

## 실물경기변동 모형을 이용한 해외석유가스 개발사업의 경제적 효과분석<sup>†</sup>

박호정\* · 김재경\*\*

**요약** : 해외자원개발은 부존자원이 빈약한 우리나라의 에너지 안보 역량을 제고할 수 있는 중요한 핵심 수단이다. 해외 석유가스개발사업의 경제적 파급효과를 분석하기 위하여 본 연구에서는 실물경기변동 모형을 에너지 가격을 포함한 형태로 확장하였다. 연산의 투명성과 효율성을 제고하기 위하여 선형이차 동태계획법을 적용하였다. 분석 결과, 해외석유개발 사업이 에너지 가격 안정화를 통해 경제에 미치는 효과는 GDP를 약 0.47% 증가시킨 효과 (2012년 GDP 기준 연간 약 5.7조 원)에 비견되는 것으로 평가되어, 해외석유개발사업에의 지속적인 투자 확대와 자원이 필요함을 알 수 있다.

**주제어** : 해외석유개발사업, 거시경제모형, 선형이차 동태계획법

**JEL 분류** :Q21, Q42

접수일(2016년 4월 13일), 수정일(2016년 6월 11일), 게재확정일(2016년 6월 14일)

<sup>†</sup> 본 연구는 고려대학교 특별연구비에 의하여 수행되었다. 아울러 이 논문은 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2016, 특화전문대학원 연계 학연협력지원사업)을 밝혀둔다.

\* 고려대학교 식품자원경제학과 교수, KU·KIST 그린스쿨 대학원 겸임교수, 주저자(e-mail: [hjeongpark@korea.ac.kr](mailto:hjeongpark@korea.ac.kr))

\*\* 에너지경제연구원 부연구위원, 교신저자(e-mail: [fisherkjk@keei.re.kr](mailto:fisherkjk@keei.re.kr))

# A Real Business Cycle Model to Study the Effect of Overseas Oil Resource Development on the Korean Economy<sup>†</sup>

Hojeong Park\* and Jaekyung Kim\*\*

**ABSTRACT :** The development of overseas resource is a driving force to secure the energy security in Korea with low sufficiency rate of energy. This paper analyzes the effect of overseas oil resource development on the economy by presenting a real business cycle model with consolidated energy price index. A linear-quadratic dynamic programming is adopted to raise computational transparency and efficiency. The analysis shows that the overseas oil resource development project during 2010 and 2012 decreases the energy price by 1.2% per annum which effect is equivalent to the positive 0.47% to the GDP. The implication calls for steady and robust support for overseas resource development projects to enhance energy resilience.

**Keywords :** Overseas resource development, RBC, Dynamic programming

---

Received: April 13, 2016. Revised: June 11, 2016. Accepted: June 14, 2016.

<sup>†</sup>This work was supported by the National Research Foundation of Korea Grant funded by the Korean Government(MSIP) (2016, University-Institute cooperation program).

\* Professor, Department of Food and Resource Economics, KU · KIST Green School, Korea University, Main author(e-mail: hjeongpark@korea.ac.kr)

\*\* Associate Research Fellow, Korea Energy Economics Institute, Corresponding author(e-mail: fisherkjk@keei.re.kr)

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

해외석유가스 개발사업은 우리나라에 필요한 원유·천연가스 자원을 우리나라 기업들이 직접 개발함으로써 비상시에 해당 자원을 국내로 도입할 수 있다는 점에서 적극적인 에너지 안보수단이다. 더욱이 원유와 천연가스 가격이 급등할 경우 수입 비용의 증가는 국민경제의 부담으로 연결될 수 있지만, 해외석유가스 개발사업을 통해 확보한 자산은 이 시기에 가치가 상승함으로써 부정적 충격을 완충하는 역할도 할 수 있다(산업통상자원부, 2015).

우리나라의 해외석유가스 개발사업은 1981년 인도네시아 서마두라 유전개발사업을 시작으로, 2013년 말까지 36년 동안 59개국 367개 사업으로 확대되었으며, 2013년말 기준 UAE, 이라크, 베트남 등 37개국에서 193개 사업을 진행 중에 있다. 그동안 투입된 투자액은 470억 달러이며, 이 중 56%인 263억 달러가 회수되었다(산업통상자원부, 2015). 이와 같은 적극적인 투자에 힘입어, 석유·가스 자원개발률의 제고라는 성과를 거두게 되었다.<sup>1)</sup> 특히, 2007년 제3차 해외자원개발기본계획이 수립된 후 정부의 과감한 지원과 국제적인 고유가로 인한 기업의 에너지 확보 증대 필요성이 맞물려, 우리 기업이 해당 사업에 참여하여 확보한 원유·천연가스의 일일생산량은 2007년 125,000bbbl에서 2013년 466,000bbbl로 4배 가까이 증가하였으며, 이에 따라 자원개발률도 2007년 대비 3.3배가 증가한 13.6%로 제고되었다(이철규, 2014).

자주적인 석유·가스 공급능력의 확충이라는 가시적 성과에도 불구하고, 최근 해외석유가스 개발사업의 구조조정 등에 대한 사회적 요구가 높은 것 또한 현실이다. 특히, 국제유가가 안정화되어 자원개발의 실익이 감소했다는 점과 함께 에너지 공기업의 재무구

1) 그동안 사용되어 왔던 “자주개발률”이라는 명칭은 2014년 9월 발표된 제5차 해외자원개발기획계획에 따라 ‘자원개발률’로 변경되었다. 이러한 명칭변경은 평시 도입을 하지 않더라도 위기 시 스왑(swap) 등을 통해 도입이 가능한 물량과 지분수익을 통해 간접적으로 경제적 기여가 가능한 물량까지 포괄된 개념임에도 불구하고, 기존 명칭의 ‘자주(自主)’라는 단어로 인해 현재 ‘국내에 도입되고 있는 자원량’으로 오해를 유발하였던 것이 원인이 되었다. 산정방식도 기존에는 ‘실조업일수 기준(1일 자원개발물량/1일 수입량)’에서 ‘연간기준(연간생산량/연간수입량)’으로 변경되었다(이철규, 2014). 비록 본 연구에서 지칭하는 자원개발률은 이러한 산정방식 변경을 반영하지 않은 사실 상 자주개발률을 의미하지만, 변화된 공식명칭을 반영하여, 용어 상의 혼선을 피하고자 하였다.

조악화에 대한 대중적 비판이 이를 더욱 가중시키고 있다. 또한 주요 에너지 공기업들이 급격한 외형적 성장을 위해, 단기간 M&A, 소지분·비운영권사업 투자 등 물량위주 사업 확대에 주력함으로써 운영능력 제고, 우수기술인력 양성, 다양한 경험축적 등 질적 역량 향상에 소홀했던 부작용들이 지적되고 있다(이철규, 2014).

자원의 자주개발률을 제고하기 위한 해외석유가스 개발사업은 자본과 기술집약적인 이른 바 고위험 고수익 성격을 지니고 있으며, 대규모의 초기투자비용이 발생함에도 불구하고, 이로 인한 수익창출의 측면에서 불확실성이 존재하여 실패에 대한 위험이 상대적으로 큰 사업이라고 할 수 있다.<sup>2)</sup> 관련 위험을 감수하고서도 적극적인 해외석유개발 사업을 진행하기 위해서는 단기적 성과 지표에 대한 고려와 아울러, 해외석유가스개발 사업이 국가의 경제에 미치는 파급효과를 정량적으로 평가하는 노력이 필요하다.

본 연구에서는 해외석유가스 개발사업의 경제적 파급효과를 계량화하는 모형을 개발함으로써 국민경제에 대한 기여도를 파악하고자 한다. 연구의 목적에 적합하도록 에너지 부문을 반영한 실물경기변동(Real Business Cycle) 모형을 구축하여 해외석유개발사업이 갖는 국가경제에 대한 기여도를 정량 분석하도록 한다. 본 연구에서는 Hansen (1985)과 유사한 실물경기변동모형을 이용하지만, 기존의 연구와는 차별되게 통합에너지가격을 포함한 형태로 확장함으로써, 해외석유가스 개발사업이 국내 거시경제에 미치는 효과를 분석할 수 있도록 개량하도록 한다. 특히, 선형이차 동태계획 알고리즘을 적용함으로써 연산의 효율과 투명성을 제고하고자 한다.<sup>3)</sup>

## 2. 선행연구 검토

본 연구와 직접적으로 관련된 선행연구로서 해외석유가스개발의 국내 경제·산업효과를 분석한 정우진(2013)은 거시경제모형을 적용하여 해외석유가스 개발사업을 통한 회수액의 국내도입효과 분석을 시도한 바 있다. 거시경제모형의 분석결과, 2011년을 기

---

2) 이러한 특성으로 인해서 지금까지의 대부분의 해외석유가스 개발사업은 안정성을 추구하는 지분투자의 형태로 진행되어 왔던 것이 사실이다. 사업에 대한 위험을 감수한다 하더라도 운영권을 가지고 직접적인 광구개발에 참여할 경우에 석유가스개발사업에 대한 학습효과 및 긍정적인 경제적 파급효과를 가질 수 있을 것으로 기대한다.

3) 선형이차동태계획(LQDP: linear-quadratic dynamic programming) 모형은 KDI 다부문 산업연관모형을 동태적으로 확장하여 온실가스 감축정책의 경제적 파급효과를 분석한 박호정(1993)에 의해 국내에 소개된 바 있다.

준으로 해외석유개발사업 회수액의 국내도입으로 인해서 경상수지가 2.226%, 실질 GDP는 0.401% 증가한 것으로 나타났고, 실업률은 0.489%, 환율은 0.379% 만큼 감소한 것으로 나타났다.

한편 해외석유가스 개발사업이 유가변동 충격의 완화역할을 담당할 수 있기 때문에, 유가변동성이 거시경제적으로 미치는 파급효과에 관한 기존 연구도 살펴볼 필요가 있다. 이러한 연구로는 Kim and Loungani (1992), Ferderer (1996), Guo and Kliesen (2005) 등과 같이 주로 국제유가가 거시경제 지표에 미치는 영향을 분석한 연구들로부터, Lippi and Nobili (2008), 송승주(2008), 차경수(2009), Plante and Traum (2012), Baskaya et al. (2013) 등과 같이 상대적으로 정교한 거시경제모형을 기반으로 분석한 연구들까지 다양한 스펙트럼을 형성하고 있다.

한편, 국내 연구의 경우 유가충격이 거시경제에 미치는 파급효과를 분석한 연구로서 송승주(2008)는 DSGE 모형에 에너지를 생산요소로 포함하여 유가충격 효과분석을 시도하여, 소비와 노동공급이 유가상승 충격 초기에는 증가하였다가 곧 감소하는 형태를 보인 반면, 유가상승이 비용 인플레이션을 유발할 수 있음도 보여 주었다. 또한, 차경수(2009)는 에너지 소비구조의 변화를 반영한 DSGE 모형을 구축하여 유가충격이 실물경기변동에 미친 효과를 실증 분석한 바 있다. 1981년부터 2008년까지의 데이터를 이용하여 분석한 결과, 유가상승의 충격은 소비와 산출량의 감소를 상당 기간 유발시키는 반면, 정부의 에너지 소비 절감정책은 에너지 소비를 효과적으로 감소시키면서도 투자와 산출량을 증가시키는 것으로 나타났다. 차경수(2009)는 해외자원개발사업을 직접적으로 언급하거나 분석하지는 않았지만, 시뮬레이션 분석에서 향후 원유 소비의 비중이 축소될 경우, 국제유가 상승의 부정적인 충격이 완화될 수 있음을 보여주었다.

본 연구에서는 실물경기변동모형에서의 에너지 가격 효과분석을 수행하기 위하여, 에너지 부문을 포함한 거시경제 모형을 구축하고, Sanchez (2009), Hansen and Sargent (2014) 등이 적용한 바 있는 선형이차 동태계획법 알고리즘을 적용하여 연산의 효율과 투명성을 제고하고자 한다.

아래 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 에너지 요소가 반영된 실물경기변동모형을 개발, 구축하도록 한다. III 장에서는 해당모형을 위한 실증분석을 통해 해외석유자원개발의 거시경제적 파급효과를 분석한다. 결론 및 시사점은 IV 장에서 제시하도록 한다.

## II. 분석 모형

### 1. 에너지-거시경제모형 구축

본 연구는 에너지 소비를 반영한 거시경제모형으로서, 실물경기변동 모형에 에너지 소비를 포함한 형태로 확장하여 구축하고자 한다. 우선 대표적 소비자(representative consumer)의  $t$ 시점의 효용함수를 소비재  $C_t$ 와 노동  $h_t$ 로 구성된  $U(C_t, h_t)$ 라 한다면, 두 변수의 최적경로는 다음과 같은 형태의 목적함수에 대한 동태 최적화를 통해 도출할 수 있게 된다.

$$E_0 \sum_{t=0}^{\infty} \delta^t \frac{1}{1-\sigma} U(C_t, h_t) = E_0 \sum_{t=0}^{\infty} \delta^t \frac{1}{1-\sigma} \left[ C_t - \frac{h_t^{1+\eta}}{1+\eta} \right]^{1-\sigma} \quad (1)$$

여기서  $\delta$ 는 할인율을,  $\sigma$ 는 위험회피계수(risk aversion parameter)를 의미하며, 소비와 여가에 대한 한계대체율  $\eta$ 은 실질임금에만 의존하는 GHH(GreenwoodHercowitzHuffman) 선호를 따른다고 가정한다(Greenwood et al., 1988)<sup>4)</sup>. 노동-여가의 전체 시간을 정규화할 때,  $1 - h_t$ 는 여가를 나타낸다.

한편, 생산부문에서는 투입요소인 자본  $k_t$ , 노동  $h_t$ , 그리고 에너지  $e_t$ 를 이용하여 산출물  $q_t$ 를 생산하는 함수  $q_t = f(k_t, h_t, e_t)$ 를 설정한다. 이때 투자-소비의 항등식인  $k_{t+1} - k_t = f(k_t, h_t, e_t) - C_t - \theta k_t$ 에서, 항을  $C_t$ 에 대해 재정리하되, 동차 생산함수인 콥-더글라스(Cobb-Douglas) 생산함수를 가정할 경우 다음과 같이 나타낼 수 있게 된다.

$$\begin{aligned} C_t &= f(k_t, h_t, e_t) + (1 - \theta)k_t - k_{t+1} \\ &= A k_t^\alpha h_t^\beta e_t^{1-\alpha-\beta} + (1 - \theta)k_t - k_{t+1}. \end{aligned} \quad (2)$$

4) 국제유가가 경제에 미치는 영향을 소규모 개방경제 모형으로 분석한 Bakaya et al. (2013)에서는 식 (1)의 효용함수의 소비재를 무역거래 대상이 되는 소비재와 대상이 되지 않는 소비재로 구분하였으며, 가계부문에서 공급되는 노동 역시 무역부문과 비무역 부문에서의 노동으로 구분한 바 있다.

한편, 에너지의 한계생산물의 가치는 에너지 단위가격과 같아져야 하기 때문에, 산출물을 단위가치재(numeraire)로, 국내 통합에너지 가격을  $p_t$  라고 설정하면, 다음과 같이 경제 전반의 에너지 수요함수를 도출할 수 있게 된다.<sup>5)</sup>

$$e_t = \left[ \frac{(1 - \alpha - \beta) A k_t^\alpha h_t^\beta}{p_t} \right]^{\frac{1}{\alpha + \beta}} \quad (3)$$

이와 같이 도출된 식 (3)의 에너지 수요함수를 식 (2)에 대입, 다시 식 (1)의 효용함수에 삽입하여 다음과 같은 목적함수로 나타낼 수 있다.

$$E_0 \sum_{t=0}^{\infty} \delta^t \frac{1}{1 - \sigma} U(k_{t+1}, h_t | p_t, k_t), \quad (4)$$

$$U(k_{t+1}, h_t | p_t, k_t) = \left[ (A k_t^\alpha h_t^\beta)^{\frac{\alpha + \beta + 1}{\alpha + \beta}} \left( \frac{1 - \alpha - \beta}{p_t} \right)^{\frac{1}{\alpha + \beta}} + (1 - \delta) k_t - k_{t+1} - \frac{h_t^{1 + \eta}}{1 + \eta} \right]^{1 - \sigma}$$

이며, 결국, 상태변수(state variable)  $p_t$ 와  $k_t$ 에 대응하여 동태 최적화를 통해 결정되는 제어변수(control variable)는  $k_{t+1}$ 와  $h_t$ 가 된다.

한편, 국내 통합에너지가격  $p_t$ 는 외생적 확률과정을 따라 변화된다고 상정하고, 앞서 인용한 다른 실물경기변동모형 선행연구차경수(2009) 등과 마찬가지로 다음과 같이 AR(1)의 비교적 단순한 과정을 따르는 것으로 가정한다.

$$p_{t+1} = \lambda_0 + \lambda_1 p_t + \epsilon_t. \quad (5)$$

만일 초기조건으로서 에너지 가격  $p_0$ 가 주어진다면, 다음 소절에서 설명할 선형이차 동태계획 알고리즘을 활용하여, (4)에 대한 동태 최적화 연산을 통해서 제어변수들(또는 정책변수들)의 최적경로  $k^*$ ,  $h^*$ 를 구할 수 있게 되며, 다음과 같이 이를 활용하여  $q^*$ 의

5) 조건식  $p_t = (1 - \alpha - \beta) A k_t^\alpha h_t^\beta e_t^{-(\alpha + \beta)}$  를  $e_t$ 에 대해 정리하면 쉽게 식 (3)을 도출할 수 있다.

최적경로 또한 산정이 가능하다.

$$q^*|_{p_0} = A(k^*)^\alpha (h^*)^\beta \left[ (1 - \alpha - \beta) A(k^*)^\alpha (h^*)^\beta / p_0 \right]^{(1 - \alpha - \beta) / (\alpha + \beta)} \quad (6)$$

그리고 만일 국제유가나 자원개발률 등의 외생적 조건이 변화했을 때, 국내 통합에너지가격  $p_0$ 가  $p_1$ 로 바뀐다면, 식 (6)을 활용하여 GDP에 미치는 충격(곧 파급효과)를 다음과 같이 산출할 수 있다.

$$\Delta q = q^*|_{p_1} - q^*|_{p_0} \quad (7)$$

## 2. 동태 최적화

전 소절에서 제시한 에너지 수요가 반영된 에너지-거시경제 연계 실물경기모형을 활용하여 분석을 수행하고자 한다면, 동태 최적화를 위한 연산작업이 요구된다. 보통 실물경기변동모형의 연산 방법론은 크게 세 가지로 구분된다. 우선 모형에서 도출된 벨만(Bellman) 방정식의 비선형 함수를 근사값으로 연산하는 축차적 동태 최적화(Recursive dynamic optimization) 방식이 있다. 이 방식은 거시경제모형 내에 모수나 함수의 개수가 그리 많지 않을 때 비교적 수월하게 적용될 수 있으나, 추정모수와 방정식이 많아지게 되면 연산이 상당히 어렵게 된다는 단점도 지니고 있다. 다음으로 로그-선형 근사(log-linearization) 방식이 있는데, 이는 1계 조건과 예산제약 등의 모형식을 로그-선형 회함으로써 연산이 가능한 형태로 함수 구조를 재구축하는 방식을 지칭한다. 이 방식은 비선형 연립 차분방정식 시스템의 해석해를 구하는 것이 대부분 불가능하기 때문에 수치해석 방식을 취한다는 점에서 번거로움이 있는 것이 사실이다. 마지막으로 선형이차 동태계획(Linear Quadratic Dynamic Programming: LQDP) 알고리즘을 이용하는 방식이 있다. 이 방식은 로그-선형 근사와 마찬가지로 비선형 연립방정식 체계를 수치해석으로 구하는 방식이지만, 기본구조가 이차방정식 형태의 목적함수와 선형함수 형태의 제약식으로 구성되기 때문에, 행렬함수로의 연산이 비교적 수월하다는 장점을 지니고 있다. 본 연구는 이러한 장점을 지닌 선형이차 동태계획 알고리즘을 채택하여, 앞서 구축



한 실물경기모형의 동태 최적화 연산작업을 수행하고자 한다.

선형이차 동태계획 알고리즘을 적용하기 위해, 우선 Sanchez (2009), Hansen and Sargent (2014) 등과 같이 모형의 기본적인 목적함수가 다음과 같은 2차 방정식 형태의 함수로 가정한다.

$$E_0 \sum_{t=0}^{\infty} \delta^t z_t' M z_t. \quad (8)$$

여기서  $z_t$ 를  $1 \times m$  차원의 제어변수(control variable) 벡터  $y_t$ 와  $1 \times n$  차원의 상태변수(state variable)의 벡터  $x_t$ 로 구성된  $1 \times (n+m)$  차원의 벡터로 벡터로 구성한다. 정방행렬  $M$ 은 임의의 직교행렬과 상삼각행렬(upper triangular matrix)로 분해하는 QR분해(QR decomposition)를 통해 다음과 같이 나타낼 수 있게 된다.

$$z_t' M z_t = [x_t' \ y_t'] \begin{bmatrix} R & W' \\ W & Q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_t \\ y_t \end{bmatrix}. \quad (9)$$

여기서  $R$ 과  $Q$ 는 양의 대칭행렬이며, 각각  $R: n \times n$ ,  $Q: m \times m$ ,  $W: m \times n$ 의 차원을 갖게 된다. 여기에 확률 전이방정식(stochastic transition equation)  $x_{t+1} = Bx_t + Cy_t + D\epsilon_{t+1}$ 과 같은 선형제약을 첨가한다면, 다음과 같이 동태적제약 하의 동태 최적화 문제를 설정할 수 있게 된다.

$$E_0 \sum_{t=0}^{\infty} \delta^t (x_t' R x_t + y_t' Q y_t + 2y_t' W x_t) \\ \text{s.t. } x_{t+1} = Bx_t + Cy_t + D\epsilon_{t+1} \quad (10)$$

여기서  $E_t(\epsilon_{t+1}) = 0$ 이며, 대각분산행렬을  $\Sigma$ 로 표시된다. 식 (10)의 동태 최적화 문제를 벨만 동태계획법(Bellman dynamic programming)으로 풀다면, 이는 이차함수 형태의 목적함수를 가진 차분방정식으로 표현될 것이므로, 이를 풀 해의 구조도 이차 함수형

태임을 감안하여, 다음 식 (11)의 좌변과 같이 가정할 수 있게 된다.

$$x_t'Px_t + c = \max_{\{y_t\}_t} E_t \sum_{t=0}^{\infty} \delta^{s-t} z_t' Mz_t. \quad (11)$$

여기서  $P$ 와  $c$ 가 모형의 전개 과정에서 구해야 하는 각각의 미지수 행렬과 미지상수라면, 다음과 같은 벨만식(Bellman equation)을 구할 수 있다.

$$x_t'Px_t + c = \max [z_t' Mz_t + \delta E_t(x_{t+1}'Px_{t+1} + c)]. \quad (12)$$

또한, 확률 전이방정식  $x_{t+1} = Bx_t + Cy_t + D\epsilon_{t+1}$ 을 상기 방정식에 삽입하여 항을 재정리하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x_t'Px_t + c = \max [z_t' Mz_t + \delta x_t' B' PBx_t + 2x_t' B' PCy_t + \delta y_t' C' PCy_t + \delta E_t(\epsilon_{t+1}' D' PD\epsilon_{t+1}) + \beta c]. \quad (13)$$

식 (13) 우변의 마지막 두 항에서  $E_t[\epsilon_{t+1}' D' PD\epsilon_{t+1}] = \text{trace}[D' PD\Sigma]$ 이기 때문에, 표기를 단순화하기 위하여, 이를 삽입하는 한편, 상수항만 분리할 경우,  $c = \beta \text{trace}[D' PD\Sigma]/(1 - \beta)$ 이 된다는 점을 감안하여, 상수항을 제외한 나머지 항들을 풀어 전개하면, 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} x_t'Px_t &= \max [z_t' Mz_t + \delta x_t' B' PBx_t + 2x_t' B' PCy_t + \delta y_t' C' PCy_t] \\ &= \max [x_t' Rx_t + y_t' Qy_t + 2y_t' Wx_t + \delta x_t' B' PBx_t + 2x_t' B' PCy_t \\ &\quad + \delta y_t' C' PCy_t]. \end{aligned} \quad (14)$$

그리고 식 (14)에서  $y_t$ 에 대한 최적화 1계 조건이  $[Q + \delta C' PC]y_t = -[W + \delta C' PB]x_t$ 이 되기 때문에, 이를 통해 다음과 같은 최적 정책함수(policy function)가 도출된다.

$$y_t = Fx_t = - [Q + \delta C' PC]^{-1} [W + \delta C' PB] x_t. \quad (15)$$

식 (15)의 최적 정책함수를 연산하기 위해서는 행렬  $P$ 를 식별해야 하며, 이는 행렬  $P$ 가 충분히 큰  $k$ 에 대해 다음의 리카티 방정식(Ricatti equation)을 만족하는 경우, 곧  $P$ 의 고정점(fixed point)을 찾는 방식과 동일하다.

$$P_{k+1} = R + \delta B' P_k B - (\delta B' P_k A + W') [Q + \delta C' P_k C]^{-1} (\delta C' P_k B + W). \quad (16)$$

이상과 같은 선형이차 동태계획 알고리즘을 통해, 주어진 상태변수  $p_t$ 와  $k_t$  하에서 앞서 제시한 식 (4)의 목적함수를 동태 최적화하는 제어변수들(또는 정책변수들)의 최적 경로  $k^*$ ,  $h^*$ 를 연산하기 위해서는 식 (15)을 구성하고 있는 행렬들을 식별할 필요가 있다. 우선 식 (4)의  $U(k_{t+1}, h_t | p_t, k_t)$ 를 각각의 상태변수와 제어변수에 대해 1계 미분한 결과를 다음과 같이 표시한다.

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{\partial u}{\partial p_t} = [\Omega]^{-\sigma} \left[ (A k_t^\alpha h_t^\beta)^{\frac{\alpha+\beta+1}{\alpha+\beta}} \left( \frac{1-\alpha-\beta}{p_t} \right)^{\frac{1-\alpha-\beta}{\alpha+\beta}} \frac{\alpha+\beta-1}{p_t^2(\alpha+\beta)} \right], \\ a_2 &= \frac{\partial u}{\partial k_t} = [\Omega]^{-\sigma} \left[ \frac{\alpha+\beta+1}{\alpha+\beta} (A k_t^\alpha h_t^\beta)^{\frac{\alpha+\beta+1}{\alpha+\beta}-1} \alpha A k_t^{\alpha-1} h_t^\beta \right. \\ &\quad \left. \times \left( \frac{1-\alpha-\beta}{p_t} \right)^{\frac{1}{\alpha+\beta}} + (1-\delta) \right], \\ a_3 &= \frac{\partial u}{\partial k_{t+1}} = - [\Omega]^{-\sigma}, \\ a_4 &= \frac{\partial u}{\partial h_t} = [\Omega]^{-\sigma} \left[ \frac{\alpha+\beta+1}{\alpha+\beta} (A k_t^\alpha h_t^\beta)^{\frac{\alpha+\beta+1}{\alpha+\beta}-1} \beta h_t^{\beta-1} \left( \frac{1-\alpha-\beta}{p_t} \right)^{\frac{1}{\alpha+\beta}} - h_t^\eta \right]. \end{aligned} \quad (17)$$

여기서  $\Omega$ 는 수식 표기의 단순화를 위해서,  $U(k_{t+1}, h_t | p_t, k_t)$ 의 [ ]안 모든 항을 표기한 것이다. 한편, 아래와 같이 2계미분항으로 행렬을 구성한다.  $a_{ij}$ 에서  $i$ 나  $j$ 가 1이면  $p_t$ , 2

이면  $k_t$ , 3이면  $k_{t+1}$ , 4이면  $h_t$ 로 미분하는 것을 의미한다.

$$N = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} \quad (18)$$

위에서 도출된 결과를 이용하여 아래의  $M$  행렬을 구축할 수 있다.

$$M = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} & m_{15} \\ m_{21} & a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ m_{31} & a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ m_{41} & a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ m_{51} & a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} \quad (19)$$

여기서  $m_{11} = \bar{u} + a_1\bar{p} + a_2\bar{k} + a_3\bar{k} + D'AD$  (단,  $D = [\bar{p} \ \bar{k} \ \bar{k} \ \bar{h}]$ )이며,  $m_{1j} = m_{j1} = a_{j-1}$

$$- [\bar{p} \ \bar{k} \ \bar{k} \ \bar{h}] \begin{bmatrix} a_{11} \\ a_{21} \\ a_{31} \\ a_{41} \end{bmatrix}, (j = 2, 3, 4, 5) \text{ 을 나타낸다.}$$

정방행렬  $M$ 이 식별되면, 식 (9)에서 언급 바와 같이 QR분해를 통해 식 (16)의 행렬  $Q, W$ 을 식별할 수 있게 된다.<sup>6)</sup> 한편, 선형제약 조건을 형성하는 확률 전이방정식은 식 (5)를 활용하여 다음과 같이 구성할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} 1 \\ p_{t+1} \\ k_{t+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \lambda_0 & \lambda_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ p_t \\ k_t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_{t+1} \\ h_t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_t \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (20)$$

6) 정상상태는 벨만 방정식의 1계 조건인  $\partial V(k_t)/\partial k_{t+1}$ ,  $\partial V(k_t)/\partial h_t$ ,  $\partial V(k_t)/\partial \epsilon_t$ 를 구한 후, 포락성 정리(envelope theorem)의  $\partial V(k_t)/\partial k_t$ 를 상기 1계조건에 대입하여 정상상태 조건을 취한 균제식을 이용하여 연산하는 방식을 취하였다.

이 경우 식 (15)에서  $B = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \lambda_0 & \lambda_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ ,  $C = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$ 로 식별되게 된다. 이 행렬을 적용하여

식 (16)의 리카티 방정식과 관련된 식 (15)의 최적 정책함수를 만족하는  $k^*$ ,  $h^*$ 의 최적 경로를 연산하게 된다. 그리고 이를 식 (6)과 식 (7)에 적용하여, 자원개발률 증가가 국가 경제(GDP)에 미치는 효과를 추정한다.<sup>7)</sup>

### III. 거시경제효과 분석

본 장에서는 앞에서 구축한 에너지 부문을 포함한 실물경기변동모형을 활용하여, 해외석유가스 개발사업이 갖는 거시경제의 파급효과를 분석하도록 한다. 분석 순서는 먼저 해외석유가스 개발사업 확대로 석유가스 자원개발률 제고가 국내 통합에너지가격에 미치는 영향을 분석하고, 국내 통합에너지가격이 다시 국내총산출(GDP)에 미치는 영향을 분석하는 순서로 이루어지게 된다.

분석자료로서 국내 통합에너지가격은 석유와 가스, 석탄 등의 화석연료를 통합한 에너지 가격으로 상정하고, 국가에너지종합정보시스템(이하 KESIS) 상의 월단위 자료를 이용, 각 원별 소비 비중을 가중치를 적용하여 산정하였다. 산정과정에서 석유는 국내 석유제품 판매기준으로, 휘발유, 등유(실내등유), 경유의 3가지 제품을 대상으로 하였다. 석유가격을 구축하기 위해 필요한 휘발유, 등유(실내등유), 경유의 3가지 석유제품에 대한 가중치는 KESIS 상의 “석유”내의 “석유제품공급”에 있는 공급량을 기준으로 삼았다. 가스는 도시가스(LNG) 판매기준으로 하였는데, 석유와 마찬가지로 KESIS 상의 “LNG수입가격 및 도시가스 가격”을 기준으로 작성하였다. 석탄에 해당되는 유연탄 가격은 두 가지 자료를 혼합하여 활용하였다.

7) 분석을 위한 전체 연산 코드는 Matlab으로 작성되었으며, 관련한 Matlab 프로시저는 저자에게 요청 시 제공될 수 있다.

〈그림 1〉 통합에너지가격 추이 (2003.1-2012.12)

(단위: 원/TOE)



〈그림 1〉은 상기 과정을 거쳐 구축한 국내 통합에너지가격의 추이를 보여주고 있다.<sup>8)</sup> 이를 기반으로 국내 통합에너지가격에 대한 석유가스 자원개발률과 국제유가의 회귀분석 결과, 자원개발률 1% 증가 시 국내의 통합에너지가격은 0.0912% 감소하는 반면, 국제유가(두바이유 기준: \$/bbl) 1% 증가 시 0.8021% 증가하는 것으로 나타났다.<sup>9)</sup> 이로 인해, 적어도 국내 통합에너지가격에 미치는 영향 정도 측면에서 자원개발률 1% 증가의 효과는 국제유가가 0.1135% 하락한 효과로 환산이 가능하게 된다.

〈표 1〉 국내 통합에너지가격 회귀분석 추정결과(종속변수:  $\ln(p)$ )

독립변수	계수	표준오차	주요통계량	
자원개발률	-0.0912	0.0282	$R^2$	0.9899
$\ln(\text{국제유가: Dubai유 } \$/\text{bbl})$	0.8021	0.0713	Adj. $R^2$	0.9871
상수	7.6348	0.4657	log-lik	28.35019
			D-W	2.8485

8) 에너지시계열 데이터는 1997년부터 구축된 자료를 사용하지만, 해외자원개발효과는 정부 정책이 강화된 2000년대 말부터 살펴보도록 한다.

9) 자원개발률의 내생성 문제를 보완하기 위해 2단계 최소자승법에서 도구변수로 녹색성장정책 기간의 터미변수를 활용하였다.

다음으로 국내 에너지수요와 통합에너지가격과의 관계를 살펴보기 위해, 식 (3)의 에너지 수요함수 양변에 로그를 취하여 정리, 다음과 같은 추정식을 도출하였다.

$$\ln e_t = \gamma_0 + \gamma_1 \ln k_t + \gamma_2 \ln h_t + \gamma_3 \ln p_t + \rho_t \quad (21)$$

여기서 각 추정계수들은  $\gamma_0 = \ln((1 - \alpha - \beta)A)/(\alpha + \beta)$ ,  $\gamma_1 = \alpha/(\alpha + \beta)$ ,  $\gamma_2 = \beta/(\alpha + \beta)$ ,  $\gamma_3 = -1/(\alpha + \beta)$  이기 때문에, 식 (21)를 추정할 경우, 각각의 추정계수들로부터,  $\alpha$ ,  $\beta$ , 그리고  $A$ 의 값을 도출할 수 있다. 식 (21)의 추정작업을 위해, 에너지소비(는 에너지경제연구원이 발표하는 총에너지 소비(TOE)를, 자본은 한국은행의 생산자본스톡(명목, 연말, 십억원)을, 노동 자료는 한국은행 총고용자수를, 그리고 에너지가격은 두바이 기준 국제유가를 사용하였다(<표 2> 참조).

<표 2> 에너지 수요함수 추정에 사용된 자료

변수명	자료원	평균	표준편차
에너지소비 (천TOE)	에너지경제연구원: 총에너지 소비 (석탄, 석유, LNG, 수력, 원자력 및 신재생포함)	156,043	76,813
자본 (조원)	한국은행: 총자본형성 (계절조정, 실질, 분기)	1,907,746	1,735,198
노동 (천명)	한국은행: 사업체 총종사자수 (연간)	19,844	3,317
국제유가 (달러)	IEA 및 BP: 국제유가 (두바이 기준; \$/bbl)	36	28

식 (21)의 추정에 있어, 국내 통합에너지 가격이 에너지 수요에 미치는 영향을 살펴봐야 하지만, 통합 에너지가격을 사용하였을 경우 시계열 자료가 1997년부터만 가용하여 추정에 있어서 통계적 유의성이 확보되지 않았다. 따라서, 석유·가스 자원개발률 증가가 유발하는 국내 통합에너지 가격의 감소 효과를 이에 대응하는 국제유가 하락 정도를 역산한 후, 추정된 식 (21)를 이용하여 국내 에너지 수요의 변화크기를 계산하는 우회적 전략을 취하였다. 식 (21)의 추정결과는 <표 3>에서 보는 바와 같이, 국제유가와 에너지 수요의 (-) 관계가 통계적으로 충분히 유의미하게 나타났다.

〈표 3〉 에너지 수요함수 추정 결과

변수	계수	표준오차	주요통계량	
상수	0.1482	0.5808	$R^2$	0.9972
$\ln k$	0.3998	0.0391	Adj. $R^2$	0.9969
$\ln h$	0.7214	0.2650	log-lik	65.6174
$\ln p$	-0.0687	0.0119	D-W	1.3248

이어서, 구축된 에너지 통합 실물경기변동 모형을 기반으로 시뮬레이션을 시도하였다.<sup>10)</sup> 지난 2010년에서 2012년까지 2년 동안 석유·가스의 자원개발률은 10.8%에서 13.8%로 2%p 증가하였는데, 이를 연평균으로 환산하면 연평균 13.79% 증가한 것이라 할 수 있다. 앞서 언급한 바와 같이 석유가스 자원개발률 1% 증가 시 국내 통합에너지가격은 0.0912% 감소하기 때문에, 연평균 13.79%의 자원개발률 증가는 통합에너지가격을 1.2576% 감소시킨 것으로서 다른 모든 조건이 일정할 때 국제유가가 1.5679% 하락한 효과로 환산이 가능하다. 상기 효과를 식 (7)로 평가해보면, 국내 에너지통합가격의 하락은 연간 국내총생산(GDP)을 0.47% 정도 증가시키는 효과가 있으며, 이는 2012년 GDP 기준으로 연간 약 5.7조원에 이르는 규모라 할 수 있다.

한편, 2008년을 기준으로 할 경우 석유·가스의 자원개발률이 5.7%에서 2012년의 13.8%로 8.1%p 성장하여, 연평균 26.37% 증가하였는데, 이는 통합에너지가격을 약 2.4049% 하락시킨 효과로 간주할 수 있으며, 역시 다른 모든 조건이 일정할 때, 국제유가가 2.9983% 하락 시 발생하는 효과와 견줄 수 있다. 이로 인한 경제적 효과는 GDP를 약 0.64% 증가시키는 것으로 평가되었다(<표 4> 참조). 이상의 결과에서 짐작할 수 있듯이 석유가스 자원개발률이 증가할수록, 자원개발률 증가가 GDP에 미치는 긍정적인 효과(곧 GDP 기여율) 역시 증가되기 때문에 자원개발률을 제고하는 정책은 분명한 실효성이 있다고 평가할 수 있다. 그러나 <그림 2>에서 확인할 수 있는 바와 같이, 그 효과의 불확실성(신뢰구간) 역시 동시에 증폭되기 때문에 기대하는 수준 이상의 효과가 발현될 수 없는 경우가 발생할 수 있음도 감안해야 한다.

10) 위험회피계수는  $\sigma=1$ 로 가정하였다 (Greenwood et al. 1988, Heer and Maussner, 2004).

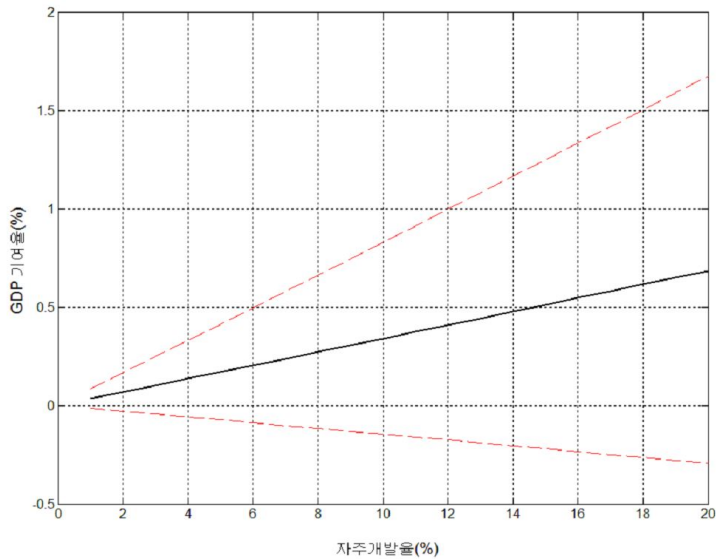


〈표 4〉 석유·가스 자원개발률의 GDP 기여효과

기간	석유가스 자원개발률 변화	통합에너지가격 하락효과	GDP 기여율 (증가효과)
2010-2012	10.8% → 13.8% (연평균 13.79%)	1.2576% 감소	0.47% (-0.18%~1.13%)
2008-2012	5.7% → 13.8% (연평균 26.37%)	2.4049% 감소	0.64% (-0.21%~1.42%)

\* 95% 신뢰구간에서의 GDP 증가효과

〈그림 2〉 석유가스 자원개발률의 GDP 기여효과 (95% 신뢰구간)



한편, 이러한 결과를 유사 선행연구와 비교해보면, 정우진(2013)은 해외석유가스 개발사업의 GDP 기여효과를 약 0.4% 정도로 보고 있어, 본 연구의 결과와 어느 정도 유사함을 알 수 있다.

#### IV. 요약 및 결론

경제활동에 필수불가결한 석유·천연가스 자원에 대한 자주적인 공급능력의 확충을

달성하기 위해, 그 동안 정부와 민간부문 모두 투자와 노력을 기울여 왔다. 그러나 최근 국제 석유시장 환경변화와 에너지 공기업의 재무구조 개선에 대한 사회적 요구 등과 맞물려 이러한 투자와 노력에 대한 사회적 평가가 부정적인 측면이 없지 않다. 이는 해외석유가스 개발사업에 대한 대부분의 성과지표가 매출액이나 수익과 같은 단기적인 지표에 의존하고 있음에서 기인한 것이라 할 수 있다.

본 연구의 평가결과, 그 동안의 해외석유가스 개발사업으로 인해 국내 석유·가스 자원개발률이 2010년의 10.8%에서 2012년의 13.8%로 증가함에 따라 GDP에 약 0.47% 기여한 것으로 나타났다. 더욱이 자원개발률 제고가 지속된다면, 이같은 파급효과 역시 증대될 수 있을 것으로 기대되었다.

우리나라의 해외석유가스개발은 민간부문보다는 공공부문의 비중이 높은 특성을 지니고 있다. 초기 투자비용이 많으며 사업 리스크가 높은 관계로 여전히 석유, 가스 부문의 투자에서는 공공부문의 비중이 80%를 상회하고 있는 것이 현실이다. 이러한 공공부문의 해외석유가스개발 사업은 자본회수나 매출액, 수익률 등 단기적인 수익지표에 집착하기 보다는 중장기적인 관점에서 국가경제에 대한 미래의 잠재가치를 지향하는 방향으로 운영하는 것이 바람직할 것이다.

어떻게 보면, 우리나라의 최근 해외석유가스 개발사업은 국정과제로 운영되면서 해외사업 진출과정에서 높은 프리미엄까지 지불하게 된 측면도 크며 이로 인해 사업 리스크가 불필요하게 증대된 바도 있다. 해외석유가스개발에 대한 정책이 강화되면서 신규 법인의 설립보다는 단기간에 성과를 낼 수 있는 지분인수 방식이 선호된 측면도 분명있다. 향후 상류부문의 자원개발 인수나 자원외교 과정에서는 보다 신중한 확보전술이 유용하다는 점에도 주목해야 할 것이다.

석유자원 빈국인 이탈리아의 자원개발률이 50%, 프랑스는 105%이며, 중국 30%, 일본 23%에 달하고 있는 상황을 감안할 때, 우리나라의 해외석유가스 개발사업은 현재의 성과 지표에 연연하지 말고 보다 적극적인 방향으로 전환될 필요가 있다. 사업 리스크를 합리적인 방향으로 관리할 수 있는 공공 및 민간부문과의 협력 확대와 사업성과를 평가할 수 있는 다양한 지표를 개발하여 사전, 사후 평가하는 시스템으로의 개선이 뒷받침되어야 할 것이다. 아울러 본 논문에서는 석유개발 사업의 고유한 리스크를 평가하지 못하였는데, 이는 관련 산업의 미시 데이터가 확보되는대로 추가적인 연구를 통해 밝혀져야 할 것이다.

[References]

- 박호정, “기후변화협약이 산업별 총산출액에 미치는 파급효과”, 서울대 석사학위논문, 1993.
- 송승주, “물가·성장간 관계변화 분석: 유가변동기를 중심으로”, 금융경제연구, 한국은행 금융경제연구원, 2008.
- 에너지경제연구원, 신 고유가 대응전략연구, 2009.
- 이철규, “우리나라 해외자원개발 발전전략”, 석유, 2014. pp. 87~117.
- 정우진, “해외자원개발의 국내 경제·산업 효과 분석”, 에너지경제연구원 기본연구보고서 13-25.
- 차경수, “실물 경기변동에서 유가충격의 역할에 관한 연구”, 에너지경제연구원, 기본연구보고서 09-01.
- Baskaya, Y. S., T. Hülagü. and H. Küçük, “Oil Price Uncertainty in a Small Open Economy,” *Central Bank of the Republic of Turkey*, 2013.
- Greenwood, J., Z. Hercowitz. and G. W. Huffman, “Investment, Capacity Utilization and the Real Business Cycle,” *American Economic Review*, Vol. 78, No. 3, 1988, pp. 402~417.
- Guo, H. and K. L. Kliesen, “Oil Price Volatility and U.S. Macroeconomic Activity,” *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, Vol. 87, No. 6, 2005, pp. 669~683.
- Ferderer, J. P., “Oil Price Volatility and the Macroeconomy,” *Journal of Macroeconomics*, Vol. 18, No. 1, 1996, pp. 1~26.
- Hansen, P. Lars. and T. Sargent, “Recursive Models of Dynamic Linear Economics,” *Princeton University Press*, 2014.
- Hansen, G. D., “Indivisible Labor and the Business Cycle,” *Journal of Monetary Economics*, Vol. 16, 1984, pp. 309~327.
- Heer, B., and A. Maussner, “Computation of Business Cycle Models: A Comparison of Numerical Methods,” *CESifo working paper*, No. 1207, 2004.
- Kim, I. and P. Loungani, “The Role of Energy in Real Business Cycle Models,” *Journal of Monetary Economics*, Vol. 29, 1992, pp. 173~189.
- Lippi, F. and A. Nobili, “Oil and Macroeconomy: A Structural VAR Analysis with Sign Restrictions”, *working paper. University of Sassari*, 2008.
- McCandless, G., “The ABCs of RBCs: An Introduction to Dynamic Macroeconomic Models,” *Harvard University Press*, 2008.