

재생에너지 확대가 국가 간 경기변동과 무역집약도의 동조성에 미치는 영향*

최봉석** · 김기환***

요 약

본 연구는 세계산업연관자료에 기반한 국제실물경기변동 DSGE 모형을 구축하고 우리나라의 재생에너지 2030 계획 추진이 국가 간 경기변동과 무역집약도의 동조성에 미치는 영향을 분석하였다. 우리나라 재생에너지 확대에 따른 연료수입대체 편익과 정책 비용을 양자 무역 거래에 반영한 결과, 교역대상국의 광업을 포함한 에너지서비스업과 제조업의 경기·무역 동조성은 부가가치 기준 1%, 생산량 기준 1.6% 증가하는 것으로 나타났다. 본 결과는 연료수입대체 편익이 산업의 정책 비용 부담에 상쇄되어 경기·무역 동조성이 오히려 강화되었음을 의미한다. 향후 우리나라 제조업의 생산공정이나 비즈니스 여건이 에너지 정책변화에 충분히 적응하고 개선될 때 비로소 순편익이 늘어나며 무역집약도 동조성이 악화된다는 점을 시사한다.

주요 단어 : 국제실물경기변동, 세계산업연관표, 재생에너지, 경기·무역 동조성
경제학문헌목록 주제분류 : E32, O44, Q28

* 본 논문은 에너지경제연구원 기본연구보고서 21-28, 「재생에너지 확대의 국민경제 파급효과 분석(3/4)」의 일부 내용을 발췌하여 수정·보완한 논문입니다.

** 국민대학교 국제통상학과 부교수(교신저자) (e-mail: bchoi4@kookmin.ac.kr)

*** 에너지경제연구원 연구위원(주저자) (e-mail: kkihwan@keei.re.kr)

I. 서 론

수년간 온실가스 감축에 대한 전 세계적인 관심은 화석연료 기반 발전원의 축소와 친환경·재생에너지 발전 확대로 이어지고 있다. 우리나라도 2015년 파리 기후협약을 통해 합의된 감축 목표를 달성하기 위해 「재생에너지3020계획」을 발표하고 2030년까지 신재생에너지 발전량을 20%로 증가시키는 목표를 설정하였다.¹⁾ 2019년 9월 발표한 제3차 에너지기본계획에서는 2040년 재생에너지 발전 비중 목표를 30~35% 수준으로 제시하였다. 2020년 12월에 발표된 9차 전력수급기본계획에 일정 부분 반영되었고, 계획에서는 30년 20.8%, 2034년 26.3%의 신재생 발전 비중 목표로 제시하였다. 본 연구는 국제실물경기변동이론에 기반한 확률적 동태일반균형(Dynamic Stochastic General Equilibrium, DSGE) 모형을 이용하여 우리나라의 재생에너지 2030 계획 추진에 따른 무역집약도 변화가 국가 간 경기변동 동조성에 미치는 영향을 분석하였다. 재생에너지 2030 계획 이후에도 다양한 재생에너지 확대 추진 정책이 발표되고 추진되는 상황이나²⁾ 본 연구에서는 기본적으로 2030년도 약 20% 수준의 신재생에너지 발전비중을 목표로 하는 정책에 초점을 둔다.

그동안 에너지·환경 정책이 국가 경제에 미치는 영향에 관한 연구는 주로 연산가능일반균형(Computable General Equilibrium, CGE) 모형이나 산업연관분석을 활용한 정태적 분석이 중심이었다. 최근 국가 차원의 에너지·환경 정책 대응은 금융시

1) 2019년 기준 신재생에너지 설비용량은 전년 대비 27.1%가 증가하였으며, 세부 비중은 태양광 39.3%, 바이오 31.5%, 수력 8.45%, 연료전지 6.9%, IGCC 3.1%, 해양 1.4% 순으로 차지한다(김기환; 2020, pp. 1).

2) 2020년 10월 정부는 탄소중립을 선언하였고, 2050년까지 국내 온실가스 순배출을 제로로 만들겠다는 목표와 함께 후속 조치로 2050 탄소중립 시나리오와 2030 NDC 상향 목표가 공표되었고, 이에 담긴 2050년 신재생에너지 발전비중은 70.7%(A안), 60.9%(B안)와, 2030년 신재생에너지 발전 비중이 30.3%로 설정되었다(2050 탄소중립 시나리오안, 2021.10; 2030 국가온실가스 감축목표(NDC) 상향안, 2021.10).

장과 국제에너지시장 변동성과 연계되어 장기 성장과 아울러 경기 변동성 측면이 국가 경제에 큰 영향을 미치므로 경기변동 분석이 매우 중요하다. 더욱이, 전 세계적으로 글로벌가치사슬이 약화되고 보호무역주의가 강화되는 추세에서 선진국들을 중심으로 탄소중립을 선언하고 탄소국경조정세를 도입하며 국경 간 무역장벽이 더욱 높아지는 추세이다. 최근 발생한 러시아·우크라이나 사태에 따른 공급망 위기와 에너지 가격의 급등은 에너지전환 정책에 따른 이행적 리스크를 관리하는 정책 대응이 중요하다는 점을 시사한다. 각 국가의 에너지 전환정책 추진은 생산공정에 필요한 화석연료의 수입의존도를 감소시켜서 경기동조성을 약화시킬 수 있으나 환경 규제에 따른 비용 증가가 편익을 상쇄하는 경우에는 오히려 경기동조성이 강화될 수 있다. 이러한 배경에서 재생에너지 확대정책의 효과 분석도 국제실물경기변동 모형 틀에서 분석될 필요가 있다.

본 연구는 Johnson(2014)이 구축한 다국가·다산업 국제실물경기변동(International Real Business Cycle, IRBC) 모형을 기반하여 우리나라 재생에너지 확대에 따른 수입대체 효과와 정책비용을 국경 간 중간재의 무역거래 구조에 반영하고 재생에너지 확대에 따른 국가 간 경기변동과 무역집약도의 동조성 변화를 분석하였다. World-Input-Output Table(WIOT) 2016 release 자료를 활용하여 한국무역협회 무역통계 기준 우리나라 수출 및 수입거래량 순위 20위 안에 포함되는 교역대상국의 거래정보를 반영하여 모형의 모수를 결정했다. 이로써 한 국가의 산업 정책변화가 무역 경로를 통해 다른 국가 산업에 영향을 미치는 경로와 함께 세계실물경기변동에 미치는 영향을 살펴볼 수 있다.

본 연구의 주요 결과는 다음과 같다. 재생에너지 2030 정책 분석에 앞서 모형의 정합성을 확인하기 위하여 23개 국가의 2개 산업부문(제조업과 에너지서비스업)의 쌍 253개에 관하여 분석한 결과, 기존 세계경기변동 문헌³⁾에서 제시한 정형화된 경기동조성이 재확인되었으며, 세계 경기변동 상의 제조업 경기 동조성이 세계 경제 경기동조성의 상당 부분을 설명하는 것으로 도출되었다. 전체 표본 중 우리나라 대상 거래

3) 관련된 세계경기변동 연구로 Burstein et. al.(2008), di Giovanni and Levchenko(2010), Johnson(2014)을 들 수 있다.

와 관련된 쌍 표본에 국한하여 2030 재생에너지 확대에 따른 수입대체효과와 정책 비용을 반영한 결과, 교역대상국의 광업을 포함한 에너지서비스업과 제조업의 경기·무역 동조성은 부가가치 기준 1%, 생산량 기준 1.6%가 증가하는 것으로 나타났다. 즉, 재생에너지 확대는 연료수입대체 편익으로 인한 경기·무역 동조성의 약화가 예상되나 그 비용은 결과적으로 각 산업에 전가되므로 동조성은 오히려 강화되었음이 확인된다. 이러한 결과는 현재 우리나라 제조업의 생산공정이나 비즈니스 여건이 에너지 정책 변화에 충분히 적응하지 못하여 비용이 편익을 앞서면서 발생한 것으로 해석된다. 즉, 양자무역거래에 반영한 모형 경제에서 기업의 한계 비용이 한계 편익보다 클 때 경기변동과 무역집약도 동조성은 오히려 강화된다는 점을 시사한다.

에너지·환경 부문을 고려한 거시경제 DSGE 모형 연구로는 다수의 문헌이 있다. 대표적인 연구인 Golosov et. al.(2014)는 세계 전체의 탄소배출과 오염배출량 누적 경로를 거시경제 모형에 반영하여 최적 환경세 효과를 분석하였다. 또 다른 연구인 Acemoglu et. al.(2012)에서도 Golosov et. al. (2014)와 유사하게 에너지 산업을 청정에너지 산업과 화석에너지 산업으로 분류하고 청정에너지 연구개발 부문에서 정부 보조금과 탄소세 정책의 역할을 살펴보았다. 정재용·조홍중(2019)은 확률적 중첩세대 일반균형 모형을 활용하여 에너지 정책 변화와 인구구조 변화 간 동태적 연계성에 초점을 두었다. Tumen et. al. (2016)과 지정구·배병호(2016)는 신케인지언 모형의 통화정책이 작동하는 상황에서 에너지 시장 충격이 거시경제에 미치는 영향을 살펴보았다. DSGE 모형을 이용하여 재생에너지 정책이 거시경제에 미치는 효과를 분석한 연구로는 Argentiero et. al.(2017)와 최봉석·김기환(2022)이 있다. Argentiero et. al.(2017)에서는 Golosov et. al.(2014)과 유사한 두 가지 유형의 에너지 중간재를 CES 생산함수로 모형 설정하고 EU, 미국, 중국의 재생에너지 확대 정책이 거시경제에 미치는 효과를 비교 분석하였다. 최봉석·김기환(2022)은 Argentiero et. al.(2017)에 온실가스 감축 기술진보 과정과 전력시장 경직성을 반영하여 우리나라 재생에너지 정책 효과를 분석하였다.

선행연구들은 주로 폐쇄경제 아래 탄소세나 친환경에너지 보조금 정책이 거시경제 변수에 미치는 영향을 살펴보았다. 본 연구는 세계산업연관 정보를 바탕으로 실

물 무역 거래에 기반한 개방경제 모형을 구축하고 한 국가의 에너지 정책이 경기·무역 동조성에 미치는 영향을 살펴본다는 점에서 선행연구와 차별된다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 분석 방법론을 소개하고 제3장에서 주요 결과를 논의한다. 제4장에서는 결론 및 정책적 함의를 기술하였다.

Ⅱ. 분석 방법론

1. 모형 경제

본 모형 경제는 Johnson(2014)이 구축한 다국가·다산업 국제실물경기변동(IRBC) 모형을 기반한다. 본 모형은 폐쇄 경제하의 실물경기변동모형과는 달리 국경 간 중간재의 무역 흐름을 반영할 수 있는 생산함수 구조와 국가 간 무역 흐름에 영향을 미치는 생산성 충격이 모수를 통해 반영된다는 점이다.

1) 중간재 거래를 포함한 생산 부문

세계 모형 경제는 N 개 국가로 구성되고 각 국가 경제는 S 개 산업으로 구성된다. 세계 경제를 구성하는 국가 $i, j \in \{1, \dots, N\}$ 와 산업 $s, s' \in \{1, \dots, S\}$ 가 있을 때 국가 i 내 산업 s 와 국가 j 내 산업 s' 사이 무역 거래를 통해 각 국가 내 산업부문에서 최종재를 생산하기 위한 중간재를 얻는다고 가정하자. 즉, 각 국가 i 내 산업부문 s 는 자본 $K_{it}(s)$, 노동 $L_{it}(s)$, 중간재 $X_{it}(s)$ 를 이용하여 총생산물(gross output) $Q_{it}(s)$ 를 생산한다. 이때 중간재 $X_{it}(s)$ 는 자국을 포함한 여러 국가부터 생산된 중간재의 CES 집합체(aggregate)로 표현할 수 있다. 산업부문 생산함수는 다음과 같다.⁴⁾

4) 모든 함수의 아랫 첨자 t 는 연도를 의미한다.

$$Q_{it}(s) = Z_{it}(s)(\theta_i(s)^{1-\sigma} V_{it}(s)^\sigma + (1 - \theta_i(s))^{1-\sigma} X_{it}(s)^\sigma)^{1/\sigma} \quad (1)$$

$$X_{it}(s) = \left(\sum_{j=1}^N \sum_{s'=1}^S \omega_{ji}^x(s', s)^{1-\eta} X_{jit}(s', s)^\eta \right)^{1/\eta} \quad (2)$$

$$V_{it}(s) = K_{it}(s)^\alpha L_{it}(s)^{1-\alpha}, \quad (3)$$

여기서 $Z_{it}(s)$ 는 국가-산업부문 고유의 생산성을 의미하며 모형의 외생적 충격에 해당한다. $V_{it}(s)$ 는 $K_{it}(s)$ 와 $L_{it}(s)$ 로 생산된 국내 최종 생산재에 해당하며, 총생산물 가치에서 중간재 가치를 차감한 부가가치로 볼 수 있다. 자본의 부가가치 기여 비중은 α 이다. $V_{it}(s)$ 가 $\theta_i(s)$ 비중으로 투입되고 나머지는 $X_{it}(s)$ 가 투입되어 총생산물 $Q_{it}(s)$ 가 생산된다. $X_{it}(s)$ 는 자국을 포함한 국가와 무역 거래를 통해 조달되는데, $X_{jit}(s', s)$ 는 국가 j 의 산업부문 s' 에서 생산되어 국가 i 의 산업부문 s 에서 소비되는 중간재를 의미하고 각 중간재는 $\omega_i^x(s', s)$ 비중으로 투입된다. 모수 σ 와 η 는 해당 CES 생산함수의 생산요소 간 대체탄력성을 의미한다.

국가 i , 산업부문 s 의 대표 최종재 기업은 완전경쟁시장에서 자본, 노동, 중간재를 이용하고 이윤을 극대화하는 생산량 $Q_{it}(s)$ 를 결정한다.

$$\begin{aligned} \max \quad & p_{it}(s)Q_{it}(s) - w_{it}L_{it}(s) - r_{it}K_{it}(s) - \sum_{j=1}^N \sum_{s'=1}^S p_{jt}(s')X_{jit}(s', s) \\ \text{s.t.} \quad & L_{it}(s) \geq 0, K_{it}(s) \geq 0, X_{jit}(s', s) \geq 0, \end{aligned} \quad (4)$$

$p_{it}(s)$ 는 최종재 가격이며, w_{it} 는 임금, r_{it} 는 자본재 임대료이다. 기업의 이윤극대화 해를 얻기 위해서는 우선, 부가가치 합성가격 (5)와 중간재 합성가격 (6)이 주어

진 하에 $V_{it}(s)$ 와 $X_{it}(s)$ 의 최적화 해를 구한다. 그 다음으로 자본, 노동, 개별 중간재의 최적 해를 구한다.

$$p_{it}^v(s) = \left(\frac{r_{it}}{\alpha}\right)^\alpha \left(\frac{w_{it}}{1-\alpha}\right)^{1-\alpha} \quad (5)$$

$$p_{it}^x(s) = \left(\sum_{j=1}^N \sum_{s'=1}^S \omega_{ji}^x(s',s) p_{jt}(s')^{\frac{\eta}{\eta-1}}\right)^{\frac{(\eta-1)}{\eta}} \quad (6)$$

각 산업부문에 생산된 재화는 다른 산업의 중간재로뿐만 아니라 최종재 자체로도 사용된다. 국가 i , 산업 s 에서 생산되어 국가 j 에서 소비되는 최종재를 $F_{ijt}(s)$ 라고 하자. 국가 i , 산업부문 s 의 총생산량 $Q_{it}(s)$ 는 무역 거래된 중간재 $X_{ijt}(s',s)$ 가치의 합과 최종재 $F_{ijt}(s)$ 가치의 합계로 식 (7)과 같이 표현된다.

$$Q_{it}(s) = \sum_j \left(F_{ijt}(s) + \sum_{s'=1}^S X_{ijt}(s,s') \right) \quad (7)$$

국가 i , 산업 s 에서 생산된 최종재는 각 $F_{ijt}(s)$ 가 ω_{ji}^f 비중으로 CES 함수 형태로 결합되어 식 (8)과 같이 도출된다. 마찬가지로 국가 i 의 최종재는 식 (9)와 같이 콥더글러스 함수 형태로 도출된다.

$$F_{it}(s) = \left(\sum_{j=1}^N \omega_{ji}^f(s) F_{ijt}(s)^\rho \right)^{\frac{1}{\rho}} \quad (8)$$

$$F_{it} = \prod_{s=1}^S F_{it}(s)^{\gamma_i(s)} \quad (9)$$

$\gamma_i(s)$ 는 국가 i 의 전체 최종재 중 $F_{it}(s)$ 의 비중을 의미하고 ρ 는 F_{jit} 간의 대체탄력성이다. 최종재 F_{it} 의 가격 (11)이 주어진 아래 국가 i 의 대표 기업은 이윤을 극대화하는 F_{it} 해는 다음과 같이 구한다.

$$\max p_{it}^f F_{it} - \sum_{j=1}^N \sum_{s=1}^S p_{jt}(s) F_{jit}(s), \text{ s.t. } F_{jit}(s) \geq 0, \quad (10)$$

$$p_{it}^f(s) = \left(\sum_{j=1}^N \omega_{ji}^f(s) p_{jt}(s)^{\frac{\rho}{\rho-1}} \right)^{\frac{(\rho-1)}{\rho}} \quad (11)$$

국가 내 생산요소가 벌어들인 총소득은 총지출과 같으므로 각 국가의 대표 기업 최종재 F_{it} 는 총소비 C_{it} 와 총투자 I_{it} 의 합과 같다. 즉, 항등식 (12)가 성립하며 총 자본스톡은 동학과정 식 (13)에 의해 축적된다.

$$F_{it} = C_{it} + I_{it} \quad (12)$$

$$K_{it+1} = I_{it} + (1-\delta)K_{it}, \quad K_{it} = \sum_{s=1}^S K_{it}(s) \quad (13)$$

2) 소비와 노동 공급

각 국가 i 의 대표 가계는 최종재를 소비하고 노동을 공급한다. 대표 가계의 효용함수는 다음과 같다.

$$U_0 = E_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left[\log(C_{it}) - \frac{\chi^\epsilon}{1+\epsilon} L_{it}^{(1+\epsilon)/\epsilon} \right] \quad (14)$$

여기서 ϵ 는 노동 공급탄력성이고 β 는 할인인자이다. 대표가계는 모든 산업에 노동을 공급하므로 $L = \sum_{s=1}^S L_{it}(s)$ 이다.

3) 자산 시장

생산 경제의 불확실성 일부는 자산 시장 균형에 의해 해소된다. 자산 시장의 완비성(complete)이 성립한다는 가정 아래, 대표 가계가 미래에 일어날 수 있는 모든 위험을 분산 가능한 1 기간 채권을 국가가 발행한다. 연도 t 의 세계 경제 상태는 ϖ_t 라고 할 때 ϖ_t 는 이전 확률밀도함수 $f(\varpi_{t+1}, \varpi_t)$ 에 의해 상태 ϖ_{t+1} 로 이전된다고 가정하자. 국가 i 가 발행한 상태기반(state-contingent) 국채 $B_i(\varpi_{t+1})$ 는 다음 기 상태 ϖ_{t+1} 의 채권자에게 한 단위(numeraire)의 재화 가치를 갖고 국채가격은 $b(\varpi_{t+1}, \varpi_t)$ 이다. 모든 상태의 채권 총수요는 총공급과 일치하므로 $\sum_i B_i(\varpi_{t+1}) = 0$ 이다. 채권시장의 완비성 가정아래 국가, 산업별 실물 재화 생산성 차이에 의해 모형 경제의 동태적 변화가 발생한다. 대표 가계의 예산제약식은 다음과 같다.

$$p_{it}^f(C_{it} + I_{it}) + \int b(\varpi_{t+1}, \varpi_t) B_i(\varpi_{t+1}) d\varpi_{t+1} = r_{it} K_{it} + w_{it} L_{it} + B_i(\varpi_t) \quad (15)$$

초기 국채 $\{B_i(\varpi_0)\}$ 와 각 가격 요소가 주어진 아래 대표 가계는 예산제약(15)를 만족하고 효용함수(14)를 극대화하는 $\{C_{it}, L_{it}, K_{it+1}\}$ 과 자산보유량 $\{B_i(\varpi_{t+1})\}$ 의 해를 구한다.

4) 경쟁 균형

본 모형의 경쟁 균형은 다음과 같다. 국가, 산업별 생산성 과정과 $\{B_i(\varpi_0)\}$ 가 주어진 아래, 경쟁 균형은 대표 가계의 효용극대화, 각 기업의 이윤극대화, 각 시장청산 조건들을 만족하는 가격 $\{r_{it}, w_{it}, p_{it}^f, \{p_{it}^f(s)\}_s\}_i$ 와 $b(\varpi_{t+1}, \varpi_t)$, 수량 $\{C_{it}, F_{it}, B_i(\varpi_t)\}_i$

$\{Q_{it}(s), K_{it}(s), L_{it}(s), \{F_{jit}(s)\}_j, \{X_{jit}(s', s)\}_{j, s'}\}_{i, s}$ 로 정의된다.

2. 무역 거래 및 생산성 자료 구축

1) 분석 대상과 무역 거래 자료

본 모형에서는 세계무역거래 정보를 바탕으로 국가, 산업 간 거래되는 각 최종재가 전체 최종재 가치 중 차지하는 비중 ω_{ji}^f 와 각 중간재가 전체 중간재 가치 중 차지하는 비중 ω_i^x 를 결정한다. 이러한 모수 결정을 위해 양자 무역 거래(bilateral trade)의 상세한 정보를 활용하여 산업 재화 중 수입 재화가 차지하는 비율을 반영할 필요가 있다. 본 연구에서는 최근 세계산업연관분석 자료인 World-Input-Output Table (WIOT) 2016 release를 활용한다. 이 자료는 2000년부터 2014년까지 43개국, 56개 산업(제조업 19개, 농·광업 4개, 건설·서비스업 33개)의 직·간접 산업연관 정보를 포함한다. 대상 국가는 한국무역협회 무역통계(<https://stat.kita.net/>) 기준 우리나라 수출 및 수입거래량 순위 20위 안에 포함되는 교역대상국이며 WIOT나 KLEMS에서 산업별 부가가치나 생산량 정보를 제공하는 국가에 해당한다. 총 국가 수 N 은 23개로 호주, 벨기에, 캐나다, 중국, 체코, 독일, 덴마크, 스페인, 핀란드, 프랑스, 영국, 그리스, 인도, 이탈리아, 일본, 한국, 네덜란드, 폴란드, 러시아, 슬로바키아, 슬로베니아, 스웨덴, 미국이다.

WIOT는 국가별로 다수의 산업 정보를 제공하나 확률적 동태일반균형의 해를 구하는 과정에서 이미 동태적 최적 해의 경우 수가 국가 수만큼 늘어나므로 컴퓨터의 행렬 계산 상한을 고려하여 2개의 산업 간 중간재 거래를 살펴볼 필요가 있다. 본 연구의 주요 분석 대상은 재생에너지 확대에 따른 화석연료 수입대체효과이므로 광업을 포함한 에너지서비스업과 제조업 사이 중간재 거래를 살펴본다. 즉, 산업은 $s = \{1: \text{제조업}, 2: \text{에너지서비스업}\}$ 인 경우를 분석한다. 에너지서비스 업종은 광업, 전기·가스·수도서비스업으로 구성하였다.⁵⁾ 두 개의 산업부문 동태적 모형은 전통적인 선형화 과정을 이용하여 시뮬레이션을 시행한다.

5) 세계산업연관표(WIOT)의 업종 기준, 에너지서비스업은 Mining and quarrying, Electricity, gas, steam and air conditioning supply로 구성된다.

2) 생산성 충격 추정

식 (1)의 $Z_{it}(s)$ 는 국가 i , 산업 s 의 t 년도의 생산성 수준을 의미하며 본 모형의 외생적 충격에 해당한다. 본래 거시경제 모형에서는 생산성을 지칭할 때 총요소생산성 (total factor productivity; TFP)을 의미한다. 하지만 본 연구의 표본 국가별 산업 수준의 총요소생산성 자료를 제공되지 않으므로 Johnson(2014) 방법론에 따라 국가·산업별 노동생산성 자료를 이용하여 생산성 과정을 추정한다.⁶⁾ 1단계에서는 부가가치 기준 노동생산성 자료 $LP_{it}^{VA}(s)$ 를 이용하여 식 (16)을 추정한다.

$$\log LP_{it}^{VA}(s) = \lambda_i(s) \log LP_{it-1}^{VA}(s) + \epsilon_{it}(s) \quad (16)$$

$LP_{it}^{VA}(s)$ 는 1995~2016년 동안 Groningen 성장·개발 센터에서 구축한 EU-KLEMS와 World-KLEMS 자료를 활용하여 국가, 산업별 실질부가가치를 노동자 수로 나누어서 얻었다.⁷⁾ 본 연구의 분석 대상은 경기변동 현상이므로 모든 변수는 로그를 취한 후 HP 필터를 활용하여 성장 추세를 제거하였다. 회귀분석에서 얻은 잔차항 $\epsilon_{it}(s)$ 은 모형 충격의 분산-공분산 행렬식 Σ 의 각 원소를 구성한다. 각 국가, 산업별 쌍에 해당하는 Σ 의 각 원소는 각 행과 열의 해당 잔차항 $\epsilon_{it}(s)$ 들의 곱에 해당한다. 모형 시뮬레이션에서는 부가가치 기준 생산성 충격과 함께 총생산물 기준 생산성 충격을 고려한다. 총생산물 기준 생산성 충격 $\tilde{\epsilon}_{it}(s)$ 은 균제상태의 총생산물 가치 대비 부가가치 비중 $s_i^v(s) (\equiv p_i^v V_i(s)/p_i(s) Q_i(s))$ 을 잔차항 $\epsilon_{it}(s)$ 에 곱하여 얻는다. 즉, $\tilde{\epsilon}_{it}(s) = s_i^v(s) \epsilon_{it}(s)$ 이다.

모형 생산성의 외생적 충격 시뮬레이션으로 두 가지 경우를 고려한다. 첫 번째는 Σ 의 모든 원소를 그대로 적용하는 “correlated shock” 경우에 해당한다. 즉, 타국가,

6) 경기변동 이론상 자본 변동이 노동생산성 변동에서 발생하지 않는다는 가정 아래 부가가치 기준 노동생산성으로 TFP를 대체가능하다. 이러한 가정은 국제실물경기변동이론에서 널리 받아들여지는 가정이다(Backus, Kehoe, and Kydland (1992), Heathcote and Perri (2002), Kose and Yi (2006)).

7) 두 KLEMS 데이터베이스에 없는 국가의 경우 해당 국가 통계청 자료를 이용하였다.

타산업 부문 간 생산성 충격의 상관성이 있는 경우로 모든 $i \neq j$ 에 관해 $cov(Z_{it}(s), Z_{jt}(s')) \neq 0$ 이 성립한다. 이러한 설정에서 국가, 산업 간 경기변동 동조성이 각 고유 생산성 충격이 무역거래 경로를 통해 전달되며 일어난다. 두 번째는 모든 $i \neq j$ 에 관해 $cov(Z_{it}(s), Z_{jt}(s')) = 0$ 이 성립하고 타국가, 타산업 부문 간 상관성은 존재하지 않는 경우이다. 이 경우는 “uncorrelated shock”의 경우에 해당한다.

Ⅲ. 모형 시뮬레이션

1. 모수 결정

주요 모수들은 Johnson(2014)을 포함한 국제거시경제 문헌을 참조하여 결정하였다. 할인인자 β 는 연평균 무위험 이자율 3%를 반영하여 0.96으로 설정하고 대표 가계의 노동공급탄력성 ϵ 는 4로 정하였다. 최종재 산업의 자본 비중 α 는 0.33, 감가상각률 δ 는 0.1을 적용하였다.⁸⁾ 최종재 산업부문 간 대체탄력성은 2가 되도록 ρ 를 0.5로 정하였다. σ 와 η 는 0으로 설정하여 생산함수 $Q_{it}(s)$ 와 $X_{it}(s)$ 의 대체탄력성이 1이 되도록 하였다.⁹⁾

모형의 균제상태 비중으로 생산투입요소 비중, 최종재 수요와 투입재의 수입재 비중 등을 정해야 한다. WIOT 2014년 자료를 이용하여 국가, 산업별 총생산과 부가가치 $\{p_i(s)Q_i(s), p_i^v V_i(s)\}$ 와 국제무역에 의한 최종재와 중간재 거래 $\{p_i(s)F_{ij}(s), p_i(s)X_{ij}(s, s')\}$ 를 결정한다.

$Z_{it}(s)$ 생산성 과정과 국가, 산업 간 거래되는 각 최종재가 전체 최종재 가치 중 차

8) 관련 모수들은 Johnson(2014), King and Rebelo(1999), Chetty et. al.(2011) 등 선행연구에서 현실 경제와 모형 경제가 가깝게 설정되도록 널리 활용 값들이다.

9) 계산 편의상 CES 생산함수의 대체탄력성의 특수한 형태인 콥-더글러스 함수를 가정한다. 대체탄력성이 1이므로 생산요소가 가격이 1% 증가할 때 생산요소 투입비율은 1% 감소한다.

지하는 비중 ω_{ji}^f , 각 중간재가 전체 중간재 가치 중 차지하는 비중 ω_i^x 은 3장에 소개된 방법론에 따라 해당 모수를 결정한다.

2. 재생에너지 2030 정책 시나리오 반영

재생에너지 2030 계획을 시행함에 따라 2030년 기준 석탄과 LNG 발전량은 2019년 대비 각각 25%, 7.8%가 감소된다. 화석연료 수입의존도가 매우 높은 우리나라의 에너지 공급 여건에서 그만큼 수입대체효과가 발생하므로 유연탄과 LNG 수입량이 감소하는 편익이 발생한다.¹⁰⁾ 추가로 태양광과 풍력 발전 설비비중을 늘리기 위한 해당 설비의 원자재 수입도 늘어나지만, 발전원 대체에 따른 상대적 수입 규모 측면에서 석탄·가스 화력발전에 따른 수입액이 더 크며 재생에너지 확대에 따른 수입 변화 분석 가정을 위한 정확한 근거 자료가 빈약한 점, 분석의 편의를 고려하여 유연탄과 LNG 수입대체효과만 고려한다. 한편, 비용 측면에서는 정부가 에너지 전환·재생 에너지를 확대하기 위해 민간 부문에 지원하는 비용을 고려한다. 간헐성 전원이 확대되면서 필요한 예비력 전원 추가 확보, ESS 장비 보급 비용, 전통적 발전원 좌초 비용 등이 발생하나 현시점에서 명확한 비용을 산정하는 것이 불가능하므로 「한국판 뉴딜 종합계획(2020) 관계부처 합동 기준」을 근거하여 비용을 반영한다.

재생에너지 2030 시나리오 분석을 위한 편익과 비용을 구체적으로 다음과 같이 산정해볼 수 있다. 우선, 기존 화력발전이 재생에너지발전으로 대체되면서 절감되는 유연탄과 LNG 수입량은 각각 84,486,191톤과 8,016,783톤에 달하며 수입금액으로 환산하면 약 2조원(2,014,046,736,596원)이 절감된다.¹¹⁾ 전체 발전연료비 수입 절감액은 각 산업별 전력소비 비중에 따라 국제산업연관표 상의 각 산업의 중간

10) 2019년 기준 석탄발전량은 233,773 GWh(발전비중 40.4%)이고 LNG발전량은 148,133 GWh(발전비중 23.3%)이다. 국가 계획에 따르면 2030년 해당 발전량은 2019년 대비 각각 25%, 7.8%가 감소할 예정이다.

11) 2021년 상반기 유연탄과 LNG 톤당 평균가격을 참조하여 USD 60과 USD 700을 가정하고 달러 당 원화 환율 1,180원을 적용하였다. 2022년 4분기 유연탄과 천연가스의 톤당 가격은 각각 6배, 5배 가까이 치솟았으나 국제 공급망 위기에 해당하는 가격이므로 적용하지 않았다.

재 수입 감소액으로 적용된다. 예를 들어 국내 제조업별 발전연료비 절감액은 전체 발전연료비 수입액에 2014년 기준 (제조업 전력소비량/전체 전력소비량)×(업종별 전력소비량/제조업 전력소비량)을 곱하여 구한다. WIOT 산업분류에 따라 전력소비량 비중을 구하기 위해 통계청이 발표하는 광업제조업조사의 2014년 자료를 활용한다. 개별 업체별 명목 전력비를 2자리수 산업분류 기준의 명목 전력비 합계로 나누어 업체별 전력소비 비중을 구한 후 WIOT 산업분류에 따라 매칭하고 합산하여 산업별 전력소비 비중을 구하였다.

연구 모형은 별도의 발전 및 에너지 공급 부문을 설정하지 않고 국제무역거래 구조를 통해 재생에너지 정책의 편익과 비용이 반영되므로 재생에너지 확대에 따른 유연탄과 LNG 수입량의 절감분은 대상 산업의 중간재 비용에서 직접 차감한다. 즉, 산업별 절감액은 2014년 WIOT 상의 국가별 산업 간 중간재 무역거래 정보를 포함하는 중간재 수요 블록의 한국의 산업별 중간재 수입액에서 차감한다. 발전용 유연탄 전량을 호주가 한국에 수출한다고 가정하였고, 발전용 LNG 수출국 비중은 IHS Markit 자료를 참조하였다.¹²⁾ 단, WIOT에서 카타르나 인도네시아 등 우리나라의 주요 LNG 수입국 자료를 제공하지 않는다. 이 경우에는 해당 물량을 호주와 미국이 절반씩 수출한다고 가정하였다. 구체적인 예시로 호주 광업 s' 에서 한국 산업 s 로 유연탄이나 LNG 수출액을 우리나라 제조업의 발전연료 절감액으로 고려한다. 호주-한국 무역 쌍의 중간재 거래액에서 해당 금액을 차감한 후에 모형에 반영한다. 그 결과, i 가 한국일 때 유연탄과 LNG 수출국의 광업에서 한국 각 산업으로의 균제상태 $\omega_i^x(s', s)$ 와 $X_i(s', s)$ 값이 변경되어 재생에너지 확대에 따른 편익이 반영된다. 재생에너지 확대에 따라 비용 발생 측면은 보수적 관점에 정부가 에너지 전환·재생에너지 확대를 위해 2022년까지 민간 부문에 지원하는 예산 11.3조원을 한해에 국내 각 산업이 비용으로 분담한다고 가정하였다.¹³⁾ 즉, 한국 산업으로의 총생산물 가치부터 중간재 가치를 차감한 부가가치에서 정책 비용이 다시 차감되면서 $\theta_i(s)$ 가

12) 본 연구의 주요 대상의 중심이 한국이고 무역대상국의 경제가 아니므로 분석 국가 설정이 결과에 크게 영향을 미치지 않는다.

13) 한국판 뉴딜 종합계획(2020) 관계부처 합동 기준

변경되고 재생에너지 확대에 따른 비용이 반영된다.

본 모형의 국가·산업 간 양자 무역 거래 모수 집합은 다차원 구조 벡터로 구성되어 간략히 표현하기 복잡하다. 예를 들어 $\omega_i^x(s', s)$ 는 두 국가, 두 산업으로 구성되는 4차원 구조 벡터이다. 따라서 정책변화에 따른 모든 균제상태 모수와 변수 변화를 제시하는 대신 한국과 무역대상국 사이 $\omega_i^x(s', s)$ 을 제시한다. 즉, 한국을 제외한 22개국이 한국에 중간재를 수출하는 상황에 초점을 두고 한국의 두 가지 산업부문이 자국을 포함한 23개국의 두 가지 산업부문이 생산한 중간재를 소비 또는 수입하는 상황을 살펴본다. 기준 시나리오에서는 WIOT 2014년 자료 그대로 반영하여 기준 점을 제시하며 재생에너지 2030정책 시나리오에서는 앞서 논의한 편익과 비용을 기준 시나리오에 반영하여 해당 값들을 계산하였다. 단, $\omega_i^x(s', s)$ 는 무역대상국 산업 s' 의 총 수출액 대비 우리나라로 수출액 비중을 의미하므로 우리나라 중간재 수입 비중으로 제시하였다.

<표 1>과 <표 2>는 기준 시나리오와 재생에너지 2030정책 시나리오의 우리나라 중간재 수입 비중을 제시한다.

<표 1> 기준 시나리오의 우리나라 중간재 수입 비중

국가명	제조업 → 제조업	제조업 → 에너지서비스	에너지서비스 → 제조업	에너지서비스 → 에너지서비스
호주	0.3%	0.2%	1.3%	0.0%
벨기에	0.1%	0.2%	0.0%	0.0%
캐나다	0.1%	0.1%	0.3%	0.0%
중국	7.0%	4.2%	0.2%	0.5%
체코	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
독일	0.9%	1.3%	0.0%	0.1%
덴마크	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
스페인	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%
핀란드	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%
프랑스	0.2%	0.3%	0.1%	0.1%
영국	0.2%	0.1%	0.2%	0.0%

국가명	제조업 → 제조업	제조업 → 에너지서비스	에너지서비스 → 제조업	에너지서비스 → 에너지서비스
그리스	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
인도	0.4%	0.4%	0.0%	0.0%
이탈리아	0.2%	0.2%	0.0%	0.0%
일본	4.9%	6.2%	0.3%	1.2%
한국	78.5%	77.9%	1.7%	3.8%
네덜란드	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%
폴란드	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
러시아	0.3%	0.2%	0.3%	0.0%
슬로바키아	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
슬로베니아	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
스웨덴	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
미국	1.7%	2.4%	0.2%	0.1%

〈표 2〉 2030 시나리오의 우리나라 중간재 수입 비중

국가명	제조업-제조업	제조업-에너지 서비스	에너지서비스-제조업	에너지서비스-에너지서비스
호주	0.3%	0.2%	1.2%	0.0%
벨기에	0.1%	0.2%	0.0%	0.0%
캐나다	0.1%	0.1%	0.3%	0.0%
중국	6.9%	4.2%	0.2%	0.5%
체코	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
독일	0.9%	1.3%	0.0%	0.1%
덴마크	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
스페인	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%
핀란드	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%
프랑스	0.2%	0.3%	0.1%	0.1%
영국	0.2%	0.1%	0.2%	0.0%
그리스	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
인도	0.4%	0.4%	0.0%	0.0%
이탈리아	0.2%	0.2%	0.0%	0.0%
일본	4.9%	6.2%	0.3%	1.2%

국가명	제조업-제조업	제조업-에너지 서비스	에너지서비스-제조업	에너지서비스-에너지서비스
한국	77.6%	77.6%	2.8%	4.2%
네덜란드	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%
폴란드	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
러시아	0.3%	0.2%	0.3%	0.0%
슬로바키아	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
슬로베니아	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
스웨덴	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
미국	1.7%	2.3%	0.1%	0.1%

호주 에너지서비스업부터 우리나라 제조업으로 중간재 거래 비중은 1.3%에서 1.2%로 감소하며 미국 에너지서비스업의 해당 비중도 0.2%에서 0.1%로 감소한다. 한편, 우리나라 에너지서비스업부터 자국 제조업으로 중간재 거래 비중은 1.7%에서 2.8%로 증가한다. 수입대체 효과에 따른 비중 변화는 크지 않으나 외부 충격에 따른 경제의 균형 이탈을 중심으로 살펴볼 필요가 있다. 확률적 동태일반균형 모형의 경기변동 시뮬레이션에서 도출된 모형 경제의 변화를 살펴본다. 정책변화에 의한 기업의 한계 편익이 한계 비용보다 크다면 수입대체효과에 따라 국가 간 경기변동 동조성이 약화될 수 있다. 반면, 한계 편익이 한계 비용보다 작다면 국가 간 경기변동 동조성은 오히려 강화될 수 있다.

3. 경기 · 무역 동조성 변화 분석

본 분석에서는 표본자료의 경기변동 상 무역집약도와 부가가치(또는 생산량)의 경기 동조성(comovement)을 확인한다. 재생에너지 2030 정책변화에 따른 편익, 수입대체효과에 따라 무역집약도와 부가가치의 경기 동조성은 약화될 것으로 예상되나 그 정책 비용이 크다면 오히려 경기 동조성은 강화될 수 있다. 여기서 경기 동조성이 강화된다는 의미는 무역대상국의 경제 충격이 우리나라 단기 경제에 미치는 영향이 커진다는 의미이다.

1) 세계 경기·무역 동조성 분석

재생에너지 2030 정책 분석에 앞서 모형의 적합성을 확인하기 위하여 23개 국가, 2개 산업부문의 표본자료에 나타난 경기·무역 동조성 분석을 통해 국제 실물경기변동이론의 정형화된 사실을 확인한다. 두 국가 i 와 j 의 양자 무역집약도(bilateral trade intensity)는 식 (17)과 같이 두 무역거래국·산업부문 쌍의 GDP 합계 대비 무역거래량 합계의 비중으로 정의한다.

$$\text{무역 집약도}_{i,j} = \frac{\text{수출}_i + \text{수출}_j}{\text{GDP}_i + \text{GDP}_j} \quad (17)$$

경제 변수와 무역집약도의 동조성 관계를 분석하기 위해 무역거래국·산업부문 쌍의 부가가치(또는 생산량) 성장 간 상관관계가 무역거래 변화에 대한 회귀분석을 시행한다.

$$\text{cor}(y_{i(\text{or } j)}) = \beta_0 + \beta_1(\text{무역 집약도}_{i,j}) + \epsilon \quad (18)$$

종속변수는 국가 내 산업의 실질 부가가치 또는 실질 총생산량의 연도별 성장의 상관관계수(pairwise correlation)을 의미하며, 1998년부터 2014년까지 기간의 EU-KLEMS와 World-KLEMS 자료를 활용하였다. 각 변수는 HP 필터에 의해 성장 추세가 제거된 경기변동 자료이며 ϵ 는 교란항이다.

표본자료에서 나타난 경기 동조성은 <표 3>의 첫 번째 결과에 제시하였다. $s=\{i$: 제조업, i' :에너지서비스업}라고 정의하면 전체 그룹 (모든 i, i') 경우는 23개 국가의 2개 산업부문의 쌍(pair) 253개에 관하여 분석한 결과이고 산업 i 그룹과 산업 i' 그룹의 경우는 각 그룹 간의 쌍에 관하여 분석한 결과이다. 산업 i 와 i' 사이의 경우는 서로 다른 산업 그룹 간 교차 분석을 시행한 결과이다. 전체 그룹의 $\hat{\beta}_1$ 과 제조업(i)그룹의 $\hat{\beta}_1$ 이 유의적으로 정(+) 값을 보이고 두 값은 근접한다. 기존 세계경기변동 문헌에서 제시한 정형화된 경기 동조성이 재확인되며, 세계 경기변동 상의 제조업 경

기 동조성이 세계 경제 경기 동조성의 상당 부분을 설명한다.

<표 3>의 두 번째와 세 번째 결과는 확률적 동태일반균형 모형의 경기변동 시물레이션에서 도출된 모형 경제의 결과에 해당한다. 모형 적합성을 확인하기 위하여 $cov(Z_{it}(s), Z_{jt}(s')) \neq 0$ (correlated shocks) 경우와 $cov(Z_{it}(s), Z_{jt}(s')) = 0$ (uncorrelated shocks) 경우를 함께 살펴본다. 합리적 기대 하에서 로그 선형화된 모형 경제의 해를 Uhlig (1999)의 Toolkit 방법론을 활용하여 구하였다. 국가·산업부문 별 생산성 충격에 따른 부가가치와 생산량 결과를 표본기간 당 500회 시물레이션을 시행하여 구하였다. 전반적으로 $cov(Z_{it}(s), Z_{jt}(s')) \neq 0$ 일 때의 $\hat{\beta}_1$ 값이 표본자료 $\hat{\beta}_1$ 값에 근접하므로 국가, 산업 간 생산성 충격이 독립적이지 않는 경우의 모형 경제가 더 현실 경제에 부합하는 것으로 도출되었으며, Johnson (2014)의 무역 동조성 퍼즐¹⁴⁾ 분석과 일관된 결과이다.

2) 재생에너지 2030 정책에 따른 경기 동조성 변화

우리나라 재생에너지 2030 정책에 따른 경기변동 동조성 변화를 분석하기 위하여 전체 253개의 양자거래 쌍 표본 중 우리나라 대상 거래와 관련된 쌍 표본에 국한하여 기본 시나리오와 정책시나리오의 시물레이션 비교분석을 한다.

<표 4>에서 2030 계획 시나리오에서 광업을 포함한 에너지서비스업과 제조업 상의 동조성을 나타내는 $\hat{\beta}_1$ 값은 기본 시나리오 대비 유의적으로 증가하며 연료수입 대체효과로 경기·무역 동조성은 약화될 것으로 예상되나 산업의 정책 비용 부담으로 오히려 증가하는 것으로 나타났다.¹⁵⁾ 특히, $cov(Z_{it}(s), Z_{jt}(s')) \neq 0$ 경우의 부가가치 기준 동조성은 1% 증가하며, 생산량 기준 동조성은 1.6%가 증가한다. 재생에너지 2030 정책의 예상 편익과 비용을 양자무역거래에 반영한 모형 경제에서 기업의

14) Kose and Yi(2006)가 세계실물경기변동 모형이 현실 자료에서 나타난 경기무역 동조성을 충분히 설명하지 못하는 것을 무역동조성 퍼즐이라고 정의하였다. Johnson(2014)을 포함한 다수의 문헌에서 중간재 거래를 통해 설명을 시도하였다.

15) 로버스트 검증을 위해 정책 비용이 없이 편익만을 반영한 경우의 분석 결과, 경기변동 동조성의 변화가 기본 시나리오 대비 매우 작게 나타났다. 본 연구 분석에서 재생에너지 확대에 따른 수입대체효과를 고려하므로 그 경제 파급효과가 작게 나타나는 것으로 해석된다.

한계 비용이 한계 편익보다 클 때 경기변동 동조성은 오히려 강화된다는 점을 시사한다.

<표 5>에서는 식 (18)의 종속변수 $cor(y_{i(or j)})$ 를 중간재 성장의 연도별 상관계수로 변경하여 동조성을 검증하였다. 로버스트 검증 결과, 제조업과 에너지서비스업, 에너지서비스업과 에너지서비스업 사이 그룹에서 2030 계획 이후 경기변동 동조성은 강화된다는 사실이 확인된다. 재생에너지 확대 정책 시나리오에서 기본 시나리오보다 경기변동과 무역 거래 동조성은 오히려 강화되며, 이러한 동조성은 광업을 포함한 에너지서비스업과 제조업 그룹 사이에서 중간재 거래 변화에 의하여 유의적으로 설명된다.

〈표 3〉 세계경기변동의 동조성 분석: 제조업(i), 에너지서비스업(i')

	부가가치				총생산량			
	전체 그룹	산업 i 그룹	산업 i' 그룹	산업 i 와 i' 사이	전체 그룹	산업 i 그룹	산업 i' 그룹	산업 i 와 i' 사이
자료								
무역집약도	3.746*** (0.677)	3.748*** (0.637)	-0.080 (0.573)	-0.266 (0.428)	3.875*** (0.624)	3.638*** (0.655)	0.159 (0.572)	0.059 (0.500)
표본 수	253	253	253	506	253	171	171	342
R^2	0.10	0.09	0.00	0.00	0.11	0.10	0.00	0.00
모형 $cov(Z_{it}(s), Z_{jt}(s')) \neq 0$								
무역집약도	4.278*** (0.777)	3.593*** (0.774)	2.666*** (0.503)	3.271*** (0.469)	5.644*** (0.819)	5.637*** (0.836)	4.717*** (0.710)	5.285*** (0.557)
표본 수	253	253	253	506	253	253	253	506
R^2	0.11	0.09	0.06	0.08	0.16	0.17	0.13	0.15
모형 $cov(Z_{it}(s), Z_{jt}(s')) = 0$								
무역집약도	0.464*** (0.108)	0.323*** (0.118)	0.323*** (0.072)	0.565*** (0.099)	3.156*** (0.274)	3.407*** (0.274)	1.442*** (0.206)	2.407*** (0.189)
표본 수	253	253	253	506	253	253	253	506
R^2	0.33	0.11	0.15	0.21	0.54	0.53	0.38	0.46

*, **, ***는 10%, 5%, 1% 유의수준이다.

재생에너지 확대가 국가 간 경기변동과 무역집약도의 동조성에 미치는 영향

〈표 4〉 정책시나리오 비교분석: 제조업(i), 에너지서비스업(i')

무역집약도	부가가치				생산량			
	전체 그룹 (모든 i, i')	산업 i 그룹	산업 i' 그룹	산업 i 와 i' 사이	전체 그룹 (모든 i, i')	산업 i 그룹	산업 i' 그룹	산업 i 와 i' 사이
모형 $cov(Z_{it}(s), Z_{jt}(s')) \neq 0$								
기본	1.859	1.351	4.860	3.776**	4.102	4.060	4.780***	4.545***
2030	1.889	1.338	4.811	3.814**	4.199	4.137	4.840***	4.622***
모형 $cov(Z_{it}(s), Z_{jt}(s')) = 0$								
기본	0.379***	0.502**	0.654**	0.554**	1.486***	1.538***	1.124***	1.366***
2030	0.373***	0.474**	0.675**	0.557**	1.528***	1.571***	1.175***	1.408***
표본 수	22	22	22	44	22	22	22	44

*, **, ***는 10%, 5%, 1% 유의수준이다.

〈표 5〉 정책시나리오가 중간재 거래에 미치는 영향

무역집약도	제조업(i)–에너지서비스업(i')				제조업(i)–에너지서비스업(i')			
	전체 그룹	산업 i 그룹	산업 i' 그룹	산업 i 와 i' 사이	전체 그룹	산업 i 그룹	산업 i' 그룹	산업 i 와 i' 사이
$cov(Z_{it}(s), Z_{jt}(s')) \neq 0$					$cov(Z_{it}(s), Z_{jt}(s')) = 0$			
기본	5.165*	5.166*	5.061**	5.101***	1.960***	1.998***	1.260***	1.656***
2030	5.284*	5.274*	5.229**	5.234***	2.031***	2.065***	1.359**	1.738***
표본 수	22	22	22	44	22	22	22	44

*, **, ***는 10%, 5%, 1% 유의수준이다.

IV. 결 론

본 연구는 국제실물경기변동이론에 기반한 DSGE 모형을 이용하여 우리나라의 재생에너지 2030 계획 추진이 국가 간 경기변동과 무역집약도의 동조성에 미치는 영향을 분석하였다. 다국가·다산업 거시경제 모형 경제에서 세계 경기변동 상의 제

조업 경기 동조성이 세계 경제 경기 동조성의 상당 부분을 설명하는 것으로 도출되었다. 전체 양자거래 쌍 표본 중 우리나라 대상 거래와 관련된 쌍 표본에 국한하여 재생에너지 2030 정책 시나리오를 적용한 결과, 재생에너지 확대에 따른 연료수입대체 편익이 산업의 정책 비용 부담에 상쇄되어 경기·무역 동조성이 오히려 강화되었다. 이 결과는 우리나라 제조업의 생산공정이나 비즈니스 여건이 에너지 정책변화에 충분히 적응하고 개선될 때 비로소 순편익이 늘어나며 무역집약도 동조성이 약화된다는 점을 시사한다.

최근 코로나 위기와 환경규제 강화로 천연가스 설비에 대한 신규 투자가 감소하고 러시아-우크라이나 전쟁으로 천연가스와 유가 폭등 등 공급망 위기가 발생하며 주요 선진국에서는 에너지 전환 정책을 이행하는 중에 발생하는 리스크 및 공급망 관리에 주력을 다하고 있다. 이러한 상황에서 본 연구 결과는 폐쇄경제의 에너지환경·거시 모형 분석 틀을 벗어나서 국가 간 무역거래 구조가 반영된 개방거시경제 모형 틀에서 에너지 및 환경 정책 평가가 이루어질 필요가 있다는 점을 시사한다.

본 연구의 한계점으로는 자료의 한계상 최근 무역거래구조를 반영하지 못한 점과 함께 모형 구조 상의 화석에너지와 친환경에너지 대체관계를 내생적으로 반영하지 못하였다. 향후 연구로 세계실물경기변동 모형에 환경규제 정책과 중간재 중 탄소재화 거래 부문을 추가하는 방식으로 확장해볼 수 있다.

접수일(2022년 7월 21일), 수정일(2022년 8월 24일), 게재확정일(2022년 8월 25일)

◎ 참 고 문 헌 ◎

<국내 문헌>

- 관계부처 합동 기준. (2020). 한국판 뉴딜 종합계획 2020. 한국판 뉴딜 국민보고대회 (제7차 비상경제회의)
- 관계부처 합동 기준. (2021). 2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안
- 관계부처 합동 기준. (2021). 2050 탄소중립 시나리오안
- 김기환(2020). 재생에너지 확대의 국민경제 파급효과 분석(2/4), 기본연구보고서 20-22.
- 산업통상자원부. (2019). 제3차 에너지기본계획
- 산업통상자원부. (2020). 제9차 전력수급기본계획(2020~2034)
- 지정구·배병호(2016). 유가DSGE 모형 구축 및 유가 변동의 경제적 영향 분석, 한국은행 조사통계월보. 11월호.
- 정재용·조홍중(2018). “에너지 전환 정책 및 고령화가 국민경제에 미치는 영향: 확률적 중첩세대 일반균형모형 (Stochastic Overlapping General Equilibrium Model)을 이용한 분석.” 에너지경제연구 18(1) : 1~31.
- 최봉석·김기환(2022). “전력시장의 경직성에 따른 국가 재생에너지 정책이 거시경제에 미치는 영향 분석: 베이지언 DSGE 모형 접근.” 자원·환경경제연구 게재 예정.
- 한국무역협회 무역통계. (<https://stat.kita.net/>)

<국외 문헌>

- Acemoglu, D., Aghion, P., Bursztyn, L. and Hemous, D. 2012. “The environment and directed technical change.” American Economic Review 102(1) : 7131-166.
- Argentiero, A., Atalla, T., Bigerna, S., Micheli, S. and Polinori, P. 2017. “Comparing renewable energy policies in E.U.15, U.S. and China: A Bayesian DSGE model.” Energy Journal 38 : 77-94.
- Backus, D. K., Kehoe, P. J. and Kydland, F. E. 1994. “Dynamics of the trade balance

- and the terms of trade: The J-Curve?” *American Economic Review* 84(1) : 84-103.
- Burstein, A., Kurz, C. and Tesar, L. 2008. “Trade, production sharing, and the international transmission of business cycles.” *Journal of Monetary Economics* 55(4) : 775-95.
- Chetty, R, Guren, A. Manoli, D. and Weber, A. 2011. “Are micro and macro labor supply elasticities consistent? A review of evidence on the intensive and extensive margins.” *American Economic Review* 101(3) : 471-75.
- di Giovanni, J. and Levchenko, A. A. 2010. “Putting the parts together: Trade, vertical linkages and business cycle comovement.” *American Economic Journal: Macroeconomics* 2(2) : 95-124.
- Golosov, M., Hassler, J., Krusell, P. and Tsyvinski, A. 2014. “Optimal Taxes on Fossil Fuel in general equilibrium.” *Econometrica* 82(1) : 41-88.
- Heathcote, J. and Fabrizio, P. 2002. “Financial autarky and international business cycles.” *Journal of Monetary Economics* 49(3) : 601-27.
- Johnson, R. C. 2014. “Trade in intermediate inputs and business cycle comovement.” *AEJ Macroeconomics* 6(4) : 39-83.
- King, R. G. and Rebelo. S. 1999. “Resuscitating real business cycles.” In *Handbook of Macroeconomics*, Vol. 1B, edited by J. B. Taylor and M. Woodford, 927-1007. Amsterdam: North Holland.
- Kose, M. A., and Yi, K. M. 2006. “Can the standard international business cycle model explain the relation between trade and comovement?” *Journal of International Economics* 68(2) : 267-95.
- Tumen, S., Unalmis, D., Unalmis, I. and Unsal, D. F. 2016. “Taxing Fossil Fuels under speculative storage.” *Energy Economics* 53 : 64-75.
- Uhlig, H. 1999. “A toolkit for analyzing nonlinear dynamic stochastic models easily.” In *Computational Methods for the Study of Dynamics Economies*, edited by Marimon, R. and Scott, A, 30-61. Oxford: Oxford University Press.
- EU-KLEMS. (<http://www.euklems.net/>)

재생에너지 확대가 국가 간 경기변동과 무역집약도의 동조성에 미치는 영향

World-KLEMS. (<https://www.worldklems.net/wkhome>)

WIOD. World Input-Output Tables. release 2016. (<http://www.wiod.org/database/wiots16>)

◎ 부 록 ◎

본 모형의 대표 가계 효용 극대화 조건과 기업 이윤 극대화 조건들은 다음과 같다.

$$1 = \beta E_t \left[\left(\frac{C_{it}}{C_{it+1}} \right) \left(\frac{r_{it+1}}{p_{it+1}^F} + (1 - \delta) \right) \right] \quad (\text{A1})$$

$$\chi L_{it}^{1/\epsilon} = \left(\frac{1}{C_{it}} \right) \frac{w_{it}}{p_{it}^F} \quad (\text{A2})$$

$$\frac{p_{it}^f C_{it}}{p_{it+1}^f C_{it+1}} = \frac{p_{1t}^f C_{1t}}{p_{1t+1}^f C_{1t+1}} \quad (\text{A3})$$

$$p_{it}^f(s) F_{it}(s) = \gamma_i(s) p_{it}^f F_{it} \quad (\text{A4})$$

$$F_{jit}(s) = \omega_{ji}^f(s) \left(\frac{p_{jt}(s)}{p_{it}^f(s)} \right)^{1/(\rho-1)} F_{it}(s) \quad (\text{A5})$$

$$V_{it}(s) = Z_{it}(s)^{\sigma/(1-\sigma)} \theta_i(s) \left(\frac{p_{it}^\nu(s)}{p_{it}(s)} \right)^{1/(\sigma-1)} Q_{it}(s) \quad (\text{A6})$$

재생에너지 확대가 국가 간 경기변동과 무역집약도의 동조성에 미치는 영향

$$X_{it}(s) = Z_{it}(s)^{\sigma/(1-\sigma)} (1 - \theta_i(s)) \left(\frac{p_{it}^X(s)}{p_{it}(s)} \right)^{1/(\sigma-1)} Q_{it}(s) \quad (\text{A7})$$

$$r_{it} K_{it}(s) = \alpha p_{it}^\nu(s) V_{it}(s) \quad (\text{A8})$$

$$w_{it} L_{it}(s) = (1 - \alpha) p_{it}^\nu(s) V_{it}(s) \quad (\text{A9})$$

$$X_{jit}(s', s) = \omega_{ji}^\chi(s', s) \left(\frac{p_{jt}(s')}{p_{it}^\chi(s)} \right)^{1/(\eta-1)} X_{it}(s) \quad (\text{A10})$$

시장 청산조건은 다음과 같다.

$$Q_{it}(s) = \sum_{j=1}^N \sum_{s'=1}^S F_{ijt}(s) + X_{ijt}(s, s') \quad (\text{A11})$$

$$F_{it} = C_{it} + K_{it+1} - (1 - \delta) K_{it} \quad (\text{A12})$$

$$K_{it} = \sum_{s=1}^S K_{it}(s) \quad (\text{A13})$$

$$L_{it} = \sum_{s=1}^S L_{it}(s) \quad (\text{A14})$$

위의 식들은 식 (1), (2), (3), (8), (9)와 함께 식의 수 $7N + 10(S \times N) + 6N^2$ 은 균형 조건에서 자산 수요·공급을 제외한 미지수 수와 같다. 이제 위의 식들을 균형 성장경로의 근방에서 로그 선형화하면 아래와 같은 식들을 도출할 수 있다. 선형화 대상 변수 집합은 가격요소 벡터집합 $\{r_t, w_t, p_t^f, p_t^f(s), p_t^x(s), p_t(s)\}$ 과 수량요소 벡터집합 $\{C_t, L_t, F_t, Q_t(s), X_t(s), K_t(s), L_t(s), F_t(s)\}$ 이며 각 행렬 성분 i 는 국가 i 를 지칭한다.

ABSTRACT

The Impacts of Renewable Energy Policies on the
Business Cycle-Trade Synchronization^{*}

Bongseok Choi^{**} and Kihwan Kim^{***}

We incorporate the changes in input trade by renewable energy expansion into a dynamic multi-country, multi-sector real business cycle model. The promotion of renewable energy sources increases the aggregate business cycle-trade synchronization. For real value added and gross output, it increases by 1% and 1.6%, respectively. Under current manufacturing process and energy market conditions, the finding implicates that industries more pay environmental expenses than benefits.

Key Words : International Real Business Cycles, World Input Output Table, Renewable Energy Policy, Business Cycle-Trade Synchronization

^{*} This study is a revised and supplemented paper from Kim (2021), the Basic Research Report 21-28 of the Korea Energy Economics Institute.

^{**} Associate Professor, Department of Commerce and Finance, Kookmin University (corresponding author), bchoi4@kookmin.ac.kr

^{***} Research Fellow, Korea Energy Economics Institute (first author), kkihwan@keei.re.kr