

탄소중립은 지속가능한 경제성장과 양립하는가?[†]

박호정*

요약 : 국내의 탄소중립 정책은 다분히 온실가스 감축정책 위주로 구성되어 있는 것에 반해 미국, 영국, 중국 등 탄소중립을 선언한 국가는 경제성장과 기후변화를 동시에 달성하겠다는 목표를 갖고 있다. 본 논문은 온실가스 배출의 넷제로를 의미하는 탄소중립 개념을 램지의 경제성장 모형에 포함함으로써 탄소중립 정책이 자본축적의 장기적 동태적 과정에 미치는 효과를 분석하였다. 아울러 지속가능한 경제성장을 달성하기 위한 이른바 하트워크 규칙을 내포하였다. 넷제로의 탄소중립이 자본과 소비 경로의 정상상태와 더불어 나타날 때의 정상상태 균형을 분석하였다. 분석 결과를 보면, 램지 모형에 탄소중립과 하트워크 규칙을 포함할 경우 자본의 축적이 저규모 수준에서 정상상태에 도달하는 것으로 나타났다. 또한 재생에너지 확대가 다수의 이해집단에 의해 지대추구 대상이 될 때에는 자본축적 규모가 보다 더 악화될 수 있기 때문에, 에너지 전환과정에 공정한 시장제도 설계가 중요함을 알 수 있다.

주제어 : 탄소중립 정책, 경제성장 모형, 자본스톡, 지속가능 경제성장

JEL 분류 : C6, N1, Q3

접수일(2021년 5월 3일), 수정일(2021년 5월 22일), 게재확정일(2021년 5월 24일)

[†] 본 논문은 2021년 2월의 한국경제학회 특별세션 II '환경이슈와 경제정책'에서 발표된 것을 일부 수정한 것이며, 고려대학교 특별연구비에 의하여 수행되었다(supported by Korea University Grant).

* 고려대학교 식품자원경제학과 교수, 교신저자(e-mail: hjeongpark@korea.ac.kr)

Is Carbon Neutral Policy Compatible with Sustainable Economic Growth?

Hojeong Park*

ABSTRACT : Carbon neutral policy in Korea pays limited attention to the concept of sustainable economic growth. This limitation can be compared with other countries' carbon neutral policies such as US, UK and China where the climate change policies are closely connected to economic policies to boost further economic growth. This paper adopts a Ramsey growth model to account for the impact of carbon neutral policy on long-term economic growth and the accumulation capital. The model incorporates the Hartwick rule to allow sustainability of economic growth by transforming resource input into other input factor for growth. The analysis provides a possibility of low accumulation of capital as a result of carbon neutral policy in the absence of effective transformation of fossil-fuel factor into growth-related productive capital. Such low capital stock can be more aggravated when there exists a rent-seeking behavior of various interest groups with voracity to exploit social capital.

Keywords : Carbon neutral policy, Economic growth model, Capital stock, Sustainable growth

Received: May 3, 2021, Revised: May 22, 2021, Accepted: May 24, 2021.

* Professor, Department of Food and Resource Economics, Korea University, Corresponding author(e-mail: hjeongpark@korea.ac.kr)

I. 서론

지난 2020년 10월 우리 정부는 탄소중립을 선언하였다. 이보다 앞서 중국은 2060년을 목표로 탄소중립을 선언하였으며 일본도 2050년을 목표로 탄소중립을 선언하였다. 조 바이든 행정부의 미국 정부와 우리나라 정부 역시 2050년을 목표로 탄소중립을 달성할 것을 선언하였다.

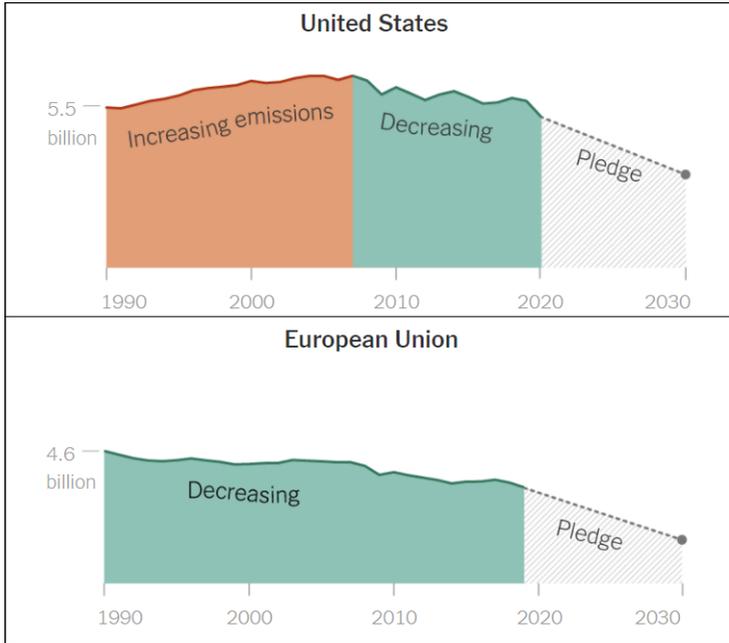
이와 같은 주요국의 탄소중립 선언은 기후변화 이슈에 적극 대응하겠다는 의지와 함께 지속가능한 경제성장에 대한 목표 역시 담고 있다는 점에 주목해야 한다. 강도 높은 기후변화 정책을 고수하고 있는 영국의 경우 해상풍력, 수소경제, 원자력, 전기자동차와 녹색금융 등에 집중적으로 투자하여 약 25만개의 일자리를 창출하며, 또한 SMR과 AMR의 차세대 원자력 발전도 육성하는 탄소중립 전략을 발표하였다(UK Energy White Paper, 2020). 미국과 EU는 각기 셰일가스 개발과 재생에너지 확대 이후 온실가스 감축역량이 상당히 제고된 것에 힘입어(<그림 1> 참조), 역내 산업을 보호하는 기조의 탄소국경조정 메커니즘(CBAM: Carbon Border Adjustment Mechanism)과 탄소세 정책을 추진하고 있다.¹⁾ 즉, 최근 주요국의 탄소중립 정책은 기후변화 대응역량을 제고하는 동시에 자국 산업의 육성을 통한 경제성장에도 초점을 두고 있음을 알 수 있다.

그럼에도 불구하고 우리나라의 탄소중립 정책은 다분히 온실가스 감축에만 역점을 두고 있으며 경제성장 관점에서의 탄소중립 논의가 미흡한 측면이 있다.²⁾ 탄소중립은 이른바 넷제로(net zero) 정책으로서 거시경제적인 영향이 크기 때문에 경제성장 관점에서 살펴봐야 할 주제이다. 에너지 부문에 국한된 에너지전환 정책이나, 기업에 초점을 맞춘 RE100과는 달리 탄소중립 정책은 거시경제 전반에 영향을 미친다는 점에서 본 연구가 출발하였다.

1) EU는 온실가스 배출을 2030년까지 1990년 대비 55% 감축목표를 지난 2020년 발표하였으며, 이 목표를 달성하는 과정에서 탄소누출(carbon leakage)을 막고 EU 역내의 산업보호와 경쟁력 강화를 위하여 탄소국경조정제도를 도입하기로 하였다. 탄소국경조정제도는 EU의 초안이 발표되는 2021년 6월 이후 추가적인 논의를 거쳐 늦어도 2023년 전에 본격 시행할 예정이다. 본 메커니즘은 EU로 수입되는 재화의 탄소발자국 등을 기초로 하여 EU와의 탄소비용 차이를 해소하는 것을 목적으로 하는 일종의 통상무역 정책으로 접근하고 있다.

2) 예를 들어, 2020년 2월 발표된 「2050 장기 저탄소 발전전략」을 살펴보면 ‘감축’이라는 단어는 369회 검색된 것에 반해 ‘경제성장’은 1회 검색되었으며 그나마 그것도 온실가스 감축과 경제성장을 탈동조화(decoupling) 한다는 의미에서 사용되었을 뿐 국내 경제의 성장을 논하는 것은 아니었다. 이와 유사하게 2021년 3월 발표된 환경부의 ‘탄소중립 이행계획’에서도 ‘감축’은 89회 검색된 것에 반해 ‘경제성장’은 2회 언급에 그쳤으며 이 역시 탈동조화 관련이었다.

〈그림 1〉 이미 감축경로에 들어선 미국과 EU의 온실가스 배출



자료: Rhodium Group³⁾

각국이 탄소중립을 선언하는 데에는 기후변화에 적극 대응한다는 목표 이상의 의미가 담겨 있다. 이는 탄소중립이 비단 최근에 이슈화된 것이 아니고 십여 년 전에도 오늘날과 유사하게 선언된 배경을 보면 이해할 수 있다. 2008년~2009년 무렵 몇 개국에서 탄소중립을 선언하였는데, 여기에는 당시 고유가가 큰 역할을 하였다. 급상승한 유가와 석탄 가격으로 인해 화석연료 의존도를 낮추기 위해 원자력 발전에 대한 기대가 높아졌는데, 주지하는 바와 같이 원자력은 온실가스를 배출하지 않는다는 점에서 당시 탄소중립 정책이 부각될 수 있었던 것이다. 이는 기후변화 이슈만으로 탄소중립을 선언하기에는 역부족이었을 것이며 고유가로 인한 에너지원의 대체라는 경제적 배경이 있어서 가능하였음을 시사한다. 최근 주요국의 탄소중립 선언 역시 기후변화 대응뿐만 아니라 국가 경제성장 전략 차원에서 제기되었다는 점을 상기할 때, 탄소중립과 관련한 우리나라의 전략 방향에 관한 고민이 필요할 것이다.

3) <https://rhg.com/news/the-u-s-has-a-new-climate-goal-how-does-it-stack-up-globally/>

온실가스의 넷제로 상태에서의 배출증가율은 이른바 정상상태(steady-state)를 의미한다. 온실가스 배출 증가율뿐만 아니라 인구증가율과 경제성장률도 거의 제로성장에 이르게 되면 경제는 정상상태 균형(steady-state equilibrium)에 도달하게 된다. 램지 모형과 같은 경제성장 모형에 따르면 이 균형 상태에 너무 일찍 이르게 되면 자본축적이 낮은 상태에서 그 경제가 고착될 수 있다. 즉, 자본축적 관점에서 저개발 상태의 뒷에 고착화될 수 있다는 경고를 내포하고 있다.⁴⁾

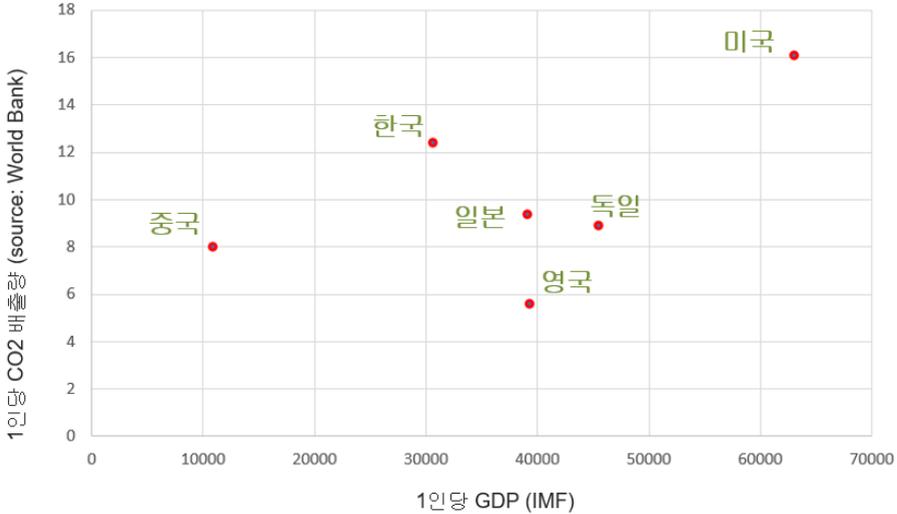
<그림 2>은 우리나라의 1인당 GDP와 1인당 CO₂ 배출량을 탄소중립을 선언한 타 국가와 비교하여 보여준다. 우리나라가 국제 사회에서 온실가스 감축의무를 지금보다 훨씬 더 강력하게 이행해야 한다는 주장이 있을 때에 주로 활용되는 지표들이다. 한편 <그림 3>은 우리나라의 자본스톡 규모와 CO₂ 배출량을 비교하고 있는데, 탄소중립을 선언한 주요국에 비해 자본스톡의 형성이 현저히 낮은 수준임을 알 수 있다. 기후변화 경제학에서의 경제성장 모형은 기본적으로 GDP가 아닌 자본스톡을 투입변수로 설정한다는 점을 상기할 때, 우리의 탄소중립 정책을 논할 때에도 1인당 GDP가 아닌 자본스톡 대비하여야 함을 알 수 있다.

본 연구에서는 지속가능한 경제성장을 위한 자본축적의 관점에서 탄소중립 정책의 의미를 살펴보고자 한다. 이를 위해 유용한 개념이 하트윅 규칙(Hartwick rule)이다 (Hartwick, 1977). 하트윅 규칙에 의하면 생산요소로 쓰이는 한 자원에서 발생하는 자원 지대(resource rent)를 다른 자분을 축적하는 데 이용할 경우 지속가능한 경제성장을 달성할 수 있다는 개념을 제시하고 있다. 사실 이는 아래에서 논의하는 바와 같이 정의론에 관한 존 롤스의 이른바 Maxmin의 철학을 기저에 깔고 있다(Rawls, 1972; Jabbari, et al. 2020).⁵⁾

4) 조셉 슈메터는 정상상태를 ‘순환(circulation(英), kreislauf(獨))’로 칭하면서 ‘매 기간 생산되는 모든 것을 소비함으로써 실질적으로 (자본)축적이나 저축 또는 이윤이 발생하지 않는 경제상태’로 정의하고 있다(Schumpeter, 1961).

5) 공리주의 접근방식에서는 전 세대의 효용함수의 현재가치를 극대화하지만 롤스의 정의적 분배론을 따를 경우에는 제일 취약한 세대의 효용을 극대화하게 된다. 매 기간 소비 c_t 에서 발생하는 효용함수가 $u(c_t)$, 할인인자가 β 일 때, 공리주의 관점은 $\max[\sum \beta^t u(c_t)]$ 인 것에 반해, 롤스 관점은 $\max[\min u(c_t)]$ 임을 의미한다. 본 논문에서 지면상 상세히 다룰 수는 없지만 존 롤스의 세대간 분배론은 Robert Solow가 언급하는 바와 같이 기본적으로 1인당 소비가 시간에 걸쳐 불변하는 것을 의미하며, 이는 하트윅 규칙 성립을 위한 필요조건으로 도입되어야 한다.

〈그림 2〉 탄소중립 선언 주요국의 1인당 GDP와 1인당 CO₂ 배출량

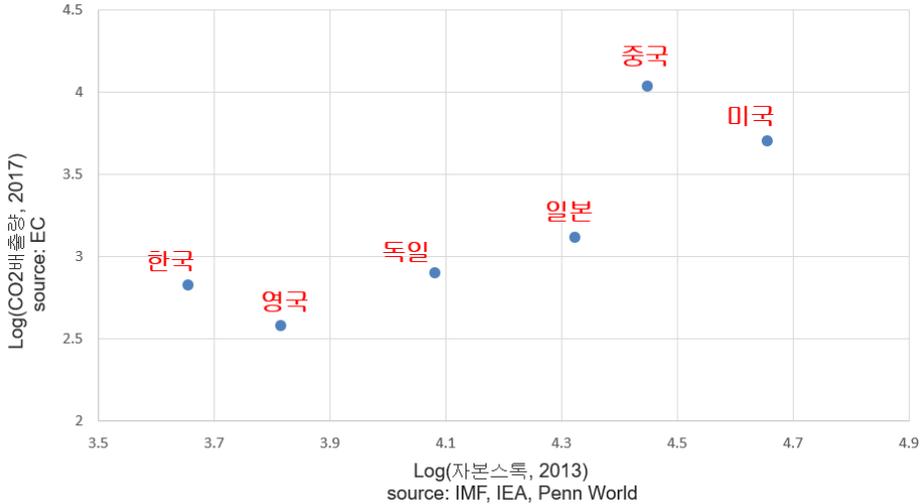


지속가능한 경제성장 모형은 석유와 같은 화석연료 중심으로 Dasgupta-Heal- Solow-Stiglitz(Dasgupta and Heal, 1974; Stiglitz, 1974)에서 제기하였는데, 당시 이 연구가 촉발된 계기는 1970년대의 고유가였다. 이어서 내생적 성장모형을 활용하여 기술진보와 R&D 투자를 지속가능 경제성장의 주요 수단으로 접근하기도 하였다.

에너지와 자원의 이용, 그리고 경제성장애 관한 정상상태 논의는 신고전파 경제학뿐만 아니라 생태경제학에서도 큰 논쟁의 줄기를 형성한 바 있다. 생태경제학의 거두인 Herman Daly는 정상상태를 ‘인구와 인공물의 스톡이 일정하게 유지되는 경제상태’로 정의하면서 이 정상상태는 물질과 에너지의 최소화된 투입을 통해서 달성되어야 한다고 주장했다(Daly, 1992). 하지만 정상상태 균형에 도달 가능한지에 대해서는 생태경제학에서도 많은 비판이 있었다. Herman Daly의 사상적 스승이 되는 Nicholas Georgescu-Roegen는 정상상태가 열역학 제2법칙을 위배하는 근거없는 주장이라고 비난하기도 하였다(Georgescu-Roegen, 1993).⁶⁾⁷⁾ 이러한 관점에서 정상상태를 경제 시스템 내에서 도

6) Georgescu-Roegen은 정상상태는 ‘생태학적 구원(ecological salvation)을 갈구하는 희망없는 허튼 소리(snake oil)’라면서 강도 높게 비판하였다. 이와 유사하게 Kerschner(2010)는 장기적으로 물질의 엔트로피적인 소멸과 정치·사회 시스템의 복잡성으로 인해 정상상태 균형이 물리적으로 달성하기 힘들다는 점을 인정하고 있다. 대신 그는 심리학적 내지 도덕적인 추상적 관점에서 정상상태의 방향 추구성을 강조하고 있다. 생태경제학 내부의 이

〈그림 3〉 탄소중립 선언 주요국의 자본스톡과 CO₂ 배출량



달할 수 없는 목표(unattainable goal)로 이해하면서 일종의 도덕성에 호소하는 방향으로 최근 생태경제학적 논의가 진행되고 있기도 하다(Kerschner, 2010).

본 논문은 ‘열역학법칙과 인류생존과 멸망’이라는 생태경제학에서의 거대담론에서 벗어나 램지의 경제성장 모형을 이용하여 탄소중립의 정상상태 균형이 자본축적에 미치는 함의를 분석하고자 한다. 램지 모형을 기본 구조로 삼되 지속가능한 경제성장률을 유지하기 위한 이른바 하트워 규칙에다가 탄소중립 조건을 추가하는 방식으로 모형을 전개하였다. 앞서 말한 바와 같이 탄소중립은 에너지전환 정책이나 그린뉴딜 정책보다도 훨씬 더 포괄적이며 또한 강력한 조건의 충족을 필요로 한다. 넷제로 배출을 경제성장 모형에 반영하기 위해서는 경제 전체에서 탄소 순배출을 제로화하는 조건식이 추가되어야 함을 의미한다. 이 경우 다음 절에서 보겠지만 기존 하트워 규칙보다는 훨씬 더 강력한 형태의 자본전환 규칙이 필요하다. 아울러 본 연구에서는 재생에너지 확대를 중시

와 같은 자성의 목소리를 작금에 논의되고 있는 탄소중립에 연결해서 생각해 본다면 엄밀한 의미에서의 탄소중립 실현이 거의 불가능하다는 시사점을 얻지 않을까 생각된다.

- 7) 또한 Georgescu-Roegen은 이른바 열역학 제4법칙에서 ‘폐쇄시스템에서는 물질 엔트로피는 궁극적으로 최대치에 이르게 된다’고 주장하면서, 정상상태를 달성할 수 있는 완벽한 의미의 자원순환은 근본적으로 불가능하다고 보았다(Georgescu-Roegen, 1977). 이 관점을 받아들일 때 생태경제학에서의 정상상태 균형 달성도 불가능하며, 본고에서 적용하는 하트워 규칙에서처럼 생산요소 간의 순환도 사실 엄밀하게 성립하지 않는다고 볼 수 있다.

으로 하는 에너지 전환 과정에서 경제주체 사이에 경쟁적인 지대추구(rent seeking) 행위가 개입되면 자본축적이 더욱 느려질 수 있음을 보여주고자 한다.

II. 탄소중립이 포함된 성장모형

1. 모형

지속가능성에 관한 1987년의 브룬트란드 보고서(Brundtland Commission Report)는 “지속가능 개발은 미래세대의 필요를 충족시킬 수 있는 능력을 저해시키지 않으면서 현 세대의 필요를 충족하는 상태”라고 고전적인 정의를 내리고 있다. 이와 같은 지속가능성이 만족되기 위해서는 존 롤스의 Maxmin 조건이 충족되는 동시에 하트워 규칙을 만족해야 한다.

경제는 CARA 효용함수를 극대화하되 자본제약식에 영향을 받는다. 매 기간당 자본스톡이 \dot{K}_t 만큼 증가하는데 이는 생산 $Y_t = F(K_t, e_t, R_t)$ 에서 소비 c_t 를 제외한 규모에 해당된다. 생산함수는 $Y_t = F(K_t, e_t, R_t) = AK_t^\alpha e_t^\beta R_t^{1-\alpha-\beta}$ 의 콥-더글라스 함수를 가정하였으며, 여기서 K_t 는 자본스톡, e_t 는 화석연료기반 에너지투입량, R_t 는 재생에너지스톡을 의미한다. A 는 기술진보 파라미터를 나타내며 아래에서 표기 편의상 $m = 1 - \alpha - \beta$ 로 표현하도록 한다. t 기에 존재하는 화석연료에너지의 스톡이 E_t 라고 할 때에 $\dot{E}_t = -e_t$ 로 매 기간 화석연료에너지스톡이 변하게 된다고 본다. 재생에너지스톡인 R_t 는 에너지기본계획이나 신재생기본계획 등 정부 정책에 의해 매 기간 γ 의 증가율로 증가한다고 가정하여 $\dot{R}_t = \gamma R_t$ 로 나타낸다. 이 경우 경제의 최적화 문제는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\max \int_0^{\infty} \frac{u(c_t, E_t)^{1-1/\sigma}}{1-1/\sigma} e^{-\rho t} dt \quad (1)$$

s.t.

$$\dot{K}_t = F(K_t, e_t, R_t) - c_t \quad (2)$$

$$\dot{E}_t = -e_t \quad (3)$$

$$\dot{R}_t = \gamma R_t \quad (4)$$

해밀토니안 $H = U(c, E) + \lambda(F(K, e, R) - c) - \delta e + \mu\gamma R$ 에서 λ, δ, μ 는 자본, 화석연료 기반에너지스톡, 재생에너지스톡의 잠재가격을 나타내는 상태변수(co-state variable)이다. 극대원칙(Maximum Principle)에 의해 구한 1계 조건을 정리하면 다음과 같다.

$$\lambda = (cE^{-\epsilon})^{-1/\sigma} E^{-\epsilon} \quad (5)$$

$$\delta e = \lambda\beta Y \quad (6)$$

$$\dot{\lambda} = \lambda(\rho - \alpha Y/K) \quad (7)$$

$$\dot{\delta} = -(cE^{-\epsilon})^{-1/\sigma} (-\epsilon cE^{-\epsilon-1}) + \rho\delta \quad (8)$$

$$\dot{\mu} = -\lambda m Y/R - \mu\gamma + \rho\mu \quad (9)$$

위에서 $m = 1 - \alpha - \beta$ 를 나타낸다. $p = \delta/\lambda$ 는 화석연료에너지스톡을 자본가격으로 나눈 화석연료에너지스톡의 상대잠재가격을 나타낸다. 이와 유사하게 재생에너지스톡의 상대잠재가격을 $q = \mu/\lambda$ 로 표시하도록 한다. 식(8)과(9)를 이용해서 p 와 q 의 시간도함수를 구하면 다음과 같다.

$$\dot{p} = -\frac{(cE^{-\epsilon})^{-1/\sigma} (-\epsilon cE^{-\epsilon-1})}{(cE^{-\epsilon})^{-1/\sigma} E^{-\epsilon}} + p\frac{\alpha Y}{K} = \frac{\epsilon c}{E} + p\frac{\alpha Y}{K} \quad (10)$$

$$\dot{q} = q\left(\frac{\alpha Y}{K} - \gamma\right) - \frac{m Y}{R} \quad (11)$$

하트워 규칙에 의하면 각 생산요소에서의 지대가치 배분이 $\lambda\dot{K} + \delta\dot{E} + \mu\dot{R} = 0$ 또는 $\dot{K} + p\dot{E} + q\dot{R} = 0$ 을 만족해야 한다(Dixit et al. 1980; Asheim, 2007). $\dot{E} = -e$ 와 $\dot{R} = \gamma R$ 이므로 $\dot{K} = pe - q\gamma R$ 이며, 여기서 $p = F_e$ 이므로 \dot{K} 의 자본축적식을 아래처럼 나타낼 수 있다.

$$\dot{K} = \beta Y - q\gamma R \tag{12}$$

또한 $\dot{K} = F(.) - c$ 에서 $c = F(.) - \dot{K} = Y - \beta Y + q\gamma R$ 이므로 이를 다시 Y 에 대해 정리하면 $Y = (uE^\epsilon - q\gamma R)/(1 - \beta)$ 가 된다.

탄소중립의 넷제로가 실현된다는 것은 온실가스를 배출하는 화석연료 이용이 그에 상응하는 수준만큼의 재생에너지로 대체된다는 것을 의미한다고 볼 때에 $-\theta\dot{E} = \dot{R}$ 을 가정할 수 있다. 생산함수에서 $\dot{E} = -Y^{1/\beta} K^{-\alpha/\beta} R^{-m/\beta}$ 이므로 탄소중립 조건식에 대입하면 $R^{(1-\alpha)/\beta} = (\theta/\gamma) Y^{1/\beta} K^{-\alpha/\beta}$ 의 관계를 얻게 되고 이를 Y 에 대해 자세히 풀어서 식(13)과 같이 나타내도록 한다.

$$R^{(1-\alpha)/\beta} = \frac{\theta K^{-\alpha/\beta}}{\gamma} \left[\frac{uE^\epsilon - q\gamma R}{1 - \beta} \right]^{1/\beta} \tag{13}$$

비선형방정식 (14)을 만족하는 해를 $R^* = R(K, E)$ 로 표시한다. 이를 \dot{K} 에 대한 식 (12)와 \dot{E} 에 대입하면 자본스톡과 화석연료에너지스톡의 축적식을 다음과 같이 구할 수 있게 된다.

$$\dot{K} = \left(\frac{\beta}{1 - \beta} \right) (uE^\epsilon - q\gamma R^*(K, E)) - q\gamma R^*(K, E) \tag{14}$$

$$\dot{E} = - \left(\frac{uE^\epsilon - q\gamma R^*(K, E)}{1 - \beta} \right)^{1/\beta} R^*(K, E)^{-m/\beta} K^{-\alpha/\beta} \tag{15}$$

식 (14)와(15)는 K 와 E 에 대한 비선형연립미분방정식(system of nonlinear differential equations)으로써 두 스톡변수의 최적경로를 계산하기 위해서는 수치해석적인 방법을

필요로 한다. 하지만 두 식을 이용하여 화석연료에너지스톡에 대한 자본스톡의 증감효과를 $dK/dE < 0$ 에서 알 수 있는데, 즉 화석연료에너지스톡이 감소하면 자본스톡 K 가 증가해야 함을 알 수 있다.⁸⁾ 이는 모형 전개 과정에서 생산요소 대체의 하트워 규칙이 적용되었기 때문에 당연하게 귀결되는 조건이다. 화석연료에너지스톡이 감소하는 경우에 경제성장을 지속가능하도록 달성하기 위해서는 자본스톡이 증가해야 하며 만일 자본스톡의 확충이 실패할 경우에는 지속가능한 경제성장이 이루어지지 않음을 의미한다. 자본스톡의 초기 규모에 대한 비교효과를 살펴보면 낮은 자본스톡의 축적 상태에서는 R 이 작으며 $d\dot{K}/dR < 0$ 이므로 K 가 더욱 증가해야 함을 알 수 있다.⁹⁾

2. 탄소중립 경로가 자본축적에 미치는 영향

다음 식 (14)와 (15)를 이용해서 정상상태에서의 위상궤도 분석을 하면 다음과 같다. $\dot{K}=0$ 과 $\dot{E}=0$ 의 정상상태 균형을 알아보기 위해 $\Omega = \beta u E^\epsilon - q\gamma R^*(K, E)$ 에 대해 전미분하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial E}{\partial K} = \frac{q\gamma R_K^*}{\epsilon\beta u E^{\epsilon-1} - q\gamma R_E^*} > 0 \text{ for } \dot{K}=0 \quad (16)$$

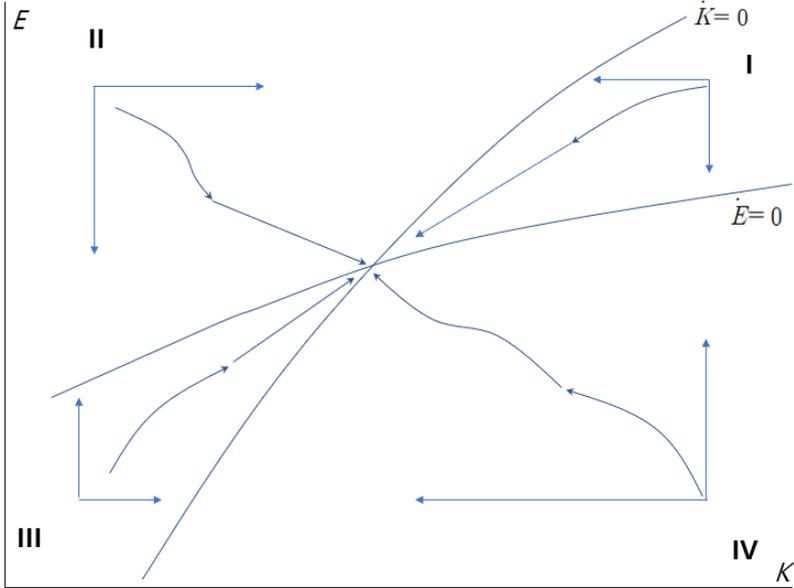
$$\frac{\partial E}{\partial K} = \frac{q\gamma R_K^*}{\epsilon u E^{\epsilon-1} - q\gamma R_E^*} > 0 \text{ for } \dot{E}=0 \quad (17)$$

여기서 $0 < \beta < 1$ 이므로 $\partial E/\partial K|_{\dot{K}=0} > \partial E/\partial K|_{\dot{E}=0}$ 이기 때문에 <그림 4>의 위상궤도를 구할 수 있다. I분면에서부터 IV분면에 이르기까지 모두 정상상태균형 SS_0 로 안정적으로 도달하는 경로를 가진다. I분면의 경우 자본과 화석연료에너지스톡이 고도로 발달한 시스템으로 이해할 수 있는데 여기서 탄소중립과 하트워 규칙이 적용될 경우 두 상태변수 모두 감소하되 대신에 재생에너지스톡이 증가하여야 한다. II분면의 경우 자본축적 규모에 비해 화석연료 의존도가 과다하게 높은 시스템으로 볼 수 있으며, 이 경우

8) $dK/dE = (\beta W - q\gamma R^*) / (-W^{1/\beta} R^{*-m/\beta} K^{-\alpha/\beta}) < 0$ 이며 여기서 $W = (uE^\epsilon - q\gamma R^*) / (1 - \beta)$ 임.

9) $R^*|_{K_0'} = R(K_0', E) > R^*|_{K_0''} = R(K_0'', E)$ if $K_0' > K_0''$ 성질에서 확인할 수 있다.

〈그림 4〉 K 와 E 에 대한 정상상태 위상궤도

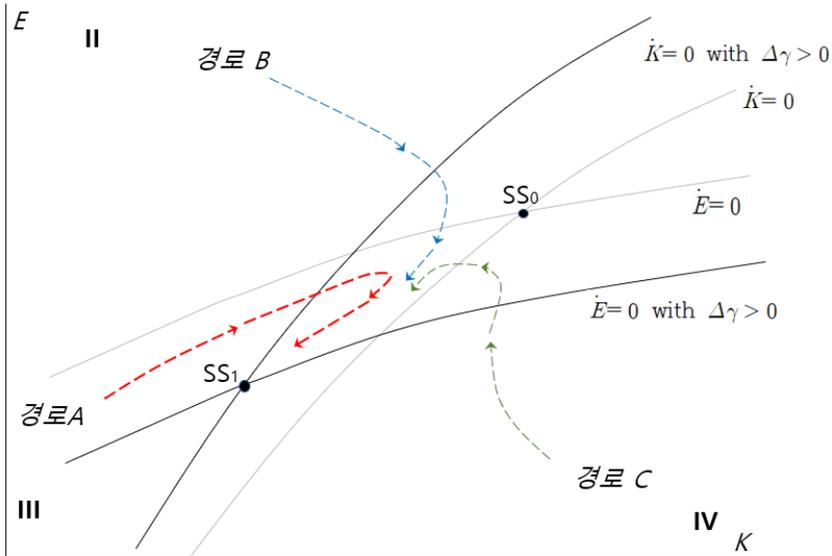


탄소중립을 위해서는 화석연료스톡이 감소하되 자본과 재생에너지스톡이 동시에 증가하여야 한다. III분면은 자본축적과 에너지스톡 규모 모두 낮은 상태, 즉 자본축적 관점에서 볼 때에 경제성장 단계가 낮은 시스템인데 이 경우 두 상태변수 모두 증가하는 경로를 따를 때에 SS_0 균형에 도달할 수 있음을 알 수 있다.

만일 재생에너지스톡의 보급속도를 정책적으로 증가시킨다면 이는 γ 의 증가로 나타낼 수 있는데, 이 경우 $\dot{K}=0$ 의 정상상태 경로가 이동하게 된다. <그림 5>에서 이는 $\dot{K}=0(\Delta\gamma > 0)$ 로 표현되었다. γ 의 증가로 화석연료에너지스톡의 정상상태 경로 역시 이동하는데 이는 $\dot{E}=0(\Delta\gamma > 0)$ 로 나타내었다. 만일 초기 상태가 III분면의 시스템에 있을 경우에 <그림 4>에서 보는 바와 같이 자본스톡과 화석연료에너지스톡이 증가하는 경로에서 후퇴하여 저규모의 자본스톡 수준에 해당되는 SS_1 에 이를 수 있게 된다(경로 A 참조). 이는 저자본 축적의 상태로 고착되는 것을 의미한다.¹⁰⁾

10) 자본축적이 증대되는 정상상태로의 경로는 $\dot{K}=0(\Delta\gamma > 0)$ 이 초기 SS_0 에서 오른쪽으로 이동할 때 발견될 수 있는데, 이에 대한 상세한 수리적 조건은 지면 관계상 본고에서 제외하였다.

〈그림 5〉 재생에너지 확대에 따른 정상상태 균형의 이동과 자본축적 감소



저자본 축적에 뒷받침되지 않기 위해서는 화석연료에서 재생에너지로의 에너지 전환 과정에서 실질적인 자본축적이 이루어질 수 있는 정책 설계가 필요하다. 여기에는 여러 가지 방안이 담겨질 수 있을 것이다. 재생에너지의 단기목표에 치중하는 탄소중립 정책은 결국 수입산 태양광과 풍력에 의존하게 된다. 따라서 국산 기술에 의한 재생에너지 보급이 이루어질 수 있도록 탄소중립 경로를 초기에는 완만하게 설정하는 방안이 검토될 수 있을 것이다.

3. 지대추구에 대한 고찰

온실가스 배출을 줄이기 위하여 재생에너지의 확대는 필연적이다. 하지만 정부 보조금이나 기타 경제적 지원대상인 재생에너지는 그 보급 과정에서 다양한 이해관계집단의 지대추구 행위(rent seeking behavior)에 노출될 수 있다.¹¹⁾ 에너지 전환 경로에서 경

11) 재생에너지의 보급확대 과정에서 이해집단의 지대추구 행위와 부정부패 등과 관련된 연구로는 한국의 RPS를 연구한 Kwon(2015), 이탈리아의 풍력발전을 분석한 Gennaioli and Tavoni(2012), 인도네시아의 태양광 발전 사례를 분석한 Kryger(2017) 등 다수의 논문이 있다.

제주체들의 이처럼 경쟁적인 지대추구 행위가 개입되면 경제성장에 필요한 자본축적이 더욱 악화될 위험이 있다.

본 소절에서는 이를 Lane and Tornell(1996)과 Tornell and Lane(1999)이 정의하는 이른바 탐욕효과(voracity effect)로 설명하고자 한다. 그들이 정의하는 탐욕효과는 ‘어느 국가에서의 자본축적이 권력집단의 지대추구 행위에 의해 정상적인 규모로 이루어지지 못할 때에 발생’한다. 이때의 권력집단은 사회의 다른 구성원으로부터 자원을 뽑아내는 (extract) 권력을 가진 이들의 연합체(coalition)로서, 정치적 권력체도 포함한다. 지대를 추구하는 탐욕효과는 Vahabi(2004)가 묘사한 바와 같이 경제체제에 손상을 입히는 파괴적 권력(destructive power)이 될 수 있다는 점에서 한 나라의 경제성장에 영구한 피해를 입힐 수도 있다.

자본축적에 쓰여야 하는 자원이 권력집단의 사적 이익에 쓰이게 되면서 경제성장이 저해되는데, Lane and Tornell은 베네수엘라와 멕시코를 예로 들었다. 막대한 석유자원을 통해 벌어들인 오일머니가 자본축적을 쓰이기보다는 특정 집단의 부를 축적하는 데 이용됨으로써 국가적으로 경제성장에 실패하였다는 것이다. 즉, 앞 절에서 적용한 하트윅 규칙을 적용하지 않음으로써 지속가능한 경제성장에 실패한 것이다. 반면 Lane and Tornell은 경제개발 단계에서 탐욕효과를 극복하고 경제성장을 도모한 대표적인 국가로 경제개발 단계에서의 한국을 소개하였다.

지대추구에 관한 탐욕효과는 Lane and Tornell(1996)이나 van der Ploeg(2010)과 유사하게 아래와 같이 모형에 반영할 수 있는데, 자세한 전개과정은 생략하고 소개하도록 한다. $i = 1, \dots, N$ 의 이해집단으로서의 경기자가 있으며, 이들은 사회자본을 사적인 이유로 수취하는 전용(appropriation) 행위를 행한다고 하자. 그룹 i 의 마야코브 전략은 매 기간당 소비 $c_i(t)$ 가 되는데, 상태변수인 K 뿐만 아니라 E 와 R 에 의해 영향을 받는다.

N 개의 마야코브 전략인 $\{c_i^*(K, E, R)\}_{i=1}^N$ 은 다음의 조건을 만족할 경우에는 마야코프 완벽균형(Markov perfect equilibrium)이 된다.

$$W(c_i^*(t), c_{-i}^*(t); K(t), E(t), R(t)) \geq W(c_i(t), c_{-i}^*(t); K(t), E(t), R(t))$$

for all i, t (18)

해밀토니안 함수를 구축한 후 극대원칙을 적용하는 이후의 방법은 앞 절의 절차를 거
 의 그대로 따른다. 그룹 i 의 해밀토니안 함수는 다음과 같다.

$$H_i = \frac{(c_i E)^{1-1/\sigma}}{1-1/\sigma} + \lambda_i (F(K, e, R) - c_i - \sum_{j \neq i} c_j(K)) - \delta e + \mu \gamma R \quad (19)$$

매 기간 소비 c_i 는 사회의 자본 K 의 일부를 수취하여 실현하는 것으로 가정할 때
 $c_i = k_i K(t)$ 로 나타낼 수 있다. 따라서 모든 이해집단은 가능한 자신의 몫을 크게 가져가
 기 위한 k_i 에 관심을 갖는다. 위 해밀토니안을 풀게 되면, $\dot{c}/c = \dot{K}/K$ 이므로 극대원칙 1
 계조건에 의해 구한 식들을 대입하여 정리하여 아래 결과를 얻을 수 있다. 만일 $\dot{E}/E = y$
 라고 가정한다면, k_i^* 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$k_i^* = \left(\frac{\alpha A + \sigma}{\alpha \sigma} \right) F_K - \sum_{j \neq i} k_j^* \left(\frac{1 + \sigma}{\sigma} \right) + \epsilon (\sigma - 1) y \quad (20)$$

대칭적인 모든 그룹 경기자 N 에 대해 성립하므로 $N-1$ 개의 그룹에 대해 재정리하면
 마야코브 균형해는 아래의 구조를 갖게 되는 것을 알 수 있다.

$$k^* = \left[\left(\frac{\alpha A + \sigma}{\alpha \sigma} \right) F_K + \epsilon (\sigma - 1) y \right] \left(\frac{\sigma + 1}{\sigma} n - \frac{1}{\sigma} \right)^{-1} \quad (21)$$

위 식은 아직 상태변수를 포함하고 있으므로 완전한 해는 아니지만 기술진보 s 에 따
 른 지대추구의 방향을 판별하는 것까지는 가능하다. 그 결과는 아래와 같다.

$$\frac{\partial k^*}{\partial A} > 0 \quad \text{if} \quad n > \frac{1}{\sigma + 1} \quad (22)$$

$$\frac{\partial k^*}{\partial A} < 0 \quad \text{if} \quad n < \frac{1}{\sigma + 1} \quad (23)$$

위 결과가 의미하는 바는, 권력집단의 수가 $1/(\sigma + 1)$ 보다 많아지게 되면 지대추구가

과열됨에 따라(즉, k^* 가 증가함에 따라) 자본축적 규모가 낮아진다는 것이다. 이는 탐욕 효과에 관한 Lane and Turnell(1999)과 동일한 결과다.

따라서 지속가능한 경제성장을 위한 하트워 규칙과 함께 탄소중립 조건을 충족하는 과정에서 저규모 자본축적의 경로를 따르게 되는데, 이때에 권력집단의 지대추구 행위가 결합되면 자본축적 과정이 더욱 악화됨을 알 수 있다.

III. 요약 및 결론

최근 주요 경제대국의 탄소중립 선언에는 기후변화에 적극 대응하는 동시에 탄소비용을 부담하는 자국 산업을 보호, 육성하겠다는 의지가 담겨 있다. 탄소국경조정 메커니즘(CBAM)이 대표적으로 이러한 정책 노선을 밝히고 있다. 즉, 작금에 펼쳐지고 있는 탄소중립은 과거의 우루과이 라운드에 이어서 이른바 저탄소 라운드라는 새로운 무역질서로 재편되는 촉매가 될 수 있으며 장기적으로 경제성장에 영향을 미치게 된다는 점에 주목해야 한다. 따라서 탄소중립 정책은 온실가스 감축의 한 단면만 강조될 것이 아니라 거시경제적인 관점에서 접근되어야 하는 이슈다.

본 논문은 현재 국내에서 진행되고 있는 탄소중립 정책이 국가 규모의 장기적인 자본축적과 경제성장을 제대로 논하지 않고 있다는 문제인식에서 출발하였다. 넷제로의 온실가스 배출증가율은 문자 그대로 제로 증가율이기 때문에, 정상상태 균형으로 경제가 수렴하게 되는 것을 가속화할 수 있다. 경제성장을 도외시하고 온실가스 감축만 강조하게 되면 제로경제성장에서 자본축적이 너무 이른 시기에 멈출 수가 있으며 장기적인 경제성장에 걸림이 될 수 있다.

따라서 저성장에서 벗어나 경제성장을 도모하기 위해서는 성장자본을 확충하는 전략으로서의 탄소중립 정책이 수립되어야 할 것이다. NDC를 비롯한 온실가스 감축의 현실적인 목표수립이 필요하며, 국내 경제성장에 근간이 될 수 있는 기술옵션의 선정이 필요하다. 또한 태양광 및 풍력의 국내 산업 육성, 수소경제 역량 강화, 차세대 원자력 발전 투자 등 기술분야에 꾸준한 투자가 이루어짐으로써, 온실가스 감축을 장기간의 호흡을 두고 달성해야 할 것이다.

[References]

- Asheim, G. B., W. Bucholz, J. M. Hartwick, T. Mitra, and C. Withagen, “Constant savings rates and quasi-arithmetic population growth under exhaustible resource constraints,” *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 53, 2007, pp. 213~229.
- Cairns, R. D., and N. V. Long, “Maximin: a direct approach to sustainability,” *Environment and Development Economics*, Vol. 11, 2006, pp. 275~300.
- Daly, H. E., *Steady-State Economics*. EarthScan Publication Ltd. 1992, 16p.
- Dasgupta, P., and G. M. Heal, “The optimal depletion of exhaustible resources,” *Review of Economic Studies*, Vol. 41, 1974, pp. 3~28.
- Dixit, A., P. Hammond, and M. Hoel, “On Hartwick’s rule for regular maximin paths of capital accumulation and resource depletion,” *Review of Economic Studies*, Vol. 47, 1980, pp. 55~556.
- Gennaioli, C., and M. Tavoni, *Cleanness or ‘dirty’ energy: evidence on a renewable energy resource curse*, London School of Economics, 2012.
- Georgescu-Roegen, N., “The steady state and ecological salvation: a thermo-dynamic analysis,” *Bioscience*, Vol. 27, No. 4, 1977, pp. 266~270.
- Georgescu-Roegen, N., *Entropy and Bioeconomics*, Nagard, 1993, pp. 184~201.
- Hartwick, J., “Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources,” *American Economic Review*, Vol. 66, 1977, pp. 972~974.
- Jabbari, M., M. S. Motlagh, K. Ashrafi, and G. Abdoli, “Global carbon budget allocation based on Rawlsian Justice by means of the Sustainable Development Goals Index,” *Environment, Development and Sustainability*, Vol. 22, 2020, pp. 5465~5481.
- Kerschner, C. “Economic de-growth vs. steady-state economy,” *Journal of Cleaner Production*, Vol. 18, 2010, pp. 544~551.
- Kryger, K. S., *A Resource curse for renewables? a case study of the Indonesian solar energy sector*, Aalborg University, Denmark. 2017.
- Kwon, T-H., “Rent and rent-seeking in renewable energy support policies: Feed-in tariff vs. renewable portfolio standard,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier. Vol. 44, 2015, pp. 676~681.

- Lane, P. R., and A. Tornell, "Power, growth and the voracity effect," *Journal of Economic Growth*, Vol. 1, 1996, pp. 213~241.
- Rawls, J., *A Theory of Justice*, Clarendon Press, Oxford. 1972.
- Schumpeter, J. A., *The Theory of Economic Development: An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest and the Business Cycle*, Oxford University Press. 1961.
- Stiglitz, J., "Growth with exhaustible natural resources: efficeint and optimal growth paths," *Review of Economic Studies*, Vol. 41, 1974, pp. 123~137.
- Tornell, A., and P. R. Lane, "Voracity effect," *American Economic Review*, Vol. 89, No. 1, 1999, pp. 22~46.
- UK Energy White Paper, *Powering our Net Nero Future*, HM Government, December 2020.
- Vahabi, M., *The Political Economy of Destructive Power*, Edward Elgar. 2004.
- van der Ploeg, F., "Voracious transformation of a common natural resource into productive capital," *International Economic Review*, Vol. 51, No. 2, 2010, pp. 355~381.