

효율성추정과 확률적 생산변경모형에 대한 문헌연구*

곽만순** · 이영훈***

본 논문은 확률적 생산변경모형(stochastic production frontier model)에 관한 문헌을 정리하여 소개한다. 효율성 추정에 관한 실증연구에 응용이 되도록 데이터의 종류별로 적합한 계량모형을 고찰한다. 패널자료의 경우 시계열이긴 자료와 횡단면 관찰치가 많은 자료가 있는데 각각의 경우에 적합한 모형을 심도있게 분석한다. 특히 패널자료를 이용한 확률적 생산변경모형 중 효율성의 평균을 추정하는 '시간불변모형'과 개별 기업의 효율성의 변동패턴을 추정하는 '시간변동모형'을 구분하여 고찰한다.

핵심용어 : 확률적 생산변경모형, 기술적 효율성, 배분적 효율성, 패널자료

I. 서 론

1990년대 후반 경제위기를 경험한 이후 우리경제는 규모를 중시하던 체제에서 내실을 중시하는 체제로 전환하였다. 이전에는 매출액 증가를 강조하였으나 최근에는 순이익이 어떠한지를 더욱 중시한다. 이런 결과로 매출액은 감소하였어도 순이익은 증가하는 기업이 속출하고 있는 현실이다. 이에 따라 효율성(또는 생산성) 추정의 중요성이 더욱 강조되고 있다.

이에 각 산업별 기업의 효율성을 실증분석한 다양한 연구가 진행되어 왔다(권오

* 본 연구는 2004년 한성대학교 교내연구비 지원과제임.

** 가톨릭대학교 경제학과, 경기도 부천시 원미구 역곡2동 산43-1, Tel: 2164-3572, Fax: 2164-4785, E-mail: mskwak@catholic.ac.kr

*** 한성대학교 경제학과, 서울시 성북구 삼선동 3가 389, Tel: 760-4066, Fax: 760-5855 E-mail: yhlee@hansung.ac.kr

상, 1997 ; 한광호 · 김상호, 1996, 1999 ; 이영훈, 2000 ; 김상호, 2001 ; 김정민 · 전영서, 2001 ; 김정우 · 이회경 · 이영훈, 2001 ; 김세영 · 조성한 · 정태용, 2001 ; 왕규호 · 이상철, 2002 ; 김인철 · 이해춘, 2003 ; 김제철 · 이영수, 2004). 분석대상도 프로농구팀, 철강회사, 은행, 항공사 등 개별기업에서부터 통신산업, 국가 전체에 이르기 까지 매우 다양하다.

그러나 계량경제학적으로 다양한 효율성 추정모형이 개발되어 있으나 응용경제학자에게는 잘 알려지지 않은 측면이 있으며, 또한 과거 문헌을 살펴보면, 알려져 있어도 정확한 이용법에 맞게 사용하지 못한 경우가 발견된다. 이에 본 연구에서는 효율성 추정의 대표적 계량분석모형인 확률적 생산변경모형(stochastic production frontier model)에 대하여 고찰하고자 한다. 효율성 추정방법으로는 확률적 생산변경모형과 DEA(data envelopment analysis)가 있다. DEA는 임의의 생산함수 유형을 가정할 필요가 없으며, 기술적 효율성(technical efficiency), 배분적 효율성(allocative efficiency) 등 다양한 개념의 효율성을 기업별, 기간별로 자유롭게 추정할 수 있는 장점이 있다. 그러나 효율성 분석을 하는데 반듯이 추정만 필요로 하는 것이 아니라 여러 추론을 필요로 하기도 한다. 효율성에 영향을 미치는 요인에 대한 가설검정이 한 예이다. 즉 효율성 추정량에 대한 검정뿐 아니라 여타 가설검정을 하기 위해서는 확률적 생산변경모형이 필요하다.

이에 본 연구에서는 확률적 생산변경모형의 발전과정을 고찰하되 응용경제학자에게 도움이 될 수 있도록 기술하고자 한다. 확률적 생산변경모형은 초기의 함수형태의 제약(예 : Cobb-Douglas 생산함수) 및 비현실적 가정부여 등의 문제를 조금씩 해결하기 시작하여 최근에는 매우 신축적인 모형이 개발되었다. 신축적인 생산함수가 소개되고 이에 대한 가설검정이 가능해지고, 특히 패널자료의 확보가 용이해지면서 초기 모형이 부과하였던 비현실적인 가정을 현실적으로 전환할 수 있었다. 1980년대 문헌에서는 기술적 비효율성에 대한 특정한 확률분포를 가정해야 하는 제약과 비효율성과 생산요소간 독립성을 가정해야 하는 제약이 완화되었다. 1990년대에는 기업간 효율성의 차이 뿐 아니라 효율성의 시간변동패턴(temporal pattern of efficiency)도 함께 추정할 수 있는 모형이 소개되었고 최근에는 시간변동패턴 추정을 가능케 하기 위해 부여되었던 제약(예, 시간변동패턴에 대한 임의의 함수가정)을 완화하는 보다 신축성 있는 모형이 개발되고 있다. 이에 본 연구에서는 초기의 확률적 생산변경모형부터 고찰하되 후반기 패널자료 모형을 중심으로 살펴보고자 한다.

이에 본 연구에서는 제Ⅱ절에서는 효율성에 대한 실증분석을 수행한 국내문헌

과 국내 경제의 효율성을 연구대상으로 한 일부 해외논문을 계량경제적 측면에서 소개한다. 대표적인 연구방법인 DEA와 확률적 생산변경모형을 활용한 연구를 모두 소개하며, 특히 확률적 생산변경 모형을 활용한 연구 중 계량적으로 개선해야 할 점을 논의한다. 제Ⅲ절에서는 확률적 생산모형의 기본 개념과 횡단면 자료에 활용되는 계량모형을, 제Ⅳ, Ⅴ 절에서는 패널자료를 이용하는 확률적 생산변경모형을 시간불변모형과 시간변동모형으로 구분하여, 제Ⅵ절에서는 효율성 결정요인에 대한 실증분석에 적합한 확률적 생산변경모형을 고찰한다. 제Ⅶ절에서는 기존에 알려져 있는 확률적 생산변경모형을 활용할 수 있는 프로그램 코드(program code)를 설명하고 제Ⅷ절에서 결론으로 매듭짓는다.

Ⅱ. 기존 연구

본 절에서는 국내 산업을 대상으로 효율성분석을 한 해외문헌 및 효율성 관련한 국내문헌을 중심으로 살펴본다. 이들 문헌고찰의 목적은 각 연구가 시사하는 함의에 있지 않고, 연구가 사용한 자료의 형태 및 변수 선택, 그리고 어떤 효율성 분석모형을 선택하였고, 어떻게 활용하였나에 있다. 해외문헌과 마찬가지로 국내 문헌도 효율성추정에 관련하여서는 확률적 생산변경모형과 DEA 분석방법 중 한 가지를 이용하고 있다. 생산변경모형을 이용한 연구는 전영서·조병택(2000), 이영훈(2000), 김정민·전영서(2001), 김정우·이회경·이영훈(2001), Kim and Han(2001), 김제철·이영수(2004) 등이 있고 DEA를 이용한 연구는 권오상(1997), 김세영·조성한·정태용(2001), 왕규호·이상철(2002), 김인철·이해춘(2003), 김제철·이영수(2004), Kim and Lee(2005) 등이 있다.

DEA를 이용한 효율성 분석 연구 중 김세영·조성한·정태용(2001)은 세계 각국 철강회사 42개사의 1998년 자료를 대상으로 기술적 비효율성을 추정하였다. 여기서 산출물은 철강생산량, 이윤, 판매량을 투입물은 자본비용, 재료비용, 노동비용을 이용하였다. 왕규호·이상철(2002)은 OECD 29개국의 3년간(1997~1999) 패널자료(panel data)를 이용하여 OECD국가의 통신산업 효율성을 추정하였다. 산출물에 수입, 투입물에 통신부문채널, 통신접속망, 고용자, 공공투자, 디지털화 정도 등을 설정하고 DEA분석방법을 이용하여 추정하였다. DEA를 이용한 다른 연구로 김인철·이해춘(2003)이 있는데, 1994~2001기간 중 약 25개 시중은행 패널자료를 활용하여 은행의 효율성을 비교하고 은행부실의 원인을 수요 측면에서

파악하면서 구조조정기의 특징을 분석하려 하였다. 산출물변수로 업무이익, 대출이자이익, 비이자이익, 당기순이익을, 투입물변수로 정규직원수, 이자비용, 업무용 고정자산 및 부실여신을 설정하였다. 이 논문은 특히 비효율성의 결정요인으로 누적 공적 자금 투입액이라는 외생변수를 설정하고 이의 유의성여부를 검정하였다. 이 때 1단계에서 기술적 비효율성을 추정하고, 2단계에서 비효율성 추정치를 종속변수로 놓고 효율성 결정요인 변수를 설명변수로 설정하여 추정 및 검정을 하는 “2단계 모형(two-step model)¹⁾”을 이용하였다. Kim and Lee(2005)는 14개 OECD 국가 1978~1993년 자료를 이용하여 R&D와 생산성간의 관계를 실증적으로 분석하였다. DEA의 일종인 Malmquist 지수를 활용하여 무역을 통한 R&D spillover를 분석하였다.

확률적 생산변경모형을 활용한 연구로 전영서·조병택(2000)은 현대자동차, 대우자동차, 기아자동차, 아세아자동차, 쌍용자동차 등 5개사의 1985~1996년 자료를 활용하였다. 산출량변수로 자동차생산대수, 생산요소변수로 노동자수와 고정자산을 불변화하여 설정하였다. 자료는 패널자료 이지만 횡단면 자료 모형인 Aigner, Lovell and Schmidt(1977, ALS)를 이용하였으며, 김인철·이해춘(2003)처럼 2단계 모형을 통해 효율성 결정요인을 분석하였다. 즉 산출대수, 소유구조, 삼성차 진입허용이 5개 자동차회사의 효율성에 영향을 미쳤는지 여부를 실증적으로 분석하였다.

이영훈(2001)은 한국 프로농구 리그의 10개 팀을 대상으로 패널자료를 이용하여 효율성을 추정하였다. 즉 농구경기를 승리라는 산출물을 생산하기 위한 생산과정으로 보고 한 시즌 승률이 높고 적음에 따라 생산을 많이 하였나 적게 하였나를 판단하는 것이다. 패널자료를 이용한 확률적 생산변경모형 중 표본기간의 기업별 효율성의 평균을 추정하는 Schmidt and Sickles(1984)을 활용하였다. 이 모형은 매 기간 기업별 효율성을 추정하지 못하므로 소위 “시간불변 모형(time-invariant model)”이라 불린다.

김정민·전영서(2001)는 기술적 효율성을 국가경쟁력 측정의 지표로 보고 추정 결과를 IMD국가경쟁력지표와 비교하였다. 결과적으로 IMD 경쟁력지표와 많은 차이를 발견하였다. 국민소득을 산출변수, 노동, 자본 및 R&D를 생산요소로 설정하고 IMD 대상 국가인 45개국의 1990~1998년 자료를 이용하였다. 자료는 패널자료 이지만 추정을 위해 이용한 계량모형은 횡단면 자료 모형에 이용하는 ALS

1) “2단계모형”에 대한 자세한 논의는 제VI절 참조.

모형을 이용하였다.

김정우 · 이회경 · 이영훈(2001)은 1982~1990년 기간 동안 OECD국가 중 14개 국가를 선택한 패널자료를 이용하여 이들 국가의 제조업 효율성 및 연구개발투자 파급효과(R&D spillover)에 관하여 분석하였다. 특히 전체 제조업뿐 아니라 화학, 조립금속 등 8개 중분류산업을 각각 실증분석함으로써 산업별 효율성의 차이를 비교분석할 수 있었다. 부가가치를 산출변수로, 노동자 및 자본을 생산요소로 설정하고 Battese and Coelli(1992, BC)모형을 활용하여 효율성 추정을 하였다. BC모형은 패널자료를 이용할 때 적용할 수 있는 확률적 생산변경모형이며 기업별 기술적 효율성을 추정할 수 있을 뿐 아니라 시간변동에 따른 개별기업별 효율성의 변화도 추정할 수 있어 소위 “시간변동(time-varying model)”이라 불린다.

Kim and Han(2001)은 1980~1994년 기간 중 508개 한국제조업체 자료를 대상으로 총요소생산성(total factor productivity)을 추정하였는데, 총요소생산성을 기술진보(technical progress), 분배적 효율성(allocative efficiency), 기술적 효율성, 규모요인(scale factor)으로 분리하여 추정하였다. 추정방법으로는 시간변동 모형인 BC모형을 이용하여 표본기간 내 각 기업 및 산업의 효율성의 변동을 추정하였다.

김제철 · 이영수(2004)는 1990~2000년 동안 동아시아 9개 항공사를 대상으로 효율성분석을 하였다. 김정우 · 이회경 · 이영훈(2001)처럼 BC모형을 활용해 최우 추정량(maximum likelihood estimator, MLE)을 구하였다. 다른 연구들과 차이점은 생산함수가 아닌 비용함수를 추정하면서 기술적 효율성을 추정하였다는 점이다.²⁾

이상의 선행 연구 중 확률적 변경모형을 활용한 연구를 중심으로 살펴보면, 실증분석 측면에서 개선할 여지를 찾을 수 있다. 첫째³⁾ 산출변수 및 생산요소 변수의 선택에 신중한 고려가 필요하다. 기술적 효율성은 생산함수 추정을 통하여 구하여 지는데 생산함수란 생산요소의 사용량과 산출물의 생산량간의 관계를 나타낸다. 즉 생산함수를 추정하기 위해서는 생산투입물의 양에 대한 자료를 이용해야 한다. 그러나 자료의 제약 때문에 상품가격 또는 요소가격의 요인이 가미된 자본비용, 인건비와 같은 변수를 이용하는 경우가 일부 연구에서 있었다. 예를 들어 사

2) 생산함수를 추정할 경우 기술적 비효율성은 생산함수 추정을 통해 도출하는 주어진 생산요소를 사용할 때 생산 가능한 최대생산량(maximum possible output)과 실제 생산량의 차이로 추정이 된다. 비용함수를 추정할 경우에는 반대로 일정량을 생산하기 위해 들어간 실제 비용과 가능한 최소비용(minimum possible cost)의 차로 기술적 비효율성을 구한다.

3) 이 논의는 DEA를 활용한 연구에도 적용된다.

용한 노동량은 변화가 없음에도 임금상승이 있으면 인건비는 올라갈 것이고 이를 생산요소 변수로 이용하면 마치 생산요소 사용량이 늘어난 것으로 오인될 수 있다. 이에 따라 사실상 효율성 수준은 변화가 없음에도 내려가는 것으로 추정하는 오류를 범하게 된다. 따라서 최대한 물량기준의 생산요소 자료를 확보하여 사용하거나, 생산비 자료를 사용할 수밖에 없는 경우에는 최소한 가격변수로 불변화(deflate)하여 이용하는 것이 바람직하다. 예를 들어 철강기업의 효율성을 추정할 경우 철광석 원재료 사용량이 생산요소의 하나로 포함될 것이다. 이때 철광석 사용량 자료가 없다면 원재료 비용을 사용해야 하지만, 가능하면 철광석가격지수를 확보하여 불변화시킴으로 가격요인의 영향을 제거하여 사용하는 것이 바람직하다.

둘째, 적절한 계량모형 선택측면에서 또는 선택한 계량모형의 정확한 활용측면에서 신중한 주의가 필요하다. 일반적으로 효율성 분석을 위해 활용하는 자료를 보면 횡단면 자료와 패널자료가 대부분이다. 또한 패널자료는 시계열이 긴 자료와 기업수가 많은 자료로 구분할 수 있다. 활용하는 자료의 특성 및 연구의 목적에 가장 적합한 확률적 변경모형을 설정하고 또 정확히 사용하여야 한다. 예를 들어 BC모형은 패널자료가 있을 때 활용할 수 있으며 시간 변동에 따른 효율성의 변화를 추정하는 장점이 있다. 그러나 표본 내 모든 기업의 효율성은 동일한 시간변동 패턴을 갖는다는 가정을 하고 있다. 이 가정 때문에 한 시점에서 A기업이 B기업 보다 효율적이면 다른 시점에서도 그 격차는 다를 수 있지만 A기업이 더 효율적이어야 한다. 즉 효율성 순위는 시간변동에 무관하게 일정하게 추정된다. 그러나 일부 연구에서는 BC모형을 활용하였음에도 효율성 순위가 시간에 따라 자유로이 변동하는 추정치를 제시하고 있다. 이는 모형을 정확하게 사용하지 못한 예로 효율성 추정치에 확률오차가 내포된 것이 아닌가 사료된다. 또한 활용하는 자료에 더 적합한 모형이 있음에도 제약이 많은 모형을 선택하는 경우도 있다. 예를 들어 패널자료를 활용하여 선택할 수 있는 확률적 변경모형의 폭은 넓음에도 가장 제약이 많은 횡단면 자료모형을 활용하는 경우이다.

셋째 기존에 연구에서 활용한 확률적 변경모형의 폭이 매우 좁다는 점이다. 위에 언급한 연구에서 활용한 확률적 변경모형을 살펴보면, 횡단면 자료 모형인 ALS에서 패널자료 모형 중 시간불변 모형인 Schmidt and Sickles 또는 시간 변동 모형인 BC가 전부이다. 이는 알려져 있는 확률적 변경모형의 일부분에 불과하다. 그 원인은 최근까지 개발되어 온 확률적 변경모형이 널리 소개되지 못하였기 때문일 것이다. 특히 최근에는 시간변동모형이 다양하게 개발되고 있어 자료의 특성 및 연구의 목적에 따라 적합한 모형을 선택할 폭이 넓어졌다.

Ⅲ. 확률적 생산변경모형

효율성추정은 간단치 않은 문제이며, 따라서 기존 연구는 다양한 방법론을 제공하여 왔다. 확률적 생산변경이 처음 발표된 1977년 이후에는 주로 Journal of Econometrics를 중심으로 논문이 발표되어 왔으며 최근까지 여러 차례에 걸쳐 이 분야논문을 묶은 특집호가 발표되고 있다. 특히 2005년 6월에 발행된 특집호는 최근 연구를 폭넓게 수록하고 있다. 1990년대 초반부터는 Journal of Productivity Analysis, European Journal of Operational Research와 같은 효율성분석 연구를 집중적으로 다루는 학술지를 중심으로 논문이 발표되고 있다. 또한 Schmidt (1986a), Cornwell and Schmidt(1996), Kalirajan and Shand(1999), Kumbhakar and Lovell(2000), Heshmati(2003) 등은 이들 방법론을 정리하고 있다.

Farell(1957)의 정의에 의하면 효율성은 기술적 효율성과 배분적 효율성으로 나눌 수 있다. 기술적 효율성이란 일정량의 생산요소를 투입했을 때 주어진 기술 수준에서 생산 가능한 최대의 산출량이 있는데 만약 실제 생산량이 이에 못 미쳤다면 그 정도가 얼마나 되는가에 따라 결정된다. 만약에 기술적 효율성이 완벽하다면 실제 생산량은 최대가능 생산량과 동일 할 것이다. 즉 기술적 효율성은 생산 가능곡선과 실제 생산점의 거리로 표시할 수 있다. 따라서 생산과정에서의 효율성을 의미하므로 추정을 위해서는 생산요소 및 산출량의 데이터가 필요하다.

배분적 효율성은 이윤극대화 또는 비용극소화 조건에 맞게 생산요소를 얼마나 잘 배분하여 사용하고 있느냐를 나타낸다. 일정량의 산출물을 생산하기 위해 필요한 생산요소의 조합은 무한대로 많다. 이는 등량곡선(isoquant)이 잘 나타낸다. 등량곡선상에서 비용을 극소화하는 점, 즉 등비곡선(isocost)과 접점에 맞는 생산요소를 배분하여 사용하였다면 완벽한 배분적 효율성을 갖는 기업이다. 따라서 배분적 효율성을 추정하기 위해서는 생산요소 및 산출량 데이터 이외에도 생산요소가격 데이터가 필요하다.

확률적 생산변경모형은 Aigner, Lovell, and Schmidt(1977)과 Meeusen and van den Broeck(1977)에 의해서 처음 소개되었다. 확률적 생산변경모형은 아래와 같이 정의된다.

$$y_i = \alpha + x_i\beta + v_i - u_i \quad (1)$$

여기서 i 는 기업을 나타내며, y_i 는 종속변수로 일반적으로 기업 $i(i=1, \dots, N)$ 의 산출량에 자연로그를 취한 값이다. x_i 는 생산요소를 자연로그취한 것으로 $1 \times k$

벡터(vector)이며, β 는 계수의 $k \times 1$ 벡터이다. 오차항 중 v_i 는 *i.i.d.* $N(0, \sigma^2)$ 으로 일반적인 오차항과 동일하다. 기술적 비효율성을 나타내는 변수가 u_i 인데 이는 0보다 크거나 같은 값을 갖는다. 보다 엄밀하게 정의하면 u_i 는 기업 i 가 기술적 비효율성으로 말미암아 기술(technology)수준으로는 생산할 수 있으나 생산 못한 양의 자연로그를 취한 값으로, 간략히 표현하면, 기술적 비효율성으로 인한 생산량의 손실정도를 나타낸다.⁴⁾

식 (1)을 확률적 생산함수라고 명명하는 이유는 생산변경(production frontier)이 $\alpha + x_i\beta + v_i$ 이기 때문이다. 즉 생산변경에 확률변수인 v_i 가 포함되었기 때문이다. 예를 들어 쌀농사의 경우를 생각해 보면, 주어진 기술 하에서 일정량 생산요소를 사용하였을 때 기술적 효율성수준은 일정하여도 실제 생산량은 변할 수 있다. 이는 생산변경이 변하기 때문이다. 어떤 해에는 흉수 또는 가뭄으로 흉작이 되기도 하고 기후가 좋은 경우에는 효율성과는 별개로 생산량이 증가하기도 한다. v_i 를 제외하면 식 (1)은 결정적 생산변경모형(deterministic production frontier model)이 되며, 여기서 생산변경은 $\alpha + x_i\beta$ 이 된다.

위 식 (1)의 생산함수를 추정하고 기술적 비효율성인 u_i 를 오차항에서 분리하기 위해서는 u_i 에 대하여 반정규(half normal) 분포, 지수(exponential) 분포와 같은 일방향분포(one-sided distribution)가정이 필요하다. 또한 u_i 와 생산요소와 독립적이라는 가정도 필요로 한다. 현실적으로 기업이 자신의 기술적 효율성 수준을 알고 있다면 이에 따라 생산요소의 사용을 조절할 것이기 때문에 이 가정은 매우 제약적이라고 볼 수 있다.

추정방법은 v_i 와 u_i 의 확률분포함수 가정으로 부터 $v_i - u_i$ 의 확률밀도함수(probability density function)를 도출하여 최우법(maximum likelihood method, ML) 또는 Aigner, Lovell, and Schmidt(1977)가 제시한 수정된 최소이승법(corrected ordinary least square)이 있다. 생산함수를 추정한 이후에 u_i 를 추정하는 방법은 Jondrow, Lovell, Materov, and Schmidt(1982)이 제시한 $v_i - u_i$ 조건부 u_i 의 기대값을 이용해 구하고 있다.

이와 같은 횡단면 자료(cross-sectional data)를 이용한 확률변경모형은 u_i 에

4) 식 (1)이 비용함수라면, y 는 비용에 자연로그를 취한 값이며 식 (1)에 오차항은 $v_i - u_i$ 가 아니고 $v_i + u_i$ 로 변하면 된다.

대한 확률분포에 대한 가정을 완화 또는 바꾸어 주면서 발전되어 왔다(Stevenson, 1980 ; Greene, 1990). 그러나 이들 모형은 추정량이 기술적 비효율성 오차항의 확률분포 가정에 민감하게 반응하며, 생산요소와 기술적 비효율성이 상호 독립적이라는 비현실적인 제약을 갖고 있다.

IV. 패널자료(panel data)를 이용한 확률적 변경모형 : 시간불변 모형(stochastic frontier model with time-invariant technical efficiency)

패널자료 수집이 용이해지면서 이를 활용한 모형이 개발되었으며 최근 효율성을 실증분석하는 대부분 연구가 패널자료를 이용하고 있다. 패널자료를 이용하면서 횡단면 자료를 이용하는 기존의 확률적 변경모형이 갖고 있는 제약(효율성에 대한 확률분포가정, 효율성과 생산요소 독립성가정)을 완화하는 방향으로 모형이 개발되었다. Pitt and Lee(1981), Schmidt and Sickles(1984)는 일반적인 패널자료 모형, 즉 고정효과모형(fixed effects model)과 확률효과모형(random effects model)을 확률변경모형에 그대로 적용하여 효율성을 추정하는 방법을 제시하였다. 즉 생산함수 회귀방정식을 아래와 같이 설정하였다.

$$y_{it} = \alpha_0 + x_{it}\beta + v_{it} - u_i = x_{it}\beta + \alpha_i + v_{it}, \quad (2)$$

여기서 u_i 의 하첨자에 i 만 있고 t 가 없는 것으로 보아 비효율성이 시간불변임을 가정하고 있다. 또한 $\alpha_i = \alpha_0 - u_i$ 는 i 번째 기업의 상수항으로 일반적 패널자료모형의 개별효과(individual effects)를 나타낸다. 따라서 식 (2)를 추정함에 있어서 고정효과모형을 이용하면 α_i 가 고정된 것으로 가정하므로 α_i 와 생산요소와 상관관계가 있어도 WTN(within estimator)를 통해 일치추정량(consistent estimator)을 구하는데 문제가 없다. GLS(generalized least square) 추정량을 이용하는 확률효과모형으로 추정하는 경우에는 α_i 가 확률변수이므로 생산요소와 독립성 가정은 필요하지만 α_i 에 대한 특정 확률분포를 가정할 필요는 없다.

이와 같이 식 (2)의 생산함수를 추정한 후 기술적 효율성을 추정하는 방법은 기본적으로 α_i 로부터 u_i 를 어떻게 분리하는가에 달려 있는데 Schmidt and Sickles

(1984)는 아래 식 (3)과 같은 방법을 제시하였다.

$$\hat{u}_i = (\hat{a}_0 - \hat{a}_i), \quad \hat{a}_0 = \max_i \hat{a}_i \quad (3)$$

즉, \hat{a}_i 이 가장 큰 기업을 100% 효율적인 기업으로 가정($u_i=0$)하고 다른 기업의 비효율성은 가장 효율적인 기업과의 차이로 추정하는 것이다. 따라서 식 (3)에 의해 구한 기술적 비효율성 추정치는 절대적 개념의 비효율성보다는 상대적 개념의 비효율성으로 보는 것이 적합하다. 또한 기술적 효율성의 추정량은 아래의 식 (4)와 같이 구할 수 있다.

$$TE_i = \exp(-\hat{u}_i). \quad (4)$$

이상의 시간불변 확률적 변경모형은 횡단면 모형이 지니고 있던 제약을 완화시키는 장점이 있는 반면, 시간이 지나도 기술적 비효율성은 불변이라는 새로운 가정을 지니고 있다. 오랜 기간 동안 개별 기업의 효율성 수준이 변하지 않는다는 가정은 비현실적이므로 장기 시계열이 있는 패널자료를 이용할 경우에는 이 모형이 적합하지 않다. 단 연구의 목적이 표본기간 내 개별기업 간 효율성 차이를 평균적으로 비교하는데 있다면 문제가 없을 것이다. 따라서 이후 확률적 변경모형에 대한 연구는 이 모형이 갖고 있는 장점을 유지하면서 어떻게 시간불변가정을 완화할 수 있는가에 초점을 맞추어 진행되었다.

V. 패널자료를 이용한 확률적 변경모형: 시간변동 모형 (stochastic frontier model with technical efficiency)

1. 초기 시간변동 모형

시간변동 모형은 기업별 효율성을 추정함은 물론 각 개별기업 효율성의 시간변동패턴까지도 추정할 수 있도록 하고 있다. 따라서 생산함수 회귀방정식은 아래와 같이 설정할 수 있다.

$$y_{it} = \alpha_t + x_{it}\beta + v_{it} - u_{it} = x_{it}\beta + \alpha_{it} + v_{it}, \quad (5)$$

여기서 $\alpha_{it} = \alpha_t - u_{it}$ 는 기업 i 의 t 기에서의 절편을 의미한다. 여기서 기술적 비효

율성을 나타내는 u 는 하첨자 i 와 t 를 모두 갖고 있어 u 를 추정해야 할 모수(parameter)로 가정하면, 식 (5)는 총 (NT+k)개의 모수를 포함하여 추정이 불가능하다. 따라서 시간변동 확률적 변경모형은 효율성의 시간변동패턴에 대한 제약을 부여하면서 추정해야 할 모수의 수를 줄이는 방향으로 전개되었다. 모형 간 차이점도 이 가정의 차이에서 발생한다.

초기의 시간변동 모형으로는 Cornwell, Schmidt, and Sickles(1990, CSS), Kumbhakar(1990), Battese and Coelli(1992, BC) and Lee and Schmidt(1993, LS)이 있다. 이들 모형은 모두 효율성의 시간변동패턴에 대한 제약을 부여하고 있는데 CSS ($\alpha_{it} = \alpha_{i0} + \alpha_{i1}t + \alpha_{i2}t^2$)는 효율성이 시간의 2차 방정식형태(time quadratic form)를, Kumbhakar($\alpha_{it} = \theta_t \alpha_i$ and $\theta_t = [1 + \exp(bt + ct^2)]^{-1}$)는 지수함수형태, BC($\alpha_{it} = \theta_t \alpha_i$ and $\theta_t = \exp[-\eta(t - T)]$)도 지수함수형태를 가정하고 있다. 반면 LS($\alpha_{it} = \theta_t \alpha_i$)는 효율성의 시간변동패턴에 대해 어떠한 함수형태도 가정하지 않은 모형이다. 추정방법은 조금씩 차이가 나는데 CSS는 일반 패널자료모형의 추정법을 활용해 WTN 추정량 및 GLS 추정량으로 추정하며, LS는 비선형(nonlinear)모형을 CLS(concentrated least square)로 추정하는 방법을 도출하였다. 후에 Ahn, Lee and Schmidt(2001)가 GMM(generalized method of moment)를 이용하여 CLS보다 더 효율적인 추정량을 도출하였다. 반면 BC, Kumbhakar는 패널자료모형임에도 횡단면 자료 확률변경모형과 같이 비효율성의 확률분포를 가정하여 MLE로 생산함수를 추정하고 있다.

이들 4개 모형의 제약 형태를 비교해보면 각 모형의 장단점을 알 수 있다. 우선 유형별로 구분하면, Kumbhakar, BC, LS는 모두 $\alpha_{it} = \theta_t \alpha_i$ 의 형태를 지니고 있어 모든 기업 효율성의 시간변동패턴이 동일함을 가정하고 있다. 즉 개별기업 간 효율성의 차이는 α_i 의 차이가 대표하지만 그 효율성의 시간변동패턴은 모든 기업이 θ_t 의 형태를 지니고 있어 동일하다. 즉 특정 기간에 기업 i 의 효율성이 증가하였으면 기업 j ($\forall j = 1, \dots, N$)의 효율성도 그 변동 폭은 다르지만 증가한다는 가정을 내포한 것이다. 반면 CSS는 이러한 가정이 없다. 시간의 2차방정식 형태를 가정하지만 기업별로 ($\alpha_{i0}, \alpha_{i1}, \alpha_{i2}$) 값이 각각 다르므로 기업 간에 서로 다른 효율성 변동패턴을 반영하는 장점이 있다. 또한 시간변동패턴에 대한 특정함수 가정 유무에 따라 4개 모형을 분류할 수 있다. 이미 언급한대로 CSS, BC, Kumbhakar는 시간의 2차 방정식 또는 지수함수를 가정하고 있으며, LS만 시간변동패턴을

나타내는 θ_t 에 아무런 제약을 부여하지 않고 이를 추정하는 방법을 제시하고 있다. 특히 LS의 $\alpha_{it} = \theta_t \alpha_i$ 는 BC나 Kumbhakar의 $\theta_t = \exp[-\eta(t-T)]$, $\theta_t = [1 + \exp(bt + ct^2)]^{-1}$ 를 내포하고 있으므로 이런 함수형태설정의 타당성을 LS모형을 이용하여 검정할 수 있다. 실제로 LS는 최소카이제곱 검정(minimum chi-squared test)을 제시하고 인도네시아 쌀농사 자료를 이용하여 Kumbhakar의 설정을 검정하였다.

일부 문헌에서는 이들 4개 모형을 추정방법에 따라 구분하기도 한다. 즉 CSS와 LS는 전통 패널자료모형에 기초를 두고 고정효과모형 및 확률효과모형에서 추정하는 WTN 추정법 및 GLS로 추정하는 반면 BC 및 Kumbhakar는 패널자료임에도 불구하고 기술적 효율성인 u_{it} 를 확률변수로 간주하고 반정규분포와 같은 확률분포를 가정하여 횡단면자료 모형에서와 마찬가지로 MLE로 추정하고 있다. 그러나 LS모형에서도 u_{it} 를 확률변수로 가정하고 MLE를 이용하여 생산함수를 추정할 수 있으며, BC나 Kumbhakar에서도 u_{it} 를 추정하는 모수로 가정하고 Within 추정법과 같은 방법으로 추정할 수 있다. 실제로 Han, Orea and Schmidt(2005)는 BC를 LS와 같이 고정효과모형으로 가정하고 GMM을 통해서 추정하였다. 따라서 기존 4개 모형을 분류하는 기준은 추정방법에 있다기 보다는 기술적 효율성의 시간변동패턴에 대한 설정(specification)에 있다.

이상의 시간변동 확률적 변경모형을 이용하여 실제 데이터를 활용하여 효율성 추정에 응용하려는 경우 어떤 모형을 선택하는가는 매우 중요하다. 이에 대하여는 데이터의 특성과 4개 모형에서 효율성 관련 모수의 수를 비교하면서 결정하여야 한다. CSS의 경우 모수는 $(\alpha_{i0}, \alpha_{i1}, \alpha_{i2})$ 이며 총 3N개이다. 따라서 횡단면 자료가 많고 시계열이 짧은 패널자료의 경우 적합하지 않다. 나머지 LS, BC, Kumbhakar의 경우 공통적으로 α_i 를 내포하고 있으나 시간변동 패턴에서 차이가 난다. LS는 θ_t 가 (T-1)이며(정규화(normalization)의 일환으로 $\theta_1 = 1$ 을 가정함), BC는 1개, Kumbhakar는 2개의 모수가 있다. 따라서 LS는 시계열이 짧고 횡단면이 긴 일반적인 패널자료에 적합하며, BC나 Kumbhakar는 시계열이 긴 패널자료이어도 크게 문제가 없다. 즉 LS 대 BC, Kumbhakar의 구도로 본다면 BC, Kumbhakar는 시간변동패턴 관련 모수를 각각 1개, 2개로 줄이는 대가로 특정한 지수함수형태를 가정하는 비용을 지불하였다고 볼 수 있다.

Lee(1999)가 시뮬레이션(simulation)을 통하여 이들 모형을 비교하였는데 CSS는 LS, BC에 비해 효율성 추정이 부정확한 것으로 나타났으며, 전반적으로 LS나

BC는 바람직한 추정 결과를 보여주었다. 특히 LS는 T가 작은 경우에 정확한 추정성과를 보여주었다. 또한 효율성 변화 패턴이 급등락 없이 증가추세 또는 감소 추세를 나타내는 경우 BC가 LS에 비해 더 정확한 효율성 추정치를 제공하였으며, 반대로 효율성수준이 시간에 따라 오르내리는 경우 LS의 추정성과가 월등하였다. 결론적으로 시계열이 짧고 횡단면이 긴 패널자료의 경우 LS가 적합한 모형으로 판단되며, 시계열이 긴 경우 BC나 Kumbhakar가 적합한 것으로 보인다. 이때에도 LS를 이용하여 BC나 Kumbhakar의 시간변동패턴에 대한 함수가정을 검정하여서 적절한 모형을 설정하는 것이 바람직하다.

2. 최근 시간변동 모형

앞 절에서 살펴본 모형은 시간불변 모형의 단점을 개선하였으나 기업별 시간변동패턴이 동일하다고 가정하는 제약을 내포하고 있다. 이후 연구는 기존 모형의 장점을 유지하면서 이 가정을 어떻게 완화시킬 수 있는가에 관심을 두고 있다. Cuesta(2000), Lee(2005)가 대표적인데 Cuesta는 BC의 $\theta_t = \exp[-\eta(t-T)]$ 에서 η 가 고정된 점을 완화하여 각 기업이 서로 다른 η 를 갖게 함으로 모든 기업이 다른 효율성 시간변동패턴 ($\theta_{it} = \exp[-\eta_i(t-T)]$)을 갖도록 하였다. 기업별로 서로 다른 η_i 를 추정하므로 비효율성 변동패턴도 서로 다르게 추정할 수 있게 되었다. 따라서 Cuesta는 η 가 η_i 로 변한 것을 제외하고는 모형설정에서부터 생산함수추정 및 효율성추정에 이르기까지 BC와 동일한 방법을 따른다. 즉 u_i 의 확률분포를 가정하고 오차항의 확률밀도함수를 구하여 MLE로 생산함수를 추정하며, 비효율성 추정량은 Jondrow, Lovell, Materov, and Schmidt(1982)의 조건부 기대값을 패널자료 모형의 형태로 변형하여 이용하였다. 이 모형의 단점으로는 시간변동패턴 관련한 모수가 1개에서 N개로 증가하면서 시계열이 짧고 횡단면이 많은 패널자료에는 부적합한 것으로 판단되며, 아직도 특정한 함수형태를 가정한다는 제약을 지적할 수 있다.

Cuesta(2000)가 개별기업의 효율성 변동패턴을 추정하도록 고안된 것과 달리 Lee(2005)는 그룹 간 효율성 변동패턴을 추정하는 모형을 제시하였다. 일반적으로 산업 내에서 일부 기업은 서로 다른 효율성의 변화패턴을 가지나, 반대로 일부 기업은 유사한 패턴을 가질 수 있다는 점을 모형에 반영한 것이다. 즉 표본 내에 있는 기업을 소수의 그룹으로 분리하여 동일한 그룹에 속하는 기업은 동일한 시간변동패턴을 가진다고 가정하고, 서로 다른 그룹에 속한 기업 간에는 다른 형태의

시간변동패턴을 가질 수 있다고 가정하였다. 즉 LS의 θ_i 가 θ_{gt} (그룹 $g=1, \dots, G$)으로 변환 것으로 추정방법도 LS와 유사하다.

가장 최근의 모형이므로 추정방법을 자세히 소개하고자 한다. 우선 생산함수 추정방법은 LS와 같이 CLS를 적용하였다. $\alpha_{it} = \theta_{gt}\alpha_i$ 가 비선형(nonlinear)이므로 생산함수 계수인 β 의 추정량은 θ_g 의 함수형태로, θ_g 의 추정량은 β 의 함수형태로 해를 구하였는데, θ_g 의 추정량은 아이겐값(eigenvalue)의 형태로 해가 구해진다. 그 구체적인 식은 아래와 같다.

G개의 그룹이 있다고 가정하면 회귀방정식은 식 (6)과 같다.

$$Y_{it} = x_{it}\beta + \theta_{gt}\alpha_i + v_{it} \quad g=1, 2, \dots, G, \quad i \in \text{group } g \quad (6)$$

여기서 Group g 는 G_g 개의 기업을 내포하므로 총기업의 수는 $N = \sum_{g=1}^G G_g$ 이다 그리고 고정효과모형을 가정하는 경우 CLS추정량은 다음과 같다.

$$\hat{\beta} = (\sum_i X_i' \hat{M}_g X_i)^{-1} (\sum_i X_i' \hat{M}_g y_i) \quad (7)$$

$$\hat{\theta}_g = \sum_{i \in G_g} (y_i - X_i \hat{\beta})(y_i - X_i \hat{\beta})' \text{의 최대 아이겐값에 상응한 아이겐벡타 (eigenvector), } (\forall g = 1, \dots, G) \quad (8)$$

여기서 $M_g = I_T - P_g$, $P_g = \theta_g(\theta_g' \theta_g)^{-1} \theta_g'$. 따라서 추정방법은 β 의 LS추정치를 초기값으로 주고 식 (8)에 의해 $\hat{\theta}_g$ 를 구하고 그 값을 식 (7)에 대입하여 $\hat{\beta}$ 를 구한다. 이와 같은 방식을 반복하여 $\hat{\theta}_g$, $\hat{\beta}$ 의 값의 변동이 없어질 때까지 계속하면 된다.

“기술적 효율성의 그룹별 시간변동패턴(group-specific temporal pattern of technical efficiency)”으로 명명할 수 있는데 이 모형은 여러 응용에서 유용하게 활용될 수 있다. 예를 들어, 여러 지역에 속한 기업의 효율성을 추정하는 경우, 동일한 지역에 속한 기업은 유사한 효율성 변동패턴을 보이나 서로 다른 지역의 기업과는 상이한 변동패턴을 보인다면 지역 간 효율성 변동패턴을 추정하는데 용이하게 사용될 수 있다. Kim and Lee(2005)는 전 세계 각국의 효율성변동 패턴을 연구하는데 이 모형을 활용하였다. 이 연구에서 동아시아 국가의 효율성 변동패턴이 구미선진국 또는 여타지역의 효율성 변동패턴과는 매우 상이함을 보여주었다. 또한 농업생산의 효율성 분석에서도 이 모형은 유용할 것으로 판단된다. 농업의

특성상 지역 내에서는 유사한 기후조건 및 경작방법 등으로 인하여 농가별 효율성의 격차는 존재하지만 그 시간변동패턴은 유사할 것으로 사료되기 때문이다. 이러한 전제가 타당하다면 그룹별 시간변동패턴을 고려한 모형이 유용하게 응용될 수 있다.

제도환경의 차이가 기술적 효율성에 미치는 영향을 비교하는 연구에도 활용될 수 있다. 유사한 제도환경에서는 기업들의 효율성 변화패턴이 유사하지만 다른 제도환경에 처한 기업 간에는 효율성 변동패턴이 상이할 수 있기 때문이다. Good, Roller and Sickles(1995)는 미주 및 유럽 항공사의 효율성을 비교 분석하였는데, 그 목적은 규제가 강한 시장과 규제가 완화된 시장에서 항공사의 효율성이 어떻게 다른지를 분석하기 위한 것이었다. 이 경우 그룹별 시간변동패턴 모형을 활용할 수 있다.

Lee모형의 단점으로는 사전적으로 그룹을 설정해야 한다는 점을 들 수 있다. 그룹의 수를 미리 정하고 개별 기업이 어느 그룹에 속하는지도 임의로 정해야 하는 제약이 있는 것이다. 단 그룹의 수는 Lee가 제시한 검정법에 의해 가설검정을 할 수 있다. 예를 들어 4개의 그룹 중 2개 그룹이 동일한 시간변동패턴을 갖는다는 가설을 설정하고 이를 검정함으로써 사전적인 그룹설정의 타당성을 점검할 수 있다.

VI. 기술적 효율성 결정요인 분석모형

이상에서는 생산함수 추정을 통한 기술적 효율성의 추정에 관하여만 논의 하였다. 본 절에서는 이와 동시에 기술적 효율성에 영향을 주는 요인에 대한 분석을 병행하는 모형에 대해 살펴보려 한다. 이들 모형은 응용경제에서 매우 유용하게 활용되고 있다. 예를 들어 기업의 규모가 기술적 효율성에 미치는 영향을 조사하는 경우, 민영화와 효율성간 관련여부, 규제완화에 따른 기업의 효율성 변동 여부 등 다양한 연구목적에 활용되고 있다.

이들 확률적 변경모형을 일반적으로 '1단계모형(one-step model)'과 '2단계모형(two-step model)'로 분류할 수 있다. 2단계모형은 1단계에서 생산함수 및 기술적 비효율성을 추정하고, 2단계에서 추정된 기술적 효율성 추정치를 종속변수로 하여 이에 영향을 미치는 변수 등을 설명변수로 한 회귀방정식을 추정하는 것이다. 반면 1단계 모형은 생산함수 추정과 효율성에 대한 외생변수의 영향관계를 동시에 회귀분석 하는 것이다. 식 (9)와 같이 기술적 비효율성에 대한 방정식을 설정한다.

$$u = g(z, \gamma) + w \quad (9)$$

여기서 z 는 기술적효율성에 영향을 미치는 외생변수들이다. 따라서 1단계 모형은 식 (9)를 생산함수식 (6)에 대입하여 한 단계에서 추정을 마무리 하는 방법이다. Pitt and Lee(1981) 등이 대표적인 2단계모형인데 이들은 우선 일반적인 확률적 변형모형으로 생산함수를 추정하고, 다음 단계에서 식 (9)를 추정하였다.

그러나 Wang and Schmidt(2002)의 몬테카를로(Monte Carlo) 분석에 의하면 2단계모형이 편의(Bias)가 있는 추정량을 제공하는 것으로 나타나서 최근에는 주로 1단계모형을 이용하고 있다. Kumbhakar, Ghosh, and McGuckin(1991), Reifschneider and Stevenson(1991), Battese and Coelli(1995)가 대표적인 1단계모형인데, 이들 모형 간 차이점은 주로 $g(z, \gamma)$ 와 w 에 대한 가정의 차이에 근거한다.

VII. 효율적 생산변형모형에 대한 프로그램

가장 대표적인 프로그램 소프트웨어(program software)가 Coelli(1996)가 개발한 FRONTIER4.1이다. Coelli는 Aigner, Lovell, and Schmidt(1977), Stevenson(1982)의 횡단면 자료를 이용한 확률변형모형에서부터 Battese and Coelli(1988, 1992, 1995)와 같은 패널자료를 이용한 모형에 이르기 까지 다양한 모형을 이용한 MLE를 구하는 프로그램이다. 이 프로그램은 다양한 옵션을 갖고 있는데, 첫째 비효율성 변수인 u 를 반정규분포 또는 잘린 정규분포(truncated-normal distribution) 중 선택할 수 있다. 둘째 패널자료를 이용할 경우 기술적 효율성을 시간불변 또는 시간변동 중 선택할 수 있다. 만약 시간불변을 가정하면 Battese and Coelli(1988) 모형으로 MLE를 구해준다. 시간변동 모형을 택하면 Battese and Coelli(1992) 모형을 이용한 MLE를 구해준다. 마지막으로 제VI절에서 살펴본 기술적 효율성에 영향을 주는 요인분석을 병행하고 싶으면 FRONTIER4.1은 Battese and Coelli(1995) 모형으로 MLE를 구해준다. 이와 같이 한가지 프로그램 코드(program code)로 다양한 모형 중 연구에 목적에 맞는 모형을 선정하여 추정치를 구할 수 있다. 이런 이유로 실제 응용연구에서 FRONTIER4.1에 포함된 모형이 많이 사용되는 경향이 있다.

FRONTIER4.1은 기술적 비효율성인 u 를 확률변수로 가정하고 MLE를 구하

는 프로그램이다. 따라서 정통적 패널자료 모형에 기반을 둔 확률적 변경모형 (Schmidt and Sickles, 1984 ; Cornwell, Schmidt and Sickles, 1990 ; Lee and Schmidt, 1993 ; Ahn, Lee and Schmidt, 2001 ; Lee, 2005)은 FRONTIER4.1에 포함되어 있지 않다. 이들은 GAUSS 및 LIMDEP과 같은 소프트웨어를 이용해 추정할 수 있다. 그러나 LS, Ahn, Lee and Schmidt(2001), Lee(2005)는 모형이 비선형으로 다소 복잡하여 이들 소프트웨어에 숙련되지 않은 자에게는 프로그램을 만드는 데 다소 어려운 점이 있다. 이에 Lee는 LS, Lee(2005) 등 두 가지 모형에 대한 GAUSS 코드를 만들었으며 개별적 요청에 따라 제공하고 있다. 이들 코드는 두 모형을 이용하여 생산함수 및 기술적 효율성 추정뿐 아니라 Kumbhakar (1990) 및 Battese and Coelli(1992)의 기술적 효율성의 시간변동 패턴에 대한 설정을 검정하는 내용도 포함하고 있다.

VIII. 결 론

본 연구는 해외 뿐 아니라 국내에서도 효율성에 대한 실증분석 연구가 매우 활발한데 비해 활용하는 계량경제모형은 제약된 범위에 한정되어 왔다는 판단에 기초하여 시작되었다. 이미 개발된 다양한 확률적 변경모형을 소개하고, 각 모형이 지닌 제약과 장점을 살펴봄으로써, 향후 효율성 분석 연구에 도움을 주고자 하였다. 즉 자료의 성격과 연구의 목적을 고려하여 이에 적합한 모형을 택할 수 있도록, 그리고 그 모형의 한계와 장점을 이해하여 정확히 활용할 수 있도록 확률적 생산변경모형에 대한 문헌고찰을 하였다.

확률적 생산변경모형을 횡단면 자료모형, 패널자료 모형으로 구분하고, 또 패널자료 모형은 시간불변모형과 시간변동모형으로 나누어 살펴보았다. 시간변동 모형을 1990년대에 개발된 모형과 2000년대 소개된 모형으로 구분하여 살펴보았다. 각 모형에 따라 제약의 정도가 다르고 이에 따라 추정해야 하는 모수의 수가 다르다. 즉 제약의 정도가 약하면 대신 추정해야 하는 모수가 많은 경우가 있고, 모수의 수는 적으나 효율성의 변동패턴에 강한 제약이 있는 경우도 있다. 이에 연구의 목적 및 자료의 성격을 잘 파악하여 모형을 선택하여야 한다.

시계열이 짧고 기업의 수가 많은 패널자료를 이용하는 경우 가장 제약이 적은 LS나 Lee(2005)를 이용하는 것이 적합하다. 이 두 모형은 효율성의 변동패턴에 사전적 가정을 하지 않고 있어 가장 신축적인 모형이기 때문이다. 또한 효율성 관

런 모수가 시계열이 길어지면 증가하는 특성이 있으므로 시계열이 짧은 모형에서는 모수의 수도 적기 때문이다. 반대로 시계열이 긴 패널자료에는 Kumbhakar 또는 BC가 적합하다. 이 모형들은 효율성 변동패턴의 함수형태를 사전적으로 가정하는 단점이 있지만 효율성의 변동패턴과 관련한 모수가 고정되어 있어서 아무리 시계열이 늘어나도 LS와는 달리 모수의 수가 증가하지 않기 때문이다. 한편 시계열이 길면서 기업의 수는 적은 패널자료의 경우 Cuesta(2000)이 활용될 수 있다. 이 모형은 개별기업의 효율성 변동 패턴을 각각 추정하므로 기업의 수가 증가할수록 모수가 증가하기 때문에 횡단면이 너무 큰 패널자료에는 적합하지 않다.

효율성결정요인에 대한 분석에서도 중요한 내용을 논의 하였다. 기존 국내 실증 분석 연구를 보면, 효율성 결정요인을 실증분석 하는데 모두 2단계모형을 이용하였다. 그러나 문헌고찰에서 살펴본 바에 의하면 2단계모형은 편의(bias)가 있는 추정결과를 도출하므로 향후에는 1단계모형을 이용하는 것이 바람직함을 알았다. 응용에 도움이 되도록 기존 확률적 변경모형을 활용하기 쉽도록 개발된 프로그램 코드에 대하여 고찰하였다. 이에 의하면 ALS 및 Battese and Coelli(1988, 1992, 1995)를 위한 FROTIER4.1와 LS 및 Lee(2005)에 적합한 Gauss 코드가 개발되어 활용될 수 있다.

향후에도 확률변경모형은 기존 모형이 갖고 있는 장점을 유지하면서 효율성 변동패턴에 대한 가정을 최대한 완화하는 방향으로, 그리고 응용 측면에서의 요구에 적합한 방향으로 개발될 것으로 예상된다. 예를 들어 다중팩터모형(multiple factor model)를 확률적 변경모형에 적용하면 효율성 변동패턴이 기업 간에 일정하다는 가정을 검정할 수 있을 뿐만 아니라 기업별로 서로 다른 변동패턴을 추정할 수 있을 것이다. Lee(2005)가 제시한 그룹별 변동패턴모형의 확대도 예가 될 수 있다. 실제 응용에 있어서 개별기업의 효율성 변동패턴을 비교하는 경우도 있지만 일부기업이 속한 그룹별 효율성 변동패턴을 비교하는 경우도 많기 때문이다. 따라서 Lee(2005)를 BC나 Kumbhakar에 적용하여 이들 모형의 장점을 살리는 모형도 개발될 것으로 예견된다.

[참고문헌]

권오상(1997), “한국미작농가의 생산기술 분석 : 비모수적 방법을 이용한 효율성 분석을 중심으로,” 『경제학연구』 제45권 제4호, 4251-4270.

- 김상호(2001a), “한국 은행산업의 생산효율성과 생산성 변화,” 『경제학연구』 제49권 제2호, 135-162.
- _____ (2001b), “한국제조업의 기술적 비효율성과 그 결정요인 : 패널자료를 이용한 확률적 변경모형의 적용,” 『국제경제연구』 7, 2, 199-220.
- 김세영·조성한·정태용(2001), “세계 주요 철강회사의 효율성분석,” 『산업조직연구』 제9집 제4호, 165-186.
- 김인철·이해춘(2003), “DEA를 이용한 외환위기 전후의 은행 효율성 비교 분석,” 『산업조직연구』 제11집 제2호, 1-28.
- 김정민·전영서(2001), “기술적 효율성에 근거한 국가경쟁력 측정에 관한 연구,” 『산업조직연구』 제9집 제2호, 105-130.
- 김정우·이회경·이영훈(2001), “확률프론티어분석을 이용한 연구개발투자의 OECD 국가간 파급효과,” 『산업조직연구』 제9집 제1호, 35-58.
- 김제철·이영수(2004), “동북아지역 주요 항공사들의 기술적 효율성 및 결정요인 분석,” 『산업조직연구』 제12집 제4호, 1-32.
- 왕규호·이상철(2002), “자료포락분석을 이용한 OECD국가의 통신산업 효율성 비교,” 『산업조직연구』 제10집 제4호, 67-90.
- 이영훈(2000), “한국프로농구팀의 효율성 분석,” 『산업조직연구』 제8집 제2호, 87-114.
- 전영서·조병택(2000), “한국 자동차회사의 기술적 효율성 측정 및 결정요인에 관한 연구,” 『산업조직연구』 제8집 제1호, 183-198.
- 한광호·김상호(1996), “기업의 규모와 생산의 기술적 효율성 : 한국제조업의 확률적 변경생산함수에 의한 추정,” 『국제경제연구』 제2권 제2호, 111-131.
- _____ (1999), “한국 제조업의 총요소생산성과 기술적 효율성,” 제47권 제4호, 5-28.
- Ahn, S. C., Y. H. Lee, and P. Schmidt(2001), “GMM Estimation of Linear Panel Data Models with Time-Varying Individual Effects,” *Journal of Econometrics*, 101, 219-255.
- Aigner, D. J., C. A. K. Lovell, and P. Schmidt(1977), “Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models,” *Journal of Econometrics*, 58, 1, 226-239.
- Atkinson, S. E. and C. Cornwell(1994), “Parametric Estimation of Technical and Allocative Efficiency with Panel Data,” *International Economic*

- Review*, 35, 1, 231-243.
- Battese, G. and T. Coelli(1988), "Prediction of Firm-Level Technical Efficiencies with a Generalized Frontier Production Function and Panel Data," *Journal of Econometrics*, 3, 2, 153-169.
- _____(1992), "Frontier Production Functions, Technical Efficiency and Panel Data : With Application to Paddy Farmers in India," *Journal of Productivity Analysis*, 3, 2, 153-169.
- _____(1995), "A Model for Technical Inefficiency Effects in A Stochastic Frontier Production Function for Panel Data," *Empirical Economics*, 20, 2, 325-332.
- Caudill, S. B., J. M. Ford, and D. M. Gropper(1995), "Frontier Estimation and Firm specific Inefficiency Measures in the Presence of Heteroskedacity," *Journal of Business and Economic Statistics*, 13, 105-111.
- Coelli, T. J.(1996), "A Guide to FRONTIER Version 4.1 : A Computer Program for Stochastic Frontier Production and Cost Function Estimation," CEPA Working Paper 96/7, Department of Econometrics, University of New England, Armidale NSW Australia.
- Cornwell, C. and P. Schmidt(1996), "Production Frontiers and Efficiency Measurement," In *The Econometrics of Panel Data*, ed. L. Matyas and P. Sevestre 845-875. Norwell, MA: Kluwer Academic Publishers.
- Cornwell, C., P. Schmidt, and R. C. Sickles(1990), "Production Frontiers with Cross Sectional and Time Series Variation in Efficiency Levels," *Journal of Econometrics*, 46, 1/2, 185-200.
- Cuesta, R. A.(2000), "A Production Model with Firm-Specific Temporal Variation in Technical Inefficiency : with Application to Spanish Dairy Farms," *Journal of Productivity Analysis*, 13, 139-149.
- Farrell, M. J.(1957), "The Measurement of Productive Efficiency," *Journal of the Royal Statistical Society Series A, General*, 120, 253-281.
- Good, D. H., L-H. Roller, R. C. Sickles(1995), "Airline efficiency differences between Europe and the US : implications for the pace of EC integration and domestic regulation," *European Journal of Opera-*

- tional Research*, 80, 508-518.
- Greene W.(1990), "A Gamma-Distributed Stochastic Frontier Model," *Journal of Econometrics*, 46, 141-163.
- Han, C., L. Orea, and P. Schmidt(2004), "Estimation of A Panel Data Model with Parametric Temporal Variation in Individual Effects," *Journal of Econometrics*, 126, 2, 241-267.
- Heshmati, A.(2003), "Productivity Growth, Efficiency and Outsourcing in Manufacturing and Service Industries," *Journal of Economic Surveys*, 17, 79-112.
- Jondrow, J., C. A. K. Lovell, I. S. Materov, and P. Schmidt(1982), "On the Estimation of Technical Inefficiency in the Stochastic Frontier Production Function Model," *Journal of Econometrics*, 19, 233-238.
- Kalirajan, K. P. and R. T. Shand(1999), "Frontier Productions and Technical Efficiency Measures," *Journal of Economic Surveys*, 13, 2, 149-172.
- Kim, S. H. and G. Han(2001), "A Decomposition of Total Factor Productivity Growth in Korean Manufacturing Industries : A Stochastic Frontier Approach," *Journal of Productivity Analysis*, 16, 269-281.
- Kim, S. and Y. H. Lee(2005), "The Productivity Debate of East Asia Revisited : A Stochastic Frontier Approach," *Applied Economics*, Forthcoming.
- Kim, J. W. and H. K. Lee(2004), "Embodied and Disembodied International Spillovers of R&D in OECD Manufacturing Industries," *Technovan*, 24, 359-368.
- Kumbhakar, S. C.(1987), "The Specification of Technical and Allocative Inefficiency in Stochastic Production and Profit Frontiers," *Journal of Econometrics*, 34, 335-348.
- Kumbhakar, S. C.(1990), "Production Frontiers, Panel Data, and Time-varying Technical Inefficiency," *Journal of Econometrics*, 46, 1/2, 201-211.
- Kumbhakar, S. C., S. Ghosh, and J. T. McGuckin(1991), "A Generalized Production Approach for Estimating Determinants of Inefficiency in

- U.S. Dairy Farms,” *Journal of Business and Economic Statistics*, 9, 279-286.
- Kumbhakar, S. C. and C. A. K. Lovell(2000), *Stochastic Frontier Analysis*, New York, NY : Cambridge University Press.
- Lau, L. J. and P. A. Yotopoulos(1971), “A Test for Relative Efficiency and Application to Indian Agriculture,” *American Economic Review*, 61, 94-109.
- Lee, Y. H.(1999), “Stochastic Frontier Models for Temporal Patterns of Technical Efficiency,” *Journal of Productivity*, 5, 25-49.
- _____ (2005), “A Stochastic Production Frontier Model with Group-Specific Temporal Variation in Technical Efficiency,” *European Journal of Operational Research*, forthcoming.
- Lee, Y. H. and P. Schmidt(1993), “A Production Frontier Models with Temporal Variation in Technical Efficiency,” in the *Measurement of Productive Efficiency : Techniques and Applications*, ed. H. O. Fried, C. A. K. Lovell, and S. Schmidt New York, NY : Oxford Univ. Press, 237-255.
- Meeusen, W. and J. van den Broeck(1977), “Efficiency Estimation from Cobb Douglas Production Functions with Composed Error,” *International Economic Review*, 18, 2, 435-444.
- Pitt, M. and L.-F. Lee(1981), “The measurement and sources of technical inefficiency in the Indonesian weaving industry,” *Journal of Development Economics*, 9, 43-64.
- Reifschneider, D. and R. Stevenson(1991), “Systematic Departures from the Frontier : A Framework for the Analysis of Firm Inefficiency,” *International Economic Review*, 32, 3, 715-723.
- Schmidt, P.(1986a), “Frontiers production function,” *Econometric Reviews*, 4, 289-328.
- _____ (1986b), “Estimation of a fixed effect Cobb-Douglas System using panel data,” *Journal of Econometrics*, 37, 361-380.
- Schmidt, P. and R. Sickles(1984), “Production Frontiers and Panel data,” *Journal of Business and Economic Studies*, 2, 4, 367-374.

Stevenson(1980), "Likelihood Functions for Generalized Stochastic Frontier Estimation," *Journal of Econometrics*, 13, 57-66.

Wang, H. J. and P. Schmidt(2002), "One Step and Two Step Estimation of the Effects of Exogeneous Variables on Technical Efficiency Levels," *Journal of Productivity Analysis*, 18, 129-144.

{Abstract}

A Survey on Efficiency Estimation and Stochastic Production Frontier Models

ManSoon Kwack · Young Hoon Lee

The concept of efficiency is essential to measuring the firm performance. The literature provides a range of methodologies for estimation of efficiency. The purpose of this study is to review stochastic frontier production models and to offer a comparison between established models. The discussion is not exhaustive, but to be up-to-date and to provide a significant discussion on stochastic frontier models with panel data.

Keywords: Stochastic Frontier Model, Technical Efficiency, Allocative Efficiency, Panel Data