

Malmquist 지수에 의한 세계 철강산업의 기술변화

Technical Change of World Steel Industry: a Malmquist Index Approach

김진한* 정기대

— 〈目 次〉 —

I. 서론	IV. 전략수립을 위한 매트릭스
II. 기술변화의 분석 방법	V. 결론
III. 철강산업의 기술변화 분석	

<Abstract>

In this research, the world top steel companies' technical changes were measured by the nonparametric Malmquist index. Steel industry's production frontier which was composed of multiple inputs and multiple outputs was defined by using real data of the companies from 1986 to 1998, and then the variability of technical progress(or regress) was analyzed during that period. The dynamics of individual steel companies' technical changes, periodical technical changes, and each country's technical changes were explained. A matrix which was based on technical changes, technical efficiency changes, and scale efficiency changes was designed to assist to find out current position and to build up future strategies. This research results will be an valuable input to the early stage of formulating competitive strategy because the technical core capability is an important source of the each companies' competitiveness.

Key words : 기술 변화, 생산변경, Malmquist 지수, 철강산업

* jhkim@yahoo.co.kr

I. 서론

세계의 철강업체들은 1998년 이래로 전례가 없던 가격 하락, 수요 감소, 재고 증가로 인해 운영상 어려운 상황에 직면해 있다. 철강산업에서는 이러한 현상을 '죽음의 계곡'을 건너는 상황으로까지 표현하고 있다. 최근 이러한 상황은 전세계적인 경기침체와 더불어 테러와의 전쟁으로 인한 심리적 위축으로 더욱 심화되고 있는 실정이다. 그러나 여기서 간과해서는 안될 사안은 이러한 환경적 난관에도 불구하고 경쟁우위를 갖추기 위해 철강회사들의 노력이 부단히 이루어져야 한다는 점이다. 결국, 현실점은 철강회사가 경쟁우위를 보유하여 경쟁력을 제고시키기 위한 적극적인 방안이 필요한 시기인 것이다. 철강산업에서 발생하고 있는 신기술의 도입, 생산설비의 효율화, 인수 및 합병, 비용절감 등의 최근 추세도 이런 현상을 설명해 주고 있다.

철강업체들이 경쟁력을 향상시키기 위해서는 사전에 정지해야 할 기본 작업이 있다. 그것은 과거와 현재의 경쟁력이 어느 정도인지를 파악하는 일이다. 본질적으로 경쟁력은 많은 요인을 토대로 하지만 본 연구에서는 The World Competitiveness Report(1993)에서 공표한 경쟁력 공식처럼 생산기술을 경쟁력에 영향을 미치는 하나의 중요한 원천으로서 들고자 한다. 여기서, 생산기술은 총요소생산성, 효율성, 규모의 경제, 기술변화의 원천이며, 나아가 기업 운영의 성과지표로서도 활용되는 개념으로 이해될 수 있다. 이러한 생산기술은 기업이 자원을 이용하여 제품과 서비스를 어떻게 산출하였는가를 설명하는 종합적 개념으로써 기업활동의 중요한 경쟁력 지표가 될 수 있다.

본 연구에서는 이러한 논의에 기초하여 세계 철강업체들의 기술의 변화를 중심으로 논의를 수행한

다. 본 연구에서 기술의 변화를 중점적으로 논의하는 이유는 전통적인 제조업 분야 중 하나인 철강산업에서 기술의 변화가 자원의 산출물로의 변환과정을 잘 설명하며, 기업성장과 퇴보의 원동력이 되기 때문이다. 본 연구에서 분석하는 철강업체들은 동구권과 중국을 제외한 전세계의 주요 철강기업들이다. 또한 본 연구에서는 철강업체들의 철강관련 활동만을 대상으로 기술의 변화를 분석하고 분석단위는 생산된 제품위주가 아니라 회사 운영차원으로 한정하고자 한다. 결국, 이러한 분석을 통해 본 연구에서는 철강업체의 기술변화를 중심으로 논의를 수행하고 기술적 효율성 변화, 규모의 효율성 변화 측정과 더불어 그 결과의 시사점을 제시하고자 한다.

본 연구에서 활용되는 방법론으로서는 최근에 총요소생산성 분석을 위해 활발히 적용되고 있는 비모수 기법인 Malmquist 지수를 이용한다. 이 방법은 지금까지 Førsund(1996), Gilbert & Wilson(1998), Philip(1998), Worthington(1999), Uri(2000), Rossi(2001) 등에 의해서 기간 산업, 은행, 버스회사, 금융기관, 통신산업, 가스 판매망 등에 대해 적용된 바 있다. 이 방법은 투입물과 산출물에 대한 가격정보가 필요치 않으며, 기업의 행태와 기술적 체계에 대해서도 사전에 규정된 전제를 요구하지 않는 방법이다. 단지, 이 방법에서 요구되는 것은 다수의 투입·산출물과 이들로 구성되는 생산함수(production function)일 뿐이다¹⁾. 따라서 Malmquist 지수 방법은 가격체계가 복잡하며, 생산변경이 명확하게 알려지지 않은 철강회사들의 기술의 변화를 분석하는데 유용한 도구라 할 수 있다. 한편 철강업체의 기술변화 측정에서 계량경제학적인 방법을 사용하여 이 산업이 규모에 대한 수익이 불변인 것으로 가정한 뒤 Cobb-Douglas 생산함수 등과 같은

1) 이에 비해 기존의 계량경제학적인 추정방법은 투입·산출물의 양과 가격, 사전에 함수형태로 표현한 생산함수가 요구된다.

함수를 이용할 수도 있다. 그러나 근래에 활발히 나타나고 있는 규모의 경제를 추구한 철강산업의 M&A 현황에 비추어 볼 때 이 산업을 규모에 대한 수익이 불변인 것으로 보기 힘들며, 이럴 경우에는 Malmquist 지수를 이용한 기술변화 및 총요소생산성 측정 방법이 적절한 방법이 된다고 볼 수 있다.

II. 기술변화의 분석 방법

1. 생산변경과 기술변화의 정의

한 기업에는 다수의 투입물과 다수의 산출물이 존재한다. 그 때, 각 기업의 실제 산출물과 투입물을 (Y, X) 라고 하자. 여기서, $Y_j = (y_{1j}, \dots, y_{sj})$ 와 $X_j = (x_{1j}, \dots, x_{mj})$ 는 각각 기업 j 의 산출물과 투입물을 나타내는 $s \times 1$, $m \times 1$ 벡터이다.

이 때, 그 기업 j 의 생산가능집합 F_j 는 식(1)과 같이 정의된다.

$$F_j = \{(Y_j + X_j) \mid X_j \text{를 산출할 수 있다}\}, j=1, \dots, n. \quad (1)$$

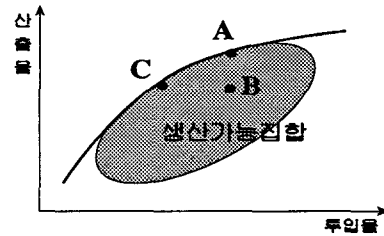
또한 생산가능집합 F_j 의 교집합을 F 라 하면, F 는 모든 기업으로 구성된 생산가능집합을 의미한다. 한편, 산출물의 관점에서 측정된 특정 기업의 산출가능집합 $P(X)$ 는 식(2)와 같이 나타낼 수 있다²⁾.

$$P(X) = \{Y \mid (Y, X) \in F\} \quad (2)$$

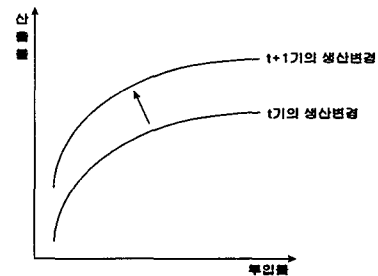
이러한 생산가능집합 중에서 파레토(Pareto) 효율성 조건을 만족하는 집합을 생산변경(production frontier)으로 정의한다.

<그림 1>은 단일 산출물과 투입물이 존재할 경우

<그림 1> 생산변경의 정의



<그림 2> 기술의 변화



에 생산변경이 어떻게 정의되는지 그림을 통해서 보여주고 있다. 즉, 여러개의 기업들로 구성된 생산가능집합(점선으로 표현)이 있을 경우 파레토 효율성을 보여주는 기업들이 존재하며, 이 기업들로 구성된 효율적 경계선(생산가능집합의 좌측상단부분에 있는 경계)이 바로 그 산업의 생산변경이 된다.

여기서, 파레토 효율성 조건이란 적어도 한 투입물을 감소시키지 않고서는 다른 어떠한 산출물도 증가시킬 수 없는 경우를 의미한다. <그림 1>에서 기업 B는 기업 A에 비해 보다 낮은 산출물을 제공하고 있으며, 기업 C에 비해서는 보다 많은 투입물을 사용하고 있다. 이러한 측면에서 기업 B는 생산변경을 구성하지 못하게 되는 것이다.

한편, <그림 1>과 같은 생산변경이 존재한다면 기술의 변화는 Solow(1957)가 명시하였듯이 생산변경 자체의 이동으로 설명할 수 있다. <그림 2>에 도시

2) 본 연구에서는 모든 논의와 분석을 산출기준으로써 수행함을 명시한다. 여기서, 산출기준은 투입물을 고정시킨채 산출물의 크기만을 비교하여 생산변경을 결정하는 방식이다. 투입기준과 산출기준에 대한 자세한 논의는 Fare et al.(1994)을 참조.

된 바와 같이 t 기의 생산변경이 $t+1$ 기로 이동하였다면 이는 기간에 따라 기술의 변화가 발생하게 되었음을 의미한다. 이러한 기술의 변화로 인해서 <그림 2>는 $t+1$ 기에서는 동일한 투입물 하에 t 기보다 많은 산출물을 제공하고 있고, 동일한 산출물 하에 보다 작은 투입물을 필요로 하고 있음을 보여준다. 이것은 곧 기술의 진보가 발생하였음을 의미한다.

2. Malmquist 지수에 의한 기술변화의 분석

이러한 생산변경에 대한 정의를 바탕으로 Shephard(1970)는 다수의 산출물과 다수의 투입물이 존재하는 경우에 각 기업의 효율성을 측정하기 위해서 식(3)과 같은 거리함수(산출거리함수)를 제시하였다.

$$D_{o,j}(Y_j, X_j) = \min \left\{ \theta \frac{Y_j}{\theta} \in P(X_j) \right\}, \quad j=1, \dots, n. \quad (3)$$

$$[D_{o,j}(Y_j, X_j)]^{-1} = \max \{ \theta \mid \theta Y_j \leq Y \lambda, X_j \geq X \lambda \}, \quad j=1, \dots, n. \quad (4)$$

$$[D_o(Y, X)]^{-1} = \frac{1}{D_o(Y, X)} = [DF_o(Y, X)] \quad (5)$$

이 식에 의하면 기업 j 의 산출거리함수 $D_{o,j}(Y, X)$ 는 생산변경내에서 기업 j 의 투입물이 고정되었을 경우 이 기업이 취할 수 있는 최대한의 산출물 확장 정도를 나타낸다. 즉, 산출물 벡터인 Y_j 가 산출가능집합 $P(X_j)$ 에 포함되면 산출거리함수는 1 (θ 의 값)보다 작거나 같게 되며, 만약 거리함수가 1 이라면 이 기업은 생산변경상에 존재하는 기업으로서 효율적으로 평가받게 된다³⁾.

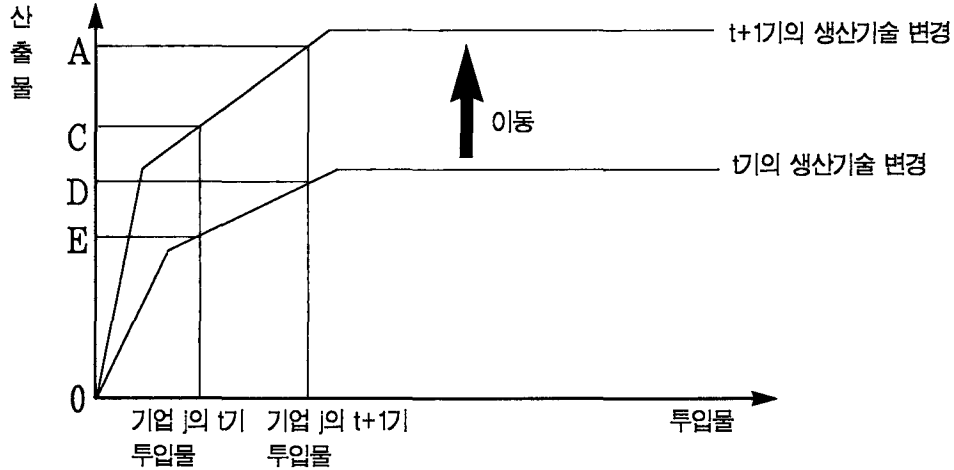
이러한 거리함수의 추정을 위한 비모수적 방법으로서 선형계획모형(linear programming)을 적용한 연구는 Aigner & Chu(1968)에 의해서 처음 수행되었다. 앞서 설명하였듯이 비모수적 형태의 생산변경은 효율적 기업들로 구성된 구분선형(linear piecewise) 형태를 갖는데, 이러한 생산변경하에서 Shephard(1970)의 거리함수는 식(4)와 같은 Debreu-Farrell 형태의 선형계획모형을 통해서 측정될 수 있다⁴⁾.

여기서, Y_j 는 기업 j 의 $s \times 1$ 산출물 벡터, X_j 는 기업 j 의 $m \times 1$ 투입물 벡터, Y 는 $s \times n$ 산출물 행렬, X 는 $m \times n$ 투입물 행렬, λ 는 비음의 값을 갖는 $n \times 1$ 벡터이다. 따라서 제약조건은 산출물의 수인 s 개, 투입물의 수인 m 개의 식으로 구성된다. 이 식에서 우변의 거리함수는 Debreu-Farrell 형태의 거리함수인데, Shephard의 거리함수는 이 값과 역의 관계를 갖게 된다. 즉, 두 거리함수의 관계는 식(5)와 같다(Färe et al.(1978)).

여기서, D_o 는 Shephard의 산출거리함수, DF_o 는 Debreu-Farrell 형태의 산출거리함수를 나타낸다. 이러한 거리함수는 계량경제학적인 모수적 추정방법에 비해서 여러 장점을 보유하고 있다. 우선, 거리함수는 가격정보를 필요로 하지 않으며, 투입물과 산출물의 가중치를 분석하지 않아도 된다. 생산변

3) 산출거리함수는 투입물에 대해서는 감소함수, 산출물에 대해서는 비감소함수이고 볼록함수라는 조건을 만족하게 된다.
 4) 이 식은 규모의 수익불변을 가정한 경우이고, 만약 규모의 수익변동을 가정한다면 볼록성 제약조건인 $1 \lambda = 1$ 이 제약조건에 첨가되어야 한다. 여기서, 1 은 $1 \times n$ 벡터를 의미한다.
 5) 예를 들어, 민간기업의 경우에 이익극대화, 공기업의 경우에 비용최소화 등과 같이 기업의 목적이 다른 경우가 존재하는데, 이 경우에도 동시 평가가 가능하다.

<그림 3> 기술변화의 측정



자료원: Färe et al.(1995)의 그림을 수정하였음

경에 있어서도 구분선형 형태의 함수를 기초로 하기 때문에 사전에 그 함수를 규정할 필요가 없으며, 평가받는 조직의 형태⁶⁾가 다르거나 알려지지 않은 경우에도 적용이 가능하다. 한편, 본 연구에서 수행하고자 하는 기술의 변화를 분석하고자 하는 경우에도 각 기업이 기간별로 비효율적으로 운영될 수 있음을 허용하는 보편타당한 방법이 된다⁶⁾.

지금까지의 거리함수 개념에 기초하여 기술변화를 측정하는 Malmquist 지수 방법은 <그림 3>을 통해 쉽게 이해할 수 있다.

이 그림에서 볼 수 있듯이 t기에서 t+1기로 생

산변경의 이동이 발생하였다면, 앞의 <그림 2>에서 언급한 생산변경의 이동거리는 $[(\overline{OC}/\overline{OE}) \times (\overline{OA}/\overline{OD})]^{1/2}$ 라는 거리측정 방식을 통해서 분석될 수 있다. 이 측정방식은 t기와 t+1기의 투입물을 기준으로 생산변경의 이동거리 비율을 가중평균화시키는 방식이다. 따라서 이 방법은 산출물 지향적인 기술의 변화 측정방법이고 투입물 지향적인 측정방법도 동일한 논리로 수행될 수 있다.

이러한 논리하에 Malmquist 지수를 다수의 산출물과 투입물로 확장하여 측정하기 위해서는 Caves et al.(1982)의 연구에서 논의된 바와 같이 식(6)과

$$M_{o,j}^{t,t+1} = D_o^t(Y_j^{t+1}, X_j^{t+1}) / D_o^t(Y_j^t, X_j^t), \quad j=1, \dots, n. \quad (6)$$

$$M_{o,j}^{t,t+1} = \left[\frac{D_o^t(Y_j^{t+1}, X_j^{t+1})}{D_o^t(Y_j^t, X_j^t)} \cdot \frac{D_o^{t+1}(Y_j^{t+1}, X_j^{t+1})}{D_o^{t+1}(Y_j^t, X_j^t)} \right]^{1/2} \\ = \frac{D_o^{t+1}(Y_j^{t+1}, X_j^{t+1})}{D_o^t(Y_j^t, X_j^t)} \cdot \left[\frac{D_o^t(Y_j^t, X_j^t)}{D_o^{t+1}(Y_j^t, X_j^t)} \cdot \frac{D_o^t(Y_j^{t+1}, X_j^{t+1})}{D_o^{t+1}(Y_j^{t+1}, X_j^{t+1})} \right]^{1/2} \\ , t=1, \dots, T-1, j=1, \dots, n \quad (7)$$

6) 그러나 이 방법은 자료의 확실성을 고려하기 힘들다는 단점을 갖고 있기도 하다.

$$M_{o,j}^{t,t+1} = \frac{D_{o,v}^{t+1}(Y_j^{t+1}, X_j^{t+1})}{D_{o,v}^t(Y_j^t, X_j^t)} \cdot \left[\frac{D_{o,v}^{t+1}(Y_j^{t+1}, X_j^{t+1})/D_{o,v}^{t+1}(Y_j^{t+1}, X_j^{t+1})}{D_{o,v}^t(Y_j^t, X_j^t)/D_{o,v}^{t+1}(Y_j^t, X_j^t)} \right] \cdot \left[\frac{D_{o,v}^t(Y_j^t, X_j^t)}{D_{o,v}^{t+1}(Y_j^t, X_j^t)} \cdot \frac{D_{o,v}^t(Y_j^{t+1}, X_j^{t+1})}{D_{o,v}^{t+1}(Y_j^{t+1}, X_j^{t+1})} \right]^{1/2} \quad (8)$$

같이 두 기간 t 와 $t+1$ 사이의 거리함수 $D_o(\cdot)$ 의 비율로 가능하다.

이 후에 Färe et al.(1989)은 이 지수가 선형계획모형을 이용하여 어떻게 측정될 수 있는지를 보였으며, t 기와 $t+1$ 기의 산출기준 Malmquist 생산성 지수 $M_{o,j}^{t,t+1}$ 을 식(7)과 같이 재정의하였다.

식(7)은 Caves et al.(1982)이 제시한 식(6)을 기하평균화한 식이다. 식(7)의 두 번째 줄에서 괄호 밖의 부분은 두 거리함수의 비율로서 기간 t 와 $t+1$ 사이의 기술적 효율성 변화를 측정하고 괄호 안의 부분은 생산변경의 이동, 즉, 기술의 변화를 측정한다. 이 비율에서 알 수 있듯이 효율성의 상승과 기술의 진보는 1보다 큰 값으로 결정되고 효율성의 하락과 기술의 퇴보는 1보다 작은 값으로 결정된다.

한편, 생산성 변화를 지수형태로 측정하는 Malmquist 모형의 특성상 이 지수는 다양하게 분해될 수 있다. 기술적 효율성의 변화도 다시 여러 요소로 분해될 수 있는데, Färe et al.(1994)은 식(8)과 같이 분해하였다. 여기서, 거리함수 $D(\cdot)$ 의 v 라는 아래첨자는 규모의 수익변동을 가정한 거리함수⁷⁾를 의미한다. 위 식의 우변항에서 첫 번째는 순수한 효율성 변화의 측정치이고 두 번째 식은 규모의 효율성에 대한 측정치이다. 마지막으로 세 번째 식은 기술의 변화를 의미한다.

3. 선형계획모형에 의한 거리함수 추정

Charnes et al.(1978)과 Banker et al.(1984)은 거리

함수 $D(\cdot)$ 를 추정하기 위해서 Data Envelopment Analysis(DEA)라는 기법을 제시하였다. 이 DEA는 Malmquist 생산성 지수를 분석하는 유용한 도구로서 총 4가지 유형의 거리함수가 계산되어야 한다. 이 중 두 개는 단일기간 거리함수이고 나머지 두 개는 교차기간 거리함수이다.

예를 들어, t 기간 $t+1$ 와 사이의 j_0 기업 j_0 의 생산성 변화를 측정하기 위해서는 단일기간 거리함수 $D_o^t(y_{j_0}^t, x_{j_0}^t)$ 를 식(9)와 같은 선형계획모형으로 해결할 수 있다.

$$[D_o^t(y_{j_0}^t, x_{j_0}^t)]^{-1} = \max \phi$$

s.t.

$$\phi y_{r_0}^t - \sum_{r=1}^s \lambda_j^t y_{rj}^t \leq 0, r=1, \dots, s,$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^t x_{ij}^t - x_{ij_0}^t \leq 0, i=1, \dots, m,$$

$$\lambda_j^t \geq 0, j=1, \dots, n \quad (9)$$

식 (9)는 생산변경의 규모의 수익불변 가정하의 산출기준 거리함수 측정모형이다.

한편 교차기간 산출기준 거리함수 $D_o^t(y_{j_0}^{t+1}, x_{j_0}^{t+1})$ 은 식(10)의 선형계획모형을 통해 해결되어질 수 있다.

$$[D_o^t(y_{j_0}^{t+1}, x_{j_0}^{t+1})]^{-1} = \max \phi$$

s.t.

$$\phi y_{r_0}^{t+1} - \sum_{r=1}^s \lambda_j^t y_{rj}^t \leq 0, r=1, \dots, s,$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^t x_{ij}^t - x_{ij_0}^{t+1} \leq 0, i=1, \dots, m,$$

$$\lambda_j^t \geq 0, j=1, \dots, n \quad (10)$$

7) 앞서 언급하였듯이 규모의 수익변동하의 거리함수는 생산변경을 불록하게 만들어 주는 제약조건인 $1\lambda=1$ 을 필요로 한다.

또한 $D_0^{t+1}(y_{j_0}^{t+1}, x_{j_0}^{t+1})$ 과 $D_0^{t+1}(y_{j_0}^t, x_{j_0}^t)$ 도 위 식과 동일한 방법으로 모형이 결정되게 된다. 한편, 규모의 수익변동하의 산출기준 거리함수 측정은 이미 언급한 바와 같이 생산변경을 블록하게 만들어 주는 제약조건인 $1\lambda=1$ 이 식 (9)와 식 (10)에 추가됨으로써 가능해 진다.

III. 철강산업의 기술변화 분석

1. 분석 자료 및 도구

본 연구에서는 1986년부터 1998년까지 총 13년을 대 상 기간으로 한다. 분석에 이용된 기업들은 동구권과 중국을 제외한 전세계의 53개 주요 철강업체들이며, 이 철강업체의 자료는 World Steel Dynamics의 자료를 이용하였다. 이 자료 중에서 본 연구에서 선택한 지표들은 모두 철강부문에만 한정된 자료들이다. 이 령게 철강의 주 활동분야인 생산활동에만 분석을 한 정함으로써 본 연구의 분석결과는 철강생산활동의 기술적 측면을 분석하게 된다.

한편, 본 연구에서는 산출물로서 매출, 생산량, 선적 량을 고려하였다. 생산량과 선적량은 각기 조강 생산 량과 완제품의 크기를 타나내기 때문에 이들을 분류 하여 고려하였다. 또한 투입물로서는 인건비, 이자, 감가상각비, 재료와 기타 비용을 선정하였다. 이 중 노동비는 인건비, 이자와 감가상각비는 자본비, 재료 와 기타비용은 재료 및 기타비용으로서 크게 3가지의

비용체계를 갖도록 분류하였다. 여기서, 이자와 감가 상각비는 인건비, 재료와 기타비용에 비해 그 크기가 상대적으로 작기 때문에 두 비용을 합하여 하나의 자 본비로써 고려하였다. 이러한 지표들은 미국 철강산 업의 비용 효율성을 분석한 Ray & Kim(1995)과 비 교하여 훨씬 광의의 산출물과 투입물로 볼 수 있다.

본 연구에서 적용된 각 투입물과 산출물의 의미 와 단위를 요약하면 <표 1>과 같다.

<표 1>의 자료들을 바탕으로 분석에 이용된 도구는 Coelli(1996)의 포트란(FORTRAN)에 기반을 둔 DEAP 프로그램이다. 이 도구를 이용하여 모든 분 석은 산출기준 거리함수를 기초로 측정되었다.

2. 기술변화의 분석 결과

1986년부터 1998년까지의 기술변화에 대한 분석 결과는 <표 2>에 정리되어 있다.

<표 2>에서 데이터가 존재하지 않는 경우 (WHEELING-PITTSBURGH:86-87, ILVA: 87-89, CSI: 96-98), 철강회사간 합병이 발생한 경우 (LUKENS STEEL는 BETHLEHEM STEEL에 1997 년 합병, KRUPP STAHL과 HOESCH는 1992년 KRUPP AG에 합병), 해체 및 매각이 발생한 경우 (TOA는 1999년 해체, KLOCKNER-WERKE는 1993 년 매각, SIDBEC은 1994년 매각), 분리가 발생한 경 우(ILVA는 1994년에 3개의 회사로 분리, ARBED는 1993년 분리)에는 자료의 결여와 정확성 문제로 인해 분석을 수행하지 않았다.

<표 1> 투입물과 산출물의 의미

자료	산 출 물			투 입 물		
	매출	생산량	선적량	인건비	자본비	재료 및 기타비용
의미	재화와 서비스	조강 생산량	완제품의 생산량	연금과 수당 포함	모든 부채에 대한 이자비용과 자산 사용에 대한 부담	원재료(철광석, 코크스탄, 고철 및 기타)와 기타

376 Malmquist 지수에 의한 세계 철강산업의 기술변화

<표 2>의 분석 결과에 따르면 평균적으로 가장 높은 기술진보를 보이고 있는 기업은 TAMSA(1.178)로 나타났고, 그 뒤를 이어 CSN(1.037), NIPPON STEEL(1.014), KOBE STEEL(1.012), TATA IRON & STEEL(1.012)의 순으로 나타났다. 한편, 평균적인 기

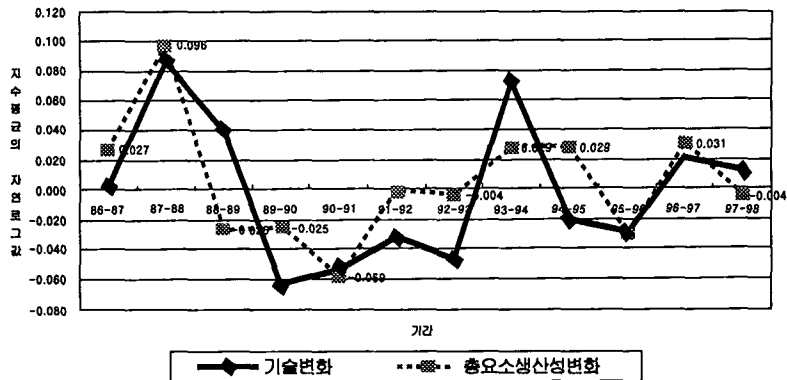
술의 퇴보가 가장 두드러진 기업으로는 ILVA(0.962), LACLEDE STEEL(0.970), ISCOR(0.971), PREUSSAG STAHL(0.976), CHAPARRAL STEEL(0.977), KLOCKNER-WERKE(0.978)의 순으로 나타났다. 여기서, 기술의 진보가 혁신과 밀접한 관련을 갖는다고

<표 2> 기술변화의 분석 결과¹⁾

회사	기간	86-87	87-88	88-89	89-90	90-91	91-92	92-93	93-94	94-95	95-96	96-97	97-98	평균
USX CORPORATION		1.020	1.017	1.113	0.885	0.939	0.874	0.999	1.115	1.010	0.942	1.004	1.080	1.000
BETHLEHEM STEEL		0.985	1.041	1.038	0.945	0.934	1.031	0.969	1.104	1.009	0.919	0.995	0.976	0.996
LTV CORPORATION		1.055	1.072	1.088	0.897	0.880	0.884	1.059	1.081	1.029	0.935	1.002	0.992	0.998
NATIONAL STEEL		1.066	1.075	1.085	0.931	0.934	0.929	0.982	1.118	1.014	0.935	1.017	0.996	1.007
AK STEEL		1.059	1.075	1.090	0.947	0.872	0.882	1.031	1.086	1.056	0.954	1.001	0.969	1.002
ISPAT INLAND		1.012	1.020	1.067	0.938	0.930	0.999	0.967	1.140	0.980	0.940	1.015	0.990	1.000
WHEELING-PITTSBURGH			1.017	1.036	0.946	0.922	1.033	0.975	1.135	0.987	0.934	1.037	0.992	1.001
NORTHWESTERN STEEL		0.998	1.032	0.869	0.903	0.937	1.006	0.947	1.005	0.951	0.958	1.021	1.138	0.980
NUCOR STEEL		1.036	0.957	1.010	0.964	1.036	1.001	1.014	1.025	1.019	0.995	0.986	0.945	0.999
LUKENS STEEL		1.080	1.005	1.094	0.918	0.931	0.956	0.951	1.027	1.033	0.906	1.006		0.992
AMERISTEEL		0.960	1.005	1.032	0.931	0.966	0.970	1.015	0.995	1.027	1.031	1.008	1.008	0.996
LACLEDE STEEL		0.945	1.017	0.915	0.948	0.874	1.084	1.041	0.924	0.922	0.937	1.038	0.993	0.970
CHAPARRAL STEEL		0.973	0.983	0.941	0.995	0.969	0.981	0.944	0.947	0.996	0.982	1.021	0.989	0.977
CARPENTER TECHNOLOGY		1.056	1.014	1.077	0.929	0.972	0.982	0.952	1.042	0.984	0.976	1.010	0.971	0.997
NIPPON STEEL		1.057	1.097	1.120	0.883	0.961	0.901	0.979	1.162	0.947	1.028	1.040	0.992	1.014
NIKK		1.026	1.144	1.047	0.921	0.976	0.970	0.938	1.056	0.942	1.035	0.953	1.084	1.008
SUMITOMO METALS		1.056	1.088	1.027	0.971	0.968	0.897	0.975	1.064	0.975	1.029	1.051	1.016	1.010
KAWASAKI STEEL		1.019	1.126	1.048	0.931	0.971	0.932	0.951	1.092	0.931	1.084	1.000	1.051	1.010
KOBE STEEL		1.050	1.093	1.013	0.974	0.980	0.955	0.906	1.046	1.034	0.991	1.053	1.047	1.012
NISSHIN STEEL		1.059	1.091	1.088	0.916	0.963	0.908	0.968	1.150	0.924	1.023	1.085	0.949	1.010
TOKYO STEEL		1.158	0.917	1.031	1.017	0.837	0.823	0.849	1.013	1.014	1.147	1.077	1.050	0.994
TOA STEEL		1.490	0.766	1.080	1.029	0.884	0.842	0.868	0.993	1.025	0.990	1.048		1.001
THYSSSEN		1.068	1.055	1.098	0.913	0.940	0.960	0.952	1.118	0.949	0.965	1.021	0.981	1.002
KLOCKNER-WERKE		0.976	1.043	1.070	0.936	0.956	0.902	0.964						0.978
PREUSSAG STAHL ²⁾		0.949	1.001	1.079	0.933	0.930	1.002	0.984	1.022	0.913	0.936	0.989		0.976
MANNESMANN		1.031	1.013	1.065	0.927	0.947	0.925	0.974	1.050	1.140	0.904	1.077	0.955	1.001
KRUPP AG HOESCH-KRUPP								0.976	1.120	1.040	0.955	0.997	0.948	1.006
KRUPP STAHL		1.052	1.043	1.110	0.892	0.944								1.008
HOESCH		1.017	1.053	1.117	0.902	0.939								1.006
USINOR		1.054	1.053	1.109	0.871	0.951	0.923	0.975	1.161	0.986	0.953	1.023	0.978	1.003
BRITISH STEEL		1.052	1.061	1.122	0.897	0.946	0.918	0.985	1.122	1.023	0.917	1.002	0.989	1.003
ILVA		1.031			0.914	0.958	0.949	0.959						0.962
HOOGOVENS		0.990	1.063	1.047	0.946	0.953	0.939	0.966	1.199	0.910	0.967	1.013	0.983	0.998
COCKERILL		1.015	1.033	1.059	0.916	0.957	0.922	0.971	1.109	0.913	0.964	1.027	1.005	0.991
SIDMAR		0.998	1.040	1.054	0.984	0.954	0.984	0.901	1.084	0.899	0.963	0.972	1.055	0.991
ARBED		0.981	1.048	1.059	0.928	0.942	0.985							0.991
CSI		0.967	1.013	1.034	0.965	0.981	0.970	0.871	1.116	0.946	0.985			0.985
SVENSKT STAL		1.029	1.082	1.120	0.869	0.952	0.941	0.989	1.089	1.054	0.924	0.999	0.994	1.004
RAUTARUUKKI		1.001	1.061	1.044	0.960	0.989	1.054	0.853	1.071	0.928	1.002	1.040	0.992	1.000
STELCO		0.972	1.021	1.042	0.957	0.972	1.022	0.988	1.103	0.999	0.941	1.001	1.017	1.003
DOFASCO		1.003	1.029	1.058	0.957	0.972	0.971	0.948	1.185	0.897	1.006	1.049	0.990	1.005
ALGOMA		0.973	1.035	1.034	0.964	0.965	1.078	1.008	1.045	0.921	0.908	0.970	1.009	0.993
SIDBEC		0.981	1.027	1.069	0.936	0.923	1.015	0.985						0.991
BHP		0.990	1.020	1.070	0.903	0.948	0.926	0.973	1.172	0.932	0.962	1.038	0.979	0.993
TAMSA		0.985	3.767	0.306	0.990	0.990	1.026	0.930	1.031	0.982	1.075	1.042	1.015	1.178
SIVENSA		0.992	1.086	0.990	0.981	1.008	0.922	0.967	1.154	0.902	0.994	1.059	0.982	1.003
CSN		1.004	1.221	1.006	0.969	1.123	1.385	0.632	0.997	1.120	0.947	1.016	1.025	1.037
ACINDAR		1.019	1.062	1.060	1.132	0.858	0.968	0.881	1.085	0.922	1.031	0.948	1.070	1.003
ISCOR		0.895	0.915	1.091	0.902	0.864	0.988	0.964	1.055	0.886	0.991	1.091	1.009	0.971
HIGHVELD		1.066	1.032	1.183	0.871	0.851	0.894	1.138	0.964	1.141	0.802	1.015	0.973	0.994
TATA IRON & STEEL		1.070	1.095	1.126	0.881	0.961	0.904	0.986	1.117	0.946	1.019	1.035	1.005	1.012
POSCO		0.968	1.047	0.885	0.969	1.009	1.057	0.921	0.961	1.078	1.000	1.067	1.135	1.008
CHINA STEEL		0.991	1.000	1.003	0.902	0.993	1.012	0.804	1.089	0.881	1.014	1.026	1.188	0.992

주: 1) 기술의 변화지수가 1보다 크면 기술의 진보, 1보다 작으면 기술의 퇴보를 의미함
 2) PREUSSAG STAHL은 1998년에 공영화후 SALZGITTER AG로 사명 변경

<그림 4>기간별 평균 기술의 변화



본다면 높은 수준의 기술진보를 보이는 기업들은 혁신이 잘 이루어지고 있는 기업으로 해석할 수 있다.

3. 연도별 기술변화

<그림 4>의 결과는 분석에 이용된 전체 철강업체를 토대로 기간별로 기술변화지수를 산술평균한 후 기술의 진보와 퇴보를 명확히 보여주기 위해서 자연로그로 환산한 값을 도시한 것이다. 따라서 <그림 4>에서 기술변화 지수가 0보다 크면 기술진보를 의미하고 0보다 작으면 기술퇴보를 의미한다. 또한 이 그림에는 식(7)의 Malmquist 지수가 제공하는 중요소생산성 변화를 기술변화와 비교를 위해 나타내 주고 있다.

이 결과에 따르면, 평균적인 철강산업의 기술변화가 기간별로 일정하게 나타나고 있지 않음을 보여 준다. 즉, 상당히 높은 수준의 유동성과 함께 1987-1988년에 발생한 기술의 진보는 1989년부터 1993년까지 급격히 퇴보현상을 보이고 있으며, 이후 1993년과 1994년 사이에 가장 높은 기술진보를 보이는 것처럼 변동하는 양상을 보이고 있다.

이러한 변동은 철강산업의 수익성과 관련하여 살펴볼 필요가 있다. 실제로 World Steel Dynamics (1999)에서 분석한 세계 철강회사들의 수익성 사이

클을 보면 1989년에 가장 높은 +의 수익을 올렸고 1993년에 가장 낮은 -의 수익을 올린 것으로 나타난다. 만약 기술변화의 결과가 수익에 영향을 미치는데 1년이라는 지연기간이 발생한다고 가정하면 <그림 4>의 기술의 변화 그래프는 수익성 변화 사이클과 유사한 모양을 갖게 될 것이다.

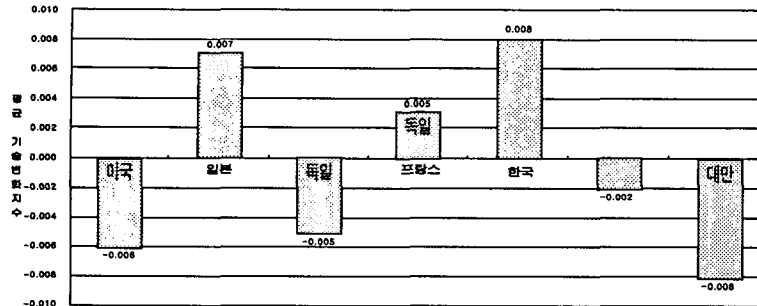
4. 국가별 기술변화

국가별 기술의 변화는 각국의 철강산업이 처해 있는 상황을 일목요연하게 보여줌으로서 미래에 철강산업의 판도가 어떻게 바뀔 것인지에 대한 정보를 제공해 준다.

<그림 5>는 철강산업에서 중요한 위치를 차지하고 있는 주요 국가별로 기술변화 지수의 크기를 보여 주고 있다. <그림 5>에서 기술변화 지수는 대상기간 동안의 국가별 평균 기술변화를 자연로그값으로 전환한 것으로서 앞서와 마찬가지로 기술변화 지수가 0이상이면 기술진보, 0이하면 기술퇴보를 의미한다.

이 결과에 따르면, 한국, 일본, 프랑스는 기술진보를 보이고 있고 대만, 미국, 독일, 캐나다는 명백히 기술퇴보를 보이고 있다. 이 결과를 <표 2>와 비교해 보면, 대상업체 중에서 일본은 TOKYO STEEL을 제외한 나머지 대상업체가 모두 기술진보를 보

<그림 5> 국가별 기술변화



였고 미국은 NATIONAL STEEL, AK STEEL, ISPAT INLAND, WHEELING-PITTSBURGH를 제외한 나머지 업체가 모두 기술퇴보를 보이고 있는 것으로 나타난다. 특히, 독일의 경우에 KLOCKNER-WERKE와 SALZGIT-TER에 의해서 기술퇴보가 발생하였는데, KLOCKNER-WERKE는 1993년에 매각, SALZGITTER는 1998년에 다시 공영화가 되는 결과로 나타났다.

여기서, 주목할만한 것은 미국 철강산업의 낮은 경쟁력이 이 분석결과에서도 여실히 나타나고 있다는 점이다. 미국 철강업계의 경영위기는 1997년 이후 18개사가 파산보호법을 신청했으며, 2000년 주요 고로 5개사 중 4개사가 적자를 면치 못하고 있는 실정에서 알 수 있듯이 심각한 상황으로 고려되고 있다. 이러한 위기의 원인으로서는 미국 철강업계는 아시아 외환위기 이후 수입제품의 과다 유입과 철강수요 둔화 및 판매가격 하락을 주 원인으로 꼽고 있지만 구조적인 원인으로서는 노동생산성 및 원가경쟁력의 하락과 낮은 R&D 투자로 인한 기술경쟁력 열위로 국제 경쟁력이 감소된 것이 그 원인으로 지적되기도 한다. 이러한 측면에서 볼 때, 본 연구의 분석결과는 미국 철강산업의 경쟁력 하락은 생산변경의 퇴보(혹은 기간별 생산성의 퇴보)로 인한 자국 철강산업 자체의 경쟁력 저하에도 있음을 확인시켜 주는 근거자료가 될 수 있다.

한편, <그림 5>에서 기술의 변화가 가장 높게 나

타난 국가인 한국은 비록 분석대상에 한 회사만 포함되었지만 생산성 측면에서 강점을 보여 대상기간 중 가장 높은 기술의 진보를 보인 것으로 나타났다. 이러한 결과는 주로 높은 노동생산성에 기인한다고 볼 수 있지만 공정 자동화를 위한 효과적인 설비투자를 바탕으로 꾸준히 기술의 향상을 추구한 결과로 해석할 수 있다. 또한 일본과 중국 등의 근거리 시장으로 인한 낮은 수송비용의 혜택과 더불어 제품품질과 제품믹스의 향상 추진, 꾸준한 비용감소의 노력 등으로 성취한 결과로 볼 수 있다(World Steel Dynamics Steel Strategist #25, 1999). 그 결과, 한국은 제품톤당 노동비가 지속적으로 감소하는 추세에 있으며, 종업원 1인당 철강생산량과 종업원 1인당 부가가치 등의 생산성 지표가 세계 5위안에 위치하고 있다.

IV. 전략수립을 위한 매트릭스

지금까지는 Malmquist 지수로 나타난 분석 결과를 중심으로 설명하였다. 이러한 분석 결과는 성과의 측정이라는 차원에서 매우 중요한 시사점을 제공하지만 전략수립에도 유용한 정보를 제공한다.

전략의 수립시에는 흔히 전략적 리더 집단을 구분하는 작업이 선행될 필요가 있다. 전략적 리더는 다양한 성과기준에 의해서 선정될 수 있지만 본 연

구와 같이 다수의 투입물과 산출물 기준이 포함된 기술변화 지수로서 구분할 수도 있다⁸⁾. 따라서 전략적 리더를 각 국가별로 평균적 기술진보가 높게 나타난 철강기업으로 정의한다면 <표 2>에서 파악할 수 있듯이 미국은 NATIONAL STEEL(1.007), 일본은 NIPPON STEEL(1.014), 독일은 KRUPP AG HOESCH-KRUPP(1.006) 등으로 나타난다. 이외의 다른 국가는 분석대상에 소수의 기업만이 포함되었거나 기술의 퇴보가 발생하였기 때문에 이들 기업을 전략적 리더로 고려하는 것이 적절치 못할 수 있어 포함시키지 않았다. 이러한 전략적 리더의 구분방식은 주관적인 판단이나 통계분석을 적용한 전략 그룹보다 체계적인 방법으로서 마이클 포터(Michael E. Porter)의 산업환경분석의 한 차원인 시장 내 경쟁관계를 설명하는데 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

한편, 문헌연구에서 살펴본 바와 같이 Malmquist 지수는 주목적이 총 요소생산성 즉, 생산성 변화 지표를 제공해 주는 것이지만 기술 효율성 변화, 규모의 효율성 변화지표로 분해될 수 있다. 분해를 통해 분석된 기술변화, 기술 효율성 변화, 규모의 효율성 변화는 개별 철강업체의 입장에서는 모두 경쟁력의 원천으로서 중요하게 평가되어야 할 개념들이다. 분석의 결과는 <표 3>에 나타나 있다.

<표 3>과 같이 본 연구에서 수행하는 산출물 기준하의 다양한 효율성 측정에서 기술적 효율성은 사용된 투입물의 양을 고정시킨 채 산출물의 크기를 어느 정도까지 비례적으로 증가시킬 수 있는지를 측정하는 개념이다. 이러한 기술적 효율성의 기간별 변화는 제 II장에서 이미 언급하였듯이 식(7)의 두 번째 줄에서 괄호 밖의 부분에 의해 계산된다. 또한 규모의 효율성 변화는 식(8)의 우변항 첫 번째 줄 두 번째 항에 의해 측정된 값으로서 효율적 경계의 규모의 수익불변

과 수익변동 가정하의 효율성의 차이를 의미한다.

본 연구에서는 이러한 지표들을 바탕으로 개별 업체의 현재 위치를 명확하게 파악할 수 있도록 <그림 6>과 같은 전략수립 매트릭스를 도출하였다. 이 매트릭스에서 횡축은 기술변화를 나타내고 종축은 기술 효율성 변화를 나타낸다. 또한 이 그림에서 규모의 효율성 변화는 밀줄이 있음과 없음을 통해서 표현되고 있는데, <그림 6>에서는 밀줄이 있으면 규모의 효율성이 하락함을 의미하고, 없으면 상승함을 의미한다.

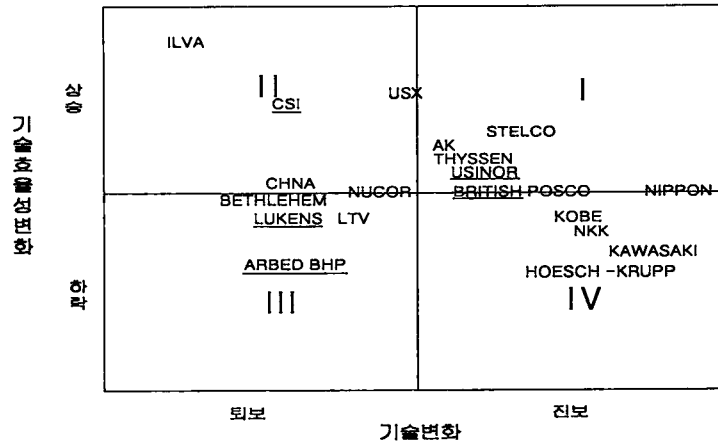
이 매트릭스를 이용하면 개별 업체들의 위치가 쉽게 파악되고 업체간의 비교가 수월해진다. I사분면은 기술의 진보와 기술 효율성의 향상이 이루어지고 있는 위치로서 이 위치의 기업들은 경쟁력을 갖춘 기업이라고 할 수 있다. 그러나 III사분면은 기술의 퇴보와 기술 효율성의 감소가 동시에 발생하고 있는 위치로서 이 위치에 해당되는 회사들은 경쟁에서 심각한 퇴보를 경험할 수 있게 된다. 이에 비해 II사분면과 IV사분면은 기술 효율성 변화와 기술변화에 있어서 어느 한 쪽만 강점을 갖고 있는 위치로서 낮게 평가된 분야에 대해 집중적인 관리 노력이 요구되는 위치이다.

현재까지는 기술변화, 기술 효율성, 규모의 효율성 변화에 어떠한 요인들이 결정적인 영향을 미치는지를 명확히 검증한 연구는 없었다. 하지만 철강 산업에서 발생하고 있는 상황에 비추어 볼 때, 기술의 진보를 달성하기 위해서는 신기술의 도입, 공정의 혁신, 업무 프로세스의 자동화 및 표준화 등이 요구되고 기술 효율성의 향상을 달성하기 위해서는 비용절감, 공정의 효율화, 관리 효율화 등이 요구되며, 규모의 효율성 향상을 달성하기 위해서는 벤치마킹 대상을 통한 구조조정, M&A, 전략적 제휴 등이 고려될 수 있을 것이다.

특히, 최근 세계 철강산업에서 일어나고 있는 경

8) 전략적 리더에 관한 문헌연구와 비모수적 기법의 응용에 대한 연구는 Day et al.(1995)을 참조.

<그림 6> 전략수립을 위한 매트릭스



주) 철강회사의 밀줄의 유무는 규모 효율성의 하락과 상승을 의미

V. 결 론

본 연구에서는 철강산업의 경쟁력 원천이라 할 수 있는 기술변화를 측정하기 위해서 최근의 기법인 Malmquist 지수를 이용하였다. Malmquist 지수는 비모수적인 방법론의 특성상 철강산업의 기술변화를 분석하는데 매우 유용한 도구임이 논의되었다. 따라서 본 연구는 철강산업에 Malmquist 지수를 도입하여 기술변화를 분석한 초기 연구로서 그 의미를 갖는다고 할 수 있다.

이러한 기술변화를 바탕으로 각 철강업체는 자신의 현재 위치를 파악한 후에 앞으로 나아가야 할 전략적 토대를 마련할 수 있다. 기술의 변화는 생산변경에 기초하고 생산변경은 투입물과 산출물간의 관계를 설명하는 함수이기 때문에 이러한 생산변경에 따라 자신의 위치가 파악되면 보다 구체화된 전략수립이 가능하게 되는 것이다.

앞으로 각 철강업체들은 자신들의 경쟁우위를 한층 더 높은 수준으로 끌어올리기 위해서 경쟁력의 원천이 무엇인지를 파악해야 하며, 본 연구는 그 경쟁력의 원천인 생산기술 능력의 변화를 명확하게 파

악할 수 있는 도구를 설명하였다. 이러한 분석은 각 철강회사에게 기술변화의 평가뿐만 아니라 생산성에 기초한 종합적인 성과측정 도구로서도 활용할 수 있도록 해준다. 따라서 앞으로는 이 연구 결과에 대한 다양한 활용방안이 뒤따라야 할 것으로 보인다.

그러나 본 연구는 비록 철강분야에 한정하여 기술변화를 분석하였을지라도 고려된 투입물과 산출물의 범위가 회사차원의 광의의 개념 하에 선택되었다는 비판을 받을 수 있다. 철강산업은 거대한 설비를 보유한 공정산업으로서 다양한 제품이 산출되기 때문에 각 제품과 공정별로 투입물과 산출물이 고려되어 기술의 변화를 살펴보는 것도 바람직할 수 있다. 이러한 연구는 각 철강회사의 기술변화를 보다 구체화시켜 파악할 수 있는 연구임이 틀림없을 것이다. 따라서 이에 대한 연구가 추후에 수행되어지는 것도 바람직하다. 또한 본 연구에서 수행한 생산측면의 여러 지표(예를 들어, 기술변화, 생산성 변화 등)와 더불어 제품믹스, 관리, 재무 등의 다양한 경쟁력 구성 요소들을 포함하여 평가하는 연구가 수행되는 것이 종합적 경쟁력 판단을 수행하는데 유용하게 활용될 것이다.

참고문헌

- Aigner, D. J. and S. F. Chu (1968), "On Estimating the Industry Production Function," *American Economic Review*, Vol. 58, 824-839.
- 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, 1078-1092.
- 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, 1393-1414.
- Charnes, A., W. W. Cooper and E. Rhodes (1978), "Measuring the Efficiency of Decision Making Units," *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, 429-444.
- Coelli, T. (1996), *A Guide to DEAP Ver 2.1: A Data Envelopment Analysis(Computer) Program*, Centre for Efficiency and Productivity Analysis, CEPA Working paper, University of New England.
- Day, D. L., A. Y. Lewin and H. Li (1995), "Strategic Leaders or Strategic Groups: a Longitudinal Data Envelopment Analysis of the U.S. Brewing Industry," *European Journal of Operational Research*, Vol. 80, 619-638.
- Färe, R. and C. A. K. Lovell (1978), "Measuring the Technical Efficiency of Production," *Journal of Economic Theory*, Vol. 19, 150-162.
- Färe, R., S. Grosskopf and C. A. K. Lovell (1985), *The Measurement of Efficiency in Production*, Kluwer Nijhoff.
- Färe, R., S. Grosskopf and C. A. K. Lovell (1994), *Production Frontiers*, Cambridge University Press.
- Färe, R., S. Grosskopf, B. Lindgren and P. Roos (1995), "Productivity Developments 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 Publications, 253-272.
- Färsund, F. R. (1996), "Productivity of Norwegian Establishment: a Malmquist Index Approach," in Mayes, D. G.(eds.), *Sources of Productivity Growth*, Cambridge University Press, 315-331.
- Gilbert, R. A. and P. W. Wilson (1998), "Effects of Deregulation on the Productivity of Korean Banks", *Journal of Economics and Business*, Vol. 50, 133-155.
- Philip, A. V. (1998), "Changes in multi-mode bus transit efficiency, 1988-1992", *Transportation*, Vol. 25, 1-21.
- Ray, S. C. and H. J. Kim (1995), "Cost Efficiency in the US Steel Industry: A Nonparametric Analysis Using Data Envelopment Analysis," *European Journal of Operational Research*, Vol. 80, 654-671.
- Rossi, M. A. (2001), "Technical change and efficiency measures: the post-privatisation in the gas distribution sector in Argentina," *Energy Economics*, Vol. 23, 295-304.
- Shephard, R. W. (1970), *Theory of Cost and Production Functions*, Princeton University Press.
- Solow, R. M. (1957), "Technical Change and the Aggregate Production Function," *Review of Economics and Statistics*, Vol. 39, 312-320.
- The Institute for Management Development (1993), *The World Competitiveness Report*.
- Uri, N. D. (2000), "Measuring productivity change in telecommunications", *Telecommunications Policy*, Vol. 24, 439-452.
- World Steel Dynamics (1999), *CORE Report 000: Financial Dynamics of 63 International Steelmakers*.
- World Steel Dynamics (1999), *Steel's Millennium: Good for Volume, Great for Customers, Opportunities for Selected Mills*, Steel Strategist #25, July, 169-170.
- Worthington, A. C. (1999), "Malmquist indices of productivity change in Australian financial services," *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, Vol. 9, 303-320.