

기후변화 이행리스크와 통화정책 대응: 한국의 사례*

이 지 영** · 함 준 호***

요약

본 연구는 한국의 저탄소경제 전환을 위한 탄소세 도입이 거시경제 및 금융 안정성에 미치는 영향에 대해 분석한다. Diluiso, Annicchiarico, Kalkuhl and Minx(2021)의 뉴케인지언 DSGE 모형을 기초로 한국의 2001년~2020년 자료와 베이지안 방법을 통해 모수를 추정한 후, 탄소세 조기 도입을 통한 점진적 이행과 지연 도입에 따른 급진적 이행 시나리오를 비교 분석하였다. 나아가 중앙은행의 통화정책 반응함수별로 이행리스크가 어떻게 나타나는지 비교 분석하고 통화정책 및 건전성 규제에 대한 시사점을 도출하였다. 고탄소에너지 의존도가 높은 한국의 경우, 탄소세가 급진적으로 도입되면 점진적 도입에 비해 거시 및 금융변수들의 변동성이 현저히 높아지는 것으로 나타났다. 통화정책이 인플레이션 및 산출 충격에 보다 탄력적으로 대응하는 경우, 탄소세 도입의 부정적 파급영향이 일부 완화되는 것으로 분석되었다.

주제분류 : B030902, B030300

핵심 주제어 : 탄소세, 기후변화, 이행리스크, 통화정책, 금융 안정성

I. 서론

기후위기(climate crisis)가 고조되고 탄소중립에 대한 국제적인 관심이

* 본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 신기후체제 대응 환경기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다[2022003560012]. 분석에 사용된 원 모형의 코드를 제공해 주신 Barbara Annicchiarico 교수님과 유익한 조언을 해 주신 익명의 심사위원님들께 깊은 감사를 드립니다.

** 제1저자 및 교신저자, 연세대학교 경제학부 강사, e-mail: team210@daum.net

*** 제2저자, 연세대학교 국제학대학원 교수, e-mail: jhahm@yonsei.ac.kr

높아짐에 따라 기후정책(climate policy)에 대한 학계의 연구도 활발하게 이루어져 왔다. 탄소 가격제의 대표적인 수단인 탄소세 및 배출권 제도에 대한 초기 연구들은 정부의 재정정책의 관점에서만 탄소가격제를 분석하였으며, 통화정책과의 연계성에 대한 고찰은 이루어지지 않았다. Angelopoulos, Economides and Philippopoulos(2013), Fischer and Springborn(2011), McKibbin, Morris, Wilcoxon and Cai (2012) 등의 많은 연구들은 기후정책이 거시경제에 영향을 미친다는 결과를 보여주었다. 이로 인해, 기후정책이 중앙은행의 통화정책 목표인 인플레이션 및 산출의 안정성에 영향을 미친다는 것을 인식하게 되었다. 또한, Carney(2015)는 2008년 세계금융위기 이후에 많은 국가의 중앙은행들이 통화정책 목표 중 하나로 설정하였던 금융 안정성에 대해서도 기후변화가 물리적 리스크(physical risk), 부채 리스크(liability risk), 이행 리스크(transition risk)의 경로를 통해 영향을 미칠 수 있다는 발언을 하였는데, 그 이후로 저탄소 경제로의 이행단계에서 중앙은행의 역할을 요구하는 주장들이 더욱 주목받기 시작했다. 주요국 중앙은행 및 감독기구들도 기후위기를 인식하여 2017년 12월에 녹색금융협의체(Network of Central Banks and Supervisors for Greening the Financial System, NGFS)를 설립하는 한편, 기후 스트레스 테스트(climate stress test)도 실시하고 있다.¹⁾ 또한, 기후변화와 중앙은행의 역할에 대한 연구들(Bolton, Despres, Pereira Da Silva, Samama, and Svartzman, 2020; Boneva, Ferrucci, and Mongelli, 2022; Campiglio, 2016; McKibbin, Morris, Wilcoxon and Panton, 2020; 박수련·정연수, 2018; 한국은행, 2021 등)도 활발하게 진행되고 있다.

통화정책과 기후정책에 대한 연구들 중 가격경직성 등 불안정성이 반영된 뉴케인지언 모형(New Keynesian model)으로 분석한 연구들을 살펴보면, Annicchiarico and Di Dio(2015), Annicchiarico and Di Dio (2017), Chen, Pan, Huang and Bleischwitz(2021), Diluio et al. (2021) 등이 있다.²⁾ Annicchiarico and Di Dio(2015)은 뉴케인지언

1) 김재윤·전은경(2021)은 주요국의 기후 스트레스 테스트 모형에 대해서 정리하였고, NGFS의 기후변화 시나리오를 기반으로 한국의 기후 스트레스 테스트를 실시하였다.

2) 이 외에도 Ganelli and Tervala(2011)는 뉴케인지언 모형으로 거시경제변수에 대

형태의 DSGE 모형을 도입하여, 탄소세(carbon tax), 배출권 제도(cap-and-trade), 집약도 목표(intensity target) 등의 기후정책 시행시 거시경제에 미치는 영향에 대해서 분석하였다. 통화정책은 인플레이션에만 반응하는 함수로 가정하였는데, 그 반응계수가 크고 가격경직성이 낮을수록 충격에 대한 Ramsey 계획가의 최적 탄소세 반응이 더 약하게 나타났다.

Annicchiarico and Di Dio(2017)은 통화정책(이자율 준칙)과 기후정책(탄소세 및 배출권 제도)의 최적 정책조합에 대한 최초의 연구이다. 그들은 불완전 경쟁, 가격조정비용, 생산성에 대한 오염배출의 부정적 외부효과를 고려한 뉴케인지언 모형을 제시하였다. Ramsey 계획가가 통화정책만을 또는 기후정책만을 각각 조정할 수 있는 경우, 그리고 두 정책 모두 조정 가능한 경우로 구분하여 생산성 충격 발생시 최적 정책에 대하여 분석하였다. 탄소세를 부과하고 오염배출의 부정적 외부효과가 크지 않은 경우에만 엄격한 물가안정목표제(strict inflation targeting)가 최적 통화정책임을 보였다.

Chen et al.(2021)은 Annicchiarico and Di Dio(2017)의 뉴케인지언 DSGE 모형을 좀 더 현실적인 모형으로 수정하여 분석하였다. 즉, 불법적 탄소배출 및 그에 대한 불이익, 기후정책의 강도(stringency)를 모형에 반영하였다. 이자율 준칙의 통화정책을 4가지 유형의 기후정책(탄소세, 배출권 제도, 기후정책을 시행하지 않는 경우, Ramsey 유형의 최적 통화정책)과 각각 조합하여, 정책 조합에 따라 거시경제 변수의 충격반응과 후생이 달라짐을 보였다. 이를 근거로 통화정책 운용시 인플레이션 변동성에 영향을 미치는 현재의 기후정책을 고려해야 한다고 주장한다. 또한, 인플레이션과 산출갭 외에 탄소배출갭(emission gap) 변수에도 반응하는 새로운 형태의 테일러준칙(Taylor rule)을 통화정책함수로 제안하였다. 이러한 통화정책(emission gap targeting)은 경제의 후생을 증가시킬 수도 있지만, 경우에 따라서는 후생과 기후정책 목표 간의 딜레마가 생길 수 있는 위험이 있다고 주장하였다.

그러나 위의 연구들은 통화정책 및 기후정책이 거시경제에 미치는 영향에 대해서만 분석했을 뿐, 금융부문에 미치는 영향에 대해서는 다루지 못하고 있다. Diluiso et al.(2021)은 위의 선행 연구들과는 달리 기후정책 및 통

한 기후정책의 파급효과를 분석하였지만, 중앙은행의 통화정책은 고려하지 않았다.

화정책이 거시경제변수뿐만 아니라 금융변수의 변동성에 미치는 영향까지 분석하였다.³⁾ 이를 위해서 뉴케인지언 모형에 에너지 부문, 탄소배출량, 기후정책, 금융 부문을 추가하여 확장한 모형을 소개하였고, 기후정책 시행시 그 이행비용에 대하여 시나리오별로 분석하였다. 이 모형은 탄소세 충격이 발생했을 때 산출, 인플레이션, 고용의 충격반응뿐만 아니라, 은행자본(bank capital), 자기자본비율(capital adequacy ratio), 최종재 부문의 자산 가치, 에너지 부문의 자산가치 등 금융변수들의 충격반응도 분석할 수 있는 모형이다.

그들은 탄소세가 적시에 부과되고 점진적으로 증가하는 경우와 탄소세 시행이 3년 지연되는 경우를 비교 분석하였는데, 점진적인 탄소 감축은 거시경제 및 금융 안정성에 큰 영향을 주지 않는다는 것을 보여 주었다. 반면 탄소세 부과가 지연된 경우에는, 특히 인플레이션 변동성이 큰 폭으로 증가하여 중앙은행의 통화정책 목표 달성에 어려움을 줄 수 있다고 주장하였다. 중앙은행의 통화정책함수는 이자율 준칙으로 설정하였고, 중앙은행이 최종재 부문, 저탄소에너지 및 고탄소에너지 부문의 자산을 구매할 수 있다고 가정하여, 중앙은행의 녹색 양적 완화(Green Quantitative Easing)가 저탄소 경제로의 이행비용을 어떻게 달라지게 하는지 분석하였다. 또한, 앞서 언급했듯이 은행의 자기자본비율도 모형에 포함시켜, 정책당국자의 거시건정성 정책(macprudential capital requirement) 시행이 저탄소 경제로의 이행비용에 미치는 영향에 대해서도 분석하였다.⁴⁾

한국은 2023년 3월에 제1차 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획안을 발표하였고, 4월에 이를 심의·의결하였다(탄소중립녹색성장위원회, 2023a; 2023b). 2030년 온실가스 감축목표(Nationally Determined Contribution, NDC)는 436.6백만톤으로 2021년 12월 유엔에 제출한 NDC 상향안의 배출량 함께 목표치와 동일하며, 감축률은 2018년 순배출량 대비 약 36.4%⁵⁾이다. 이러한 온실가스 감축목표를 달성하기 위한 기후

3) Carattini, Heutel and Melkadze(2023)는 DSGE모형으로 기반으로, 거시건정성(macprudential policy) 정책 시행 여부에 따라 탄소세 부과시 거시경제변수 및 금융변수에 미치는 영향이 어떻게 달라지는지 보여주었다. 그러나 Diluiso et al.(2021)와 달리 중앙은행의 통화정책에 대해서는 고려하지 않고 분석하였다.

4) 거시건정성 정책(macprudential policy)을 모형에 반영하여 기후정책을 분석한 연구로는 Carattini et al.(2023), Benmir and Roman(2020), Ferrari and Landi(2023), Boser and Colesanti Senni(2020) 등이 있다.

정책으로, 본 연구에서는 탄소세 부과에 한정하여 살펴보고자 한다. 탄소세는 교정적 조제로서, 경제주체들이 의사결정을 할 때 탄소 배출에 따른 부정적인 외부효과를 고려하게 함으로써 경제적 후생을 증가시킬 수 있다. 그러나 탄소세 충격이 경제 전반에 미치는 장단기적 영향은 그 경제가 보유하고 있는 특성에 따라 상이하게 나타날 수 있다. 인소영·박기영(2021)은 한국의 경우 기후변화에 대한 대처가 늦게 시작되었고 주요 에너지원이 탄소배출이 많은 석탄이라는 점 등의 이유로, 기후변화에 대한 물리적 리스크는 작지만 이행 리스크는 크다고 주장한다.

이에 본 연구에서는 첫째, 한국의 저탄소 경제 전환을 위한 탄소세 도입이 거시경제 및 금융 안정성에 미치는 영향에 대하여 분석하고자 한다. 고탄소 에너지에 대한 의존도가 높은 한국을 대상으로 탄소세가 거시경제에 미치는 영향에 대하여 분석한 선행연구는 김성균·이지웅(2016), 박경훈·박종욱·박상우·임준혁·김찬우·이종웅·곽윤영(2021), 박호정(2012), 안상기(2015) 등 다수 존재하지만, 금융부문에 미치는 영향에 대하여 통화정책과 함께 분석한 연구는 찾기 어렵다. 실물경제와 금융부문 간의 높은 상호 연계성을 고려하여, 한국을 대상으로 탄소세 시뮬레이션을 금융부문까지 확대해 통화정책과 함께 분석한다는 점이 본 연구의 중요한 의의라고 할 수 있다. 둘째, 이와 같은 탄소세 시나리오 분석 결과가 중앙은행의 통화정책 및 건전성 규제에 대하여 시사하는 바를 고찰하고자 한다. 기후위기 대응에 대한 중앙은행의 역할의 중요성이 점차 증대되고 있는 시점에서, 중앙은행의 전통적 통화정책이 저탄소 경제로의 이행비용에 미칠 수 있는 영향에 대하여 살펴보고자 한다.

이를 위해 Diluiso et al.(2021)의 모형을 도입하여 탄소세 부과에 따른 시나리오 분석을 하고자 한다. 앞서 언급했듯이, Diluiso et al.(2021) 모형은 에너지 부문, 탄소배출량, 기후정책, 금융 부문을 추가하여 확장한 뉴케인지언 모형으로, 탄소세 부과시 거시경제뿐만 아니라 금융부문에 미치는 영향까지 분석할 수 있다는 장점이 있다. 가계, 최종재 생산자, 고탄소에너지 생산자, 저탄소에너지 생산자, 자본 생산자, 은행, 공공부문으로 모형이 구성되어 있으며, 고탄소에너지 생산에 투입되는 화석연료에 대하여 단위당

5) 2018년 총배출량 대비 2030년 순배출량의 감축률은 약 40%이다(탄소중립위원회, 2021).

탄소세를 부과하는 형태의 기후정책을 가정한다.

시나리오 분석을 위하여, 모형의 모수들(parameters) 중 일부는 캘리브레이션(calibration)하였고, 일부는 한국의 2001년 1/4분기~2020년 4/4분기 기간 동안의 자료를 사용하여 베이지안(Bayesian) 방법으로 추정하였다. 시나리오 분석은 크게 두 가지로 나뉘볼 수 있는데, 첫째, 탄소세 부과시 저탄소 경제로 점진적으로 이행되는 시나리오와 급진적으로 이행되는 시나리오를 비교 분석하였다. 즉, 탄소세 충격에 대한 거시경제 및 금융 안정성에 관련된 변수들의 충격반응함수를 통해 경제에 나타나는 변동성이 시나리오별로 어떻게 다른지 알아보았다. 둘째, 중앙은행의 통화정책별 시나리오를 분석하였다. 테일러 준칙 형태의 통화정책함수에서 인플레이션 및 산출에 대한 반응계수에 따라 탄소세 충격의 파급효과가 어떻게 상이하게 나타나는지 알아보았다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 제Ⅱ장에서는 분석에 도입한 Diluiso et al.(2021) 모형을 소개하였고, 제Ⅲ장에서는 시나리오 분석 결과를 제시하였다. 모수들에 대한 베이지안 추정 방법을 설명하고, 추정된 모수를 이용하여 탄소세 충격에 대한 경제 변수들의 충격반응함수를 시나리오별로 비교 분석하였다. 마지막으로 제Ⅳ장에서는 제Ⅲ장에서 제시된 시나리오 분석 결과가 중앙은행의 통화정책 및 건전성 규제에 대하여 시사하는 바를 논의하며 결론을 내린다.

Ⅱ. 모 형

본 연구는 Diluiso et al.(2021)의 모형을 도입하여 한국의 탄소세 부과가 거시경제 및 금융 안정성에 미치는 영향을 분석하고자 한다. Diluiso et al.(2021)은 뉴케인지언(New Keynesian) 모형에 금융중개기관인 은행 부문, 저탄소에너지 생산자, 고탄소에너지 생산자 등을 추가하여 확장시킴 경제모형을 제안하였다. 본 장에서는 Diluiso et al.(2021)의 DSGE 모형을 간략하게 소개한다.⁶⁾

6) 다수의 변수와 방정식이 존재하는 규모가 큰 뉴케인지언 모형으로, <부록>에 균형조건을 정리하였다.(자세한 내용은 Diluiso et al.(2021)의 Appendix를 참조)

1. 가계

가계는 연속체(continuum)이며, 각 가계는 $1 - f$ 비율의 임금노동자와 f 비율의 은행가로 구성된다. 따라서 임금(wage)과 수익(earnings)이 가계의 소득이 된다. 은행가는 매기 θ 의 생존률(survival rate)로 살아남으며, 매기 $(1 - \theta)f$ 의 임금노동자들이 은행가가 된다. 가계의 할인된 평생효용함수와 제약 조건은 다음과 같다.

$$U_0 = E_0 \sum_{t=0}^{\infty} u_t^\beta \beta^t \left[\frac{(C_t - h_c C_{t-1})^{1-\zeta} - 1}{1-\zeta} - \chi \frac{N_t^{1+\varphi}}{1+\varphi} \right] \tag{1}$$

$$C_t = W_t N_t - T_t + D_t + R_t B_{t-1} - B_t \tag{2}$$

식 (1)에서 u_t^β 는 선호충격, β 는 시간할인율, C_t 는 소비, N_t 는 노동, h_c 는 소비습관의 정도, ζ 은 위험회피도 또는 기간 대체탄력성의 역수, χ 는 노동의 비효용 계수, φ 은 Frisch 노동공급 탄력성의 역수를 나타낸다. $W_t N_t$ 는 실질임금, T_t 는 징액세(lump-sum tax), D_t 는 은행, 기업, 화석연료를 소유함으로써 얻는 배당, B_t 는 만기가 1기인 무위험자산인 은행예금 및 국채, R_t 는 $t-1$ 기의 무위험 명목이자율을 t 기의 인플레이션으로 조정한 사후(ex-post) 실질이자율을 나타낸다. 가계는 위의 기대효용을 극대화하는 소비(C_t), 노동(N_t), 채권 및 예금(B_t)를 선택한다.

2. 최종재 생산자

최종재 부문에서는 독점적 경쟁기업의 연속체가 차별화된 재화들을 생산하고 이 재화들을 최종부문 산출인 $Y_t = \left(\int_0^1 Y_{k,t}^{(\sigma_t-1)/\sigma_t} dk \right)^{\sigma_t/(\sigma_t-1)}$ 로 결합시키는 완전경쟁적인 경제주체가 있다고 가정한다. σ_t 는 차별화된 재화들 간 대체탄력성이며, μ_t 가 외생적 마크업(markup)일 때 $\sigma_t = \mu_t / (\mu_t - 1)$ 이다. 생산자들은 다음과 같이 자본($K_{Y,k,t}$) 및 노동($N_{k,t}$)의 복합재인 부가가치($VA_{Y,k,t}$)와 저탄소에너지($E_{L,k,t}$) 및 고탄소에너지($E_{F,k,t}$)의 복합재인 에너지($E_{k,t}$)를 투입하여 CES(constant elasticity of substitution)

생산기술로 재화($Y_{k,t}$)를 생산한다.

$$Y_{k,t} = \left[\tilde{\omega}_{VA_Y}^{1/\epsilon_Y} VA_{Y,k,t}^{(\epsilon_Y-1)/\epsilon_Y} + \tilde{\omega}_E^{1/\epsilon_Y} E_{k,t}^{(\epsilon_Y-1)/\epsilon_Y} \right]^{\epsilon_Y/(\epsilon_Y-1)} \quad (3)$$

$$VA_{Y,k,t} = A_{Y,t} (\xi_{Y,t} K_{Y,k,t})^{\alpha_Y} N_{k,t}^{1-\alpha_Y} \quad (4)$$

$$E_{k,t} = \left[\tilde{\omega}_{E_L}^{1/\epsilon_E} E_{L,k,t}^{(\epsilon_E-1)/\epsilon_E} + \tilde{\omega}_{E_F}^{1/\epsilon_E} E_{F,k,t}^{(\epsilon_E-1)/\epsilon_E} \right]^{\epsilon_E/(\epsilon_E-1)} \quad (5)$$

ϵ_Y 는 부가가치와 에너지간 대체탄력성을, ϵ_E 는 저탄소에너지와 고탄소에너지간 대체탄력성을, $\tilde{\omega}_{VA_Y}$, $\tilde{\omega}_E$, $\tilde{\omega}_{E_L}$, $\tilde{\omega}_{E_F}$ 는 각각의 비중을, $A_{Y,t}$ 는 생산성을, $\xi_{Y,t}$ 는 자본의 질(quality of capital)을 나타낸다.

각 기업들은 매기 이윤극대화를 위해, 전기 말에 구매한 자본 하에서 노동과 에너지의 최적수준을 선택하며 적정 가격($P_{k,t}$)을 설정한다. 가격 재설정시 Rotemberg(1982)식 가격조정비용 $\Gamma(P_{k,t}) = (\gamma_p/2)[P_{k,t}/(P_{k,t-1}\Pi_{t-1}^{\iota_p}\Pi^{1-\iota_p})]$ 이 발생한다고 가정한다. γ_p 는 가격경직성을, Π_{t-1} 은 인플레이션율인 P_t/P_{t-1} 을 나타낸다. 노동 및 에너지의 최적수준, 필립스 곡선은 다음의 식 (6)~식 (10)과 같다. $P_{E,t}$, $P_{E_L,t}$, $P_{E_F,t}$ 는 각각의 명목 가격을, $A_{t,t+1}$ 은 가계의 라그랑지 승수를 나타내며, 모든 기업에 대하여 동일하므로 k 를 생략하였다.

$$W_t = MC_t Y_t^{1/\epsilon_Y} \tilde{\omega}_{VA_Y}^{1/\epsilon_Y} VA_{Y,t}^{(\epsilon_Y-1)/\epsilon_Y} (1-\alpha_Y) \frac{1}{N_t} \quad (6)$$

$$E_t = MC_t^{\epsilon_Y} \tilde{\omega}_E \left(\frac{P_{E,t}}{P_t} \right)^{-\epsilon_Y} Y_t \quad (7)$$

$$E_{L,t} = \tilde{\omega}_{E_L} \left(\frac{P_{E_L,t}}{P_{E,t}} \right)^{-\epsilon_E} E_t \quad (8)$$

$$E_{F,t} = \tilde{\omega}_{E_F} \left(\frac{P_{E_F,t}}{P_{E,t}} \right)^{-\epsilon_E} E_t \quad (9)$$

$$1 - \sigma_t - \gamma_p \left(\frac{\Pi_t}{\Pi_{t-1}^{\iota_p} \Pi^{1-\iota_p}} - 1 \right) \frac{\Pi_t}{\Pi_{t-1}^{\iota_p} \Pi^{1-\iota_p}}$$

$$+ \beta E_t \Lambda_{t,t+1} \gamma_p \left(\frac{\Pi_{t+1}}{\Pi_t^p \Pi^{1-p}} - 1 \right) \frac{\Pi_{t+1}}{\Pi_t^p \Pi^{1-p}} \frac{Y_{t+1}}{Y_t} + MC_{k,t} \sigma_t = 0 \quad (10)$$

t 기 말에 기업은 자본 $K_{Y,t+1}$ 을 실질가격 $Q_{Y,t}$ 에 구입하고 주식(shares) $S_{Y,t}$ 를 동일한 가격인 $Q_{Y,t}$ 로 발행하여 충당한다. 즉, $Q_{Y,t} K_{Y,t+1} = Q_{Y,t} S_{Y,t}$ 가 성립한다. t 기 말에 기업은 감가상각된 자본을 대체하고 모든 자본스톡(capital stock)을 판 후, $t+1$ 기에 투입할 자본을 구매한다. 감가상각된 자본을 대체하는 비용이 1이고, 감가상각률이 δ_Y 라고 할 때, $t+1$ 기 말의 자본스톡 가치는 $(Q_{Y,t+1} - \delta_Y) \xi_{Y,t+1} K_{Y,t+1}$ 이 된다. 또한, $t+1$ 기 말에 기업은 금융중개기관인 은행에 다음의 사후 자본수익(ex post return on capital) $R_{Y,t+1}$ 을 지불한다.

$$R_{Y,t+1} = \frac{(Q_{Y,t+1} - \delta_Y) \xi_{Y,t+1} + \frac{MC_{t+1} Y_{k,t+1}^{1/\epsilon_Y} \omega_{VA_Y}^{-1/\epsilon_Y} VA_{Y,t+1}^{(\epsilon_Y-1)/\epsilon_Y} \alpha_Y}{K_{Y,t+1}}}{Q_{Y,t}} \quad (11)$$

3. 에너지 생산자

에너지 부문에는 저탄소에너지 생산자와 고탄소에너지 생산자가 있다. 저탄소 에너지 생산자의 생산함수는 식 (12)와 같이 자본을 투입하여 저탄소 에너지를 생산한다. 저탄소에너지 부문의 변수들은 아래첨자 L 로 표시했고, 변수들이 의미하는 바는 최종재 부문과 같다. 최종재 부문의 생산자와 동일한 방식으로 자본을 구입하기 때문에, $Q_{L,t} K_{L,t+1} = Q_{L,t} S_{L,t}$ 가 성립하고 사후 자본수익률은 식 (13)과 같다. $A_{L,t}$ 는 생산성을, $\xi_{L,t}$ 는 자본의 질(quality of capital)을 나타낸다.

$$E_{L,t} = A_{L,t} \xi_{L,t} K_{L,t} \quad (12)$$

$$R_{L,t+1} = \frac{(Q_{L,t+1} - \delta_L) \xi_{L,t+1} + \frac{P_{E_{L,t+1}}}{P_{t+1}} \frac{E_{L,t+1}}{K_{L,t+1}}}{Q_{L,t}} \quad (13)$$

고탄소에너지 생산자는 부가가치 $VA_{F,t}$ 와 화석연료 X_t 를 투입하여 고탄소 에너지를 생산하며, 다음의 CES 생산함수와 사후 자본수익을 가진다. 고탄소에너지 부문의 변수들은 아래첨자 F 로 표시하였다.

$$E_{F,t} = \left[\tilde{\omega}_{VA_F}^{1/\epsilon_F} VA_{F,t}^{(\epsilon_F-1)/\epsilon_F} + \tilde{\omega}_X^{1/\epsilon_F} X_t^{(\epsilon_F-1)/\epsilon_F} \right]^{\epsilon_F/(\epsilon_F-1)} \quad (14)$$

$$VA_{F,t} = A_F \xi_{F,t} K_{F,t} \quad (15)$$

$$R_{F,t+1} = \frac{(Q_{F,t+1} - \delta_F) \xi_{F,t+1} + \frac{P_{E_F,t+1}}{P_{t+1}} \frac{E_{F,t+1}^{1/\epsilon_F} \tilde{\omega}_{VA_F}^{1/\epsilon_F} VA_{F,t+1}^{(\epsilon_F-1)/\epsilon_F}}{K_{F,t+1}}}{Q_{F,t}} \quad (16)$$

화석연료 X_t 는 경제 내에 풍부하며 외생적 변수인 가격 $P_{X,t}$ 에 탄력적으로 공급된다고 가정한다.⁷⁾ 생산에 투입된 화석연료 X_t 에 단위당 탄소세 $\tau_{X,t}$ 가 부과되며, 최적에서 화석연료의 한계생산은 화석연료 가격 $P_{X,t}/P_t$ 과 탄소세 $\tau_{X,t}$ 의 합이 된다.

4. 자본 생산자

최종재 (Y), 저탄소에너지(L), 고탄소에너지(F) 부문에 각각 자본 생산자가 존재한다. 감가상각된 자본을 다시 수리하고 신규 자본을 만들어서 각 부문 생산자들에게 실질가격 $Q_{S,t}$ ($S = Y, L, F$)에 판매한다. 자본축적식은 (17)과 같다. 수리 및 신규자본 생산시 실질비용은 1이며 신규자본 생산에서 투자 조정비용이 발생하여, 자본 생산자의 이윤은 식 (18)과 같다. 최적에서, 자본재의 가격은 투자의 한계비용과 같다.

$$K_{S,t+1} = \xi_{S,t} K_{S,t} + I_{S,t} - \delta_S \xi_{S,t} K_{S,t} \quad (17)$$

$$Q_{S,t} I_{S,t} - \left[1 + \frac{\gamma_S}{2} \left(\frac{I_{S,t}}{I_{S,t-1}} - 1 \right)^2 \right] I_{S,t} \quad (18)$$

7) 탄소세 도입으로 화석연료 수요가 감소하고 화석연료 가격이 하락하면 다시 고탄소 에너지 수요가 증가할 수 있는데, 이와 같은 화석연료 가격의 내생성은 이 모형에 반영되지 않는다. 따라서 이 모형은 도출된 탄소세 도입의 사회적 비용이 과소평가 되었을 가능성이 있다는 한계를 가진다.

5. 은행

은행은 가계로부터 자금을 모아 각 부문 생산자들에게 빌려주는 금융중개 기관의 역할을 한다.⁸⁾ 은행 j 는 은행자본(bank capital, net wealth) $NW_{j,t}$ 및 가계의 예금 $B_{j,t}$ 을 각 부문 기업들에게 발행 주식을 구입하는 형태로 빌려준다. t 기에 기업들로부터 자본수익 $R_{S,t}$ 를 받고, 가계에 실질 예금이자 R_t 를 지급한다.

$$\sum_S Q_{S,t} S_{S,j,t} = NW_{j,t} + B_{j,t} \quad (19)$$

$$NW_{j,t} = \sum_S R_{S,t} Q_{S,t-1} S_{S,j,t-1} - R_t B_{j,t-1} \quad (20)$$

은행 j 의 은행자본에 대한 동태 방정식은 식 (21)과 같으며, 은행은 식 (22)의 agency problem 제약조건을 가진다. 은행은 레버리지를 이용하여 은행자본에 대한 수익을 증가시킬 수 있는데, 이를 제한하기 위해 대리인 문제(agency problem)를 가정한다. 즉, 매기 초에 은행은 자금 중 일정 비율을 전용할(divert) 수 있지만, 가계는 은행의 최종가치 $V_{j,t}$ 가 전용자금 규모보다 큰 경우에만 은행에 자금을 빌려주려고 한다. ρ , $\rho\psi_L$, $\rho\psi_F$ 는 각 부문의 자산(asset) $S_{S,j,t}$ 에 대한 전용가능 비중(absconding rate)을 의미한다.

$$NW_{j,t} = \left[\sum_S (R_{S,t} - R_t) \frac{Q_{S,t-1} S_{S,j,t-1}}{NW_{j,t-1}} + R_t \right] NW_{j,t-1} \quad (21)$$

$$V_{j,t} \geq \rho(Q_{Y,t} S_{Y,j,t} + \psi_L Q_{L,t} S_{L,j,t} + \psi_F Q_{F,t} S_{F,j,t}) \quad (22)$$

은행은 위와 같은 제약조건 하에서 기대 최종가치(expected terminal wealth) $V_{j,t}$ 를 극대화하는 목적함수를 가진다. $V_{j,t}$ 은 은행자본 $NW_{j,t}$ 의

8) Gertler and Karadi(2011) 모형에서의 설정과 유사한 형태로, Benmir and Roman(2020), Carattini et al.(2023) 등의 연구에서도 Gertler and Karadi (2011)의 설정을 변형하여 모형에 반영하였다.

선형함수인 $V_{j,t} = v_t NW_{j,t}$ 로 가정하며, v_t 는 은행자본의 그림자 가격 (shadow value)이다. 따라서, 은행자본 대비 자산의 최대 비율 즉, 레버리지 비율(leverage ratio)은 식 (23)과 같으며, 이 식의 역수가 자기자본 비율(capital adequacy ratio)이 된다. 시나리오 분석시 자기자본비율의 정상상태(steady state)는 Diluio et al.(2021)를 따라 9%로 가정하였다.

$$\phi_{j,t} = \frac{Q_{Y,t}S_{Y,j,t} + \psi_L Q_{L,t}S_{L,j,t} + \psi_F Q_{F,t}S_{F,j,t}}{NW_{j,t}} \quad (23)$$

6. 공공 부문

공공부문은 중앙은행의 통화정책과 정부의 기후정책을 모두 시행하는 주체이다. 중앙은행은 식 (24)와 같은 테일러 방식의 이자율 준칙(Taylor-type interest rate rule)에 따라 전통적 통화정책을 운영한다. $R_{N,t}$ 는 무위험 명목이자율을, u_t^{RN} 은 통화정책 충격을 나타낸다.

$$\frac{R_{N,t}}{R_N} = \left(\frac{R_{N,t-1}}{R_N} \right)^{\iota_i} \left[\left(\frac{\Pi_t}{\Pi} \right)^{\iota_\pi} \left(\frac{Y_t}{Y_{t-1}} \right)^{\iota_Y} \right]^{1-\iota_i} u_t^{RN} \quad (24)$$

중앙은행은 은행과 마찬가지로 최종재, 저탄소에너지, 고탄소에너지 세 부문의 기업들이 발행한 주식 $S_{S,t}$ 을 구입할 수 있다. 구입자금은 단기국채 B_t^G 를 발행하여 충당한다.

$$\sum_S Q_{S,t} S_{S,t}^G = B_t^G \quad (25)$$

중앙은행과 정부로 구성된 공공부문의 예산제약식은 다음과 같다.

$$T_t = C_t^G - \tau_{X,t} X_t - \sum_S (R_{S,t} - R_t) B_{t-1}^G \quad (26)$$

T_t 는 정액세를, C_t^G 는 정부지출(public consumption)을, $\tau_{X,t}X_t$ 는 탄소세 수입을, $\sum_S (R_{S,t} - R_t)B_{t-1}^G$ 은 국채 발행으로 구입한 각 부문의 자산들로부터의 순수익을 나타낸다. 정액세가 지출과 수입의 차이에 대한 조정변수(adjustment variable)이므로, 정부의 예산은 매기 균형이다. 위와 같이 중앙은행이 각 부문에 대한 자산을 구매할 수 있다는 설정은 중앙은행의 양적완화정책에 대한 분석을 가능하게 한다. 그러나 본 연구에서는 중앙은행의 전통적 통화정책에 초점을 맞춰서 분석하고자 하므로, 중앙은행이 각 부문에 대한 자산을 구입하지 않는다고 가정하였다.⁹⁾

7. 시장 청산

최종재 부문에서의 시장청산 조건은 다음과 같다.¹⁰⁾

$$Y_t = C_t + C_t^G + \sum_S I_{S,t} + \sum_S \frac{\gamma_S}{2} \left(\frac{I_{S,t}}{I_{S,t-1}} - 1 \right)^2 I_{S,t} + \frac{\gamma_p}{2} \left(\frac{\Pi_t}{\Pi_{t-1}^{\iota_p} \Pi^{1-\iota_p}} - 1 \right)^2 Y_t \quad (27)$$

최종재는 소비, 정부지출, 각 부문에서의 투자, 투자조정비용, 가격조정비용으로 사용된다. 마지막 두 개의 항에 의해서 총수요와 총공급은 일치하지 않는다.

9) Diluiso et al.(2021)은 고탄소에너지 부문 자본의 질 충격에 대한 변수들의 반응을 분석하였는데, 양적완화정책을 시행하지 않는 경우(No QE), 각 부문의 자산을 같은 비중으로 매수하는 경우(Neutral QE), 저탄소에너지 부문의 자산만 매수하는 경우(Green QE)에 대한 결과를 각각 제시하였다. 양적완화정책은 산출 및 소비에 미치는 부정적인 영향을 경감시키는 것으로 나타났지만, Green QE와 Neutral QE간의 차이는 거의 나타나지 않았다.

10) 금융시장에서의 시장청산 조건은 $B_t = B_{j,t} + B_t^G$, $S_{St} = S_{j,S,t} + S_{St}^G$ 이다.

Ⅲ. 시나리오 분석

본 장에서는 제Ⅱ장에서 설명한 경제모형에 한국의 분기별 자료를 사용하여 첫째, 베이지안 방법론으로 모형의 모수(parameter)들을 추정하고, 둘째, 탄소세 도입이 거시경제 및 금융 안정성 변수에 미치는 영향을 시나리오별로 분석한다.

1. 베이지안 추정 (Bayesian Estimation)

(1) 자료 (Data)

관측변수(observable variables)는 7개로, $(\log Y_t - \log Y, \log C_t - \log C, \log I_t - \log I, \log X_t - \log X, R_{N,t} - R_N, R_{Y,t} - R_Y, \Pi_t - \Pi)$ 이다. 2001년 1/4분기~2020년 4/4분기의 표본 기간에 대하여 실질 GDP, 소비, 투자, 온실가스 순배출량, 콜금리, 3년 만기 국고채 수익률¹¹⁾, 인플레이션을 (GDP 디플레이터 증가율)의 자료를 사용하였다. 단측 HP 필터(one-sided HP filter)로 시계열 자료의 추세를 제거하였으며, 금리 및 인플레이션을 제외한 변수들은 경제활동인구 자료를 사용하여 1인당(per capita) 변수로 변환하였다. 또한, 온실가스 순배출량 자료는 연도별 자료만 존재하여, cubic spline interpolation을 이용하여 분기별 데이터로 변환하였다.

(2) 외생 충격 (Exogenous Shocks)

베이지안 추정에 사용된 외생 충격은 선호 충격 u_t^β , 통화정책 충격 u_t^{RN} , 최종재 부문 생산성 충격 u_t^{AY} , 자본의 질 충격 u_t^ξ , 외생적 정부지출 충격

11) $R_{Y,t}$ 는 최종재 기업의 자본에 대한 수익률을 의미하므로, 한국의 거시경제 변수와 연관성이 높은 국고채 수익률을 관측변수로 사용하였다. 장덕진(2012)은 여파인 이차율기간구조모형(Affine term structure model)으로 한국의 국채수익률과 거시경제변수 간의 관계를 분석하였는데, 산업생산지수 변화율의 1% 상승에 대하여 국채수익률이 양의 반응을 보였고 인플레이션의 대한 반응보다 더 크고 즉각적으로 반응한다고 주장하였다. Diluio et al.(2021)도 이에 대한 관측변수로 10년 만기 국고채 수익률을 사용하였다.

u_t^G , 가격마크업 충격 u_t^μ , 화석연료 가격 충격 $u_t^{p_X}$ 이며, 각각 다음과 같은 동학을 따른다. A_Y , ξ_S , C^G , μ , p_X 는 각 변수의 균제값이다.

$$\begin{aligned} \log u_t^\beta &= \rho_\beta \log u_{t-1}^\beta + \epsilon_t^\beta, & \epsilon_t^\beta &\sim N(0, \sigma_\beta) \\ \log u_t^{RN} &= \rho_{RN} \log u_{t-1}^{RN} + \epsilon_t^{RN}, & \epsilon_t^{RN} &\sim N(0, \sigma_{RN}) \\ A_{Y,t} &= A_Y u_t^{A_Y}, \\ \log u_t^{A_Y} &= \rho_{A_Y} \log u_{t-1}^{A_Y} + \epsilon_t^{A_Y}, & \epsilon_t^{A_Y} &\sim N(0, \sigma_{A_Y}) \\ \xi_{S,t} &= \xi_S u_t^\xi, & S &= Y, L, F \\ \log u_t^{\xi_S} &= \rho_{\xi_S} \log u_{t-1}^{\xi_S} + \epsilon_t^{\xi_S}, & \epsilon_t^{\xi_S} &\sim N(0, \sigma_{\xi_S}) \\ C_t^G &= C^G u_t^G \\ \log u_t^G &= \rho_G \log u_{t-1}^G + \epsilon_t^G, & \epsilon_t^G &\sim N(0, \sigma_G) \\ \mu_t &= \mu u_t^\mu \\ \log u_t^\mu &= \rho_\mu \log u_{t-1}^\mu + \epsilon_t^\mu, & \epsilon_t^\mu &\sim N(0, \sigma_\mu) \\ p_{X,t} &= p_X u_t^{p_X} \\ \log u_t^{p_X} &= \rho_{p_X} \log u_{t-1}^{p_X} + \epsilon_t^{p_X}, & \epsilon_t^{p_X} &\sim N(0, \sigma_{p_X}) \end{aligned}$$

(3) 모수 설정 (Calibration)

모수 중 일부를 고정한 후 나머지 모수들을 베이지안 방법으로 추정하였다. 고정된 모수 값들은 <표 1>에 정리되어 있으며, 한국 데이터로부터 계산하거나 관련 선행 연구들에서 사용 또는 추정된 모수 값들로 가정하였다.

N 은 1년 가용시간(1일 16시간* 365일) 대비 2021년 기준 한국의 연평균 근로시간(OECD 자료)의 비율을 계산하여 사용하였다. 자본소득분배율 α_Y 은 한국은행의 노동소득분배율 자료를 이용하여 계산하였다. 각 부문 자본의 감가상각률(δ_Y , δ_L , δ_F)과 각 부문 생산함수의 대체탄력성(ϵ_Y , ϵ_E , ϵ_F)은 Diluiso et al.(2021)에서 사용한 값으로 가정하였다. 재화간 대체탄력성 σ 는 Kim(2014)이 추정한 한국 DSGE 모형의 모수 값을, 최종재 부문 에너지 요소비중 ω_E 은 에너지경제연구원 자료에서 전체 산업의 총 투

입액 대비 에너지투입액 비율 값을 계산하여 사용하였다. 에너지 부문 저탄소에너지 요소비중 ϖ_{EL} 은 에너지경제연구원의 최종에너지 원별 소비 자료에서 2022년 기준 총합계 대비 신재생 및 기타 부분의 비율을 계산하여 사용하였다.¹²⁾ 고탄소에너지 부문의 부가가치 비중인 ϖ_{VAF} 과 화석연료의 균제값(steady state value) X 는 총투자의 균제값(I)이 0.3에 근접하게 하는 고탄소에너지 부문 투자의 균제값(I_F)이 나오도록 설정하였다. 요소비중이므로, ϖ_{VAF} 과 ϖ_E , ϖ_{EL} 과 ϖ_{EF} , ϖ_{VAF} 과 ϖ_X 의 합은 각각 모두 1이다.

은행의 생존율인 θ 는 한국의 비전통적 통화정책에 대해 분석한 Park (2020)의 모수 값을 사용하였다. 은행의 최종재 부문 자산에 대한 전용비율인 ρ 은 다른 변수들의 균제값들로부터 계산된다. 저탄소에너지 및 고탄소에너지 부문 자산에 대한 상대적인 전용 위험을 나타내는 ψ_L 과 ψ_F 은 Diluiso et al.(2021)의 모수 값을 사용하였다. 1보다 큰 값은 에너지 부문의 전용비율이 최종재 부문의 전용비율보다 더 크다는 것을 의미한다. 전용비율이 클수록 가계로부터 자금을 빌려오기 어려워지므로 위험프리미엄은 더 높아질 것이다. 최종재 부문 자산이 에너지 부문 자산보다 위험이 더 낮다는 이러한 가정은 에너지 부문의 자산에 비해 최종재 부문의 자산들이 보다 다양하며 자산간 대체성도 상대적으로 더 크다는 사실도 반영하고 있다. 또한, ψ_L 이 ψ_F 보다 크다고 가정하였는데, 이는 저탄소에너지 부문 자산이 고탄소에너지 부문 자산보다 위험이 높다는 것을 의미한다. 저탄소에너지 부문 자산은 노후화 위험이 큰 미성숙 단계의 기술에 투자하는 것이므로 고탄소에너지 부문 자산보다 더 위험도가 높은 자산으로 간주하였다. 자기자본비율인 $1/\phi_{j,t}$ 의 균제값도 Diluiso et al.(2021)와 같이 바젤III 비율인 8%보다 소폭 큰 9%로 가정하였다.¹³⁾

12) N 과 ϖ_{EL} 은 수집 가능한 가장 최근 자료를 사용하였다. 탄소세 부과가 거시경제 및 금융부문 변수에 미치는 영향을 분석하는데 있어서, 최근의 노동시간과 에너지 믹스(energy mix)를 반영하고자 하였다.

13) 은행은 손실이 발생하는 시기에 바젤III의 최소 자기자본비율을 위반할 위험을 방지하기 위하여 최소 비율인 8%보다 소폭 큰 임의의 값인 9%의 자기자본비율을 유지하고자 한다고 가정하였다. 한국의 완충자본제도를 고려하여 자기자본비율의 균제값을 10.5%로 가정해도 분석결과는 크게 달라지지 않았다.

〈표 1〉 고정 모수 값(Fixed Parameters)

C/Y	소득 대비 민간소비 비중 (Private consumption/ GDP)	0.5069	σ	최종재간 대체탄력성 (Elasticity of substitution between final goods varieties)	8.833
I/Y	소득 대비 투자 비중 (Investment/GDP)	0.2612	ϖ_{VAY}	최종재 부문 부가가치 생산요소 비중 (Factor share of VAY)	0.94
G/Y	소득 대비 정부지출 비중 (Government consumption/GDP)	0.2319	ϖ_E	에너지 생산요소 비중 (Factor share of E)	0.06
N	노동시간 (Hours)	0.3279	ϖ_{EL}	저탄소에너지 생산요소 비중 (Factor share of EL)	0.052
β	시간할인율 (Discount factor)	0.99	ϖ_{EF}	고탄소에너지 생산요소 비중 (Factor share of EF)	0.948
α_Y	자본소득분배율 (Capital share)	0.32	ϖ_{VAF}	고탄소에너지 부문 부가가치 생산요소 비중 (Factor share of VAF)	0.9
δ_Y	최종재 부문의 감가상각률 (Depreciation rate of capital in sector Y)	0.025	ϖ_X	화석연료 생산요소 비중 (Factor share of X)	0.1
δ_L	저탄소에너지 부문의 감가상각률 (Depreciation rate of capital in sector L)	0.02	θ	은행가의 매기 생존율 (Survival rate of the bankers)	0.94
δ_F	고탄소에너지 부문의 감가상각률 (Depreciation rate of capital in sector F)	0.0125	ρ	전용가능 비중 (Absconding rate)	0.1101
ϵ_Y	최종재 부문의 부가가치와 에너지간 대체탄력성 (Elasticity of substitution between VAY and E)	0.5	ψ_L	저탄소에너지 부문의 상대적 전용가능 비중 (Relative absconding rate sector L)	1.2405
ϵ_E	저탄소에너지와 고탄소에너지간 대체탄력성 (Elasticity of substitution between EL and EF)	5	ψ_F	고탄소에너지 부문의 상대적 전용가능 비중 (Relative absconding rate sector F)	1.0819
ϵ_F	고탄소에너지 부문의 부가가치와 화석연료간 대체탄력성 (Elasticity of substitution between VAF and X)	0.3	$1/\phi$	자기자본비율 (Capital adequacy ratio)	0.09

(4) 모수 추정

베이지안 추정을 통해 나머지 모수들을 Dynare 프로그램으로 추정하였다. 추정할 모수들의 사전분포는 Diluiso et al.(2021), Lee and Kim (2023) 등 기존 문헌을 참고하여 일관성있게 설정하였다. Slice sampling

algorithm을 통해 추정한 모수들의 사후분포를 <표 2>에 정리하였다. 대부분의 모수 추정치는 선행연구의 추정값들의 범위 내에 있는 것으로 나타났다. Frisch 노동공급탄력성의 역수인 φ 은 Kim(2014, 2022), Lee and Kim(2023)의 추정치들보다 더 크게 나타났지만, Chen et al.(2021) 등 다수의 연구에서 설정한 모수 값인 1에 근접한 수치를 보인다. 통화정책함수의 인플레이션에 대한 반응계수 ι_π 에 대한 추정치는 Lee and Kim(2023)의 1.64와 비슷하게 나타났다. 예외적으로 최종재 부문 투자조정비용 모수 γ_Y 가 에너지 부문 투자조정비용 모수와 비교시 추정값이 상대적으로 작게 나타났으며, Kim(2014)와 Lee and Kim(2023)의 추정값 범위인 3~5보다 더 작게 나타났다.

<표 2> 추정 모수의 사전분포 및 사후분포(Prior and Posterior Distributions of Parameters)

		사전분포			사후분포	
		분포 (Distribution)	평균 (Average)	표준편차 (S.D.)	최빈값 (Mode)	표준편차 (S.D.)
h_c	소비습관 (Habit persistence)	Beta	0.5	0.05	0.4594	0.0396
ζ	위험회피도 (Risk aversion)	Gamma	1.5	0.05	1.411	0.0467
φ	Frisch 노동공급 탄력성의 역수 (Inverse Frisch elasticity)	Gamma	1.5	0.5	1.0502	0.06
γ_Y	최종재 부문 투자조정비용 모수 (Investment adjustment costs)	Gamma	10	1	0.132	0.0316
γ_L	저탄소에너지 부문 투자조정비용 모수 (Investment adjustment costs)	Gamma	10	1	9.8395	0.9924
γ_F	고탄소에너지 부문 투자조정비용 모수 (Investment adjustment costs)	Gamma	10	1	9.1981	0.9562
γ_p	가격경직성 (Degree of price rigidity)	Gamma	100	5	79.981	4.4317
ι_p	가격조정비용에서의 과거 인플레이션 가중치 (Price backward indexation)	Beta	0.5	0.05	0.2234	0.0311

t_i	이자율 평탄화 파라미터 (Smoothing of the Taylor rule)	Beta	0.7	0.02	0.7144	0.0181
t_y	통화정책 산출 반응계수 (Output coefficient of the Taylor rule)	Normal	0.25	0.05	0.2179	0.0507
t_π	통화정책 인플레이션 반응계수 (Inflation coefficient of the Taylor rule)	Normal	1.5	0.25	1.4297	0.1835
ρ_{AY}	생산성 충격 지속성 (Autoc. productivity shock)	Beta	0.9	0.05	0.8709	0.0601
$\rho_{\xi Y}$	최종재 부문 자본의 질 충격 지속성 (Autoc. Y capital quality shock)	Beta	0.5	0.05	0.246	0.0297
$\rho_{\xi F}$	고탄소에너지 부문 자본의 질 충격 지속성 (Autoc. F capital quality shock)	Beta	0.5	0.05	0.8509	0.0352
$\rho_{\xi L}$	저탄소에너지 부문 자본의 질 충격 지속성 (Autoc. L capital quality shock)	Beta	0.5	0.05	0.5002	0.0508
ρ_G	정부지출 충격 지속성 (Autoc. aggregate demand shock)	Beta	0.5	0.05	0.5684	0.0468
ρ_μ	가격마크업 충격 지속성 (Autoc. price markup shock)	Beta	0.5	0.05	0.5013	0.0512
ρ_{RN}	통화정책 충격 지속성 (Autoc. monetary policy shock)	Beta	0.5	0.05	0.4261	0.0341
ρ_β	선호 충격 지속성 (Autoc. intertemporal preference shock)	Beta	0.5	0.05	0.433	0.0428
ρ_{PX}	화석연료가격 충격 지속성 (Autoc. resource price shock)	Beta	0.5	0.05	0.7349	0.032
σ_{AY}	생산성 충격 표준편차 (S.D. productivity shock)	InvGamma	0.005	0.0001	0.0171	0.0017
$\sigma_{\xi Y}$	최종재 부문 자본의 질 충격 표준편차 (S.D. Y capital quality shock)	InvGamma	0.005	0.0001	0.007	0.0011
$\sigma_{\xi F}$	고탄소에너지 부문 자본의 질 충격 표준편차 (S.D. F capital quality shock)	InvGamma	0.005	0.0001	0.0279	0.006
$\sigma_{\xi L}$	저탄소에너지 부문 자본의 질 충격 표준편차 (S.D. L capital quality shock)	InvGamma	0.005	0.0001	0.0046	0.0008

σ_G	정부지출 충격 표준편차 (S.D. aggregate demand shock)	InvGamma	0.005	0.0001	0.0366	0.0027
σ_μ	가격마케팅 충격 표준편차 (S.D. price markup shock)	InvGamma	0.005	0.0001	0.0048	0.0010
σ_{RN}	통화정책 충격 표준편차 (S.D. monetary policy shock)	InvGamma	0.005	0.0001	0.0029	0.0003
σ_β	선호 충격 표준편차 (S.D. intertemporal preference shock)	InvGamma	0.005	0.0001	0.0739	0.0078
σ_{PX}	화석연료가격 충격 표준편차 (S.D. resource price shock)	InvGamma	0.005	0.0001	0.0755	0.0084

2. 시나리오 분석 1: 점진적 이행과 급진적 이행

온실가스 감축목표 달성을 위해 탄소세를 적시에 도입하여 저탄소 경제 전환이 10년 동안 점진적으로 이행되는 시나리오와 탄소세 도입이 5년 지연된 시나리오를 비교 분석하였다. 각 시나리오별로 탄소세가 거시경제 및 금융부문 변수들에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

한국은 2030년 온실가스 순배출량을 기준으로 2018년 순배출량 대비 36.4%의 감축률 달성을 온실가스 감축목표로 설정하였다. 이는 2020년 순배출량 대비 29.375%의 감축률을 의미하며, 이러한 감축목표를 달성하기 위해 탄소세가 부과된다. 점진적 이행 시나리오는 탄소세가 적시에 그리고 점진적으로 부과되어 온실가스 감축목표를 달성하는 경우를 의미한다. 탄소세 부과 정책은 시행되는 시작점에서 발표되며 신뢰성을 가진다. 반면에, 급진적 이행 시나리오는 탄소세 도입이 5년 지연되지만 2030년까지 온실가스 감축목표를 달성하는 경우를 의미한다. 탄소세 부과는 예상되지 못했으며(unanticipated) 갑작스럽게(sudden) 시행된다고 가정한다. 급진적 이행 시나리오의 경우, 동일한 감축목표를 단기간에 달성해야 하므로, 감축목표 달성을 위해 탄소세가 급격하게 상승하도록 모형이 설정되었다. 탄소세 $\tau_{X,t}$ 는 다음과 같이 결정된다.

$$\tau_{X,t} = \tau_X + u_t^{\tau_X}$$

$$w_t^{\tau_X} = 0.99999w_{t-1}^{\tau_X} + \epsilon_t^{\tau_X} + \epsilon_{t-1}^{\tau_X} + \epsilon_{t-2}^{\tau_X} + \dots + \epsilon_{t-39}^{\tau_X}$$

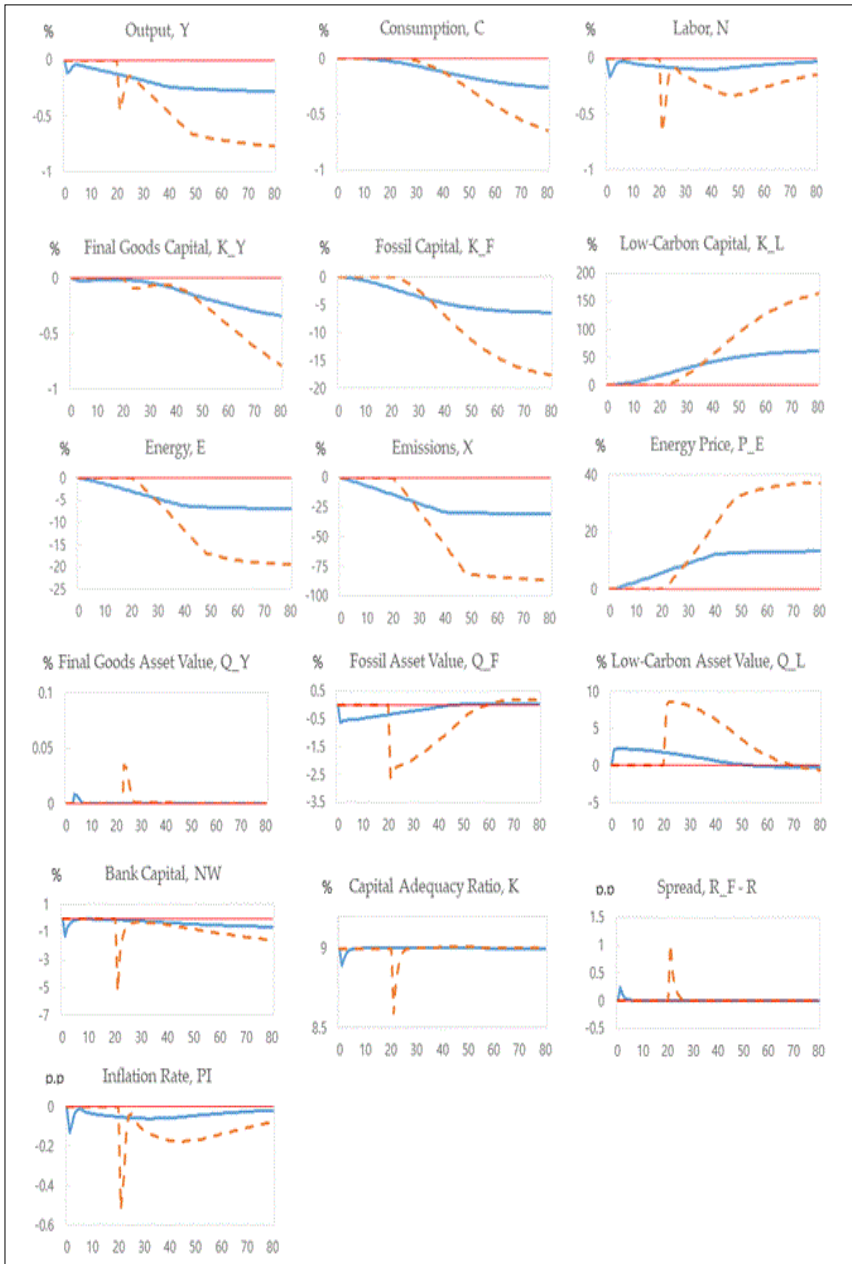
τ_X 는 탄소세의 균제값으로 0으로 설정하였고, $u_t^{\tau_X}$ 는 탄소세 충격이다. t 기부터 $t-39$ 기까지의 충격 $\epsilon_{t-k}^{\tau_X}$ 이 누적되어 탄소세가 결정된다. 점진적 이행의 경우에는 화석연료 X_t 의 10년 후 감소율이 29.375%가 되는 $\epsilon_t^{\tau_X}$ 의 표준편차 값을 찾아 충격반응함수를 분석하였다. 급진적 이행의 경우에는 점진적 이행시 계산된 X_t 의 10년 동안의 누적 감소량을 5년 동안 감축하게 하는 $\epsilon_t^{\tau_X}$ 의 표준편차 값을 찾아 충격반응함수를 분석하였다.

〈그림 1〉은 탄소세 충격에 대한 충격반응 함수값을 0~80분기까지 보여 주는데, 파란색 실선이 점진적 이행을 나타내고, 주황색 점선이 급진적 이행을 나타낸다. 우선 점진적 이행의 경우, 탄소세 충격은 산출, 소비, 고용을 감소시킨다. 탄소세가 부과되면 생산비용이 증가하여 생산자들은 산출량을 줄이려고 할 것이다. 대체효과에 의해서 저탄소에너지에 대한 수요는 증가하고 화석연료가 투입되는 고탄소에너지 수요는 감소하지만, 에너지 중 고탄소에너지의 비중이 훨씬 크기 때문에 최종재 부문의 투입 요소인 총 에너지에 대한 수요는 감소하는 것을 볼 수 있다. 같은 이유로 저탄소에너지 부문의 자본에 대한 수요는 증가하며, 고탄소에너지 및 최종재 부문의 자본에 대한 수요와 노동에 대한 수요는 감소한다. 이에 따라 고탄소에너지 부문의 자산 가치는 감소하고, 저탄소에너지 부문의 자산 가치는 증가하는 것으로 나타나 결과의 일관성을 보이고 있다. 한편, 수요 감소로 인해 디플레이션이 발생하는 것으로 나타나는데, 초기에 약 0.13%p의 물가하락을 보인다.

다른 금융 안정성 변수들을 살펴보면, 고탄소에너지 부문의 자산 가치 감소의 영향으로, 은행자본(bank capital)은 초기에 감소했다가 정상상태 부근으로 다시 회복하며, 자기자본비율(capital adequacy ratio)도 소폭 감소한다. 또한, 고탄소에너지 부문의 기대자본수익률과 무위험이자율 간 스프레드도 증가하는 모습을 보인다.

급진적 이행의 경우, 탄소세가 거시경제 및 금융 안정성에 미치는 부정적인 영향이 점진적 이행에 비해 더욱 큰 것으로 나타났다. 특히, 은행자본과 자기자본비율 등의 금융부문 변수들에 대한 부정적인 충격이 크게 증폭되는

〈그림 1〉 탄소세 충격에 대한 충격반응함수(Impulse Response Functions to a Carbon Tax Shock)



주: 파란색 실선은 탄소세 적기 도입을 통한 점진적 이행시의 충격반응을 나타내며, 주황색 점선은 탄소세 지연 도입에 따른 급격한 이행시의 충격반응을 나타냄.

Note: Blue solid lines represent impulse response functions for an orderly scenario. Orange dotted lines represent impulse response functions for a disorderly scenario.

등 금융 안정성에 큰 영향을 미친다. 충격 직후에는 고탄소에너지 부문의 자산가치가 급격하게 감소하기 때문에, 은행자본과 자기자본비율은 언더슈팅(undershooting)하며 무위험 이자율과의 spread는 오버슈팅(overshooting)한다. 그러나 저탄소에너지 부문 자산가치의 증가가 이를 상쇄하면서 각 변수는 빠르게 정상상태에 근접하는 것으로 해석된다. 수요 감소로 인한 디플레이션의 변동성도 큰 폭으로 증가하였는데, 충격 후 물가 하락 폭이 약 0.52%p로 나타나 점진적 이행 시나리오의 수치와 큰 차이를 보인다.

급진적 이행 시나리오에서 모든 변수들의 변동성이 점진적 이행 시나리오보다 더 크게 나타난 위와 같은 결과는 유로 지역을 대상으로 분석한 Diluiso et al.(2021)가 제시한 충격반응 결과와 유사하다. 그러나 Diluiso et al.(2021)은 탄소세 충격 발생 후 초기에는 산출, 고용, 최종재 부문 자본에 대한 수요, 은행자본, 자기자본비율 등이 증가하는 결과를 보여주었는데, 이는 <그림 1>에서 나타나는 본 연구의 결과와 상반된다. Diluiso et al.(2021)은 탄소세가 부과되면 기업들은 미래 에너지 가격 상승을 예측하여 아직 가격 상승폭이 제한적인 온실가스 감축 초기 단계에 생산량을 증가시킨다고 설명한다. 따라서 고용 및 최종재 부문 자본에 대한 수요 역시 초기 단계에서 증가한다. 또한, 그들은 금융 부문에서도 감축 초기 단계에는 최종재 및 저탄소에너지 부문 자산에 대한 수요 증가가 고탄소 에너지 부문의 자산가치 하락 효과를 상쇄하기 때문에 은행자본이 증가한다고 설명하였다. 그러나 유럽에 비해 산업의 고탄소에너지에 대한 의존도가 상대적으로 높은 한국의 경우에는, 탄소세가 부과되면 기업들은 에너지 가격이 보다 단기간에 상승하며 경제적 파급효과 역시 더 클 것이라고 예측할 가능성이 높다. 따라서 한국의 기업들은 감축 초기 단계에서도 생산량을 줄이며, 그에 따라 고용, 최종재 부문 자본에 대한 수요, 은행자본, 자기자본비율 등이 감소하는 것으로 사료된다.

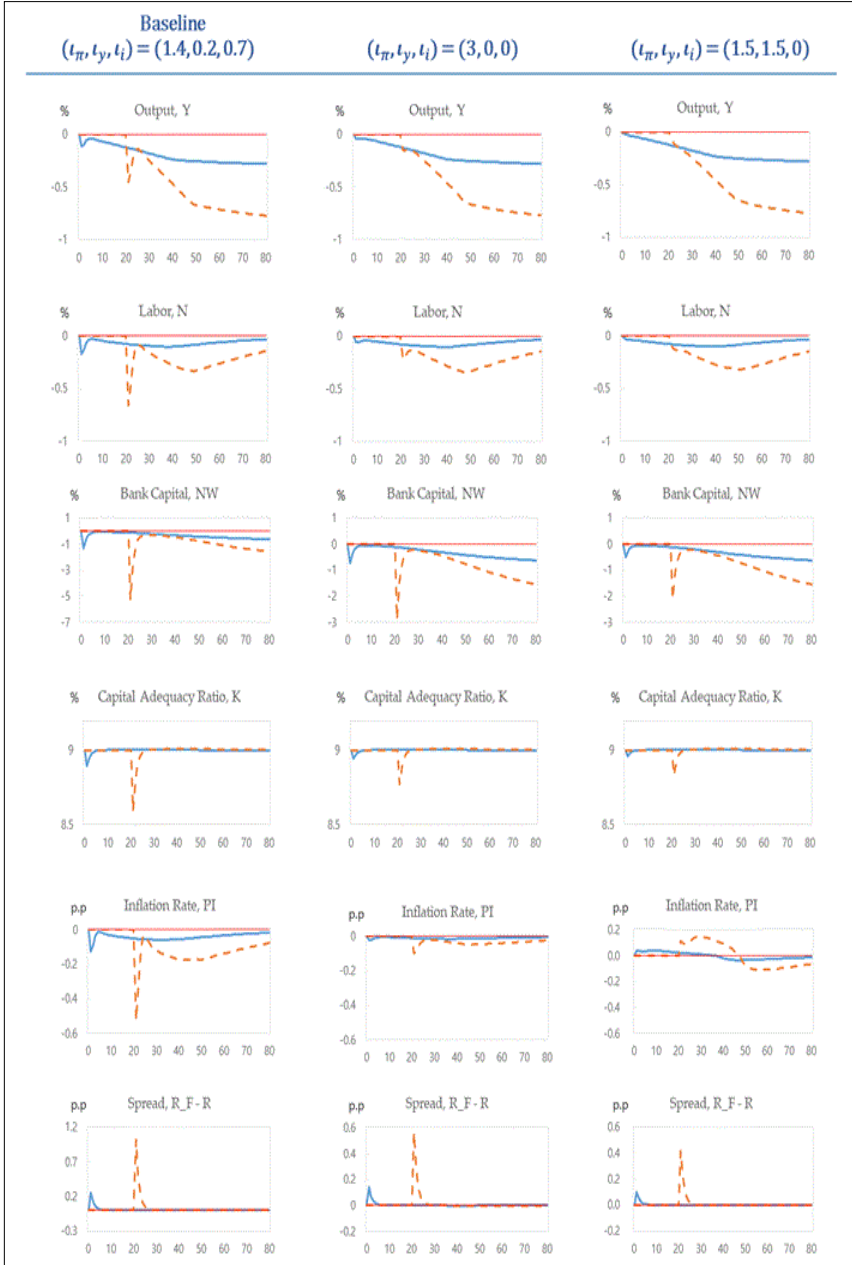
그러나 장기에서 궁극적인 변수들의 변동성 방향은 본 연구의 결과와 동일하게 나타났다. 또한, 급진적 이행 시나리오의 경우, 탄소세 부과시 인플레이션 및 자기자본비율의 변동성은 본 연구에서보다 Diluiso et al.(2021)에서 더 작게 나타났는데, 이 역시 한국의 고탄소에너지에 대한 의존도가 높기 때문인 것으로 추정된다.

3. 시나리오 분석 2: 통화정책 반응함수의 계수별 시나리오

중앙은행의 통화정책 대응이 변화하는 경우, 탄소세 충격으로 인한 시나리오별 결과가 어떻게 달라지는지 비교 분석하고자 한다. 1절에서 베이지안 방법으로 추정한 통화정책함수의 반응계수 값을 Baseline으로 설정하였고, 각 변수에 대한 반응계수 값을 조정하여 그 결과를 비교하였다. Baseline의 경우, 인플레이션 반응계수(ι_π), 산출 반응계수(ι_y), 이자율 평활화계수(ι_i)는 각각 1.4, 0.2, 0.7이다. 첫 번째 시나리오는 엄격한 물가안정목표제(strict inflation targeting) 형태로 중앙은행이 산출이나 정책금리 변동성에 전혀 주안점을 두지 않고 오직 인플레이션에만 민감하게 반응하는 경우인데, 인플레이션 반응계수를 3으로, 그리고 산출 반응계수 및 이자율 평활화계수를 각각 0으로 설정하였다. 두 번째 시나리오는 이자율 평활화를 전혀 고려하지 않고 인플레이션 및 산출에 모두 유사하게 반응하는 경우로, 인플레이션 및 산출 반응계수를 각각 1.5로, 그리고 이자율 평활화계수를 0으로 설정하였다. 각 시나리오에 대하여 탄소세 충격에 따른 충격반응함수를 <그림 2>에 도시하였다.

인플레이션에만 민감하게 반응하는 통화정책과 인플레이션 및 산출에 유사하게 반응하는 통화정책 모두, 탄소세 충격으로 인한 거시경제 및 금융부문 변수들의 변동성이 Baseline의 경우보다 큰 폭으로 감소하였다. 이러한 변동성 감소는 탄소세 부과가 5년 지연된 시나리오의 경우에 더욱 뚜렷하게 나타났으며, 특히 금융 안정성과 관련된 변수들의 변동성이 크게 감소하였다. <그림 1>에서 보는 바와 같이, 탄소세 부과가 수요에 미친 영향이 공급에 미친 영향보다 더 크다고 해석할 수 있다. 즉 탄소세 부과로 산출이 감소하고 그로 인한 투자 및 소비 감소 등 수요에 미친 영향이 인플레이션 상승 등 공급에 미친 영향을 압도하여, 산출도 감소하고 인플레이션도 하락하는 결과가 나타났다. 이러한 경제 내에서 인플레이션에만 반응하는 통화정책의 경우, 중앙은행은 탄소세 부과로 인한 디플레이션에 대응하여 정책금리를 보다 선제적으로 인하할 것이고, 이로 인해 산출 및 인플레이션 변동성은 감소할 것이다. 또한, 산출에 대해서도 적극적으로 반응하는 통화정책 하에서, 중앙은행은 탄소세 부과로 인한 산출 감소에 더 빠르게 그리고 더 적극적으로 대응하여 정책금리를 인하할 것이고 따라서 산출 변동성은 더욱

〈그림 2〉 통화정책 반응함수의 계수별 시나리오(Mitigation Scenarios for Different Monetary Policy Reaction Functions)



주: 파란색 실선은 탄소세 적기 도입을 통한 점진적 이행시의 충격반응을 나타내며, 주황색 점선은 탄소세 지연 도입에 따른 급격한 이행시의 충격반응을 나타냄.

Note: Blue solid lines represent impulse response functions for an orderly scenario. Orange dotted lines represent impulse response functions for a disorderly scenario.

감소할 것이다.

특히, 중앙은행이 산출에도 인플레이션과 유사하게 반응하는 경우에는, 인플레이션에만 민감하게 반응하는 경우보다 대부분의 변수에서 그 변동성이 더 감소하였다. Annicchiarico and Di Dio(2017)은 산출에 민감하게 반응하는 통화정책 하에서, 양(+)¹의 생산성 충격(positive productivity shock)시 오염배출량을 감축시키는 기후정책이 오염배출의 부정적 외부효과를 감소시킨다고 주장한다. 즉 산출에 민감하게 반응하는 통화정책의 경우에는 오염배출이 경기역행적(countercyclical)으로 반응하여 감소할 수 있지만, 산출에 민감하지 않게 반응하는 통화정책의 경우에는 오염배출량이 경기순응적(procyclical)으로 반응하여 증가한다는 것을 보였다. 이러한 선행연구의 결과와 본 연구의 <그림 2>에서 나타나는 결과로 미루어 볼 때, 산출에 대한 중앙은행의 반응 정도가 기후정책의 목표 달성에 있어서 중요한 역할을 하며, 따라서 산출에 민감하게 반응하는 통화정책함수를 가지고 있는 경제가 탄소세 부과시 경제에 미치는 변동성을 보다 감소시킬 수 있다고 해석할 수 있다.

두 가지 통화정책 모두, 대부분의 변수들이 유사한 방향과 크기의 충격반응함수 값을 보였지만, 인플레이션을 변수는 정책별로 다른 결과가 나타났다. 인플레이션뿐만 아니라 산출에도 민감하게 반응하는 통화정책의 경우, 탄소세 충격으로 초기에 인플레이션이 상승하는 것으로 나타났는데, 이는 Baseline과 인플레이션에만 반응하는 통화정책의 결과와 대조된다. 중앙은행이 산출에도 민감하게 반응하므로 산출 충격까지 안정화시키기 위해 정책금리를 상대적으로 큰 폭으로 인하함으로써 나타나는 결과라고 해석할 수 있다.

IV. 결 론

본 연구는 Diluiso et al.(2021)의 뉴케인지언 DSGE 모형을 한국 경제에 적용하여 저탄소 경제 전환을 위한 탄소세 도입이 국내 거시경제 및 금융 부문에 미치는 영향에 대해 분석하였다. 금융 부문 및 기후요소를 추가한 모형을 기반으로 한국의 탄소세 시뮬레이션 분석 범위를 거시경제 변

수뿐만 아니라 금융 안정성 변수까지 확장시켰다는 점에서 본 연구는 중요한 의의를 가진다. 주요 분석결과와 이에 따른 시사점은 다음과 같다.

첫째, 저탄소 경제로의 이행이 점진적으로 이루어지는 시나리오와 비교하면, 탄소세 부과가 지연되고 급격하게 이루어지는 시나리오 하에서는 거시경제 및 금융 부문에 미치는 부정적인 영향이 유의하게 커지는 것으로 나타났다. 둘째, Diluiso et al.(2021)와 비교해보면, 인플레이션 및 자기자본 비율에 반영된 이행비용은 EU 등 다른 국가보다 더 크게 나타났는데, 이는 한국의 고탄소에너지에 대한 의존성이 상대적으로 높은 데에 기인하는 것으로 사료된다.

셋째, 탄소세 부과가 지연되는 경우, 특히 은행자본 및 자기자본비율 등의 금융부문 변수들에 미치는 부정적인 충격이 큰 폭으로 증폭되었다. 따라서 은행 대차대조표의 점진적인 저탄소화, 그리고 은행의 자본 확충 장려가 이행리스크를 완화하는데 도움을 줄 것으로 보인다. 넷째, 중앙은행이 인플레이션과 산출에 대해 보다 탄력적으로 반응한다면, 거시경제 및 금융 안정성에 미치는 부정적인 파급영향을 완화시킬 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구의 분석결과는 다양한 후속 연구가 필요함을 시사한다. 우선 중앙은행의 통화정책 목표에 물가안정뿐만 아니라 금융안정을 추가하는 것이 세계적인 추세인 만큼 통화정책 반응함수에 금융 불안정성을 포함시켜 모형에 적용하는 방안을 모색해 볼 수 있다. 아울러 저탄소경제 전환과정에서 거시경제 및 금융부문의 안정성을 유지하기 위해 통화정책과 더불어 은행자본 적정성 규제 등 여하한 금융감독 및 거시건전성 정책이 병행되어야 하는지 등도 본 모형의 추가적인 확장을 통해 분석해 볼 필요가 있다.

투고 일자: 2023. 10. 17. 심사 및 수정 일자: 2023. 12. 4. 게재 확정 일자: 2023. 12. 6.

◆ 참고문헌 ◆

- 김성균·이지웅 (2016), “온실가스 감축 정책의 지역별 파급효과: 탄소세를 중심으로,” 『환경정책』, 24(2), 137-171.
- Kim, S., and J. Lee (2016), “The Inter-regional Economic Effects of Greenhouse Gas Emissions Reduction Policies: Focusing on Carbon

- Taxes,” *Journal of Environmental Policy and Administration*, 24(2), 137-171.
- 김재윤·전은경 (2021), “기후변화 이행리스크와 금융안정,” 한국은행 『조사통계월보』, 제75권 제12호.
- Kim, J., and E. Jeon (2021), “Climate Change Transition Risk and Financial Stability,” The Bank of Korea, *Monthly Bulletin*, 75(12).
- 박경훈·박종욱·박상우·임준혁·김찬우·이종웅·곽윤영 (2021), 『기후변화 대응이 거시경제에 미치는 영향』, 한국은행 이슈노트 2021-23.
- Park, K., J. Park, S. Park, J. Lim, C. Kim, J. Lee, and Y. Gwak (2021), *The Impact of Climate Change Policies on the Macroeconomy*, The Bank of Korea Issue Note 2021-23.
- 박수련·정연수 (2018), 『기후변화와 금융안정』, 한국은행 이슈노트 2018-6.
- Park, S., and Y. Jung (2018), *Climate Change and Financial Stability*, The Bank of Korea Issue Note 2018-6.
- 박호정 (2012), “효과적인 온실가스 감축을 위한 배출권거래제와 탄소세의 비교 분석,” 『한국경제의 분석』, 18(2), 137-193.
- Park, H. (2012), “Policy Ranking Study of Emission Trading Scheme and Carbon Tax for Greenhouse Gas Reduction,” *Journal of Korean Economic Analysis*, 18(2), 137-193.
- 안상기 (2015), 『DSGE 모형을 이용한 온실가스 감축정책의 거시경제 효과 분석』, 서울대학교 농경제사회학부 박사학위 논문.
- Ahn, S. (2015), *The Macroeconomic Impact Analysis of Greenhouse Gas Abatement Policies with a DSGE Model*, Ph.D Dissertation, Department of Agricultural Economics and Rural Development, Seoul National University.
- 인소영·박기영 (2021), “기후변화의 경제학,” 『한국경제학보』, 28(1), 137-199.
- In, S. Y., and K. Y. Park (2021), “The Economics of Climate Change,” *The Korean Journal of Economics*, 28(1), 137-199.
- 장덕진 (2012), “한국 거시 경제 변수를 이용한 어파인 이자율기간구조모형의 실증 분석,” 『경제논집』, 51(1), 67-105.
- Jang, D. (2012), “An Empirical Analysis of Affine Term Structure Model using Korean Macroeconomic Variables,” *Korean Economic Journal*, 51(1), 67-105.
- 탄소중립녹색성장위원회 (2023a), 『2050 탄소중립 달성과 녹색성장 실현'을 위

한 윤석열 정부 탄소중립·녹색성장 청사진 공개』, 2023년 3월 21일 보도 자료.

Presidential Commission on Carbon Neutrality and Green Growth (2023a), *Yoon Suk-yeol Government Released a Blueprint for 2050 Carbon Neutrality and Green Growth*, Press Release (21 March 2023).

_____ (2023b), 『한총리 주제, 2050 탄소중립녹색성장위원회 전체회의 개최』, 2023년 4월 10일 보도자료.

Presidential Commission on Carbon Neutrality and Green Growth (2023b), *The Plenary Meeting of 2050 Presidential Commission on Carbon Neutrality and Green Growth, Chaired by Prime Minister Han*, Press Release (10 April 2023).

탄소중립위원회 (2021), 『2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안』, 2021년 10월 16일 보도자료.

Carbon Neutrality Commission (2021), *Updated 2030 Nationally Determined Contribution (NDC)*, Press Release (16 October 2021).

한국은행 (2021), 『기후변화와 한국은행의 대응방향』, 2021년 10월 29일 보도 자료.

Bank of Korea (2021), *Climate Change and the Bank of Korea's Response*, Press Release (29 October 2021).

Angelopoulos, K., G. Economides, and A. Philippopoulos (2013), "First-and Second-best Allocations Under Economic and Environmental Uncertainty," *International Tax and Public Finance*, 20, 360-380.

Annicchiarico, B., and F. Di Dio (2015), "Environmental Policy and Macroeconomic Dynamics in a New Keynesian Model," *Journal of Environmental Economics and Management*, 69, 1-21.

_____ (2017), "GHG Emissions Control and Monetary Policy," *Environmental and Resource Economics*, 67, 823-851.

Benmir, G., and J. Roman (2020), *Policy Interactions and the Transition to Clean Technology*, Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment.

Bolton, P., M. Despres, L. A. Pereira Da Silva, F. Samama, and R.

- Svartzman (2020), *The Green Swan: Central Banking and Financial Stability in the Age of Climate Change*, Bank for International Settlements.
- Boneva, L., G. Ferrucci, and F. P. Mongelli (2022), "Climate Change and Central Banks: What Role for Monetary Policy?" *Climate Policy*, 22(6), 770-787.
- Boser, F., and C. Colesanti Senni (2020), *Emission-based Interest Rates and the Transition to a Low-carbon Economy* (No. 20/337), Economics Working Paper Series.
- Campiglio, E. (2016), "Beyond Carbon Pricing: The Role of Banking and Monetary Policy in Financing the Transition to a Low-carbon Economy," *Ecological Economics*, 121, 220-230.
- Carattini, S., G. Heutel, and G. Melkadze (2023), "Climate Policy, Financial Frictions, and Transition Risk," *Review of Economic Dynamics*. (In Press)
- Carney, M. (2015), "Breaking the Tragedy of the Horizon - Climate Change and Financial Stability," *Speech Given at Lloyd's of London*, 29 September.
- Chen, C., D. Pan, Z. Huang, and R. Bleischwitz (2021), "Engaging Central Banks in Climate Change? The Mix of Monetary and Climate Policy," *Energy Economics*, 103, 105531.
- Diluiso, F., B. Annicchiarico, M. Kalkuhl, and J. C. Minx (2021), "Climate Actions and Macro-financial Stability: The Role of Central Banks," *Journal of Environmental Economics and Management*, 110, 102548.
- Ferrari, A., and V. N. Landi (2023), "Whatever it Takes to Save the Planet? Central Banks and Unconventional Green Policy," *Macroeconomic Dynamics*, 1-26.
- Fischer, C., and M. Springborn (2011), "Emissions Targets and the Real Business Cycle: Intensity Targets Versus Caps or Taxes," *Journal of Environmental Economics and Management*, 62(3), 352-366.
- Ganelli, G., and J. Tervala (2011), "International Transmission of Environmental Policy: A New Keynesian Perspective," *Ecological Economics*, 70(11), 2070-2082.

- Gertler, M., and P. Karadi (2011), "A Model of Unconventional Monetary Policy," *Journal of monetary Economics*, 58(1), 17-34.
- Kim, T. B. (2014), "Analysis on Korean Economy with an Estimated DSGE Model After 2000," *KDI Journal of Economic Policy*, 36(2), 1-64.
- _____ (2022), "An Estimated Labor and Financial Friction Model: Evidence from the Korean Economy," *Journal of Economic Theory and Econometrics*, 33(2), 1-74.
- Lee, H., and T. B. Kim (2023), "The Effectiveness of Labor Market Indicators for Conducting Monetary Policy: Evidence from the Korean Economy," *Economic Modelling*, 118, 106098.
- McKibbin, W., A. Morris, P. Wilcoxon, and Y. Cai (2012), *The Potential Role of a Carbon Tax in US Fiscal Reform*, Climate and Energy Economics Discussion Paper, Brookings Institution.
- McKibbin, W. J., A. C. Morris, P. J. Wilcoxon, and A. J. Panton (2020), "Climate Change and Monetary Policy: Issues for Policy Design and Modelling," *Oxford Review of Economic Policy*, 36(3), 579-603.
- Park, N. (2020), *The Effects of Unconventional Monetary Policy in Korea* (Doctoral dissertation, University of Bath).
- Rotemberg, J. J. (1982), "Monopolistic Price Adjustment and Aggregate Output," *The Review of Economic Studies*, 49(4), 517-531.

〈부 록〉

Diluiso et al.(2021) 모형의 균형조건은 다음과 같다.

A. 가계

$$u_t^\beta (C_t - h_c C_{t-1})^{-\zeta} - \beta h_c E_t u_{t+1}^\beta (C_{t+1} - h_c C_t)^{-\zeta} = u_t^\beta \lambda_t$$

$$\chi N_t^\varphi = \lambda_t W_t$$

$$\beta E_t \Lambda_{t,t+1} R_{t+1} = 1$$

$$\Lambda_{t,t+1} = \frac{u_{t+1}^\beta \lambda_{t+1}}{u_t^\beta \lambda_t}$$

λ_t 는 라그랑지 승수이다.

B. 최종재 부문

$$Y_t = \left[\tilde{\omega}_{VA_Y}^{1/\epsilon_Y} VA_{Y,t}^{(\epsilon_Y-1)/\epsilon_Y} + \tilde{\omega}_E^{1/\epsilon_Y} E_t^{(\epsilon_Y-1)/\epsilon_Y} \right]^{\epsilon_Y / (\epsilon_Y-1)}$$

$$VA_{Y,t} = A_{Y,t} (\xi_{Y,t} K_{Y,t})^{\alpha_Y} N_t^{1-\alpha_Y}$$

$$E_t = \left[\tilde{\omega}_{E_L}^{1/\epsilon_E} E_{L,t}^{(\epsilon_E-1)/\epsilon_E} + \tilde{\omega}_{E_F}^{1/\epsilon_E} E_{F,t}^{(\epsilon_E-1)/\epsilon_E} \right]^{\epsilon_E / (\epsilon_E-1)}$$

$$R_{Y,t+1} = \frac{(Q_{Y,t+1} - \delta_Y) \xi_{Y,t+1} + \frac{MC_{t+1} Y_{t+1}^{1/\epsilon_Y} \tilde{\omega}_{VA_Y}^{1/\epsilon_Y} VA_{Y,t+1}^{(\epsilon_Y-1)/\epsilon_Y} \alpha_Y}{K_{Y,t+1}}}{Q_{Y,t}}$$

$$W_t = MC_t Y_t^{1/\epsilon_Y} \tilde{\omega}_{VA_Y}^{1/\epsilon_Y} VA_{Y,t}^{(\epsilon_Y-1)/\epsilon_Y} (1 - \alpha_Y) \frac{1}{N_t}$$

$$1 - \sigma_t - \gamma_p \left(\frac{\Pi_t}{\Pi_{t-1}^{\iota_p} \Pi^{1-\iota_p}} - 1 \right) \frac{\Pi_t}{\Pi_{t-1}^{\iota_p} \Pi^{1-\iota_p}} \\ + \beta E_t \Lambda_{t,t+1} \gamma_p \left(\frac{\Pi_{t+1}}{\Pi_t^{\iota_p} \Pi^{1-\iota_p}} - 1 \right) \frac{\Pi_{t+1}}{\Pi_t^{\iota_p} \Pi^{1-\iota_p}} \frac{Y_{t+1}}{Y_t} + MC_t \sigma_t = 0$$

$$\sigma_t = \frac{\mu_t}{\mu_t - 1}$$

$$E_t = MC_t^{\epsilon_Y} \tilde{\omega}_E \left(\frac{P_{E,t}}{P_t} \right)^{-\epsilon_Y} Y_t$$

$$E_{L,t} = \tilde{\omega}_{E_L} \left(\frac{P_{E_L,t}}{P_{E,t}} \right)^{-\epsilon_E} E_t$$

$$E_{F,t} = \tilde{\omega}_{E_F} \left(\frac{P_{E_F,t}}{P_{E,t}} \right)^{-\epsilon_E} E_t$$

C. 에너지 생산자

$$E_{L,t} = A_L \xi_{L,t} K_{L,t}$$

$$R_{L,t+1} = \frac{(Q_{L,t+1} - \delta_L) \xi_{L,t+1} + \frac{P_{E_L,t+1}}{P_{t+1}} \frac{E_{L,t+1}}{K_{L,t+1}}}{Q_{L,t}}$$

$$E_{F,t} = \left[\tilde{\omega}_{VA_F}^{1/\epsilon_F} VA_{F,t}^{(\epsilon_F-1)/\epsilon_F} + \tilde{\omega}_X^{1/\epsilon_F} X_t^{(\epsilon_F-1)/\epsilon_F} \right]^{\epsilon_F/(\epsilon_F-1)}$$

$$R_{F,t+1} = \frac{(Q_{F,t+1} - \delta_F) \xi_{F,t+1} + \frac{P_{E_F,t+1}}{P_{t+1}} \frac{E_{F,t+1}^{1/\epsilon_F} \tilde{\omega}_{VA_F}^{1/\epsilon_F} VA_{F,t+1}^{(\epsilon_F-1)/\epsilon_F}}{K_{F,t+1}}}{Q_{F,t}}$$

$$\frac{P_{X,t}}{P_t} + \tau_{X,t} = \frac{P_{E_F,t}}{P_t} E_{F,t}^{1/\epsilon_F} \tilde{\omega}_X^{1/\epsilon_F} X_t^{-1/\epsilon_F}$$

D. 자본 생산자와 자본축적식

$$K_{S,t+1} = \xi_{S,t} K_{S,t} + I_{S,t} - \delta_S \xi_{S,t} K_{S,t} \text{ for } S \in \{Y, L, F\}$$

$$Q_{S,t} = 1 + \frac{\gamma_S}{2} \left(\frac{I_{S,t}}{I_{S,t-1}} - 1 \right)^2 + \gamma_S \left(\frac{I_{S,t}}{I_{S,t-1}} - 1 \right) \frac{I_{S,t}}{I_{S,t-1}} - E_t \beta \Lambda_{t,t+1} \gamma_S \left(\frac{I_{S,t+1}}{I_{S,t}} - 1 \right) \left(\frac{I_{S,t+1}}{I_{S,t}} \right)^2$$

E. 은행

$$Q_{S,t} K_{S,t+1} = Q_{S,t} S_{S,t} \text{ for } S \in \{Y, L, F\}$$

$$\sum_S Q_{S,t} S_{S,t}^P = NW_t + B_t^P$$

$$NW_t = NW_{e,t} + NW_{n,t}$$

$$NW_{n,t} = \omega \sum_S Q_{S,t} S_{S,t-1}^P$$

$$NW_{e,t} = \theta \left[\sum_S (R_{S,t} - R_t) \frac{Q_{S,t-1} S_{S,t-1}^P}{NW_{t-1}} + R_t \right] NW_{t-1}$$

$$\phi_t = \frac{Q_{Y,t} S_{Y,t}^P + \psi_L Q_{L,t} S_{L,t}^P + \psi_F Q_{F,t} S_{F,t}^P}{NW_t}$$

$$v_t = \frac{\rho \beta E_t \Lambda_{t,t+1} [(1-\theta) + \theta v_{t+1}] (R_{t+1})}{\rho - \beta E_t \Lambda_{t,t+1} [(1-\theta) + \theta v_{t+1}] (R_{Y,t+1} - R_{t+1})}$$

$$V_t = v_t NW_t$$

$$\begin{aligned} \psi_L E_t \Lambda_{t,t+1} [(1-\theta) + \theta v_{t+1}] (R_{Y,t+1} - R_{t+1}) \\ = E_t \Lambda_{t,t+1} [(1-\theta) + \theta v_{t+1}] (R_{L,t+1} - R_{t+1}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \psi_F E_t \Lambda_{t,t+1} [(1-\theta) + \theta v_{t+1}] (R_{L,t+1} - R_{t+1}) \\ = \psi_L E_t \Lambda_{t,t+1} [(1-\theta) + \theta v_{t+1}] (R_{F,t+1} - R_{t+1}) \end{aligned}$$

$$\phi_t = \frac{v_t}{\rho}$$

상첨자 P 는 민간부문, 하첨자 e 는 기존 은행가, 하첨자 n 은 신규 은행가를 의미한다.

F. 공공부문과 무위험 이자율

$$\frac{R_{N,t}}{R_N} = \left(\frac{R_{N,t-1}}{R_N} \right)^{\iota_i} \left[\left(\frac{\Pi_t}{\Pi} \right)^{\iota_\pi} \left(\frac{Y_t}{Y_{t-1}} \right)^{\iota_Y} \right]^{1-\iota_i} u_t^{RN}$$

$$Q_{S,t} S_{S,t}^G = \gamma_{QE_S} Q_{S,t} S_{S,t} \quad \text{for } S \in \{Y, L, F\}$$

$$\sum_S Q_{S,t} S_{S,t}^G = B_t^G$$

$$T_t = C_t^G - \tau_{X,t} X_t - \sum_S (R_{S,t} - R_t) B_{t-1}^G$$

$$R_t = \frac{R_{N,t-1}}{\Pi_t}$$

상첨자 G 는 공공부문을 의미한다.

G. 시장 청산

$$B_t = B_t^P + B_t^G$$

$$S_{S,t} = S_{S,t}^P + S_{S,t}^G \quad \text{for } S \in \{Y, L, F\}$$

$$Y_t = C_t + C_t^G + \sum_S I_{S,t} + \sum_S \frac{\gamma_S}{2} \left(\frac{I_{S,t}}{I_{S,t-1}} - 1 \right)^2 I_{S,t} + \frac{\gamma_p}{2} \left(\frac{\Pi_t}{\Pi_{t-1}^{\iota_p} \Pi^{1-\iota_p}} - 1 \right)^2 Y_t$$

Climate Change Transition Risk and Monetary Policy Response: The Case of Korea*

Jiyoung Lee** · Joon-Ho Hahm***

Abstract

This study assesses the impact of implementing a carbon tax for a low-carbon transition in Korea, using the New Keynesian DSGE model by Diluio et al. (2021) calibrated with Korean data from 2001 to 2020. We investigate transition risks under two scenarios: a timely, gradual transition and a delayed, radical one. Additionally, we examine the influence of different monetary policy reactions on transition costs. Results indicate that a delayed, radical transition results in higher volatility in macroeconomic and financial variables compared to a gradual transition. Notably, a more responsive monetary policy can help mitigate adverse impacts on stability.

KRF Classification : B030902, B030300

**Key Words : carbon tax, climate change, transition risk,
monetary policy, financial stability**

* This work is supported by Korea Environment Industry & Technology Institute (KEITI) through "Climate Change R&D Project for New Climate Regime", funded by Korea Ministry of Environment (MOE) [2022003560012].

** First Author and Corresponding Author, Lecturer, School of Economics, Yonsei University, Seoul, Korea, e-mail: team210@daum.net

*** Second Author, Professor, Graduate School of International Studies, Yonsei University, Seoul, Korea, e-mail: jhahm@yonsei.ac.kr