제조업의 총요소생산성과 기술적효율성 결정요인분석 : 비모수적 맴퀴스트 생산성 지수에 의한 분석 An Analysis about determinants of Total Factor Productivity and Technical Efficiency in Manufacturing Industries

: Non-parametric Malmquist Approach

정경희\*·조 재 립\*\* Kyung-Hee Jung\*·Jai-Rip Cho\*\*

## Abstract

Using the Malmquist productivity index, this paper compares the productivity of Korean manufacturing industries from 1999 to 2006. The malmquist productivity index has more advantages than previous methods such as solow model, endogenous growth theory. The malmquist productivity index can be decomposed productivity into two parts. The first part is an index of the technical efficiency change. This index has high value when the elements of production is used more efficiently. The second part is an index of technical change. This index has high value if the advent of new technology and process innovation occur.

Keywords: Malmquist productivity index, technical efficiency change, technical change

## 1. 서론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

우리나라의 제조산업은 수요의 확대와 더불어 안정적으로 성장해왔다.

<sup>\*</sup> 경희대학교 산업공학과

<sup>\*\*</sup> 경희대학교 공학대학

그러나 IMF와 중국의 급성장으로 인해 기업환경의 변화속에서 재무구조가 점차 악 화되기 시작하였고 이에따라 대부분의 기업들이 경영의 효율성 및 생산성 증대를 중 요한 과제로 인식하게 되었다.

과거의 생산성 향상이란 물적 생산요소인 토지, 노동, 자본의 투입을 증가시키는 것 으로, 요소 투입을 늘리면 산업의 성장이 자동적으로 이루어지는 것으로 생각해왔다. 이에 따라 기업들은 인력을 늘리고 공장을 증설하며 값비싼 고가 장비를 투입해 왔 으나, IMF 경제위기를 겪으면서 토지, 노동, 자본 등의 요소를 확대한다고 해서 산업 의 성장이 바로 이루어지지는 않는다는 반성이 제기되었다. 오히려 요소투입 방식은 기업의 지출구조 중 인건비와 재료비를 상승시켜, 고비용 저효율 구조를 야기하였을 뿐만 아니라 과도한 투자로 이자비용 등이 증가하면서 과잉투자 논란이 제기되었고, 기업의 부채 및 도산이 현안과제로 대두되고 있다.

생산단위조직의 성과를 이야기를 할 때, 그것이 효율적인지 또는 생산적인지를 검토 하는 것은 일상적인 일이다. 일반적으로 생산단위조직의 효율이란, 그것의 최적 산출 량에 대한 실제 산출량의 비율을 의미한다. 이러한 비율은 주어진 투입량으로 달성할 수 있는 최대잠재산출에 대한 실제 산출량의 비율 또는 주어진 산출량을 생산하는데 필요한 실제 투입량에 대한 최소잠재투입의 비율로 측정할 수 있다(Lovell, 1993).

생산단위조직의 생산성이란, 그것의 투입에 대한 산출의 비율을 의미한다. 효율성 분석이 특정 시점의 최적 산출에 대한 실제 산출의 비율에 초점을 두는 반면에, 생산 성 분석은 특정 구간의 투입과 산출의 관계 변화, 즉 생산성변화에 초점을 둔다.

생산성은 생산기술의 차이, 생산과정의 효율 차이, 생산이 일어나는 환경의 차이 등 에 따라 다르다(Lovell, 1993). 따라서 생산성 분석의 주요 관건은 그것의 변화요인이 무엇인지를 밝히는 것이다. 생산성의 변화요인은 크게 생산시스템의 효율변화와 기술 변화라는 두 가지로 구성되어 있고, 요인별로 성장의 기여도 또한 다르다. 따라서 생 산성을 분석할 때는 변화요인이 생산시스템의 효율개선에 기인한 것인지 또는 기술혁 신에 기인한 것인지를 밝히고 난 후, 이를 제고하기 위한 정책을 수립해야 한다.

경제성장의 주요 원천이 생산성의 증가라는 사실을 지각하게 되면서 생산성에 관심 을 기울이기 시작했다.

전통적으로 총요소생산성은 생산함수를 이용하여 분석해왔다. 생산함수란 주어진 시 간 동안 사용한 여러 가지 생산요소의 투입량과 이를 통해 그 기간 동안 생산할 수 있는 최대 산출량과의 관계를 나타내는 함수를 의미한다. 즉, 생산함수는 기술적으로 가능한 모든 투입과 산출의 관계를 나타내는 것이 아니라, 효율적인 투입과 산출의 관 계를 의미한다. 이와 같이 생산함수는 생산시스템이 최적 상태에서 운영된다는 것을 가정하기 때문에 비효율성의 존재를 무시한다.

최근까지 생산성 분석에 관한 많은 연구들은 생산성변화에 있어 생산시스템의 효율 변화를 무시해왔다. 전통적인 성장회계모형에서는 총요소생산성의 증가율을 산출의 증 가율과 가중평균한 투입의 증가율간의 차이로 정의한다. 즉, 총요소생산성과 기술변화 또는 기술진보를 동일한 개념으로 간주하였다. 그러나 생산시스템에 비효율성이 존재 하고, 그것이 시간이 지남에 따라 변한다면, 기술변화의 추정치는 가능성이 있다 (Grosskopf, 1993). 반면에 Malmquist 총생산성지수와 같은 경계모형에서는 생산성의 증가를 경계로서 이동과 경계 자체의 이동으로 분리한다. 즉, 생산성의 변화요인을 효율과 기술로 분리한다. 성장회계모형은 생산성 증가의 원인이 투입요소에 있다고 하지만 경계로서 이동과 경계 자체의 이동을 구분하지 못한다(Raa, 2002).

본 연구의 목적은 효율성 관련 정보를 이용하여 국내 제조업계의 상대적 효율성을 분석하고 그 원인을 파악하는데 초점을 가지고 있으며, 이를 기반으로 총요소생산성을 측정하는 방법으로 널리 이용되고 있는 Malmquist 총생산성지수를 이용하여 생산성 변화의 추이와 변화에 기인한 요인을 살펴보는 것을 목적으로 하겠다.

## 1.2 연구의 방법

본 논문에서 관심의 대상이 되는 효율성의 개념은, 산출물을 생산하는데 투입되는 요소의 투입량에 대한 산출량의 비율로 측정되는 것으로서 상품 생산과정에서 투입되는 모든 생산요소의 물리적 양과 관련된 개념을 말한다. 따라서 효율성을 측정하기 위해 DEA를 이용하였고, 이는 최근 미국, 유럽 등에서 금융기관의 기술적 효율성과 생산성변화에 대한 분석방법론에 있어서 연구의 관심사가 되고 있으며 다른 효율성측정방법이 갖는 한계성을 초월하여 사용할 수 있는 비모수적인 방법으로 효율성 측정에 있어서 편리하다는 장점 때문에 많이 이용되고 있다.

비모수적 측정방법인 Data Envelope Analysis(자료포락분석)는 변수의 선택에 있어서 다수의 투입, 산출변수를 이용하여 조직의 상대적인 효율성을 측정하는 기법으로, 투입이나 산출변수의 값을 정확히 파악하기 어려운 공공기관이나 서비스 부문의 효율성 측정에 많이 이용된다.

본 연구의 범위는 1999~2006년까지의 국내 제조업의 데이터를 이용하여 제조업의 전체 효율성의 변화와 전체 효율성을 분해하여 세부적 효율성 변화 측정, 분석하고 Malmquist 총생산성지수를 통한 동태적 분석을 실시한다.

# 2. 이론적 배경

### 2.1 효율성과 생산성

생산단위 조직의 성과를 논할 때, 그것이 효율적인지 또는 생산적인지를 언급하는 것은 일상적인 일이다. 일반적으로 생산단위조직의 효율이란, 그것의 최적 산출에 대한 실제 산출의 비율을 의미하는데, 이러한 비율은 주어진 투입으로 달성할 수 있는 최대잠재산출에 대한 실제 산출의 비율 또는 주어진 산출을 생산하는데 필요한 실제투입에 대한 최소잠재투입의 비율과 같은 형태로 주어진다(Lovell, 1993).

생산단위조직의 생산성이란 그것의 투입에 대한 산출의 비율을 의미한다. 생산단위 조직이 한 가지의 산출을 생산하기 위해 한 가지의 투입을 사용하는 경우에는 이러한 비율을 계산하기가 쉽지만, 대부분의 경우에 투입과 산출의 종류가 각각 복수로 존재 하기 때문에 계산이 간단하지 않다. 따라서 투입과 산출을 각각 적절한 방식으로 집계 해야만 한다.

전후 경제성장과 생산성에 대한 관심이 높아지면서, 이러한 이슈와 관련하여 거시 수준에서 가장 영향력 있는 Solow(1957)의 논문이 발표되었다. 동시에 Farrell(1957)은 '효율성과 생산성을 어떻게 정의할 수 있을까라는 문제'와 '기준 기술과 효율성 측정 치를 어떻게 계산할 수 있을까'라는 문제에 대한 새로운 통찰을 포함한 미시 수준에 서의 효율성과 생산성 분석에 대한 새로운 접근을 시도하였다. 근본적인 가정은 비효 율적인 운영의 존재가능성이었는데, 이는 곧바로 기준으로서 경계생산함수의 개념을 도출하였다. 이것은 생산함수에 관한 계량경제학적 문헌의 대부분이 밑바탕으로 하는 평균성과의 개념과 대조되는 것이었다(Forsund, 2002).

### (1) 효율성의 개념

Koopmans(1951)은 기술효율성에 대해 '특정 산출의 증가가 다른 산출의 감소나 투 입요소의 증가를 요구하거나 또는 투입요소의 감소가 다른 투입요소의 증가나 산출의 감소를 요구한다면, 이 생산자는 기술적으로 비율적이다. 따라서 기술적으로 효율적인 생산자는 보다 적은 투입량을 사용하여 동일한 산출량을 생산할 수 있고 또는 보다 많은 산출량을 생산하기 위해 동일한 투입량을 사용할 수 있다'(Lovell, 1993).

Debreu(1951)와 Farrell(1957)은 일정한 산출 수준을 계속해서 생산할 수 있는 가능 한 범위 내에서 투입의 최대등비례감소를 '1'에서 뺀 것으로 기술효율성을 정의하였다. 그 값이 1이면 투입량의 감소가 불가능하기 때문에 기술적으로 효율적이라는 것을 의미하고, 그 값이 1보다 작으면 투입량의 감소가 가능하기 때문에 기술적으로 비효율 적이라는 것을 의미한다.

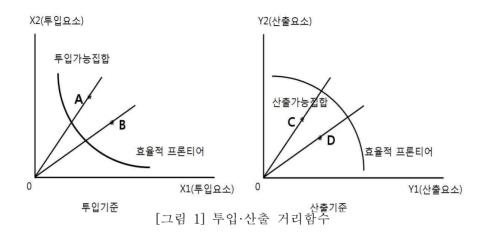
Farrell(1957)은 기업의 효율성을 기업이 주어진 투입으로 최대의 산출을 낼 수 있는 능력을 나타내는 기술효율성과 기업이 투입요소를 각각의 가격하에서 최적의 비율로 이용할 수 있는 능력을 나타내는 배분효율성으로 구성된다고 제안하였고. 이 두 가지 효율성을 곱한 것을 전체기술효율성이라고 하였다.

#### (2) 효율의 측정

Farrell(1957)은 Koopmans(1951)의 영향을 받아 효율성 측정과 관련하여 어느 기업 이나 비효율성이 존재하므로 기업(생산가능집합의 하나 원소)의 효율성을 그 기업이 효율적 집합에서 떨어져있는 거리(distance)로 측정할 수 있다고 보고 거리개념을 기 초로 효율성 측정방법을 제시하였다.

그의 효율성 측정도구는 기업이 생산가능집합의 프론티어로부터 떨어져 있는 거리 를 효율성의 정도로 개념화한 것이며 이러한 의미에서 그의 효율성 측정 방식을 효율 성 프론티어 접근법(frontierapproach)이라고 한다.

Farrell의 효율성 개념을 [그림 1]을 통해 살펴보려고 한다.



[그림 1]에서 투입기준을 보면 현재 투입가능집합의 내부에 존재하고 있는 두개의투입 벡터 A, B는 투입가능집합을 벗어나지 않는 범위 내에서 원점 방향으로 감소를 시켜도 똑같은 양의 산출요소를 생산할 수 있다. 이 때 감소된 투입량 수준이 투입가능집합에 속하면서 최소량이 되기 위해서는 효율적인 투입 프론티어에 존재해야 한다. 따라서 투입기준 효율성 측정값 즉 효율적 프론티어에 도달하기 위해 감소시켜야 하는 비율은 투입의 과도함으로 인해 발생되는 비효율성을 나타내게 된다. 그리고 이러한 비효율적 DMU가 효율적 DMU가되기 위해서는 원점에서 시작하여 효율적 프론티어까지 도달하는 직선거리를 추정 할 필요가 있는데, 이러한 직선거리를 추정하기위한 거리함수의 결정방식은 원점에서부터 시작하는 직선거리에 기초하기 때문에 본질적으로 생산함수는 규모의 수익불변(constant return to scale: CRS)을 가정하게 된다.

이처럼 효율성을 원점에서 시작하는 직선거리에 의해 결정하는 방법은 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

첫째, 특정 투입·산출구조를 갖는 단위를 비슷한 구조를 갖는 단위와 비교가 용이하다. 둘째, 측정단위가 상이한 다수의 투입요소와 산출요소가 존재하는 경우라도 단위의 전환을 위한 가중치의 적용이 필요 없으며 실물단위만을 이용하여 측정할 수 있다.

셋째, 비효율적인 DMU를 판별 하기위해서 효율적인 DMU들과의 비교만으로 효율 성여부를 알 수 있다.

### (3) 생산성의 개념

효율성이 특정 시점의 최적 산출과 실제 산출 또는 최적 투입과 실제 투입의 비율에 초점을 두는 반면에, 생산성은 특정구간의 투입과 산출의 관계 변화, 즉 생산성변화에 초점을 둔다. 생산성은 생산기술의 차이, 생산과정의 효율성의 차이, 생산이 일어나는 환경의 차이에 따라 다르다(Lovell, 1993). 따라서 생산성 분석의 주요 관건은 그것의 차이가 이러한 요인에 의한 것인지, 그 외의 요인에 의한 것인지를 밝히는 것이다.

생산요소가 다양한 만큼 생산성에 관한 지표 또한 다양하다. 그 중에서도 가장 널리 이용되는 지표로서 개별요소생산성과 총요소생산성을 들 수 있다. '평균생산'이라고도 불리는 개별요소생산성은 특정 투입에 대한 산출의 비율로서 정의할 수 있다. 가장 널 리 이용되는 개별요소생산성 지표로는 노동생산성을 들 수 있다. 투입요소를  $x_i$ , 산출 을 Y라고 하면, 투입 x의 개별요소생산성 AP는 (식 1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$AP_i = \frac{Y}{x_i} \qquad (식 1)$$

총요소생산성은 개별요소생산성을 일반화시킨 것으로, 모든 투입요소의 평균생산에 대한 산출의 비율로서 (식 2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$TFP = \frac{Y}{X} = \frac{Y}{\sum a_i x_i} \quad (2)$$

여기서,  $a_i$ 는 투입  $x_i$ 의 가중치

총요소생산성을 측정하기 위한 방법에는 지수법, 프로그래밍법, 계량경제학적 추정 등이 있다(Sudit, 1995).

#### (4) 생산성의 측정

총요소생산성을 측정하기 위해 실증연구에서 가장 널리 사용되는 모형으로는 산술 지수를 이용한 Kendrick 모형과 기하지수를 이용한 Solow 모형을 들 수 있다.

Kendrick 모형은 총요소투입에 대한 산출의 비율로 총요소생산성을 측정하며, 가중 치로서 노동소득분배율과 자본소득분배율을 사용하기 때문에, 특별한 생산함수를 사용 할 필요가 없다. Solow 모형은 네 가지 기본가정과 Cobb Douglas 생산함수를 사용하 기 때문에 자칫 현실을 잘 반영하지 못할 위험성이 있는 반면, 성장과정에 대한 검증 이 가능하며, 성장요인을 추출해 내고 그 요인의 성장에 대한 기여도를 측정함 수 있 다는 장점이 있다(홍순기, 19991).

일반적으로 총요소생산성의 변화는 시간에 따른 생산성의 변화를 의미한다. t기의 생산기술  $S^t$ 가 투입요소  $x^t \in R_+^N$ 를 이용하여 동일한 품질의 산출  $y^t \in R_+^M$ 를 생산한다고 가정하자.

 $S^t = (x^t, y^t) : x^t 는 y^t 를 생산한다$  (식 3)

집합 S'는 t기의 모든 가능한 투입·산출의 쌍을 나타내는 것으로, 생산가능집합을 의미 한다. 만일 비체화된 Hicks형 중립적 기술변화를 가정한다면, t기는 생산함수는 (식 4) 와 같이 나타낼 수 있다.

$$y^t = A(t)f(x^t) \qquad (4)$$

A(t)는 시간의 경과와 더불어 나타나는 생산함수의 이동, 즉 기술변화를 나타낸다. t기의 총요소생산성을 t기에 사용된 모든 투입과 t기에 생산된 산출의 비율로서 정의하 면 (식 5)와 같이 나타낼 수 있다. 즉, 총요소생산성은 가중평균생산성의 측정치이다.

$$TFP(t) = \frac{y^t}{f(x^t)} = A(t) \qquad (2) \quad 5)$$

총요소생산성의 변화를 t기와 t+1기의 총요소생산성의 변화로서 정의하면 (식 6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{TFP(t+1)}{TFP(t)} = \frac{y^{t+1}/f(x^{t+1})}{y^t/f(x^t)}$$

$$= \frac{y^{t+1}/y^t}{f(x^{t+1})/f(x^t)}$$

$$= \frac{A(t+1)}{A(t)}$$

# 2.2 Malmquist 생산성지수

Malmquist 생산성지수(MPI)는 패널(panel)자료에 기초하여 기술효율성의 상대적 비율을 통한 거리함수를 이용하여 기간별 생산성의 변화를 측정하는 모형으로 DMU의 생산성 변화를 비교하여 기술효율성 변화(technical efficiency change)와 기술 변화(technical change)로 구분하여 생산성 변화의 정도를 측정하고 생산성 증감원인을 지수형태로 규명하려는 방법이다.

여기서 기술효율성 변화는 각 DMU가 효율적 프론티어에 접근하려는 기술효율성의 개선으로 인한 생산성 증감분이고, 기술변화는 시간의 변화에 따른 기술개선에 의한효율적 프론티어 자체의 변화로 인한 생산성 증감분을 말한다.

이러한 MPI는 Farrell(1957)의 프론티어 개념에 의거하고 있으며 수학적 프로그래밍 방법론을 이용하기 때문에 계량 경제학적인 방법론 사용시 발생할 수 있는 자유도 문 제에 종속되지 않으며, 생산성 변화를 여러 요소로 분해하여 측정하는데 적합하다.

MPI는 맘퀴스트(malmquist)에 의해 개발된 물량지수를 이용한 것으로 Caves, Christensen and Diewert(1982) 및 Nishimizu와 Page(1982)에 의하여 소개된 이후, Fare, Grosskopf and Lovell(1985)등이 비모수적 프론티어에 대해 MPI를 사용할 수 있도록 이론적으로 정립하였고, Fare, Grosskopf, Norris and Zhang(1994)과 Fare, Grosskopf and Lovell(1994), Fare, Grosskopf, Lindgren and Roos(1995)등은 어느 한기간을 기준하여 생산성 변화를 측정하는 것은 자의성이 있으므로, 두 기간을 기준으로 산출한 생산성 변화의 값을 기하평균하여 사용할 것을 제시하였고, 또한 MPI를 기술효율성 변화와 기술 변화로 분해하여 제시하면서 기술효율성 변화를 순수 기술효율성 변화와 규모의 효율성 변화로 세분하여 제시하였다.

MPI측정결과 이 값이 1보다 크면 생산성의 증가를 1보다 작으면 생산성 감소를 나타내며 1일 경우 생산성의 변화가 없었음을 나타낸다.

이제 MPI의 측정에 대해 살펴보자.

Caves et al.(1982)은 t기 기술수준으로 t기와 t+1기의 기술효율성 변화로부터 생산성 변화를 측정하기 위해서 불변규모수익(CRS)가정아래 거리함수의 비율을 이용하여 Malmquist 생산성지수를 제시하였는데 Cave et al.(1982)의 MPI는 다음식과 같다.

$$M_i^t = \frac{D_c^t(X^{t+1},\,Y^{t+1})}{D_c^t(X^t,\,Y^t)} \quad M_i^{t+1} = \frac{D_c^{t+1}(X^{t+1},\,Y^{t+1})}{D_c^{t+1}(X^t,\,Y^t)} \tag{$\triangle$ 7}$$

여기서  $D'_{\epsilon}(X^{t},Y^{t})$ 는 CRS기준 t기 생산기술 수준에서 t기의 투입・산출 요소의 조합

에 대한 거리함수 즉 t기의 생산기술 기준 t기의 기술효율성이며,  $D_c^t(X^{t+1},Y^{t+1})$ 는 t기의 생산기술 수준에서 t+1기의 투입·산출요소의 조합에 대한 거리함수 즉 t기 생산기술 기준 t+1기의 기술효율성을 나타낸다. 그리고  $D_c^{t+1}(X^t,Y^t)$ 은 t+1기 생산기술 수준에서 t 기의 투입·산출요소의 조합에 대한 거리함수 즉 t+1기 생산기술 기준 t기의 기술효율성이며,  $D_c^{t+1}(X^{t+1},Y^{t+1})$ 는 t+1기의 생산기술 수준에서 t+1기의 투입·산출요소의 조합에 대한 거리함수 즉 t+1기 생산기술 기준 t+1기의 기술효율성을 나타낸다.

M'는 t기의 생산기술을 기준으로 하여 t기와 t+1기의 기술효율성 비율을 측정한 생산성 변화지수이며,  $M'^{+1}$ 는 t+1기의 생산기술을 기준으로 t기와 t+1기의 기술효율성 비율을 측정한 생산성 변화지수로 양자 간에 기술상의 개선 또는 하락이 발생하는 경우 M'와  $M'^{+1}$ 은 일치하지 않게 된다. 따라서 Malmquist 생산성지수는 어떤 기간을 기준으로 하는가에 따라 상이한 값을 갖게 되므로 이러한 자의성을 배제하기 위해 Fare et al.(1994)등은 Malmquist생산성지수를 t기 기준 기술효율성 변화와 t+1기 기준 기술효율성 변화를 기하평균 하여 다음식과 같이 제시하였다.

$$M_i^{t,t+1} = [\frac{D_c^t(X^{t+1},\,Y^{t+1})}{D_c^t(X^t,\,Y^t)} \bullet \frac{D_c^{t+1}(X^{t+1},\,Y^{t+1})}{D_c^{t+1}(X^t,\,Y^t)}]^{\frac{1}{2}} \quad (\triangle \mid 8)$$

여기서 M'의 subscript i(input)는 투입지향을 나타낸다.

그리고 이 기하평균 Malmquist 생산성 변화지수를 (식 8)과 같이 기술효율성 변화 (technical efficiency change)와 기술 변화(technical change)로 분해하여 제시 하였는데, 생산성 변화와 관련 t기에서 생산구조( $X^t$ ,  $Y^t$ )가 t+1기에서의 생산구조( $X^{t+1}$ ,  $Y^{t+1}$ )로 변동된 경우 t기의 효율적 프론티어인  $CRS^t$  프론티어에 접근하기 위한 노력 즉 효율성 개선도 있었겠지만 또한 t기의 효율적 프론티어가 t+1기의 효율적 프론티어로 이동하여 새로운 프론티어  $CRS^{t+1}$ 을 구성하는데 기여한 기술개선도 반영되어 있다는 것이다.

여기서 기술효율성 변화는 효율적 프론티어에 접근정도에 따라 발생하는 것이고 이는 기술변화는 없지만 기술을 활용하는 방법의 개선에 의해 발생한다. 그리고 기술변화는 효율적 프론티어의 이동으로 신기술 개발에 의한 기술수준 변화에 의해 발생하는 것이다.

$$M_{l}^{t+t+1} = \frac{D_{c}^{t+1}(X^{t+1},Y^{t+1})}{D_{c}^{t}(X^{t},Y^{t})} [\frac{D_{c}^{t}(X^{t+1},Y^{t+1})}{D_{c}^{t+1}(X^{t+1},Y^{t+1})} \cdot \frac{D_{c}^{t}(X^{t},Y^{t})}{D_{c}^{t+1}(X^{t},Y^{t})}]^{\frac{1}{2}} \quad \left( \begin{array}{c} \triangle \end{array} \right] \quad 9)$$

위 (식 9)에서 괄호 밖의 식  $\frac{D_c^{l+1}(X^{l+1},Y^{l+1})}{D_c^l(X^l,Y^l)}$ 는 기술효율성 변화를 나타내는데, 이는 t기와 t+1기 사이의 상대적 기술효율성 변화를 측정하는 것으로 특정 DMU의 t기와 t+1기에 효율적 프론티어에서 떨어진 거리를 비교하여 t+1기에 떨어진 거리가 t기보다 작으면 t+1기의 생산이 t기보다 기술 효율적 측면에서 효율적으로 생산되고 있음을 나타낸다. 즉 효율적 프론티어에 어느 정도 근접해 가는가를 측정하는 것이다.

괄호안의 식  $\left[\frac{D_c^l(X^{l+1},Y^{l+1})}{D_c^{l+1}(X^{l+1},Y^{l+1})}\cdot\frac{D_c^l(X^l,Y^l)}{D_c^{l+1}(X^l,Y^l)}\right]^{\frac{1}{2}}$ 는 기술 변화를 나타내는데, 이는 t기와 t+1기간의 생산기술 수준의 변화(즉 프론티어 변화)정도를 측정하는 것으로, 대상 DMU의 관

측기간을 고정시키고 두 기간 간 기술수준의 효율적 프론티어 변화를 기하평균으로 추정하는 것으로 기술혁신에 의한 효율적 프런티어의 변화를 측정하는 것이다. 즉 기 술 프론티어의 이동을 측정한 기술변화 지수를 나타낸다.

또한 Fare et al.(1994)등은 기술효율성 변화를 순수기술효율성 변화(puretechnical efficiency change)와 규모효율성 변화(scale efficiency change), 응집도변화(congestion change)로 분해하여 제시하였는데, 응집도 변화는 실증분석결과 대부분의 경우 1에 근접한다는 기존 연구결과에 의해 본 연구에서는 제외하였다.

그리고 순수기술효율성 변화는 불변규모수익(CRS)을 가정하여 산출한 기술효율성 변화측정 식에서 불변규모수익(CRS)을 가변규모수익(VRS)로 전환하여 식  $\frac{D_v^{t+1}(X^{t+1},\,Y^{t+1})}{D_v^t(X^t,\,Y^t)}$ 로 측정 할 수 있으며, 규모의 효율성 변화(scale efficiency change)는  $\frac{7)$ 술효율성변화지수 순수기술효율성변화지수  $\frac{D_v^{t+1}(X^{t+1},\,Y^{t+1})}{D_v^t(X^t,\,Y^t)}$ 기율로 측정할 수 있다. 즉  $\frac{D_v^{t+1}(X^{t+1},\,Y^{t+1})}{D_v^t(X^t,\,Y^t)}$ 기원 로 구할 수 있다.

## 3. 실증분석

## 3.1 자료

실증분석에서는 한국의 제조업을 9개 부문으로 나누어 기술효율과 규모효율을 측정하고 Malmquist 생산성지수 분해를 통하여 성장과 변화요인을 계측해 보려고 한다.

본 연구에 사용한 자료는 한국 제조업의 7개년간 동안(1999~2006년)의 균형 패널자료를 사용하였다.

실증분석에서 사용된 변수는 투입변수로는 사업체수, 월평균 종사자수, 급여액, 출하액와 산출변수로는 주요생산비, 부가가치, 유형자산 연말잔액으로 설정하였다.

본 연구에서는 산업간 이질성을 고려하여 한국표준산업분류의 중분류에 의해 다음과 같은 9개의 산업으로 표본을 분류하였다. MI1(제조업), MI2(음식료품 제조업), MI3(섬유, 의복, 가죽제품 제조업), MI4(종이 및 종이제품 제조업, 인쇄 및 출판업), MI5(화합물, 석유, 석탄, 고무 및 플라스틱 제조업), MI6(비금속광물 제품 제조업), MI7(제1차 금속산업), MI8(조립금속제품, 기계 및 장비), MI9(컴퓨터, 사무용, 전자부품, 의료 장비제조업), MI10(운송관련 제조업)으로 구분하였다.

# 3.2 추정결과

## (1) Malmquist 생산성지수

<표 1>은 MPI는 두 기간 동안의 Malmquist 생산성 지수의 변화를 나타낸다. MPI는 전기대비 비율로 표현하였기 때문에, 이 숫자가 1보다 크면(작으면, 같으면) 생산성이 전기에 비해 향상(악화, 불변)되었음을 의미한다. 또한 기간별 및 산업별 평균은 기

하평균을 이용하였으므로 표에 나타난 수치에서 1을 빼면, 해당기간 동안 총요소생산 성의 연평균 변화율을 나타낸다.

<표 1> 산업별 및 연도별 생산성지수(MPI): 기술 변화(TCI)와 기술적 효율성 변화(TECI)

		MI1	MI2	MI3	MI4	MI5	MI6	MI7	MI8	MI9	MI10
00/01	MPI	1.1728	1.0074	1.0008	1.0782	1.1451	1.0416	1.0524	1.1482	1.0417	1.0869
	TCI	1.1308	1.0074	1.0531	1.0592	1.1451	0.9864	1.0524	1.0903	1.0417	1.0869
	TECI	1.0371	1.0000	0.9503	1.0179	1.0000	1.0560	1.0000	1.0531	1.0000	1.0000
01/02	MPI	1.0383	0.9815	1.0600	0.9725	0.9739	1.0687	0.9864	0.9928	0.9524	1.1045
	TCI	1.0246	0.9815	1.0073	0.9459	0.9739	0.9909	0.9864	1.0160	0.9524	1.1045
	TECI	1.0134	1.0000	1.0523	1.0281	1.0000	1.0785	1.0000	0.9772	1.0000	1.0000
02/03	MPI	1.0927	1.0249	1.1171	1.1431	1.0019	1.0076	1.0303	1.1074	1.0993	1.0767
	TCI	1.1082	1.0249	1.1171	1.0951	1.0019	1.0292	1.0303	1.1239	1.0993	1.0767
	TECI	0.9860	1.0000	1.0000	1.0438	1.0000	0.9790	1.0000	0.9853	1.0000	1.0000
03/04	MPI	1.0571	0.9817	1.0603	1.0026	1.0564	1.0248	1.0926	1.0838	1.0427	1.0135
	TCI	1.0639	0.9817	1.0603	1.0459	1.0564	1.0353	1.0926	1.0666	1.0427	1.0135
	TECI	0.9936	1.0000	1.0000	0.9586	1.0000	0.9899	1.0000	1.0161	1.0000	1.0000
04/05	MPI	1.1496	1.1079	1.0065	1.0432	1.2455	1.0178	1.2168	1.1523	1.1427	1.1281
	TCI	1.1021	1.1079	1.1284	1.1925	1.2455	1.1933	1.2168	1.1118	1.1427	1.1281
	TECI	1.0431	1.0000	0.8920	0.8748	1.0000	0.8529	1.0000	1.0364	1.0000	1.0000
05/06	MPI	0.9880	0.9120	1.0388	0.9631	1.1084	0.9404	1.0210	1.0100	0.8532	1.0497
	TCI	0.9724	0.9120	0.9304	0.8384	1.1084	0.9276	1.0210	1.0100	0.8532	1.0497
	TECI	1.0160	1.0160	1.0160	1.0160	1.0160	1.0160	1.0160	1.0160	1.0160	1.0160
99/06	MPI	1.0812	1.0009	1.0465	1.0319	1.0848	1.0160	1.0641	1.0806	1.0173	1.0759
	TCI	1.0656	1.0009	1.0472	1.0232	1.0848	1.0240	1.0641	1.0689	1.0173	1.0759
	TECI	1.0147	1.0000	0.9993	1.0085	1.0000	0.9922	1.0000	1.0110	1.0000	1.0000

국내 제조업의 총요소생산성은 표본기간(99~06) 동안 연평균 4.95% 성장한 것으 로 추정되었다. 산업별로는 MI5(화합물, 석유, 석탄, 고무 및 플라스틱 제조업), MI8 (조립금속제품, 기계 및 장비) 산업이 각각 8.4%, 8.1%로 가장 높게, MI2(음식료품 제조업), MI6(비금속광물 제품 제조업) 산업이 0.1%, 1.6%로 가장 낮게 계측되었으 며, 나머지 산업은 1.7%~7.6% 사이에 분포하여, 산업별로 차이는 있으나 표본기간 동안 생산성은 모든 산업에서 향상되었다.

### (2) 기술 변화지수와 기술적 효율성 변화지수

인접한 두 기간 동안 Malmquist 생산성지수(MPI)는 생산변경의 이동을 나타내는 기 술 변화지수(TCI)와 생산변경으로의 이동을 나타내는 기술적 효율성 변화지수(TECI)의 곱으로 표현된다. <표 1>은 기술 변화지수(TCI)와 기술적 효율성 변화지수(TECI)도 전기대비 비율로 표현하였기 때문에, 이 숫자가 1보다 크면(작으면, 같으면) 기술 변화 와 기술적 효율성이 전기에 비해 향상(악화, 불변)되었음을 의미한다. 또한 기간별 및 산업별 평균은 기하평균을 이용하였으므로 표에 나타난 수치에서 1을 빼면, 해당기간 동안 기술 변화와 효율성 변화의 연평균 변화율을 나타낸다.

먼저 기술 변화지수(TCI)를 살펴보면, 국내 제조업의 표본기간(99~06) 동안 연평균기술 변화는 4.68%로 나타났다. 산업별로는 MI2(0.01%), MI3(4.7%), MI4(2.3%), MI5(8.5%), MI6(2.4%), MI7(6.4%), MI8(6.9%), MI9(1.7%), MI10(7.6%)로 계측되어, 산업별로 정도의 차이는 있으나 모든 산업에서 표본기간 동안 기술 수준이 향상되었다.

기술적 효율성 변화지수(TECI)를 살펴보면, 연평균 변화율은 0.25%로 대체로 안정적이었다. 산업별로는 MI2(0.00%), MI3(-0.07%), MI4(0.85%), MI5(0.00%), MI6(-0.78%), MI7(0.00%), MI8(1.1%), MI9(0.00%), MI10(0.00%)로 계측되어, 산업별로 정도의 차이는 있으나 모든 산업에서 표본기간 동안 개선되었다.

<표 2> 산업별 및 연도별 기술적 효율성 변화지수(TECI): 순수효율성 변화지수(PECI)와 규모효율성 변화지수(SECI)

		MI1	MI2	MI3	MI4	MI5	MI6	MI7	MI8	MI9	MI10
00/01	TECI	1.0371	1.0000	0.9503	1.0179	1.0000	1.0560	1.0000	1.0531	1.0000	1.0000
	PECI	1.0000	1.0000	0.9628	0.9724	1.0000	1.0000	1.0000	1.0544	1.0000	1.0000
	SECI	1.0371	1.0000	0.9870	1.0468	1.0000	1.0560	1.0000	0.9987	1.0000	1.0000
01/02	TECI	1.0134	1.0000	1.0523	1.0281	1.0000	1.0785	1.0000	0.9772	1.0000	1.0000
	PECI	1.0000	1.0000	1.0386	0.9862	1.0000	1.0000	1.0000	0.9890	1.0000	1.0000
	SECI	1.0134	1.0000	1.0132	1.0425	1.0000	1.0785	1.0000	0.9880	1.0000	1.0000
02/03	TECI	0.9860	1.0000	1.0000	1.0438	1.0000	0.9790	1.0000	0.9853	1.0000	1.0000
	PECI	1.0000	1.0000	1.0000	1.0043	1.0000	1.0000	1.0000	0.9691	1.0000	1.0000
	SECI	0.9860	1.0000	1.0000	1.0393	1.0000	0.9790	1.0000	1.0167	1.0000	1.0000
03/04	TECI	0.9936	1.0000	1.0000	0.9586	1.0000	0.9899	1.0000	1.0161	1.0000	1.0000
	PECI	1.0000	1.0000	1.0000	0.9820	1.0000	1.0000	1.0000	1.0317	1.0000	1.0000
	SECI	0.9936	1.0000	1.0000	0.9761	1.0000	0.9899	1.0000	0.9849	1.0000	1.0000
04/05	TECI	1.0431	1.0000	0.8920	0.8748	1.0000	0.8529	1.0000	1.0364	1.0000	1.0000
	PECI	1.0000	1.0000	1.0000	1.0199	1.0000	1.0000	1.0000	1.0195	1.0000	1.0000
	SECI	1.0431	1.0000	0.8920	0.8577	1.0000	0.8529	1.0000	1.0166	1.0000	1.0000
05/06	TECI	1.0160	1.0160	1.0160	1.0160	1.0160	1.0160	1.0160	1.0160	1.0160	1.0160
	PECI	1.0000	1.0000	1.0000	0.9665	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	SECI	1.0160	1.0000	1.1165	1.1885	1.0000	1.0138	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
99/06	TECI	1.0147	1.0000	0.9993	1.0085	1.0000	0.9922	1.0000	1.0110	1.0000	1.0000
	PECI	1.0000	1.0000	1.0000	0.9884	1.0000	1.0000	1.0000	1.0102	1.0000	1.0000
	SECI	1.0147	1.0000	0.9993	1.0204	1.0000	0.9922	1.0000	1.0007	1.0000	1.0000

한편 기술적 효율성 변화지수(TECI)는 순수효율성 변화지수(PECI)와 규모효율성 변화지수(SECI)로 구성되는 데, <표 2>는 이 지수들을 산업별 연도별로 나타내고 있다. <표 2>에서도 효율성의 변화를 진기대비 비율로 표현하였기 때문에, 이 숫자가 1보다 크면(작으면, 같으면) 효율성이 전기에 비해 향상(악화, 불변)되었음을 의미한다. 또한 기간별 및 산업별 평균은 기하평균을 이용하였으므로 표에 나타난 수치에서 1을 빼면, 해당기간 동안 효율성의 연평균 변화율을 나타낸다.

표본기간 동안 순수효율성 변화지수는 연평균 -0.02%로 계측되었다. 산업별로는 MI2 (0.00%), MI3(0.00%), MI4(-1.16%), MI5(0.00%), MI6(0.00%), MI7(0.00%), MI8 (1.02%), MI9(0.00%), MI10(0.00%)로 나타났다. MI8을 제외하고는 모든 산업에서 순수효율성은 악화내지 불변하였다.

규모효율성 변화지수는 0.27%로 계측되었고, 산업별로는 MI2(0.00%), MI3(-0.07%), MI4(0.00%), MI5(0.00%), MI6(-0.78%), MI7(0.00%), MI8(0.07%), MI9(0.00%), MI10 (0.00%)로 나타났다. MI8을 제외하고는 모든 산업에서 순수효율성은 악화내지 불변하였다.

마지막으로 기술 변화와 기술적 효율성 변화가 총요소생산성의 증가에 기여한 특징 적 형상들을 살펴본다. 표본기간(99~06) 동안 총요소생산성의 연평균 성장률 4.95%는 기술 변화와 기술적 효율성이 각각 4.68%, 0.25% 기인한 것으로 계측되어, 기술 변화가 기술적 효율성 보다 총요소생산성의 상승에 더 많은 기여를 하는 것으로 분석되었다.

특히 기술 변화는 대체로 경공업보다는 중공업 부문에서 상대적으로 높게 추정되었 다. 그리고 기술적 효율성은 경공업, 중공업 모두 비슷하게 추정되었다.

또한 표본기간 동안 대부분의 산업에서는 기술 변화와 기술적 효율성 변화가 1보다 크게 계측되어 기술 변화와 기술적 효율성 변화는 생산성 향상에 같은 방향으로 작용 하였다. 그러나 기술적 효율성이 1보다 작게 기술 변화가 1보다 크게 계측되어 기술 변화와 기술적 효율성 변화가 서로 반대방향으로 작용하는 경우(MI3, MI6)도 나타났 다. 이는 기술 변화와 기술적 효율성 변화가 항상 양의 상관관계에 있지 않음을 의미 하며, 기술 변화요인과 기술적 효율성 변화요인은 서로 상이할 수 있음을 시사한다.

## 4. 결론

본 연구에서는 효율성 관련 정보를 이용하여 국내 제조업계의 상대적 효율성을 분 석하기 위해서 총요소생산성을 측정하는 방법으로 널리 이용되고 있는 Malmquist 생 산성 지수를 이용하여 계측하여 기술 변화와 기술적 효율성 변화요인으로 분해하였다. 본 연구의 결과를 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 국내 제조업의 총요소생산성은 연평균 4.95% 성장한 것으로 추정되었고, 산업 별로는 정도의 차이는 있으나 모든 산업에서 생산성이 향상되었다.

둘째, 기술 변화는 연평균 4.68% 성장한 것으로 추정되었고, 산업별로는 정도의 차 이는 있으나 모든 산업에서 생산성이 향상되었다.

셋째, 기술적 효율성 변화는 연평균 0.25% 성장한 것으로 추정되었고, 대부분의 산 업에서 기술적 효율성 변화수준이 미비하게 나타났다. 또한 기술적 효율성 변화에 대 한 순수효율성, 규모효율성의 기여도가 낮게 나타났다.

마지막으로 기술 변화와 기술적 효율성 변화가 총요소생산성의 증가에 기여한 특징 적 형상들을 살펴본다. 표본기간(99~06) 동안 총요소생산성의 연평균 성장률 4.95%는 기술 변화와 기술적 효율성이 각각 4.68%, 0.25% 기인한 것으로 계측되어, 기술 변화가 기술적 효율성 보다 총요소생산성의 상승에 더 많은 기여를 하는 것으로 분석되었다.

특히 기술 변화는 대체로 경공업보다는 중공업 부문에서 상대적으로 높게 추정되었 다. 그리고 기술적 효율성은 경공업, 중공업 모두 비슷하게 추정되었다.

또한 표본기간 동안 대부분의 산업에서는 기술 변화와 기술적 효율성 변화가 1보다 크게 계측되어 기술 변화와 기술적 효율성 변화는 생산성 향상에 같은 방향으로 작용 하였다. 그러나 기술적 효율성이 1보다 작게 기술 변화가 1보다 크게 계측되어 기술

변화와 기술적 효율성 변화가 서로 반대방향으로 작용하는 경우(MI3, MI6)도 나타났다. 이는 기술 변화와 기술적 효율성 변화가 항상 양의 상관관계에 있지 않음을 의미하며, 기술 변화요인과 기술적 효율성 변화요인은 서로 상이할 수 있음을 시사한다.

결론적으로 기술변화 및 총생산선은 향상되었지만 그 증가율은 경제적인 침체로 인해 둔화되고 있다. 따라서 총요소생산성 향상을 통해 향상될 수 있지만 앞서 말한 이두 개 개선요인은 서로 상이할 수 있으므로 산업별로 요인을 명확히 파악하여 산업별특성에 맞는 정책을 강구하는 것이 바람직하다.

## 5. 참 고 문 헌

- [1] 홍순기, 최영락, 김형수, 안두현(1991), 기술개발투자의 산업성장 기여도 분석에 관한 연구, 과학기술정책연구소.
- [2] Caves. D., L. Christensen, and D. Diewert. (1982), The Economic Theory of Index Numbers and the Measurement of Input, Output and Productivity, Econometrica, Vol. 50, No. 6, pp. 1393–1414.
- [3] Debreu, G.(1951), The Coefficient of Resource Utilization, Econometrica 19, pp. 273-292.
- [4] Fare, R., and S. Grosskopf, B. Lindgren, and P. Roos.(1995), Productivity Dvelopments in Swedish Hospitals: A Malmquist output index Approach, in Charnes, A, W. W. Cooper, A. Y. Lewin, L. M. Seiford(eds), Data Envelopment Analysis, Theory, Methodology, and Applications, Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 253–272.
- [5] Fare, R., S. Grosskopf, and C. A. K. Lovell.(1985), The measurement of Efficiency of Production (Studies in Productivity Analysis), Kluwer-Nijhoff Publishing, Boston.
- [6] Fare, R., S. Grosskopf, and C. A. K. Lovell.(1994), Production Frontiers, Cambridge University Press.
- [7] Fare, R., S. Grosskopf, M. Norris, and Z. Zhang.(1994), Productivity Growth, Technical Progress and Efficiency Change in Industrialized Countries, The American Economic Review, Vol. 84, No. 11, pp. 66–83.
- [8] Farrell, M.J.(1957), The Measurement of Productive Efficiency, Journal of the Royal Statistical Society, A CXX, Part 3, pp. 253–290.
- [9] Forsund, F.R. and Hjalmarsson, M.J.(1979), Frontier Production Functions and Technical Progress: A Study of General Milk Production in Swedish Dairy Plants, Economic Journal 89, pp. 294–315.
- [10] Grosskopf, s.(1993), Efficiency and Productivity, in Fried, H.O., Lovell, C.A.K. and Schmidt, S.S.(eds), The Measurement of Productive Efficiency, Oxford University Press, pp. 160–194.
- [11] Koopmansm, T.C.(1951), An Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities, in Koopmans T.C. (eds), Activity Analysis of Production an Allocation, Cowles Commission for Research in Economics, Monograph No. 13,

- John Wiley and Sons, Inc..
- [12] Lovell, C.A.K.(1993), Production Frontiers and Productive Efficiency, in Fried, H.O., Lovell, C.A.K. and Schmidt, S.S.(eds), The Measurement of Productive Efficiency, Oxford University Press, pp. 3–67.
- [13] Nishimizu, N., and Page, J. M.(1982), Total Factor Productivity, Technological Progress and Technical Efficiency Change: Dimentions of Productivity Change in Yugoslavia, The Economic Journal, Vol. 92, No. 368, pp. 920–936.
- [14] Raa, T.T. and Mohnen, P.(2002), Neocalassical Growth Accounting and Frontier Analysis: A Synthesis, Journal of Productivity Analysis 18, pp. 111–128.
- [15] Solow, R.M.(1957), Technical Change and the Aggregate Production Function, Review of Economics and Statistics 39(3), pp. 312–320.
- [16] Sudit, E.F.(1995), Productivity measurement in industrial operations, European Journal of Operational Research 85, pp. 435–453.