

프론티어모형을 이용한 연구개발투자 효과분석 — OECD 국가의 제조산업에 대한 실증연구 —

김정우 · 이회경

본 논문은 OECD 13개국의 기술집약적인 제조산업을 대상으로 연구개발투자가 생산성에 미치는 영향을 분석한 실증연구이다. 경제주체가 효율적으로 생산한다는 가정 하에 효과분석을 수행한 Törnqvist 지수에 근거하는 연구들과는 달리, 본 연구는 프론티어(frontier) 생산함수 개념을 포함하고 있는 Malmquist 총요소생산성 지수를 사용하였다. 이에 따르면 전기전자와 수송기계 산업의 경우, Törnqvist 지수를 사용하였을 때보다 Malmquist 지수를 사용하였을 때, 총요소생산성에 대한 연구개발투자 탄력성이 더 큰 것으로 나타났다. Malmquist 지수를 사용할 경우 총요소생산성 변화는 크게 효율성 변화와 기술변화로 나눌 수 있는데, 이를 이용하면 연구개발효과를 보다 세분화하여 분석할 수 있다. 조립금속과 전기전자 산업의 경우 연구개발이 주로 기술 변화에, 그리고 일반기계와 수송기계의 경우에는 효율성 변화에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

I. 서 론

생산성 효과와 관련된 대다수의 연구에서는 경제성장의 원동력은 기술이라는 전제하에서 대표적인 기술관련 변수인 연구개발(Research and Development: R&D) 투자를 중심으로 효과분석이 이루어져 왔다. 기존의 연구들은 연구개발

KAIST 테크노경영대학원, 서울특별시 동대문구 청량리동 207-43, 130-012.

KAIST 테크노경영대학원, 서울특별시 동대문구 청량리동 207-43, 130-012.

투자 효과분석시 필요한 총요소생산성(Total Factor Productivity: TFP) 측정을 위하여 Solow 잔차에 기반을 둔 Törnqvist TFP 지수를 사용하여 왔다.¹⁾ Törnqvist TFP 지수의 암묵적인 가정은 분석대상인 기업 혹은 국가들이 항상 효율적인 생산을 하고 있다는 것으로 생산의 비효율성을 원천적으로 배제하고 있다. 그러나 이러한 가정은 비현실적일 수 있어, 이 가정이 지켜지지 않는다면 이 지수에 근거하는 연구개발투자의 분석 결과에는 문제가 있을 수 있다. 이를 보완하기 위하여 Farrell [11]의 연구를 기점으로 효율성 가정에 의존하지 않는 프론티어(frontier) 개념에 기반을 둔 연구가 진행되어 왔다.²⁾

프론티어 개념을 이용하는 경우 분석대상인 기업이나 국가가 프론티어에서 얼마나 떨어져 있는지가 측정될 수 있으므로 이 경제주체들의 비효율성의 정도도 함께 파악할 수 있다. 프론티어를 구성한 후 효율성 정도를 측정하는 방법에는 모수적(parametric) 방법과 비모수적(non-parametric) 방법이 있으나, 실증분석시에는 자료의 한계로 인하여 비모수적 방법인 자료포락분석(data envelopment analysis)을 이용하는 Malmquist 지수가 널리 사용되고 있다. 이 Malmquist 지수는 다양한 산업분야에서 그 응용범위를 넓혀 가고 있다. 예를 들어, Burgess and Wilson [3]과 Linna [20]는 병원과 보건 분야에서, Färe *et al.* [9]은 대만 제조산업의 효율성과 생산성 분석을 위해 Malmquist 지수를 이용하고 있다. 그 밖에 가스산업,³⁾ 전기공급업,⁴⁾ 금융기관,⁵⁾ 통신⁶⁾ 그리고 농업⁷⁾ 등에서 광범위하게 적용되고 있다. 또한 Malmquist 생산성 지수를 이용하여 국가간 생산성의 변화를 비교 분석하거나 성장이론 중 수렴(convergence)에 관한 실증분석을 하는 많은 연구들이 있다.⁸⁾

그러나 연구개발투자 혹은 기술 관련 변수들(인적 자본, 특허, 해외직접투자 등)의 효과분석에 있어 프론티어 접근방법은 아직까지 널리 사용되고 있지 않

1) Mairesse and Sassenou [21], Griliches [13] [14] [15], Nadiri [24], Hanel [16].

2) Nishimizu and Page [25], Caves *et al.* [4], Färe *et al.* [10].

3) Price and Jones [29].

4) Hjalmarsson and Veiderpass [17].

5) Berg *et al.* [2], Pastor *et al.* [27].

6) Uri [32].

7) Millan and Aldaz [23].

8) Färe *et al.* [10], Taskin and Zaim [31], Arcelus and Arozena [1], Mandos *et al.* [22].

은 것으로 보인다. OECD국가와 인도의 제조산업을 대상으로 프론티어의 개념을 도입한 Perelman [28]과 Kathuria [19]를 제외하고, 기존 연구들의 대부분은 연구개발투자의 효과분석시 프론티어의 개념을 고려하지 않고 있다.

본 논문에서는 프론티어 개념에 기초한 Malmquist TFP를 추정하기 위하여 OECD 13개 국가를 대상으로 1977년부터 1990년 사이의 연구개발투자와 관련된 자료를 이용하였으며, 분석대상산업으로는 제조산업 중 연구개발투자의 비중이 가장 큰 기술집약산업 4개를 선택하였다. 본 논문의 목적은 이들 산업의 국가별 총요소생산성 변화뿐만 아니라 이의 구성요소인 효율성 변화와 기술변화를 측정하여, 이 변화에 각국의 연구개발투자가 어떻게 영향을 미치고 있는가를 분석하는 것이다. 이를 분석함으로써, 연구개발투자가 효율성 변화를 통하여 혹은 기술변화를 통하여 총요소생산성에 영향을 주는가에 대한 실증결과를 얻을 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제II절에서는 Malmquist 생산성 지수의 이론적 배경을 살펴보고, 제III절에서는 본 논문에서 사용되고 있는 자료에 대한 설명을, 그리고 제IV절에서는 생산성 지수와 생산성에 대한 연구개발투자 효과를 실증적으로 분석하였다. 마지막 제IV절에서는 본 논문의 결과를 요약하고 향후 과제에 대해 논의하였다.

II. 생산성 변화의 측정

본 연구에서 사용되고 있는 비모수적 방법인 자료포락분석에 기반한 Malmquist 생산성 지수는 Caves *et al.* [4]와 Färe *et al.* [10]에 의하여 제안되고 발전되었다. 자료포락분석에서는 선형계획기법과 Farrell [11]의 거리함수(distance function)의 개념을 이용하여 효율성이 측정되고 있으며, 자료포락분석기법이 패널자료(panel data)에 적용될 경우 Malmquist 지수가 도출된다. Malmquist 지수의 특징은 생산성 변화를 기술변화와 효율성 변화로 구분할 수 있다는 것이다. 또한 비모수적 방법을 이용하는 이 지수는 생산함수를 명시적으로 가정하지 않아도

된다는 장점을 가지고 있다. 한편 이 접근방법은 기본적으로 자료포락분석에 기초하고 있기 때문에 측정결과에 대한 통계적 추론이 어렵다는 단점을 가지고 있다. 그러나 비모수적이라는 점과 더불어 생산성 측정시 투입변수의 가격에 관한 정보를 필요로 하지 않는다는 편리함 때문에 많은 분야에서 생산성 지수로 사용되고 있다.

Malmquist 생산성 지수를 측정하기 위하여 사용되는 거리함수는 다음과 같다.⁹⁾

$$D_t(x_t, y_t) = \inf \{ \theta : (x_t, y_t/\theta) \in F_t \} \quad (1)$$

식 (1)에서 x 와 y 는 각각 시점 t 에서의 투입물과 산출물, 그리고 F_t 는 생산 프론티어를 나타내며, θ 값은 효율성 정도를 가리킨다. D 는 생산 프론티어와의 거리를 나타내며 0과 1 사이의 값을 가진다. 그 값이 1인 경우는 경제주체가 효율적인 생산을 하고 있다는 것을, 그리고 1보다 작은 값은 생산 프론티어 안에 머물러 비효율적으로 생산하고 있다는 것을 나타낸다. 위의 거리함수를 발전시켜 Caves *et al.* [4]은 식 (2)와 같이 Malmquist 생산성 지수를 정의하고 있다.

$$M(x_{t+1}, y_{t+1}, x_t, y_t) = \sqrt{\frac{D_t(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_t(x_t, y_t)} \frac{D_{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_{t+1}(x_t, y_t)}} \quad (2)$$

M_0 의 값이 1보다 크다는 것은 t 기에서 $t+1$ 기 동안 생산성의 향상을 가져왔다는 것을 의미하고, 1보다 작은 경우는 생산성의 감소를 나타낸다. 이러한 Malmquist 생산성 지수는 다음과 같이 두 항의 곱으로 다시 표기될 수 있다.¹⁰⁾

$$M(x_{t+1}, y_{t+1}, x_t, y_t) = \frac{D_{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_t(x_t, y_t)} \times \sqrt{\frac{D_t(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})} \frac{D_t(x_t, y_t)}{D_{t+1}(x_t, y_t)}} \quad (3)$$

9) Shephard [30], Caves *et al.* [4].

10) Färe *et al.* [10].

식 (3)은 생산성 변화를 효율성 변화와 기술변화의 두 가지로 나누고 있기 때문에 실증분석시 매우 유용하게 사용될 수 있다. 즉, 우변항의 첫 번째 비율은 t 기에서 $t+1$ 기 동안의 효율성 변화로, 두 기간 사이에서의 프론티어로의 접근(catch-up) 정도를 나타낸다. 한편 제곱근을 포함한 두 번째 비율은 기술변화로 두 기간 사이에서의 프론티어의 이동, 즉 기술 혁신(innovation) 정도를 의미한다. 프론티어를 추정하기 위하여 식 (3)의 D_t 를 계산하여야 하는데 이 때 선형계획모형을 이용하게 된다. 다수의 투입물과 산출물이 있다고 가정할 때, Fare *et al.* [10]에 따르면 생산 프론티어는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$F_t = \{ (x_t, y_t) : y_{m,t} \leq \sum_{k=1}^K (z_{kt}) (y_{m,k,t}), m=1, \dots, M \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^K (z_{k,t}) (x_{m,k,t}) \leq x_{nt}, n=1, \dots, N$$

$$z_{k,t} \geq 0, \quad k=1, \dots, K \}$$

x 와 y 는 N 개의 투입물과 M 개의 산출물을 나타내고, z 는 투입물과 산출물의 볼록결합(convex combination)을 형성할 때 이용되는 변수이다. 본 논문에서는 Malmquist 생산성 지수와 그 구성요소인 효율성 변화와 기술변화를 계산하기 위하여 DEAP version 2.1을 이용하였다.¹¹⁾

Ⅲ. 사용 자료

본 논문에서 사용되는 제조산업 자료는 산업분류코드 ISIC Rev. 2에서 중분류 산업인 조립금속, 기계 및 장비제조업(ISIC 38)을 대상으로 하여 추출하였다. <표 1>을 보면 일반적으로 기술집약산업으로 간주되는 이 산업은 전체제조산업의 연구개발투자 중 72.66%를 차지하고 있다는 것을 알 수 있다. 그 다음은 화

11) Coelli [7].

〈표 1〉 제조산업 중 산업별 연구개발투자 비율

(단위: %)

산 업	ISIC 중분류코드	비 중
음식료 및 담배	31	1.86
섬유, 의복 및 섬유	32	0.51
나무 및 나무제품	33	0.26
종이 및 종이제품, 인쇄 및 출판업	34	0.88
화학, 석유, 석탄, 고무 및 플라스틱	35	19.60
비금속 광물 제조업	36	1.30
제1차 금속산업	37	2.34
조립금속, 기계 및 장비 제조업	38	72.66
기타 제조업	3	0.60
합 계		100.00

자료: OECD ANBERD 데이터베이스(1977~1990).

학, 석유, 석탄, 고무 및 플라스틱 산업으로 19.60%의 비중을 차지하고 있다. 반면, 가장 낮은 비중을 차지하는 중분류산업은 나무 및 나무제품 산업이다(0.26%). 본 논문은 이 중 연구개발투자 비중이 가장 큰 조립금속, 기계 및 장비 제조업을 선택하였으며, 구체적으로 이에 포함되는 분야는 다음의 네 가지 하위 분류산업으로 조립금속(ISIC 381: metal products), 일반기계(ISIC 382: non-electrical machinery), 전기전자(ISIC 383: electrical machinery) 및 수송기계(ISIC 384: transport equipment) 산업이다. 대상국가는 OECD 13개국으로 호주, 캐나다, 덴마크, 핀란드, 프랑스, 독일, 이탈리아, 일본, 네덜란드, 노르웨이, 스웨덴, 영국, 미국이며 분석기간은 1977년부터 1990년까지이다. 자료는 OECD에서 제공하고 있는 STAN과 ANBERD 데이터베이스에서 수집하였다.

사용되는 변수 중 산출물은 부가가치를, 노동과 자본은 고용자수와 총고정자본형성을 사용하였다. 연구개발투자를 스톡으로 변환시, 연구개발시차는 없는 것으로 가정하고 진부화율은 본 연구와 유사한 자료를 사용한 Verspagen [33]을 따라 15%로 가정하였다.¹²⁾ 노동을 제외한 모든 변수들은 PPP(purchasing power

12) 진부화율과 관련하여 Coe and Helpman [5]에서는 진부화율을 임의로 5%로 정한 후 결과를 분석하고, 15%에 대한 결과는 이와 유사하다고 기술하고 있으며, Engelbrecht [8], Coe

〈표 2〉 산업별·국가별 연구개발집약도의 평균(1977~1990)

(단위: %)

국 가	조립금속	일반기계	전기전자	수송기계
오스트레일리아	0.65	3.22	7.77	2.53
캐 나 다	0.59	4.01	14.88	4.17
덴 마 크	0.88	3.72	7.63	2.69
핀 란 드	1.29	5.84	12.09	2.28
프 랑 스	0.74	4.40	14.18	14.68
영 국	1.49	7.17	12.66	10.66
이탈리아	0.48	2.57	6.25	8.34
일 본	1.78	7.26	11.35	7.63
네덜란드	0.82	3.40	18.51	6.12
노르웨이	1.97	7.57	16.24	2.85
스웨덴	2.62	9.04	20.71	14.67
영 국	0.96	5.81	16.62	13.68
미 국	1.32	10.84	19.38	26.02
평 균	1.20	5.76	13.71	8.95

자료: OECD STAN과 ANBERD 데이터베이스(1977~1990).

parity)를 이용하여 구매력 보정을 하였다.

사용 변수들에 대한 평균은 〈부록 1a〉와 〈부록 1b〉에 수록하였으며, 그 중 부가가치 대비 연구개발투자의 비중을 나타내는 연구개발집약도(R&D intensity)는 〈표 2〉에 정리되어 있다. 〈표 2〉에 따르면, 연구개발집약도가 가장 높은 산업은 전기전자이고, 조립금속산업은 그 중 가장 낮은 집약도를 나타내고 있다. 미국의 경우 조립금속산업을 제외한 3개 산업에서, 연구개발투자의 절대액(〈부록 1a〉와 〈부록 1b〉)뿐 아니라, 집약도 역시 가장 높게 나타나고 있다. 유럽 국가 중에서 스웨덴의 경우, 4개 산업 모두 높은 집약도를 보이고 있어서 연구개발에 대한 투자가 활발함을 알 수 있다. 일본의 경우 조립금속과 일반기계 산업의 연구개발집약도가 산업평균을 상회할 뿐, 전기전자와 수송기계 산업에서는 평균을 약간 하회하고 있다.

et al. [6]과 Frantzen [12]에서는 5%, Park [26]에서는 3%의 진부화율을 임의로 가정하고 있다.

IV. 분석모형 및 추정결과

먼저 기존 논문들이 주로 사용해 온 Törnqvist TFP 변화와 본 논문에서 사용하고 있는 Malmquist TFP의 변화를 추정하였다. <표 3>은 전기전자산업을 제외한 나머지 제조산업에서 두 가지 총요소생산성의 변화치가 큰 차이가 있음을 보여주고 있다. 수송기계의 경우 Törnqvist 지수는 연평균 4.8%의 증가를 보이고 있지만, Malmquist 지수를 사용한 경우에는 -1.1%로 같은 기간 동안 오히려 생산성이 감소하고 있다. 이러한 커다란 차이는 Törnqvist 지수가 근거로 하고 있는 가정, 즉 모든 분석대상이 효율적인 생산을 하고 있다는 가정에서 기인한다고 할 수 있다. 또 하나의 다른 이유는 Törnqvist 지수의 경우 분석대상 자신의 t 기와 $t+1$ 기의 자료로 생산성의 변화를 측정하는 반면, Malmquist 지수의 경우 가장 효율적인 기업 혹은 국가를 프론티어에 놓고 이외의 비교를 통하여 상대적인 생산성 측정을 한다는 점에서 찾을 수 있다.¹³⁾

<표 3>에 수록된 개별 국가들의 평균을 비교해 보면 이러한 차이는 더욱 명확해진다. Törnqvist 지수를 사용한 전기전자와 수송기계 산업의 경우, 일본은 13개국 중 13위로 가장 낮은 생산성을 기록하고 있으며, 수송기계의 경우에는 -0.5%로 조사기간 동안 생산성이 감소한 것으로 나타나고 있다. 그러나 Malmquist 지수를 사용하게 되면, 일본은 같은 기간 동안 각각 8.6%와 6.7%의 생산성 향상을 보이고 있으며, 13개 국가 중 순위도 1위 또는 2위를 기록하고 있다. 조립금속산업의 경우, 위의 결과와는 반대로 Malmquist 지수 사용시 일본의 생산성 변화량이 오히려 감소하는 양상을 보이고 있다.

수송기계산업에서는 Malmquist 지수 사용시 이탈리아와 일본을 제외한 모든 국가에서 생산성 변화의 크기가 감소하는 것으로 나타나고 있으며, 일반기계산업에서는 프랑스와 이탈리아만이 생산성 변화의 크기가 증가하고 있다. 미국의 경우 Malmquist 지수 사용시, 조립금속과 일반기계산업에서는 생산성 변화의 차이가 거의 보이지 않고 있으며, 전기전자산업에서는 2.6%의 증가를, 수송기계산

13) Färe *et al.* [10].

〈표 3〉 총요소생산성 변화의 평균(1977~1990)

국 가	Total Factor				Malmquist			
	총요소	인적기계	전기전자	수송기계	총요소	인적기계	전기전자	수송기계
오스트레일리아	0.005	0.022	0.015	0.038	0.955	0.967	0.960	0.965
캐나다	0.032	0.046	0.030	0.032	1.016	1.024	1.019	0.975
덴마크	0.045	0.043	0.037	0.069	1.014	1.024	1.017	0.984
핀란드	0.030	0.049	0.069	0.057	1.013	0.994	1.079	0.944
프랑스	0.064	0.030	0.051	0.064	1.069	1.032	1.084	1.013
영국	0.045	0.052	0.044	0.030	1.019	1.016	1.030	0.986
이탈리아	0.029	0.041	0.035	0.059	1.047	1.053	1.074	1.075
일본	0.073	0.042	0.010	-0.005	1.007	1.037	1.086	1.067
네덜란드	0.050	0.033	0.033	0.075	1.017	1.008	1.064	0.969
노르웨이	0.051	0.068	0.058	0.059	1.036	1.054	1.052	0.996
스웨덴	0.040	0.059	0.042	0.018	1.009	1.036	1.023	0.908
영국	0.059	0.055	0.061	0.088	1.032	1.032	1.034	0.972
미국	0.042	0.039	0.038	0.039	1.039	1.037	1.064	1.014
평균	0.043	0.045	0.040	0.048	1.020	1.024	1.045	0.989

업에서는 2.5%의 감소를 나타내고 있다. 〈표 3〉의 결과는 생산성의 변화 측정 시 측정 방법에 따라 산업별·국가별 생산성 변화가 큰 차이를 보일 수 있다는 점을 보여주고 있다.

본 논문의 주요 목적은 Malmquist 지수를 이용하여 총요소생산성 변화 그 자체뿐만 아니라, 총요소생산성 변화의 두 가지 주요한 구성요소인 효율성 변화와 기술변화로 나누어 분석하는데 있다. 〈표 4〉에서는 4개 제조산업들에 대한 효율성 변화와 기술변화의 평균값이 제시되어 있다. 이 중 가장 크게 생산성이 향상된 산업은 전기전자산업으로 분석기간 동안 4.5%의 생산성 증가를 보여주고 있다. 총요소생산성 변화가 분해되었을 경우, 기술변화는 4.2%의 증가폭을 보여 주나 효율성 변화는 0.3%에 그치고 있어 대부분의 생산성 변화는 기술변화에 기인한 것으로 볼 수 있다. 수송기계의 경우 생산성이 감소(-1.1%)하였는데 이는 효율성 향상 1.2%와 기술퇴보 -2.2%가 상쇄되어 나타난 것으로 보인다. 이

〈표 4〉 총요소생산성 변화, 효율성 변화 및 기술변화

	Malmquist TFP 변화	효율성 변화	기술변화
조립금속	1.020	1.002	1.018
일반기계	1.024	1.006	1.018
전기전자	1.045	1.003	1.042
수송기계	0.989	1.012	0.978

러한 결과로 미루어 볼 때, 본 논문의 분석대상인 4개 제조산업의 생산성 변화는 효율성 변화보다는 기술변화에 큰 영향을 받고 있다는 것을 알 수 있다.

이제 생산성 변화의 추정뿐 아니라 이러한 생산성 변화가 연구개발과 어떤 관계가 있는가를 보기로 하자. 앞에서 언급한 바와 같이 기존의 대부분의 연구들은 연구개발투자의 효과분석시 Törnqvist 지수를 사용하고 있으나,¹⁴⁾ 본 논문에서는 프론티어 생산함수의 개념에 기초하고 있는 Malmquist 지수를 이용하여 연구개발 효과 분석을 보다 세분화시키고 있다.

세분화된 지수들을 이용할 경우, 연구개발이 총체적으로 생산성 변화에 어떠한 영향을 미치는지 파악할 수 있다는 점 외에도 이러한 과정이 효율성 변화를 통하여 일어나는지 아니면 기술변화를 통하여 일어나는지도 구별할 수 있게 된다. 이에 따라 우선 기본적으로 총요소생산성과 연구개발스톡과의 관계를 조사한 후, 효율성 변화 및 기술변화의 관계를 추가적으로 분석하기로 한다. 먼저 총요소생산성과 연구개발과의 관계를 추정하기 위한 식은 다음과 같다.

$$\Delta TFP_{it} = \lambda_1 + \gamma_1 \Delta R_{it} + \varepsilon_{1it} \quad (5)$$

ΔTFP 는 총요소생산성의 증가율을, ΔR 은 연구개발스톡의 증가율을, 그리고 λ 는 외생적 기술변화를 나타내며, γ 는 연구개발스톡의 변화에 대한 TFP의 탄력성을, ε 은 오차항을 의미한다.¹⁵⁾ 첨자 i 와 t 는 각각 국가와 시간을 의미한다.

14) Mairesse and Sassenou [21], Griliches [13] [14] [15], Nadiri [24], Hanel [16].

15) 식 (5)는 투입요소인 노동과 자본을 갖는 Cobb-Douglas 형태의 생산함수에 연구개발스톡을 추가한 함수형태의 변형이다. 우변항에 연구개발스톡만을 남기고 로그를 취한 후 시간에 대해서 미분하면 식 (5)와 같은 형태의 추정식을 얻을 수 있다.

〈표 5〉 중요소생산성 변화에 대한 연구개발의 효과

	고정효과모형		확률효과모형	
	Törnqvist TFP	Malmquist TFP	Törnqvist TFP	Malmquist TFP
조립금속	0.039 (0.038)	0.071* (0.042)	0.012 (0.032)	0.055 (0.038)
일반기계	0.144 (0.091)	0.160* (0.090)	0.105 (0.076)	0.131 (0.082)
전기전자	0.162 (0.116)	0.414*** (0.118)	0.061 (0.090)	0.379*** (0.108)
수송기계	-0.011 (0.137)	-0.309** (0.146)	-0.080 (0.100)	-0.259** (0.126)

주: 괄호 안은 표준오차임.

*는 10% 유의수준, **는 5% 유의수준, ***는 1% 유의수준을 나타냄.

〈표 5〉에는 13개국의 1977년부터 1990년까지의 자료를 이용하여 식 (5)를 패널자료(panel data) 분석으로 추정한 결과가 수록되어 있다. 비교를 위하여 추정시 종속변수로 Törnqvist TFP 변화율과 Malmquist TFP 변화율을 각각 사용하였다. 일반적으로 패널자료분석에서는 고정효과모형(fixed effect model)과 확률효과모형(random effect model)을 고려하여 추정하고 있다. 두 모형은 추정시 각 나라별 변수에 해당되는 개별효과(individual effect)를 어떻게 다루는가에 따라 구별되는데, 고정효과모형의 경우 개별효과를 분리하여 추정하는 반면, 확률효과모형은 이를 오차항에 포함하여 추정한다. 기본적으로 개별효과를 나타내는 변수와 기존에 포함되어 있는 변수(ΔR)와의 상관관계 여부에 따라 적용모형이 구분되나, 본 논문에서는 비교를 위하여 두 모형의 추정결과를 모두 수록하였다.

〈표 4〉에서 가장 큰 생산성 변화가 일어났던 전기전자산업의 경우를 먼저 보면 다음과 같다. 〈표 5〉의 패널분석결과에 따르면 Malmquist 지수를 사용한 경우 연구개발스톡에 대한 생산성의 탄력성은 0.379이고 통계적으로도 유의하게 나타나고 있다. 고정효과모형의 경우 0.414이고 역시 통계적으로 유의하다. 그러나 Törnqvist 지수를 사용한 경우 탄력성이 0.061과 0.162로 낮게 추정되었으며 표준오차도 크게 나타났다. 수송기계산업의 경우에는 추정치의 부호는 반대

이지만 전기전자산업의 경우와 마찬가지로 생산성이 연구개발스톡과 밀접한 관계에 있음을 보여주고 있다. 전반적으로 탄력성의 추정에 있어 Törnqvist 지수를 사용한 경우보다 Malmquist 지수를 사용한 경우, 그 값이 더 크게 추정되고 있고 통계적 유의성도 크게 나타나고 있다.

다음 연구개발스톡의 생산성 변화에 대한 탄력성을 효율성 변화와 기술변화에 대한 탄력성으로 분리하기 위하여 다음의 두 식을 추가적으로 추정하였다.

$$EC_{it} = \lambda_2 + \gamma_2 \Delta R_{it} + \varepsilon_{2it} \quad (6)$$

$$TC_{it} = \lambda_3 + \gamma_3 \Delta R_{it} + \varepsilon_{3it} \quad (7)$$

위 식에서 EC 는 효율성 변화를, TC 는 기술변화를 나타낸다. 식 (6)과 식 (7)의 추정결과를 바탕으로 연구개발투자가 생산성 변화에 영향을 미치는 경로가 효율성 변화를 통해서인지 혹은 기술변화를 통해서인지를 산업별로 분석할 수 있다. <표 6>의 추정결과에 따르면 조립금속산업과 전기전자산업의 경우 연구개발은 효율성 변화보다는 주로 기술변화에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 연구개발투자가 이 산업들의 생산 프론티어를 밖으로 이동시키는 역할을 하고 있음을 의미한다. 반면 일반기계산업과 수송기계산업의 경우 연구개발투자는 기술변화보다는 효율성 변화와 밀접한 관계가 있는 것으로 추정되었다. 그러나 이 두 산업의 결과는 표준오차가 크게 나타나 통계적으로 유의하지는 않았다. 특히 수송산업의 경우 연구개발투자는 생산성 변화, 효율성 변화 그리고 기술변화에 모두 음(-)의 효과를 미치는 것으로 추정되었다. 이는 연구개발투자가 생산성 감소의 원인이 되고 있다는 것을 의미하는 것으로, 연구개발투자의 과잉 투입에 따른 중복에 의한 외부성(duplication externalities)이 나타난 것으로 생각된다.¹⁶⁾

또한 앞의 결과로 미루어 조립금속산업과 전기전자산업의 경우 연구개발투자를 통하여 효율성 향상을 기대하기는 어렵다고 할 수 있다. 이는 후발국들이 이 산업들의 선도국가를 뒤따라가는데(catch-up) 있어 어려움이 내재되어 있다는

16) Jones and Williams [18].

〈표 6〉 효율성 변화와 기술변화에 대한 연구개발의 효과

	고급제조모형		후발제조모형	
	효율성 변화	기술변화	효율성 변화	기술변화
조립금속	0.0006 (0.044)	0.070** (0.029)	-0.005 (0.035)	0.057** (0.026)
일반기계	0.129 (0.089)	0.030 (0.063)	0.086 (0.074)	0.033 (0.058)
전기전자	0.052 (0.122)	0.367*** (0.086)	0.059 (0.092)	0.341*** (0.081)
수송기계	-0.185 (0.170)	-0.101 (0.139)	-0.149 (0.129)	-0.080 (0.118)

주: 괄호 안은 표준오차임.

는 5% 유의수준, *는 1% 유의수준을 나타냄.

것을 의미하는 것으로, 그 산업 내의 기술이 쉽게 다른 국가들로 파급되지 않음을 추측할 수 있다. 반면 일반기계산업의 경우 연구개발투자의 효율성 변화에 대한 효과가 양(+)의 값을 나타내고 있는데, 이는 국가나 기업들이 연구개발투자를 통하여 그 산업 내의 기술을 습득하는 것이 다른 산업에 비해 상대적으로 용이함을 보여준다고 할 수 있다.

V. 결 론

생산성과 연구개발과의 관계를 분석하는데 있어 기존의 연구들은 총요소생산성으로 Törnqvist 지수를 사용하였다. 이 지수는 기업이나 국가 같은 분석대상이 기술적으로 효율적이라는 가정을 내포하고 있다. 이러한 가정이 성립되지 않는다면 생산성에 대한 연구개발 효과 분석에는 오류가 있을 수 있다.

본 논문에서는 연구개발투자의 효과 분석을 위하여 비효율적인 경제주체도 고려할 수 있는 Malmquist 지수를 사용하였다. 분석대상은 13개 OECD 국가

중 연구개발집약도가 높은 4개 제조산업으로 국한하였으며, 분석기간은 1977년부터 1990년까지이다. 생산성에 대한 연구개발의 효과는 전기전자산업과 수송산업의 경우 유의적으로 나타났다. Malmquist 지수를 사용하는 경우 총요소생산성의 변화를 효율성 변화와 기술변화로 나눌 수 있으며, 본 논문에서는 이들에 대한 연구개발투자의 효과를 추가적으로 분석하였다. 그 결과 연구개발투자가 산업에 따라 다른 경로를 통하여 생산성에 영향을 미치고 있음을 보일 수 있었다. 즉, 조립금속산업과 전기전자산업의 경우 연구개발투자가 기술변화를 통하여, 그리고 일반기계와 수송기계의 경우 효율성 변화를 통하여 생산성에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

연구개발투자에 대한 효과를 분석하는데 있어, 생산성을 어떤 방법으로 측정하는가에 따라 결과가 다르게 나타나는 양상을 보이고 있다. 본 논문에서 제시하고 있는 결과는 OECD 국가 중 13개 국가의 분석에서 나온 것이다. 따라서 차후에는 대상 국가들을 확장한 자료에 대하여도 분석을 시도하여, 본 논문에서 도출된 결과를 뒷받침할 수 있어야 할 것이다. 또한 연구개발투자 외의 기술관련 변수들을 포함시켜 이러한 변수들이 생산성에 어떤 경로를 통하여 영향을 주는가에 대한 연구도 향후 병행되어야 할 것이다.

〈부 록〉

〈부록 1a〉 사용변수들에 대한 기술적 통계치(평균, 1977~1990)

	국 가	부가가치 (백만 US\$)	노동 (천명)	자본투자 (백만 US\$)	R&D투자 (백만 US\$)
조립 금속	오스트레일리아	2533.63	109.27	221.06	17.73
	캐 나 다	3353.03	117.86	270.51	20.34
	덴 마 크	777.49	43.11	110.64	7.43
	핀 란 드	737.23	33.24	83.32	10.45
	프 랑 스	10613.79	388.64	1570.83	78.53
	영 국	21711.62	893.07	2094.00	344.60
	이탈리아	15026.57	593.79	1993.58	78.49
	일 본	19809.05	1120.07	3096.21	358.50
	네덜란드	2180.01	94.20	288.44	19.19
	노르웨이	450.24	24.21	55.12	9.29
	스 웨 덴	1974.14	101.14	250.52	47.74
	영 국	7780.03	408.79	768.60	74.29
	미 국	52195.14	1481.14	4316.36	699.86
일반 기계	오스트레일리아	1992.59	84.91	140.13	67.25
	캐 나 다	4219.60	145.21	334.62	180.34
	덴 마 크	1404.15	79.25	199.02	54.76
	핀 란 드	1415.31	65.89	142.78	88.57
	프 랑 스	14693.03	494.64	1290.87	667.18
	영 국	26919.76	1056.07	2552.39	1984.82
	이탈리아	14874.80	465.86	1790.61	414.86
	일 본	44932.65	1647.07	7711.59	3571.19
	네덜란드	2200.87	84.81	253.72	80.79
	노르웨이	816.12	37.14	90.06	64.41
	스 웨 덴	2819.50	127.65	334.20	266.83
	영 국	16318.67	867.71	1555.38	975.57
	미 국	83770.21	2197.43	8697.07	9393.06

〈부록 1b〉 사용변수들에 대한 기술적 통계치(평균, 1977~1990)

	국 가	취업가치 (백만 US\$)	노동 (천명)	자본투자 (백만 US\$)	R&D투자 (백만 US\$)
전기 전자	오스트레일리아	1487.21	62.24	135.39	120.34
	캐나다	3503.27	110.93	336.84	558.28
	덴마크	591.97	33.76	81.78	47.61
	핀란드	718.59	31.46	91.58	93.70
	프랑스	14133.47	505.93	2169.77	2080.82
	영국	28243.69	1041.57	2946.24	3675.48
	이탈리아	11142.50	365.07	1871.31	740.99
	일본	53375.97	2086.21	12900.78	6354.01
	네덜란드	3607.96	120.09	548.33	692.23
	노르웨이	436.56	21.57	57.04	72.74
	스웨덴	1754.52	89.73	208.32	384.58
	영국	12906.80	622.29	1436.20	2108.84
미국	60732.21	2078.93	8338.14	11657.79	
수송 기계	오스트레일리아	2946.63	124.79	341.75	79.96
	캐나다	7188.05	202.14	1207.11	302.36
	덴마크	477.78	29.44	80.30	13.05
	핀란드	691.27	38.42	90.51	17.29
	프랑스	16203.40	631.64	2722.1	2459.97
	영국	27945.63	894.14	4638.76	3126.73
	이탈리아	11448.10	392.71	2313.69	1013.31
	일본	41193.99	1197.43	10944.94	3360.26
	네덜란드	1454.32	68.73	239.71	94.00
	노르웨이	586.47	35.49	61.48	16.51
	스웨덴	2610.50	114.85	442.93	400.28
	영국	14255.99	637.93	1984.07	1935.99
미국	87261.86	1952.29	10126.07	23355.01	

▣ 참고 문헌 ▣

1. Arcelus, F. J. and P. Arozena, "Measuring Sectoral Productivity Across Time and Across Countries," *European Journal of Operational Research*, 119, 1999, pp. 254 ~ 266.
2. Berg, S. A., Førsund, F. R. and E. S. Jansen, "Malmquist Indices of Productivity Growth during the Deregulation of Norwegian Banking, 1980 ~ 1989," *Scandinavian Journal of Economics*, 94, Supplement, 1992, pp. 211 ~ 228.
3. Burgess, J. F. and P. W. Wilson, "Decomposing Hospital Productivity Change, 1985 ~ 1988: A Nonparametric Malmquist Approach," *Journal of Productivity Analysis*, 6, 1995, pp. 343 ~ 363.
4. Caves, D. W., Christensen, L. R. and W. E. Diewert, "The Economic Theory of Index Numbers and the Measurement of Input, Output and Productivity," *Econometrica*, 50, 1982, pp. 1393 ~ 1414.
5. Coe, D. T. and E. Helpman, "International R&D Spillovers," *European Economic Review*, 39, 1995, pp. 859 ~ 887.
6. Coe, D. T., Helpman, E. and A. W. Hoffmaister, "North-south R&D Spillovers," *Economic Journal*, 107, 1997, pp. 134 ~ 149.
7. Coelli, T., "A Guide to DEAP Version 2.1," *CEPA Working Paper*, 96/08, Department of Econometrics, University of New England, Australia, 1996.
8. Engelbrecht, H. J., "International R&D Spillovers, Human Capital and Productivity in OECD Economies: An Empirical Investigation," *European Economic Review*, 41, 1997, pp. 1479 ~ 1488.
9. Färe, R., Grosskopf, S. and W. Lee, "Productivity in Taiwanese Manufacturing Industries," *Applied Economics*, 27, 1995, pp. 259 ~ 265.
10. Färe, R., Grosskopf, S., Norris M. and Z. Zhang, "Productivity Growth, Technical Change, and Efficiency Change in Industrialized Countries," *American Economic Review*, 84, 1994, pp. 66 ~ 83.
11. Farrell, M. J., "The Measurement of Productive Efficiency," *Journal of the*

- Royal Statistical Society Series A General*, 120, 1957, pp. 253~281.
12. Frantzen, D., "R&D Efforts, International Technology Spillovers and the Evolution of Productivity in Industrial Countries," *Applied Economics*, 30, 1998, pp. 1459~1469.
 13. Griliches, Z., *R&D, Patents, and Productivity*, University of Chicago Press, Chicago and London, 1984.
 14. _____, "The Search for R&D Spillovers," *Scandinavian Journal of Economics*, 94, Supplement, 1992, pp. 29~47.
 15. _____, *R&D and Productivity: The Econometric Evidence*, University of Chicago Press, Chicago, 1998.
 16. Hanel, P., "R&D, Interindustry and International Technology Spillovers and the Total Factor Productivity Growth of Manufacturing Industries in Canada, 1974~1989," *Economic System Research*, 12, 2000, pp. 346~361.
 17. Hjalmarsson, L. and A. Veiderpass, "Productivity in Swedish Electricity Retail Distribution," *Scandinavian Journal of Economics*, 94, Supplement, 1992, pp. 193~205.
 18. Jones, C. I. and J. C. Williams, "Too Much of a Good Thing? The Economics of Investment in R&D," *Journal of Economic Growth*, 5, 2000, pp. 65~85.
 19. Kathuria, V., "Foreign Firms, Technology Transfer and Knowledge Spillovers to Indian Manufacturing Firms: A Stochastic Frontier Analysis," *Applied Economics*, 33, 2001, pp. 625~642.
 20. Linna, M., "Health Care Financing Reform and the Productivity Change in Finnish Hospitals," *Journal of Health Care Finance*, 26, 2000, pp. 83~100.
 21. Mairesse, J. and M. Sassenou, "R&D and Productivity: A Survey of Econometric Studies at the Firm Level," *STI Review* (OECD Paris), 8, 1991, pp. 9~43.
 22. Mandos, J., Pastor, J. M. and L. Serrano, "Convergence in OECD Countries: Technical Change, Efficiency and Productivity," *Applied Economics*, 32, 2000, pp. 757~765.
 23. Millan, J. A. and N. Aldaz, "Agricultural Productivity of the Spanish Regions: A Non-parametric Malmquist Analysis," *Applied Economics*, 30, 1998, pp. 875~884.
 24. Nadiri, I. M., "Innovations and Technological Spillovers," *NBER Working Paper*,

- no. 4423, 1993.
25. Nishimizu, M. and J. M. Jr. Page, "Total Factor Productivity Growth, Technological Progress and Technical Efficiency Change: Dimensions of Productivity Change in Yugoslavia, 1965~1978," *Economic Journal*, 92, 1982, pp. 920~936.
 26. Park, W. G., "International R&D Spillovers and OECD Economic Growth," *Economic Inquiry*, 33, 1995, pp. 571~591.
 27. Pastor, J., Perez, M. F. and J. Quesada, "Efficiency Analysis in Banking Firms: An International Comparison," *European Journal of Operational Research*, 98, 1997, pp. 395~407.
 28. Perelman, S., "R&D, Technological Progress and Efficiency Change in Industrial Activities," *Review of Income and Wealth*, 41, 1995, pp. 349~366.
 29. Price, C. W. and T. W. Jones, "Malmquist Indices of Productivity Change in the UK Gas Industry Before and After Privatization," *Applied Economics*, 28, 1996, pp. 29~39.
 30. Shephard, R. W., *Theory of Cost and Production Functions*, Princeton University Press, Princeton, 1970.
 31. Taskin, F. and O. Zaim, "Catching-up and Innovation in High-and Low-income Countries," *Economics Letters*, 54, 1997, pp. 93~100.
 32. Uri, N. D., "Measuring Productivity Change in Telecommunications," *Telecommunication Policy*, 24, 2000, pp. 439~452.
 33. Verspagen, B., "Estimating International Technology Spillovers using Technology Flow Matrices," *Weltwirtschaftliches Archiv*, 133, 1997, pp. 226~248.