

한국 제조업의 기술적 효율성 국제 비교 분석

International Comparative Analysis of Technical efficiency in Korean Manufacturing Industry

이 동 주* Dong-Joo Lee

| 목 차 |

I. 서론	IV. 연구 결과
II. 이론적 배경	V. 논의 및 결론
III. 연구 방법	참고문헌
	Abstract

국문초록

본 연구는 한중일과 OECD 가입국을 포함한 총 18개국의 제조업을 11개 부문으로 구분하여 각 국의 산업별 기술적 효율성을 추정하고 비교 분석하였다. 생산성의 전통적인 관점은 기술혁신이나 공정혁신 등을 통해 생산능력을 높이는 것이지만 생산과정의 기술적 효율성에 의해서 가장 큰 영향을 받게 되는데 이러한 생산의 기술적 효율성을 추정하는 대표적인 방법이 확률적 프런티어 생산모형(Stochastic Frontier Production Model: SFM)을 이용한 분석 방법이다.

먼저 산출변수를 총산출 또는 부가가치로 각각 설정하여 확률적 프런티어 생산함수를 추정한 결과, 둘 다 노동, 자본, 중간재 투입의 경우 모든 제조업 부문에서 투입량이 늘어날수록 산출량이 유의하게 증가하는 것으로 나타났다. 한편, 연구개발 투자는 화학, 전자, 기계 산업 등에서 산출량에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다. 이어서 생산함수를 통해 기술적 효율성을 추정한 결과를 보면, 산출변수를 총산출로 설정한 경우 부문별 전체 평균이 0.8이상의 값을 보이면서 대부분 높은 수준의 효율성을 나타내었다. 하지만 부가가치로 설정한 경우에는 일본이 대부분의 제조

* 연세대학교 경제학과 박사과정

업 부문에서 가장 높은 수준을 나타내었으며, 다른 국가들은 총산출 기준의 효율성보다 낮은 수준으로 나타났다. 한중일 3개국을 비교해보면, 대부분의 제조업 부문에서 일본이 가장 높은 효율성을 나타내었으며 우리나라는 일본의 절반이나 3분의 1 수준, 중국은 우리나라 보다 낮은 수준으로 나타났다. 하지만 식품과 전자 부문에서는 중국이 우리나라보다 높게 나타나 이들 부문에서는 중국의 생산 효율성이 크게 향상되었음을 알 수 있다. 이처럼 우리나라는 중국의 빠른 성장에 비해 상대적으로 일본과의 격차를 좁히지 못하고 있으므로 산업별로 기술개발을 촉진하는 다양한 정책적 지원이 요구된다. 이와 함께 제조업 생산성 향상을 위해서는 기술개발뿐만 아니라 기술적 효율성을 제고할 수 있는 경제구조로의 전환도 필요하다고 할 수 있다.

<주제어> 기술적 효율성, 제조업 생산성, 확률적 프런티어 모형

I. 서론

우리나라 제조업은 1970년대 이후 국가적인 지원과 높은 교육열에 의한 양질의 노동력을 바탕으로 경제발전을 이끌며 매우 빠른 속도로 성장해 왔다. 그리하여 노동집약적, 자본집약적, 그리고 지식집약적 산업으로 점차 산업고도화를 이루어가며 현재의 국제경쟁력을 갖게 되었다. 하지만, 외환위기 이후로 우리나라 제조업은 신성장동력을 찾지 못하고 새로운 분야로 진출하는데 어려움을 겪고 있다. 그 주된 원인중 하나는 우리나라 제조업이 지리적으로 근접한 중국과 일본의 제조업 사이에서 ‘넛 크래커(nut-cracker)’ 또는 ‘샌드위치’ 상태에 있기 때문이다. 즉, 선진국과의 기술 격차는 줄어들고 있지 않는 반면, 급속히 성장하고 있는 여러 개발도상국들과의 간격은 점차 좁혀지고 있는 상황에 직면하고 있다.

지난 20여년 동안 중국 기업들은 광대한 내수시장과 국가적인 지원에 힘입어 급속히 성장하였으며, 이제는 고급 인력들이 첨단 기술을 연구 개발함에 따라 제조업의 경쟁력이 급속히 향상되면서 세계 시장에서 우리 기업들은 설 자리를 잃고 있다. 몇 년 전만 하더라도 중국 기업들은 전자, 자동차, 스마트폰, 조선, 철강 등 주요 산업에서 저임금의 노동력을 내세운 임가공 생산에 치중하였고 우리나라와도 ‘합의적 국제분업’을 통해 동반성장해 왔으나 지금은 기술개발 등으로 국제경쟁력이 향상되면서 세계시장에서 우리 제조업의 큰 경쟁자로 부상하였다.

이처럼 우리나라 제조업에 불리한 국제경제 환경에 효과적으로 대응하고 국제경쟁력을 향상시키기 위해서는 무엇보다 경쟁력의 주된 요인인 생산성의 수준을 파악하고, 생

생산 향상을 위한 방안을 마련할 필요가 있다.

생산성이란 경제적 행위를 하는 과정에서 투입된 자원 또는 노력과 그로 인해 얻어진 산출물 간의 비율이다. 기업 또는 산업의 생산성은 한 기업 또는 산업의 경쟁력을 판단해 볼 수 있는 주요인으로 효율성과 비슷한 개념이다. 국가경쟁력이 노동, 자본 등 부존 자원과 기술개발 수준으로 결정되는 것과 마찬가지로, 한 기업 또는 산업의 경쟁력은 생산요소들의 효율적 투입을 통한 산출량을 극대화하는 것으로 결정된다. 즉, 생산성이 향상되면 그만큼 다른 나라와의 경쟁에서 우위에 서게 되는 것을 의미하며 결국 경제성장의 가능성이 높아지게 된다. 1차 산업에 비해 제조업의 제품은 높은 부가 가치를 가질 뿐만 아니라, 많은 고용을 창출함으로써 한 국가의 번영에 큰 영향을 미치게 된다. 그리고 제조업의 생산성이 향상되면 세계 경제에서 국제경쟁력이 높아져 수출 또한 자연스럽게 증가하게 된다.

이담 스미스와 데이비드 리카르도 등으로부터 시작된 국제무역이론에 의하면 노동이라는 생산요소의 생산비 차이가 수출입을 발생시키며 세계 각 국은 자국이 노동, 자본 등 생산비에서 비교우위에 있는 상품을 수출한다. 이러한 명제는 수백 년이 지난 지금도 타당하게 받아들여지고 있다. 따라서 이러한 측면에서도 수출이 국가경제에 중요한 비중을 차지하고 있는 우리나라 제조업의 생산성을 분석하고 다른 국가들과 비교해 볼 필요가 있다.

우리나라 제조업은 그동안 수출로 성장해 왔으며 앞으로도 제조업의 무역의존도는 지속될 전망이다. 우리 제조업의 미래는 세계 시장에서 수출의 지속가능성에 큰 영향을 받으며, 수출이 지속적으로 성장하기 위해서는 신기술을 개발, 제품화하고 생산성을 제고하여 국제경쟁력을 갖추어야 한다. 세계 경제의 불확실성 증대, 중국의 성장 등을 직면하고 있는 우리 제조업이 생산성과 경쟁력을 갖추기 위해서는 현재 처해 있는 상황에 대한 세밀한 분석이 필요하다. 특히 세계 주요 선진국들이 가입되어 있는 OECD 가입국들과의 효율성 비교는 우리나라 제조업의 현실을 보다 명확하게 이해하는 데 도움을 줄 것이다. 기존의 생산성 연구들은 한중일이 중심이 되어 두세 국가의 비교에 그치는 제한이 있었다. 세계 무역의 다변화가 요구되고 있는 시점에서 이제는 한중일을 넘어서 OECD 가입국들과 같은 선진국을 포함한 생산성 비교는 의미가 있다 하겠다.

기존의 생산성 분석에 관한 연구들은 총요소생산성, 즉 Solow(1957)가 제시한 투입요소로 설명이 불가능한 산출 부문의 잔차(residual)를 기술발전으로 간주하는 방법을 사용하였다. 그러나 최근에는 프런티어 함수 형태로 나타나는 효율적인 기술 수준과 비교하여 비교 대상의 상대적인 기술 수준이 어디에 위치하는지 살펴보는 기술적 효율성 추정 방법을 많이 사용하고 있다.

이에 본 연구에서는 우리나라의 제조업의 부문별 기술적 효율성을 확률적 프런티어 모형을 통해 총산출, 부가가치에 대해 각각 추정하고, 이를 OECD 가입국들 속에서 비교, 분석하여 경쟁력을 평가함으로써 우리나라 제조업의 국제적인 수준을 파악하고 정책적 시사점을 논의하고자 한다.

II. 이론적 배경

1. 제조업의 중요성

IT 기술의 발달과 함께 인공지능이 중요한 역할을 하는 4차 산업혁명이 진행될 것으로 예측된다(Bloem et al., 2014). 역설적이게도 4차 산업혁명에서 제조업의 중요성은 더욱 커지고 있다. 미국을 중심으로 보호무역주의가 다시 등장하고 있으며, 독일을 중심으로 유럽 선진국에서도 제조업에 대한 중요성은 더욱 커져가고 있다(Blanchet, Rinn, Von Thaden, & De Thieulloy, 2014). 즉, 아무리 컴퓨터와 IT기술이 발전을 하더라도 제조업이 뒷받침되지 못한다면 모든 산업의 발전은 제약될 수 밖에 없기 때문이다(Almada-Lobo, 2016). 제조업은 다른 산업에 비해 파급효과가 크며, 보다 많은 인력을 고용하게 하고, 규모의 경제를 가능하게 함으로써 지금과 같은 자유무역의 시대에 한 국가의 발전과 번영을 위해 중요한 비중을 차지한다.

제조업의 중요성에도 불구하고 현재 우리나라 제조업은 국제경쟁력 측면에서 선진국과 개발도상국 사이에 끼인 상황으로 묘사되고 있다. 이러한 상황은 제조업의 세부적인 영역들에서 다소 차이를 보이고 있다. 예를 들어 반도체와 자동차, 조선 등은 선진그룹에 속해 있지만 섬유 등에서는 뒤쳐져 있다고 여겨진다. 우리나라의 제조업은 1970년대 이후 국가적 차원에서 기술개발과 함께 산업고도화를 이루어왔다. 그리하여 반도체와 조선, 자동차, 철강 분야에서 일본과 거의 동등한 위치에까지 다다르거나 일부 종목들은 추월하기도 하였다. 하지만 1990년 이후 중국이 개방화를 급속히 이루면서 우리나라 제조업의 많은 분야에서 뒤를 추격하고 있다(Bae, Kim, & Keum, 2015; Koo & Hong, 2014). 2000년대 중반까지 일본, 한국, 중국의 제조업은 국제 생산 네트워크라는 관점에서 동일한 영역의 산업영역임에도 원재료, 부품, 완성품 등으로 계열화함으로써 산업내 무역으로 교역량을 상호 증가시키며 동반 성장을 이루어왔다. 하지만 최근 중국이 노동집약에서 벗어나 자본집약과 기술집약의 단계로 접어들면서 제조업의 전반적인 분야에서 우리나라를 뒤따라 잡고 있다. 비

근한 예로 스마트폰은 화웨이와 샤오미, 레노보가 이미 중국에서는 삼성이나 LG보다 높은 점유율을 보이고 있으며(Chunjuan, Xukun, & Zeyuan, 2008), 조선 수주량은 한국을 넘어선 지 오래다(Yong-beom, 2016). 자동차 산업에서도 중국 자체 브랜드의 판매량은 한국의 현대와 기아의 판매량과는 비교할 수 없을 정도가 되었다. 향후 3~4년 내에 많은 산업부문에 서 중국이 우리나라와 거의 동등한 경쟁력을 갖출 것으로 예측되고 있으며, 중국 정부의 직간접적인 지원과 함께 거대한 내수 시장을 발판으로 중국의 제조업은 더욱 급속히 발전을 해 나갈 것이 확실하다. 미래창조과학부의 조사에 의하면 2014년을 기준으로 한국과 중국의 기술격차는 단지 1.4년이었다(이승룡, 2015). 반면 한국과 일본의 기술격차는 2.8년으로 이는 우리나라가 일본을 따라잡는 속도보다 중국이 우리나라를 추월하는 속도가 더욱 빠른 셈이다.

세계화가 진행되면서 기존의 한중일 중심의 비교보다 세계 국가들을 포함한 산업 비교가 더욱 중요한 상황이 되었다. 특히 미국과 중국 등 세계 2대 강국에 집중된 무역 교역량은 정치사회적 변화에 따라 요동의 위험이 있다. 따라서 무역의 다변화라는 측면에서도 세계 각국들과의 산업 경쟁우위에 대한 분석이 필요한 시점이다.

2. 확률적 프런티어 모형과 기술적 효율성 추정

생산성의 전통적인 관점은 기술혁신이나 공정혁신 등을 통해 생산능력을 높이는 것이다. 하지만 생산성은 생산과정의 효율성에 의해서도 영향을 받게 된다. 이러한 관점에서 생산성은 주어진 기술수준에서 일정량의 생산요소를 투입할 때 얻어지는 실제 생산량과 최적의 생산량 사이의 차이로 해석될 수 있다. 즉, 기술이나 공정혁신뿐만 아니라 생산과 관련된 시장이나 제도, 규제, 그리고 경영능력이나 노사관계 등이 생산성에 영향을 미칠 수 있고 이것은 결국 경쟁력으로 나타나게 된다.

생산의 기술적 효율성을 추정하는 대표적인 방법은 확률적 프런티어 생산모형(Stochastic Frontier Production Model: SFM)을 이용한 분석방법이다. SFM 분석방법은 1977년도에 처음으로 Aigner, Lovell & Schmidt(Aigner, Lovell, & Schmidt, 1977)와 Meeusen & Broeck(Meeusen & van Den Broeck, 1977)에 의해 제시되었다. 이후 Battese & Coelli(Battese & Coelli, 1995)와 Kumbhakar(Kumbhakar, Denny, & Fuss, 2000), Coelli, Prasada Rao & O'Donnell(Coelli, Rao, O'Donnell, & Battese, 2005), 그리고 Greene(William Greene, 2005; William Greene, 2005)에 의해 다양한 함수가 개발되어 발전되었다. 특히 Belotti 등(Belotti, Daidone, Ilardi, & Atella, 2012)는 패널 데이터를 이용한 확률적 프런티어 분석의 다양한 모형을 STATA 프로그램을 통해 분석할 수 있도록 제시함으로써 효율성 연구에 진전을 이루도록 하였다. 이러한 함수를 이용하여 우리나라

에서도 강전은(강전은, 2007), 한광호(한광호, 2008), 노재확(노재확, 2010), 정선영(정선영, 2010), 신범철과 이의영(신범철 외, 2010), 이영훈(이영훈, 2011), 배찬권, 김영귀, 금혜운(배찬권 외, 2015)가 생산성과 효율성을 분석하는데 이용하였다.

강전은(2007)은 한국과 중국의 상장 기업을 대상으로 확률적 프런티어 모형을 이용하여 산업별(첨단기술 및 고기술 산업) 생산의 효율성을 측정하였는데 모든 부문에서 한국 기업의 효율성이 중국보다 높게 나타났지만 그 증가 추세가 중국에 비해 매우 낮아 효율성 격차가 점차 감소하고 있다는 분석 결과를 제시하였다.

한광호(2008)는 확률적 프런티어 생산함수를 추정하여 한국과 미국 제조업의 총요소생산성을 분석·비교하였는데 분석 결과, 양국 제조업의 생산에는 기술적 비효율성이 유의적으로 존재하며 이는 시간에 걸쳐 변화하고 있다고 하였으며 한국이 미국에 비해 상대적으로 기술적 효율성의 총요소생산성에 미치는 영향이 더 크다고 주장하였다.

신범철 외(2010)에서는 한국 제조업체의 R&D 집중도와 수출 비중이 생산효율성에 미치는 효과를 중소기업과 대기업을 구분하여 비교하였는데 분석 결과, 수출비중의 증가가 생산의 기술적 비효율성을 증가시키므로 수출 증대가 기술적 효율성에 오히려 부정적인 영향을 미친다고 주장하였고 R&D 투자 비중의 경우 중소기업의 경우 그 비중의 증가가 기술적 비효율성을 감소시킨다고 주장하고 있다.

배찬권 외(2015)는 한중일 제조업의 총요소생산성 및 확률적 프런티어 생산함수 추정을 통한 기술적 효율성을 비교 분석함으로써 국내 제조업의 경쟁력을 진단하고 향후 경쟁구조의 변화를 전망하였는데 분석 결과, 국내 제조업 생산성은 정확히 일본과 중국 사이에 놓여 있으며, 일본과의 격차는 좀처럼 줄어들지 않는 반면 중국과의 격차는 빠른 속도로 좁혀지고 있는 것으로 나타났으며 기술적 효율성의 경우에도 중국이 전 산업 부문에서 급속히 개선되어 대부분의 산업이 극대 생산량 대비 90%를 상회하는 수준으로 생산한다는 결론을 제시하고 있다.

마지막으로 정선영(2010)은 보고된 확률적 프런티어 모형에 대한 문제점을 다음과 같이 정리하였다. 첫째 기존의 생산성 분해연구는 개별적인 산업별 자료가 아닌 산업 전체의 데이터를 이용하였거나, 특정국가 두세 개를 중심으로 비교분석하였다. 둘째, 기술적 효율성을 고려한 생산성 분석은 생산함수의 종류, 즉 모형에 따라 생산성 분석결과가 영향을 받는다. 셋째, 기술적 효율성 분석은 분석목적과 대상에 따라, 즉, 투입변수와 산출변수에 따라서 그 결과가 달라질 수 있다. 따라서 가용자료의 특성을 정확하게 파악하는 것이 우선이고, 그것에 근거하여 모형을 선택해야 한다.

따라서 본 연구에서는 다음과 같이 분석을 수행하였다. 첫째, 기존의 단지 두세 개 국가가 아니라 OECD 가입국들(데이터를 제공하고 있는 17개국)을 대상으로 하였으며,

우리나라와 경쟁관계에 있는 중국도 포함하였다. 그리고 제조업을 11개 부문별로 나누어서 세분하여 생산성을 비교하였다. 둘째, 패널 데이터를 이용하여 패널 SFM 분석을 하였다. 패널 데이터를 이용하는 경우 투입변수와 잔차의 상관의 문제가 해소됨으로써 보다 정확하게 분석할 수 있다. 셋째, 산출변수를 총산출(매출) 또는 부가가치로 선정하여 그 결과값을 비교함으로써 다양한 관점에서 기술적 효율성을 확인할 수 있도록 하였다.

Ⅲ. 연구 방법

1. 분석자료

본 연구에서는 한중일과 OECD 가입국을 포함한 총 18개국¹⁾의 제조업 산업별 기술적 효율성을 추정하기 위해 2000년부터 2015년까지를 분석기간으로 설정하였다. 제조업 분류는 <표 1>과 같이 배찬권 외(2015)를 참고하여 ISIC revision 4에 따라 총 11개 산업으로 분류하였으며, 효율성 추정을 위한 기본 데이터는 <표 2>와 같이 OECD STAN, World KLEMS, CEIC(중국 데이터) 등을 통해 국가별 제조업 중분류 수준의 패널 데이터를 구축하였다.

생산함수에 사용된 산출요소(Y)는 총산출(매출) 또는 부가가치로 측정하고, 노동투입량(L)은 종업원수, 자본투입량(K)은 순고정자산과 총고정자본형성의 합계로 측정하였다. 그리고 최홍규(2003) 등 여러 연구에서 중간재 투입을 투입변수로 추가하는 경우가 많아 본 연구에서도 이를 투입변수로 고려하였다. 또한 황준구(2005), 남경모(2015) 등에서는 최근 생산성에 대한 기술개발의 영향력이 커짐에 따라 연구개발 투자를 투입변수로 추가하기도 하여 본 연구에서도 이를 포함하여 분석하였다. 해당 변수들의 선택에 대해서는 좀 더 심층적인 논의가 필요하지만, 선행 연구들에 의거하여 볼 때 큰 무리가 없을 것으로 판단된다. 특히 산출변수의 경우 최홍규(2003), 황준구(2005) 등과 같이 매출액 또는 생산액으로 설정하는 경우도 있지만, 최근의 연구에서는 이를 부가가치로 대체해가는 추세이므로 본 연구에서는 산출요소를 총산출과 부가가치로 각각 설정하여 그 결과를 비교해보고자 한다.

그리고 종업원수를 제외한 모든 변수는 OECD STAN에서 제공하고 있는 국가별, 산업

1) 당초 OECD에서 데이터를 제공하고 있는 국가 전체와 중국을 포함한 24개국을 대상으로 하였으나 에스토니아, 멕시코, 폴란드, 슬로베니아, 스페인, 스위스 등은 데이터가 부족하여 최종 18개국으로 선정하였다.

별, 연도별 디플레이터(2010=100)를 적용하여 실질화된 값을 사용하였으며, 이들 데이터는 각 국의 현지통화로 표시되어 있어 현지통화와 미국 달러(\$) 간의 환율(IMF IFS 데이터 이용)을 적용하여 단위를 통일하였다.

〈표 1〉 제조업 분류기준 및 명칭

구분	명칭	제조업 분류	ISIC Rev4	ISIC Rev3
1	식품	식품, 음료 및 담배 제조업	10, 11, 12	15, 16
2	섬유	섬유, 의류, 신발, 가죽제품 제조업	13, 14, 15	17, 18, 19
3	목재	목재와 목제품(가구 제외), 종이, 인쇄매체 제조업	16, 17, 18	20, 21, 22
4	정유	코크스 및 석유정제 제품 제조업	19	23
5	화학	화학 및 화학제품 제조업(제약업 포함)	20, 21	24
6	비철	고무, 플라스틱, 기타 비금속광물 제품 제조업	22, 23	25, 26
7	철	1차 금속 및 조립금속 제조업	24, 25	27, 28
8	전자	전기, 전자제품 제조업	26, 27	30~33
9	기계	일반기계 제조업	28	29
10	수송	운송기기 제조업	29, 30	34, 35
11	기타	기타제조업(가구 포함), 수리 및 리사이클링	31, 32, 33	36, 37

자료 : 배찬권 외(2015)

〈표 2〉 데이터 단위 및 출처

구분	데이터	단위	출처
산출(Y)	총산출(매출)	현지통화	- OECD STAN(중국: CEIC) - World KLEMS
	부가가치		
노동(L)	종업원수	명	
자본(K)	순고정자산+총고정자본형성	현지통화	
원재료(I)	중간재 투입	현지통화	
기술(R)	연구개발 투자	현지통화	
	대미달러 환율		- IMF IFS

2. 분석방법

본 연구에서는 한중일 및 OECD 가입국을 포함한 총 18개국의 기술적 효율성을 추정하기 위해 Schmidt & Sickles(1984)에서 제시한 패널 데이터를 이용한 고정효과 모형을 채택하였다.

$$Y_{i,t} = A_0 + X'_{i,t}\beta + \nu_{i,t} - u_i \quad (1)$$

$i = 1, \dots, N$
 $t = 1, 2, \dots, T$

위 식(1)에서 u_i 는 고정된 것으로 간주하고, u_i 에 대한 어떠한 가정도 하지 않으면 이 모형은 고정효과 모형이 된다.

$$Y_{i,t} = A_i + X'_{i,t}\beta + \nu_{i,t}, \quad A_i = A_0 - u_i \quad (2)$$

위 식에서 $u_i=0$ 일 때 개별적 특성의 효율성은 가장 낮은 수준이 된다. 여기서 기술적 효율성은 $TE_i = \exp(-u_i) = \exp(A_i - A_0)$ 로 정의할 수 있으며 이로 인해 절대적 효율성을 측정할 수 있다. 따라서 기술적 비효율성은 $1-TE_i$ 로 표현된다.

이제 위의 확률 프런티어 모형으로부터 크기가 N 인 표본 내에서의 A_i 의 순서를 정할 수 있고 $A_{(1)} \leq A_{(2)} \leq \dots \leq A_{(N)} \leq A_{(0)}$ 와 같이 표현할 수 있다. 이 때 (N) 은 N 개의 기업 중 가장 큰 A_i 를 갖는 국가의 지표이며 이에 따라 $0 \leq u_{(N)} \leq u_{(N-1)} \leq \dots \leq u_{(1)}$ 처럼 순서가 정해지게 된다. 따라서 국가 (N) 는 표본 내에서 가장 좋은 기술적 효율성을 갖는 국가를 의미하며, 이러한 나열 과정을 통해 표본 내의 최대 효율 국가 (N) 에 대하여 각 국의 상대적 효율성을 측정할 수 있다.

논의의 전개를 간략히 하기 위해 식(2)의 구체적인 함수형태를 콥-더글라스 생산 함수 형태로 가정²⁾하고 투입요소를 노동과 자본으로 한정할 경우 식(3)과 같이 정형화 할 수 있다.

$$\ln Y_{i,t} = A_0 + \beta_1 \ln L_{i,t} + \beta_2 \ln K_{i,t} + \nu_{i,t} - u_i \quad (3)$$

$i = 1, \dots, N$
 $t = 1, 2, \dots, T$

다음으로 본 연구에서는 위 식(3)에 투입요소로서 중간재 투입(I)과 연구개발 투자(R) 변수를 추가하여 아래 식(4)와 같이 표현할 수 있다.

$$\ln Y_{i,t} = A_0 + \beta_1 \ln L_{i,t} + \beta_2 \ln K_{i,t} + \beta_3 \ln I_{i,t} + \beta_4 \ln R_{i,t} + \nu_{i,t} - u_i \quad (4)$$

2) 기술적 효율성을 측정하는 대부분의 연구에서는 특정한 함수 형태를 가정하고 있는데 그 중 가장 많이 사용되는 함수는 콥-더글라스 생산함수와 트랜스 로그(초월대수) 생산함수이며, 둘 중 형태가 단순하면서 추정이 비교적 용이한 것이 콥-더글라스 생산함수이다.

결국 고정효과 모형의 경우 기술적 효율성 역시 시간에 독립적이라는 가정 하에 아래 식(5)와 같이 표현된다.

$$TE_i = \frac{E(Y_{it} | u_i, X_{it})}{E(Y_{it} | u_i=0, X_{it})} = e^{-u_i} \quad (5)$$

위 식(5)에서 E는 기댓값이고 u는 기술적 비효율성을 의미한다. 따라서 앞서 언급한 대로 u값이 작을수록 그 기업의 효율성은 높다고 할 수 있으므로 $u=0$ 이면 기술적 효율성 e^{-u} 의 값은 1이 되고, 이는 실제 생산량과 효율적 생산량이 일치하는 생산함수 선 위에서 100% 효율적으로 생산되고 있는 것을 의미한다.

이처럼 기술적 효율성을 추정하기 위해서는 식(4)를 최우추정법(maximum likelihood estimation)이나 수정된 최소자승법(corrected least square method)을 이용하여 회귀 분석하면 된다.

하지만 Schmidt & Sickles(1984)에서는 패널 데이터를 사용하여 확률적 프론티어 모형을 추정하는 경우 전통적인 패널 데이터 추정 방법을 사용하도록 하고 있다.

이는 최우추정법에 비해 다음과 같은 장단점을 갖고 있다. 먼저 단점이라고 하면 전통적인 패널 데이터 접근법의 경우 기업 또는 산업이 효율적이냐의 여부에 관계없이 추정하려는 프론티어 모양에 같은 크기의 영향력을 갖고 있지만, 최우추정법에서는 가장 효율적인 기업이 추정된 프론티어 모양에 결정적인 영향력을 미친다고 할 수 있다. 그리고 전통적인 패널 분석방법의 장점은 만약 비효율효과와 독립변수가 서로 독립적이지 않다고 하더라도 고정효과 패널 데이터 모델에서는 계수추정이 가능한 반면, 최우추정법은 비효율 효과와 독립변수들이 서로 독립이라고 가정한다.

본 연구에서는 표본기간 내 국가 간, 산업 간 효율성 차이를 평균적으로 비교하는데 그 목적이 있으므로 Schmidt & Sickles(1984)에서 제시한 대로 전통적인 패널 데이터 분석방법을 사용하고자 한다.

IV. 연구 결과

본 연구에서 분석에 사용한 변수들 모두 로그 변환한 값들을 이용하였다. <표 3>과 <표 3-1>은 전체 변수에 대한 통계적 특성을 나타낸다. 모든 변수들은 왜도가 절대값 1

이하로 정규분포를 이루고 있으므로 본 연구의 분석 자료로 사용하는데 큰 무리가 없다고 판단하였다.

앞서 언급한 대로 생산함수의 종속변수는 총산출 또는 부가가치로 설정하였고, 노동변수는 종업원수, 자본변수는 자본투입량을 나타내는 순고정자산과 자본투자를 의미하는 총고정자본형성의 합계로 설정하였다. 그리고 동일한 하나의 모형 안에서 기술적 효율성 분석을 위해 추가적으로 중간재 투입과 연구개발 투자를 고려하였다.

먼저 확률적 프런티어 생산함수의 산출변수를 총산출로 하여 생산함수를 추정한 결과는 <표 4>와 같다. 이 경우 노동과 자본에 대한 계수는 식품을 제외하고 각각 모두 양수로 나타났으며, 식품과 정유를 제외하고 모두 95% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 즉, 노동과 자본 투입량이 늘어날수록 총산출이 통계적으로 유의하게 증가한다는 것을 알 수 있다. 그리고 중간재 투입의 계수는 모든 산업에서 높은 양수로 나타났으며 모두 99% 신뢰수준에서 유의한 것으로 나타나 중간재 투입이 총산출에 미치는 영향이 매우 큰 것으로 나타났다. 또한 연구개발 투자의 계수는 화학, 전자, 기계 산업 등에서 높게 나타나 이들 산업에서 기술개발의 중요성이 크다는 것을 알 수 있다.

부가가치를 산출변수로 설정한 경우 추정 결과는 <표 5>와 같다. 총산출 기준으로 추정된 결과와 마찬가지로 노동과 자본에 대한 계수는 식품을 제외하고 각각 모두 양수로 나타났으며, 정유, 철, 비철을 제외하고 모두 90% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 중간재 투입의 계수는 모든 산업에서 다른 변수에 비해 상대적으로 높은 양수로 나타났으며 모두 99% 신뢰수준에서 유의한 것으로 나타나 부가가치에 대한 중간재 투입의 영향력이 매우 큰 것으로 나타났다. 연구개발 투자의 계수 역시 화학, 비철, 전자, 기계 등의 산업에서 높은 값을 나타내 이들 산업에서 기술개발의 중요성을 다시 확인할 수 있다.

이와 함께 모든 제조업 부문에서 각 기업 또는 산업이 통제할 수 없는 확률오차와 통제 가능한 기술적 비효율성의 상대적 분산비율을 나타내는 모수(σ_v / σ_u)가 1보다 크게 나타나 모든 제조업 부문에서 기술적 비효율성이 오차항의 변동에 더 크게 기여하고 있다는 것을 알 수 있다. 이는 분석 대상 국가의 산업이 주어진 기술 수준에서 달성가능한 최대 생산량보다 적은 양을 생산하고 있음을 의미한다.

다음으로 본 연구의 주요 관심대상인 국가별 기술적 효율성 추정결과는 <표 6> 및 <표 7>과 같다. 이는 식(5)의 TE 에 따라 계산된 결과값이다. 모든 효율성 추정치는 최대 효율을 나타내는 국가가 1의 값을 갖게 되고 다른 국가는 그에 대한 상대적 추정치로서 순위가 낮아질수록 추정치의 값도 작아진다.

먼저 <표 6>은 산출변수를 총산출로 설정하고 SFM으로 추정된 결과로서 총 11개 부

문 중 6개 부문에서 일본이 가장 효율적인 국가로 나타났다. 11개 부문에서 모든 국가들의 평균값이 0.8이상이었으며 기계와 수송의 경우는 0.9보다 높게 나타나 분석 대상 국가들이 대부분 선진국들로서 높은 효율성을 가진 것을 알 수 있다. 이에 반해, 한국은 화학 산업에서만 전체 평균을 상회할 뿐 나머지 부문에서는 모두 평균이하로 나타났다.

총산출에 대한 기술적 효율성을 세부 부문별로 살펴보면, 식품의 경우 18개국 전체 평균은 0.873이며, 최고치인 1은 일본으로 나타났다. 우리나라는 0.817, 그리고 중국은 0.892로 중국이 우리나라보다 약간 높은 수치를 보였다. 섬유의 생산성은 18개국 평균이 0.829였고 영국이 최대값을 보였다. 우리나라는 18개국 중 가장 낮은 0.693을 보인 반면 일본은 0.977, 그리고 중국은 0.826이었다. 목재의 생산성은 18개국 평균이 0.817이었는데, 일본이 가장 높았으며, 중국이 0.703인 반면 우리나라는 0.734로 나타났다. 정유의 경우 평균이 0.886이었고, 가장 높은 수치를 보인 국가는 일본이었다. 우리나라는 0.863, 중국은 0.837로 거의 차이가 없었다. 그리고 화학의 경우 평균이 0.874였고 가장 높은 수치를 나타낸 국가는 영국이었다. 일본은 0.799, 중국이 0.828인 반면 우리나라는 0.875로 3개국 중 가장 높은 수치를 보였다. 일본은 비철과 기계에서 모두 1위였고, 우리나라와 중국은 모두 약 0.8정도로 나타났다.

이어서 산출변수를 부가가치로 설정한 후 SFM 분석을 한 결과는 <표 7>과 같다. 부가가치의 경우 역시 일본이 많은 제조업 부문에서 가장 효율적인 국가로 나타났다. 하지만 총산출의 경우와 달리 11개 부문에서 모든 국가의 평균값이 0.4에서 0.8사이로 나타났다. 가장 낮은 평균값을 보인 부문은 정유로서 0.455였다. 정유 산업에서 가장 높은 값을 나타낸 국가는 일본이었고 우리나라는 0.477로 일본에 비해 절반도 채 되지 않는 생산성을 보였으며, 중국은 0.152로 우리나라의 절반 이하의 생산성을 보였다.

이처럼 일본은 정유뿐만 아니라 식품, 섬유, 목재, 비철, 기계, 기타항목 등 조사된 11개 세부 부문 중 무려 7개 항목에서 가장 높은 효율성을 보이는 것으로 나타났다. 이에 반해, 우리나라는 각각 0.477, 0.485, 0.287, 0.313, 0.477, 0.613, 0.347로 일본에 비해 대부분 절반이나 3분의 1수준의 생산성을 보이고 있다. 그리고 중국은 0.152, 0.550, 0.156, 0.111, 0.287, 0.287, 0.131 등으로 나타나, 아직 대부분의 제조업 세부 부문에서 우리나라보다 낮은 수치를 보이는 것으로 나타났다. 하지만 식품과 전자 부문에서는 우리나라보다 효율성이 높게 나타나 중국의 생산 효율성이 크게 향상되었음을 알 수 있다.

이외에 화학의 경우 영국의 기술적 효율성이 가장 높은 것으로 나타났고, 우리나라는 0.621, 일본이 0.484, 중국이 0.441로 나타나 오히려 우리나라가 한중일 3국 중 가장 높은 수치를 보였다. 철은 독일이 가장 높은 수치를 보였고, 우리나라는 0.314, 일본은 0.703, 중국은 0.280으로 일본과 우리나라와의 간격은 크고 우리나라와 중국의 간격은 매

우 작은 것으로 나타났다. 수출은 노르웨이가 가장 높았으며 일본은 0.851, 중국은 0.502, 우리나라는 0.580으로 철 산업과 같이 일본과의 간격은 크고 중국과는 작은 차이를 보이는 것으로 나타났다.

〈표 3〉 변수의 산업별 통계적 특성

구분	산업분류	변수	관측치수	평균	표준편차	최소	최대	왜도	첨도
1	식품	총산출	388	10.6	1.6	6.5	13.7	-0.2	2.7
		부가가치	385	9.2	1.6	5.1	12.4	-0.2	2.7
		종업원수	402	5.6	1.9	2.5	12.0	1.0	4.3
		자본	271	10.2	1.2	8.3	12.9	0.4	2.1
		중간재 투입	388	10.3	1.5	6.2	13.5	-0.3	2.7
		연구개발	322	17.7	4.0	1.2	22.7	-2.6	10.8
2	섬유	총산출	387	9.0	1.6	5.9	13.6	0.3	2.3
		부가가치	384	7.8	1.5	4.9	10.8	0.1	1.8
		종업원수	401	4.8	2.1	1.5	12.0	0.9	4.4
		자본	255	8.5	1.4	5.7	11.4	0.2	2.3
		중간재 투입	387	8.6	1.7	5.4	13.3	0.3	2.3
		연구개발	310	16.7	4.4	-2.2	22.4	-3.0	12.8
3	목재	총산출	387	9.9	1.4	6.4	13.0	0.1	2.8
		부가가치	384	8.7	1.3	5.1	11.8	0.1	3.0
		종업원수	401	5.1	1.6	2.8	11.2	1.5	6.2
		자본	255	9.8	1.1	7.9	12.4	0.6	3.1
		중간재 투입	387	9.5	1.4	6.0	12.7	0.1	2.7
		연구개발	307	16.7	4.1	-0.5	21.8	-2.6	10.4
4	정유	총산출	357	9.5	2.4	0.7	13.6	-1.5	5.7
		부가가치	349	7.1	2.4	-0.4	12.1	-0.7	4.3
		종업원수	350	2.3	2.0	-2.3	9.1	1.1	5.0
		자본	255	8.9	1.5	6.5	12.5	0.7	2.5
		중간재 투입	357	9.4	2.4	0.3	13.4	-1.5	5.8
		연구개발	240	16.4	4.4	0.2	21.3	-2.3	8.3
5	화학	총산출	388	10.3	1.7	5.1	13.7	-0.4	2.9
		부가가치	385	9.0	1.8	3.7	12.8	-0.4	3.2
		종업원수	377	4.7	1.8	2.4	10.9	1.3	5.1
		자본	271	10.5	1.5	7.5	13.9	0.3	2.3
		중간재 투입	388	9.9	1.7	4.8	13.5	-0.4	2.8
		연구개발	273	19.7	4.0	4.2	24.9	-2.4	9.4
6	비철	총산출	387	9.9	1.5	5.5	13.6	-0.1	2.7
		부가가치	384	8.8	1.5	4.3	11.7	-0.2	2.9
		종업원수	392	5.2	1.9	1.8	11.3	1.0	4.6
		자본	255	9.8	1.2	7.4	13.0	0.5	2.5
		중간재 투입	387	9.5	1.5	5.1	13.3	0.0	2.7
		연구개발	308	18.0	4.1	0.8	22.8	-2.7	11.4

〈표 3-1〉 변수의 산업별 통계적 특성

구분	산업분류	변수	관측치수	평균	표준편차	최소	최대	왜도	첨도
7	철	총산출	388	10.5	1.6	5.5	14.2	-0.2	3.0
		부가가치	385	9.2	1.5	4.2	12.3	-0.3	3.2
		종업원수	402	5.6	1.7	2.2	11.6	1.2	5.3
		자본	271	10.3	1.4	7.7	13.7	0.4	2.1
		중간재 투입	388	10.1	1.6	5.2	13.9	-0.1	2.9
		연구개발	316	18.3	4.1	0.1	23.7	-2.9	12.4
8	전자	총산출	388	10.3	1.6	4.9	14.3	-0.1	3.2
		부가가치	385	9.1	1.7	3.8	12.7	0.0	3.2
		종업원수	402	5.2	2.0	2.0	12.1	1.3	5.2
		자본	271	10.2	1.6	7.0	13.5	0.4	2.5
		중간재 투입	388	9.9	1.6	4.5	14.1	-0.2	3.3
		연구개발	313	19.9	4.2	3.6	25.1	-2.3	9.4
9	기계	총산출	388	9.9	1.8	4.2	13.5	-0.4	3.2
		부가가치	385	8.8	1.8	3.0	12.1	-0.4	3.2
		종업원수	402	5.0	1.9	0.5	10.9	0.6	4.1
		자본	271	9.8	1.6	6.6	12.9	0.3	2.1
		중간재 투입	388	9.5	1.8	3.8	13.3	-0.4	3.2
		연구개발	316	18.8	4.2	1.4	23.7	-2.5	10.2
10	수송	총산출	388	10.2	1.9	4.0	13.8	-0.4	3.0
		부가가치	385	8.8	1.9	3.1	12.6	-0.2	2.9
		종업원수	402	5.0	2.1	0.7	11.4	0.7	3.8
		자본	271	10.1	1.8	6.8	13.2	0.0	1.9
		중간재 투입	388	10.0	1.9	3.5	13.6	-0.4	3.1
		연구개발	314	19.3	4.3	1.9	24.6	-2.1	8.5
11	기타	총산출	387	9.5	1.4	6.0	12.4	0.0	2.5
		부가가치	384	8.5	1.4	4.9	11.6	0.0	2.7
		종업원수	401	5.1	1.6	2.7	11.3	1.4	5.9
		자본	255	9.2	1.2	7.2	12.0	0.6	2.5
		중간재 투입	387	9.0	1.4	5.6	11.8	0.0	2.5
		연구개발	304	17.7	4.1	0.5	23.4	-2.7	11.4

주 : 모든 변수는 로그 변환한 값임. 금액은 2010년 기준 실질금액이며 단위는 백만 달러, 종업원수의 단위는 천명임.

〈표 4〉 확률적 프런티어 생산함수 추정 결과 (Y : 총산출)

변수	식품	섬유	목재	정유	화학
ln L	-0.003 (0.003)	0.043*** (0.014)	0.036*** (0.013)	0.011 (0.017)	0.032** (0.015)
ln K	0.110*** (0.014)	0.084*** (0.015)	0.084*** (0.014)	0.058*** (0.022)	0.160*** (0.024)
ln I	0.887*** (0.011)	0.868*** (0.016)	0.862*** (0.015)	0.954*** (0.016)	0.752*** (0.017)
ln R	0.007 (0.005)	-0.001 (0.006)	0.009** (0.004)	0.009 (0.006)	0.055*** (0.011)
t	-0.004*** (0.000)	0.001 (0.001)	-0.003*** (0.001)	-0.010*** (0.002)	-0.001 (0.001)
Constant	7.679*** (0.770)	-1.885 (1.831)	6.646*** (1.532)	20.626*** (3.537)	1.792 (1.947)
σ_u^2	0.531	0.076	0.052	0.063	0.056
σ_v^2	0.014	0.025	0.017	0.046	0.027
R-square	0.997	0.979	0.994	0.991	0.993
관측치 수	210	193	190	151	173

변수	비철	철	전자	기계	수송	기타
ln L	0.034*** (0.012)	0.032** (0.016)	0.070*** (0.020)	0.044*** (0.009)	0.027** (0.012)	0.082*** (0.016)
ln K	0.045*** (0.017)	0.075*** (0.019)	0.115*** (0.031)	0.042*** (0.013)	0.048*** (0.014)	0.073*** (0.017)
ln I	0.883*** (0.017)	0.889*** (0.012)	0.736*** (0.022)	0.877*** (0.011)	0.909*** (0.013)	0.858*** (0.016)
ln R	0.031*** (0.008)	0.011** (0.006)	0.070*** (0.019)	0.032*** (0.008)	0.012*** (0.004)	-0.011 (0.007)
t	-0.003*** (0.001)	-0.004*** (0.001)	0.003* (0.001)	0.001 (0.001)	-0.000** (0.001)	0.004*** (0.001)
Constant	6.984*** (1.56245)	7.755*** (1.468)	-5.432* (2.822)	-1.988 (1.368)	1.036** (1.567)	-7.250*** (1.881)
σ_u^2	0.044	0.061	0.098	0.416	0.041	0.069
σ_v^2	0.019	0.021	0.049	0.021	0.023	0.029
R-square	0.995	0.996	0.976	0.996	0.994	0.988
관측치 수	194	209	203	210	207	193

주 : 1) () 안은 표준오차를 나타냄.

2) ***, **, *는 각각 1%, 5%, 10%에서 유의함을 의미함.

〈표 5〉 확률적 프런티어 생산함수 추정 결과 (Y : 부가가치)

변수	식품	섬유	목재	정유	화학
ln L	-0.024** (0.011)	0.093* (0.049)	0.207*** (0.056)	0.453*** (0.147)	0.033 (0.051)
ln K	0.421*** (0.058)	0.286*** (0.046)	0.319*** (0.056)	0.024 (0.191)	0.526*** (0.079)
ln I	0.564*** (0.011)	0.600*** (0.048)	0.526*** (0.058)	0.820*** (0.146)	0.184*** (0.054)
ln R	0.020 (0.018)	-0.016 (0.017)	0.024* (0.014)	0.025 (0.055)	0.196*** (0.036)
t	-0.013*** (0.002)	0.002 (0.003)	-0.011*** (0.003)	-0.089*** (0.016)	-0.005 (0.003)
Constant	24.735*** (3.091)	-4.182 (6.021)	21.710*** (5.908)	177.198*** (31.397)	7.538 (6.321)
σ_u^2	0.212	0.289	0.234	0.502	0.180
σ_v^2	0.054	0.071	0.059	0.376	0.087
R-square	0.930	0.0781	0.873	0.301	0.879
관측치 수	207	190	187	146	170

변수	비철	철	전자	기계	수송	기타
ln L	0.039 (0.041)	0.041 (0.056)	0.183*** (0.055)	0.115*** (0.034)	0.087* (0.046)	0.255*** (0.060)
ln K	0.118** (0.055)	0.290*** (0.070)	0.243*** (0.078)	0.104** (0.043)	0.178*** (0.052)	0.28*** (0.053)
ln I	0.686*** (0.053)	0.607*** (0.041)	0.316*** (0.056)	0.659*** (0.035)	0.665*** (0.048)	0.509*** (0.050)
ln R	0.081*** (0.027)	0.024 (0.020)	0.239*** (0.050)	0.076** (0.030)	0.051*** (0.016)	-0.025 (0.019)
t	-0.010*** (0.003)	-0.013*** (0.003)	0.002 (0.004)	0.005** (0.002)	-0.002 (0.003)	0.013*** (0.003)
Constant	19.626*** (4.995)	24.922*** (5.186)	-7.141 (7.061)	-11.193** (4.446)	3.729 (5.939)	-25.560*** (5.221)
σ_u^2	0.162	0.218	0.294	0.193	0.158	0.256
σ_v^2	0.057	0.073	0.117	0.064	0.085	0.071
R-square	0.928	0.921	0.827	0.959	0.904	0.921
관측치 수	191	206	200	207	207	190

주 : 1) () 안은 표준오차를 나타냄

2) ***, **, *는 각각 1%, 5%, 10%에서 유의함을 의미함.

〈표 6〉 국가별 · 산업별 기술적 효율성(평균값) - [Y : 총산출]

구분	국가	제조업 분류										
		식품	섬유	목재	정유	화학	비철	철	전자	기계	수송	기타
1	Austria	0.902	0.819	0.835	0.937	0.899	0.932	0.940	0.881	0.945	0.934	0.905
2	Belgium	0.826	0.769	0.811	0.876	0.874	0.870	0.848	0.802	0.930	0.880	0.832
3	Czech	0.849	0.750	0.764	0.863	0.821	0.846	0.835	0.845	0.851	0.873	0.793
4	Denmark	0.802	0.746	0.886	-	-	0.912	1.000	0.910	0.889	0.988	0.981
5	Finland	0.858	0.884	0.798	-	0.889	0.953	0.893	0.889	0.890	0.962	0.944
6	France	0.952	0.839	0.832	0.867	0.932	0.908	0.916	0.819	0.908	0.878	0.945
7	Germany	0.893	0.833	0.826	0.858	0.891	0.932	0.955	0.930	0.982	0.966	0.921
8	Italy	0.837	0.828	0.807	0.789	0.893	0.866	0.870	0.857	0.899	0.911	0.795
9	Japan	1.000	0.977	1.000	1.000	0.799	1.000	0.861	0.818	1.000	0.954	1.000
10	Netherlands	0.842	0.815	0.844	0.841	0.830	0.907	0.943	0.858	0.921	0.968	0.949
11	Norway	0.846	0.908	0.834	-	-	0.893	0.890	0.897	0.943	1.000	0.908
12	Portugal	0.858	0.871	0.826	0.889	0.861	0.855	0.905	0.902	0.871	0.887	0.808
13	Slovak	0.837	0.813	-	0.856	0.813	0.838	0.913	0.866	0.839	0.828	0.793
14	Sweden	0.884	0.822	0.786	-	-	0.921	0.897	0.871	0.923	0.933	0.888
15	UK	0.929	1.000	0.894	0.938	1.000	0.951	0.918	0.905	0.943	0.924	0.975
16	USA	0.895	0.818	0.811	0.920	0.916	0.931	0.945	1.000	0.957	0.993	0.947
17	China	0.892	0.826	0.703	0.837	0.838	0.803	0.762	0.823	0.807	0.865	0.842
18	Korea	0.817	0.693	0.734	0.863	0.875	0.803	0.808	0.643	0.873	0.868	0.730
	전체 평균	0.873	0.829	0.817	0.886	0.874	0.895	0.893	0.865	0.915	0.926	0.878

〈표 7〉 국가별 · 산업별 기술적 효율성(평균값) - [Y : 부가가치]

구분	국가	제조업 분류										
		식품	섬유	목재	정유	화학	비철	철	전자	기계	수송	기타
1	Austria	0.695	0.501	0.485	0.715	0.650	0.693	0.800	0.834	0.784	0.781	0.644
2	Belgium	0.502	0.408	0.437	0.315	0.630	0.573	0.554	0.668	0.734	0.600	0.524
3	Czech	0.559	0.394	0.367	0.236	0.515	0.549	0.560	0.751	0.566	0.610	0.440
4	Denmark	0.432	0.348	0.579	-	-	0.629	0.898	0.925	0.653	0.948	0.783
5	Finland	0.581	0.628	0.408	-	0.638	0.706	0.661	0.829	0.637	0.876	0.736
6	France	0.915	0.568	0.495	0.233	0.808	0.710	0.828	0.711	0.713	0.595	0.733
7	Germany	0.720	0.557	0.481	0.293	0.691	0.800	1.000	0.976	0.946	0.889	0.677
8	Italy	0.534	0.553	0.446	0.189	0.694	0.617	0.694	0.778	0.691	0.717	0.446
9	Japan	1.000	1.000	1.000	1.000	0.484	1.000	0.703	0.718	1.000	0.851	1.000
10	Netherlands	0.543	0.487	0.497	0.266	0.504	0.641	0.823	0.639	0.736	0.904	0.672
11	Norway	0.549	0.654	0.483	-	-	0.568	0.635	0.891	0.730	1.000	0.702
12	Portugal	0.582	0.649	0.482	0.418	0.567	0.551	0.716	0.871	0.548	0.628	0.484
13	Slovak	0.511	0.479	-	0.474	0.470	0.501	0.707	0.650	0.505	0.406	0.443
14	Sweden	0.654	0.484	0.393	-	-	0.656	0.707	0.824	0.736	0.775	0.615
15	UK	0.817	0.853	0.598	0.773	1.000	0.799	0.796	0.946	0.792	0.757	0.746
16	USA	0.748	0.538	0.448	0.465	0.719	0.821	0.963	1.000	0.901	0.980	0.651
17	China	0.550	0.156	0.111	0.152	0.441	0.287	0.280	0.515	0.287	0.502	0.131
18	Korea	0.485	0.287	0.313	0.477	0.621	0.477	0.489	0.314	0.613	0.580	0.347
	전체 평균	0.636	0.540	0.468	0.455	0.631	0.653	0.723	0.786	0.726	0.759	0.604

V. 논의 및 결론

본 연구는 기존의 한중일 3개국 중심의 비교에서 벗어나, OECD 가입국을 포함한 총 18개국의 투입변수(노동, 자본, 중간재 투입, 연구개발 투자)와 산출변수(총산출, 부가가치) 데이터를 이용하여 확률적 프런티어 모형으로 국가별, 산업별 기술적 효율성을 추정하고 비교 분석한 연구이다.

먼저 산출변수를 총산출 또는 부가가치로 각각 설정하여 생산함수를 추정한 결과, 둘 다 노동, 자본에 대한 계수는 식품을 제외하고 모두 통계적으로 유의한 것으로 나타나 노동과 자본 투입량이 늘어날수록 총산출이 통계적으로 유의하게 증가한다는 것을 알 수 있다. 그리고 중간재 투입의 계수는 모든 산업에서 높은 양수로 나타났으며 모두 99% 신뢰수준에서 유의한 것으로 나타나 중간재 투입이 총산출에 미치는 영향이 매우 큰 것으로 나타났으며, 연구개발 투자의 계수는 화학, 전자, 기계 산업 등에서 유의하게 나타나 이들 산업에서 기술개발의 중요성이 크다는 것을 알 수 있다.

이어서 생산함수를 통해 기술적 효율성을 추정한 결과를 보면, 총산출을 산출변수로 설정한 경우 전체 국가의 평균값이 0.8이상의 값을 보이면서 대부분 높은 수준의 효율성을 나타내었다. 하지만 부가가치로 설정한 경우에는 일본이 매우 높은 수준을 나타내었으며, 다른 국가들은 총산출 기준의 효율성보다 낮은 수준으로 나타났다.

한중일 3개국을 비교해보면, 대부분의 제조업 부문에서 일본이 가장 높은 효율성을 보이고 있으며 우리나라는 일본의 절반이나 3분의 1 수준, 중국은 우리나라 보다 낮은 수준을 보이는 것으로 나타났다. 하지만 식품과 전자 부문에서는 중국이 우리나라보다 높게 나타나 중국의 생산 효율성이 크게 향상되었음을 알 수 있다.

이러한 결과를 기존 연구결과들과 비교해 보면 최근 들어 중국의 제조업 생산성이 크게 향상된 것을 알 수 있다. 한국과 중국의 생산성을 비교 분석한 강전은(2007)의 보고에 의하면 모든 부문에서 한국 기업의 효율성이 더 높은 수준에 있었으나, 본 연구에서는 부문별로 중국의 효율성이 더 높은 수준인 경우가 있어 2007년 이후로 10여년 동안 중국의 기술적 효율성 및 생산성이 크게 증가하였다고 사료된다.

그리고 남경모(2015)는 전 세계 16개국을 대상으로 1985년부터 2005년까지 2차 에너지 산업(석탄, 석유, 핵연료 등)의 기술적 효율성을 분석, 비교한 결과 우리나라의 기술적 효율성이 2000년부터 전체 국가 평균에 비해 오히려 낮아지는 현상을 보인다고 하였는데 이러한 결과는 2000년에서 2015년까지 정유 산업의 기술적 효율성 평균값이 감소하는 추세를 보인 연구의 결과와 일치한다.

이러한 결과를 통해 우리나라 제조업에 대한 정책적 시사점은 다음과 같다. 현재 우리나라가 중국의 빠른 성장에 비해 상대적으로 일본과의 격차를 좁히지 못하고 있으므로 산업별로 기술개발을 촉진하는 다양한 정책적 지원이 절실히 필요한 상황이다. 과거 우리나라가 일본으로부터 핵심 부품과 소재를 수입하여 완제품을 생산하며 한일간 분업구조체계를 형성한 것처럼 중국의 향상된 생산성과 생산능력을 활용할 수 있는 한중 분업체계의 확립이 필요하다고 할 수 있다.

그리고 생산성은 기술적 효율성을 낮추는 기업 활동 및 경제 제도와 규제, 경영능력과 노사관계와 같은 기업 내부적인 요인의 개선을 통해서도 향상될 수 있다. 이는 정부와 기업이 소통과 협력을 통해 주어진 기술의 효율성을 높임으로써 생산성과 경쟁력 제고가 가능함을 의미한다. 우리나라 제조업의 기술적 효율성은 일본과는 큰 차이를 보이고 중국과는 비슷한 수준이므로 생산성 향상을 위해서는 기술개발뿐만 아니라 효율성을 제고할 수 있는 경제구조로의 전환도 필요하다고 할 수 있다.

본 연구는 2000년부터 2015년까지의 총 16개 연도의 패널 데이터를 활용한 연구이다. 연구대상 국가들 중 에스토니아, 멕시코, 폴란드, 슬로베니아, 스페인, 스위스 등은 데이터의 제한으로 인해 분석을 하지 못하였다. 향후 이들 나라를 비롯하여 급속히 성장하고 있는 동남아시아 국가들과 BRICs 국가들, 즉 인도, 러시아, 브라질 등을 포함하여 비교 분석한다면 더욱 유의미한 결과를 얻을 수 있을 것이라고 사료된다. 또한 본 연구는 제조업만을 중심으로 분석하였기에 향후 다른 1차, 3차 산업이 포함된 비교 분석도 의미가 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

- 강전은(2007), “한국과 중국 상장기업의 산업별 생산성 비교분석 - 확률 프론티어 모형을 이용한 기술적 효율성의 측정,” 연세대학교 대학원 석사학위논문.
- 남경모(2015), “2차 에너지산업의 기술적 효율성 국제비교 및 결정요인 분석에 관한 연구,” 한국산업기술대학교 지식기반기술에너지대학원 박사학위논문.
- 배찬권·김영귀·금혜윤(2015), “국내 제조업 생산성의 결정 요인과 수출 간의 관계에 대한 분석, 대외경제정책연구원,” 연구보고서 15-07.
- 신범철·이의영(2010), “R&D 투자와 수출의 생산효율성 제고 효과 - SFA 기법을 활용한 실증분석,” 「기업경영연구」, 제17권 제1호, pp.1-21.

- 이승룡(2015), 「2014년 기술수준 평가 결과: 120개 국가전략기술」, 미래창조과학부
Retrieved from http://img.kisti.re.kr/tr_img/2015103/rtrko000000226751.pdf.
- 이영훈(2011), “ R&D와 생산효율성 관계에 관한 계량모형 비교연구: 확률적 생산변경모형을 중심으로,” 「*經濟分析*」, 제17권 제1호, pp.103-130.
- 정선영(2010), 「확률적 프론티어 모형을 이용한 총요소생산성 국제비교: 기술적 효율성을 감안한 접근방법」, 한국은행 금융경제연구원.
- 최홍규(2003), “한국 제조업의 기술적 효율성에 관한 연구 - 확률적 프론티어 생산함수 추정을 통한 분석,” 성균관대학교 대학원 박사학위논문.
- 한광호(2008), “한미 제조업의 생산효율성과 총요소생산성 비교분석,” 「*경제연구*」, 제26권, pp.29-58.
- 황준구(2005), “한국 바이오산업의 기술적 효율성에 관한 연구 - 확률적 프론티어 모형을 중심으로,” 단국대학교 대학원 박사학위논문.
- KAigner, D., Lovell, C. K., & Schmidt, P.(1977), “Formulation and estimation of stochastic frontier production function models,” *Journal of econometrics*, 6(1), pp.21-37.
- Almada-Lobo, F.(2016), “The Industry 4.0 revolution and the future of manufacturing execution systems(MES),” *Journal of Innovation Management*, 3(4), pp.16-21.
- Battese, G. E., & Coelli, T. J.(1995), “A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data,” *Empirical economics*, 20(2), pp.325-332.
- Belotti, F., Daidone, S., Ilardi, G., & Atella, V.(2012), “Stochastic frontier analysis using Stata,” *The Stata Journal*, 13(4), pp.719-758.
- Blanchet, M., Rinn, T., Von Thaden, G., & De Thieulloy, G.(2014), “Industry 4.0: The new industrial revolution-How Europe will succeed,” Hg. v. Roland Berger Strategy Consultants GmbH, München. Abgerufen am 11.05. 2014, unter http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_TAB_Industry_4_0_2014_0403.pdf.
- Bloem, J., Van Doorn, M., Duivestijn, S., Excoffier, D., Maas, R., & Van Ommeren, E.(2014), The Fourth Industrial Revolution, Things Tighten.
- Chunjuan, L., Xukun, W., & Zeyuan, L.(2008), “Comparison of Patent Distribution Between Samsung Electronics CO LTD and Huawei Technologies CO LTD [J],” *Scientific Management Research*, 2, pp.18-21.
- Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'Donnell, C. J., & Battese, G. E. (2005), An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis, Springer US.

- Greene, W.(2003), *Econometric Analysis*, Pearson Education.
- Greene, W.(2005), "Fixed and random effects in stochastic frontier models," *Journal of productivity analysis*, 23(1), pp.7-32.
- Greene, W.(2005), "Reconsidering heterogeneity in panel data estimators of the stochastic frontier model," *Journal of econometrics*, 126(2), pp.269-303.
- Koo, M. G., & Hong, S.-B.(2014), "Varieties of East Asian Developmentalist Trade Policy: The Trade Liberalization-Industrial Policy Nexus in Thailand and South Korea," *Journal of International and Area Studies*, pp.1-25.
- Kumbhakar, S. C., Denny, M., & Fuss, M.(2000), "Estimation and decomposition of productivity change when production is not efficient: a panel data approach," *Econometric Reviews*, 19(4), pp.312-320.
- Meeusen, W., & van Den Broeck, J.(1977), "Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error," *International economic review*, pp.435-444.
- Schmidt, P. and Sickles, R.(1984), "Production Frontiers and Panel Data," *Journal of Business and Economic Statistics*, vol. 2, issue 4, pp.367-374.
- Yong-beom, P.(2016), S. Korean shipbuilders receive the lowest volume of vessel orders in 15 years, Biz & Company.
Retrieved from <http://pulsenews.co.kr/view.php?year=2016&no=255930>.

International Comparative Analysis of Technical efficiency in Korean Manufacturing Industry

Dong-Joo Lee

Abstract

This study divides manufacturing in 18 countries including Korea, China, Japan and OECD countries into 11 areas and estimates and compares the technological efficiency of each industry.

The traditional view of productivity is to increase production capacity through technological innovation or process innovation, but it is also influenced by the technological efficiency of production process. A Stochastic Frontier Production Model (SFM) is a representative method for estimating the technical efficiency of such production.

First, as a result of estimating the production function by setting the output variable as total output or value-added, in both cases, the output increased significantly in all manufacturing sectors as inputs of labor, capital, and intermediate increased. On the other hand, R&D investment has a large impact on output in chemical, electronics, and machinery industries.

Next, as a result of estimating the technological efficiency through the production function, when the total output is set as the output variable, the overall average of each sector is 0.8 or more, showing mostly high efficiency. However, when value-added was set, Japan had the highest level in most manufacturing sectors, while other countries were lower than the efficiency of the total output.

Comparing the three countries of Korea, China and Japan, Japan showed the highest efficiency in most manufacturing sectors, and Korea was about half or one third of Japan and China was lower than Korea. However, in the food and electronics sectors, China is higher than Korea, indicating that China's production efficiency has greatly improved.

As such, Korea is not able to narrow its gap with Japan relatively faster than China's rapid growth. Therefore, various policy supports are needed to promote technology development. In addition, in order to improve manufacturing productivity, it is necessary to shift to an economic structure that can raise technological efficiency as well as technology development.

(Key Words) Technical Efficiency, Manufacturing Productivity, Stochastic Frontier Model