

구조모형을 활용한 한국 자연금리 분석*

박용용[†], 이재원[‡]

June 3, 2021

Abstract

본 연구는 거시경제 구조모형을 활용하여 한국 경제의 자연금리를 추정하고 그 변동요인을 분석한다. 자연금리는 일반적으로 경제의 생산이 잠재적 수준에서 이루어지고 동시에 물가가 안정될 때의 실질금리로 정의된다. 본 연구가 사용하는 구조모형은 소규모 개방경제 뉴케인지언 DSGE 모형으로, 모형에서 자연금리는 가격과 임금이 신축적으로 결정되고 비용충격과 같은 비효율적 충격이 없는 상태의 균형 실질금리로 정의된다. 분석 결과 한국 자연금리의 변동에 해외 요인이 미치는 비중이 큰 것으로 나타났다. 이는 대외 개방성이 높은 한국 경제의 특성에 따른 것으로, 그 결과 폐쇄경제에서와는 달리 중앙은행이 자연금리를 추적하여 기준금리를 결정하더라도 생산량 갭 및 인플레이션 안정을 달성하기 어렵다.

1 서론

지난 2008년 글로벌 금융위기의 전개와 극복과정에서 세계 주요국의 통화정책은 심대한 변화를 겪었다. 당시 주요 선진국을 중심으로 기준금리가 크게 하향조정되어 명목이자율 하한(zero lower bound)에 도달함에 따라 기준금리 조정을 통한 전통적 통화정책은 한계에 부딪혔다. 이에 각국의 통화정책 당국은 추가적인 경기부양을 위해 양적완화(quantitative easing), 선제적안내(forward guidance) 등 전례없는 비전통적 통화정책을 시도하였다. 금융위기 이후 이들 국가에서는 전통적 통화정책으로의 복귀 혹은 통화정책의 정상화(normalization) 방안이 모색되었는데, 그 논의과정에서 자연금리 혹은 중립금리가 기준금리 수준을 결정하는데 중요한 참고지표로서 많은 관심을 받았다. 통화정책 정상화 이후에도 계속해서 자연금리 개념은 중요하게 다루어졌다. 예를 들어 미국 연방준비제도 이사회 의장이었던 Janet Yellen은 2017년 한 연설에서 미국 통화정책 목표인 물가안정과 고용안정을 달성하기 위해 통화정책이 기준금리를 “중립적”인 수준이 되도록 점진적으로 조정해야 한다고 설명하였다:

*미완성 초고입니다.

[†]서울대학교 경제학부

[‡]Department of Economics, University of Virginia.

To sustain a strong job market with inflation at our 2 percent objective, policy must gradually shift toward a neutral stance, where “neutral” is defined as a level of the federal funds rate that is neither expansionary nor contractionary when the economy is operating near its potential.

자연금리는 개념적으로 경제의 생산활동이 잠재적 수준에서 이루어지면서 가격이 안정될 때의 단기 실질금리 수준으로 정의된다. 다만, Yellen (2017)의 예에서 볼 수 있듯이, 논의가 이루어지는 배경에 보다 부합하는 중립금리(neutral interest rate), 균형금리(equilibrium interest rate) 등 다른 명칭이 사용되고 있기도 하다.¹ 자연금리의 이론적 개념은 Wicksell (1989)까지 거슬러 올라가며, Woodford (2003)가 현대적인 거시경제 구조모형에서 그 개념을 다시 정립하였다. 한편 Laubach and Williams (2003)은 비슷한 시기에 준구조모형을 사용해 자연금리를 추정하여 경제학계 및 정책당국에 널리 활용되는 계기를 제공하였다.

자연금리의 유용성은 기본적인 뉴케인지안 모형을 이용하여 쉽게 설명할 수 있다. 중앙은행이 자연금리를 목표로 하여 기준금리를 설정하면, 총수요에 대한 영향을 통해 실제 생산량과 잠재 생산량간의 괴리 혹은 생산량 갭(output gap)을 없앨 수 있다. 생산비용 충격과 같이 비효율적 충격이 없는 경제에서, 이는 기업의 생산비용 안정을 통해 물가의 안정으로 이어진다. 결국 통화정책이 자연금리를 목표로 기준금리를 조정해 감으로써 사회후생을 극대화할 수 있다는 것이다.

경제학 이론에 따르면 자연금리는 장단기적으로 잠재 생산량 수준 및 성장률에 영향을 줄 수 있는 요인에 의해 변동하며, 그에 더해 저축 수요에 영향을 줄 수 있는 수요측 요인(예를 들어, 인구구성이나 소비자의 선호 변화에 따른 소비 및 저축 변화)에 의해서도 움직일 수 있다. 자연금리는 단기적으로는 구체적으로 기술 충격과 수요 충격 등에 따라 변동할 수 있으며, 장기적으로는 기술 발달 혹은 생산성 향상, 인구구조의 변화 등에 결정된다. 소득세율 및 자본세율 등 재정정책도 장기적 자본축적에 대한 영향을 통해 자연금리에 영향을 미칠 수 있다.

한편 개방경제에서는 해외요인들이 국내 자연금리에 영향을 미칠 수도 있다. Laubach and Williams (2003)의 전통을 따라 비구조 혹은 준구조모형을 활용하여 자연금리를 추정하며 개방경제적 요소를 고려한 선행연구도 일부 있으나, 대부분의 기존 연구는 폐쇄경제를 상정하고 이루어졌기 때문에 개방경제 하 해외 요인의 영향에 대한 연구가 부족한 실정이다. 본 연구는 구조모형의 일종인 뉴케인지안 DSGE 모형(New Keynesian dynamic stochastic general equilibrium model)을 이용하여 한국 경제의 자연금리를 추정하고, 그 변동요인을 분석하며, 자연금리가 통화정책에 시사하는 바를 분석하여 관련 문헌의 발전에 기여하고자 한다.

본 연구는 2000년부터 2019년까지의 분기별 자료를 이용하여 베이지안 추정 방법을 이용하여 모형을 추정하고 자연금리 추정치를 추출하였다. 분석 결과 초단기를 제외하고 중장기에서 해외 충격이 자연금리의

¹본 연구 보고서에서는 자연금리 라는 명칭을 사용하되, 관련 문헌에 대해 논의할 때는 해당 문헌에서 사용하는 명칭을 사용한다.

변동을 25% 내외로 설명하여 예상대로 해외 요인의 비중이 큰 것으로 나타났다. 실제 추정된 기준금리 준칙을 자연금리를 추적하도록 하여 역사실적 실험 (counterfactual experiment)을 수행한 결과 폐쇄경제와 달리 개방경제에서는 자연금리를 그대로 추적하면 해외에서 도래하는 충격에 제대로 대응하지 못하기 때문에 오히려 생산량 갭과 인플레이션 갭 안정을 달성하기 어려웠다. 그러나 기존의 금리 준칙에서 와 같이 생산량 갭과 인플레이션 갭에 대응하면서 동시에 자연금리도 추적하는 경우 해외에서 도래하는 충격에도 동시에 대응할 수 있기 때문에 경제를 보다 안정화시킬 수 있었다.

2 관련 문헌 검토

자연금리는 이론적 개념이어서 관측 불가능하기 때문에 경제학 모형을 이용해 추정해야 한다. 자연금리를 추정하는 방법은 사용하는 모형에 따라, 1) 통계 모형인 시계열모형을 이용한 추정방법, 2) 준구조모형을 이용한 추정방법, 3) 구조모형을 이용한 추정방법으로 구분할 수 있다.

먼저 시계열모형을 이용한 추정방법은 가변모수 벡터자기회귀모형 (time-varying vector autoregression model, TVP-VAR 모형)이나 상태공간모형 (state space model)을 이용하여 자연금리를 추정하는 방법이다. 준구조모형이나 구조모형을 이용한 추정방법과 달리 이 방법은 경제학 이론에 기반한 제약조건을 전혀 혹은 거의 사용하지 않는다. 대표적인 예로 Lubik and Matthes (2015)를 들 수 있다. 이들은 실질 GDP 성장률, PCE 물가상승률, 그리고 실질금리로 구성되는 TVP-VAR 모형을 추정한 후, 매 시점마다 실질금리의 5년 후 전망치로 자연금리를 추출한다. 따라서 이들은 자연금리를 움직일 수 있는 단기적이고 일시적인 충격 (transitory shocks)은 제외하고 중기적 시계에서 자연금리를 정의하고 추정한다. TVP-VAR 모형의 모수가 고정되고, 즉 경제에 더 이상의 변화가 없고, 새로운 충격이 발생하지 않는다면 모형에 포함된 3개의 변수는 균형 수준으로 수렴한다. 특히 실질금리는 중장기적 시계에서 자연금리 수준으로 수렴하게 된다. 따라서 Lubik and Matthes (2015) 에서 자연금리는 중장기적 시계에서 경제성장률과 물가상승률이 각각 균형수준으로 수렴할 때 달성되는 실질금리의 수준으로 해석할 수 있다.

준구조모형을 이용한 추정방법은 상태공간모형에 주요 거시경제변수 간의 이론적 관계에서 얻어지는 제약조건을 부과하여 자연금리를 추정한다. 다만 이러한 이론적 제약조건은 경험적, 직관적으로 도출되며, 구조모형에서 경제주체의 엄밀한 최적화와 시장청산의 결과로 얻어지는 제약조건보다 훨씬 약한 편이다. 준구조모형을 이용한 추정방법의 대표적인 예로 Laubach and Williams (2003)과 이들의 후속연구 Holston, Laubach, and Williams (2017)을 들 수 있다. 한국의 자연금리를 추정한 김민수박양수 (2013), 오형석 (2014), 조성훈 (2020)도 Laubach and Williams (2003)의 방법을 변용하여 분석하고 있다. 여기서는 대표적 연구인 Laubach and Williams (2003)의 방법을 설명한다.

Laubach and Williams (2003)는 우선 자연금리와 잠재 경제성장률 간에 다음과 같은 관계를 상정한다:

$$r_t^* = c \cdot g_t + z_t,$$

여기서 g_t 와 r_t^* 는 각각 잠재 GDP의 추세적 성장률과 자연금리이며 z_t 는 자연금리에 영향을 줄 수 있는 가계의 선호 변화와 같은 다른 요인들을 포함한다. 이제 생산량갭(output gap)과 자연금리갭(natural rate of interest rate gap)의 동적 관계는 다음과 같은 IS 방정식으로 설명된다:

$$\tilde{y}_t = a_{y,1}\tilde{y}_{t-1} + a_{y,2}\tilde{y}_{t-2} + \frac{a_r}{2} \sum_{j=1}^2 (r_{t-j} - r_{t-j}^*) + \epsilon_{1,t},$$

여기서 $\tilde{y}_t = 100 \times (y_t - y_t^*)$ 는 생산량갭이며, y_t 와 y_t^* 는 각각 실질 GDP와 잠재 GDP의 로그값이고, r_t 는 실질금리이다. 한편, 생산량갭과 물가상승률의 관계는 다음과 같은 축약형(reduced-form) 필립스곡선에 의해 설명된다:

$$\pi_t = B_\pi(L) \pi_{t-1} + b_y \tilde{y}_{t-1} + b_i (\pi_t^I - \pi_t) + b_0 (\pi_{t-1}^O - \pi_{t-1}) + \epsilon_{2,t},$$

여기서 π_t , π_t^I , π_t^O 는 각각 (core) PCE 물가상승률, 수입물가상승률, 수입유가상승률이다. 마지막으로, 잠재 GDP와 그 성장률은 다음과 같은 외생적 확률과정을 따르는 것으로 정의된다:

$$y_t^* = y_{t-1}^* + g_{t-1} + \epsilon_{4,t},$$

$$g_t = g_{t-1} + \epsilon_{5,t},$$

즉, 잠재 GDP 성장률 $y_t^* - y_{t-1}^*$ 은 추세적 영향을 주는 충격과 일시적 충격에 의해 변동한다.

Laubach and Williams (2003)가 추정하는 자연금리의 구체적인 의미는 위 식에서 실질금리가 자연금리와 같다고 둠으로써 구할 수 있다. 즉, 모든 기에 대해 $r_t = r_t^*$ 가 성립한다면, 생산량갭은 없어지고 ($\tilde{y}_t = 0$), 수입물가 및 수입유가 변동이 없다는 가정하에서 물가상승률도 안정($\pi_t = 0$)된다. 다만, 자연금리가 잠재 GDP의 추세적 성장률에 의해 결정된다고 가정하기 때문에, 자연스럽게 일시적 요인에 의한 변동 보다 중장기적 시계열에서 영향을 주는 요인에 의해 주로 변동하게 된다.

마지막으로 구조모형을 이용한 추정방법은 뉴케인지안 모형이나 중첩세대모형(overlapping generations model)과 같은 거시경제 구조모형을 이용하여 자연금리를 추정하는 방법이다. 뉴케인지안 모형을 이용하여 자연금리를 추정하고 분석하는 연구의 예로는 Del Negro et al. (2013), Barsky, Justiniano and Melosi (2014), Zhang et al. (2021) 등을 들 수 있다. 시계열 모형을 이용한 추정방법이나 준구조모형을 이용한 추정방법과 비교해 뉴케인지안 모형을 이용한 추정방법은 자연금리의 단기적 변동을 주로 포착한다. 이는 뉴케인지안

모형 자체가 경제의 장기적 성장 및 변동 보다 단기 및 중기의 경기변동(business cycles)을 설명하는 모형이기 때문이다. 가장 간단한 뉴케인지안 모형의 동적 IS 방정식과 필립스곡선은 다음과 같이 도출된다:

$$\tilde{y}_t = \mathbb{E}_t \tilde{y}_{t+1} - \frac{1}{\sigma} (r_t - r_t^*),$$

$$\pi_t = \beta \mathbb{E}_t \pi_{t+1} + \kappa \tilde{y}_t,$$

여기서 \tilde{y}_t , r_t , π_t 는 각각 생산량갭, 실질금리, 물가상승률이다. 따라서 실질금리가 자연금리 r_t^* 와 같다면, 생산량갭은 없어지고 ($\tilde{y}_t = 0$) 물가상승률도 안정 ($\pi_t = 0$) 된다. 뉴케인지안 모형에서 자연금리는 기술 충격과 수요 충격에 의해 단기적으로 변동할 수 있다. 앞서 시계열모형이나 준구조모형은 통화정책 당국이 어떤 식으로 자연금리를 추적해야할 지에 대해 직접 시사하는 바가 없으나, 뉴케인지안 모형에서는 테일러 준칙과 유사한 준칙을 이용하여 기준금리를 자연금리를 추적하도록 설정할 수 있다. 이때 균형결정성(equilibrium determinacy) 담보를 위해 테일러원칙을 만족하는 것이 필요하다. 물론, 비용 충격을 포함한 좀 더 복잡한 모형에서는 통화당국이 자연금리를 추적하여도 잠재생산량을 달성하면서 동시에 물가를 완벽히 안정시킬 수는 없다. 그러나 자연금리를 추적함으로써 그에 근접할 수 있다고 Barsky, Justiniano and Melosi (2014)가 폐쇄경제를 대상으로 한 연구에서 밝히고 있다.

3 뉴케인지안 DSGE 모형

이번 장에서는 본 연구에서 한국 경제의 자연금리를 추정하기 위해 사용한 뉴케인지안 DSGE 모형을 설명한다. 해당 모형은 Christiano, Eichenbaum and Evans (2005)가 개발한 폐쇄경제 중규모 (medium-scale) 뉴케인지안 DSGE 모형을 기반으로 한다. 소규모 뉴케인지안 DSGE 모형과 비교하여 중규모 뉴케인지안 DSGE 모형은 투자 및 자본축적이 내생적으로 이루어지며 가격 뿐만 아니라 임금의 경직성도 고려한다. 이러한 중규모 뉴케인지안 DSGE 모형은 Smets and Wouters (2007)가 미국 경제의 경기변동 및 통화정책 파급경로를 분석하기 위해 성공적으로 활용한 이후 다양한 거시경제 관련 연구 및 정책 연구에서 사용되어 왔다. 본 연구는 이러한 중규모 뉴케인지안 DSGE 모형을 소규모 개방경제 (small open economy)의 경기변동과 통화정책 파급경로를 설명하기 위해 확장한다. 특히 개방경제 요소를 도입하기 위해 본 연구과제는 Lubik and Schorfheide (2007)와 Justiniano and Preston (2010), 그리고 Adolfson, Laseen, Linde, and Villani (2007) 등을 참고하였다.

3.1 모형의 구조

이 모형은 한국과 해외 경제로 이루어져 있다. 관련 문헌을 따라서 한국은 소규모 개방경제로서 해외 경제에 비해 그 규모가 미미하기 때문에 해외 경제의 영향은 받되 해외 경제에 영향을 미치지는 못한다고 가정한다. 해외 경제는 하나의 국가로 간주하며 따라서 이 모형은 소규모-대규모 개방경제로 이루어진 2국 모형이라고 볼 수 있다. 아래에서는 한국의 관점에서 모형의 구성을 설명한다. 즉, “국내”는 한국을 의미하며, “외국” 혹은 “해외”는 한국을 제외한 해외 경제를 의미한다.

한국 경제는 가계, 기업, 정부로 구성된다. 한국 경제 내에는 몇가지 다른 종류의 기업이 활동하는데, 중간재를 생산하여 국내에 판매하는 기업과 해외에서 중간재를 수입하는 기업이 존재한다. 또한 이들로부터 중간재를 매입하여 최종재를 만드는 기업이 활동한다. 이들에 더해 국내에서 중간재를 생산하여 해외에 수출하는 기업들도 존재한다.²

몇가지 예외를 제외하고, $i, j = H, F$ 에 대해 변수에 붙은 아래첨자 ij 는 해당 변수가 국가 i 에서 생산되어 국가 j 에서 소비되는 재화임을 의미한다. 해당 재화의 가격도 같은 방식으로 표시한다.³ 만약 i 나 j 가 W 일 때는 해당 변수가 두 국가 즉 전세계 경제를 모두 포괄함을 의미한다. 예를 들어, $Y_{HH,t}$ 는 한국에서 생산된 중간재를 결합하여 한국에서 생산되고 소비되는 최종재를 의미하며 $P_{HH,t}$ 는 그 가격을 나타낸다. 그리고 $Y_{HW,t}$ 는 한국에서 생산되어 한국과 해외에 판매되는 재화로서 한국의 GDP를 나타내며 $P_{HW,t}$ 는 GDP 디플레이터이다.

3.1.1 한국 기업

HH-최종재 생산기업 한국 경제에서 중간재 생산 기업들은 각각 다양한 중간재를 생산하며, 중간재 집합은 크기가 1이며 각 중간재는 $i \in [0, 1]$ 로 표시된다고 두자. 국내에 판매된 중간재는 HH-최종재로 결합되어 소비된다.

HH-최종재를 생산하는 기업은 경제 내 다수 존재하며 완전경쟁 하에서 활동한다. 그러나 이들은 모두 동질적이기 때문에 본 연구과제에서는 대표 HH-최종재 생산기업 (representative HH-final good firm)의 문제만을 고려한다. 대표 HH-최종재 생산기업은 중간재 생산자로부터 중간재를 매입하여 다음과 같은 함수로 표시되는 생산기술을 이용하여 HH-최종재를 생산한다:

$$Y_{HH,t} = \left[\int_0^1 Y_{HH,t}(i)^{1 - \frac{1}{\epsilon_{HH,t}^p}} di \right]^{\frac{\epsilon_{HH,t}^p}{\epsilon_{HH,t}^p - 1}}.$$

²이러한 기업의 구분은 모형을 이해하기 쉽게 구성하고 설명하고자 편의상 이루어지며 현실 경제에서 볼 수 있는 기업의 특성을 정확히 반영하지 않는다. 중간재 및 최종재의 구분 없이 모든 재화가 바로 소비될 수 있다고 가정하되 가계가 국내에서 생산된 재화와 수입된 재화를 각각 집계하여 소비한다고 가정해도 본 연구에서 도출한 것과 동일한 균형식을 도출할 수 있다.

³예외적인 경우가 등장할 때마다 아래에서 따로 설명한다.

여기서 중간재 i 의 가격은 $P_{HH,t}(i)$ 로 주어져 있다. 그리고 $\epsilon_{HH,t}^p > 1$ 는 다양한 중간재 간 대체탄력성 (elasticity of substitution)을 의미한다. HH -최종재 생산기업은 주어진 생산량 $Y_{HH,t}$ 에 대해 생산비용을 최소화하기 위해 다음과 같이 중간재 i 의 수요를 결정한다:

$$Y_{HH,t}(i) = \left(\frac{P_{HH,t}(i)}{P_{HH,t}} \right)^{-\epsilon_{HH,t}^p} Y_{HH,t},$$

이에 따라 HH -최종재의 가격은 다음과 같이 결정된다:

$$P_{HH,t} = \left[\int_0^1 P_{HH,t}(i)^{1-\epsilon_{HH,t}^p} dj \right]^{\frac{1}{1-\epsilon_{HH,t}^p}}.$$

HH -중간재 생산기업 한국 경제에서 HH -중간재 생산기업 $i \in [0, 1]$ 는 다음과 같은 생산기술을 가지고 중간재 i 를 생산하여 국내에 판매한다:

$$Y_{HH,t}(i) = \max \left[v_{Z_H,t} (K_{HH,t}(i))^{\alpha_H} (Z_{G,t} L_{HH,t}(i))^{1-\alpha_H} - Z_{G,t} F_{HH}, 0 \right],$$

여기서 $Y_{HH,t}(i)$ 는 중간재 i 의 생산량이며, $K_{HH,t}(i)$ 와 $L_{HH,t}(i)$ 는 생산요소로 투입되는 자본과 노동이다. 상수항 $F_{HH} > 0$ 는 생산을 위해 지출해야 하는 고정비용이며, 정상상태 (steady-state) 하에서 중간재 생산기업의 이윤을 0으로 만들어 주는 역할을 한다.

생산성은 두가지 요인에 의해 결정되는데, $Z_{G,t}$ 는 글로벌 노동 생산성의 발전을 나타내는 변수로 한국과 해외 경제에 동일하게 적용되며 $v_{Z_H,t}$ 는 한국의 독립적인 생산성 변동을 포착한다. 본 연구는 글로벌 노동 생산성의 증가율인 $\gamma_{Z_G,t} \equiv \log(Z_{G,t}/Z_{G,t-1})$ 가 다음과 같은 AR(1) 확률과정을 따른다고 가정하는데, 이로 인해 모형 전체에 추세적 균형성장 (balanced trend growth)이 발생한다:

$$\gamma_{Z_G,t} = (1 - \rho_{\gamma_{Z_G}}) \bar{\gamma}_{Z_G} + \rho_{\gamma_{Z_G}} (\gamma_{Z_G,t-1}) + \varepsilon_{Z_G,t},$$

이때 $\bar{\gamma}_{Z_G} = \log(\bar{\Gamma}_{Z_G})$ 는 정상상태 하에서 글로벌 노동 생산성의 증가율의 로그값이며, $0 \leq \rho_{\gamma_{Z_G}} < 1$ 이고 $\varepsilon_{Z_G,t} \sim \text{i.i.d } \mathcal{N}(0, \sigma_{Z_G}^2)$ 이라고 가정한다. 한편, 한국의 독립적 생산성 변동을 나타내는 $v_{Z_H,t}$ 는 다음과 같은 AR(1) 확률과정을 따른다:

$$\log(v_{Z_H,t}) = \rho_{Z_H} \log(v_{Z_H,t-1}) + \varepsilon_{Z_H,t},$$

이때 $0 \leq \rho_{Z_H} < 1$ 이고 $\varepsilon_{Z_H,t} \sim \text{i.i.d } \mathcal{N}(0, \sigma_{Z_H}^2)$ 이라고 가정한다.

HH -중간재 생산기업 i 는 완전히 경쟁적인 자본 시장에서 자본 서비스를 임대하는데, 자본 서비스 단위당

가격은 $R_{H,t}^K$ 로 주어진다. 그리고 HH -중간재 생산기업 i 는 노동 서비스 공급자(employment agencies)로부터 다양한 종류의 노동 서비스를 고용한다. 경제 내 노동 서비스 집합은 크기가 1이며, 개별 노동 서비스는 $j \in [0, 1]$ 로 표시된다고 두자. 그러면, HH -중간재 생산기업 i 는 임금 $W_{H,t}(j)$ 에 노동 서비스 j 를 $L_{HH,t}(i, j)$ 만큼 고용하여 다음과 같이 결합하여 생산에 투입한다:

$$L_{HH,t}(i) = \left[\int_0^1 L_{HH,t}(i, j)^{\frac{\epsilon_{H,t}^w - 1}{\epsilon_{H,t}^w}} dj \right]^{\frac{\epsilon_{H,t}^w}{\epsilon_{H,t}^w - 1}}.$$

여기서 $\epsilon_{H,t}^w > 1$ 은 노동 서비스 간 대체탄력성을 의미한다. 주어진 노동 투입량 $L_{HH,t}(i)$ 에 대해 노동비용을 최소화하기 위해 HH -중간재 생산기업 i 는 다음과 같이 노동 서비스 j 를 수요한다:

$$L_{HH,t}(i, j) = \left(\frac{W_{H,t}(j)}{W_{H,t}} \right)^{-\epsilon_{H,t}^w} L_{HH,t}(i),$$

여기서

$$W_{H,t} = \left[\int_0^1 W_{H,t}(j)^{1-\epsilon_{H,t}^w} dj \right]^{\frac{1}{1-\epsilon_{H,t}^w}},$$

는 노동 투입 단위당 비용을 의미하며, 통상 앞으로 임금으로 지칭한다. 총 노동비용은

$$W_{H,t} L_{HH,t}(i) = \int_0^1 W_{H,t}(j) L_{HH,t}(i, j) dj$$

와 같이 얻어진다.

매 기마다 HH -중간재 생산기업 i 는 주어진 생산량 $Y_{HH,t}(i)$ 를 생산하기 위해 다음과 같이 자본 임대 비용 및 노동 투입 비용으로 구성되는 생산비용을 최소화하고자 한다:

$$\min_{L_{HH,t}(i), K_{HH,t}(i)} [W_{H,t} L_{HH,t}(i) + R_{H,t}^K K_{HH,t}(i)],$$

subject to

$$Y_{HH,t}(i) = v_{Z_H,t} (K_{HH,t}(i))^{\alpha_H} (Z_{G,t} L_{HH,t}(i))^{1-\alpha_H} - Z_{G,t} F_{HH}.$$

비용 최소화 결과 이 기업은 자본-노동 비율

$$\frac{K_{HH,t}(i)}{L_{HH,t}(i)} = \frac{\alpha_H}{1 - \alpha_H} \frac{W_{H,t}}{R_{H,t}^K},$$

하에서 생산하며, 명목 한계비용(marginal costs)은

$$MC_{H,t}(i) = \frac{1}{v_{Z_{H,t}} Z_{G,t}^{1-\alpha_H}} \frac{1}{(\alpha_H)^{\alpha_H}} \frac{1}{(1-\alpha_H)^{1-\alpha_H}} (W_{H,t})^{1-\alpha_H} (R_{H,t}^K)^{\alpha_H},$$

으로 결정된다. 특히 자본-노동 비율과 명목 한계비용이 모든 HH -중간재 생산기업에 대해 동일하게 주어진다. 모든 HH -중간재 생산기업에 대해 명목 한계비용을 $MC_{H,t} = MC_{H,t}(i)$ 로 두자.

이제 HH -중간재 생산기업 i 의 가격 설정 문제에 대해 살펴보자. 본 연구는 가격경직성을 도입하기 위해 Calvo (1980)와 Yun (1996)을 따라 해당 기업이 자유롭게 가격을 조정할 수는 없으며, 매기 일정한 확률 $1 - \theta_{HH}^p$ 로만 가격을 최적으로 조정할 수 있다고 가정한다. 가격을 최적으로 조정할 수 없을 때 이 기업은 물가지수 연동을 통해 가격을 단순 조정한다. 위에서 살펴 보았듯이 HH -중간재 생산기업들은 동일한 한계비용에 직면하여 생산을 하므로, 기업별 충격이 없는 환경에서 가격을 최적으로 조정할 기회가 왔을 때 동일한 가격을 선택하게 된다. 따라서 HH -중간재 생산기업의 최적 가격을 $P_{HH,t}^*$ 으로 표시하자. 그러면, 이 기업은 아래와 같이 이윤극대화를 위해 최적 가격 $P_{HH,t}^*$ 를 선택한다:

$$\max_{P_{HH,t}^*} \mathbb{E}_t \sum_{k=0}^{\infty} (1 - \theta_{HH}^p)^k \left\{ \Lambda_{H,t,t+k} \left[P_{HH,t}^* \Pi_{HH,t,t+k}^p - MC_{H,t+k} \right] Y_{HH,t+k|t} \right\}.$$

이때 목적함수는 가격을 재조정하지 못하는 경우의 이윤만을 포함한다. 여기서 $\Lambda_{H,t,t+k}$ 는 $t+k$ 기의 실질 이윤을 t 기로 할인하기 위한 확률적 할인인자(stochastic discount factor)이며, 아래에서 가격의 문제를 풀 후 자세히 정의한다. 그리고

$$Y_{HH,t+k|t} = \left(\frac{P_{HH,t}^* \Pi_{HH,t,t+k}^p}{P_{HH,t+k}} \right)^{-\epsilon_{HH,t+k}^p} Y_{HH,t+k},$$

는 해당 기업이 t 기에 가격을 $P_{HH,t}^*$ 로 조정한 이후 다시 최적 가격으로 조정하지 못할 때 직면하게 되는 수요함수를 나타낸다. 마지막으로,

$$\Pi_{HH,t,t+k}^p = \begin{cases} \prod_{s=1}^k (\Pi_{HH,t+s-1})^{\iota_{HH}^p} (\bar{\Pi}_{HH})^{1-\iota_{HH}^p}, & \text{if } k \geq 1, \\ 1, & \text{if } k = 0, \end{cases}$$

는 기업이 가격을 최적으로 조정하지 못할 때 연동하는 물가지수이며, $\Pi_{HH,t+s-1} \equiv P_{HH,t+s-1}/P_{HH,t+s-2}$ 는 HH -최종재 가격 상승률이고 $\bar{\Pi}_{HH}$ 는 정상상태에서 그 값이다. 그리고 $0 \leq \iota_{HH}^p < 1$ 는 직전 HH -최종재

가격 상승률에 대한 연동 정도를 의미한다. 위 이윤극대화 문제의 일계조건은 다음과 같이 주어진다:

$$0 = \mathbb{E}_t \sum_{k=0}^{\infty} (1 - \theta_{HH}^p)^k \left\{ \Lambda_{H,t,t+k} \left[\left(\epsilon_{HH,t+k}^p - 1 \right) \left(P_{HH,t}^* \Pi_{HH,t,t+k}^p \right) - \left(\epsilon_{HH,t+k}^p \right) MC_{H,t+k} \right] Y_{HH,t+k} | t \right\}.$$

마지막으로, 대수의 법칙에 의해 HH -최종재 가격은 다음과 같이 결정된다:

$$P_{HH,t} = \left\{ (1 - \theta_{HH}^p) \left[\left(\Pi_{HH,t-1}^p \right)^{\iota_{HH}^p} \left(\bar{\Pi}_{HH} \right)^{1-\iota_{HH}^p} P_{HH,t-1} \right]^{1-\epsilon_{HH,t}^p} + \left(\theta_{HH}^p \right) \left(P_{HH,t}^* \right)^{1-\epsilon_{HH,t}^p} \right\}^{\frac{1}{1-\epsilon_{HH,t}^p}}.$$

HF -최종재 생산기업 (해외) HF -최종재를 생산하는 기업은 해외 경제 내 다수 존재하며 완전경쟁 하에서 활동한다.⁴ 이들의 문제는 HH -최종재 생산기업과 유사하다. 먼저, 이들은 모두 동질적이기 때문에 본 연구과제에서는 대표 HF -최종재 생산기업의 문제만을 고려한다. 대표 HF -최종재 생산기업은 중간재 생산자로부터 중간재를 매입하여 다음과 같은 함수로 표시되는 생산기술을 이용하여 HF -최종재를 생산한다:

$$Y_{HF,t} = \left[\int_0^1 Y_{HF,t}(i)^{1-\frac{1}{\epsilon_{HF,t}^p}} di \right]^{\frac{\epsilon_{HF,t}^p}{\epsilon_{HF,t}^p - 1}}.$$

여기서 중간재 i 의 가격은 $P_{HF,t}(i)$ 로 주어져 있다. 그리고 $\epsilon_{HF,t}^p > 1$ 는 다양한 중간재 간 대체탄력성을 의미한다. HF -최종재 생산기업은 주어진 생산량 $Y_{HF,t}$ 에 대해 생산비용을 최소화하기 위해 다음과 같이 중간재 i 의 수요를 결정한다:

$$Y_{HF,t}(i) = \left(\frac{P_{HF,t}(i)}{P_{HF,t}} \right)^{-\epsilon_{HF,t}^p} Y_{HF,t},$$

이에 따라 HF -최종재의 가격은 다음과 같이 결정된다:

$$P_{HF,t} = \left[\int_0^1 P_{HF,t}(i)^{1-\epsilon_{HF,t}^p} dj \right]^{\frac{1}{1-\epsilon_{HF,t}^p}}.$$

여기서 $P_{HF,t}(i)$ 와 $P_{HF,t}$ 는 모두 해외 경제의 통화로 표시되어 있다.

HF -중간재 생산기업 한국 경제에서 HF -중간재 생산기업 $i \in [0, 1]$ 는 중간재 i 를 생산하여 해외에 수출한다. 이들은 가격을 해외 통화로 직접 결정한다는 점을 제외하고는 한국의 HH -중간재 생산기업과 생산기술이 동일하며 가격 조정 과정도 동일하다. 먼저, 이들의 생산 기술은 다음과 같다:

$$Y_{HF,t}(i) = \max \left[v_{Z_H,t} (K_{HF,t}(i))^{\alpha_H} (Z_{G,t} L_{HF,t}(i))^{1-\alpha_H} - Z_{G,t} F_{HF}, 0 \right],$$

⁴이들은 한국으로부터 중간재를 수입하여 최종재를 생산하고 해외 경제에 판매한다. 모형 설명의 일관성을 위해 이들의 문제를 여기에 설명한다.

여기서 $Y_{HF,t}(i)$ 는 중간재 i 의 생산량이며, $K_{HF,t}(i)$ 와 $L_{HF,t}(i)$ 는 생산요소로 투입되는 자본과 노동이다. 상수항 $F_{HF} > 0$ 는 생산을 위해 지출해야 하는 고정비용이며, F_{HH} 와 같은 역할을 한다.

생산성은 글로벌 노동 생산성의 발전을 나타내는 $Z_{G,t}$ 와 한국의 독립적인 생산성 변동을 포착하는 $v_{Z_{H,t}}$ 에 의해 결정된다.

HF -중간재 생산기업 i 는 완전히 경쟁적인 자본 시장에서 자본 서비스를 임대하는데, HH -중간재 생산기업과 동일한 자본 시장에 참여한다. 따라서 자본 서비스 단위당 가격은 $R_{H,t}^K$ 로 주어진다. 그리고 HF -중간재 생산기업 i 는 HH -중간재 생산기업과 같이 동일한 노동 서비스 공급자(employment agencies)로부터 다양한 종류의 노동 서비스를 고용하여 동일한 기술로 결합하여 노동으로 투입한다. 따라서 주어진 노동 투입량 $L_{HF,t}(i)$ 에 대해 노동비용을 최소화하기 위해 HF -중간재 생산기업 i 는 다음과 같이 노동 서비스 j 를 수요한다:

$$L_{HF,t}(i, j) = \left(\frac{W_{H,t}(j)}{W_{H,t}} \right)^{-\epsilon_{H,t}^w} L_{HF,t}(i).$$

총 노동비용은

$$W_{H,t} L_{HF,t}(i) = \int_0^1 W_{H,t}(j) L_{HF,t}(i, j) dj$$

와 같이 얻어진다.

매 기마다 HF -중간재 생산기업 i 는 주어진 생산량 $Y_{HF,t}(i)$ 를 생산하기 위해 자본 임대 비용 및 노동 투입 비용을 최소화하고자 한다. 이에 따라 이 기업은 자본-노동 비율

$$\frac{K_{HF,t}(i)}{L_{HF,t}(i)} = \frac{\alpha_H}{1 - \alpha_H} \frac{W_{H,t}}{R_{H,t}^K},$$

하에서 생산하며, 명목 한계비용 (marginal costs)은

$$MC_{H,t}(i) = \frac{1}{v_{Z_{H,t}} Z_{G,t}^{1-\alpha_H}} \frac{1}{(\alpha_H)^{\alpha_H}} \frac{1}{(1 - \alpha_H)^{1-\alpha_H}} (W_{H,t})^{1-\alpha_H} (R_{H,t}^K)^{\alpha_H},$$

으로 결정된다. 특히 자본-노동 비율과 명목 한계비용이 모든 HF -중간재 생산기업에 대해 동일하게 주어지며, 또한 HH -중간재 생산기업의 자본-노동 비율 및 명목 한계비용과 동일하다.

이제 HF -중간재 생산기업 i 의 가격 설정 문제에 대해 살펴보자. 앞서 HH -중간재 생산기업과 유사하게, 매기 일정한 확률 $1 - \theta_{HF}^p$ 로만 가격을 최적으로 조정할 수 있다고 가정한다. 가격을 최적으로 조정할 수 없을 때 이 기업은 물가지수 연동을 통해 가격을 단순 조정한다고 둔다. 위에서 살펴 보았듯이 HF -중간재 생산기업들은 동일한 한계비용에 직면하여 생산을 하므로, 기업별 충격이 없는 환경에서는 가격을 최적으로 조정할 기회가 왔을 때 동일한 가격을 선택하게 된다. 따라서 HF -중간재 생산기업의 최적 가격을 $P_{HF,t}^*$ 으로

표시하자. 그러면, 이 기업은 아래와 같이 이윤극대화를 위해 최적 가격 $P_{HF,t}^*$ 를 선택한다:

$$\max_{P_{HF,t}^*} \mathbb{E}_t \sum_{k=0}^{\infty} (1 - \theta_{HF}^p)^k \left\{ \Lambda_{H,t,t+k} \left[\mathcal{E}_{t+k} P_{HF,t}^* \Pi_{HF,t,t+k}^p - MC_{H,t+k} \right] Y_{HF,t+k|t} \right\}.$$

이때 목적함수는 가격을 재조정하지 못하는 경우의 이윤만을 포함한다. 수출품이 가격은 해외 통화를 기준으로 표시하기 때문에 매출을 국내 통화로 환산하기 위해 명목환율 \mathcal{E}_{t+k} 를 곱한다. 이는 외국 통화 단위당 국내 통화 표시 가격을 의미한다. 그리고

$$Y_{HF,t+k|t} = \left(\frac{P_{HF,t}^* \Pi_{HF,t,t+k}^p}{P_{HF,t+k}} \right)^{-\epsilon_{HF,t+k}^p} Y_{HF,t+k},$$

는 해당 기업이 t 기에 가격을 $P_{HF,t}^*$ 로 조정한 이후 다시 최적 가격으로 조정하지 못할 때 직면하게 되는 수요함수를 나타낸다. 마지막으로,

$$\Pi_{HF,t,t+k}^p = \begin{cases} \prod_{s=1}^k (\Pi_{HF,t+s-1})^{\iota_{HF}^p} (\bar{\Pi}_{HF})^{1-\iota_{HF}^p}, & \text{if } k \geq 1, \\ 1, & \text{if } k = 0, \end{cases}$$

는 기업이 가격을 최적으로 조정하지 못할 때 연동하는 물가지수이며, $\Pi_{HF,t+s-1} \equiv P_{HF,t+s-1}/P_{HF,t+s-2}$ 는 HF -최종재 가격 상승률이고 $\bar{\Pi}_{HF}$ 는 정상상태에서 그 값이다. 그리고 $0 \leq \iota_{HF}^p < 1$ 는 직전 HF -최종재 가격 상승률에 대한 연동 정도를 의미한다. 위 이윤극대화 문제의 일계조건은 다음과 같이 주어진다:

$$0 = \mathbb{E}_t \sum_{k=0}^{\infty} (1 - \theta_{HF}^p)^k \left\{ \Lambda_{H,t,t+k} \left[\left(\epsilon_{HF,t+k}^p - 1 \right) \mathcal{E}_{t+k} \left(P_{HF,t}^* \Pi_{HF,t,t+k}^p \right) - \left(\epsilon_{HF,t+k}^p \right) MC_{H,t+k} \right] Y_{HF,t+k|t} \right\}.$$

마지막으로, 대수의 법칙에 의해 HF -최종재 가격은 다음과 같이 결정된다:

$$P_{HF,t} = \left\{ (1 - \theta_{HF}^p) \left[\left(\Pi_{HF,t-1}^p \right)^{\iota_{HF}^p} (\bar{\Pi}_{HF})^{1-\iota_{HF}^p} P_{HF,t-1} \right]^{1-\epsilon_{HF,t}^p} + (\theta_{HF}^p) (P_{HF,t}^*)^{1-\epsilon_{HF,t}^p} \right\}^{\frac{1}{1-\epsilon_{HF,t}^p}}.$$

FH -최종재 생산기업 해외에서 중간재 생산 기업들은 각각 다양한 중간재를 생산하며, 중간재 집합은 크기가 1이며 각 중간재는 $i \in [0, 1]$ 로 표시된다고 두자. 해외의 중간재는 국내의 중간재 수입 기업에 의해 국내로 수입되어 FH -최종재 기업에 의해 FH -최종재로 결합된 다음 소비된다.

FH -최종재를 생산하는 기업은 한국 경제 내 다수 존재하며 완전경쟁 하에서 활동한다. 이들의 환경은 HH -최종재 생산기업과 유사하다. 먼저, 이들은 모두 동질적이기 때문에 본 연구는 대표 FH -최종재 생산기

업의 문제만을 고려한다. 대표 FH -최종재 생산기업은 해외 경제에서 생산되어 한국으로 수입된 중간재를 매입하여 다음과 같은 함수로 표시되는 생산기술을 이용하여 FH -최종재를 생산한다:

$$Y_{FH,t} = \left[\int_0^1 Y_{FH,t}(i)^{1-\frac{1}{\epsilon_{FH,t}^p}} di \right]^{\frac{\epsilon_{FH,t}^p}{\epsilon_{FH,t}^p - 1}}.$$

여기서 중간재 i 의 가격은 $P_{FH,t}(i)$ 로 주어져 있다. 그리고 $\epsilon_{FH,t}^p > 1$ 는 다양한 중간재 간 대체탄력성을 의미한다. FH -최종재 생산기업은 생산량 $Y_{FH,t}$ 를 생산하는데 드는 비용을 최소화하기 위해 다음과 같이 중간재 i 의 수요를 결정한다:

$$Y_{FH,t}(i) = \left(\frac{P_{FH,t}(i)}{P_{FH,t}} \right)^{-\epsilon_{FH,t}^p} Y_{FH,t},$$

이에 따라 FH -최종재의 가격은 다음과 같이 결정된다:

$$P_{FH,t} = \left[\int_0^1 P_{FH,t}(i)^{1-\epsilon_{FH,t}^p} dj \right]^{\frac{1}{1-\epsilon_{FH,t}^p}}.$$

여기서 FH -중간재 i 의 가격과 FH -최종재의 가격은 모두 국내 통화로 표시되어 있다.

FH -중간재 수입기업 FH -중간재 생산기업 $i \in [0, 1]$ 는 해외에서 생산된 중간재 i 를 독점적으로 수입하여 국내 FH -최종재 생산기업에 판매한다. 비록 수입원가는 해외 경제에서 판매되는 가격과 동일하여 일물일가의 법칙(LOOP)가 성립하지만, FH -중간재 생산기업이 독점력을 바탕으로 마진을 붙여 국내 가격을 결정하기 때문에 국내 가격에 대해서는 일물일가의 법칙이 성립하지 않는다.⁵ 그 결과 수입재 가격에 대해서 환율의 전가가 완벽하게 일어나지 않는다. 해외에서 해외 통화 표시 중간재 i 의 가격을 $P_{FF,t}(i)$ 라고 두면, 국내 통화 표시 수입원가는 $\mathcal{E}_t P_{FF,t}(i)$ 이다. 해외 경제 부문을 간단하게 유지하기 위해 본 연구는 해외에서 수입된 모든 중간재의 가격이 $P_{FF,t}$ 로 동일하다고 가정한다. 이에 더해 한국이 전세계 경제에서 아주 미미한 규모를 차지한다는 소규모 개방경제 가정에 따르면, 해외의 소비바스켓에서 한국의 재화가 차지하는 비중을 무시할 수 있으므로 해외의 소비자 물가지수 $P_{WF,t}$ 에 대해 $P_{FF,t} = P_{WF,t}$ 라고 둘 수 있다. 결국, 해외에서 수입된 중간재의 실질 수입원가는

$$\frac{\mathcal{E}_t P_{FF,t}(i)}{P_{WH,t}} = \frac{\mathcal{E}_t P_{WF,t}}{P_{WH,t}} \equiv e_t,$$

가 되어 실질환율과 같다. 다른 HH -중간재나 HF -중간재 생산기업과 달리 수입 과정에 자본이나 노동은 투입되지 않는다.

이제 FH -중간재 생산기업 i 의 가격 설정 문제에 대해 살펴보자. 앞서 HH -중간재나 HF -중간재 생산기

⁵Monacelli (2005).

업과 마찬가지로, FH -중간재 수입기업은 자유롭게 가격을 조정할 수는 없으며, 매기 일정한 확률 $1 - \theta_{FH}^p$ 로만 가격을 최적으로 조정할 수 있다고 가정한다. 가격을 최적으로 조정할 수 없을 때 이 기업은 물가지수 연동을 통해 가격을 단순 조정한다고 둔다. 기업별 충격이 없는 환경에서 FH -중간재 생산기업들은 가격을 최적으로 조정할 기회가 왔을 때 동일한 가격을 선택하게 된다. 따라서 FH -중간재 생산기업의 최적 가격을 $P_{FH,t}^*$ 으로 표시하자. 그러면, 이 기업은 아래와 같이 이윤극대화를 위해 최적 가격 $P_{FH,t}^*$ 를 선택한다:

$$\max_{P_{FH,t}^*} \mathbb{E}_t \sum_{k=0}^{\infty} (1 - \theta_{FH}^p)^k \left\{ \Lambda_{H,t,t+k} \left[P_{FH,t}^* \Pi_{FH,t,t+k}^p - P_{WH,t+k} e_{t+k} \right] Y_{FH,t+k|t} \right\}.$$

이때 목적함수는 가격을 재조정하지 못하는 경우의 이윤만을 포함한다. 그리고

$$Y_{FH,t+k|t} = \left(\frac{P_{FH,t}^* \Pi_{FH,t,t+k}^p}{P_{FH,t+k}} \right)^{-\epsilon_{FH,t+k}^p} Y_{FH,t+k},$$

는 해당 기업이 t 기에 가격을 $P_{FH,t}^*$ 로 조정한 이후 다시 최적 가격으로 조정하지 못할 때 $t+k$ 기에 직면하게 되는 수요함수를 나타낸다. 마지막으로,

$$\Pi_{FH,t,t+k}^p = \begin{cases} \prod_{s=1}^k (\Pi_{FH,t+s-1})^{\iota_{FH}^p} (\bar{\Pi}_{FH})^{1-\iota_{FH}^p}, & \text{if } k \geq 1, \\ 1, & \text{if } k = 0, \end{cases}$$

는 기업이 가격을 최적으로 조정하지 못할 때 연동하는 물가지수이며, $\Pi_{FH,t+s-1} \equiv P_{FH,t+s-1}/P_{FH,t+s-2}$ 는 FH -최종재 가격 상승률이고 $\bar{\Pi}_{FH}$ 는 정상상태에서 그 값이다. 그리고 $0 \leq \iota_{FH}^p < 1$ 는 직전 기의 FH -최종재 가격 상승률에 대한 연동 정도를 의미한다. 위 이윤극대화 문제의 일계조건은 다음과 같이 주어진다:

$$0 = \mathbb{E}_t \sum_{k=0}^{\infty} (1 - \theta_{FH}^p)^k \left\{ \Lambda_{H,t,t+k} \left[\left(\epsilon_{FH,t+k}^p - 1 \right) \left(P_{FH,t}^* \Pi_{FH,t,t+k}^p \right) - \left(\epsilon_{FH,t+k}^p \right) P_{WH,t+k} e_{t+k} \right] Y_{FH,t+k|t} \right\}.$$

마지막으로, 대수의 법칙에 의해 FH -최종재 가격은 다음과 같이 결정된다:

$$P_{FH,t} = \left\{ (1 - \theta_{FH}^p) \left[\left(\Pi_{FH,t-1}^p \right)^{\iota_{FH}^p} (\bar{\Pi}_{FH})^{1-\iota_{FH}^p} P_{FH,t-1} \right]^{1-\epsilon_{FH,t}^p} + (\theta_{FH}^p) (P_{FH,t}^*)^{1-\epsilon_{FH,t}^p} \right\}^{\frac{1}{1-\epsilon_{FH,t}^p}}.$$

3.1.2 한국 가계

경제 내 많은 가계가 존재하지만 이들은 선호(preference)와 부 등 모든 측면에서 동질적이기 때문에 본 연구에서는 대표 가계(representative household)의 문제만을 고려한다. 가계는 자본을 소유하여 투자 결정을

내리며, 자본을 기업에 임대하고 노동을 공급하여 자본 소득과 노동 소득을 얻는다. 이에 기업 이윤으로부터 얻어지는 배당 소득을 더해 적절히 소비하거나, 국내 채권 및 해외 채권에 투자한다.

먼저 가계는 국내에서 생산된 중간재로 구성된 HH -최종재 $X_{HH,t}$ 와 해외에서 수입된 중간재로 구성된 FH -최종재 $X_{FH,t}$ 를 다음과 같이 불변탄력성 집계함수(constant elasticity of substitution aggregator)를 통해 집계하여 최종 투자지출 $X_{WH,t}$ 를 결정한다:

$$X_{WH,t} = \left[(1 - \xi_{H,t})^{\frac{1}{\eta}} (X_{HH,t})^{1-\frac{1}{\eta}} + (\xi_{H,t})^{\frac{1}{\eta}} (X_{FH,t})^{1-\frac{1}{\eta}} \right]^{\frac{\eta}{\eta-1}}.$$

여기서 $\eta > 0$ 는 HH -최종재와 FH -최종재 간 대체탄력성이다. 그리고 $0 \leq \xi_{H,t} < 1$ 는 최종 투자 중 FH -최종재의 상대적 비중을 나타내며, 모형에서 설명하지 못하는 투자지출 중 수입재 비중의 변동을 설명하기 위해 변동할 수 있다고 가정한다. 한국의 GDP 및 최종 소비지출 대비 수입이 지속적 변동(persistent variations)을 보이는 점을 감안해 다음과 같이 $\log(\xi_{H,t})$ 가 AR(1) 확률과정을 따른다고 가정한다:

$$\log(\xi_{H,t}) = (1 - \rho_{\xi_H}) \bar{\xi}_H + \rho_{\xi_H} \log(\xi_{H,t-1}) + \varepsilon_{\xi_H,t}.$$

여기서 $\bar{\xi}_H$ 는 $\xi_{H,t}$ 가 정상상태에서 가지는 값이고, $0 \leq \rho_{\xi_H} < 1$ 이며 $\varepsilon_{\xi_H,t} \sim \text{i.i.d. } \mathbb{N}(0, \sigma_{\xi_H}^2)$ 으로 가정한다. HH -최종재와 FH -최종재의 가격 $P_{HH,t}$ 와 $P_{FH,t}$ 가 주어졌을 때, 정해진 최종 투자 규모 $X_{WH,t}$ 에 대해 지출을 최소화하기 위해 가계는 HH -최종재와 FH -최종재의 수요량을 각각 다음과 같이 결정한다:

$$\begin{aligned} X_{HH,t} &= (1 - \xi_{H,t}) \left(\frac{P_{HH,t}}{P_{WH,t}} \right)^{-\eta} X_{WH,t}, \\ X_{FH,t} &= (\xi_{H,t}) \left(\frac{P_{FH,t}}{P_{WH,t}} \right)^{-\eta} X_{WH,t}. \end{aligned}$$

이에 따라 투자 가격지수는

$$P_{WH,t} = \left[(1 - \xi_{H,t}) (P_{HH,t})^{1-\eta} + (\xi_{H,t}) (P_{FH,t})^{1-\eta} \right]^{\frac{1}{1-\eta}}, \quad (1)$$

와 같이 결정된다. 아래에서 보이듯이 최종 소비지출도 동일한 불변탄력성 집계함수로 집계되기 때문에 소비자 물가지수도 (1)과 동일하게 결정된다.

가계의 투자에 따라 물적 자본(physical capital) $\tilde{K}_{H,t}$ 은 다음과 같이 변동한다:

$$\tilde{K}_{H,t} = (1 - \delta) \tilde{K}_{H,t-1} + v_{\mu_H,t} \left[1 - \mathcal{S} \left(\frac{X_{WH,t}}{X_{WH,t-1}} \right) \right] X_{WH,t}.$$

여기서 $0 \leq \delta \leq 1$ 는 감가상각률(depreciation rate)이며, $\mathcal{S}(\cdot)$ 는 투자 조정비용(investment adjustment cost)으로서 정상상태에서는 발생하지 않는다고 가정한다: $\mathcal{S}\left((\Gamma_{Z_G})^{-1}\right) = \mathcal{S}'\left((\Gamma_{Z_G})^{-1}\right) = 0$. 한편, $v_{\mu_H,t}$ 는 투자를 물적 자본으로 전환하는 한계 효율에 영향을 주는 충격이다. 본 연구는 투자의 한계효율 변동이 생산 및 노동시간 변동을 설명하는데 중요한 역할을 한다는 Justiniano, Primiceri and Tambalotti (2010)의 연구결과를 따라 이러한 충격을 도입한다. 이에 $\log(v_{\mu_H,t})$ 는 다음과 같은 AR(1) 확률과정을 따른다고 가정한다:

$$\log(v_{\mu_H,t}) = \rho_{\mu_H} \log(v_{\mu_H,t-1}) + \varepsilon_{\mu_H,t}.$$

이때 $0 \leq \rho_{\mu_H} < 1$ 이며, $\varepsilon_{\mu_H,t} \sim \text{i.i.d. } \mathcal{N}(0, \sigma_{\mu_H}^2)$ 으로 가정한다.

한편, 본 연구는 통화정책 충격 시 기업의 한계비용이 급격히 반응하는 것을 줄이기 위해 Christiano, Eichenbaum and Evans (2005)를 따라 가계가 물적 자본의 가동률(utilization rate)을 조정하여 자본 서비스를 기업에게 제공한다고 가정한다. 즉, 가계는 t 기에 보유한 물적 자본 $\tilde{K}_{H,t-1}$ 의 가동률 $u_{H,t}$ 를 조정하여 기업에게 자본 서비스 $K_{H,t} \equiv u_{H,t} \tilde{K}_{H,t-1}$ 를 공급하는데, 이때 가동률 조정 비용으로 $a(u_{H,t}) \tilde{K}_{H,t-1}$ 를 지출하여야 한다.

가계는 국내에서 생산된 중간재로 구성된 HH -최종재 $C_{HH,t}$ 와 해외에서 수입된 중간재로 구성된 FH -최종재 $C_{FH,t}$ 를 소비하는데, 최종 소비지출 $C_{WH,t}$ 는 다음과 같이 결정된다:

$$C_{WH,t} + a(u_{H,t}) \tilde{K}_{H,t-1} = \left[(1 - \xi_{H,t})^{\frac{1}{\eta}} (C_{HH,t})^{1-\frac{1}{\eta}} + (\xi_{H,t})^{\frac{1}{\eta}} (C_{FH,t})^{1-\frac{1}{\eta}} \right]^{\frac{\eta}{\eta-1}}. \quad (2)$$

여기서 $\eta > 0$ 는 HH -최종재와 FH -최종재 간 대체탄력성이다. 그리고 $0 \leq \xi_{H,t} < 1$ 는 앞서와 동일하게 최종 소비 중 FH -최종재의 상대적 비중을 나타낸다. 본 연구는 모형 설명을 가급적 단순하게 유지하기 위해 가계가 가동률 조정 비용을 소비와 묶어서 지출한다고 가정한다. HH -최종재와 FH -최종재의 가격이 주어졌을 때, 가계는 주어진 최종 소비지출을 최소한의 지출로 달성하기 위해 HH -최종재와 FH -최종재의 수요를 다음과 같이 결정한다:

$$\begin{aligned} C_{HH,t} &= (1 - \xi_{H,t}) \left(\frac{P_{HH,t}}{P_{WH,t}} \right)^{-\eta} \left(C_{WH,t} + a(u_{H,t}) \tilde{K}_{H,t-1} \right), \\ C_{FH,t} &= (\xi_{H,t}) \left(\frac{P_{FH,t}}{P_{WH,t}} \right)^{-\eta} \left(C_{WH,t} + a(u_{H,t}) \tilde{K}_{H,t-1} \right). \end{aligned}$$

이에 따라 소비자 물가지수는 투자 가격지수 (1)과 동일하게 결정된다.

가계는 다음과 같은 평생 기대 효용을 극대화하고자 한다:

$$\mathbb{E}_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t v_{b_H,t} \left[\log(C_{WH,t} - h_H C_{WH,t-1}) - \chi \int_0^1 \frac{N_{H,t}(j)^{1+\varphi}}{1+\varphi} dj \right].$$

여기서 $N_{H,t}(j)$ 는 노동 서비스 j 의 공급량이다. 모수 $0 < \beta < 1$ 는 시간 할인인자이며, φ 는 Frisch 노동공급 탄력성의 역수이고, $\chi > 0$ 는 정상상태에서 노동공급량의 수준을 조절한다. 본 연구과제는 자료에서 관측되는 소비 및 생산의 지속성(persistence)을 설명하기 위해 내생적으로 결정되는 습관적 소비(endogenous habit formation in consumption)를 도입하는데, $0 \leq h_H < 1$ 는 습관적 소비의 정도를 조정한다. 그리고 추세적 균형 성장을 올바르게 도입하기 위해 가계의 기별 소비 효용함수가 로그 함수라고 가정하였다.

가계가 선택 시 직면하는 예산제약식은 다음과 같다:

$$\begin{aligned} & C_{WH,t} + X_{WH,t} + \frac{B_{H,t}}{P_{WH,t}} + \frac{\mathcal{E}_t B_{F,t}}{P_{WH,t}} + \frac{1}{P_{WH,t}} \mathbb{E}_t Q_{H,t,t+1} V_{H,t+1} + \tau_{H,t} + a(u_{H,t}) \tilde{K}_{H,t-1} \\ &= \frac{B_{H,t-1} I_{H,t-1}}{P_{WH,t}} + \frac{\mathcal{E}_t B_{F,t-1} I_{F,t-1} \phi_{t-1}}{P_{WH,t}} + \frac{V_{H,t}}{P_{WH,t}} + \frac{R_{H,t}^K}{P_{WH,t}} u_{H,t} \tilde{K}_{H,t-1} + \int_0^1 \frac{W_{H,t}(j)}{P_{WH,t}} N_{H,t}(j) dj + \frac{\Xi_t}{P_{WH,t}}. \end{aligned}$$

여기서 $B_{H,t}$ 와 $B_{F,t}$ 는 각각 국내에서 정부가 발행하는 명목채권과 해외에서 가계 혹은 정부에 의해 발행된 명목채권에 대한 투자지출을 나타내며, 각각 국내 통화와 해외 통화로 표시된다. t 기에 발행된 두 채권의 만기는 $t+1$ 기로, 만기가 도래하면 원금과 이자를 더하여 $I_{H,t}$ 와 $I_{F,t}$ 를 각각 국내 통화와 해외 통화로 지불한다. 다만 한국의 가계가 해외에 투자할 때는 위험 프리미엄(risk premium)으로 ϕ_t 를 추가 지불하여야 하는데, 다음과 같이 정의된다:

$$\phi_t = \exp \left[-\phi_H (b_{F,t} - \bar{b}_F) + \varepsilon_{\phi_H,t} \right].$$

이때 $b_{F,t} = \mathcal{E}_t B_{F,t} / (P_{WH,t} Z_{G,t})$ 는 경제성장 추세 대비 실질 해외채권보유액 혹은 대외자산을 의미하며, \bar{b}_F 는 정상상태에서 그 값이다. 위험 프리미엄의 민감도 $\phi_H > 0$ 에 대해 $b_{F,t} < 0$ 이고 대외부채가 증가하면 위험 프리미엄이 증가하게 된다. 만약 소규모개방경제의 대외자산이 $b_{F,t} > 0$ 이고 정상상태보다 증가한다면, 대외자산에 대한 수익률은 감소하게 된다. 이러한 위험 프리미엄은 Schmitt-Grohe and Uribe (2003) 이래로 소규모 개방경제 모형에서 소규모 개방경제의 대외부채가 정상성(stationarity)을 유지하도록 하기 위해 관련 문헌에서 사용되고 있다. $V_{H,t}$ 는 특정 상태에 대한 조건부 자산(state-contingent asset)을 나타내며, 해당 상태가 실현될 때 단위당 1원을 가계에게 지불한다. t 기에 그 가격은 $Q_{H,t,t+1}$ 으로 주어진다. 그리고 가계는 이전지출을 제한 세금을 정액세로 $\tau_{H,t}$ 만큼 내야 한다.

가계의 자본 서비스 명목 임대 수수료는 자본 서비스 단위당 $R_{H,t}^K$ 로 주어지며, 노동 서비스 j 의 명목 임금은 $W_{H,t}(j)$ 로 주어진다. 마지막으로 가계는 국내의 모든 기업을 소유하고 있으며, 독점적 생산기업인

HH -중간재 생산기업, HF -중간재 생산기업, FH -중간재 생산기업으로부터 이윤을 배당의 형태로 π_t 만큼 받는다.

노동서비스 제공자 노동서비스 제공자는 가게로부터 노동서비스를 고용하여 이를 기업에게 독점적으로 공급하는 역할을 한다. 이는 Erceg, Henderson and Levin (2000)에 의해 제안된 방법으로 임금경직성을 도입하기 위한 이론적 장치로 이해할 수 있다.

경제 내에는 크기가 1인 노동서비스 집합이 있으며, 각각의 노동서비스는 $j \in [0, 1]$ 로 표시하자. 노동서비스 j 제공자는 자신이 공급하는 노동서비스에 대해 독점력을 가지고 있기 때문에 그 가격인 임금을 설정할 수 있다. 다만, 중간재 생산기업의 가격 설정과 마찬가지로 자유롭게 임금을 조정할 수는 없으며, 매기 일정한 확률 $1 - \theta_H^w$ 로만 임금을 최적 조정할 수 있다고 가정한다. 임금을 최적으로 조정할 수 없을 때는 물가지수 및 경제의 추세적 성장률에 연동하여 단순 조정한다고 둔다.

개별 충격이 없는 환경에서 모든 노동서비스 제공자는 임금을 조정할 기회가 있을 때 동일한 임금을 선택하게 된다. 따라서 t 기에 임금을 최적으로 조정하는 노동서비스 제공자의 최적 임금을 $W_{H,t}^*$ 로 표시하자. 그러면, 이 노동서비스 제공자는 아래와 같이 가게의 효용극대화를 위해 최적 임금 $W_{H,t}^*$ 를 선택한다:

$$\max_{W_{H,t}^*} \mathbb{E}_t \sum_{k=0}^{\infty} (1 - \theta_H^w)^k \left\{ \left[\Lambda_{H,t+k}^1 \left(\frac{W_{H,t}^* \Pi_{H,t,t+k}^w}{P_{WH,t+k}} \right) N_{H,t+k|t} - \chi \frac{(N_{H,t+k|t})^{1+\varphi}}{1+\varphi} u_{bH,t+k} \right] \right\}.$$

이때 목적함수는 임금을 다시 최적화하지 못하는 경우 만을 포함한다. 여기서 $\Lambda_{H,t+k}^1$ 은 가게의 예산제약식에 대한 라그랑지 승수로서, 실질소득에 대한 가게의 한계효용을 나타낸다. 그리고

$$N_{H,t+k|t} = \left(\frac{W_{H,t}^* \Pi_{H,t,t+k}^w}{W_{H,t+k}} \right)^{-\epsilon_{H,t+k}^w} N_{H,t+k},$$

는 해당 노동서비스 제공자가 t 기에 임금을 $W_{H,t}^*$ 로 조정한 이후 다시 최적 임금으로 조정하지 못할 때 직면하게 되는 수요함수를 나타낸다. 마지막으로,

$$\Pi_{H,t,t+k}^w = \begin{cases} \prod_{s=1}^k (\Pi_{WH,t+s-1} \Gamma_{ZG,t+s-1})^{\iota_H^w} (\bar{\Pi}_{WH} \bar{\Gamma}_{ZG})^{1-\iota_H^w}, & \text{if } k \geq 1, \\ 1, & \text{if } k = 0, \end{cases}$$

는 노동서비스 제공자가 임금을 최적으로 조정하지 못할 때 연동하는 지수이며, $\Pi_{WH,t+s-1} \equiv P_{WH,t+s-1}/P_{WH,t+s-2}$ 는 소비자물가지수 상승률이고 $\bar{\Pi}_{WH}$ 는 정상상태에서 그 값이다. 그리고 $0 \leq \iota_H^w < 1$ 는 직전 소비자물가지수 상승률 및 추세적 경제성장률에 대한 연동 정도를 의미한다. 위 이윤극대화 문제의 일계조건은 다음과 같이

주어진다:

$$0 = \mathbb{E}_t \sum_{k=0}^{\infty} \beta^k (1 - \theta_H^w)^k N_{H,t+k|t} \left[\Lambda_{H,t+k}^1 (\epsilon_{H,t+k}^w - 1) \left(\frac{W_{H,t}^* \Pi_{H,t,t+k}^w}{P_{WH,t+k}} \right) - \chi (\epsilon_{H,t+k}^w) (N_{H,t+k|t})^\varphi u_{bH,t+k} \right].$$

마지막으로, 대수의 법칙에 의해 임금은 다음과 같이 결정된다:

$$W_{H,t} = \left\{ (1 - \theta_H^w) \left[(\Pi_{WH,t-1} \Gamma_{ZG,t-1})^{\iota_H^w} (\bar{\Pi}_{WH} \bar{\Gamma}_{ZG})^{1-\iota_H^w} W_{H,t-1} \right]^{1-\epsilon_{H,t}^w} + (\theta_H^w) (W_{H,t}^*)^{1-\epsilon_{H,t}^w} \right\}^{\frac{1}{1-\epsilon_{H,t}^w}}.$$

3.1.3 정부

재정정책은 정액세의 형태로 세금을 부과하며 채권을 발행하여 정부지출의 재원을 마련한다고 가정한다.

정부의 예산제약식은

$$\frac{B_{H,t}}{P_{WH,t}} + \tau_{H,t} = \frac{B_{H,t-1} I_{H,t-1}}{P_{WH,t-1}} \frac{P_{WH,t-1}}{P_{WH,t}} + G_{WH,t},$$

와 같다. 여기서 $G_{WH,t}$ 는 실질 정부지출이며, 모형을 단순하게 유지하기 위해 정부지출은 가계에 직접 효용을 주지는 않는다고 가정한다. 정부는 가계와 동일한 선호를 가지고 지출을 결정하며, 따라서 HH -최종재와 FH -최종재 수요는 다음과 같이 결정된다:

$$G_{HH,t} = (1 - \xi_{H,t}) \left(\frac{P_{HH,t}}{P_{WH,t}} \right)^{-\eta} G_{WH,t},$$

$$G_{FH,t} = (\xi_{H,t}) \left(\frac{P_{FH,t}}{P_{WH,t}} \right)^{-\eta} G_{WH,t}.$$

본 연구는 재정정책보다 통화정책에 관심이 있기 때문에 정부지출은 다음과 같이 GDP인 $Y_{HW,t}$ 에 비례하여 단순히 결정된다고 둔다:

$$G_{WH,t} = \left(1 - \frac{1}{v_{gH,t}} \right) Y_{HW,t},$$

여기서 $\log(v_{gH,t})$ 는 다음과 같이 AR(1) 확률과정을 따른다:

$$\log(v_{gH,t}) = \rho_{gH} \log(v_{gH,t-1}) + \varepsilon_{gH,t}.$$

이때 $0 \leq \rho_{gH} < 1$ 이며 $\varepsilon_{gH,t} \sim \text{i.i.d. } \mathcal{N}(0, \sigma_{gH}^2)$ 이라고 가정한다. 본 연구는 자료를 이용해 이 모형을 추정하는데, GDP 대비 정부지출이 외생적인 확률과정을 따른다고 가정함에 따라 정부지출 자료는 추정에 사용하지 않는다. 한편 재정정책은 실질 정부부채 규모를 안정시키도록 적절하게 세금을 부과하며, 따라서 모형에서는 리카르도 대등정리(Ricardian equivalence)가 성립하게 된다.

한편 통화정책은 소비자물가지수 인플레이션과 생산량에 대응하여 명목금리를 조정하는 테일러 준칙의 형태로 운용된다. 구체적으로, 통화정책 준칙은

$$\frac{I_{H,t}}{\bar{I}_H} = \left(\frac{I_{H,t-1}}{\bar{I}_H} \right)^{1-\rho_{I_H}} \left[\left(\frac{\left(\prod_{k=0}^3 \Pi_{WH,t-k} \right)^{1/4}}{\bar{\Pi}_{WH}} \right)^{\psi_{\Pi_{WH}}} \left(\frac{Y_{HW,t}}{\Gamma_{Z_G,t}} \frac{1}{\bar{y}_{HW}} \right)^{\psi_{Y_{HW}}} \right]^{\rho_{I_H}} \exp(\varepsilon_{i_H,t}),$$

와 같은 형태를 가진다. 여기서 \bar{I}_H 는 정상상태에서 기준금리의 값이다. 그리고 $Y_{HW,t}/\Gamma_{Z_G,t}$ 는 추세를 제거한 실질 GDP이며, \bar{y}_{HW} 는 정상상태에서 그 값이다. 한편 $\varepsilon_{i_H,t}$ 는 준칙으로 설명되지 않는 일시적 통화정책 충격을 의미하며, i.i.d. $\mathbb{N}(0, \sigma_{i_H}^2)$ 을 따른다. 모수 $0 \leq \rho_{I_H} < 1$ 는 통화정책이 기준금리를 점진적으로 조정하고자 하는 경향을 반영하며, $\psi_{\Pi_{WH}}$ 와 $\psi_{Y_{HW}}$ 는 각각 통화정책이 소비자물가 인플레이션 갭과 GDP 갭에 대응하는 정도를 나타낸다.

3.1.4 해외 경제

이 모형의 해외 경제는 한국 경제에서 개방경제 요소를 제거한 폐쇄경제 모형과 동일하게 구성되어 있다고 가정한다. 다만, 모형을 가급적 간단하게 유지하기 위해 해외 경제에 대해서는 내생적 자본 축적과 임금 경직성은 고려하지 않는다. 해외 경제의 구체적 형태는 부록에 자세히 설명하되, 여기서는 해외 경제에서 일어나는 HF-최종재에 대한 수요만 설명한다:

$$Y_{HF,t} = (\xi_{F,t}) \left(\frac{P_{HF,t}}{P_{WF,t}} \right)^{-\epsilon_{HF,t}^p} C_{WF,t}.$$

여기서 $\xi_{F,t}$ 는 한국의 대외 수출 비중이 지속적으로 변동하는 현상을 설명하기 위해 추가되었으며, $\log(\xi_{F,t})$ 가 다음과 같이 AR(1) 확률과정을 따른다고 가정한다:

$$\log(\xi_{F,t}) = (1 - \rho_{\xi_F}) \bar{\xi}_F + \rho_{\xi_F} \log(\xi_{F,t-1}) + \varepsilon_{\xi_F,t}.$$

여기서 $\bar{\xi}_F$ 는 $\xi_{F,t}$ 가 정상상태에서 가지는 값이고, $0 \leq \rho_{\xi_F} < 1$ 이며 $\varepsilon_{\xi_F,t} \sim \text{i.i.d. } \mathbb{N}(0, \sigma_{\xi_F}^2)$ 으로 가정한다. 그리고 $\epsilon_{HF,t}^p > 1$ 는 해외 가계가 가진 HF-최종재와 다른 재화 간 대체탄력성을 의미한다. 한편, $P_{WF,t}$ 는 해외에서 소비자물가지수이며, $C_{WF,t}$ 는 해외 가계의 최종소비이다. 소규모개방경제 가정에 따라 해외 가계의 최종소비는 GDP인 $Y_{FW,t}$ 와 같다고 두자: $C_{WF,t} = Y_{FW,t}$.

3.1.5 시장 청산조건

중간재에 대한 시장 청산조건은 명확하다. HH -최종재에 대해서는,

$$C_{HH,t} + X_{HH,t} + G_{HH,t} = Y_{HH,t},$$

와 같이 수요와 공급이 일치하여야 하며, FH -최종재에 대해서는,

$$C_{FH,t} + X_{FH,t} + G_{FH,t} = Y_{FH,t},$$

와 같이 수요와 공급이 일치하여야 한다. 한편 실질 GDP를 $Y_{HW,t}$, GDP 디플레이터를 $P_{HW,t}$ 라고 둘 때, 생산기준 GDP는 다음과 같이 구할 수 있다:

$$P_{HW,t}Y_{HW,t} = P_{HH,t}Y_{HH,t} + P_{HF,t}Y_{HF,t}.$$

한편, 지출기준을 이용하면 다음 관계가 성립한다:

$$P_{HW,t}Y_{HW,t} = P_{WH,t}(C_{WH,t} + X_{WH,t} + G_{WH,t}) + P_{HF,t}Y_{HF,t} - P_{FH,t}Y_{FH,t}.$$

노동서비스 j 에 대해 다음과 같이 수요와 공급이 일치하여야 한다:

$$\begin{aligned} N_{H,t}(j) &= \int_0^1 [L_{HH,t}(i, j) + L_{HF,t}(i, j)] di \\ &= \left(\frac{W_{H,t}(j)}{W_{H,t}} \right)^{-\epsilon_{H,t}^w} L_{H,t}. \end{aligned}$$

여기서

$$L_{H,t} = \int_0^1 (L_{HH,t}(i) + L_{HF,t}(i)) di,$$

는 노동서비스 총수요를 의미한다.

HH -중간재 생산기업과 HF -중간재 생산기업의 자본서비스 수요의 합을 각각

$$\begin{aligned} K_{HH,t} &= \int_0^1 K_{HH,t}(i) di, \\ K_{HF,t} &= \int_0^1 K_{HF,t}(i) di, \end{aligned}$$

라고 두면, 자본서비스에 대해 다음과 같이 수요와 공급이 일치하여야 한다:

$$K_{H,t} = K_{HH,t} + K_{HF,t}.$$

국내 및 해외 채권시장의 청산조건은 위 모형 설명에서 암묵적으로 가정하였다.

3.2 모형의 균형 및 정상상태

이 모형의 균형은 각종 가격과 수량 변수로 이루어 지는데, 특히 수량 변수는 가격이 주어졌을 때 가계가 효용을 극대화하고 기업이 이윤을 극대화하도록 하며, 균형에서 재화, 자본, 노동서비스, 국내 및 해외 채권의 수요와 공급이 일치하여야 한다.

본 연구는 우선 추세적 성장을 보이는 모든 변수를 글로벌 노동생산성 $Z_{G,t}$ 로 나누어 추세적 성장을 제거하여 안정화한 다음, 모형의 균형 조건을 정상상태를 기준으로 로그선형 근사(log-linear approximation)하여 추정 및 분석에 활용한다.⁶ 특히 정상상태에서 각 가격 혹은 물가지수의 상승률은 0 이라고 둔다. 자세한 정상상태를 구하는 과정은 부록에서 설명한다.

3.3 근사한 모형 균형식

로그선형 근사한 모형의 균형식은 다음과 같다. 임의의 변수 m_t 의 정상상태를 \bar{m} 이라고 둘 때, 정상상태와 실제 변수값의 로그편차(log-deviations from the steady state)를 $\hat{m}_t \equiv \log(m_t) - \log(\bar{m})$ 로 나타낸다. 다만, 대외자산 $b_{F,t}$ 에 대해서는 $\hat{b}_{F,t}$ 가 정상상태에 대한 단순 편차를 의미한다: $\hat{b}_{F,t} \equiv b_{F,t} - \bar{b}_F$.

1. HH-중간재 생산함수

$$\hat{y}_{HH,t} = \frac{\bar{Y}_{HH} + F_{HH}}{\bar{Y}_{HH}} \left[\hat{v}_{Z_H,t} + \alpha_H \hat{k}_{HH,t} + (1 - \alpha_H) \hat{l}_{HH,t} \right]$$

2. HF-중간재 생산함수

$$\hat{y}_{HF,t} = \frac{\bar{Y}_{HF} + F_{HF}}{\bar{Y}_{HF}} \left[\hat{v}_{Z_H,t} + \alpha_H \hat{k}_{HF,t} + (1 - \alpha_H) \hat{l}_{HF,t} \right]$$

3. HH-중간재 생산 시 자본-노동 비율

$$\hat{k}_{HH,t} - \hat{l}_{HH,t} = \hat{\omega}_{H,t} - \hat{r}_{H,t}^K$$

⁶다만, 대외자산 $b_{F,t}$ 는 단순 선형근사한다.

4. HF -중간재 생산 시 자본-노동 비율

$$\hat{k}_{HF,t} - \hat{l}_{HF,t} = \hat{\omega}_{H,t} - \hat{r}_{H,t}^K$$

5. 실질 한계생산비용

$$\hat{m}c_{H,t} = -\hat{v}_{Z_H,t} + (1 - \alpha_H) \hat{\omega}_{H,t} + \alpha_H \hat{r}_{H,t}^K$$

6. HH -최종재 가격 필립스곡선

$$\hat{\pi}_{HH,t} - \iota_{HH}^p \hat{\pi}_{HH,t-1} = \beta \mathbb{E}_t (\hat{\pi}_{HH,t+1} - \iota_{HH}^p \hat{\pi}_{HH,t}) + \kappa_{HH}^p (-\hat{p}_{HH,t} + \hat{m}c_{H,t}) + v_{\epsilon_{HH},t}^p$$

이때

$$\kappa_{HH}^p = \frac{\theta_{HH}^p (1 - \beta (1 - \theta_{HH}^p))}{1 - \theta_{HH}^p}.$$

7. HF -최종재 가격 필립스곡선

$$\hat{\pi}_{HF,t} - \iota_{HF}^p \hat{\pi}_{HF,t-1} = \beta \mathbb{E}_t (\hat{\pi}_{HF,t+1} - \iota_{HF}^p \hat{\pi}_{HF,t}) + \kappa_{HF}^p (-\hat{e}_t - \hat{p}_{HF,t} + \hat{m}c_{H,t}) + v_{\epsilon_{HF},t}^p$$

이때

$$\kappa_{HF}^p = \frac{\theta_{HF}^p (1 - \beta (1 - \theta_{HF}^p))}{1 - \theta_{HF}^p}.$$

8. FH -최종재 가격 필립스곡선

$$\hat{\pi}_{FH,t} - \iota_{FH}^p \hat{\pi}_{FH,t-1} = \beta \mathbb{E}_t (\hat{\pi}_{FH,t+1} - \iota_{FH}^p \hat{\pi}_{FH,t}) + \kappa_{FH}^p (-\hat{p}_{FH,t} + \hat{e}_t) + v_{\epsilon_{FH},t}^p$$

이때

$$\kappa_{FH}^p = \frac{\theta_{FH}^p (1 - \beta (1 - \theta_{FH}^p))}{1 - \theta_{FH}^p}.$$

9. 실질소득의 한계효용

$$\begin{aligned} \lambda_{H,t}^1 = & \frac{\bar{\Gamma}_{Z_G}}{\bar{\Gamma}_{Z_G} - h_H \beta} \left[v_{b_H,t} - \frac{\bar{\Gamma}_{Z_G}}{\bar{\Gamma}_{Z_G} - h_H} (\hat{c}_{WH,t}) + \frac{h_H}{\bar{\Gamma}_{Z_G} - h_H} (\hat{c}_{WH,t-1} - \hat{\gamma}_{Z_G,t}) \right] \\ & - \frac{h_H \beta}{\bar{\Gamma}_{Z_G} - h_H \beta} \mathbb{E}_t \left[v_{b_H,t+1} - \frac{\bar{\Gamma}_{Z_G}}{\bar{\Gamma}_{Z_G} - h_H} (\hat{c}_{WH,t+1} + \hat{\gamma}_{Z_G,t+1}) + \frac{h_H}{\bar{\Gamma}_{Z_G} - h_H} (\hat{c}_{WH,t}) \right] \end{aligned}$$

10. HH -최종재 소비지출 수요

$$\hat{c}_{HH,t} = -\frac{\bar{\xi}_H}{1 - \bar{\xi}_H} \hat{\xi}_{H,t} - \eta \hat{p}_{HH,t} + \left(\hat{c}_{WH,t} + \frac{\bar{k}_H}{\bar{c}_{WH}} \frac{\bar{r}_H^K}{\bar{\Pi}_{WH}} \hat{u}_{H,t} \right)$$

11. FH -최종재 소비지출 수요

$$\hat{c}_{FH,t} = \hat{\xi}_{H,t} - \eta \hat{p}_{FH,t} + \left(\hat{c}_{WH,t} + \frac{\bar{k}_H}{\bar{c}_{WH}} \frac{\bar{r}_H^K}{\bar{\Pi}_{WH}} \hat{u}_{H,t} \right)$$

12. HH -최종재 정부지출 수요

$$\hat{g}_{HH,t} = -\frac{\bar{\xi}_H}{1 - \bar{\xi}_H} \hat{\xi}_{H,t} - \eta \hat{p}_{HH,t} + \hat{g}_{WH,t}$$

13. FH -최종재 정부지출 수요

$$\hat{g}_{FH,t} = \hat{\xi}_{H,t} - \eta \hat{p}_{FH,t} + \hat{g}_{WH,t}$$

14. 소비자물가지수 집계

$$0 = (1 - \bar{\xi}_H) \hat{p}_{HH,t} + \bar{\xi}_H \hat{p}_{FH,t}$$

15. HH -최종재 투자지출 수요

$$\hat{x}_{HH,t} = -\frac{\bar{\xi}_H}{1 - \bar{\xi}_H} \hat{\xi}_{H,t} - \eta \hat{p}_{HH,t} + \hat{x}_{WH,t}$$

16. FH -최종재 투자지출 수요

$$\hat{x}_{FH,t} = \hat{\xi}_{H,t} - \eta \hat{p}_{FH,t} + \hat{x}_{WH,t}$$

17. 최적 투자지출 조건

$$\begin{aligned} \hat{q}_{H,t} + \hat{v}_{\mu,t} &= \mathcal{S}''(\bar{\Gamma}_{Z_G}) \cdot (\bar{\Gamma}_{Z_G})^2 (\hat{x}_{WH,t} - \hat{x}_{WH,t-1} + \hat{\gamma}_{Z_G,t}) \\ &\quad - \beta \mathbb{E}_t \mathcal{S}''(\bar{\Gamma}_{Z_G}) \cdot (\bar{\Gamma}_{Z_G})^2 (\hat{x}_{WH,t+1} - \hat{x}_{WH,t} + \hat{\gamma}_{Z_G,t+1}) \end{aligned}$$

여기서 $\hat{q}_{H,t}$ 는 Tobin's q를 의미한다.

18. 최적 물적자본 조건

$$\hat{q}_{H,t} = \mathbb{E}_t \left(\hat{\lambda}_{H,t+1}^1 - \hat{\lambda}_{H,t}^1 - \hat{\gamma}_{Z_G,t+1} \right) + \beta \left(\bar{\Gamma}_{Z_G} \right)^{-1} \mathbb{E}_t \left(\bar{r}_H^K \hat{r}_{H,t+1}^K + (1 - \delta) \hat{q}_{H,t+1} \right)$$

19. 최적 자본가동률 조건

$$\hat{r}_{H,t}^k = \frac{a''(1)}{a'(1)} \hat{u}_{H,t}$$

20. 물적자본 형성

$$\hat{k}_{H,t} = (1 - \delta) \left(\bar{\Gamma}_{Z_G} \right)^{-1} \left(\hat{k}_{H,t-1} - \hat{\gamma}_{Z_G,t} \right) + \left[1 - (1 - \delta) \left(\bar{\Gamma}_{Z_G} \right)^{-1} \right] (\hat{v}_{\mu_H,t} + \hat{x}_{WH,t})$$

21. 자본서비스

$$\hat{k}_{H,t} = \hat{u}_{H,t} + \hat{k}_{H,t-1} - \hat{\gamma}_{Z_G,t}$$

22. 국내 채권 최적 투자 (오일러 방정식)

$$\hat{\lambda}_{H,t}^1 = \mathbb{E}_t \hat{\lambda}_{H,t+1}^1 + \left(\hat{i}_{H,t} - \mathbb{E}_t \hat{\pi}_{WH,t+1} - \mathbb{E}_t \hat{\gamma}_{Z_G,t+1} \right)$$

23. 유위험 이자율 평형조건 (uncovered interest parity)

$$\hat{i}_{H,t} = \hat{i}_{F,t} - \phi_H \hat{b}_{F,t} + \hat{\varepsilon}_{\phi_H,t} + \mathbb{E}_t \hat{\gamma}_{\mathcal{E},t+1}$$

24. 대외자산 변동

$$\begin{aligned} & \frac{\bar{c}_{WH}}{\bar{y}_{HW}} \hat{c}_{WH,t} + \frac{\bar{x}_{WH}}{\bar{y}_{HW}} \hat{x}_{WH,t} + \frac{\bar{g}_{WH}}{\bar{y}_{HW}} \hat{g}_{WH,t} + \hat{b}_{F,t} + \bar{r}_H^K \frac{\bar{k}_H}{\bar{y}_{HW}} \hat{u}_{H,t} \\ & = \left(\frac{\bar{b}_F}{\bar{y}_{HW}} \right) \beta^{-1} \left(\hat{e}_t + \hat{i}_{F,t-1} - \phi_H \hat{b}_{F,t-1} + \hat{\varepsilon}_{\phi_H,t-1} - \hat{\pi}_{WH,t} - \hat{\gamma}_{Z_G,t} \right) + \beta^{-1} \hat{b}_{F,t-1} + (\hat{p}_{HW,t} + \hat{y}_{HW,t}) \end{aligned}$$

25. 실질 임금 결정식

$$\begin{aligned}\hat{\omega}_{H,t} = & \frac{\beta}{1+\beta} \mathbb{E}_t \hat{\omega}_{H,t+1} + \frac{1}{1+\beta} \hat{\omega}_{H,t-1} - \frac{\kappa_{\omega_H}}{(1+\beta)(1+\bar{\epsilon}_H^w \varphi_H)} \tilde{\omega}_{H,t} + v_{\omega_H,t} \\ & + \frac{\beta}{1+\beta} \mathbb{E}_t [(\hat{\pi}_{WH,t+1} - \iota_H^w \hat{\pi}_{WH,t}) + (\hat{\gamma}_{ZG,t+1} - \iota_H^w \hat{\gamma}_{ZG,t})] \\ & - \frac{1}{1+\beta} [(\hat{\pi}_{WH,t} - \iota_H^w \hat{\pi}_{WH,t-1}) + (\hat{\gamma}_{ZG,t} - \iota_H^w \hat{\gamma}_{ZG,t-1})]\end{aligned}$$

여기서

$$v_{\omega_H,t} = -\frac{\kappa_{\omega_H}}{(1+\beta)(1+\bar{\epsilon}_H^w \varphi_H)} \frac{1}{\bar{\epsilon}_H^w - 1} \hat{\epsilon}_{H,t}^w,$$

이며

$$\kappa_{\omega_H} = \frac{(1 - \theta_H^w)(1 - \beta \theta_H^w)}{\theta_H^w},$$

이다.

26. 한계대체율 갭 (marginal rate of substitution gap)

$$\tilde{\omega}_{H,t} = \hat{\omega}_{H,t} - \left(\varphi_H \hat{l}_{H,t} + \hat{b}_{H,t} - \hat{\lambda}_{H,t}^1 \right)$$

27. 자본 서비스 시장 청산조건

$$\hat{k}_{H,t} = \frac{\bar{k}_{HH}}{\bar{k}_H} \hat{k}_{HH,t} + \frac{\bar{k}_{HF}}{\bar{k}_H} \hat{k}_{HF,t}$$

28. 노동시장 청산조건

$$\hat{l}_{H,t} = \frac{\bar{L}_{HH}}{\bar{L}_H} \hat{l}_{HH,t} + \frac{\bar{L}_{HF}}{\bar{L}_H} \hat{l}_{HF,t}$$

29. HH-최종재 시장 청산조건

$$\frac{\bar{c}_{HH}}{\bar{y}_{HH}} \hat{c}_{HH,t} + \frac{\bar{x}_{HH}}{\bar{y}_{HH}} \hat{x}_{HH,t} + \frac{\bar{g}_{HH}}{\bar{y}_{HH}} \hat{g}_{HH,t} = \hat{y}_{HH,t}$$

30. FH-최종재 시장 청산조건

$$\frac{\bar{c}_{FH}}{\bar{y}_{FH}} \hat{c}_{FH,t} + \frac{\bar{x}_{FH}}{\bar{y}_{FH}} \hat{x}_{FH,t} + \frac{\bar{g}_{FH}}{\bar{y}_{FH}} \hat{g}_{FH,t} = \hat{y}_{FH,t}$$

31. HF -최종재 수요함수

$$\hat{y}_{HF,t} = \hat{\xi}_{F,t} - \eta \hat{p}_{HF,t} + \hat{y}_{FW,t}$$

32. 생산기준 GDP

$$\hat{p}_{HW,t} + \hat{y}_{HW,t} = \frac{\bar{y}_{HH}}{\bar{y}_{HW}} (\hat{p}_{HH,t} + \hat{y}_{HH,t}) + \frac{\bar{y}_{HF}}{\bar{y}_{HW}} (\hat{e}_t + \hat{p}_{HF,t} + \hat{y}_{HF,t})$$

33. 지출기준 GDP

$$\begin{aligned} \hat{p}_{HW,t} + \hat{y}_{HW,t} = & \frac{\bar{c}_{WH}}{\bar{y}_{HW}} \hat{c}_{WH,t} + \bar{r}_H^K \frac{\bar{k}_H}{\bar{y}_{HW}} \hat{u}_{H,t} + \frac{\bar{x}_{WH}}{\bar{y}_{HW}} \hat{x}_{WH,t} + \frac{\bar{g}_{WH}}{\bar{y}_{HW}} \hat{g}_{WH,t} \\ & + \frac{\bar{y}_{HF}}{\bar{y}_{HW}} (\hat{e}_t + \hat{p}_{HF,t} + \hat{y}_{HF,t}) - \frac{\bar{y}_{FH}}{\bar{y}_{HW}} (\hat{p}_{FH,t} + \hat{y}_{FH,t}) \end{aligned}$$

34. HH -최종재 상대가격

$$\hat{p}_{HH,t} - \hat{p}_{HH,t-1} = \hat{\pi}_{HH,t} - \hat{\pi}_{WH,t}$$

35. FH -최종재 상대가격

$$\hat{p}_{FH,t} - \hat{p}_{FH,t-1} = \hat{\pi}_{FH,t} - \hat{\pi}_{WH,t}$$

36. HF -최종재 상대가격

$$\hat{p}_{HF,t} - \hat{p}_{HF,t-1} = \hat{\pi}_{HF,t} - \hat{\pi}_{WH,t}$$

37. 국내 통화정책

$$\hat{i}_{H,t} = \rho_{i_H} \hat{i}_{H,t-1} + (1 - \rho_{i_H}) \left[\psi_{\pi_{WH}} \left(\frac{1}{4} \sum_{k=0}^3 \hat{\pi}_{WH,t-k} \right) + \psi_{y_{HW}} \hat{y}_{HW,t} \right] + \varepsilon_{i_H,t}$$

38. 국내 정부지출

$$\hat{g}_{WH,t} = \frac{1}{\bar{g}_H - 1} \hat{v}_{g_H,t} + \hat{y}_{HW,t}$$

39. 실질 환율

$$\hat{e}_t = \hat{e}_{t-1} + \hat{\gamma}_{\mathcal{E},t} + \hat{\pi}_{WF,t} - \hat{\pi}_{WH,t}$$

40. 해외 실질소득 한계효용

$$\lambda_{F,t}^1 = \frac{\bar{\Gamma}_{Z_G}}{\bar{\Gamma}_{Z_G} - h_F \beta} \left[v_{b_F,t} - \frac{\bar{\Gamma}_{Z_G}}{\bar{\Gamma}_{Z_G} - h_F} (\hat{y}_{FW,t}) + \frac{h_F}{\bar{\Gamma}_{Z_G} - h_F} (\hat{y}_{FW,t-1} - \hat{\gamma}_{Z_G,t}) \right] \\ - \frac{h_F \beta}{\bar{\Gamma}_{Z_G} - h_F \beta} \mathbb{E}_t \left[v_{b_F,t+1} - \frac{\bar{\Gamma}_{Z_G}}{\bar{\Gamma}_{Z_G} - h_F} (\hat{y}_{FW,t+1} + \hat{\gamma}_{Z_G,t+1}) + \frac{h_F}{\bar{\Gamma}_{Z_G} - h_F} (\hat{y}_{FW,t}) \right]$$

41. 해외 오일러 방정식

$$\hat{\lambda}_{F,t}^1 = \mathbb{E}_t \hat{\lambda}_{F,t+1}^1 + \left(\hat{i}_{F,t} - \mathbb{E}_t \hat{\pi}_{WF,t+1} - \mathbb{E}_t \hat{\gamma}_{Z_G,t+1} \right)$$

42. 해외 소비자물가 필립스곡선

$$\hat{\pi}_{WF,t} - \iota_{FF}^p \hat{\pi}_{WF,t-1} = \beta \mathbb{E}_t \left(\hat{\pi}_{WF,t+1} - \iota_{FF}^p \hat{\pi}_{WF,t} \right) \\ + \frac{\kappa_{FF}^p}{1 + \bar{\epsilon}_{FF}^p \varphi_F} \left[-\hat{\lambda}_{F,t}^1 - (1 + \varphi_F) \hat{v}_{Z_H,t} + \varphi_F \hat{y}_{FW,t} \right] + v_{\epsilon_{FF}^p,t}$$

이때

$$\kappa_{FF}^p = \frac{\theta_{FF}^p (1 - \beta (1 - \theta_{FF}^p))}{1 - \theta_{FF}^p}.$$

43. 해외 통화정책

$$\hat{i}_{F,t} = \rho_{i_F} \hat{i}_{F,t-1} + (1 - \rho_{i_F}) \left[\psi_{\pi_{WF}} \left(\frac{1}{4} \sum_{k=0}^3 \hat{\pi}_{WF,t-k} \right) + \psi_{y_{FW}} \hat{y}_{FW,t} \right] + \varepsilon_{i_F,t}$$

한편 자연금리 \hat{r}_t^n 는 가격 및 임금이 신축적이라고 가정하고 위의 균형식 중 6-8, 25, 37 를 삭제하고 22, 23, 26, 34-36를 아래와 같이 수정하여 구할 수 있다. 위첨자 n 은 자연금리 하 균형을 구성하는 변수를 의미한다.

22. 국내 채권 최적 투자 (오일러 방정식)

$$\hat{\lambda}_{H,t}^{1n} = \mathbb{E}_t \hat{\lambda}_{H,t+1}^{1n} + \left(\hat{r}_{H,t}^n - \mathbb{E}_t \hat{\gamma}_{Z_G,t+1} \right)$$

23. 유위험 이자율 평형조건

$$\hat{r}_{H,t}^n = \hat{i}_{F,t} - \mathbb{E}_t \hat{\pi}_{WF,t+1} - \phi_{b_F} \hat{b}_{F,t}^n + v_{\phi_H,t} + \mathbb{E}_t (e_{t+1}^n - e_t^n)$$

26. 한계대체율 겹

$$0 = \hat{\omega}_{H,t}^n - \left(\varphi_H \hat{l}_{H,t}^n + \hat{b}_{H,t}^n - \hat{\lambda}_{H,t}^{1n} \right)$$

34. HH -최종재 상대가격

$$\hat{p}_{HH,t}^n = \hat{m}c_{H,t}^n$$

35. FH -최종재 상대가격

$$\hat{p}_{FH,t}^n = \hat{e}_t^n$$

36. HF -최종재 상대가격

$$\hat{p}_{HF,t}^n = \hat{m}c_{H,t}^n - \hat{e}_t^n$$

4 베이지안 추정

본 연구는 위에서 설명한 뉴케인지안 DSGE 모형의 근사 균형식을 바탕으로 상태공간모형을 수립하고 자료를 이용해 모형의 모수를 추정한다. 아래에서는 추정에 사용한 자료와 구체적인 추정 방법을 설명한다.

4.1 자료 설명

먼저 한국 경제의 자료는 GDP, 최종 민간소비지출, 투자지출(총자본형성), 재화와 서비스의 수출 및 수입으로 구성된 수량 변수와 소비자물가지수, 수출 및 수입가격지수, 원달러 환율, 무담보 콜금리로 구성된 가격 변수를 포함한다. 환율은 한국의 수출입 기업이 대부분 미국 달러화 기준으로 결제하는 점과 한국의 국제 금융거래가 미국 달러화 기준으로 이루어 지는 점을 고려해 미국 달러화 대비 한국 원화의 환율을 사용한다. 수량 변수는 모두 실질이며 한국의 전연령 인구수로 나누어 1인당 값으로 변환한다. 수량 변수와 가격변수 모두 로그차분하여 증가율로 변환하여 추정에 투입하며, 소비자물가지수 상승률과 무담보 콜금리는 관례에 따라 연율(annualized rates)을 사용한다. 자료의 출처는 모두 한국은행 ECOS이다.

해외 경제의 자료는 GDP, 소비자물가지수, 금리로 구성된다. GDP와 소비자 물가지수는 현실적으로 전체 해외 경제의 자료를 구할 수 없어 무역(수출 및 수입) 비중이 높은 상위 10개국 중 자료가 충분하지 않은 사우디아라비아와 베트남을 제외한 8개국의 자료를 PPP기준 GDP로 가중평균하여 사용한다. 해외 경제를 구성하는 8개국은 중국, 미국, 일본, 홍콩, 대만, 독일, 호주, 싱가포르이다. 한편 해외 금리는 한국의 국제 금융거래에서 차지하는 비중과 전세계 경제에 미치는 영향을 고려해 미국의 기준금리인 FFR (federal funds rates)을 사용한다. GDP는 실질이며 각국 별로 인구로 나누어 1인당 값으로 변환한 다음 가중평균하여

해외 경제 GDP를 구한다. GDP와 소비자물가지수 모두 로그차분하여 증가율로 변환하여 추정에 투입하며, 소비자물가지수 상승률과 FFR은 관례에 따라 연율(annualized rates)을 사용한다. 자료의 출처는 OECD 및 미국 St Louis 연준은행에서 관리하는 FRED 이다. 다만 중국 자료는 Atlanta 연방준비은행에서 제공하는 중국 거시경제 자료를 사용한다.⁷

표본기간은 한국은행이 물가안정목표제를 도입한 이후인 2000년 1분기부터 코로나19 대유행이 시작되기 전인 2019년 4분기로 한다.

4.2 베이지안 추정 방법

모형의 균형식을 바탕으로 상태공간모형을 구성한 후 칼만 필터(Kalman filter)를 이용해 우도(likelihood)를 계산할 수 있다. 본 연구는 모수에 대한 사전분포를 우도와 결합해 사후분포를 추정하고 각종 분석에 활용하는 베이지안 추정방법을 이용한다. 사후분포의 정확한 형태를 알 수 없으므로 본 연구는 random-walk Metropolis 알고리즘을 이용하여 MCMC (Markov chain Monte Carlo) 시뮬레이션을 수행하여 모수의 사후분포를 추정한다. 구체적으로, 3개의 Markov 체인을 생성하는데, 각 체인별로 1백만 개의 표본을 생성하되 초반 50%의 표본은 버린다. 결과적으로 총 150만개의 표본을 이용하여 추정을 수행한다. MCMC 시뮬레이션이 참분포로 수렴하는지는 다양한 통계량을 이용하여 확인하였다.

4.3 베이지안 추정 결과: 사전분포와 사후분포

모형의 각 모수의 사전분포는 선행연구와 자료의 특성을 참고하여 설정하였다. 설정한 사전분포와 MCMC 시뮬레이션으로 추정한 사후분포는 부록의 표 3에 보고되어 있다. 사후분포는 대체로 선행연구에서 얻은 추정치와 유사하다.

5 자연금리 추정 결과 및 변동요인 분석

<그림 1>은 자연금리 추정치를 실질금리와 비교하여 보고한다. 실질금리는 Laubach and Williams (2003)를 따라 AR(3) 모형으로 기대 인플레이션을 추정한 다음, 이를 명목금리에서 빼서 구하였다. 그림에서 실질금리가 자연금리보다 높으면 통화정책이 긴축적이고 낮으면 통화정책이 완화적임을 시사한다.⁸ 실질금리는 자연금리를 대체로 가깝게 추적하고 있지만, 일부 시기에는 자연금리와 크게 괴리되는 모습을 볼 수 있다. 특히

⁷China's Macroeconomy: Time Series Data (<https://www.atlantafed.org/cqer/research/china-macroeconomy>). Chang, Chen, Waggoner and Zha (2016)은 미국 등 다른 선진국의 거시경제 자료 정의에 가급적 부합하도록 중국 거시경제 자료를 정리하여 중국의 경기변동에서 연구하였다. 이후 같은 방법으로 중국 자료를 작성하여 계속 갱신해서 제공하고 있다.

⁸다만 이 모형은 경제에서 중요한 역할을 하는 금융부문이나 고용과 같은 요소들을 현실과 부합하는 수준으로 다루고 있지 않기 때문에 추정된 자연금리 수준을 그대로 실질금리와 비교하는데 유의하여야 한다.

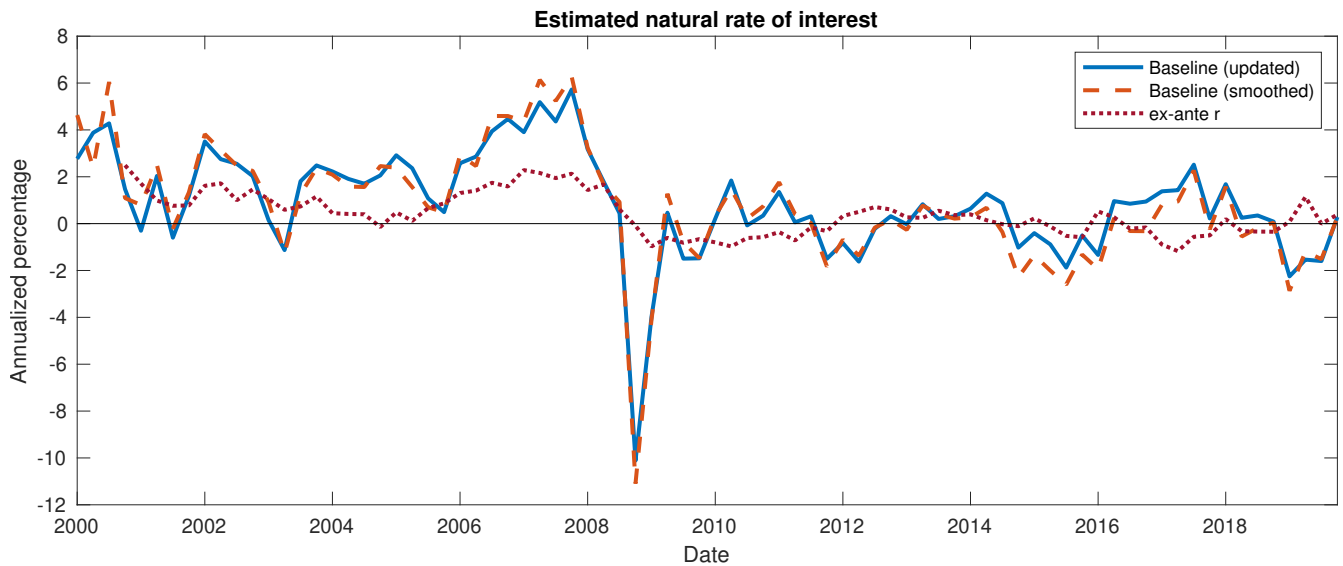


Figure 1: 자연금리 추정치와 실질금리

주: Updated estimates와 smoothed estimates는 각각 매시점까지의 자료만 이용하여 얻은 자연금리 필터 추정치 (filtered estimates)와 전체 표본의 자료를 모두 이용하여 얻은 자연금리 스무딩 추정치를 나타낸다. 실질금리(ex-ante r)는 모형의 명목금리에서 AR(3) 모형으로 예측한 기대 인플레이션(expected inflation)을 제하여 얻었다.

2008년 글로벌 금융위기 직전 한국과 미국에서 기준금리가 상향 조정되던 시기에는 실질금리가 자연금리를 크게 하회하고 있다. 그리고 2008년 4분기 금융위기가 정점에 이르렀을 때는 실질금리에 비해 자연금리가 급락하는데, 이는 당시 국제적인 미국 달러 및 자산 선호현상으로 원달러 환율이 급격히 평가절하됨에 따라 모형에서 큰 폭의 부의 위험 프리미엄 충격이 발생하기 때문이다. 본 연구에서 사용하는 모형이 환율에서 이러한 규모의 일회성 변동을 제대로 설명할 수 없기 때문에 당시 환율의 변동이 위험 프리미엄 충격으로 잡혔다고 할 수 있다. 따라서 환율 변동에서 나타날 수 있는 큰 폭의 일회성 변동을 설명하기 위해 후속 연구에서 모형을 개선할 필요성이 제기된다.

자연금리의 변동에 대한 분산분해(variance decomposition) 결과는 <표 1>에 정리되어 있다. 자연금리의 변동은 대부분 국내 생산성 충격과 위험 프리미엄 충격에 의해 발생하며, 그 외에 FH -최종재의 국내 소비바스켓 비중(수입 비중)과 HF -최종재의 해외 소비바스켓 비중(수출 비중)도 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 단기에 해외 충격의 비중이 1.29% 정도로 미미하였으나 빠르게 상승하여 장기까지 대체로 25% 내외의 자연금리 변동을 설명하는 것으로 나타났다.

한편, 모형의 각종 충격이 자연금리 변동에 미치는 영향은 <그림 2>에서도 확인할 수 있다. 이 그림은 매 시점마다 각 구조적 충격이 자연금리의 변동에 미친 영향의 크기와 방향을 분해하여 보여준다. <그림 2>에서 2008년 4분기 자연금리의 급락이 위험 프리미엄 충격에 의한 것임을 확인할 수 있다.

비효율적인 비용충격(cost-push shocks)이 없는 폐쇄경제 뉴케인지안 DSGE 모형에서는 중앙은행이 자연금리를 추적함으로써 생산량 갭과 인플레이션 갭을 동시에 안정시킬 수 있음이 잘 알려져 있다. Barsky,

Table 1: 자연금리 분산분해: 주요 충격 (%)

분기	글로벌 노동생산성	생산성	수요	국내			해외	국내충격	해외충격
	$\varepsilon_{ZG,t}$	$\varepsilon_{ZH,t}$	$\varepsilon_{bH,t}$	수입비중	위험 프리미엄	투자	수출비중	합계	합계
1	6.55	33.63	4.16	12.55	17.46	8.85	14.22	1.29	98.71
4	5.75	28.41	5	13.82	14.6	13.35	15.7	23.73	76.27
8	5.52	27.06	5.22	14.16	14.13	14.16	16.07	24.24	75.76
12	5.49	26.72	5.21	14.28	13.99	14.07	16.17	24.71	75.29
20	5.47	26.53	5.19	14.42	13.92	13.98	16.28	24.96	75.05
40	5.54	26.23	5.17	14.53	14.02	13.97	16.34	25.08	74.92
∞	5.96	25.5	5.16	14.14	15.59	13.58	15.89	25.01	74.99

주: 자연금리의 h -분기 예측오차의 분산 분해 결과이다. 마지막 행은 무조건부 분산 분해 결과를 보고한다. 무조건부 분산 분해 기준으로 주요 7개 충격과 국내 충격 및 해외 충격 전체에 대해서만 결과를 보고한다. 국내충격은 국내 생산성, 수요, 수입비중, HH -최종재 비용, FH -최종재 비용, 임금, 투자, 통화정책, 정부지출, 위험 프리미엄, 시변 인플레이션 목표 충격을 포함하며 해외충격은 글로벌 노동생산성, 수출비중, HF -최종재 비용, 해외 시변 인플레이션 목표, 생산성, 수요, FF -최종재 비용, 통화정책 충격을 포함한다.

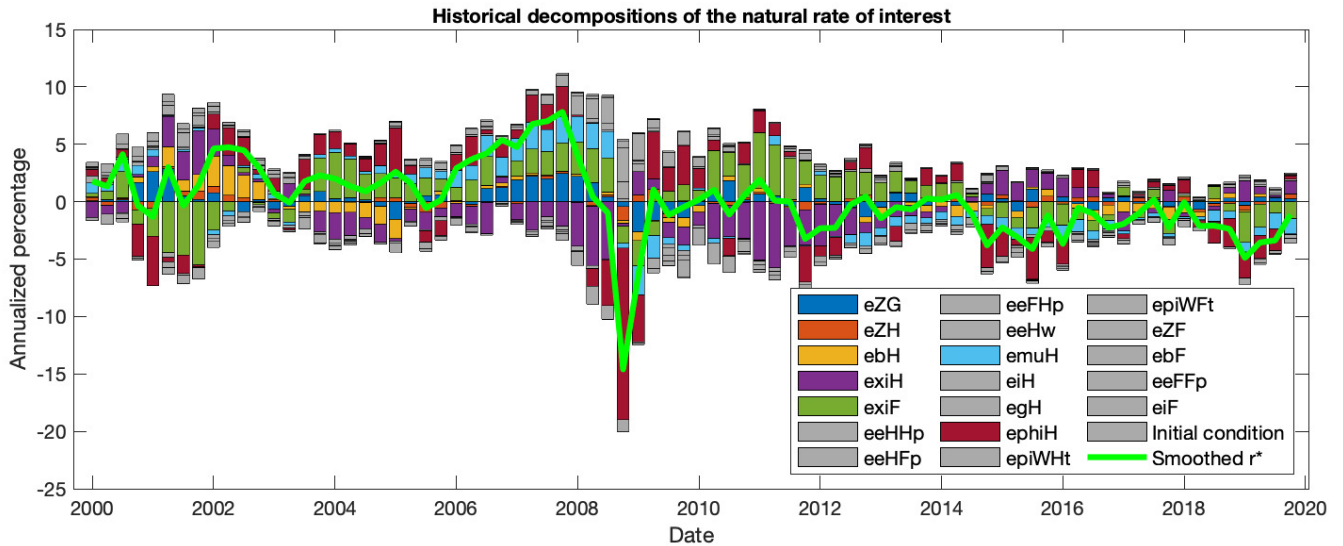


Figure 2: 자연금리의 역사적 분해

주: 이 그림은 표본기간 중 매 시점마다 구조적 충격이 자연금리의 변동에 미친 영향을 분해하여 보여준다. 가독성을 위해 자연금리의 변동에 영향을 미치는 비중이 높은 7개의 충격에 대해서만 색칠을 하였다. 실선은 자연금리 추정치인데, 이 그림에는 자연금리의 평균이 조정되지 않아 그림 1의 값과 수준 차이가 발생한다.

Justiniano and Melosi (2014)는 비용충격을 고려하더라도 중앙은행이 자연금리를 추적하면 생산량 갭과 인플레이션 갭을 완전히는 아니더라도 상당히 줄일 수 있음을 밝혔다. 그러나 개방경제에서는 해외에서 유래하는 각종 경제적 충격이 경기변동을 초래할 수 있기 때문에 중앙은행이 자연금리를 추적하더라도 생산량 갭과 인플레이션 갭을 안정시키지 못하며, 오히려 생산량 갭과 인플레이션 변동을 크게 하는 역효과를 낼 수도 있다. <표 2>는 여러 역사실적 실험(counterfactual experiments)을 통해 개방경제에서 자연금리를 추적하는 통화정책이 얻을 수 있는 성과에 대해 정리하고 있다.

먼저, <역사실적 실험 1>에서는 Barsky, Justiniano and Melosi (2014)를 따라 한국은행이 자연금리를 1:1로 추적한다고 가정하고 주요 경제변수의 변동성을 구하였다.⁹ 표에서 볼 수 있듯이 자연금리를 추적하는 경우, 추정된 기본 금리준칙에서 얻어지는 변동성과 비교해, 생산량, 생산량 갭과 인플레이션 갭 모두 변동성이 커진다. 당기의 소비자물가 인플레이션이 아니라 <역사실적 실험 2>에서와 같이 기대 소비자물가 인플레이션에 대응하는 경우 생산량 갭의 변동성은 크게 늘어나는 반면 소비자물가 인플레이션의 변동은 거의 영향이 없었다. 한편 소비자물가 인플레이션에 대한 대응 정도를 높이고 자연금리 추정 정도를 조정한 <역사실적 실험 3-5>에서는 소비자물가 인플레이션의 변동성은 줄일 수 있지만 생산량과 생산량 갭의 변동성이 모두 커지는 것으로 나타났다. 마지막으로, <역사실적 실험 6>에서는 추정된 금리준칙에 자연금리를 추가하는 경우를 고려하였다. 그 결과 생산량 갭과 소비자물가 변동성이 소폭이기는 하지만 모두 줄었다.

이러한 역사실적 실험의 결과를 종합하면, 폐쇄경제와 달리 개방경제에서는 자연금리를 그대로 추적하면 해외에서 도래하는 충격에 제대로 대응하지 못하기 때문에 오히려 생산량 갭과 인플레이션 갭 안정을 달성하기 어려웠다. 그러나 <역사실적 실험 6>에서 볼 수 있듯이 생산량 갭과 인플레이션 갭에 대응하면서 자연금리도 추적하는 경우 해외에서 도래하는 충격에도 동시에 대응할 수 있기 때문에 경제를 보다 안정화시킬 수 있었다. <역사실적 실험 6>에서 자연금리, 인플레이션 갭, 생산량 갭에 대응하는 정도(계수)를 적절하게 조정한다면 경제를 더욱 안정시킬 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

- 김민수·박양수 (2013). “소규모 개방경제의 특성을 고려한 중립적 실질금리 추정 및 변동요인 분석,” 경제분석, 19(4).
- 배병호 (2014). “경제전망 및 정책분석을 위한 New BOK-DSGE 모형 구축 결과”, 한국은행 조사통계월보, 2014년 5월호.

⁹ 소비자물가 인플레이션 앞의 계수 1.0001은 테일러원칙(Taylor principle)을 만족하여 모형의 균형결정성을 담보하기 위해 추가하였다.

Table 2: 자연금리 추적 가상 금리준칙 하 주요변수의 무조건부 표준편차

실험	가상 이자율 준칙	생산량	생산량 겹	소비자물가 인플레이션	명목금리
1	$\hat{i}_{H,t} = \hat{r}_{H,t}^n + 1.0001 \times (\hat{\pi}_{WH,t})$	1.24	1.06	1.37	1.00
2	$\hat{i}_{H,t} = \hat{r}_{H,t}^n + 1.0001 \times \mathbb{E}_t(\hat{\pi}_{WH,t+1})$	1.27	1.17	1.00	1.00
3	$\hat{i}_{H,t} = \hat{r}_{H,t}^n + 3 \times (\hat{\pi}_{WH,t} - \bar{\pi}_{WH,t})$	1.53	1.45	0.79	1.00
4	$\hat{i}_{H,t} = 0.5 \times \hat{r}_{H,t}^n + 3 \times (\hat{\pi}_{WH,t} - \bar{\pi}_{WH,t})$	1.58	1.52	0.79	1.00
5	$\hat{i}_{H,t} = 3 \times \hat{r}_{H,t}^n + 3 \times (\hat{\pi}_{WH,t} - \bar{\pi}_{WH,t})$	1.43	1.39	0.80	1.00
6	$\hat{i}_{H,t} = 0.90\hat{i}_{H,t-1} + (1 - 0.90)(\hat{r}_{H,t}^n + 1.50\hat{\pi}_{WH,t} + 0.33\hat{y}_{HW,t})$	0.98	0.96	0.93	1.00

주: 추정된 기본 금리준칙에서 얻어지는 주요 변수의 무조건부 표준편차 대비 비율이다. 역사실적 실험에서는 자료의 지속적 추세를 설명하기 위해 포함된 수입비중, 수출비중, 시변 인플레이션 목표 충격은 고려하지 않았다. 기본 금리준칙 하에서의 변동성도 해당 충격은 없다고 가정하고 다시 계산하였다.

오형석 (2014). “칼만필터를 이용한 우리나라의 중립금리 추정,” *금융연구*, 28(1).

이재준·배진호 (2015). “위기 이후 통화정책의 방향 및 시사점: 자연이자율 하락을 중심으로,” *KDI 정책연구시리즈*, 2015-15.

조성훈 (2020). “자연이자율, 잠재성장률과 장기 통화정책기조,” *Journal of Economic Theory and Econometrics*, 31(2).

Adolfson, Laseen, Linde, and Villani (2007). “Bayesian estimation of an open economy DSGE model with incomplete pass-through,” *Journal of International Economics*, 72(2).

Barsky, Justiniano and Melosi (2014). “The Natural Rate of Interest and Its Usefulness for Monetary Policy,” *American Economic Review: Papers and Proceedings*, 104(5).

Calvo (1983). “Staggered Prices in a Utility-Maximizing Framework,” *Journal of Monetary Economics*, 12(3).

Chang, Chen, Waggoner and Zha (2016). “Trends and Cycles in China’s Macroeconomy,” in *NBER Macroeconomics Annual 2015* edited by Eichenbaum and Parker, 30.

Gali and Monacelli (2005). “Monetary Policy and Exchange Rate Volatility in a Small Open Economy,” *Review of Economic Studies*, 72(3).

Holston, Laubach and Williams (2017). “Measuring the Natural Rate of Interest: International Trends and Determinants,” *Journal of International Economics*, 108.

Justiniano and Preston (2010). “Monetary Policy and Uncertainty in an Empirical Small Open-Economy Model,” *Journal of Applied Econometrics*, 25(1).

Laubach and Williams (2003). “Measuring the Natural Rate of Interest,” *Review of Economics and Statistics*, 85(4).

Lubik and Matthes (2015). “Calculating the Natural Rate of Interest: A Comparison of Two Alternative

Approaches,” *Richmond Fed Economic Brief*, October.

Lubik and Schorfheide (2007). “Do Central Banks Respond to Exchange Rate Movements? A Structural Investigation,” *Journal of Monetary Economics*, 54(4).

Monacelli (2005). “Monetary Policy in a Low Pass-Through Environment,” *Journal of Money, Credit and Banking*, 37(6).

Yellen (2017). “The Economic Outlook and the Conduct of Monetary Policy,” Remarks at Stanford Institute for Economic Policy Research.

Yun (1996). “Nominal price rigidity, money supply endogeneity, and business cycles,” *Journal of Monetary Economics*, 37(2-3).

A 추정된 모수의 사후분포

Table 3: 모수의 사전분포와 사후분포

모수	사전분포				사후분포	
	종류	평균	표준편차	최빈값	평균	90% HPD 구간
$100 \times (\beta^{-1} - 1)$	gamm	0.25	0.1	0.1684	0.1594	[0.0912, 0.2222]
$100 \times \log(\bar{\gamma}_{Z_G})$	norm	0.81	0.1	0.8005	0.8368	[0.7557, 0.9191]
ρ_{Z_G}	beta	0.6	0.15	0.5514	0.5599	[0.3946, 0.7203]
α_H	beta	0.3	0.05	0.2743	0.2701	[0.2559, 0.2835]
ι_{HH}^p	beta	0.6	0.15	0.5742	0.5222	[0.2956, 0.735]
ι_{HF}^p	beta	0.6	0.15	0.3487	0.3481	[0.1405, 0.551]
ι_{FH}^p	beta	0.6	0.15	0.311	0.3804	[0.1682, 0.5908]
$\bar{\epsilon}_{HH}^p - 1$	gamm	9	0.5	8.8172	8.8093	[7.9722, 9.6596]
$\bar{\epsilon}_H^w - 1$	gamm	9	0.5	8.4578	8.8467	[8.1465, 9.536]
θ_{HH}^p	beta	0.6	0.15	0.6064	0.4464	[0.0483, 0.7438]
θ_{HF}^p	beta	0.6	0.15	0.4834	0.5271	[0.4143, 0.6459]
θ_{FH}^p	beta	0.6	0.15	0.0546	0.1253	[0.0233, 0.2228]
θ_H^w	beta	0.6	0.15	0.2188	0.3573	[0.1242, 0.572]
h_H	beta	0.6	0.15	0.6533	0.6478	[0.5476, 0.7513]
η	gamm	1	0.1	0.5103	0.5348	[0.4888, 0.5804]
φ_H	gamm	2	0.3	1.8069	2.0394	[1.6227, 2.4362]
$a''(1)/a'(1)$	gamm	5	1	5.6391	5.2225	[3.7221, 6.7325]
$\mathcal{S}''(\bar{\Gamma}_{Z_G})$	gamm	4	1	4.2475	4.3577	[2.9881, 5.7233]
ϕ_H	gamm	0.01	0.005	0.0072	0.0064	[0.0014, 0.0114]
ρ_{i_H}	beta	0.6	0.15	0.8874	0.8999	[0.8673, 0.9345]
$\psi_{\pi_{WH}}$	gamm	2	0.3	1.3438	1.501	[1.2183, 1.7991]
$\psi_{y_{HW}}$	gamm	0.15	0.05	0.2657	0.325	[0.2521, 0.3922]
ρ_{Z_H}	beta	0.6	0.15	0.5112	0.5382	[0.3145, 0.7635]
ρ_{b_H}	beta	0.6	0.15	0.7357	0.7003	[0.5198, 0.8881]
$\rho_{\epsilon_{HH}^p}$	beta	0.6	0.15	0.8175	0.6818	[0.4432, 0.8826]
$\rho_{\epsilon_{HF}^p}$	beta	0.6	0.15	0.8276	0.8146	[0.7196, 0.9123]
$\rho_{\epsilon_{FP}^p}$	beta	0.6	0.15	0.3636	0.4509	[0.1822, 0.7333]
$\rho_{\epsilon_H^w}$	beta	0.6	0.15	0.6574	0.5584	[0.3323, 0.8024]
ρ_{μ_H}	beta	0.6	0.15	0.3124	0.3095	[0.1847, 0.435]
ρ_{g_H}	beta	0.6	0.15	0.6432	0.6699	[0.4616, 0.8567]
ρ_{ξ_H}	beta	0.9	0.05	0.9532	0.9426	[0.9194, 0.9673]
ρ_{ϕ_H}	beta	0.6	0.15	0.7112	0.6615	[0.5262, 0.7945]
$\zeta_{\epsilon_{HH}^p}$	beta	0.5	0.2	0.4207	0.3658	[0.0251, 0.6624]
$\zeta_{\epsilon_{HF}^p}$	beta	0.5	0.2	0.349	0.4459	[0.2713, 0.6135]
$\zeta_{\epsilon_{FH}^p}$	beta	0.5	0.2	0.4091	0.3972	[0.1499, 0.6474]
h_F	beta	0.6	0.15	0.9044	0.916	[0.8797, 0.9541]
φ_F	gamm	2	0.3	2.3239	2.5912	[2.1799, 2.9954]
ι_{FF}^p	beta	0.6	0.15	0.7253	0.7162	[0.5454, 0.8986]
θ_{FF}^p	beta	0.6	0.15	0.7655	0.64	[0.4939, 0.7937]
ρ_{i_F}	beta	0.6	0.15	0.8764	0.8929	[0.8617, 0.9238]
$\psi_{\pi_{WF}}$	gamm	2	0.3	1.7046	1.8107	[1.4509, 2.1548]
$\psi_{y_{FW}}$	gamm	0.15	0.05	0.1529	0.1372	[0.084, 0.1912]
$\zeta_{\epsilon_{FF}^p}$	beta	0.5	0.2	0.1686	0.2012	[0.086, 0.317]
ρ_{Z_F}	beta	0.6	0.15	0.5075	0.5216	[0.3218, 0.7366]

Table 4: 모수의 사전분포와 사후분포 (계속)

모수	사전분포				사후분포	
	종류	평균	표준편차	최빈값	평균	90% HPD 구간
ρ_{b_F}	beta	0.6	0.15	0.6839	0.7032	[0.603, 0.8039]
$\rho_{\epsilon_{FF}^p}$	beta	0.6	0.15	0.6204	0.4252	[0.2022, 0.6521]
ρ_{ξ_F}	beta	0.9	0.05	0.952	0.9371	[0.9097, 0.9659]
m_{KORGDP_g}	norm	0.05	0.05	0.0175	0.0231	[-0.0127, 0.06]
m_{KORC_g}	norm	0.64	0.1	0.5904	0.5559	[0.451, 0.6591]
m_{KORX_g}	norm	0.74	0.1	0.7928	0.8337	[0.7283, 0.933]
$m_{KORCPIINFGAP}$	norm	-0.43	0.1	-0.5155	-0.5003	[-0.6432, -0.3569]
m_{KORI}	norm	3.07	0.1	3.2041	3.1426	[2.9726, 3.3137]
m_{KOREXP_g}	norm	1.64	0.1	1.5767	1.6687	[1.5449, 1.7953]
m_{KORIMP_g}	norm	1.42	0.1	1.4325	1.413	[1.2918, 1.5387]
m_{KORUSD_g}	norm	0	0.1	0.0113	-0.0013	[-0.1247, 0.1155]
$m_{KOREXPINF}$	norm	-1.59	0.1	-1.4979	-1.5849	[-1.7216, -1.4417]
$m_{KORIMPINF}$	norm	1.75	0.1	1.7707	1.75	[1.6044, 1.9045]
$m_{ROWCPIINF}$	norm	1.83	0.1	1.7391	1.7886	[1.6445, 1.9391]
m_{ROWI}	norm	1.78	0.1	1.8833	1.8293	[1.6804, 1.9749]
σ_{Z_G}	inv	1	1	0.4822	0.4834	[0.307, 0.6526]
σ_{Z_H}	inv	1	1	0.5211	0.8876	[0.2921, 1.7954]
σ_{b_H}	inv	1	1	2.0303	1.9666	[0.9897, 2.9512]
σ_{ξ_H}	inv	1	1	3.7857	3.9629	[3.4566, 4.4504]
$\sigma_{\epsilon_{HH}^p}$	inv	2	2	3.2454	3.097	[1.7459, 4.7355]
$\sigma_{\epsilon_{HF}^p}$	inv	2	2	3.1417	3.4921	[2.1799, 4.7983]
$\sigma_{\epsilon_{FH}^p}$	inv	2	2	3.0234	3.5623	[2.2574, 4.652]
$\sigma_{\epsilon_H^w}$	inv	1	1	0.6739	0.9684	[0.3177, 1.6686]
σ_{μ_H}	inv	5	5	19.7499	20.2768	[13.2441, 26.6469]
σ_{i_H}	inv	0.1	0.5	0.0574	0.0587	[0.0488, 0.0684]
σ_{g_H}	inv	1	1	0.3176	0.321	[0.2729, 0.3689]
σ_{ϕ_H}	inv	1	1	2.0509	1.7058	[1.0297, 2.3577]
σ_{Z_F}	inv	1	1	0.5965	0.895	[0.3573, 1.4661]
σ_{b_F}	inv	1	1	4.9897	5.9414	[3.9643, 7.8005]
σ_{ξ_F}	inv	1	1	3.6538	3.8611	[3.3297, 4.3741]
$\sigma_{\epsilon_{FF}^p}$	inv	2	2	0.4824	0.5061	[0.4109, 0.5985]
σ_{i_F}	inv	0.1	0.5	0.1003	0.1042	[0.0885, 0.1192]
$\sigma_{\tilde{\pi}_{WH,t}}$	inv	0.1	0.5	0.0354	0.0446	[0.0246, 0.065]
$\sigma_{\tilde{\pi}_{WF,t}}$	inv	0.1	0.5	0.0298	0.0359	[0.0225, 0.0489]
$\text{corr}(\varepsilon_{\phi_H,t}, \varepsilon_{Z_G,t})$	beta	0	0.3	0.0497	-0.1013	[-0.3802, 0.1828]
$\text{corr}(\varepsilon_{\phi_H,t}, \varepsilon_{Z_H,t})$	beta	0	0.3	-0.1823	-0.0331	[-0.4469, 0.362]
$\text{corr}(\varepsilon_{\phi_H,t}, \varepsilon_{b_H,t})$	beta	0	0.3	-0.2402	-0.0591	[-0.3725, 0.2529]
$\text{corr}(\varepsilon_{\phi_H,t}, \varepsilon_{\mu_H,t})$	beta	0	0.3	0.0796	0.2079	[-0.0006, 0.4201]
$\text{corr}(\varepsilon_{\phi_H,t}, \varepsilon_{i_H,t})$	beta	0	0.3	-0.1738	-0.0848	[-0.287, 0.1094]
$\text{corr}(\varepsilon_{\phi_H,t}, \varepsilon_{Z_F,t})$	beta	0	0.3	-0.6634	-0.5371	[-0.8209, -0.27]
$\text{corr}(\varepsilon_{\phi_H,t}, \varepsilon_{b_F,t})$	beta	0	0.3	0.3687	0.3911	[0.2091, 0.5787]
$\text{corr}(\varepsilon_{\phi_H,t}, \varepsilon_{i_F,t})$	beta	0	0.3	0.1132	0.0455	[-0.1447, 0.2453]