

기업의 R&D 성과 측정 : 산업간 차이에 대한 탐색적 연구

Measuring Firms' R&D Performance : an exploratory study
on sectoral differences in R&D performance

김승겸*, 이학연**, 박용태***

Abstract

An efficient and productive R&D operation is a major source of competitive advantage in today's economy, and a lot of efforts are made to raise R&D productivity. A prerequisite for making R&D more efficient and productive is to be able to measure it. Hence, a number of studies have attempted to measure R&D productivity. R&D productivity, in the previous studies, was measured with patents at the firm or industry level. However, most previous studies considered only a quantitative aspect, not a qualitative aspect of patents. In this study, various dimensions of patent quality as well as patent quantity were considered for the measurement of R&D performance. The differences in R&D performance across sectors were examined, and it was found that electrical/electronic industry shows higher R&D performance than mechanic and chemical industries. Discriminant analysis based on inputs and outputs for R&D shows that there exist a strong discriminatory power across industries. The results of this research can provide the directions for the firm's R&D policy.

* 서울대학교 산업공학과 석사과정 e-mail: hdglace@hanmail.net

** 서울대학교 산업공학과 박사과정 e-mail: yuny29@snu.ac.kr

*** 서울대학교 산업공학과 부교수, 교신저자 e-mail: parkyt@cybernet.snu.ac.kr

I. 서론

지식기반 경제사회에서의 기업간 경쟁양상이 기술경쟁으로 특징 지워짐에 따라, 많은 기업들이 기술력을 증대시키기 위한 연구개발(R&D: Research and Development)을 적극적으로 수행하고 있다. 오늘날의 기업에 있어서 생산적인 R&D 활동은 경쟁우위의 주요 원천으로 인식되고 있으며(Werner and Souder, 1997), R&D의 생산성 제고를 위한 많은 노력이 이루어지고 있다. 기업이 R&D 활동을 생산적으로 수행하기 위해서는 우선 현재의 R&D 생산성을 측정할 수 있어야 한다(Karlsson et al., 2004). 이에 R&D 생산성을 측정하기 위한 연구가 상당수 이루어져 왔으나, R&D의 투입 요소들과 산출 요소들에 대한 정확한 측정의 어려움으로 인해 연구가 활발히 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

R&D 생산성에 관한 연구는 기업 수준(Hanel, 2000; Tsai, 2005; Zhang et al., 2003), 국가 수준(Lee and Park, 2005) 등에서 다양하게 이루어져 왔으며, 각각 다른 수준에서의 정책적 시사점을 제공해주고 있다. 하지만 많은 연구들이 R&D를 수행하는 단일 주체로서 기업에 초점을 두고 있으며, 본 연구에서도 기업 수준에서의 R&D 생산성을 측정한다. 기업 수준에서의 R&D 생산성 측정에 관한 거의 모든 연구에서는 R&D 활동의 산출 요소로서 특허만을 고려해왔다(Werner and Souder, 1997). 즉, 특정 기업이 특정 기간 동안 얼마나 많은 수의 특허를 등록하였는가를 바탕으로 기업의 R&D 성과를 측정하였다. 하지만 이는 특허의 양적인 면만을 고려할 뿐, 특허의 질적인 측면을 반영하지 못한다는 한계점이 있다.

특허로 등록되기 위해서는 유용성, 신규성, 진보성 등의 다양한 기준을 만족시켜야 하지만(박용태, 2005), 모든 특허들이 기술적, 경제적으로 동일한 품질을 가지고 있는 것은 아니므로(Hirschey and Richardson, 2001), R&D 성과를 측정하는데 있어서 특허의 질을 고려할 필요가 있다(Ernst, 1998). 따라서 본 연구에서는 특허의 양과 함께 다양한 차원의 특허 품질을 반영하여 R&D의 성과를 측정한다.

R&D 생산성은 주로 총요소생산성(TFP: Total Factor Productivity) 기법을 이용하여 측정되어 왔으며(Brown and Gobeli, 1992), 최근에는 비모수적 기법인 DEA(Data Envelopment Analysis)도 널리 사용되고 있다(Feng et al., 2004; Kocher et al., 2005; Lee and Park, 2005). 총요소생산성은 한 가지 산출 요소만을 반영할 수 있다는 한계가 있지만, DEA는 다수의 산출 요소가 존재하는 경우에 있어서도 종합적인 생산성의 지표로써 효율성을 측정할 수 있다(Cooper et al., 2000). 특허의 품질은 다양한 차원에서 측정될 수 있으므로, 본 연구에서는 다수의

산출 요소를 반영할 수 있는 DEA를 사용하여 R&D의 성과를 측정한다.

산업별로 R&D의 양상이 어떻게 다른가하는 것도 많은 연구자들이 관심을 가지고 있는 주제이다. 기술집약적이며, 기술개발 및 변화의 속도가 빠른 산업에서의 R&D 생산성과 그렇지 않은 산업에서의 R&D 생산성은 다르게 나타날 것이다. 따라서 본 연구에서는 기업이 속한 산업에 따른 R&D 생산성 특징의 차이를 살펴본다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 본 연구의 배경이 되는 R&D 생산성과 특허 품질에 관한 기존 연구를 살펴보고, III장에서는 변수, 자료, 방법론 등의 연구 방법이 제시된다. IV장에서는 DEA 및 다변량 통계분석 결과를 바탕으로 결과를 도출하고, 마지막으로 V장에서는 연구의 시사점 및 한계, 추후연구를 포함한 결론이 제시된다.

II. 문헌 연구

2.1. R&D 생산성

생산성은 생산의 효율을 나타내는 지표로서, 일반적으로 투입량과 생산량의 비로 정의된다. 동일한 투입량으로 더 많은 양을 생산하거나 더 적은 투입량으로 같은 양을 생산하게 된 경우에 생산성이 증가하였다고 할 수 있다. 생산성을 측정하는데 주로 사용되는 지표로는 노동생산성과 자본생산성이 있는데, 노동생산성은 생산량과 그 생산량을 산출하기 위해 투입된 노동량의 비로서 생산량을 노동량으로 나눈 값을 말하며, 자본생산성은 생산가치를 소요자본으로 나눈 것을 말한다. 그러나 이들의 생산성은 한 가지의 투입 요소로만 본 단일요소생산성이며, 전반적인 생산성 증대 효과는 개별 요인만으로는 설명하기가 어렵다. 이러한 문제점을 극복하기 위한 것이 총요소생산성이며, R&D 생산성을 측정한 기존의 많은 연구들이 총요소생산성을 사용하였다(Hanel, 2000; Lichtenberg and Siegel, 1991; Tsai, 2005; Wakelin, 2001; Zhang et al., 2003). 총요소생산성은 노동, 자본 및 중간재 투입 등 총요소의 투입단위당 산출량을 나타내며, 이것은 산출량 증가율을 투입 요소 증가 기여분과 총요소생산성 증가 기여분으로 분해하는 방법에 따라서 측정된다. 한편 총요소생산성 대신 DEA를 사용하여 R&D의 생산성을 측정한 연구들도 진행되어 왔다(Feng et al., 2004; Kocher et al., 2005; Lee and Park, 2005). DEA는 다수의 투입 요소와 다수의 산출 요소를 갖는 여러 의사결정단위(DMU: Decision Making Unit)들 간의 상

대적 효율성을 측정하는 비모수적 분석 방법이다.

R&D 생산성을 측정한 기존 연구들에서 사용된 투입 요소와 산출 요소들은 큰 차이를 보이지 않는다. 투입 요소로는 노동을 의미하는 연구원 수, 연구개발 종사자 수 등과 자본을 의미하는 R&D 비용, R&D 집중도 등이 사용되었다. 산출 요소로는 특허 수, 기술과학 논문 수, 신제품 개발 수 등이 주로 사용되었다(박광만 외, 2003; Feng et al., 2004; Kocher et al., 2005; Wakelin, 2001).

Graves와 Langowitz(1996)의 연구를 보면 R&D의 규모수익(returns to scale)은 대부분 규모수익불변(constant returns to scale) 혹은 규모수익체감(decreasing returns to scale)을 보이는 것으로 나타났다. 또한 산업 수준에서 이루어진 R&D 생산성에 관한 Scherer(1983)의 연구에서는 약 60%의 산업은 규모수익불변을, 약 25%의 산업은 규모수익체감을, 나머지 산업은 규모수익체증(increasing returns to scale)을 보이고 있다.

2.2. 특허 품질

특허는 그 대상인 발명에 대해, 일정한 요건 하에서 일정 기간 동안 독점적이고 배타적인 권리를 부여하여 발명자를 보호하는 제도이다(박용태, 2005). 통상적으로 기업의 R&D 활동의 결과로 등록된 특허에 대한 권리는 기업의 몫이 되므로, 많은 수의 특허를 보유한 기업일수록 특허로부터 얻을 수 있는 이득이 많아진다. 하지만 모든 특허가 같은 영향력을 갖고 있는 것은 아니기 때문에 단순한 특허의 양뿐만 아니라 특허의 질도 중요하다.

특허 품질에 관한 Hirschey와 Richardson(2001)의 연구를 보면 특허의 질을 측정할 수 있는 세 가지의 지표를 제시하고 있다. 첫째, 기술적 중요도를 의미하는 CII(Current Impact Index)다. CII는 최근 5년 동안의 자사의 특허가 피인용(forward citation)된 횟수를 비슷한 기술의 특허들이 피인용된 횟수의 평균으로 나누어 계산된다. 둘째, 특허와 과학적 학문 분야와의 관련 정도를 의미하는 SL(Science Linkage)이다. SL은 특허가 참고한, 저널에 실린 논문과 학회 등에서 발표된 문서들의 수로 정의된다. 마지막은 기술적 신규성을 의미하는 TCT(Technology Cycle Time)로 특허가 참고한 다른 특허들의 등록연도 중 중앙값으로 정의된다.

특허 정보를 바탕으로 기술경영(technology management)의 전략을 제시한 Ernst(2003)의 연구에서는 특허의 질을 측정하기 위하여 4가지의 지표를 사용하였다. 첫째, 출원한 특허 수 대비 등록된 특허 수의 비율(share of granted patents)로 기술적 품질을 의미한다. 두 번째는 기술적 범위(technological scope)로 특허가 속

해 있는 국제특허분류(IPC: International Patent Classification) 상의 클래스(class)의 수로 정의된다. 세 번째는 국제적 범위(international scope)로 특허 패밀리(patent family)의 크기로 정의된다. 마지막은 경제적 가치를 의미하는 인용 빈도(citation frequency)로 평균 인용 회수로 정의된다.

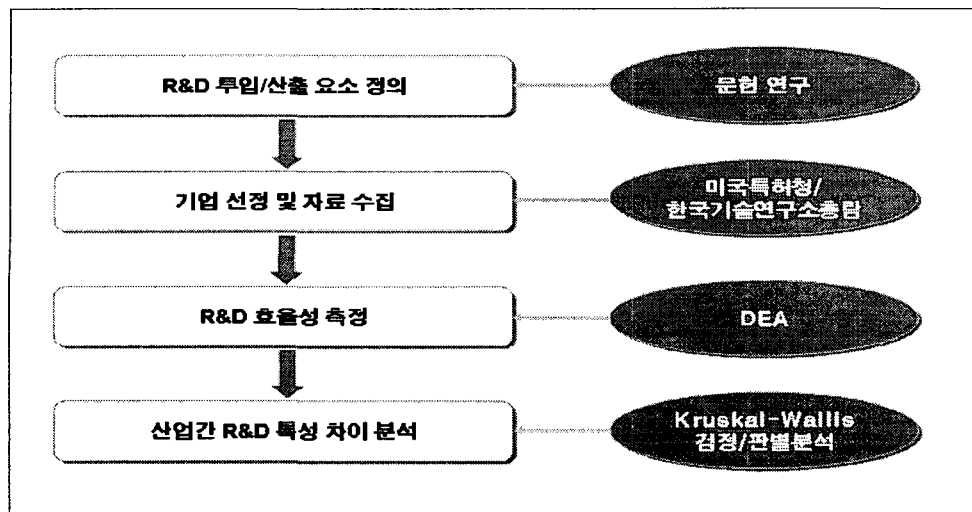
또한 특허 품질과 기업의 연구 생산성과의 관계를 분석한 Lanjouw와 Schankerman(2004)의 연구에서는 인용(backward citation) 수, 피인용 수, 청구항(claim) 수, 특허 패밀리의 크기와 같은 4가지의 지표를 이용하여 특허의 질을 측정하였다. 인용 수와 피인용 수는 기술적 중요도를 의미하며 청구항 수는 수익성을, 특허 패밀리의 크기는 기대 가치를 의미한다.

한편, 특허를 평가하는 지표들의 유효성을 검정한 Reitzig(2004)의 연구에서는 지표를 크게 3세대로 구분하였다. 1세대의 지표가 특허를 평가하기에 가장 적합한 지표로서 인용 수, 피인용 수, 패밀리의 크기 등이 있다. 2세대의 지표로는 국제특허분류 상의 클래스 수와 출원 전략(filing strategy) 등이 있으며, 3세대의 지표로는 청구항 수 등이 있다. 2세대와 3세대의 지표들은 1세대에 비하여 상대적으로 특허를 평가하기에 적합하다는 검정이 덜 이루어진 지표들이지만, 특허를 평가하는 새로운 지표를 개발하는데 도움을 줄 수 있는 잠재력을 지닌 지표들이다.

Ⅲ. 연구 설계

3.1. 연구의 틀

본 연구는 다음의 [그림 1]과 같은 순서로 진행되었다. 먼저 기존 연구를 바탕으로 R&D의 투입 요소와 산출 요소를 정의한 후 연구에 사용될 변수로 선정하였다. 선정된 변수들의 자료 가용성(data availability)을 고려하여 분석 대상이 될 기업들을 선정한 후 각 기업의 자료를 수집하였다. 수집된 자료를 바탕으로 선정된 개별 기업의 R&D 효율성을 측정하였으며, 효율성을 바탕으로 각 기업들이 속한 산업간의 R&D 특성 차이를 분석하였다.



[그림 1] 연구 흐름도

3.2. 변수

II장에서 언급되었던 여러 가지의 R&D 투입 요소 및 산출 요소 중, 본 연구에서 사용된 투입 요소 및 산출 요소로는 다음의 <표 1>과 같은 요소들이 변수로 선정되었다. 투입 요소인 R&D 비용과 연구원 수는 각각 자본과 노동을 의미하며, 전형적인 R&D의 투입 요소로 사용되어 왔다(Serrano-Cinca et al., 2005). 기업이 R&D를 위해 투자한 비용의 정확한 자료를 구하기 어렵기 때문에, 본 연구에서는 연구소의 예산을 R&D 비용의 대용지표(proxy measure)로 사용하였다. 산출 요소로는 피인용 수, 청구항 수, USPC 범위(United States Patent Classification coverage)가 선정되었다. 피인용 수는 기업의 어떠한 특허를 인용한 다른 특허의 수로 기술의 질과 중요도를 의미한다. 청구항 수는 기업의 특허에 명시되어 있는 청구항의 수로 특허의 기술적 범위와 수익성을 의미한다. 마지막으로 USPC 범위는 미국특허분류 상에서 기업의 특허가 포함되는 클래스의 수로 특허의 기술적 범위를 의미한다. 이러한 변수들은 각 기업의 R&D 효율성을 측정하기 위한 DEA 모형에 기본적인 자료를 제공한다.

<표 1> 변수

	구분	변수	정의
투입 요소	자본	R&D 비용	기업 연구소 연간 예산
	노동	연구원 수	연평균 연구원 수
산출 요소	기술적/경제적 품질	피인용 수	기업의 특허를 인용한 다른 특허 의 수
	경제적 품질	청구항 수	기업의 특허에 명시되어 있는 청 구항의 수
	기술적 품질	USPC 범위	미국특허분류 상에서 기업의 특 허가 포함되는 클래스의 수

R&D 활동에 투입된 자원이 단기간에 산출물로 나타나지는 않는다. 다소 차이가 존재하기는 하지만 R&D 활동의 투자가 특허 등의 R&D 성과물로 나타나기까지는 3~5년 정도의 시간이 필요한 것으로 나타났다(Acs and Audretsch, 1991; Scherer, 1983). 따라서 본 연구에서는 투입 요소들을 1998년부터 2001년까지 자료의 산출평균으로 하였으며, 산출 요소들은 2002년에 미국특허청에 출원되어 현재까지 등록된 특허들을 대상으로 하였다.

3.3. 자료

3.3.1. 기업 선정

선정된 변수들의 자료를 얻기 위하여 먼저 대상 기업을 선정하였다. 기업 선정의 기준은 다음과 같다. 먼저 자료의 가용성을 고려하여 선정하였다. 한국기술연구소총람에 1998~2001년의 자료가 존재하며 2002년에 미국특허청에 출원한 특허가 있는 기업들을 대상으로 하였다. 또한 제조 기반의 기계, 전기전자, 화학 산업에 속하는 기업들만을 대상으로 하였다. 최종적으로 선정된 12개의 기업들은 다음의 <표 2>와 같다.

<표 2> 대상 기업

기업	산업
기아자동차 (Kia Motors Corporation)	기계
삼성SDI (Samsung SDI Co., Ltd.)	전기전자
삼성전기 (Samsung Electro-Mechanics Co., Ltd.)	전기전자
삼성중공업 (Samsung Heavy Industries Co., Ltd.)	기계
LG전선* (LG Cable, Ltd.)	기계
LG화학 (LG Chem, Ltd.)	화학
유한양행 (Yuhan Corporation)	화학
제일모직 (Cheil Industries, Inc.)	화학
한미약품 (Hanmi Phamarceutical Co., Ltd.)	화학
현대자동차 (Hyundai Motor Company)	기계
현대중공업 (Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.)	기계
호남석유 (Honam Petrochemical Corporation)	화학

Boussofiane 등(1991)은 최소한 투입 요소와 산출 요소의 개수를 곱한 것 이상의 의사결정단위가 필요하다고 주장하였다. 본 연구에서는 투입 요소가 2개이고 산출 요소가 3개이며 의사결정단위가 12개이므로 최소한의 의사결정단위 수를 만족시킨다.

3.3.2. 자료 수집

선정된 기업들을 대상으로 앞에서 제시한 5가지 변수들의 자료를 수집하였다. 두 가지 투입 요소의 자료는 1999/2000 한국기술연구소총람과 2001/2002 한국기술연구소총람으로부터 수집하였으며 세 가지 산출 요소의 자료는 미국특허청(USPTO: United States Patent and Trademark Office) 홈페이지(<http://www.uspto.gov>)에서 수집하였다.

한국기술연구소총람은 한국산업기술진흥협회에서 2년마다 발간하는 책자로서 기업 단위가 아닌 개별 연구소 단위로 정보를 제공한다. 앞에서 제시한 기업들 중 두개 이상의 연구소를 운영하고 있는 기업은 그 기업이 운영하고 있는 모든 연구소의 자료를 합하여 투입 요소로 사용하였다.

산출 요소의 자료를 수집하는 경우에는 출원인(assignee)과 출원일(application date)을 기준으로 특허를 검색하였다. 검색된 각 특허들에 대하여 피인용 수, 청구항 수, 특허가 속하는 USPC 클래스 수를 수집하였으며, 특허의 질뿐만 아니라 양도 고려하기 위하여 각 산출 요소들에 대한 평균값이 아닌 합을 구하였다.

* 현 LS전선

3.4. 방법론

3.4.1. DEA

DEA는 생산함수를 가정하지 않는 비모수적 접근방법으로(Yang and Kuo, 2003), 부분생산성이 제공할 수 없는 생산성에 대한 종합적인 판단을 제공하는 효율성 계산 방법이다(Cooper et al., 2000). DEA는 동일한 성질의 의사결정단위들이 다수의 투입 요소와 다수의 산출 요소를 갖는 경우에, 각 의사결정단위의 투입 요소들의 가중합과 산출 요소들의 가중합의 비율을 측정된 후, 측정된 각각의 비율들을 비교하여 의사결정단위들의 상대적인 효율성을 결정한다.

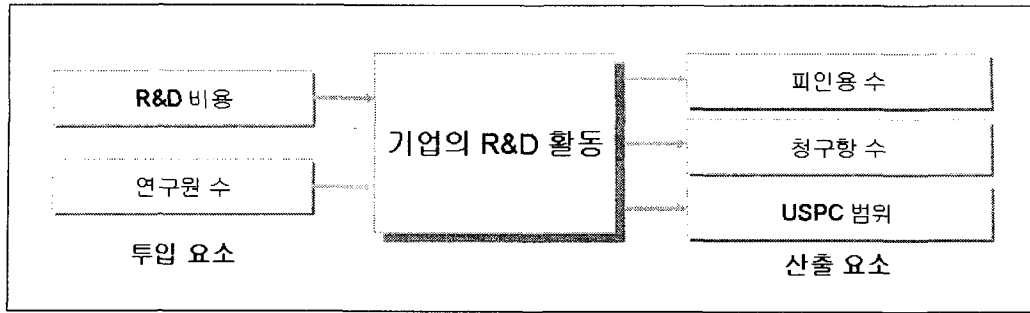
규모수익에 대한 가정에 따라 DEA는 크게 CCR 모형과 BCC 모형으로 구분된다(Talluri, 2000). CCR 모형은 규모수익불변을 가정하는 모형이며, BCC 모형은 규모의 수익변화(variable returns to scale)를 가정하는 모형이다. II장에서 언급한 바와 같이, R&D는 규모수익불변을 보이므로 본 연구에서는 CCR 모형을 채택하였다.

CCR 모형은 Charnes 등(1978)에 의해 제안되었는데, n개의 의사결정단위들이 m개의 투입 요소와 s개의 산출 요소를 갖는 경우는 다음과 같은 선형계획모형으로 나타난다.

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1, \\ & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, \quad j = 1, L, n \\ & u_r \geq \varepsilon > 0, \quad r = 1, L, s \\ & v_i \geq \varepsilon > 0, \quad i = 1, L, m \end{aligned}$$

여기서, x_{ij} 는 의사결정단위 j에 투입되는 투입 요소 i의 양, y_{rj} 는 의사결정단위 j에서 산출되는 산출 요소 r의 양, u_r 과 v_i 는 각각 산출 요소 r과 투입 요소 i에 부여되는 가중치를 뜻하며, k는 평가 대상인 의사결정단위를 나타낸다. 여기서 u_r 와 v_i 가 양의 상수 ε 보다 크다는 제약식을 설정하는 것은 어떠한 투입 요소와 산출 요소도 가중치가 0이 되는 것을 방지하기 위함이다.

본 연구에서 사용되는 DEA 모형의 투입 요소와 산출 요소의 구조를 도식화하면 다음의 [그림 2]와 같다.



[그림 2] DEA 모형의 투입/산출 구조

3.4.2. Kruskal-Wallis 검정

DEA의 결과로 얻은 효율성 점수를 바탕으로 산업간에 R&D의 효율성이 차이가 있는지를 알아보기 위하여 Kruskal-Wallis 검정을 수행하였다. Kruskal-Wallis 검정은 비모수적 통계 분석 기법으로 세 개 이상의 서로 다른 집단의 평균이 동일한가를 알아보기 위한 검정 방법이다. Kruskal-Wallis 검정은 모수적 통계 분석 기법 중 하나인 일원배치법(one-way ANOVA)에 대응되는 방법으로, 모집단의 평균이 정규분포를 따른다는 가정을 갖는 일원배치법과는 달리 모집단의 분포에 대한 어떠한 가정도 하지 않는다. 앞서 언급한 바와 같이, DEA는 생산함수에 대한 가정을 하지 않는 비모수적 특징을 갖는 방법이며, DEA의 결과인 효율성 점수가 어떠한 분포를 따르는지 알 수 없기 때문에(Brockett and Golany, 1996) 본 연구에서는 일원배치법대신 Kruskal-Wallis 검정을 사용하였다.

IV. 분석 결과

4.1. 기업별 R&D 효율성 측정

선정된 투입 요소와 산출 요소를 바탕으로 DEA를 이용하여 각 기업의 효율성을 측정하였다. 앞에서 언급한 바와 같이 CCR 모형을 사용하였으며 산출 요소 중 0의 값을 갖는 경우에는 0.001로 대체하였다. 다음의 <표 3>은 기업별 투입 요소와 산출 요소 및 측정된 R&D 효율성을 나타낸 것이다.

<표 3> DEA 수행 결과

기업	투입 요소		산출 요소			R&D 효율성 (%)
	R&D 비용 (백만원)	연구원 수	피인용 수	청구항 수	USPC 범위	
삼성SDI	113,250	463.5	19	2,526	635	100.00
삼성전기	81,172	435.5	63	923	290	100.00
제일모직	11,349	90	0	192	31	75.85
LG전선	24,340.75	205	2	179	34	34.88
한미약품	4,986.5	68.5	0	35	9	32.19
LG화학	103,164.5	666	3	285	170	29.39
호남석유	12,528.5	71	0	20	13	18.51
현대자동차	1,232,638.5	2,531	21	1,528	513	15.71
유한양행	43,997	90	0	36	10	8.11
기아자동차	225,043	787	1	67	38	3.52
현대중공업	35,581.25	359	0	5	4	2.00
삼성중공업	41,985.75	199.5	0	10	1	1.07

전기전자 산업에 속하는 삼성SDI와 삼성전기의 R&D 효율성이 100%로 나타났다. 이 두 기업은 투입 요소와 산출 요소의 양이 모두 많다는 특징을 갖고 있다. 산출 요소의 양만 봤을 때, 현대자동차도 상당히 많은 편이지만 투입 요소의 양이 다른 기업들에 비하여 월등히 많기 때문에 효율성이 15.71%로 낮게 나타났다. 반면에 제일모직의 경우에는 투입 요소의 양이 매우 적는데 반하여 상대적으로 산출 요소의 양이 많아 효율성이 75.85%로 높게 나타났다.

4.2. 산업간 R&D 효율성 비교

<표 3>의 R&D 효율성을 살펴보면, 전기전자 산업의 기업들이 효율성이 가장 높고 기계 산업에 속하는 5개의 기업들 중 3개의 기업이 효율성이 가장 낮은걸 알 수 있다. 산업에 따라 통계적으로 유의한 R&D 효율성의 차이가 존재하는지를 알아보기 위하여 Kruskal-Wallis 검정을 수행하였다. DEA의 결과로 얻은 R&D 효율성을 검정 변수(test variable)로 설정하였으며 각 기업이 속해 있는 산업을 집단변수(grouping variable)로 설정하였다. 3장에서 언급한 것처럼 DEA의 결과인 효율성 점수가 어떠한 분포를 따르는지 알 수 없기 때문에 일원배치법을 사용하는 것보다는 Kruskal-Wallis 검정 방법을 사용하는 것이 더 타당할 것이다.

Kruskal-Wallis 검정 결과, 각 산업의 평균 순위(mean rank)는 기계 산업이 4, 전기전자 산업은 11.5, 화학 산업은 7로 나타났다. 검정통계량인 χ^2 의 값은 6.368이

며 유의확률(p-value)의 값은 0.041이다. 따라서 유의수준(significance level) 0.05에서 세 산업간에 R&D 효율성의 차이가 존재한다고 할 수 있는 충분한 통계적 근거가 존재한다. 산업별 평균 순위를 보면, 전기전자 산업의 R&D 효율성이 가장 높고 기계 산업의 R&D 효율성이 가장 낮은 것을 알 수 있다. 전기전자 산업은 기계나 화학 산업에 비하여 기술집약적인 산업으로 최근 다양하고 새로운 기술의 개발로 빠른 변화를 겪고 있는 산업이다. 전기전자 산업에 속하는 기업들은 R&D에 많은 투자를 하고 있으며 그 결과물로 타 산업의 기업들보다 훨씬 많은 수의 특허를 보유하고 있다. 따라서 전기전자 산업에 속한 기업의 R&D 효율성이 가장 높게 나왔다고 할 수 있다.

4.3. R&D의 투입 요소와 산출 요소에 따른 산업 판별

앞에서 R&D의 투입 요소와 산출 요소를 바탕으로 효율성을 측정하였으며, 산업에 따라 R&D 효율성의 차이가 존재한다는 것을 밝혔다. 따라서 산업별로 R&D의 투입과 산출의 특성이 서로 다르다는 것을 보이는 것은 의미가 있을 것이다. R&D의 투입 요소와 산출 요소를 기준으로 어떤 기업이 속하는 산업을 판별할 수 있는지 알아보기 위하여 판별분석을 수행하였다. 5가지의 투입 요소와 산출 요소를 독립변수로 설정하였으며 Kruskal-Wallis 검정과 마찬가지로 각 기업이 속해있는 산업을 집단변수로 설정하였다. 분석 결과, 고유값(eigenvalue)은 94.997로 총분산의 97.3%를 설명하고 있으며, 정준상관(canonical correlation)은 0.995로 1에 매우 가까우며 Wilks의 람다(Wilks' Lambda) 값은 0.003으로 매우 작다. 따라서 판별함수의 설명력이 높다고 할 수 있다. 또한 χ^2 의 값은 46.481로 유의확률 값이 0.05보다 작게 나오므로 유의수준 0.05에서 판별함수는 유의하다고 할 수 있다.

비표준화된(unstandardized) 판별함수 $D = 0.005 \times (\text{연구원 수}) + 0.293 \times (\text{피인용 수}) + 0.015 \times (\text{청구항 수}) - 0.032 \times (\text{USPC 범위}) - 4.650$ 으로 나타났다. 여기에 다른 기업의 자료를 대입하면 그 기업이 어떠한 산업에 속하는지 판별할 수 있다. 기업이 속한 산업은 이미 정해진 것이므로 예측을 한다기보다는 다른 기업들도 동일한 특성을 갖는지를 확인해 볼 수 있다는 의미가 있다.

다음의 <표 4>는 기업들을 판별한 결과를 나타낸 것이다. 전기전자 산업과 화학 산업에 속한 기업들의 판별은 모두 적중하였다. 그리고 기계 산업에 속한 기업들 중 하나의 기업만을 화학 산업으로 판별하였고 나머지 기업들에 대한 판별은 모두 적중하였다. 따라서 전체의 판별 적중률은 91.7%이다.

<표 4> 판별 결과

		판별된 산업		
		기계	전기전자	화학
실제 산업	기계	4 (80%)	0	1 (20%)
	전기전자	0	2 (100%)	0
	화학	0	0	5 (100%)

V. 결론

본 연구에서는 기계, 전기전자, 화학 산업에 속하는 12개의 기업을 대상으로 DEA를 이용하여 R&D 효율성을 측정하였다. R&D 비용과 연구원 수를 R&D의 투입 요소로 설정하였으며 특허의 질을 나타내는 피인용 수, 청구항 수, USPC 범위를 산출 요소로 설정하였다. 기존의 R&D 효율성을 측정한 연구들은 R&D의 산출물로 특허 수와 같은 양적 지표를 주로 사용하였지만, 본 연구는 특허의 양과 질을 모두 고려한 지표를 사용하였다. 또한 도출된 R&D 효율성을 바탕으로 세 가지 산업간에 R&D의 효율성에 차이가 존재한다는 것을 통계적으로 밝혔으며, R&D의 투입 요소와 산출 요소의 특성에 따라 기업이 속한 산업을 판별하였다.

본 연구는 기존의 연구와는 달리 특허의 질을 의미하는 지표를 사용하여 R&D의 효율성을 측정하였다는 점과 산업에 따른 R&D 효율성의 차이를 밝혔다는 점에서 의의를 찾을 수 있을 것이다. 본 연구의 결과는 기업이 R&D 정책을 수립하는데 참고 자료로 활용될 수 있을 것이다.

하지만 본 연구는 몇 가지 한계점을 가지고 있다. 첫째, R&D의 산출 요소로 특허의 질을 나타내는 3가지 지표만을 고려하였다는 점이다. 특허는 분명 R&D의 좋은 성과 지표로 활용될 수 있지만, R&D의 성과물이 특허만 있는 것은 아니다. 또한, 특허의 질을 충분히 반영하기 위해서는 더 많은 지표들이 사용되어야 할 것이다. 특히 특허 패밀리 크기나 출원 대비 등록된 특허 수 등은 특허의 질을 나타내는 좋은 지표가 될 것이다. 둘째, 산출 요소로 사용된 피인용 수는 시간이 지나면 더 늘어날 수 있다는 것이다. 특허의 인용은 수년에 걸쳐 발생하기 때문에 최근 등록된 특허일수록 인용기간이 짧고 피인용수는 적을 것이다. 충분히 시간이 지난 특허를 대상으로 연구를 한다면 이러한 점을 보완할 수 있겠지만 그 결과는 시대에 뒤떨어진 것이 될 수 있으므로 자료의 절단 문제(truncation problem)는 결과에 중요한 영향을 미친다. 마지막으로, 자료의 가용성으로 인해 분석 대상 기업의 수가 적었다는 점이다. 국내 기업 중 미국특허청에 등록된 특허를 보유한 기업은 많지 않았으며, 보유하였다 하더라도

일부 대기업을 제외하고는 특허의 수 자체가 매우 적어서, 세 가지 산업에 속하는 소수의 대표 기업에 관한 자료만을 얻을 수 있었다. 따라서 본 연구 결과로 도출된 R&D 성과의 산업간 차이를 일반화할 수는 없을 것이다. 비록 최소한의 의사결정단위 수는 만족시켰지만, 더 의미 있는 결과를 얻기 위해서는 더 많은 기업을 대상으로 연구를 수행해야 할 것이다.

이러한 한계점들은 추후연구에서 보완되어야 할 것이다. 먼저 R&D의 산출 요소로 특허 뿐 아니라 논문, 수상 경력, 신제품 수 등을 더 추가해야 할 것이며, 본 연구에서 사용한 피인용 수, 청구항 수, USPC 범위 외에 특허의 질을 측정할 수 있는 다른 지표를 더 추가한다면 R&D 성과를 측정하는 좋은 연구가 될 것이다. 또한 대상 기업의 수를 늘려서 산업간 비교 분석 뿐 아니라 동일한 산업의 기업들을 대상으로 효율성을 측정하는 것도 큰 의미가 있을 것이다. 특히 동일한 산업 내에서 국내 기업들과 외국 기업들의 R&D 효율성을 측정한다면 기업의 R&D 정책 수립에 큰 도움을 줄 수 있을 것이다.

< 국내외 참고문헌 >

- 박광만, 신준석, 박용태 (2003), 요인분석에 의한 기술지식지표의 통합 및 구조화, 기술혁신 연구 제11권 제1호, pp. 125-145.
- 박용태 (2005), 공학도를 위한 기술과 경영, 생능출판사, pp. 541-543.
- Acs, Z. J. and Audretsch, D. B. (1991), Innovation and Technological Change, Ann Arbor: University of Michigan Press, p.42.
- Boussofiane, A, Dyson, R. G. and Thanassoulis, E. (1991), Applied data envelopment analysis, *European Journal of Operational Research* 52 (1), pp. 1-15.
- Brockett, P. L. and Golany, B. (1996), Using rank statistics for determining programmatic efficiency differences in data envelopment analysis, *Management Science* 42 (3), pp. 466-472.
- Brown, W. B. and Gobeli, D. (1992), Observations on the measurement of R&D productivity: A case study, *IEEE Transactions on Engineering Management* 39 (4), pp. 325-331.
- Charnes, A., Cooper, W. W. and Rhodes, E. (1978), Measuring efficiency of decision making units, *European Journal of Operational Research* 2 (6), pp. 429-444.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M. and Tone, K. (2000), Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Applications, References and DEA-Solver Software, Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Ernst, H. (1998), Patent portfolios for strategic R&D planning, *Journal of Engineering and Technology Management* 15 (4), pp. 279-308.
- Ernst, H. (2003), Patent information for strategic technology management, *World Patent Information* 25 (3), pp. 233-242.
- Feng, Y. J., Lu, H. and Bi, K. (2004), An AHP/DEA method for measurement of the efficiency of R&D management activities in universities, *International Transactions in Operational Research* 11 (2), pp. 181-191.
- Graves, S. B. and Langowitz, N. S. (1996), R&D productivity: a global multi-industry comparison, *Technological Forecasting and Social Change* 53 (2), pp. 125-137.
- Hanel, P. (2000), R&D, inter-industry and international spillovers of technology and the total factor productivity growth of manufacturing industries in Canada, 1974-1989, *Economic Systems Research* 57 (17), pp. 345-361.
- Hirschey, M. and Richardson, V. J. (2001), Valuation effects of patent quality: a comparison for Japanese and U.S. firms, *Pacific-Basin Finance Journal* 9 (1), pp. 65-82.
- Karlsson, M., Trygg, L. and Elfstrom, B. O. (2004), Measuring R&D productivity: complementing the picture by focusing on research activities, *Technovation* 24 (3), pp. 179-186.
- Kocher, M. G., Luptacik, M. and Sutter, M. (in press), Measuring productivity of research in economics: a cross-country study using DEA, *Socio-Economic Planning Sciences*.
- Lanjouw, J. O. and Schankerman, M. A. (2004), Patent quality and research

- productivity: measuring innovation with multiple indicators, *Economic Journal* 114 (495), pp. 441–465.
- Lee, H. and Park, Y. (2005), An international comparison of R&D efficiency: DEA approach, *Asian Journal of Technology Innovation* 13 (2), pp. 207–221.
- Lichtenberg, F. and Siegel, D. (1991), The impact of R&D investment on productivity: new evidence using linked R&D–LRD data, *Economic Inquiry* 29 (2), pp. 203–229.
- Reitzig, M. (2004), Improving patent valuations for management purposes—validating new indicators by analyzing application rationales, *Research Policy* 33 (6–7), pp. 939–957.
- Scherer, F. M. (1983), The propensity to patent, *International Journal of Industrial Organization* 1 (1), pp. 107–128.
- Serrano–Cinca, C., Fuertes–Callen, Y. and Mar–Molinero, C. (2005), Measuring DEA efficiency in Internet companies, *Decision Support Systems* 38 (4), pp. 557–573.
- Talluri, S. (2000), Data envelopment analysis: models and extensions, *Production and Operations Management* 31 (3), pp. 8–11.
- Tsai, K. H. (2005), R&D productivity and firm size: a nonlinear examination, *Technovation* 25 (7), pp. 795–803.
- Wakelin, K. (2001), Productivity growth and R&D expenditure in UK manufacturing firms, *Research Policy* 30 (7), pp. 1079–1090.
- Werner, B. M. and Souder, W. E. (1997), Measuring R&D performance: state of the art, *Research Technology Management* 40 (2), pp. 34–41.
- Yang, T. and Kuo, C. (2003), A hierarchical AHP/DEA methodology for the facilities layout design problem, *European Journal of Operational Research* 147 (1), pp. 128–136.
- Zhang, A., Zhang, Y. and Zhao, R. (2003), A study of the R&D efficiency and productivity of Chinese firms, *Journal of Comparative Economics* 31 (3), pp. 444–464.