

TFP와 Malmquist 생산성지수를 이용한 연구개발투자의 효과분석

김정우 · 이회경

한국과학기술원 테크노경영대학원
서울시 동대문구 청량리동 207-43

Abstract

This paper investigates the productivity growth of four manufacturing industries employing TFP and Malmquist productivity indexes on data for 13 OECD countries covering 1977-1990, and estimates the effects of R&D investment on productivity growth. The results show that there is a large difference between these indexes, and that R&D effects on productivity using TFP and Malmquist productivity indexes are different in value and significance.

1. 서론

전통적으로 생산성 분석에 있어서, 경제학의 신고전 학파 연구들은 모든 생산주체들이 효율적인 방법으로 생산하고 있다는 가정으로부터 출발하여 총요소생산성 (total factor productivity)을 측정하고, 이를 이용하여 생산성에 대한 다른 변수들의 영향을 분석하여 왔다.

그러나 최근에는 프론티어 (frontier) 개념을 도입하여 위의 가정을 완화시킴으로, 생산성을 보다 정확히 측정하려는 시도가 있어 왔다. 이러한 접근방법은 프론티어를 구성하는 방법에 따라 크게 확률적 프론티어분석 (stochastic frontier analysis)과 자료포락분석 (data envelopment analysis)으로 나눌 수 있다.

위의 방법 중에서 비모수적 (nonparametric) 자료포락분석에 기반하는 Malmquist 생산성 지수는 비효율적인 생산주체의 존재를 고려하고 있으며 또한 명시적인 생산함수의 형태를 가정하고 있지 않다. 그렇기 때문에 이 지수는 생산함수의 구체적인 형태에 대한 정보가 부족한 경우, 보다 정확한 지수를 제시할 수 있다. 또한 Malmquist 생산성 지수는 전체적인 생산성 변화를 기술변화와 효율성 변화로 분리하여 측정할 수 있으므로 생산성 변화의 방향을 보다 세분하여 분석을 할 수 있다는 장점을 가지고 있다 (Färe *et al.* 1994).

본 연구에서는 Malmquist 생산성 지수를 이용하여, OECD 13개국의 기술집약적인 4개 제조산업에 대해서 생산성을 측정, 비교하였다. 또한 기존의 연구들 (Griliches, 1992; Nadiri, 1993)이 생산성과 연구개발투자와의 관계를 설명하기 위하여 흔히 사용하고

있는 TFP 지수의 한계점을 지적하고 Malmquist 생산성지수 (MP)의 구성요소들을 이용하여 보다 정확한 연구개발투자와 생산성의 관계를 이끌어 내고자 한다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 제2절에서는 TFP 지수와 Malmquist 생산성 지수의 이론적 배경을 살펴보고, 생산성과 연구개발투자의 관계를 설명하기 위한 모형을 제3절에서 제시하였다. 제4절에서는 생산성 지수와 생산성에 대한 연구개발투자 효과를 실증적으로 분석하였다. 마지막 제5절에서는 본 연구의 결과를 요약하고 앞으로의 과제를 논의하였다.

2. 이론적 고찰

생산성을 측정할 수 있는 방법은 Solow (1957)에 의해서 제시되었으며 이는 총요소생산성 측정에 있어서 기반 개념이 되었다. 그 이후에 실증분석을 위하여 Törnqvist 지수가 만들어졌으며, Solow 방법의 이산적 (discrete) 형태인 이 지수는 실증분석에서 널리 사용되어 왔다. 대표적인 형태의 총요소생산성은 식(1)과 같이 표현될 수 있다.

$$\frac{A(t+1)-A(t)}{A(t)} = \frac{Q(t+1)-Q(t)}{Q(t)} - \bar{w}_L \frac{L(t+1)-L(t)}{L(t)} - (1-\bar{w}_L) \frac{K(t+1)-K(t)}{K(t)} \quad (1)$$

위 식에서 A, Q, L, K 는 기술, 산출, 노동 그리고 자본을 나타낸다. \bar{w}_L 는 두 기간 동안 노동소득배분율의 평균을 나타내고, $[w_L(t)+w_L(t+1)]/2$ 로 표현된다. 또한 위 식에서는 노동과 자본에 가중치를 주기 위하여 수확불변 (constant returns to scale)과 완전경쟁 (competitive market)을 가정하고 있다.

그러나 위의 지수는 기본적으로 비효율적으로 생산하는 경제주체는 없다는 가정 하에서 만들어지기 때문에, 효율성 변화를 고려하지 못하고 있다. 이러한 한계점을 보완하기 위하여 생산 프론티어 (production frontier)의 개념이 도입되게 되었다.

프론티어의 개념을 이용할 경우, 가장 중요한 것은 프론티어를 어떠한 방법으로 구성할 것인가이다. 이에 대한 접근방법에는 크게 확률적 프론티어분석 (Bauer, 1990)과 자료포락분석 (Seifold and Thrall, 1990)이 있으나 본 연구에서는 비모수적 기법인 자료포락분석에 기반한 Malmquist 생산성 지수 (Caves

et al., 1982; Färe et al., 1994)를 이용하였다.

자료포락분석은 선형계획모형 (piecewise linear programming) 기법과 Farrell의 거리함수의 개념을 이용하여 효율성의 정도를 측정하는 방법 (Charnes et al., 1978)으로, 이 방법이 패널자료 (panel data)에 적용될 경우 Malmquist 생산성 지수가 도출된다. 이 지수의 특징은 생산성 변화를 기술변화와 효율성변화로 구분할 수 있다는 것이며, 또한 비모수적이기 때문에 명시적인 생산함수를 가정하지 않아도 된다는 장점을 가지고 있다. 이 접근방법은 기본적으로 자료포락분석에 기초하고 있기 때문에 통계적 추론이 어렵다는 단점을 가지고 있지만, 위에 기술한 장점 때문에 많은 분야에서 생산성 지수로 사용되고 있다¹⁾.

복수의 투입물과 산출물이 있다고 가정할 때, Färe et al. (1994)을 따르면 생산 프론티어는 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$S^t = \left\{ (x^t, y^t) : y_m^t \leq \sum_{k=1}^K z^{k,t} y_m^{k,t}, m=1, \dots, M \right. \\ \left. \sum_{k=1}^K z^{k,t} x_n^{k,t} \leq x_n^t, n=1, \dots, N \right. \\ \left. z^{k,t} \geq 0, k=1, \dots, K \right\} \quad (2)$$

x 와 y 는 투입물과 산출물을 나타내며 z 는 투입물과 산출물의 볼록결합 (convex combination)을 형성할 때 이용되는 변수이다. 이러한 선형계획문제에서 구해진 생산 프론티어를 이용하면 거리함수 D 를 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$D_o^t(x^t, y^t) = \inf \{ \theta : (x^t, y^t/\theta) \in S^t \} \quad (3)$$

위의 식에서 θ 값은 효율성 정도를 가리킨다. D 의 값은 0과 1사이의 값을 가지며, 1인 경우는 경제주체가 효율적인 생산을 하고 있다는 것을, 그리고 1보다 작은 값은 생산 프론티어 안에 존재하여 비효율적인 생산을 하고 있다는 것을 나타낸다. 이러한 거리함수의 개념을 패널자료 관점으로 확장시키면 최종적인 Malmquist 생산성 지수를 얻을 수 있다 (Caves et al., 1982; Färe et al., 1994).

$$M_o(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) \\ = \left[\frac{D_o^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_o^t(x^t, y^t)} \frac{D_o^{t+1}(x^t, y^t)}{D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right]^{1/2} \quad (4) \\ = \frac{D_o^{t+1}(x^t, y^t)}{D_o^t(x^t, y^t)} \times \left[\frac{D_o^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \frac{D_o^t(x^t, y^t)}{D_o^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{1/2}$$

식(4)의 마지막 식 중에서 대괄호 밖의 값은 효율성 변화 (efficiency change : EC)의 정도를, 그리고 괄호안의 값은 기술변화 (technological change : TC)의 정도를 나타낸다²⁾. 이 식을 이용하면 전체 생산성 변화 (MP)를 효율성 변화와 기술의 변화로 나눌 수 있게 된다. 본 연구에서는 위의 지수들을 구하기 위하여

선형계획문제를 위한 범용 프로그램을 사용하지 않고 Coelli (1996)가 자료포락분석과 Malmquist 생산성지수를 위하여 제공하고 있는 프로그램을 사용하였다.

3. 모형과 추정방법

본 연구에서는 연구개발투자와 생산성과의 관계를 나타내기 위하여 기본적인 두 가지 모형을 제시하였다. 첫째는 성장회계 (growth accounting)에서 주로 사용하고 있는 모형으로 전통적인 TFP 지수를 이용한 접근이다 (Griliches, 1992; Nadiri, 1993).

$$Y_{it} = A e^{\alpha} L_{it}^{\alpha} K_{it}^{\beta} R_{it}^{\gamma} e^{\epsilon_{it}} \quad (5)$$

식(5)에서 Y, L, K, R 은 산출물, 노동, 자본, 그리고 연구개발투자를 나타낸다. 식(5)에 로그를 취하고 시간에 대해 미분한 후 정리하면, TFP 증가와 연구개발투자의 관계를 나타내는 식(6)을 얻을 수 있다.

$$\frac{\dot{TFP}}{TFP} = \lambda + \nu \frac{\dot{R}}{R} + \epsilon_{it} \quad (6)$$

그러나 종속변수로 사용하고 있는 TFP 지수의 증가율 자체가 정확한 생산성의 변화 혹은 기술의 변화를 나타내고 있지 않기 때문에, 이를 이용한 추정치가 연구개발투자와 생산성의 관계를 정확하게 설명하고 있다고 보기 어렵다. 즉, 식(6)을 이용하여 연구개발투자와 생산성의 관계를 분석하고 해석할 경우, 잘못된 결론을 이끌어 낼 수 있다는 것이다.

이를 보완하기 위하여 본 연구에서는 TFP 지수 대신, Malmquist 생산성 지수와 그 구성요소들을 사용하여 식(7)을 추정하였다.

$$\frac{\dot{MP}}{MP} \text{ (or } \frac{\dot{TC}}{TC} \text{ or } \frac{\dot{EC}}{EC}) = \lambda + \nu \frac{\dot{R}}{R} + \epsilon_{it} \quad (7)$$

본 연구에서는 식(6)과 식(7)을 추정하기 위하여 패널자료분석 (Hsiao, 1984)을 시도하였다.

4. 사용자자료와 결과

본 연구에서는 TFP 지수와 Malmquist 생산성 지수를 측정하고 이에 대한 연구개발투자의 효과를 분석하기 위하여, 제조산업 중 조립금속, 일반기계, 전기전자 및 수송기계 등 네 개 제조산업에 대한 OECD 13개국의 자료 (1977-1990)를 사용하였다³⁾. 이 네 제조산업에서 사용하고 있는 연구개발투자는 전체 제조산업에서 지출하는 연구개발투자의 50% 이상을 차지하고 있을 뿐 아니라 일반적으로 이 산업들은 기술집약적인 분야로 생각되는 산업들이다.

산출물은 부가가치를, 노동과 자본은 고용자수와

1) Färe et al. (1995)은 대만 제조산업에 대해서 분석을 하고 있으며, 그 밖에 병원 (Burgess and Wilson, 1995), 가스 산업 (Price and Jones, 1996), 전기공급업 (Hjarmarsson and Veiderpass, 1992), 은행 (Berg et al., 1992) 등에서 효율성과 기술의 변화를 측정하기 위하여 Malmquist 생산성지수를 사용하고 있다.

2) Färe et al. (1997)에서는 생산성을 기술변화와 효율성변화로 분리하는 것이 아니라 네 가지의 구성 요소로 나누고 있지만 본 연구에서는 두 가지로 분리되는 경우를 다루고 있다.

3) 4개 제조산업

- 조립금속 (metal products)
- 일반기계 (non-electrical machinery + office & computing)
- 전기전자 (electrical machinery + radio, TV & communication),
- 수송기계 (shipping & repairing + motor vehicle + other transport equipment)

OECD 13개국

- 호주, 캐나다, 덴마크, 핀란드, 프랑스, 독일, 이탈리아, 일본, 네덜란드, 노르웨이, 스웨덴, 영국, 미국.

총고정자본을 사용하였다. 연구개발투자를 스톡으로 바꾸기 위하여, 연구개발시차는 없는 것으로 가정하고 진부화율은 Verspagen (1997)을 따라 15%로 가정하였다. 국가간 자료를 사용하기 때문에 모든 변수를 PPP (purchasing power parity) 자료를 이용하여 구매력 보정을 하였다.

4.1 TFP와 Malmquist 생산성지수

먼저 식(1)에 근거한 TFP 지수와 식(4)에 기반한 Malmquist 생산성 지수를 각 산업별로 구하고, 이를 시간과 국가에 걸쳐 평균을 구하였다 (표1).

	TFP 지수		Malmquist 생산성지수	
	TFP	MP	TC	EC
조립금속	0.04343	0.02200	0.01886	0.00352
일반기계	0.04453	0.06197	0.10747	0.08724
전기전자	0.04018	0.04700	0.04344	0.00452
수송기계	0.04805	-0.00570	-0.01786	0.01739
평균	0.04405	0.03131	0.03800	0.02817

(표1 : TFP와 Malmquist 생산성지수의 평균)

전통적인 TFP 지수에 따르면 생산성의 증가가 네 개 산업 모두 평균적으로 4%정도인 것으로 나타나고 있다. 그러나 Malmquist 생산성 지수 (MP)의 경우 -0.5%~6.1%, 기술변화 (TC)와 효율성변화 (EC)의 경우에는 증가율이 각각 -1.7%~10.7%와 0.4%~8.7%로 산업에 따라 큰 차이를 나타내고 있다. 특히 수송기계산업의 경우 생산성 증가가 TFP 지수에서는 4.8%로 나타나고 있으나 Malmquist 생산성 지수의 경우 오히려 -0.5%의 생산성 감소가 있는 것으로 나타났다.

이러한 지수들의 차이는 지수를 만드는 방법에 기인한다고 할 수 있다. TFP 지수는 그 산업 또는 그 국가 자체의 이전 값을 기준으로 분석하고 있는 반면, Malmquist 생산성지수는 가상의 기준을 만든 후 분석하고 있기 때문이다. 또한 전자와는 달리 후자의 경우, 명시적인 생산함수의 형태를 가정하고 있지 않을 뿐 아니라 완전경쟁시장에 대한 가정도 하지 않기 때문에 이러한 요인들이 지수들간 차이를 야기시킨 것으로 보인다.

그리고 Malmquist 생산성 지수의 경우, 전체 생산성 변화를 기술변화와 효율성변화로 분리할 수 있기 때문에 산업들간의 상이한 생산성변화 양상을 설명할 수 있다. 세분된 결과에 의하면, 전체 생산성과 기술변화의 증가는 일반기계, 전기전자, 수송기계산업 순으로 나타나고 있으며, 수송기계산업의 경우에는 효율성 변화 정도가 전체 생산성 변화에 많은 부분을 차지하고 있는 것으로 나타났다.

4.2 생산성지수에 대한 연구개발투자의 효과

생산성 분석을 할 때, 생산성의 변화가 어느 정도인가도 중요하지만 이러한 변화가 어떤 요인에 기인하는가를 분석하는 것 또한 중요하다. 본 연구에서는 각 지수들과 연구개발스톡 변화율의 관계를 식(6)과 식(7)을 이용하여 분석하였다 (표2-1과 표2-2)⁴).

4) 표2-1과 2-2는 종속변수의 변화에 따른 추정치의 변화를 나타내고 있다. 순서대로 TFP 지수, Malmquist 생산성 지수 (MP), Malmquist 생산성 중에서 기술변화의 정도 (TC), 그리고 Malmquist 생산성 중에서 효율성변화 (EC)를 종속변수로 사용하는 경우이다.

TFP 지수를 사용한 경우, 조립금속, 일반기계 그리고 전기전자산업에서는 생산성에 대한 연구개발투자의 영향이 작고 통계적으로도 낮은 유의성을 나타내고 있다. 반면 Malmquist 생산성 지수의 기술변화정도를 사용할 경우, TFP 지수를 이용한 분석보다 그 영향이 큰 것으로 나타났고 통계적 유의성을 나타내는 *t*값도 증가하였다. 또한 일반기계산업에서는 연구개발투자가 기술변화에 영향을 미치고 있을 뿐 아니라 효율성변화에도 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다.

또한 연구개발투자와 생산성과의 관계를 나타내는 추정치는 어떤 추정방법이나 모형을 사용하는가보다는 종속변수로 사용되는 생산성 지수를 어떻게 만드는가에 많이 영향을 받는 것으로 생각된다.

	고정효과모형			
	TFP	MP	TC	EC
조립금속	0.038 (1.013)	0.071 (1.703)	0.070 (2.454)	0.0006 (0.014)
일반기계	0.144 (1.577)	0.652 (1.173)	1.320 (1.505)	1.351 (1.290)
전기전자	0.162 (1.394)	0.413 (3.518)	0.367 (4.291)	0.052 (0.428)
수송기계	-0.011 (-0.082)	-0.308 (-2.118)	-0.101 (-0.729)	-0.185 (-1.088)

(표2-1 : 생산성에 대한 연구개발투자의 탄력성)⁵)

	확률효과모형			
	TFP	MP	TC	EC
조립금속	0.012 (0.374)	0.055 (1.445)	0.056 (2.191)	-0.515 (-0.146)
일반기계	0.105 (1.379)	0.391 (0.872)	0.981 (1.412)	1.540 (1.818)
전기전자	0.060 (0.676)	0.379 (3.519)	0.341 (4.212)	0.059 (0.642)
수송기계	-0.080 (-0.802)	-0.258 (-2.049)	-0.080 (-0.683)	-0.148 (-1.154)

(표2-2 : 생산성에 대한 연구개발투자의 탄력성)

5. 결론

본 연구에서는 네 개 제조산업에 대한 OECD 13개국 자료를 이용하여 TFP 지수와 Malmquist 생산성 지수를 측정하고 이 지수들을 이용하여 생산성에 대한 연구개발투자의 효과를 추정하였다.

Malmquist 생산성 지수는 TFP 지수와 상당한 차이를 나타내고 있으며, 산업에 따라 생산성 증 기술변화와 효율성의 변화가 다른 양상을 보이고 있는 것으로 나타났다.

또한 연구개발투자와 생산성의 관계를 알아보기 위하여 TFP 지수와 Malmquist 생산성 지수를 사용하여 비교 분석하였다. 기존의 TFP 지수는 비효율성의 존재 그리고 시장조건을 반영하지 못하는 한계점을 가지고 있다. 그렇기 때문에 연구개발투자와 생산성의 정확한 관계를 분석하기 위하여 이를 보완하는 지수가 필요하다.

본 연구에서는 TFP 지수를 대신하여, 비효율성의 존재와 시장조건에 구애받지 않는 Malmquist 생산

5) 괄호 안의 값은 *t*값을 나타낸다.

성 지수를 사용하였다. 그 결과, TFP 지수를 사용한 경우보다 Malmquist 생산성 지수를 사용하여 분석하였을 때, 연구개발투자와 생산성의 관계가 보다 크고 유의적인 것으로 나타났다. 이는 TFP 지수를 이용한 분석이 잘못된 결론을 이끌어 낼 수도 있다는 가능성에 대한 하나의 증거가 된다고 생각된다.

생산성과 연구개발투자의 관계에 대한 분석시, 모형을 얼마나 정확하게 만드는가 혹은 어떠한 추정 방법을 도입할 것인가 보다는 관련 지수를 얼마나 정확히 측정하여 사용하는가 하는 것이 더 중요하다고 할 수 있다. 그러나 실제로 이러한 지수들이 얼마나 정확하게 측정되었고 현실을 얼마나 정확하게 설명하고 있는가에 대한 검증의 문제는 연구해야 할 과제로 남아 있다.

6. 참고문헌

- Bauer, P. W. (1990), "Recent Development in the Econometric Estimation of Frontier," *Journal of Econometrics*, 46, pp.39~56.
- Berg, S. A., F. R. Førsund and E. S. Jansen (1992), "Malmquist Indices of Productivity Growth during the Deregulation of Norwegian Banking, 1980-89," *Scandinavian Journal of Economics*, 94, supplement, pp.211~228.
- Burgess, J. F. and P. W. Wilson (1995), "Decomposing Hospital Productivity Change, 1985-1988; A Nonparametric Malmquist Approach," *Journal of Productivity Analysis*, 6, pp.343~363.
- Caves, D. W., L. R. Christensen and W. E. Diewert (1982), "The Economic Theory Index Numbers and the Measurement of Input, Output, and Productivity," *Econometrica*, 50(6), pp.1393~1414.
- Charnes, A., W. W. Cooper and E. Rhodes (1978), "Measuring the Efficiency of Decision Making Units," *European Journal of Operational Research*, 2(6), pp.429~444.
- Coelli, T. (1996), "A Guide to DEAP Version 2.1," CEPA (Centre for Efficiency and Productivity Analysis) Working Paper 96/08, Department of Econometrics, University of New England, Australia.
- Färe, R., E. Grifell-Tatjé, S. Grosskopf and C. A. K. Lovell (1997), "Biased Technical Change and the Malmquist Productivity Index," *Scandinavian Journal of Economics*, 99(1), pp.119~127.
- Färe, R., S. Grosskopf, and W. Lee (1995), "Productivity in Taiwanese Manufacturing Industries," *Applied Economics*, 27, pp.259~265.
- Färe, R., S. Grosskopf, M. Norris and Z. Zhang (1994), "Productivity Growth, Technical Change, and Efficiency Change in Industrialized Countries," *American Economic Review*, 84(1), pp.66~83.
- Griliches, Z. (1992), "The Search for R&D Spillovers," *Scandinavian Journal of Economics*, 94, supplement, pp.29~47.
- Hjalmarsson, L. and A. Veiderpass (1992), "Productivity in Swedish Electricity Retail Distribution," *Scandinavian Journal of Economics*, 94, supplement, pp.193~205.
- Hsiao, C. (1986), *Analysis of Panel Data*, Cambridge University Press.
- Nadiri, I. M. (1993), "Innovations and Technological Spillovers," NBER working paper series, no.4423.
- Price, C. W. And T. W. Jones (1996), "Malmquist Indices of Productivity Change in the UK Gas Industry before and after Privatization," *Applied Economics*, 28, pp.29~39.
- Seiford, L. M. and R. M. Thrall (1990), "Recent Development in DEA: the Mathematical Programming Approach to Frontier Analysis," *Journal of Econometrics*, 46, pp.7~28.
- Solow, R. M. (1957), "Technical Change and the Aggregate Production Function," *Review of Economics and Statistics*, 39(aug), pp.312~320.
- Verspagen, B. (1997), "Estimating International Technology Spillovers Using Technology Flow Matrices," *Weltwirtschaftliches Archiv*, 133(2), pp.226~248.