)	6,708

<부표 3> 규모 효율성

KSIC-9차		SE 평균	효율성 수준						
코드	중분류 산업명		효율성=1		효율성≥0.5		0.5<효율성		총계
			개수	비중(%)	개수	비중(%)	개수	비중(%)	
10	식료품	0.31	4	(4.2%)	21	(21.9%)	71	(74.0%)	96
13	섬유제품	0.34	5	(4.3%)	31	(26.7%)	80	(69.0%)	116
14	의복/모피제품	0.35	4	(10.5%)	8	(21.1%)	26	(68.4%)	38
17	펄프/종이제품	0.47	12	(17.6%)	28	(41.2%)	28	(41.2%)	68
18	인쇄/기록매체복제	0.34	7	(11.5%)	16	(26.2%)	38	(62.3%)	61
20	화학물질/화학제품	0.27	8	(2.7%)	94	(31.3%)	198	(66.0%)	300
22	고무/플라스틱제품	0.22	7	(1.7%)	78	(18.7%)	332	(79.6%)	417
23	비금속 광물제품	0.33	6	(6.0%)	27	(27.0%)	67	(67.0%)	100
24	1차 금속	0.28	8	(3.8%)	56	(26.7%)	146	(69.5%)	210
25	금속가공제품	0.15	9	(1.2%)	64	(8.3%)	694	(90.5%)	767
26	전자부품, 컴퓨터	0.28	16	(2.7%)	118	(19.9%)	460	(77.4%)	594
27	의료/정밀/광학기기	0.35	6	(1.9%)	81	(25.6%)	230	(72.6%)	317
28	전기장비	0.37	27	(5.7%)	149	(31.7%)	294	(62.6%)	470
29	기타 기계/장비	0.21	17	(1.1%)	238	(15.5%)	1,277	(83.4%)	1,532
30	자동차/트레일러	0.22	8	(1.7%)	62	(13.5%)	390	(84.8%)	460
31	기타 운송장비	0.24	4	(4.3%)	26	(27.7%)	64	(68.1%)	94
32	가구	0.62	18	(40.0%)	14	(31.1%)	13	(28.9%)	45
33	기타 제품제조	0.25	1	(2.6%)	6	(15.4%)	32	(82.1%)	39
42	전문직별 공사	0.31	4	(5.6%)	20	(27.8%)	48	(66.7%)	72
46	도매 및 상품중개	0.45	5	(10.4%)	15	(31.3%)	28	(58.3%)	48
58	출판	0.27	8	(1.9%)	86	(20.4%)	327	(77.7%)	421
62	프로그래밍/시스템	0.42	18	(13.2%)	43	(31.6%)	75	(55.1%)	136
63	정보서비스	0.69	11	(25.0%)	22	(50.0%)	11	(25.0%)	44
72	건축/과학기술서비스	0.33	7	(3.3%)	58	(27.2%)	148	(69.5%)	213
73	기타전문/기술서비스	0.34	4	(8.0%)	12	(24.0%)	34	(68.0%)	50
합 계		-	224	(3.3%)	1,373	(20.5%)	5,111	(76.2%)	6,708