

혁신성장 측정에 관한 연구: 성장회계모형 vs 슈페테리안 기술변화 모형*

권명중** · 조상혁*** · 윤미경****

<목 차>

- I. 서론
- II. 성장회계방법에 의한 혁신성장률 측정
- III. Schumpeterian 기술변화모형에 의한
혁신성장률 측정방법
- IV. 결론과 정책적 함의

국문초록 : 본 논문은 Schumpeter의 기술변화 3단계 개념에 기초해서 기술진보가 실질 경제성장에 기여하는 정도를 측정하는 새로운 방법을 제시한다. 통계청 광업제조업조사 마이크로데이터를 이용해서 2003-2018년 기간 동안 기술진보의 실질 성장기여 정도를 총요소 생산성 성장률(성장회계방법), R&D투자 기여율, 슈페테리안 혁신성장률로 각각 측정하고 비교한 결과는 다음과 같다. 첫째, 성장회계의 총요소생산성 성장률과 슈페테리안 혁신 성장률에 의한 기술진보의 실질 성장기여에 대한 측정에서 상반된 결과를 나타낸다. 둘째, 생산성장률이 감소추세에 있으면 증가추세에 있을 때와 비교해서 생산성장률과 총요소생산 성장률 차이가 커지고, 반대로 증가추세에 있으면 감소추세에 있을 때와 비교해서 생산 성장률과 총요소생산성성장률의 차이가 작아진다. 셋째, 혁신성장률에 영향을 미치는 기술기회, 즉, 어느 한 분야의 연구개발과 그 인접분야까지의 연구개발 유인이 혁신성장에 미치는 기여도는

* 이 논문은 2020년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 일반공동연구지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2020S1A5A2A03046038)

** 연세대학교 미래캠퍼스 글로벌창의융합대학 경제학과 교수(consign@yonsei.ac.kr, 제1저자, 교신저자)

*** 연세대학교 미래캠퍼스 글로벌창의융합대학 경제학과 강사(sanghcho@yonsei.ac.kr, 공동저자)

**** 가톨릭대학교 국제학부 교수(mkyun@catholic.ac.kr, 공동저자)

3.3%에 불과하다. 이 결과가 기존의 기술진보의 성장기여에 대한 인식과 다른 이유는 기술진보라는 동일한 용어를 측정하면서 서로 다른 실체를 측정하고 있는 것에 기인한다. 따라서 총요소생산성 성장률은 거시적 경제효율성, R&D투자는 신기술공급의 효과성, 슁페테리안 혁신성장률은 기술진보의 경제적 영향을 측정하는 데 사용해야 한다. 본 논문 연구 결과의 정책적 함의는 다음과 같다: ① 기술공급일변도의 정책에서 기술공급과 신기술수요지원의 융합정책으로 전환, ② 임무지향형 R&D 정책과 국가 R&D와 민간 R&D가 연계되는 R&D 정책, ③ 신지식체화 정도를 반영한 자본재의 재분류.

주제어 : 슁페테리안 기술변화, 총요소생산성, R&D투자, 혁신성장률

A New way of the Measuring of Innovative Growth: Growth Accounting Model vs Schumpeterian Technological Change Model

Myung-Joong Kwon · Sang-Hyuk Cho · Mikyung Yun

Abstract : This paper provides a new method of measuring the degree of technological progress which contributes to real economic growth based on Schumpeter's Trilogy. Using Microdata of Statistics Korea, the results of measuring and comparing the actual growth contribution of technological progress during the period 2003-2018 by the total factor productivity growth rate(growth accounting method), the R&D investment contribution rate, and the Schumpeterian innovation growth rate, respectively are as follows. First, the measurement of the real growth contribution of technological progress by the growth rate of total factor productivity and the growth rate of Schumpeterian innovation shows contradictory results. Second, when the growth rate of production is in a decreasing trend, the difference between the growth rate of production and the growth rate of total factor productivity increases compared to when it is in an increasing trend. Conversely, when there is an increasing trend, the difference between the growth rate of production and the growth rate of total factor productivity becomes smaller compared to when it is in a decreasing trend.. Third, the technological opportunity that affects the innovation growth rate, i.e., the contribution of R&D incentives to innovative growth is only 3.3%. The reason why this result is different from the existing perception of the contribution of technological progress to growth is that different entities are being measured while measuring the same term of technological progress. Therefore, the growth rate of total factor productivity should be used to measure macroeconomic efficiency, R&D investment should be used to measure the effectiveness of new technology supply, and the Schumpeterian innovation rate should be used to measure the economic impact of technological progress. The policy implications of the research results of this thesis are as follows: ① Transition from a policy of one-sided technology supply to a policy of convergence of technology supply and new technology demand support, ② Mission-oriented R&D policy and R&D policy that links national R&D with private R&D, ③ Reclassification of capital goods reflecting the degree of new knowledge.

Key Words : Schumpeterian Technological Change, Total Factor Productivity, R&D Investment, Innovative Growth Rate.

I. 서론

기술진보가 실질 경제성장에 기여하는 정도는 어느 정도나 될까? Solow(1956)와 Abramovitz(1956)가 성장회계 방법론을 이용해 이 문제에 대한 답을 연구한 이래로 총요소생산성이나 연구개발투자와 같은 지표를 이용해서 이러한 질문에 대답하려는 시도는 지금까지 여러 가지 문제점을 노정하고 있다(Crafts, 2018). 총요소생산성 성장률로 측정되는 기술진보는 기술변화 뿐만 아니라 생산요소 사용의 효율성이나 잉여생산시설의 사용정도와 같이 산출물을 늘리는데 기여하는 요소나 노동이나 자본의 질적 향상이 산출물을 늘리는 데 기여하는 부분도 포함해서 측정한다. 따라서 이 지표는 기술진보의 실질성장에 대한 기여를 과대평가할 가능성을 개념적으로 내포하고 있다. 또한, 연구개발 투자로 측정되는 기술진보는 신기술 영역을 확장하면서 일어나는 경제적 성과 측정은 포함하지만, 그 신기술이 최종수요에 편익을 주면서 일어나는 신기술확산의 경제적 성과는 누락되어 있다. 그 결과 이 지표는 기술진보의 실질성장에 대한 기여를 과소평가할 가능성을 내포하고 있다. 이러한 점에 주목해서, 본 논문은 기술변화과정을 “신기술의 태동부터 소멸”까지 전과정을 포함하는 Schumpeter(1912)의 기술변화 3단계론(Schumpeter's Trilogy)에 기초한 기술진보의 경제적 성과를 측정하는 새로운 방법을 고안하는 것을 목적으로 한다.

이러한 방법을 슈페테리안 혁신성장 측정방법으로 명명하는데, 이것은 기존의 방법과 다음과 같은 점에서 차이점이 있다. 첫째, Schumpeter의 기술변화 1, 2단계에서 일어나는 신기술공급이 투자, 즉 자본재 구입으로 연결되는 인과관계를 설명한다. Keynes(1936)의 거시경제이론, 내생적 성장이론(Romer, 1986; 1990), Neo Schumpeterian 성장이론(Grossman & Helpman, 1991)은 이미 어떤 분야에서 이루어진 연구개발에 의한 기술가능영역 확대가 다양한 경로로 추가적인 연구개발과 총투자 확대를 유인한다고 설명하였다. 본 논문에서는 이러한 거시경제적 통찰력을 Schumpeter의 기술변화모형 안으로 내재화한다. 둘째, 기술변화와 투자(즉, 자본재구입) 사이의 관계에서 기존의 내생적 성장이론이나 Neo-Schumpeterian 성장모형과 본 슈페테리안 기술변화 모형과의 차이는 기술변화의 경제성과측정에서 기술변화의 편익을 누리는 수요로부터 발생하는 경제성과를 포함하는지의 여부이다. 슈페테리안 혁신성장 측정은 Schumpeter의 3단계 기술변화모형에 따라 기술변화의 경제적 성과측정에 기존의 신기술공급뿐만 아니라 그 신기술의 동태적 수요, 즉 신기술확산을 포함시킨다. 셋째, 기술변화의 경제성과 측정에서 신기술 최종수요가 포함된다면 성과측정에는 동태모형이 사용되어야 한다. 그 이유는 신기술의 최종수요는

잠재적 소비자에게 경제적 가치가 소멸될 때까지 여러 기간에 걸쳐서 반복적으로 일어나기 때문이다. 따라서 어떤 기간, 즉 1년간의 기술변화의 경제적 성과를 측정하려 한다면 그 시점까지 존재하는 모든 신기술의 당해연도 수요변화로부터 발생하는 경제 성과를 측정해서 합산해야 한다. 이렇게 되면 자본은 성장회계에서 사용하는 시간과 기술에 중립적인 생산요소로서의 자본개념을 사용해서는 안된다. 그 이유는 자본재에 체화되는 신기술의 발달로 자본재의 생산성이 시간의 흐름에 따라 바뀌게 되기 때문이다. 따라서 스펙테리안 기술변화모형에서 사용하는 자본개념은 성장회계에서 사용되는 자본개념이 아닌 vintage모형에서 사용되는 신기술이 체화된 자본개념이다. 이를 통해, 스펙테리안 혁신성장측정 방법은 4차 산업혁명과 같이 패러다임 기술이 급변하는 시기에 AI나 센서와 같은 기반 기술의 실질 경제성장에 미치는 경제성과 측정을 가능하게 한다. 넷째, 스펙테리안 기술변화모형은 여러 기간 동안 신기술수요 확산의 측정을 포함하는 신기술확산이 모형에 포함되어있다. 따라서 국가 단위의 기술변화를 기업단위의 기술변화합산과 산업단위의 기술변화합산으로 측정한다. 이러한 측정 방법은 기술변화와 그 성과를 집적된 국가단위로 측정할 때 발생하는 집적의 모순(the paradox of aggregation)¹⁾을 피할 수 있게 한다.

스펙테리안 혁신성장측정 방법에 대한 이해를 높이고, 기존 측정방법과 차이점을 명확하게 파악하기 위해서 실증분석을 실시한다. 통계청의 연도별 광업제조업조사 마이크로데이터를 이용해서 1994-2018년, 2003-2018년 두 기간 동안에 대해서 성장회계방법에 의한 총요소생산성성장률, R&D투자의 실질성장 기여율, 스펙테리안 기술변화모형에 의한 혁신성장률을 각각 측정하고 비교한다. 실증분석결과는 기술진보의 실질성장 기여를 측정하는 성장회계방법에 의한 총요소생산성 성장률과 R&D 기여율, 그리고 본 논문에서 제안한 스펙테리안 기술변화모형의 혁신성장률이 모두 다르게 나타난다는 것을 보여준다. 이와 같은 차이는 기술진보라는 동일한 용어를 측정하면서 서로 다른 실체를 측정하고 있는 것에 기인한다. 총요소생산성 성장률은 기술진보를 포함하는 ‘생산의 효율성’을 측정하고 있고, R&D는 기술변화의 공급부분, 즉 ‘기술혁신’의 성장에 대한 기여를 측정하고 있다. 그리고 스펙테리안 혁신성장률은 신기술의 공급과 수요를 포괄하는 기술변화 또는 거시적으로 기술진보의 성장에 대한 기여를 측정한다. 이런 관점에서 총요소생산성 성장률, R&D 기여율, 스펙테리안 혁신성장률은 서로

1) 기술변화가 거시적으로 측정되는 경우 산업의 기술변화 과정에서 일어날 수 있는 소기업들의 시장퇴출이나 시장지배기업 등장 등으로 인한 시장구조의 왜곡이나 자원배분의 비효율성에 대한 정보가 생략되어서 기술변화에 대한 경제성과를 오도할 수 있다.

대체재가 아니고 보완재이다. 따라서 분석목적이나 분석범위 또는 대상에 따라 기술진보의 대리변수를 선별해서 사용하고, 다른 두 지표와 비교 분석한다면 ‘기술진보의 성장에 대한 기여’에 관해서 좀 더 이해의 폭을 넓히는데 기여할 것으로 판단된다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 성장회계방법에 의한 혁신성장률 측정에 대한 실증분석을 실시하고, III장에서는 스펀테리안 기술변화모형에 의한 혁신성장률 측정모형의 구축 및 실증분석을 실시한다. 또한 총요소생산성성장률, R&D 기여율과 스펀테리안 혁신성장률의 실증분석 결과를 비교하고 경제적 함의를 분석한다. IV장에서는 정책적 함의를 논의하고 결론을 맺는다.

II. 성장회계방법에 의한 혁신성장률 측정

1. 성장회계방법론과 혁신성장률

‘국가 간 경제성장률 차이’의 규명은 경제성장이론의 오래된 주제 중에 하나이다. Solow(1956)는 자본축적과 기술발전이 국가 간 성장률의 차이를 만드는 중요한 요인으로 설명하였고, 이후 그와 Abramovitz(1956)는 이런 아이디어를 실증분석 할 수 있도록 성장회계 방법을 제시하였다. 성장회계식은 식(1)과 같이 표현된다.²⁾

$$\frac{\Delta Y(t)}{Y(t)} = \alpha(t) \cdot \frac{\Delta K(t)}{K(t)} + \frac{\Delta A(t)}{A(t)} \quad (1)$$

여기서, $\alpha(t)$ 는 생산의 자본탄력성 또는 자본소득분배율을 나타내고, $\Delta Y(t)/Y(t)$ 와 $\Delta K(t)/K(t)$ 는 각각 t 시점에서 1인당 노동생산성 증가율과 노동자 1인당 자본성장률을 나타내고, $\Delta A(t)/A(t)$ 는 t 시점에서 총요소생산성 성장률을 나타낸다. 여기서 t 시점의 자본 $K(t)$ 는 일반 생산함수의 생산요소로서 자본을 의미하며 III장 vintage 모형의 ‘지식이 체화된 자본’과는 개념적으로 구별된다.

성장회계식에 의한 성장요인분해는 노동생산성 성장률 요인을 1인당 자본성장률과 총요소생산성 성장률로 설명한다. 그런데, 성장요인 분해를 하기 위해서는 식(1)이 보여주는 바와 같이 α , 즉 자본의 생산에 대한 탄력성 또는 총생산 부가가치 중 자본이 차지하는 비율을 계산해야 한다. α 는 자본분배율에 대한 통계를 이용해서 구할 수도 있고, 콥-더글러스 생산함수의 추정을 통해서도 구할 수 있다. 구체적으로 노동생산성 성장률에 기여한 자본기여율(%)과 총요소생산성 성장률(%)은 식②로 쓴다.

$$\begin{aligned} \text{자본기여율} &: \alpha \cdot \frac{\Delta K}{K} \\ \text{총요소생산성 성장률} &: \frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta Y}{Y} - \alpha \cdot \frac{\Delta K}{K} \end{aligned} \quad (2)$$

식(2)에서 총요소생산성 성장률은 노동생산성 성장률에서 자본기여율을 뺀 나머지,

2) 도출과정 및 자세한 내용은 권명중·조상혁(2021), 정준호(2017)을 참조하라.

즉 잔차(residual)로 계산된다. 이런 이유로 총요소생산성 성장률을 Solow의 잔차로 부르기도 한다. Solow(1956)는 이 잔차에 생산성 성장률이 자본과 노동으로 설명되지 않은 부분으로 기술진보나 기술혁신 등이 포함된다고 주장하였다. 이후 대부분의 성장 관련 연구에서 총요소생산성 성장률이 기술진보 측정의 대리변수로 간주되어 왔다. 따라서 총요소생산성 성장률이 기술진보에 의한 경제성장률의 기여를 측정하는 것이라면, 본 논문에서 제기하는 ‘기술변화의 경제성장률에 대한 기여 측정’과 의미가 같으므로 총요소생산성 성장률이 바로 ‘혁신성장률’로 명명될 수 있다.

2. 실증분석

2.1 실증분석기간, 자료출처, 변수측정

성장회계방법에 의한 총요소생산성 성장률, 즉 혁신성장률 측정을 위해 사용된 자료는 통계청의 연도별 광업제조업조사 마이크로데이터이다. 표본은 1994년부터 2018년까지 25년 기간 동안 우리나라 제조업에서 사업을 하는 종업원 10인 이상 모든 기업을 포함한다. 다만, 2010년, 2015년자료는 통계청으로부터 제공불가 통보를 받아 표본에서 제외되었다. 표본은 전국에 있는 1,326,071개 기업이다.

마이크로데이터 목록 중 생산액과 유형자산연말잔액을 생산량과 자본스톡의 대리변수로 사용한다. 그리고 이 유형자산연말잔액을 GDP 디플레이터로 나누어서 실질변수로 만든다. 유형자산연말잔액으로 측정된 자본스톡은 영구재고법으로 추정한 자본스톡과 큰 차이를 보이지 않는다(권명중·조상혁, 2021). 노동은 기업종사자 수로 측정된다. α_k 는 Cobb-Douglas 생산함수의 자본계수로 측정되었으며, 그 계수는 0.33이다.

2.2 성장단계의 구분

총요소생산성 성장률을 측정하기 전에 시계열 자료를 사용해서 총 표본기간(1994-2018)을 성장증가의 변화율을 기준으로 성장단계를 나눈다. 성장증가의 변화율이 변하는 연도를 다음과 같은 방법으로 선별한다. 1년, 3년 평균, 5년 평균 실질 GDP 성장률의 그래프를 바탕으로 추세선을 그리고, 기울기가 급격하게 변하는 연도를 찾는다. <그림 1>이 보여주는 바와 같이 IMF 외환위기인 1998년 이후와 2011년 이후 추세선의 기울기가 급격하게 떨어진다. 따라서 경제위기가 일어난 연도와 그 이후 연도인 1998, 1999, 2008, 2009년은 극단값(outlier)으로 표본에서 제외하고, 성장단계를 1994-1997(1998년, 1999년 제외), 2000-2011(2008, 2009년 제외), 2012-2018로 구분한다.



<그림 1> 실질 GDP 성장률(3년 이동평균)

2.3 혁신성장률의 측정

식(2)의 1인당 노동생산성 성장률, 1인당 자본성장률과 총요소생산성 성장률이 <표 1>에 요약되어 있다. 제조업 평균 1인당 노동생산성 성장률은 분석기간인 1994년부터 2018년까지 8.2%이다. 세부기간인 1994 -1997 기간에는 13.6%, 2000-2011 기간에는 10.5%, 2012-2018 기간에는 2%로 증가한다. 세부기간 동안 GDP성장률은 각각 8.25%, 5.45%, 2.96%이다. 이러한 수치는 90년 중후반부터 2011년까지 제조업의 노동생산성이 연평균 10% 이상의 고도 성장률로 성장하면서 GDP성장률을 선도하며 견인하고 있음을 보여준다. 그러나 2012년부터 제조업의 노동생산성 성장률이 급락하고 있으며 오히려 이 기간 동안 제조업 노동생산성 성장률이 GDP성장률 보다 낮게 성장하고 있다. 이것은 2010년대 이후 제조업이 경제성장의 하락을 견인하고 있음을 시사한다.

1인당 평균 자본성장률은 분석기간인 1994-2018 동안 6.7%이다. 세부기간인 1994-1997 기간 동안 15.3%, 2000-2011 기간 동안 5%, 2012-2018 기간 동안 5% 이다. 세부기간 동안 α_k , 즉 자본의 생산에 대한 탄력성은 각각 0.315, 0.305, 0.254로 지속적으로 감소한다. 이것은 자본의 한계생산성 체감이 2012-2018 기간에 전기 대비 크게 감소함을 보여준다. 이로 인해 1인당 자본 성장률도 비례해서 떨어진다. 2000-2011년의 1인당 자본 성장률이 10.5%에서 2012-2018에 2%로 떨어진 것이 정확하게 이러한 사실을 증명한다. 이러한 사실은 자본 축적을 통한 경제성장이 한계에 도달했으므로 앞으로 기술진보가 일어나지 않으면 성장이 낮은 수준에서 정체되는 상태에서 벗어나기 어렵다는 것을 의미하기도 한다.

식(2)의 총요소생산성 성장률, 즉 혁신성장률과 그것의 1인당 노동생산성 성장률에 대한 기여비율을 짝을 지어 나타내면 분석기간 전체에 대해서(6%, 73.2%)이다. 세부기간 1994-1997, 2000-2011, 2012-2018에 대해서는 각각(8.8%, 64.7%), (9%, 85.7%), (0.7%, 35%)이다. 이러한 수치는 90년 중반 이후부터 2011년까지 제조업의 노동생산성 성장률이 1인당 자본증가를 보다는 총요소생산성 성장률, 즉 기술진보에 의해 주도되었다는 것을 보여준다. 그러나 이러한 기술진보 주도의 성장추세가 2012년 이후부터 갑자기 사라지는 전례 없는 현상이 나타난다. 왜 이런 현상이 일어났는지에 대한 이유는 성장회계 분석으로는 알 수가 없다. 혁신성장률의 측정으로부터 확실하게 결론 내릴 수 있는 것은 제조업은 90년대 중반 이후부터 2011년까지는 혁신성장에 의해 주도되었지만, 2012년 이후는 혁신 성장이 멈춤으로 인해 제조업의 노동생산성 성장률이 2% 대로 급락했음을 시사한다.

<표 1> 기간별 혁신성장률 결정 요소

기간/변수명	GDP성장률	1인당 노동생산성 성장률(제조업)	생산의 자본탄력성	1인당 자본성장률	자본기여율	총요소생산성 성장률 (=혁신성장률)
1994-2018	0.048	0.083	0.333	0.074	0.025 (30.1)	0.058 (69.9)
1994-2018 ¹⁾	0.053	0.082	0.334	0.067	0.022 (26.8)	0.06 (73.2)
1994-1997	0.082	0.136	0.315	0.153	0.048 (35.3)	0.088 (64.7)
2000-2011 ²⁾	0.054	0.105	0.305	0.050	0.015 (14.3)	0.090 (85.7)
2012-2018	0.029	0.020	0.254	0.050	0.013 (65.0)	0.007 (35.0)

주1) IMF 외환위기 및 세계경제위기 기간을 제외한 전 기간 평균치(1998, 1999, 2008, 2009)

주2) 세계경제위기 기간 제외(2008, 2009)

Ⅲ. Schumpeterian 기술변화모형에 의한 혁신성장률 측정방법

1. 성장회계방법에 의한 혁신성장(률) 추정의 문제점

앞서 성장회계에서는 노동생산성 성장률 중에서 기술진보에 의해서 성장률이 올라간 부분을 총요소생산성 성장률로 측정하였다. 그런데 기술진보에 의해서 성장이 이루어진 정도를 총요소생산성으로 측정하는 데는 문제가 있다. 첫째, 기술경제학에서 정의하는 기술진보, 기술변화, 기술혁신의 개념과 총요소생산성이 나타내는 기술진보 사이에는 극복할 수 없는 의미상의 차이가 있다. 기술경제학에서의 기술은 상품을 생산하는데 필요한 이용 가능한 모든 생산기법(technique)들의 집합으로 정의되고, 기술혁신 또는 기술진보는 이용한 가능한 생산기법의 수가 늘어나서 기술의 범주가 넓어지는 것을 의미한다(권명중, 2018). 그런데 총요소생산성 성장률의 기술진보는 산출물(output) 성장률에서 자본, 노동과 같은 생산투입요소 성장률을 뺀 나머지(회계방정식에서 잔차(residual))를 나타낸다. 이런 나머지를 생산관점에서 해석하면, 자본, 노동, 원료와 같은 생산요소 사용(자원배분)의 효율성, 잉여생산시설의 사용정도, 생산규모가 커짐으로 인한 비용 절감정도 등도 나머지에 포함돼서 산출물성장률을 늘리는데 일조 했을 것으로 추측된다. 물론, 나머지는 기술진보, 즉, 새로운 기술의 영향도 당연히 포함된다. 다만, 자원배분 효율성, 규모의 경제 등이 기술진보의 개념에 포함되지 않기 때문에 총요소생산성이 오롯이 기술진보만을 측정한다고 할 수 없다. 이런 맥락에서 2012년 이후 총요소생산성 성장률이 1% 미만으로 정체된 지표는 기술진보가 거의 멈춘 것으로 해석할 수 있는지에 대해서는 논쟁의 여지가 있다. 둘째, 성장회계에서 총요소생산성을 계산할 때 자본 또는 노동의 질적인 부분이 고려되지 않고 있다. 예를 들면, 노동에 암묵적 지식(경험, 노하우)이 체화(體化)되면, 이 노동은 전통적 노동과 구별되는 인적자본이 되는데 이것이 생산을 더 효율적으로 만들어서 생산성장률을 증가시키는데 기여한다. 이런 인적자본은 생산과정에서 외부성(spillover)을 만들어서 지속적으로 생산성장률을 높인다(Romer, 1986; 1990). 비슷한 맥락에서, 인공지능이나 빅데이터와 같은 지식이 자본에 체화(體化)되어 자본 사용을 더 스마트화시키고 생산과정을 효율화시켜 생산성장률을 높인다. 이와 같은 노동과 자본의 질적인 부분이 개념적으로 기술진보에 포함될 수 없지만 총요소생산성에 포함되어 있을 가능성이 크다. 물론, 유럽에서는 총요소생산성을 계산할 때 인적자본을

분리해서 나머지에서 제외하는 등의 시도를 하고 있지만, 근본적인 문제가 해결된 것은 아니다. 셋째, 중요소생산성이 나타내는 기술진보는 외생적인 기술변화와 내재화된 기술변화를 구분할 수 없다. 기술변화는 국가적인 기술수준향상, 기술관련 제도개선, 해외 시장으로부터 신기술지식 유입 등에 의한 외부성을 통해서도 일어나지만 기업 자체의 연구개발을 통한 신기술개발이나 다른 기업에 의해서 개발된 신기술구입과 같은 내재화된 기술변화를 통해서도 일어난다. 중요소생산성 성장률은 내재화된 기술변화 노력을 구별해낼 수 없으므로 이 지표를 정책적 목적으로 사용하기가 어렵다.

종합하면, 혁신성장측정의 하나의 수단으로 중요소생산성은 거시적인 관점에서 경제성장률 증가에 대한 기술진보의 영향을 어느 정도 가늠해 볼 수 있는 방법으로는 여전히 유효성을 가지고 있을 수 있으나, 미시적이고 정치(精緻)한 정책수립을 위해서는 그 사용에 주의가 필요하다. 이와 같은 문제점 때문에 새로운 혁신성장 측정방법 개발의 필요성이 제기된다.

2. 혁신성장측정의 대안 : Schumpeterian 기술변화모형

2.1 개념

신기술은 기술변화(technological change) 과정의 결과물로서 새로운 기초소재(원료), 새로운 부품 또는 소프트웨어(중간재), 새로운 상품, 서비스, 생산공정(최종재)을 지칭한다. Schumpeter(1912)는 그의 저서 “경제발전이론”에서 기술변화를 3단계로 분류한다 : ①단계는 새로운 아이디어나 지식의 출현단계(invention), ②단계는 새로운 아이디어와 지식의 상업화단계(innovation), ③단계는 상업화된 상품과 서비스의 확산단계(diffusion)를 의미한다. 즉, 기술변화는 신기술의 태동과 소멸까지의 전(全)과정으로 새로운 제품(원료, 중간재, 최종재)을 개발해서 상품화시키는 신기술공급과정과(①, ②단계) 새로운 제품이 시장에서 사라질 때까지 소비자에 의해서 계속해서 구입되는 신기술 수요과정으로(③단계) 구성된다. 따라서 기술변화의 경제성과를 측정하는 지표는 3단계 모두에서 일어나는 변화를 반영하여야 한다. 그런데, R&D와 같은 기존의 기술변화 성과지표는 신기술이 시장에 소개되는 ①, ②단계까지의 경제활동만을 포함하거나, 중요소생산성과 같은 지표는 생산과정의 숨겨진 혁신(hidden innovation)이나 효율성만을 포괄적으로 측정한다. 이런 문제점에 주목하면서, 본 논문에서는 Schumpeter의 기술변화 3단계(trilogy) 모형에 근거해서 기술변화의 경제적 성과를 측정하는 방법을 모색한다.

2.1.1 신기술 공급 과정

기술변화는 신기술공급과정과 신기술수요과정으로 구성되는데, 신기술공급과정은 Schumpeter(1912)의 기술변화의 3단계(trilogy) 중에서 처음 ①, ②단계에 해당된다. 기술변화의 출발점이 되는 신기술공급의 첫 번째 단계는 개인, 기업, 대학, 공공연구소의 창의 및 연구 활동으로 진행된다. 이러한 활동에 의해서 기술적으로 검증된 새로운 아이디어 또는 새로운 지식들이 생산된다. 이후 기업가가 이 아이디어들 중에서 상업화시키기 위한 아이템을 선택하고 이 아이템을 신기술(신원료, 신중간재, 신최종재)로 만들어 시장에 출시하기 위한 연구와 개발(R&D)을 진행하는 것이 두 번째 단계이다. Schumpeter는 신기술공급에 대한 설명을 여기서 마치는데, 현실에서는 추가적인 하나의 과정이 더 남아있다. 연구와 개발로 만들어진 신기술을 생산하기 위한 생산설비 구축, 즉 자본재 투자가 이루어져야 한다. 실제로 Keynes(1936), Romer(1990), Grossman & Helpman(1991) 등의 기술변화(technological change)와 총투자(gross investment) 사이의 인과관계에 대한 설명이 바로 이 상업화단계와 관련된 설명이다. 기술변화를 연구개발을 통한 기술가능영역의 확대로 정의하면, 연구개발로 이루어진 기술가능영역의 확대는 다양한 경로로 추가적인 연구개발과 자본재투자를 유인한다. Romer(1990)의 관점에서 연구개발과 자본재투자 사이의 관계를 예시로 설명하면 모바일 폰에서 새로운 기술 영역이 개척되면 이동통신기술, 문자메세지, 네비게이션 등을 구현하는 소프트웨어, 디스플레이 등과 같은 하드웨어 등의 분야에서 새로운 기술영역개척에 따르는 이익기회를 얻기 위해서 새로운 연구개발과 자본재 투자가 유인된다는 것이다. Grossman & Helpman(1991)의 관점에서 동일 주제를 예시로 설명하면, 애플회사가 스마트폰이라는 영역을 처음 개척하면, 삼성을 비롯한 수많은 다른 회사들이 새로운 상품개발로부터 이익기회를 공유하기 위해서 비슷한 상품을 만들어서 시장에 진입하려는 시도와 함께 새로운 연구개발과 자본재 투자가 유인된다는 것이다. 기술변화와 총투자 사이의 이러한 관계는 Keynes(1936)가 이미 그의 저서, “화폐, 이자, 고용에 관한 일반이론”에서 갈파하였고, Lach & Schankerman(1989)과 Nickell & Nicolitsas(1996)은 연구개발투자가 총투자를 유인하지만 그 반대는 성립하지 않는다는 실증분석으로 이러한 기술변화와 총투자 사이의 인과관계를 실증적으로 지원하였다. 따라서 위의 기술변화와 총투자 사이의 인과관계를 슈페테리안 기술변화모형에 포함시킨다.

2.1.2 신기술 수요과정

기술변화와 총투자 사이의 관계를 이해하는 데 있어서 내생적 성장이론(Romer, 1986; 1990) 및 Neo Schumpeterian 성장이론(Grossman & Helpman, 1991)의 관점과 슈페테리안 기술변화모형 관점의 차이점은 기술변화의 경제성과측정에서 기술변화의 편익을 누리는 수요로부터 발생하는 경제성과를 포함하는지의 여부이다. 슈페테리안 기술변화모형은 위의 성장이론과 달리, 신기술확산단계, 즉 기술변화의 수요자 편익을 경제성과에 반영한다. 그 내용을 간단하게 소개해보자. 신기술이 시장에 출시되면 한 번에 모든 소비자가 이 신기술을 구입하지 않는다. 신기술에 대한 불완전정보, 신기술의 낮은 기대편익, 가격하락에 대한 기대 등 때문에 신기술에 대한 수요는 시간흐름에 따라 천천히 일어난다. 잠재적 소비자들이 신기술을 모두 구입했을 때 신기술확산이 완성되는데, 이렇게 되는 경우는 통계적으로 5%도 되지 않는다고 한다(Stoneman, 1983). 대부분의 신기술은 중도에 확산이 중단되고 시장에서 퇴출된다. 어쨌든, 신기술확산 과정에서 주어진 기간 안에 신기술확산이 급격하게 일어나는 경우는 수요가 급증한다는 것을 의미한다. 급격하게 늘어난 수요를 공급하기 위해서는 현재 수준보다 신기술공급량을 늘려야 한다. 이렇게 공급량을 늘리기 위해서는 새롭게 자본재를 구입해야 한다. 이와 같은 자본재 구입은 신기술을 처음 공급하는 단계에서도 필요하지만, 신기술에 대한 수요가 확산되는 과정에서도 그 수요를 공급하기 위해서 요구된다. 요약하면, 기술변화로 인한 자본재 수요는 신기술공급을 위해서도 일어나지만, 신기술수요 증가에 의한 유발수요로도 일어난다. 기술변화의 경제성과를 측정할 때 이와 같은 신기술수요로부터 발생하는 경제성과도 포함해야 한다는 것이 슈페테리안 기술변화모형의 주장이다.

기술변화의 경제성과측정에 신기술확산, 즉 신기술에 대한 동태적 수요(dynamic demand)를 포함하게 되면 기존 연구와는 다른 개념과 연구방법이 고안되어야 한다. 첫째, 어떤 시점에서 연구개발로 인해 새로운 기술영역이 개척되면, 그 성과는 당해연도에 한정되지 않고 그 기술의 경제적 가치가 사라질 때까지 지속된다. 따라서 기술변화의 성과측정이 1년 단위로 이루어진다면, 각 년도말에서 그 시점까지 존재하는 모든 신기술의 당해연도의 수요변화로 인한 경제성과를 측정해서 합산해야 한다. 이와 같은 측정을 가능하게 하기 위해서 동태모형, 즉 신기술 확산모형을 사용해야 한다. 둘째, 기존의 자본에 대한 개념이 바뀌어야 한다. 성장회계에서 사용되는 자본개념은 일반적으로 통용되는 바와 같이 시간과 기술에 독립적인 생산요소로서의 자본개념이다. 그런데 슈페테리안 기술변화모형에서는 이런 자본개념을 사용할 수 없다. 그 이유는 동태모형에서 자본(재)은

시간에 따라 자본의 생산성이 다르게 나타나기 때문이다. 예를 들어 설명하면, 2000년에 센서, CPU, 소프트웨어가 체화된 기계로 새로운 상품을 만드는 것과 2022년에 센서, CPU, 소프트웨어가 체화된 기계로 새로운 상품을 만드는 것은 자본재의 생산성이라는 관점에서 같은 생산이 아니다. 그 이유는 2000년과 2022년 사이에 센서, CPU, 소프트웨어 기술이 개선되어 이런 신기술이 체화된 자본재는 성능이나 기능면에서 다른 자본재가 되어 자본의 생산성을 향상시키기 때문이다. 따라서 동태적 모형에서 자본(재)은 시간과 기술에서 중립적인 자본이 아니라 그 시점의 신기술이 체화된 자본으로 그 개념이 바뀌어야 한다. 실제로 1970년대부터 1990년대까지 유행한 vintage 모형에서 자본재는 이런 개념으로 사용되었다. 본 논문에서 사용되는 자본(재)은 성장회계에서 사용되는 자본개념이 아닌 vintage 모형에서 사용되는 자본재 개념이다. 따라서 위의 논리를 슈페테리안 기술변화모형에 포함시킨다.

2.1.3 기술변화의 성과지표 전환 문제

마지막으로, 기술변화의 성과를 기존에 익숙한 경제성과 지표인 산출물(output)성장률로 전환하는 문제를 살펴보자. 위에서 어느 시점에서 신기술공급과 신기술수요를 그 시점에서 신기술이 체화된 자본재 수요로 치환될 수 있음을 설명하였다. 자본재가 산출물(output)의 투입요소(input)이기 때문에 생산량과 자본재투입량 사이의 관계는 투입-산출 분석(input-output analysis)에서 산출(output)에 사용되는 노동 비율을 고정비율로 산정하는 방법과 같이 고정비율로 나타낼 수 있다. 이런 통찰력을 바탕으로 모형을 구축하는 과정에서 복잡성을 피하기 위해 본 논문에서는 생산에서 자본과 노동을 일정비율로 사용하는 Leontief 생산함수를 가정한다. 이 생산함수를 가정함으로써 자본수요 증가와 자본증가율이 계산되면, 바로 생산성장률이 계산될 수 있다. 물론, 이런 편리성을 얻는 대가로 정확성이나 엄밀성을 잃어버리는 문제가 있다. 또한, Leontief 생산함수가 경제를 정태적 구조로 가정하므로 본 논문의 동태모형과 상충되는 문제도 있다. 그런데, 본 논문의 모형이 산업모형이어서 이런 상충성이 완화된다. 즉, 생산 대 자본 사이의 고정비율이 기업마다 다르다고 할지라도, 산업생산 대 산업자본 사이의 고정비율을 구하기 위해서 기업별 고정비율의 평균값을 구해야 한다. 이렇게 계산된 산업 내 기업평균 고정비율 값은 산업 단위로 측정된 고정비율 모수와 크게 다르지 않다. 또한 정태적 경제구조를 전제로 한 Leontief 생산함수와 동태모형인 슈페테리안 기술변화모형 사이의 충돌 문제는 생산과 자본 사이의 고정비율을 기간별로 변할 수 있도록 하는 비교정태분석으

로 해결할 수 있다. 다만, 회귀분석에서 시간마다 변하는(time-varying) 계수를 추정하는 방법이 아직 개발되지 않아서, 본 논문에서는 실증분석 기간을 성장률이 급격하게 변하는 기간으로 나누어서 분석함으로써 정태적 가정과 동태모형 사이의 상충 문제를 완화하도록 한다.

종합하면, 슈페테리안 기술변화 모형에 근거해서 측정한 기술변화의 경제성과 측정을 슈페테리안 혁신성장(률)이라고 한다면 이러한 측정방법은 기존의 성장회계 혁신성장(률)에 비해서 다음과 같은 점에서 차별이 된다. 첫째, 신기술의 개발, 생산, 확산의 기술변화 전(全)과정에서 일어난 부가가치 증가가 혁신성장측정에 반영된다. 둘째, ‘지식이 체화된 자본재 구입’에 대한 의사결정이 기술변화의 토대가 되도록 모형이 디자인됨으로써 기술변화에 의한 지속적인 성장이 내생화된 기제가 모형에 포함된다. 셋째, 국가 단위의 기술변화를 기업단위의 기술변화합산과 산업단위의 기술변화합산으로 측정함으로써 기술변화와 그 성과를 산업이나 국가단위로 측정할 때 발생하는 집적의 모순(the paradox of aggregation)을 피할 수 있게 된다.

2.2 가정

본 논문의 실증모형은 Stoneman & Kwon(1994, 1996, 1998)과 권명중·윤미경(2019) 모형을 바탕으로 구축된다. 2.1절의 개념에서 설명했던 내용을 정리해서 분석을 명확하게 하기 위한 몇 가지 가정을 한다. 첫째, 기업의 생산함수를 Leontief 생산함수로 가정한다. 이 생산함수에서는 투입물인 노동과 자본이 산출물인 생산량과 고정된 비율로 생산된다. 기술변화는 이 비율을 변화시킬 수 있다. 기술변화가 이루어지면 새로운 노동과 자본의 고정비율로 생산이 이루어진다. 즉, Leontief 생산함수는 기술변화와 함께 비교정태적으로 노동과 자본의 고정투입비율이 바뀔 수 있다. 둘째, 어떤 시점의 자본스톡(stock)을 그 시점의 기술수준으로 가정한다. 이 가정은 기술의 원천이 되는 신지식이 자본에 체화되어 있다는 것을 의미한다. 셋째, 잠재성장에 영향을 미치는 생산 가능인구 스톡(stock)은 향후 일정기간 동안 유지된다고 가정한다. 우리나라 생산 가능인구 스톡은 2017년부터 감소하지만 본 논문의 실증분석기간이 2003년부터 2018년 까지 이므로 생산가능인구를 일정한 것으로 가정하는 것이 연구결과에 크게 영향을 미치지 않을 것으로 기대한다.

2.3 실증모형

모형을 구축하기 전에 신기술(new technology)이라는 용어가 일상적인 의미와 기술경제학에서의 전문적인 개념과 다르기 때문에 다시 한번 명확히 할 필요가 있다. 신기술이라는 용어는 추상적으로 인식되지만 기술경제학에서는 새롭게 시장에 소개된 구체적인 신제품(신원료, 신중간재(부품, 소프트웨어), 신최종재(상품, 서비스, 생산공정))를 지칭한다. 다만, 본 논문에서는 신기술의 범위에 상품다각화, 마케팅혁신, 공급망혁신, 조직혁신, 생산관리혁신과 같은 유사(類似) 기술혁신³⁾은 제외한다.

어떤 기간의 기술변화는 그 기간 동안의 신기술공급을 위한 자본재투자와 그 기간에 존재하는 모든 신기술의 당해년도 수요변화로 인한 자본재투자의 합계로 치환될 수 있다고 하였다. 신기술수요가 동태적이기 때문에 어떤 기간의 자본재투자 합계는 ‘자본재 확산모형’의 틀 안에서 구해져야 한다. 다시 한번, 자본재 구입 동기를 살펴보자. 마모나 손상으로 인한 기존의 낡은 기계나 설비를 대체하는 자본재 구입을 별도로 하면, 기업의 자본재 구입 동기는 크게 세 가지 범주로 나누어 볼 수 있다. 첫 번째 동기는 상품, 생산공정, 중간재, 원료(기초소재) 등을 새롭게 개발한 후 이러한 신기술을 생산하기 위해서 자본재를 구입하는 것이다. 이 범주에는 기존의 상품, 공정, 부품, 원료의 질을 개선하기 위한 자본재 구입도 포함한다. 두 번째 동기는 신기술의 내생적 수요증가를 공급하기 위해 자본재를 구입하는 것이다. 세 번째 동기는 정부정책의 변화나 해외수요의 변화 등과 같이 외생적인 요인에 의해서 늘어난 수요를 공급하기 위해서 추가적으로 자본재를 구입하는 것이다. 본 모형에서 구축되는 자본재 확산모형(동태적 수요)은 세 가지 동기로 유인된 수요 모두를 포함한다.

모형에 사용되는 표기방법은 다음과 같다. 산업은 하첨자 $k(=1, \dots, i)$ 로 나타낸다. 기업은 한 산업에 속하게 되며, 하첨자 $i(=1, \dots, n)$ 로 나타낸다. 기업의 수, n 은 진입과 퇴출에 의해서 결정된다. 기업이 구입하는 자본재는 하첨자 $j(=1, \dots, m)$ 로 나타낸다.

k 산업 내에 있는 i 기업이 j 자본재 구입에 대한 결정을 한다고 해보자. 이 기업은 j 자본재 구입으로부터 기대되는 순이익이 ‘0’보다 크다면 이 자본재를 구입한다. 자본재의 기업 내 확산이 없다고 가정하고(no intra-diffusion)⁴⁾, Leontief 생산함수의 생산물 한 단위당 a_j 단위의 자본재가 필요하다고 하면, 현재시점 t 에서 평가한 j 자본재 구입으로부터 기대되는

3) 유사기술혁신 개념은 권명중(2018)을 참고하라.

4) 이 가정은 기업이 자본재구입을 할 때 기존의 생산을 전부 새로운 기술로 대체하며, 일정 부분은 기존의 기술, 나머지는 새로운 기술로 생산하지 않는다는 것을 의미한다.

순이익 $EZ_{ij}(t)$ 는 식(3)과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned}
 EZ_{ij}(t) &= -P_j(t) \cdot \alpha_j \cdot q_i(\tau) + \int_{\tau_j}^{\infty} g_{ij}(t) \cdot \exp(-r(t - \tau_j)) dt & (3) \\
 &= -P_j(t) \cdot \alpha_j \cdot q_i(\tau) + \frac{1}{r} [g_{ij}(t) - g_{ij}'(t) + g_{ij}''(t) - g_{ij}'''(t) + \dots]_{\tau}^{\infty} \\
 &= -P_j(t) \cdot \alpha_j \cdot q_i(\tau) + \frac{g_{ij}(t) - g_{ij}'(t)}{r}
 \end{aligned}$$

여기서, 시점을 구별해서 설명하면, t 는 달력에서 나타내는 현시점을 나타내고, τ_j 는 j 자본재 구입시점을 의미한다. P_j 는 설치비용이 포함된 j 자본재 가격, q_i 는 i 기업의 생산량을 나타낸다. $g_{ij}(t)$ 는 t 시점에서 j 자본재가 창출하는 연간 총이익 함수이다. 이 함수는 q_i , i 기업의 생산량, P_k 신기술의 가격(수요), C_k j 자본재가 창출하는 이익에 영향을 미치는 k 산업 특성에 관한 변수벡터에 의해 영향을 받는다고 가정한다. 즉, $g_{ij}(t) = g_{ij}(q_i(t), P_k(t), \beta_k \cdot C_k(t))$ 로 쓸 수 있다. 여기서, β_k 는 스칼라 벡터이다. $r(t)$ 를 현시점 t 에서의 이자율(또는 할인율)이라고 하면, $g_{ij}(t) \cdot \exp(-rt)$ 는 t 시점 이후 미래에 발생하는 자본재이익의 t 시점에서의 현재가치를 나타낸다. $g_{ij}'(t)$ 의 상첨자는 t 에 의한 편미분 ($g_{ij}'(t) = \frac{\partial g_{ij}(t)}{\partial t}$)을 나타낸다.⁵⁾ j 자본재구입을 결정하는 동태적 이익극대화를 위해 식 (3)의 t 를 '0'시점으로 정하고 현재가치화한 후 t 로 미분하면 식(4)와 같다.

$$\begin{aligned}
 EZ_{ij}(t) &= \exp(-rt) \cdot \left[-P_j(t) \cdot \alpha_j \cdot q_i(\tau) + \frac{g_{ij}(t) - g_{ij}'(t)}{r} \right] \\
 \frac{\partial EZ_{ij}(t)}{\partial t} &= rP_j(t) \cdot \alpha_j \cdot q_i(\tau) - \frac{\partial}{\partial t} P_j(t) \cdot \alpha_j \cdot q_i(\tau) - g_{ij}(q_i(t), P_k(t), C_k(t)) \\
 &\quad + \left(1 + \frac{1}{r} \right) \cdot \frac{\partial}{\partial t} g_{ij}(q_i(t), P_k(t), C_k(t)) \leq 0 & (4)^6
 \end{aligned}$$

식(4)에서 모서리해가 없다고 가정하고 식(4)를 등식으로 바꾼다. 식(4)에서 부등식의 좌변에 있는 항들 중에 첫 번째와 세 번째 항의 합은 t 시점에서 j 자본재를 구입하지 않고

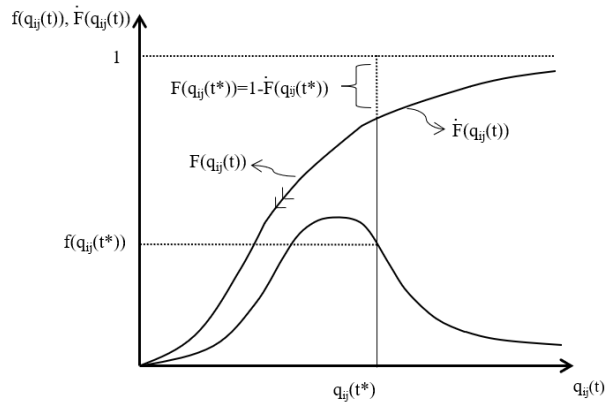
5) 도출과정에서 Taylor Series Approximation에 의해서 1차 함수 이하는 탈락시켰다.

6) 제한된 지면 때문에 도출과정을 생략하였다. 도출 및 해석은 Ireland & Stoneman(1986)을 참조하기 바란다.

기다림으로서 감내해야 하는 손실(자본재를 구입했다면 얻을 수 있는 순이익을 포기함으로 나타나는 손실)을 나타내고, 두 번째 항은 t 시점에서 j 자본재를 구입하지 않고 기다림으로서 자본재가격 하락으로부터 얻는 이익을 나타낸다. 네 번째 항은 t 와 $t+dt$ 시점 사이에 자본재이익 변화가 양(+)이면 손실이 되고, 음(-)이 되면 이익이 된다. 따라서 식(4)는 기다림의 한계비용과 기다림의 한계이익이 같아지는 시점에서 동태적 이익이 극대화된다는 것을 의미한다. 본 논문에서는 모든 기업들이 식(3)의 순이익을 동태적으로 극대화하는 최적구입시점에서 자본재 j 를 구입해서, 식(4)의 동태적 이익극대화 조건을 만족한다고 전제한다. 이제 동태적 극대화조건을 만족시키는 최적구입시점을 $t^* = \tau_j$ 라고 하고 t^* 를 식(4)의 등식에 대입한 후 생산량 q_{ij} 로 정리하면, 그 식은 식(5)와 같이 쓸 수 있다.

$$q_{ij}(t^*) = g_j(rP_j(t^*), p_j(t^*), P_k(t^*), \beta_k \cdot C_k(t^*)) \quad (5)$$

식(5)의 $q_{ij}(t^*)$ 는 식(4)에서 나타내는 j 자본재 구입으로부터 한계비용과 한계이익이 정확하게 같아지는 t^* 시점에서 j 자본재를 구입했을 때의 i 기업생산량을 나타낸다. 표기의 편리를 위해 $\partial P_j(t)/\partial t$ 를 p_j 로 쓴다. 식(5)를 이용해서 t^* 시점에서 j 자본재를 이미 구입한 기업과 그렇지 않은 기업을 판별할 수 있다. t^* 시점에서 j 자본재구입의 한계이익이 한계비용보다 큰 기업들은 이미 j 자본재를 구입한 기업들이다. 또 같은 시점에서 j 자본재구입의 한계이익이 한계비용보다 작은 기업들은 아직 j 자본재를 구입하지 않은 기업들이다. 이런 관점에서 $q_{ij}(t^*)$ 는 t^* 시점에서 j 자본재를 구입한 경계기업의 임계 생산량이라고 정의한다. k 산업의 기업생산량($q_{jk}(t)$)들로 분포를 만든다고 해보자. 그 분포의 밀도확률 함수를 $f(q_{jk})$ 로, 그 밀도함수의 축적확률함수를 $F(q_{jk})$ 로 나타낸다. Davis(1979) 모형에서와 같이 자본재 사용으로부터 규모수익체증이 있다고 가정하면 t^* 시점에서 규모수익체증 때문에 기업분포에서 $q_{ij}(t^*)$ 의 오른쪽 기업들은 j 자본재를 구입했고, 왼쪽 기업들은 j 자본재를 구입하지 않은 기업들이다. t^* 시점까지 k 산업의 모든 기업들 중에서 j 자본재를 구입한 모든 기업들의 비율은 $1-F(q_{jk}(t^*))$ 로 나타낼 수 있다. 아래에서는 표기의 혼동을 피하기 위해서 이 비율은 $F(q_{jk}(t^*))=1-F(q_{jk}^*)$ 로 나타낸다. 아래 <그림 2>에서와 같이 시간의 흐름에 따른 이 비율($F(q_{jk}(t))$)의 변화가 산업 내 자본재확산을 나타낸다.



〈그림 2〉 k 산업의 j 자본재 확산 곡선

이 비율($F(q_{jk}(t^*))$)의 변화를 일으키는 요인은 크게 두 가지이다. 하나는 식(2)에 포함된 변수, 즉, 자본재가격 및 그 변화와 자본재구입 기대이익에 영향을 미치는 변수들로 내생적인 요인이다. 또 하나는 식(4)에 포함되지 않은 정부정책변화, 해외수요변화, 진입 및 퇴출 기업 수(數)와 같은 변수들로 모형에서 결정되지 않는 외생적인 요인이다. 시점, t 에서 일정 시간(즉, dt), 예를 들면 1년이 흐른 뒤에 j 자본재구입 비율이, $F(q_{jk}(t))$ 에서 $F(q_{jk}(t+dt))$ 로 변했다고 해보자. t 와 dt 사이의 비율변화를 $DF(q_{jk}(t))$ 로 쓰고, 산업생산량, $Q_k(t)$ 에 이 변화된 비율을 곱하면, $DF(q_{jk}(t)) \cdot Q_k(t)$ 가 되는데, 이것은 일정 기간(dt) 동안 k 산업에서 j 자본재구입에 의해서 이루어진 추가적인 생산량 변화를 나타낸다. 이러한 추가적인 생산량을 생산하기 위해서 필요한 k 산업의 j 자본재총량 구입액, 즉 k 산업의 j 자본재 투자, $I_{jk}(t)$ 는 식(6)과 같이 쓸 수 있다.

$$I_{jk}(t) = DF(q_{jk}(t)) \cdot \alpha_j \cdot Q_k(t) \cdot P_j(t) \quad (6)$$

이제, t 시점 k 산업에 이용 가능한 자본재가 $m(t)$ 개가 있다고 하면, t 시점 k 산업의 자본재구입 총액, 즉 자본재 총투자액은 식(7)이 된다.

$$I_k(t) = \sum_{j=1}^{m(t)} DF(q_{jk}(t)) \cdot \alpha_j \cdot Q_k(t) \cdot P_j(t) \quad (7)$$

식(7)에서 m 개의 자본재 중에서 t 시점에서 $DF(q_{jk}(t))$ 가 0이 되어서 자본재구입 총량에

포함되지 않는 자본재가 있을 수 있다. 이것은 시장에 출시된 모든 신기술이 포화 시점(saturation point)까지 반드시 확산되지 않는 것을 의미한다. 즉, 신기술 중 일부는 확산이 도중에 중단될 수 있다는 것을 의미한다. 식(7)이 기술변화가 생산변화로 연결되는 하나의 기제이다.

실증분석에서 모든 자본재의 가격에 대한 자료가 존재하지 않으므로 본 연구에서는 “어떤 개별 자본재의 가격은 모든 자본재 가격들의 평균(자본재 가격지수)과 같은 방향으로 움직인다”는 Meijers(1994)의 연구결과에 따라 개별 자본재와 자본재 가격지수 P^c 와의 관계를 식(8)과 같이 규정하고 이를 식(7)에 대입하여 식(7-1)로 다시 쓴다. 여기서 Ω_j 와 Θ_j 는 파라미터이고, δ_j 는 j자본재가 시장에 처음 출시된 시기를 나타낸다.

$$P_j(t) = \Omega_j \cdot P^c(t) \cdot \exp(-\Theta_j(t - \delta_j)) \quad (8)$$

$$I_k(t) = P^c(t) \cdot Q_k(t) \cdot \sum_{j=1}^m [\exp(\log \alpha_j + \log \Omega_j - \theta(t - \delta_j)) \cdot DF(q_{jk}(t))] \quad (7-1)$$

식(6)의 한 개의 자본재를 식(7)의 모든 자본재로 더한 결과를 $\log \alpha_k = \sum \log \alpha_j$, $\log \Omega_k = \sum \log \Omega_j$, $\Theta_k(t - \delta_k) = \sum \Theta_j(t - \delta_j)$ 로 표시하고, 축적확률분포의 변화들의 기하평균(즉, $(1/m) \cdot \sum DF(q_{jk}(t))$)을 $DF_k(t)$ 으로 나타내고, 자본재구입 총액, $I_k(t)$ 를 자본재가격인 P^c 로 나누어서 자본재구입 총량, I_k/P^c 를 식(9)와 같이 쓴다.

$$\frac{I_k}{P^c} = RI_k^A(t) = Q_k(t) \cdot m_k(t) \cdot DF_k(t) \cdot \exp(\log \alpha_k + \log \Omega_k - \Theta_k(\delta_k - t)) \quad (9)$$

식(9)는 자본구입 총량과 확산이 t 시점의 산업생산량($Q_k(t)$), t시점의 가용한 자본재의 수($m_k(t)$), t 시점의 자본재 기대이익에 영향을 미치는 변수들의 변화($DF_k(t)$)에 의해서 결정된다는 것을 보여준다.

식(9)를 실증분석이 가능한 회귀방정식으로 전환하기 위해서 $DF_k(t)$ 를 그 결정인자들로 분해해서 $DF_k(t)$ 를 식(10)과 같이 쓴다.

$$\log DF_k(t) = b_0 + b_1 DrP^c(t) + b_2 Dp^c(t) + b_3 DP_k + \beta_k DC_k(t) + b_5 D(\delta_k - t) \quad (10)$$

식(10)에서 b_0 는 상수(0이 될 수도 있음)를 나타낸다.

이제 식(9)에 \log 를 취하고, 식(9)의 $\log DF_k(t)$ 에 식(10)을 대입한 후, 모형에서 설명했던 외생적 변화에 의한 산업생산(수요)변화, $DQ_k(t)/Q_k(t)$ 와 산업의 고유한 개별효과, v_k 를 포함하여 k 산업의 자본재구입 총량 $RI_k^A(t)$ 에 관한 회귀방정식, 식(11)을 도출한다.

$$\log RI_k(t) = \bar{b}_k + \log m_k(t) + \log Q_k(t) + b_1 DrP^c(t) + b_2 Dp^c(t) + b_3 DP_k(t) + \beta_k DC_k(t) + b_4 \cdot DQ_k(t)/Q_k(t) + v_k + \varepsilon(t) \quad (11)$$

여기서 \bar{b}_k 는 상수이고, $m_k(t)$ 와 $Q_k(t)$ 는 각각 t 시점에서 k 산업의 총자본재수(數)와 생산량이다. D 는 t 와 $dt(t+1)$ 사이(예, 1년)의 변화를 나타내고, $b_1 \sim b_4(t)$, β_k 는 변수의 계수를 나타낸다. $r(t)$, $P^c(t)$, $p^c(t)$, $P_k(t)$ 는 각각 t 시점에서의 이자율, 자본재가격, t 와 dt 사이의 자본재가격의 변화, 신기술가격을 나타낸다. $C_k(t)$ 는 k 산업특성 벡터이다. $DQ_k(t)$ 는 t 와 dt 사이의 k 산업 외생적인 생산량 변화를 나타내는데, 생산의 증가와 감소에 대해서 비대칭 특성을 포함한다. 즉, 생산이 증가하면 $DQ_k(t)$ 는 증가량을 나타내지만, 생산이 감소하면 $DQ_k(t)$ 는 감소량을 나타내는 것이 아니라 '0'이 된다. 이렇게 되는 이유는 생산이 감소하면 자본재가 줄어드는 것이 아니라 자본재를 구입하지 않기 때문이다. v_k 는 산업의 개별 효과(individual effect)를 나타내고, $\varepsilon(t)$ 는 오차항으로서, iid의 정규분포를 가지며 개별 오차항들은 서로 독립적이라고 가정한다.

슈페테리안 기술변화모형에 따라 기술변화의 경제성과를 측정하기 위해 자본재(신기술)확산, 즉 자본재의 동태적 수요를 측정하는 회귀모형을 식(11)로 도출하였다. 식(11)의 종속 변수와 독립변수들 사이의 인과관계(causality)를 바탕으로 식(11)의 독립변수의 계수 부호를 아래와 같이 선형적으로 예측한다.

- ① $m_k(t)$ - 기술기회(신기술공급): $m_k(t)$ 는 t 시점 k 산업에서 이용 가능한 자본재 스톡(stock)이다. 자본재와 신기술이 1 대 1 보완재 관계이므로, $m_k(t)$ 는 t 시점에서 이용 가능한 신기술 총량으로 해석할 수 있다. 물론, '이용 가능한 신기술'에 경제적 가치가 없는 구기술은 포함되지 않는다. $m_k(t)$ 가 늘어났다는 것은 기존의 신기술 총량에 새로운 기술이 늘어났다는 의미이므로 새로운 자본재 구입도 늘어난다. 따라서 이 변수의 계수는 양(+의 부호)을 가져야 한다.
- ② $Q_k(t)$ - 기저수요: $Q_k(t)$ 는 총 산업생산량인데, 이 생산량이 시장균형에서 수요와 일치된다는 점에서 시장의 기저(基底)수요로도 해석될 수 있다. 이 변수는 일종의

통제변수이다. 산업 기저수요가 클수록 요구되는 총 자본량도 비례해서 늘어나므로 이 변수의 계수도 양(+)의 부호를 가져야 한다.

③ $DP^c(t)$ - 자본재가격변화(신기술공급) / $Dp^c(t)$ -자본재가격변화의 차이(신기술공급) : $DP^c(t)$ 는 t+1과 t사이의 자본재가격 차이로 측정된다. 또한 $Dp^c(t)$ 는 t+1과 t 사이의 자본재가격 차이에서 t와 t-1 사이의 자본재가격 차이를 뺀 값으로 측정된다. 개발된 신기술을 시장에 출시하기 위해서는 신기술을 생산하기 위한 자본재를 구입해야 한다. 이 때 자본재 구입비용은 두 가지 요소로 구성되어 있다. 하나는 자본재가격이고 또 다른 하나는 자본재구입가격 차이변화, 즉 자본재구입의 동태적인 기회비용이다. 이 두 비용이 높으면 높을수록 자본재 구입이 줄어들게 된다. 이런 논리에 의해서 t와 t+1 사이에 자본재 가격이 올라간다고 기대되면 t 시점에서 자본재 구입이 줄어들어서 이 변수의 계수가 음(-)의 부호를 나타내야 한다. 그리고 t-1, t, t+1 기간 중 t-1시점에서 t시점의 자본재 가격이 t-1시점 가격보다 더 떨어진다고 기대하면 구입을 미루고, t시점보다 t+1시점에서 가격이 더 떨어진다고 예측이 되면 자본재 구입을 t시점에서 하는 것을 t+1시점으로 미룬다. 이것은 t-1시점의 예측으로부터 t 시점에서 자본재구입이 일어나기 위해서는 t+1시점의 가격이 t시점 가격보다 낮지 않아야 한다는 것을 의미한다. 즉 t+1과 t사이의 가격 차이에서 t와 t-1의 가격 차이를 뺀 값이 양(+)의 값을 가져야지 t시점에서 자본재구입을 하게 된다. 즉, 자본재구입가격 차이변화의 계수는 양(+)의 부호를 타내야 한다.

④ DP_k - 신기술제품가격변화(신기술수요) : DP_k 는 t+1과 t 사이의 신기술제품 가격 차이로 측정된다. t와 t+1 사이에 신기술제품 가격이 올라가는(내려가는)것이 자본재구입 기대이익에 어떻게 영향을 미치는지는 가격상승의 원인을 어떻게 해석하는가에 달려있다. 이 가격상승이 신기술제품 수요증가에 의한 것이라면 자본재구입 기대이익이 증가하므로 자본재구입이 늘어나서 신기술가격변화 변수의 계수가 양(+)의 부호를 가져야 한다. 그러나 가격상승이 생산비용의 증가 또는 시장지배 기업의 시장지배력 강화에 의한 것이라면 신규 자본재구입기업의 기대이익이 감소하므로 자본재구입이 줄어들어 신기술가격변화 변수의 계수는 음(-)의 부호를 가져야 한다. 따라서 이 계수는 부호는 사전적으로 예측할 수 없다.

실증분석을 위해 이용 가능한 자료에 의존해서 산업특성을 포착할 수 있는 변수들로 산업임금, 산업전력비 지출, 산업내 기업 수를 선택한다.

- ⑤ $DC_{k1}(t)-DW_k(t)$ - 산업임금변화(신기술(유발)수요): 산업임금변화는 두 가지 가능성으로 자본재구입의 기대이익에 영향을 미친다. 첫 번째 가능성은 생산성증가에 의한 것이다. 임금이 생산성에 의해 결정된다는 주장에 따르면 생산성증가는 임금인상을 유인해서 산업 내 총임금을 증가시킨다. 노동의 생산성증가는 자본재구입 기대이익 증가에 영향을 미치므로 산업임금 계수는 양(+)의 부호를 가져야 한다. 두 번째 가능성은 cost-push 인플레이션에 의해서 임금이 상승하는 것이다. 이 경우는 산업 내 총임금 증가가 단순히 비용증가를 의미하므로 자본재구입의 기대이익을 낮추므로 산업임금 부호는 음(-)의 부호를 가져야 한다. 산업임금 증가의 원인을 사전적으로 특정할 수 없으므로 산업 임금의 증감이 신규자본재 구입 증감에 어떤 방향으로 영향을 미치는 지는 사전적으로 규정하지 않는다.
- ⑥ $DC_{k2}(t)-DN_k(t)$ - 기업 수의 변화(신기술(유발)수요): 기업 수의 변화는 자본재구입의 기대이익에 영향을 미친다. 기업 수가 늘어나면 시장에서 경쟁이 심화되어 자본재구입의 기대이익이 감소한다. 이 경우 산업 내 기업 수 계수는 음(-)의 부호를 가져야 한다.
- ⑦ $DC_{k3}(t)-DER_k(t)$ - 산업전력비 변화(신기술(유발)수요): 산업전력비는 산업생산과 비례관계를 가진다. 따라서 이 변수는 다중공선성 문제를 회피하면서 산업생산량 변화를 측정할 수 있는 대리변수이다. 산업전력비는 산업생산량, 즉 자본재구입과 양의 비례관계를 가지므로, 이 변수의 계수는 양(+)의 부호를 가져야 한다.
- ⑧ $DQ_k(t)/Q_k(t)$ - 외생요인에 의한 수요증가: 외생적 수요증가를 공급하기 위해서는 추가적으로 시설확장을 위해 자본재를 구입해야 한다. 따라서 외생요인에 의한 수요증가변수의 계수는 양(+)의 부호를 가져야 한다.

3. 실증분석

3.1 실증분석기간, 변수측정과 자료출처

식(11)을 추정하기 위한 데이터가 2003년부터 이용 가능하기 때문에 실증분석기간은 2003-2011년과 2012-2018년, 즉 글로벌 금융위기 전 후 두 기간으로 나누어서 분석한다. 실증분석에 사용된 표본은 2003년부터 2018년까지 16년 동안 27개 제조업에 종사하는 10인 이상 사업체를 대상으로 한다. 자료는 균형 패널로 구성한다. 식(11)의 변수와 측정이 <표 2>에 요약된다.

〈표 2〉 변수의 정의와 측정

변 수		정의와 측정	기대 부호
log RI _k	RI _k (t)	연도별 실질 산업 자본 투자 : 연도별 실질 기계장치투자액과 기타공구투자액의 합을 자본재가격지수로 나누어 측정. 즉, $\{[I_k(t) - I_k(t-1)] / P_k^c(t)\}$ 으로 측정	
	P _k ^c (t)	연도별 자본재가격 지수 ⁷⁾ : (산업의)명목순자본스톡/(산업의)실질 순자본스톡으로 산업별 자본재 가격지수 측정	
log m _k (t)		기술기회 : 연도별 실질 산업연구개발투자(RD)를 사용하여 아래의 방정식을 추정 함: $RD(t) = a + b_1RD(t-1) + b_2RD(t-2) + e$. 추정식의 계수를 이용해서 RD(t)를 추정하고 그 값에 log를 취함: $\log(RD(t)+1)$.	+
log Q _k (t)		연도별 실질산업생산량 : 연도별 실질산업매출액의 log로 측정: $\log(Q_k(t)+1)$	+
DrP ^c (t)	r(t)	연도별 실질이자율 : 연도별 실질 CD금리로 측정,	-
	DrP ^c (t)	$rP^c(t+1) - rP^c(t)$ 로 측정	
Dp ^c (t)		연도별(산업이 투자한)자본재가격 변화율: $p^c(t) = P^c(t) - P^c(t-1)$, $Dp^c(t) = Dp^c(t+1) - Dp^c(t)$ 로 측정	+
DP _k (t)	P _k (t)	연도별 산업상품가격 : 연도별 산업이 생산한 상품의 생산자가격지수로 측정	?
	DP _k (t)	$P_k(t+1) - P_k(t)$ 로 측정	
DW _k (t)	W _k (t)	연도별 산업 총급여액 : 연도별 산업의 실질 총급여로 측정	?
	DW _k (t)	$W_k(t+1) - W_k(t)$ 로 측정	
DN _k (t)	N _k (t)	연도별 산업 내 기업수: 연도별 산업의 기업 수로 측정	-
	DN _k (t)	$N_k(t+1) - N_k(t)$ 로 측정	
DER _k (t)	ER _k (t)	연도별 산업전력비 : 연도별 산업 전력비 지출로 측정	+
	DER _k (t)	$DER_k(t+1) - DER_k(t)$ 로 측정	
DQ _k (t)/Q _k (t)		$DQ_k(t) > 0$ 인 경우 → 연도별 실질매출액의 증가분 : t시점 전의 최고 실질산업매출액과 t시점의 실질매출액의 차이를 t시점의 실질매출액으로 나눈 것으로 측정, $DQ_k(t) < 0$ 인 경우 → $DQ_k(t) = 0$ 으로 측정	+

III장 슈페테리안 기술변화모형에서의 자본은 II장의 성장회계의 생산요소인 자본보다는 제한적인 개념이다. 즉, 신기술 개발과 생산에 직접적으로 사용되는 자본재이다. 이러한 개념에 가까운 자본을 측정하기 위해서는 기존의 자본스톡의 대리변수로 사용되는 유형 자산에 포함되어 있는 차량, 운반구, 토지, 건물, 부동산 자산은 제외시켜야 한다. 다행히도, 통계청의 광업제조업조사에는 설비투자증가액 관련 세분화된 정보가 포함되어 있어서, 자본은 기계장치투자액과 기타공구투자액의 합으로만 측정하였다.

7) 내생적 성장모형을 다룬 Jones(1994)의 논문에서는 산업별 자본재 가격지수를 사용하지 않고 국가 전체산업을 모두 포괄하는 단일 가격지수를 사용한다.

어느 시점에서 기술기회(m), 즉 특정 산업에서 이용 가능한 신기술총량의 대리변수로 그 산업의 연구개발투자를 사용한다. 그런데 신기술총량이 스톡이므로 연도별 연구개발 투자 보다는 그 시점까지의 연구개발투자 스톡을 사용해야 한다. 그리고 이 스톡은 분배 시차방정식(distributed lag equation)인 $RD(t) = \lambda + \rho_1 \cdot RD(t-1) + \rho_2 \cdot RD(t-2)$ 를 추정한 후, 추정계수를 이용하여 추정된 R&D 스톡에 로그를 취한 값으로 측정한다. 이 추정식의 ρ_1, ρ_2 계수 중에 ρ_1 만 1% 수준에서 통계적으로 유의하고 양(+)의 값을 가진다. 즉, R&D 투자가 1년 정도 시차를 두고 다음 년도 R&D투자에 영향을 미친다는 것을 의미한다. 본 논문에서는 분배시차방정식의 추정치를 바탕으로 t시점의 연구개발투자량을 연구개발 투자스톡의 대리변수로 사용한다. 연구개발투자스톡의 시차(lag)변수를 독립변수에 추가적으로 포함할 수도 있지만 이렇게 할 경우 추가적으로 얻는 정보가 거의 없이 잃어버리는 표본의 수가 많다. 따라서 연구개발투자스톡의 시차변수를 생략한다.

실증분석에 사용된 자료의 출처는 다음과 같다. 유형고정자산, 생산액, 급여액, 산업 기업수, 전력비는 통계청 광업·제조업 조사⁸⁾로부터, 이자율과 상품가격(산업별 생산자 가격지수), 자본재가격은 ECOS(한국은행 경제통계시스템)로부터, 그리고 산업연구개발비는 NTIS(국가과학기술지식정보시스템)로부터 수집하였다. 실증분석에 사용된 변수의 기초통계(sample statistic)는 <표 3>에 요약한다.

<표 3> 기초통계량

변수/구분(단위)	전 국	
	평 균	표 준 편 차
자본투자(백만원)	3,264,678	5,702,364
R&D(백만원)	12,683	40,137
생산액(백만원)	4.46e+07	5.47e+07
이자율(%)	3.15	1.16
자본재가격	0.91	0.12
상품가격지수	97.41	21.74
총급여액(백만원)	3,592,507	4320891
산업 내 기업수	2,343	2,353
전력비(백만원)	657,059	1,038,448
DQ/Q	0.04	0.08

8) 이 자료는 한국은행자료와 달리 한국 제조업 및 광업의 종업원 수 10인 이상인 모든 사업체를 포함하고 있다.

3.2 회귀분석 결과와 논의

식(11)을 추정하는데 Arellano & Bond(1991)와 Arellano & Bover(1995)가 제안한 Dynamic panel data two-step System GMM 추정방법을 사용하였다. 모형의 적합성을 검증하는 Wald test의 검증 통계치(χ^2)는 모든 기간에 대해서 “회귀방정식 (11)의 설명 변수 계수가 모두 ‘0’이다”라는 귀무가설을 1% 유의수준에서 기각한다(<표 4> 참조).

<표 4> 식(2)의 Dynamic panel data two-step System GMM 추정치

변수/기간		2003-2018	2003-2011	2012-2018
	log RI _k (t-1)	0.36*** (13.71)	0.34*** (7.74)	0.03 (0.49)
기술기회 (신기술공급)	log m _k (t) R&D	0.03** (2.35)	0.06** (2.03)	-0.01 (-0.29)
산업생산량	log Q _k (t)	0.53*** (22.68)	0.54*** (15.24)	0.83*** (18.56)
자본재비용 (신기술공급)	DrP ^c (t)(b1)	-0.02 (-0.81)	0.005 (0.13)	-0.03 (-0.85)
	Dp ^c (t) (b2)	2.45*** (8.81)	2.17** (2.37)	0.33 (0.27)
자본재 구입 기대이익 (신기술수요)	DP _k (t) (β1)	-0.01*** (-8.73)	-0.01** (-2.21)	-0.02*** (-5.65)
	DW _k (t) (β2) 임금	1.83e-07*** (3.38)	2.53e-07*** (3.20)	3.07e-07*** (4.27)
	DN _k (t) (β3) 경쟁기업수	-0.0001 (-1.06)	-0.0001 (-0.82)	-0.0002 (-0.64)
	DER _k (t) (β4) 전력비	3.48e-07*** (3.19)	2.29e-07 (1.02)	3.92e-07** (2.21)
외생적 수요변화	DQ _k (t)/Q _k (t)	1.78*** (7.13)	1.78*** (4.88)	1.57*** (2.77)
Constant		-0.30*** (-7.26)	-0.32*** (-4.15)	-0.32*** (-3.92)
Wald test(χ^2) for 모든 계수=0		235309.79***	178989.51***	394269.85***
Wald test(χ^2) for b1=b2=β1=β2=β3=β4=0		594.43***	102.77***	167.14***

변수/기간	2003-2018	2003-2011	2012-2018
Wald test(χ^2) for $b1=b2=0$	78.35***	7.19**	0.73
Wald test(χ^2) for $\beta1=\beta2=\beta3=\beta4=0$	330.16***	65.96***	57.33***
Arellano-Bond test for zero autocorrelation in first-differenced errors(AR1)	-2.60***	-2.75***	-3.06***
Arellano-Bond test for zero autocorrelation in first-differenced errors(AR2)	-0.51	-0.69	-1.57
Hansen test of overidentifying restrictions	13.83	13.98*	11.02
도구변수수	23	19	23
그룹수	27	27	27
표본수	270	135	135

주1) **: 5%, ***: 1% 통계적 유의성을 나타냄. 괄호안은 t값을 나타냄.

주2) 금융위기 기간인 2008, 2009년은 분석에서 제외

주3) 통계청의 자료제공제한에 따라 2010, 2015년은 분석에서 제외

다중공선성(multicollinearity)을 검증하기 위해서 <부록 1>에서와 같이 설명변수 사이의 상관관계를 조사하였다. 상관계수는 R&D와 생산액의 0.76을 제외하고는 매우 낮은 수준이다. 상관계수가 높은 변수들을 모두 넣고 추정한 결과와 그 변수를 빼고 추정한 결과를 비교했을 때 관련 변수의 통계적 유의성이 크게 변하지 않았다. 따라서 다중공선성이 크지 않은 것으로 판단한다.

본 논문에서 동태모형을 다루고 있으므로 변수들의 시계열적 관련성을 다음의 두 가지로 점검하였다. 첫째, 식(11)에 포함된 변수들의 시계열 안정성을 검증하기 위해서 단위근 검정을 실시하였다. Levin-Lin-Chu unit root 검증은 <부록 2>에서 보여주는 바와 같이 모든 변수에 대해서 1% 유의수준에서 시계열 불안정이 있다는 귀무가설을 기각한다. 둘째, 과거 자본재 구입이 현재 자본재 구입에 미치는 영향을 검증하였다. 예를 들면, 과거 자본재와 기술적 연계성 때문에 현재 자본재를 구입해야 하는 경우 과거 자본재 구입이 현재 자본재 구입에 시차를 두고 영향을 미칠 수 있다. 이런 지연의존성이나 경로의존성의 시차 차수를 결정하기 위해 Arellano-Bond의 AR1, AR2 검증을 실시하였고, AR2가 모든 기간에서 10% 유의수준으로 기각되므로 지연종속변수 $\log RI_k(t-1)$ 만을 식(11)에 포함하여 추정하였다. 이러한 추정에서 일어나는 내생성을 통제하기 위해 Dynamic panel data two-step System GMM 추정방법이 사용되었다. System GMM 추정방법은 수준방정식과 1차 차분 방정식을 하나의 시스템으로 추정하여 패널 회귀분석

모형에 지연종속변수를 포함할 때 발생하는 내생성의 문제와 산업특성효과(v_k)를 통제할 수 있다. 도구변수의 적합성, 즉, 과대식별여부를 검증하는 Hansen 검정결과는 모든 기간에서 과대식별제약이 유효하다는 귀무가설을 10% 및 5% 유의수준에서 기각하지 못함을 보여준다. 추정결과 지연종속변수는 2012-2018년 기간을 제외한 모든 기간에서 1% 유의수준에서 통계적으로 유의하다. 통계적으로 유의한 기간 동안에는 현재의 자본재 구입에 지연의존성과 경로의존성이 있는 것으로 평가된다.

본 논문이 제기하는 핵심 사항이 혁신성장률 측정에 관한 것이기 때문에 <표 4>의 회귀분석 결과를 개별변수의 영향을 분석⁹⁾하기 보다는 자본재(신기술)확산, 즉 동태적 자본재(신기술)수요에 영향을 미치는 요인을 신기술공급, 신기술수요, 외생적 수요변화 등과 같이 그룹별로 통계적 유의성을 점검한다.

① 신기술공급 요인

기술기회 계수는 2003-2018년과 2003-2011년 기간 동안 예측했던 양(+)¹⁰⁾의 부호를 가지고, 5% 수준에서 통계적으로 유의하다. 이러한 결과는 이 기간 동안 연구개발투자로 인한 신기술기회 증가가 신기술개발을 늘리고, 신기술 상품화를 위해 자본재구입이 늘어났다는 것을 의미한다. 하지만 2012-2018년 기간에는 이 변수가 통계적으로 유의하지 않다.

자본재가격변화 계수는 모든 분석기간에 대해서 통계적으로 유의하지 않다. 자본재 가격차익변화 계수는 예측했던 양(+)¹¹⁾의 부호를 가지고 2003-2018과 2003-2011 기간에 1%와 5% 수준에서 통계적으로 유의하다. 이러한 결과는 이 기간 동안 자본재가격하락에 대한 기대가 자본재구입에 영향을 미쳤다는 것을 의미한다. 기술기회와 마찬가지로 2012-2018년 기간에는 계수들이 예측한 부호를 나타내지만 통계적으로 유의하지 않다.

전체적으로, 2003-2011년 기간에는 신기술공급이 자본재구입을 유인했지만, 2012-2018년 기간에는 이 변수가 자본재구입을 유인하지 못했다.

② 신기술수요 요인

신기술가격변화 계수는 음(-)¹²⁾의 부호를 가지고, 모든 기간에 대해서 5% 수준에서 통계적으로 유의하다. 이런 결과는 신기술 가격변화가 자본재구입을 억제하는데 유의미한 영향을 미쳤다는 것을 의미한다.

9) 신기술확산에 대한 분석은 권명중·윤미경(2019)을 참고하라.

산업임금변화 계수는 모든 기간에 대해서 1% 수준에서 통계적으로 유의하고, 양(+)
부호를 나타낸다. 이것은 생산성향상으로 인한 임금증가가 신기술수요증가를 유인하고
이것이 자본재구입을 증가시켰다고 해석된다. 기업 수 변화 계수는 모든 기간에 대해서
선형적으로 예측한 음(-)의 부호를 나타내지만 통계적으로 유의하지 않다. 산업전력비
변화 계수는 선형적으로 예측한 양(+)
의 부호를 나타내고 2003-2018 기간과 2012-2018
기간에 대해서 1% 수준에서 통계적으로 유의하다. 이런 결과는 관련 변수들이 통제된
상태에서 신기술 하위시장(downstream market)의 수요증가를 공급하기 위한 신기술
생산증가가 자본재구입을 유인했다는 것을 의미한다.

③ 외생적 수요변화 요인

외생적 수요변화 계수는 모든 기간에 대해서 선형적으로 예측한 양(+)
의 부호를 가지고,
모든 기간 동안 1% 수준에서 통계적으로 유의하다. 이러한 결과는 외생적 수요변화가
자본재구입을 증가시켰다는 것을 의미한다.

4. 쉘페테리안 기술변화모형에 의한 혁신성장률 측정과 비교평가

이제 쉘페테리안 기술변화모형을 이용해서 혁신성장률을 계산하는 방법을 설명해보자.
혁신성장률은 식(11)의 회귀방정식 추정치를 이용해서 t시점에서 t와 t+1사이의 자본재
구입 증가율을 계산할 수 있다. 혁신성장률을 계산하기 위해서 먼저, t시점 자본재구입
추정치, $\log \widehat{RI}_k(t)$ 를 식(12)와 같이 계산한다. 여기서, 식(11)의 회귀방정식에 있는 독립
변수 중에서 통계적으로 유의하지 않은 변수들은 제외하고 계산한다.

$$\log \widehat{RI}_k(t) = \bar{b}_k + \bar{a}_1 \log m_k(t) + \bar{a}_2 \log Q_k(t) + \bar{b}_1 \text{DrP}^c(t) + \bar{b}_2 \text{Dp}^c(t) + \bar{b}_3 \text{DP}_k(t) + \bar{\beta}_k \text{DC}_k(t) + \bar{b}_4(t) \cdot \text{DQ}_k(t)/Q_k(t) \quad (12)$$

여기서 $\log \widehat{RI}_k(t)$ t시점에서 자본재구입량의 추정치를 나타내고, 각 변수의 계수 위의
바 기호는 계수가 통계적으로 유의함을 나타낸다. 자본재구입의 증가율, 즉 혁신성장률은
식(11)의 회귀방정식을 시간변수 t로 미분하고 t 시점의 자본재구입량으로 나눈 값으로
식(13)과 같이 계산된다.

$$[\partial \log \widehat{R}I_k(t) / \partial t] / \log \widehat{R}I_k(t) = [\overline{a}_1 \cdot (\partial \log m_k(t) / \partial t)] / \log \widehat{R}I_k(t) + [\overline{a}_2 \cdot (\partial \log Q_k(t) / \partial t)] / \log \widehat{R}I_k(t) + [\overline{b}_1 \cdot (\partial \text{DrP}^c(t) / \partial t)] / \log \widehat{R}I_k(t) + [\overline{b}_2 \cdot (\partial \text{Dp}^c(t) / \partial t)] / \log \widehat{R}I_k(t) + [\overline{b}_3 \cdot (\partial \text{DP}_k(t) / \partial t)] / \log \widehat{R}I_k(t) + [\overline{\beta}_k \cdot (\partial \text{DC}_k(t) / \partial t)] / \log \widehat{R}I_k(t) + [\overline{b}_4 \cdot (\partial (\text{DQ}_k(t) / Q_k(t)) / \partial t)] / \log \widehat{R}I_k(t) \quad (13)$$

식(13)은 혁신성장률이 신기술공급요인, 신기술수요요인, 외생적 요인과 같이 혁신성장률의 결정에 영향을 미치는 요인들로 분해할 수 있다는 것을 보여준다. 즉, 혁신성장률 결정요인 분해분석이 가능하다. 식(11)의 회귀방정식 추정에 사용된 자료와 추정계수 중에서 통계적으로 유의한 변수를 신기술공급, 신기술수요, 외생적 요인 변수로 구분하고 각각의 집단에 대해서 식(13)의 우변과 같이 계산하면 혁신성장률의 성장요인 분해가 된다. 이러한 결과가 <표 5>에 요약되어 있고, 성장률, 혁신성장률, 총요소생산성성장률 사이의 비교는 <표 6>에 있다.

<표 5> 혁신성장률과 성장요인분해

기간/ 성장 요인	성장률 (제조업)	TFP 성장률	슈페테리안 모형 혁신성장률	신기술 공급요인			공급 요인 합계	신기술 수요요인				수요요인 합계	외생 요인 DQ/Q	통계 요인	
				RD	DrPc	DPc		DPk	DW	DM	DER			RI t-1	Q
03-18	0.07	0.051	0.012	0.0004	-	0.0032	0.0036	0.0049	0.0016	-	0.0003	0.0069	0.0005	*	*
				3.3%	-	26.6%	29.9%	40.8%	13.3%	-	2.5%	56.6%	4.1%	-	-
03-11	0.121	0.096	0.02	0.0009	-	0.0044	0.0053	0.0048	0.0021	-	-	0.0069	0.003	*	*
				4.5%	-	22%	26.5%	24.26%	10.5%	-	-	34.94%	15%	-	-
12-18	0.02	0.007	0.0056	-	-	-	-	0.0006	0.0037	-	0.0013	0.0056	0.0002	-	*
				-	-	-	-	10.7%	66%	-	23.2%	99.9%	3.5%	-	-

주1) 구성비의 합이 100%를 넘거나 부족한 것은 통계변수가 자본재투자 증가율에 미치는 영향도 포함되어 계산되었기 때문이다.

주2) 금융위기 기간인 2008, 2009년은 분석에서 제외

주3) 통계청의 자료제공제한에 따라 2010, 2015년은 분석에서 제외

<표 6> 혁신성장률 및 총요소생산성 성장률과 성장에 대한 기여율, 단위 %

기간	성장률 (전체)	성장률 (제조업)	숙페테리안 혁신성장률(제조업) (성장률에 대한 혁신성장률 기여율)	성장회계 총요소생산성성장률(제조업) (성장률에 대한 총요소생산성 기여율)
2003-2018	3.9	7	1.2 (17%)	5.1 (73%)
2003-2011	4.8	12.1	2 (17%)	9.6 (79%)
2012-2018	2.9	2	0.56 (28%)	0.007 (35%)

주1) 금융위기 기간인 2008, 2009년은 분석에서 제외

주2) 통계청의 자료제공제한에 따라 2010, 2015년은 분석에서 제외

<표 5>와 <표 6>이 보여주는 바와 같이, 숙페테리안 혁신성장률은 전체 기간인 2003-2018기간 동안에는 1.2%, 부분 기간인 2003-2011 기간과 2012-2018기간 동안에는 각각 2%와 0.56%이다. 혁신성장의 정도가 상대적으로 크지 않고, 지난 16년 동안을 8년 단위로 나누어 측정했을 때 혁신성장률 두 기간 사이에 감소하고, 혁신성장이 성장에 기여한 비율은 증가한다. 기여율이 증가한 것은 혁신성장률이 상대적으로 소폭 감소한데 비해 성장률은 대폭 감소한 것에 기인한다. 주목할 점은 혁신성장률이 2012년부터 2018까지 8년 동안 0.56%로 매우 낮다는 것이다.

혁신성장의 결정요인 분해분석을 해보면, 2003-2018년 기간 동안 신기술공급요인, 신기술수요요인, 외생적 요인의 혁신성장률에 대한 기여도가 각각 29.9%, 56.6%, 4.1%이다. 동일한 분석을 부분 기간에 적용하면, 2003-2011기간에는 24.26%, 34.94%, 15%이고, 2012-2018 기간에는 0%, 99.9%, 3.5%이다¹⁰⁾. 전체적으로 성장회계에 의한 총요소생산성 성장률에는 반영이 안 된 신기술수요요인이 신기술공급요인보다 혁신성장률에 대한 기여도가 높고, 정부정책이나 해외수요 변화와 같은 외생적 요인도 3-15% 사이에서 혁신성장률에 기여한다. 특이한 점은 2012-2018기간 동안에는 신기술공급이 혁신성장률에 전혀 기여하지 못했고, 신기술수요가 주로 혁신성장률 선도를 했다는 것이다. 이것은 2003-2011기간과 2012-2018기간 사이에 혁신성장률이 하락한 것은 2012-2018년 기간 동안 신기술공급이 저조한 것에 기인한다는 것을 보여준다. 이것은 4차 산업혁명과 같은 패러다임 기술혁신이 진행되는 동안 오히려 생산성이 하락되는 생산성역설을 뒷받침하는 내용이다. 신기술공급이 멈춘 원인은 다양한 관점에서 분석이 필요한데, 구체적인 분석은 별도의 연구에서 진행하기로 한다.

10) 합이 100%가 넘는 것은 통계적으로 유의한 변수 중에 신기술공급, 신기술수요, 외생적 요인 이외에 통제변수로 사용된 변수도 포함되기 때문이다.

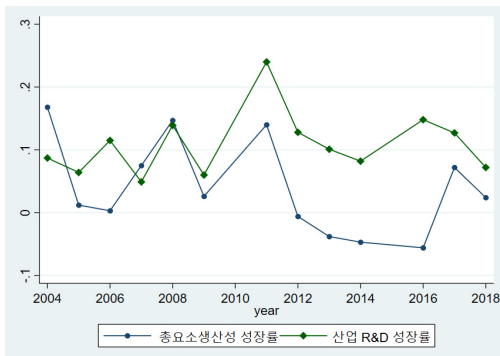
동일 기간별로 슈페테리안 혁신성장률과 성장회계방법의 총요소생산성성장률을 비율로 비교하면, 2003-2018 기간 동안에는 총요소생산성성장률이 슈페테리안 혁신성장률보다 세 배 높고, 부분 기간인 2003-2011 기간에는 약 네 배 높다. 그러나 혁신성장이 멈춘 2012-2018 기간에는 총요소생산성성장률이 0에 근접해서 슈페테리안 혁신성장률과의 차이가 크게 나지 않는다.

<표 1>의 생산성장률, 즉 성장률과 총요소생산성성장률을 비교해보면, 성장률 중 총요소생산성성장률이 차지하는 비중이 매우 높아서, 두 지표 사이에 높은 상관관계가 있음을 보여준다(상관관계=0.93). 반면에 <표 6>이 보여주는 바와 같이 성장률과 슈페테리안 혁신성장률을 비교해보면, 슈페테리안 혁신성장률이 매우 낮은 수준에서 변화가 적어서 두 지표 사이에는 명확한 상관관계가 나타나지 않는다.

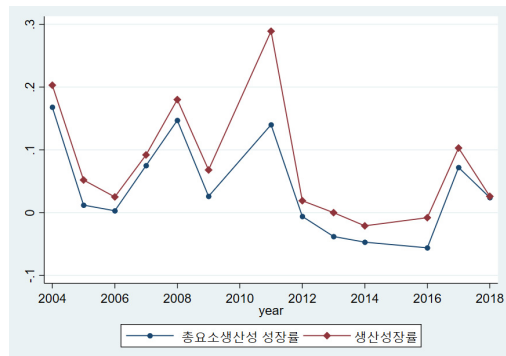
슈페테리안 혁신성장률이나 성장회계 총요소생산성성장률이 모두 기술진보의 대리변수라고 한다면, 위의 결과는 몇 가지 흥미로운 시사점을 제공한다.

첫째, 슈페테리안 혁신성장률은 분석 기간 동안 내내 기술진보가 실질 성장에 대한 기여도가 높지 않음을 나타내지만, 성장회계 총요소생산성성장률은 2012-2018 기간을 제외하고는 실질 성장과 비슷한 성장률을 나타낸다. 즉, 두 지표가 기술진보의 실질 성장기여에 대해서 상반된 결과를 나타낸다. 특히, 슈페테리안 혁신성장률은 기술진보에 최종수요가 미치는 영향을 포함시켰음에도 불구하고 기대했던 것보다 기술진보의 실질 성장에 대한 기여가 낮다. 이러한 결과는 2012-2018년 기간 동안 실제로 자본재(신기술) 투자 증가율이 낮은 데 부분적인 이유가 있는 것으로 추측된다. 총요소생산성 성장률은 기술진보의 실질 성장에 대한 높은 기여를 나타내는데, 이것은 이미 설명하였듯이 총요소생산성이 생산요소사용(자원배분)의 효율성, 규모의 경제, 잉여시설의 사용정도, 기업가 경영능력 등과 같이 기술진보 이외의 요소로 인한 효율성 증가도 포함하고 있기 때문이다. 총요소생산성의 이런 문제점을 반영하듯이 <그림 3>가 보여주는 바와 같이 총요소생산성 성장률과 신기술공급의 대리변수인 산업 R&D 성장률 사이의 상관관계는 0.27으로, 총요소생산성 성장률과 산업 R&D 성장률 사이에 상관관계가 높지 않다는 것을 보여준다. 총요소생산성의 기술진보 대리변수의 문제점을 개선하기 위해서 유럽에서는 총요소생산성 측정과정에서 인적자본, 규모의 경제, 잉여시설 등을 보정하는 등의 노력을 기울이고 있다. 그럼에도 불구하고, 기술진보의 대리변수로서 총요소생산성 측정 문제가 완전히 해결된 것은 아니다. 따라서 총요소생산성을 기술진보의 대리변수로 사용할 때는 기술진보의 실질성장 기여도에 대한 과대평가 가능성을 유의해야 한다.

둘째, <그림 4>에서 보는 바와 같이 생산성장률과 중요소생산성성장률은 상당히 높은 상관관계가 있다(상관관계= 0.93). 그런데, 생산성장률(또는 중요소생산성 성장률)이 감소추세에 있으면 증가추세에 있을 때와 비교해서 생산성장률과 중요소생산성성장률 차이가 커지고, 반대로 증가추세에 있으면 감소추세에 있을 때와 비교해서 생산성장률과 중요소생산성성장률 차이가 작아진다. <표 7>이 보여주는 바와 같이, 감소추세에 있을 때 생산성장률과 중요소생산성 성장률 차이가 0.031(2004-2006기간)과 0.033(2011-2016 기간)인데 반해, 증가추세에 있을 때 이 차이가 0.024(2006-2008기간)이다. 이것은 생산 성장률이 증가추세에 있을 때 감소추세에 있을 때보다 기술진보율(중요소생산성 성장률)이 더 높아지고, 감소추세에 있을 때 증가추세에 있을 때보다 기술진보율(중요소생산성성장률)이 더 낮아진다는 것을 의미한다. 이러한 현상에 대한 이유는 두 가지로 해석이 가능하다. 하나는 기술변화의 수요견인(demand pull)에 의한 설명이다. 생산성장추세가 수요증가에 의해서 견인되었다면, 증가된 수요를 더 많이 차지하려는 기업 사이의 경쟁이 더 많은 기술변화를 유인한다는 주장이다. 또 다른 하나는 중요소생산성이 성장회계식의 잔차로 측정됨으로써 인해 발생하는 구조적인 문제에 의한 설명이다. 생산이 감소추세에 있을 때 물리적인 또는 제도적인 이유로 생산요소인 자본과 노동을 단기적으로 줄일 수 없다. 그런데 식(1)의 성장회계식에서 보는 바와 같이 생산성장률이 감소할 때 자본과 노동을 줄일 수 없다면 생산감소에 맞추어서 잔차인 중요소생산성 성장률이 줄어들 수밖에 없다. 즉, 생산감소추세에 있을 때 중요소생산성 성장률은 기술진보와 관계없이 성장 회계식에 의해서 결정되게 된다. 두 번째 해석은 성장률이 감소추세에 있을 때 중요소 생산성에 의한 기술진보 해석에 세심한 주의를 기울여야 한다는 함의를 내포한다.



<그림 3> 중요소생산성 성장률과 산업R&D 성장률 추이



<그림 4> 중요소생산성 성장률과 생산성장률 추이

〈표 7〉 생산성장률, 중요소생산성성장률, 산업R&D 성장률 추이와 차이

변수명/연도	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2011	2012	2013	2014	2016	2017	2018
중요소생산성 성장률	0.168	0.012	0.003	0.075	0.147	0.026	0.14	-0.006	-0.038	-0.047	-0.056	0.072	0.024
생산성장률	0.203	0.052	0.025	0.092	0.18	0.068	0.289	0.019	0	-0.021	-0.008	0.103	0.026
산업연구개발비증가율	0.087	0.064	0.115	0.049	0.139	0.06	0.24	0.128	0.101	0.082	0.148	0.127	0.072
생산성장률 - 중요소생산성 성장률	0.036	0.04	0.022	0.016	0.033	0.043	0.148	0.024	0.038	0.026	0.047	0.031	0.003
생산성장률과 중요소생산성 평균성장률 차이	-		0.031		0.0245	-					0.0337	-	-

셋째, 슈페테리안 혁신성장률의 성장결정요인 분해결과를 보면, 혁신성장률에 영향을 미치는 기술기회, 어느 한 분야의 연구개발과 그 인접분야까지의 연구개발 유인이 혁신 성장에 미치는 기여도는 3.3%에 불과하다. R&D가 실질성장률에 미치는 기여도는 0.56% 밖에 되지 않는다. 산업 R&D로 측정된 기술기회의 혁신성장률이나 실질성장률에 기여하는 정도는 일반적으로 기대한 수준보다 낮다. 다만 ‘2000년대 이후 기술진보와 성장’에 관한 대부분의 연구에서 국가 R&D는 증가하지만 실질성장률이 감소하는 결과를 바탕으로 기술진보가 성장에 기여하지 못한다는 결론과는 그 맥을 같이 한다(Gordon, 2014; Crafts, 2018). 또한, 본 논문 연구자들이 최근에 다른 데이터(통계청 MDIS 기업활동 조사자료, orbis데이터)를 사용해서 R&D의 생산성에 대한 영향 측정에서도 본 논문의 결과와 비슷하게 나타난다. 이러한 점들을 감안하면서, R&D투자의 낮은 실질 성장기여를 다음과 같이 설명한다. R&D 투자의 실질경제성장에 대한 기여가 낮은 이유는 R&D투자의 결과가 상품화로 연결되지 못하고 중도에 매몰비용이 되는 비율도 낮지 않고, 신기술 형태로 상품화되었다고 하더라도 확산에 성공하지 못하고 시장에서 퇴출되는 비율도 매우 높기 때문이다. 따라서 현실에서는 R&D 투자 중에 아주 낮은 비율만이 생산성장으로 귀결되는 것으로 판단된다.

요약하면, 그 동안 기술진보의 대리변수로 사용된 중요소생산성과 R&D, 그리고 본 논문에서 제안한 슈페테리안 혁신성장률의 기술진보의 실질성장률에 대한 기여도 측정이 모두 다르게 나타난다. 이와 같은 차이는 기술진보라는 동일한 용어를 측정 하면서 서로 다른 실체를 측정하고 있는 것에 기인한다. 중요소생산성 성장률은 사실 기술진보를 포함하는 ‘생산의 효율성’을 측정하고 있고, R&D는 기술변화의 공급부분, 즉 ‘기술혁신’의 성장에 대한 기여를 측정하고 있다. 그리고 슈페테리안 혁신성장률은

신기술의공급과 수요를 포괄하는 기술진보의 성장에 대한 기여를 측정한다. 이런 관점에서 총요소생산성, R&D, 스펙테리안 혁신성장률은 서로 대체재가 아니고 보완재이다. 따라서 분석목적이나 분석범위 또는 대상에 따라 기술진보의 대리변수를 선별해서 사용하고, 다른 두 지표와 비교 분석한다면 '기술진보의 성장에 대한 기여'에 관해서 좀 더 이해의 폭을 넓히는데 기여할 것으로 판단된다.

IV. 결론과 정책적 함의

1980년대 후반부터 저성장 경로를 탈피하고 지속 가능한 성장을 유지하기 위한 방법으로 기술진보가 제시되어 왔다. 그리고 기술진보와 성장과의 관계를 실증하는 지표로 총요소생산성 및 R&D 투자와 성장 사이의 관계가 연구되어왔다. 그러나 2010년대 이후 유럽, 미국, 한국에서 국가 R&D 투자는 증가하는데 반해, 국가 생산성이나 성장률은 하락하는 현상이 나타나면서, 기술진보와 성장의 선순환적 관계에 의문이 제기되고 있다(Gordon, 2014, Craft, 2018). 본 논문에서는 이런 문제가 기술진보나 기술변화가 실질성장에 기여하는 정도를 측정하는 기존 방법에 근본적인 원인이 있다고 주장한다. 이런 문제의식으로부터 본 논문은 Schumpeter의 기술변화의 개념에 기초해서 기술진보의 실질 경제성장에 기여하는 정도를 측정하는 새로운 방법을 고안한다. 슈페테리안 기술변화 모형으로 명명된 본 논문의 모형은 기술변화가 투자를 유인하는 과정을 개별기업의 신기술투자에 관한 의사결정과정으로 모형화하고, 기존 신성장이론이나 내생적 성장이론과 달리 기술변화가 창출하는 경제성과의 범위를 신기술공급이 만들어내는 부가가치뿐만 아니라 신기술수요에 의해서 간접적으로 만들어지는 부가가치까지 포함한다. 즉 기술변화에 의한 경제성과의 범위를 신기술의 개발부터, 생산, 확산까지 전 과정에서 일어나는 모든 부가가치 증가를 포함한다. 따라서, 슈페테리안 기술변화모형은 동태모형이 될 수밖에 없고, 자본의 개념도 기존 모형에서 전제하는 시간과 기술에 중립적인 생산요소로서의 자본이 아니라, 시간의 지나감에 따라 체화되는 기술수준과 함께 자본생산성이 변화하는 vintage 모형에서 사용하는 자본개념을 사용한다.

기술변화가 성장에 기여하는 정도, 즉 혁신성장률에 대한 측정방법의 문제점을 파악하고 확인하기 위해서 기존의 성장회계 방법과 슈페테리안 기술변화 모형에 의한 혁신성장률을 측정하고 비교한다. 이를 위해 통계청 광업·제조업조사 마이크로데이터를 사용해서 2003-2018년 기간 동안의 27개 제조업에 종사하는 10이상 기업을 대상으로 혁신성장률을 측정했으며, 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 성장회계모형의 총요소생산성 성장률은 실질성장률의 약 70%를 기여하고, 두 지표 사이에 상관관계가 매우 높다. 총요소생산성 성장률은 슈페테리안 혁신성장률보다 약 세배 정도 높다. 슈페테리안 혁신성장률 측정에 신기술수요의 영향을 포함시키고,

각 시점에서 모든 신기술의 생산성기여가 포함되었음에도 불구하고 중요소생산성 성장률이 슈페테리안 혁신성장률보다 세 배가 높았다는 것은 시사하는 바가 크다. 중요소생산성은 성장회계방정식에서 잔차로 측정된 것으로 기술진보 뿐만 아니라 생산요소 사용(자원배분)의 효율성, 잉여생산시설의 사용정도, 규모의 경제효과, 경영진능력 등과 같이 기술진보 이외에 생산성증가에 영향을 미치는 부분까지도 측정에 포함된다. 만약, 슈페테리안 기술변화모형의 혁신성장률이 기술진보의 성장기여도를 정확하게 측정했다고 가정하면, 중요소생산성 성장률의 3분의 2는 기술진보 이외 요소의 기여를 포함하고 있다는 것을 의미한다. 이런 맥락에서 보면, 중요소생산성을 기술진보로 해석했을 때 논쟁의 여지가 발생할 수 있다. 예를 들면, 2012년 이후 중요소생산성 증가율은 0.7%로서, 이다. 기술진보가 거의 정체되었다고 해석될 수 있다. 하지만 이는 동 기간 동안 혁신성장률이 2%가 넘었음에도, 그 밖의 요인이 음(-)의 성장을 해서 최종적으로 0.7%라는 수치가 만들어 졌을 수도 있기 때문이다. 이를 통해 중요소생산성 증가율을 혁신성장률로 해석하거나 기술진보를 측정하는 대리변수로 사용하는 데는 세심한 주의가 필요하다는 시사점이 도출된다.

둘째, 경제성장률(또는 중요소생산성 성장률)이 떨어질 때 중요소생산성 성장률의 해석에 특별히 주의를 기울여야 한다. 그 이유는 경제성장률(또는 중요소생산성 성장률)이 감소추세에 있을 경우 증가추세에 있을 경우와 비교해서 경제성장률과 중요소생산성 성장률 차이가 커지고, 반대로 증가추세에 있을 경우에는 감소추세 경우와 비교해서 경제성장률과 중요소생산성 성장률 차이가 줄어들기 때문이다. 이렇게 되는 이유 중 하나는 중요소생산성이 성장회계식의 잔차로 측정되는 것에 기인한다. 생산이 감소추세에 있을 때 물리적인 또는 제도적인 이유로 자본과 노동을 단기적으로 줄일 수 없다. 이런 상황에서 생산이 줄어들면 성장회계식에 따라 잔차인 중요소생산성 성장률이 줄어들 수밖에 없다. 즉, 경기가 하강할 때 성장회계식으로 측정되는 중요소생산성 성장률, 즉 기술진보는 과다하게 위축되는 형태로 나타나게 된다. 2012년 이후 중요소생산성 성장률이 급격하게 떨어지는 것도 이와 같은 관점에서 해석될 수도 있다.

셋째, 슈페테리안 혁신성장률을 적용한 성장결정요인 분해결과에 따르면, 혁신성장률에 영향을 미치는 기술기회, 즉, 어느 한 분야의 연구개발과 그 인접분야까지 연구개발 영향이 혁신성장률에 미치는 기여도는 3.3%에 불과하다. 이것은 R&D 투자가 실질경제 성장률에 미치는 기여도는 1%(0.56%)도 되지 않는다는 것을 의미한다. 이러한 연구

결과는 기업 데이터를 사용한 연구결과와 비교하면 상반되지만, 산업 데이터를 사용한 연구 결과와는 그 맥을 같이 한다. R&D 투자의 실질경제성장률에 대한 기여가 낮은 이유는 R&D 투자 중 일부만이 상품화되고, 또한 상품화된다고 하더라도 확산에 성공하는 비율은 5% 정도밖에 되지 않는다는 연구 결과(Stoneman, 1983)로부터 추론 될 수 있다. 실제로, R&D 투자는 기술변화 전(全) 과정의 일부이기 때문에 실질경제성장률에 대한 낮은 기여도는 개념적으로 이해될 수 있다. 따라서 기술변화 전과정을 포함하는 슈페테리안 기술변화 모형이 이런 오해를 불식시키는 데 도움을 줄 수 있다.

여기서, 슈페테리안 혁신성장률의 한계도 지적할 필요가 있다. 지금까지 총요소생산성 성장률과 R&D 투자의 기술진보를 측정하는 대리변수의 문제점을 지적하다 보니 상대적으로 슈페테리안 혁신성장률이 기술진보 측정의 완벽한 지표인 것처럼 오인될 수 있다. 본 논문의 슈페테리안 혁신성장률 도출의 근간이 되는 식(11)의 기술기회 대리변수로 사용한 산업 R&D 투자는, 기술기회를 나타내지만 모든 기술기회를 대표할 수는 없다. 예를 들면, R&D 투자는 신기술개발의 투입요소이기는 하지만 산출물은 아니므로 기술기회의 완전한 대리변수가 될 수는 없다. 따라서 불완전한 대리변수 사용에 따른 편의 발생을 완전히 배제할 수는 없으므로 슈페테리안 혁신성장률 해석에 있어서 어느 정도 오차범위를 허용하면서 유연하게 해석할 필요가 있다.

위의 실증결과를 요약하면, 기술진보를 측정하는 대리변수로 총요소생산성 성장률을 사용하면 기술진보의 실질경제성장률에 대한 기여를 과다평가하게 되고, R&D투자를 사용하면 기술진보의 실질경제성장률에 대한 기여를 과소평가하게 된다. 이것은 기술정책을 왜곡할 가능성이 있음을 의미한다. 예를 들면, 총요소생산성 성장률을 기술진보의 대리변수로 사용하면 기술개발이나 R&D투자에 적정수준을 넘는 지원이 이루어지게 되고, R&D투자를 대리변수로 사용하면 적정수준보다 부족한 지원이 이루어질 수 있기 때문이다. 총요소생산성 성장률, R&D 투자, 슈페테리안 혁신성장률이 기술진보라는 동일한 용어를 측정하면서 총요소생산성 성장률은 기술진보를 포함하는 ‘생산의 효율성’을 측정하고, R&D는 기술변화의 공급부분, 즉 ‘기술혁신’의 성장에 대한 기여를 측정하고, 슈페테리안 혁신성장률은 신기술의 공급과 수요를 포괄하는 기술진보의 성장에 대한 기여를 측정하므로, 각각의 측정목적에 맞게 지표를 사용하여야 한다. 즉, 분석목적이나 분석범위 또는 대상에 따라 기술진보의 대리변수를 선별해서 사용하고, 다른 두 지표와 비교 분석한다면 ‘기술진보의 실질경제성장률에 대한 기여’를 정확하게 측정하는데 기여할 것으로 판단된다.

본 논문 결과의 정책적 함의는 다음과 같다.

첫째, 기술진보의 실질경제 성장율에 대한 기여가 총요소생산성 성장률, R&D투자, 스펀테리안 혁신성장률이 모두 큰 차이로 다르게 나타난다. 이것은 기술정책을 수립할 때 정책목적이나 정책대상을 명확하게 규정하고, 그 목적에 상응하는 측정지표를 사용할 필요성이 있음을 의미한다. 전국민을 정책대상으로 하고 정책목적이 거시적인 경제효율성을 높이는 것이라면 정책목표의 검증지표로 총요소생산성 성장률이 사용되어야 한다. 그러나 정책대상이 신기술공급의 주체인 기업이고 정책목표가 기술공급의 효과성을 높이는 것이라면 R&D 투자의 경제적 성과(예, 매출액증가 등)를 측정지표로 삼아야 한다. 그리고, 정책당국자를 대상으로 전반적인 기술정책의 실질경제성장에 대한 효과성을 높이는 것을 정책 목적으로 한다면 스펀테리안 혁신성장률을 검증지표로 사용할 수 있다. 이렇게 함으로써 기술정책의 성과를 정확하게 진단하여 정책효과를 증진시킬 수 있다.

둘째, 혁신성장률의 성장요인분해를 보면 신기술 공급요인의 혁신성장률에 대한 기여도가 29.9%인 반면 신기술 수요요인의 혁신성장률에 대한 기여도는 56.6%이다. 이러한 결과는 신기술수요를 지원하는 정책이 신기술공급을 지원하는 정책보다 성장 기여도가 높다는 것을 보여준다. 그런데 현재 기술정책은 공공기관에 의한 국가 R&D 수행, R&D 보조금 지급, 공공기술개발 지원, 위험공유 제도 등과 같은 기술공급 정책이 주를 이루고 있다. 따라서, 현재 부분적으로 수행되고 있는 신기술구입 보조금, 신기술 정보제공, 신기술 정부조달, 기술호환 및 표준화 등과 같은 기술수요정책의 적극적인 확대가 필요로 된다.

셋째, 혁신성장률의 성장요인분해를 보면 R&D 투자의 성장기여도가 3.3%에 불과하다. R&D 투자가 신기술공급과정의 일부분만을 담당하기 때문에 성공적인 R&D 투자가 그 자신의 분야와 인접분야의 R&D 투자를 유인한다고 하더라도 R&D 투자 그 자체의 경제적 성과는 거시적 성과의 크기와 비교하면 클 수는 없다. 특히, R&D 투자는 기술적 불확실성과 상업적 불확실성 모두를 포함하고 있기 때문에 실패확률이 일반투자보다도 훨씬 높다. 따라서 시장에만 맡기면 사회에서 필요한 만큼의 투자가 이루어지지 않는다. 이런 관점에서 R&D 투자의 성장기여도를 높이는 새로운 차원의 방법을 시도해 볼 필요가 있다. 하나의 방법은 2020년 유럽연합에서 시도한 임무지향형 R&D 투자를 응용해 보는 것이다(Mazzucato, 2018a). 임무지향형 R&D 투자는 원래 사회적 도전과제를 해결하는

과정에서 혁신성장기회를 찾으면서 사회적 가치와 경제적 가치를 동시에 추구하는 것이다(Mazzucato, 2018b, 송위진·성지은, 2019). 이러한 해결과정에 시민사회가 참여하고, 정부가 네트워크를 형성하면서 선도혁신투자와 후속민간투자를 유인한다. 즉 참여범위와 응용범위가 넓어지면서 R&D 투자의 성과확산이 광범위하게 진행된다. 따라서 R&D 투자가 반드시 사회적 가치를 가지지 않더라도, 그 임무가 조금이라도 공적으로 기여하는 것이라면 시민사회, 정부, 민간기업이 협업으로 R&D 투자를 진행함으로써 광범위한 영역에서 성과가 나타나게 해서 R&D 투자의 성장기여도를 높일 수 있다.

넷째, 기술진보의 성장에 대한 기여가 낮게 측정되는 이유 중에 하나는 신기술이 자본재에 체화되어 생산공정의 효율성을 높이는 부분이 제대로 측정에 반영되지 않기 때문이다. 본 논문에서는 자본을 신기술이 체화된 자본재로 정의하고 시간의 흐름에 따라 자본의 생산성변화를 반영하였다. 특히, 통계청의 광업제조업 조사의 마이크로 데이터가 설비투자에 대한 세분화된 정보가 있어서 자본 중에 차량, 운반구, 토지, 건물, 부동산과 같이 생산설비 이외의 항목을 제외하고 자본을 구성할 수 있어서 연도별로 자본에 체화된 신기술의 생산성 기여를 간접적으로 측정할 수 있었다. 따라서 신기술이 자본재에 체화되어 생산성에 기여하는 부분을 측정하기 위해서는 자본도 신지식 체화정도로 구분해서 단순 자본, 지식자본재로 구분 할 필요가 있다. 이렇게 함으로써 신기술, 즉 기술진보의 실질 경제성장 기여도를 정확하게 측정할 수 있게 한다.

참고문헌

(1) 국내문헌

통계청 MDIS. 「광업제조업조사」

통계청. 「경제활동인구조사」

ECOS, 한국은행 경제통계시스템, <https://ecos.bok.or.kr>

NTIS, 국가과학기술지식정보서비스, <https://www.ntis.go.kr>

권명중(2018), 「기술혁신의 경제학 - 4차 산업혁명의 사례와 적용」, 나무.

권명중·윤미경(2019), “기술확산과 경제성장의 변동성”, 「산업조직연구」, 제27권, 제4호, pp. 1-43.

권명중·조상혁(2021), “Solow 성장모형을 통한 한국제조업 성장특성에 대한 연구: 1994-2018 기간을 중심으로”, 「지역발전연구」, 제30권, 제1호, pp. 189-215.

송위진·성지은(2019), “'임무지향적 혁신정책'의 관점에서 본 사회문제 해결형 연구개발 정책 - '제2차 과학기술기반 사회문제 해결 종합계획' 사례분석-”, 「기술혁신연구」, 제27권, 제4호, pp. 85-110.

정준호(2017), “기술혁신과 경제성장 연구의 현황과 과제: 한국에 대한 논의를 중심으로”, 「기술혁신연구」, 제25권, 제4호, pp. 47-77.

(2) 국외문헌

Abramovitz, M(1956), "Resource and Output Trends in the United States since 1870", *NBER Occasional paper* No. 52.

Arellano, M and S. Bond(1991), "Some Tests of Specification for Panel Data: Monte Carlo Evidence and an Application to Employment Equations", *Review of Economic Studies*, Vol. 58, pp. 277-297.

Arellano, M and O. Bover(1995), "Another Look at the Instrumental Variable Estimation of Error-Components Models", *Journal of Econometrics*, Vol. 68, pp. 29-52.

Crafts, N(2018), "The Productivity Slowdown: is it the new normal?", *Oxford Review of Economics Policy*, Vol. 32, No. 3, pp. 443-460.

Gordon J, R(2014), "The Demise of U.S. Economic Growth: Restatement, Rebuttal, and Reflections", *NBER Working Paper No. 19895*.

Grossman M, G and E. Helpman(1991), "Trade, knowledge spillovers, and growth", *European Economic Review*, Vol. 35, Issues. 2 - 3, pp. 517-526.

Ireland, N and P. Stoneman(1986), "Technological Diffusion, Expectations and Welfare", *Oxford Economic Papers*, Vol. 38, No. 2, pp. 283-304.

- Lach, S and M. Schankerman(1989), "Dynamics of R&D and Investment in the Scientific Sector", *Journal of Political Economy*, Vol. 97, Issue. 4, pp. 880-904.
- Keynes J. M(1936), "The General Theory of Employment Interest and Money", Macmillan, London.
- Mazzucato, M.(2018a), *Mission-oriented Research and Innovation in the European Union*, European Commission.
- Mazzucato, M.(2018b), "Mission-oriented innovation policies challenges and opportunities", *Industrial and Corporate Change*, Vol. 27, No. 5, pp. 803-815.
- Meijers, H(1994), "On the Diffusion of Technology in a Vintage Framework", Maastrich: Maastricht University Press, pp. 271-297.
- Nickell, S and D. Nicolitas(1996), "Does Innovation encourage Investment in Fixed Capital?", Mimeo, Institute of Economics and Statistics, University of Oxford.
- Romer, P(1986), "Increasing Returns and Long run Growth", *Journal of Political Economy*, Vol. 95, pp. 12-37.
- Romer, P(1990), "Endogenous Technological Change", *Journal of Political Economy Part 2: The Problem of Development: A Conference of the Institute for the Study of Free Enterprise Systems*, Vol. 98, No. 5, pp. S71-S102.
- Schumpeter, J(1912), "The Theory of Economic Development", Cambridge, Havard University Press.
- Solow, R(1956), "A Contribution to the Theory of Economic Growth", *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 70, No. 1, pp. 65-94.
- Solow, R(1987), "We'd Better Watch Out", New York Times Book Review.
- Stoneman, P(1983), "The Economic Analysis of Technological Change", Oxford University Press, Oxford.
- Stoneman, P and M. J. Kwon(1994), "The Diffusion of Multiple Process Technologies", *The Economic Journal*, Vol. 104, No. 423, pp. 420-431.
- Stoneman, P and M. J. Kwon(1996), "Technology Adoption and Firm Profitability", *The Economic Journal*, Vol. 106, No. 437, pp. 952-962.
- Stoneman, P and M. J. Kwon(1998), "Gross Investment and Technological Change", *Economics of Innovation and New Technology*. Vol. 7, Issue. 3, pp. 221-243.

□ 투고일: 2022.11.04. / 수정일: 2022.12.22. / 게재확정일: 2022.12.26.

부 록

〈부록 1〉 변수들의 상관관계

변수명	logR&D	log생산액	자본비용	자본재 가격	상품가격 지수	총급여액	경쟁기업수	전력비	Dq/Q
logR&D	1								
log생산액	0.76*	1							
자본비용	-0.15*	-0.003	1						
자본재가격	-0.22*	-0.10	0.52*	1					
상품가격지수	-0.14*	-0.01	0.23*	0.29*	1				
총급여액	0.41*	0.27*	-0.06	-0.18*	-0.15*	1			
경쟁기업수	0.17*	0.13	0.001	-0.27*	-0.10	0.51*	1		
전력비	0.28*	0.19*	-0.06	-0.10	-0.03	0.20*	0.14*	1	
Dq/Q	0.07	0.03	0.20*	0.05	-0.04	0.06	0.03	0.05	1

주1) *: 5% 통계적 유의성을 나타냄.

〈부록 2〉 LLC 단위근 검정결과(Levin-Lin-Chu Unit-Root test result)

변수명	전국	H0 : 단위근이 존재
	adj-t 값	
log 자본투자	-7.3619	1% 유의수준에서 H ₀ 기각
log R&D	-4.2452	
log 생산액	-4.5597	
D 실질금리	-9.5729	
D 자본재가격	-7.1880	
D 생산자가격지수	-4.8529	
D 총급여액	-10.5959	
D 경쟁기업수	-10.0467	
D 전력비	-6.9730	
DQ/Q 수요변화	-4.9179	