

한국 제조업 사업체의 체화 기술진보를 추정

이 시 옥

(명지대학교 경제학과 조교수)

Estimation of Embodied Technological Progress in Korean Manufacturing

LEE, Siwook

(Assistant Professor, Department of Economics, Myongji University)

* 본 논문은 『성장동력으로서의 설비투자: 국제비교 및 미시실증분석』(정책연구시리즈 2006-08, 한국개발연구원, 2006) 자료를 논문 형태로 확대 수정·보완한 것이며, 2011년도 명지대학교 교내연구비 지원사업에 의하여 연구되었음을 밝힌다.

** 이시옥: (e-mail) siwookl@mju.ac.kr, (address) Myongji University, Namgajwa 2-dong, Seodaemun-gu, Seoul, Korea.

• Key Word: 체화 기술진보(Embodied Technological Progress), 설비투자(Equipment Investment)

• JEL Code: O33, O47

• Received: 2009. 7. 7 • Referee Process Started: 2009. 7. 10

• Referee Reports Completed: 2011. 11. 2

ABSTRACT

This paper empirically investigates the rates of embodied technological change and their relative contributions to total factor productivity growth for manufacturing, using the Korean plant-level manufacturing data for the period of 1985-2003. We adopt a production-based estimation method proposed by Sakellaris and Wilson (2004) in order to examine the marginal productivity increase of each vintage of equipment over time. We find that the rate of embodied technological progress of Korea's manufacturing sector maintains the annual average level of 13.7 percent from 1985 to 2003, slightly lower than 16.9 percent of the U.S., estimated by Sakellaris & Wilson (2004). While the rate recorded a remarkable increase after the 1997 financial crisis, IT-producing and IT-using industries achieved higher rates of embodied technological progress than non-IT counterparts.

본 연구에서는 우리나라의 광공업통계자료를 이용하여 1985~2003년 기간을 대상으로 개별 공장 수준의 미시자료를 구축한 후 Sakellaris and Wilson(2004)의 분석방식을 차용하여 우리나라 제조업체의 체화 기술진보율(embodied technological change)을 추정하고, 이를 미국을 중심으로 한 기존의 선행 연구 결과와 비교해 보았다.

분석 결과에 따르면, 우리나라 제조업체의 체화 기술진보율은 분석기간 중 연평균 13.7% 수준으로서 Sakellaris and Wilson(2004)이 추정된 미국의 제조업 추정치인 16.9%에 비해 다소 낮은 수준인 것으로 나타났다. 기간별로는 외환위기 이후 기간의 체화 기술진보율이 이전 기간에 비해 대폭 상승한 것으로 추정되었다. 한편, 기업특성별로는 외환위기 이후의 기간을 중심으로 IT산업이 비IT산업에 비해, 그리고 IT 고이용 산업이 저이용 산업에 비해 상대적으로 체화 기술진보율이 높은 것으로 파악되었다. 이와 같은 결과는 최근 설비투자의 전반적인 둔화세가 지속되고 있는 가운데, 설비투자의 구성 면에서 정보통신부문을 중심으로 질적 향상이 진행되어 왔음을 시사한다.

1. 서론

일반적으로 경제성장을 견인하는 주요인으로는 노동, 자본스톡 등 생산요소의 축적과 기술혁신 등을 통한 생산성 향상을 들 수 있다. 설비투자는 이 중 자본스톡의 주요 구성요소로서 기계, 장비 등과 같은 고정자본 설비에 새로 투자되는 증가분을 의미한다.

우리나라의 설비투자는 1990년대 중반까지만 해도 연평균 10~20% 수준으로 빠르게 증가해 왔으나, 외환위기 이후에는 전반적인 경기 둔화로 인한 투자 수익성 저하, 기업 구조조정 압력 등 다양한 요인으로 인해 연평균 증가율이 4% 중반대로 하락한 바 있다.

이와 같은 설비투자의 추세적 둔화는 산업화가 성숙단계에 들어서면서 나타나는 일반적인 현상이다. 아울러 향후 우리나라의 중장기 경제성장세가 설비투자 등 물적자원의 양적 확대보다는 기술혁신 등을 통한 생산성 제고에 의해 결정된다는 점도 이론의 여지가 크지 않다.

다만, 여기에서 한 가지 주목해야 하는 사항은 새로운 기술혁신 성과의 상당 부분이 정보통신재 등을 중심으로 생산의 중간 투입물로 사용되는 자본설비에 체화되는 형태로 나타난다는 점이다. 이를 경제학 문헌에서는 ‘체화 기술진보(embodied technological progress)’라고 정의하는데, 체화 기술진보란 새로운 기술이 최신의 자본설비에 체화되어 생산요소로 투입되는 경우에 발생하는 기술 변화를 의미한다.¹⁾ 체화 기술진보의 경우 기술혁신의 성과가 생산성 증가로 시현되기 위해서는 생산과정에서 새로운 기술이 체화된 자본설비의 구입 및 적용이 전제되어야 한다는 특징을 지닌다.

비록 우리 경제가 요소투입 주도형에서 혁신 주도형으로 전환되는 과정에서 과거와 같은 높은 설비투자율을 회복하기는 어려울지라도 적어도 설비투자의 구성 면에서 새로운 기술의 체화도 및 생산성 향상 잠재성이 높은 방향으로 질적 개선이 이루어진다면 성장세 제고에 기여할 수 있다.

1) 가령 2011년형 컴퓨터는 2011년 현재의 기술이 대부분 체화되지만, 1990년도에 제작된 컴퓨터는 그 당시의 기술수준을 반영할 뿐 그 이후의 기술발전과는 무관할 수밖에 없다. 따라서 비슷한 이용목적을 가진 기계라도 제작연도가 서로 다르다면, 기술진보의 체화 정도에 따라 제품 성능(quality) 역시 매우 다를 수 있다.

실제로 외환위기로 인해 설비투자의 전반적인 둔화세가 지속되고 있는 가운데, 정보통신부문의 기술혁신이 매우 빠르게 진행되면서 생산과정에서도 정보통신재의 활용도가 확대되면서 설비투자의 구성 면에서 정보통신재의 비중이 확대되어 왔다. 설비투자 둔화는 새로운 설비의 도입 부진 및 설비의 노후화 등을 초래하여 경제성장을 더디게 하는 요인으로 작용하는 반면, 기술혁신의 속도가 빠른 정보통신재의 비중 확대는 최신 기술의 체화도 측면에서 설비투자 구성의 질적 향상을 가져오는 요인이라 볼 수 있다.²⁾

이러한 체화 기술진보에 대한 연구는 그 학술적 의의나 정책적 함의가 크에도 불구하고 국내에서 관련 실증분석 연구가 상대적으로 저조한 상황이다. 이와 같은 맥락에서 본 연구에서는 자료가 가용한 1985~2003년 기간 중 우리나라 개별 공장 수준의 미시자료를 대상으로 우리나라 제조업체의 체화 기술진보율을 추정해 보기로 한다. 특히 Sakellaris and Wilson(2004)의 분석방식을 차용하여 우리나라 체화 기술진보의 추이를 외환위기 전후 기간을 구분하여 고찰해 본다. 아울러 산업적 특성에 따라 IT산업과 비IT산업, IT 고이용 산업과 저이용 산업 등을 심층 비교·분석하고 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제II장에서는 체화 기술진보의 이론적 배경 및 기존 문헌의 연구 결과를 간략히 고찰한다. 제III장에서는 우리나라 제조업 내 체화 기술진보율 추정을 위한 추정방식과 관련 통계자료 및 추정 결과를 제시한다. 마지막으로, 제IV장 결론 부분에서는 추정 결과들을 요약하고, 본 연구에서 사용한 추정방식의 한계점 및 후속 연구의 방향을 구체적으로 살펴보기로 한다.

II. 문헌 조사

1. 이론적 배경

기술혁신이 생산성 증가로 시현되는 형태를 다음과 같이 비체화 기술진보(disembodied technological progress)와 체화 기술진보(embodied technological progress)로 대

2) 우리나라 전체 설비투자에서 정보통신재가 차지하는 비중은 1995년 16.8%에서 2009년 현재 32.8% 수준으로 증가하였다. 특히 동 비중은 1997년 20.8%에서 1999년 30.1% 수준으로 증가하는 등 외환위기를 전후하여 급속히 확대된 바 있다.

별해 볼 수 있다.

우선 비체화 기술진보에 대해 살펴보자. 한 경제의 총생산량(Y_t)이 다음과 같은 콥-더글라스 생산함수에 의해 결정된다고 가정하자.

$$Y_t = K_t^\alpha (z_t L_t)^{1-\alpha} \quad (1)$$

여기에서 K_t 는 특정 시점 t 에 존재하는 자본스톡의 총량, L_t 는 노동투입량, α 는 자본소득 분배율, 그리고 z_t 는 t 시점의 경제 전체의 기술수준을 나타내는 척도를 의미한다. 식 (1)의 양변을 L_t 로 나누고, y_t 와 k_t 를 각각 1인당 생산량과 1인당 자본장비율로 정의하면, 식 (1)은 $y_t = z_t^{1-\alpha} k_t^\alpha$ 로 표시될 수 있다. 이러한 1인당 생산량 함수를 로그를 취한 후 시간에 대해 차분을 구하면 경제성장률은 다음과 같이 표시된다.

$$g_y = (1-\alpha)g_z + \alpha g_k \quad (2)$$

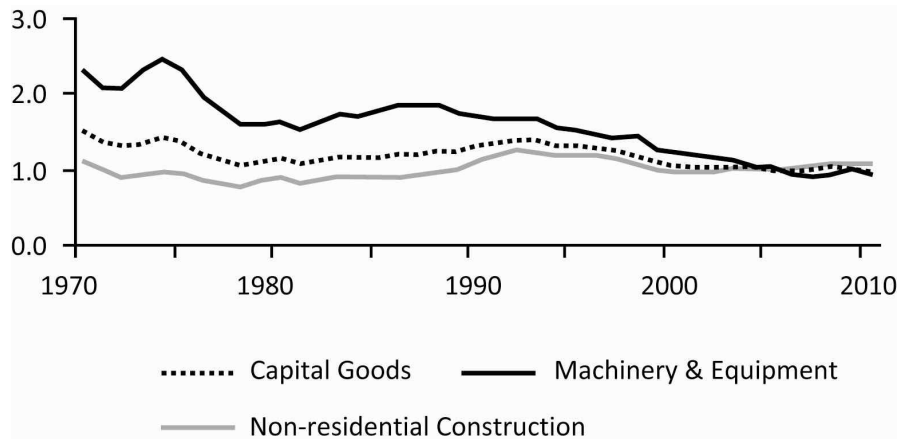
여기에서 $g_x \equiv (1/x)(dx/dt)$ 는 임의의 변수 x 의 시간에 대한 증가율로 정의한다. 식 (2)에 나타난 바와 같이, 한 경제의 성장률은 기술진보율과 자본축적도에 의해 결정된다. 이 경우 기술진보는 자본 및 노동의 축적도에 상관없이 독립적인 경로를 통해 경제성장률에 영향을 미치며, 이러한 유형의 기술진보는 비체화 기술진보 혹은 중립적 기술진보(neutral technological progress)라 지칭된다.

경제 내에는 소비재(c_t)와 자본재(i_t) 부문이 존재하며, 소비자들의 소비와 저축 간 최적선택과정을 통해 소비재와 투자재의 생산량이 결정될 경우를 가정해 보자. 이 같은 비체화 기술진보가 일어나면, 장기적으로 소비재와 자본재의 부문별 생산이 총생산량과 같은 비율로 늘어나는(예: $g_y = g_i = g_c$), 소위 ‘균형성장경로(balanced growth path)’로 수렴하게 된다.³⁾ 이러한 균형성장경로에서 경제성장률은 기술진보율과 같으며($g_y = g_z$), 소비재와 자본재 간의 상대가격(p_{it}/p_{ct})과 자본-생산 비율(K_t/Y_t)은 일정한 수준에서 변하지 않는 특성을 지니게 된다.

그러나 이상에서 기술한 성장모형의 예측과 현실에서 나타나는 현상 간에는 적지 않은 괴리가 존재한다. 현재 대부분의 국가에서 소비재 대비 자본재의 상대가격은 꾸준

3) 단, 소비자효용함수와 PPF함수의 동조성(homotheticity)이 충족될 경우에 그러하다.

[Figure 1] Capital Goods Prices Relative to Non-durable Consumer Goods



하게 하락하는 추세를 보이고 있으며, 실질가격을 기준으로 한 설비투자의 대GDP 비중도 앞서의 모형에서 예측하고 있는 것과는 달리 증가하는 경향을 보이고 있다.

가령 [Figure 1]은 1970~2010년 기간 동안의 우리나라 자본재 상대가격의 추이를 예시하고 있는데, 그림에 나타난 바와 같이 설비투자의 상대가격이 꾸준히 하락하고 있으며, 자본재의 상대가격도 1990년대 초반 이후 낮아지는 추세에 있다.

이와 같은 상대가격 하락현상은 자본재 생산부문의 생산성 향상이 소비재부문에 비해 높을 경우에 발생할 수 있는데, 이는 자본재 1단위를 생산하는 것이 소비재 1단위를 생산하는 데에 비해 자원의 소모가 적음을 의미하고, 이러한 한계비용의 상대적 감소는 결국 상대가격의 하락으로 이어지게 된다. 체화 기술진보는 이와 같이 자본재부문이 소비재부문의 생산성 증가를 상회하고, 이러한 자본재가 다시 생산과정에 투입요소로 활용될 경우에 나타난다.

체화 기술진보의 개념을 다음과 같은 간단한 경제모형을 이용하여 정리해 보자. 우선 J_t 를 특정 시점 t 에 존재하는 유효자본스톡의 총량이라 정의하자. J_t 가 식 (1)의 K_t 와 다른 점은 연식(vintage)의 차이에 따른 자본재의 성능 향상을 반영하여 자본스톡을 구성하고 있다는 점이다. 가령 컴퓨터의 예를 다시 살펴보면, 컴퓨터 대수를 이용한 단순한 물량 단위(physical unit)가 아니라 컴퓨터 1대당 컴퓨터 서비스의 양까지를 고려한 유효단위(efficiency unit)로 컴퓨터 스톡을 계산한 것이다.

J_t 를 고려하여 생산함수를 다음과 같이 정의해 보자.

$$Y_t = J_t^\alpha (z_t L_t)^{1-\alpha} \tag{3}$$

한편, δ 를 물리적 감가상각률, I_t 를 자본재 투자, 그리고 q_t 를 t 시점에서의 자본재 성능지수로 정의하면, 경제 전체의 자본축적식은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$J_t = (1 - \delta)J_{t-1} + q_t I_t \tag{4}$$

이와 같이 t 시점에서의 유효자본스톡은 감가상각을 적용한 지난 기까지의 유효자본스톡과 유효단위로 조정된 t 시점에서의 신규 자본재 투자로 구성되며, 체화 기술진보의 효과는 q_t 의 증가로 나타난다.

비체화 기술진보와 체화 기술진보가 동시에 존재하는 경우 균형성장경로에서의 경제성장률을 살펴보자. 식 (3)과 (4)를 이용하여 식 (2)와 같은 방식으로 로그차분을 취하여 변환하고 균형성장의 조건을 적용하면, 정상상태에서의 경제성장률은 다음과 같이 나타낼 수 있다.⁴⁾

$$g_y = g_z + \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right) g_q \tag{5}$$

체화 기술진보가 경제성장에 기여하는 정도는 체화 기술진보율(g_q) 자체뿐만 아니라 자본재가 경제 전체에서 차지하는 비중(α)에도 영향을 받는다.

여기에서 중요한 사실은 만일 다른 조건이 동일한 상황에서 체화 기술진보를 통해 q_t 가 증가하면, 정상상태에서 체화 기술진보를 반영한 형태의 자본재 생산량은 소비재에 비해 더욱 빠르게 증가하며, 자본재의 소비재에 대한 상대가격은 q_t 가 증가할수록 낮아진다. 이처럼 체화 기술진보를 고려할 경우 최근 현실에서 나타나고 있는 범세계적인 자본재의 상대가격 하락현상이나 설비투자의 대GDP 비중 증가현상을 잘 설명할 수 있다.

체화 기술진보에 대한 논의는 경제성장이론이 본격적으로 자리 잡기 시작한 1950~60년대의 핵심적인 연구주제 중 하나였다. 예를 들어 Johansen(1959)은 자본재의 연식에

4) 도출과정을 간단하게 설명하면, 자본축적식 (4)의 양변을 L_t 로 나눈 후 시간에 대한 자본증가율식으로 변환하면 $g_k = (i_q/k) - \delta$ 이 도출된다. 정상상태에서 g_k 와 δ 는 상수이므로, 이는 $g_k = g_i + g_q$ 를 의미한다. 이와 함께 균형성장의 조건인 $g_y = g_i$ 를 식 (2)에 대입하면 식 (5)로 정리된다.

따라 체화된 기술수준이 다르다는 가정하에 오래된 자본재는 점차 진부화(obsolescence)가 진행되면서 새로운 자본에 대한 상대적인 생산성 격차에 의해 일정 시점에는 결국 도태되어 버리는 소위 연식자본모형(vintage capital model)을 제시한 바 있다. 자본재가 동질적이며 물리적인 생산능력이 남아 있는 한 자본재의 수명은 무한대라고 가정하는 신고전학과 성장이론과는 커다란 차이점이 존재한다.

이후 체화 기술진보에 대한 논의는 1960년대 중반 소위 체화가설 논쟁(embodiment controversy)에서 최정점에 이르게 된다. Solow(1959)는 현실에서 나타나는 기술진보가 대부분이 체화 기술진보이며, 따라서 자본재 투자가 장기적 성장의 핵심 요인이라고 본다. 반면, Phelps(1962)는 단기적으로는 체화 기술진보가 자본축적을 촉진시킴으로써 경제를 정상상태 성장경로(steady state growth path)로의 수렴을 촉진시키는 역할을 하나, 장기적으로는 체화와 비체화 기술진보의 구분 자체는 무의미하며, 총체적인 기술진보의 합이 중요하다고 제시한다. 한편, Jorgenson(1966)은 일정한 자의적(ad-hoc) 가정을 하지 않고서는 현실의 데이터에서 체화 및 비체화 기술진보를 구분하는 것은 불가능한바, 양자의 구별은 사실상 무의미하다고 주장하였다.

이러한 논쟁 상황에서 1960년대에는 Solow(1959)를 검증할 만한 신뢰성 높은 데이터—특히 자본재의 상대가격에 대한 자료—가 충분치 못했고 이에 따라 체화 기술진보는 이후 오랜 기간 주류 경제학계의 관심에서 소외되어 왔다. 그러나 1990년대 들어 Gordon(1990)이 다양한 미시수준의 데이터를 이용하여 자본재의 상대가격이 장기적으로 하락하는 추세에 있음을 검증한 이후부터 체화 기술진보에 대한 논의 및 관련 연구가 다시 활발해지기 시작하였다.⁵⁾ 앞서 살펴본 바와 같이 체화 기술진보가 존재하는 경우 체화 기술진보의 효과가 반영된 자본재 생산량은 소비재에 비해 더욱 빠르게 증가하며, 이에 따라 자본재의 소비재에 대한 상대가격은 낮아지게 된다.

Boucekkine *et al.*(1999)은 장기적 경제성장률에 대한 체화 기술진보의 영향은 진부화 비용 증가에 의한 연구개발의욕 저하라는 부정적 측면과 시설 현대화에 의한 추가적인 투자재 수요 증가 및 이에 따른 연구개발 촉진이라는 긍정적 측면 모두를 내포하고 있다는 이론을 제시하고 있다. 그들은 대체적으로 현대화에 의한 긍정적 효과가 진부화

5) Gordon(1990)은 보상충족회귀분석(hedonic regression approach)을 이용하여 미국의 총 22개 자본재 설비 및 부품 부문에 대한 자본재 유효가격지수를 추정한 바 있다. 여기에서 보상충족회귀분석이란 특정 상품에 있어 그 품질 혹은 성능을 결정하는 제반 특성(PC의 경우 컴퓨터의 처리속도, 하드용량, 기억용량 등)이 상품가격에 미치는 영향을 회귀방정식을 이용하여 정량적으로 파악하는 분석기법을 말한다.

비용효과보다 더 큰 것으로 결론 내리고 있다.

한편, 1970년대 중반부터 1990년대 초반까지 미국을 중심으로 개인용 컴퓨터, 인터넷 등 소위 ‘IT 혁명’이라 불리는 기술진보가 빠르게 진행되었음에도 불구하고 생산성 증가율은 매우 낮은 수준에 머무르자 이를 체화 기술진보모형 내에서 설명하려는 노력이 진행되었다.⁶⁾ 예를 들어 Hornstein and Krusell(1996)과 Greenwood and Yorukoglu(1997)는 새로운 설비에 대한 학습효과가 충분한 효과를 내기에는 일정 기간(gestation lags)이 필요하며, 이러한 점이 일정한 도입비용(adoption costs)으로 작용한다고 주장한다. 특히 새로운 기술이 체화된 설비를 대규모로 도입하는 경우에는 적어도 단기적으로 생산성의 둔화를 가져올 수 있다는 점을 제시하면서 미국의 1990년대 초반까지의 낮은 생산성 증가율은 이러한 요인에 기인한 것으로 해석하고 있다.⁷⁾

2. 실증분석 문헌 조사

최근 실증분석 연구에서 활용되는 체화 기술진보율 추정방식은 크게 가격지수 접근법, 구조모형 접근법, 그리고 생산함수 접근법 등으로 나누어 볼 수 있다.

우선 가격지수 접근법(price-based approach)은 Gordon(1990)이 보상충족회귀분석(hedonic regression approach)⁸⁾을 이용하여 미국의 총 22개 자본재 설비 및 부품 부문에 대한 자본재 유효가격지수를 추정한 이래, 이를 활용하여 자본재의 상대가격을 계산한 후 체화 기술진보율을 추정하는 방식이다. 이와 같은 접근법은 1960년대 체화가설 논쟁을 검증할 수 있는 자본재의 상대가격에 대한 구체적인 정보를 이용한다는 점에서 체화 기술진보 추정의 새로운 전기를 마련한 것으로 평가된다.

가령 Hulten(1992)은 미국의 국민계정자료와 Gordon(1990)의 자본재 유효가격지수를 이용하여 체화 기술진보와 장기적 총요소생산성 변화 간의 관계를 실증분석하였는데, 추정 결과에 의하면 1949~83년 기간 중 미국 제조업 내 연간 체화 기술진보율이 3.44%

-
- 6) 이러한 현상을 Solow(1987)는 “컴퓨터 시대가 열린 것은 생산성 데이터를 빼고는 세상 어디에서 볼 수 있다(You can see the computer age everywhere but in the productivity statistics!)”라고 표현한다.
 - 7) 이들에 따르면, 1990년대 후반 미국의 노동생산성 및 총요소생산성 증가율이 과거 20년 대비 약 2배 가량 증가하였는데, 이는 1973년 이후 정보기술의 출현 및 동 기술에 대한 학습과 생산과정의 적용 확산이 점진적으로 나타난 결과로 풀이된다.
 - 8) 보상충족회귀분석은 특정 상품에 있어 그 품질 혹은 성능을 결정하는 제반 특성—가령 PC의 경우 컴퓨터의 처리속도, 하드용량, 기억용량 등—이 상품가격에 미치는 영향을 회귀방정식을 이용하여 정량적으로 파악하는 분석기법이다.

수준인 것으로 나타났다. Greenwood, Hercowitz, and Krusell(1997)도 비슷한 수준의 체화 기술진보율을 추정하였으며, 1954~90년 기간 중 미국의 총요소생산성 증가율의 60% 정도가 설비투자를 전제로 한 체화 기술진보인 것으로 파악했다.⁹⁾

한편, 구조모형 접근법(structural approach)은 연식자본 확률모형(stochastic vintage-capital model)을 구축한 후 Calibration을 이용하여 추정치를 구하는 방식인데, 대표적인 관련 연구로는 Hobijn(2000), Hobijn *et al.*(2002) 등이 있다. Hobijn(2000)은 Benhabib and Rustichini(1993)의 성장모형을 확장하여 체화 및 비체화 기술진보를 동시에 고려하는 일반균형 동태모형을 수립한 후 자본소득분배율, 인구증가율, 감가상각률 등 관련 변수의 초기값을 모형에 대입함으로써 기술진보의 규모 및 유형별 중요도를 추정하였다. 분석 결과에 따르면, 1947~98년 기간 중 미국의 연간 체화 기술진보율은 약 4% 수준인 것으로 나타났다.

마지막으로, 생산함수 접근법(production-based approach)의 경우 생산함수 추정에 연식 효과(vintage effect)를 추가하여 체화 기술진보율을 도출한다. 이는 만약 생산연도에 따라 제품의 성능이 다르다면, 조건이 같은 경우 상대적으로 새로운 설비를 사용하고 있는 공장이 좀 더 높은 생산성을 보일 수 있다는 가정에서 출발한다.

생산함수를 이용한 실증분석의 대표적인 예는 Sakellaris and Wilson(2004)을 들 수 있다. 그들은 1972~96년 기간 동안 총 24,404개의 미국 국내기업을 대상으로 체화 기술진보에 대한 실증분석을 실시하였다. 그들의 분석에 따르면, 미국 제조업 내 연평균 체화 기술진보율은 8~17% 수준으로 추정되었다. 아울러 1972~96년 기간 동안 설비투자자본의 유효소득이 기존에 측정되었던 것에 비해 약 3배 정도 더 빠르게 확대되어 왔으며, 전체 총요소생산성 증가율 중에서 체화 기술진보가 차지하는 비중은 2/3인 것으로 나타났다.

최근 Tokui *et al.*(2008)은 생산함수 접근법을 이용하여 일본의 체화 기술진보율을 추정하였는데, 일본의 경우도 제조업 내 연평균 체화 기술진보율이 미국과 비슷한 수준인 8~22%인 것으로 추정되었다. 아울러 1990년대에 일본 제조업 내 자본재의 내구연수가 약 2년 정도 증가한 것으로 추정되었으며, 이는 제조업의 생산성 증가율을 약 0.4~0.8%p 하락시키는 효과를 지니는 것으로 분석되었다.¹⁰⁾

9) Cummins and Violante(2002)는 Gordon(1990)의 성능조정가격지수를 2000년도까지 확장해서 체화 기술진보율을 추정하였다. 그들에 따르면, 1990년대에 체화 기술진보가 과거에 비해 가속화되었고, 특히 통신장비(9%), 항공기(8%), 정밀기구(6%) 등의 부문에서 높은 수준의 기술진보가 이루어진 것으로 나타났다.

10) 일본의 경우 소위 'Lost Decade'로 불리는 장기적인 불황으로 인해 신규 투자가 정체되고 이로 인해 기존 자본재의 구성연수가 증가함에 따라 자본재에 체화된 기술진보에 대한 관심이 증가하고 있다. 실제로 일

한편, 우리나라를 대상으로 체화 기술진보율을 추정한 사례는 본 논문과 박세령·한영욱(2008) 등이 있다. 후자는 앞서 소개한 구조모형 접근법(DSGE)을 이용하여 우리나라 설비투자의 질적 개선이 얼마만큼의 기술진보를 실현하였으며, 체화 기술진보의 생산성 제고효과가 어느 정도인지를 실증분석하였다. 이들에 따르면, 우리나라의 체화 기술진보율은 1970~80년대의 5% 미만에서 1990~2000년대에는 16% 내외 수준으로 크게 상승한 것으로 나타났다. 또한 이 같은 개선추세를 반영하여 1980년대에 1.7%에 머물렀던 총요소생산성의 연평균 증가율이 1990~2000년대에는 2.0~2.2%로 확대된 것으로 추정되었다

Ⅲ. 제조업 체화 기술진보율 추정

본 장에서는 광공업통계에 포함된 개별 공장 수준의 미시자료를 이용하여 우리나라 제조업체의 체화 기술진보율을 추정하고, 추정 결과를 미국, 일본 등을 중심으로 한 기존 선행 연구 결과와 비교해 보기로 한다. 아울러 외환위기 전후의 체화 기술진보율을 비교해 봄으로써 외환위기 이후 우리나라 기업들의 설비투자 행태의 변화 모습을 고찰해 본다. 앞서 살펴본 체화 기술진보 추정방식들 중 가격지수 접근방식은 통계의 미비로 인해 우리나라의 경우에 바로 적용하는 것이 현재로서는 불가능하다. 물론 차선책으로 Sakellaris and Vijselaar(2005)와 같이 미국의 자본재 유효가격지수를 적용하여 우리나라의 기술진보율을 계산할 수 있겠으나, 미국과 우리나라의 자본재 가격의 변화 추이가 같다는 가정은 현실성이 떨어진다. 한편, 확률적 구조모형을 바탕으로 Calibration 방식으로 추정하는 것도 고려해 볼 수는 있으나, 실제로 우리나라의 경우 Calibration에 필요한 거시변수들의 초기값에 대한 정확한 정보가 부족하다.¹¹⁾

이에 따라 본 논문에서는 생산함수 접근법의 일종인 Sakellaris and Wilson(2004)의 추정방식을 차용하여 우리나라 제조업 내의 체화 기술진보율을 추정한다. 본 논문에서

본정부의 산업구조위원회(Industrial Structure Council)에서 발행한 ‘신경제성장전략’ 보고서에서는 새로운 기술에 상응하는 자본재의 감가상각세제 개편 필요성을 제기하고 있다(Tokui *et al.*[2008]에서 재전제).
11) 실제로 필자가 Hobijn(2000) 모형에 우리나라 통계를 적용하여 여러 가지 방식으로 Calibration을 수행하여 보았으나, 현실성 있는 결과가 도출되지는 않았다.

는 우리나라 통계자료가 허용하는 한 가급적 Sakellaris and Wilson(2004)의 추정방식을 따름으로써 비슷한 조건하에서 추정된 양국의 추정치를 상호 비교해 보기로 한다.

1. 분석 모형 및 절차

본 절에서는 본 논문에서 차용하고 있는 Sakellaris and Wilson(2004)의 분석모형을 간략히 소개하기로 한다. 특정 기업 i 의 t 시점에서의 생산함수는 다음과 같이 정의된다.

$$Y_{it} = Z_{it} L_{it}^{\beta} (U_{it}^J J_{it})^{\alpha} (U_{it}^S S_{it})^{\eta} M_{it}^{\theta} \quad (6)$$

Y_{it} 는 생산량, L_{it} 는 노동투입량, J_{it} 는 설비투자 스톡, S_{it} 는 건축 구조물 스톡, 그리고 M_{it} 는 에너지를 포함한 중간재 투입량을 의미한다. 한편, U_{it}^J 와 U_{it}^S 는 각각 설비와 건축구조물 사용률(utilization rate)을 의미한다. 자본재 사용률(capital utilization)이란 자본재가 사용되는 속도 혹은 집중도를 의미한다. 이러한 자본재 사용률을 생산함수 추정에서 고려하는 이유는, 실제 사용되는 자본재의 서비스량이 현실적으로 자본스톡에 비해하지 않을 수 있기 때문이다. 따라서 기존에 장착된 기계의 가동률을 높여 생산이 늘어나는 것과 새로운 기술이 체화된 설비의 도입에 의해 생산량이 증대되는 것을 구별해야만 기술진보율에 대한 추정오류를 피할 수 있다.¹²⁾

본 논문에서는 자본재 사용률의 대리변수로 기업의 전력사용도(intensity of electric use)를 사용하기로 한다.¹³⁾ 아울러 Sakellaris and Wilson(2004)과 같이 설비에 대한 전력사용도의 탄력성과 구조물에 대한 탄력성은 같다고 가정한다.

$$\begin{aligned} U_{it}^J &= (E_{it}/J_{it})^{1/\tau}, \\ U_{it}^S &= (E_{it}/S_{it})^{1/\tau} \end{aligned} \quad (7)$$

E_{it} 는 전력사용량, τ 는 자본재에 대한 전력사용도의 탄력성 계수이다.¹⁴⁾ 식 (7)을 식

12) Burnside, Eichenbaum, and Rebelo(1995)는 자본사용률을 고려할 경우 총요소생산성은 자체의 변동성이 줄어드는 동시에 생산증가율과의 상관도도 감소한다는 사실을 발견하였다.

13) Jorgenson and Griliches(1967)가 이러한 방식을 최초로 제안하였고, 이후 Burnside *et al.*(1995), Petropoulos(1999) 등에서 사용되었다.

(6)에 대입하여 정리한 후 로그를 취하면, 다음의 식이 도출된다.

$$\begin{aligned} \ln Y_{it} &= \ln Z_{it} + \beta \ln L_{it} + \theta \ln M_{it} \\ &+ [\alpha(\tau - 1)/\tau] \ln J_{it} \\ &+ [\eta(\tau - 1)/\tau] \ln S_{it} \\ &+ [(\alpha + \eta/\tau)] \ln E_{it} + \theta \ln M_{it} \end{aligned} \quad (8)$$

기업 i 의 자본스톡 J_{it} 는 각 시점에서 물리적 감가상각과 체화 기술수준을 반영한, 설립 이후부터 t 기까지의 자본재 투입량의 합계로 정의한다. 본 논문에서는 실증분석을 수행하기 위하여 다음과 같은 몇 개의 가정을 두어 기업의 자본스톡을 구성한다. 첫째, 자본재의 감가상각은 기하적 감가상각률(geometric depreciation rate rule)을 따른다. 다시 말해 $D_{i,t,t-s} = (1 - \delta)^{t-s}$ 이다. 둘째, 체화 기술진보는 일정한 상수 γ 의 비율로 증가하며, γ 를 체화 기술진보율로 정의한다. 셋째, 신설비가 실제 가동되는 데는 1년 정도(1 year time-to-build)가 소요되며, 따라서 금기에 새로 도입된 설비는 금기의 자본스톡에 포함시키지 않는다. 이상과 같은 가정을 적용하면, 기업 i 의 자본스톡은

$$J_t = i_{t-1}(1 - \delta)q_{t-1} + i_{t-2}(1 - \delta)^2q_{t-2} + \dots + (1 - \delta)^T i_1 q_1 \quad (9)$$

로 표현된다. 식 (9)의 양변을 q_t 로 나누면,

$$\begin{aligned} \frac{J_t}{q_t} &= i_{t-1}(1 - \delta)\frac{q_{t-1}}{q_t} + i_{t-2}(1 - \delta)^2\frac{q_{t-2}}{q_t} \\ &+ \dots + i_1(1 - \delta)^T\frac{q_1}{q_t} \\ &= i_{t-1}\left(\frac{1 - \delta}{1 + \gamma}\right) + i_{t-2}\left(\frac{1 - \delta}{1 + \gamma}\right)^2 \\ &+ \dots + i_1\left(\frac{1 - \delta}{1 + \gamma}\right)^T \end{aligned} \quad (10)$$

14) $\tau = 1$ 이면, 전력사용도가 자본재에서 발생하는 서비스의 양과 비례관계에 있음을 의미한다. 한편, τ 가 크면 클수록 일정 수준의 전력사용도 대비 자본재 서비스가 줄어들을, 다시 말해 자본재의 사용비용이 증가함을 의미한다.

식 (10)을 분석에 사용하는 데 있어서의 한 가지 문제점은 q_t 를 사전적으로 알 수 없다는 것이다. 본 연구에서는 이에 대한 대안으로서 특정 시점의 체화기술수준을 1로 조정(normalized)한 후 그 외의 시점에서의 기술수준은 동 기준 시점 대비 상대적인 크기로 나타내기로 한다. 따라서 추정에 사용된 자본스톡식은

$$\begin{aligned} \frac{J_t}{q_{t^*}} &= \frac{i_{t-1}(1-\delta)}{(1+\gamma)^{t^*-t+1}} + \frac{i_{t-2}(1-\delta)^2}{(1+\gamma)^{t^*-t+2}} \\ &+ \dots + \frac{i_1(1-\delta)^T}{(1+\gamma)^{t^*-t+T}} \end{aligned} \quad (11)$$

이며, $q_{t^*} = 1$ 을 가정한다.

한편, Sakellaris and Wilson(2004)은 비체화 기술진보를 추정하기 위해 연도 더미, 산업별 추세선 등 통계자료상의 시계열 변화율을 이용하고 있다. 아울러 산업별 고유의 특성을 제어하기 위해 생산함수 추정식에 산업 더미를 포함시킨다. 이상을 고려하여 식 (7)을 추정식으로 전환시키면 다음과 같다.¹⁵⁾

$$\begin{aligned} y_{it} &= c_{i0} + \xi T + \Phi X_{it} + \beta l_{it} + \theta m_{it} \\ &+ \alpha(\tau-1)/\tau]j_{it} + [\eta(\tau-1)/\tau]s_{it} \\ &+ [(\alpha + \eta/\tau)]e_{it} + \epsilon_{it} \end{aligned} \quad (12)$$

c_{i0} 는 산업별 더미 벡터, T 와 X_{it} 는 각각 연도 더미 벡터와 산업별 추세선 벡터를 나타낸다. 궁극적으로 생산함수의 추정은 식 (12)에 식 (11)을 대입하여 시행하게 되며, 통상적으로 추정하는 식 (12)의 계수들 이외에 식 (11)의 체화 기술진보율 γ 도 동 모형을 통해 추정된다. 동 추정식이 추정계수에 대해 비선형적 구조를 가지므로, 추정방식도 비선형 최소자승회귀법(non-linear least squares estimation: NLLS)이 사용된다. 아울러 통계자료상의 이분산성과 자기계열상관 문제를 고려한 분산-공분산 행렬을 적용하였다.

15) 이하에서는 편의상 특정 변수의 로그값을 소문자로 표시하기로 한다($y_{it} = \ln Y_{it}$, $l_{it} = \ln L_{it}$, ...).

2. 통계자료 및 변수의 구성

본 연구에서는 1985~2003년 기간을 대상으로 광공업통계에 포함되어 있는 개별 공장 단위의 미시자료를 사용한다. 개별 기업이 설립된 이후 일정 시점까지의 모든 설비 투자 정보를 얻어내기 위해 1980년 이후 설립되고 최소 4년 이상 연속으로 존속한 모든 공장-연도 계층치만으로 불균형 패널을 구축하였다. 4년 이상 연속으로 존속한 기업만을 대상으로 한 주된 이유는 설립 이후 처음 3년간과 그 이후 시기 간에 자본 등 요소 탄력성에서 차이가 나는 경향이 있기 때문이다. Bahk and Gort(1993)는 설립 초창기에 있는 신생기업의 경우 생산상의 학습비용(learning costs)이 존재한다는 점을 들어 이를 설명하고 있다.¹⁶⁾

한편, 광공업통계자료에는 개별 공장의 설립연도자료가 포함되어 있는데, 같은 기업 코드로 분류된 사업장이 서로 다른 설립연도로 표기된 경우가 허다하다. 서로 다른 설립연도로 표기된 경우 이를 같은 사업장으로 간주해야 하는지의 여부는 선형적으로 판단하기 어렵다. 본 연구에서는 개별 사업장의 자본재 투자의 시계열 자료를 활용하여 체화 기술진보율을 추정하므로 가급적 동일 사업장을 대상으로 하여야 추정치의 정확성을 높일 수 있을 것이다. 이러한 이유로 본 연구에서는 같은 기업코드로 분류된 공장이 서로 다른 설립연도로 표기된 경우에는 다른 사업장으로 간주한다.

아울러 광공업통계 원자료는 1980년 이후 작성되고 있으나, 자료의 신뢰성 등의 이유로 본 연구에서는 1980~84년 자료에서는 설비투자자료만을 추출하고, 실제 생산합수 추정은 1985~2003년 기간을 대상으로 하였다.

본 연구에서 사용된 총생산액, 노동투입, 중간재 투입, 건축물 자본스톡 등의 통계자료 구축방식은 김동석(2003)에 자세하게 설명되어 있다. 우선 총생산액(Y_{it})은 국민계정을 이용하여 총 29개 부문별 디플레이터로 나누어 실질화한 값이다. 기업의 노동투입(L_{it})은 총 종사자 수이고, 중간재 투입(M_{it})은 광공업통계의 ‘직접생산비 합계’를 기반으로 실질화한 값이다. 그리고 전력사용량(E_{it})은 중간재 투입항목 중 전력사용량에 해당한다.

설비투자재 스톡(J_{it})의 구축은, 우선 설비투자재를 운송장비와 기계류로 분리하여 표학길 편(2000)에서 추정한 감가상각률인 16.9%와 9.2%를 각각 적용한 후, 개별 시점

16) Sakellaris and Wilson(2004)은 이 외에도 단기간 동안 존재하다가 사라지는 기업들의 설립 초창기 통계의 신뢰성 문제도 제기한다.

의 설비투자액을 당해 연도의 비내구 소비재 물가지수로 나누어 실질화하였다.¹⁷⁾ 각 시점의 설비투자는 광공업통계자료의 연간 증가액을 활용하였다.¹⁸⁾ 여기에서 비내구 소비재 물가지수를 적용한 이유는, 앞서 이미 언급하였듯이, 제품의 성능 향상이 디플레이터에 이미 반영되어 있을 경우에 발생할 수 있는 체화 기술진보율의 과소추정 가능성을 피하기 위함이다. 또한 본 연구의 추정치와 Sakellaris and Wilson(2004)의 결과를 비교하는 차원에서도 동일한 디플레이터를 사용하는 것이 타당하다. 이와는 별도로, 본 연구에서는 자본재 디플레이터를 적용한 추정작업을 병행함으로써 서로 다른 디플레이터의 적용이 체화 기술진보율 추정치에 어떠한 영향을 미치는지를 분석하고 있다.

한편, 건축구조물의 경우에는 공식 가격지수에 성능이나 기능의 향상이 적절히 반영되었다는 가정하에 설비의 경우와는 달리 건축 및 구축물 물가지수를 직접 적용하여 실질화하였다. 건축구조물 스톡(S_{it})은 실질화한 연초 잔액과 연말 잔액의 단순평균을 사용하였다.

마지막으로, 본 분석 통계자료의 마지막 연도인 2003년의 체화기술수준을 1로 조정하고, 그 외의 시점에서의 기술수준은 2003년을 기준으로 한 상대적인 크기로 나타내기로 한다.

3. 분석 결과

가. 기간별 추정 결과

<Table 1>은 본 연구에서 우리나라 광공업통계자료를 이용하여 생산함수를 추정한 결과치와 Sakellaris and Wilson(2004)과 Tokui *et al.*(2008)이 추정한 미국과 일본 제조업

-
- 17) 실질 설비투자재 스톡을 구축하는 데에 비내구 소비재 물가지수를 사용한 이유는, 제품의 성능 향상이 자본재 디플레이터에 이미 반영되어 있을 경우에 발생할 수 있는 체화 기술진보율의 과소추정 가능성을 배제하기 위함이다. 본고에는 포함시키지 않았으나, 비내구 소비재 물가지수 대신 자본재 디플레이터를 적용할 경우 비내구 소비재 디플레이터를 적용한 경우에 비해 다소 낮은 수준의 체화 기술진보율 추정치가 도출된다. 그러나 기간별 추정이나 학습비용효과를 고려한 추정에서도 비슷한 결과가 나타나며, 체화 기술진보율 이외의 추정계수도 매우 유사한 수준의 추정치가 도출되고 있어, 서로 다른 디플레이터의 사용이 정량적 혹은 정성적인 추정 결과의 해석 측면에서 별다른 영향을 주지 않음이 확인된다.
- 18) 광공업통계자료는 자본재 투자항목이 연간 증가, 연간 감소(기존 자본재의 폐기 등에 해당), 감가상각 등으로 구성되어 있다. 본 연구는 새로운 설비의 도입효과에 초점을 맞추고 있으므로, 연간 증가액으로 설비투자를 산정하고, 대신 연간 감소 부분은 감가상각의 일부로 간주하였다.

<Table 1> Comparison of Estimated Rates of Embodied Technological Change

Variable (coefficient)	Korea (1985~2003)	U.S. (1972~96)	Japan (1997~2002)
Embodied Tech. Change(Υ)	0.137(0.009)	0.169(0.049)	0.169(0.015)
Labor(β)	0.353(0.001)	0.322(0.005)	0.188(0.001)
Intermediates(Θ)	0.597(0.001)	0.545(0.005)	0.786(0.001)
Machinery & Equipment(α)	0.046(0.001)	0.108(0.005)	0.021(0.001)
Non-residential Construction(η)	0.056(0.001)	0.020(0.004)	0.017(0.001)
Energy Usage(τ) (Dunny_Multi-plant firms)	7.577(0.324)	2.421(0.054) 0.079(0.008)	- -
No. of Observations	311,781	96,846	47,729
adjusted R ²	0.962	0.927	0.992

Note: Standard errors corrected for heteroskedasticity and serial correlation in parentheses.

추정치를 비교하고 있다.¹⁹⁾

우리나라는 1985~2003년 기간 중 연평균 13.7%의 체화 기술진보율을 기록하였으며, 이는 미국과 일본의 추정치보다 다소 낮은 수준이다.²⁰⁾ 한편, 설비투자와 노동을 제외한 투입계수들은 요소소득 분배율과 비슷하게 나타나는 반면, 우리나라의 설비투자계수 추정치는 통상적인 설비투자에 대한 요소소득 분배율에 비해 다소 낮게, 그리고 노동투입계수 추정치는 오히려 높게 나타나는 것으로 파악된다.²¹⁾ 미국 제조업에 대한 추정치와 비교해 볼 때, 전반적으로 우리나라는 생산에 있어 상대적으로 노동, 중간재 및 건축구조물의 투입계수가 미국에 비해 높은 반면, 설비의 투입계수는 미국의 절반 수준에도 못 미치는 것으로 나타났다. 반면, 일본의 경우 중간재 투입계수 추정치는 높은 반면, 노동, 설비투자 등 여타 투입계수는 낮게 추정되었다.

한편, 자본재에 대한 전력사용도의 탄력성 추정치는 우리나라가 7.577로서 미국의 2.421에 비해 높다. 동 탄력성이 크면 클수록 일정 수준의 전력사용도 대비 자본재의

19) 지면 관계상 산업별 더미, 연도 더미 및 산업별 추세에 대한 추정계수는 생략하기로 한다.

20) 그러나 본 연구와 Sakellaris and Wilson(2004)의 결과는 서로 다른 감가상각률 추정방식을 사용한 점을 감안하여야 한다. Sakellaris and Wilson(2004)은 BLS와 FRB에서 사용하는 감가상각방식을 이용하였는데, 동 방식은 본 연구에서 적용한 표학길 편(2000)의 방식에 비해 전반적으로 낮은 감가상각률이 적용되며, 특히 설비의 수명에서 초창기에 감가상각되는 부분이 상대적으로 적다. BLS/FRB 방식을 우리나라의 경우에 적용하는 것은 자료의 제약상 어렵다.

21) 이러한 경향은 Sakellaris and Wilson(2004)의 추정치에서도 비슷하게 나타난다.

〈Table 2〉 Embodied Technological Change: Before vs After the Financial Crisis

Variable (coefficient)	Before the Financial Crisis (1985~96)	After the Financial Crisis (1997~2003)
Embodied Tech. Change(γ)	0.039(0.013)	0.194(0.013)
Labor(β)	0.378(0.002)	0.315(0.002)
Intermediates(θ)	0.580(0.001)	0.623(0.002)
Machinery & Equipment(α)	0.044(0.001)	0.051(0.001)
Non-residential Construction(η)	0.053(0.001)	0.058(0.001)
Energy Usage(τ)	13.54(1.500)	5.003(0.191)
No. of Observations	179,428	132,353
adjusted R ²	0.9625	0.9614

사용비용이 증가함을 의미한다는 것을 고려하면, 모든 조건이 동일할 때, 이는 우리나라가 미국에 비해 자본재 사용의 효율성이 다소 떨어진다는 것을 뜻한다.

앞서 식 (5)에 나타나 있듯이, 체화 기술진보가 경제성장에 기여하는 정도는 체화 기술진보율과 설비투자의 투입비용에 의해 결정된다. 따라서 이상의 결과는 우리나라의 체화 기술진보율이 미국에 비해 다소 낮은 수준인 동시에 설비투자가 생산에서 차지하는 비중 역시 낮아 체화 기술진보의 전체 생산성 증가에 대한 기여도가 상대적으로 낮을 것임을 의미한다.

〈Table 2〉에는 분석기간을 외환위기 전후로 나누어 재추정한 결과가 나타나 있다.²²⁾ 외환위기 이후 기간의 체화 기술진보율은 19.4%로서 이전 기간의 3.9%에 비해 대폭 높아진 것으로 파악된다.

표학길·이근희·하봉찬(2005)에 따르면, IT자본의 축적속도가 1995년을 전후해서 빨라진 것으로 나타나는데, 본 논문의 기간별 체화 기술진보율 추정 결과는 이러한 IT자본 투자의 확대와 관련성이 깊을 것으로 판단된다. 아울러 오승곤·김성환(2005)에 의하면, 외환위기 이전에는 기업들이 설비투자의 비용요인보다는 수요요인에 기반을 둔 공격적 설비투자를 실시한 데 반해 외환위기 이후에는 자본재 상대가격을 중심으로 한 비용요인에 대한 고려를 시작한 것으로 나타난다. 이는 결국 외환위기를 전후로 기업들의 투

22) 외환위기 이전과 이후를 1985~97년과 1998~2003년 기간으로 나누거나 혹은 1998년을 제외하고 재추정하여도 추정치의 규모는 크게 달라지지 않는 것으로 나타난다.

자패턴이 점차 효율성을 제고하는 방향으로 변모하였음을 의미한다는 점에서 본고의 분석 결과와 연관성이 높다고 볼 수 있다.

자본재에 대한 전력사용도의 탄력성의 경우 외환위기 이전 시기에는 13.545이며, 이후 기간 동안에는 5.003인바, 최근 들어 자본재 사용의 효율성이 과거에 비하여 높아진 것으로 보인다. 그리고 생산요소 비중의 측면에서는 노동투입계수가 0.378에서 0.315로 대폭 감소한 반면, 중간재 및 설비의 투입계수가 증가한 것으로 나타난다. 양 시기를 비교해 보았을 때, 외환위기 이후에 설비투입계수와 체화 기술진보율이 동시에 높아졌다는 사실은 체화 기술진보가 총요소생산성 증가에서 차지하는 기여도 역시 상승했음을 암시한다.²³⁾

나. 학습비용효과 추정

한편, 새로운 설비가 대규모로 도입되는 경우 초창기에는 동 설비에 대한 경험 부족으로 인해 비효율적으로 운용될 가능성도 있다. Greenwood and Yorukoglu(1997)는 새로운 설비에 대한 학습효과가 충분한 효과를 내기에는 일정 기간이 필요하며, 이러한 점이 일정한 도입비용으로 작용한다고 주장한다. 특히 새로운 기술이 체화된 설비를 대규모로 도입하는 경우에는 적어도 단기적으로 생산성의 둔화를 가져올 수 있다는 점을 제시하였다.

대규모 설비투자에 따르는 학습비용은 Sakellaris and Wilson(2004)을 따라 다음과 같은 방식으로 고찰해 본다. 우선 특정 연도의 신규 설비투자액이 같은 연도 기업의 전체 자본스톡에서 차지하는 비중이 20% 이상인 경우에 대해 향후 3년간에 대한 더미변수도 추가로 생성하여 추정식에 포함시켰다.

<Table 3>에는 신규 설비투자액이 같은 연도 기업의 전체 자본스톡에서 차지하는 비중이 20% 이상이었던 당해 연도와 그 후 연속적인 3년에 대한 더미를 추가한 추정 결과가 나타나 있다. 추정 결과에 따르면, 외환위기 이전 기간에는 대규모 설비투자에 따른 학습비용이 실제로 존재하는 것으로 보이는 반면, 외환위기 이후 기간에는 통계적

23) 한편, 본 논문에서는 지면 관계상 생략하였으나, 비체화 기술진보의 대리변수인 산업별 추세에 대한 추정계수는 외환위기 이전 시기에는 규모 면에서 석유석탄(5.3%), 자동차(4.8%), 음식료품(3.1%) 등의 순으로 나타난 반면, 외환위기 이후에는 IT기기(7.0%), 반도체(6.6%), 전자부품(6.3%), 자동차를 제외한 수송기계(5.4%) 등의 순으로 나타나, 산업생산 면에서 구조적 변화가 나타나고 있음을 암시한다.

〈Table 3〉 Embodied Technological Change with Learning Effects

Variable (coefficient)	Whole Period (1985~2003)	Before the Crisis (1985~1996)	After the Crisis (1997~2003)
Embodied Tech. Change(γ)	0.154(0.010)	0.078(0.013)	0.184(0.014)
Labor(β)	0.354(0.001)	0.379(0.002)	0.315(0.002)
Intermediates(θ)	0.597(0.001)	0.580(0.001)	0.623(0.002)
Machinery & Equipment(α)	0.048(0.001)	0.047(0.001)	0.050(0.001)
Non-residential Construction(η)	0.055(0.001)	0.051(0.001)	0.058(0.001)
Energy Usage(τ)	8.022(0.368)	16.877(2.353)	4.942(0.189)
lead1	-0.007(0.001)	-0.015(0.003)	0.007(0.002)
lead2	-0.007(0.001)	-0.013(0.003)	0.002(0.002)
lead3	-0.007(0.001)	-0.013(0.003)	-0.000(0.002)
No. of Observations	311,781	179,428	132,353
adjusted R ²	0.9619	0.9626	0.9614

으로 유의한 수준의 학습비용효과가 나타나지 않고 있다.

한편, <Appendix Table 1>에는 신규 설비투자액의 비중을 30% 및 50% 이상으로 하여 재추정한 결과가 나타나 있다. <Table 3>과 <Appendix Table 1>에 나타나 있는 결과를 종합해 보면, 신규 설비투자를 대규모로 하면 할수록 학습비용효과가 크다는 점이 발견되며, 아울러 시간이 지나면 지날수록 학습비용효과가 축소되는 것으로 나타난다.

다. IT산업 vs 비IT산업 추정 결과

표학길·이근희·하봉찬(2005)은 산업별로 IT자본의 축적도가 매우 상이하게 나타나며, 특히 정보통신산업과 서비스업을 중심으로 IT자본의 축적이 빠르게 진행됨을 제시하고 있다. 따라서 앞서의 체화 기술진보율 추정치가 컴퓨터기기, 반도체 등 일부 IT 관련 산업에 의해 나타난 결과일 수도 있다. 이에 본 연구에서는 이들 IT 관련 산업을 표본에서 제외하고 생산함수를 다시 추정하였으며, 그 결과가 <Table 4>에 나타나 있다. 동 결과를 <Table 1>에 나타난 전체 제조업 대상 추정 결과와 비교해 보면, 기간별 혹은 전체 기간에 대해 IT산업을 제외하는 경우가 전체 제조업을 대상으로 한 경우에 비해 체화 기술진보율이 다소 낮아지는 것으로 나타났다. 그러나 전체적인 체화 기술진보율의

〈Table 4〉 Estimation Results for Non-IT Industries

Variable (coefficient)	Whole Period (1985~2003)	Before the Crisis (1985~1996)	After the Crisis (1997~2003)
Embodied Tech. Change(Υ)	0.146(0.010)	0.068(0.013)	0.178(0.014)
Labor(β)	0.351(0.001)	0.376(0.002)	0.312(0.002)
Intermediates(Θ)	0.600(0.001)	0.584(0.001)	0.625(0.002)
Machinery & Equipment(α)	0.048(0.001)	0.047(0.001)	0.051(0.001)
Non-residential Construction(η)	0.055(0.001)	0.051(0.001)	0.058(0.001)
Energy Usage(τ)	8.500(0.418)	20.507(3.532)	5.081(0.201)
lead1	-0.008(0.001)	-0.015(0.002)	0.006(0.002)
lead2	-0.008(0.001)	-0.014(0.002)	0.002(0.002)
lead3	-0.007(0.001)	-0.014(0.002)	-0.001(0.002)
No. of Observations	303,608	174,671	128,937
adjusted R ²	0.9617	0.9624	0.9610

〈Table 5〉 Estimation Results for IT Industries

Variable (coefficient)	Whole Period (1985~2003)	Before the Crisis (1985~1996)	After the Crisis (1997~2003)
Embodied Tech. Change(Υ)	0.424(0.153)	0.285(0.196)	0.480(0.264)
Labor(β)	0.448(0.009)	0.474(0.011)	0.418(0.014)
Intermediates(Θ)	0.519(0.006)	0.490(0.008)	0.566(0.010)
Machinery & Equipment(α)	0.039(0.005)	0.039(0.006)	0.034(0.007)
Non-residential Construction(η)	0.046(0.005)	0.047(0.006)	0.044(0.008)
Energy Usage(τ)	6.151(0.316)	8.025(4.372)	3.998(1.346)
lead1	0.010(0.009)	0.006(0.012)	0.026(0.014)
lead2	0.022(0.009)	0.026(0.012)	0.017(0.014)
lead3	0.017(0.009)	0.014(0.012)	0.018(0.014)
No. of Observations	8,173	4,757	3,416
adjusted R ²	0.9664	0.9659	0.9687

추정치가 크게 변화하지는 않으나, IT 관련 산업 이외에서도 기술진보에 의한 자본재의 품질 향상이 지속적으로 이루어지고 있음을 시사한다.

한편, <Table 5>에는 IT 관련 산업만을 대상으로 한 추정 결과가 나타나 있다. 예상한

바와 같이 이들 산업에서의 체화 기술진보는 타 산업들에 비해 현저하게 높은 수준으로 진행되고 있다. 특히 외환위기 이전의 체화 기술진보율은 통계적으로 유의성을 보이지 않은 반면, 외환위기 이후 기간은 체화 기술진보율의 추정치 자체가 48.0%로 매우 높은 수준일 뿐만 아니라 10% 수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타난다.

<Appendix Table 2>에는 주요 산업별 회귀분석 결과가 나타나 있다. 예상한 바와 같이 전체 분석기간을 기준으로 주요 IT산업인 IT기기, 가전기기, 전자부품 등에서 체화 기술진보율이 높게 나타났으며, 그 다음으로 섬유 및 의복, 정밀기기, 자동차 등의 순이다. 특히 외환위기 이후 기간 중 이와 같은 IT기기, 가전기기, 전자부품 등의 산업에서 체화 기술진보가 현저히 나타나고 있다.

라. IT 고이용 산업 vs 저이용 산업 추정 결과

설비투자는 기본적으로 생산과정의 중간 투입물로 활용되는 것으로서 상대적으로 체화 기술진보가 큰 중간재의 활용 비중이 클수록 생산성 향상도가 높을 것으로 예상할 수 있다. 이와 같은 맥락에서 본 논문에서는 정보통신재를 중간재로 활용하는 비중에 따라 IT 고이용 산업과 저이용 산업으로 분류한 후 각각에 대해 체화 기술진보율을 추정한다. IT 기술의 이용 정도에 따른 산업분류는 표준산업분류에 의거한 김남희·김기홍(2009)의 분류방식을 채택하였는데, 구체적인 산업분류는 <Appendix Table 3>에 제시되어 있다.

분석 결과에 따르면, <Table 6>과 <Table 7>에 나타나 있는 바와 같이 IT 고이용 산업이 저이용 산업에 비해 체화 기술진보의 수준이 높은 것으로 분석되었다.

다만, 한 가지 특이한 사항은 IT 고이용 산업의 설비투입계수의 추정치가 저이용 산업에 비해 낮은 반면, 노동 및 중간재 투입계수는 상대적으로 더 높다는 점이다. 이는 IT 고이용 산업이 저이용 산업에 비해 체화 기술진보의 속도는 빠르지만, 상대적으로 설비자본의 활용도는 오히려 낮음을 의미한다.

마. 체화 기술진보의 생산성 향상 기여도 추정

마지막으로, 본 논문에서 추정한 체화 기술진보율을 바탕으로 체화 기술진보의 전체 총요소생산성 향상 기여도를 고찰해 보기로 한다. 우선 한국은행이 발표하는 자본재 디플레이터가 체화 기술진보를 충분히 반영하고 있다는 가정하에 광공업통계자료에 포함

<Table 6> Estimation Results for the Industries with High IT Usage

Variable (coefficient)	Whole Period (1985~2003)	Before the Crisis (1985~1996)	After the Crisis (1997~2003)
Embodied Tech. Change(γ)	0.222(0.030)	0.142(0.040)	0.271(0.044)
Labor(β)	0.369(0.003)	0.391(0.005)	0.341(0.005)
Intermediates(θ)	0.611(0.003)	0.603(0.004)	0.621(0.004)
Machinery & Equipment(α)	0.037(0.001)	0.035(0.002)	0.040(0.002)
Non-residential Construction(η)	0.040(0.001)	0.034(0.002)	0.047(0.002)
Energy Usage(τ)	7.191(0.751)	20.544(9.163)	4.093(0.326)
lead1	-0.011(0.003)	-0.018(0.004)	0.004(0.005)
lead2	-0.007(0.003)	-0.008(0.004)	-0.005(0.004)
lead3	-0.008(0.003)	-0.015(0.004)	0.002(0.004)
No. of Observations	53,063	29,403	23,660
adjusted R ²	0.9704	0.9717	0.9691

<Table 7> Estimation Results for the Industries with Low IT Usage

Variable (coefficient)	Whole Period (1985~2003)	Before the Crisis (1985~1996)	After the Crisis (1997~2003)
Embodied Tech. Change(γ)	0.143 (0.011)	0.066 (0.014)	0.171 (0.015)
Labor(β)	0.352 (0.002)	0.377 (0.002)	0.313 (0.002)
Intermediates(θ)	0.594 (0.001)	0.578 (0.001)	0.621 (0.002)
Machinery & Equipment(α)	0.049 (0.001)	0.048 (0.001)	0.052 (0.001)
Non-residential Construction(η)	0.058 (0.001)	0.054 (0.001)	0.061 (0.001)
Energy Usage(τ)	8.078 (0.411)	28.864 (3.265)	4.881 (0.201)
lead1	-0.006 (0.002)	-0.014 (0.002)	0.008 (0.003)
lead2	-0.007 (0.002)	-0.017 (0.002)	0.004 (0.002)
lead3	-0.007 (0.002)	-0.013 (0.002)	-0.002 (0.002)
No. of Observations	258,718	150,025	108,693
adjusted R ²	0.9606	0.9613	0.9601

되어 있는 설비자본스톡자료를 자본재 디플레이터로 실질화한 후 연안액을 구해 총요소 생산성을 추정해 보자. 총요소생산성은 전체 패널자료 혹은 연도별 횡단면 자료를 각각 이용하여 일반적인 생산함수식을 추정하고, 여기에서 산출되는 잔차항을 시간 추세선과

〈Table 8〉 The Annual TFP Growth Rate Due to Disembodied Technological Change

Method for Constructing Capital Stock	Panel data	Cross-section data
A	2.42%p	1.80%p
B	2.27%p	1.33%p
C	1.83%p	1.14%p

Note: A - The average of year-start capital stock and year-end capital stock (capital goods deflator applied).
 B - Perpetual Inventory Method (capital goods deflator applied).
 C - Embodied technological progress and capital utilization also considered (Non-durable consumer goods deflator applied).

고정계수에 대해 회귀분석을 실시하여 도출한다. 이 경우 <Table 8>의 A에 나타나 있는 바와 같이, 총요소생산성은 패널자료에서는 연평균 2.42%p, 횡단면 자료에서 추출되는 경우는 1.80%p로 나타났다.

한편, 총요소생산성 증가 중 체화 기술진보의 기여도를 다음의 식 (13)에 나타나 있는 방식으로 도출할 수 있다.²⁴⁾

$$g_A = g_Z + \alpha_J (g_J - g_K) \quad (13)$$

여기서 g_A 는 총요소생산성의 증가율, g_Z 는 비체화 기술진보율이며, g_J 는 체화 기술진보를 고려한 유효단위(efficiency unit) 기준의 자본스톡 증가율을 의미한다. 그리고 g_K 는 설비투자의 기능 향상을 전혀 고려하지 않은 단순한 물량 단위(physical unit) 기준의 자본스톡 증가율로 정의한다. 이 경우 자본스톡은 연도별 설비투자액에 감가상각을 고려한 후 비내구 소비재 가격지수로 나눈 합계액이다.

본 연구에서 추정된 13.7%의 체화 기술진보율을 식 (11)에 반영하여 유효자본스톡을 구축하면 동 자본스톡의 연평균 증가율은 17.7%p로 나타난다. 반면, 설비투자의 기능 향상을 전혀 고려하지 않은 자본스톡의 증가율은 7.2%p이다. 이 수치를 <Table 1>에 나타난 설비투입계수(0.046)와 함께 식 (13)에 적용하면, 체화 기술진보에 의한 총요소생산성은 연평균 0.49%p이다. 따라서 <Table 8>에 나타난 바와 같이 비체화 기술진보에 의한 연평균 총요소생산성 증가가 1.83%p라면, 생산성 증가 전체에서 차지하는 체화 기

24) 이는 $Y_t = z_t J_t^\alpha L_t^{1-\alpha}$ 형태의 생산함수를 가정하여 도출된 식이다.

술진보의 기여분은 21.1%가 된다. Sakellaris and Wilson(2004), Greenwood, Hercowitz, and Krusell(1997) 등이 미국 제조업 내 체화 기술진보의 총요소생산성 증가에 대한 기여도를 60%선으로 추정된 것을 감안해 볼 때, 우리는 상대적으로 기여도가 낮은 것으로 파악되며, 이는 체화 기술진보율이 매우 낮아서가 아니라, 설비투자가 생산에서 차지하는 비중이 낮다는 점에 기인한 바가 크다고 판단된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 1985~2003년 기간 중 우리나라 개별 공장 수준의 미시자료를 대상으로 우리나라 제조업체의 체화 기술진보율을 추정하였다. 본 연구의 주요 분석 결과를 요약해 보면, 우선 우리나라 제조업의 체화 기술진보율은 분석기간 동안 연평균 13.7% 수준으로서 Sakellaris and Wilson(2004)이 추정한 미국의 제조업 추정치인 16.9%에 비해 다소 낮은 수준인 것으로 나타났다. 기간별로는 외환위기 이후 기간의 체화 기술진보율이 이전 기간에 비해 대폭 상승한 것으로 추정되었다. 한편, 기업특성별로는 외환위기 이후의 기간을 중심으로 IT산업이 비IT산업에 비해, 그리고 IT 고이용 산업이 저이용 산업에 비해 상대적으로 체화 기술진보율이 높은 것으로 파악되었다. 이와 같은 결과는 최근 설비투자의 전반적인 둔화세가 지속되고 있는 가운데, 설비투자의 구성 면에서 정보통신부문을 중심으로 질적 향상이 진행되어 왔음을 시사한다.

한편, 추정 결과에 따르면, 체화 기술진보가 우리나라 제조업 생산성에 미치는 영향도는 연평균 0.49%p로서 전체 총요소생산성 증가에 대한 기여도는 21% 수준인 것으로 나타난다. 반면, 미국은 체화 기술진보의 기여도가 60%를 상회하는데, 이는 우리나라의 체화 기술진보율 수준은 미국과 비슷하나, 미국에 비해 설비투자가 생산에서 차지하는 비중이 낮아 생산성 증가 기여도가 상대적으로 낮게 나타난 것으로 파악된다.

본 논문은 미시자료를 이용하여 우리나라 제조업의 체화 기술진보율을 실증분석한 선행 연구 중의 하나라는 점에서 그 의의를 찾을 수 있다. 그러나 한편으로는 필자의 연구축적 미흡으로, 다른 한편으로는 현재의 관련 문헌들에서 드러나는 한계점으로 인해, 본 연구의 추정 결과는 후속 연구의 진행을 통해 지속적인 재검증 및 보완이 있어야 할 것으로 판단된다.

우선, 첫째 본 논문에서는 개별 제조업의 체화 기술진보를 추정하는 과정에서 비체화 기술진보율을 산업별 시간 추세선으로 고정하여 추출하였다. 이는 비체화 기술진보를 추정하는 일반적인 방식 중의 하나이긴 하나, 기실 시간 추세선 이외에 나타나는 비체화 기술진보의 연도별 변화분을 고려하지 않음으로써 추정상의 편의가 발생했을 가능성이 매우 높다. 물론 이와 같은 편의를 최소화하는 방식으로 자본재의 상대가격을 직접적으로 활용하여 체화 기술진보율을 추정하는 가격지수 접근법을 고려해 볼 수 있는데, 앞서 제기한 바와 같이 우리나라 설비투자에 대한 신뢰성 있는 유효가격지수 정보가 부재하므로 현시점에서는 이를 분석에 반영하지 못하였다.

둘째, 회귀분석을 통한 대부분의 생산함수 추정에서 나타나듯이, 본 연구의 추정치는 역인과관계(reverse causality)에 의한 내생성 문제(endogeneity problem)를 안고 있다.²⁵⁾ 가령 기업의 신규 설비 도입이 생산성 향상으로 이어지기도 하지만, 역으로 기업의 생산량이 늘어나면 기업이 투자를 늘릴 유인이 크다는 점에서 볼 때, 추정치에 상당한 편의가 존재할 가능성을 배제하지 못한다.²⁶⁾ Sakellaris and Wilson(2004) 방식으로 추정된 미국 제조업에 대한 체화 기술진보율이 정상상태에서의 장기 경제성장률을 비현실적으로 높은 수준으로 예측하는 점도 상당 부분 내생성 문제로 인한 과대추정의 결과일 가능성이 높다.²⁷⁾ 이러한 내생성 문제를 줄이는 차원에서 비선형 도구변수 추정방식(non-linear instrumental variable estimation)을 활용하는 방안도 고려해 볼 수는 있으나, 적절한 도구변수를 찾는 것이 현실적으로 쉽지 않은 일이다. 특히 식 (16)에서처럼 추정계수의 숫자가 많으면 많을수록 그 어려움은 가중된다.²⁸⁾ 필자는 추후 심층적인 후속 연구를 통해 역인과관계에 따른 내생성 문제를 완화할 수 있는 방안을 고려해 볼 예정이다.

셋째, 식 (11)에 나타나 있듯이, 감가상각률을 어떻게 가정하느냐에 따라 체화 기술진보율의 추정에 지대한 영향을 미칠 수 있다. 설비의 유지·보수 비용도 생산과정에서 기업의 판단에 따라 내생적으로 결정됨을 고려해 볼 때, 감가상각률 역시 회귀분석에서

25) Griliches and Mairesse(1995)를 참조 바람.

26) 이러한 인식하에 필자는 본 연구의 결과를 해석하는 데에 있어 가급적 추정치 자체의 절대적인 규모보다는 기간별, 산업별 혹은 국가별 상대적인 비교에 초점을 맞추고 있다. 이는 동일한 추정식에서 발생하는 내생성 문제의 정도가 기간별, 산업별 및 국가별로 그리 크지 않을 것이라는 가정에 기반을 둔다.

27) 생산함수 추정에서의 선택편의(selection bias) 문제도 높은 체화 기술진보율 추정치의 한 요인일 것으로 유추해 볼 수 있다.

28) Sakellaris and Wilson(2004)은 이에 대한 대안으로 산업 수준의 수치를 외생적으로 고정시켜 추정식의 추정계수 숫자를 줄인 후 NLIV 방식을 이용하여 요소투입계수를 재추정하였으나, 내생성 문제를 충분히 해결하는 데는 실패한 것으로 판단된다.

내생적으로 추정함이 이상적일 것이다. 그러나 Hall(1968)이 제시한 바와 같이, 현실적으로 감가상각률과 체화 기술진보율을 동시에 추정하는 것은 불가능한바, 가급적 신뢰성 높은 감가상각률 수치를 추정식에 적용하는 것이 가능한 차선택이라 볼 수 있다. 앞서 언급한 바와 같이, Sakellaris and Wilson(2004)은 BLS와 FRB에서 사용하는 감가상각 방식을 이용한 반면, 본 연구에서는 표학길 편(2000)의 수치를 이용하여 미국 BEA에서 사용하는 기하분포적 정률법(geometric depreciation rate) 방식을 활용하였다. BLS/FRB 방식은 BEA 방식에 비해 전반적으로 낮은 감가상각률이 적용되며, 특히 설비의 수명에서 초창기에 감가상각되는 부분이 상대적으로 적게 나타나는 것이 특징이다. Sakellaris and Wilson(2004)은 BEA 방식에 입각하여 자본재에 12.1%의 감가상각률을 일률적으로 적용한 경우의 추정치도 제시하고 있는데, BLS/FRB 방식에 비해 매우 낮은 수준의 체화 기술진보율이 도출되었다.²⁹⁾ 이는 결국 감가상각률의 규모나 구축방식이 체화 기술진보율의 추정에 상당한 영향을 미침을 시사한다. 향후 BLS/FRB 방식의 적용 등 보다 다양하고 엄밀한 감가상각률 방식의 도입을 통해 본 연구의 추정 결과를 재검증해 보아야 할 것이다.

넷째, 표본의 대표성 문제도 본 연구의 한계점 중의 하나라 할 수 있다. 본고에서는 개별 기업이 설립된 이후 일정 시점까지의 모든 설비투자 정보를 얻어내기 위해 1980년 이후 설립되고 최소 4년 이상 연속으로 존속한 모든 공장-연도 계측치만으로 불균형 패널을 구축하였다. 이러한 방식의 통계자료 구축은 추정의 엄밀성을 높이기 위한 불가피한 선택이기는 하나, 결과적으로 대기업을 중심으로 1980년 이전에 설립된 기업들이 누락되어 있는 등 선택편의(selection bias)의 문제가 초래된다. 이에 대해서도 통계자료의 보다 심층적인 분석 및 관련 변수의 구축을 통해 보완해 나가기로 한다.

29) 필자는 Sakellaris and Wilson(2004)과 같이 12.1%의 감가상각률을 적용하여 체화 기술진보율 등을 재추정해 보았는데, 본고에 제시한 추정치의 규모나 해석과 커다란 차이가 없음을 확인하였다.

참 고 문 헌

- 김남희 · 김기홍, 「정보통신기술의 사용이 산업의 생산성에 미치는 영향분석: 산업의 정보통신 기술 이용도를 중심으로」, 『국제통상연구』, 제14권 제1호, 한국국제통상학회, 2009. 2, pp.57~84.
- 김동석, 「생산성 분석」, 『한국의 산업경쟁력 종합연구』, 연구보고서 2003-07, 한국개발연구원, 2003.
- 김봉기 · 김정훈, 「설비투자행태의 구조변화 분석」, 『조사통계월보』, 한국은행, 2006. 1.
- 박세령 · 한영욱, 「설비투자의 질적 개선이 성장에 미친 영향: 체화 기술진보의 생산성 제고 효과를 중심으로」, 『조사통계월보』, 한국은행, 2008. 3, pp.23~48.
- 오승곤 · 김성환, 「국내 설비투자 결정요인의 변화분석」, 『산은조사월보』, 한국산업은행, 2005.
- 이영수 · 정용관, 「ICT의 성능대비 가격지수와 경제성장 기여도에 관한 연구」, 『정보통신정책 연구』, 제11권 제2호, 정보통신정책학회, 2004.
- 이익노, 「헤도닉 기법을 이용한 품질조정 물가지수 작성 결과」, 『계간 국민계정』, 제3호, 한국은행, 2003.
- 임경목, 『기업의 설비투자 행태 변화 분석』, 정책연구시리즈 2005-15, 한국개발연구원, 2005.
- 표학길 · 김종일 · 이진면, 「한국의 산업별 · 자산별 자본스톡추계(1953~2000)」, 『한국경제의 분석』, 한국금융연구원, 2003.
- 표학길 · 이근희 · 하봉찬, 「IT 자본집약도별 총산출 성장회계 및 생산성 분석(1980~2002)」, 한국경제학회, 2005.
- Bahk, B-H and M. Gort, “Decomposing Learning by Doing in New Plants,” *The Journal of Political Economy* 101(4), 1993, pp.561~583.
- Barrios, S. and E. Strobl, “Learning by Doing and Spillovers: Evidence from Firm-Level Panel Data,” *Review of Industrial Organization* 25, 2004, pp.175~203.
- Benhabib, J. and A. Rustichini, “A Vintage Capital Model of Investment and Growth: Theory and Evidence,” in R. Becker, M. Boldrin, R. Jones, and W. Thompson (eds.), *Growth, General Equilibrium and International Trade II: The Legacy of Lionel McKenzie*, San Diego: Academic Press, 1993.
- Boucekkine, R. et al., “The Importance of the Embodied Question Revisited,” mimeo, 1999.
- Burnside, C., M. Eichenbaum, and S. Rebelo, “Capital Utilization and Returns to Scale,” *NBER Macroeconomics Annual 1995*, 1995.
- _____, “Obsolescence and Modernization in the Growth Process,” *Journal of Development Economics* 77, 2005, pp.153~171.

- _____, “Embodied Technological Change, Learning-by-doing and the Productivity Slowdown,” *Scandinavian Journal of Economics* 105, 2003, pp.87~98.
- Caselli, F. and J. Feyrer, “The Marginal Product of Capital,” NBER Working Paper, No. 11551, 2005.
- Coe, D. T. and E. Helpman, “International R&D Spillovers,” *European Economic Review* 39, 1995, pp.859~887.
- Cummins, J. G. and G. L. Violante, “Investment-specific Technological Change in the United States (1947-2000): Measurement and Macroeconomic Consequences,” *Review of Economic Dynamics* 5, 2002, pp.243~284.
- Doms, M. and T. Dunne, “Capital Adjustment Patterns in Manufacturing Plants,” *Review of Economic Dynamics* 1, 1998, pp.409~429.
- Eaton, J. and S. Kortum, “Trade in Capital Goods,” *European Economic Review* 45(7), 2001, pp.1195~1235.
- Federke, J., “Investment in Fixed Capital Stock: Testing for the Impact of Sectoral and Systemic Uncertainty,” *Oxford Bulletin of Economics and Statistics* 66(2), 2004, pp.165~187.
- Gordon, R. J., *The Measurement of Durable Goods Prices*, University of Chicago Press, 1990.
- Jorgenson, D. W., “The Embodiment Hypothesis,” *Journal of Political Economy* 74(1), 1966, pp.1~17.
- Gort, M. and R. Wall, “Obsolescence, Input Augmentation, and Growth Accounting,” *European Economic Review* 42, 1998, pp.1653~1665.
- Greenwood, J. et al., “The Role of Investment-specific Technological Change in the Business Cycle,” *European Economic Review* 44, 2000, pp.91~115.
- Greenwood, J. and B. Jovanovic, “Accounting for Growth,” RCER Working Paper, No. 475, University of Rochester, 2000.
- Greenwood, J., Z. Hercowitz, and P. Krusell, “Long-run Implications of Investment-specific Technological Change,” *American Economic Review* 87(3), 1997, pp.342~362.
- Greenwood, J. and M. Yorukoglu, “1974,” *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy* 46, 1997, pp.49~95.
- Griliches, Z. and J. Mairesse, “Production Functions: The Search for Identification,” NBER Working Paper, No. 5067, 1995.
- Hall, R., “Technical Change and Capital from the Point of View of the Dual,” *Review of Economic Studies* 35(1), 1968, pp.34~46.
- Hobijn, B., “Identifying Sources of Growth,” Federal Reserve Bank of New York, mimeo, 2000.
- Hobijn, B., A. M. Oviedo, and A. Vasán, “Embodied Technological Change in US Manufacturing,” Federal Reserve Bank of New York, mimeo, 2002.
- Hopenhayn, H. A. and P. A. Neumeyer, “Markets and Growth in Latin America,” mimeo, 2000.
- Hornstein, A. and P. Krusell, “Can Technology Improvements Cause Productivity Slowdown?”

- NBER Macroeconomics Annual 1996*, 1996.
- Hulten, C., "Growth Accounting When Technical Change is Embodied in Capital," *American Economic Review* 82(4), 1992, pp.964~980.
- Hsieh, C-T and P. J. Klenow, "Relative Prices and Relative Prosperity," NBER Working Paper, No. 9701, 2005
- Jorgenson, D. W. and Z. Griliches, "The Explanation of Productivity Change," *Review of Economic Studies* 34, 1967, pp.249~283.
- Jovanovic, B. and R. Rob, "Solow vs Solow: Machine Prices and Development," NBER Working Paper, No. 5871, 1997.
- Kirova, M. S. and R. E. Lipsey, "Measuring Real Investment: Trends in the United States and International Comparisons," Federal Reserve Bank of St. Louis Review, Jan/Feb. 1998
- Kosempel, S., "Capital Mobility in an Open Economy Model with Embodied Productivity Growth," University of Guelph, mimeo, 2005.
- Lee, J-K and C. D. Kolstad, "Is Technical Change Embodied in the Capital Stock or New Investment?" *The Journal of Productivity Analysis* 5, 1994, pp.385~406.
- Licandro, O. *et al.*, "The Measurement of Growth under Embodied Technical Change," mimeo, 2001.
- Lloyd-Ellis, H., "On the Role of Embodied and Investment-specific Technological Change in the New Economy: A Survey," 2001.
- Nelson, R., "Aggregate Production Functions and Medium-Range Growth Projections," *American Economic Review* 54(5), 1964, pp.575~606.
- Oulton, N., "Investment-specific Technological Change and Growth Accounting," Bank of England Working Paper, No. 213, 2004.
- Pakko, M. R., "Investment-specific Technology Growth: Concept and Recent Estimates," *The Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, Nov/Dec. 2002.
- _____, "The High-Tech Investment Boom and Economic Growth in the 1990s: Accounting for Quality," *The Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, Mar/Apr. 2002.
- Phelps, E., "The New View of Investment: A Neoclassical Analysis," *Quarterly Journal of Economics* 76, 1962, pp.548~567.
- Petropoulos, W., "Industry Productivity Dynamics and Unmeasured Capital Utilization," University of Michigan, mimeo, 1999.
- Sakellaris, P., "Patterns of Plant Adjustment," *Journal of Monetary Economics* 51, 2004, pp.424~450.
- _____, "Embodied Technological Change and Measurement: Old- and New-Economy Issues," mimeo, 2005.
- Sakellaris, P. and F. Vajselaar, "Capital Quality Improvement and European Growth: Source of Growth," *Economic Policy*, April 2005.

- Sakellaris, P. and D. J. Wilson, "Quantifying Embodied Technological Change," *Review of Economic Dynamics* 7, 2004, pp.1~26.
- Solow, R., "A Contribution to the Theory of Economic Growth," *Quarterly Journal of Economics* 70(1), 1956, pp.56~94.
- _____, "Investment and Technical Progress," in K. J. Arrow *et al.* (eds.), *Mathematical Methods in the Social Science*, Stanford University Press, 1959.
- Tokui, J. *et al.*, "Embodied Technological Progress and Productivity Slowdown in Japan," RIETI Discussion Paper Series 08-E-017, 2008.
- Whelan, K., "A Guide to the Use of Chain Aggregated NIPA Data," *Review of Income and Wealth* 48(2), 2000, pp.217~233.

〈Appendix Table 1〉 Estimation Results for Learning Effects

Variable (coefficient)	New Investment Accounting for More Than 30% of Capital Stock	New Investment Accounting for More Than 50% of Capital Stock
Embodied Tech. Change(γ)	0.154(0.010)	0.154(0.010)
Labor(β)	0.353(0.001)	0.353(0.001)
Intermediates(θ)	0.597(0.001)	0.597(0.001)
Machinery & Equipment(α)	0.048(0.001)	0.048(0.001)
Non-residential Construction(η)	0.055(0.001)	0.055(0.001)
Energy Usage(τ)	7.972(0.363)	7.864(0.350)
lead1	-0.009(0.002)	-0.017(0.002)
lead2	-0.009(0.002)	-0.012(0.002)
lead3	-0.006(0.002)	-0.006(0.002)
No. of Observations	311,781	311,781
adjusted R ²	0.9619	0.9619

〈Appendix Table 2〉 NLLS Estimation Results by Industry

Industry	Whole Period (1985~2003)	Before the Crisis (1985~1996)	After the Crisis (1997~2003)
Beverage and Foods	-0.071 ^c (38,321)	-0.157 ^c (23,596)	-0.015 (14,725)
Textile and Clothing	0.294 ^c (50,194)	0.208 ^c (31,971)	0.299 ^c (18,223)
Paper Products	0.234 ^c (17,877)	0.192 ^b (10,379)	0.239 ^c (7,498)
Chemical Products	0.099 ^c (39,726)	-0.050 (20,872)	0.177 ^c (18,854)
Petroleum/Coal	0.568 (793)	0.125 (526)	1.033 (267)
Non-metallic Products	0.002 (23,254)	-0.141 ^c (14,509)	0.192 ^c (8,745)
Basic Metals	0.184 ^c (11,048)	0.153 ^a (5,904)	0.208 ^c (5,144)
Metal Products	0.229 ^c (25,014)	0.119 ^b (12,666)	0.341 ^c (12,348)
General Machinery	0.152 ^c (30,402)	0.077 (14,958)	0.187 ^c (15,444)
Semi-conductor	0.230 (827)	0.017 (414)	0.400 (413)
Electronic Parts	0.309 ^c (15,191)	0.157 (7,626)	0.336 ^c (7,565)
IT-appliances	0.563 ^b (7,346)	0.360 (4,343)	0.601 ^a (3,003)
Electronic-appliances	0.459 ^c (2,898)	0.194 (1,716)	0.560 ^b (1,182)
Transport Equipment - Automobile	0.228 ^c (10,851)	0.118 (5,553)	0.283 ^c (5,298)
Transport Equipment - Others	0.015 (3,740)	0.149 (2,243)	-0.034 (1,497)
Precision Equipment	0.271 ^b (5,334)	0.161 (2,854)	0.271 ^b (2,480)
Other Manufacturing	0.083 ^a (22,100)	-0.043 (14,246)	0.186 ^b (7,854)

Note: a, b and c indicate significance at a 10%, 5% and 1% level, respectively.
The number of observations are in parentheses.

<Appendix Table 3> Industry Classification by IT-Usage

	Industry ID	Name
High-using Industry	18~19	Wearing Apparel; Dressing and Dyeing of Fur/ Tanning and Dressing of Leather; Manufacture of Luggage, Handbags, Saddlery, Harness and Footwear
	23	Coke, Refined Petroleum Products and Nuclear Fuel
	27	Basic Metals
	29	Machinery and Equipment n.e.c.
	33	Medical, Precision and Optical Instruments, Watches and Clocks
	34	Motor Vehicles, Trailers and Semi-trailers
Low-using Industry	15	Food Products and Beverages
	17	Textiles
	20	Wood and of Products of Wood and Cork, Except Furniture; Manufacture of Articles of Straw and Plaiting Materials
	21	Paper and Paper Products
	22	Publishing, Printing and Reproduction of Recorded Media
	24	Chemicals and Chemical Products
	25	Rubber and Plastics Products
	26	Other Non-metallic Mineral Products
	28	Fabricated Metal Products, Except Machinery and Equipment
36	Manufacture of Furniture; Manufacturing n.e.c.	