

## 인구가 감소하는 성장모형과 한국 경제에의 적용\*

이 종 화\*\*

**논문 초록** 한국 경제가 앞으로 인구가 감소하면서 경제성장률이 지속적으로 하락하게 되고 장기적으로는 제로 또는 마이너스 성장을 할 것이라는 전망이 나온다. 본 연구는 인구증가율이 마이너스인 경제의 균형 경제성장경로를 분석한다. 성장모형에 따르면 경제성장률은 인구증가율에 비례하여 결정되지 않는다. 물적자본 축적, 물적자본과 노동의 대체 정도, 인적자본 축적률과 기술진보율 등 다른 요소들이 지속적인 성장에 매우 중요하다. 한국의 경제성장률 예측을 위해 통계청의 장래인구추계를 가정하고 2060년까지 성장모형을 시뮬레이션하였다. 파라미터의 값에 따라 다른 결과가 나왔으나, 2050~2060년에 연평균 GDP 증가율은 0.2~1.5%, 일인당 GDP 증가율은 1.5~2.9%의 값을 갖는 것으로 추정되었다. 한국 경제가 노동력의 질적 향상과 기술 진보에 힘쓰고 물적자본 투자율을 높게 유지하면서 부족한 노동을 자본과 기술로 대체할 수 있으면 높은 성장경로를 따라 지속 발전할 수 있다.

**핵심 주제어:** 경제성장, 기술진보, 인구구조, 인적자본

**경제학문헌목록 주제분류:** J11, J24, O33, O41, O53

투고 일자: 2023. 2. 7. 심사 및 수정 일자: 2023. 2. 24. 게재 확정 일자: 2023. 3. 8.

\* 논문 작성을 위한 자료를 수집하고 분석을 도와준 송은비 교수와 초고를 읽고 조언을 해준 어윤종 교수에게 감사드린다. 이 논문은 고려대학교 연구비의 지원을 받아 수행되었다(K2210021).

\*\* 고려대학교 경제학과 특훈교수, e-mail: jongwha@korea.ac.kr

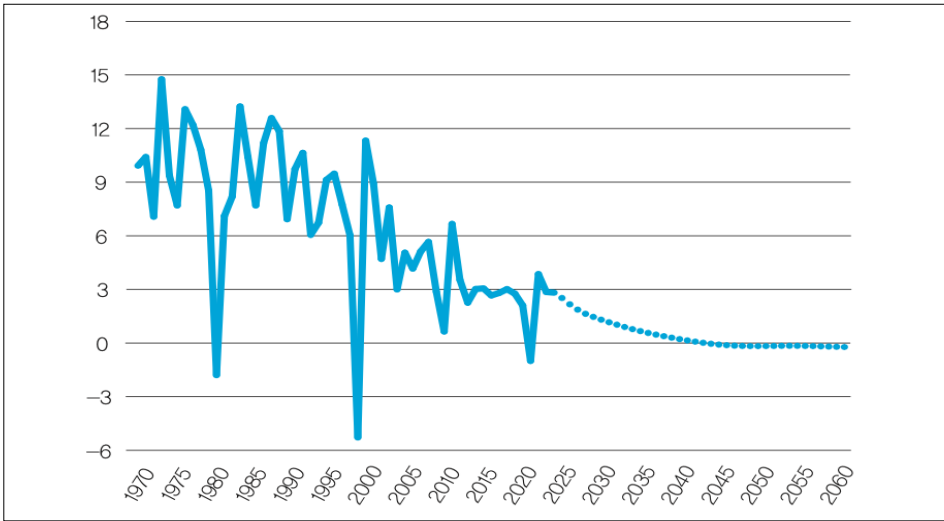
## I. 서 론

한국은 초저출산이 지속되고 총인구가 감소하기 시작했다. 앞으로도 인구가 계속 감소할 것으로 예상된다. 인구가 계속 감소하면 경제성장은 어떻게 될까? 인구가 감소하고 생산가능인구가 줄어들면 한국경제가 저성장을 벗어나지 못할 것이라는 주장이 나온다. 경제성장률이 0에 이르고 소득이 정체되며 결국은 마이너스 성장으로 경제 규모가 축소될 것이라는 예측이 있다.

〈Figure 1〉은 1970년 이후 경제성장률(실질 GDP 증가율)의 추이와 경제협력개발기구(OECD)의 예측치를 보여 준다. 외환위기 이후(2000~2019년)의 평균 경제성장률은 4.1%로 외환위기 이전(1970~1999년)의 경제성장률인 8.9%에 비해 크게 하락하였다. 팬데믹 이전 5년간(2015~2019)의 평균 경제성장률은 2.8%로 저성장 추세가 가속되고 있다. OECD(2021)는 한국의 경제성장률이 2023년부터 10년간은 연평균 1.8%로 낮아지고 2033년부터는 0%대를 유지하다가 2047년부터는 마이너스가 될 것으로 예측하였다. 글로벌 투자은행 골드만 삭스는 한국의 경제성장률이 2020년대의 2%에서 2040년대 0.8%, 2050년대 0.3%, 2060년대에는 -0.1%로 떨어질 것으로 전망하였다(Daly and Gedminas, 2022). KDI도 인구구조 변화로 우리 경제의 성장세가 점차 둔화할 것으로 예측하였다(김지연 외, 2022). 이 연구는 한국 경제가 총요소생산성 증가율을 1%로 유지할 것으로 가정한다. 이러한 가정에, 경제성장률이 2020년대 2%대에서 2050년에는 0.5%로 하락하고 1인당 GDP 증가율은 1.3%일 것으로 전망한다. 총요소생산성이 더 낮아지면 경제성장률이 더 많이 하락할 수 있다.

기존 연구들은 주로 성장회계식을 사용하여 인구 감소가 노동투입에 미치는 영향을 중심으로 장기경제전망을 하였다. 그러나 인구구조의 변화는 노동력뿐 아니라 자본투입과 기술진보에도 영향을 미친다는 것을 감안하면, 실제로 경제성장에 미치는 영향은 좀 더 복잡하다. 예를 들어 노동력이 감소하였을 때 기업은 노동을 대체하기 위해 물적자본 투입을 늘리며 자본과 기술 집약적인 산업이 발전할 수 있다. 반면에 노동력 감소로 인해 물적자본의 생산성이 하락하여 기업이 물적자본 투자를 줄일 수 있다. 인구가 감소하면 시장규모가 축소되기 때문에 기술혁신을 위한 투자 역시 줄 수 있다.

〈Figure 1〉 Trend and Projection of Annual GDP Growth Rates (%)

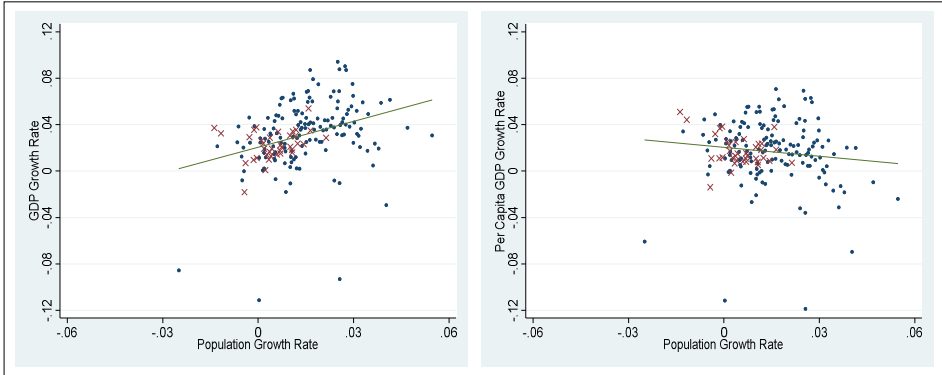


Source: World Bank, World Development Indicators. Forecasts are sourced from OECD (2021).

〈Figure 2〉에서 보면 전 세계 183개 국가에서 2010~2019년 기간의 연평균 인구 증가율은 연평균 GDP 증가율과는 양의 관계가 있다. 또한 일인당 GDP 증가율과는 통계적으로 유의하지 않은 약한 음의 관계가 있다. 상관관계가 두 변수 간의 인과관계를 의미하지 않지만, 인구증가율이 1%포인트 높은 경제에서 GDP 증가율은 0.74%포인트 높았다. 그러나 인구증가율이 낮고 경제성장률이 높거나 반대로 인구증가율이 높고 경제성장률이 낮은 국가도 많았다. 이는 인구가 변화해도 생산에 투입되는 노동량이 비례하여 변하지 않기 때문이다. 노동량은 생산가능인구의 경제활동참가율, 취업률, 노동시간에 의해 결정된다. 그리고 경제성장률은 노동력뿐 아니라 물적자본량과 기술(생산성)의 변화에 영향을 받는다.<sup>1)</sup>

1) 인구감소를 우리보다 더 일찍 겪고 있는 일본의 경우 2010~2019년 기간에 인구증가율은 -0.11%, GDP 증가율은 1.21%였다. 2000~2008년 기간에는 인구증가율은 0.14%, GDP 증가율은 1.29%였다.

〈Figure 2〉 The Association of Population Growth Rate with GDP Growth Rate and Per Capita GDP Growth Rate across Countries (Averages of 2010~2019)



Note: In the figure, dots represent countries. OECD countries are indicated by x. The simple regression estimation between variables is as follows (standard errors of the coefficients in parentheses):

$$\text{GDP growth rate} = 0.021 (0.003) + 0.744 (0.154) * \text{Population growth rate} \quad (R^2 = 0.114).$$

$$\text{Per capita GDP growth rate} = 0.021 (0.003) - 0.257 (0.154) * \text{Population growth rate} \quad (R^2 = 0.015).$$

Source: The Penn World Table 10.0 (Feenstra et al., 2015).

본 연구는 인구가 감소하는 경제에서 균형 경제성장경로를 성장모형을 통해 분석한다. 이것을 한국 경제에 적용하여 2060년까지 장기경제성장률을 분석한다. 성장모형에 따르면, 균형 경제성장경로에서 노동력의 감소만으로 경제성장률이 비례하여 하락하지 않는다. 균형 성장률은 내생적으로 결정되는 물적자본 축적률, 인적자본 축적률, 기술진보율에 의하여 결정된다. 생산함수의 특성에 따라 물적자본이 노동을 대체하는 정도가 다르고 이에 따라 노동력이 감소할 때 물적자본 축적률은 달라진다.

인구증가율이 마이너스인 경우를 성장모형에 명시적으로 도입한 연구는 많지 않다. Christiaans(2011), Sasaki and Hoshida(2017), Sasaki(2019), Jones(2022)는 인구증가율이 마이너스일 때, 생산함수의 특성, 저축률, 물적자본의 감가상각률 등 여러 파라미터의 값에 따라 균형상태(steady-state)에서 지속적인 성장이 이루어지거나 정체를 할 수 있음을 보여 준다.

내생적 경제성장모형에서 인구의 크기는 기술진보율을 결정하고 장기 경제성장에 중요한 역할을 한다. Romer(1990)와 Kremer(1993)의 내생적 성장모형에서 인

구 규모가 클수록 기술진보율이 높다. 그러나 실제 자료를 분석한 후속 연구에 따르면 인구 규모가 늘었을 때 경제성장률이 이에 비례하여 상승하는 규모효과가 발생하지 않는다. Jones (1995)는 인구 규모가 아닌 인구증가율이 기술진보율을 결정하는 내생적 기술진보 모형을 제시하였다. 또한 최근 연구는 인구(노동력) 증가율이 신규 기업의 시장 진입을 결정하는 중요한 요인임을 보여 준다(Karahan et al., 2019; Hopenhayn et al., 2022).

본 연구는 기존 연구에 기초하여 인구증가율이 마이너스인 경우를 명시적으로 도입하고 인구 변화가 기술진보에 영향을 미치는 효과를 고려한 성장모형을 제시한다. 모형에서는 물적자본과 인적자본의 축적도 균형경제성장 경로에 상당한 영향을 미친다.

한국 경제에 맞추어 성장모형의 파라미터 값을 대입하고 시뮬레이션을 하여 앞으로 2060년까지 GDP와 일인당 GDP 증가율은 어떻게 변화해 갈지를 분석할 것이다. 균제상태가 아닌 이행경로에서 균형성장경로를 분석하는 점에서 기존 연구와 차별된다. 한국 경제는 아직 미국과 같은 선진국의 균제상태에 이르지 못했다. 세계은행의 자료에 따르면 2021년 한국의 구매력(PPP)을 조정한 1인당 GDP는 47,243달러이며 미국은 69,288달러이다. 앞으로도 상당한 기간에 걸쳐 한국 경제가 이행경로에 있을 것으로 예상할 수 있다. 따라서 앞으로 40년에 걸친 이행경로에서 노동력이 지속적으로 감소할 때 물적자본과 인적자본의 축적, 기술의 향상이 어떻게 한국경제의 성장률을 변화시키는지 살펴보고자 한다.

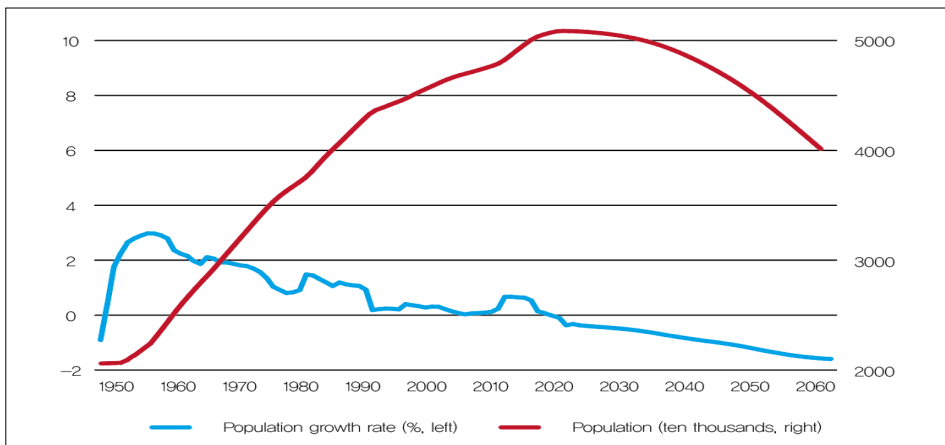
## II. 한국의 인구구조 변화

한국은 한국전쟁 이후 출산율이 증가하면서 인구가 빠르게 늘었다. 당시 태어난 베이비 붐 세대가 1970년대부터 15세 이상이 되면서 생산가능인구가 빠르게 증가했다. 풍부한 양질의 노동력은 한국 경제의 고도성장에 크게 기여하였다(Han and Lee, 2020).

그러나 이제 급속한 저출산과 고령화, 인구 감소로 한국 경제가 상당한 도전을 받고 있다. 1980년대 중반부터 합계출산율은 1.5 이하로 낮아졌다. 2020년부터 인구의 절대 규모가 감소하기 시작했다. UN 추계에 따르면 한국의 총인구는 2022년의 5,182만 명에서 2060년에는 4,087만 명으로 줄어든 것으로 예상된다(Figure

3>). 인구증가율은 2022~2030년 평균  $-0.13\%$ 에서 2050~2060년에는  $-1.1\%$ 로 하락할 것으로 예상된다. 합계출산율은 앞으로 상승할 것으로 예상되지만, 2060년에 1.25로 여전히 저출산을 벗어나지 못한다(〈Figure 4〉). 65세 이상 인구 비율을 계속 늘어나 2060년에는 44%에 달할 것으로 예측된다.

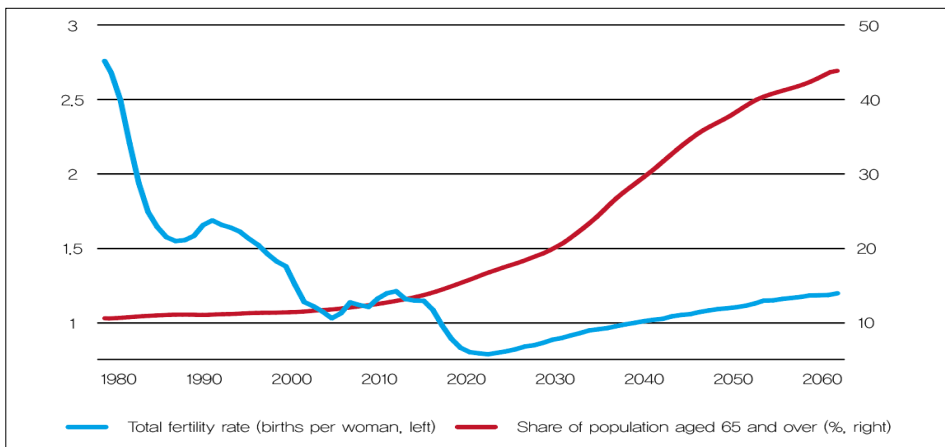
〈Figure 3〉 Trend and Projection of Total Population and Population Growth Rate, 1950~2060



Note: Forecasts are the UN's medium scenario projection.

Source: UN World Population Prospects 2022 (<https://population.un.org/wpp>).

〈Figure 4〉 Total Fertility Rate and Share of Population Aged 65 and Over, 1980~2060



Note: Forecasts are the UN's medium scenario projection.

Source: UN World Population Prospects 2022 (<https://population.un.org/wpp>).

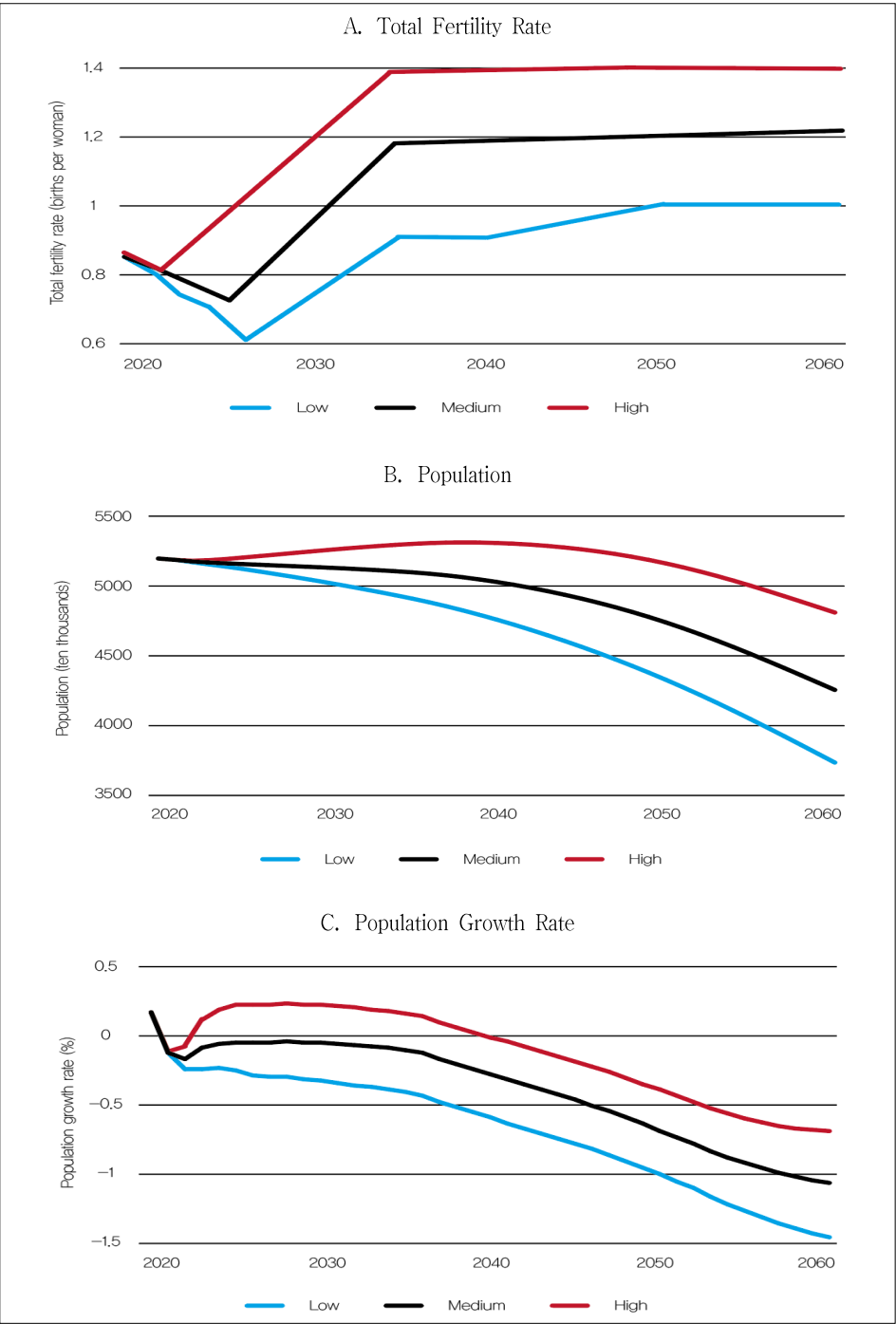
통계청은 인구변동요인별(출생, 사망, 국제이동)로 가정을 조합하여 고위, 중위, 저위의 세 가지 추계치를 발표했다. 〈Figure 5〉는 2020-2060 기간의 출산율, 인구 규모, 인구증가율의 세 가지 추계치를 보여 준다. 고위, 중위, 저위 세 가지 시나리오에 따르면 합계출산율이 앞으로 상승하여 각각 1.4, 1.2, 1.0으로 안정적인 값에서 머물 것으로 예상된다. 총인구는 2060년까지 고위, 중위, 저위 시나리오 별로 각각 4,805만, 4,262만, 3,752만으로 감소할 것으로 예측된다. 인구가 감소하는 속도는 점점 빨라져서 인구증가율이 2060년에 고위, 중위, 저위 시나리오에서 각각 -0.80%, -1.21%, -1.64%로 떨어진다.

인구가 감소하면 생산가능인구(만15-64세 인구)가 감소하고 노동력도 따라서 감소할 것으로 예상된다. 그러나 노동력을 총취업자 수로 좀 더 정확하게 계산하려면 연령, 성, 교육 수준 별로 인구구조의 변화와 취업률의 변화를 고려해야 한다. 예를 들어 여성의 노동시장 참가율과 취업률이 높아지면 노동력이 증가한다. 또한 65세 이상 인구가 계속 늘어나면서 고령층의 취업률에 따라 전체 취업자 수가 달라진다. 현재는 고령층의 취업률이 늘어나는 추세이다. 통계청 자료에 따르면 65~79세 고령층의 고용률은 2015년 37.6%에서 2022년에는 43.9%로 늘어났다.

기존 연구들은 여성노동자와 고령층의 취업률에 따라 노동공급의 규모가 달라지고 이에 따라 경제성장이 달라질 수 있음을 보인다. 김선빈 외(2021)에 따르면 인구구조변화로 생산연령인구가 감소해 총생산이 많이 감소할 전망이다. 하지만 여성노동의 양적 확대와 질적 개선이 이루어지는 경우 생산량 감소의 상당한 부분을 상쇄할 수 있다. 이철희·이지은(2017), 이철희(2022)는 노동공급규모 감소 정도는 인구구조의 변화뿐만 아니라 성별·연령별로 경제활동참가율, 실업률, 근로시간의 변화와 각 그룹의 생산성에 달려 있음을 보여 준다. 여성과 고령자의 노동시장참가율이 개선되고 생산성을 높일 수 있으면 인구 감소가 생산량에 미치는 부정적 효과의 많은 부분을 해소할 수 있다고 주장한다.

한국 경제에서 여성과 고령자의 노동시장참가율이 높아지면 인구 감소에 따른 노동력 감소를 일정 부분 상쇄할 수 있을 것이다. 노동력의 변화보다는 다른 생산요소의 축적과 생산 기술의 변화에 초점을 두기 위해, 본 연구에서는 노동력이 인구와 같은 율로 계속 감소할 것으로 단순하게 가정한다. 앞으로 2060년까지 통계청의 저위(저출산) 시나리오에 따라 인구나 노동력이 같은 증가율로 변화한다고 가정한다.

(Figure 5) Population Projections by Scenario, 2020-2060



Source: Statistics Korea, Population Projections (2021.12) (<https://kosis.kr/index/index.do>).



### Ⅲ. 인구가 감소하는 경제의 성장모형

#### 1. 인구 감소를 고려한 솔로우 성장모형

한 경제의 생산함수를 다음과 같이 정의하자.

$$Y_t = F(K_t, A_t h_t L_t) \quad (1)$$

단,  $Y_t$ 는 총생산량이고,  $K_t$ 와  $L_t$ 는 각각 생산요소인 물적자본과 노동을 나타내며  $A_t$ 는 기술수준,  $h_t$ 는 일인당 인적자본을 나타낸다. 신고전파 생산함수는 한계생산 감소의 법칙을 따르며, 규모에 대한 보수불변(일차동차성)의 특징을 갖는다.

인구증가율은 노동력 증가율과 같다고 가정한다. 인구증가율  $n_t$ 는 매기마다 0 또는 음의 값을 가지며 인구가 지속적으로 감소하는 것을 보인다. 다만 장기균형으로 가면 인구증가율이 음의 값으로 일정하다고 가정한다.

$$\dot{L}_t \equiv \frac{dL_t}{dt} = n_t L_t, \quad n_t \leq 0, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} n_t = n^{ss} < 0 \quad (2)$$

단순한 모형에서 기술진보율은 외생적으로 일정하게 주어져 있다고 가정하자.

$$\dot{A}_t = \frac{dA_t}{dt} = g A_t \Leftrightarrow A_t = A_0 e^{gt} \quad (3)$$

단순한 모형에서 일인당 인적자본은 매기마다 1의 값으로 일정하다고 가정하자.

$$h_t = \bar{h} = 1 \quad (4)$$

---

2) 이 식을 풀면  $L_t = L_0 e^{\int_0^t n_\tau d\tau}$  ( $n_\tau \leq 0, \lim_{t \rightarrow \infty} n_t = n^{ss} < 0$ )로 구해진다.

물적자본의 저축률(투자율)은  $0 < s < 1$ 로 일정하고 감가상각률은  $\delta > 0$ 로 일정한 경우를 가정하자.  $K_t$ 의 시간에 따른 동태적 변화는 다음 식에 의해 결정된다.

$$\dot{K}_t = s Y_t - \delta K_t \quad (5)$$

위의 식을 고쳐쓰면  $K_t$ 와  $K_t/L_t$ 의 성장률은 다음 식으로 유도된다.

$$\frac{\dot{K}_t}{K_t} = s \left( \frac{Y_t}{K_t} \right) - \delta \quad (6)$$

$$\frac{(K_t/L_t)}{(K_t/L_t)} = s \left( \frac{Y_t}{K_t} \right) - (n_t + \delta) \quad (7)$$

(7)식에서 인구증가율  $n$ 의 값은 두 가지 경로를 통해 일인당 물적자본량의 성장률에 영향을 미친다. 우선  $n$ 이 마이너스이면 각 노동자에 일정하게 배분해주는 물적자본이 남으면서 일인당 물적자본량이 증가한다. 그리고 인구가 감소하여 일인당 물적자본량이 증가하면 물적자본의 생산성( $Y_t/K_t$ )이 낮아진다. 이 경로는 일인당 자본량의 증가율을 낮춘다.

신고전과 생산함수는 유효노동력( $AL$ )을 사용하여 유효노동력당 물적자본량( $k$ )과 유효노동력당 생산량( $y$ )의 관계식으로 고쳐 쓸 수 있다.

$$y_t = f(k_t), \quad y_t \equiv \frac{Y_t}{A_t L_t}, \quad k_t \equiv \frac{K_t}{A_t L_t}$$

(7)식을 유효노동력당 물적자본량의 동태적 변화식으로 고쳐쓰면,

$$\dot{k}_t/k_t = s f(k_t)/k_t - (n_t + g + \delta) \quad (8)$$

이 경제가 일인당 물적자본량 또는 유효노동력당 물적자본량이 적은 초깃값에서 출발하여 점차 물적자본이 빠르게 축적되는 경우를 가정하자. (8)식에서 보면, 유효노동력당 물적자본량의 평균생산이 감소하면서 유효노동력당 물적자본량의 증가

속도(성장률)는 감소한다. 경제의 장기균형인 균형상태에서는 유효노동력당 물적자본량( $k$ )과 유효노동력당 생산량( $y$ )의 증가율은 0이다. 따라서 균형상태에서 일인당 물적자본량과 일인당 생산량은 기술진보율( $g$ )의 속도로 성장한다. 생산량( $Y$ )의 증가율인 경제성장률은 균형상태의 노동력 증가율( $n^{ss}$ )과 기술진보율의 합으로 결정된다.

경제성장은 장기 균형으로 수렴해가는 이동경로로 설명할 수 있다. 이 경로에서 일인당 물적자본량과 일인당 생산량의 증가율이 낮아지고 경제성장률도 낮아진다. 이 경제의 수렴속도는 균형상태 근방에서 테일러 전개를 하면 다음과 같이 구할 수 있다(이종화·김진일, 2021, pp. 43-44).

$$\dot{k}_t = -\beta(k_t - k^{ss}) \quad (9)$$

$$\text{단, } \beta = \left[ 1 - \frac{f'(k^{ss})k^{ss}}{f(k^{ss})} \right] (n^{ss} + g + \delta) = (1 - \alpha(k^{ss}))(n^{ss} + g + \delta)$$

파라미터  $\beta$ 는 수렴속도이다.  $\beta$ 의 값이 클수록  $k_t$ 는 균형상태의 유효노동력당 물적자본량( $k^{ss}$ )를 향하여 빠르게 수렴한다.  $\alpha(k^{ss})$ 는 균형상태에서 자본의 몫이다.  $n$ 의 값이 작으면 수렴속도가 낮아지고 균형상태에 이르는 시간이 더 오래 걸린다.

(1)의 생산함수를 시간( $t$ )으로 미분하면 생산량의 증가율, 즉 경제성장률을 각 생산요소인 자본( $K$ ), 노동( $L$ ), 기술( $A$ ) 증가율의 합계로 분해하는 성장회계 식을 구할 수 있다(이종화·김진일, 2021, pp. 47).

$$\frac{\dot{Y}_t}{Y_t} = \left( \frac{\partial Y_t}{\partial K_t} \frac{K_t}{Y_t} \right) \frac{\dot{K}_t}{K_t} + \left( \frac{\partial Y_t}{\partial (A_t L_t)} \frac{A_t L_t}{Y_t} \right) \left( \frac{\dot{L}_t}{L_t} + \frac{\dot{A}_t}{A_t} \right)$$

$$\Rightarrow \frac{\dot{Y}_t}{Y_t} = \alpha_K \frac{\dot{K}_t}{K_t} + \alpha_L n_t + \alpha_L g$$

$\alpha_K$ 와  $\alpha_L$ 은 각각 물적자본과 유효노동력의 생산 기여도이다. 완전경쟁시장에서  $\alpha_K$ 는 자본의 몫,  $\alpha_L$ 은 노동의 몫과 같다. 일차동차성을 갖는 신고전파 생산함수에서 노동의 몫과 자본의 몫을 합하면 1이다.<sup>3)</sup> 따라서 위 식을 고쳐 쓰면

$$\begin{aligned}\frac{\dot{Y}_t}{Y_t} &= \alpha_K \frac{\dot{K}_t}{K_t} + (1 - \alpha_K)n_t + (1 - \alpha_K)g \\ &= \alpha_K \frac{(K/L)_t}{(K/L)_t} + (1 - \alpha_K)g + n_t\end{aligned}\quad (10)$$

$$\frac{(Y/L)_t}{(Y/L)_t} = \alpha_K \frac{(K/L)_t}{(K/L)_t} + (1 - \alpha_K)g \quad (11)$$

이 경제의 이행경로의 경제성장률 변화의 값을 알기 위해서는 구체적인 함수의 형태와 파라미터의 값이 필요하다. 생산함수를 노동과 물적자본 간의 대체탄력성이 1인 경우와 1 보다 더 큰 값을 갖는 경우로 나누어 알아보자.

### (1) 콥-더글러스(Cobb-Douglas) 생산함수의 균형성장경로

물적자본과 노동 간의 대체탄력성이 1로 일정한 콥-더글러스(Cobb-Douglas) 생산함수를 가정하자.

$$Y_t = K_t^\alpha (A_t L_t)^{1-\alpha} \quad (0 < \alpha < 1)$$

일인당 물적자본량, 일인당 생산량, 총생산량의 증가율의 식은 다음과 같이 유도된다.

$$\frac{(K_t/L_t)}{(K_t/L_t)} = s \left( \frac{K_t}{L_t} \right)^{\alpha-1} A_t^{1-\alpha} (n_t + \delta) \quad (12)$$

$$\frac{(Y/L)_t}{(Y/L)_t} = \alpha \frac{(K/L)_t}{(K/L)_t} + (1 - \alpha)g \quad (13)$$

$$\frac{\dot{Y}_t}{Y_t} = \frac{(Y/L)_t}{(Y/L)_t} + n_t = \alpha \frac{(K/L)_t}{(K/L)_t} + (1 - \alpha)g + n_t \quad (14)$$

3) (15)'식의 CES 생산함수에서는

$$\alpha_K = \frac{f'(k_t)k_t}{y_t} = \frac{\alpha k_t^\rho}{\alpha k_t^\rho + (1 - \alpha)}, \quad \alpha_L = \frac{f(k_t) - k_t f'(k_t)}{y_t} = \frac{(1 - \alpha)}{\alpha k_t^\rho + (1 - \alpha)} \text{로 구해진다.}$$

(12) 식에서 기술수준이 높아지면 노동력의 감소를 대체할 수 있다. (14) 식에서 주어진 노동-물적자본 비율에서  $n$ 의 값이 마이너스이면 생산량의 증가율은 일인당 생산량의 증가율보다  $n$ 의 크기만큼 낮아진다.

균제상태에서 일인당 물적자본량과 일인당 생산량은 각각 다음과 같이 구해진다.

$$\left(\frac{K_t}{L_t}\right)^{ss} = k_t^{ss} A_t^{ss} = \left(\frac{s}{n^{ss} + g + \delta}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}} A_0 e^{gt}$$

$$\left(\frac{Y_t}{L_t}\right)^{ss} = y_t^{ss} A_t^{ss} = \left(\frac{s}{n^{ss} + g + \delta}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} A_0 e^{gt}$$

위의 식에서 인구증가율  $n$ 의 값이 낮을수록 균제균형에서의 일인당 물적자본량과 일인당 생산량이 더 높은 수준이 된다. 이 경제가 균제상태에 도달하는 데는 상당한 시간이 필요하다. 수렴속도는 다음과 같다.

$$\beta = (1 - \alpha)(n^{ss} + g + \delta)$$

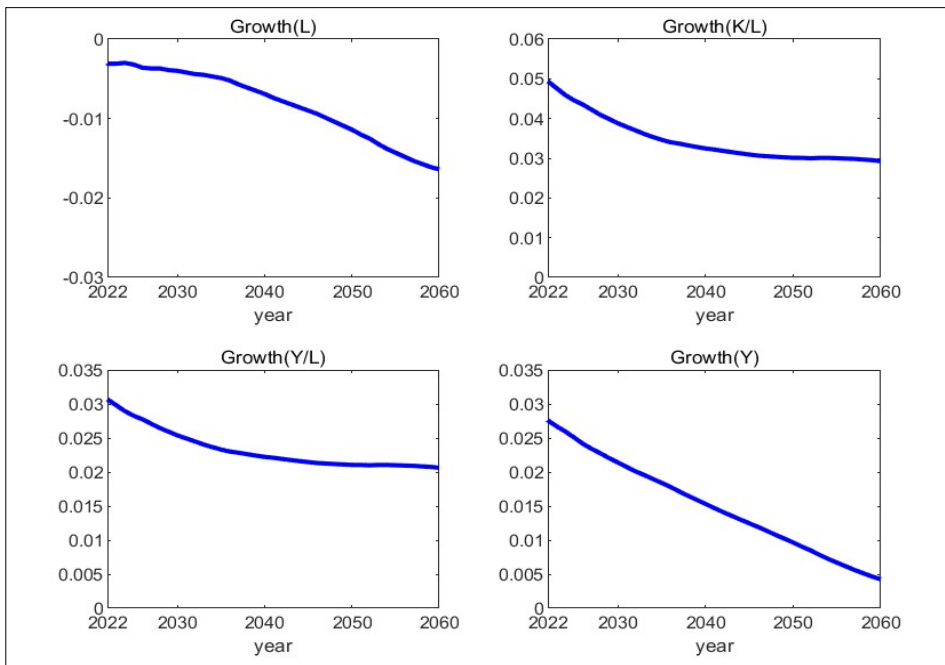
수렴속도는  $\alpha, n, g, \delta$ 의 파라미터에 의해 결정된다. 이종화(2021), 김지연 외(2022)와 한국은행 통계자료를 참고하여 물적자본의 생산 기여도( $\alpha$ ) 1/2, 저축률 0.3, 기술진보율( $g$ ) 0.012,<sup>4)</sup> 감가상각률( $\delta$ ) 0.05를 가정한다. 인구증가율은 통계청의 저위출산율 가정에 따른 예측치를 기준으로 하여 노동력의 증가율은 균제상태로 가면서 -0.015에서 유지되는 것으로 가정하면  $\beta=0.024$ 이다. 이 수렴속도로는 반감기(half-life), 즉 현재와 균제 상태 사이의 격차를 절반으로 줄이는 데 걸리는 시간은 29년이다.

이제 정해진 파라미터의 값과 함께 일인당 자본량과 기술 수준의 초깃값이 주어지면 이동경로에서 경제성장률을 구할 수 있다. 2021년에 초깃값으로 인구성장률,

4) (10) 식에서 총요소생산성(TFP) 증가율은 노동증대형 기술진보율에 총노동의 생산 기여도를 곱한 것과 같다( $\dot{TFP}_t / TFP_t = (1 - \alpha_K)(\dot{A}_t / A_t) = (1 - \alpha_K)g$ ). 김지연 외(2022)는 2011~2019년 총요소생산성 증가율을 0.007로 추계하였다. Penn World Table 10.0(Feenstra et al., 2015)은 한국의 2011~2019년 총요소생산성 증가율을 0.0053으로 추계하였다. 많은 연구들이 2010년대 후반에 한국의 총요소생산성 증가율이 많이 낮아진 것으로 추계한다.

즉 노동력 증가율은 0%이고 잠재 경제성장률과 일인당 경제성장률을 3%로 같다고 가정하자.<sup>5)</sup> 2022년부터 2060년까지 약 40년에 걸쳐 한국경제가 균제상태에 접근해가는 이행경로에서 일인당 물적자본, 일인당 생산량, 총생산량의 증가율의 추이를 구한다. 인구증가율은 통계청의 저위출산을 가정에 따른 예측치를 따라가는 것으로 가정한다. 2022년에 -0.3%에서 시작하여 점진적으로 하락한다.

〈Figure 6〉 The Transitional Dynamics of the Solow Growth Model with the Elasticity of Substitution Equal to One



〈Figure 6〉은 성장모형을 시뮬레이션하여 구한 주요 변수의 변화를 그래프로 보여 준다. 인구증가율의 값이 마이너스이고 점점 더 작아지면서 일인당 물적자본량

5) 이종화(2021)의 성장회계 분석에 따르면 2010-2017년의 연평균 GDP 증가율은 3.45%, 일인당 GDP 증가율은 2.97%였다. 일인당(노동시간당) 물적자본의 연간 증가율은 3.20%였으며, 이 값에 물적자본소득 분배율을 곱해서 구한 일인당 GDP 성장에 대한 기여도는 1.46%p로 추계됐다. 인적자본의 연평균 증가율은 0.66%였으며 일인당 GDP 성장률에 대한 기여도는 0.34%p로 추계됐다. 본 연구에서는 한국경제의 잠재 경제성장률은 지금의 경기침체기의 실제 성장률보다 높아서 3% 가까운 값을 갖는 것으로 가정하였다.

의 증가율은 2022년의 4.8%에서 점점 낮아져 2060년에는 2.9%에 달한다. 총생산량의 증가율은 2.7%에서 0.3%로 계속하여 낮아진다. 일인당 생산량의 증가율은 3.0%에서 2060년에는 2.0%로 점진적으로 낮아진다. 2050-2060년 기간의 연평균 GDP 증가율은 0.6%이고 일인당 GDP 증가율은 인구증가율만큼 높아서 연평균 2.1%이다.

## (2) CES 생산함수의 균형성장경로

다음과 같은 CES 생산함수를 가정하자.

$$Y_t = [\alpha K_t^\rho + (1 - \alpha)(A_t L_t)^\rho]^{1/\rho} \quad (15)$$

$\alpha$ 는 0과 1 사이의 값으로 물적자본이 최종재 생산에 기여하는 정도를 나타내는 파라미터이다.  $\rho$ 는 노동과 물적자본 간의 대체 파라미터이며  $\rho < 1$ 의 값을 갖는다.  $\rho$ 는 물적자본과 유효노동 간의 대체탄력성  $\sigma$ 를 결정한다. 즉,  $\sigma = \frac{1}{1-\rho}$ 이다. 대체탄력성  $\sigma$ 는 생산요소의 자본과 노동의 상대가격 변화에 대해 노동과 자본을 대체하는 정도를 나타낸다.  $\sigma > 1$ 이면 노동과 자본은 서로 대체관계이며 물적자본과 노동의 상대가격 변화에 대해 물적자본과 노동 투입 비율의 변화가 상대적으로 큰 경우이다.

CES 생산함수를 고쳐 쓰면,

$$y_t = f(k_t) = [\alpha k_t^\rho + (1 - \alpha)]^{1/\rho} \quad (15)'$$

$k$ 의 성장률은 다음 식으로 유도된다.

$$\dot{k}_t/k_t = sf(k_t)/k_t - (n_t + g + \delta) = s[\alpha + (1 - \alpha)k_t^{-\rho}]^{1/\rho} - (n_t + g + \delta)$$

이때  $0 < \rho < 1$  ( $\sigma > 1$ )로 노동과 물적자본 간의 대체탄력성이 1보다 큰 경우를 고려하자. 자본이 축적되면서 유효노동력 당 물적자본의 평균생산물은 양의 상숫값

인  $s\alpha^{1/\rho}$ 으로 수렴한다. 따라서  $s\alpha^{1/\rho}$ 가  $n^{ss} + g + \delta$ 보다 크면, 유효노동력 당 물적자본의 성장률은  $s\alpha^{1/\rho} - n^{ss} - g - \delta$ 으로 수렴한다.  $n$ 의 값이 적을수록  $k$ 의 성장률이 더 높은 곳으로 수렴한다.

일인당 물적자본량 성장률의 식은 다음과 같이 유도된다.

$$\frac{(K_t/L_t)}{(K_t/L_t)} = s \left( \frac{Y_t}{K_t} \right) - (n_t + \delta) = s[\alpha + (1 - \alpha)(K_t/A_t L_t)^{-\rho}]^{1/\rho} - (n_t + \delta) \quad (16)$$

노동력이 감소하면서 일인당 물적자본량이 커지는 경우를 고려해 보자. 대체탄력성이 클수록(즉,  $\rho$ 의 값이 1에 가까울수록) 물적자본의 생산성이 크게 하락하지 않을 수 있다. 생산요소 간의 대체탄력성이 클 때, 노동력이 부족해지더라도 물적자본으로 노동을 쉽게 대체할 수 있기 때문이다. 대체탄력성이 클수록 같은 노동-물적자본 비율에서 일인당 물적자본량의 증가율이 높다. 따라서 일인당 생산과 총생산의 증가율이 하락하는 속도가 낮아지며((10)식과 (11)식 참조) 경제성장률이 더 높아진다.

한국 자료를 대상으로 대체탄력성을 추정한 실증연구는 제한적이다. 이종화(2021)는 1986~2017 기간에 걸쳐 CES 생산함수 시스템을 추정하여 대체탄력성으로 1.61의 큰 값을 얻었다. 하지만 외환위기에 발생한 한국 경제의 구조적인 변화를 고려하여 이 기간을 제외하고 외환위기 전과 후로 나누어 추정했을 때는 대체탄력성의 추정치가 1에 가까운 값을 갖는 것으로 나타났다. Song(2021)은 CES 생산함수와 이윤극대화의 일계조건을 사용하여 대체탄력성을 추정했다. 1970~2004년의 한국은행의 경제 전체와 비농업 부문의 총량 자료를 이용하여  $\sigma$ 의 값이 각각 1.18, 1.20임을 보였다. KLEMS 데이터를 사용하여 48개 산업의  $\sigma$ 를 추정하고 부가가치로 가중 평균했을 때 제조업은 1.26, 서비스업은 1.12의 값을 구했다. <Table 1>은 그 결과를 보여 준다.



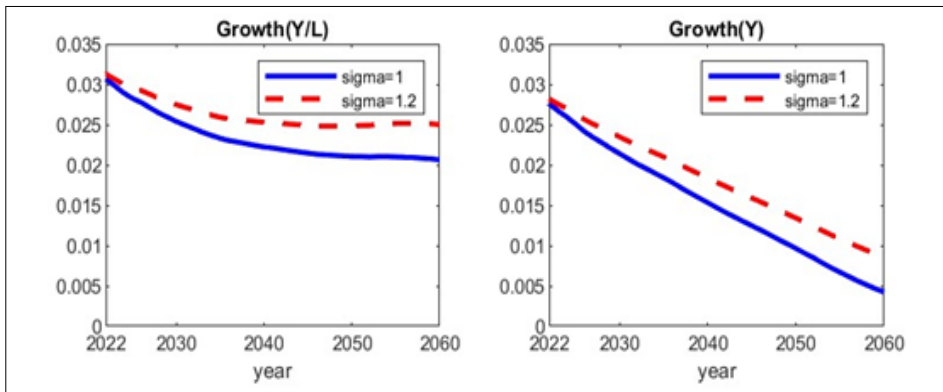
〈Table 1〉 Estimates of the Elasticity of Substitution in the CES Production Function

Sector	Elasticity of Substitution ( $\sigma$ )
Whole economy	1.176
Non-agriculture	1.199
Manufacturing	1.264
Services	1.115

Source: Song (2021).

〈Figure 7〉은 대체탄력성  $\sigma$ 의 값을 Song (2021)의 추정치 1.2로 가정하고 이종화(2021)와 한국은행 통계자료를 참고하여 앞의 콥-더글러스 생산함수의 경우와 똑같은 파라미터값( $\alpha = 0.5$ ,  $s = 0.3$ ,  $g = 0.012$ ,  $\delta = 0.05$ )을 가정했다. 이때 한국경제가 균제상태에 접근해가는 이행경로에서 일인당 생산량과 총생산량의 증가율의 추이를 구한 결과를 보여 준다. 시뮬레이션 값을 대체탄력성이 1인 경우와 비교하여 제시하였다.

〈Figure 7〉 The Transitional Dynamics of the Solow Growth Model with the Elasticity of Substitution equal to 1.2



그림에서 보듯이 대체탄력성이 클수록 균형성장경로에서 경제성장률이 더 높다. 이 경제는 인구가 감소하고 노동력이 부족해지면 물적자본으로 노동을 대체하면서 물적자본의 생산성을 더 높게 유지할 수 있다. 따라서 일인당 물적자본량과 일인당 생산의 증가율을 상대적으로 높게 유지할 수 있다((16)식 참조). 그리고 노동의 생산 기여도가 점점 줄어들면서 노동 감소가 총생산 증가율에 미치는 영향이 줄어 든

다((10)식과 각주 2 참조). 이것은 증가율이 마이너스가 되기 때문이다. 또한 점점 경제성장률이 하락하는 속도도 느려진다. 생산량의 증가율은 2022년의 2.73%에서 2060년에 0.9%로 계속하여 낮아진다. 일인당 생산량의 증가율은 2060년에는 2.5%로 낮아진다. 2050-2060년 기간의 연평균 GDP 증가율은 1.1%, 일인당 GDP 증가율은 2.5%로 낮아진다.

〈Figure 7〉의 시뮬레이션 결과를 〈Table 2〉에 정리하였다. 물적자본과 노동의 대체탄력성이 1.2일 때, 1인 경우에 비해 2050-2060년 기간의 연평균 GDP 증가율은 0.5%포인트, 일인당 GDP 증가율은 0.4%포인트 더 높다.

〈Table 2〉 Projection of Growth Rate in the Solow Growth Model (Average, 2050~2060)

Model	Elasticity of Substitution ( $\sigma$ )	GDP Growth	Per Capita GDP Growth
Cobb-Douglas Production Function	1	0.6%	2.1%
CES Production Function	1.2	1.1%	2.5%

## 2. 내생적 기술진보와 인적자본 축적을 고려한 성장모형

앞 절의 성장 모형은 장기균형에서 일인당 생산량 증가율이 외생적으로 주어진 기술진보율에 의해 결정된다는 점에서 한계가 있다. 또한 모형을 단순화하기 위해 노동자가 보유한 인적자본의 양이 항상 일정하다고 가정하였다. 이제 이 절에서는 기술진보율과 인적자본의 축적이 내생적으로 결정되고 이에 따라 경제성장률이 결정되는 내생적 성장 모형을 소개한다. 그리고 시뮬레이션으로 한국 경제의 성장률의 예측값을 구할 것이다.

### (1) 기술진보

다음과 같은 기술진보식을 가정하자.

$$\dot{A}_t = \psi L_t^\lambda A_t^\phi \Leftrightarrow \frac{\dot{A}_t}{A_t} = \psi L_t^\lambda A_t^{\phi-1}, \quad 0 \leq \lambda \leq 1, \quad \phi \leq 1 \quad (17)$$

위 식에서는 기술진보는 전체 노동력의 크기와 이미 축적된 기술에 의해 결정된다. 이 식에서  $\psi$ 는 효율성을 나타내는 파라미터이다.

일반적인 내생적 기술진보 모형에서 기술진보는 경제 전체의 인구에 의해 결정된다. 기업이 기술혁신에 성공했을 때 얻을 수 있는 이윤의 크기는 시장의 규모에 달려 있는데, 인구의 크기는 시장의 규모를 결정하는 중요한 요소이다. 또한 노동력이 많을수록 기술진보를 위해 투입할 수 있는 노동력의 규모가 커진다. 여기서 노동력은 인적자본, 연구개발 인력을 모두 포함하는 포괄적인 개념으로 생각할 수 있다. 또한 노동력이 많을수록 노동자가 학습효과(learning-by-doing)나 외부효과를 통해 생산성을 높일 수 있다.  $L$ 의 승수 파라미터  $\lambda$ 의 값은 노동력 투입에 따른 기술진보의 크기를 결정한다.  $\lambda=1$ 이면  $L$ 의 한계 생산성이 일정하고 노동력이 두 배이면 기술진보율이 두 배로 높아진다.  $0 < \lambda < 1$ 인 경우는  $L$ 의 한계 생산성이 감소한다.

파라미터  $\phi$ 의 값은 지금까지 축적한 기술(A)의 경험의 신기술 개발에 미치는 영향을 나타낸다.  $\phi > 0$ 이면 축적된 기술이 신기술 개발에 도움이 된다. 아이작 뉴턴이 말한 “거인의 어깨 위에 올라타기” 효과라고 할 수 있다.  $\phi = 1$ 이면 A의 크기는 새로운 기술 발전에 비례하여 영향을 미친다. 만일  $\phi = 0$ 이면 지금까지 축적한 기술(A)은 기술 발전에 영향을 미치지 못한다.  $\phi < 0$ 이면 이미 개발된 기술이 많을수록 새로운 기술을 발전시키기가 점점 더 어려운 경우이다. Bloom et al. (2020), Philippon (2022) 등 최근 연구들은 실증 자료를 이용하여 기존 기술의 외부효과가 매우 적거나 오히려 신기술 발전을 저해하는 효과가 있음을 보였다.

한국경제에서 인구증가율이  $n_t < 0$ 의 값으로 지속적으로 감소하는 경우 기술진보율은  $\lambda$ 와  $\phi$ 의 파라미터 값에 달려 있다. (18)식에서 보면  $\lambda$ 의 값이 클수록 인구감소는 기술진보율을 낮추는 효과가 크다. 그리고  $\phi$ 의 값이 작을수록 이미 축적된 기술 수준이 높아질수록 기술진보율에 미치는 효과가 낮아진다.

이 경제의 인구증가율이 음이면 인구 규모가 줄면서 기술진보 속도가 점점 줄어들게 된다. 만일  $n < 0$ 의 값으로 매기 인구증가율이 일정한 경우를 가정하면 기술수준  $A_t$ 의 변화를 구할 수 있다(부록 A1 참조).

(17)식에서  $\phi \neq 1$ 인 경우는

$$\begin{aligned}
 A_t &= A_0 \left[ 1 - \frac{(1-\phi)\psi L_0^\lambda A_0^{\phi-1}}{\lambda n} (1 - e^{\lambda n t}) \right]^{\frac{1}{1-\phi}} \\
 &= A_0 \left[ 1 - \frac{(1-\phi)g_{A_0}}{\lambda n} (1 - e^{\lambda n t}) \right]^{\frac{1}{1-\phi}}
 \end{aligned} \tag{18}$$

여기서  $g_{A_0}$ 는  $t=0$ 에서 기술진보율로  $g_{A_0} = \psi L_0^\lambda A_0^{\phi-1}$ 이다. 그리고  $\phi = 1$ 인 경우는 다음과 같이 구해진다.

$$\log A_t = \log A_0 - \frac{\psi L_0^\lambda}{\lambda n} (1 - e^{\lambda n t}) = \log A_0 - \frac{g_{A_0}}{\lambda n} (1 - e^{\lambda n t}) \tag{19}$$

## (2) 인적자본 축적

인적자본은 개인이 보유한 능력과 기술숙련도를 포괄하는 개념으로 노동의 질적 수준을 의미한다. 인적자본을 더 많이 보유한 노동자는 생산성이 더 높다. 인적자본은 노동자에게 개인적으로 중요할 뿐 아니라 국가 전체의 경제 성장과 정치, 사회 발전에도 큰 영향을 미친다(Barro and Lee, 2015). 인적자본은 교육, 직무 경험, 직무 훈련을 통해 축적할 수 있다(Acemoglu, 2008; Barro and Lee, 2013).

일인당 인적자본이 일정하지 않고 인적자본 투자로 결정되는 경우를 고려해 보자. 경제 주체는 전체 노동력(인적자본 포함)  $h_t L_t$  중 일정 부분  $0 < u < 1$ 을 인적자본 축적에 투자하고, 나머지  $1-u$ 는 생산에 투입한다.  $u$ 는 일정한 값으로 외생적으로 결정되는 경우를 가정한다. 일인당 인적자본  $h$ 는 인적자본 축적에 투입된 인적자본 투자의 크기에 따라 늘어난다.

이 경제의 생산함수는 다음과 같이 고쳐 쓸 수 있다.

$$Y_t = [\alpha K_t^\rho + (1-\alpha)((1-u)h_t L_t A_t)^\rho]^{1/\rho} \tag{20}$$

$h$ 의 동태적 변화식은 다음과 같다고 가정한다.

$$\dot{h}_t = B(uh_t)^\epsilon - \delta h_t, \quad B > 0, \quad 0 < \epsilon < 1 \tag{21}$$

따라서  $h$ 의 증가율은 다음과 같다.

$$\frac{\dot{h}_t}{h_t} = Bu^\epsilon h_t^{\epsilon-1} - \delta \quad (22)$$

여기서  $B$ 는 효율성 지표로서 같은 크기의 인적자본투자가 얼마나 인적자본을 빨리 증가시키는지를 결정한다.  $\delta$ 는 인적자본의 감가상각률이다. 파라미터  $\epsilon$ 는 지금까지 축적한 인적자본량이 새로운 인적자본을 축적하는 데 미치는 영향을 나타낸다.  $\epsilon > 0$ 이면 과거에 축적된 인적자본은 새로운 인적자본의 축적에 도움이 된다. 예를 들어 부모와 교사의 인적자본이 많을수록 자녀 세대의 인적자본은 빠르게 증가한다. 그러나  $\epsilon < 1$ 을 가정하면 인적자본이 축적되면서 인적자본의 축적속도는 점점 느려진다.

위의 식으로부터  $h$ 의 시간 경로를 풀면 다음과 같다(부록 A2 참조).

$$h_t = \left[ \frac{1}{\delta} (g_{h_0} - \delta) h_0^{1-\epsilon} - (g_{h_0} h_0^{1-\epsilon}) \exp(-(1-\epsilon)\delta t) \right]^{1/1-\epsilon} \quad (23)$$

여기서  $g_{h_0}$ 는  $t=0$ 에서 인적자본 축적률을 표시한다( $g_{h_0} = Bu^\epsilon h_0^{\epsilon-1} + \delta$ ).

### (3) 확장된 내생적 성장모형과 한국경제에의 적용

이제 기술진보식과 인적자본축적식을 함께 고려하여 균형 경제성장경로를 구해보자. 생산함수는 일반적인 CES 생산함수를 고려한다. 이 경제의 주요 식을 모아서 다시 쓰면 아래와 같다.

- CES 생산함수

$$Y_t = [\alpha K_t^\rho + (1-\alpha)((1-u)h_t L_t A_t)^\rho]^{1/\rho} \quad (20)$$

- 물적자본 축적식

$$\dot{K}_t = s Y_t - \delta K_t$$

$$\frac{(K_t/L_t)}{(K_t/L_t)} = s \left( \frac{Y_t}{K_t} \right) - (n_t + \delta) = s [\alpha + (1 - \alpha)(K_t/(A_t(1 - u)h_t L_t))^{-\rho}]^{1/\rho} - (n_t + \delta) \quad (24)$$

- 인구변화식

$$\dot{L}_t \equiv \frac{dL_t}{dt} = n_t L_t, \quad n_t \leq 0, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} n_t = n^{ss} \leq 0 \quad (2)$$

- 기술진보식

$$\frac{\dot{A}_t}{A_t} = \psi (L_t h_t)^\lambda A_t^{\phi-1}, \quad 0 \leq \lambda \leq 1, \quad \phi \leq 1 \quad (25)$$

- 인적자본 축적식

$$\frac{\dot{h}_t}{h_t} = B u^\epsilon h_t^{\epsilon-1} - \delta, \quad B > 0, \quad 0 < \epsilon < 1 \quad (22)$$

- 일인당 물적자본량, 일인당 생산량, 총생산량의 증가율의 관계식

$$\frac{\dot{Y}_t}{Y_t} = \frac{(Y/L)_t}{(Y/L)_t} + n_t = \alpha_K \frac{(K/L)_t}{(K/L)_t} + (1 - \alpha_K) \left( \frac{\dot{A}_t}{A_t} + \frac{\dot{h}_t}{h_t} \right) + n_t \quad (26)$$

위의 여섯 식으로 이루어진 경제시스템을 고려하자. 생산함수식에서 보면, 인구가 감소하면 생산량이 줄어드는 효과가 발생한다. 기술진보식에서 인구가 줄어들면서 기술진보율도 점점 하락한다. 그러나 인구증가율의 감소는 주어진 노동-물적자본 비율에서 일인당 자본량의 증가율을 높인다. 그리고 (24)식에서 기술수준이 높아지거나 인적자본량이 많아지면 노동력의 감소를 대체하여 일인당 물적자본량의 증가율을 높인다. 또한 (26)식에서 기술진보율과 인적자본 축적률의 상승은 경제성장률을 직접적으로 높이는 효과가 있다.

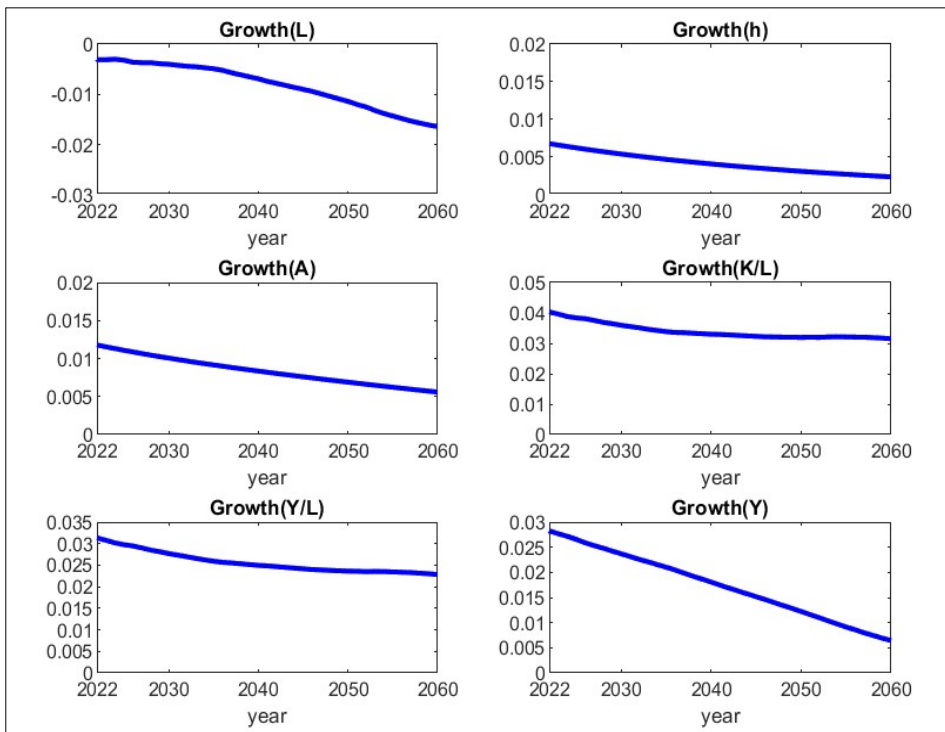
시뮬레이션을 위해 대체탄력성  $\sigma$ 의 값을 1.2로 하고 앞의 절의 기본 성장모형에서 가정한 파라미터값( $\alpha = 0.5$ ,  $s = 0.3$ ,  $g = 0.012$ ,  $\delta = 0.05$ )을 똑같이 가정한다. 기술진보율은 Bloom et al. (2020) 와 Jones (2022) 에서 가정한 기술진보가 점점

힘들어지는 경우를 가정하여 파라미터의 값을  $\lambda = 0.75$ ,  $\phi = -1$ 를 기본값으로 정하였다. 인적자본의 축적률은 이중화(2021)의 추정치에서 최근의 인적자본의 축적률의 값과 계속 감소하는 추세를 반영하여 초기 성장률이 0.007에서 점진적으로 하락하도록 파라미터  $\epsilon = 0.5$ 인 경우를 가정하였다.

〈Figure 8〉은 이 모형에서 균제상태에 접근해가는 이행경로 상의 일인당 물적자본, 일인당 생산량, 총생산량의 증가율의 추이를 구한 결과를 보여 준다. 기술진보율은 초깃값 0.012에서 0.0056으로 점진적으로 하락한다. 인적자본의 축적률은 초기 성장률이 0.007에서 장기적으로 0.0024로 하락한다. 생산량의 증가율은 2060년에 0.64%로, 일인당 생산량의 증가율은 2.3%로 점진적으로 낮아진다. 이 내생적 성장모형에서 2050~2060년 기간의 연평균 GDP 증가율은 0.9%, 일인당 GDP 증가율은 2.3%로 낮아진다.

〈Figure 8〉 The Transitional Dynamics of the Baseline Endogenous Growth Model:

$$(\phi = -1, \epsilon = 0.5, s = 0.3, \sigma = 1.2)$$



## (4) 다른 경제 구조와 정책 환경에서 균형경제성장 경로의 변화

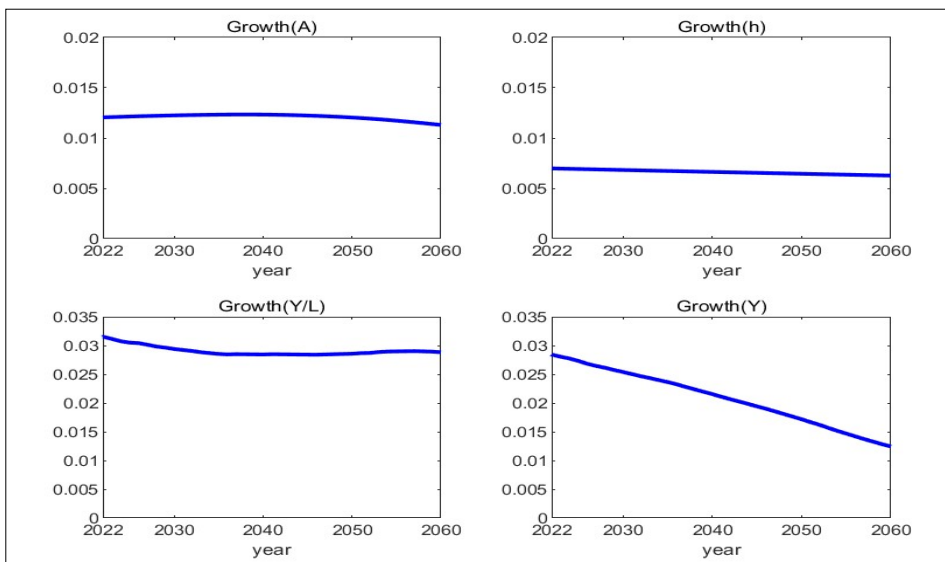
앞의 기본 내생적 성장모형에서는 i) 기술진보율과 인적 자본 축적률이 점진적으로 하락하고, ii) 물적자본의 축적률이 0.3으로 일정하고, iii) 물적자본과 노동의 대체탄력성이 1.2인 것을 가정하였다. 이제 이들 가정이 경제 구조의 변화나 정책에 따라 달라질 때, 균형 성장률이 기본모형에 비해 어떻게 달라지는지 살펴 보자.

## i) 기술진보율과 인적자본 증가율을 모두 계속 높게 유지하는 경우

아래 〈Figure 9〉는 이 모형에서 기술진보율이 1.2%, 인적자본 증가율이 0.7%에 가깝게 지속되는 경우 균제상태에 접근해가는 이행경로에서 기술진보율, 인적자본 축적률, 일인당 생산량과 총생산량의 증가율의 추이를 보여 준다. 이를 위해, 기술진보식 (25)에서  $\phi = 0.95$ 로하고, 인적자본 축적식 (22)'에서  $\epsilon = 0.95$ 로 한다.

시뮬레이션 결과 2050~2060년 기간의 연평균 GDP 증가율은 기본모형의 0.9%에서 1.5%로 높아진다. 일인당 GDP 증가율은 2.3%에서 2.9%로 높아진다.

〈Figure 9〉 The Transitional Dynamics of the Endogenous Growth Model with Non-Decreasing Technological Progress and Human Capital Accumulation:  
( $\phi = 0.95$ ,  $\epsilon = 0.95$ )

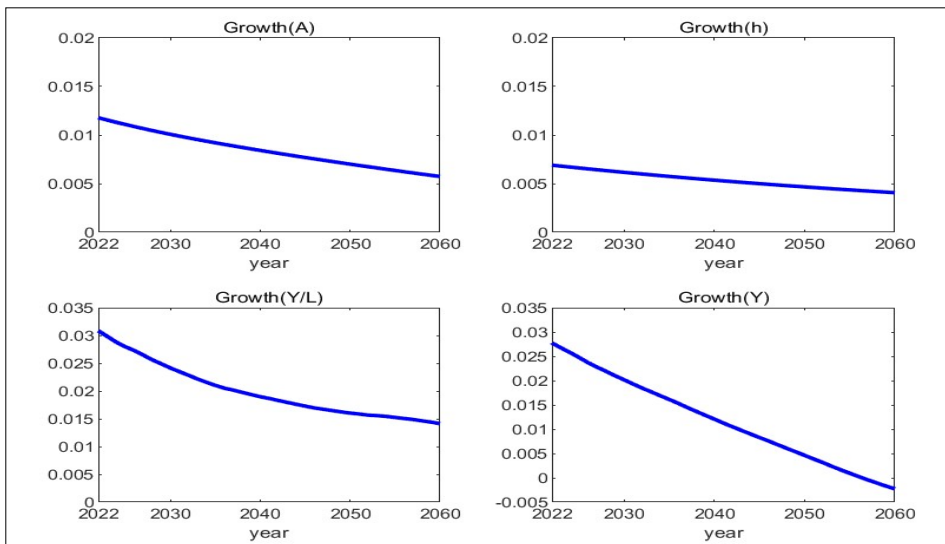




## ii) 물적자본의 투자율이 낮아지는 경우

〈Figure 10〉은 기본모형에서 물적자본 투자율이 0.3에서 2060년에 현재 미국의 수준인 0.2가 되도록 지속적으로 하락하는 경우를 가정한 경우이다. 시뮬레이션 결과 2050~2060년 기간의 연평균 GDP 증가율은 기본모형의 0.9%에서 0.2%로 낮아진다. 일인당 GDP 증가율은 2.3%에서 1.5%로 낮아진다.

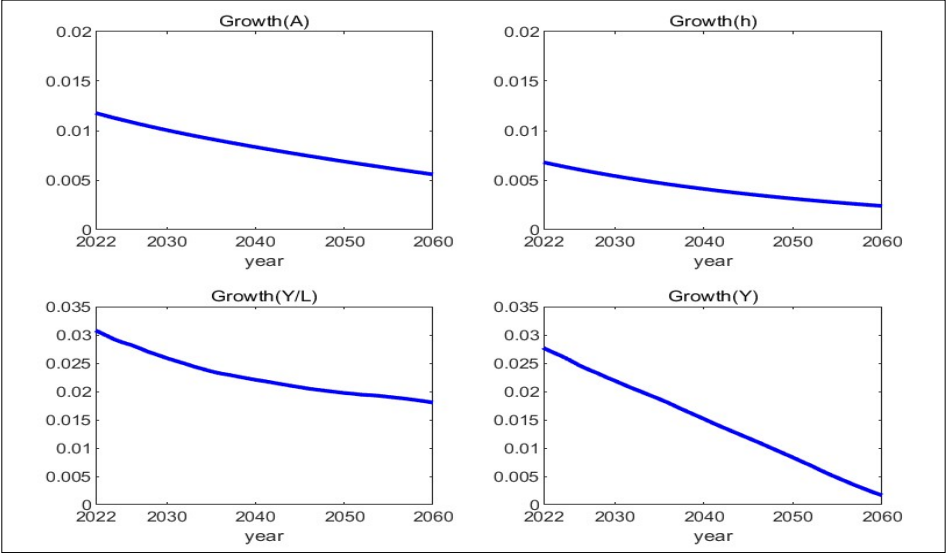
〈Figure 10〉 The Transitional Dynamics of the Endogenous Growth Model with Gradual Decrease in Investment Ratio from 0.3 to 0.2 in 2060



## iii) 대체탄력성이 1인 경우

〈Figure 11〉은 물적자본과 노동의 대체탄력성이 1인 콥-더글러스 생산함수를 가정한다. 이때 일인당 생산량과 총생산량의 증가율의 추이를 구한 결과를 보여 준다. 시뮬레이션 결과 2050~2060년 기간의 연평균 GDP 증가율은 기본모형의 0.9%에서 0.5%로 낮아진다. 일인당 GDP 증가율은 2.3%에서 1.9%로 낮아진다.

〈Figure 11〉 The Transitional Dynamics of the Endogenous Growth Model with the Elasticity of Substitution Equal to One



〈Figure 8〉~〈Figure 11〉의 시뮬레이션 결과를 〈Table 3〉에 정리하였다.

〈Table 3〉 Projection of Annual Growth Rate in the Endogenous Growth Model  
(Average, 2050~2060)

Model	Assumption	GDP Growth	Per Capita GDP Growth
Baseline	$\phi = -1, \epsilon = 0.5, s = 0.3, \sigma = 1.2$	0.9%	2.3%
Alternative 1	Non-decreasing technological progress and human capital accumulation ( $\phi = 0.95, \epsilon = 0.95$ )	1.5%	2.9%
Alternative 2	Declining physical capital investment ratio from 0.3 to 0.2 in 2060	0.2%	1.5%
Alternative 3	Elasticity of Substitution ( $\sigma$ )=1	0.5%	1.9%

위의 결과에서 보면, 인구증가율이 지속적으로 감소하면서 한국 경제는 2022년의 GDP 증가율 2.7%와 일인당 GDP 증가율 3.0%를 유지하기가 어렵고 경제성장률의 하락을 겪을 수밖에 없다. 그러나 앞으로 30~40년에 걸쳐 어떤 균형성장경로를 가느냐는 여러 파라미터의 값에 달려 있다. 예를 들어 모형 i)과 기본모형을 비

교하면 기술진보율과 인적자본 증가율을 높게 유지하면 2050~2060년 연평균 경제성장률이 약 0.6%포인트만큼 높아진다. 반면에 모형 ii)에서 물적자본 투자율이 앞으로 점진적으로 낮아지면 경제성장률이 기본모형보다 약 0.7%포인트만큼 낮아질 수 있다. 모형 iii)과 기본모형을 비교하면, 물적자본과 노동의 대체탄력성에서 1과 1.2의 차이는 2050~2060년 연평균 경제성장률에서 약 0.4%포인트만큼 차이를 가져온다.

#### IV. 결 론

한국 경제가 앞으로 인구가 감소하면서 경제성장률이 지속적으로 하락할 것이라는 연구가 많다. 인구감소가 노동 공급과 자본 투자를 감소시키고 기술 혁신도 후퇴시킬 것이라는 비관적인 전망이 나온다. 본 연구는 인구증가율이 마이너스인 경제의 균형 경제성장경로를 성장모형을 통해 분석하였다. 통계청의 장래인구추계를 가정하고 성장모형을 시뮬레이션하여 2060년까지 한국의 경제성장률을 예측한 결과, 기본모형에서는 2050~2060년에 연평균 GDP 증가율 0.9%, 일인당 GDP 증가율 2.3%로 추정된다. 그러나 물적자본 투자율, 물적자본과 노동의 대체 정도, 인적자본 축적률과 기술진보율에 대한 가정에 따라 2050~2060년에 연평균 GDP 증가율은 0.2~1.5%, 일인당 GDP 증가율은 1.5~2.9%의 값을 갖는 것으로 추정되었다. 기술진보율과 인적자본 증가율을 현재 수준으로 유지할 수 있으면, 2050~2060년 연평균 경제성장률은 기본모형보다 약 0.6%포인트 높아져서 1.5%가 된다. 한국 경제가 노동력의 질적 향상과 기술 진보에 힘쓰고 물적자본 투자율을 높게 유지하면서 부족한 노동을 자본과 기술로 대체할 수 있으면 높은 성장경로를 따라 지속 발전할 수 있다.

지속가능한 성장을 위해 출산율을 높이고 여성과 고령 노동자의 노동시장 참가율을 높이는 정책에 대해 많은 논의가 있다. 저출산·고령화는 다양한 경제·사회문제를 초래하기 때문에 대책을 세워야 한다. 노동력의 양적 확대는 성장잠재력을 높이고 국력을 높이는 데 중요하다. 하지만, 그에 못지않게 인적자본 확충, 기술혁신, 물적자본 축적에 힘써야 한다. 교육시스템과 노동시장 개혁을 통한 인적자본의 축적이 필요하다. 산업 구조와 기술이 빠르게 변화하지만, 교육시스템은 이에 맞춰 변화하지 못하고 있다. 한국 근로자의 직무능력은 국제 비교에서 낮게 나타난다

(Lee and Wie, 2017). 이는 교육과 직무능력의 불일치와 함께 노동시장의 경직성에서 기인한다. 한국의 임금체계는 연공서열 중심이어서 직무능력과 성과에 대한 보상이 미흡하다. 기술혁신을 위해서 선진국 수준에 걸맞은 기술혁신 역량과 시스템을 갖추어가야 한다. 세계경제포럼(WEF)의 국제 평가에 따르면 한국은 연구개발 지출과 특허 출원 수 등의 양적 지표에서 세계 최상위 국가이지만, 혁신 기업의 성장, 기업가정신, 혁신 아이디어 수용 등의 항목에서는 순위가 낮다(Schwab, 2019). 디지털 혁명과 인공지능의 시대에 신기술을 발전시키고 기술 집약적인 신산업을 효과적으로 발전시키는 정책이 요구된다.

본 연구는 출산율, 노동력 증가율, 물적자본의 투자율이 외생적으로 결정되는 것으로 가정하고 미래에 대한 기대가 경제 주체(가계, 기업)의 의사결정에 미치는 영향은 무시하였다는 데 한계가 있다. 또한, 정부의 최적 정책에 대한 분석을 구체적으로 진행하지 못했다. 이를 고려한 모형을 통한 분석은 후속 연구로 미룬다.

## ■ 참 고 문 헌

1. 김선빈 · 한종석 · 홍재화, “여성경제활동을 통한 저출산고령화 경제적 충격 대응,” 『경제학연구』, 제69집 제3호, 2021, pp.133-177.  
(Translated in English) Kim, Sun-Bin, Jong-Suk Han and Jay H. Hong, “Attenuating Economic Shocks of Demographic Transition with Female Labor,” *The Korean Journal of Economic Studies*, Vol. 69, No. 3, The Korean Economic Association, 2017, pp. 133-177.
2. 김지연 · 정규철 · 허진욱, “장기경제성장률 전망과 시사점,” KDI, 2022.  
(Translated in English) Kim, Jiyeon, Kyu-chul Jung and Jinwook Hur, “Long-term Growth Rate Projection and Implications,” KDI, 2022.
3. 이종화, “인적자본과 경제발전,” 『경제논집』, 제55권 제2호, 2016, pp. 269-276.  
(Translated in English) Lee, J.-W., “Human Capital and Economic Growth,” *Kyungjeonjip*, Vol. 55, No. 2, SNU Institute of Economic Research, 2016, pp. 269-276.
4. ———, “생산요소 간 대체와 기술진보가 한국 경제의 성장 및 분배에 미친 영향 분석,” 『한국경제포럼』, 제14권 제2호, 2021, pp. 1-28.

- (Translated in English) Lee, J.-W., "The Effects of Factor Substitution and Technological Progress on the Growth and Distribution of the Korean Economy," *The Korean Economic Forum*, Vol. 14, No. 2, The Korean Economic Association, 2021, pp.1-28.
5. 이종화 · 김진일, 『동태적 거시경제학』, 박영사, 2021.  
(Translated in English) Lee, J.-W. and J. Kim, *Dynamic Macroeconomics*, Pakyoungsa, 2021.
  6. 이철희, "장래 인구변화가 노동투입 규모에 미치는 영향," 『노동경제논집』, 제45권 제2호, 2022, pp. 37-68.  
(Translated in English) Lee, Chulhee, "The Effect of Future Population Change on the Size of Labor Input," *Korean Journal of Labor Economics*, Vol. 45, No. 5, The Korean Labor Economic Association, 2022, pp.37-68.
  7. 이철희 · 이지은, "인구고령화가 노동수급에 미치는 영향," 『경제분석』, 제23권 제4호, 2017, pp.34-77.  
(Translated in English) Lee, Chulhee and Jieun Lee, "The Effects of Population Aging on the Labor Market," *Economic Analysis*, Vol. 23, No. 4, 2017, pp.34-77.
  8. 한국은행, "경제통계시스템," (검색 일자: 2022. 12. 1).  
(Translated in English) Bank of Korea, "Economic Statistics System," (Accessed December 1, 2022).
  9. Acemoglu, D., *Introduction to Modern Economic Growth*, Princeton University Press, 2008.
  10. Barro, R. J. and J.-W. Lee, "A New Data Set of Educational Attainment in the World, 1950-2010," *Journal of Development Economics*, Vol. 104, 2013, pp.184-198.
  11. \_\_\_\_\_, *Education Matters: Global Schooling Gains from the 19th to the 21st Century*, Oxford: Oxford University Press, 2015.
  12. Bloom, N., C. I. Jones, J. Van Reenen, and M. Webb, "Are Ideas Getting Harder to Find?" *American Economic Review*, Vol. 110, No. 4, 2020, pp.1104-1144.
  13. Christiaans, T., "Semi-endogenous Growth When Population Is Decreasing," *Economics Bulletin*, Vol. 31, No. 3, 2011, pp.2667-2673.
  14. Daly, K., and T. Gedminas, "The Path to 2075 — Slower Global Growth, But Convergence Remains Intact," GS Global Economics Paper, 6 December, 2022.
  15. Feenstra, R. C., R. Inklaar, and M. Timmer, "The Next Generation of the Penn World Table," *American Economic Review*, Vol. 105, No. 10, 2015, pp.3150-3182.
  16. Han, J. S., and J.-W. Lee, "Demographic Change, Human Capital, and Economic Growth in Korea," *Japan and the World Economy*, Vol. 53, March 2020, 100984.
  17. Hopenhayn, H., J. Neira and R. Singhanian, "From Population Growth to Firm Demographics: Implications for Concentration, Entrepreneurship and the Labor Share," *Econometrica*, Vol. 90, No. 4, 2022, pp.1879-1914.
  18. Jones, C. I., "R&D-Based Models of Economic Growth," *Journal of Political Economy*, Vol. 103, No. 4, 1995, pp.759-784.
  19. \_\_\_\_\_, "The End of Economic Growth? Unintended Consequences of a Declining

- Population," *American Economic Review*, Vol. 112, No. 11, 2022, pp.3489-3527.
20. Karahan, F., B. Pugsley and A. Sahin, "Demographic Origins of the Startup Deficit," NBER Working Paper 25874, 2019.
21. Kremer, M., "Population Growth and Technological Change: One Million B.C. to 1990," *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 108, No. 4, 1993, pp.681-716.
22. Lee, J.-W. and D. Wie, "Returns to Education and Skills in the Labor Market: Evidence from Japan and Korea," *Asian Economic Policy Review*, Vol. 12, No. 1, 2017, pp. 139-160.
23. OECD, *Long-Term Baseline Projections* (Paris: OECD Publications, 2021).
24. Philippon, T., "Additive Growth," NBER Working Paper No. 29950, 2022.
25. Romer, P. M., "Endogenous Technological Change," *Journal of Political Economy*, Vol. 98, No. 5, 1990, pp.S71-102.
26. Sasaki, H., "The Solow Growth Model with a CES Production Function and Declining Population," *Economics Bulletin*, Vol. 39, No. 3, 2019, pp.1979-1988.
27. Sasaki, H. and K. Hoshida, "The Effects of Negative Population Growth: An Analysis using a Semi-endogenous R&D Growth Model," *Macroeconomic Dynamics*, Vol. 21, No. 7, 2017, pp.1545-1560.
28. Schwab, K. Ed., *Global Competitiveness Report* (Switzerland: World Economic Forum), 2019.
29. Song, E., "What Drives Labor Share Change? Evidence from Korean Industries," *Economic Modelling*, Vol. 94, 2021, pp.370-385.
30. United Nations, *World Population Prospects 2019*, New York City: United Nations, 2022.

## 〈부 록〉

## A1. 기술진보 식(19)의 유도

기술진보식  $\dot{A} \equiv dA_t/dt = \psi L_0^\lambda e^{\lambda nt} A_t^\phi$  은 1계 비선형 미분방정식이다. 아래와 같이 고쳐 쓸 수 있다.

$$A_t^{-\phi} dA_t = \psi L_0^\lambda e^{\lambda nt} dt \quad (A1)$$

양변을 적분을 취한다.

$$\int A_t^{-\phi} dA_t = \int \psi L_0^\lambda e^{\lambda nt} dt \quad (A2)$$

적분하여 정리하면 (단  $\phi \neq 1$ )

$$\frac{1}{(1-\phi)} A_t^{1-\phi} = \frac{\psi L_0^\lambda e^{\lambda nt}}{\lambda n} + C \quad (A3)$$

위 식은 미분방정식의 일반해 (general solution) 이다.  $C$ 는 임의의 상수이며 초깃값, 즉  $A_0$  ( $t=0$ 일 때의  $A_t$ ) 의 값을 이용하여  $C$  값을 정할 수 있다.

최종적으로 아래와 같은  $A_t$  값을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} A_t &= A_0 \left[ 1 - \frac{(1-\phi)\psi L_0^\lambda A_0^{\phi-1}}{\lambda n} (1 - e^{\lambda nt}) \right]^{\frac{1}{1-\phi}} \\ &= A_0 \left[ 1 - \frac{(1-\phi)g_{A_0}}{\lambda n} (1 - e^{\lambda nt}) \right]^{\frac{1}{1-\phi}} \end{aligned} \quad (A4)$$

여기서  $g_{A_0} \equiv \psi L_0^\lambda A_0^{\phi-1}$ 는  $t=0$ 에서 기술진보율을 표시한다.

$\phi=1$ 인 경우는 (A2)의 양변을 적분하여 정리하면,

$$\log A_t = \log A_0 - \frac{\psi L_0^\lambda}{\lambda n} (1 - e^{\lambda n t}) = \log A_0 - \frac{g_{A_0}}{\lambda n} (1 - e^{\lambda n t}) \quad (\text{A5})$$

여기서  $g_{A_0}$  는  $t=0$ 에서 기술진보율을 표시한다.

## A2. 인적자본 축적식의 유도

인적자본식이 아래와 같이 주어졌다.

$$dh_t/dt = B(uh_t)^\epsilon - \delta h_t, \quad B > 0, \quad 0 < \epsilon < 1, \quad \delta > 0 \quad (\text{A6})$$

따라서,  $t=0$ 에서 인적자본 축적률은  $g_{h_0} = Bu^\epsilon h_0^{\epsilon-1} - \delta$ 이다.

위 식을 단순하게 하려고  $t$  하첨자는 생략하고 표시하여 다음과 같이 고쳐 쓸 수 있다.

$$\frac{1}{Ah^\epsilon - \delta h} dh = dt$$

양변을 적분을 취하면

$$\int \frac{1}{Ah^\epsilon - \delta h} dh = \int dt \quad (\text{A7})$$

위 식 왼쪽의 적분을 풀어보자.  $h^\epsilon = r$ 라고 정의하면  $dh = \frac{1}{\epsilon} r^{\frac{1}{\epsilon}-1} dr$ 이다.

이를 이용하여 고쳐쓰면

$$\int \frac{1}{Ah^\epsilon - \delta h} dh = \frac{1}{\epsilon} \int \frac{1}{A - \delta r^{\frac{1}{\epsilon}-1}} r^{\frac{1}{\epsilon}-2} dr$$



다시  $A - \delta r^{\frac{1}{\epsilon}-1} = s$ 로 정의하면  $\delta \left(1 - \frac{1}{\epsilon}\right) r^{\frac{1}{\epsilon}-2} dr = ds$ . 이를 이용하여 고쳐 쓰고 적분을 풀면

$$\int \frac{1}{Ah^{\epsilon} - \delta h} dh = \frac{1}{\epsilon} \int \frac{\epsilon}{(\epsilon-1)\delta} \frac{1}{s} ds = \frac{1}{(\epsilon-1)\delta} \ln |A - \delta h^{1-\epsilon}|$$

(A7) 식을 정리하면 ( $A - \delta h^{1-\epsilon} > 0$ 을 가정함),

$$\begin{aligned} \frac{1}{(\epsilon-1)\delta} \ln |A - \delta h^{1-\epsilon}| &= t + C \\ A - \delta h^{1-\epsilon} &= \exp(-(1-\epsilon)\delta(C+t)) \end{aligned}$$

이제  $A = Bu^{\epsilon}$ 을 다시 대입하여 정리하면

$$h = \left[ \frac{1}{\delta} (Bu^{\epsilon} - \exp(-(1-\epsilon)\delta(C+t))) \right]^{1/1-\epsilon} \quad (\text{A8})$$

$C$ 는 초깃값으로 구해진다.

$$C = \frac{1}{(\epsilon-1)\delta} \log(Bu^{\epsilon} - \delta h_0^{1-\epsilon})$$

이 값을 다시 (A8) 식에 대입하여 정리한다.

$$h_t = \left[ \frac{1}{\delta} (Bu^{\epsilon} - (Bu^{\epsilon} - \delta h_0^{1-\epsilon}) \exp(-(1-\epsilon)\delta t)) \right]^{1/1-\epsilon} \quad (\text{A9})$$

(A6)에서  $Bu^{\epsilon} = (g_{h_0} - \delta)h_0^{1-\epsilon}$ 이다. 이 식을 대입하면,

$$h_t = \left[ \frac{1}{\delta} (g_{h_0} - \delta)h_0^{1-\epsilon} - (g_{h_0}h_0^{1-\epsilon}) \exp(-(1-\epsilon)\delta t) \right]^{1/1-\epsilon} \quad (\text{A10})$$

## Growth Model with Declining Population and Its Application to the Korean Economy\*

Jong-Wha Lee\*\*

### Abstract

Facing population decline, Korea is expected to experience a continuous fall in its economic growth rate in the future. This study analyzes the growth path of an economy with a negative population growth rate. The growth model implies that the equilibrium economic growth rate is not determined proportionally to the rate of population growth. Other important factors, such as physical and human capital accumulation, technological progress and elasticity of substitution between physical capital and labor, also play an important role in determining the growth rate. Assuming the future population projections of the National Statistical Office, we simulate the model to predict Korea's economic growth rates until 2060. Depending on the parameter values, average annual GDP growth in 2050-2060 is estimated to be 0.2-1.5%, and per capita GDP growth is 1.5-3%. The Korean economy can grow on a higher growth path by improving the quality of the labor force and promoting technological progress and investment in physical capital.

**Key Words:** economic growth, population structure, human capital, technological progress

**JEL Classification:** J11, J24, O33, O41, O53

---

*Received: Feb. 7, 2023. Revised: Feb. 24, 2023. Accepted: March 8, 2023.*

\* I would like to thank Eunbi Song for her support with data collection and analysis, and Yunjong Eo for his constructive comments. This research was supported by a Korea University Grant (K2210021).

\*\* Eminent Professor, Economics Department, Korea University, 145 Anam-ro, Seongbuk-gu, Seoul, 02841, Korea. Phone: +82-2-3290-2216, e-mail: jongwha@korea.ac.kr