

연구개발투자의 경기변동성 분석과
재정준칙 수립방안 연구
Business Cycles of R&D investment in Korea

아주대학교산학협력단

김 태 봉

한국과학기술기획평가원

제 출 문

한국과학기술기획평가원 원장 귀하

본 보고서를 “연구개발투자의 경기변동성 분석과 재정준칙 수립방안 연구”의 최종보고서로 제출합니다.

2020 . 10 . 30 .

연구기관명 : 아주대학교산학협력단
연구책임자 : 김태봉 아주대학교경제학과 교수
공동연구원 : 김현학 국민대학교경제학과 교수
연 구 원 : 김난숙 아주대학교 전임연구원
연 구 원 : 문익현 아주대심리학과 박사과정
연 구 원 : 류창현 아주대경제학과 석사과정
자문 위원 : 김현욱 KDI 국제정책대학원 교수
자문 위원 : 고동환 KISDI 부연구위원

요 약 문

I. 제 목

연구개발투자의 경기변동성 분석과 재정준칙 수립방안 연구

II. 연구개발의 필요성 및 목표

한 국가의 장기적인 성장은 생산요소의 적절한 배분이 이루어져야함과 동시에 기술혁신 등 생산성 확보를 통한 잠재성장의 제고에 의해서 결정된다. 추격성장 단계에서의 경제는 주로 노동과 자본과 같은 생산요소 투입 증대로 고성장을 실현시킬 수 있으나, 선진국 수준의 소득에 도달한 경제는 한계생산의 체감으로 인해 생산성의 증가 없이는 안정적인 성장을 경험할 수 없게 된다. Romer (1990)와 Jones (1995) 등 내생성장이론 논문들은 생산성 확보가 결국 지속적인 연구개발투자(Research and Development)을 통해서 가능하다는 점을 거시 구조 이론 모형을 통해서 보여주었다. 우리나라 경제도 저성장 국면으로 이행해가는 과정에서 기술 혁신 등 연구개발투자에 대한 중요성은 어느 때보다도 높아지고 있음을 알 수 있다. 특히, 우리나라의 연구개발 활동조사에 따르면 GDP대비 연구개발투자 비중이 0.3%에 불과했던 1970년 당시에 비해 2018년에는 무려 4.5%로 높아져, 연구개발투자의 중요성은 통계 지표에서도 확인될 수 있다. 다만, OECD 선진국과 비교해서도 가장 높은 GDP 대비 연구개발투자 비중이 과연 우리나라 산업의 기술 혁신에 얼마나 기여했는가에 대해서는 회의적인 시각이 대두되고 있다. 따라서, 연구개발투자의 규모에 관한 논의보다는 연구개발투자의 효율적인 관리가 더 중요하다는 점이 부각되고 있다. 본 보고서는 거시경제학적 구조 이론 내에서 사회후생을 높일 수 있는 보다 효율적인 연구개발투자의 적절한 정책 방안을 모색하기 위한 이론 및 실증적 근거를 마련하고자 한다.

III. 구조이론모형의 배경

일반적인 계량모형에서 주로 쓰이는 회귀적 모형들의 단점은 Lucas (1976)에서 지적한 바와 같이 경제 주체들의 경제적 행태는 계측된 변수들만의 회귀적 형태로 한정해서 식별할 수 없다는 점과 더불어, 경제 주체들의 자원 배분 결정은 결국 미래의 경제 상황에 대해서 예측을 기반으로 이루어진다는 점이다. 거시경제 변수들 간의 내생성은 사후적인 통계적인 연관성에 의해 식별된 것이 아니라, 미시적 토대(microfoundations)에 기반을 둔 경제 주체들의 최적화 문제의 결과로 나타내는 것이 중요함을 강조하였다. 또한, DSGE 이론의 근간이 되고 있는 Lucas의 합리적 기대 가설(Rational Expectation Hypothesis)은 각각의 경제주체들이 미래의 경제상황에 대해서 확률적인 기대치를 바탕으로 자원배분을 결정한다는 점이 핵심이다. 그리고, Lucas (1976)에 따르면 미시적 토대에 대한 식별과 미래 예측이 가능한 합리적 기대에 기반을 둔 동태적 관점에서의 구조이론이 제시될 때 비로소 거시경제정책이 경제에 미치는 파급효과를 분석할 수 있다고 하였다. 왜냐하면, 정책의 변화라는 충격을 경제에 도입했을 때, 그러한 정책 변화 요인이 없었던 과거의 정보를 바탕으로 이루어진 분석은 정책 변화에 따른 미래의 경제 상황에 대해서 대응하는 경제 주체들의 행태를 내포하고 있지 않기 때문이다.

Lucas (1976)의 주장 이후, 거시경제학의 이론모형은 주로 동태확률일반균형(DSGE) 모형을 중심으로 발전되었다고 해도 과언이 아니다. 동태적 관점(dynamic perspective)은 변수들 간의 내생성이 과거, 현재 그리고 미래의 경제 상황에 따라 연계가 된다는 것이고, 확률적인 부분은 미래의 경제 상황에 대해서 경제 주체들이 가지고 있는 합리적 기대를 말한다. 그리고, 일반균형은 미시적 토대에 의해 식별된 경제주체들의 최적화 결정이 각각의 다양한 시장¹⁾에서 집계되어 시장청산조건을 만족하는 수요와 공급 간의 균형을 의미한다.

DSGE 이론모형의 출발은 Kydland and Prescott(1982)과 King, Plosser and Rebelo (1988)에 의해서 정리된 실질경기변동이론(Real Business Cycle Theory)에서 부터 비롯된다. 비록, RBC 이론이 제시되었던 당시에는 DSGE 이론의 하나라고 말하지 않았으나, 이후 발전된 이론모형은 RBC 이론의 핵심을 그대로 계승하고 있다는 점에서 DSGE 이론의 출발로 볼 수 있다. RBC이론 모형은 기본적으로 총공급 측에서의 구조충격요인이 경기변동을 야기하는 것으로 보고 있다. 총공급은 재화를 생산하는 기업의 이윤 극대화 문제에 의해 결정된다. 한편, 총수요는 가계의 효용극대화 문제로 결정되는데, 총수요 측의 충격요인은 없는 것으로 가정한다.

1) 가장 간단한 일반균형모형에서는 재화시장, 자본시장, 노동시장 및 금융시장으로 구성된다.

Kydland and Prescott(1982)과 King, Plosser and Rebelo (1988)는 이와 같은 RBC이론 모형을 통해 대표적인 거시경제 변수들의 경기 변동적 특징들을 구현해냈다. 즉, RBC이론 모형을 통해서 총요소생산성 구조충격요인에 임의의 값들을 확률분포에서 추출하여 삽입한 뒤 모의 실험한 결과 소득 또는 총산출의 변동성에 비해서 소비의 변동이 작고, 투자의 변동성이 상대적으로 크다는 것을 보여주었다. 한편, 이론모형에서 제시된 각종 구조 모수값들은 모의실험적물추정방법론을 통해서 캘리브레이트하였다.

다만, RBC이론모형이 가지는 가장 큰 한계점은 두 가지로 지적된다. 첫째는 인플레이션이 경기역행적인 모습을 가진다는 점이다. 총요소생산성은 총공급 측의 구조충격요인으로서 총공급곡선을 축이동시키는 요인이 된다. 즉, 총요소생산성을 높이는 충격이 발생하면 총산출이 증가함과 더불어 물가는 하락한다. 반대로, 총요소충격요인을 하락시키는 충격이 발생하면, 총산출이 감소함과 더불어 물가가 상승한다. 비록, 이러한 경기역행적인 인플레이션의 특징은 1960-70년대의 오일쇼크를 설명할 수 있는 하나의 가설이 될 수 있으나, 그 외 기간에서는 대체로 인플레이션이 경기순행적인 점을 감안한다면, 지금까지의 거시경제 지표들을 바탕으로 관측된 표본 자료의 전 기간 동안의 인플레이션 현상을 설명하기에는 부족하다. 두 번째는 RBC 이론 모형에서는 중앙정부나 중앙은행이 사회후생을 높일 수 있는 정책적 개입의 여지가 전혀 없다. 우선, 재정정책의 경우, 정부 지출을 늘렸을 때, 가계는 미래에 대한 완벽한 예측이 가능하기 때문에 정부의 장기적인 재정균형을 감안하여 세금부담을 의사결정에 반영하게 된다. 즉, 정부가 지출을 늘린다는 것은 현재진 미래진 세금부과로 이어지며, 가계의 평생소득 흐름에는 부정적인 영향을 끼치며, 이를 감안한 가계들은 (소비의 평활화 기제를 통해) 현재의 소비를 감소시키는 구축효과(crowding effect)가 발생한다는 것이다. 한편, 중앙은행의 통화정책은 명목이자율을 조절하여 화폐시장에 개입하는 것으로 볼 수 있는데, 명목이자율을 증가시킬 경우, 총수요를 감소시키는 방향으로 작용하나 기업은 생산에 있어서 실질 자원 배분을 변화시키지는 않고 가격을 조정하여 공급하게 된다. 즉, 명목이자율 상승은 온전히 명목가격만 하락시킬 뿐, 실질 변수인 총산출과 노동수요 및 자본수요에는 전혀 영향을 주지 않는다. 이를 화폐의 중립성(money neutrality)라고 부르는데, 이는 전형적인 신고전학파적인 이론 모형의 결과임을 알 수 있다.

따라서, RBC 이론모형의 한계점을 극복하려면, 경기변동을 야기하는 총공급 구조충격요인 이외에도 총수요 측 구조충격요인을 식별하여 인플레이션의 경기순행성을 설명할 수 있어야 된다는 점과 여러 실증문헌에서 밝혀진 바²⁾와 같이 화폐의 중립성이

성립하기 어렵다는 점을 감안해야한다는 점이 필요한 것이다. 이와 같은 두 가지 핵심을 보다 확장한 이론모형이 바로 뉴케인지언 이론모형이다.

뉴케인지언 이론모형(New Keynesian models)은 1980년 중반 이후 미국 및 선진국들의 경제 상황이 대안정화(Great Moderation)을 경험하게 되면서, 이러한 상황에서 중앙은행의 역할이 중요했음을 조명하기 위해 발전하게 되었다. 기존의 RBC 이론모형만으로는 인플레이션의 경기순행성과 중앙은행의 통화정책의 기여를 평가할 수가 없었기 때문이다. 뉴케인지언 이론모형에서는 인플레이션의 경기순행성을 야기하는 총수요 구조충격요인들을 도입하게 되었으며, 화폐의 단기적인 비중립성(money non-neutrality)을 유도하도록 이론모형이 구성되었다. 장기적으로는 RBC 이론모형에 수렴하는 점과 유사하나, 단기적으로는 전통적인 케인지언적 가정을 도입하고 있다. 케인지언적 가정의 핵심은 Calvo (1983)에서 제시된 가격 경직성을 도입하는 것이었다. Yun (1996)에서 이를 일반균형 모형에 적용하여 경기변동적 특징과 통화정책의 역할을 정리하였다. 경제의 대안정화이후 2008년 글로벌 금융위기 이전까지의 경제상황을 가장 잘 설명하는 이론으로 알려진 뉴케인지언 이론모형은 Christiano, Eichenbaum and Evans (2005)와 Smets and Wouters (2005)에서 다양한 마찰요인들과 구조충격요인들을 도입하여 현실 설명력을 높인 이후 최근까지도 학계뿐만 아니라 중앙은행 등 정책기관에서 널리 활용되고 있는 이론 모형이다.

가격경직성을 도입하기 위해서는 기업들의 가격 조정을 단기적으로 못하도록 설정해야하는데, 기존 RBC 이론모형처럼 모든 기업들이 동질적인(homogeneous)이라는 가정을 완화해야한다. Calvo (1983)에서는 일정한 외생적인 확률에 의해서 일부 기업은 가격조정을 못하도록 설정하게 된다. 가격 조정 여부에 따라 기업들을 구분하기 위해서 생산단계를 두 단계로 나누어서 식별하게 되는데, 동질적인 최종재 생산 기업과 가격 경직성으로 인해서 이질적인 행태를 보일 수 있는 중간재 생산 기업으로 나뉜다. 여기서, 이질적인 중간재 기업들의 분포가 집계변수로서 표현이 되도록 중간재 시장은 독점적 경쟁 시장 구조를 가정한다. 한편, 가격경직성 이외에도 경기변동 상의 거시경제 지표들을 설명하기 위해서는 임금 경직성도 아울러 도입하게 된다. 재화 생산 시장과 마찬가지로 가계는 이질적인, 그러나 독점적 경쟁을 직면하는 노동서비스를 제공하는 것으로 가정하여, Calvo (1983)에서처럼 외생적인 확률에 의해 일부 가계들이 임금조정을 못하도록 가정한다. 결국, 가격 경직성과 더불어 임금 경직성은 RBC 이론모형에서는 없었던

2) Christiano, Eichenbaum and Evans (2005)를 참고

뉴케인지언 필립스 곡선(New Keynesian Philips Curve)이 도출되어, 통화당국의 이자율 충격요인과 같이 명목변수의 변화가 실질변수에 단기적으로 영향을 주는 화폐의 비중립성이 발생한다.

뉴케인지언 이론모형은 가격경직성을 통해 단기적인 화폐의 비중립성을 갖도록 하는 것이 핵심이다. 통화당국에 의해 테일러 준칙에 따르는 단기 이자율을 모형 내에서 도입하여, 인플레이션갭과 총산출갭에 대해서 반응하도록 설정하며, 그 외의 이자율 변동 부분을 통화정책 충격요인으로 식별한다. 통화정책 충격요인으로 인한 주요 내생변수들의 충격반응함수를 살펴보면, RBC 이론모형에서는 반응하지 않던 모든 실질변수들의 변화가 발생한다. 예컨대, 경기부양을 위해 이자율을 하락시켰을 경우, 총산출은 시차를 두고 증가하는 모습을 보이며, 실질임금, 실질소비, 실질투자 등 주요거시경제 변수들이 모두 상승한다. 또한, 인플레이션율은 즉각 반응하지 않다가 2분기에서 4분기 사이에 정점을 찍으며 상승하게 된다. 즉, 가격경직성으로 인해 인플레이션이 충격 초기에는 반응하지 않고, 실질변수들이 충격을 흡수하나, 점차 시차를 두고 장기적인 화폐의 중립성에 따라서 인플레이션이 그 충격을 모두 흡수하게 되는 것이다.

결국, 충격반응함수의 결과에서 알 수 있듯이, 통화정책 충격요인에 의해 총산출과 인플레이션은 (비록 시차를 두긴 하지만) 서로 순행하는 모습을 보여준다. 즉, 통화정책 충격요인은 인플레이션의 경기 순행성을 야기하는 충격요인이며, 총수요 측의 구조충격요인으로 분류할 수 있다. 뉴케인지언 이론모형에서는 통화정책 충격요인 이외에도 총수요 측의 충격요인으로서는 투자기술충격요인, 기간 간 선호도충격요인 등 여러 문헌에서 제시된 충격요인들을 모두 동시에 고려하여, 다양한 충격요인들을 도입하기도 한다. 다양한 충격요인과 더불어, 거시경제지표들의 관측치들에 대한 설명력을 높이기 위하여 다양한 마찰요인도 도입하게 되는데, 그 중 습관성 소비형성(habit consumption), 투자 조정 비용 함수(investment adjustment cost), 자본 활용도(capital utilization) 등이 대표적이다. 습관성 소비형성은 소비의 충격반응함수가 구조충격요인에 대해서 즉각적인 반응보다는 시차를 두고 점진적으로 상승하다가 다시 정상상태로 수렴하는 hump-shape response를 만들 수 있으며, 투자 조정 비용 함수 또한 투자의 반응을 hump-shape response을 야기한다. 또한, 총요소생산성이 이론 모형 내의 생산함수 구조에 따라서 결국 솔로우 잔차항(Solow residual)로서 추정되는데, 이 잔차항이 지나치게 높은 경기 순행성을 제한하기 위해 대개는 자본 활용도를 도입하게 된다.

RBC 이론 모형 문헌에서는 간단한 캘리브레이션이나 부분정보접근법에 의존하

여 실증분석이 이루어졌으나, 뉴케인지언 이론모형에서는 이와 같은 다양한 충격요인과 마찰요인들을 반영하여 완전정보접근법인 베이지언 추정방법론에 의거하여 실증분석이 주로 이루어졌다. 다시 말해서, 거시경제 관련 통계지표들에 대해서 표준편차, 상관계수 등의 2차 적률과 같은 부분적인 정보만을 설명하는 것에서 확장되어, 표본자료의 관측치 자체를 완전하게 설명할 수 있다는 것이다. 따라서, 베이지언 방법에 의해 추정된 뉴케인지언 이론모형은 충격반응함수, 2차 적률뿐만 아니라, 구조충격요인의 잔차 추정 및 구조충격요인의 역사적 기여도 등 새로운 차원의 실증분석이 가능하게 되었다는 점이다. 또한, Smets and Wouters (2005)에서는 축약형 이론모형을 주로 다루는 계량모형에 비해서도 뉴케인지언 이론모형이 주요 거시경제 지표들을 전망하는데 있어서 더 높은 예측력이 있다고 주장하였다.

이와 같이, RBC 이론모형에 비해서 여러 가지 측면에서 진일보한 면을 제시했던 뉴케인지언 이론모형 역시 한계점이 없는 것은 아니다. 2008년 글로벌 금융 위기 이후, 금융 시장 안정성에 대한 시각이 바뀌게 되었다. 뉴케인지언 이론모형까지만 해도 무위험 채권과 Arrow 증권 등 완전자산시장(complete asset market)으로 효율적인 금융 시장을 가정하고 있는데, 이와 같은 구조로는 2008년 당시의 금융 위기를 설명하는데 있어서 한계를 노출하게 되었다. 특히, 채무 조정(debt deleveraging)에 따른 경기위축 같은 현상은 뉴케인지언 이론 모형에서는 설명되지 않는 부분이다. 따라서, 금융시장에 있어서의 마찰 요인이 필요하며, 구조충격요인이 금융 마찰 경로를 통해 파급되는 영향을 분석할 필요가 있던 것이다.

글로벌 금융위기 이후, 그 동안 주목하지 않았던 금융 시장의 마찰 요인에 대한 연구들이 주목 받기 시작했다. 가장 대표적인 논문으로는 Bernanke, Gertler and Gilchrist (1999)와 Kiyotaki and Moore (1997)이다. Bernanke, Gertler and Gilchrist (1999)는 자본을 투자하는 기업가 부문을 새로 도입하여, 상대적인 채무 수준에 따라 그 투자 수준이 바뀌는 소위 대차대조표 효과(balance sheet effect)를 모형에 도입하였다. 이로써, 구조충격요인, 특히, 총수요측의 충격요인이 부정적으로 발생하면, 채무 상황이 악화되고 그 상황은 다시 투자를 위축시키는 증폭효과가 생겨난다. 이와 같은 금융 가속기 기제(financial accelerator mechanism)으로 인해 거시경제 변수들의 변동 폭이 커지는 결과를 가져온다. 한편, Kiyotaki and Moore (1997) 또한 결과적으로는 유사한 증폭 기제를 발생시키도록 채무 한도를 도입한다. 즉, 부동산 담보 대출의 LTV(loan to value)와 같이 일정 수준 이하로만 대출이 가능하게 하여 일종의 금융 담보 제약식을

식별하는 것이다. 현재는 가장 대표적인 두 가지 형태의 금융 마찰 요인 중 하나를 뉴케인지언 이론모형에 도입하여 중앙은행 등 정책기관에서 활용되고 있는 실정이다.

통상적인 DSGE모형에서는 주로 가계가 자본 투자에 대한 배분결정을 하도록 식별하는 반면, 기업의 차입 경영활동을 포함한 금융가속기 기제를 도입하기 위해서는 자본재 생산자와 기업가의 문제를 별도로 식별하게 된다. 여기서, 자본재 생산자는 완전경쟁시장을 직면하며, 투자를 통해서 자본재를 생산하여 기업가에게 판매한다. 기업가는 자기자본과 더불어 차입을 통해 자본재를 자본재 생산자로부터 구입하여 완전경쟁적인 생산요소시장에서 중간재 생산자에게 대여하게 된다. 개별생산성충격(idiosyncratic productivity shock)을 직면하는 기업가는 자본재의 활용정도(capital utilization)와 은행과의 계약을 통해 대출을 결정한다. 은행과의 대출계약은 개별생산성충격에 대해서 위험을 분산할 수 있는 수준에서 대출규모와 부도 임계치를 명시하게 된다. 은행의 균형 이윤조건과 더불어 대출계약 조건을 만족시키는 균형조건은 결국 차입경영에 따른 대차대조표 효과를 발생시켜 금융가속기 기제를 구조화시킨다고 볼 수 있다. 금융 중개기관인 은행은 가계로부터 받은 예금을 기반으로 일정부분 준비금 형태로 보관한 뒤 기업가에게 자금을 대출해준다.

금융마찰 이론모형은 그동안 주목하지 않았던 금융시장의 비효율성을 일반균형 모형에 도입하여 분석했다는 점에서 새로운 시각을 제공하였다. 또한, 기존의 뉴케인지언 이론모형까지는 주로 거시경제의 펀더멘탈과 관련된 총수요 측과 총공급 측의 충격요인들만 식별된 것에 비해서, 금융 마찰 이론모형은 위의 risk shock과 같이 금융 시장 내의 구조충격요인을 식별하였다. 그리고, 기존의 모형은 무위험 채권 이자율만이 금융 변수로서 주로 분석하였으나, 금융시장의 다양한 자산 가격에 대해서도 설명 가능하다는 점에서 이론모형의 유용성이 정책계에서도 높아질 수 있는 계기를 마련해주었다.

본 보고서의 이론모형은 통상적인 단기 경기변동 주기의 변동보다는 중기 경기변동적 관점에서 R&D 투자의 특성을 이해하기 위해서, 뉴케인지언 이론모형과 더불어 Comin and Gertler (2006)에서처럼 내생적 R&D 투자를 제시하고자 한다. 금융 마찰 요인까지 도입하지 않는 이유는 경기변동의 주기가 보통 짧은 금융 시장의 특성은 배제하고, 거시경제 펀데멘탈을 설명함과 동시에 내생적 생산성의 경기변동을 설명하는 데 초점을 두기 위함이다.

IV. 연구의 내용

기초통계 분석을 위해서 연구개발 활동조사를 기본적으로 사용했으며, 정부예산에서 보고된 연구개발 투자 금액을 추가로 사용하였다. 연구개발투자의 총지출액을 비롯하여 정부공공부문과 민간부문 등 구분된 경제주체별로도 구분되어 1970년도 연도별로 집계되고 있다. 한편, 기업규모별로는 대기업과 중소기업 구분이 1992년부터 존재하며, 벤처기업과 중견기업의 연구개발투자액도 각각 2001년, 2017년부터 제공된다. 시계열 분석을 위해서 총액과 경제주체별 구분은 1970년부터 2018년까지의 기간을 모두 이용하였다. 기업규모별로는 중견기업을 대기업과 합산하고, 벤처기업을 중소기업과 합산하여 고려하였으며, 1992년부터 2018년까지를 표본기간으로 삼았다.

기초통계 분석 결과, 중기적 경기변동요인들만의 시차상관관계는 대체로 단기적 경기변동요인들 시차상관관계에 비해서 상대적으로 더 높은 값을 나타내고 있다. 이는 연구개발투자와 관련하여 통상적인 경기변동 주기의 경기변동요인에 비해서 중기적 경기변동요인이 전반적으로 경기상황에 상대적으로 더 민감하다고 볼 수 있다. Comin and Gerlter (2006)에서처럼 민간 부문의 연구개발투자가 중기적 경기변동 주기에서 경기 순행적인 것은 최근의 문헌에서 나타난 결과와 일치한다고 볼 수 있다. 흥미로운 것은 정부공공 부문의 연구개발투자가 연구개발 활동조사나 예산상에서나 모두 여전히 경기 순행성을 보인다는 점이다. Barlevy (2007)에서 지적한 것처럼, 사회 후생을 높이기 위해서는 정부부문의 연구개발투자는 경기역행적인 모습을 가지는 것이 이상적이라고 할 수 있다.

다음으로는 Anzoategui et al. (2019) 모형을 우리나라 데이터를 활용하여 베이지언 DSGE 모형 추정기법으로 추정한 후 다양한 거시경제적 충격에 대한 충격반응함수와 역사적 충격분해분석을 실시하였다. 충격반응함수는 구조적 충격의 한 단위 상승이 연구개발 부문을 비롯한 거시경제에 어떻게 영향을 미치는지를 보여주며, 역사적 충격분해 분석은 같은 거시경제적 충격이 2000년 이후 우리나라 연구개발투자와 GDP의 경기변동에 기여한 바를 보여준다. Anzoategui et al. (2019) 모형은 Comin and Gertler (2006)을 확장하여 전형적인 뉴케인지언 DSGE 모형에 연구개발 부문을 도입한 것으로 2008년 금융위기 이후 미국의 경제가 이전 추세로 빠르게 수렴하지 못하고 'slow recovery' 현상을 보이는 것을 설명하고자 하였다. 'slow recovery'에는 다양한 원인이 규명되었지만 Anzoategui et al. (2019)는 경기침체에 위축되는 연구개발투자가 중장기적인 경제성장에도 영향을 미칠 수 있는 파급경로에 주목하였다. 본 고에서는 앞서 시

계열 분석 결과 나타난 우리나라의 경기순행적인 연구개발투자 패턴에 비추어 Anzoategui et al. (2019)와 문제의식을 함께하면서 경기역행적인 연구개발투자 정책을 통해 사회적 효용을 높일 수 있는 가능성을 보고자 하였다.

본 연구는 연구개발 정책의 파급경로 설명할 수 있는 구조적 모형을 한국의 데이터를 반영하여 추정하였다는 점에서 기존의 연구와 차별성을 가지고 있다고 할 수 있다. 구조적 파라미터 값에 따라 같은 충격에 내생변수들이 다르게 반응할 수 있기 때문에 미국의 데이터를 활용한 Anzoategui et al. (2015)의 결과를 그대로 활용하여 한국의 연구개발정책을 논하기는 어렵다. 우리나라 데이터를 활용하여 DSGE 모형을 추정하는 데는 미국의 데이터를 활용하여 추정하는 것에 비해 여러 가지 한계가 존재한다. 특히 본 고와 같이 연간 데이터밖에 가용하지 않은 연구개발 부문을 고려하기 위해서는 시계열이 길수록 좋은데 우리나라 노동 관련 데이터는 2000년 이후에나 가용하기 때문에 연구개발투자 연간 데이터는 1970년대부터 가용함에도 불구하고 모두 사용할 수 없었다. 또한 과거 우리나라는 개발도상국에서 선진국으로 진입하는 과도기에 있었고, 1997년 IMF 이후 구조적 단절을 경험하였기 때문에 균형성장경로를 가정한 DSGE 모형에 적용하기 위해서는 2000년 이후 데이터만을 활용하는 것이 적절하다고 판단하였다.

충격반응함수 분석 결과, Anzoategui et al. (2015)에서와 같이 유동성 선호 충격(금융시장 위험 충격과 유사)에 대해 연구개발지출이 단기적으로 크게 위축되고 이에 따라 총생산과 총요소생산성이 매우 오랜 기간 동안(5년 이상) 이전 추세로 수렴하지 못하는 것으로 나타났다. 총생산에 대한 충격분해분석 결과, 거시경제 변동성은 수요측면에서는 통화정책충격과 정부지출충격, 유동성 수요충격, 공급측면에서는 총요소생산성 충격과 가격 마크업 충격이 중요한 역할을 해 온 것으로 보인다. 2000년대 초반까지는 정부지출충격, 통화정책충격, 그리고 가격 마크업 충격이 GDP 증가율 변화에 큰 영향을 준 것으로 나타났다. 2009년 세계 금융위기 시에는 유동성 선호 충격이 가장 큰 영향을 미친 것으로 나타났으며, 이 시기에 지속적인 완화적 통화정책으로 인해 통화정책충격은 양의 방향으로 일관되게 나타나 높아진 리스크프리미엄을 적극적인 통화정책으로 상쇄하려했던 것이 두드러진다. 한편, 연구개발투자의 효율성 충격은 세계 금융위기(2009년) 이전에는 총생산 변동성에 미미한 영향만을 주었던 것으로 보이나 이후에는 지속적으로 총생산에 부정적인 역할을 하는 것으로 나타났다. 따라서 정부의 연구개발투자 정책을 조금 더 적극적으로 활용하여 총생산의 경기변동성을 축소할 필요가 있다.

V. 연구개발결과의 정책적 시사점

본 보고서는 거시경제의 장기적인 성장뿐만 아니라, 경기변동 주기 상에서의 기여도가 매우 큰 연구개발투자의 행태에 대한 이론 및 실증적 근거를 마련하고자 하였다. 보고서 내에서 분석된 내용을 요약하면 다음과 같다. 첫째, 우리나라의 연구개발투자는 경기변동 주기 상에서 국내총생산과 대체로 같은 방향으로 움직이는 경기순행적인 모습을 띄고 있다. 이는 민간부문과 공공부문 모두 대체로 같은 방향성을 갖고 있어, 우리나라의 연구개발 활동은 민간과 정부부문 모두 경기변동을 증폭시키는 역할을 하고 있음을 간접적으로 시사하고 있다. 둘째, 우리나라의 거시경제지표들을 사용하여, 연구개발 활동이 식별된 구조이론모형을 추정했을 때, 총수요 또는 총공급 충격이 주요 거시경제 변수들의 경기변동을 증폭시키는 것을 확인하였다. 따라서, 이러한 증폭 기제를 완화시키기 위해서는 정부는 연구개발 활동에 개입하여 경기 안정화 기능을 갖도록 하는 것이 바람직하다는 것을 시사하고 있다.

마지막으로 본 보고서에서는 지금까지의 정부의 연구개발투자 운용에 관하여 간략한 평가와 앞으로의 역할에 관해서 정리해보았다. 경기순행적인 모습을 가진 연구개발 활동에 대응하여 정부는 경기역행적인 연구개발투자를 운용해야할 것으로 판단된다. 경기 부진 또는 침체국면에는 연구개발 분야의 재정 지출 확대를 통해 경기의 조기 회복을 촉진함과 동시에 성장잠재력 훼손을 최소화하는 한편, 경기 확장 또는 호황국면에는 민간부문의 기초 원천 연구와 미래 성장동력 창출을 지원하는 정도로 재정 지출 증가율을 조정하는 방향으로 연구개발 부문의 재정준칙을 설정하는 것이 가장 바람직할 것으로 보인다.

목 차

제 1 장 서론	1
제 2 장 연구개발투자의 기초통계분석	4
제1절 R&D 지출의 정상성 검정	4
제2절 R&D 지출의 경기변동 특성	5
제 3 장 거시구조 이론모형의 배경	13
제 1 절 DSGE 이론모형의 배경	13
제 2 절 DSGE 이론 모형의 구성과 전개	14
제 3 절 RBC 이론 모형	19
1. 기업부문	19
2. 가계부문	21
3. RBC 이론모형의 의의와 한계점	25
제 4 절 뉴케인지언 이론모형	26
1. 최종재 생산 기업	27
2. 중간재 생산 기업	28
3. 가계의 노동 공급 의사결정	31
4. 통화 당국	33
5. 중앙 정부	34
6. 집계화	35
7. 뉴케인지언 이론모형의 의의와 한계점	36
제 5 절 금융마찰 이론모형	38
1. 기업가 부문	39
2. 금융 중개 부문-은행	46
3. 금융마찰 이론모형의 의의	48
제 4 장 연구개발투자의 구조이론모형	50
제1절 개 요	50
제2절 모 형	51
1. 연구개발 부문	52
2. 중간재생산자	55
3. 최종재 생산자	57
4. 자본재 생산자	60
5. 정부	65
6. 시장청산조건	66

제 5 장 실증분석	68
제 1 절 베이지안 추정 방법론	68
1. 선형된 DSGE 모형의 해 : Sims(2002)	68
2. 우도함수 (The Likelihood Function)	69
3. 사전분포	71
제 2 절 한국데이터를 활용하여 모형의 파라미터 추정	74
1. 데이터	74
2. 추정결과	76
제 3 절 충격반응함수	77
1. 유동성수요 충격	77
2. R&D 투자효율성 충격	78
3. 중요소생산성 충격	79
제 4 절 역사적 충격분해 분석	80
제 6 장 재정정책 수립방안에 관한 논의	83
제 1 절 재정준칙의 의미와 주요국의 연구개발투자	83
제 2 절 미래지향적 과학기술정책과 공공부문 연구개발투자의 역할	84
제 3 절 연구개발투자의 경기변동성 고려 재정준칙(안)	86
제 7 장 결론 및 시사점	89
참 고 문 헌	90
부록 1: Steady States	95
부록 2: 로그 선형화 모델	98
부록 3: Dynare Code	100

표 목차

<표 2-1> 단위근 검정 결과	4
<표 2-2> GDP와 R&D의 경기변동(2년-8년 주기) 간의 시차상관과 표준편차	11
<표 2-3> GDP와 R&D의 경기변동(8년-50년 주기) 간의 시차상관과 표준편차	12
<표 5-1> 칼만필터와 조건부 확률분포	71
<표 5-2> Metropolis-Hastings 알고리즘	73
<표 5-3> 변수별 데이터 소스	74
<표 5-4> Prior and Posterior Distribution	76

그림 목차

[그림 2-1] GDP의 경기변동(8-50년 및 2-50년 주기)	6
[그림 2-2] GDP와 연구개발투자의 중기적 변동	6
[그림 2-3] GDP와 민간 연구개발투자의 중기적 경기변동	7
[그림 2-4] GDP와 정부공공 연구개발투자의 중기적 경기변동	8
[그림 2-5] GDP와 연구개발투자 집중도의 중기적 경기변동	9
[그림 2-6] GDP와 기업규모별 연구개발투자의 중기적 경기변동	9
[그림 5-1] 유동성 충격에 대한 반응함수	77
[그림 5-2] R&D 충격에 대한 반응함수	78
[그림 5-3] 총요소생산성 충격에 대한 반응함수	79
[그림 5-4] 총생산의 분산분해	82
[그림 5-5] 연구개발비의 분산분해	82

제 1 장 서론

한 국가의 장기적인 성장은 생산요소의 적정한 배분이 이루어져야함과 동시에 기술 혁신 등 생산성 확보를 통한 잠재성장의 제고에 의해서 결정된다. 추격성장 단계에서의 경제는 주로 노동과 자본과 같은 생산요소 투입 증대로 고성장을 실현시킬 수 있으나, 선진국 수준의 소득에 도달한 경제는 한계생산의 체감으로 인해 생산성의 증가 없이는 안정적인 성장을 경험할 수 없게 된다. Romer (1990)와 Jones (1995) 등 내생성장이론 논문들은 생산성 확보가 결국 지속적인 연구개발투자(Research and Development)을 통해서 가능하다는 점을 거시 구조 이론 모형을 통해서 보여주었다. 우리나라 경제도 저성장 국면으로 이행해가는 과정에서 기술 혁신 등 연구개발투자에 대한 중요성은 어느 때보다도 높아지고 있음을 알 수 있다. 특히, 우리나라의 연구개발 활동조사에 따르면 GDP대비 연구개발투자 비중이 0.3%에 불과했던 1970년 당시에 비해 2018년에는 무려 4.5%로 높아져, 연구개발투자의 중요성은 통계 지표에서도 확인될 수 있다. 다만, OECD 선진국과 비교해서도 가장 높은 GDP 대비 연구개발투자 비중이 과연 우리나라 산업의 기술 혁신에 얼마나 기여했는가에 대해서는 회의적인 시각이 대두되고 있다. 따라서, 연구개발투자의 규모에 관한 논의보다는 연구개발투자의 효율적인 관리가 더 중요하다는 점이 부각되고 있다. 본 보고서는 거시경제학적 구조 이론 내에서 사회후생을 높일 수 있는 보다 효율적인 연구개발투자의 적정한 정책 방안을 모색하기 위한 이론 및 실증적 근거를 마련하고자 한다.

내생성장 이론 내에서 일반적으로는 연구개발투자의 초기 비용이 매우 크다는 점과 기술 활용에 대한 진입장벽이 없을 경우 민간 경제 주체가 애초에 투자할 유인이 없다는 점에서 특허제도와 정부보조 등 정책적 개입이 필요하다는 것이 전통적인 시각이다. 다만, 경기변동 상에서의 연구개발투자와 관련된 문헌들은 다소 상반된 시각들이 존재한다. 우선, Schumpeter (1939)에 따르면, 연구개발투자는 경기 침체기에 투자의 기회비용이 낮아지기 때문에 경기역행적인 모습을 가지고 있다고 주장하였다. 특히, 기업들은 경기 침체기에 생산활동 대신 직업훈련 또는 구조조정에 자원을 상대적으로 더 배분함으로써 생산성을 높이는 행위를 보여줄 수 있다³⁾. 따라서, 경기변동 상에서의 연구개발투자는 민간 경제 주체의 비용 최소화 관점에서 볼 때 효율적으로 이루어지며, 정책적 개입이 불필요하다는 것을 시사한다고 볼 수 있다.

3) Hall (1991), Saint-Paul (1993), Aghion and Saint-Paul (1998a), Aghion and Saint-Paul (1998b)

그러나, 최근에는 민간 경제 주체들의 연구개발투자 행위가 경기변동 상에서 Schumpeter의 주장과는 다른 양상을 보일 수 있다는 점에서 정책적 개입의 필요성이 강조되고 있다. Griliches (1990), Comin and Gerlter (2006)와 Barlevy (2007) 등과 같은 연구개발 투자와 관련된 실증 분석 문헌들은 연구개발투자가 경기순행적인 모습을 보이고 있다고 보고하고 있다. 이와 같은 모습은 두 가지 정도의 이론적 배경으로 설명될 수 있다. 첫째, Aghion, Angeletos, Banerjee and Manova (2010)와 Ouyang (2011)은 경기 침체에 금융 제약 조건으로 인해 기업의 연구개발투자가 제한된다고 보고 있다. 둘째는 Barlevy (2007)와 Francois and Lloyd-Ellis (2009)에서처럼 기업 입장에서 기술 개발에 따른 과실은 기술 도입 당시의 총수요 수준에 의해서 결정된다고 보는 것이다. 즉, 기술 도입 이후 경쟁기업들이 시차를 두고 점차 모방하게 되어 기술 도입에 따른 이윤은 점차 감소하기 때문에 기술개발이나 도입을 경기가 회복될 때까지 미루는 경향이 존재한다는 것이다. Fabrizio and Tsoolmon (2014)은 이와 같은 경향이 특히 보호가 약하거나 기술 모방이 쉬운 산업일수록 더욱 강해진다는 실증분석 결과를 보고하였다. 결국, Barlevy (2007)는 이러한 근거를 바탕으로 정부가 경기 역행적인 연구개발투자 보조금 지급을 통해서 사회 후생을 높일 수 있는 방안이라고 제시하였다. 한편, 경기순행적인 연구개발투자는 사회후생 손실을 야기할 뿐만 아니라, 그 파급 효과는 지속성에 따라서 더욱 증폭될 수도 있다. Anzoategui, Comin, Gertler and Martinez (2019)는 2008년 금융위기 당시에 기업들의 연구개발투자 위축으로 인하여 생산성 확보가 제한되었으며, 이는 결국 경기 침체를 더욱 장기화시키는 요인이 되고 있다고 보고 있다. 이와 같은 현상을 설명하기 위해서 Romer (1990)의 내생성장 이론모형을 기반으로 경기변동적인 기술 확산을 식별한 이론모형을 제시하였다.

경기변동 주기 상에서의 연구개발투자의 특성에 대한 이해는 생산성의 지속적인 경제성장률 기여도 하락으로 고민해 온 정부에게 새로운 정책 방향을 제시할 수 있을 것으로 판단된다. 정부의 거시경제 정책은 재정정책과 통화정책을 통해 주로 경기 안정화를 도모하여 사회후생을 극대화하고자 한다. 경기 하강기에 정부는 세금을 감면하거나 추경을 통해 재정지출을 늘리고, 중앙은행은 기준금리를 인하함으로써 수요를 촉진한다. 통화정책은 경기상황(총산출액 혹은 실업률)과 인플레이션 수준에 따라 정책금리를 조정하는 테일러 준칙을 따름으로써 자동안정화(automatic stabilizer) 기능을 가지고 있으며, 재정정책의 경우도 실업수당, 세금감면 등의 자동안정화 기능이 포함되어 있어 부분적으로는 준칙과 유사한 특징을 가지고 있다. 다만, 재정정책의 경우 지출확대를 통해 총생산을 상승시킬 수 있으나, 우리나라

의 경우 그 승수효과(단위 재정지출에 대응하는 총생산 증가 효과)가 제한적인 것으로 알려져 있다⁴⁾. 이러한 결과는 경기침체에 정부가 주로 추경을 통해 사회간접자본 등에 지출하여 단기적인 효과를 가시화하고자 하는 데서 기인한다. 그러나, 연구개발 부문에 대한 재정확대는 경기안정화를 도모할 뿐만 아니라 중장기적 성장에도 이바지함으로써 재정지출의 효율성을 높일 수 있을 것으로 판단된다. 예컨대, 경기침체로 민간 연구개발투자가 크게 위축되었을 때, 정부 연구개발투자를 증대시켜 수요를 확대함과 동시에 생산성 하락을 방지함으로써 중장기적 성장 동력을 유지할 수 있을 것이다.

이와 같은 재정지출의 파급경로가 우리나라 상황에서도 유효한지 판단하기 위해서는 경기변동주기에서의 우리나라 연구개발투자의 특성을 찾아내고, 그것이 거시경제에 미치는 파급효과를 분석할 필요가 있다. 우선, 우리나라의 각종 연구개발 활동에 관한 기초통계를 분석하여 민간 연구개발투자의 경기순행성 여부에 대한 검토가 필요하다. 한편, 우리나라 데이터를 이용하여 이론모형을 추정함으로써 경기변동주기에서 연구개발투자가 생산성 및 경기변동에 미치는 영향을 분석해야 한다. 이와 같은 분석을 토대로, 정부의 개입으로 인한 사회적 효용 개선의 여지가 있는지, 즉, 정부연구개발투자를 통해 경기안정화와 생산성 강화를 함께 도모함으로써 정부의 재정정책의 효율성 제고가 가능한지 검토할 수 있다. 본 보고서는 우리나라의 연구개발투자에 따른 경기변동을 식별하기 위해서 Anzoategui, Comin, Gertler and Martinez (2019) 이론 모형을 도입하여 추정하고자 한다. Anzoategui, Comin, Gertler and Martinez (2019) 이론 모형을 채택한 이유는 우리나라의 경제성장이 자료의 표본 기간 내에서 균형 수준으로 도달했다고 보기에는 어려우며, 이는 중장기적인 생산성의 변동에 의해서 설명될 수 있을 것으로 판단되기 때문이다.

본고의 구성은 다음과 같다. 제 2 장은 연구개발투자의 기초통계분석을 보고하며, 제 3 장에서는 거시구조이론모형의 배경을 소개하기 위해 DSGE모형이론의 변천사와 아울러 기본적인 분석의 방법론에 대해서 설명한다. 제 4 장에서는 본 보고서에서 분석하고자 하는 R&D가 내생화된 거시 구조이론모형을 제시한다. 제 5 장은 이론 모형을 베이지언 통계기법으로 추정된 결과 및 분석 내용을 정리하고, 제 6 장에서는 R&D와 관련하여 재정정책의 역할과 방안에 대해서 모색해본다. 마지막으로 제 7 장에서 결론 및 시사점을 제시하고자 한다.

4) 김태봉·허석균(2007)은 다양한 실증분석을 통해 우리나라 재정승수가 1이 넘지 않음을 보임.

제 2 장 연구개발투자의 기초통계분석

우리나라의 연구개발투자 관련 자료로는 연구개발 활동조사에서 제공되고 있고, 공공 부문의 연구개발투자는 국방연구개발 관련하여 연구개발 활동조사에서 누락되는 경우가 있을 수 있어, 정부예산에서 보고된 금액을 추가로 사용하였다. 연구개발투자의 총지출액을 비롯하여 정부공공부문과 민간부문 등 구분된 경제주체별로도 구분되어 1970년도 연도별로 집계되고 있다. 한편, 기업규모별로는 대기업과 중소기업 구분이 1992년부터 존재하며, 벤처기업과 중견기업의 연구개발투자액도 각각 2001년, 2017년부터 제공된다. 시계열 분석을 위해서 총액과 경제주체별 구분은 1970년부터 2018년까지의 기간을 모두 이용하였다. 기업규모별로는 중견기업을 대기업과 합산하고, 벤처기업을 중소기업과 합산하여 고려하였으며, 1992년부터 2018년까지를 표본기간으로 삼았다. 또한, 연구개발 활동조사는 명목금액으로 제공되고 있어, 경기변동 분석을 위해서 사용된 모든 연구개발투자금액들은 모두 GDP디플레이터를 통해서 실질화하였다.

제1절 R&D 지출의 정상성 검정

경기변동 분석에 앞서서, 각 시계열들이 비정상성(non-stationarity)을 가지고 있는지 확인할 필요가 있다. 시계열의 비정상성은 통상적으로 가장 널리 쓰이는 Augmented Dickey-Fuller와 Phillips-Perron 단위근 검정을 통해 확인하였다. 아래 <표 2-1>은 각각의 시계열들의 단위근 검정 결과를 보여주고 있다. 어떠한 검정에서도 모든 시계열들은 단위근이 존재한다는 귀무가설을 기각할 수 없어, 비정상성이 존재한다는 것을 알 수 있다. 또한, 차분 변수들에 대해서 검정을 수행하였을 때는 모두 귀무가설이 기각되어 I(1) process임을 확인할 수 있었다. 따라서, 경기변동 분석을 위해서는 비정상성을 제거하는 필터링을 적용할 필요가 있다는 것을 알 수 있다⁵⁾.

<표 2-1> 단위근 검정 결과

Variables	ADF Test		PP Test		Integrated Order
	Test statistics	P-Value	Test statistics	P-Value	
GDP	0.1717	0.9971	0.4522	0.9989	I (1)

5) 1차분 검정은 모두 귀무가설이 기각되어 단위근이 존재하지 않았음.

Total R&D	-1.2881	0.8788	-0.9637	0.9678	I (1)
Gov't R&D	-1.9091	0.6344	-2.0948	0.5354	I (1)
Gov't R&D(budget)	-1.3681	0.8578	-1.3681	0.8578	I (1)
Private R&D	-1.2591	0.8858	-0.9013	0.9474	I (1)
Large Firm R&D	-3.2105	0.1051	-2.5272	0.3135	I (1)
Small Firm R&D	-1.2022	0.8871	-1.4560	0.8187	I (1)
R&D 비중	-1.6840	0.7427	-1.6014	0.7778	I (1)

R&D-GDP 비중을 제외하고 모두 GDP디플레이터로 실질화하고 자연로그를 취함.

단위근 검정은 모두 상수항과 시간추세를 고려함.

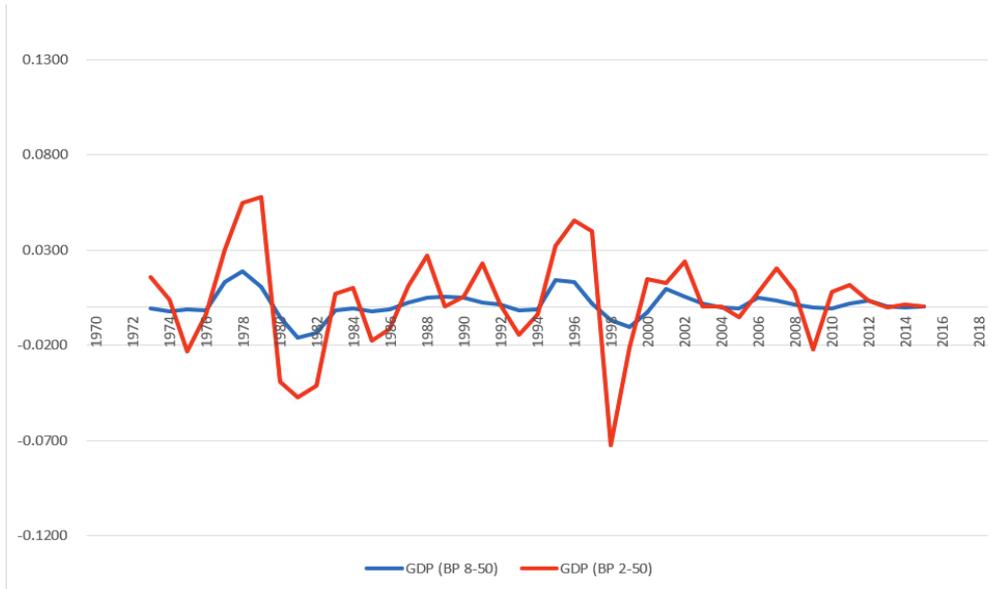
Source : 연구개발 활동조사, 국민계정, 한국과학기술기획평가원의 조사자료 2020-002

제2절 R&D 지출의 경기변동 특성

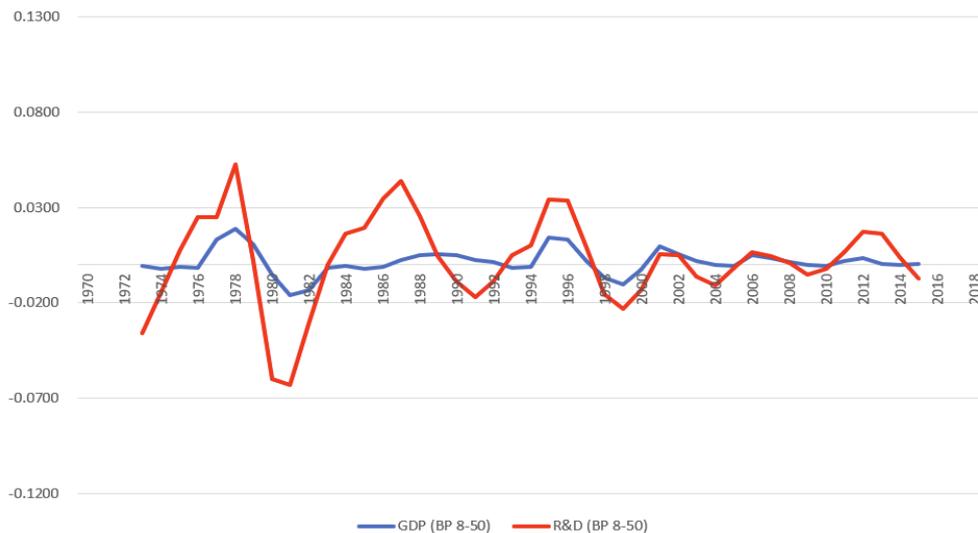
거시경제 변수들의 경기변동은 통상적으로 2년에서 8년 정도 주기의 변동부분을 추출하여 분석하지만, Comin and Gertler (2006)은 통상적인 주기보다 훨씬 긴 중기적 주기의 변동(medium-term frequency business cycle)요인이 생산성의 변동을 야기하는 것으로 보았다. Comin and Gertler (2006)은 50년 주기의 변동부분까지 band-pass filter를 통해서 추출하여, 경기변동적 특징을 분석하였다. 본고 또한 Comin and Gertler (2006)에 따라서 통상적인 경기변동주기(2년-8년)와 중기적 경기변동주기(8년-50년)을 모두 추출하여 분석을 시도하였다⁶⁾. 실질 GDP를 통상적인 경기변동주기를 포함한 변동부분과 제외한 중기적 경기변동주기의 변동부분으로 추출한 결과는 다음 <그림 2-1>에서 확인할 수 있다. 그림에서 나타난 것처럼, 통상적인 경기변동 부분이 제외된 경우(파란선)는 포함된 경우에 비해서 상대적으로 평활화된 변동을 보이고 있는데, 이는 보다 짧은 주기의 변동부분들이 제거되었기 때문이다. 주목할 점은 짧은 주기의 변동부분이 제외되었음에도 불구하고, 1980년 전후와 1997년 전후로 큰 폭의 변동이 있는데 이는 석유파동과 외환위기 당시의 상황을 반영하고 있음을 알 수 있다.

6) 여기서 50년 주기의 경기변동이라 함은 표본 자료의 기간에서의 50년과는 다른 주파수 영역(frequency domain) 상에서의 주기임을 주의할 필요가 있다. 따라서, 48년 간의 표본 기간에서도 50년 주기의 변동부분 추출이 가능하다는 것을 뜻한다.

[그림 2-1] GDP의 경기변동(8-50년 및 2-50년 주기)



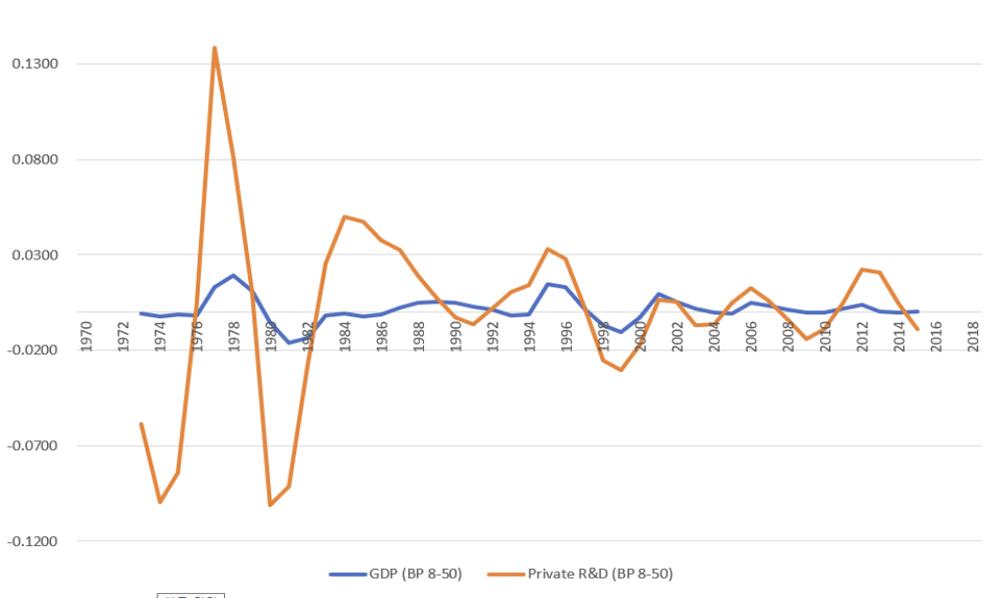
[그림 2-2] GDP와 연구개발투자의 중기적 변동



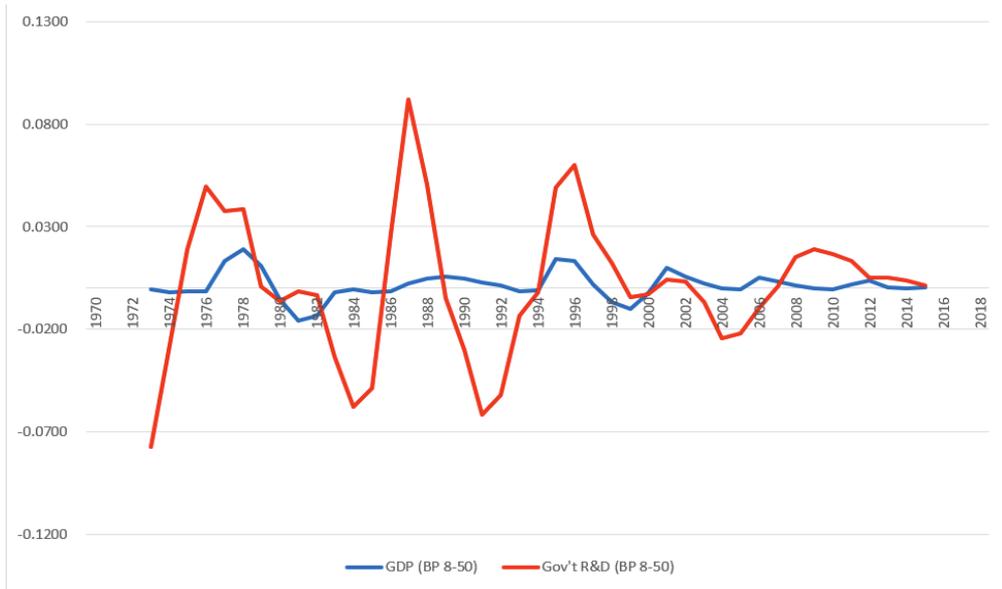
다음 그림 <그림 2-2>는 8년에서 50년 주기의 경기변동만을 추출한 GDP와 연구개발투자의 중기적 경기변동을 보여주고 있다. 예상되는 바와 같이, 연구개발투자는 1990년 전후를 제외하고는 경기 상황에 따라서 같은 방향으로 움직이고 있음을 알 수 있다. 특히, 1997년 외환위기와 2008년 금융위기 당시 연구개발투자가 경기변동 상에서 위축되고 있는 모습이 나타난다.

다음 <그림 2-3>과 <그림 2-4>는 경제주체별로 구분된 연구개발투자의 중기적 경기변동을 보여주고 있다. 우리나라 민간부문의 연구개발투자는 미국의 경우를 분석한 Comin and Gertler (2006)에서와 마찬가지로 경기순행성을 보이고 있음을 확인할 수 있다. 또한, 민간부문의 연구개발투자는 1980년대 초까지 매우 큰 변동성을 보이다가, 그 변동 폭이 1980년 중반이후로 미국의 1980년대 Great Moderation 현상과 유사하게 줄어든 것을 알 수 있다. 한편, 정부공공부문의 연구개발투자는 다소 높은 변동성을 2000년까지 보이는 가운데, 경기순행성이 전반적으로 관찰되고 있다. 다만, 2008년 금융위기 이후 경기 상황과는 다소 역행하는 모습을 보이고 있어, 경기 안정화를 위한 정부의 연구개발투자가 있을 수 있다는 것을 시사하고 있다.

[그림 2-3] GDP와 민간 연구개발투자의 중기적 경기변동

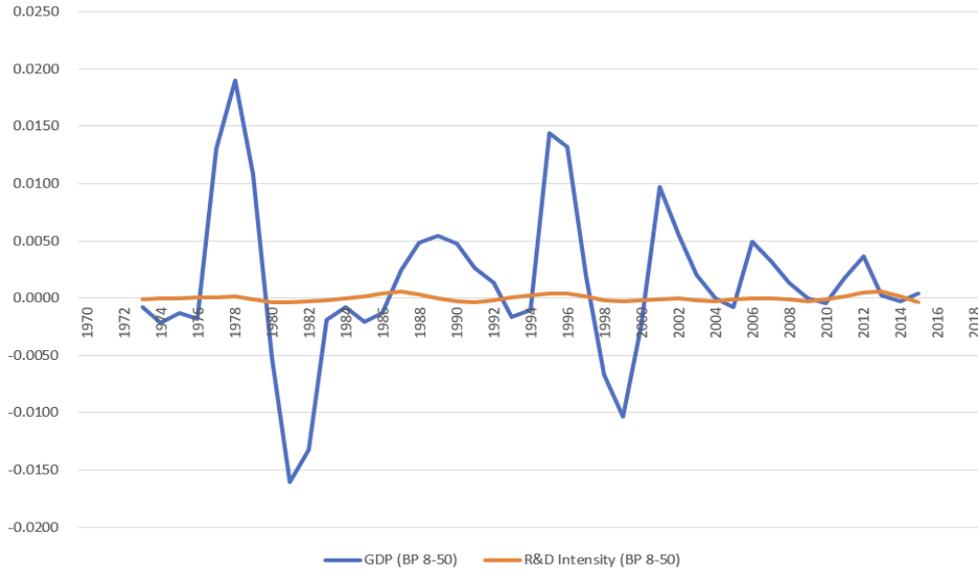


[그림 2-4] GDP와 정부공공 연구개발투자의 중기적 경기변동

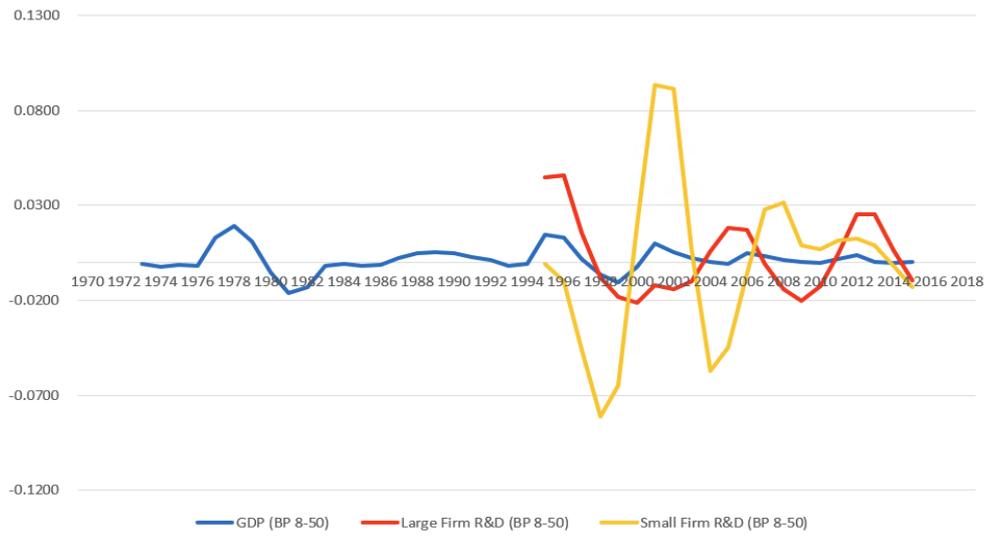


〈그림 2-5〉는 GDP 대비 연구개발투자 비중의 중기적 경기변동을 GDP와 비교한 것이다. 그래프에서 나타난 것처럼 비중의 변동 폭은 GDP 경기변동에 비해서 매우 작기 때문에 눈으로 식별하기는 어렵다. 마지막으로는 기업규모별 연구개발투자의 경기변동 추이를 〈그림 2-6〉에서 보여주고 있다. 기업규모별 연구개발투자의 경우는 표본기간이 비교적 짧아서 band-pass필터 특성상 경기변동 부분을 추정하는데 있어서 한계가 있을 것으로 판단된다. 다만, 그림 상에서 확인할 수 있는 바는 중소기업의 연구개발투자의 변동 폭이 상대적으로 크다는 점이다. 이는 재무적 상황이 제약적인 중소기업의 특성상, 연구개발투자의 변동성이 높은 것으로 판단된다.

[그림 2-5] GDP와 연구개발투자 집중도의 중기적 경기변동



[그림 2-6] GDP와 기업규모별 연구개발투자의 중기적 경기변동



위의 그림들에서 나타난 결과를 보다 체계적인 기초통계로 정리하면 다음 표들과 같다. 우선, <표 2-2>는 2년에서 8년 주기의 경기변동요인들 간의 시차상관계수들을 계산한 결과이다. 연구개발투자 총액의 경기변동은 0 시차의 상관계수가 가장 높은 양의 값을 가지고 있는데, 이는 연구개발투자가 대체로 경기순행적이며 동시에 경기 동행하는

모습을 가지고 있다고 해석할 수 있다. 민간부문과 정부공공부문의 연구개발투자 역시 방향성에 있어서는 경기 순행성을 지니고 있으나, 1년 정도의 경기선행성이 더 강하게 나타나는 것으로 보인다. 또한, 정부 예산의 연구개발은 경기순행성이 동행하지는 않으나 2년 정도의 선행성을 보이고 있다. 여기서 총액은 경기동행성을 보이는 반면, 두 하위 항목 모두가 선행성이 나타나는 것은 band-pass 필터를 각각의 시계열에 적용하여 경기변동요인을 추출한 까닭에 하위 항목들의 특성들이 반드시 상위범주의 특성과 합치되어야 필요가 없기 때문인 것으로 사료된다. 한편, 경기변동의 변동성이 매우 작은 연구개발투자 비중의 경우는 흥미롭게도 경기순행성을 보이고 있다. 이 결과는 경기 확장기(침체기)에는 연구개발투자 지출이 증가(감소)할 뿐만 아니라, GDP의 증가(감소)에 비해서도 더 많은 증대(감소)가 이루어진다는 것을 시사하고 있다. 마지막으로, 기업규모별로는 대기업의 연구개발투자가 중소기업에 비해서 변동 폭은 상대적으로 작으나, 경기상황에 훨씬 민감한 것으로 나타났다.

다음 <표 2-3>은 중기적 경기변동요인들만의 시차상관관계를 정리하여 보여주고 있다. 기업규모별 연구개발투자의 경기상관을 제외하고는 모두 시차상관계수 값이 <표 2-2>에 비해서 상대적으로 더 높은 값을 나타내고 있다. 이는 통상적인 경기변동주기의 경기변동요인에 비해서 중기적 경기변동요인이 전반적으로 경기상황에 상대적으로 더 민감하다고 볼 수 있다. Comin and Gerlter (2006)에서처럼 민간 부문의 연구개발투자가 경기 순행적인 것은 최근의 문헌에서 나타난 결과와 일치한다고 볼 수 있다. 흥미로운 것은 정부공공 부문의 연구개발투자가 연구개발 활동조사나 예산상에서나 모두 여전히 경기순행성을 보인다는 점이다. Barlevy (2007)에서 지적한 것처럼, 사회 후생을 높이기 위해서는 정부부문의 연구개발투자는 경기역행적인 모습을 가지는 것이 이상적이라고 할 수 있다.

<표 2-2> GDP와 R&D의 경기변동(2년-8년 주기) 간의 시차상관과 표준편차

변수	표준편차	시차상관계수				
		-2	-1	0	1	2
GDP	0.0206					
R&D (Total)	0.0789	0.0012	0.1909	0.4530	0.1230	-0.3941
R&D (Private)	0.1329	0.0245	0.4190	0.3639	-0.0547	-0.3360
R&D (Public)	0.1018	0.0903	0.1878	0.1447	-0.0367	-0.1982
R&D (Budget)	0.0983	0.2489	0.0923	-0.0092	-0.0160	0.1083
R&D (GDP Ratio)	0.0006	0.0532	0.1274	0.2685	0.2209	-0.2596
R&D (Large Firms)	0.0496	-0.2672	-0.2672	0.7030	0.1235	-0.2770
R&D (Small Firms)	0.1162	-0.2820	-0.2820	0.4207	0.3801	-0.4188

주1. 표본기간은 기업규모별 연구개발투자는 1992년부터, 그 이외에는 1970년부터 2018년까지임.

주2. 음의 시차는 해당 시계열의 경기선행성을, 양의 시차는 경기후행성을 의미함.

주3. 빨간색은 경기순행성이 가장 높은 시차상관계수를 나타냄.

주4. R&D(Budget)은 한용용·김주일. (2020), 『2020년도 정부연구개발예산 현황분석』, 한국과학기술기획평가원, 조사자료 2020-002, p.164.에서 발췌

표 2-3: GDP와 R&D의 경기변동(8년-50년 주기) 간의 시차상관과 표준편차

변수	표준편차	시차상관계수				
		-2	-1	0	1	2
GDP	0.0067					
R&D (Total)	0.0236	0.2497	0.6525	0.6859	0.1978	-0.4310
R&D (Private)	0.0436	0.1585	0.6465	0.6269	0.0997	-0.4058
R&D (Public)	0.0338	0.1639	0.3480	0.3295	0.1450	0.0068
R&D (Budget)	0.0279	0.1083	0.3226	0.3275	0.2102	0.0671
R&D (GDP Ratio)	0.0003	0.1582	0.3989	0.4310	0.1802	-0.2213
R&D (Large Firms)	0.0204	-0.3003	0.1859	0.5950	0.4496	0.1297
R&D (Small Firms)	0.0437	-0.0035	0.4137	0.5176	0.0434	-0.6775

- 주1. 표본기간은 기업규모별 연구개발투자는 1992년부터, 그 이외에는 1970년부터 2018년까지임.
 주2. 음의 시차는 해당 시계열의 경기선행성을, 양의 시차는 경기후행성을 의미함.
 주3. 빨간색은 경기순행성이 가장 높은 시차상관계수를 나타냄.
 주4. R&D(Budget)은 한웅용·김주일. (2020), 『2020년도 정부연구개발예산 현황분석』, 한국과학기술기획평가원, 조사자료 2020-002, p.164.에서 발췌

제 3 장 거시구조 이론모형의 배경

이번 장에서는 R&D와 관련한 구조 이론 모형을 제시하기 전에 거시경제학에서 주로 다루는 이론 모형에 대해서 개괄적인 소개를 하고자 한다. 최근 거시경제학계에서 다루는 이론모형의 틀은 동태확률일반균형모형(Dynamic Stochastic General Equilibrium)이라고 불린다. 이 모형이 거시경제학계나 거시경제 정책계에서 각광을 받으며 주된 분석틀이 된 배경에 대해서 말하고, 이 이론의 변천사를 요약하고 정리하고자 한다.

제 1 절 DSGE 이론모형의 배경

초기의 거시경제학 이론은 주로 정태적 관점에서 분석되었다. 예컨대, 현재 소비는 현재 소득의 일정한 비율, 즉, 한계소비성향에 따라 결정되고 저축 또는 투자가 그 나머지가 된다. 따라서, 소비 또는 투자라는 거시경제 변수의 함수는 다른 시점에서의 변수와 상관없이 현재 시점에서의 변수로만 이루어져 동태적 관점에서의 식별이 결여되어 있었다. 이와 같은 구조 안에서는 시차를 두고 영향을 서로 주고받을 수 있는 거시경제 변수들의 기간 간 내생성을 배제하고 있으며, 특히 정책의 동태적 파급효과를 분석할 수 없다. 한편, 거시경제 변수와 관련된 시계열 자료들을 바탕으로 계량경제학적 모형을 식별하여 분석하는 방법론 또한 제시되었다. 주로 벡터자기회귀모형(Vector Autoregressive Models)과 같이 현재의 거시경제 변수들을 과거변수들의 함수로 식별하고 이들 간의 통계적 연관성이 높은 점을 활용하여 분석 및 예측을 시도할 수 있다. 정태적 이론 모형에 비해서는 동태적 차원의 문제로 확장했다는 점에 있어서 진일보했으나, 정책의 파급효과를 분석하기에는 한계가 있다는 지적이 있다.

일반적인 계량모형에서 주로 쓰이는 회귀적 모형들의 단점은 Lucas (1976)에서 지적한 바와 같이 경제 주체들의 경제적 행태는 계측된 변수들만의 회귀적 형태로 한정해서 식별할 수 없다는 점과 더불어, 경제 주체들의 자원 배분 결정은 결국 미래의 경제 상황에 대해서 예측을 기반으로 이루어진다는 점이다. 거시경제 변수들 간의 내생성은 사후적인 통계적인 연관성에 의해 식별된 것이 아니라, 미시적 토대(microfoundations)에 기반을 둔 경제 주체들의 최적화 문제의 결과로 나타내는 것이 중요함을 강조하였다. 또한, DSGE 이론의 근간이 되고 있는 Lucas의 합리적 기대 가설(Rational Expectation Hypothesis)은 각각의 경제주

체들이 미래의 경제상황에 대해서 확률적인 기대치를 바탕으로 자원배분을 결정한다는 점이 핵심이다. 그리고, Lucas (1976)에 따르면 미시적 토대에 대한 식별과 미래 예측이 가능한 합리적 기대에 기반을 둔 동태적 관점에서의 구조이론이 제시될 때 비로소 거시경제정책이 경제에 미치는 파급효과를 분석할 수 있다고 하였다. 왜냐하면, 정책의 변화라는 충격을 경제에 도입했을 때, 그러한 정책 변화 요인이 없었던 과거의 정보를 바탕으로 이루어진 분석은 정책 변화에 따른 미래의 경제 상황에 대해서 대응하는 경제 주체들의 행태를 내포하고 있지 않기 때문이다.

Lucas (1976)의 주장 이후, 거시경제학의 이론모형은 주로 동태확률일반균형(DSGE) 모형을 중심으로 발전되었다고 해도 과언이 아니다. 동태적 관점(dynamic perspective)은 변수들 간의 내생성이 과거, 현재 그리고 미래의 경제 상황에 따라 연계가 된다는 것이고, 확률적인 부분은 미래의 경제 상황에 대해서 경제 주체들이 가지고 있는 합리적 기대를 말한다. 그리고, 일반균형은 미시적 토대에 의해 식별된 경제주체들의 최적화 결정이 각각의 다양한 시장⁷⁾에서 집계화되어 시장청산조건을 만족하는 수요와 공급 간의 균형을 의미한다.

제 2 절 DSGE 이론 모형의 구성과 전개

DSGE 이론모형을 제시하고 분석하는 논문들은 일반적으로 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저, 이론모형이 구성하고 있는 경제주체들을 나열하고 이들이 직면하고 있는 문제들을 식별한다. 주로, 경제구조는 가계와 기업으로 구성되어 있으며, 재정정책을 운용하는 중앙정부와 통화정책을 운용하는 중앙은행이 존재한다. 가계는 예산 제약 하에서 소비와 투자 또는 저축 등을 통해 평생효용을 극대화하는 문제를 직면한다. 재화시장에서는 생산된 재화를 구입하여 소비하거나 투자함으로써 수요를 결정하며, 노동과 자본과 같은 생산요소시장에서는 노동서비스와 자본서비스를 기업에 제공함으로써 공급을 결정하게 된다. 기업의 경우는 생산요소 시장에서의 임금과 자본임대료를 지불하고 가계로부터 제공받은 자본과 노동을 생산 과정에 투입하여 얻은 산출물을 다시 가계에 판매하는 역할을 가진다. 이 과정에서 기업의 목적함수는 이윤함수가 되고, 제약 조건은 생산요소와 산출 간의 관계를 식별해주는 생산함수가 된다. 각각의 경제 주체들이 직면한 문제에 따라서 도출된 최적 조건들은 결국 시장청산 조건과 더불어 내생변수들의 일반균형을 이루게 된다. 가장 간단한 형태의 DSGE 이론 모형

7) 가장 간단한 일반균형모형에서는 재화시장, 자본시장, 노동시장 및 금융시장으로 구성된다.

에서 경쟁적 균형은 다음과 같이 정의된다.

경쟁적 일반 균형이란 모든 시기에 대해서 재화가격, 임금, 자본임대료와 같은 가격변수들과 자본, 노동, 총산출, 소비, 투자 등과 같은 내생변수들이 다음과 같은 조건들을 만족할 때 이루어진다.

1. 자본수요, 노동수요 및 총산출은 주어진 시장가격(재화가격, 임금, 자본임대료) 하에서 기업의 이윤을 극대화하며,
2. 소비, 투자, 자본공급 및 노동공급은 주어진 시장가격(재화가격, 임금, 자본임대료) 하에서 가계의 효용을 극대화하며,
3. 모든 시장은 청산된다. 즉, 자본시장, 노동시장, 재화시장 모두 공급과 수요가 모든 시기에 일치한다.

한편, 이론모형의 배경에서 설명한 바와 같이, 각각의 목적함수나 제약식들은 후행 변수로만 이루어진 것이 아니라 미래에 대한 기대치를 가진 변수로 구성되어 있다. 즉, 어떠한 특정 확률 분포에 따라 경제 상태가 변할 수 있음을 의미한다. 여기서, 확률분포를 가정하는 상태변수들은 구조 관계에 의해서 내생화되어 있지 않은 외생적인 변수로서 “구조충격요인(structural shock)”이라는 이름을 가지고 있다. 이러한 구조충격요인들은 각각 독립적인 확률변수이며, 내생변수들이 장기적으로 성장하게 되거나 경기변동을 야기하는 원인이 된다. 장기적인 성장은 확률적인 현상과는 다소 거리가 있는 추세적인 요인에 의해 결정되기 때문에, DSGE 이론 모형은 주로 확률적인 상태에 따라 결정되는 경기변동에 관한 함의를 다루는 것이 주된 관심사이다. 따라서, 구조충격요인에 따라 변화하는 거시경제변수들 즉, 이론 모형상의 내생변수들의 경기 변동 상의 특징들을 정리하여 보고하게 된다.

우선, 이론 모형은 구조충격요인의 변화가 균형조건들을 만족하는 내생변수들의 충격 반응을 살펴보는 작업이 첫 번째가 될 것이다. 이때, 균형조건들에 의해서 복잡하게 얽혀있는, 더군다나 기대값에 의해서 식별된 미래변수까지 포함된 다차원의 연립방정식을 만족하는 내생변수들의 이행과정을 paper and pencil로만 설명하기는 대개 불가능하다. 따라서, 필연적으로 이론모형의 균형조건들을 축약된 형태로 문제를 변환해야 하는데, 이 과정에서 수학적으로는 근사화 과정을 먼저 거치게 된다. 일반적으로 DSGE 이론모형의 균형조건들을 모으면 다음과 같이 요약된다.

$$E_t[F(Y_{t+1}, Y_t, X_{t+1}, X_t)] = \underbrace{0}_{n \times 1}$$

F 함수는 균형조건식들로 구성된 연립방정식으로서 변수들의 유일한 해가 존재하려면 변수들의 총 개수만큼 존재해야 한다. 여기서 변수들은 두 가지 형태로 구분하게 되는데, 하나는 non-predetermined 또는 control 변수인 n_y 차원의 Y_t 와 predetermined 또는 exogenous 변수인 n_x 차원의 X_t 로 나뉜다. Y_t 는 주로 현 시점, t 기에서의 총산출, 소비, 투자, 각종 가격변수들이 있을 수 있다. 반면, X_t 는 다음과 같은 두 가지 정도의 변수가 포함된다.

$$X_t = \begin{bmatrix} k_{t-1} \\ \epsilon_t \end{bmatrix}$$

k_{t-1} 는 predetermined 변수로서 이전 시점, $t-1$ 기에 이미 결정되어 이번 시점, t 에 영향을 미치는 변수이다. 대개는 지난 기에 투자를 통해 결정되어 현재 생산함수에 투입되는 생산요소로서 자본스톡이 가장 대표적인 변수라고 할 수 있다.

이와 같은 구분 하에서, 축약된 형태의 함수는 X_t 의 독립적인 이행 과정과 더불어 Y_t 를 X_t 만의 함수로 표현해낼 수 있다. 즉, 상태 공간 형태(state-space form)로 재구성할 수 있게 된다. 먼저, 위의 비선형 함수로 이루어진 F 함수를 Taylor expansion을 이용하여 근사화에 있어서 가장 단순한 선형화를 적용시킬 수 있다. Taylor expansion은 일정한 기준점을 중심으로 근사화시키는 방법인데, 여기서 기준점은 장기균형상태, 즉, 모든 구조충격요인이 평균적인 수준인 0일 때를 가정한 변수들의 수준으로 정한다. 이 기준점을 DSGE 문헌에서는 정상상태(deterministic steady state)라고 한다. 따라서, 구조충격요인이 정상상태 주변에서 경기변동을 야기한다면 근사화된 식은 원래의 비선형 식을 비교적 잘 설명한다고 볼 수 있으나, 간혹 구조충격요인이 정상상태에서 크게 벗어나는 경우 근사화 오차(approximation error) 문제가 발생한다는 비판을 받고 있다. 다만, 이러한 경우는 실제 대공황이나 금융위기 같이 rare disaster에 한해 발생하는 것으로 대부분의 시기에서는 문제가 되지 않는다. Schmitt-Grohe and Uribe (2004) 식의 perturbation method를 준용하여 정리하면 다음과 같이 1도 근사화(first order approximation)인 선형식으로 요약할 수 있다.

$$E_t[F_{\hat{y}_{t+1}} \hat{Y}_{t+1} + F_{\hat{y}_t} \hat{Y}_t + F_{\hat{x}_{t+1}} \hat{X}_{t+1} + F_{\hat{x}_t} \hat{X}_t] = \underbrace{0}_{n \times 1}$$

여기서 변수 위의 hat은 정상상태로부터의 로그 차분(log-deviation from steady state)로서 다음과 같은 것을 의미한다.

$$\hat{x}_t \equiv \log(X_t) - \log(X_{ss})$$

따라서, 위의 선형식들은 로그차분 변수들로 이루어져 있으며, 계수들은 다음과 같은 정상상태에서의 미분값들이다.

$$\begin{aligned} F_{\hat{x}_t} &\equiv \frac{\partial F}{\partial \hat{x}_t} \\ F_{\hat{x}_{t+1}} &\equiv \frac{\partial F}{\partial \hat{x}_{t+1}} \\ F_{\hat{y}_t} &\equiv \frac{\partial F}{\partial \hat{y}_t} \\ F_{\hat{y}_{t+1}} &\equiv \frac{\partial F}{\partial \hat{y}_{t+1}} \end{aligned}$$

결국, 위의 선형식은 합리적 기대이론이 반영된 선형차분 연립방정식(linear difference equations under rational expectations)으로서 이 모형의 해를 구하는 방법은 Blanchard and Kahn (1980)이 제공하였다. Blanchard and Kahn (1980)에 따른 모형의 해는 다음과 같은 축약된 형태의 상태 공간 함수로 표현된다.

$$\begin{aligned} E_t \hat{x}_{t+1} &= h_x \times \hat{x}_t \\ \hat{y}_t &= g_x \times \hat{x}_t \end{aligned}$$

첫 번째 식은 상태변수들의 이행과정이며, 두 번째 식은 현 시점의 내생변수들에 대하여 상태변수의 함수로 묘사된다. 따라서, 구조충격요인의 변화에 따른 내생변수들의 반응을 점검하기 위해서는 변수 \hat{x}_t 내에 있는 충격요인 하나를 선택하여 최초의 시점에 임의의 값을 주면 나머지 상태변수, \hat{x}_t 들과 더불어 내생변수, \hat{y}_t , 이 시차를 두고 반응하게 됨을 알 수 있

다. 이러한 과정을 보고하는 것이 충격반응함수(impulse response function)이며, 가장 간단한 형태의 모의실험(simulation)으로 볼 수 있다. 충격반응함수를 보고 구조충격요인이 미치는 영향을 보고하며, 그 안에 내재되어 있는 기제(mechanism)들이 일반균형 관점에서 어떻게 작용하는지를 궁극적으로 이해할 수 있게 된다.

한편, 모의실험은 한 시점에서 하나의 구조충격요인에 임의의 값을 주는 것에 국한되지 않으며, 다양한 구조충격요인을 동시에 매 시점마다 앞서 가정한 확률분포에서 추출된 임의의 값으로 가정하여 이행과정을 지속적으로 풀어볼 수 있다. 이는 확률모의실험(stochastic simulation)으로서 지속적인 충격요인이 발생하는 현실을 상정하여 실제 경기 변동하는 관측치들과 비교해볼 수 있는 결과가 나올 수 있다. 여기서의 내생변수들의 변동성 크기 또는 내생변수들 간의 시차상관계수를 계산하여 표본자료 상의 거시경제 지표들과 비교 분석하여 이론모형의 실증분석을 수행해볼 수 있는 것이다. 이와 같은 분석에는 앞서 가정한 미시적 토대의 최적화 문제들 안에서 구조 모수값에 대한 가정이 필요한데, 내생변수들의 정량적인 특징들을 표본자료 상에서의 특징과 일치하도록 모수값들을 조정하는 기법을 캘리브레이션(calibration)이라고 한다. 캘리브레이션은 이론 모형의 현실 설명력을 높이기 위한 가장 기초적인 접근방법이 된다. 아래 소개되는 RBC 이론모형은 실증분석을 위해 지속적인 모의실험으로 구조모수들에 대해 캘리브레이션하는 모의실험적률추정방법론(simulated method of moments)을 채택하였다.

RBC 이론 모형 이후 뉴케인지언(New Keynesian) 이론모형과 같이 보다 확장되고 다양한 내생변수들이 도입된 후에는 일반적률추정방법론(general method of moments)이나 거리최소자승추정법(minimum distance methods) 등이 개발되었으며, 최근에는 이전의 부분정보접근법(partial information approach)보다는 완전정보접근법(full information approach)인 베이저언 통계 기법(Bayesian estimation method)을 활용하여 분석한다. 이러한 방법론들에 대한 자세한 설명은 Canova (2007)를 참고할 수 있다.

캘리브레이트되었거나 추정된 구조모수를 바탕으로 이론모형을 활용한 실증분석에서는, 구조충격요인들이 각기 시차를 두고 내생변수에 미치는 영향을 정량적으로 도출하는 예측오차분산분해(forecast error variance decomposition)도 가능하며, 표본자료 상에서의 거시경제변수들에 대해서 구조충격요인들의 역사적 분해도 가능하다. 이와 같은 결과들은 아래

이론 모형의 예시와 본 보고서에 제시하고자 하는 이론 모형의 결과로 보고하도록 한다.

제 3 절 RBC 이론 모형

DSGE 이론모형의 출발은 Kydland and Prescott(1982)과 King, Plosser and Rebelo (1988)에 의해서 정리된 실질경기변동이론(Real Business Cycle Theory)에서부터 비롯된다. 비록, RBC 이론이 제시되었던 당시에는 DSGE 이론의 하나라고 말하지 않았으나, 이후 발전된 이론모형은 RBC 이론의 핵심을 그대로 계승하고 있다는 점에서 DSGE 이론의 출발로 볼 수 있다. RBC이론 모형은 기본적으로 총공급 측에서의 구조충격요인이 경기변동을 야기하는 것으로 보고 있다. 총공급은 재화를 생산하는 기업의 이윤 극대화 문제에 의해 결정된다. 한편, 총수요는 가계의 효용극대화 문제로 결정되는데, 총수요 측의 충격요인은 없는 것으로 가정한다.

1. 기업부문

우선 기업의 문제를 살펴보면, 완전경쟁시장을 직면하는 기업은 자본과 노동이라는 생산요소를 일정한 대가를 지불하고 사용하여 재화라는 산출물을 통해 수익을 번다. 주지하는 바와 같이 기업의 목적함수는 총수익에서 총비용을 뺀 이윤이며, 이때 활용되는 생산요소는 생산함수에 의해서 산출물이 결정된다. 즉, 기업은

$$\max_{k_t^d, n_t^d} \Pi_t \equiv A_t \cdot y_t^s - r_t k_t^d - w_t n_t^d$$

subject to

$$y_t^s = F(k_t^d, n_t^d) \equiv (k_t^d)^\alpha (n_t^d)^{1-\alpha}$$

여기서 k_t^d 는 자본수요를, n_t^d 는 노동수요를, y_t^s 는 재화공급 또는 총산출을, 그리고 A_t 는 총요소생산성이다. 또한, 생산함수, $F(k_t^d, n_t^d)$ 는 생산요소의 고정대체탄력도(constant elasticity of substitution)를 형태를 가진 함수로서, 거시경제학 문헌에서는 대개 위와 같은 Cobb-Douglas 함수를 준용한다. 국민소득 3면 등가의 법칙을 감안할 때, 이론 모형 내에서는 Cobb-Douglas 함수에 의해 자본 및 노동 소득분배율이 고정된다. 이는 국민소득 자료를

바탕으로 봤을 때 장기적으로 소득분배율이 일정하다는 Kaldor의 정형화된 사실과 일치하기 때문에 Cobb-Douglas 함수를 주로 사용하게 된다. 여기서, 구조모수, α ,가 상정하고 있는 경제 내의 자본소득율로 캘리브레이트하게 되며, 미국은 대개 0.3 정도이며 우리나라의 경우는 0.35 정도로 볼 수 있다.

한편, A_t 는 총요소생산성인데, 이 변수는 외생적으로 주어지는 것으로 가정한다. RBC 이론모형의 핵심인 이 변수는 확률적인 이행과정을 통해서 경기변동을 야기하는 주된 변수이다. 즉,

$$\log(A_t) = \rho_A \log(A_{t-1}) + \sigma_A \cdot \varepsilon_t^A$$

로 가정하는 데, 총요소생산성은 자기회귀항, A_{t-1} ,을 포함하여 지속성(persistence)을 만들고, 확률변수인 ε_t^A 에 의해 확률적 이행과정을 가지게 된다. 확률변수인 ε_t^A 은 독립적이고 항등적인(independent and identical) 표준정규분포를 따르는 확률변수(random variable)로서 구조충격요인으로 식별한다. 정규분포를 가정하는 이유는 이론적인 배경과 실용적인 이유 모두 포함된다. 이론적으로는 확률변수는 장기적으로 central limit theorem에 의해서 정규분포로 수렴된다는 점과 추정과정에 있어서의 수월성이 있기 때문이다.

결국, 외생적으로 주어진 구조충격요인과 더불어 완전 경쟁적 생산요소시장과 재화시장 가정으로 인해 주어진 가격변수들 하에서 위 기업의 이윤극대화 문제에서 일계조건들을 구하면,

$$\begin{aligned} [k_t^d]: r_t &= \rho_t A_t \alpha (k_t^d)^{\alpha-1} (n_t^d)^{1-\alpha} \\ [n_t^d]: w_t &= \rho_t A_t (1-\alpha) (k_t^d)^\alpha (n_t^d)^{-\alpha} \end{aligned}$$

일계조건은 기업의 최적조건이며, 자본수요와 노동수요를 결정하는 균형조건의 일부가 된다. 위의 조건들은 기본적으로 자본수요와 노동수요는 각각의 생산요소 한 단위를 추가로 늘렸을 때, 얻을 수 있는 한계수익(marginal revenue)과 한계비용(marginal cost)이 일치할 때 이윤이 극대화됨을 의미한다. 여기서, 한계수익은 각각의 생산요소의 한계생산(marginal product of capital and labor)이며, 한계비용은 각각의 생산요소의 비용인 자본임대료와 임금이 된다. 이처럼, 한 경제주체의 최적화문제의 결과는 언제나 그 주체가 배분하는 자원 한 단위를 늘

렸을 때 얻게 되는 한계이득(marginal benefit)과 한계비용(marginal cost)이 일치하는 수준에서 결정하게 된다는 것을 주목할 필요가 있다. 다양한 경제주체가 직면하는 최적화 문제는 목적함수와 자원배분변수, 그리고 제약식이 다를 뿐, 그 결과는 이와 같은 기본적인 틀 속에서 이해하고 해석될 수 있다.

2. 가계부문

가계는 1의 규모의 인구를 가지고 있다고 가정하며, 개별 가구는 i 로 식별했을 때, 다음과 같이 평생효용 극대화 문제를 직면한다. 즉, 목적함수는

$$\max_{\{c, i, n^s, B_{t+1}, a_{t+1}\}_{t=0}^{\infty}} E_0 \left[\sum_{t=0}^{\infty} \beta^t u(c, n^s) \right]$$

이며, t 시점에서의 예산 제약식은

$$\begin{aligned} c_{it} + i_{it} + \frac{B_{it+1}}{p_t} + \int q_{t+1,t} a_{it+1} d\omega_{i,t+1|t} \\ = w_t n_{it}^s + r_t k_{i,t-1}^s + R_{t-1} \frac{B_{it}}{p_t} + a_{it} + F_t \end{aligned}$$

우선 효용함수는 실질소비, c_{it} ,와 노동공급, n_{it}^s ,에 의해 결정된다. 실질소비에 대해서는 증가하며, 노동공급에 대해서는 여가와 역함수 관계를 갖고 있으므로 감소한다. 다만, 한계효용 체감(diminishing marginal utility)에 의해 증가분이 점차 감소하는 특징을 주로 가정하여, 효용함수의 오목함수(concavity)의 특징을 지닌다. 이와 같은 중요한 성질로서 추후 소비와 투자를 결정하는데 있어서 기간 간 위험(intertemporal risk)을 최소화하는 기제를 만든다. 가장 간단한 형태의 효용함수는 다음과 같이 고정탄력도 함수 형태를 가진다.

$$u(c, n^s) \equiv \log(c) - \psi \frac{(n^s)^{1+\gamma}}{1+\gamma}$$

소비에 대해서는 고정상대위험기피도가 1의 값을 가지는 자연로그 함수 형태이며, 노동공급

에 대해서도 γ 의 고정탄력도를 가진 형태를 가질 수 있다. 효용함수의 경우는 연구자의 목적에 따라 훨씬 다양한 형태의 함수를 가질 수 있으나, 기본적으로 효용함수의 일도함수가 양수라는 점과 이도함수가 음수인 특징을 주로 가정한다. 한편, 자본스톡의 이행과정은

$$k_{it}^s = (1 - \delta)k_{it-1}^s + i_{it}$$

로 가정한다. 매 시점에 투자, i_{it} ,를 통해서 자본스톡은 증가하며 일정한 비율, δ ,에 따라서 감가상각된다. 여기서 주의할 점은 자본스톡 공급은 t 시점에서 이미 지난 시점 $t-1$ 에서 정해진 자본스톡이 자본소득을 발생시키며, t 시점에서 투자한 자본스톡은 다음 기 $t+1$ 에 영향을 준다는 점이다. 따라서, 가계의 투자 결정은 필연적으로 이번 시점만의 이해에 따라 결정하는 것이 아니라, 다음 또는 미래 시점에서의 경제상황에 대한 예측을 바탕으로 결정된다는 점이다. 이와 같은 결정은 비단 투자와 자본스톡 결정뿐만 아니라 무위험(명목)채권, B_{it} 와 Arrow 증권, a_{it+1} ,에 대해서도 마찬가지이다. 우선, 무위험채권, B_{it+1} ,은 다음 기 $t+1$ 에

어떠한 경우에도 R_t 의 이자율을 보장받는 권리이다. 따라서, 이번 시점 t 에는 $R_{t-1} \frac{B_{it}}{p_t}$ 만큼

의 원금과 이자를 돌려받게 된다⁸⁾. 또한, Arrow 증권인 a_{it+1} 은 경제 상태(economic state)에 따라서 받는 contingent claim으로서 경제의 모든 상태에 대한 금융상품을 대변한다. 이와 같은 완전 자산 시장(complete asset market)을 가정할 때, 비로소 개별적인 가계들의 위험은 분산되어 매 시점 가계의 자원배분 결정은 대칭적인 결과로 도출된다. 즉, 완전자산시장의 가정으로 인해 가계의 의사결정은 모두 동일한 것으로 볼 수 있으며, 모든 변수들, $\{c_{it}, i_{it}, n_{it}^s, B_{it+1}, a_{it+1}\}$ 의 하첨자 i 를 지우고, 대표적 가계 가정(representative household assumption)을 도입할 수 있다. 다시 말해서,

$$\left\{ c_{it} = c_{t, i_{it}} = i_{t, n}^s = n_{t, B_{t+1}}^s = B_{t+1}, a_{it+1} = a_{t+1} \right\}$$

한편, 생산요소시장에서는 가계가 생산요소를 공급하는 주체가 되어, 각기 직면하는 시장 가격, r_t 와 w_t 에 따라서 투자와 노동공급을 결정하게 된다.

8) 여기서 채권은 명목가격으로 표시되어 실질화를 감안하여 예산제약식에 포함된다

가계의 문제 안에는 하나의 목적함수와 제약식이 두 개가 존재하여, 최적화문제를 도출하기 위해 사용할 수 있는 접근법은 라그랑지안 문제로 식별하는 방법이다. 상기의 문제를 라그랑지안 접근법으로 다시 정리하면,

$$\max_{\{c_t, i_t, k_t^s, n_t^s, B_{t+1}\}_{t=0}^{\infty}} L = E_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left[u(c_t, n_t^s) + \lambda_t \left[\left\{ w_t n_t^s + r_t k_{t-1}^s + R_{t-1} \frac{B_t}{p_t} + F_t - c_t - i_t - \frac{B_{t+1}}{p_t} \right\} \right] + \mu_t \{ k_t^s - (1-\delta)k_{t-1}^s - i_t \} \right]$$

두 개의 제약식을 라그랑지안 함수의 하나로 결합시키면서 새롭게 도입하는 auxiliary variable은 λ_t 와 μ_t 이다. λ_t 는 예산 제약식에서의 단위 하나를 늘렸을 때, 얻게 되는 한계효용(marginal utility of wealth)을 반영하고 있으며, μ_t 는 자본스톡 한 단위를 늘렸을 때 증가하는 예산 제약식 상의 화폐단위를 말한다. 두 변수 모두 일종의 다른 단위로 표기된 각각의 효용함수와 제약식들을 하나의 단위로 통일시키는 환율과 같은 것으로도 간주할 수 있으며, 경제학적으로도 중요한 의미를 지니고 있다. 특히, μ_t 의 경우는 투자 한 단위 늘렸을 때의 장부 가치를 의미하는 Tobin의 Q개념과도 일치하는 변수이다. 각각의 의사 결정해야 하는 내생변수들에 대해서 일계조건을 도출하여 나열하면,

$$\begin{aligned} \lambda_t &= u_{c,t} \\ \lambda_t &= \beta E_t \left[\lambda_{t+1} \frac{R_t}{\Pi_{t+1}} \right] \\ \lambda_t \mu_t &= \beta E_t \left[\lambda_{t+1} (r_{t+1} + (1-\delta)\mu_{t+1}) \right] \\ \mu_t &= 1 \end{aligned}$$

이 된다. 첫 번째 조건은 앞서 설명한대로, 라그랑지안 변수, λ_t 가 한계효용과 일치함을 보여주고 있다. 두 번째 조건은 채권수요에 대하여 현재의 한계효용과 미래 기대되는 실질이자율을 감안하여 얻게 되는 한계효용과 일치하도록 하는 수준에서 결정된다는 것이다. 채권 한 단위를 매입했을 때, 현재 시점에서는 소비 한 단위만큼을 저축으로 대체함으로써 그 만큼의 한계효용이 감소하며, 반면, 미래에 얻게 되는 실질적인 수익으로 추가적으로 얻을 수 있는 소비의 가치를 지금 시점에서 할인하여 평가한 한계효용이 된다. 즉, 좌변은 한계비용, 우변은 한계효용이다. 세 번째 조건 역시 자본스톡 한 단위를 늘렸을 때, 감수해야 하는 현재의 한

계효용감소가 다음 기에 기대되는 자본소득을 통해 추가적으로 얻을 수 있는 소비의 가치를 현재의 시점에서 평가한 한계효용이다. 이러한 한계비용과 한계효용이 일치하는 수준에서 자본소득을 결정한다고 하는 것이다. 두 번째 조건 또는 세 번째 조건은 모두 현재시점의 소비와 다음 기의 소비의 함수로 정리해볼 수 있는데, 이를 오일러 방정식이라고 불린다. 이와 같은 오일러방정식은 소비의 동태적인 이행과정을 이해하는데 있어서 가장 중요한 핵심이 된다. 즉, 소비의 결정은 단순히 현재의 소득 수준에만 의존하는 것이 아니라, 채권 매입 또는 자본소득 투자를 통해 미래의 소비를 함께 증대시킬 수 있는 방향으로 결정된다는 것이다. 즉, 소비의 기간 간 평활화 기제(consumption smoothing mechanism)가 작동하는 것이다. 이러한 기제 뒤에는 효용함수가 주지하는 바와 같이 오목함수라는 가정과 함께, 채권이나 자본소득을 통해서 자원의 기간 간 배분(intertemporal allocation)이 가능하다는 점이 작용하고 있다. 결국, 외생적인 구조충격요인인 총요소생산성이 변하여 소득의 경기변동적인 변화가 발생하면, 투자와 저축을 통해 소비를 평활화시키는 기제가 작동하는 것이다.

마지막으로는 각 시장들의 청산조건들을 만족해야 일반균형을 도출할 수 있게 된다. 우선, 각각의 생산요소시장은 다음과 같이 청산된다.

$$\begin{aligned} k_{t-1}^s &= k_t^d \\ n_t^s &= n_t^d \end{aligned}$$

주의할 점은 자본수요의 경우는 t 기에 결정되나, 자본공급의 경우는 $t-1$ 에 결정되기에 위와 같은 청산조건이 된다. 또한, 채권시장의 경우는 폐쇄경제(closed economy)를 가정하고 있어, 초과 공급이나 초과 수요가 존재하지 않고 청산되어야 한다. 즉,

$$B_t = 0$$

한편, 재화시장에서는 중앙정부나 중앙은행이 없다는 가정 하에서는 다음과 같은 항등식을 만족해야한다.

$$y_t^s = c_t + i_t$$

3. RBC 이론모형의 의의와 한계점

Kydland and Prescott (1982)과 King, Plosser and Rebelo (1988)는 이와 같은 RBC이론 모형을 통해 대표적인 거시경제 변수들의 경기 변동적 특징들을 구현해냈다. 즉, 위와 같은 RBC이론 모형을 통해서 총요소생산성 구조충격요인에 임의의 값들을 확률분포에서 추출하여 삽입한 뒤 모의 실험한 결과 소득 또는 총산출의 변동성에 비해서 소비의 변동이 작고, 투자의 변동성이 상대적으로 크다는 것을 보여주었다. 한편, 이론모형에서 제시된 각종 구조 모수값들은 모의실험적률추정방법론을 통해서 캘리브레이트하였다.

다만, RBC 이론모형이 가지는 가장 큰 한계점은 두 가지로 지적된다. 첫째는 인플레이션이 경기역행적인 모습을 가진다는 점이다. 총요소생산성은 총공급 측의 구조충격요인으로서 총공급곡선을 축이동시키는 요인이 된다. 즉, 총요소생산성을 높이는 충격이 발생하면 총산출이 증가함과 더불어 물가는 하락한다. 반대로, 총요소충격요인을 하락시키는 충격이 발생하면, 총산출이 감소함과 더불어 물가가 상승한다. 비록, 이러한 경기역행적인 인플레이션의 특징은 1960-70년대의 오일쇼크를 설명할 수 있는 하나의 가설이 될 수 있으나, 그 외 기간에서는 대체로 인플레이션이 경기순행적인 점을 감안한다면, 지금까지의 거시경제 지표들을 바탕으로 관측된 표본 자료의 전 기간 동안의 인플레이션 현상을 설명하기에는 부족하다. 두 번째는 RBC 이론모형에서는 중앙정부나 중앙은행이 사회후생을 높일 수 있는 정책적 개입의 여지가 전혀 없다. 우선, 재정정책의 경우, 정부 지출을 늘렸을 때, 가계는 미래에 대한 완벽한 예측이 가능하기 때문에 정부의 장기적인 재정균형을 감안하여 세금부담을 의사결정에 반영하게 된다. 즉, 정부가 지출을 늘린다는 것은 현재건 미래건 세금부과로 이어지며, 가계의 평생소득 흐름에는 부정적인 영향을 끼치며, 이를 감안한 가계들은 (소비의 평활화 기제를 통해) 현재의 소비를 감소시키는 구축효과(crowding effect)가 발생한다는 것이다. 한편, 중앙은행의 통화정책은 명목이자율을 조절하여 화폐시장에 개입하는 것으로 볼 수 있는데, 명목이자율을 증가시킬 경우, 총수요를 감소시키는 방향으로 작용하나 기업은 생산에 있어서 실질 자원 배분을 변화시키지는 않고 가격을 조정하여 공급하게 된다. 즉, 명목이자율 상승은 온전히 명목가격만 하락시킬 뿐, 실질 변수인 총산출과 노동수요 및 자본수요에는 전혀 영향을 주지 않는다. 이를 화폐의 중립성(money neutrality)라고 불리는데, 이는 전형적인 신고전 학파적인 이론 모형의 결과임을 알 수 있다.

따라서, RBC 이론모형의 한계점을 극복하려면, 경기변동을 야기하는 총공급 구조충격요인 이외에도 총수요 측 구조충격요인을 식별하여 인플레이션의 경기순행성을 설명할 수 있어야 된다는 점과 여러 실증문헌에서 밝혀진 바⁹⁾와 같이 화폐의 중립성이 성립하기 어렵다는 점을 감안해야한다는 점이 필요한 것이다. 이와 같은 두 가지 핵심을 보다 확장한 이론모형이 바로 뉴케인지언 이론모형이다.

제 4 절 뉴케인지언 이론모형

뉴케인지언 이론모형(New Keynesian models)은 1980년 중반 이후 미국 및 선진국들의 경제 상황이 대안정화(Great Moderation)을 경험하게 되면서, 이러한 상황에서의 중앙은행의 역할이 중요했음을 조명하기 위해 발전하게 되었다. 기존의 RBC 이론모형만으로는 인플레이션의 경기순행성과 중앙은행의 통화정책의 기여를 평가할 수가 없었기 때문이다. 뉴케인지언 이론모형에서는 인플레이션의 경기순행성을 야기하는 총수요 구조충격요인들을 도입하게 되었으며, 화폐의 단기적인 비중립성(money non-neutrality)을 유도하도록 이론모형이 구성되었다. 장기적으로는 RBC 이론모형에 수렴하는 점과 유사하나, 단기적으로는 전통적인 케인지언적 가정을 도입하고 있다. 케인지언적 가정의 핵심은 Calvo (1983)에서 제시된 가격 경직성을 도입하는 것이었다. Yun (1996)에서 이를 일반균형 모형에 적용하여 경기변동적 특징과 통화정책의 역할을 정리하였다. 경제의 대안정화이후 2008년 글로벌 금융위기 이전까지의 경제상황을 가장 잘 설명하는 이론으로 알려진 뉴케인지언 이론모형은 Christiano, Eichenbaum and Evans (2005)와 Smets and Wouters (2005)에서 다양한 마찰요인들과 구조충격요인들을 도입하여 현실 설명력을 높인 이후 최근까지도 학계뿐만 아니라 중앙은행 등 정책기관에서 널리 활용되고 있는 이론 모형이다.

단기적인 가격경직성을 도입하기 위해서는 기업들의 가격 조정을 단기적으로 못하도록 설정해야하는데, 기존 RBC 이론모형처럼 모든 기업들이 동질적인(homogeneous)이라는 가정을 완화해야한다. Calvo (1983)에서는 일정한 외생적인 확률에 의해서 일부 기업은 가격 조정을 못하도록 설정하게 된다. 가격 조정 여부에 따라 기업들을 구분하기 위해서 생산단계를 두 단계로 나누어서 식별하게 되는데, 동질적인 최종재 생산 기업과 가격 경직성으로 인

9) Christiano, Eichenbaum and Evans (2005)를 참고

해서 이질적인 행태를 보일 수 있는 중간재 생산 기업으로 나뉜다. 여기서, 이질적인 중간재 기업들의 분포가 집계변수로서 표현이 되도록 중간재 시장은 독점적 경쟁 시장 구조를 가정한다. 한편, 가격경직성 이외에도 경기변동 상의 거시경제 지표들을 설명하기 위해서는 임금 경직성도 아울러 도입하게 된다. 재화 생산 시장과 마찬가지로 가계는 이질적인, 그러나 독점적 경쟁을 직면하는 노동서비스를 제공하는 것으로 가정하여, Calvo (1983)에서처럼 외생적인 확률에 의해 일부 가계들이 임금조정을 못하도록 가정한다. 결국, 가격 경직성과 더불어 임금 경직성은 RBC 이론모형에서는 없었던 뉴케인지언 필립스 곡선(New Keynesian Philips Curve)이 도출되어, 통화당국의 이자율 충격요인과 같이 명목변수의 변화가 실질변수에 단기적으로 영향을 주는 화폐의 비중립성이 발생한다.

1. 최종재 생산 기업

완전 경쟁적 최종재 생산 기업은 동질적인(homogenous) 최종재를 생산하여 가계의 소비재 또는 투자재로 활용되는 완전경쟁시장에서 판매한다. 그리고, 최종재는 독점적 경쟁시장에서의 각각의 중간재들을 다음과 같은 Dixit-Stiglitz의 기술로 합성하여 생산된다.

$$y_t = \left(\int_0^1 y_d^{\frac{\epsilon-1}{\epsilon}} d\iota \right)^{\frac{\epsilon}{\epsilon-1}}$$

여기서 ϵ 은 중간재 간의 대체탄력도를 의미한다. 최종재 생산 기업은 매 기의 이윤이 당 시점에서의 중간재 구매와 최종재 생산만을 결정하기 때문에 동 시점에서의 변수들만이 이윤에 영향을 미친다. 따라서, 최종재 생산 기업의 최적화 문제는 정태적 관점에서의 이윤만을 극대화하는 문제로 귀결된다.

$$\max_{y_{\iota}} p_t y_t - \int_0^1 p_{\iota} y_{\iota} d\iota$$

제약식은 위의 합성 기술 함수이다. 최종재 생산 기업의 최적 의사결정은 이윤극대화의 일계 조건으로 도출되며, 이를 다시 정리하면, 다음과 같이 각각의 중간재에 대한 수요함수로 표현된다.

$$y_d = \left(\frac{p_d}{p_t} \right)^{-\varepsilon} y_t$$

한편, 최종재의 물가 수준은 중간재 산업 전체의 가격들에 대해서 가중 평균하여 다음과 같이 나타난다.

$$p_t = \left(\int_0^1 p_d^{1-\varepsilon} d\ell \right)^{\frac{1}{1-\varepsilon}}$$

2. 중간재 생산 기업

다음은 뉴케인지언적인 모형에서 가격경직성을 도입하기 위하여 사전적으로는 이질적인 중간재 생산기업의 문제를 식별해본다. 독점적 경쟁시장 내에는 1 단위 규모의 무수히 많은 기업이 존재한다. ℓ^{th} 중간재 생산 기업은 자본과 노동의 생산요소를 투입하여 다음과 같은 생산 기술을 통해 중간재를 생산한다.

$$y_d = A_t k_{d-1}^\alpha (n_d^d)^{1-\alpha} - \phi$$

여기서, ϕ 는 생산 고정비용 모수이며, 정상상태에서 발생하는 독점적 경쟁 이윤이 0이 되도록 캘리브레이션하기 위함이다. 한편, A_t 은 총요소생산성 변수이며, RBC 이론모형과 마찬가지로 외생적인 구조충격요인에 의해 자기 회귀적 확률 이행 과정을 따른다고 가정한다.

$$\log(A_t) = \rho_A \log(A_{t-1}) + \sigma_A \cdot \varepsilon_t^A$$

중간재 생산 기업의 문제는 편의를 위해 정태적인 문제와 동태적인 문제를 분리해볼 수 있다. 첫 번째 문제는 임금과 자본임대료의 시장가격이 주어진 완전 경쟁적인 시장에서 자본수요와 노동수요에 대한 의사결정을 하는 문제이다. 두 번째 문제는 일부 기업이 Calvo-Yun 타입의 외생적인 가격경직성을 직면하여 독점적 경쟁 가격을 결정하는 문제이다. 전자의 문제는 현 시점에서의 변수에 대해서만 결정하는 이윤 극대화 문제이므로, 현 시점의 정태적인 관점에서 식별 할 수 있는 반면, 후자의 문제는 현 시점에서 조정한 가격이 경직성에 의해서 미래의 이윤 흐름을 결정하므로 동태적인 문제로서 파악해야 한다.

중간재 생산 기업은 생산요소에 대한 비용, w_t 와 r_t ,을 지불하고, n_t^d 와 k_t^d 에 대한 수요를 결정한다. 따라서, 다음과 같은 비용 극소화 문제로 요약해볼 수 있다.

$$\min_{n_t^d, k_t^d} w_t n_t^d + r_t k_t^d$$

제약식은,

$$y_t = A_t k_t^{\alpha} n_t^{1-\alpha} - \phi$$

최적화 조건들은 한계수익인 각각의 생산요소의 한계생산이 한계비용인 생산요소비용과 균형을 이루는 수준에서 의사결정이 되도록 도출된다.

$$\begin{aligned} w_t &= \varrho(1-\alpha) A_t (k_t^d)^{\alpha} (n_t^d)^{-\alpha} \\ r_t &= \varrho\alpha A_t (k_t^d)^{\alpha-1} (n_t^d)^{1-\alpha} \end{aligned}$$

여기서, ϱ 는 이 최적화 문제의 라그랑지안 모수이며, 노동수요 대비 자본수요 비중은 다음과 같이 나타난다.

$$\frac{k_{t-1}^d}{n_t^d} = \frac{\alpha}{1-\alpha} \frac{w_t}{r_t}$$

이 결과는 노동수요 대비 자본수요 비중이 시장가격인 임금과 자본임대로만으로 결정되어 모든 중간재 생산 기업에서 동일함을 보여준다. 따라서, 산업 전체의 기업들 간의 실질 한계 비용은 매 기 동일하다. 기업 간 동일한 한계비용을 mc_t 로 정의하면, 다음과 같이 임금, 자본임대로 및 총요소생산성의 함수로 나타낼 수 있다.

$$n_t^d = \frac{\left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \frac{w_t}{r_t} \right)^{-\alpha}}{A_t}$$

$$\begin{aligned}
mc_t &= \left(\frac{1}{1-\alpha} \right) w_t n_t^d \\
&= \left(\frac{1}{1-\alpha} \right)^{1-\alpha} \left(\frac{1}{\alpha} \right)^\alpha \frac{w_t^{1-\alpha} (r_t)^\alpha}{A_t}
\end{aligned}$$

한편, 중간재 생산 기업의 가격에 대한 의사결정은 현 시점에서의 이윤뿐만 아니라 미래에 가격을 조정하지 못하는 가능성으로 인해 기업의 미래이윤흐름을 감안하여 수립된다. 기업의 미래 이윤 흐름은 가격을 조정하는 현 시점에서 현재가치로 평가해야한다. 이윤은 중간재 생산 기업에 대한 소유권을 가진 가계에 이전되기 때문에, 중간재 생산 기업의 이윤흐름은 가계의 확률적 할인요인(stochastic discount factor)으로 할인한다. 한편, 가격경직성만으로는 설명하기 어려운 인플레이션의 지속성(persistence)을 설명하기 위해서 가격 조정을 못하는 시점에서는 평균적인 인플레이션에 상응하는 가격으로 조정하는 외생적인 인덱세이션(price indexation)을 포함시킬 수 있다.

$$\max_{p_{dt}} E_t \sum_{\tau=0}^{\infty} (\beta \theta_p)^\tau \frac{\lambda_{t+\tau}}{\lambda_t} \left\{ \left(\prod_{s=1}^{\tau} \Pi_{t+s-1}^\pi \frac{p_d}{p_{t+\tau}} - mc_{t+\tau} \right) y_{d+\tau} \right\}$$

제약식은 다음과 같이 각 중간재에 대한 수요함수가 된다.

$$y_{d+\tau} = \left(\prod_{s=1}^{\tau} \Pi_{t+s-1}^\pi \frac{p_d}{p_{t+\tau}} \right)^{-\epsilon} y_{t+\tau}$$

이와 같은 동태적인 이윤 극대화를 위한 가격 의사 결정의 최적화 조건은 한계수익의 현재가치와 한계비용의 현재가치가 일정한 수준의 마크업(markup)을 반영하여 균형을 이루는 수준에서 가격 최적화가 이루어진다. 다소 tedious algebra를 거쳐서 정리하면,

$$\begin{aligned}
g_t^1 &= \lambda_t m c_t y_t^d + \beta \theta_p E_t \left(\frac{\Pi_t^\chi}{\Pi_{t+1}} \right)^{-\epsilon} g_{t+1}^1 \\
g_t^2 &= \lambda_t \Pi_t^* y_t^d + \beta \theta_p E_t \left(\frac{\Pi_t^\chi}{\Pi_{t+1}} \right)^{1-\epsilon} \left(\frac{\Pi_t^*}{\Pi_{t+1}^*} \right) g_{t+1}^2 \\
\epsilon g_t^1 &= (\epsilon - 1) g_t^2
\end{aligned}$$

이 된다.

여기서 최적화된 가격의 상대가격은 $\Pi_t^* \equiv \frac{p_t^*}{p_t}$ 로 정의한다. 한편, 경제 내의 인플레이션은 가격 조정이 가능한 기업들의 가격과 가격 조정이 가능하지 않은 기업들의 가격의 가중평균으로 나타낼 수 있다.

$$1 = \theta_p \left(\frac{\Pi_{t-1}^\chi}{\Pi_t} \right)^{1-\epsilon} + (1 - \theta_p) \Pi_t^{*1-\epsilon}$$

3. 가게의 노동 공급 의사결정

재화의 가격 경직성과 더불어 임금 경직성을 도입하기 위해서는 중간재 생산 기업과 마찬가지로 가게가 공급하는 노동 서비스에 대해서 독점적 경쟁 시장을 가정할 수 있다. 우선, 최종재 생산 기업과 유사하게 노동조합은 차별화된 노동 서비스, n_{it}^d ,를 Dixit-Stiglitz 타입의 함수로 합성하여 동질적인 노동서비스, n_t^s ,를 중간재 생산 기업에 제공하게 된다. 합성 함수는 중간재 합성함수와 마찬가지로 차별화된(differentiated) 노동서비스 간의 고정 대체탄력도, η ,를 가진다. 각 가게의 노동서비스 의사 결정은 효용함수 내의 소비와 노동 간의 분리성(separability)에 의해서 노동공급 결정 문제를 분리하여 살펴볼 수 있다. 각각의 가게들은 차별화된 노동서비스, n_{it}^s ,를 제공하고 독점적 경쟁의 노동시장을 직면하는 것으로 가정한다. 가게의 독점적 시장 지배력으로 인해 노동 공급 결정과 함께 임금을 조정할 수 있다. 다만, Calvo-Yun 식의 경직성 가정에 따라, 가게는 일정한 확률, θ_w ,에 의해서 임금을 조정할 수 없게 된다. 따라서, 임금이 조정 가능한 시점에서의 임금은 미래의 임금 흐름과 노동공급에 의한 효용감소를 감안하여 결정될 것이다. 또한, 가게가 제시한 독점적 경쟁 임금은 차별화된 노동서비스에 대한 수요함수의 제약 하에서 결정된다.

한편, 중간재 가격 조정과 마찬가지로 임금 또한 부분적인 인덱세이션(partial indexation)을 가정한다. 즉, 임금을 조정하지 못하는 가계는 노동시장 평균 임금의 인플레이션률에 부분적으로 χ_w 에 상응하는 만큼 임금을 상승시키는 것을 의미한다. i 의 노동서비스를 제공하는 가계는 독점적 경쟁적인 노동서비스의 수요 함수 하에서 현재의 임금과 미래에 조정되지 못한 임금 흐름을 효용단위로 평가한 현재가치의 소득흐름에서 노동공급에 의해 발생하는 비효용의 현재가치를 비교하여 결정하게 된다. 이를 식으로 요약하면 다음과 같다.

$$\max_{w_{it}} E_t \sum_{\tau=0}^{\infty} (\beta \theta_w)^\tau \left\{ -d_{t+\tau} \varphi_{t+\tau} \psi \frac{(n_{it+1}^s)^{1+\vartheta}}{1+\vartheta} + \lambda_{it+\tau} \prod_{s=1}^{\tau} \frac{\Pi_{t+s}^{\chi_w}}{\Pi_{t+s}} (1-\tau_w) w_{it} n_{it+\tau}^s \right\}$$

제약식은 차별화된 노동서비스의 수요 함수인

$$n_{it+\tau}^s = \left(\prod_{s=1}^{\tau} \frac{\Pi_{t+s}^{\chi_w}}{\Pi_{t+s}} \frac{w_{it}}{w_{t+\tau}} \right)^{-\eta} n_{t+\tau}^d$$

이다. 가계의 임금에 대한 최적화는 결국 임금으로 발생하는 한계효용의 현재가치가 노동공급의 비효용으로 볼 수 있는 한계비용의 현재가치와 균형을 이루는 수준에서 결정하게 된다. 그리고, 임금 조정이 가능한 가계들은 모두 동일한 효용함수를 가정하고 있으므로 모두 동일한 임금 수준으로 조정하게 된다. 따라서, 차별화된 노동서비스와는 무관하게 동일한 최적화 조건이 도출되며, 이를 약간의 계산을 통해 보다 해석하기 용이한 재귀 방정식으로 정리해볼 수 있다. 한계효용과 한계비효용 흐름의 현재가치 합을 f_t 라고 한다면, 중간재 생산 기업의 가격 최적화 조건과 유사하게 다음과 같이 정리된다.

$$f_t = \frac{\eta-1}{\eta} (1-\tau_w) (w_t^*)^{1-\eta} \lambda_t w_t^\eta n_t^d + \beta \theta_w E_t \left(\frac{\Pi_t^{\chi_w}}{\Pi_{t+1}} \right)^{1-\eta} \left(\frac{w_{t+1}^*}{w_t^*} \right)^{\eta-1} f_{t+1}$$

$$f_t = \psi d_t \varphi_t \left(\frac{w_t}{w_t^*} \right)^{\eta(1+\vartheta)} (n_t^d)^{1+\vartheta} + \beta \theta_w E_t \left(\frac{\Pi_t^{\chi_w}}{\Pi_{t+1}} \right)^{-\eta(1+\vartheta)} \left(\frac{w_{t+1}^*}{w_t^*} \right)^{\eta(1+\vartheta)} f_{t+1}$$

여기서, w_t 는 가격 조정 여부와 상관없이 모든 가계의 평균 실질 임금을 나타내는 변수

인 반면, w_t^* 는 임금 조정이 가능한 가계들의 실질 임금 수준이다. 따라서, 임금 조정이 가능하여 현 시점에서 최적화된 임금과 임금 조정이 가능하지 않은 가계들의 임금을 가중평균하여 계산해보면, 경제 내의 전체 실질 임금 수준은 다음과 같은 이행과정을 따른다.

$$w_t^{1-\eta} = \theta_w \left(\frac{\Pi_t^{z_w}}{\Pi_t} \right)^{1-\eta} w_{t-1}^{1-\eta} + (1-\theta_w) w_t^{*1-\eta}$$

이를 다시 인플레이션을 변수로 정리하면,

$$1 = \theta_w \left(\frac{\Pi_t^{z_w}}{\Pi_t} \right)^{1-\eta} \left(\frac{w_{t-1}}{w_t} \right)^{1-\eta} + (1-\theta_w) (\Pi_t^{w^*})^{1-\eta}$$

여기서, $\Pi_t^{w^*} = \frac{w_t^*}{w_t}$ 는 최적화된 임금의 상대가격으로 정의한다.

4. 통화 당국

통화당국인 중앙은행은 물가 안정과 경기 안정을 목표로 정책금리인 단기 명목이자율로 통화 정책을 운용하는 것으로 가정한다. DSGE 이론모형에서는 통화당국의 의사 결정과정을 미시적 토대로 식별하지는 않는다. 다만, 중앙은행의 경험적인 사실에 비추어 정책금리가 다음과 같은 테일러 준칙을 따른다고 가정해볼 수 있다.

$$\log\left(\frac{R_t}{R}\right) = \gamma_R \log\left(\frac{R_{t-1}}{R}\right) + (1-\gamma_R) \left(\gamma_\pi \log\left(\frac{\Pi_t}{\Pi}\right) + \gamma_y \log\left(\frac{y_t}{y}\right) \right) + \sigma_m \varepsilon_{m,t}$$

여기서 정책 금리는 자기회귀적 항에 의해 지속성(persistence)를 가진다. 그리고, 물가 안정과 경기 안정을 달성하기 위해서, 정책금리는 인플레이션 갭과 총산출 갭에 반응하는 구조이다. 여기서, γ_π 와 γ_y 는 각기 인플레이션갭과 총산출갭에 대해서 반응하는 정책금리의 장기적인 민감도 구조 모수로 볼 수 있는데, 특히, γ_π 는 인플레이션 안정화를 위한 통화정책 기조로도 해석된다. Woodford and Walsch (2005)에서 보여준 것처럼, 이 구조 모수가 1을

넘어야 뉴케인지언 이론모형의 유일한 해가 도출되며, 통화정책의 인플레이션 안정화 조건을 만족하는 것으로 평가한다.

5. 중앙 정부

중앙 정부는 소비, 임금 및 자본소득에 대해 부과한 세금과 이전세금(또는 이전지출)을 바탕으로 재정 준칙에 의한 정부 소비 지출이 이루어질 수 있으며, 정부가 채권을 발행하여 금융 조달을 할 수 있는 것으로 가정한다.

$$\tilde{b}_t = \frac{g_t}{y_t^d} + \frac{T_t}{y_t^d} + \frac{R_{t-1} \tilde{b}_{t-1} y_{t-1}^d}{y_t^d \Pi_t} - \tau_k \gamma_t \frac{k_{t-1}}{y_t^d} - \tau_w w_t \frac{n_t^d}{y_t^d} - \tau_c \frac{p_t^c c_t}{p_t y_t^d}$$

$\tilde{b}_t = \frac{\int_0^1 b_{it} di}{p_t y_t^d}$ 은 국내총수요 대비 정부부채 비율이며, 정부 소비는 다음과 같이 총산출값에 대해서 반응하는 자동 경기안정화 기능과 더불어 외생적인 충격요인에 의한 확률 과정을 따른다고 가정할 수 있다.

$$\log\left(\frac{g_t}{g}\right) = \rho_g \log\left(\frac{g_{t-1}}{g}\right) + (1 - \rho_g) \gamma_{g_y} \log\left(\frac{y_{t-1}^d}{y^d}\right) + \sigma_g \varepsilon_{g,t}$$

다만, 장기적으로 정부의 장기적인 균형재정을 위해서 국내총수요 대비 정부 부채 비율이 일정한 수준 내에서 통제되는 것으로 가정한다.

$$\frac{T_t}{y_t^d} = T_0 - T_1 (\tilde{b}_t - \bar{b})$$

그리고, 정상상태에서의 총수요 대비 정부 부채비율은

$$\bar{b} = \overline{\left(\frac{b}{py^d} \right)}$$

이다.

6. 집계화

뉴케인지언적인 모형에서는 주지하는 바와 같이 독점적 경쟁적인 중간재 시장과 노동 서비스 시장에서 이질적인 기업들과 가계들이 존재하여 집계화에 대한 논의가 필요하다. 중간재 생산 기업 또는 가계의 이질성은 일부 기업과 가계의 확률적인 가격 및 임금 경직성으로 인해 최적화된 가격 및 임금과 최적화되지 못한 가격과 임금의 분포에 대한 집계화가 이루어져야 한다. 여기서, 최적화되지 못한 가격과 임금의 분포를 식별하는 변수(auxiliary variable)를 도입하여 집계 변수들로 균형 조건들을 도출해볼 수 있다.

우선, 국내에서 생산된 최종재에 대한 총수요는 다음과 같이 정리될 수 있다.

$$y_t^d = c_t^d + i_t^d + g_t$$

중간재에 대한 각각의 수요함수를 이용하여 대체하면,

$$y_t^d = n^c \left(\frac{p_t}{p_t^c} \right)^{-\varepsilon_c} c_t + n^i \left(\frac{p_t}{p_t^i} \right)^{-\varepsilon_i} i_t + g_t$$

와 같이 표현할 수 있다. 국내에서 생산된 중간재의 가격의 분산을 $v_t^p \equiv \int_0^1 \left(\frac{p_d}{p_t} \right)^{-\varepsilon} d\iota$ 로 정의하고, 이에 대하여 적분하면, 다음과 같은 동태적 과정을 따르는 것으로 정리할 수 있다.

$$v_t^p = \theta_p \left(\frac{\Pi_{t-1}^x}{\Pi_t} \right)^{-\varepsilon} v_{t-1}^p + (1 - \theta_p) \Pi_t^{*- \varepsilon}$$

한편, 중간재 생산 기업들의 생산함수를 적분하여 총공급을 계산한 뒤, 재화시장에서의 청산 조건은 다음과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 수요와 공급 간의 분산(price dispersion)으로 인해 정확히 일치하지는 않음을 알 수 있다.

$$y_t^d = \frac{A_t(u_t k_{t-1})^\alpha (n_t^d)^{1-\alpha} - \phi}{v_t^P}$$

7. 뉴케인지언 이론모형의 의의와 한계점

뉴케인지언 이론모형은 가격경직성을 통해 단기적인 화폐의 비중립성을 갖도록 하는 것이 핵심이다. 통화당국에 의해 테일러 준칙에 따르는 단기 이자율을 모형 내에서 도입하여, 인플레이션갭과 총산출갭에 대해서 반응하도록 설정하며, 그 외의 이자율 변동 부분을 통화정책 충격요인으로 식별한다. 통화정책 충격요인으로 인한 주요 내생변수들의 충격반응함수를 살펴보면, RBC 이론모형에서는 반응하지 않던 모든 실질변수들의 변화가 발생한다. 예컨대, 경기부양을 위해 이자율을 하락시켰을 경우, 총산출은 시차를 두고 증가하는 모습을 보이며, 실질임금, 실질소비, 실질투자 등 주요거시경제 변수들이 모두 상승한다. 또한, 인플레이션율은 즉각 반응하지 않다가 2분기에서 4분기 사이에 정점을 찍으며 상승하게 된다. 즉, 가격경직성으로 인해 인플레이션이 충격 초기에는 반응하지 않고, 실질변수들이 충격을 흡수하나, 점차 시차를 두고 장기적인 화폐의 중립성에 따라서 인플레이션이 그 충격을 모두 흡수하게 되는 것이다.

결국, 충격반응함수의 결과에서 알 수 있듯이, 통화정책 충격요인에 의해 총산출과 인플레이션은 (비록 시차를 두긴 하지만) 서로 순행하는 모습을 보여준다. 즉, 통화정책 충격요인은 인플레이션의 경기 순행성을 야기하는 충격요인이며, 총수요 측의 구조충격요인으로 분류할 수 있다. 뉴케인지언 이론모형에서는 통화정책 충격요인 이외에도 총수요 측의 충격요인으로는 투자기술충격요인, 기간 간 선호도충격요인 등 여러 문헌에서 제시된 충격요인들을 모두 동시에 고려하여, 다양한 충격요인들을 도입하기도 한다. 다양한 충격요인과 더불어, 거시경제지표들의 관측치들에 대한 설명력을 높이기 위하여 다양한 마찰요인도 도입하게 되는데, 그 중 습관성 소비형성(habit consumption), 투자 조정 비용 함수(investment

adjustment cost), 자본 활용도(capital utilization) 등이 대표적이다. 습관성 소비형성은 소비의 충격반응함수가 구조충격요인에 대해서 즉각적인 반응보다는 시차를 두고 점진적으로 상승하다가 다시 정상상태로 수렴하는 hump-shape response를 만들 수 있으며, 투자 조정 비용 함수 또한 투자의 반응을 hump-shape response을 야기한다. 또한, 총요소생산성이 이론 모형 내의 생산함수 구조에 따라서 결국 솔로우 잔차항(Solow residual)로서 추정되는데, 이 잔차항이 지나치게 높은 경기 순행성을 제한하기 위해 대개는 자본 활용도를 도입하게 된다.

RBC 이론 모형 문헌에서는 간단한 캘리브레이션이나 부분정보접근법에 의존하여 실증분석이 이루어졌으나, 뉴케인지언 이론모형에서는 이와 같은 다양한 충격요인과 마찰요인들을 반영하여 완전정보접근법인 베이지언 추정방법론에 의거하여 실증분석이 주로 이루어졌다. 다시 말해서, 거시경제 관련 통계지표들에 대해서 표준편차, 상관계수 등의 2차 적률과 같은 부분적인 정보만을 설명하는 것에서 확장되어, 표본자료의 관측치 자체를 완전하게 설명할 수 있다는 것이다. 따라서, 베이지언 방법에 의해 추정된 뉴케인지언 이론모형은 충격반응함수, 2차 적률뿐만 아니라, 구조충격요인의 잔차 추정 및 구조충격요인의 역사적 기여도 등 새로운 차원의 실증분석이 가능하게 되었다는 점이다. 또한, Smets and Wouters (2005)에서는 축약형 이론모형을 주로 다루는 계량모형에 비해서도 뉴케인지언 이론모형이 주요 거시경제 지표들을 전망하는데 있어서 더 높은 예측력이 있다고 주장하였다.

이와 같이, RBC 이론모형에 비해서 여러 가지 측면에서 진일보한 면을 제시했던 뉴케인지언 이론모형 역시 한계점이 없는 것은 아니다. 2008년 글로벌 금융 위기 이후, 금융 시장 안정성에 대한 시각이 바뀌게 되었다. 뉴케인지언 이론모형까지만 해도 무위험 채권과 Arrow 증권 등 완전자산시장(complete asset market)으로 효율적인 금융 시장을 가정하고 있는데, 이와 같은 구조로는 2008년 당시의 금융 위기를 설명하는데 있어서 한계를 노출하게 되었다. 특히, 채무 조정(debt deleveraging)에 따른 경기위축 같은 현상은 뉴케인지언 이론모형에서는 설명되지 않는 부분이다. 따라서, 금융시장에 있어서의 마찰 요인이 필요하며, 구조충격요인이 금융 마찰 경로를 통해 파급되는 영향을 분석할 필요가 있던 것이다.

제 5 절 금융마찰 이론모형

글로벌 금융위기 이후, 그 동안 주목하지 않았던 금융 시장의 마찰 요인에 대한 연구들이 주목 받기 시작했다. 가장 대표적인 논문으로는 Bernanke, Gertler and Gilchrist (1999)와 Kiyotaki and Moore (1997)이다. Bernanke, Gertler and Gilchrist (1999)는 자본을 투자하는 기업가 부문을 새로 도입하여, 상대적인 채무 수준에 따라 그 투자 수준이 바뀌는 소위 대차대조표 효과(balance sheet effect)를 모형에 도입하였다. 이로써, 구조충격요인, 특히, 총수요측의 충격요인이 부정적으로 발생하면, 채무 상황이 악화되고 그 상황은 다시 투자를 위축시키는 증폭효과가 생겨난다. 이와 같은 금융 가속기 기제(financial accelerator mechanism)으로 인해 거시경제 변수들의 변동 폭이 커지는 결과를 가져온다. 한편, Kiyotaki and Moore (1997) 또한 결과적으로는 유사한 증폭 기제를 발생시키도록 채무 한도를 도입한다. 즉, 부동산 담보 대출의 LTV(loan to value)와 같이 일정 수준 이하로만 대출이 가능하게 하여 일종의 금융 담보 제약식을 식별하는 것이다. 현재는 가장 대표적인 두 가지 형태의 금융 마찰 요인 중 하나를 뉴케인지언 이론모형에 도입하여 중앙은행 등 정책기관에서 활용되고 있는 실정이다. 아래의 금융 마찰 이론모형은 상대적으로 더 많이 쓰이고 있는 Bernanke, Gertler and Gilchrist (1999)의 핵심적인 부분만 설명하도록 한다.

통상적인 DSGE모형에서는 주로 가계가 자본 투자에 대한 배분결정을 하도록 식별하는 반면, 기업의 차입 경영활동을 포함한 금융가속기 기제를 도입하기 위해서는 자본재 생산자와 기업가의 문제를 별도로 식별하게 된다. 여기서, 자본재 생산자는 완전경쟁시장을 직면하며, 투자를 통해서 자본재를 생산하여 기업가에게 판매한다. 기업가는 자기자본과 더불어 차입을 통해 자본재를 자본재 생산자로부터 구입하여 완전경쟁적인 생산요소시장에서 중간재 생산자에게 대여하게 된다. 개별생산성충격(idiosyncratic productivity shock)을 직면하는 기업가는 자본재의 활용정도(capital utilization)와 은행과의 계약을 통해 대출을 결정한다. 은행과의 대출계약은 개별생산성충격에 대해서 위험을 분산할 수 있는 수준에서 대출규모와 부도 임계치를 명시하게 된다. 은행의 균형 이윤조건과 더불어 대출계약 조건을 만족시키는 균형 조건은 결국 차입경영에 따른 대차대조표 효과를 발생시켜 금융가속기 기제를 구조화시킨다고 볼 수 있다. 금융 중개기관인 은행은 가계로부터 받은 예금을 기반으로 일정부분 준비금 형태로 보관한 뒤 기업가에게 자금을 대출해준다.

1. 기업가 부문

금융 가속기(financial accelerator) 기제를 도입하기 위해서 위험중립적인 (risk-neutral) 기업가(entrepreneur)가 무수히 많이 존재한다고 가정한다. 매 기말 시점에서 개별 기업가, j ,가 보유하고 있는 실질 순자산(real net worth)을 $nw_{j,t}$ 라고 하자. 순자산은 금융 중개기관인 은행으로부터 대출받은 자금, $d_{j,t}^e$,과 더불어 다음 기에 사용될 자본재, $k_{j,t}$,를 자본재 생산자로부터 구입한다.

$$d_{j,t}^e = qk_{j,t} - nw_{j,t} \geq 0$$

구입된 자본재는 기업가가 중간재 생산 기업에게 대여함으로써 이윤을 창출하는데, 각 기업가들에게는 개별생산성충격(idiosyncratic productivity shock)이 수반하게 된다. 기업가는 이러한 개별충격요인을 반영하여 자본요소 시장에 공급하게 된다. 여기서 개별생산성충격은 ω 로 표기되며, 이는 다음과 같은 누적확률밀도함수를 가진 로그정규분포를 따른다고 가정한다.

$$\Pr[\omega \leq x] = F(x; \sigma_t^\omega)$$

여기서, $\log \omega$ 의 평균은 μ^ω 이며 표준편차는 σ_t^ω 이다. 여기서 μ^ω 는 정상상태에서 $\int_0^\infty \omega_{t+1} dF(\omega; \sigma_t^\omega) = 1$, $\forall t+1$ 가 되도록 하며, 표준편차는 시변하는 변동성으로서 Christiano, Motto and Rostagno (2014)에서처럼 "금융위험충격(financial risk shock)"으로 정의한다.

$$\log \sigma_t^\omega = (1 - \rho_{\sigma^\omega}) \log(\sigma^\omega) + \rho_{\sigma^\omega} \log \sigma_{t-1}^\omega + \sigma_{\sigma^\omega} \varepsilon_{\sigma^\omega, t}$$

ω_j 는 개별 기업가들만이 관측할 수 있으며, 은행은 일정한 비율의 모니터링 비용을 지불했을 때 관측할 수 있다. $t+1$ 시점에서의 충격이 실현되고 난 후, 기업가는 자본재의 활용도(capital utilization), u_{t+1} ,를 결정하여, 완전경쟁적인 자본요소시장에 자본재 서비스, $\omega_{j,t+1} k_{j,t+1} = u_{t+1} \omega_{j,t+1} k_{j,t}$,를 공급한다. 기업가가 중간재 생산자에게 자본서비스를 대여함

으로써 얻는 세후 수익을 $r_{t+1}^k(1-\tau_k)$ 라고 한다. 자본재의 활용도에 따른 비용이 발생하는데, 사용자 비용함수는 다음과 같이 가정한다¹⁰⁾.

$$\Phi[u] = \Phi_1(u-1) + \frac{\Phi_2}{2}(u-1)^2$$

$\frac{1}{\mu_t}\Phi[u_t]$ 은 자본재 한 단위 사용에 따른 비용이며, 총비용은 다음과 같아진다.

$$\Phi(u_{t+1})\omega \frac{k_t}{\xi_{t+1}^i}$$

$t+1$ 시점에서, 자본재의 활용정도는 다음과 같은 이윤함수에 의해 결정된다.

$$\max_{u_{t+1}} \left[u_{t+1} r_{t+1}^k (1-\tau_k) - \frac{\Phi(u_{t+1})}{\xi_{t+1}^i} + \frac{\delta \tau_k}{\xi_{t+1}^i} \right] \omega_{j,t+1} k_t$$

이와 같은 이윤함수를 극대화하는 자본재의 활용에 대한 조건은

$$r_{t+1}^k = \frac{\Phi'(u_{t+1})}{\xi_{t+1}^i (1-\tau_k)}$$

이 된다. 한편, 자본재를 사용하고 감가상각 된 이후의 자본재, $(1-\delta)k_{j,t}$,는 다시 자본재 생산자에게 q_{t+1} 의 가격으로 팔게 된다¹¹⁾. 결국, $t+1$ 시점에서 개별충격, $\omega_{j,t+1}$,이 실현된 뒤 자본재를 사용한 후 기업가가 보유하고 있는 자본재를 통해서 얻는 총수익은

10) 자본재의 활용정도는 개별기업가들 모두가 대칭적인 문제를 직면하므로 j 하첨자를 생략하였다.

11) 여기서 주의할 것은 자본재 시장과 자본재 서비스 시장은 각각 다음과 같은 청산 조건을 만족해야한다.

$$\int_0^\infty \omega k_t dF(\omega) = k_t, \text{ 그리고 } \int_0^\infty \omega u_{t+1} k_t dF(\omega) = k_{t+1}, \forall t.$$

$$\left\{ \left[u_{t+1} r_{t+1}^k (1 - \tau_k) - \frac{\Phi(u_{t+1})}{\xi_{t+1}^i} + \frac{\delta \tau_k}{\xi_{t+1}^i} \right] + (1 - \delta) q_{t+1} \right\} \omega_{j,t+1} k_{j,t} = R_{t+1}^k q_t \omega_{j,t+1} k_{j,t}$$

이 된다. 편의를 위해, 자본재 한 단위 따른 수익률, R_{t+1}^k ,을 다음과 같이 정의한다.

$$R_{t+1}^k \equiv \Pi_{t+1} \frac{\left[u_{t+1} r_{t+1}^k (1 - \tau_k) - \frac{\Phi(u_{t+1})}{\xi_{t+1}^i} + \frac{\delta \tau_k}{\xi_{t+1}^i} \right] + (1 - \delta) q_{t+1}}{q_t}$$

한편, 기업가는 t 시점 말기에 은행과 다음과 같은 표준 대출 계약을 맺는 것을 가정하여 기업가의 금융비용이 결정된다. 대출계약은 개별위험, ω ,이 일정한 수준 이상일 때, 대출 금액, $d_{j,t}^e$,에 대해서 $Z_{j,t+1}$ 만큼의 이자율을 지급하는 것을 명시한다. 또한, 기업가가 명시된 이자를 지급할 능력이 없는 경우, 즉, 개별위험, ω ,이 일정한 수준 이하일 때는 은행이 일정한 비율, μ_e ,의 감사 비용(auditing cost)을 부담하고 남은 순자산을 압류하게 된다. 여기서, 일정한 수준의 개별위험, $\bar{\omega}$,을 부도 임계치(cut-off value)라고 하며 다음과 같은 조건을 만족해야한다.

$$\bar{\omega}_{j,t+1} R_{t+1}^k q_t k_{j,t} = Z_{j,t+1} d_{j,t}^e$$

따라서, 기업가의 이윤극대화 문제는,

$$\max_{k_{j,t}} E_t \max_{\omega_{j,t+1}} \int_{\omega_{j,t+1}}^{\infty} (R_{t+1}^k q_t \omega k_{j,t} - Z_{j,t+1} d_{j,t}^e) dF(\omega; \sigma_t^\omega)$$

subject to

$$d_{j,t}^e = q_t k_{j,t} - n w_{j,t}$$

로 정리할 수 있다. 또한, 은행은 자유로운 진입과 퇴출이 가능한 완전경쟁시장을 직면하기 때문에 균형상태에서는 영의 이윤을 얻게 된다. 이와 같은 가정을 이용하면, 은행의 금융 조달 비용이 결국 기업가에게 대출해줌으로써 얻는 수익과 같아져야하는 조건이 도출될 수 있

다. 따라서, 은행이 예금 등을 통해서 지불해야 하는 금융 조달 비용이 무위험 이자율, R_t^e ,이라고 할 때,

$$(1 - F(\bar{\omega}_{j,t+1}; \sigma_t^\omega)) Z_{j,t+1} d_{j,t}^e + (1 - \mu_e) \int_0^{\bar{\omega}_{j,t+1}} \omega dF(\omega; \sigma_t^\omega) R_{t+1}^k q_t k_{j,t} = R_t^e d_{j,t}^e$$

좌변에서 첫 번째 항은 기업가의 개별위험충격이 부도 임계치 이상일 때 은행이 얻게 되는 보장된 수익이며, 두 번째 항은 기업가의 개별위험충격이 부도 임계치 이하가 되어, 일정한 비율의 감사 비용을 지불하고 기업가의 청산가치를 보여주고 있다. $t+1$ 시점에서 모든 충격이 실현되고 난 뒤에는 좌변의 총 수익은 은행이 조달하는 비용과 일치해야한다. 식 $\bar{\omega}_{j,t+1} R_{t+1}^k q_t k_{j,t} = Z_{j,t+1} d_{j,t}^e$ 을 이용하여 $Z_{j,t+1} d_{j,t}^e$ 를 대체하고 양변을 $R_{t+1}^k q_t k_{j,t}$ 로 나누면 은행의 균형 이윤 조건을 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\Gamma(\bar{\omega}_{j,t+1}; \sigma_t^\omega) - \mu_e G(\bar{\omega}_{j,t+1}; \sigma_t^\omega) = \frac{R_t^e}{R_{t+1}^k} \frac{d_{j,t}^e}{q_t k_{j,t}}$$

where

$$G(\bar{\omega}_{j,t+1}; \sigma_t^\omega) \equiv \int_0^{\bar{\omega}_{j,t+1}} \omega dF(\omega; \sigma_t^\omega)$$

$$\Gamma(\bar{\omega}_{j,t+1}; \sigma_t^\omega) \equiv \bar{\omega}_{j,t+1} [1 - F(\bar{\omega}_{j,t+1}; \sigma_t^\omega)] + G(\bar{\omega}_{j,t+1}; \sigma_t^\omega)$$

Bernanke, Gertler and Gilchrist (1999)¹²⁾에서 설명된 바와 같이, 위 은행 균형 이윤 조건을 만족하는 $\bar{\omega}_{j,t+1}$ 의 유일한 해가 존재한다. $\bar{\omega}_{j,t+1}$ 는 $t+1$ 에서 실현된 충격요인들의 함수가 된다. 예컨대, R_{t+1}^k 를 증가시키는 충격은 동시에 $\bar{\omega}_{j,t+1}$ 를 낮추고 부도 가능성을 축소시키는 요인이 된다. 기업가와 은행 사이의 대출 계약은 대출금액, $d_{j,t}^e$,와 부도 임계치, $\bar{\omega}_{j,t+1}$,의 스케줄에 관한 내용으로 이루어지는데, 위의 은행 균형 이윤 조건은 주어진 대출금액 수준, $d_{j,t}^e$,에 따른 부도 임계치, $\bar{\omega}_{j,t+1}$,를 도출할 수 있게 해준다. 결국, 기업가의 이윤극대화 문제는 위 관계식들 하에서 $k_{j,t}$ 와 $\bar{\omega}_{j,t+1}$ 을 선택하는 문제로 요약된다.

12) $\omega h(\omega)$ is increasing in ω where $h(\omega) = \frac{f(\omega)}{1 - F(\omega)}$ is the hazard rate

$$\begin{aligned} & \max_{k_{j,t}} E_t \left[\max_{\bar{\omega}_{j,t+1}} \int_{\bar{\omega}_{j,t+1}}^{\infty} (R_{t+1}^k q_t \omega k_{j,t} - Z_{j,t+1} d_{j,t}^e) dF(\omega; \sigma_t^\omega) \right] \\ &= \max_{k_{j,t}} E_t \left[\max_{\bar{\omega}_{j,t+1}} \int_{\bar{\omega}_{j,t+1}}^{\infty} [\omega - \bar{\omega}_{j,t+1}] dF(\omega; \sigma_t^\omega) R_{t+1}^k \right] q_t k_{j,t} \end{aligned}$$

다만, 개별 기업가들의 문제에서 자본, $k_{j,t}$, 대신 순자산 대비 자본 비율, $x_{j,t}$,로 치환하면 기업가들 간 대칭적인 최적화 조건을 도출할 수 있다. 따라서, 위의 이윤을 $nw_{j,t}R_t^e$ 로 나누면, 개별 기업가의 최적화 문제는 은행 균형 이윤 조건을 만족하는 가운데, $x_{j,t}$ 와 $\bar{\omega}_{j,t+1}$ 를 선택하여 다음의 이윤을 극대화하는 문제로 변환할 수 있다.

$$\max_{x_{j,t}} E_t \left[\max_{\bar{\omega}_{j,t+1}} \left\{ (1 - \Gamma(\bar{\omega}_{j,t+1}; \sigma_t^\omega)) \frac{R_{t+1}^k}{R_t^e} \right\} \right] x_{j,t}$$

where

$$x_{j,t} \equiv \frac{q_t k_{j,t}}{nw_{j,t}}$$

$\bar{\omega}_{j,t+1}$ 와 $x_{j,t}$ 에 대한 일계 조건 둘을 결합하면,

$$0 = E_t \left\{ [1 - \Gamma(\cdot)] \frac{R_{t+1}^k}{R_t^e} + \frac{\Gamma_\omega(\cdot)}{\Gamma_\omega(\cdot) - \mu_e G_\omega(\cdot)} \left[\frac{R_{t+1}^k}{R_t^e} (\Gamma(\cdot) - \mu_e G_\omega(\cdot)) - 1 \right] \right\}$$

where%

$$\begin{aligned} G_\omega(\cdot) &= \bar{\omega}_{t+1} F_\omega(\bar{\omega}_{t+1}; \sigma_t^\omega) \\ \Gamma_\omega(\cdot) &= 1 - F(\bar{\omega}_{t+1}; \sigma_t^\omega) - \bar{\omega}_{t+1} F_\omega(\bar{\omega}_{t+1}; \sigma_t^\omega) + G_\omega(\bar{\omega}_{t+1}; \sigma_t^\omega) \\ &= 1 - F(\bar{\omega}_{t+1}; \sigma_t^\omega) \end{aligned}$$

로 정리될 수 있다. 여기서, 흥미로운 것은 위 식은 $x_{j,t}$ 와는 상관없이 오로지 $\bar{\omega}_{j,t+1}$ 의 함수

로 이루어져 있다는 점이다. 따라서, 위 식은 $x_{j,t} = x_t$ 와 $\bar{\omega}_{j,t+1} = \bar{\omega}_{t+1}$ 인 대칭적인 균형 조건으로 간주할 수 있다. 마찬가지로 은행의 균형 이윤 조건에서 우변에 있는 자본 대비 부채 비율, $\frac{d_{j,t}^e}{q_t k_{j,t}}$, 또한 기업가들 간에는 동일한 대차대조표 조건을 만족하므로, 모든 균형 조건은 대칭적인 변수로 치환하여 나타낼 수 있다. Bernanke, Gertler and Gilchrist (1999)에서 처럼, 위의 일계조건들을 하나의 식으로 요약하면,

$$E_t[R_{t+1}^k] = s\left(\frac{q_t k_t}{nw_t}\right) R_t^e, s'(\cdot) > 0$$

로 된다. 좌변은 기업가가 자본 투자에 따른 한계 수익(marginal revenue)이고, 우변은 자본 투자에 따른 한계 비용(marginal cost)로 볼 수 있다. 우변의 한계비용에는 은행에 지급해야 하는 일정한 이자율 이외에 기업가의 차입에 따른 위험프리미엄이 추가가 되는데, 이는 차입 비중이 높을수록, 프리미엄이 높아지는 구조이다. 즉, 기업가의 차입 비중 또는 총자본 비중에 따라 직면하는 차입 금융비용이 정해지므로, 외생적인 충격은 이러한 대차대조표 효과(Balance Sheet Effect)를 통해서 증폭시키는(amplify) 기제로 작용하게 된다.

마지막으로, 기업가 부문에서 필요한 균형 조건은 순자산을 결정하는 이행과정에 관한 것이다. 개별 기업가들의 순자산 수준은 이질적일 수 있으나, 앞선 조건들에 의해서 순자산 대비 부채 비율이나 자본 비율은 대칭적인 집계변수로 나타낼 수 있기 때문에, 기업가들의 평균적인 순자산 이행을 식별할 수 있다. 우선, 시점 t 기에서 기업 활동을 한 기업가들의 평균 장부가치, V_t ,는

$$V_t = \frac{nw_{t-1}}{nw_{j,t-1}} \left[\frac{R_t^k}{\Pi_t} q_{t-1} k_{j,t-1} - \left(\frac{R_{t-1}^e d_{j,t-1}^e}{\Pi_t} + \frac{\mu_e \int_0^{\bar{\omega}_t} \omega dF(\omega; \sigma_{t-1}^\omega) R_t^k q_{t-1} k_{j,t-1}}{\Pi_t} \right) \right]$$

로 되며, 앞선 대칭적인 균형 조건에 의해서 $k_{t-1} = x_{t-1} nw_{t-1}$ 와 $d_{t-1}^e = (x_{t-1} - 1) nw_{t-1}$ 를 이용하면,

$$\begin{aligned}
V_t &= \frac{R_t^k}{\Pi_t} q_{t-1} k_{t-1} - \left(\frac{R_{t-1}^e d_{t-1}^e}{\Pi_t} + \frac{\mu_e \int_0^{\bar{\omega}_t} \omega dF(\omega; \sigma_{t-1}^\omega) R_t^k q_{t-1} k_{t-1}}{\Pi_t} \right) \\
&= \left(R_t^k - R_{t-1}^e - \mu_e \int_0^{\bar{\omega}_t} \omega dF(\omega; \sigma_{t-1}^\omega) R_t^k \right) \frac{q_{t-1} k_{t-1}}{\Pi_t} + \frac{R_{t-1}^e}{\Pi_t} n w_{t-1}
\end{aligned}$$

와 같이, 기업가들의 평균 장부 가치가 집계변수로만 나타낼 수 있다. 한편, 기업가 부문의 자본 축적 과정이 정상성을 갖기 위해서는 외생적인 확률에 의해서 진입과 퇴출이 결정되는 것으로 가정한다. 시점 t 기말에는 확률, $1 - \zeta_t$,에 의해서 퇴출되며 남은 장부가치는 퇴출되는 기업가들이 θ 만큼 소비하고 남은 부분, $1 - \theta$,은 가계에 이전된다. 그리고, 새롭게 진입하는 기업가들의 활동을 보장하기 위해서 기존의 기업가들과 새로운 기업가들 모두에게 소량의 스타트업 자본, W^e ,이 주어지는 것으로 가정한다. 따라서, 기업가들의 총순자산(aggregate net worth)은

$$n w_t = \zeta_t V_t + W^e$$

기업가 부문에서 시점 t 말기에 남은 확률인 ζ_t 는 0과 1 사이의 값을 갖는 다음과 같은 확률이행과정을 가정한다.

$$\begin{aligned}
\zeta_t &= \frac{1}{1 + \exp(-\bar{\zeta}^e - \tilde{\zeta}_t^e)} \\
\tilde{\zeta}_t^e &= \rho_\zeta \tilde{\zeta}_{t-1}^e + \sigma_\zeta \epsilon_{\zeta,t}
\end{aligned}$$

한편, 퇴출된 기업가의 마지막 소비는

$$(1 + \tau_c) c_t^e = (1 - \zeta_t) \gamma_e V_t$$

이며, 가계에 이전되는 남은 금액은,

$$T_t^e = (1 - \zeta_t)(1 - \gamma_e) V_t$$

2. 금융 중개 부문-은행

은행은 가계로부터 예금을 받아서 일정부분, γ_b ,을 준비금으로 예치한 후, 기업가들에게 자금을 조달해준다. 은행부문은 완전경쟁시장을 가정하여, 대표 은행(representative bank)이 동일한 최적화 문제를 직면하는 것으로 간주할 수 있다. 한편, Christiano, Motto and Rostagno (2014)에서처럼, 은행 부문의 생산함수와 생산요소에 대한 비용을 가정하여 보다 미시적 접근 방법에 의해 식별할 수 있다. 그러나, 여기서는 은행의 행태보다는 다양한 금리 간의 차이 즉, 스프레드(spread)를 설명할 수 있는 형태가 주요 관심사이므로, 은행의 금융 중개 서비스에 대한 축약적인 형태(reduced form)의 비용함수를 가정하도록 한다. t 시점에서 i 의 은행, i ,의 이윤함수는,

$$\Pi_{i,t}^b = R_{t-1}^e \frac{d_{i,t-1}^e}{\Pi_t} + \Gamma_t^h (1 - \gamma_b) d_{i,t}^h - \Gamma_t^e d_{i,t}^e - R_{t-1}^h \frac{d_{i,t-1}^h}{\Pi_t}$$

은행은 금융시장에서의 균형으로 주어진 수신이자율, R_t^h ,과 대출이자율, R_t^e , 하에서 예금수신, $d_{i,t}^h$,과 대출금액, $d_{i,t}^e$,을 매 기에 결정한다. 또한, 금융 중개 서비스에 대한 비용은 t 시점에서 예금수신과 기업대출 양쪽에서 각각 Γ_t^e 와 Γ_t^h 만큼의 함수가 반영하고 있는데, 이는 아래에서 보다 상세히 설명하도록 한다. 대표 은행, i ,의 최적화 문제는,

$$\max_{d_{i,t}^e, d_{i,t}^h} E_t \sum_{\tau=t}^{\infty} \beta^{\tau-t} \frac{\lambda_{\tau}}{\lambda_t} \Pi_{i,\tau}^b$$

로 정리되며, 위의 최적화 문제에 대한 일계조건들을 도출하면,

$$\begin{aligned} [d_{i,t}^e]: \Gamma_t^e &= \beta E_t \left[\frac{\lambda_{t+1}}{\lambda_t} \frac{1}{\Pi_{t+1}} R_t^e \right] \\ [d_{i,t}^h]: (1-\gamma_b)\Gamma_t^h &= \beta E_t \left[\frac{\lambda_{t+1}}{\lambda_t} \frac{1}{\Pi_{t+1}} R_t^h \right] \end{aligned}$$

개별 은행들은 모두 위와 같은 동일한 조건을 만족해야하므로, 결국 대칭적 균형조건, $d_{i,t}^e = d_t^e$ 및 $d_{i,t}^h = d_t^h$,으로 볼 수 있다. 이를 다시 가계의 오일러 방정식을 나타내는 일계조건을 이용하여 무위험 이자율, R_t ,로 대체하면,

$$\begin{aligned} \Gamma_t^e R_t &= R_t^e \\ (1-\gamma_b)\Gamma_t^h R_t &= R_t^h \end{aligned}$$

이 되는데, 결국 예금수신 이자율과 무위험 국채이자율 간의 스프레드를 함수, $(1-\gamma_b)\Gamma_t^h$,가 나타내고 있으며, 대출이자율과 무위험 국채 이자율간의 스프레드는 함수, Γ_t^e ,가 반영하고 있다. 이와 같은 스프레드들은 금융 중개기관인 은행이 대차대조표에 따라 탄력적으로 변하도록 가정할 수 있는데, 다음과 같은 형태로 식별할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Gamma_t^e &= \exp\left(\Gamma^{e_0} - \Gamma^{e_1} \left(\frac{d_t^h}{d_t^e} - \frac{\bar{d}^h}{\bar{d}^e}\right) + \xi_t^e\right) \\ \Gamma_t^h &= \exp\left(\Gamma^{h_0} - \Gamma^{h_1} \left(\frac{d_t^h}{d_t^e} - \frac{\bar{d}^h}{\bar{d}^e}\right) + \xi_t^h\right) \end{aligned}$$

위와 같은 함수 형태를 가정할 때, 정상상태(steady state)에서 이자율 간의 스프레드는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \exp(\Gamma^{e_0}) R &= R^e \\ (1-\gamma_b)\exp(\Gamma^{h_0}) R &= R^h \end{aligned}$$

이를 다시 결합하면,

$$\frac{(1-\gamma_b)\exp(\Gamma^h)}{\exp(\Gamma^e)} = \frac{R^h}{R^e}$$

이 되며, 좌변이 결국 정상상태에서의 예대 마진으로 요약될 수 있다. 한편, 스프레드 함수들은 대출 대비 예금수신 비율, $\frac{d_t^h}{d_t^e}$,에 따라서 감소하는데, 이는 신용공급이 늘어남에 따라 이 비율이 감소하도록 탄력적인 형태를 가지도록 설정한 것이다. 또한, 이 함수 내에서 대출 대비 예금수신 비율은 개별 은행의 비율이 아닌 은행부문 전체의 평균적인 수준으로 개별 은행의 최적화 문제에서는 내재화되지 않는 것으로 가정한다¹³⁾. 마지막으로, 이와 같은 스프레드들은 외생적인 충격요인, ξ_t^h 및 ξ_t^e ,에 의해서도 변하는 것으로 가정하고, 이 구조충격요인은 사후적으로 자기상관(serial correlation)이 높게 나타날 수 있어 ARMA(1,1)의 형태로 식별할 수 있다.

$$\begin{aligned}\xi_t^e &= \rho_{d^e}\xi_{t-1}^e + \sigma_{d^e}(\varepsilon_{d^e,t} + \mu_{R^e}\varepsilon_{d^e,t-1}) \\ \xi_t^h &= \rho_{d^h}\xi_{t-1}^h + \sigma_{d^h}(\varepsilon_{d^h,t} + \mu_{R^h}\varepsilon_{d^h,t-1})\end{aligned}$$

3. 금융마찰 이론모형의 의의

금융마찰 이론모형은 그동안 주목하지 않았던 금융시장의 비효율성을 일반균형모형에 도입하여 분석했다는 점에서 새로운 시각을 제공하였다. 또한, 기존의 뉴케인지언 이론모형까지는 주로 거시경제의 펀더멘탈과 관련된 총수요 측과 총공급 측의 충격요인들만 식별된 것에 비해서, 금융 마찰 이론모형은 위의 risk shock과 같이 금융 시장 내의 구조충격요인을 식별하였다. 그리고, 기존의 모형은 무위험 채권 이자율만이 금융변수로서 주로 분석하였으나, 금융시장의 다양한 자산 가격에 대해서도 설명 가능하다는 점에서 이론모형의 유용성이 정책계에서도 높아질 수 있는 계기를 마련해주었다.

본 보고서의 이론모형은 통상적인 단기 경기변동 주기의 변동보다는 중기 경기 변동

13) 만약, 개별 은행의 문제에서 내재화된 함수를 이용한다면, 일계조건에서 스프레드는 각각 $\Gamma_t^e\left(1 - \Gamma_t^h \frac{d_t^h}{d_t^e}\right)$ 와 $\Gamma_t^h\left(1 - \Gamma_t^e \frac{d_t^e}{d_t^h}\right)$ 로 된다.

적 관점에서 R&D 투자의 특성을 이해하기 위해서, 뉴케인지언 이론모형과 더불어 Comin and Gertler (2006)에서처럼 내생적 R&D 투자를 제시하고자 한다. 금융 마찰 요인까지 도입하지 않는 이유는 경기변동의 주기가 보통 짧은 금융 시장의 특성은 배제하고, 거시경제 펀데멘탈을 설명함과 동시에 내생적 생산성의 경기변동을 설명하는 데 초점을 두기 위함이다.

제 4 장 연구개발투자의 구조이론모형

제 1 절 개 요

연구개발과 거시경제에 관한 기존 연구들은 주로 정태적 분석 혹은 장기 트렌드 연구에 집중되어 있어 경기변동 주기에서의 연구개발의 거시경제적 역할을 연구한 경우는 매우 드물다. 이는 미·중 간 무역분쟁, 감염병 확산과 같은 거시경제적 충격이 우리나라 연구개발 부문에 어떻게 영향을 주는지 또는 그 영향이 다시 거시경제에 중장기적으로 어떻게 영향을 미치는지에 대한 파악할 수 있는 구조이론모형이 전무하다. 따라서 경기변동 주기에서 연구개발 부문의 역할을 분석할 수 있는 구조이론모형의 개발은 새로운 관점을 제공해줄 것으로 판단된다. 단기적인 경기변동성(경기가 효율적인 상태에서 벗어난 정도)의 확대에 의한 사회적 효용의 감소는 직접적으로 국민의 삶에 영향을 미치고, 정책적으로도¹⁴⁾ 개입할 여지가 크기 때문에 심층적 연구가 필요하다.

따라서 본 연구는 경기변동 주기에서 연구개발 부문의 거시 경제적 역할을 분석을 위한 기초모형을 구축하는 의미에서 Anzoategui et al. (2019)의 모형을 우리나라 데이터를 활용하여 추정하였다. Anzoategui et al. (2019)의 모형은 표준적인 동태적 확률일반균형모형(Dynamic Stochastic General Equilibrium Model)과 더불어 연구개발 부문을 명시적으로 고려하였는데, 연구개발 투자는 기술개발 자체보다는 기술 확산을 통해 총요소생산성에 영향을 미친다고 보고 확산에 따른 지연과 기술퇴화 등을 고려하였다는 점에서 차별화된 특징이 있다. 구축된 모형은 우리나라 데이터를 활용하여 전형적인 베이지안 DSGE 모형 추정기법을 통해 파라미터들을 추정하고, 이를 바탕으로 충격반응함수(Impulse Response Function)와 역사적충격분해(Historical Shock Decomposition) 분석을 하였다. 충격반응함수는 구조적 충격의 한 단위 상승이 연구개발 부문을 비롯한 거시경제에 어떻게 영향을 미치는지를 보여주며, 역사적 충격분해 분석은 같은 거시 경제에 미치는 충격이 2000년 이후 우리나라 연구개발투자와 GDP의 경기변동에 기여한 바를 보여준다.

본 연구는 연구개발 정책의 파급경로 설명할 수 있는 구조적 모형을 한국의 데이터를 반영하여 추정하였다는 점에서 기존의 연구와 차별성을 가지고 있다고 할 수 있다. 구조적 파라미터 값에 따라 같은 충격에 내생변수들이 다르게 반응할 수 있기 때문에 미

14) 경기가 효율적인 상태에 근접할 수 있도록 수요를 조절하는 정책을 통해 경기를 조정할 수 있음

국의 데이터를 활용한 Anzoategui et al. (2015)의 결과를 그대로 활용하여 한국의 연구 개발정책을 논하기는 어렵다.

제 2 절 모 형

Anzoategui et al. (2019)의 모형은 Comin and Gertler (2006)의 논문을 확장한 것으로서 기본적으로 내생적 경제성장 모형을 중장기적 경기변동이론에 접목한 연구로 이해할 수 있다. 따라서 연구개발 부문에서의 활동이 이전에는 외생적으로 결정된다고 보았던 총요소생산성에 영향을 미치게 된다. Anzoategui et al. (2019)는 미국의 2008년 금융위기 이후 이전의 침체기와는 다르게, 이전 추세로의 수렴 속도가 매우 늦다는 점을 설명하기 위해서는 기존 문헌에서 다루어졌던 금융제약 혹은 이자율의 제로금리하한(Zero lower bound)만으로는 부족하다는 점을 지적하고, 거시경제적 충격의 또 다른 파급경로로서 연구개발 부문을 고려하였다는 점에서 큰 의미가 있다. 즉, 경기침체에 연구개발투자가 크게 위축되면서 중장기적인 경제성장에도 부정적인 영향을 줄 수 있는 파급경로를 제시함으로써 경기변동과 연구개발의 관계를 규명하였다는 점이 연구의 기여라고 할 수 있다.

따라서 본 고의 모형을 이해하기 위해서는 연구개발 부문이 어떻게 다른 경제주체들과 연결이 되는지를 먼저 이해하는 것이 중요하다. 앞서 언급한 바와 같이 연구개발 부문은 기술을 생산하는 R&D 부문과 생산된 기술을 중간재 생산에 활용할 수 있도록 전환하는 기술확산 (Adoption) 부문으로 나누어진다. 개념적으로는 가계의 숙련노동자가 연구개발 부문에 고용되어 기술을 개발하거나 확산하고, R&D 부문에서 새롭게 만들어진 기술은 매기에 일정 정도 퇴화하면서 축적된다. 축적된 기술 중에 일부는 기술확산 부문에서의 활동으로 중간재를 생산하는 데 활용되는 기술로 전환되며 이는 같은 노동과 자본의 투입으로도 더 많은 생산물을 만들어낼 수 있게 생산성을 높여준다.

또한, 연구개발 부문에 투입되는 노동력은 최종재(중간재)를 생산하는 비숙련노동자와 구분되기 때문에 각 가계는 두 가지 노동 유형이 존재한다는 점에서 표준적인 DGSE 모형과 차이가 있다. 모형의 나머지 부분, 즉 가계, 중간재 생산자, 최종재 생산자, 자본재 생산자, 정부 등은 표준모형과 같다.

1. 연구개발 부문

가. 기술생산 부문 (R&D)

기술생산은 완전경쟁적인 R&D 섹터에서 이루어지며, 기술생산 부문의 각 혁신가 (innovator) 'p'는 가계로부터 t 기의 R&D 숙련노동자($L_{sr,t}^p$)를 고용하여 새로운 기술(φ_t)을 생산한다. 각 연구개발인력에 의한 생산의 효율성(χ_t)은 AR(1) 확률과정을 따른다고 가정하였다.

$$\varphi_t = \chi_t Z_t L_{sr,t}^{\rho_z - 1} \quad \text{where} \quad \log \chi_t = (1 - \rho_\chi) \log \bar{\chi} + \rho_\chi \log \chi_{t-1} + \sigma_\chi \epsilon_t^\chi$$

$\rho_z < 1$ 는 R&D 인력에 대한 기술생산 탄력도로 1보다 작은 것을 가정함으로써 한계생산이 체감(congestion externality)하는 것을 감안하였다. Romer (1990)에서처럼, 기술의 한계생산은 Z_t 가 커짐에 따라 증가하는데, 이는 축적된 기술이 양의 외부효과를 야기하는 것으로 볼 수 있다. 기술의 축적은 경험학습의 효과(learning by doing)를 야기하여, 생산의 효율성이 내생적으로 결정되도록 한 식별이다. χ_t 는 R&D 투자의 효율성에 대한 외생적 충격으로 로그를 취했을 때 자기 회귀적 과정을 따른다고 가정하였다.¹⁵⁾

기술개발 부문의 기술생산은 연구개발을 위한 숙련노동을 투입함으로써 이루어지기 때문에 연구개발비용은 숙련노동자를 고용하기 위한 노동비용으로 측정 가능하며 단위 노동당 임금과 투입 숙련노동자의 곱($w_{s,t} L_{sr,t}$)으로 표현이 가능하다. 이와 같은 과정을 거쳐 생산된 새로운 기술은 $t+1$ 기에 기술확산 부문에 J_{t+1} 가격으로 기술사용에 대한 권리를 판매할 수 있다. 따라서, R&D 생산기업은 다음과 같은 이윤극대화 문제를 직면하게 된다.

$$\begin{aligned} & \max_{L_{sr,t}^p} E_t \Lambda_{t,t+1} J_{t+1} \varphi_t L_{sr,t}^p - w_{s,t} L_{sr,t}^p \\ \Rightarrow & \partial L_{sr,t}^p : E_t \Lambda_{t,t+1} J_{t+1} \varphi_t - w_{s,t} = 0 \end{aligned}$$

$\Lambda_{t,t+1}$ 은 대표가구(Representative Household)의 확률적 할인요인 (stochastic discount factor), J_t 는 새롭게 생산된 기술의 가격, 그리고 Z_t 는 현재까지 축적된 기술스톡이다. 또한,

15) $\ln \chi_t = \rho_\chi \ln \chi_{t-1} + \epsilon_t^\chi$

매기 $(1-\phi)Z_t$ 만큼의 기술은 퇴화하여 중간재 생산에 사용이 불가하거나 이미 기술로서의 가치를 잃는다는 것을 가정하였다. 따라서 기술스톡은 다음과 같이 축적된다.

$$Z_{t+1} = \varphi_t L_{sr,t} + \phi Z_t$$

R&D 부문의 숙련노동 고용을 위한 최적화 일계조건¹⁶⁾의 등호 왼쪽은 한 단위의 숙련노동을 고용하기 위해 지불해야 하는 비용, 즉 연구개발 인력에 대한 임금이며, 오른쪽은 한 단위의 연구개발 인력을 고용함으로써 얻을 수 있는 새로운 기술의 할인된 가치이다.

나. 기술 확산 부문 (Adopters)

기술 확산 부문은 중간재 생산자가 재화를 생산하기 위하여 새로운 기술을 도입할 수 있도록 사용 가능한 기술로 전환하는 단계로, 연구개발 투자가 효과를 발현하기 위한 시차를 고려함과 동시에 연구개발 투자 자체가 곧 생산성 증대로 이어지지 않을 수 있다는 현실을 반영하였다. R&D 부문으로부터 생산된 기술은 다시 완전 경쟁적 시장인 기술 확산 부문에서 생산 단계에 적용이 가능한 기술(A_t)로 전환되어 중간재 생산기업에 V_t 가격으로 판매된다. 이는 t 기에 $Z_t - A_t$, 즉, 아직까지 활용되지 않은 기술을 η_t 의 확률로 $t+1$ 기에 산업에 활용 가능한 기술로 전환된다. 여기서의 전환 확률은 두 개의 내생변수에 의해서 결정되는데, 하나는 현재까지 축적된 기술스톡(Z_t)과 기술 확산을 위한 인력 투입이다. 두 내생 변수에 의해 그 확률은 증가한다.

$$\eta_t = \bar{\eta} (Z_t L_{sa,t})^{\rho_\gamma}$$

Z_t 의 증가함수라는 것은 축적된 기술스톡은 긍정적인 파급효과(Spillover Effect)를 야기할 수 있다고 가정한 것이며, $\rho_\gamma < 1$ 은 기술 확산 인력 투입의 한계 확률이 체감한다는 것을 의미한다. $\bar{\eta}$ 는 확산계수로서 모의실험 시 정상상태에서 기술의 확산 속도가 실증 자료에 적합하도록 캘리브레이트하였다. 신기술의 가격(J_t)은 완전경쟁의 기술 확산자(adopters)가 이윤을 극대화하는 수준에서 결정된다.

16) 대표 가구의 확률적 할인요인은 $E_t \Lambda_{t,t+1} = \beta E_t \frac{\lambda_{t+1}}{\lambda_t}$ 와 같으며, λ_t 는 소비의 한계효용으로 가구 부문의 최적화문제에서 도출된다.

$$J_t = \max_{L_{sa,t}} E_t \left[-w_{s,t} L_{sa,t} + \phi \Lambda_{t,t+1} \{ \eta_t V_{t+1} + (1 - \eta_t) J_{t+1} \} \right]$$

기술 확산자의 이윤은 숙련노동 고용에 대한 비용, 즉, 임금을 지불하고 숙련노동을 통해서 활용된 기술을 판매하였을 때 얻는 미래의 수익을 현재가치로 할인한 것으로 결정된다. 즉, η_t 의 확률로 전환된 기술은 $t+1$ 기에 V_{t+1} 의 가격으로 판매되며, 나머지 전환되지 않은 기술스톡의 가치인 J_{t+1} 로 평가된다. 그리고, 다음 기에서는 $(1 - \phi)(Z_t - A_t)$ 만큼의 기술스톡은 퇴출되어 기술로서의 가치가 사라지는 것을 확률, ϕ ,가 반영하고 있다. 따라서, 기술 확산 부문에서의 최적화 조건은 다음과 같다.

$$w_{s,t} = \phi E_t \left[\Lambda_{t,t+1} \rho_\eta \frac{\eta_t}{L_{sa,t}} (V_{t+1} - J_{t+1}) \right]$$

모형의 정상성을 유지하기 위하여 이미 생산에 적용 가능한 기술로 전환이 된 경우에 매 기 $(1 - \phi)A_t$ 만큼은 그 가치가 사라진다고 가정하였다. 따라서, 적용 가능 기술은 다음과 같은 규칙을 따라 축적된다.

$$A_{t+1} = \eta_t \phi [Z_t - A_t] + \phi A_t$$

완전경쟁 시장인 연구개발 및 기술확산 부문에서의 가격은 정확히 이윤과 비용이 일치하는 점에서 결정되기 때문에 적용 가능 기술의 가격 역시 이에 따라 중간재 생산기업이 이 기술을 가지고 얻을 수 있는 이윤과 이 기술의 미래가치에 의해 결정된다.

$$V_t = \Pi_{m,t} + \phi E_t \Lambda_{t,t+1} V_{t+1}$$

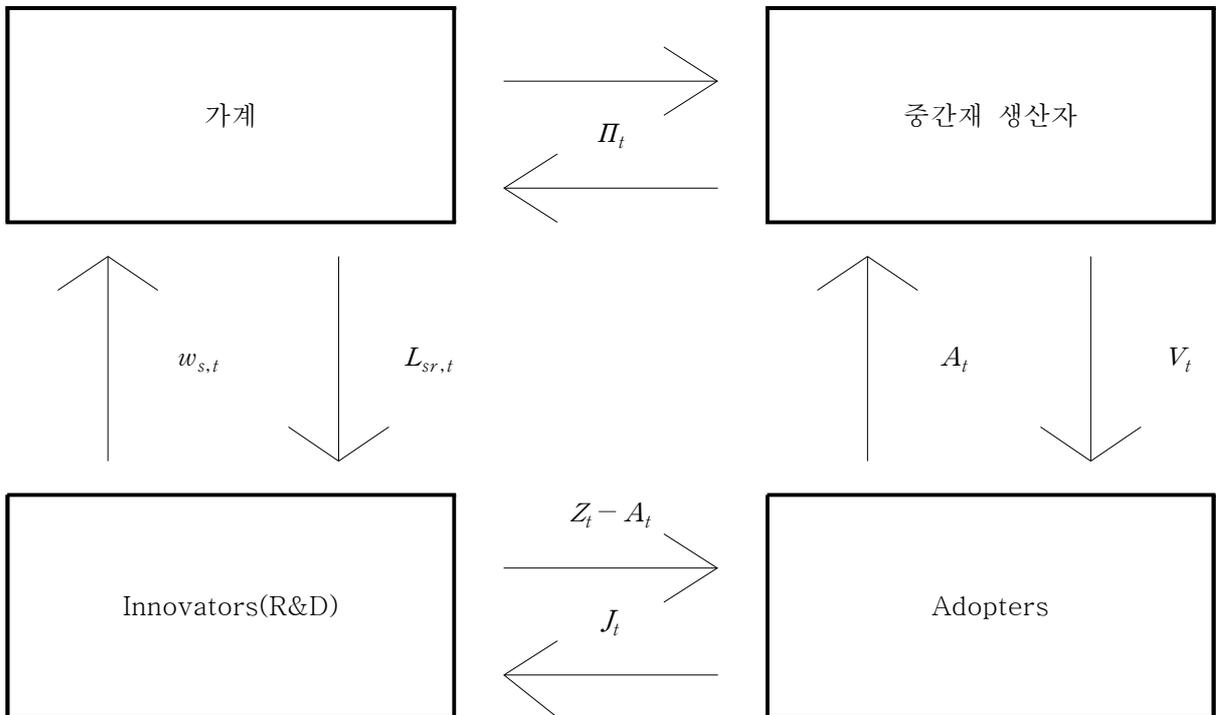
여기서 $\Pi_{m,t}$ 는 중간재 생산자가 적용 가능한 기술 사용권리를 구입하여 중간재를 생산하였을 때 얻을 수 있는 이윤,¹⁷⁾

17) 독점적 경쟁시장에서의 중간재 생산자는 한계비용(mc_t)에 마크업을 얹어 최종재 생산자에 판매하게 된다. 자세한 내용은 중간재 생산자 부분을 참고

$$\frac{\vartheta-1}{\vartheta} p_{mt} Y_{m,t}^{18})$$

다음 기에 퇴화하지 않고 남은 기술의 할인된 가치의 합이다.

아래 그림은 위에 서술한 연구개발과 기술확산 부문이 다른 경제주체들과 관계를 그림으로 그린 것이다.



2. 중간재생산자

t기에 적용 가능 기술 스톡은 A_t 이며, 각각의 중간재 생산자가 그 중 하나의 특화된 기술을 활용하여 차별화된 중간재를 생산한다. 완전자산시장을 가정하여 가구 간의 위험이 분산되므로, 가구의 자본공급에 대한 의사결정은 모두 동일하며, 완전 경쟁적 자본 시장에서의 균형 가격이 결정된다. 한편, 뉴케인지언 이론 모형에서 임금 경직성을 도입하게 된 배경을 설명한 바와 같이, 대표 가구에는 이질적인 노동자들이 있고 이들을 대표하는 노동조합이 일정 부분의 독점력을 가지고 임금협상을 하게 됨으로써, 다양한 독점적 경쟁 임금이 결정되게 된다. 다만, 중간재 생산자는 이질적인 노동조합의 합성(composite)에 의해 동질적인 노동

18) 파라미터 ϑ 는 중간재생산자의 Gross 마크업으로 다음 섹션에 추가적인 설명을 하였다.

서비스를 고용하기 때문에 완전 경쟁적 임금 수준, 즉, 평균 임금을 비용으로 직면하게 된다.

따라서, 중간재 생산 기업은 가구로부터 노동서비스와 자본을 빌려서 투입요소로 사용하고, Cobb-Douglas 생산기술을 통해 중간재를 생산하게 된다. 생산 요소의 투입에 관한 의사결정은 뉴케인지언 이론모형에서 설명한 바와 같이 정태적인 문제이므로 비용 극소화 문제로 문제로 축약하여 다음과 같이 식별할 수 있다.

$$\begin{aligned} \max_{K_t^j, L_t^j, U_t^j} \quad & p_{mt} Y_{mt}^j - (D_t + \delta(U_t^j) Q_t) K_t^j - w_t L_t^j \\ \text{s.t.} \quad & Y_{mt}^j = \theta_t (U_t^j K_t^j)^\alpha (L_t^j)^{1-\alpha} \end{aligned}$$

모든 중간재 생산자 ‘j’ 에 대하여 p_{mt} 는 중간재 Y_{mt}^j 의 가격, K_t^j 는 자본투입, L_t^j 는 비숙련 노동서비스 합성(labor composite)의 투입시간 (혹은 취업자 수), D_t 는 실질 자본 임대료, $\delta(U_t^j) Q_t$ 단위 감가상각비용, w_t 는 저숙련 노동에 대한 실질임금, α 는 자본소득비중, θ_t 는 외생적인 총요소생산성 (TFP: Total Factor Productivity) 충격요인을 나타내며 다음과 같은 자기 회귀적 확률과정을 따르는 것으로 가정한다.

$$\log \theta_t = \rho_\theta \log \theta_{t-1} + \epsilon_t^\theta$$

중간재 생산기업의 최적 조건으로부터 한계수익과 한계비용이 균형을 이루도록 하는 식으로 정리할 수 있다.

$$\partial K_t^j: \alpha \frac{p_{mt} Y_{mt}^j}{K_t^j} = \varsigma (D_t + \delta(U_t^j) Q_t)$$

$$\partial U_t^j: \alpha \frac{p_{mt} Y_{mt}^j}{U_t^j} = \varsigma \delta'(U_t^j) Q_t K_t^j$$

$$\partial L_t^j: (1 - \alpha) \frac{p_{mt} Y_{mt}^j}{L_t^j} = \varsigma w_t$$

최적 조건에서는 최적의 자본과 노동 비율이 시장 가격에 의해서 결정되기 때문에 각 중간재생산자 색인 ‘j’를 생략하고 대칭적인 조건들로 바꿀 수 있다. 이후에 설명한 바와

같이 중간재생산자 'j'가 생산한 제품(Y_{mt}^j)은 다시 고정 대체 탄력도(Constant Elasticity of Substitution)함수에 따라 합성 중간재(Y_{mt})로 전환이 된 후, 최종재 생산 기업에게 판매된다. 다시 말해서, 각 중간재 생산기업은 현재 존재하는 기술스톡, A_t , 중 하나의 기술을 독립적으로 활용하여 중간재, Y_{mt}^j ,를 생산하고, 이는 또한 다른 기술에 의해 생산된 중간재와 더불어 다시 합성된 중간재의 형태, 즉, 합성 중간재(intermediate good composite)을 최종재 생산자에게 팔린다. 따라서, 합성 중간재는 다음과 같이 정의된다.

$$Y_{mt} = \left(\int_0^{A_t} (Y_{mt}^j)^{\frac{1}{\vartheta}} dj \right)^{\vartheta}$$

3. 최종재 생산자

최종재 생산 기업은 특화된 기술로 생산된 중간재를 p_{mt} 가격으로 구입하여 선형 생산함수를 이용하여 최종재를 생산한다.

$$Y_t^i = Y_{mt}^i$$

경제 내 전체 최종재의 생산함수는 다음과 같이 요약될 수 있다.

$$Y_t = Y_{m,t} = \underbrace{(A_t^{\vartheta-1} \theta_t)}_{TFP} (K_t)^\alpha (L_t)^{1-\alpha}$$

총요소생산성(TFP)은 내생적으로 결정되는 부분($A_t^{\vartheta-1}$) 과 외생적인 구조 충격(θ_t)으로 구분될 수 있다. A_t 는 연구개발 활동의 경기변동에 따라 변하며, 이는 다시 종합적인 총요소생산성에 영향을 준다. 한편, 각 최종재 생산자는 독점적 경쟁시장에서 일정 정도의 독점력을 가지고 가격을 결정하게 되며, 총 최종재는 다음과 같이 정의된다.

$$Y_t = \left(\int_0^1 (Y_{mt}^i)^{\frac{\varepsilon_p - 1}{\varepsilon_p}} di \right)^{\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_p - 1}}$$

구조모수 ε_p 는 최종재 간의 대체탄력성으로서 각 최종재 생산 기업의 독점력을 반영한다. 따라서, 뉴케인지언 이론모형의 전형적인 최적화 문제의 결과에 따라서 각 최종재의 수요함수는 다음과 같이 도출된다.

$$Y_t^i = \left(\frac{P_t^i}{P_t} \right)^{-\varepsilon_p} Y_t$$

여기서, 경제 내의 물가 수준(P_t)은

$$P_t \equiv \left(\int_0^1 (P_t^i)^{1-\varepsilon_p} di \right)^{\frac{1}{1-\varepsilon_p}} \text{이다.}$$

최종재 생산기업은 뉴케인지언 이론모형에서 설명한 바와 같이 Calvo-Yun 식의 가격 경직성을 직면한다. 차별화된 최종재에 대해서 독점적 경쟁 가격을 최적화할 수 있다. 즉, 매 기 $(1-\xi_p)$ 비율의 최종재 생산자는 이윤 흐름을 극대화하는 수준에서 가격을 최적화할 수 있으며, 그 외의 최종재 생산자는 인덱세이션에 따라 이전 시점의 물가상승률에 상응하여 일정 정도만 외생적으로 조정하게 된다.

$$P_t^i = \begin{cases} P_t^* & \text{if } P_t^i \text{가 최적으로 설정되었을 때} \\ (1+\pi_{t-1})^{\iota_p} P_{t-1}^i & \text{if } P_t^i \text{가 최적으로 설정되지 못하였을 때} \end{cases}$$

구조 모수 ι_p 는 인덱세이션을 위한 값으로서, ι_p 가 0일 때는 가격이 인플레이션율이 전혀 반영되지 않고 전기의 가격 수준을 그대로 유지하게 되며, 반대로 1일 경우에는 전기 인플레이션율을 온전히 반영하여 가격이 조정된다. 한 시점에서 가격 조정이 가능한 최종재 생산자의 이윤극대화 문제는 아래와 같다.

$$\max_{P_t^*} E_t \sum_{s=0}^{\infty} \xi_p^s A_{t,t+s} \left\{ \frac{P_{t+s}^i}{P_{t+s}} Y_{t+s}^i - p_{m,t+s} Y_{t+s}^i \right\}$$

위 식에서 P_{t+s}^i 는 최종재 생산자가 t 시점에서 가격을 최적화한 후 $t+s$ 기까지 지속적으로 최적 수준의 가격으로 조정하지 못하고, 전기 인플레이션에만 상응하여 조정하였을 때의 조정된 가격이다.¹⁹⁾ 한편, 최종합성재 문제에서 도출된 각 최종재에 대한 수요함수는 다음과 같다.

$$Y_{t+s}^i = \left(\frac{P_{t+s}^i}{P_{t+s}} \right) Y_{t+s} \quad \& \quad P_{t+s}^i = P_t^* \left(\frac{P_{t+s-1}}{P_{t-1}} \right)^{l_p}$$

수요함수의 제약 하에서, t 시점에서의 가격을 결정하는 최종재 생산자의 이윤극대화 조건은 다음과 같다.²⁰⁾

$$\sum_{s=0}^{\infty} \xi_p^s \Lambda_{t,t+1} \left\{ \frac{P_{t+s}^i}{P_{t+s}} - \left(\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_p - 1} \right) p_{m,t+s} \right\} Y_{t+s}^i = 0$$

최적 가격은 독점적 경쟁 가격 수준으로 결정되는 것인데, 이는 한계비용에서 마크업을 반영하여 설정된다. 다만, 가격 경직성에 따라 이윤흐름의 동태적인 관점에서 미래의 한계수익 흐름과 한계비용 흐름을 동시에 고려하게 최적화하게 된다. 다시 정리하면,

$$P_t^* = \left(\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_p - 1} \right) \frac{\sum_{s=0}^{\infty} (\beta \xi_p)^s \Lambda_{t,t+s} \left\{ \left(\frac{P_{t+s-1}}{P_{t-1}} \right)^{-l_p \varepsilon_p} P_{t+s}^{\varepsilon_p} p_{m,t+s} Y_{t+s} \right\}}{\sum_{s=0}^{\infty} (\beta \xi_t)^s \Lambda_{t,t+s} \left\{ \left(\frac{P_{t+s-1}}{P_{t+s}} \right)^{l_p(1-\varepsilon_p)} P_{t+s}^{\varepsilon_p-1} Y_{t+s} \right\}}$$

이 된다. 앞선, 뉴케인지언 이론 모형 설명처럼 이를 보다 직관적으로 이해할 수 있도록 재귀 방정식으로 나타낼 수 있다²¹⁾.

19) $P_{t+1}(i) = P_t^* \pi_t^{l_p}$

$$P_{t+2}(i) = P_t^* \pi_t^{l_p} \pi_{t+1}^{l_p} = P_t^* \left(\frac{P_{t+1}}{P_{t-1}} \right)_p$$

⋮

$$P_{t+s}(i) = P_t^* \left(\frac{P_{t+s-1}}{P_{t-1}} \right)_p$$

20) $\frac{\partial P_{t+s}(i)}{\partial P_t^*} = \left(\frac{P_{t+s-1}}{P_{t-1}} \right)_p^l$ 그리고 $\frac{\partial Y_{t+s}(i)}{\partial P_t^*} = -\varepsilon_p \left(\frac{Y_{t+s}(i)}{P_t^*} \right)$ 를 이용

$$1 + \pi_t^* = \left(\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_p - 1} \right) (1 + \pi_t) \frac{f_{1,t}}{f_{2,t}}$$

여기에서²²⁾,

$$f_{1,t} = \lambda_t p_{m,t} Y_t + \xi_t \beta (1 + \pi_t)^{-\iota_p \varepsilon_p} E_t \left[(1 + \pi_{t+1})^{\varepsilon_p} f_{1,t+1} \right]$$

그리고²³⁾

$$f_{2,t} = \lambda_t Y_t + \xi_p \beta (1 + \pi_t)^{\iota_p (1 - \varepsilon_p)} E_t \left[(1 + \pi_{t+1})^{\varepsilon_p - 1} f_{2,t+1} \right]$$

이다.

4. 자본재 생산자

경쟁시장에서의 자본재 생산자는 최종재 생산자로부터 최종재(I_t)를 p_{kt} 가격에 구입하여 새로운 자본재를 생산한 후 다음 기에 가격에 Q_t 가격에 판매한다. 이 때, 투자재의 변동에 따라 조정비용이 발생함을 가정하였다. 따라서 자본재생산자의 이윤극대화 문제는 아래와 같이 정의된다.

$$\max_{I_t} Q_t K_{t+1} - p_{kt} \left[1 + f \left(\frac{I_t}{(1 + \gamma_y) I_{t-1}} \right) \right] I_t \quad s.t. \quad K_{t+1} = I_t + (1 - \delta(U_t)) K_t$$

이에 대응하는 1계 최적화 조건은 아래와 같이 도출할 수 있다.

$$21) \quad \pi_t^* \equiv \frac{P_t^*}{P_{t-1}}, \quad \pi_t = \frac{P_t}{P_{t-1}} \quad \text{그리고} \quad \Lambda_{t,t+s} = \beta^s \frac{\lambda_{t+s}}{\lambda_t}$$

$$22) \quad f_{1,t} \equiv \frac{F_{1,t}}{P_t^{\varepsilon_p}} \quad \text{그리고} \quad F_{1,t} = \lambda_t p_{m,t} P_t^{\varepsilon_p} Y_t + \beta \xi_p \left(\frac{P_t}{P_{t-1}} \right)^{-\iota_p \varepsilon_p} E_t F_{1,t+1}$$

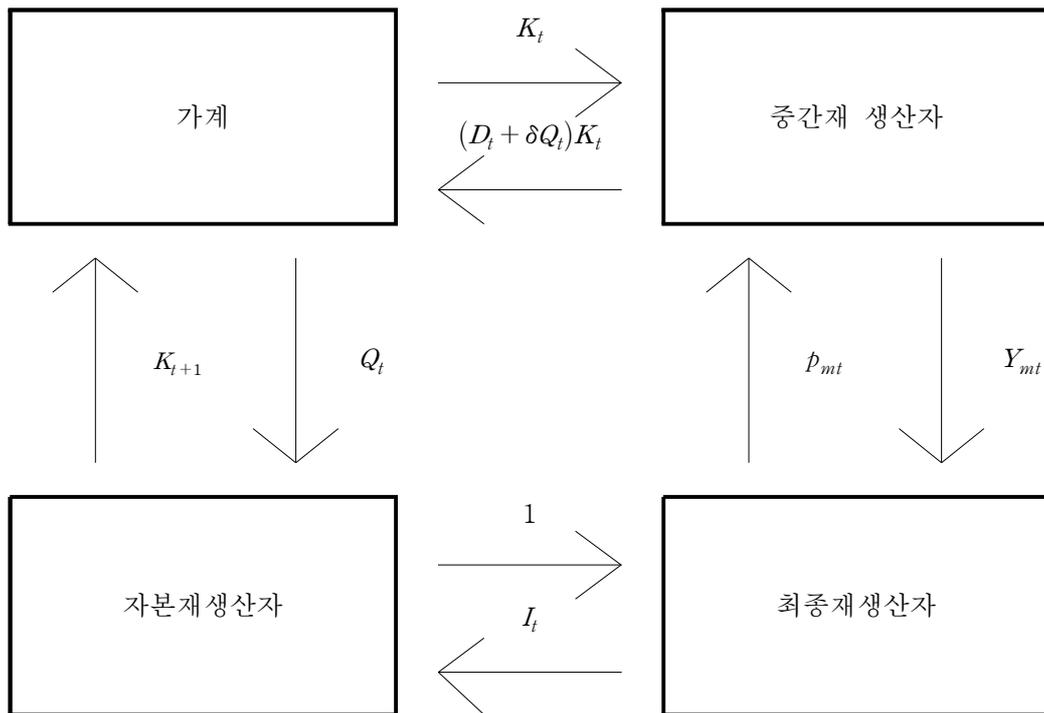
$$23) \quad f_{2,t} \equiv \frac{F_{2,t}}{P_t^{\varepsilon_p - 1}} \quad \text{그리고} \quad F_{2,t} = \lambda_t P_t^{\varepsilon_p - 1} Y_t + \beta \xi_p \left(\frac{P_t}{P_{t-1}} \right)^{\iota_p (1 - \varepsilon_p)} E_t F_{2,t+1}$$

$$\frac{Q_t}{p_{kt}} = 1 + f\left(\frac{I_t}{(1+\gamma_y)I_{t-1}}\right) + \frac{I_t}{(1+\gamma_y)I_{t-1}} f'\left(\frac{I_t}{(1+\gamma_y)I_{t-1}}\right) + E_t \Lambda_{t,t+1} \left(\frac{I_{t+1}}{(1+\gamma_y)I_t}\right)^2 f'\left(\frac{I_{t+1}}{(1+\gamma_y)I_t}\right)$$

정상상태에서 투자재의 상대적 대체비용(replacement price), 즉 Tobin's Q는 1이며 투자조정이 발생하는 경우 그에 따른 기대조정비용으로 1보다 큰 값을 가지게 된다. 또한, Anzoategui et al. (2019)를 따라 투자재 가격(p_{kt})은 AR(1) 확률과정을 따른다고 가정하였다. 중간재생산자의 자본활용강도(utilization rate)에 따른 변동 감가상각을 고려한 자본축적식은 아래와 같이 정의할 수 있다.

$$K_{t+1} = I_t + (1 - \delta(U_t))K_t$$

아래 그림은 자본재 생산과정과 연계된 경제주체들과 실물과 가격의 이동을 그림으로 표현한 것이다.



5. 대표가구

각 대표가구(Representative Household) 내에서는 자본과 노동을 공급함으로써 소득을 발생시키고, 이를 소비와 자본 및 저축에 자원을 배분한다. 노동서비스는 앞서 차별화된 노동서비스를 가구 내에서 공급하는데, 기술 개발 부문과 기술 확산 부문에서의 숙련노동과 중간재 생산 부문에서의 비숙련 노동이 있다. 자본은 자본재 생산자로부터 구입하여 중간재 생산자에게 대여해주고 자본 임대료를 받는다. 각 가구는 소비, 노동, 저축 및 자본수준에 대한 의사 결정을 통해 평생 효용을 극대화한다. 대표 가구는 합성노동(labor composite)에 대하여 결정한다. 합성노동은 $X_t = \{L_t, L_{st}\}$, 그에 대응하는 임금은 $w_{xt} = \{w_t, w_{st}\}$ 로 정의하였다.

따라서 대표가구의 평생 효용극대화 문제는 아래와 같이 정의할 수 있다.

$$\max_{C_t, B_t, L_t, K_{t+1}} E_t \sum_{\tau=0}^{\infty} \beta^{\tau} \left[\ln(C_{t+\tau} - bC_{t+\tau-1}) + \rho_t B_{t+1} - \left\{ \frac{\nu_x X^{1+\varphi}}{1+\varphi} \right\} \right]$$

구조모수 b 는 소비의 습관 형성 (habit formation)²⁴⁾이며, φ 는 Frisch의 노동공급 탄력도의 역수이다. Q_t 는 유동성선호를 반영하며, C_t 는 소비, L_t 는 비숙련 노동공급, L_{st} 는 숙련 노동공급이다. 대표가구의 예산 제약식은 다음과 같다.

$$C_t + Q_t K_{t+1} + B_{t+1} = w_{xt} X_t + \Pi_t + R_{kt} Q_{t-1} K_t + R_t B_t \quad R_{kt} \equiv \frac{D_t + Q_t}{Q_{t-1}}$$

B_{t+1} 는 명목채권으로 다음 기에 1원을 돌려받을 수 있으며, $w_{xt} \left(= \frac{W_{xt}}{P_t} \right)$ 는 합성노동 인력의 실질임금, u_t 는 자본활용률(utilization rate), Π_t 중간재생산자를 소유함으로써 발생하는 실질이윤, R_{kt} 는 자본에 대한 실질수익률, D_t 는 자본재 임대료, R_t 는 실질이자율을 의미한다.

24) 제약이 주어지지 않은 VAR 모형에 따르면 소비의 충격반응함수가 hump-shape을 그리기 때문에 이를 반영하기 위한 다소 인위적인 변형이다. 하지만 모형의 주요 이슈에 영향을 주지 않기 때문에 실증자료에 최대한 맞추기 위함이라고 이해하면 된다.

$$\partial C_t: \frac{1}{C_t - bC_{t-1}} - \beta E_t \frac{b}{C_{t+1} - bC_t} = u_{ct} = \lambda_t$$

$$\partial B_{t+1}: Q_t - \lambda_t + \beta E_t \lambda_{t+1} R_{t+1} \Rightarrow \frac{Q_t}{\lambda_t} + \beta E_t \frac{\lambda_{t+1}}{\lambda_t} R_{t+1} \Rightarrow \zeta_t + E_t \Lambda_{t,t+1} R_{t+1} = 1$$

$$\partial K_{t+1}: \beta E_t \lambda_{t+1} R_{k,t+1} Q_t = \lambda_t Q_t \Rightarrow E_t \Lambda_{t,t+1} R_{k,t+1} = E_t \left\{ \Lambda_{t,t+1} \frac{D_{t+1} + Q_{t+1}}{Q_t} \right\} = 1$$

$$\Lambda_{t,t+1} \equiv \beta E_t \frac{\lambda_{t+1}}{\lambda_t}$$

위의 최적 조건을 활용하여 자본재 구입과 채권구입에 사이의 재정거래(arbitrage)가 일어나지 않는 균형식은 아래와 같이 도출할 수 있다.

$$E_t \{ \Lambda_{t,t+1} (R_{k,t+1} - R_{t+1}) \} = \zeta_t \equiv \frac{Q_t}{\lambda_t}$$

즉, 유동성에 대한 선호가 커질수록, 즉 ζ_t 가 증가할수록 더 높은 자본재 수익률이 요구되며, 이후 시뮬레이션 결과에서도 보듯이 ζ_t 충격은 신용제약 충격과 유사한 파급효과를 가지고 있어 금융시장 충격을 반영할 수 있다.

노동수요는 중간재 생산자와 기술 개발 및 기술 확산 부문에 의해 결정되며, 주지하는 바와 같이 임금은 합성노동에 대한 노동조합에 의해 결정되기 때문에 중간재 생산자와 연구개발 부문에서는 시장 임금 수준에 따라서 그 수요가 결정된다. 따라서, 각 가구로부터 공급된 노동은 노동조합에 의해 노동 서비스 합성(labor composite) 형태로 각각의 생산자들에 의해 고용된다.

$$X_t^i = \left(\frac{W_t^i}{W_t} \right)^{-\varepsilon_w} X_t, \text{ 그리고}$$

$$X_t = \left(\int_0^1 (X_t^i)^{\frac{\varepsilon_w - 1}{\varepsilon_w}} \right)^{\frac{\varepsilon_w}{\varepsilon_w - 1}}$$

이에 대응하는 임금수준은 아래와 같이 주어진다.

$$W_{xt} = \left(\int_0^1 (W_{xt}^i)^{1-\varepsilon_w} \right)^{\frac{1}{1-\varepsilon_w}}$$

구조모수 ε_w 는 노동서비스 간의 대체탄력도이다.

각 가구는 독점적 경쟁 임금을 조정할 수 있으며, 이는 최종재생산자가 가격을 설정하는 경우와 마찬가지로 Calvo-Yun식의 임금 경직성을 직면하여 매 기 ξ_w 확률로 임금을 조정하지 못하고, 임금 인플레이션율을 부분적으로만 반영하게 된다.

$$W_t^i = \begin{cases} W_t^* & \text{if } W_t^i \text{가 최적으로 설정되었을 때} \\ (1 + \pi_{t-1})^{\varepsilon_w} W_{t-1}^i & \text{if } W_t^i \text{가 최적으로 설정되지 못하였을 때} \end{cases}$$

각 가구는 노동수요 하에서 임금 소득에 따른 한계 효용 흐름과 노동공급에 따른 한계 비효용 흐름을 감안하여 임금을 결정하게 된다.

$$\max_{W_t^i} E_t \sum_{s=0}^{\infty} (\beta \xi_w)^s \left\{ \frac{X_{t+s}^{1+\varphi}(h)}{1+\varphi} + \lambda_{t+s} \frac{W_{x,t+s}(h)}{P_{t+s}} X_{t+s}(h) \right\}$$

위 식에서 λ_{t+s} 는 예산제약에 대한 라그랑지 승수이며, 최적 조건은 다음과 같다²⁵⁾.

$$E_t \sum_{s=0}^{\infty} (\beta \xi_w)^s \lambda_{t+s} \left[\frac{W_{x,t+s}(h)}{P_{t+s}} X_{t+s}(h) - \left(\frac{\varepsilon_w}{\varepsilon_w - 1} \right) \frac{X_{t+s}^{\varphi}(h)}{\lambda_{t+s}} \right] X_{t+s}(h) = 0$$

위 식의 큰 괄호 안의 첫 번째 항목은 t 기에 최적의 임금을 조정하고, 이후 조정하지 못했을 때 t+s기에 얻을 수 있는 실질 임금이며, 두 번째 항목은 마크업에 노동 공급의 한계 비효용, 즉 여가(노동)와 소비의 한계대체율 (Marginal Rate of Substitution between consumption and Leisure)을 곱한 것이다. 이들 흐름의 현재가치가 동일한 수준에서 최적 임금 수준이 결정된다.

25) $\frac{\partial W_{t+s}(h)}{\partial W_t^*} = \left(\frac{P_{t+s-1}}{P_{t-1}} \right)^{\varepsilon_w}$ 그리고 $\frac{\partial X_{t+s}(h)}{\partial W_t^*} = -\varepsilon_w \frac{X_{t+s}(h)}{W_t^*}$ 를 이용

최종재 생산자의 최적 가격의 설정 방법과 마찬가지로 위 식을 최적 가격에 대하여 풀어 회귀적 표현으로 나타내면 다음과 같다.

$$(W_{x,t}^*)^{1+\varepsilon_w\varphi} = \left(\frac{\varepsilon_w}{\varepsilon_w - 1} \right) \frac{E_t \sum_{s=0}^{\infty} (\beta\xi_w)^s \left\{ \eta_{t+s} \left(\frac{P_{t+s-1}}{P_{t-1}} \right)^{-\varepsilon_w(1+\varphi)} W_{x,t+s}^{\varepsilon_w(1+\varphi)} X_{t+s}^{1+\varphi} \right\}}{E_t \sum_{s=0}^{\infty} (\beta\xi_w)^s \left\{ \frac{\lambda_{t+s}}{P_{t+s}} \left(\frac{P_{t+s-1}}{P_{t-1}} \right)^{\varepsilon_w(1-\varepsilon_w)} W_{x,t+s}^{\varepsilon_w} X_{t+s} \right\}}$$

양변을 $P_t^{1+\varepsilon_w\varphi}$ 로 나누어 실질변수로 변환한 후 다시 $(W_{xt}^*)^{\varepsilon_w\varphi}$ 로 나누어 실질 최적임금(w_{xt}^*)에 대하여 풀면 아래와 같은 도출할 수 있다.

$$w_{x,t}^* = \left(\frac{\varepsilon_w}{\varepsilon_w - 1} \right) \frac{h_{1,t}}{h_{2,t}}$$

$$h_{1,t} = \left(\frac{w_{x,t}}{w_{x,t}^*} \right)^{\varepsilon_w(1+\varphi)} X_t^{(1+\varphi)} + \xi_w \beta (1 + \pi_t)^{-\varepsilon_w(1+\varphi)} E_t \left[(1 + \pi_{t+1})^{\varepsilon_w(1+\varphi)} \left(\frac{w_{x,t+1}^*}{w_{x,t}^*} \right)^{\varepsilon_w(1+\varphi)} h_{1,t+1} \right]$$

그리고,

$$h_{2,t} = \lambda_t \left(\frac{w_{xt}}{w_{xt}^*} \right)^{\varepsilon} X_t + \xi_w \beta (1 + \pi_t)^{\varepsilon_w(1-\varepsilon_w)} E_t \left[(1 + \pi_{t+1})^{\varepsilon_w - 1} \left(\frac{w_{x,t+1}^*}{w_{x,t}^*} \right)^{\varepsilon_w} h_{2,t+1} \right]$$

이다.

5. 정부

그리고 정부지출은 자기 회귀적 확률과정을 따른다고 가정하였다.

$$\log \left(\frac{G_t}{(1 + \gamma_y)^t} \right) = (1 - \rho_g) \bar{G} + \rho_g \log \left(\frac{G_{t-1}}{(1 + \gamma_y)^{t-1}} \right) + \varepsilon_t^g$$

한편, 중앙은행은 테일러 준칙(Taylor Rule)에 의거하여 명목이자율을 결정한다.

$$R_{n,t+1} = r_t^m \left(\left(\frac{\pi_t}{\pi^0} \right)^{\phi_\pi} \left(\frac{L_t}{L^{ss}} \right)^{\phi_y} R_n \right)^{1-\rho_R} (R_{nt})^{\rho_R}$$

구조모수 ϕ_π 와 ϕ_y 는 각각 물가상승률과 고용에 대한 명목이자율 탄력도이며, ρ_R 는 명목이자율의 자기 회귀 계수로서 명목이자율의 지속성을 반영한다. 통상적인 이론모형에서는 주로 총산출값을 실물 경기에 대한 proxy로 사용하나, 여기서는 노동 시장의 기술 개발과 기술 확산 부문에 있어서 핵심적인 역할을 하는 경제 활동으로서, 고용값을 대신 사용하였다.

6. 시장청산조건

총 수요는 가계소비와 투자, 그리고 투자조정비용과 정부의 지출로 구성되며 이는 균형상태에서 총생산과 같다.

$$Y_t = C_t + p_{kt} \left[1 + f \left(\frac{I_t}{(1+\gamma_y)I_{t-1}} \right) \right] I_t + G_t$$

채권시장의 경우 폐쇄경제 하에서 균형상태는 초과 수요나 초과 공급이 없다.

$$B_t = 0$$

요소시장은 각 중간재생산자가 0부터 A_t 사이에 균일하게 분포하고 있어, 다음과 같은 조건을 만족해야한다.

$$L_t = A_t L_t^j = A_t \bar{L}_t, \quad K_t = A_t K_t^j = A_t \bar{K}_t, \quad U_t = U_t^j = \bar{U}_t$$

따라서, 총생산은 아래와 같이 도출된다.

$$\begin{aligned}
Y_t = Y_{mt} &= \left(\int_0^{A_t} (Y_{mt}^j)^{\frac{1}{\vartheta}} dj \right)^{\vartheta} \\
&= A_t^{\vartheta} \overline{Y_{mt}} \\
&= A_t^{\vartheta} \theta_t (\overline{U_t K_t})^{\alpha} (\overline{L_t})^{1-\alpha} \\
&= A_t^{\vartheta-1} \theta_t (U_t K_t)^{\alpha} (L_t)^{1-\alpha}
\end{aligned}$$

각 중간재를 p_{mt} 가격으로 구매하는 최종재생산자의 비용함수는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\int_0^{A_t} p_{mt} \overline{Y_{mt}} di = p_{mt} A_t \overline{Y_{mt}} = p_{mt} A_t \frac{Y_t^i}{A_t^{\vartheta}} = \frac{p_{mt} Y_t^i}{A_t^{\vartheta-1}}$$

따라서 단위 최종재 생산에 소요되는 비용, 즉 한계비용은

$$MC_t = \frac{p_{mt}}{A_t^{\vartheta-1}}$$

로 표현할 수 있으며 대응하는 모든 최적화 조건을 위의 정의를 활용하여 집계화된 변수로 치환할 수 있다. 특히 연구개발과 기술 확산 부분의 최적화 조건은 아래와 같이 다시 도출할 수 있다.

$$\begin{aligned}
V_t = \Pi_{mt} + \phi E_t \Lambda_{t,t+1} V_{t+1} &= (\varsigma - 1) \frac{p_{mt}}{\varsigma} Y_{mt} + \phi E_t \Lambda_{t,t+1} V_{t+1} \\
&= \left(\frac{\varsigma - 1}{\varsigma} \right) MC_t A_t^{\vartheta-1} Y_{mt} + \phi E_t \Lambda_{t,t+1} V_{t+1} \\
\Rightarrow V_t A_t &= \left(\frac{\varsigma - 1}{\varsigma} \right) MC_t Y_t + \phi E_t \left\{ \Lambda_{t,t+1} V_{t+1} A_{t+1} \frac{A_t}{A_{t+1}} \right\} \\
J_t Z_t &= E_t \left[-w_{s,t} L_{sa,t} Z_t + \phi \Lambda_{t,t+1} \left\{ \eta_t V_{t+1} A_{t+1} \frac{Z_t}{A_{t+1}} + (1 - \eta_t) J_{t+1} Z_{t+1} \frac{Z_t}{Z_{t+1}} \right\} \right]
\end{aligned}$$

제 5 장 실증분석

제 1 절 베이지안 추정 방법론

실증분석을 위해서 Herbst and Shchorfeide (2015) 와 Fernandez-Villaverde (2011) 의 방식에 따라 상기의 구조 이론 모형을 추정하였다.

1. 선형된 DSGE 모형의 해 : Sims(2002)

모든 변수를 내생변수 벡터($x_{1,t}$)와 외생변수 벡터($x_{2,t}$)를 정의하고 그것으로 구성된 상태변수 벡터(s_t)를 정의하였다.

$$x_{1,t} = [\hat{c}_t \ \hat{i}_t \ \hat{r}m_t \ \hat{w}_t \ \hat{l}_t \ \hat{m}c_t \ \hat{y}_t \ \hat{k}_t \ \hat{q}_t \ \hat{u}_t \ \hat{u}_t \ \hat{a}_t \ \hat{d}_t \ \hat{u}_{c,t} \ \hat{r}_t \ \hat{\pi}_t \ \hat{z}_t \ \hat{l}_{sr,t} \ \hat{l}_{sa,t}^Z \ \hat{\eta}_t \ \hat{V}_t^A \ \hat{l}_{s,t}]'$$

$$x_{2,t} = [\hat{\theta}_t \ \hat{p}_{k,t} \ \hat{r}_t^m \ \hat{\chi}_t \ \hat{g}_t \ \hat{\mu}_t \ \hat{\mu}_t^w]$$

$$s_t = [x_{1,t}' \ x_{2,t}' \ E_t\{\hat{u}_{c,t+1}\} \ E_t\{\hat{r}_{t+1}\} \ E_t\{\hat{u}_{t+1}\} \ E_t\{\hat{q}_{t+1}\} \ E_t\{\hat{\pi}_{t+1}\} \ E_t\{\hat{\pi}_{t+1}^w\} \ E_t\{\hat{J}_{t+1}\} \ E_t\{\hat{V}_{t+1}\}]'$$

이제 위의 선형화된 방정식 시스템을 이용하여 아래와 같이 선형의 합리적 기대 형태 (Linearized Rational Expectations Form)로 변형할 수 있다.

$$\Gamma_0 s_t = \Gamma_1 s_{t-1} + \Psi \epsilon_t + \Pi \eta_t$$

여기서 $\eta_{x,t} = x_t - E_{t-1} \hat{x}$ 로서 예측오차(Expectational Error), 즉 전기에 이용 가능한 정보를 활용하여 예측한 현재의 값과 실제 값의 차이를 나타낸다. 이 식은 Γ_0 , Γ_1 , 그리고 Ψ 에 따라 유일한 안정된 해(Uniqueness), 여러 개의 안정된 해(Indeterminacy), 혹은 안정된 해가 존재하지 않을 수가 있다. 이에 Sims(2002)는 안정된 해를 구하기 위해 “Generalized complex Schur decomposition”를 이용하여 위의 시스템을 변화시킬 수 있다고 제안하였다. 즉, $Q' \Lambda Z = \Gamma_0$, $Q' \Omega Z = \Gamma_1$, $Q Q' = Z Z' = I$ 를 만족하는 행렬 Q , Z , 그리고 Λ 가 존재하며 Λ 와 Ω 는 위삼각행렬(Upper Triangular)이다. 따라서 $w_t = Z' s_t$ 라 정의하면, 위의 시스템은 다음과 같이 변형된다.

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ 0 & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_{1,t} \\ w_{2,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Omega_{11} & \Omega_{12} \\ 0 & \Omega_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_{1,t-1} \\ w_{2,t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \end{bmatrix} (\Psi \epsilon_t + \Pi \eta_t)$$

내생변수와 외생적 충격으로 구성된 상태변수 s_t 에 관한 위와 시스템의 안정된 해는 $w_{2,t} = 0$ 일 때 존재한다. 이 조건을 행렬 $Q_2\Pi$ 의 특이치분해(Singular Value Decomposition)를²⁶⁾ 이용해서 예측오차, η_t 에 관해서 풀어내면,

$$\eta_t = (-V_1 D_{11}^{-1} U_1' Q_2 \Psi + V_2 M_1) \epsilon_t + V_2 M_2 \tau_t$$

을 얻을 수 있으며 (Lubik and Schorfheide (2003)), Sunspot 충격 τ_t 는 잠재적인 해의 불확정성 가능성을 감안하기 위해 도입이 되었다. 마지막으로 위 시스템을 상태변수에 관한 VAR (Vector Auto-Regression) 형태의 풀어내면 다음과 같은 전이방정식을 얻을 수 있다.

$$s_t = \Phi_1(\Theta) s_{t-1} + \Phi_\epsilon(\Theta) \epsilon_t \quad (1)$$

2. 우도함수 (The Likelihood Function)

우도함수를 구하기 위해서는 상태변수(s_t)와 관측치(observations)를 연계시켜야하기 때문에 측정방정식(measurement equations)이 필요하며 특이성문제(Singularity Problem)을 피하기 위해서는 외생적 충격의 수와 관측변수의 수가 같아야 하기 때문에 8개의 측정방정식이 필요하다.

26) $Q_2\Pi = U_1 D_{11} V_1'$

①	$y_t^{obs} = \gamma_y \times 100 + y_t - y_{t-1}$
②	$c_t^{obs} = \gamma_y \times 100 + c_t - c_{t-1}$
③	$i_t^{obs} = \gamma_y \times 100 + i_t - i_{t-1} + p_{k,t} - p_{k,t-1}$
④	$w_t^{obs} = \gamma_y \times 100 + w_t - w_{t-1}$
⑤	$\pi_t^{obs} = \pi_t + \pi$
⑥	$RD_t^{obs} = \gamma_y \times 4 \times 100 + rd.exp_t - rd.exp_{t-4}$
⑦	$l_t^{obs} = l_t - l_{t-1}$
⑧	$rn_t^{obs} = rn_t + \left\{ \frac{(1 - \bar{\zeta}) \times (1 + \gamma_y)}{\beta} - 1 \right\} \times 100$

이를 통합하여 상태공간모형에 필요한 측정방정식을 일반적으로 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$y_t = \Psi(\Theta)s_t + u_t \quad (2)$$

여기에 $y_t = [y_t^{obs} \ c_t^{obs} \ i_t^{obs} \ w_t^{obs} \ RD_t^{obs} \ l_t^{obs} \ rn_t^{obs}]'$ 이며, u_t 는 측정오차로써 본 모델에서는 모든 요소가 0인 벡터이다. 그리고 파라미터 벡터,

$$\Theta = \left[\delta \ \gamma_y \ \mu \ \varsigma \ \vartheta \ \bar{\zeta} \ \phi \ \bar{\eta} \ \rho_\eta \ \rho_r \ \phi_\pi \ \phi_y \ \varphi \ \psi \ \omega \ \xi_p \ \xi_w \right]' \text{이다.}$$

$$\left[l_p \ l_w \ \mu^w \ b \ \rho_z \ \alpha \ \beta \ \bar{\chi} \ \rho_\theta \ \rho_k \ \rho_w \ \rho_z \ \rho_g \ \rho_p \ \rho_m \ \rho_\chi \right]$$

전이방정식 (1)과 측정방정식 (2)는 다른 아닌 주어진 DSGE 모형이 상태공간모형 형태로 표현된 것이다.

선형의 가우시안 상태공간모형의 우도함수는 주어진 파라미터 하에 칼만필터를 이용하여 구할 수 있다. 즉, 주어진 초기 값으로부터 상태변수, s_t 의 분포를 얻어 전이방정식과 측정방정식으로부터 각각 $p(s_t|Y_{1:t-1}, \Theta)$ 와 $p(y_t|Y_{1:t-1}, \Theta)$ 를 구한 후 베이즈정리를 이용하여 $p(s_t|Y_{1:t}, \Theta)$ 구하게 된다. 이 과정을 반복하면 다음과 같은 우도함수를 구할 수 있다.

$$p(Y_{1:T}|\Theta) = \prod_{t=1}^T p(y_t|Y_{1:t-1}, \Theta)$$

<표 5-1>은 칼만필터의 각 단계에서의 분포를 정리하였다.

<표 5-1> 칼만필터와 조건부 확률분포

	분포	평균과 분산
$s_{t-1} (Y_{1:t-1}, \Theta)$	$N(\bar{s}_{t-1 t-1}, P_{t-1 t-1})$	초기값(t-1)은 주어짐
$s_t (Y_{1:t-1}, \Theta)$	$N(\bar{s}_{t t-1}, P_{t t-1})$	$\bar{s} = \Phi_1 \bar{s}_{t-1 t-1}$ $P_{t t-1} = \Phi_1 P_{t-1 t-1} \Phi_1' + \Phi_\epsilon \Sigma_\epsilon \Phi_\epsilon'$
$y_t (Y_{1:t-1}, \Theta)$	$N(\bar{y}_{t t-1}, F_{t t-1})$	$\bar{y}_{t t-1} = \Psi_0 + \Psi_1 t + \Psi_2 \bar{s}_{t t-1}$ $F_{t t-1} = \Psi_2 P_{t t-1} \Psi_2' + \Sigma_u$
$s_t (Y_{1:t}, \Theta)$	$N(\bar{s}_{t t}, P_{t t})$	$\bar{s}_{t t} = \bar{s}_{t t-1} + P_{t t-1} \Psi_2' F_{t t-1}^{-1} (y_t - \bar{y}_{t t-1})$ $P_{t t} = P_{t t-1} - P_{t t-1} \Psi_2' F_{t t-1}^{-1} \Psi_2 P_{t t-1}$

자료: Herbst and Schorfheide (2015) 인용

3. 사전분포

사후분포를 구하기 위해서는 우도함수와 함께 사전분포를 알아야 한다. 대개 DSGE 모형을 추정함에 있어 사전분포는 선행연구에 따른 경험적 분석 결과에 따르거나 경제학적 직관에 따라 정하게 된다. 문제는 외생적 충격의 사전분포인데 정상상태에 관한 파라미터와 구조적 파라미터가 주어진 후에는 외생적 충격이 내생변수들의 변동성을 좌우하기 때문이다. 이에 대해 Del Negro and Schorfheide (2008)은 주어진 사전분포를 이용하여 DSGE 모형으로부터 재생산해낸 내생변수들의 평균이나 분산과 같은 moments가 추정에 사용된 데이터 이전의 역사적 데이터 관측치, 즉 pre-sample observations과 맞을 때까지 사전분포를 조정하는 방법을 제안하였다. 일반적으로는 파라미터의 도메인에 맞추어 사전분포를 정하고 정보가 부족한 외생적충격의 지속성 및 변동성에 관한 파라미터에 대해서는 분산이 상대적으로 큰 diffuse prior를 가정한다. 본 모델의 예를 들면, 0과 1 사이에 존재할 것이 분명한 파라미터의 경우는 Beta분포를 가정하고 양의 값을 가져야 하는 파라미터는 Gamma분포 혹은 Inverse-Gamma분포를 가정한다. 또한 외생적 충격의 표준편차와 같이 사전의 정보가 부족할 때에는 일정 범위에서 균일분포를 가정하기도 한다.

4. 사후분포와 Random Walk Metropolis-Hastings 알고리즘

사후분포는 파라미터에 대한 사전정보가 반영된 사전분포를 데이터로부터 얻어진 정보, 즉 우도함수로 업데이트를 하는 과정에서 얻어진다. 즉,

$$p(\Theta|Y) = \frac{p(Y|\Theta)p(\Theta)}{P(Y)} \propto p(Y|\Theta)p(\Theta), \quad p(Y) = \int p(Y|\Theta)p(\Theta)d\Theta$$

일반적으로 파라미터와 상태변수의 수가 많고 복잡하게 연계되어있는 DSGE모형의 경우 분석적(analytical)으로 풀어내기가 거의 불가능하기 때문에 수치적(Numerically)으로 근사하는 방법을 사용한다.

일반적으로 많이 사용하는 수치적 접근방법은 Metropolis-Hastings 알고리즘인데 기본적인 아이디어는 다음과 같다. 어떠한 제안분포 (Proposal Density function)로부터 파라미터 값을 추출하여 그 파라미터 값들이 사후분포를 증가시키면 수용하고 그렇지 않을 경우에는 1보다 작은 일정한 확률로 수용하는 것이다. 이런 과정에서 제안된 값들은 주로 사후분포를 증가하는 방향으로 움직이고 그렇지 않은 경우도 그 보다 적은 횟수로 고려하게 된다. Metropolis-Hastings 알고리즘을 위한 제안분포는 다양하게 존재하는데 그중에 쉽고 일반적으로 많이 사용하는 것은 Random-Walk 제안분포로서 Random-Walk 과정을 따라 파라미터값을 추출하는 것이다, 즉 $\Theta_i^* = \Theta_{i-1} + u_i$, $u_i \sim N(0, \Sigma_u)$ 이다. 여기서 Σ_u 는 스케일 행렬로 점핑스케일을 조정함으로써 적절한 수용비율 (Acceptance Rate)를 얻을 수 있다.

아래 <표 5-2> 는 Metropolis-Hastings 알고리즘의 절차를 정리한 것이며, Random-Walk Metropolis-Hastings 알고리즘은 제안분포가 $q(\Theta_i^*, \Theta_{i-1}) = \Theta_{i-1} + u_i$ 인 경우이다.

<표 5-2> Metropolis-Hastings 알고리즘

0 단계	초기화 $i = 0$, Θ_i 를 정하고 상태공간모형을 구축하고 $p(\Theta_i)$ 와 $p(Y_{1:T} \Theta_i)$ 를 구함
1 단계	proposal density $q(\Theta_{i-1}, \Theta_i^*)$ 로부터 Θ_i^* 를 추출
2 단계	Θ_i^* 를 이용하여 모델의 해를 구하고 새로운 상태공간모형 구축
3 단계	2단계를 바탕으로 사전분포, $p(\Theta_i^*)$ 와 우도함수, $p(Y_{1:T} \Theta_i^*)$ 를 구함
4 단계	Accept and set $\Theta_i = \Theta_i^*$ if $\chi_i \sim U(0,1) \text{ and } \chi_i \leq \frac{p(Y_{1:T} \Theta_i^*)}{p(Y_{1:T} \Theta_{i-1})} \frac{q(\Theta_{i-1}, \Theta_i^*)}{q(\Theta_i^*, \Theta_{i-1})}$
5 단계	설정된 드로잉 수보다 적을 경우 set $i \rightarrow i + 1$ 하고 1단계부터 반복

자료: Fernandez-Villaverde (2010) 인용

위와 같은 알고리즘은 초기값에 따라 수렴하는 속도가 달라지며, 수렴하기 전에 추출된 파라미터 값들은 사실 사후분포에서 추출되었다고 보기 어렵다. 따라서 수렴하기 전의 추출된 값들은 사후 moments를 계산할 때 배제하는 것이 일반적이고 이를 “Burn-in”이라고 한다.

최종적으로 파라미터의 사후분포의 평균(mean)은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\bar{\Theta}_{MN_0} = \frac{1}{N - N_0} \sum_{i=N_0+1}^N \Theta_i \text{ 이며,}$$

N_0 는 burn-in 된 드로잉 수이다. 본고에서는 200,000 드로우를 두 번 추출하여 각 체인 중 50%를 burn-in하고 100,000의 25%를 이용하여 사후분포를 계산하였다. 수용비율은 각각 26.94%, 26.49%이다.

제 2 절 한국데이터를 활용하여 모형의 파라미터 추정

이 절에서는 위에서 구축된 동태확률일반균형 (Dynamic Stochastic General Equilibrium :DSGE) 모형을 전형적인 베이지안(Bayesian) 추정 방법으로 우리나라 데이터를 이용하여 추정하였다. 또한, 그 결과를 이용하여 충격반응함수 및 역사적 충격분해 분석으로 통하여 외생적 충격의 파급효과와 경제변동성에 대한 기여도를 분석하고, 마지막으로 총요소생산성의 변동성에 대한 연구개발부문의 기여도를 분석해 보았다.

1. 데이터

모든 데이터는 1999년 4분기부터 2020년 2분기까지 수집하여 로그 차분 값을 구함으로서 파라미터 추정 시 2000년 1분기부터의 관측값을 활용하였다.

<표 5-3> 변수별 데이터 소스

모형 변수	데이터 소스	비고
y_t^{obs}	한국은행 경제통계시스템 10.2.1.2 경제활동별 GDP 및 GNI의 국내총생산	로그 차분
c_t^{obs}	한국은행 경제통계시스템 10.2.2.2 국내총생산에 대한 지출 (계절조정, 실질 분기)의 민간소비	로그 차분
i_t^{obs}	한국은행 경제통계시스템 10.2.2.2 국내총생산에 대한 지출 (계절조정, 실질 분기)의 총고정자본형성(민간)	로그 차분
l_t^{obs}	KOSIS 경제활동인구조사:고용률(시도)	로그 차분
w_t^{obs}	KOSIS 산업/규모별 임금 및 근로시간 데이터를 활용하여 전 규모/전산업 임금총액	X-13 Seat으로 계절조정 후 로그 차분
π_t^{obs}	한국은행 경제통계시스템 10.2.3.2 국내총생산에 대한 지출 분기별 디플레이터	로그 차분
RD_t^{obs}	KOSIS 연구개발활동조사의 연구개발비	GDP 디플레이터로 실질화 한 후 로그 차분
rn_t^{obs}	한국은행 경제통계시스템 2.6 기준금리 및 여수신금리 중 한국은행 기준금리	4로 나누어 분기별 이자율을 활용

- 1) 한국은행 경제통계시스템 10.2.1.2 경제활동별 GDP 및 GNI(계절조정, 실질 분기)의 국내총생산 데이터를 활용하여 로그 차분한 값을 y_t^{obs} 로 사용
- 2) 한국은행 경제통계시스템 10.2.2.2 국내총생산에 대한 지출(계절조정, 실질 분기)의 민간소비 데이터를 활용하여 로그 차분한 값을 c_t^{obs} 로 사용
- 3) 한국은행 경제통계시스템 10.2.2.2 국내총생산에 대한 지출(계절조정, 실질 분기)의 총고정자본형성(민간) 데이터를 활용하여 로그 차분한 값을 i_t^{obs} 로 사용
- 4) KOSIS 경제활동인구조사:고용률(시도) 데이터를 활용하여 로그 차분한 값을 l_t^{obs} 로 사용
- 5) KOSIS 산업/규모별 임금 및 근로시간 데이터를 활용하여 전규모/전산업 임금총액 데이터를 X-13 Seat으로 계절조정을 한 후 로그 차분한 값을 w_t^{obs} 로 사용
- 6) 한국은행 경제통계시스템 10.2.3.2 국내총생산에 대한 지출 디플레이터(분기 및 연간) 데이터 중 분기별 데이터를 활용하여 로그 차분한 값을 π_t^{obs} 로 사용
- 7) KOSIS 연구개발활동조사의 연구개발비의 2000년부터 2018년까지의 연간 데이터를 활용하여 GDP디플레이터를 활용하여 실질화 한 후 로그 차분한 값을 RD_t^{obs} 로 사용
- 8) 한국은행 경제통계시스템 2.6 기준금리 및 여수신금리 중 한국은행 기준금리의 분기별 데이터를 4로 나누어 rn_t^{obs} 로 사용

2. 추정결과

<표 5-4> Prior and Posterior Distribution

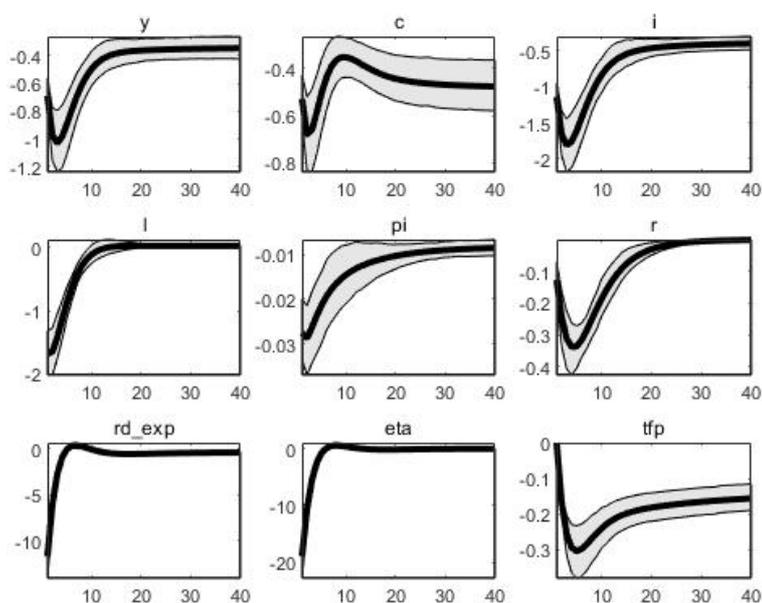
Para.	Prior Distribution			Posterior Distribution		
	Mean	Std. Dev.	Mean	90% HPD Interval		
				LOWER	UPPER	
Structural Parameters						
ρ_r	B	0.7	1.5	0.7728	0.6707	0.8752
ϕ_π	N	1.5	0.25	2.2545	2.1846	2.3315
ϕ_y	Γ	0.3	0.1	0.3848	0.3511	0.4239
φ	Γ	2	0.75	3.6056	3.5234	3.7053
ψ	Γ	4	1	3.3024	2.7889	3.773
ξ_p	B	0.5	0.1	0.952	0.9509	0.9529
ξ_w	B	0.75	0.1	0.8459	0.8244	0.8708
ι_p	B	0.5	0.1	0.1626	0.0747	0.2381
ι_w	B	0.5	0.1	0.6843	0.605	0.742
b	B	0.7	0.1	0.6314	0.605	0.6562
ρ_z	B	0.6	0.15	0.8294	0.8156	0.841
α	N	0.3	0.05	0.5806	0.5657	0.5958
$\tilde{\gamma}_y$	N	0.46	0.03	0.454	0.4475	0.4609
$\tilde{\mu}^w$	N	0.15	0.05	0.1796	0.1626	0.1989
$\tilde{\beta}$	Γ	0.25	0.1	0.1955	0.1526	0.2535
AR(1) Coefficient of the Shocks						
ρ_θ	B	0.5	0.2	0.6702	0.636	0.7034
ρ_k	B	0.5	0.2	0.9918	0.9904	0.9934
ρ_ζ	B	0.5	0.2	0.824	0.7824	0.8651
ρ_m	B	0.5	0.2	0.8337	0.8018	0.8733
ρ_p	B	0.5	0.2	0.515	0.5083	0.5224
ρ_g	B	0.5	0.2	0.9269	0.9001	0.9502
ρ_w	B	0.5	0.2	0.502	0.4975	0.5065
ρ_χ	B	0.5	0.2	0.4311	0.413	0.4513
Standard Deviations of the Shocks						
ϵ_θ	IG	1	2	1.9409	1.7157	2.133
ϵ_k	IG	1	2	2.6573	2.4329	2.9329
ϵ_ζ	IG	1	2	0.9372	0.7579	1.1233
ϵ_m	IG	1	2	0.1969	0.1689	0.2285
ϵ_p	IG	1	2	0.5562	0.4709	0.649
ϵ_g	IG	1	2	0.7239	0.5904	0.8115
ϵ_w	IG	1	2	0.8169	0.7081	0.9215
ϵ_ζ	IG	1	2	3.2198	2.51	4.1465

제 3 절 충격반응함수

1. 유동성수요 충격

아래 그래프는 한 단위 표준오차만큼의 유동성 수요의 증가에 따른 충격반응함수이다. 양의 유동성 수요 충격은 채권에 대한 선호가 증가하면서 채권보유에 따른 효용증가 충격으로 자본재에 대한 투자보다 채권을 보유하는 데서 오는 효용이 커지는 충격으로 안정적인 자산을 선호하는 충격과 동일하다. 따라서 모형에서는 유동성을 선호하게 되는 충격은 금융시장의 위험이 증가하는 것과 같은 효과를 가지는데, 이에 대응하여 가계는 소비와 투자를 줄이고 저축을 늘리기 때문에 실질 이자율이 감소하게 된다. 가격이 경직적인 상황에서 소비와 투자의 감소는 총생산(수요)의 감소로 이어져 고용이 줄고, 물가상승률을 하락시키며 테일러 유형의 통화정책에 따라 명목이자율은 하락하게 된다. 또한, 총수요의 부족은 연구개발을 통해서 얻을 수 있는 기대수익, 즉 중간재 생산을 통해 얻을 수 있는 이윤의 감소를 의미하기 때문에 생산성을 강화하는 연구개발투자 역시 감소함으로써 기술생산과 확산이 모두 줄어들면서 총요소생산성이 저하된다. 그러나 연구개발 및 기술확산에 대한 투자 감소는 내생적으로 결정되는 총요소생산성에 중장기적으로 영향을 주게 되면서 총요소생산성은 5년 이후에도 이전 추세로 수렴하지 못하고 정체되게 된다.

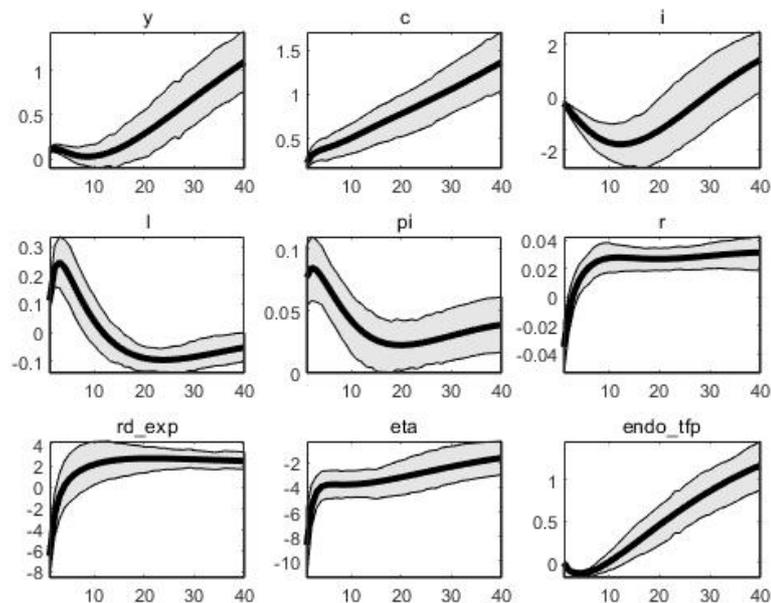
[그림 5-1] 유동성 충격에 대한 반응함수



2. R&D 투자효율성 충격

아래 그래프는 한 단위 표준오차의 만큼 R&D 투자의 효율성이 증가에 대한 충격반응함수이다. R&D 투자효율성 충격은 동일한 숙련노동으로 생산할 수 있는 새로운 기술이 증가하게 되는 충격으로 단기적인 신기술 생산 증가로 인해 적용 가능 기술의 비중, 즉 기술확산 확률(η_t)을 낮추게 된다. 단기에는 이전과 동일한 수준의 신기술 개발을 위해 필요한 숙련노동자의 수가 줄어들기 때문에 연구개발지출이 감소하지만, 적용가능한 기술과 총요소생산성이 증가하게 되면서 총산출(수요)이 증가하게 된다. 총수요의 증가는 숙련기술 노동자 고용에 따른 기대수익의 증가를 의미하므로 시간이 흐르면서 연구개발 부문에 대한 지출이 증가하고 총요소생산성이 증가하는 선순환이 발생한다. 다시 말해, 신기술의 확대는 기술확산 가능성을 높여 투자의 효용을 상승시키고, 적용가능 확률이 증가하면서 적용가능 기술 비중이 시차를 두고 반등하며 내생적으로 결정되는 생산성이 증가하고 총생산이 상승하면서 소비지출과 투자도 늘어 이에 대응하는 가격인 이자율과 임금이 상승하게 된다. 그 결과, 중간재 투입 요소의 자본과 노동 가격의 상승은 중간재 생산의 한계비용 증가를 의미하고 물가상승률이 올라간다. R&D 효율성 충격은 단기에 마치 음의 생산성 충격과 같은 역할을 하지만, 기술확산을 통해 장기적으로 총생산에 미치는 긍정적 영향이 매우 크게 나타남을 알 수 있다.

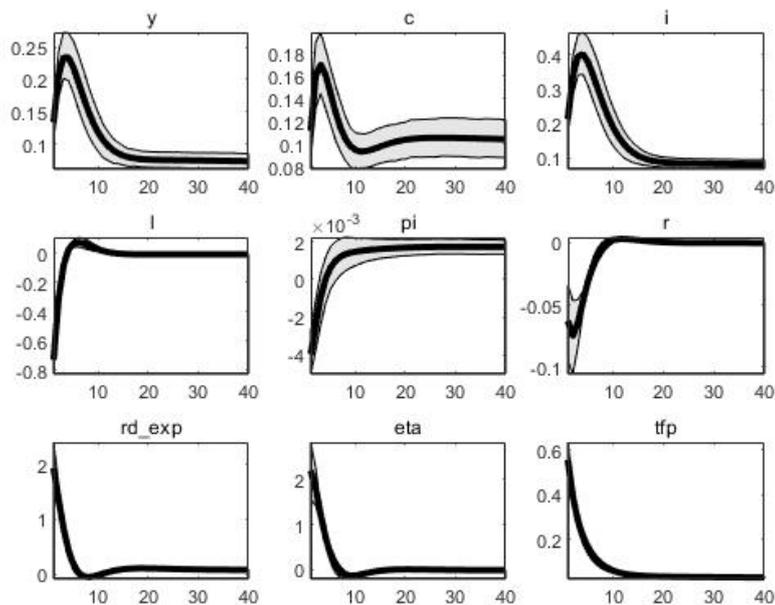
[그림 5-2] R&D 충격에 대한 반응함수



3. 총요소생산성 충격

아래 그래프는 한 단위 표준오차만큼 총요소생산성이 증가하는 충격에 대한 충격 반응 함수이다. 총요소생산성의 증가는 동일한 수준의 투입요소를 활용해도 더 많은 재화를 생산할 수 있음을 의미하기 때문에 한계비용을 감소시켜 물가상승률을 낮추고 단기적으로는 노동수요도 축소시킨다. 물가상승률 하락에 대응하여 중앙은행은 명목이자율을 낮추게 되는데 테일러 유형의 통화정책은 물가상승률에 대해 탄력적으로 명목이자율을 조정 즉, 1:1 대응보다 더 크게 명목이자율을 조정하기 때문에 실질 이자율 역시 하락하게 된다. 실질 이자율의 하락으로 가계는 소비와 투자를 늘리고 총생산이 증가하게 된다. 총생산의 증가와 투자의 증가는 연구개발에 따르는 기대수익을 높여 연구개발 부문의 지출, 즉 숙련노동에 대한 수요가 늘어나게 되고, 그로 인해 기술혁신 확률과 총요소생산성이 증가하게 된다.

[그림 5-3] 총요소생산성 충격에 대한 반응함수



제 4 절 역사적 충격분해 분석

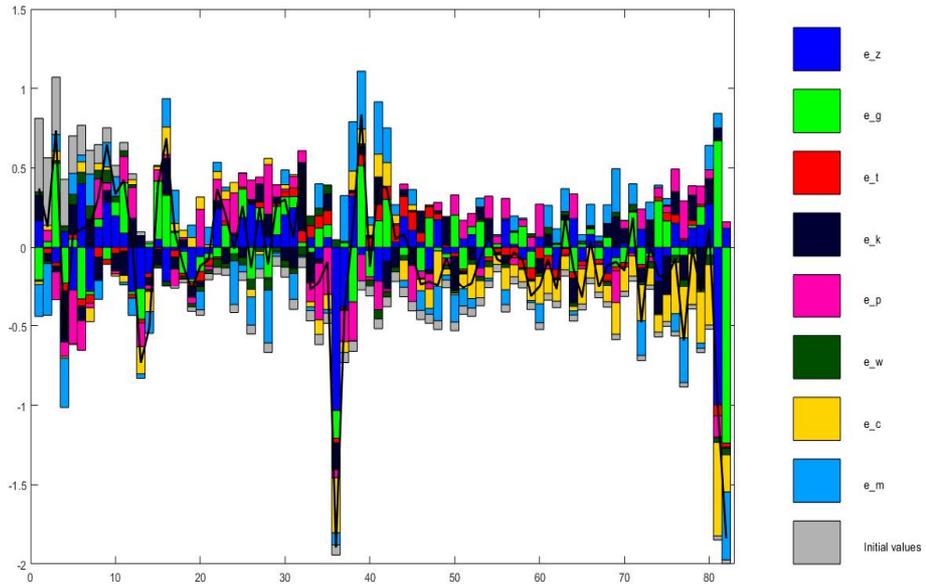
이 절에서는 총생산과 연구개발 투자의 변동성이 모형에서 고려된 여덟 개의 외생적 충격에 어떻게 또 얼마나 영향을 받아왔는지 보기 위해 역사적 충격분해 분석을 하였다. 역사적 충격분해 분석은 2000년 1분기 이후 각 변수에서 관측되는 변동성 즉, 효율적인 정상상태 (steady state)에서 벗어나게 된 원인을 모형에서 도입된 8개의 충격으로 설명한 것으로 각 변수의 경기변동에 대한 외생적 충격의 기여도를 분석한 것이다. 다시 말하면, 모형에 도입된 구조적 충격들의 기여도를 파악함으로써 경기변동성을 줄이기 위해 정책적 개입의 여지 있는지 여부를 판단해 볼 수 있다. 본 고에서는 대표적으로 총생산과 연구개발 투자에 대한 역사적 충격분해 분석을 통하여 거시변동성에 대한 연구개발투자의 효율성 충격의 기여도를 분석해 보고, 반대로 연구개발투자에 대한 충격분해 분석을 통하여 거시경제적 충격의 연구개발투자에 대한 영향도 알아보았다. [그림 5-4]와 [그림 5-5]는 각각 총생산과 연구개발투자에 대한 역사적 충격분해분석에 대한 그림으로 가로축의 1은 2000년 1분기를 나타내며 82는 2020년 2분기를 나타낸다. 세로축은 관측변수의 분기별 증가율이다.

먼저 총생산에 대한 충격분해분석 그래프 [그림 5-4]를 보면 대체적으로 거시변동성은 수요측면에서는 통화정책충격과 정부지출충격, 유동성 수요충격, 공급측면에서는 중요소생산성충격과 가격 마크업 충격이 중요한 역할을 해 온 것으로 보인다. 2000년대 초반까지는 정부지출충격, 통화정책충격, 그리고 가격 마크업 충격이 GDP 증가율 변화에 큰 영향을 준 것으로 나타났다. 2009년 세계 금융위기 시에는 유동성 선호 충격이 가장 큰 영향을 미친 것으로 나타났으며, 이 시기에 지속적인 완화적 통화정책으로 인해 통화정책충격은 양의 방향으로 일관되게 나타나 높아진 리스크프리미엄을 적극적인 통화정책으로 상쇄하려했던 것이 두드러진다. 한편, 연구개발투자의 효율성 충격은 세계 금융위기의 2009년 이전에는 총생산 변동성에 미미한 영향만을 주었던 것으로 보이나 이후에는 지속적으로 총생산에 부정적인 역할을 하는 것으로 나타난다. 종합적으로 보면, 연구개발 부문의 충격이 2009년 이후 시기에는 매우 중요한 역할을 하고 있으며 정부의 연구개발 투자 정책을 조금 더 적극적으로 활용하여 총생산의 경기변동성을 축소할 필요가 있다.

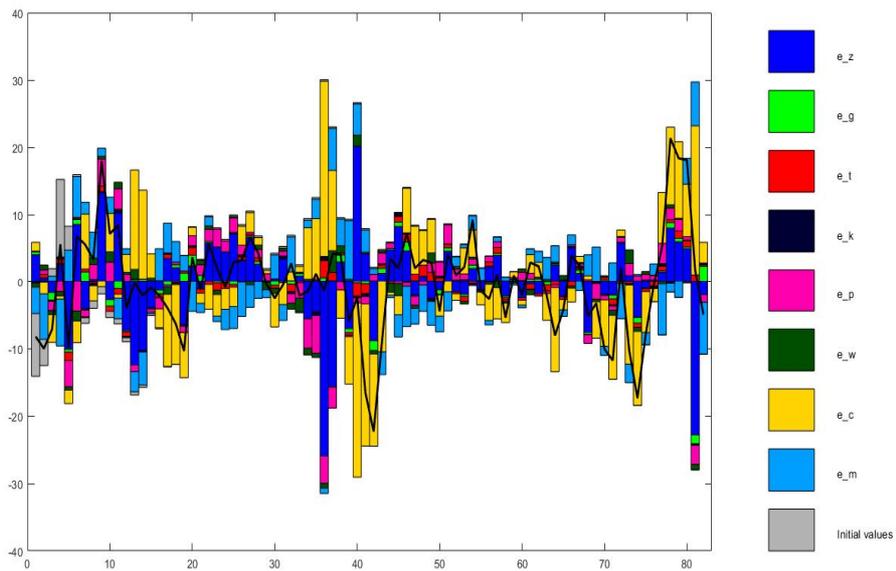
[그림 5-5]는 연구개발투자에 대한 역사적 충격분해분석의 결과이다. 연구개발 투자의 경기변동성은 주로 R&D효율성 충격의 방향과 유동성 선호 충격에 영향을 받는

것으로 나타났다. 특히 2009년 금융위기 시 연구개발 투자가 급락했던 것과 2011년 이후 하락하는 기저에는 모두 R&D 효율성 충격의 역할이 컸다고 추정이 되었다. 2020년 1분기에는 매우 강한 부정적 유동성 충격에도 불구하고 적극적인 완화적 통화정책과 연구개발투자의 효율성 충격으로 인해 연구개발지출 하락이 제한된 것으로 판단된다.

[그림 5-4] 총생산의 분산분해



[그림 5-5] 연구개발비의 분산분해



제 6 장 재정정책 수립방안에 관한 논의

제 1 절 재정준칙의 의의와 주요국의 연구개발투자

최근 코로나19 대유행에 따른 경제위기에 대응하기 위한 재정 지출의 급증 및 국가부채 비율의 급등으로 재정준칙에 입각한 재정의 운용이 중요한 원칙으로 거론되고 있다. 향후 코로나19 대유행이 지나가고 경기가 회복세를 보이면 정부가 출구전략(exit strategy)을 시행할 것으로 예측되는데, 국가부채의 누증에 따른 이자부담의 급증과 정부와 정책에 대한 대내외 신뢰도 저하 등의 부작용을 예방하고 재정의 중장기 지속가능성을 확보하기 위해서는 지금부터라도 재정 관리에 대한 정부의 의지를 중장기적인 관점에서 명확히 제시하는 것이 필요하며, 이를 위해 국가재정법을 개정하고 재정준칙을 구체적으로 도입해야 한다는 것이다. 물론 코로나19 대유행 이전에도 인구구조의 고령화 등 재정자금에 대한 수요가 구조적으로 확대될 수밖에 없는 환경에서 재정건전성 악화 가능성에 대한 우려가 지속적으로 제기되어 왔으며, 이에 대비하기 위해 재정건전성에 대한 관리를 강화할 필요성이 제기되었고 그 일환으로 제시된 것이 재정준칙이라고 할 수 있다. 특히 경제 및 사회구조의 변화로 인해 재정 운용에 있어서도 다양한 집단의 이해관계를 조정할 필요성이 높아지고 있는데, 이 같은 환경에서 재량적인 재정 운용이 재정건전성을 악화시킬 가능성이 높다고 평가되면서 준칙에 따른 재정 운용이 강조되어 왔던 것이다. 이러한 차원에서 볼 때, 재정준칙의 기본적인 의의는 단기적인 효과에 비중을 두는 재정정책의 재량권을 제한하고 보다 장기적인 관점에서 재정을 운용할 것이라는 정부의 의지를 표명하는 것이라고 할 수 있다.

재정준칙을 도입한 독일 등의 경우, 5년 정도의 경과 기간을 거쳐 점진적으로 정착되어 왔는데, 재정준칙의 도입 여부를 떠나서 대부분의 선진국들에서는 연구개발투자와 같이 일부 특정 부분에 대해서는 세부적인 재정준칙을 명시하는 방식보다는 다소 자의적인 모습을 나타내면서도 경기 역행적 기능이 분명하게 발휘되도록 하는 방식으로 운용되는 것으로 보인다. 예를 들어, 독일과 영국 등 주요국들은 코로나19 대유행으로 인한 경기침체 및 재정수요 급증에도 불구하고 오히려 공공부분의 연구개발투자를 빠르게 확대하고 있다. 물론 이러한 움직임이 경기부양을 위해 ‘과감하게 확장적’으로 설계된 재정정책 기조에 따라 발생한 결과로 볼 수도 있다. 하지만, 이들 주요국에서 확대된 연구개발투자 지원 규모가 당장의 경기부

양 효과를 기대하기 어려운 생명과학, 생명공학 등 기초연구에 집중되어 있는 것을 볼 때, 오랜 역사를 거쳐 형성된 암묵적인 연구개발 재정준칙이 있고 이에 따라 행정 부담이 최소화된 연구개발 지원 담당자들에 의해 신속한 자금조달 및 집행 관련 의사결정이 가능하게 되어 자연스럽게 연구개발투자가 장기적 시각에서 경기 역행적으로 이루어지는 것으로 판단된다.

최근 주요국들의 공공부문 연구개발투자는 경제위기 상황에서도 성장잠재력 유지 및 개선을 목표로 수립된 장기적 전략에 따라 기술혁신과 산업경쟁력 확보를 위한 국가 차원의 노력이 진행되고 있으며, 암묵적으로 형성된 연구개발투자 관련 재정준칙이 이에 기여하고 있음을 시사한다. 이는 장기적 관점에서 연구개발투자를 근본적인 성장잠재력 확보 또는 회복 수단으로 볼 수 있다는 것을 의미하는 것이다. 과거 미국의 사례도 유사한 정책적 시사점을 제공한다. 미국상표특허청(USTPO)에 등록된 특허들 중에서 미국 연방정부의 지원을 받은 특허 수가 1976년 1개에서 2014년 77개로 꾸준히 증가했으며, 같은 기간 중에 미국 연방정부가 지원한 인공지능 관련 등록특허의 비중이 평균 7.3%로서 전체 등록특허 중에서 연방정부 지원 등록특허의 비중이 평균 1% 내외에 불과했음을 고려하면, 경기가 부진한 가운데 인공지능 기술도 암흑기라고 불려졌던 1970년대 중반 이후 1990년대 초반까지의 기간에도 미국에서는 정부 차원에서 장기적인 시각에서 성장잠재력이 높은 기술에 대한 지속적인 연구개발투자가 이루어지고 있었다고 평가할 수 있다.

제 2 절 미래지향적 과학기술정책과 공공부문 연구개발투자의 역할

우리의 경쟁 국가들이 코로나19 대유행의 장기화와 같이 경기 침체가 불가피한 환경 하에서도 보다 장기적인 관점에서 기술 혁신을 위해 연구개발투자와 관련된 정책을 정교하게 설계하고 추진하는 상황에서, 우리의 과학기술정책과 이를 뒷받침하는 재정 자금의 투자 시스템도 새로운 방식으로 재설계함으로써 기업 활동의 불확실성 해소 및 산업의 경쟁력 제고, 나아가 경제의 성장 잠재력 제고에 기여할 필요가 있다. 특히 과거 개발연대에 적용되었던 산업정책의 태도와 방식에서 탈피하고 보다 미래 지향적인 공동체의 지속 가능성을 중심으로 차별화된 정책이 설계되어야 한다.

물론 규모의 측면에서 우리나라의 연구개발투자가 기술 혁신을 견인하기에 부족하다고 평가하기는 어렵다. 우리나라의 연구개발투자는 지난 10여 년간 빠르게 증가해왔고 전체

경제규모에 대한 비중 측면에서도 세계 최고 수준으로서 산업경쟁력 유지에 기여해 왔던 것은 부인하기 어렵다. 하지만 효과성 측면에서는 여전히 후진적인 모습을 나타내고 있는데, 특히 민간 연구개발투자의 상당 부분이 소수의 대기업에 집중되어 있으면서 중복 투자의 비효율이 높고 중소기업의 혁신역량은 여전히 미약한 것으로 평가되고 있다. 1990년대 후반 이후 중소기업 연구개발투자가 지속적으로 확대되었으나 중소기업을 우대하는 정책 기조에 동반한 정부지원 확대에 따른 것으로서, 신기술 개발보다는 기존 기술의 개량에 그치면서 오히려 민간투자를 구축하는 부작용도 초래한 바 있다.

이와 같은 평가에 따라 공공부문 연구개발투자의 효과성을 높이기 위한 많은 정책제언들이 있었는데, 중소기업 연구개발투자 지원체계에 있어서는 투자비용 보전 차원의 균등배분 직접 지원보다는 인프라 조성에 초점을 맞춘 간접 지원방식으로 정책을 전환하고, 대학 및 출연연구소에 대한 연구개발투자 지원체계에 있어서는 장기적인 성과지표를 위주로 하여 기초연구를 중심으로 연구과제를 관리하며 경제적 잠재력이 큰 고위험-고수익 연구개발투자를 위주로 지원할 필요가 있다는 것이었다. 또한 과거 다양한 이해관계 조정을 위해 형성해 왔던 부처별 분산형 연구개발 지원정책 시스템에서 벗어나 범정부 차원에서 연구개발투자 정책을 종합적으로 기획하고 운영하는 시스템으로 전환해야 한다는 처방도 제시되어 왔다.

이러한 정책제언들을 종합해 보면, 우리나라 연구개발투자의 효과성 및 효율성 저하 문제는 결국 단기적인 시계를 가지고 경제 및 정치적 상황에 민감하게 대응함에 따라 일관성이 저하되어 왔던 데에 근본적으로 기인한다고 할 수 있다. 그러므로 앞으로의 연구개발투자 관련 정책, 특히 공공부문의 연구개발 관련 재정지출 정책은 일관성이 저하되는 문제를 극복함으로써 보다 장기적 관점에서 접근할 필요가 있으며, 기초과학 교육 등 과학기술 인프라 확충을 통해 중립성과 일관성을 유지해야 한다. 이러한 관점에서 공공부문의 연구개발투자 관련 재정지원 시스템의 개혁을 통해 보다 근본적이면서 장기적인 접근이 가능하도록 함으로써 민간부문에서 나타날 수 있는 시장실패와 이로 인한 기술 경쟁력 저하 문제를 보전함과 더불어 국민 경제 전반에 대한 기술 공급 및 확산과 관련된 역량을 충분히 갖추어 정책의 리더십을 강화하는 것도 중요하다.²⁷⁾

27) 이와 함께 자금 지원 등과 같이 시장에 직접적으로 개입하는 방식보다 제도적 환경을 개선함으로써 시장참가자들의 활동 목표와 행태의 자발적 변화를 추구하는 등 법과 규제 선진화를 동반하는 방식도 중요하다.

이를 뒷받침하기 위해서는 단기적인 경기 대응과 재정 수요에 따라 공공부문의 연구개발투자 규모를 단기적으로 증감시키는 방식은 지양해야 하며, 성장의 지속가능성을 목표로 하여 공공부문의 연구개발투자과 관련된 재정준칙을 장기적인 시각에서 설정하는 것이 바람직하다. 이를 위해서는 단기적 성과를 중시하거나 정치적 이해관계 및 여론 등 이슈 관련 임기응변식, 대중적 처방 방식의 정책 프레임을 지양해야 한다.

제 3 절 연구개발투자의 경기변동성 고려 재정준칙(안)

우리나라 경제가 저성장 국면에 진입하고 있는 상황을 감안할 때, 생산성의 증가가 향후 성장 경로의 안정성 확보를 위해 중요하다는 점은 많이 알려진 사실이다. 또한 이와 같은 생산성 증가를 도모하기 위해서는 지속적인 기술 혁신이 요구되며, 이는 곧 안정적이면서도 효율적인 연구개발(R&D)투자를 유지하는 것이 지속가능한 성장을 위한 중요한 전제라는 점을 시사한다.

물론 우리나라의 경우 연구개발투자의 효율적 집행과 관리에 대한 문제가 제기되면서 이에 대한 정책적인 관심이 집중되어 왔으며, 이에 따라 연구개발 관련 정책체계와 규율이 정비되고 개선되어 왔던 것은 매우 바람직하다고 할 수 있다. 최근 정부에서 연구개발투자 지원사업 방식을 전면 개편하여, 예산이 지원되는 연구개발투자 관련 과제라고 하더라도 시장의 변화에 따른 세부 개발 과제의 변경을 허용하고 당초 목표한 연구 결과를 내지 못하더라도 연구의 질을 평가해서 연구비 지원에 불이익이 없도록 하여 보다 도전적이고 혁신적인 연구개발이 가능한 환경을 조성하겠다고 발표한 것도 오랫동안의 효율성 개선 노력의 결과라고 할 수 있다.

하지만 글로벌 시장에서 경쟁력을 유지하는 데 일차적으로 기여해왔던 연구개발투자의 효율보다는 비효율성의 최소화에 더 많은 관심이 경주되면서, 단기적인 경기변동과 이에 대응하기 위한 재정정책 기조의 변화가 발생할 때마다 공공부문을 중심으로 연구개발투자가 조정되는 결과가 초래된 것도 부인하기 어렵다. 예를 들어, 경기가 하강 또는 침체국면에 진입하면서 재정정책이 확장적인 기조를 보여야 할 것으로 요구되는 경우, 단기적인 부양효과가 크게 나타나는 분야에 대한 재정 지출을 확대하기 위해 연구개발투자는 지출구조조정의

목표가 되어 오히려 감축되는 상황이 발행한 것이다. 투자의 회임기간이 길면서 그 편익이 가시적이지 않고 계량하기도 어려운 연구개발투자는 뒷전으로 밀려나는 모습이 나타났던 것이다.

앞에서 언급되었듯이 내생성장 이론은 물론 연구개발투자와 관련된 실증분석 결과들은 민간부문의 연구개발투자가 경기순행적인 모습을 보이는 것으로 예측하면서 관측하고 있다. 지식의 창출이 양(+)의 외부효과를 나타내므로 민간부문에서는 충분한 연구개발투자가 이루어지기 어려운데, 특히 특허의 보호가 약해서 지식의 모방과 활용에 대한 진입장벽이 낮은 산업의 경우에는 민간 기업들의 연구개발투자가 경기순행적으로 나타날 가능성이 높다는 것이다. 이러한 분석들은 장기적 관점에서 성장의 지속가능성을 높인다는 정책적 목표 하에서 연구개발투자에 대한 공공부문의 개입이 요구되며, 민간부문의 연구개발투자가 경기순행적이라는 점을 감안할 때 경제 전체의 연구개발투자를 안정적인 수준으로 유지하기 위해서는 재정정책의 기조와 같이 공공부문의 연구개발투자도 경기역행적인 모습을 보여야 한다는 주장을 뒷받침한다.

특히, 과학기술기본법 제21조 제4항의 취지를 감안할 때,²⁸⁾ 공공부문의 연구개발은 보다 장기적인 시각에서 민간부문의 연구개발과 달리 시장실패의 위험성이 높은 기초과학과 원천연구에 대한 투자에 더 큰 비중을 두고 경제 전반의 성장 잠재력이 유지되고 강화될 수 있도록 뒷받침해야 한다. 이러한 점에서도 **정부의 연구개발투자 관련 재정 지출이 경기 부진 또는 침체국면에 줄어들면서 성장 잠재력 훼손을 오히려 심화시킬 가능성을 경계해야 할 것이며, 확장적 재정정책 기조가 약화되는 경기 확장 또는 호황국면에서도 민간부문의 연구개발투자가 충분히 확대되어 고급연구개발 인력 양성과 연구성과의 기술사업화가 성장 잠재력**

28) 과학기술기본법

제21조(과학기술투자의 확대) ① 정부는 과학기술발전을 촉진하는 데에 필요한 재원을 지속적이고 안정적으로 확보하여야 한다. <개정 2015. 12. 22.>

② 정부는 제1항에 따라 필요한 재원을 마련하기 위하여 제7조의2제3항에 따른 국가연구개발투자의 목표치와 추진계획을 기본계획 및 중장기투자전략에 반영하여야 한다. <개정 2020. 6. 9.>

③ 지방자치단체의 장은 매년 소관 지방자치단체예산에서 연구개발예산의 비율이 지속적으로 높아지도록 노력하여야 한다.

④ 정부는 기업 등 민간이 적극적으로 연구개발에 투자할 수 있도록 필요한 조치를 마련하여야 한다. <신설 2014. 5. 28.>

⑤ 정부는 연구개발의 추진단계 등을 종합적으로 고려하여 투자재원을 효율적으로 집행하도록 노력하여야 한다.

을 견인하는 힘이 될 수 있도록 제도적 기반을 구축하는 데에도 노력을 경주해야 한다. 이와 같은 연구개발 관련 제도적 기반의 구축과 개선은 궁극적으로 연구개발투자의 효율성을 높이고 예산을 절감하는 효과를 나타낼 것으로 기대된다.

따라서 연구개발투자와 관련된 재정준칙은, 경기역행적인 재정정책 기조를 통한 자동안정화 기능을 인정하나 경기 부진 또는 침체국면에서 재정지출이 과도한 정도가 되면서 재정 중장기 지속성이 훼손되는 것을 예방하는 일반적인 재정준칙과는 달리, 경기 부진 또는 침체국면에서 민간부문과 함께 공공부문의 연구개발투자도 위축되는 것을 예방하고 이러한 기조가 유지될 수 있도록 정치적, 사회적 영향을 배제할 수 있도록 설계되어야 한다.

이 같은 경기 상황에 대한 고려 방식과 더불어 연구개발 관련 재정준칙의 기준지표, 준수 여부 평가기간, 운영체계 등도 일반적인 재정준칙과는 다르게 제시될 필요가 있다. 특히 GDP 대비 국가부채 비율 등을 기준지표로 설정하고자 하는 최근의 국가재정법 개정 논의에서 제시되고 있는 일반적인 재정준칙 논의와는 달리, 연구개발 관련 재정준칙의 경우에는 과거의 정책에 직접적으로 영향을 받는 지표보다는 현재와 상황에 근거하여 경기역행적인 요소가 충분히 반영되는 방식으로 기준지표가 설정되어야 한다.²⁹⁾ 연구개발투자 지원 총액 등과 같이 총량적 수치로 주어지는 목표를 설정하는 경우, 오히려 기술혁신과 성장의 지속가능성을 저하시키는 결과를 초래할 수 있기 때문이다. 물론, 전반적인 재정정책이 재정준칙에 따라 집행되는 정책 여건이 안정적으로 정착되는 경우, ‘정부 총지출 예산의 최소한 5% 이상을 연구개발 예산에 배정’하는 방식의 정률배정 방식을 통해 공공부문 연구개발투자 본연의 목표를 달성할 수도 있다.

결론적으로, 따라서 경기 부진 또는 침체국면에는 연구개발 분야의 재정 지출 확대를 통해 경기의 조기 회복을 촉진함과 동시에 성장잠재력 훼손을 최소화하는 한편, 경기 확장 또는 호황국면에는 민간부문의 기초 원천 연구와 미래 성장동력 창출을 지원하는 정도로 재정 지출 증가율을 조정하는 방향으로 연구개발 부문의 재정준칙을 설정하는 것이 가장 바람직할 것으로 보인다. 이와 더불어 연구개발투자 관련 재정준칙을 국가 중장기 투자전략의 수립과정에서 정부 연구개발 예산의 자원배분에 관한 주요 원칙으로 활용하도록 법제도적

29) 재정건전화법안 등에서 제시되는 총량적 기준의 수치적 목표 달성 방식도, 코로나19 이후의 경제 환경 하에서 달성하기 어려운 목표이고 재정운용에 과도한 제약이 될 수 있다는 반성에 기반하여, 목표 설정 방식의 변화가 시도되고 있다.

근거를 마련할 필요도 있다.

제 7 장 결론 및 시사점

본 보고서는 거시경제의 장기적인 성장뿐만 아니라, 경기변동 주기 상에서의 기여도가 매우 큰 연구개발투자의 행태에 대한 이론 및 실증적 근거를 마련하고자 하였다. 보고서 내에서 분석된 내용을 요약하면 다음과 같다. 첫째, 우리나라의 연구개발투자는 경기변동 주기 상에서 국내총생산과 대체로 같은 방향으로 움직이는 경기순행적인 모습을 띄고 있다. 이는 민간부문과 공공부문 모두 대체로 같은 방향성을 갖고 있어, 우리나라의 연구개발 활동은 민간과 정부부문 모두 경기변동을 증폭시키는 역할을 하고 있음을 간접적으로 시사하고 있다. 둘째, 우리나라의 거시경제지표들을 사용하여, 연구개발 활동이 식별된 구조이론모형을 추정했을 때, 총수요 또는 총공급 충격이 주요 거시경제 변수들의 경기변동을 증폭시키는 것을 확인하였다. 따라서, 이러한 증폭 기제를 완화시키기 위해서는 **정부는 연구개발 활동에 개입하여 경기 안정화 기능을 갖도록 하는 것이 바람직하다는 것을 시사하고 있다.**

마지막으로 본 보고서에서는 지금까지의 정부의 연구개발투자 운용에 관하여 간략한 평가와 앞으로의 역할에 관해서 정리해보았다. **경기순행적인 모습을 가진 연구개발 활동에 대응하여 정부는 경기역행적인 연구개발투자를 운용해야할 것으로 판단된다.** 경기 부진 또는 침체국면에는 연구개발 분야의 재정 지출 확대를 통해 경기의 조기 회복을 촉진함과 동시에 성장잠재력 훼손을 최소화하는 한편, 경기 확장 또는 호황국면에는 민간부문의 기초 원천 연구와 미래 성장동력 창출을 지원하는 정도로 재정 지출 증가율을 조정하는 방향으로 연구개발 부문의 재정준칙을 설정하는 것이 가장 바람직할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- Aghion, P., G.-M. Angeletos, A. Banerjee, and K. Manova (2010): “Volatility and Growth : Credit Constraints and the Composition of Investment,” *Journal of Monetary Economics*, 57, 246–265.
- Aghion, P., and G. Saint-Paul (1998a): “On the Virtue of Bad Times,” *Macroeconomic Dynamics*, 2, 322–344
- Aghion, P., and G. Saint-Paul (1998b): “Uncovering Some Causal Relationships between Productivity Growth and the Structure of Economic Fluctuations: A Tentative Survey”, *Labour*, 12, 279–303.
- Anzoategui, D., D. Comin, M. Gertler, and J. Martinez (2019): “Endogenous Technology Adoption and R&D as Sources of Business Cycle Persistence,” *American Economic Journal: Macroeconomics*, 11(3), 67–110.
- Barlevy, G. (2007): “On the Cyclicity of Research and Development,” *The American Economic Review*, 97(4), 1131–1164
- Bernanke, B. S., M. Gertler, and S. Gilchrist (1999): “Chapter 21 The financial accelerator in a quantitative business cycle framework,” vol. 1 of *Handbook of Macroeconomics*, pp. 1341–1393. Elsevier.
- Blanchard, O. J., and C. M. Kahn (1980): “The Solution of Linear Difference Models under Rational Expectations,” *Econometrica*, 48(5), 1305–1311.
- Canova, F. (2007): *Methods For Applied Macroeconomic Research*. Princeton University Press.

- Christiano, L., M. Eichenbaum, and C. Evans (2005): “Nominal Rigidities and the Dynamic Effects of a Shock to Monetary Policy.” *Journal of Political Economy*, 113(1), pp. 1–45.
- Christiano, L., M. Rostagno, and R. Motto (2010): “Financial factors in economic fluctuations.” *ECB Working Paper* 1192, Frankfurt a. M.
- Christiano, L., R. Motto, and M. Rostagno (2014): “Risk Shocks,” *The American Economic Review*, 104(1), 27–65
- Comin, D., and M. Gertler (2006): “Medium–Term Business Cycles,” *The American Economic Review*, 96(3), 523–551.
- Del Negro, M., & Schorfheide, F. (2008): “Forming priors for DSGE models (and how it affects the assessment of nominal rigidities),” *Journal of Monetary Economics*, 55(7), 1191–1208.
- Fabrizio, K. R., and U. Tzolmon (2014): “An Empirical Examination of the Procyclicality of R&D Invest and Innovation,” *The Review of Economics and Statistics*, 96(4), 662–675.
- Fernández–Villaverde, J. (2010): “The econometrics of DSGE models,” *SERIEs*, 1(1–2), 3–49.
- Francois, P., and H. Lloyd–Ellis (2009): “Schumpeterian Cycles with Pro–Cyclical R&D,” *Review of Economic Dynamics*, 12, 530–550.
- Geweke, J., Koop, G., & Van Dijk, H. (2011): *The Oxford handbook of Bayesian econometrics*. Oxford University Press.

- Griliches, Z. (1990): "Patent Statistics as Economic Indicators: A Survey," *Journal of Economic Literature*, 28(4), 1661–1707.
- Hall, R. (1991): "Recession as Reorganizations," *NBER Macroeconomics Annual*.
- Jones, C. I. (1995): "R&D-Based Models of Economic Growth," *Journal of Political Economy*, 103(4), 759–784.
- Herbst, E. P., & Schorfheide, F. (2015): *Bayesian Estimation of DSGE Models*.
Princeton University Press.
- King, R. G., C. I. Plosser, and S. T. Rebelo (1988): "Production, growth and business cycles: I. The basic neoclassical model," *Journal of Monetary Economics*, 21(2), 195 – 232.
- Kiyotaki, N., and J. Moore (1997): "Credit Cycles," *Journal of Political Economy*, 105(2), 211–248.
- Kydland, F. E., and E. C. Prescott (1982): "Time to Build and Aggregate Fluctuations," *Econometrica*, 50(6), 1345–1370.
- Lubik, T. A., & Schorfheide, F. (2003): "Computing Sunspot Equilibria in Linear Rational Expectations Models," *Journal of Economic Dynamics and Control*, 28(2), 273–285.
- Lucas, R. E. (1976): "Econometric Policy Evaluation: A critique," *Carnegie–Rochester Conference Series on Public Policy*, 1, 19 – 46.
- Ouyang, M. (2011): "On the Cyclicity of R&D," *The Review of Economics and Statistics*, 93(2), 542–553.

- Romer, P. M. (1990): "Endogenous Technological Change," *Journal of Political Economy*, 98(5), S71–S102.
- Saint Paul, G. (1993): "Productivity Growth and the Structure of the Business Cycle," *European Economic Review*, 37(4), 861–883.
- Schmitt-Grohé, S., and M. Uribe (2004): "Solving Dynamic General Equilibrium Models Using a Second-Order Approximation to the Policy Function," *Journal of Economic Dynamics and Control*, 28(4), 755–775.
- Schumpeter, J. A. (1939): *Business Cycles : A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process*. New York : McGraw-Hill.
- Sims, C. A. (2002): "Solving Linear Rational Expectations Models," *Computational Economics*, 20(1), 1–20.
- Smets, F., and R. Wouters (2005): "Comparing Shocks and Frictions in US and Euro Area Business Cycles: a Bayesian DSGE approach," *Journal of Applied Econometrics*, 20(2), pp. 161–183.
- Smets, F., & Wouters, R. (2007): "Shocks and Frictions in US business cycles: A Bayesian DSGE approach," *The American Economic Review*, 97(3), 586–606.
- Woodford, M., and C. Walsh (2005): "Interest and Prices: Foundations of a Theory of Monetary Policy," *Macroeconomic Dynamics*, 9(03), 462–468.
- Yun, T. (1996): "Nominal Price Rigidity, Money Supply Endogeneity, and Business Cycles," *Journal of Monetary Economics*, 37(2), 345 – 370.

김태봉·허석균 (2017): “한국 재정정책의 유효성에 관한 논의 : SVAR 추정법을 중심으로,” *한국경제의 분석*, 23(3), 107-170.

한웅용·김주일. (2020), 『2020년도 정부연구개발예산 현황분석』, 한국과학기술기획평가원, 조사자료 2020-002

부 록 1: Steady States

Given

- **Calibrated parameters:** $\delta, \frac{G}{Y}, \mu, \varsigma, \vartheta, \bar{\zeta}, \phi, \bar{\eta}, \rho_\eta$
- **Estimated parameters:** $\rho_r, \phi_\pi, \phi_y, \varphi, \psi, \omega, \xi_p, \xi_w, \iota_p, \iota_w, \mu_w, b, \rho_z, \alpha, \beta, \gamma_y$

파라미터	값	Prior	설명	비고
δ	0.02	-	감가상각률	Calibrated
$\frac{G}{Y}$	0.2	-	정상상태 GDP 대비 정부지출 비중	Calibrated
μ	1.1	-	최종재 마크업	Calibrated
ς	1.18	-	중간재 마크업	Calibrated
ϑ	1.35	-	중간재 대체탄력도	Calibrated
$\bar{\zeta}$	0.001 25	-	정상상태 유동성 수요	Calibrated
ϕ	0.98	-	기술생존율	Calibrated
$\bar{\eta}$	0.05	-	정상상태 기술 채용 확률	Calibrated
ρ_η	0.925	-	기술채용 탄력도	Calibrated
ρ_r	0.833	0.7	명목이자율 평활도	Estimated
ϕ_π	1.638	1.5	물가상승률에 대한 명목이자율 탄력도	Estimated
ϕ_y	0.385	0.3	GDP갭에 대한 명목이자율 탄력도	Estimated
φ	2.726	2.0	Frisch탄력도의 역수	Estimated
ψ	5.63	4.0	투자조정비용: $f''(1)$	Estimated
ω	4.045	4.0	자본활용률 탄력도($\delta''/\delta' = d_1\omega/d_1 = \omega$)	Estimated
ξ_p	0.932	0.5	소비자물가 경직도: Calvo prices	Estimated
ξ_w	0.933	0.75	명목임금 경직도: Calvo wages	Estimated
ι_p	0.252	0.5	물가상승률 인덱스	Estimated
ι_w	0.386	0.5	임금상승률 인덱스	Estimated
μ_w	0.151	0.15	임금 마크업	Estimated
b	0.486	0.7	소비습관	Estimated
ρ_z	0.376	0.6	R&D 탄력도	Estimated
α	0.2	0.3	자본소득분배율	Estimated
β	0.512	0.25	할인율	Estimated
$100 \times \gamma_y$	0.454	0.46	정상상태 GDP 성장률	Estimated

Functions defined by Anzoategui et al(2019)

• **Capital Depreciation Rate Function**

$$\delta(u) = \delta - d_1 \frac{1}{1+\omega} + d_1 \frac{u^{1+\omega}}{1+\omega} \Rightarrow \delta'(1) = d_1 \quad \delta''(1) = d_1 \omega \Rightarrow \frac{\delta''}{\delta'} = \omega$$

• **Investment Adjustment Cost Function**

$$f''(1) = \psi \Leftarrow f(1) = f'(1) = 0 \quad f''(1) > 0$$

1. $p^* = \pi, \quad w^* = w \quad w_s^* = w_s$ by (5.21), (5.23), (5.25)

2. $MC = \frac{1}{\mu}$ by (5.20)

3. $\gamma_a = (1 + \gamma_y)^{\frac{1-\alpha}{\vartheta-1}} - 1$ by def.

4. $R = \frac{(1 - \bar{\zeta})(1 + \gamma_y)}{\beta}$ by (5.6)

5. $Q = p_k = 1$ by (5.9) & (5.32)

6. $\tilde{A} = \beta$ by (5.8) def.

7. $D = \frac{1 + \gamma_y - \beta}{\beta}$ by (5.7)

8. $d_1 = D + \delta$ by (5.1) & (5.2)

9. $\frac{K}{Y} = \frac{\alpha}{\varsigma \mu (D + \delta)}$ by (5.1) assuming $Q = 1 \quad U = 1$

10. $Y = \left(\frac{K}{Y} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}}$ by (5.4) assuming $A = 1 \quad L = 1$

11. $\frac{I}{K} = \delta + \gamma_y$ by (5.10)

12. $\frac{I}{Y} = \frac{I}{K} \cdot \frac{K}{Y}$

13. $\frac{C}{Y} = 1 - \frac{I}{Y} - \frac{G}{Y}$

15. $Z/A = Z = \frac{1 + \gamma_a - \phi + \bar{\eta}\phi}{\bar{\eta}\phi}$ by eq.(21) & (5.17) assuming $A = 1$

16. $V^A = \left(\frac{\varsigma - 1}{\mu \varsigma} \right) \left(\frac{1 + \gamma_a}{1 + \gamma_a - \beta\phi} \right) Y$ by (5.18)

17. $J^Z = \frac{\bar{\eta}\phi\beta(1-\rho_\eta)}{1+\gamma_a-\phi\beta(1-\bar{\eta}+\rho_\eta\bar{\eta})} V^A Z$ by putting (5.19) into (5.15)

• $J^Z = -w_s L_{sa}^Z + \frac{\phi\beta}{1+\gamma_a} \{\bar{\eta} V^A Z + (1-\bar{\eta})J^Z\}$ by (5.15)

• $\frac{\rho_\eta\bar{\eta}\phi\beta}{1+\gamma_a} (V^A Z - J^Z) = w_s L_{sa}^Z$ by (5.19)

18. $w_s = \left(1 - \frac{1}{Z}\right) \frac{\rho_\eta\bar{\eta}\phi\beta}{1+\gamma_a} (V^A Z - J^Z) + \frac{\beta(1+\gamma_a-\phi)}{1+\gamma_a} J^Z$ by putting (5.14) & (5.19)

into (5.27)

• $w_s L_{sa}^Z = \frac{\rho_\eta\bar{\eta}\phi\beta}{1+\gamma_a} (V^A Z - J^Z)$ by (5.19)

• $w_s L_{sr} = \frac{\beta J^Z \bar{\chi} L_{sr}^{\rho_z}}{1+\gamma_a} = \frac{\beta(1+\gamma_a-\phi)}{1+\gamma_a} J^Z$ by (5.14) & (5.13)

• $w_s L_s = \left(1 - \frac{1}{Z}\right) w_s L_{sa}^Z + w_s L_{sr}$ by (5.27) assuming $A=1$ $L_s=1$

19. $L_{sr} = \frac{\beta(1+\gamma_a-\phi)}{w_s(1+\gamma_a)} J^Z$ by (5.13)

20. $L_{sa}^Z = \frac{\rho_\eta\bar{\eta}\phi\beta}{w_s(1+\gamma_a)} (V^A Z - J^Z)$ by (5.19)

21. $\bar{\chi} = \frac{1+\gamma_a-\phi}{L_{sr}^{\rho_z}}$ by (5.13)

22. $\Upsilon = \bar{\eta} V^A Z + (1-\bar{\eta})J^Z$ by def. in (5.15) & assuming $A=1$

23. $\kappa_w = \frac{(1-\xi_w)(1-\xi_w\beta)}{\left(\frac{\varphi}{1-1/\mu_w} + 1\right)\xi_w(1+\beta)}$

부록 2: 로그 선형화 모델

1. $\frac{\alpha}{\mu K/Y} \{mc_t + y_t - k_t\} = \varsigma Dd_t + \varsigma d_1 u_t + \varsigma \delta q_t$
2. $mc_t + y_t = (1 + \omega)u_t + q_t + k_t$
3. $mc_t + y_t - l_t = w_t$
4. $y_t = (\vartheta - 1)a_t + \hat{\theta}_t + \alpha(u_t + k_t) + (1 - \alpha)l_t$
5. $(1 + \gamma_y - b)(1 + \gamma_y - \beta b)u_{ct} = - \left[(1 + \gamma_y)^2 + \beta b^2 \right] c_t + (1 + \gamma_y)bc_{t-1} + \beta(1 + \gamma_y)bc_{t+1}$
6. $\left(\frac{1 - \bar{\zeta}}{\bar{\zeta}} \right) (\hat{\Lambda}_{t,t+1} + r_t) + \hat{\zeta}_t = 0$
7. $(1 + \gamma_y)(\hat{\Lambda}_{t,t+1} - q_t) + (1 + \gamma_y - \beta)d_{t+1} + \beta q_{t+1} = 0$
8. $\hat{\Lambda}_{t,t+1} = u_{c,t+1} - u_{c,t}$
9. $q_t - \hat{p}_{k,t} = \left(1 + \frac{\beta}{1 + \gamma_y} \right) f''(1)i_t - f''(1)i_{t-1} - \frac{\beta}{1 + \gamma_y} f''(1)i_{t+1}$
10. $(1 + \gamma_y)k_{t+1} = (I/K)i_t - \delta'(1)u_t + (1 - \delta)k_t$
11. $rn_t = (1 - \rho_r)(\phi_\pi \pi_t + \phi_y l_t) + \rho_r rn_{t-1} + \hat{r}_t^m$
12. $rn_t = r_t + \pi_{t+1}$
13. $(1 + \gamma_a)z_{t+1} = (1 + \gamma_a)z_t + (1 + \gamma_a - \phi)(\hat{\chi}_t + \rho_z l_{sr,t})$
14. $\hat{\Lambda}_{t,t+1} + j_{t+1}^Z + \hat{\chi}_t + z_t - z_{t+1} + (\rho_z - 1)l_{sr,t} = w_{s,t}$
15. $\Upsilon \hat{\Upsilon}_t = (\bar{\eta} V^A Z + (1 - \bar{\eta}) J^Z) z_t + \bar{\eta} V^A Z (v_{t+1}^A - a_{t+1}) + (V^A Z - J^Z) \bar{\eta} \eta_t + (1 - \bar{\eta}) J^Z (j_{t+1}^Z - z_{t+1})$
16. $J^Z j_t^Z = -w_s L_{sa}^Z (w_{s,t} + l_{sa,t}^Z) + \frac{\phi \beta \Upsilon}{1 + \gamma_a} \hat{\Lambda}_{t,t+1} + \frac{\phi \beta}{1 + \gamma_a} \Upsilon \hat{\Upsilon}_t$
17. $\eta_t = \rho_\eta l_{sa,t}^Z$
18. $(1 + \gamma_a)a_{t+1} = (Z - 1)\phi \bar{\eta} \eta_t + (1 - \bar{\eta})\phi a_t + \bar{\eta} \phi Z z_t$
19. $\frac{V^A}{Y} v_t^A = \left(\frac{\varsigma - 1}{\mu \varsigma} \right) \{mc_t + y_t\} + \frac{\phi \beta}{1 + \gamma_a} \frac{V^A}{Y} \{ \hat{\Lambda}_{t,t+1} + v_{t+1}^A + a_t - a_{t+1} \}$
20. $\hat{T}_{t,t+1} = \frac{V^A Z}{V^A Z - J^Z} (v_{t+1}^A + z_t - a_{t+1}) - \frac{J^Z}{V^A Z - J^Z} (j_{t+1}^Z + z_t - z_{t+1})$
21. $\eta_t + \hat{\Lambda}_{t,t+1} + \hat{T}_{t,t+1} = w_{s,t} + l_{sa,t}^Z$
22. $\pi_t = \frac{\iota_p}{1 + \beta \iota_p} \pi_{t-1} + \frac{(1 - \xi_p)(1 - \xi_p \beta)}{\xi_p(1 + \beta \iota_p)} \left(\frac{\mu - 1}{\mu} \mu_t^p + mc_t \right) + \frac{\beta}{1 + \beta \iota_p} \pi_{t+1}$

23. $(1 + \kappa_w)w_t = \frac{1}{1 + \beta} \{w_{t-1} + \iota_w \pi_{t-1} - (1 + \beta \iota_w) \pi_t\} + \kappa_w (\varphi l_t - \widehat{u}_{c,t})$
 $+ \frac{\beta}{1 + \beta} (\pi_{t+1} + w_{t+1}) + \kappa_w \widehat{\mu}_t^w$
24. $(1 + \kappa_w)w_{s,t} = \frac{1}{1 + \beta} \{w_{s,t-1} + \iota_w \pi_{t-1} - (1 + \beta \iota_w) \pi_t\} + \kappa_w (\varphi l_{s,t} - \widehat{u}_{c,t}) + \frac{\beta}{1 + \beta} (\pi_{t+1} + w_{s,t+1})$
25. $y_t = \frac{C}{Y} c_t + \frac{I}{Y} (\widehat{p}_{k,t} + i_t) + \frac{G}{Y} g_t$
26. $Zl_{s,t} = L_{sa}^Z (z_t - a_t) + (Z - 1) L_{sa}^Z l_{sa,t}^Z + Z L_{sr} l_{sr,t}$
27. $g_t = (1 - \rho_g) \bar{g} + \rho_g g_{t-1} + \sigma_g \epsilon_t^g$
28. $\hat{\theta}_t = \rho_\theta \hat{\theta}_{t-1} + \sigma_\theta \epsilon_t^\theta$
29. $\hat{\mu}_t^p = (1 - \rho_p) \bar{\mu}_p + \rho_p \hat{\mu}_{t-1}^p + \sigma_p \epsilon_t^p$
30. $\hat{\mu}_t^w = (1 - \rho_w) \bar{\mu}_w + \rho_w \hat{\mu}_{t-1}^w + \sigma_w \epsilon_t^w$
31. $\hat{p}_{k,t} = \rho_k \hat{p}_{k,t-1} + \sigma_k \epsilon_t^k$
32. $\hat{r}_t^m = \rho_m \hat{r}_{t-1}^m + \sigma_m \epsilon_t^m$
33. $\hat{\chi}_t = (1 - \rho_\chi) \bar{\chi} + \rho_\chi \hat{\chi}_{t-1} + \sigma_\chi \epsilon_t^\chi$
34. $\hat{\zeta}_t = (1 - \rho_\zeta) \bar{\zeta} + \rho_\zeta \hat{\zeta}_{t-1} + \sigma_\zeta \epsilon_t^\zeta$

부록 3: Dynare Code

```
var
%-----%
%   Variable Declaration   %
%-----%

%% Endogenous Variables %%
c           % consumption
i           % investment
rn          % Nominal interest rate
w           % wage
l           % unskilled labor
mc          % marginal cost
y           % output
k           % capital
q           % capital price (q)
u           % utilization rate
a           % adopted technologammay
d           % capital rental rate
uc          % marginal utility of consumption
r           % interest rate
pi          % inflation rate
z           % technolgammay stock
lsr         % skilled labor in R&D sector
ws          % skilled wage
jz          % total value of Z: J*Z
lzsa       % skilled labor in diffusion sector: Lsa*Z
eta         % probability of adoption: eta
va          % value of adopted technologammay: V*A
ls          % skilled labor

%% Shocks %%
theta       % theta shock
zeta        % Liquidity shock: zeta
pk          % Capital price shock, Replacement price of Capital: the
relative price of converting a unit of final output into new capital
rm          % monetary policy shock
chi         % R&D Efficiency Shock
g           % government Spending shock
mup        % Price Markup shock
```

```

muw                % wage markup shock

%% Observations %%
Dy                 % GDP
Dc                 % consumption
Di                 % investment
Dw                 % wage
Dpi                % inflation rate
Drd                % R&D expenditure
Dl                 % Employment growth rate
Drnpolicy          % nominal interest rate

%% Additional Variables %%
rd_exp
adopt_exp
endo_tfp
tfp
;

varexo
e_z                % Liquidity demand shock
e_g                % government spending shock
e_t                % theta shock
e_k                % capital price shock
e_p                % price markup shock
e_w                % wage markup shock
e_c                % R&D efficiency shock
e_m                % monetary policy shock
;

%-----%
%   Parameter Declaration   %
%-----%
parameters

%% Calibrated %%
delta              % Depreciation Rate
gy                 % SS ratio of government spending to output
mubar              % SS marginal cost: final goods markup: mubar
varsig             % Intermediate-goods markup (varsig < vartheta): varsig

```

```

vartheta      % Intermediate-goods elasticity of substitution: vartheta
zetabar      % zetabar
phi          % Technology survival rate: technology obsolescence: (1 - phi)
etabar       % SS probability of adoption: etabar
rhoe         % Elasticity of Adoption w.r.t adoption spending: rho_eta

%% Estimated %%
rhor         % Nominal interest rate smoothness: rhor
phi_p        % inflation coefficient in Monetary policy
phi_y        % output gap coefficient in Monetary policy
varphi       % Inverse of Frish Elasticity: varphi
psi          % Second derivative of Investment adjustment cost function: psi
omega        % Depreciation Elasticity of utilization, second derivative of
delta function at the SS: omega
xip          % Price nominal rigidity: xip
xiw          % Wage nominal rigidity: xiw
iotap        % Price indexation: iotap
iotaw        % Wage indexation: iotaw
muwbar_est   % wage markup rate: (muwbar -1)
b            % Consumption habit: b
rhoz         % Elasticity of new technologammay w.r.t R&D
alpha        % capital income share
beta_est     % beta for estimation
gammay_est   % output growth rate for estimation
chibar       % ss R&D efficiency

% AR(1) Coefficient %
rho_t        % AR(1) Coefficient for theta Shock: rho_t
rho_k        % AR(1) Coefficient for Capital price shock: rho_k
rho_w        % AR(1) Coefficient for Wage markup Shock: rho_w
rho_z        % AR(1) Coefficient for Liquidity Shock: rho_z
rho_g        % AR(1) Coefficient for Government spending shock: rho_g
rho_p        % AR(1) Coefficient for Price markup Shock: rho_p
rho_m        % AR(1) Coefficient for Monetary policy Shock: rho_m
rho_c        % AR(1) Coefficient for R&D efficiency Shock: rho_c

% Standard Deviation of Shocks %
std_e_z
std_e_g
std_e_p
std_e_m

```

```

std_e_k
std_e_t
std_e_c
std_e_w

% Measurement Equations %
rconst      % average interest rate
piconst     % average inflation rate
lconst      % average labor growth rate
rdconst     % average R&D growth rate
Rf_zlb      % zero lower bound
;

%-----%
%      Calibrated Value for the Parameters      %
%-----%

delta = 0.02;
gy    = 0.2;
mubar = 1.1;
varsig = 1.18;
vartheta = 1.35;
zetabar = 0.00125;
phi = 0.98;
etabar = 0.05;
rhoe = 0.925;

rhor = 0.7;
phi_p = 1.5;
phi_y = 0.3;
varphi = 2;
psi = 5.63;
omega = 4.045;
xip = 0.75;
xiw = 0.5;
iotap = 0.5;
iotaw = 0.5;
muwbar_est = 0.151;      % muw - 1
b = 0.7;
rhoz = 0.6;
alpha = 0.2;

```

```

beta_est = 0.25;
gammay_est = 0.454;
chibar = 0.0456; %(1+gammaa - phi)/(lsrbar^rhoz);

rho_t = 0.5;
rho_k = 0.5;
rho_w = 0.5;
rho_z = 0.5;
rho_g = 0.5;
rho_p = 0.5;
rho_m = 0.5;
rho_c = 0.5;

std_e_z = 1;
std_e_g = 1;
std_e_p = 1;
std_e_m = 1;
std_e_k = 1;
std_e_t = 1;
std_e_c = 1;
std_e_w = 1;

%% constant terms for Observations %%
piconst = 0.2444;      % ss inflation
lconst = 0.0294;      % ss unskilled labor
rdconst = 2.0912;     % ss quarterly growth rate of R&D

model(linear);

#muwbar = 1+ muwbar_est;
#beta = (1 + beta_est/100)^(-1);
#gammay = gammay_est/100;
#rbar = (1-zetabar)*(1+gammay)/beta;
#ky = alpha/(varsig*mubar*(rbar-1+delta));
#iy = ky*(delta+gammay);
#cy = 1 - gy - iy;
#gammaa = -1 + (1 + gammay)^((1 - alpha)/(-1 + vartheta));
#zbar = ((1 + gammaa + (-1 + etabar)*phi))/(etabar*phi);
#lsrbar = ((gammaa + 1- phi)/chibar)^(1/rhoz);
#VAY = ((1 + gammaa)*(-1 + varsig))/(varsig*mubar*(1 + gammaa - beta*phi));

```

```

#lzsabar = ((-1 - gammaa + beta*phi)*rhoe*lsrbar^(1 - rhoz))/(beta*(-1 +
rhoe)*chibar);
#WSY      =      -((beta^2*etabar*phi*(-1      +      rhoe)*lsrbar^(-1      +
rhoz)*zbar*chibar*VAY)/((1 + gammaa)*(1 + gammaa + beta*phi*(-1 + etabar -
etabar*rhoe))));
#JZY = -((beta*etabar*phi*(-1 + rhoe)*zbar*VAY)/((1 + gammaa + beta*phi*(-1 +
etabar - etabar*rhoe))));
#lsbar = lzsabar + lsrbar - lzsabar/zbar;
#kw=(1-xiw)*(1-beta*xiw)/(xiw*(1+beta))/(1+varphi/(1+(1/muwbar)));

%1 FOC labor demand
l - mc + w - y;

%2 FOC capital utilization
(1 - alpha)*l + mc - q + theta + (-1 + alpha - omega)*u + (-1 +
vartheta)*a(-1) + (-1 + alpha)*k(-1);

%3 FOC capital demand (definition of dividend)
alpha*beta*mc + d*(-1 + beta - gammay)*ky*varsig*mubar + (-alpha*beta) + (1
- beta + gammay)*ky*varsig*mubar)*q - alpha*beta*u + alpha*beta*y -
alpha*beta*k(-1);

%4 Production function
(1 - alpha)*l + theta + alpha*u - y + (-1 + vartheta)*a(-1) + alpha*k(-1);

%5 Marginal utility of consumption
uc*(-1 - gammay + b)*(-1 - gammay + beta*b) + c*((1 + gammay)^2 + beta*b^2) -
(1 + gammay)*b*c(-1) - beta*(1 + gammay)*b*c(+1);

%6 Euler equation
uc - zeta - r - uc(+1);

%7 Capital arbitrage condition
uc*(1 + gammay) + (1 + gammay)*q + (-1 - gammay)*uc(+1) + (-1 + beta -
gammay)*d(+1) - beta*q(+1);

%8 Optimal investment (price of capital)
(-1 - beta/(1+gammay))*psi*i + q - pk + psi*i(-1) +
beta/(1+gammay)*psi*i(+1);

```

%9 Capital law of motion

$$\text{beta}^i y^i - \text{beta} \cdot (1 + \text{gammay}) \cdot \text{ky} \cdot k - (1 + \text{beta} \cdot (-1 + \text{delta}) + \text{gammay}) \cdot \text{ky} \cdot u - \text{beta} \cdot (-1 + \text{delta}) \cdot \text{ky} \cdot k^{(-1)};$$

%10 Taylor Rule

$$r_n - \text{rhor} \cdot r_n^{(-1)} - (y - y^{(-1)}) \cdot \text{phi}_y \cdot (1 - \text{rhor}) - \text{phi}_p \cdot \text{pi} \cdot (1 - \text{rhor}) - r_m;$$

%11 Fisher equation

$$r - r_n + \text{pi}^{(+1)};$$

%12 Tech LOM

$$\text{lsrbar}^{\text{rhoz}} \cdot \text{chibar} \cdot \text{chi} + \text{rhoz} \cdot \text{lsrbar}^{\text{rhoz}} \cdot \text{chibar} \cdot \text{lsr} + (-1 - \text{gammaa}) \cdot z + (1 + \text{gammaa}) \cdot z^{(-1)};$$

%13 FOC RD

$$\text{chi} - \text{uc} + \text{lsr} \cdot (-1 + \text{rhoz}) - \text{ws} - z + \text{uc}^{(+1)} + \text{jz}^{(+1)} + z^{(-1)};$$

%14 Value of Unadopted Intermediate

$$\begin{aligned} & -(1 + \text{gammaa}) \cdot \text{JZY} \cdot \text{jz} - \text{beta} \cdot \text{etabar} \cdot \text{phi} \cdot \text{zbar} \cdot \text{VAY} \cdot a - (1 + \text{gammaa}) \cdot \text{lzsabar} \cdot \text{WSY} \cdot \text{lzsa} - (1 + \text{gammaa}) \cdot \text{lzsabar} \cdot \text{WSY} \cdot \text{ws} - (1 + \text{gammaa}) \cdot (\text{JZY} + \text{lzsabar} \cdot \text{WSY}) \cdot \text{uc} \\ & + (\text{JZY} \cdot (1 + \text{gammaa} - \text{beta} \cdot \text{phi}) + (1 + \text{gammaa}) \cdot \text{lzsabar} \cdot \text{WSY}) \cdot \text{eta} + (-((1 + \text{gammaa}) \cdot \text{JZY}) + \text{beta} \cdot \text{etabar} \cdot \text{phi} \cdot \text{zbar} \cdot \text{VAY} - (1 + \text{gammaa}) \cdot \text{lzsabar} \cdot \text{WSY}) \cdot z \\ & + (1 + \text{gammaa}) \cdot (\text{JZY} + \text{lzsabar} \cdot \text{WSY}) \cdot \text{uc}^{(+1)} + ((1 + \text{gammaa}) \cdot \text{JZY} - \text{beta} \cdot \text{etabar} \cdot \text{phi} \cdot \text{zbar} \cdot \text{VAY} + (1 + \text{gammaa}) \cdot \text{lzsabar} \cdot \text{WSY}) \cdot \text{jz}^{(+1)} + \text{beta} \cdot \text{etabar} \cdot \text{phi} \cdot \text{zbar} \cdot \text{VAY} \cdot \text{va}^{(+1)} \\ & + (1 + \text{gammaa}) \cdot (\text{JZY} + \text{lzsabar} \cdot \text{WSY}) \cdot z^{(-1)}; \end{aligned}$$

%15 Adoption Probability

$$-\text{eta} + \text{lzsa} \cdot \text{rhoe};$$

%16 Adopted LOM

$$-a \cdot (1 + \text{gammaa}) + \text{lzsa} \cdot (\text{gammaa} + 1 - \text{phi}) \cdot \text{rhoe} - (-1 + \text{etabar}) \cdot \text{phi} \cdot a^{(-1)} + \text{etabar} \cdot \text{phi} \cdot \text{zbar} \cdot z^{(-1)};$$

%17 Value of Adopted Intermediate

$$\begin{aligned} & (-1 - \text{gammaa}) \cdot \text{mc} \cdot (-1 + \text{varsig}) + a \cdot \text{beta} \cdot \text{varsig} \cdot \text{mubar} \cdot \text{phi} \cdot \text{VAY} + \text{beta} \cdot \text{uc} \cdot \text{varsig} \cdot \text{mubar} \cdot \text{phi} \cdot \text{VAY} + (1 + \text{gammaa}) \cdot \text{varsig} \cdot \text{mubar} \cdot \text{va} \cdot \text{VAY} + (-1 - \text{gammaa}) \cdot (-1 + \text{varsig}) \cdot y - \\ & \text{beta} \cdot \text{varsig} \cdot \text{mubar} \cdot \text{phi} \cdot \text{VAY} \cdot a^{(-1)} - \text{beta} \cdot \text{varsig} \cdot \text{mubar} \cdot \text{phi} \cdot \text{VAY} \cdot \text{uc}^{(+1)} - \text{beta} \cdot \text{varsig} \cdot \text{mubar} \cdot \text{phi} \cdot \text{VAY} \cdot \text{va}^{(+1)}; \end{aligned}$$

```

%18 FOC adoption
- a*(beta*etabar*phi*rhoe*zbar*VAY)
- uc*(1 + gammaa)*lzsabar*WSY
+ lzsa*(1 + gammaa)*(-1 + rhoe)*lzsabar*WSY
- ws*(1 + gammaa)*lzsabar*WSY
+ z*(beta*etabar*phi*rhoe*zbar*VAY - (1 + gammaa)*lzsabar*WSY)
+ uc(+1)*(1 + gammaa)*lzsabar*WSY
+ (-(beta*etabar*phi*rhoe*zbar*VAY) + (1 + gammaa)*lzsabar*WSY)*jz(+1)
+ beta*etabar*phi*rhoe*zbar*VAY*va(+1)
+ (1 + gammaa)*lzsabar*WSY*z(-1);

%19 Market clearing consumption goods
c*cy + g*gy + (i + pk)*iy - y;

%20 Market clearing research labor
ls*lsbar*zbar - lsr*lsrbar*zbar + lzsa*(-lsbar + lsrbar)*zbar +
lzsabar*(a(-1) - z(-1));

% wage setting
(1+kw)*w-1/(1+beta)*w(-1)-beta/(1+beta)*w(+1)+kw*(uc-varphi*1)-iotaw/(1+beta)
*pi(-1)+(1+beta*iotaw)/(1+beta)*pi-(beta)/(1+beta)*pi(+1)-muw;
(1+kw)*ws-1/(1+beta)*ws(-1)-beta/(1+beta)*ws(+1)+kw*(uc-phi*ls)-iotaw/(1+beta)
*ta)*pi(-1)+(1+beta*iotaw)/(1+beta)*pi-(beta)/(1+beta)*pi(+1);

% philips curve
pi=(iotap/(1+beta*iotap))*pi(-1)+(beta/(1+beta*iotap))*pi(+1)+((1-beta*xip)
*(1-xip)/(xip*(1+beta*iotap)))*mc+mup;

% adoption and r&d expenditure
rd_exp = ws + ls;
adopt_exp = ws + lzsa + 1/(zbar-1)*(z(-1)-a(-1));
endo_tfp = (vartheta-1)*a(-1);
tfp = (vartheta-1)*a(-1) + theta;

% shocks dynamics
theta-rho_t*theta(-1)-e_t;
pk-rho_k*pk(-1)-e_k;
g-rho_g*g(-1)-e_g;
zeta-rho_z*zeta(-1)-e_z;
mup-rho_p*mup(-1)-e_p;

```

```

muw-rho_w*muw(-1)-e_w;
rm-rho_m*rm(-1)-e_m;
chi-rho_c*chi(-1)-e_c;

% measurement equations
Dy=gammay*100+(y-y(-1));
Dc=gammay*100+(c-c(-1));
Di=gammay*100+(i-i(-1))+(pk-pk(-1));
Dpi = pi+piconst;
Dl = l-l(-1) + lconst;
Dw = gammay*100+w-w(-1);
Drd = gammay*4*100 + rd_exp-rd_exp(-4) + 4*(rdconst - gammay*100);
Drnpolicy = rn+((1-zetabar)*(1+gammay)/beta-1)*100;

end;

shocks;
var e_g; stderr std_e_g;
var e_z; stderr std_e_z;
var e_p; stderr std_e_p;
var e_t; stderr std_e_t;
var e_m; stderr std_e_m;
var e_k; stderr std_e_k;
var e_w; stderr std_e_w;
var e_c; stderr std_e_c;
end;

estimated_params;
%Shock stderrs
stderr e_g, inv_gamma_pdf, 2,4;
stderr e_k, inv_gamma_pdf, 2,4;
stderr e_z, inv_gamma_pdf, 2,4;
stderr e_p, inv_gamma_pdf, 2,4;
stderr e_t, inv_gamma_pdf, 2,4;
stderr e_m, inv_gamma_pdf, 2,4;
stderr e_w, inv_gamma_pdf, 2,4;
stderr e_c, inv_gamma_pdf, 2,6;

```

```

%Autoregressive Component of Shocks
rho_t, beta_pdf,0.5,0.2;
rho_k, beta_pdf,0.5,0.2;
rho_z, beta_pdf,0.5,0.2;
rho_m, beta_pdf,0.5,0.2;
rho_p, beta_pdf,0.5,0.2;
rho_g, beta_pdf,0.5,0.2;
rho_w, beta_pdf,0.5,0.2;
rho_c, beta_pdf,0.5,0.2;

% Taylor Rule Params
rhor,      beta_pdf,0.7,.15;
phi_p,     gamma_pdf,1.5,0.25;
phi_y,     gamma_pdf,0.5,0.1;

% Other estimated params
varphi,    gamma_pdf, 4,0.75;
psi,       gamma_pdf, 4,1;
xip,       beta_pdf, 0.5,0.1;
xiw,       beta_pdf, 0.75,0.1;
iotap,     beta_pdf, 0.5,0.15;
iotaw,     beta_pdf, 0.5,0.15;
b,         beta_pdf, 0.7,0.1;
rhoz,      beta_pdf, 0.6,0.15;
alpha,     normal_pdf, 0.3,0.05;
gammay_est, normal_pdf, 0.46,0.03;
muwbar_est, normal_pdf, 0.15,0.05;
beta_est,  gamma_pdf, 0.25,0.1;

end;

%steady;
%stoch_simul(hp_filter=1600, order=1, irf=48) y c i pi r rd_exp eta a;

%estimated_params_init(use_calibration); % when initial value is different
    from prior mean
%end;

varobs Dc Dy Di Dpi Dw Drd Drnpolicy Dl;

```

```
estimation(datafile=DATA, bayesian_irf, mh_jscale=2, mh_replic= 2000000,  
plot_priors=0, mh_nblocks=2, mode_compute=6) y c i l p i r r d _ e x p e t a  
endo_tfp;
```

```
##### MCMC draws #####
```

```
% % options_.trace_plot_ma = 500000;
```

```
% % trace_plot(options_,M_,estim_params_,'DeepParameter',ehw)
```

```
shock_decomposition Dy Drd tfp;
```

주 의

1. 이 보고서는 한국과학기술기획평가원에서 위탁받아 수행한 연구 보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 한국과학기술기획평가원의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.