

5.

우리나라 광역시·도별 특허성과를 통한 연구개발 효율성과 생산성 분석

이병철*

I. 서론

II. 우리나라 연구개발투자 성과 분석

III. 연구의 방법

1. 효율성과 생산성 개념 및 측정방법
2. DEA 이론적 개념 및 효율성 측정모형

IV. 실증연구

1. 실증연구의 자료 및 절차
2. 실증연구결과

V. 결론

I. 서론

최근 세계경제의 경쟁단위가 국가에서 지역으로 이동함에 따라 지역산업의 경쟁력이 국가경쟁력 향상을 위한 핵심요소로 부각되고 있다. 이에 맞춰 세계 주요 국가들은 지역의 성장잠재력을 최대한 발현시키기 위한 정책적 노력을 지속적으로 강화하고 있다. 우리나라도 90년대말 이후 지역산업의 구조개선 및 성장기반을 조성을 목표로 지역의

* 한국해양수산개발원 해양물류연구부 항만수요예측센터 연구원

주력기간산업, 신성장동력산업 등에 대한 지원정책을 추진하였다. 이후 참여정부에서도 지역별 전략산업을 선정하고 시도단위의 기술개발, 기업지원인프라 등에 관련된 연구개발 예산을 지속적으로 투입해왔다¹⁾.

우선 우리나라의 총 연구개발비²⁾ 추이를 살펴보면 1997년말 외환위기 이후 매년 지속적으로 증가하여 1998년에 11조 3,366억원에서 2007년 31조 3,014억원으로 연평균 11.9%의 높은 증가율을 기록하였다. 특히 외환위기 직후부터 1999년까지는 증가세가 다소 둔화되었으나 2000년 이후부터는 빠른 성장세를 보였다. 2000년 이후 우리나라의 연구개발비가 빠르게 확대된 것은 민간부문과 정부의 적극적인 투자 노력에 기인한 것이며, 이와 같은 노력에 따라 연구개발비의 증가율이 경제성장률을 상회함으로써 GDP대비 연구개발투자 비중³⁾도 크게 높아졌다.

우리나라의 총 연구개발비를 16개 광역시·도별로 살펴보면 서울, 대구, 대전, 경남을 제외한 모든 시도에서 연평균 10%가 넘는 증가율을 보였다. 특히, 부산, 인천, 경기, 강원, 충북, 충남, 전북, 경북의 연구개발비 연평균 증가율은 우리나라 전체 증가율보다 높았다. 이러한 지역의 높은 연구개발비 증가는 국가차원에서 지역산업 성장을 위한 다양한 정책을 추진하였기 때문이다.

우리나라의 지속적인 국가연구개발투자 증대 및 기업의 연구개발투자 확대 추세로 보아 선진국과의 연구개발 규모의 격차는 점차 좁힐 수 있을 것으로 보인다. 하지만 국가 연구개발투자규모를 지속적으로 확대하기 위한 노력과 병행하여 우리나라 시·도별 연구개발 투자의 효율성과 생산성 분석이 이루어져야 할 것이다. 이를 통해 각 지역별로 어떤 부문에 어느 정도의 재원을 투입할 것인지, 지역 간 재원 배분을 어떻게 차등화할 것인지, 정책 대상 지역 범주를 어떻게 설정할 것인지 등에 대한 계획수립이 이루어질수 있을 것이다.

1) 대표적인 지역산업정책인 '지역산업진흥사업'은 제1기(1999~2002)가 지역산업 구조개선과 성장기반을 조성하기 위해 대구, 부산, 광주, 경남의 4개 지역에서 시작되었고, 제2기(2003~2007)가 4개 지역은 물론 비수도권 9개 시·도에 걸쳐 산업 클러스터 기반조성에 주력하였다. 지역전략산업진흥사업의 예산 지원현황을 보면, 1999년부터 2008년까지 10년간 본 사업에 총 2조 5,600억원의 국비를 지원하였다.

2) 총 연구개발비는 기업, 공공연구기관, 대학 등이 한 해 동안 사용한 연구개발비를 총합하여 산출함.

3) GDP 대비 연구개발비는 총 연구개발비를 당해연도 GDP로 나누어 산출한 지표로서, 경제규모 대비 연구개발투자 규모를 나타냄.

〈표 1〉 우리나라 16개 광역시·도별 총 연구개발비 추이

단위 : 십억원

구 분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	연평균 증가율(%)
총 연구개발비	13,849	16,111	17,325	19,069	22,185	24,155	27,346	12.0
서울	4,534	3,587	3,900	3,678	3,983	4,633	5,000	1.6
부산	240	216	252	332	372	352	591	16.2
대구	191	239	271	232	258	376	312	8.5
인천	505	431	431	582	880	1,180	1,093	13.7
광주	200	178	233	253	257	346	382	11.4
대전	1,979	1,991	2,218	2,398	2,545	2,920	3,062	7.5
울산	294	271	346	318	373	372	539	10.6
경기	3,402	6,079	6,319	8,158	9,626	9,614	11,247	22.1
강원	91	96	89	115	137	156	182	12.2
충북	219	331	341	318	508	400	463	13.3
충남	470	496	564	524	664	1,090	1,165	16.3
전북	135	174	557	214	245	260	268	12.1
전남	118	143	160	180	207	173	230	11.8
경북	617	808	703	869	996	1,288	1,554	16.6
경남	827	1,036	917	867	1,099	963	1,207	6.5
제주	26	35	24	31	35	33	50	11.5

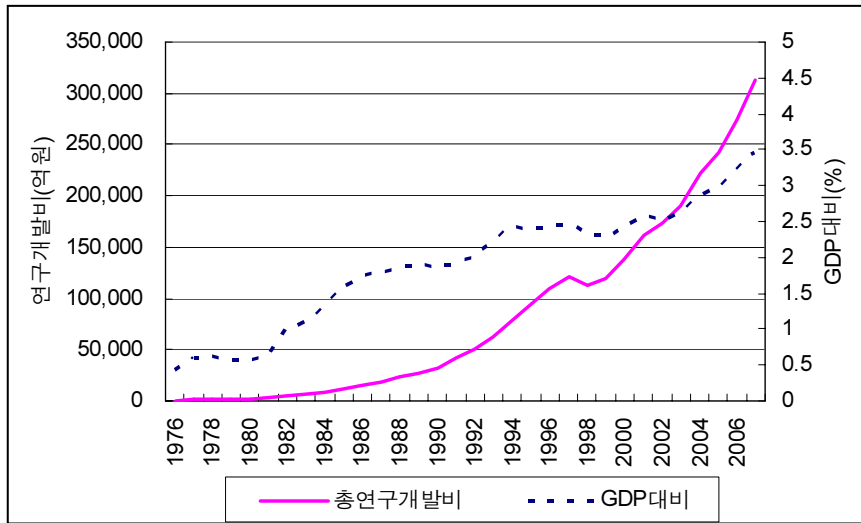
자료 : 교육과학기술부, 「과학기술연구개발활동조사」(각 년도)

이에 본 연구에서는 우리나라 16개 광역시·도별로 연구개발투자 규모를 분석하고 시·도별 상대적 효율성과 생산성을 측정하고자한다. 연구개발의 효율성과 생산성은 연구개발을 투입(input), 과정(process), 산출(output)로 구성된 하나의 시스템으로 간주하여 평가하는 것이 일반적인 개념이다⁴⁾. 이러한 가정하에 연구개발의 주요 투입물인 연구개발비와 연구인력, 그리고 주요 산출물인 특허출원과 등록건수를 중심으로 대표적인 비모수적 접근방법인 DEA 모형과 Malmquist 생산성지수를 이용하여 분석하고자한다.

4) Brown et al., 1998.

II. 우리나라 연구개발투자 성과 분석

앞서 살펴본바와 같이 우리나라의 연구개발 투자규모는 지속적으로 증가하고 있으며 이에따른 특허건수도 증가하고 있다. <표 2>를 살펴보면 우리나라 특허출원건수는 2006년 16만 6,189건, 특허등록건수 12만 790건으로 꾸준히 증가하고 있다.



자료 : 교육과학기술부, 「과학기술연구개발활동조사」 (각 년도)

〈그림 1〉 우리나라 총 연구개발비 추이

하지만 연구개발비 백만달러당 특허출원건수로보면 2002년 5.5건에서 이후 계속 감소하여 2006년 4.4건으로 나타났다. 연구개발비 백만달러당 특허등록건수도 2004년 1.8건까지 하락했다가 2006년에 잠시 3.1건으로 상승한 상황이다. 또한 연구개발비 백만달러당 논문건수도 2002년 1.1건에서 2006년 0.8건으로 감소추세이다. 그리고 기술무역통계로서 기술수지비는 증가추세이나 아직도 기술무역적자 규모는 계속 증가되고 있다.

〈표 2〉 우리나라 과학기술활동지표 추이

단위 : 건수, 백만\$

구 분	2002	2003	2004	2005	2006
특허출원건수	76,570	90,313	105,250	122,188	125,479
특허등록건수	30,175	30,525	35,284	53,419	89,303
SCI논문건수	15,902	18,830	19,328	23,089	23,286
총 연구개발비	13,848	16,002	19,370	23,587	28,619
GDP대비 연구개발비	2.53	2.63	2.85	2.98	3.23
연구개발비 백만\$당 출원건수	5.5	5.6	5.4	5.2	4.4
연구개발비 백만\$당 등록건수	2.2	1.9	1.8	2.3	3.1
연구개발비 백만\$당 논문건수	1.1	1.2	1.0	1.0	0.8
기술수지비	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4

자료 : 1. 교육과학기술부, 「과학기술연구개발활동조사」(각 년도)

2. 지식경제부, 「기술무역현황」(각 년도)

3. OECD, Main Science and Technology Indicator, 2007/02

주 : 1. 대미환율은 2006년 평균인 955.1원

2. 연구개발비의 경우 한국은 자연과학분야, 미국, 일본, 독일, 영국은 인문사회과학 포함

3. 기술수지비는 기술수출액/기술수입액 비율임

4. 특허출원 및 등록건수는 내국인 기준임

〈표 3〉과 같이 주요 선진국과 지표들을 비교를 해보면 연구개발비 백만달러당 특허출원건수 및 등록건수는 비교적 높으나, 논문건수는 약간 낮았고, 기술수지비는 많이 부족한 상황이다.

〈표 3〉 주요 선진국 과학기술활동지표 비교 (2005년 기준)

단위 : 건수, 백만\$

구 분	일 본	미 국	독 일	영 국	중 국	한 국
특허출원건수	427,078	390,733	60,222	27,988	173,327	122,188
특허등록건수	122,944	143,806	17,063	10,159	53,305	53,419
SCI논문건수	75,502	299,898	75,277	78,727	59,611	23,089
총 연구개발비	151,270	324,464	69,317	39,571	29,898	23,587
GDP대비 연구개발비	3.33	2.62	2.48	1.78	1.33	2.98
연구개발비 백만\$당 출원건수	2.8	1.2	0.9	0.7	5.8	5.2
연구개발비 백만\$당 등록건수	0.8	0.4	0.2	0.3	1.8	2.3
연구개발비 백만\$당 논문건수	0.5	0.9	1.1	2.0	2.0	1.0
기술수지비	2.9	2.2	1.1	2.1	-	0.4

자료 : 1. 교육과학기술부, 「과학기술연구개발활동조사」(각 년도)

2. 지식경제부, 「기술무역현황」(각 년도)

3. OECD, Main Science and Technology Indicator, 2007/02

주 : 1. 대미환율은 2006년 평균인 955.1원

2. 연구개발비의 경우 한국은 자연과학분야, 미국, 일본, 독일, 영국은 인문사회과학 포함

3. 기술수지비는 기술수출액/기술수입액 비율임

4. 우리나라 특허출원 및 등록건수는 내국인 기준임

우리나라 광역시·도별 연구개발비 대비 특허성과들을 살펴보면 <표 4>와 같다. 우선 우리나라 전체 연구원 1인당 연구개발비는 2002년 9천만원에서 2006년 1억 1천만원으로 상승했다. 연구개발비 10억원당 특허출원건수는 우리나라 전체로 분석했을 경우 2002년 4.42건에서 2006년 4.58건으로, 연구개발비 10억원당 특허등록건수는 1.74건에서 3.26건으로 특허등록건수의 증가율이 훨씬 높았다.

16개 광역시·도 평균으로 분석해보면 연구개발비 10억원당 특허출원건수는 2002년 3.92건에서 2006년 4.16건으로, 연구개발비 10억원당 특허등록건수는 1.54건에서 2.66건으로 특허등록건수의 증가율이 더 높았다.

2006년 연구원 1인당 연구개발비는 16개 광역시·도 중 대전과 울산이 각각 1억 5천만원으로 가장 높았으며, 강원이 4천만원으로 가장 낮았다. 하지만 2006년 16개 광역시·도 중 서울이 연구비 10억원당 특허출원건수가 9.86건, 특허등록건수가 7.10건으로 가장 높았으나, 울산은 연구비 10억원당 특허출원건수가 1.61건, 특허등록건수가 0.87건으로 가장 낮은 것으로 분석되었다.

<표 4> 우리나라 16개 광역시도별 연구개발비당 특허출원·등록건수 분석

단위 : 십억원, 건수

구 분	2002년			2006년		
	연구원 1인당 연구개발비	연구비 10억원당 특허출원건수	연구비 10억원당 특허등록건수	연구원 1인당 연구개발비	연구비 10억원당 특허출원건수	연구비 10억원당 특허등록건수
전 국	0.09	4.42	1.74	0.11	4.58	3.26
서 울	0.07	8.41	3.01	0.07	9.86	7.10
부 산	0.04	7.40	2.32	0.08	4.71	2.77
대 구	0.06	4.84	1.80	0.06	8.24	4.25
인 천	0.07	4.29	2.03	0.13	3.32	1.91
광 주	0.06	5.62	2.47	0.09	4.98	3.52
대 전	0.12	1.73	0.64	0.15	2.35	1.60
울 산	0.10	1.12	0.34	0.15	1.61	0.87
경 기	0.12	3.71	1.65	0.13	3.80	2.82
강 원	0.03	4.82	1.78	0.04	4.42	2.28
충 북	0.07	2.32	1.17	0.09	3.31	3.20
충 남	0.09	2.34	1.19	0.10	2.63	1.68
전 북	0.14	1.21	0.39	0.06	4.66	2.65
전 남	0.07	3.33	1.22	0.10	3.94	2.40
경 북	0.08	6.08	2.28	0.12	2.53	1.97
경 남	0.11	1.44	0.62	0.11	2.27	1.49
제 주	0.04	4.04	1.75	0.09	3.88	2.08
평 균	0.08	3.92	1.54	0.10	4.16	2.66

주 : 특허건수는 내국인 기준이며 기타지역은 제외

즉, 16개 광역시·도 중 연구원 1인당 연구개발비가 울산이 가장 높았지만 연구개발비당 특허성과는 가장 낮은 것으로 해석할 수 있다. 2006년 기준으로 연구개발비 10억원당 특허출원건수가 16개 광역시·도 평균보다 높은 시도를 살펴보면 서울, 부산, 대구, 광주, 강원, 전북, 특허등록건수는 서울, 부산, 대구, 광주, 경기, 충북으로 분석되었다. 그리고 2002년에 비해 2006년 연구비당 특허출원건수와 특허등록건수가 모두 증가된 시도는 서울, 대구, 대전, 울산, 경기, 충북, 충남, 전북, 전남, 경남으로 대부분의 지역이 이에 해당되었다.

위와 같이 단순지표로만 판단했을 때는 서울이 연구원 1인당 연구개발비는 낮았지만 특허등록 및 출원건수가 높았기 때문에 연구개발생산성이 가장 높다고 볼 수 있다. 하지만 연구개발은 일반적으로 복수의 투입과 복수의 산출로 이루어지므로 어느 한가지 지표로서만 평가하기 곤란하다. 이에 우리나라 광역시도별 연구개발 활동에 대해 대표적인 효율성평가방법인 DEA(Data Envelopment Analysis)와 Malmquist 생산성지수를 이용하여 시도별 효율성과 생산성을 평가해보고자 한다.

III. 연구의 방법

1. 효율성과 생산성 개념 및 측정방법

생산단위조직의 효율성(efficiency)이란 그것의 최적 산출에 대한 실제 산출의 비율로 정의한다⁵⁾. Farrell(1957)은 일반적인 기업의 효율성은 주어진 투입으로 산출을 최대로 이용할 수 있는 능력을 나타내는 기술효율성(technical efficiency)과 투입요소를 각각의 가격하에서 최적의 비율로 이용할 수 있는 능력을 배분효율성(allocative or price efficiency)으로 구성되고, 이 두 가지가 곱해지면 전체기술효율성(overall technical efficiency)이라고 제안하였다. 이러한 개념이 오늘날 DEA(Data Envelopment Analysis)모형의 토대가 되었다.

그리고 생산성이란 투입에 대한 산출의 비율로 정의된다. 효율성 분석은 특정시점의 최적 투입과 산출에 대한 실측치의 비율에 초점을 두는 반면에, 생산성 분석은 특정

5) 박수동·홍순기, “비모수적 방법을 이용한 OECD 국가별 R&D 효율성과 생산성 분석”, 기술혁신연구, 11(2), 161-174면.

구간의 투입과 산출의 관계 변화에 초점을 둔다⁶⁾. 일반적인 생산성 지표는 개별요소 생산성(partial factor productivity)과 총요소생산성(totall factor productivity)이 있다. 개별요소생산성이란 개별 투입요소에 대한 산출의 비율이며, 총요소생산성을 측정하기 위한 방법은 지수법(index measurment), 프로그래밍법(programming method), 계량경제학적 추정(econometric estimation) 등이 있다⁷⁾.

2. DEA 이론적 개념 및 효율성 측정모형

DEA는 투입과 산출에 대한 가격정보가 알려져 있지 않을 때, 의사결정단위(decision making unit, 이하 DMU)의 상대효율을 평가하기 위한 비모수적 방법의 하나이다. DMU는 투입을 산출로 변환하는 주체로서 일반적으로 기업, 병원, 은행 등과 같은 조직으로 동일한 DMU의 연도별 효율성을 분석할 경우에는 각 연도별 자료를 하나의 DMU라고 볼 수 있다.

DEA의 목적은 모든 실측치들이 생산경계(production frontier)나 그 아래에 놓이도록 하는 비모수적 포락경계(envelope frontier)를 찾아, 그것으로부터 떨어진 정도를 이용하여 각 DMU의 상대효율을 평가하는 것이다. DMU의 목표는 그 조직의 특성에 따라 이윤극대화가 목표가 될 수 있고, 비용최소화가 목표가 될 수 있다. 이러한 목표에 따라 투입지향(input oriented)과 산출지향(output oriented)으로 구분하게 되는데, 본 논문에서는 시도별 연구개발시스템의 생산성을 논하므로 산출지향모형을 택하기로 한다.

대표적인 DEA모형은 Charnes, Cooper, and Rhodes(1978b)가 Farrell의 상대적 효율성 개념을 새로이 해석하고 이를 다수 투입물과 다수 산출물과의 비율모형으로 연장하여 비선형계획법으로 표현한 CCR모형과 Banker, Charnes, and Cooper(1984)가 기술적 효율성과 규모의 효과를 투입요소의 절약측면과 산출요소의 증가측면에서 선형계획모형을 설정한 BCC모형이다. 모형에 대한 설명은 다양한 논문에서 제시되고 있으나 본 논문에서는 박만희(2008) 내용을 정리하여 소개하고자 한다.

6) 상계서.

7) Sudit, E. F. (1995), "Productivity Measurement in Industrial Operations", European Journal of Operational Research, Vol.85, pp. 435-453.

우선 투입지향 CCR모형은 평가대상인 n 개의 DMU는 m 개의 투입물로 s 개의 산출물을 생산한다고 가정하자.

$$\begin{aligned}
 \text{Max} \quad h_0 &= \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}}, \\
 \text{s.t.} \quad &\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, \quad j=1, \dots, n \\
 &u_r \geq \varepsilon > 0, \quad r=1, \dots, s \\
 &v_i \geq \varepsilon > 0, \quad i=1, \dots, m
 \end{aligned} \tag{1}$$

- h_0 : DMU_0 의 효율성
- u_r : r 번째 산출물에 대한 가중치
- v_i : i 번째 투입물에 대한 가중치
- y_{rj} : DMU_j 의 r 번째 산출물의 양
- x_{ij} : DMU_j 의 i 번째 산출물의 양
- y_{r0} : 평가대상 DMU_0 의 r 번째 산출물의 양
- x_{i0} : 평가대상 DMU_0 의 i 번째 투입물의 양
- ε : non-Archimedean 상수
- n : DMU의 수
- m : 투입물의 수
- s : 산출물의 수

위 수식에서 첫 번째 제약식은 목적함수에서 동일한 가중치 u_r 와 v_i 를 이용하여 계산한 가중합계의 비율이 1보다 작거나 같다는 것을 나타내고, 나머지 두 제약조건식은 투입물과 산출물의 가중치는 0보다 커야한다는 것을 의미한다. 또한 ε 은 모든 가중치의 값이 임의의 작은 양수 ε 이상의 값을 갖도록 하는 조건을 나타낸다. 그리고 위 수식은 목적함수가 비선형(nonlinear), 제약조건이 비볼록(nonconvex)이므로 목적함수의 투입물 가중합을 1로 고정시키고 제약조건식을 변형한 후 개별 DMU에 대해서 아래 선형계획법 문제를 풀면 된다⁸⁾.

8) 박만희, "DEA 효율성 및 Malmquist 생산성 분석시스템 개발", 생산성논집, .22(.2), 2008, 241-265면.

$$\begin{aligned}
\text{Max } h_0 &= \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} \\
\text{s.t. } \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} &\leq 0, \quad j=1, \dots, n \\
\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} &= 1 \\
u_r, v_i &\geq \varepsilon, \quad \forall r, i
\end{aligned} \tag{2}$$

일반적으로 선형계획법에서는 제약조건식의 수가 증가하면 문제해결 소요시간이 증가하고 문제해결이 어려워 쌍대문제로 변형한 후 해결하는 것이 바람직하다. 즉, DEA 모형에서는 DMU수 n 은 투입요소 수와 산출요소 수의 합 $m+s$ 보다 상당히 크기 때문에 수식 (2)는 많은 제약 조건식을 가진다. 따라서 DEA 원문제를 다음과 같은 쌍대문제로 변형한 후 효율성을 구한다.

$$\begin{aligned}
\text{Min. } h_0 &= \Theta - \varepsilon \left[\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right] \\
\text{s.t. } \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- &= \Theta x_{i0}, \quad i=1, \dots, m \\
\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ &= y_{r0}, \quad r=1, \dots, s \\
s_i^-, s_r^+, \lambda_j &\geq 0, \quad \forall i, r, j
\end{aligned} \tag{3}$$

CCR 모형은 규모에 대한 수익불변(CRS : Constant Returns to Scale)이라는 가정하에 도출된 모형이므로 규모효율성과 순수기술효율성을 구분하지 못한다는 단점을 가지고 있다. 하지만 BCC 모형은 규모수익가변(VRS: Variable Returns to Scale)이란 가정을 적용하여 불록성 필요조건인 $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ 을 추가하였다.

$$\begin{aligned}
\text{Min. } h_0 &= \Theta - \varepsilon \left[\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right] \\
\text{s.t. } \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- &= \Theta x_{i0}, \quad i=1, \dots, m \\
\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ &= y_{r0}, \quad r=1, \dots, s \\
\sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1 \\
s_i^-, s_r^+, \lambda_j &\geq 0, \quad \forall i, r, j
\end{aligned} \tag{4}$$

3. Malmquist 생산성지수

Malmquist 생산성지수는 소비이론의 틀 안에서 거리함수(distance function)의 비율로 투입지수를 계산하고자 Malmquist(1953)에 의해서 개발되었다. 개략적인 지수 산출 방법은 박수동, 홍순기(2003)에서는 비체화된(disembodied) Hicks(Hicks)형 중립적 기술변화(neutral technical change)를 우선 가정한다. 그리고 t 기의 생산함수는 식(5)와 같이 나타낼 수 있다. $A(t)$ 는 시간의 경과와 더불어 나타나는 생산함수의 이동이나 기술변화를 나타낸다.

$$y^t = A(t)f(x^t) \quad (5)$$

생산시스템에 비효율성이 존재하는 경우는 식(5)가 성립하지 않는다. 즉, 실측치와 최대잠재산출 간에는 식(6)와 같은 차이가 발생한다.

$$y^t < A(t)f(x^t) \quad (6)$$

식(6)와 같은 차이를 설명하기 위해 t 기의 산출거리함수(output distance function) $D_0^t(x^t, y^t)$ 는 식(7)과 같다. 식(7)의 S^t 는 t 기의 모든 투입-산출의 쌍으로서 생산가능 집합(production possibility set)이라고 한다.

$$D_0^t(x^t, y^t) = \min_{\theta: (x^t, y^t/\theta) \in S^t} \frac{y_t}{A(t)f(x^t)} \quad (7)$$

Caves et al.(1982)는 t 기의 산출지향 Malmquist 생산성지수(M_0^t)와 $t+1$ 기의 산출지향 Malmquist 생산성지수(M_0^{t+1})를 식(8-1)과 (8-2)로 정의했는데, 이들은 각각 t 기와 $t+1$ 기의 생산기술하에서 효율변화에 기인한 생산성의 변화를 측정한다.

$$M_0^t = \frac{D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^t(x^t, y^t)} \quad (8-1)$$

$$M_0^{t+1} = \frac{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^{t+1}(x^t, y^t)} \quad (8-2)$$

Fare et al.(1994)는 Caves et al. (1982)가 정의한 t 기와 $t+1$ 기의 산출지향 Malmquist 생산성지수의 기하평균을 이용하여 식 (9)과 같이 산출지향 Malmquist 생산성지수($M_0^{t,t+1}$)를 정의하였다.

$$M_0^{t,t+1} = [M_0^t \cdot M_0^{t+1}]^{1/2} \quad (9)$$

$$= \left[\frac{D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^t(x^t, y^t)} \frac{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{1/2}$$

Fare et al.(1992, 1994)은 식 (10)와 같이 Malmquist 생산성지수를 생산시스템의 효율변화와 시간에 따른 생산기술의 변화로 분리하였다. 식(10)에서 [] 밖의 비율은 효율변화를 의미하고, []안의 2가지 비율의 기하평균은 기술변화를 의미한다.

$$M_0^{t,t+1} = \frac{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^t(x^t, y^t)} \left[\frac{D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \frac{D_0^t(x^t, y^t)}{D_0^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{1/2} \quad (10)$$

Malmquist 생산성지수를 계산하기 위해서는 식(9)에 포함된 4개의 거리함수를 계산해야한다. 시스템에 비효율성이 존재하고, 시간이 지남에 따라 변한다면, 그러한 지수는 편의될 것이다. Fare et al.(1994)의 연구와 마찬가지로 연구개발시스템의 비효율성을 고려학 위해 비모수적 방법인 DEA를 이용하여 Malmquist 생산성지수의 거리함수를 계산한다.

IV. 실증연구

1. 실증연구의 자료 및 절차

DEA 모형은 투입과 산출의 변수는 변수의 선택과 평가 대상의 선정에 따라 결과가 민감하게 반응하는 특징이 있다. 따라서 기본적으로 투입변수와 산출변수는 직·간접적인 인과관계를 갖고 있어야하며 투입과 산출에 대한 대표성을 지니고 관리가 가능해야한다는 것이다⁹⁾.

DEA 모형을 통해 효율성을 측정하기 위해서는 적절한 DMU수가 만족해야한다. DMU의 수가 투입요소와 산출요소의 수에 비해 지나치게 적은 경우에는 모든 DMU의 효율성이 1로 나타날 가능성이 있다. Banker et al. (1984)는 DMU의 수가 투입요소의 수와 산출요소 수의 합보다 3배 이상 커야 변별력이 있다고 주장하였고, Boussofinane et al. (1991)은 DMU의 수가 투입요소의 수와 산출요소 수의 곱보다 2배 이상 커야

9) 현만석·유왕진, “DEA모형을 이용한 공공연구기관의 기술이전 효율성 분석에 관한 연구”, Journal of the Society of Korean Industrial and Systems Engineering, 31(2), 2008, 94-103면.

변별력이 있다고 주장하였으며, Fitzsimmons (1994)는 DMU의 수가 투입요소의 수와 산출요소 수의 합보다 2배 이상 커야 변별력이 있다고 주장하였다. 그러나 이러한 주장은 특정한 상황에 따라 다르게 나타날 수 있기때문에 절대적인 기준이라고 볼 수는 없다. 일반적으로 DEA를 적용한 많은 연구들은 DMU의 수가 투입요소의 수와 산출요소 수의 합보다 2배 이상 커야 변별력이 있다는 기준을 적용하고 있다(박만희, 2002).

본 논문에서는 지역별 연구개발의 효율성과 생산성을 분석하기 위해 DEA와 Malmquist 생산성지수를 이용한다. 분석에 이용한 투입자료는 16개 광역시도별 연구개발비용과 연구개발인력수이고, 산출자료는 16개 광역시도별 특허출원과 등록수이다. 논문도 산출자료로서 이용이 가능하나, 지역별 논문게재수를 파악하기 어려워 제외하였다. 그리고 투입과 산출간의 시차를 반영하기위해서 기존 연구¹⁰⁾에서 적용하였던 시차를 반영하여 특허출원의 경우 1년, 특허등록의 경우 2년의 시차를 적용하였다. 이러한 시차적용에 대한 뚜렷한 근거는 없으나 연구개발의 특성상 투입과 산출이 바로 나타나지 않는 특성을 고려하기 위해서이다.

연구개발효율성의 경우 DEA를 이용하여 16개 광역시도별 전체기술효율과 순수기술 효율, 규모효율을 분석하였고, 시도별 연도별 규모수익과 최적생산규모(most productive scale size)를 분석하였다. 연구개발생산성의 경우는 시도별 연도별 Malmquist 생산성지수와 효율성변화지수, 기술변화지수를 분석하였다.

10) 박수동·홍순기, “비모수적 방법을 이용한 OECD 국가별 R&D 효율성과 생산성 분석”, 기술혁신연구, 11(2), 161-174면.

2. 실증연구결과

(1) 우리나라 광역시·도별 특허건수 기초통계분석

본 연구에서 DEA를 이용한 효율성과 생산성 분석은 연구개발비와 연구개발산출물인 특허의 출원과 등록의 시간 간격을 고려하여 특허등록은 연구개발비가 투입된 연도보다 2년 후, 특허출원은 1년 후로 재구성하였다.

〈표 5〉 분석대상 광역시도 투입 및 산출요소 통계량

단위 : 십억원, 명, 건수

구 분		투 입 요 소		산 출 요 소	
		연구개발비	연구개발인력	특허출원건수	특허등록건수
2004	평 균	1,082.8	11,868.0	2,195.0	5,625.8
	표 준 편 차	1,710.9	17,039.7	4,309.1	11,192.9
	최 소 값	24	568	55	143
	최 대 값	6,319	54,400	15,320	38,944
2005	평 균	1,191.8	12,385.7	3,326.8	6,558.9
	표 준 편 차	2,093.6	18,010.4	6,445.5	12,977.3
	최 소 값	31	495	94	117
	최 대 값	8,158	61,500	22,284	42,261
2006	평 균	1,386.6	13,123.7	5,568.4	7,634.1
	표 준 편 차	2,428.3	19,832.4	11,034.4	15,481.0
	최 소 값	35	404	104	172
	최 대 값	9,626	70,211	35,524	51,013
2007	평 균	1,509.8	14,668.9	5,715.9	7,836.2
	표 준 편 차	2,475.5	22,271.2	10,692.1	15,043.2
	최 소 값	33	398	147	194
	최 대 값	9,614	77,797	33,840	49,320

자료 : 1. 교육과학기술부, 「과학기술연구개발활동조사」 (각 년도)

2. 특허청, 「지식재산통계연보」 (각 년도)

주 : 산출요소인 특허출원, 등록건수는 각 년도 자료이며, 투입요소인 연구개발비와 연구인력은 2년전 자료기준임.

이에 따라 분석한 16개 광역시·도별 2004~2007년의 투입요소와 산출요소의 기초통계량은 〈표 5〉와 같다. 2004년 16개 광역시·도별 평균 특허출원건수는 2,195건, 평균 특허등록건수는 5,625.8건이었으며, 이후 2007년에 평균 특허출원건수는 5,715.9건, 평균 특허등록건수는 7,836.2건으로 증가한 것으로 분석되었다.

(2) DEA 모형 분석결과

〈표 6〉은 CRS가정하의 DEA-CCR모형과 VRS가정하의 DEA-BCC모형을 이용하여 16개 광역시·도별 연구개발 효율성을 분석한 결과로서, 전체기술효율(TE), 순수기술효율(PTE), 규모효율(SE)의 연평균을 나타낸 것이다.

〈표 6〉 16개 광역시·도별 연구개발 효율성 분석

구 분	TE	PTE	SE	규모수익
서울	0.857	0.906	0.945	drs
부산	0.523	0.536	0.977	irs
대구	0.505	0.524	0.964	irs
인천	0.419	0.426	0.985	irs
광주	0.678	0.698	0.972	irs
대전	0.324	0.326	0.994	drs
울산	0.198	0.207	0.956	irs
경기	0.634	0.766	0.826	irs
강원	0.380	0.426	0.890	irs
충북	0.397	0.407	0.973	irs
충남	0.332	0.338	0.981	irs
전북	0.300	0.312	0.960	irs
전남	0.366	0.392	0.933	irs
경북	0.465	0.470	0.989	irs
경남	0.249	0.252	0.988	irs
제주	0.434	0.894	0.486	irs
평균	0.441	0.493	0.926	-

주: TE: 전체기술효율, PTE: 순수기술효율, SE: 규모효율, irs(increasing returns to scale, drs(decreasing returns to scale)

분석결과 전체기술효율(TE)의 경우 서울, 부산, 대구, 광주, 경기, 경북이 시도별 평균값 이상으로 나타났고, 순수기술효율(PTE)은 서울, 부산, 대구, 광주, 경기, 제주가 평균이상이었다. 규모효율의 경우 경기, 강원, 제주를 제외한 모든 시도가 평균보다 높게 나타났다. 규모효율이 평균보다 높은 시도는 연구개발의 비효율의 원인이 연구개발 시스템의 비효율에 있다고 할 수 있으며, 반대로 규모효율이 평균보다 낮은 시도의 경우 연구개발 규모가 다른 시도에 비해 작기 때문이라고 볼 수 있다.

규모수익을 분석한 결과로는 서울과 대전만이 규모수익감소의 특성을 보인 반면에, 그 외 14개 시도에서는 규모수익체증의 특성을 보였다. 분석내용을 정리하면 규모수

익체증을 보인 14개 시도의 경우는 연구개발 규모를 늘리면 효율성이 개선될 수 있는 것으로 해석할 수 있다.

〈표 7〉 16개 광역시도별 연구개발 효율(TE) 추세

구 분	2004	2005	2006	2007
서 울	0.754	0.847	1.000	0.844
부 산	0.524	0.463	0.509	0.608
대 구	0.382	0.534	0.612	0.521
인 천	0.374	0.392	0.421	0.501
광 주	0.705	1.000	0.586	0.512
대 전	0.241	0.261	0.432	0.407
울 산	0.138	0.170	0.222	0.293
경 기	0.550	0.632	0.694	0.668
강 원	0.332	0.307	0.400	0.510
충 북	0.198	0.491	0.464	0.548
충 남	0.270	0.258	0.452	0.384
전 북	0.196	0.314	0.354	0.371
전 남	0.295	0.317	0.366	0.524
경 북	0.402	0.391	0.525	0.566
경 남	0.233	0.233	0.269	0.264
제 주	0.406	0.340	0.453	0.567
평 균	0.375	0.434	0.485	0.506

〈표 7〉은 위에서 분석한 DEA결과에서 광역시·도별 연구개발 기술효율만의 자료를 뽑아 연도별 변화추세를 나타낸 것이다. 16개 시도 평균의 경우 2004년 이후 지속적으로 효율성이 증가한 것으로 나타났다.

시도별로 살펴보면 대부분의 시도가 2002년 이후 연구개발 효율이 증가하는 추세에 있었으나 2007에는 약간 하락한 것으로 나타났다. 특히, 충북과 전남의 상승폭이 큰 것으로 나타났고 울산의 경우가 가장 미미한 것으로 분석되었다. 앞서 분석했던 〈표 4〉의 우리나라 16개 광역시·도별 연구개발비당 특허출원·등록건수 분석에서도 울산이 가장 낮은걸로 분석된 결과와 일치한다.

(3) Malmquist 생산성지수 분석 결과

16개 광역시·도 전체 연구개발비와 특허성과를 대상으로 2004년에서 2007년까지 산출지향 Malmquist 생산성지수와 구성요소의 변화율은 <표 8>에 나타난 바와 같다. 단, Malmquist 생산성지수에서 구성요소 값이 α 라고 한다면 $\alpha - 1$ 값이 구성요소의 증가율이다. 즉, 생산성변화의 평균이 1.22이므로 생산성은 4년 동안 연평균 22.0% 증가한 것으로 분석되었지만, 연도별로 보면 2004/2005년에 36.8%, 2005/2006에 25.1%, 2006/2007에 6.1% 증가하는데 그쳐 증가폭이 감소하고 있음을 알 수 있다.

<표 8> 우리나라 전체 Malmquist 생산성지수 및 구성요소 변화율

구 분	기술적 효율성 변화	기술의 변화	기술적 순효율성 변화	규모효율성 변화	생산성변화
2004/2005	0.979	1.396	1.000	0.980	1.368
2005/2006	0.946	1.322	0.959	0.986	1.251
2006/2007	1.330	0.797	1.250	1.064	1.061
평 균	1.072	1.138	1.062	1.009	1.220

주 : 1. Malmquist 생산성지수 및 구성요소의 평균은 기하평균임

2. Malmquist 생산성지수 = 기술적효율성변화 $\times$ 기술변화, 기술적효율성변화 = 기술적순효율성변화 $\times$ 규모효율성변화

이러한 생산성의 감소추세를 구성요소별로 분석해보면 기술의 변화에 따라 크게 좌우되고 있음을 알 수 있다. 다른 요소들과 다르게 기술의 변화는 2004/2005년에 39.6%에서 2006/2007에 -20.3%로 급격하게 감소하였기 때문이다.

생산성 변화와 그 구성요소인 기술적 효율성 변화, 기술변화, 기술적 순효율성 변화 및 규모효율성 변화의 시도별 변화율은 <표 9>와 같다. 생산성은 광주를 제외한 15개 시도가 증가한 것으로 나타났다. 생산성 증가율이 가장 큰 시도는 충북으로 연평균 44.2% 증가했으며, 광주는 연평균 7.5% 감소한 것으로 나타났다. 앞서 효율성 분석에서도 충북의 증가가 가장 높은걸로 분석되었고, 생산성에서도 증가율이 가장 높았음을 알 수 있다.

〈표 9〉 16개 광역시도별 Malmquist 생산성지수 및 구성요소 분석

구 분	기술적 효율성 변화	기술의 변화	기술적 순효율성 변화	규모효율성 변화	생산성변화
서 울	1,000	1,131	1,000	1,000	1,131
부 산	1,004	1,111	1,013	0,991	1,116
대 구	1,038	1,149	1,038	0,999	1,192
인 천	1,086	1,146	1,069	1,016	1,245
광 주	0,866	1,068	0,874	0,991	0,925
대 전	1,108	1,183	1,104	1,003	1,311
울 산	1,221	1,116	1,193	1,024	1,363
경 기	1,051	1,099	1,109	0,948	1,155
강 원	1,058	1,094	1,043	1,014	1,157
충 북	1,268	1,138	1,245	1,019	1,442
충 남	1,023	1,211	1,008	1,015	1,239
전 북	1,216	1,082	1,196	1,017	1,316
전 남	1,183	1,137	1,148	1,031	1,346
경 북	1,016	1,215	1,006	1,009	1,234
경 남	1,022	1,155	1,013	1,010	1,181
제 주	1,067	1,178	1,000	1,067	1,257
평 균	1,072	1,138	1,062	1,009	1,220

기술적 효율성은 광주를 제외한 15개 시도가 증가한 것으로 나타났다. 증가율이 가장 큰 시도는 충북으로 연평균 26.8% 증가했으며, 광주는 연평균 13.4% 감소한 것으로 나타났다. 이와 같이 충북이 생산성과 효율성이 가장 높게 나타났다.

기술의 변화는 모든 시도가 증가한 것으로 나타났으며, 증가율이 가장 큰 시도는 경북으로 연평균 21.5%가 증가했으며, 전북이 연평균 8.2% 증가로 가장 낮았다.

기술적 순효율성은 광주를 제외한 15개 시도가 증가했다. 기술적 순효율성이 가장 많이 증가한 시도는 충북으로 연평균 24.5%였으며, 가장 낮은 시도는 광주로 연평균 12.6%가 감소했다.

규모효율성은 부산, 대구, 광주, 경기도를 제외한 12개 시도에서 증가했으며, 가장 많이 증가한 시도는 제주도로 연평균 6.7%였으며, 가장 낮은 시도는 경기도로 연평균 5.2%가 감소했다.

V. 결론

우리나라 연구개발비의 절대 규모는 아직 미국, 일본 등 주요 선진국에 비해 낮은 편으로서 지속적인 투자 확대 노력이 필요한 실정이다. 교육과학기술부 자료에 따르면 우리나라 연구개발비는 미국이 10.2배, 일본은 4.4배, 독일은 2.2배, 프랑스는 1.4배로 조사되었다. 하지만 우리나라의 지속적인 국가연구개발투자 증대 및 기업의 연구개발 투자 확대 추세로 보아 선진국과의 연구개발비 격차는 점차 좁힐 수 있을 것으로 보인다. 하지만 앞으로는 국가 연구개발투자규모를 지속적으로 확대하기 위한 노력과 병행하여 연구개발 투자의 효율성과 생산성 제고에도 힘을 필요가 있다.

자유무역주의에 따라 세계화가 진전됨에 따라 국가 간의 경쟁은 지역의 경쟁으로 변화하고 있다. 우리나라도 국가경쟁력 강화 및 국가균형발전을 동시에 도모하고자 지역산업육성과 연구개발 능력을 높이기 위한 다각도의 노력이 진행중에 있다. 하지만 정부의 정책 목표를 효과적으로 달성하자면 각 지역별로 어떤 부문에 어느 정도의 재원을 투입할 것인지, 지역 간 재원 배분을 어떻게 차등화할 것인지, 정책 대상 지역 범주를 어떻게 설정할 것인지 등에 대한 기초적 분석과 평가가 필수적이다.

이에 본 논문은 지역별 연구개발비와 연구인력을 투입요소로, 특허를 연구개발의 산출요소로 개념화하여 비모수적방법인 DEA와 Malmquist생산성 지수로 효율성과 생산성을 비교 분석하였다. DEA 모형분석결과 서울과 대전의 경우 연구개발 규모를 줄여 연구개발 효율을 개선할 여지가 있으며, 반대로 서울과 대전을 제외한 14개 시도의 경우는 연구개발 규모를 늘려 효율성을 개선해야 할 것으로 분석되었다. Malmquist 생산성지수로 평가한 결과 우리나라 시도별 연구개발 생산성은 연평균 22.0% 증가한 것으로 나타났다. 그 중 연구개발 생산성 증가율이 가장 큰 시도는 충북으로 연평균 44.2%의 증가를 보였으며, 광주는 생산성이 감소한 것으로 나타났다. 이와 같이 충북이 생산성이 가장 높게 나타난 것은 연구개발 투자비와 인력에 비해 특허성고가 높았다는 것을 말해준다. 결론적으로 우리나라 연구개발 생산성은 증가추세에 있으나 그 증가폭은 점차 낮아지고 있었다. 이러한 상황의 가장 큰 이유는 아직도 우리나라의 연구개발 투자가 서울, 경기, 대전 중심의 수도권권을 중심으로 이뤄지고 있으나, 연구개발 생산성에 있어서는 지역들보다도 낮았기 때문이다. 따라서 우리나라 연구개발 생산성을 높이기 위해서는 연구개발 투자의 방향이 비수도권 중심으로 좀 더 확대해야 할 것으로 판단된다.

추후 연구에서는 지역별로 뿐만 아니라 기술분야별, 연구주체별(대학, 연구소, 민간 기업), 연구사업별로 효율성과 생산성을 분석하여 더욱 더 구체적인 비교분석이 필요할 것이다. 또한 비모수적 방법 뿐만 아니라 모수적 방법을 통한 분석도 필요하다. 연구개발활동의 수준 측정과 지역 간 정량적 비교가 어렵다는 점 때문에 이러한 분석과 평가가 미흡하다면 국가 재원의 낭비가 초래될 가능성이 높아질 것이다. 따라서 본 논문은 완벽하지는 않을지라도 이용 가능한 통계와 자료를 최대한 활용하여 지역별로 적정한 연구개발지원 정책방향을 제시하는 것에 의의가 있다고 하겠다.

주제어

연구개발투자비, 특허, 자료포락분석, 생산성지수

》》 참고문헌

- 김진한·정기대, “Malmquist 지수에 의한 세계 철강산업의 기술변화”, 기술혁신학회지 (한국기술혁신학회), 4(3).
- 박만희, “DEA 효율성 및 Malmquist 생산성 분석시스템 개발”, 생산성논집, 22(2), 2008.
- 박수동·홍순기, “비모수적 방법을 이용한 OECD 국가별 R&D 효율성과 생산성 분석”, 기술혁신연구(기술경영경제학회), 11(2), 2003.
- 현만석·유왕진, “DEA모형을 이용한 공공연구기관의 기술이전 효율성 분석에 관한 연구”, Journal of the Society of Korean Industrial and Systems Engineering, 31(2), 2008.
- Banker, R. D., A. Charnes and W. W. Cooper (1984), “Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis”, Management Science, Vol. 30, No. 9, pp. 1078-1092.
- Boussofinane, A., R. G. Dyson and E. Thanassoulis (1991), “Applied Data Envelopment Analysis”, European Journal of Operations Research, Vol. 52, pp. 1-15.
- Brown, M.G. and R. A. Svenson (1998), “Measuring R&D Productivity”, Research Technology Management, Vol. 42, No. 6, pp. 30-35.
- Charnes, A., W. W. Cooper and E. Rhodes. (1978), “Measuring the Efficiency of Decision Making Unit”, European Journal of Operations Research, pp. 429-444.
- Charnes, A., W. W. Cooper, A. Y. Lewin and L. M. Seiford (1994), Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Application, Kluwer Academic Publishers.
- Farrell, M. J. (1957), “The Measurement of Productive Efficiency”, Journal of the Royal Statistical Society, A CXX, Part 3, pp. 253-290.

- Fitzsimmons, J. A. and M. J. Fitzsimmons (1994), *Service Management for Competitive Advantage*, McGraw-Hill, Inc.
- OECD (1994), *Frascati Manual 1993 : The Measurement of Scientific and Technological Activities : Proposed Standard Practice for Surveys of Research and Experimental Development*, Organization for Economic Co-operation and Development.
- OECD (2007), *Main Science and Technology Indicators*, Organization for Economic Co-operation and Development.
- Sudit, E. F. (1995), "Productivity Measurement in Industrial Operations", *European Journal of Operational Research*, Vol. 85, pp. 435-453.

----- ABSTRACT -----

Analysis of R&D efficiency and productivity for patent rights of the metropolitan cities and provinces in Korea**Byoung - Chul, Lee**

This paper analyses the efficiency and productivity of regional R&D system by regional groups as the domestic 16 cities by using multi-output and multi-input non-parametric frontier methods such as the DEA and the Malmquist productivity indexes. To calculate R&D efficiency and productivity, I had the data of the R&D cost and the number of researcher as the R&D input proxies and the number of patents as the R&D output proxies. Then, I get the result which the R&D efficiency and productivity has grown but the growing rate has gradually decreased. It is why the investment of R&D is almost central to Seoul, Gyeonggi-do, Daejeon which is one of the metropolitan area. Therefore, it need to change the R&D policy from the metropolitan areas to the provinces in order to increase entire of our country R&D productivity.

Key Words : R&D, efficiency, productivity, Patent, DEA, Malmquist Productivity Index