

# 학교교육과 기술특화교육의 기술혁신 및 경제성장효과: 내생적 기술혁신모형에서 이론적 접근

## Schooling, Technology-specific Training and Economic Growth: a Theoretical Approach in a Model of Endogenous Innovation

김상춘\*, 최봉호\*\*

영남대학교 무역학부\*, 동의대학교 무역학과\*\*

Sang Choon Kim(sckim@ynu.ac.kr)\*, Bong-Ho Choi(cbh@deu.ac.kr)\*\*

### 요약

가계의 학교교육투자와 기업의 기술특화교육투자에 대한 의사결정을 동시에 고려한 제2세대 기술혁신기반 경제성장모형을 구축하고 학교교육과 기술특화교육 각각의 기술혁신 및 경제성장효과, 두 교육 간의 상호작용, 그리고 기술혁신에 따른 두 교육포트폴리오 구성의 변화 등에 대해 분석한다. 주요결과는 다음과 같다. 첫째, 학교교육과 기술특화교육의 각각의 경제성장효과는 비선형의 “역-U”형이다. 둘째, 성장극대화를 위한 학교교육의 수준은 기업 이익극대화를 위한 학교교육의 수준 보다 항상 크다. 셋째, 성장극대화를 위한 학교교육의 수준은 기술특화교육에 대체적 관계에 있다. 넷째, 학교교육의 기술특화교육에 대한 영향은 “U”형으로 기업 이윤극대화 측면에서는 낮은 수준의 학교교육은 기술특화교육에 대체적이며, 높은 수준의 학교교육은 기술특화교육에 보완적이다. 다섯째, 기술혁신이 강화될수록 기술특화교육 대비 학교교육이 더욱 강화된다.

■ 중심어 : | 학교교육 | 기술특화교육 | 인적자본 | 기술혁신 | 경제성장 |

### Abstract

This paper introduces household's decision for schooling and firm's decision for technology-specific training together into the second generation model of endogenous innovation, and analyses how schooling and technology-specific training interact each other, how they respectively affect innovation and economic growth, and also how the portfolio mix of schooling and technology-specific training changes as economy becomes more innovative. Main results are as follows: First, schooling and technology-specific training both have “inverted-U” shape growth effects. Second, schooling investment per labor required for growth maximization is always greater than that for firm profit maximization. Third, the optimal schooling for growth maximization decreases with technology-specific training. Fourth, the schooling effect on technology-specific training is “U” shaped, so that for firm's profit maximization schooling is substitutable for technology-specific training at the relatively lower level of schooling but complementary at its relatively higher level. Fifth, as economy becomes more innovative, the portfolio mix of education changes in favor of schooling.

■ keyword : | Schooling | Technology-specific Training | Human Capital | Innovation | Economic Growth |

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

Jones and Romer는 노동자 평균 학력으로 측정된 1인 당 인적자본의 꾸준한 증가를 지난 반세기 세계 경제의 정형화된 사실(stylized facts) 중 하나로 제시하였다[1]. 한편, 인적자본은 개별 노동자는 물론 국가경제 전체 생산성의 중요한 결정요소이며, 특히, 기술발전에 대한 기여를 통해서 생산성과 경제성장에 긍정적인 영향을 미치기 때문에 기술기반 경제성장의 핵심적인 원천이라는데 학계의 공감대가 형성되어 있다.

인적자본은 인간에 대한 다양한 종류의 투자와 관련된다. 하지만, 생산성과 경제성장의 결정자로서 인적자본에 대한 대부분의 연구는 학교교육(schooling)중심이며, 다른 형태의 인적자본에 대한 연구는 상대적으로 미흡하다. 노동분야의 연구에서 중요하게 인식되고 있는 바와 같이 학교교육 외에 특정 행위 및 경험에 의한 학습(learning by doing or experience), 특히, 기술교육(training)에 의해 습득된 기술특화지식도 중요한 형태의 인적자본이다. 참으로, 기술교육은 학교교육을 보완하거나 대체할 수 있는 핵심적인 인적자본이다. 특히, 기술기반경제에서 기술교육의 역할은 중요하다. Tan과 Wineberg 등은 급격한 기술발전은 학교교육이나 과거 습득된 지식보다 새로운 기술에 특화된 교육이나 경험이 상대적으로 더 중요하다고 주장한다[2][3]. 실제로 CEDEFOP의 Survey에서도 EU 등 세계 주요 기술선도국에서 2010년 기준 기업의 약 70%가 기술교육에 참가한 것으로 조사되었다[4]. 따라서 생산성과 경제성장의 결정인자로서의 기술교육의 역할은 간과되어서는 안 될 것이다. 하지만, 생산성과 경제성장에 대한 학교교육의 역할은 광범위하게 인정되고 있는 반면에 기술교육과 경제성장 간의 관계는 연구의 부족으로 여전히 명확하지 않다.

한편, 학교교육과 경제성장에 대한 최근 실증연구(가령, Michael S. Delgado et al, Robert Barro 등)에서는 초기 연구와는 달리 학교교육의 경제성장효과가 미선형적이거나, 혹은 통계적으로 유의성이 없거나 미미하다는 등의 결과를 도출하고 있다[5][6]. 이는 학교교육

의 경제성장효과 연구에 대한 재조명이 필요하다는 것을 시사한다. 그리고 이를 위한 하나의 시도로 제시되고 있는 것이 학교교육 외의 다양한 형태의 인적자본을 포괄적으로 고려한 인적자본의 성장효과에 대한 분석이다.<sup>1</sup> 본 논문은 이러한 노력의 하나이다. 구체적으로 기술혁신기반 경제성장모형에 내생적 학교교육과 기술특화교육을 동시에 모형화하여 이들의 기술혁신 및 경제성장효과를 이론적으로 분석한다.

### 2. 선행연구 검토 및 차별성

본 연구와 관련하여 인적자본과 경제성장 간의 관계에 대한 기존 연구는 주제별로 크게 학교교육의 경제성장효과에 대한 연구와 기술교육의 경제성장효과에 대한 연구로 구분하여 정리될 수 있다. 이 중 학교교육의 경제성장효과는 혼재되어 있다. 초기의 대표적인 연구는 Barro와 Mankiew et al 등으로 경제성장에 대한 학교교육의 긍정적 효과를 도출한다[7][8]. 이 후 연구에서 Barro는 남성의 경우에는 긍정적 성장효과가 있는 반면에 여성의 경우에는 통계적 유의성이 없다는 결과를 보여준다[9]. 한편, Durlauf et al, Temple과 Kalaitzidakis et al 등은 학교교육의 경제성장효과는 비선형적이라는 결과를 도출한다[10-12]. 반면에 Sala-i-Martin et al, Maasoumi et al, Durlauf et al, Henderson 그리고 Delgado et al는 오히려 학교교육의 경제성장효과는 미미하거나 통계적 유의성이 낮다는 결과를 도출한다[5][13-16]. 그리고 최근 연구에서 Barro는 고등교육(upper schooling)의 경제성장효과를 분석한 결과 여성의 경우 통계적으로 유의성이 약할 뿐만 아니라 부정적이며 남성의 경우 미약하지만 “Hump-shaped” 효과를 도출한다[6]. 한편, 기술교육의 경제성장효과에 대한 연구는 앞에서 언급한 바와 같이 상대적으로 활발하지 못하였다. 몇몇 연구 중 Acemoglu[17], Eicher and Kim[18]등이 있다. Acemoglu는 불완전 노동시장에서 기술교육의 수준이 최적 수준에 미치지 못하는 원인과 기술교육과 기술혁신 간의 상호관계에 대해 분석하며, 기술교육과 기술혁신

1 학교교육의 대리변수로 학교교육기간보다 학교교육의 질적 변수를 사용하여 학교교육의 성장효과를 분석하는 연구도 시도되고 있음.

신 간에 긍정적 관계가 있음을 보여준다. 하지만, 여기서 기술교육은 본 연구와는 달리 일반기술교육(general training)으로 기술교육의 투자주체는 노동자이다[17]. Eicher and Kim은 기술혁신기반 성장모형에 기업의 기술특화교육(technology-specific training)을 모형화하고 경제성장에 대한 기술특화교육의 긍정적 효과를 도출한다[18]. 한편, 학교교육과 기술교육을 동시에 모형화하여 이들의 경제성장효과를 분석하는 시도가 있다. Krueger and Kumar는 학교교육과 기술교육의 경제성장효과의 상대적인 크기를 비교하며, 학교교육의 경제성장효과가 기술교육의 경제성장효과보다 더 크다고 주장한다. 특히, 기술혁신적 경제일수록 학교교육의 경제성장효과가 상대적으로 더 강화된다는 결과를 도출한다[19]. 하지만, 본 연구와는 달리 기술혁신율은 외생 변수이며 이에 경제성장율은 외생화된 기술혁신의 채택율이다. 따라서 학교교육과 기술교육의 역할은 외생적으로 개발된 기술의 생산과정으로의 채택(technology adoption)이다. 또한 기술교육의 투자주체는 개별 노동자이며 이에 기술교육의 속성은 일반기술교육이다. Van Zon and Antonietti는 내생적 기술혁신 모형에서 학교교육과 기술특화교육의 경제성장효과를 분석하며, 학교교육 대비 기술교육의 강화는 경제성장에 부정적이라는 Krueger and Kumar[19]와 유사한 결과를 도출한다[20]. 하지만, 연구개발의 생산성에 과거 연구개발에 의한 긍정적 외부효과를 모형화함으로써 연구개발 실재자료와의 정합성 측면에서 모형의 한계가 있으며, 또한 새로운 기술의 생산과정으로의 채택에 있어서 기업의 기술특화교육을 필수화하지 않은 점에서 본 연구와 차이점이 있다.

한편, 인적자본의 경제성장효과분석의 국내문헌은 주로 학교교육의 경제성장효과에 대한 분석 중심이다. 이 중 대부분의 연구는 앞에서 정리한 초기의 연구와 같이 경제성장에 대한 학교교육의 긍정적 효과를 도출한다. 가령, 심재희는 Lucas모형[22]에서 경제성장에 대한 학교교육의 긍정적 효과를 도출하며[21], 김진영은 내생적 기술혁신모형에서 국제패널자료분석을 통해 학교교육의 긍정적 경제성장효과를 도출하며[23] 김선재, 이영화, 임광혁 등도 OECD 10개국에 대한 표면상

무관회귀(SUR)분석을 통해 학교교육의 긍정적 경제성장효과를 도출한다[24]. 반면에 한만경은 국가별 수출 경쟁력의 원천에 따라 고등교육의 경제성장효과가 다르며, 가격 중심의 수출경쟁력 국가의 경우에 고등교육의 경제성장효과가 긍정적인 반면에 기술 중심의 수출 경쟁력 국가의 경우에는 고등교육의 경제성장효과는 없다고 주장한다[25]. 최근에 김상춘은 내생성장모형에 기술교육을 모형화하여 기술교육의 비단조적 경제성장효과를 도출하며, 특히, 연구개발 대비 기술교육에의 상대적 자원배분 비율에 따라 기술교육의 경제성장효과가 결정된다고 주장한다[26]. 하지만, 학교교육과 기술교육을 모두 고려한 국내연구는 아직 시도되지 않았다.

정리하면, 학교교육과 기술교육을 동시에 모형화한 연구는 인적자본의 두 핵심적인 형태를 동시에 모형화함으로써 특정 한 형태의 인적자본 만을 고려한 기존 연구에서 간과한 인적자본의 경제성장효과에 대한 분석을 더 풍부하게 하고 새로운 결과를 도출하였다. 하지만, 기술기반경제에서 기술혁신, 학교교육 그리고 기술교육 이들 간의 복잡하고 다양한 관계를 고려할 때 여전히 규명되어야 할 많은 이슈가 있다. 이들 이슈 중 본 연구에서는 학교교육과 기술특화교육의 경제성장효과에 대한 재조명뿐만 아니라 기존 연구에서 규명되지 않은 학교교육의 기술특화교육에 대한 영향과 기술특화교육의 학교교육에 대한 영향, 그리고 기술혁신의 학교교육과 기술훈련에 대한 영향 등을 제2세대 기술혁신기반 내생성장모형을 활용하여 분석한다.

논문의 구성으로 제2장에서 모형에 대한 간단한 소개와 단기균형에 대해 분석하며, 제3장에서 균제상태에 대해 논의한다. 제4장에서 균제상태균형에서 위에서 언급한 이슈에 대해 분석하고 제5장에서 결론을 제시한다.

## II. 모형 및 단기 균형

### 1. 모형의 개요

학교교육, 기술특화교육 그리고 기술혁신(innovation) 간의 상호작용과 이로 인한 경제성장효과를 동시에 분석할 수 있는 통합모형이다. 즉, 학교교육투자와 기술특

화교육투자에 대한 의사결정과정을 제2세대 기술혁신 기반 내생적 성장모형에 도입한다. 그리고 인적자본형성의 핵심적인 세 가지 활동인 학교교육, 기술교육 그리고 연구개발 간의 상호관계와 이로 인한 경제성장효과를 분석한다.

가계와 기업의 두 경제주체가 각각의 목적함수를 극대화하기 위해 의사결정하며 상호작용한다. 구체적으로 보면, 가계는 시장에 공급된 소비 제품별 수요(소비지출) 및 총 소비지출의 시점 간 배분 그리고 가계 구성원에 대한 학교교육투자의 세 가지의 의사를 결정한다. 가계 구성원 당 학교교육투자는 생애기간 중 학교교육을 받는 비율이며, 이들의 생산성은 학교교육의 크기에 비례한다. 하지만, 개별 구성원 당 노동시장에의 노동공급량은 학교교육의 크기에 반비례한다. 따라서 인력당 생산성과 이들의 노동공급량 간에 상충관계가 있다. 한편, 기업은 기술개발과 개발기술을 활용한 제품생산에 대한 의사결정 외에 개발기술의 실질적인 활용을 위해 해당 기술에 대한 기술특화교육투자에 대한 의사결정을 한다. 이를 위해 기술혁신의 성격을 새로운 제품의 개발이나 기존 제품의 품질개선이 아니라 특정 제품의 생산을 위한 차세대 기술의 개발로 규정한다. 그리고 개발기술의 생산과정에서의 실질적인 활용의 정도는 해당기술에 대한 기술특화교육의 크기에 의해 결정된다. 따라서 특정 제품생산의 생산성은 생산인력당 학교교육량과 해당 생산기술의 수준 그리고 생산인력당 해당기술에 대한 기술특화교육의 양에 의해 결정된다. 특히, 개발된 기술에 의한 제품생산을 위해서는 생산인력을 대상으로 한 해당 기술에 대한 기술특화교육은 필수적이다. 또한, 특정기술에 대한 기술특화교육에 의해 생산인력에 체화된 기술특화지식(technology-specific skills)은 해당 기술을 활용한 제품생산에만 특화되며, 다른 종류의 제품 생산이나 동일한 제품 내의 다른 세대의 기술을 이용한 제품생산에는 활용 불가능하다. 따라서 제품생산의 생산성 측면에서 기술특화교육의 외부효과는 배제된다.<sup>2</sup> 한편, 연구개발의 생산성(성공확률)은 연구개발인력 당 학교교육의 크기에 비례

하며 해당 제품분야의 연구개발 난이도에 반비례한다. 그리고 시점별 특정 제품분야의 연구개발 난이도는 해당 제품분야에서의 연구개발성공률에 비례하여 증가한다. 따라서 특정 제품분야의 연구개발 생산성은 한편에서는 해당 제품분야의 연구개발성공에 의한 정체외부효과에 의해 지배된다.

한편, 기술특화교육과 연구개발은 각각의 본질적인 역할 외에도 이들 활동과 관련된 기술의 범용지식을 경제전체로 파급시켜 경제전체의 일반적인 인적자본을 증가시킨다. 그리고 이러한 외부효과의 인적자본형성에의 기여도의 효율성은 인력 당 평균 학교교육의 크기에 비례한다. 따라서 본 모형에서는 경제 전반의 인적자본형성에 기여하는 세 종류의 지식자본이 있다. 첫 번째는 학교교육에 의해 형성되는 지식자본이며, 두 번째는 기업의 기술특화교육에 의해 형성되는 특정기술과 관련된 지식자본이며, 세 번째는 연구개발에 의해 경제 전반으로 파급된 지식자본이다.

다음에는 이러한 모형의 특징을 바탕으로 각 경제주체별 의사결정과 단기균형에 대해 분석한다.

## 2. 가계 : 학교교육과 소비

시점에 관계없이  $L$ 명으로 구성된 대표가계가 있으며, 모든 구성원은 동질적이고 구성원 당 최대 노동공급량은 한 단위이며, 시점 $t$ 에 가계 구성원 당 인적자본의 크기는  $h(t)$ 이다. 따라서 시점 $t$ 에 경제의 총 인적자본의 크기는  $H(t) = h(t)L$ 이다.<sup>3</sup>

대표가계는 정태적 효용극대화를 위해 제품별 소비지출, 그리고 동태적 효용극대화를 위해 소비지출의 시점 간 배분과 가계 구성원별 학교교육투자 등의 세 가지 의사결정을 한다.

먼저, 학교교육에 대해 논의한다. 대표가계는 가계 구성원의 노동생산성을 높이기 위해 생애 기간의 일정 비율  $\Phi$ 을 학교교육을 받게 한다. 따라서 개별 구성원의 생애기간은 학교교육을 받는 비율  $\Phi$ 과 노동시장에 참여하는 비율  $(1 - \Phi)$ 으로 구성된다. 한편, 학교교육량  $\Phi$ 에 의한 가계 구성원의 평균 노동생산성은 식(1)과

2 이는 기업이 모든 기술교육비용을 부담하는 기술특화교육의 모형화를 위한 전제조건인.

3 시점별로 가계 구성원의 출생률과 사망률이 동일하며, 또한 가계 내 세대 간에 부의 상속과 인적자본의 파급효과가 완전함.

같이 결정된다.

$$\kappa = \kappa(\Phi), \quad d\kappa/d\Phi > 0 \quad (1)$$

평균 노동생산성은 학교교육의 크기에 비례하여 증가한다. 또한, 학교교육의 비용  $F$ 도 식(2)와 같이 학교교육의 양에 비례하여 증가한다.

$$F = F(\Phi), \quad dF/d\Phi > 0 \quad (2)$$

한편,  $w$ 은  $\kappa = 1$ 일 때의 임금율로 기본 임금률이며,  $\kappa > 1$ 일 경우 임금률  $W$ 는 식(3)과 같으며, 학교교육의 크기에 비례한다.

$$W = W(\Phi) = w\kappa(\Phi) \quad (3)$$

그리고 학교교육투자에 대한 유인조건(incentive condition)인  $W \geq w$ 을 위해  $\kappa(\Phi) \geq 1$ 으로 가정한다.

다음에는 위의 논의를 활용하여 대표 가계의 의사결정에 대해 분석한다. 이를 위해 시점  $t$ 에 대표 가계의 정태적 효용함수와 동태적 효용함수를 식(4)와 식(5)로 각각 규정한다.

$$\log u(t) = \int_0^1 \log [\sum_m x(n, m, t)] dn \quad (4)$$

$$U(t) = \int_t^\infty e^{-\rho(\tau-t)} \log u(\tau) d\tau \quad (5)$$

식(4)의 정태적 효용함수에서 제품의 종류  $n$ 은 시점에 관계없이  $n \in [0, 1]$ 로 0에서 1까지 연속적이며 고정되어 있다.  $x(n, m, t)$ 는 제품  $n$ 의 생산기술 중  $m$ 세대 기술로 생산된 제품에 대한 시점  $t$ 의 대표 가계(소비자)의 소비량이다. 특정 제품의 소비에 있어서 해당 제품 내의 기술세대 간의 선형 선호도(linear preference)로 인해 특정 제품의 소비에 있어서 기술세대가 다른 제품 간에는 완전대체관계가 있다. 따라서 시점  $t$ 에 특정 제품  $n$ 내의 다양한 기술세대에 의해 생산된 제품 중 해당 시점에 생산에 활용 가능한 최첨단 세대의 기술로 생산된 제품만이 소비된다.<sup>4</sup> 그리고 정

4 시점  $t$ 의 특정 제품 내의 다양한 기술세대 제품 중 가장 첨단기술세대의 제품의 가격이 가장 저렴하기 때문이다.

태적 효용에 대한  $n \in [0, 1]$  내 개별 제품의 영향은 모든 제품에서 대칭적으로 동일하며, 모든 제품 간의 대체탄력성은 1이다. 따라서 정태적 효용함수를 식(4)'으로 정리할 수 있다.

$$\log u(t) = \int_0^1 \log x(n, j, t) dn \quad (4')$$

$x(n, j, t)$ 는 시점  $t$ 에 제품  $n$ 의 생산을 위해 사용된 최첨단기술세대가  $j$ 일 경우 해당 제품에 대한 대표 가계의 소비량이다. 한편, 대표 가계의 시점  $t$ 의 정태적 예산제약조건  $E(t) = \int_0^1 [\sum_m p(n, m, t)x(n, m, t)] dn$

은 위에서 논의한 정태적 효용함수의 선호도를 활용하여 식(6)으로 정리할 수 있다.

$$E(t) = \int_0^1 p(n, j, t)x(n, j, t) dn \quad (6)$$

그리고 대표 가계의 동태적 예산제약조건은 학교교육에 대한 투자가  $\Phi$ 일 경우 식(7)과 같다.<sup>5</sup>

$$\dot{B}(t) = r(t)B(t) + W(\Phi(t))(1 - \Phi(t))H(t) - F(\Phi(t))H(t) - E(t) \quad (7)$$

$p(n, j, t)$ 는 시점  $t$ 에 제품  $n$  중  $j$ 세대 기술로 생산된 제품의 가격이며,  $B(t)$ ,  $W(\Phi(t))$ ,  $E(t)$ ,  $r(t)$ 와  $\rho$ 는 각각 시점  $t$ 의 대표 가계의 총 자산,  $\Phi$ 의 학교교육으로 받을 수 있는 임금률, 총 소비지출액, 시장이자율과 가계의 시간선호도이다. 다음에는 위에서 논의한 학교교육함수, 효용함수와 예산제약조건 등을 활용하여 학교교육투자, 제품별 소비지출과 시점 간 소비지출 배분에 대한 대표 가계의 의사결정에 대해 논의한다.

시점  $t$ 의 예산제약 식(6)하에 정태적 효용 식(4)'의 극대화를 위한 제품별 수요량이 식(8)로 결정된다.

$$x(n, j, t) = \frac{E(t)}{p(n, j, t)} \quad (8)$$

5 구성원 당 생애기간 중  $\Phi$ 의 비율을 학교교육에 투자할 경우 대수의 법칙(law of large numbers)에 따라 시점별 가계 구성원의  $\Phi$ 비율이 학교교육에 종사하며, 또한 구성원 평균 학교교육의 크기도  $\Phi$ 으로 될.

시점별 개별 제품의 최적 수요량은 총 지출액에 비례하며 해당 제품의 가격에 반비례한다.

한편, 식(7)의 동태적 예산제약에 동태적 효용 식(5)의 극대화를 위해 대표 가계는 가계 구성원별 학교교육 투자  $\Phi$ 와 소비지출액의 시점 간 배분  $E$ 를 소비지출의 시점 간 배분과 가계 구성원별 최적의 학교투자(의 결정 조건 식(10)과 식(11)에 따라 결정한다.

$$\frac{\dot{E}(t)}{E(t)} = r(t) - \rho \tag{10}$$

$$W_\Phi(1-\Phi) - W(\Phi) - F_\Phi = 0 \tag{11}$$

여기서  $W_\Phi = dW/d\Phi$ ,  $F_\Phi = dF/d\Phi$ 이다. 그리고 동태적 효용극대화를 위한 최적 학교교육투자를 위한 2차 조건의 충족을 위해  $2W_\Phi + F_{\Phi\Phi} > W_{\Phi\Phi}(1-\Phi)$ 의 부등호가 성립하는 것으로 가정한다. 따라서 대표 가계의 시점 간 소비지출의 배분은 식(10)에 따라 시장이자율과 가계의 시간선호도의 차이에 의해 결정된다. 최적 학교교육투자는 식(1), 식(3) 그리고 식(11)에 따라 학교교육함수와 학교교육의 비용함수를 결정하는 변수와 기본 임금률에 영향을 받는다(구체적인 최적 학교교육 투자결정조건은 IV장의 분석을 참조하기 바람).

### 3. 기업 : 생산, 기술특화교육과 연구개발

기업은 기술개발, 생산인력을 대상으로 한 개발기술에 대한 기술특화교육 그리고 개발기술을 활용한 제품 생산에 종사한다.

제품의 종류  $n \in [0,1]$ 의 주어진 범위 내에서 연속적으로 배열되어 있으며, 제품별 생산기술은 기술 수준기준으로 무한세대로 개발될 수 있다. 그리고 기술 수준은 개발세대에 따라 오름차순으로 배열되어 최근에 개발된 기술일수록 기술수준이 높으며, 두 기술세대 간 기술수준의 차이는  $\delta > 1$ 이다. 그리고 시점별로 연구개발에 의해 개발되는 새로운 기술과 기존에 개발된 기술 중 가장 최근 세대 기술 간의 기술수준차이는 한 세대이다. 하지만, 이전 세대 기술대비 최근 세대 기술의 상대적으로 높은 기술수준의 실현은 해당기술이 생산과정에서 채택(adoption)되는 정도에 달려있다. 그리

고 생산과정에서 기술의 채택 정도는 생산인력에 의한 해당기술의 습득 정도에 의해 결정되며, 생산인력의 특정기술의 습득은 해당 기술에 대한 기업의 기술특화교육을 통해 이루어진다. 즉, 특정 제품  $n$ 을 새로운 세대의 기술로 생산하고자 하는 기업은 해당 기술을 개발해야 할 뿐만 아니라 생산인력을 대상으로 개발된 기술에 특화된 기술교육을 실시해야 한다. 따라서 이전 세대 기술 대비 새로 개발된 기술의 잠재적으로 높은 생산성은 해당 기술의 수준 외에도 생산인력 당 기술특화교육의 크기에 의해서도 결정된다(아래에서 설명하는 것처럼 실질적으로 본 모형에서 제품 생산의 생산성은 생산인력 당 학교교육, 기술특화교육과 기술수준의 세 가지 요소에 의해 결정됨).

먼저, 기업의 제품생산에 대한 의사결정에 대해 논의한다. 시점  $t$ 에 특정제품의 시장구조는 동 제품을 생산할 수 있는 이질적인 세대의 기술을 가진 기업들이 서로 경쟁하는 Bertrand 가격경쟁구조이다. 인적자본  $H$ 가 유일한 생산요소이다. 제품  $n$  생산을 위한 기술세대가  $j$ 이면, 해당 기업의 생산함수는 식(12)와 같다.

$$X(n,j,t) = a(n,j,t)H_p(n,j,t) \tag{12}$$

$a(n,j,t)$ 는  $j$ 세대의 기술이 활용될 경우 제품  $n$  생산의 노동생산성이며,  $H_p(n,j,t)$ 는 해당 재화 생산을 위해 투입된 인력의 양이다. 구체적으로  $a(n,j,t)$ 는 식(13)과 같이 생산인력 당 학교교육의 크기,  $j$ 세대 기술에 대한 기업의 기술특화교육의 크기 그리고  $j$ 세대 기술의 기술수준의 세 부분으로 구성된다.

$$a(n,j,t) = \kappa^v (s_{nj})^\Phi \delta^j \tag{13}$$

$\kappa^v$ ,  $(s_{nj})^\Phi$ 와  $\delta^j$ 는 기업 생산성의 세부구성 요소 중 각각 생산인력 당 학교교육에 의한 구성요소,  $j$ 세대 기술에 대한 기술특화교육에 의한 구성요소 그리고  $j$ 세대 기술수준에 의한 구성요소이다. 특히, 기술특화교육에 의한 생산성 구성요소인  $(s_{nj})^\Phi$ 는 단위 생산인력에게 제공된 기술특화교육의 양과 생산인력 당 학교교육의 양으로 구성된다.  $(s_{nj})^\Phi$ 에 학교교육의 변수를 도입한 것은 기술특화교육의 효율성에 대한 학교교육의 영

향을 반영하기 위한 것이다. 한편,  $0 < v < 1$ 은 학교교육의 기업 생산성 탄력도이다. 따라서 학교교육이 기업 생산성에 미치는 영향은 생산인력의 생산성 향상으로 인한 직접적인 효과와 기술특화교육에 대한 영향을 통한 간접적인 효과로 나타난다. 따라서 생산인력 당 일정한 수준의 기술특화교육이 제공되었을 경우 제품 기업의 생산성은 생산인력 당 학교교육의 양과 기술수준에 비례한다. 또한, 식(13)은 일정한 생산성 수준에서 학교교육과 기술특화교육은 대체관계에 있으며, 새로운 기술세대 기술에 의한 생산이 가능하기 위해서는 해당 기술에 대한 기술특화교육이 필수적임을 나타낸다 ( $s_{nj} = 0 \rightarrow a(n, j, t) = 0$ ).

한편, 시점 $t$ 에 제품 $n$  생산기술 중 최첨단기술세대인  $j$ 세대의 기술을 가진 기업은 생산함수 식(12)와 임금을, 그리고 경쟁기업의 생산비용 등을 고려하여 이윤  $\pi(n, j, t) = p(n, j, t)X(n, j, t) - w(t)X(n, j, t)/a(n, j, t)$ 을 극대화하는 제품 $n$ 의 가격  $p(n, j, t)$ 를 식(14)와 같이 결정한다.

$$p(n, j, t) = \frac{w(t)}{\kappa^v (s_{z, j-1})^\phi \delta^{j-1}} \quad (14)$$

즉, 제품별 시장구조가 Bertrand 가격경쟁구조이기 때문에 시점별로 제품 $n$ 의 가격은 동 시점에 해당 제품의 생산에 활용되는 기술세대 중 최첨단 기술세대의 기업보다 한 세대 후진적인 기술세대 기업의 단위 생산비용과 같은 수준에서 결정된다. 따라서 상대적으로 후진적인 모든 기술세대의 기술을 가진 기업은 동 제품시장에서 퇴출되고, 상대적으로 더 첨단기술세대의 기술을 개발한 기업이 시장에 진입할 때까지 기업 $j$ 는 독점의 지위를 유지한다. 시장에서 퇴출되기 전까지의 시점별 제품 $n$ 의 시장균형 생산량과 독점이익은 각각 식(15)와 식(16)과 같다.

$$X(n, j, t) = \frac{E(t)L\kappa^v (s_{z, j-1})^\phi \delta^{(j-1)}}{w(t)} \quad (15)$$

$$\pi(n, j, t) = E(t)L \left[ 1 - \left( \frac{s_{z, j-1}}{s_{z, j}} \right)^\phi \frac{1}{\delta} \right] \quad (16)^6$$

독점이윤은 소비지출액, 두 기술세대 간 기술수준 차이와 한 세대 이전 기술세대 대비 상대적인 기술특화교육의 크기에 비례한다.

다음은 기업의 기술특화교육투자에 대해 논의한다. 앞에서 논의한 바와 같이 특정 제품의 생산을 위한 새로운 세대의 기술을 개발한 기업은 동 기술을 통해 벌어들일 수 있는 독점이윤을 극대화할 수 있는 수준으로 기술특화교육투자를 결정한다. 본 모형에서 기술특화교육의 크기는 해당 기술을 활용하여 실질적인 생산이 이루어지기 전까지 생산인력에게 실시되는 기술특화교육기간이다.<sup>7</sup> 기술특화교육비용( $TC$ )은 기술교육기간 동안 생산인력에게 지불되는 총임금이다. 기업이 모든 기술특화교육비용을 부담하는 이유는 기술특화교육에 의해 생산인력에 체화되는 지식은 다른 제품의 생산이나 다른 세대 기술을 활용한 동일한 제품생산에 사용될 수 없기 때문이다. 따라서 기업 $j$ 는 향후 새로운 기술세대 기업에 의해 시장에서 퇴출될 때까지 벌어들일 수 있는 순 기대독점이익(기대독점이익-기술교육비용)의 현재가치인 식(17)을 극대화하는 기술특화교육기간  $s_{n, j}$ 을 식(18)의 최적조건에 따라 결정한다.

$$V(n, j, t) = \Pi(n, j, t) - TC(n, j, t) \quad (17)$$

$$\frac{\Phi(s_{z, j-1}/s_{z, j})^\phi}{(\rho + g_R(n))\delta s_{z, j}} - e^{-\rho s_{z, j}} = 0 \quad (18)$$

여기서  $\Pi(n, j, t) = \int_t^\infty e^{-g_R(n)(\tau-t)} g_R(n) \times \int_{t+s_{nj}}^\tau e^{-r(\nu-t)} \pi(n, j, \nu) d\nu d\tau$

이고  $TC(n, j, t) = \int_t^{t+s_{nj}} e^{-r(\tau-t)} w(\tau) H_p(n, j, t) d\tau$  이다.

$g_R(n)$ 는 시점별 제품 $n$ 분야의 기술개발 성공률이다. 식(18)의 첫 번째 항은 기술특화교육의 한계수익이며, 두 번째 항은 기술특화교육의 한계비용이다.<sup>8</sup> 따라서

6 시점 $t$  최첨단 기술세대 기업의 양(+의) 이윤을 위해 두 인접기술세대 간의 단위 생산인력 당 기술특화교육에 의해 체화된 생산성의 상대적 비율은  $\delta > (s_{z, j-1}/s_{z, j})^\phi$ 의 범위에 있음.

7 본 논문의 기술특화교육기간 동안의 생산 정지 현상은 현실경제에서 신기술의 생산과정으로의 채택 초기에 관측되는 생산성 정체 현상과 맥을 같이 함.

8 극대화 2차 조건에 따라 기술교육투자의 추가적인 증가로 인한 한계

최적 기술교육의 투자는 생산인력의 학교교육의 양 ( $\Phi$ ), 한 세대 이전 기술세대에 대한 기술특화교육의 크기( $s_{z,j-1}$ )에 비례하여 증가하며, 반면에 기술세대간 기술수준 차이( $\delta$ ), 해당제품분야의 기술개발성공률( $g_R(n)$ )에 반비례한다. 또한 최적 기술특화교육투자량은 기술특화교육 대상 기술의 절대적인 수준( $\delta'$ )과 다른 제품분야에서의 기술개발성공률과 기술특화교육의 크기 등에는 영향을 받지 않는다.

한편, 시점 $t$ 에 기업들은 제품별로 이미 개발된 최첨단세대 기술보다 바로 차세대의 기술을 개발하기 위해 경쟁을 한다. 개발기술에 대한 지적재산권은 완전하게 보호된다. 연구개발의 성공여부는 불확실하며 포아송 확률과정을 따른다. 특정 제품 분야 연구개발의 생산성은 연구개발인력의 학교교육의 크기에 비례하며, 반면에 해당 제품분야의 연구개발난이도에 반비례한다. 그리고 제품 간의 연구개발 외부효과는 배제된다. 구체적으로 시점 $t$ 에 제품 $n$ 분야의 연구개발함수는 식(19)과 같다.

$$g_R(n,t) = \frac{\kappa H_R(n,t)}{D(n,t)} \quad (19)$$

$g_R(n,t)$ 는 시점 $t$ 에 제품 $n$ 분야의 기술개발성공률이며,  $\kappa$ 는 연구개발투입 인력의 학교교육에 의한 생산성이다.  $H_R(n,t) = \sum_j H_{Rj}(n,t)$ 으로 시점 $t$ 에 제품 $n$ 부분의 차세대 기술개발에 투입되는 총 인력이며,<sup>9</sup>  $H_{Rj}(n,t)$ 는 기업 $j$ 에 의한 제품 $n$ 분야에의 연구개발투입 인력이다.  $D(n,t)$ 는 시점 $t$  제품 $n$ 분야에 특화된 연구개발의 난이도이다. 그리고 식(20)과 같이 제품분야별 연구개발의 난이도는 시간에 걸쳐 해당 제품분야의 시점별 연구개발성공률에 비례하여 증가하는 것으로 한다. 즉 연구개발 생산성에 기존의 연구개발성공의 정체의외효과(congestion externality)를 모형화한다.<sup>10</sup>

수익의 증가분이 한계비용의 증가보다 작도록  $s_{z,j} < \Phi/\rho$ 으로  $s_{z,j}$ 의 범위를 정함.

9 특정 제품분야의 시점별 연구개발성공률은 기업별로 독립적임.

10 기술혁신율과 연구개발 투입자원량 간에 반비례 관계를 보여주는 실제 시계열 자료와 모형 간의 정합성을 높이기 위함.

$$\frac{\dot{D}(n,t)}{D(n,t)} = g_R(n,t) \quad (20)$$

따라서 시점 $t$ 에 제품 $n$ 분야의 기업 $j$ 는 식(19)로 규정된 연구개발함수에 따라 새로운 세대 기술개발로 벌어들일 수 있는 순 기대이익(기대이익-연구개발비용)  $g_R(n,t) V(n,j,t) - w(t)g_R(n,t)D(n,t)/\kappa$ 을 극대화하기 위한 연구개발투입인력의 양  $H_{Rj}(n,t)$ 을 결정한다. 구체적으로 시점 $t$  제품 $n$ 분야의 연구개발투자 최적 결정조건은 식(21)로 도출된다.

$$V(n,j,t) = V(n,t) = \frac{w(t)D(n,t)}{\kappa} \quad (21)$$

식(21)로부터 특정 제품분야의 단위 연구개발비용은 개발되는 기술수준에 관계없이 동일하며, 이에 균형에서 개발기술의 시장가치도 기술수준에 관계없이 동일해야 함을 알 수 있다. 또한 단위 연구개발비용은 연구개발인력의 학교교육의 크기에 반비례하는 반면에 연구개발난이도와 임금율에는 비례하여 증가한다. 특히, 제품분야별 연구개발의 난이도는 해당 제품분야의 연구개발 성공에 따라 증가하기 때문에 연구개발투자를 지속적으로 유인하기 위해서는 새로 개발되는 기술의 가치가 시간에 따라 지속적으로 증가하거나(임금률이 일정할 경우) 임금률이 지속적으로 하락하여야 함(신기술의 기대가치가 일정할 경우)을 알 수 있다.

#### 4. 노동시장과 인적자본

가계의 모든 구성원이 생애기간의  $\Phi$ 의 비율만큼 학교교육을 받을 경우 대수의 법칙에 따라 시점별로 가계의 구성원의  $0 < \Phi < 1$ 비율이 학교교육을 받으며  $(1-\Phi)$ 의 비율은 노동시장에 인력을 공급한다. 따라서 시점 $t$ 에 총 노동공급량은  $H_S(t) = (1-\Phi)H(t)$ 이다. 여기서  $H(t) = h(t)L$ 이다. 한편, 시점 $t$ 에 총 노동수요  $H_D(t)$ 는 기술특화교육 수요 $H_T(t)$ , 제품생산에 의한 노동수요  $H_P(t)$ 와 연구개발에 의한 노동수요  $H_R(t)$ 을 합한  $H_D(t) = H_T(t) + H_P(t) + H_R(t)$ 이다. 앞 절에서 도출한 균형조건 등을 활용하여 각 부분별 노동수요량을 식(22)와 같이 도출할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 H_P(t) &= \int_0^1 \frac{L}{w(t)\delta} dn, \\
 H_T(t) &= \int_0^1 \int_{t-s_{nj}}^t \frac{g_R(n)L}{w(\tau)\delta} d\tau dn, \\
 H_R(t) &= \int_0^1 \frac{g_R(n,t)V(n,t)}{w(t)} dn \quad (22)
 \end{aligned}$$

한편, 연구개발과 기술특화교육은 이미 논의한 각각의 고유 기능 외에 이들 활동과 관련된 기술의 범용지식(general knowledge)을 경제 전체에 파급하여 경제 전체의 인적자본을 증가시키는 부수적 기능이 있다. 또한, 학교교육은 이러한 범용지식의 파급효과의 효율성을 증가시킨다. 따라서 경제의 인적자본은 시간에 따라 식(23)과 같이 전개된다.

$$\dot{H}(t) = \Phi^q H_T^\alpha(t) H_R^{1-\alpha}(t), \quad (23)$$

여기서  $0 < \alpha < 1, 0 < q < 1$  이며  $\alpha$ 와  $1-\alpha$ 는 각각 단위 인력 당 인적자본축적에 대한 기술특화교육과 연구개발의 외부효과 기여도이며,  $q$ 는 학교교육의 인적자본축적 탄력도이다.

### III. 균제상태(Steady State)

#### 1. 학교교육과 소비

균제상태균형에서 최적의 시점 간 소비지출의 배분과 학교교육투자 최적조건을 도출하기 위해 시점별 소비지출은  $E(t) = 1$ 로 표준화하고 학교교육함수 식(1)은  $\kappa = \lambda^\Phi$ 로, 학교교육비용함수 식(2)는  $F = f\Phi$ 로 각각 구체화한다. 여기서  $\lambda$ 는 학교교육의 생산성이다. 그리고 단위 학교교육비용  $f = (\epsilon + 1)w$ 으로 하여 학교교육의 직접비용  $\epsilon w$ (가령 등록금 등으로 기본 임금율과 비례)과 기회비용(학교교육 없이 바로 노동시장 참여할 경우 벌어들일 수 있는 기본 임금율  $w$ )을 합한 것이다. 따라서 소비자의 동태적 효용극대화 조건인 식(10)과 식(11)을 통해 균제상태균형 이자율과 가계구성원 당 최적 학교교육투자조건을 각각 식(10)'과 식(11)'으로 재정리할 수 있다.

$$r(t) = \rho \quad (10)'$$

$$\lambda^{\Phi(t)}(1 - \Phi(t)) \ln \lambda - \lambda^{\Phi(t)} - (\epsilon + 1) = 0 \quad (11)'$$

극대화 2차 조건에 따라  $\Phi > (\ln \lambda - 2) / \ln \lambda > 0$ 의 부등호가 충족되는 것으로 가정한다. 따라서 균형에서 이자율은 소비자의 시간선호도와 같으며 따라서 일정하다. 최적 학교교육투자량은 학교교육의 생산성  $\lambda$ 에 비례하며 직접교육비용  $\epsilon$ 에 반비례한다.<sup>11</sup> 반면에 임금율은 학교교육에 영향을 미치지 못한다. 이는 임금율의 증가는 학교교육의 수익과 비용을 같은 비율로 증가시키기 때문이다. 특히, 최적 학교교육투자 결정변수인  $\lambda$ 와  $\epsilon$ 가 시간에 관계없이 일정하기 때문에 최적 학교교육투자는 시간에 관계없이 일정한  $\Phi(t) = \Phi$ 이다.

#### 2. 생산, 기술특화교육과 연구개발

식 (18)이 기술세대별 기술교육기간 기준으로 비선형 1차 차분방정식인  $s_{n,j} = \xi(s_{n,j-1})$ 의 형식이며, 특히,  $ds_{n,j}/ds_{n,j-1} = \partial \xi / \partial s_{n,j-1} < 1$ 이기에 균형이 안정적이며, 균형에서  $s_{n,j} = s_n$ 이다. 따라서 식(18)로부터 균형에서 특정 제품  $n$ 의 생산을 위한 기술세대별 기술특화교육기간은 기술특화교육의 대상 기술세대와는 관계없이 모든 기술세대에서 동일하며 또한 시점에 관계없이 일정함을 알 수 있다. 그리고 이를 활용하여 시점  $t$ 에 특정 제품  $n$ 분야의 첨단기술세대에 의해 생산된 제품의 균형 가격  $p(n,j,t) = w(t) / \lambda^{\Phi} s_n^{\Phi} \delta^{j-1}$ , 균형 생산량  $X(n,j,t) = L \lambda^{\nu \Phi} s_n^{\gamma \Phi} \delta^{j-1} / w(t)$ , 균형 생산인력투입량  $H_P(n,j,t) = L / w(t) \delta$ , 균형 독점이윤  $\pi(n,j,t) = L(\delta - 1) / \delta$ 과 해당 기술의 기대가치를  $V(n,j,t) = (L/\rho) (e^{-\rho s_t} - (\rho + \delta g_R(n,t)) / (\delta(\rho + g_R(n,t))))$ 으로 도출할 수 있다. 한편, 균제상태균형에서는 제품분야별 기술혁신율은 시간에 관계없이 일정한  $\dot{g}_R(n,t) / g_R(n,t) = 0$ 으로  $g_R(n,t) = g_R(n)$ 이 되며, 따라서 특정 제품분야의 신기술의 기대가치도

11  $d\Phi^*/d\lambda = -A^{-1} \lambda^{(\Phi-1)\Phi} [(1-\Phi)/\Phi + (1-\Phi)\ln\lambda - 1] > 0$ ,  
 $d\Phi^*/d\epsilon = A^{-1} < 0$ ,  
 여기서  $A = -\lambda^{\Phi} \ln \lambda (2 - (1-\Phi)\ln \lambda) < 0$

$\dot{V}(n,j,t)/V(n,j,t) = \dot{V}(n,t)/V(n,t) = 0$ 으로 기술세대에 관계없이 일정한  $V(n,j,t) = V(n)$  된다. 또한 식(20)과 식(21)로부터 연구개발난이도의 변화율도  $\dot{D}(n,t)/D(n,t) = g_R(n,t) = -\dot{w}(t)/w(t) = g_R$ 로 되어 모든 제품분야의 기술혁신율이  $g_R(n,t) = g_R(n) = g_R$ 로 동일하게 되며, 이에 식(18)과  $s_{n,j} = s_n$ 으로부터 기술세대별 기술특화교육기간도 제품분야와 기술세대에 관계없이 동일한  $s_s = s$ 이 된다. 그리고 이에 따라 시점별 제품분야별 신기술의 기대가치도 기술의 개발시점과 제품분야에 관계없이 동일하게 된다. 따라서 균제상태 균형에서 시점 $t$ 에 제품분야별로 최첨단세대( $j$ 세대)의 기술로 생산된 제품의 가격, 생산량, 생산인력투입량과 독점이익, 신기술의 기대가치를 식(24)로 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 p(n,j,t) &= \frac{w(t)}{\lambda^{\Phi} s^{\Phi} \delta^{j-1}}, \quad X(n,j,t) = \frac{L \lambda^{\Phi} s^{\Phi} \delta^{j-1}}{w(t)} \\
 H_P(n,j,t) &= \frac{L}{w(t)\delta}, \quad \pi(n,j,t) = \frac{L(\delta-1)}{\delta}, \\
 V(n,j,t) &= V = \frac{L}{\rho} \left( e^{-\rho s} - \frac{\rho + \delta g_R}{(\rho + g_R)\delta} \right) \quad (24)
 \end{aligned}$$

그리고 제품분야별 시점별 신기술에 대한 최적 기술특화교육기간의 결정조건을 식(25)로 정리할 수 있다.

$$\frac{\Phi}{(\rho + g_R)\delta s} - e^{-\rho s} = 0 \quad (25)$$

균제상태에서 신기술에 대한 최적의 기술특화교육량은 기술혁신율  $g_R$ 과 기술세대 간 기술격차  $\delta$ 에 반비례하며, 반면에 생산인력 당 학교교육의 크기  $\Phi$ 에 비례한다. 이는 기술혁신율의 증가는 창조적 파괴효과로 인해 현재 기술의 시장퇴출가능성을 증가시켜 기술특화교육의 한계비용을 증가시키며, 기술세대 간 기술격차의 증가는 일정한 기업생산성 측면에서 기술특화교육에 대한 기술의 대체효과가 강화되어 기술특화교육의 한계비용을 증가시키기 때문이다. 반면에 인력 당 학교교육의 증가는 기술특화교육의 효율성을 증가시킨다.

### 1. 노동시장과 인적자본

위에서 도출한 균제상태 균형조건과 식 (22)와 식(24)를 활용하여 균제상태균형에서 시점별 제품생산, 기술특화교육과 연구개발로 부터의 노동수요를 각각  $H_P(t) = L/w(t)\delta, H_T(t) = (L/w(t)\delta)(1 - e^{-g_R s})$   $H_R(t) = (Lg_R/w(t)\delta\rho)(\delta e^{-\rho s} - (\rho + \delta g_R)/(\rho + g_R))$ 으로 도출할 수 있다. 그리고 시점별 총 노동수요  $H_D(t)$ 와 총 노동공급  $H_S(t) = (1 - \Phi)H(t)$ 이 일치하는 균제상태에서의 노동시장균형조건  $H_S(t) = H_D(t)$ 을 식(26)으로 도출할 수 있다.

$$H(t) = \frac{L}{w(t)(1-\Phi)\delta} \left[ 2 - e^{-g_R s} + \frac{g_R}{\rho} \left( \delta e^{-\rho s} - \frac{\rho + \delta g_R}{\rho + g_R} \right) \right] \quad (26)$$

그리고  $H(t) = Lh(t)$ 를 적용하여 균제상태균형의 기본 임금율  $w(t)$ 를 식(27)로 도출할 수 있다.

$$w(t) = \frac{1}{(1-\Phi)h(t)\delta} \left[ 2 - e^{-g_R s} + \frac{g_R}{\rho} \left( \delta e^{-\rho s} - \frac{\rho + \delta g_R}{\rho + g_R} \right) \right] \quad (27)$$

여기서  $h_0$ 는 초기( $t=0$ ) 인적자본의 크기이다. 따라서 균제상태균형 기본 임금률에 대한 기술혁신율과 기술특화교육의 영향을 다음과 같이 정리할 수 있다.

#### 명제1

**기본 임금률은 기술혁신율과 학교교육에 비례하며, 기술특화교육에 반비례한다.**

식 (27)로부터  $dw(t)/dg_R > 0, dw(t)/d\Phi > 0$ 과  $dw(t)/ds < 0$ 을 각각 구할 수 있다. 먼저, 기술혁신율의 증가로 시점별 기술특화교육의 대상이 되는 기술의 수( $g_R s$ )가 증가하며 이에 기술특화교육에 투입되는 인력이 증가한다. 또한 기술혁신율의 증가로 신기술에 대한 기대가치가 증가하여 연구개발에 투입되는 인력이 증가한다. 반면에 기술혁신율의 증가는 한편으로는 기술에 대한 창조적 파괴효과의 강화로 기술의 기대가치

가 감소하며 이는 연구개발에 투입되는 인력을 감소시킨다. 하지만, 기술혁신을 증가의 노동수요에 대한 긍정적 효과와 부정적 효과를 종합하면 긍정적 효과가 상대적으로 크다. 따라서 기술혁신율의 증가로 기본 임금이 증가한다.

가계 구성원별 학교교육량의 증가는 노동시장에서의 인력공급비율(1- $\Phi$ )을 감소시켜 기본 임금을 증가시킨다.

기술별 기술특화교육기간의 증가는 시점별 기술특화교육의 대상이 되는 기술의 수를 증가시켜 기술특화교육에 투입되는 인력이 증가하는 반면에 한편으로는 기술별로 독점이익을 추구할 수 있는 기간을 단축시켜 개발 기술의 기대가치를 감소시키고 이에 연구개발에 투입되는 인력을 감소시킨다. 하지만, 기술특화교육 강화의 노동수요에 대한 긍정적 효과와 부정적 효과를 종합하면, 부정적 효과가 긍정적 효과를 지배한다.

한편, 식(23)의 경제의 인적자본 축적식과 식(26)의 노동시장균형조건으로 균제상태에서 경제의 인적자본 축적률( $g_h = \dot{h}(t)/h(t)$ )을 식(28)로 도출할 수 있다.

$$g_h = \Phi^{\alpha}(1-\Phi)\theta_T^{\alpha}\theta_R^{1-\alpha} \quad (28)$$

$\theta_T(t) = H_T(t)/H_S(t)$ 와  $\theta_R(t) = H_R(t)/H_S(t)$ 은 각각 시점  $t$ 의 총 노동공급 대비 기술특화교육투입인력의 비중과 연구개발투입인력의 비중이다. 특히 식(26)으로부터 균제상태에서  $\theta_T(t) = \theta_T$ 와  $\theta_R(t) = \theta_R$ 로 시점에 관계없이 일정하다는 것을 알 수 있다. 따라서 균제상태에서 경제의 인적자본의 축적율도 시간에 관계없이 일정하다.

#### 4. 경제성장

기존 연구에서와 같이 본 연구에서도 소비자의 효용증가율을 경제성장률로 간주한다. 따라서 식(4)'과 앞에서 도출한 균제상태의 관련 변수의 값을 활용하여 소비자의 효용증가율을 식(29)로 구한다.

$$\frac{\dot{u}(t)}{u(t)} = g_u = g_R \log \delta \quad (29)$$

품질단계형 기술혁신모형(endogenous innovation model of quality ladder)에서와 같이 경제성장률은 기술혁신율과 기술세대 간 기술격차에 비례한다. 또한 균제상태에서 기술혁신율이 시간에 관계없이 일정하기 때문에 경제성장률도 시간에 관계없이 일정하다.

### IV. 균제상태(Steady State) 균형분석

#### 1. 균제상태 균형조건

여기서는 앞 장에서의 분석결과를 활용하여 핵심 내생변수인 가계 구성원 당 학교교육량  $\Phi$ , 기술 당 기술특화교육기간  $s$  그리고 제품분야별 기술혁신율  $g_R$  등의 균제상태의 균형 값을 결정할 수 있는 균형조건을 도출한다. 먼저, 균제상태의 균형에서의 주요 변수 간의 관계를 다음과 같이 정리할 수 있다.  $E(t) = 1$ 로 표준화하여 도출한 균제상태에서의 이자율 결정식(10)', 학교교육투자수익  $W(t) = w(t)\lambda^{\Phi(t)}$ , 기본 임금을 결정 조건 식(27), 동태적 예산제약조건 식(7)과 최적 학교교육투자 결정조건 식(11)'으로부터 균제상태에서 가계별 자산과 가계 구성원 당 학교교육수준은 각각 시간에 관계없이 일정한  $B(t) = B$ 와  $\Phi(t) = \Phi$ 이며, 학교교육투자수익과 기본 임금을의 시점 간 변화율은 경제의 인적자본의 변화율과 동일한 비율로 반비례하는  $\dot{W}(t)/W(t) = \dot{w}(t)/w(t) = -\dot{h}(t)/h(t)$ 의 관계가 있음을 알 수 있다. 또한, 식(19)와 균제상태에서 시점 간 제품분야별 연구개발난이도의 변화율과 해당 제품분야의 기술혁신을 그리고 기본 임금을 변화율과의 관계인  $\dot{D}(n,t)/D(n,t) = g_R(z,t) = -\dot{w}(t)/w(t) = g_R$ 과 노동시장균형조건 식(26)을 통해 균제상태에서 모든 제품분야의 기술혁신율은 인적자본의 변화율과 동일하며 시점에 관계없이 일정한  $g_R = g_h$ 임을 알 수 있다. 그리고 식(29)로부터 균제상태의 경제성장률  $g_u$ 도 경제의 인적자본 변화율과 비례하는 것을 알 수 있다. 따라서 균제상태에서 주요 내생변수 간의 동적관계는 식(30)으로 정리할 수 있다.

$$g = g_h = g_R = g_u / \log \delta = -g_w = -g_W \quad (30)$$

여기서  $g_a = d(\ln a(t))/dt$ 로  $a(t)$  변수의 시점 간 변화율이다. 그리고 식(30)과 위에서 도출한 규제상태에서의 가계 구성원 당 학교교육수준  $\Phi(t) = \Phi$ , 기본 임금을 결정 식(27), 노동시장균형조건 식(26)을 활용하여 핵심 내생변수인  $\Phi$ ,  $s$ 와  $g$ 의 균형 값을 결정할 수 있는 최적 학교교육투자 결정조건 식(11)', 기술특화교육투자 결정조건 식(25)와 인적자본축적을 결정조건 식(28)을 각각 식(31), 식(32)와 식(33)으로 정리할 수 있다.

$$\lambda^\Phi (1-\Phi) \ln \lambda - \lambda^\Phi - (\epsilon + 1) = 0 \quad (31)$$

$$\frac{\Phi}{(\rho + g)\delta s} - e^{-\rho s} = 0 \quad (32)$$

$$g = \frac{\Phi^\alpha (1-\Phi) (1 - e^{-gs})^\alpha \left[ \frac{g}{\rho} \left( \delta e^{-\rho s} - \frac{\rho + \delta g}{\rho + g} \right) \right]^{1-\alpha}}{2 - e^{-gs} + \frac{g}{\rho} \left( \delta e^{-\rho s} - \frac{\rho + \delta g}{\rho + g} \right)} \quad (33)$$

그리고 위의 식으로 부터 도출된  $\Phi$ ,  $s$ 와  $g$ 의 균형 값을 활용하여 기타 내생변수의 규제상태에서의 균형 값을 구할 수 있다.

## 2. 규제상태 균형분석

본 절에서는 균형조건 식(31), 식(32)와 식(33)을 활용하여 다음의 이슈에 대해 논의한다. 구체적으로, 첫째, 학교교육과 기술특화교육 각각의 경제성장효과와 이들 효과의 상대적 크기를 비교한다. 둘째, 학교교육의 기술특화교육에 대한 영향과 기술특화교육의 학교교육에 대한 영향을 각각 분석한다. 셋째, 학교교육과 기술훈련에 대한 기술혁신의 효과와 기술혁신에 따른 이들 두 교육의 구성의 변화, 즉 기술혁신의 강화는 어떤 형태의 교육을 상대적으로 강화하는 지를 분석한다.

분석방법은 다음과 같다. 위에서 언급한 분석이슈들은 특정 한 변수의 변화가 다른 두 변수에 미치는 영향을 분석하는 것이기 때문에 후자 변수들의 균형 값 결정조건 식에 있는 전자 변수를 외생변수화하고 두 후자

변수들의 균형 값 결정조건을 연립하여 이들 변수들에 대한 외생화된 변수의 효과를 비교정태분석한다

한편, 아래에서 도출하는 비교정태분석결과를 살펴 보면, 특정 변수에 대한 외생화된 변수의 효과는 직접 효과와 다른 나머지 변수에 대한 효과를 통한 간접효과로 구성된다. 여기서 직접효과는 특정 변수의 균형 값 결정식에서 이 특정 변수에 대한 외생변수의 편미분한 값이다. 간접효과는 특정 변수의 균형 값 결정식에서 이 특정 변수에 대한 다른 나머지 변수의 편미분한 값과 나머지 다른 변수의 균형값 결정식에서 이 나머지 다른 변수에 대한 외생화 변수의 편미분한 값을 결합한 값이다. 따라서 분석의 편의를 위해, 비교정태분석결과를 직접효과와 간접효과로 세분하여 나타내고 두 효과를 종합한다. 이를 위해, 먼저 각각의 균형식별로 해당 식에서 균형 값이 결정되는 변수(식(31)에서  $\Phi$ , 식(32)에서  $s$ , 식(33)에서  $g$ )에 대한 다른 두 변수의 직접효과(편미분 값)를 분석한다.

### 2-1. 직접효과

각각의 특정 변수 균형 값 결정식에서의 해당 특정 변수에 대한 다른 변수의 직접효과는 [표 1]과 같이 정리된다. 구체적인 분석은 다음과 같다.

식(31)에서 효용극대화를 위한 최적 학교교육수준  $\Phi^*$ 은 기술혁신율과 기술특화교육의 크기와는 독립적이다( $\partial \Phi / \partial g_{(31)} = 0$ ,  $\partial \Phi / \partial s_{(31)} = 0$ ). 이는 학교교육 투자수익의 결정요소인 임금율에 이들 변수가 영향을 미치지만(명제1 참조) 학교교육비용도 임금율과 비례해서 변화하기 때문이다. 따라서 효용극대화 학교교육 수준은 단지 학교교육의 효율성( $\lambda$ )과 학교교육비용( $\epsilon$ ) 등의 교육시스템관련 변수에 의해서만 영향을 받는다.

다음으로 식(32)에서 기업이윤 극대화 기술특화교육 수준  $s^*$ 에 대한 기술혁신율의 직접효과는 부정적이며( $\partial s / \partial g_{(32)} < 0$ ), 학교교육의 직접효과는 긍정적이다( $\partial s / \partial \Phi_{(32)} > 0$ ). 이는 기술혁신율의 증가는 창조적 파괴효과에 의한 기술의 시장퇴출가능성의 증가로 기술특화교육의 한계비용이 증가하기 때문이며, 학교교육의 증가는 기술특화교육의 효율성을 증가시켜 상대적

으로 기술특화교육의 한계수익을 증가시키기 때문이다.

식(33)에서 경제성장률에 대한 학교교육의 직접효과는 비선형의 “역-U”형이다 ( $\partial g/\partial \Phi_{(33)} > 0$ ,  $\partial^2 g/(\partial \Phi)_{(33)}^2 < 0$ ). 이는 학교교육의 증가로 인적자본축적이 강화되지만, 한편으로는 노동인력공급이 감소하고( $\partial H_T/\partial \Phi < 0$ ), 이는 기술특화교육과 연구개발에 종사할 수 있는 인력을 감소시켜 인적자본축적에 대한 이들 활동의 기여도가 약화되는 인적자본축적에 대한 학교교육의 긍정적인 효과와 부정적인 효과가 혼재되어 있기 때문이다. 하지만, 일정 수준까지의 학교교육의 강화는 긍정적인 효과가 부정적인 효과를 지배하며 반면에 일정 수준을 초과한 학교교육의 강화는 부정적인 효과를 상대적으로 강화한다. 그리고  $\partial g/\partial \Phi_{(33)} = 0$ 으로부터 경제성장률에 대한 학교교육의 직접효과를 극대화하는 학교교육크기  $\Phi^{**}$ 는 식(34)으로 도출된다.

$$\Phi^{**} = \frac{q}{1+q} \tag{34}$$

동 식으로부터 효용극대화 학교교육수준  $\Phi^*$ 과 성장극대화 학교교육수준  $\Phi^{**}$  간에 차이가 있을 수 있다는 것을 알 수 있다. 이는 성장극대화 측면에서 학교교육에 대한 정부의 정책적 개입 필요성에 대한 시사점을 제공한다. 한편, 식(33)에서 경제성장률에 대한 기술특화교육의 직접효과도 “역-U”형이다( $\partial g/\partial s_{(33)} > 0$ ,  $\partial^2 g/(\partial s)_{(33)}^2 < 0$ ). 기술특화교육의 증가는 기술특화교육을 제공하는 기업의 수( $g_{R^s}$ )를 증가시켜 인적자본축적에 대한 기술특화교육의 기여도를 강화시키지만( $\partial H_T/\partial s > 0$ ), 다른 한편으로는 기술의 기대가치를 하락시켜 이에 대한 연구개발활동의 기여도를 약화시키는( $\partial V/\partial s < 0 \rightarrow \partial H_R/\partial s < 0$ ) 긍정적인 효과와 부정적인 효과가 혼재되어 있기 때문이다. 하지만, 이 또한, 일정 수준까지의 기술특화교육의 강화는 긍정적인 효과가 부정적인 효과를 지배하며 반면에 일정 수준을 초과한 기술특화교육의 강화는 오히려 부정적인 효과를 상대적으로 강화한다. 그리고  $\partial g/\partial s_{(33)} = 0$ 으로부터

경제성장극대화 기술특화교육수준  $s^{**}$ 를 식(35)를 만족시키는  $s$ 의 값으로 구할 수 있다.

$$M^2 - \frac{(1-\alpha)}{\alpha} \delta e^{-(\rho-g)s} - \left[ \left( \frac{(1-\alpha)\rho}{\alpha g (\delta e^{-\rho s} - ((\rho+\delta g)/(\rho+g)))} - 1 \right) \delta e^{-(\rho-g)s} \right] M = 0 \tag{35}$$

여기서  $M(s) = H_R(s)/H_T(s)$ 로 기술특화교육인력 대비 연구개발인력의 비율이다.

표 1. 외생화 변수의 타 내생변수에 대한 직접효과

변수	$\Phi$	$s$	$g$
$\Phi$	<b>n.a</b>	$\partial s/\partial \Phi_{(32)} > 0$	$\partial g/\partial \Phi_{(33)} > 0$
$s$	$\partial \Phi/\partial s_{(31)} = 0$	<b>n.a</b>	$\partial g/\partial s_{(33)} > 0$
$g$	$\partial \Phi/\partial g_{(31)} = 0$	$\partial s/\partial g_{(32)} < 0$	<b>n.a</b>

### 2-2. 종합효과

앞에서 기술한 분석방법에 따라 이슈별 비교정태분석 결과에 대해 [표 1]을 활용하여 논의한다.

먼저, 학교교육의 경제성장률에 대한 영향, 기술특화교육에 대한 영향에 대해 분석한다. 식(32)와 식(33)을 활용하여 분석한 경제성장률에 대한 학교교육의 영향은 ‘명제2’로 정리할 수 있다.

#### 명제 2

학교교육의 경제성장효과는 “역-U”형이다.

구체적인 학교교육의 경제성장효과는 식(36)과 같다.

$$\frac{dg}{d\Phi} = \frac{1}{D} \left[ \frac{\partial g}{\partial \Phi}_{(33)} + \frac{\partial g}{\partial s}_{(33)} \frac{\partial s}{\partial \Phi}_{(32)} \right] \tag{36}$$

여기서  $D = 1 + (\partial g/\partial s_{(33)})(\partial s/\partial g_{(32)}) > 0$ 로 식(32)와 식(33)의 야코비안(Jacobian) 행렬식이다. 학교교육의 경제성장효과는 식(36)의 오른쪽 대괄호 내 첫 번째 항인 학교교육의 직접적인 인적자본형성효과와 두 번

제 항인 기술특화교육에 대한 영향을 통한 간접적인 인적자본형성효과로 구성된다. 직접효과는 [표 1]에서와 같이 ‘역-U’형이다. 간접효과는 기술특화교육에 대한 영향을 통해 나타나며 ‘역-U’형이다( $\partial g/\partial s_{(33)} > 0$ ,  $\partial s/\partial \Phi_{(32)} > 0$ 와  $\partial((\partial g/\partial s_{(33)})(\partial s/\partial \Phi_{(32)}))/\partial \Phi < 0$ 으로부터 알 수 있음). 이에 학교교육의 종합적인 경제성장효과는 직접효과와 간접효과의 상대적인 크기에 달려있지만,  $d^2g/(d\Phi)^2_{(33)} < 0$ 이기 때문에 ‘역-U’형이다. 그리고 식(36)으로부터 학교교육의 종합적인 경제성장효과를 고려한 경제성장극대화 학교교육수준  $\Phi^{***}$ 를 도출할 수 있으며 이는 식(37)을 충족시키는  $\Phi$ 의 값이다.<sup>12</sup>

$$\frac{\partial g}{\partial \Phi}_{(33)} = - \left( \frac{\partial g}{\partial s}_{(33)} \right) \left( \frac{\partial s}{\partial \Phi}_{(32)} \right) \quad (37)$$

$\Phi^{**}$ 에 미달할 경우 학교교육의 증가는 경제성장에 긍정적이지만 동 수준을 초과할 경우 학교교육투자의 증가는 오히려 경제성장에 부정적이다. ‘명제2’는 학교교육의 선형의 긍정적인 성장효과를 도출한 초기의 실증연구와는 달리 비선형의 성장효과를 도출하고 있는 최근의 실증연구의 결과와 일치한다.

한편, 식(37)을 활용하여 학교교육과 기술특화교육 모두가 인적자본형성의 원천인 경우 성장극대화 학교교육의 크기와 기술특화교육과의 관계를 분석할 수 있으며 이를 “명제 3”으로 정리할 수 있다.

**명제 3**

**경제성장극대화 학교교육의 크기는 기술특화교육에 대체적이다.**

앞 절에서 이미 직접적인 경제성장효과만을 고려한 성장극대화 학교교육수준은 기술특화교육과 독립적이라는 것을 분석하였다(식(34)). 하지만, 식(37)로 부터 학교교육의 종합적인 경제성장효과를 고려할 경우 성장극대화를 위한 학교교육의 크기는 기술특화교육의

크기에 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 성장극대화 학교교육의 크기에 대한 기술특화교육의 영향을 구체적으로 분석하면 다음과 같다. 식(37)에서  $\partial s/\partial \Phi_{(32)} > 0$ 이기 때문에 성장극대화 학교교육수준은  $\partial g/\partial s_{(33)}$ 의 크기에 달려있다. 그리고 앞 절에서 분석한 바와 같이 인적자본축적에 대한 기술특화교육의 기여도가 극대화되는 기술특화교육수준  $s = s^{**}$ 에서는  $\partial g/\partial s_{(33)} = 0$ 이며,  $s < s^{**}$ 에서는  $\partial g/\partial s_{(33)} > 0$ 이고  $s > s^{**}$ 에서는  $\partial g/\partial s_{(33)} < 0$ 이다. 따라서 기술특화교육수준  $s = s^{**}$ 일 경우에는 기술특화교육에 대한 영향을 통한 학교교육의 간접적인 경제성장효과가 사라지기 때문에 성장극대화 학교교육수준  $\Phi^{***}$ 는  $\partial g/\partial \Phi_{(33)} = 0$ 을 충족시키는  $\Phi$ 의 값으로 식(34)에서 도출한  $\Phi^{**} = q/(1+q)$ 이다. 반면에  $s < s^{**}$ 에서는  $\partial g/\partial \Phi_{(33)} < 0$ 이기 때문에 성장극대화 학교교육수준  $\Phi^{***} > \Phi^{**}$ 이며,  $s > s^{**}$ 에서는  $\partial g/\partial \Phi_{(33)} > 0$ 이기 때문에  $\Phi^{***} < \Phi^{**}$ 이다. 즉, 기술특화교육수준이 성장극대화수준일 경우 성장극대화를 위한 학교교육수준은 기술특화교육과는 독립적이며, 학교교육의 인적자본축적 탄력도  $q$ 에 의해서만 결정된다. 하지만, 기술특화교육수준이 성장극대화수준과 같지 않을 경우 성장극대화를 위한 학교교육수준은 기술특화교육수준에 영향을 받는다. 기술특화교육수준이 성장극대화수준에 미치지 못할 경우 성장극대화를 위해 학교교육투자는  $\Phi^{**}$ 에 비해 상대적으로 강화되어야 하며, 반면에 기술특화교육수준이 성장극대화 수준을 초과할 경우에는 성장극대화를 위해 학교교육투자는 상대적으로 감소되어야 한다. 즉, 기술특화교육투자가 상대적으로 미흡할 경우 성장극대화를 위해 학교교육투자는 상대적으로 강화되어야 하며 기술특화교육투자가 과도할 경우 학교교육투자는 상대적으로 감소되어야 한다.

“명제3”은 성장극대화측면에서 학교교육과 기술특화교육 간의 관계를 나타낸다. 특히, 이는 경제의 제한된 자원량을 고려할 때 성장측면에서 인적자본형성의 두 원천 간에 균형된 자원배분이 필요하며, 두 활동 모두에 대한 자원배분이 과도하거나 과소할 경우 경제성장에 부정적임을 의미한다. 그러면, 기업의 이윤극대화 측

<sup>12</sup> 기호  $A^{***}$ 는 직접 및 간접효과를 종합적으로 고려한 변수 “A”의 성장극대화 값이며,  $A^{**}$ 는 직접효과만을 고려한 성장극대화 값이며,  $A^*$ 는 균형 값을 나타낸다.

면에서 기술특화교육에 대한 학교교육의 영향은 어떻게 되는가? 성장극대화를 위해 요구되는 학교교육수준과 기업 이윤극대화를 위한 학교교육수준은 일치하는가? 먼저, 첫 번째 이슈에 대한 분석결과를 “명제 4”로 두 번째 이슈에 대한 결과를 “명제 5”로 정리한다.

**명제 4**  
**기술특화교육에 대한 학교교육의 영향은 “U”형이다.**

기술특화교육에 대한 학교교육의 영향에 대한 비교정태분석결과를 식(38)과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{ds}{d\Phi} = \frac{1}{D} \left[ \frac{\partial s}{\partial \Phi} \Big|_{(32)} + \left( \frac{\partial s}{\partial g} \Big|_{(32)} \right) \left( \frac{\partial g}{\partial \Phi} \Big|_{(33)} \right) \right] \quad (38)$$

식(38)의 오른 쪽 대괄호 내 첫 번째 항은 기술특화교육의 효율성 증가를 통한 기술특화교육투자에 대한 학교교육의 직접효과로 긍정적이다. 두 번째 항은 기술혁신에 대한 영향을 통한 기술특화교육투자에 대한 학교교육의 간접효과로(기술혁신의 창조적 파괴효과)  $\partial g / \partial \Phi \Big|_{(33)} > 0$ 이기 때문에 효과는 불명확하나  $\partial((\partial s / \partial g) \Big|_{(32)} (\partial g / \partial \Phi) \Big|_{(33)}) / \partial \Phi > 0$ 이기 때문에 ‘U’형이다. 따라서 기술특화교육에 대한 학교교육의 종합적인 효과는 학교교육의 수준에 따라 부호가 결정된다. 하지만,  $d^2s / (d\Phi)^2 \Big|_{(32)} > 0$ 이기 때문에 ‘U’형이다. 따라서 기업 이윤극대화측면에서 기술특화교육투자를 최소화하는 학교교육수준이 존재하며, 동 수준에 미달할 경우 학교교육의 증가는 기술특화교육투자를 감소시키며 동 수준을 초과할 경우 학교교육의 증가는 기술특화교육투자를 증가시킨다. ‘명제4’는 기업 이윤극대화 측면에서 기술특화교육에 대한 학교교육의 대체성 혹은 보완성은 학교교육의 수준에 달려있음을 의미한다. 학교교육량이 기업 이윤극대화 수준 보다 작을 경우 학교교육은 기술특화교육에 대체적이며, 상대적으로 학교교육량이 많을 경우 학교교육은 기술특화교육에 보완적이다.

한편, ‘명제2’, ‘명제3’과 ‘명제4’로부터 성장극대화를 위한 학교교육수준과 기업 이윤극대화를 위한 학교교육량이 동일하지 않을 수 있음을 추론할 수 있다. 그리

고 이에 대한 구체적인 논의결과는 “명제 5”와 같다.

**명제 5**  
**기업의 최적 기술특화교육투자를 위한 학교교육수준은 경제성장극대화를 위한 학교교육수준보다 작다.**

기업의 최적 기술특화교육투자를 위한 학교교육수준은 식(38)의  $ds/d\Phi \Big|_{(32)} = 0$ 으로 하는  $\Phi$ 의 값으로 식(39)를 만족시키는  $\Phi$ 의 값이다.

$$\frac{\partial s}{\partial \Phi} \Big|_{(32)} = - \left( \frac{\partial s}{\partial g} \Big|_{(32)} \right) \left( \frac{\partial g}{\partial \Phi} \Big|_{(33)} \right) \quad (39)$$

$\partial s / \partial \Phi \Big|_{(32)} > 0$ 이고  $\partial s / \partial g \Big|_{(32)} < 0$ 이기 때문에 식(39)의 등식이 성립하기 위해서는  $\partial g / \partial \Phi \Big|_{(33)} > 0$ 이어야 한다. 반면에 성장극대화를 위한 학교교육수준은  $\partial g / \partial \Phi \Big|_{(33)} = 0$ 이다. 따라서 학교교육의 ‘역-U’형의 경제성장효과를 고려할 때 기업의 최적 기술특화교육투자를 위한 학교교육량은 성장극대화 학교교육수준보다 작다.

“명제4”와 “명제5”로 부터 성장극대화 학교교육수준에서의 기술특화교육투자는 기업 이윤극대화를 위한 기술특화교육투자를 초과함을 알 수 있다. 달리 표현하면, 기업의 이윤극대화를 위해 요구되는 학교교육수준은 성장극대화를 위해 요구되는 학교교육수준보다 작음을 의미한다.

지금까지 학교교육의 경제성장효과 및 기술특화교육효과 등을 중심으로 논의하였다. 다음에는 기술특화교육의 경제성장효과를 분석하고 이를 학교교육의 경제성장효과와 비교한다. 이에 대한 분석결과는 각각 “명제 6”과 “명제 7”이다.

**명제 6**  
**기술특화교육의 경제성장에 대한 영향은 “역-U”형이다.**

식(31)과 식(33)을 통해 기술특화교육의 경제성장효과는  $dg/ds = \partial g / \partial s \Big|_{(33)} + (\partial g / \partial \Phi \Big|_{(33)}) (\partial \Phi / \partial s \Big|_{(31)})$ 으

로 도출할 수 있다. 하지만, 식(31)에서 학교교육투자는 기술특화교육과는 독립적으로 결정되기 때문에 위 식의 오른쪽 두 번째 항인 기술특화교육의 학교교육에의 영향을 통한 경제성장효과인 기술특화교육의 간접적인 경제성장효과는 나타나지 않는다. 이에 기술특화교육의 경제성장효과는 식(40)과 같이 직접효과만으로 나타나며, [표 1]에서 분석한 바와 같이 “역-U”형이다.

$$\frac{dg}{ds} = \frac{\partial g}{\partial s} \Big|_{(33)} \quad (40)$$

기술특화교육의 종합적인 경제성장효과를 극대화하는 기술특화교육의 수준  $s^{***}$ 는 직접적인 경제성장효과 극대화 수준인  $s^{**}$ 와 같으며, 이는 식(35)를 만족시키는  $s$ 의 값이며, 동 수준을 초과하여 기술특화교육을 강화하면 오히려 경제성장에 부정적이다.

한편, “명제 2”와 “명제 6”을 활용하여 학교교육의 경제성장효과와 기술특화교육의 경제성장효과의 상대적인 크기를 비교할 수 있으며, 이를 “명제 7”로 정리한다.

**명제 7**

**학교교육과 기술특화교육 간의 상대적인 경제성장효과는 경제성장극대화 수준 대비 이들 교육수준의 상대적인 크기에 의해 결정된다.**

- ①  $\Phi < \Phi^{***}$  과  $s < s^{***}$  일 경우,  $s/\Phi \geq (1-\rho s)/2$  이면 학교교육의 경제성장효과가 기술특화교육의 경제성장효과보다 항상 크다.
- ②  $\Phi < \Phi^{***}$  과  $s > s^{***}$  일 경우, 학교교육의 경제성장효과가 기술특화교육의 경제성장효과보다 크다.
- ③  $\Phi > \Phi^{***}$  과  $s < s^{***}$  일 경우, 기술특화교육의 경제성장효과가 학교교육의 경제성장효과보다 크다.

식(36)과 식(40)을 활용하여 학교교육의 경제성장효과와 기술특화교육의 경제성장효과의 상대적인 크기를 비교하면 식(41)과 같다.

$$\frac{dg}{d\Phi} - \frac{dg}{ds} = \left[ \frac{\partial g}{\partial \Phi} \Big|_{(33)} + \frac{\partial g}{\partial s} \Big|_{(33)} \frac{\partial s}{\partial \Phi} \Big|_{(32)} \right] - \left[ \frac{\partial g}{\partial s} \Big|_{(33)} \left( 1 + \frac{\partial g}{\partial s} \Big|_{(33)} \frac{\partial s}{\partial g} \Big|_{(32)} \right) \right] \quad (41)$$

위 식에서 보는 바와 같이 학교교육의 경제성장효과와 기술특화교육의 경제성장효과 간의 상대적 크기는 불명확하며, 성장극대화 수준 대비 학교교육량과 기술특화교육량의 크기에 따라 다르게 나타난다. 구체적으로 보면, 기술특화교육수준이 성장극대화수준 이상이고(이럴 경우 식(41)의 오른쪽 두 번째 항이 양(+)으로 됨) 학교교육수준이 성장극대화수준 이하인 경우(식(41)의 오른쪽 첫 번째 항이 양(+)으로 됨) 학교교육의 경제성장효과가 상대적으로 더 크며, 반대로 기술특화교육수준이 성장극대화수준 이하이고 학교교육수준이 성장극대화수준 이상인 경우에는 기술특화교육의 경제성장효과가 상대적으로 더 크다. 따라서 ‘명제 7’의 ②와 ③은 성장극대화 수준에 미달하는 교육을 상대적으로 강화하는 것이 경제성장률을 증가시킨다는 것으로 ‘명제 2’와 ‘명제 6’으로부터 충분히 추론할 수 있다. 하지만, 주목해야 할 것은 ‘명제 7’의 ①이다. 학교교육수준과 기술특화교육수준 모두 성장극대화 수준보다 작을 경우 학교교육 대비 기술특화교육의 상대적인 수준이 일정 수준이상이면, 즉  $s/\Phi \geq (1-\rho s)/2$ 이면, 경제성장률을 높이기 위해서는 상대적으로 학교교육을 강화하는 것이 필요하다는 것이다.<sup>13</sup>

한편, 식(31)과 식(32)를 활용하여 학교교육과 기술특화교육에 대한 기술혁신의 상대적인 영향을 분석할 수 있다. 즉, 기술혁신은 어떤 형태의 교육을 상대적으로 강화하는지를 “명제 8”로 정리할 수 있다.

**명제 8**

**기술혁신의 강화는 학교교육 대비 기술특화교육을 상대적으로 약화시킨다.**

13 분석의 편의를 위해 식(41)을 비율의 함수로 바꾸면,

$$\frac{dg/d\Phi}{dg/ds} = 2 \frac{\partial s}{\partial \Phi} \Big|_{(32)} = \frac{s}{\Phi} \frac{2}{1-\rho s} \text{으로 됨.}$$

따라서  $\frac{s}{\Phi} \geq \frac{1-\rho s}{2}$  이면,  $\frac{dg/d\Phi}{dg/ds} \geq 1$  일.

본 논문에서 기술혁신과 관련된 변수는 기술혁신을  $g_R$ 과 기술세대 간의 기술격차  $\delta$ 이다. 따라서 학교교육과 기술특화교육에 대한 두 기술혁신변수의 영향을 분석한다. 먼저, 학교교육에 대한 영향을 보면, 식(31)에서 학교교육투자는 기술혁신변수와는 독립적으로 결정된다. 따라서 기술혁신은 학교교육에 영향을 미치지 못한다.

$$\frac{d\Phi}{dg_R} = \frac{d\Phi}{d\delta} = 0 \quad (42)$$

한편, 식(32)로부터 기술혁신율의 증가는 기술교육투자를 감소시킨다.

$$\frac{ds}{dg_R} = \frac{\partial s}{\partial g_R}|_{(32)} < 0 \quad (43)$$

이는 이미 앞 절에서 분석한 기술혁신율의 창조적 파괴효과로 인해 기술특화교육의 한계비용이 상대적으로 증가하기 때문이다. 반면에 기술세대 간 기술격차의 기술특화교육에 대한 영향은 불명확하다. 식(32)와 식(33)을 활용하여 기술특화교육에 대한 기술세대 간 기술격차의 효과를 식(44)로 분석할 수 있다.

$$\frac{ds}{d\delta} = \frac{1}{D} \left[ \frac{\partial s}{\partial \delta}|_{(32)} + \left( \frac{\partial s}{\partial g}|_{(32)} \right) \left( \frac{\partial g}{\partial \delta}|_{(33)} \right) \right] > < 0 \quad (44)$$

식(44)에서 기술특화교육에 대한 기술세대 간 기술격차의 효과는 부정적인 직접효과,  $\partial s/\partial \delta|_{(32)} < 0$ 와 기술혁신율에 대한 영향을 통한 불명확한 간접효과  $(\partial s/\partial g|_{(32)})(\partial g/\partial \delta|_{(33)}) > < 0$ 로 되어 있다. 직접효과가 부정적인 이유는 기술세대 간 기술격차가 클 경우 기업 생산성 결정요소 중 기술특화교육에 대한 생산성의 의존도가 상대적으로 감소하기 때문이다. 기업 생산성 결정조건 식(13)에서 기술수준과 기술특화교육 간에 대체관계가 있는 것을 알 수 있다. 일정한 수준의 생산성을 위해서는 기술수준이 증가할수록 기업의 기술특화교육투자 동기는 상대적으로 감소한다. 한편, 간접효과가 불명확한 이유는 기술혁신율에 대한 기술세대 간 기술격차의 직접효과가  $\partial g/\partial \delta|_{(33)} > < 0$ 로 명확하지 않기 때문이다. 하지만, 식(33)으로부터 노동인력 대비

연구개발투입 인력의 비중이 클수록 기술혁신율에 대한 기술세대 간 기술격차 효과는 긍정적으로 되며 (식(33)에서  $\theta_R > (1-\alpha)$ 이면  $\partial g/\partial \delta|_{(33)} > 0$ 이고,  $\theta_R \leq (1-\alpha)$ 이면  $\partial g/\partial \delta|_{(33)} \leq 0$ 임을 알 수 있음.) 이에 기술특화교육에 대한 기술혁신율의 창조적 파괴효과,  $\partial s/\partial g|_{(32)} < 0$ 가 강화되어 기술혁신율에 대한 영향을 통한 기술세대 간 기술격차의 기술특화교육에 대한 간접효과는 부정적으로 된다. 따라서 직접효과와 간접효과를 종합하면 기술혁신의 강화는 기술특화교육을 위축시킨다. 이는 한편으로 인적자본형성의 원천으로서 학교교육의 중요성이 기술혁신의 강화될수록 상대적으로 더욱 강화된다는 것을 의미한다.

## V. 결론

학교교육과 기술교육은 두 핵심적인 인적자본임에도 불구하고 경제성장의 동력으로서 인적자본에 대한 연구는 주로 학교교육 중심이고 기술교육에 대한 연구는 상대적으로 미미하다. 한편, 최근의 연구는 초기 연구와는 달리 학교교육의 경제성장효과가 비선형적이거나 혹은 통계적으로 유의성이 없거나 미미하다는 결과를 도출하고 있다. 이러한 연구결과는 경제성장의 동력으로서 인적자본의 중요성과 인적자본형성에 대한 다양한 투자나 활동의 기여도 등을 고려할 때 인적자본의 경제성장효과에 대한 분석의 정교성을 높이기 위해서는 학교교육 외에도 다양한 형태의 인적자본을 포괄적으로 고려한 연구의 필요성을 시사한다.

본 논문은 가계의 학교교육투자와 기업의 기술특화교육투자에 대한 의사결정을 제2세대 내생적 기술기반 성장모형에 동시에 도입한 통합모형을 구축하고 이들 교육과 기술혁신 간의 상호작용과 이로 인한 경제성장효과를 이론적으로 분석하였다. 주요 결과는 다음과 같다. 첫째, 학교교육과 기술특화교육의 각각의 경제성장효과는 비선형의 “역-U”형으로 성장극대화를 위한 각각의 최적 수준이 존재하며, 동 수준을 초과할 경우 오히려 경제성장에 부정적이다. 둘째, 두 교육 간의 성장효과의 상대적 크기는 각각의 성장극대화 수준 대비 상

대적인 크기에 달려있다. 특히, 두 교육의 수준이 모두 성장극대화 수준에 미치지 못할 경우, 학교교육의 성장효과와 기술특화교육의 성장효과 간의 상대적인 크기를 결정하는 두 교육 수준 간의 비율이 존재하며, 동 비율 대비 기술특화교육의 수준이 더 클 경우 학교교육을 더 강화하는 것이 성장률을 더 크게 증가시킬 수 있다. 셋째, 성장극대화를 위한 학교교육의 수준은 기업 이익극대화를 위한 학교교육의 수준 보다 항상 크다. 따라서 기업이 요구하는 학교교육의 수준은 경제성장측면에서 요구되는 학교교육의 수준보다 작다. 또한, 가계효용극대화를 위한 학교교육수준의 결정인자와 성장극대화를 위한 학교교육수준의 결정인자가 다르기 때문에 가계효용극대화 학교교육수준과 성장극대화 학교교육수준은 일치하지 않는다. 넷째, 성장극대화를 위한 학교교육의 수준은 기술특화교육에 대체적이다. 반면에 학교교육의 기술특화교육에 대한 영향은 “U”형으로 기업 이익극대화 측면에서는 기술특화교육에 대한 학교교육의 대체성과 보완성은 학교교육의 수준에 의해 결정된다. 기업이 이익극대화를 위한 학교교육수준 대비 학교교육수준이 낮을 경우에는 학교교육은 기술특화교육에 대체적이며, 상대적으로 높은 수준의 학교교육은 기술특화교육에 보완적이다. 다섯째, 기술혁신이 강화될수록 기술특화교육 대비 학교교육이 더욱 강화된다. 따라서 교육의 포트폴리오 구성은 기술혁신이 강화될수록 학교교육을 상대적으로 강화한다.

이러한 분석결과는 현실경제에서 기술혁신, 학교교육 그리고 기술특화교육 간의 상호작용과 경제성장에 있어서 이들의 역할에 대한 매우 중요한 시사점을 제공한다. 가령, 경제성장측면에서는 학교교육과 기술교육 강화 자체의 긍정적인 경제성장기여도 외에도 이로 인해 초래되는 다른 활동의 경제성장기여도 감소를 동시에 고려한 균형된 자원배분이 필요하다는 점이다. 또한, 성장극대화를 위한 학교교육수준이 기술특화교육에 대체적이라는 점은 학교교육과 기술교육을 종합한 총 교육량의 크기가 제한적이라는 것이다. 이외에도 기술혁신 강화로 인해 기술교육에 비해 학교교육이 상대적으로 강화된다는 점과 가계 효용극대화 및 기업 이익극대화를 위해 필요로 하는 학교교육수준과 성장극대화를

위해 필요한 학교교육수준 간의 괴리는 공공교육에 대한 정부의 정책적 지원 여부에 대한 중요한 논리적 근거를 제공한다고 하겠다.

한편, 인적자본과 기술혁신 간의 상호관계와 인적자본의 경제성장효과에 대한 분석을 한층 풍부하게 하고 현실경제에 대한 중요한 시사점을 제공할 수 있음에도 불구하고 논의된 이슈에 대해 이론적인 접근만을 한 점에 본 연구의 한계가 있다. 이에 본 연구의 주요 결과에 대한 실증연구를 향후 추가적인 과제로 진행하고자 한다. 또한, 가계효용극대화를 위한 학교교육수준과 성장극대화를 위한 학교교육수준 간의 괴리, 기업이 이익극대화를 위한 기술교육수준과 성장극대화를 위한 기술교육수준 간의 괴리, 그리고 성장극대화 측면에서 학교교육과 기술교육 간의 상호관계 등에 대한 결과는 성장극대화 측면에서 정부교육정책의 최적성에 대한 연구도 본 논문의 틀에서 가능하다는 것을 시사한다.

#### 참 고 문 헌

- [1] C. I. Jones and P. M. Romer, “The New Kaldor Facts: Ideas, Institutions, Population, and Human Capital,” *American Economic Journal: macroeconomics*, Vol.2, No.2, pp.224-245, 2010.
- [2] H. W. Tan, “Technical Change and Its Consequences for Training and Earnings,” Unpublished manuscript, 1989.
- [3] Weinberg, *Experiance and Technology Adoption*, IZA Discussion Paper, 1051, 2004.
- [4] CEDEFOP, “Job-related Adult Learning and Continuing Vocational Training in Europe : A Statistical Picture,” *Research Paper*, Vol.48, 2015.
- [5] M. S. Delgado, D. J. Henderson, and C. F. Parmeter, “Does Education Matter for Economic Growth?,” *IZA Discussion Paper*, 7089, 2012.
- [6] R. J. Barro, “Education and Economic Growth,” *Annals of Economics and Finance*, Vol.14-2,

- No.A, pp.277-304, 2013.
- [7] R. J. Barro, "Economic Growth in a cross-section of countries," *Quarterly Journal of Economics*, Vol.106, pp.407-443, 1991.
- [8] N. G. Mankiew, D. Romer, and D. N. Weil, "A Contribution to the Empirics of Economic Growth," *Quarterly Journal of Economics*, Vol.107, pp.407-437, 1992.
- [9] R. J. Barro, "Human Capital and Growth," *American Economic Review: Papers and Proceedings*, Vol.91, pp.12-17, 2001.
- [10] S. N. Durlauf, A. Kourtello, and A. Minkin, "The Local Solow Growth Model," *European Economic Review*, Vol.45, pp.928-960, 2001.
- [11] J. R. W. Temple, "Generalization that aren't? Evidence on Education and Growth," *European Economic Review*, Vol.45, pp.905-918, 2001.
- [12] P. Kalaitzidakis, T. P. Mamuneas, A. Savvides, and T. Stengos, "Measure of Human Capital and Nonlinearities in Economic Growth," *Journal of Economic Growth*, Vol.6, pp.229-254, 2001.
- [13] X. Sala-i-Martin, G. Doppelhofer, and R. I. Miller, "Determinants of long-term growth: a Bayesian averaging of classical estimates(BACE) approach," *American Economic Review*, Vol.94, pp.813-835, 2004.
- [14] E. Maasoumi, J. S. Racine, and T. Stengos. "Growth and convergence: a profile of distribution dynamics and mobility," *Journal of Econometrics*, Vol.136, pp.483-508, 2007.
- [15] S. N. Durlauf, A. Kourtellos, and C. M. Tan, "Are any growth theories robust?," *Economic Journal*, Vol.118, pp.329-346, 2008.
- [16] D. J. Henderson, "A test for multimodality of regression derivatives with an application to nonparametric growth regressions," *Journal of Applied Econometrics*, Vol.25, pp.458-480, 2010.
- [17] D. K. Acemoglu, "Training and Innovation in an Imperfect Labor Market," *The Review of Economic Studies*, Vol.64, No.3, pp.445-464, 1997.
- [18] T. S. Eicher and S. C. Kim, "Market Structure and Innovation: Endogenous Productivity, Training and Market Shares," in M. Boldrin, Chen, B.L, and Wang, P.(eds), *Human Capital, Trade and Public Policy in Rapidly Growing Economies*, pp21-41 NY Edward Elgar, 2004.
- [19] D. Krueger and K. B. Kumar, "Skill Specific rather than General Education: A Reason for US-Europe Growth Differences," *Journal of Economic Growth*, Vol.9, No.2, pp.167-207, 2004.
- [20] A. Van Zon and R. Antonietti, "Education and Training in a Model of Endogenous Growth with Creative Wear-and Tear," *DIME Final Conference*, 2011.
- [21] 심재희, "인적자본의 축적과 경제성장," *산업경제연구*, 제13권, 제2호(상), pp193-208, 2000.
- [22] R. E. Lucas, "On the Mechanics of Economic Development," *Journal of Monetary Economics*, Vol.22, No.1, pp.2-42, 1988.
- [23] 김진영, "국제자료를 통해 본 인적자본과 경제성장," *무역학회지*, 제28권, 제5호, pp.103-127, 2003.
- [24] 김선재, 이영화, 임광혁, "인적자본형성으로서의 교육투자와 경제성장과의 관계: OECD 비영어권 국가를 중심으로," *한국콘텐츠학회논문지*, 제10권, 제3호, pp.315-325, 2010.
- [25] 한만경, "고등교육에 대한 인적자본투자가 경제성장, 수출 및 교역조건에 미치는 영향에 관한 실증분석," *사회과학연구*, 제20권, 제2호, pp184-212, 2013.
- [26] 김상춘, "내생성장모형에서의 기술혁신과 기술특화교육의 상호작용과 경제성장효과," *산업경제연구*, 제29권, 제6호, pp.2017-2135, 2016.

저 자 소 개

김 상 춘(Sang Choon Kim)

정회원



- 1999년 8월 : 워싱턴대(시애틀) 경제학(박사)
- 2000년 4월 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 현재 : 영남대 무역학부 부교수

<관심분야> : 경제성장, 국제경제, 기술경제

최 봉 호(Bong-Ho Choi)

정회원



- 1997년 8월 : 부산대학교 경제학(박사)
- 1998년 1월 : 부산광역시 정책개발실 연구위원
- 현재 : 동의대 무역학과 부교수

<관심분야> : 국제무역, 국제통상정책, 해운경제