

실물옵션 게임을 이용한 OPEC의 원유공급 투자모형*

박 호 정**

〈차 례〉

- | | |
|---------|----------|
| I. 서 론 | Ⅲ. 시뮬레이션 |
| Ⅱ. 분석모형 | Ⅳ. 결 론 |

I. 서 론

WTI(West Texas Intermediate) 기준으로 2003년에 연평균 배럴당 31.08달러에 머물렀던 국제유가는 2004년에 접어들어 지속적인 상승세를 보이면서 10월에는 배럴당 최고 56.42달러까지 상승하였다. 우리나라의 기준유가가 되는 두바이유 가격은 동기간 동안 2003년의 배럴당 연평균 26.80달러에서 2004년 10월에는 39.50달러까지 상승하였으며, 최근 2005년 3월에는 45달러대까지 진입하기에 이르렀다.

* 한국경제통상학회의 2005년 춘계학술대회에서 조연을 해 주신 부경대학교의 이병근 교수와 대구가톨릭대학교의 박재환 교수, 그리고 두 분의 임명의 심사위원께 감사드린다.

** 전남대학교 경영대학 경제학부.

이와 같은 국제유가의 상승이 일시적인 현상에 머물지 아니면 지속적으로 상승추세를 이어갈지에 대한 많은 의문과 논의가 그간 있어 왔다. 최근 상승국면에 있는 국제유가의 이면에는 단기적으로는 기상변화, 중동의 불안정한 정세요인, 미국의 재고유 부족 등이 있겠지만, 장기적이고 보다 근원적인 문제로는 세계의 석유수요 증가를 충족시킬 수 없는 공급측면 한계를 들 수 있다.

석유의 공급은 크게 중동의 주요 산유국과 베네수엘라 등을 포함하는 OPEC(석유수출국기구)와 그 외 러시아, 미국, 영국 등 비OPEC 권역의 국가들에 의해 결정되기 때문에, 향후 석유의 공급과 국제유가에 대한 전망을 위해서는 OPEC 및 비OPEC에 대한 연구가 선행되어야 한다. 지금까지의 대부분 연구는 유가의 변동, 특히 원유공급과 연관된 유가의 변동성에 주목하거나 OPEC를 중심으로 한 세계 석유시장의 구조변화를 분석하였는바, 다음의 네 가지 관점으로 구분할 수 있다.

첫째는 시장경쟁모형으로서 석유도 다른 재화와 마찬가지로 시장의 경쟁적 원리에 의해 결정된다는 견해를 바탕으로 한다. 예를 들어, MacAvoy (1982)는 석유의 수요와 공급의 균형조정 과정을 거쳐 유가가 결정된다고 주장하였다. 즉, 시장의 경쟁원리가 OPEC라는 카르텔의 힘을 능가한다고 보는데, 대부분의 실증분석 결과 이 관점은 OPEC의 석유공급 행태에 대해 그리 만족스러운 설명을 제공하지 못한다는 지적을 받고 있다.

둘째로, 목표수입모형(target revenue model)을 들 수 있는데, 이 역시 비담합 모형의 일종으로서 산유국들은 재정운영에 필요한 오일머니만큼만 확보하는데 목표가 있다고 본다. 정부재정에 필요한 이상의 과도한 오일머니가 국내에 유입되면 사회·문화적 인프라가 확대되어 국민들의 민주적 의식 수준이 증가하게 되는데, 이러한 결과를 원치 않기 때문에 원유의 공급곡선은 이른바 후방굴곡(backward bending) 곡선의 형태로 나타난다는 것이다. 따라서 석유수출을 통해 어느 수준의 수입을 달성하게 되면, 국제유가가 오른다고 해서 공급량을 더 증대시키지는 않는다. Yang *et al.* (2002)의 추정결과에 의하면 목표수입모형이 OPEC의 행태를 설명하는데 비교적 유의하긴 하지만, OPEC의 증·감

산 결정과 맞물려 유가의 등락을 시험하는 국제석유시장을 볼 때에 설득력이 약하다는 지적을 받는다.

세 번째 견해는 OPEC라는 결속력이 강한 카르텔 집단에 의해 그 가격이 결정된다고 보는데, 대표적인 논문으로는 Hnyilicza and Pindyck (1976), Tourk (1977), Alhajji and Huettner (2000) 등을 들 수 있다. 카르텔 이론에 의하면 사우디아라비아 또는 OPEC의 핵심국가(사우디아라비아, 쿠웨이트, 카타르)가 지배적 생산자이며 그들에 의해 국제유가가 주도적으로 결정되는데, 이와 같은 견해는 Griffin (1985)에 의해 강력히 뒷받침되었다. 그는 OPEC의 행태를 설명하는 위의 세 가지 종류의 공급모형을 1971년~1983년까지의 자료를 활용하여 검토하였는데, 카르텔 모형이 OPEC의 행태를 가장 적절히 설명하는 것으로 나타났다. 하지만 Griffin (1985)이 분석한 기간은 유가가 지속적으로 상승하기만 했던 시기였기 때문에 원유공급과 유가 간의 관계를 제대로 파악할 수 없다는 지적이 제기됨에 따라 Jones (1990)는 유가가 하락하는 기간을 포함하는 1983년 4분기부터 1988년 4분기까지의 기간을 분석하였는데, 이 역시 카르텔 모형의 설명력이 유의함을 보여주었다.

마지막으로 네 번째 접근방법은 OPEC와 비OPEC 간의 상호 경쟁적 관계 속에서 OPEC의 원유공급 결정에 비OPEC의 원유공급이 영향을 미친다고 보는데, 최근 Tvedt (2002)의 논문을 들 수 있다. 앞의 세 가지 접근방법은 유가결정과 관련하여 OPEC라는 단일 경기자의 역할을 분석하는데 초점을 두어 OPEC의 가격결정 과정에 비OPEC가 어떤 역할을 하는지 고려하지 않은 반면, Tvedt (2002)은 OPEC가 비OPEC의 원유 공급량을 반영하여 자신의 공급량을 결정한다고 보았다. 과거 전세계 원유공급의 70% 이상을 중동산 원유에 의존하였던 시기에는 OPEC는 비OPEC 권역의 원유공급에 영향을 받지 않은 채 원유공급 물량을 결정할 수 있었다. 하지만, 1970년대의 오일쇼크 이후 중동산 원유 의존도를 낮추고자 하는 선진국의 석유개발 투자 결과 비OPEC의 시장점유율이 증가하여 최근에는 OPEC가 약 40%, 비OPEC가 약 60%를 차지하기에 이르렀기 때문에, OPEC는 비OPEC의 공급을 신중하게 반영하여 생산계획을 수

립한다. 이에 Tvedt (2002)은 비OPEC와의 시장점유율 경쟁을 의식하여 OPEC는 유가가 지나치게 증가하지 않도록 적정 수준의 가격대를 유지하려는 인센티브를 가진다고 전제하고, OPEC의 원유공급 증대를 위한 투자를 촉발하는 국제유가 수준을 구하였다.

본 논문은 Tvedt (2002)에서와 마찬가지로 OPEC가 비OPEC와의 시장점유율 경쟁 속에서 원유의 공급증대를 촉발하는 국제유가 수준을 분석하도록 한다. 즉, 유가가 어느 수준 이상을 상회하게 되면 비OPEC의 생산설비 확장투자가 이루어져 비OPEC의 시장점유율이 확대될 수 있기 때문에, OPEC는 선점의 목적에서 비OPEC의 투자 이전에 자신이 먼저 원유의 공급용량을 확대할 것이다. 반면, 유가가 너무 하락하면 수입이 감소하므로 OPEC는 유가의 인상을 유도하기 위해 감축결정을 내린다. 본 연구는 이와 같은 원유의 공급증대 투자와 감축 투자를 국제유가의 불확실성 속에서 살펴보도록 하는데, 이 점은 Tvedt (2002)과 동일하다. 즉, 국제유가의 불확실성을 반영하는 실물옵션 모형을 바탕으로 OPEC의 공급능력 확장과 감축투자를 콜옵션과 풋옵션으로 해석한다.

본 연구가 지니는 Tvedt (2002)와의 차이점은 다음과 같다. 그는 우선 정태적 모형에서부터 출발하여 OPEC와 비OPEC와의 게임에서 하부게임완전균형(subgame perfect equilibrium)을 도출하였지만, 실물옵션을 이용한 확률모형으로 확장하면서 게임적 요소를 실질적으로 고려하지 않은 채 OPEC의 의사결정만 분석하였다. 반면 본 연구는 비OPEC의 증산효과를 전략적으로 고려하는 OPEC의 원유공급 행태를 설명하기 위해 Weeds (2002)에서 소개된 방법을 따라 게임이론과 실물옵션을 접목한 모형을 제시하는데 의의를 둔다. OPEC의 공급결정에서 상대 경기자인 비OPEC의 의사결정을 내생화한 마야코브 균형(Markov perfect equilibrium)을 도출하고, OPEC의 공급능력 확장투자와 감축 투자를 유발하는 국제유가의 임계치를 도출할 수 있다. 또한 임의의 데이터를 활용해서 시뮬레이션에 그친 Tvedt (2002)과는 달리 본 연구는 국제유가 데이터를 직접 활용하여 국제유가 임계치를 산출하도록 한다.

이로써 향후 OPEC가 유가밴드와 관련하여 어떠한 입장을 취할지에 대해 나

름대로의 전망을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.¹⁾ 2000년 3월 결정된 OPEC의 유가밴드 메커니즘에 따르면 OPEC의 배스킷 가격 기준으로 국제유가가 거래일 20일 연속 배럴당 28달러를 초과하거나 10일 연속 배럴당 22달러 미만에 머물면 공급조정이 이루어지도록 되어 있다. 비록 OPEC가 실제 유가밴드에 따라 공급조정을 한 예는 드물지만, 그 동안 잠정적으로 폐기된 것과 마찬가지로 유가밴드를 조만간 상향조정할 것으로 예상되는 현 시점에서 OPEC의 전략적 위치를 가늠하는 정보를 제공할 수 있다는 점에서 본 연구의 의의를 찾을 수 있을 것이다.

논문의 구성은 다음과 같다. 제Ⅱ장에서는 실물옵션 게임모형을 제시하며, 제Ⅲ장에서는 국제유가와 OPEC, 비OPEC의 공급 데이터를 활용한 시물레이션을 통해 OPEC의 전략적 유가밴드를 산출한다. 결론은 제Ⅳ장에서 맺는다.

Ⅱ. 분석모형

국제유가의 불확실성 하에서 OPEC의 원유 공급능력의 확장 및 감축투자를 분석하는 기본모형으로 실물옵션을 활용한다. 석유의 공급증대를 위한 설비투자는 일종의 만기무한 아메리칸 콜옵션(perpetual American call option)에 해당하며, 석유의 공급감축을 위한 설비축소는 만기무한 아메리칸 풋옵션에 해당한다. 그리고 확장옵션과 감축옵션을 행사할 때의 행사가격은 곧 자본의 조정비용(capital adjustment cost)이 된다. 국내에서는 이미 자원활용과 관련하여 실물옵션 기법을 이용한 다수의 논문들이 발표되었다. 윤원철·손양훈·김수덕(2003)은 발전소 건설투자를 분석하였으며, 이인석·허은녕(2002)은 해외자원개

1) Yang *et al.* (2002)은 본 논문이나 Tvedt(2002)과는 다른 관점에서 분석하였지만 당시의 적정 유가밴드를 계산한 바가 있다. 석유수요의 장기가격탄력성이 높으므로 유가의 인상은 수요를 감퇴시키게 되어 결국 유가가 하향 조정된다고 전제하여, OPEC의 이해관계와 일치하는 2002년 당시의 유가밴드가 배럴당 대략 22~28달러로 될 것이라고 보았다.

발사업 평가에 적용하였고, 박호정·황의식(2004)은 농업투자 타당성을 복합옵션으로 분석한 바 있다. 하지만, 이들 논문에서의 접근방법은 투자 의사결정자가 다른 경쟁적 상황을 고려할 필요가 없는 경우에 해당하므로, 비OPEC의 공급전략을 OPEC가 고려해야 하는 상황에는 적합하지 않기 때문에, 본 연구에서는 Weeds(2002)의 방법을 따르기로 한다.

아래에서 하첨자 $i=1$ 은 OPEC, $i=2$ 는 비OPEC를 나타낸다. Tvedt(2002)을 따라 OPEC는 선도자, 비OPEC는 후발자로 설정하였다. 매 기간 t 에 OPEC와 비OPEC의 원유공급량이 $q_1(t)$ 와 $q_2(t)$ 이면 국제시장에서의 총원유 공급량은 $q(t) = q_1(t) + q_2(t)$ 가 된다.²⁾ OPEC와 비OPEC 권역에서 석유의 확인매장량(proven reserves)이 각기 Q_1 과 Q_2 일 때 고갈자원인 석유스톡의 변화율은 다음과 같다.

$$dQ_i = -q_i dt, \quad i = 1, 2 \quad (1)$$

OPEC의 배스킷 가격은 식 (2)에서처럼 OPEC와 비OPEC의 원유공급량에 의해 확정적으로 결정되는 $\eta(q_1, q_2)$ 와 확률요소인 θ 의 두 가지 요소를 통해 결정된다고 하자.³⁾

$$p = \theta \eta(q_1, q_2) \quad (2)$$

배스킷 가격은 원유공급이 증가하면 하락하므로 $\partial \eta(q_1, q_2) / \partial q_i < 0$ 을 만족

2) 원유는 잉여생산까지 거의 소진된 최대생산한계까지 공급된다고 가정한다. 이하 표기의 단 순화를 위해 특별히 필요하지 않는 경우 시간을 나타내는 t 는 제외하기로 한다.

3) OPEC의 배스킷 가격은 1987년 1월 도입되었으며, 알제리아의 Saharan Blend, 인도네시아의 Minas, 나이지리아의 Bonny Light, 사우디아라비아의 Arab Light, 아랍에미리트의 Dubai, 베네수엘라의 Tia Juana Light, 그리고 멕시코의 Isthmus 등 일곱 유종 가격의 산술평균가격이다. 대표적인 국제유가인 배스킷 가격과 WTI, 브렌트유의 가격들 간에는 일반적으로 공적분관계가 존재하므로 본 모형에서 사용하는 국제유가는 이들 중 어느 것을 사용하더라도 그 정성적 결과에는 차이가 없다.

한다. θ 는 순수 공급측면 외에 국제유가에 영향을 미치는 확률적 요소로서 국제석유시장에서의 불확실성을 나타낸다. 여기에는 중동지역의 불안한 정세나 예기치 못한 한파로 인한 수요증대가 초래하는 유가상승 등의 부정적인 요소뿐만 아니라, 대체에너지의 개발 등 유가하락을 유발하는 긍정적인 요인들도 포함된다. 본 연구에서는 θ 가 다음의 기하학적 브라운 운동(geometric Brownian motion)의 확률 과정을 따른다고 가정한다.

$$d\theta(t) = \alpha\theta(t)dt + \sigma\theta(t)dz \quad (3)$$

기하학적 브라운에서 θ 의 순간증가율(instantaneous growth rate)인 α 와 순간분산율(instantaneous variance rate)인 σ 는 시간에 대해 불변이다. θ 의 장기적 성장추세는 순간증가율인 α 에 의해 결정된다. dz 는 표준적인 위너증가(Wiener increment)로서 $E(dz) = 0$, $Var(dz) = dt$ 를 만족한다. 즉, 위너증가에서 dz 의 분산이 시간의 증가분으로 표시되기 때문에 $\theta(t)$ 에 대한 불확실성이 시간이 흐를수록 증가하는 특징이 있다.

유가의 시간추세가 기하학적 브라운을 따르는지, 아니면 Ornstein-Uhlenbeck과 같은 평균회귀 과정(mean-reverting process)을 보이는지에 대해서는 여러 가지 이견이 있을 수 있다. 예를 들어, Tvedt (2002)는 비록 기하학적 브라운을 가정한 모형을 소개하였지만, 장기적으로는 국제유가가 어느 평균 수준에 회귀하는 경향이 있다고 주장하면서 Ornstein-Uhlenbeck 과정이 보다 적합하다고 보았다. 본 연구에서는 다음의 두 가지 측면에서 기하학적 브라운 과정을 가정하기로 한다.

먼저, 최근 지속적으로 상승하고 있는 국제유가의 동향을 고려할 때 평균수렴가격대의 존재를 허용하는 평균회귀 과정보다는 기하학적 브라운 과정을 사용하는 것이 보다 타당하다. 물론 장기적으로 국제유가가 상승과 하락을 거듭하면서도 어느 가격대에 수렴한다면 Ornstein-Uhlenbeck 과정이 국제유가를 설명하는데 적합할 것이며, 게다가 Lund (1993)에 의하면 과거 상당수 에너지 가

격은 평균회귀 과정을 따르는 것으로 알려져 있다. 하지만 최근 2년간 가파르게 상승하고 있는 국제유가의 동향을 고려할 때 비정상성(non-stationary) 시계열을 가지는 기하학적 브라운이 경험적으로 적합하다고 본다.

둘째로, 실물옵션 연구에서 기하학적 브라운을 사용하는 모형과 평균회귀 과정을 사용하는 모형의 결과를 비교해 보면, 투자에 관한 그 차이가 뚜렷하지 않은 반면 후자의 경우에는 분석의 복잡도만 증가한다. Metcalf and Hassett (1995)은 이러한 점에서 기하학적 브라운으로 모형을 단순화시키는 것은 비가역적인 투자를 설명하기 위한 합리적인 방법이라고 주장하였다. 본 연구 역시 기하학적 브라운 과정 이상의 불필요하게 복잡한 확률 과정을 도입하지 않는 대신 모형의 단순화를 통해 분석해(analytical solution)를 도출하는데 의의를 두고자 한다.

원유생산의 순간가변비용(instantaneous variable cost)이 $C_i(q_i)$ 이면 공급자 i 의 매 기간 이윤은 $\pi_i = \theta\eta(q_1, q_2)q_i - C_i(q_i)$ 로 나타낼 수 있다. 공급자 i 는 I_i 의 비용으로 확장옵션을 행사함으로써 생산량을 q_i 에서 q_i^1 으로 증대시킬 수 있으며, 또는 K_i 의 비용으로 축소옵션을 행사하여 q_i 에서 q_i^0 으로 감축할 수도 있다. 증대 및 감축 옵션의 행사 이전에 생산은 q_i 의 고정된 수준에서 이루어진다고 가정한다. 따라서 공급자 i 의 문제는 아래의 가치함수를 극대화하는 옵션의 최적시점 $\tau_i^1 = \inf\{t | \theta \geq \theta_i^1\}$ 및 $\tau_i^0 = \inf\{t | \theta \leq \theta_i^0\}$ 을 구하는 문제로 요약된다.

$$V_i(\theta, Q_i) = E_0 \left\{ \int_0^\infty (\theta\eta(q_1, q_2)q_i - C_i(q_i))e^{-rt} dt - I_i e^{-r\tau_i^1} - K_i e^{-r\tau_i^0} \right\} \quad (4)$$

E_0 는 현재시점 $t=0$ 에서의 기대연산자이며, $V_i(\theta, Q_i)$ 는 공급자 i 의 가치함수로서 상태변수인 θ 와 Q_i 의 함수이다. 그리고 r 은 사회적 할인율을 나타낸다. Ito's lemma를 이용하여 식 (4)를 전개하면 아래의 Hamilton-Jacobi-

Bellman (HJB) 방정식을 구할 수 있다.

$$rV_i(\theta, Q_i) = \theta\eta(q_1, q_2)q_i - C_i(q_i) - q_i V_{i,Q_i}(\theta, Q_i) + \alpha\theta V_{i,\theta}(\theta, Q_i) + \frac{1}{2}\sigma^2\theta^2 V_{i,\theta\theta}(\theta, Q_i) \quad (5)$$

위에서 두 번째 하첨자는 편미분을 나타낸다. 식 (5)의 우변의 첫 번째 항에서 보는 바와 같이 공급자 i 의 HJB 방정식은 자신의 생산량인 q_i 뿐만 아니라 타 경기자의 생산량인 q_j , ($j \neq i$)에 의해서도 영향을 받는다. 따라서 선도자인 OPEC와 후발자인 비OPEC는 각기 타 경기자의 공급결정을 고려하는 가운데 옵션을 행사하며, 여기서 도출되는 균형은 마아코브 완전균형에 해당한다 (Weeds, 2002; Park and Cho, 2003).

우선 투자 및 감축의 옵션가치를 구하기 위해 HJB방정식의 동차방정식부터 풀기로 한다. 편미분방정식인 (5)의 동차방정식은 다음과 같이 상태변수의 편미분 항만 포함하는 형태로 표현된다.

$$rV_i(\theta, Q_i) = -q_i V_{i,Q_i}(\theta, Q_i) + \alpha\theta V_{i,\theta}(\theta, Q_i) + \frac{1}{2}\sigma^2\theta^2 V_{i,\theta\theta}(\theta, Q_i) \quad (6)$$

미정계수법(method of undetermined coefficients)을 활용해서 그 해를 구하면 다음과 같다.

$$V_i(\theta, Q_i) = A_i(\theta e^{Q_i})^{\beta_i^1} + B_i(\theta e^{Q_i})^{\beta_i^0} \quad (7)$$

β_i^1 과 β_i^0 는 특성방정식 $\Omega_i = \frac{1}{2}\sigma^2\beta_i(\beta_i - 1) + \alpha\beta_i - q_i\beta_i - r = 0$ 의 두 근으로서 각기 다음과 같이 정의된다.

$$\beta_i^1 = \frac{1}{2} - \frac{\alpha - q_i}{\sigma^2} + \sqrt{\left(\frac{1}{2} - \frac{\alpha - q_i}{\sigma^2}\right)^2 + \frac{2r}{\sigma^2}} > 0 \quad (8)$$

$$\beta_i^0 = \frac{1}{2} - \frac{\alpha - q_i}{\sigma^2} - \sqrt{\left(\frac{1}{2} - \frac{\alpha - q_i}{\sigma^2}\right)^2 + \frac{2r}{\sigma^2}} < 0 \quad (9)$$

$A_i(\theta e^{Q_i})^{\beta_i^1}$ 와 $B_i(\theta e^{Q_i})^{\beta_i^0}$ 는 각기 확장옵션과 감축옵션의 가치를 나타낸다. A_i 와 B_i 는 모형에서 상정한 여러 개의 모수로 구성된 양의 상수항으로서, 이후 도입되는 일련의 경계조건을 이용하여 구한다. 만일 국제유가와 관련한 확률적 충격이 발생하여 θ 가 증가하면 확장옵션인 $A_i(\theta e^{Q_i})^{\beta_i^1}$ 가 증가하지만, 감축옵션인 $B_i(\theta e^{Q_i})^{\beta_i^0}$ 는 감소한다. 이와 반대로 θ 가 감소하는 확률충격이 발생하면 확장옵션은 감소하나 감축옵션은 증가한다.

이후 논의의 편의를 위해 β_i^1 와 β_i^0 의 성질을 파악해 둘 필요가 있다. 특성근 Ω_i 의 전미분은 $(\partial\Omega_i/\partial\beta_i^1)(\partial\beta_i^1/\partial\alpha) + \partial\Omega_i/\partial\alpha = 0$ 이다. $\partial\Omega_i/\partial\alpha = \beta_i^1 > 0$, $\partial\Omega_i/\partial\beta_i^1 > 0$ 이므로 이를 앞의 전미분 공식에 다시 대입하면 $\partial\beta_i^1/\partial\alpha < 0$ 를 얻게 된다. 분산율 σ 에 대한 β_i^1 의 변화 역시 동일한 방법으로 알 수 있다. $\partial\Omega_i/\partial\sigma = \sigma\beta_i^1(\beta_i^1 - 1) > 0$, $\partial\Omega_i/\partial\beta_i^1 > 0$ 이므로 앞서 전미분 공식에 대입하면 $\partial\beta_i^1/\partial\sigma < 0$ 를 얻는다. β_i^0 에 대해서도 동일한 방법을 이용하면 $\partial\beta_i^0/\partial\alpha > 0$ 와 $\partial\beta_i^0/\partial\sigma > 0$ 임을 알 수 있다.

OPEC와 비OPEC 간의 게임은 전형적인 스택켈버그(Stackelberg) 유형을 따르므로, 후발자인 비OPEC의 확장옵션 결정부터 풀도록 한다. 비OPEC의 경우 국제유가가 과도하게 상승하면 원유의 일일 공급능력을 q_2 에서 q_2^1 로 확대한다.⁴⁾ $V_2(\theta, Q_2)$ 과 $V_2^1(\theta, Q_2)$ 를 각기 확장옵션 행사 전·후의 가치함수로 표시하면 다음과 같이 구할 수 있다.

4) 국제유가의 감소시에 따르는 비OPEC의 감축옵션은 고려하지 않도록 한다. 따라서 비OPEC의 공급능력 증대는 완전비가역적인(fully irreversible) 투자라고 가정한다.

$$V_2(\theta, Q_2) = \frac{\theta\eta(q_1, q_2)q_2}{r-\alpha} - \frac{C_2(q_2)}{r} + A_2(\theta e^{Q_2})^{\beta_2^1} \quad (10)$$

$$V_2^1(\theta, Q_2) = \frac{\theta\eta(q_1, q_2^1)q_2^1}{r-\alpha} - \frac{C_2(q_2^1)}{r} \quad (11)$$

비OPEC의 확장옵션 행사분기점인 θ_2^1 는 이른바 등가조건(value-matching condition)과 한계조건(smooth-pasting condition)의 두 조건으로부터 구한다. 비OPEC의 일일 공급능력을 q_2 에서 q_2^1 로 증대시키기 위하여 소요되는 비용이 I_2 라고 하면, 최적 분기점인 θ_2^1 에서 등가조건으로부터 $V_2(\theta_2^1, Q_2) = V_2^1(\theta_2^1, Q_2) - I_2$ 를 만족한다. 아울러 가치함수를 상태변수 θ 로 미분하여 이를 θ_2^1 에서 평가하여 $V_{2,\theta}(\theta_2^1, Q_2) = V_{2,\theta}^1(\theta_2^1, Q_2)$ 일 때 한계조건을 충족한다고 말한다. 식 (10)과 (11)로부터 이 두 조건을 만족하는 2개의 관계식을 얻어서 연립으로 풀면 확장옵션의 행사분기점인 θ_2^1 와 옵션상수항 A_2 를 구할 수 있다.

$$\theta_2^1 = \left(\frac{\beta_2^1}{\beta_2^1 - 1} \frac{r-\alpha}{\Delta\eta_2} \right) \left(I_2 + \frac{\Delta C_2}{r} \right) \quad (12)$$

$$A_2 = \frac{\theta_2^1}{(r-\alpha)\beta_2^1} \Delta\eta_2 (\theta_2^1 e^{Q_2})^{-\beta_2^1} \quad (13)$$

위에서 $\Delta\eta_2 = \eta(q_1, q_2^1)q_2^1 - \eta(q_1, q_2)q_2 > 0$ 이며, $\Delta C_2 = C(q_2^1) - C(q_2) > 0$ 로 정의하였다. 식 (12)에서 $\partial\theta_2^1/\partial I_2 > 0$ 이므로 공급설비 증대를 위한 자본조정비용이 증가할수록 분기점도 상승하는 것을 알 수 있다. 즉, $\tau_2^1 = \inf\{t | \theta(t) \geq \theta_2^1\}$ 의 시점이 더욱 뒤로 늦추어지게 된다. 한편 $\partial\beta_2^1/\partial\sigma < 0$ 이므로 σ 의 증가로 인해 불확실성이 증가할 때에도 투자 분기점이 상승하는 것을 알 수 있는데, 이는 실물옵션 문헌에서 주장하는 전형적인 히스테리시스(hysteresis) 현상에 해당한다.

다음 OPEC의 원유공급 전략을 살펴보자. 앞에서 언급한 바와 같이 OPEC는 유가가 지나치게 높이 상승하면 비OPEC 역시 원유의 공급을 증대시킬 것이며, 이에 따라 자신의 시장점유율이 낮아지는 것을 경계한다. 따라서 OPEC는 비OPEC가 확장옵션을 행사하기 이전에 유가의 상승을 억제하기 위하여 자신의 일일 공급능력을 증대시키는 투자를 이행한다. 즉, θ 가 OPEC의 확장옵션 행사 분기점인 θ_1^1 에 이르거나 또는 유가가 그에 상응하는 수준인 $\theta_1^1 \eta(q_1, q_2)$ 에 이르게 되면 OPEC는 확장옵션을 행사한다. 반면 θ 가 지나치게 낮아져서 θ_1^0 에 이르거나 그에 상응하는 수준인 $\theta_1^0 \eta(q_1, q_2)$ 까지 유가가 낮아지면 OPEC는 공급능력을 축소하여 가격인상을 시도한다. 이와 같은 OPEC의 확장 및 감축 전략은 아래의 식과 같이 요약될 수 있다.

$$V_1^0(\theta, Q_1) = \frac{\theta \eta(q_1^0, q_2) q_1^0}{r - \alpha} - \frac{C_1(q_1^0)}{r} \quad \text{for } \theta \leq \theta_1^0 \quad (14)$$

$$\begin{aligned} V_1(\theta, Q_1) &= \frac{\theta \eta(q_1, q_2) q_1}{r - \alpha} - \frac{C_1(q_1)}{r} \\ &+ A_1(\theta e^{Q_1})^{\beta_1} + B_1(\theta e^{Q_1})^{\beta_1} \\ &\text{for } \theta_1^0 < \theta < \theta_1^1 \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} V_1^1(\theta, Q_1) &= \frac{\theta \eta(q_1^1, q_2) q_1^1}{r - \alpha} - \frac{C_1(q_1^1)}{r} \\ &+ \Gamma_1(\theta e^{Q_1})^{\beta_1} \quad \text{for } \theta_1^1 \leq \theta < \theta_2^1 \end{aligned} \quad (16)$$

$$V_1^2(\theta, Q_1) = \frac{\theta \eta(q_1^1, q_2^1) q_1^1}{r - \alpha} - \frac{C_2(q_1^1)}{r} \quad \text{for } \theta \geq \theta_2^1 \quad (17)$$

θ 가 감소하여 분기점 θ_1^0 보다 하락하면 OPEC는 유가가 지나치게 감소했다고 판단하여 감축옵션을 행사한다. 그리고 θ 가 분기점 θ_1^1 보다 높이 증가하면 OPEC는 확장옵션을 행사한다. Γ_1 은 Weeds (2002)에서와 마찬가지로 OPEC 자신이 행사할 수 있는 옵션과 연관된 것이 아니며, 비OPEC의 확장옵션 행사에 영향을 받는 유사옵션항(option-like term)에 해당한다. 등가조건과 한계조

전으로부터 아래의 식들이 도출된다.⁵⁾

$$A_1(\theta_1^1 e^{Q_1})^{\beta_1^1} + B_1(\theta_1^1 e^{Q_1})^{\beta_1^0} = \frac{\theta_1^1 \Delta \eta_1}{r-\alpha} - \frac{\Delta C_{12}}{r} + \Gamma_1(\theta_1^1 e^{Q_1})^{\beta_1^1} - I_1 \quad (18)$$

$$\beta_1^1 e^{Q_1} A_1(\theta_1^1 e^{Q_1})^{\beta_1^1-1} + \beta_1^0 e^{Q_1} B_1(\theta_1^1 e^{Q_1})^{\beta_1^0-1} = \frac{\Delta \eta_1}{r-\alpha} + \beta_1 e^{Q_1} \Gamma_1(\theta_1^1 e^{Q_1})^{\beta_1-1} \quad (19)$$

$$A_1(\theta_1^0 e^{Q_1})^{\beta_1^1} + B_1(\theta_1^0 e^{Q_1})^{\beta_1^0} = -\frac{\theta_1^0 \Delta \eta_0}{r-\alpha} + \frac{\Delta C_0}{r} \quad (20)$$

$$\beta_1^1 e^{Q_1} A_1(\theta_1^0 e^{Q_1})^{\beta_1^1-1} + \beta_1^0 e^{Q_1} B_1(\theta_1^0 e^{Q_1})^{\beta_1^0-1} = -\frac{\Delta \eta_0}{r-\alpha} \quad (21)$$

수식표기를 단순화하기 위해 $\Delta C_0 = C_1(q_1) - C_1(q_1^0)$, $\Delta C_{12} = C_1(q_1^1) - C_1(q_1)$, $\Delta \eta_0 = \eta(q_1, q_2)q_1 - \eta(q_1^0, q_2)q_1^0$, $\Delta \eta_1 = \eta(q_1^1, q_2)q_1^1 - \eta(q_1, q_2)q_1$ 로 정의하였다. 식 (20)~(23)의 4개의 방정식으로부터 A_1 , B_1 , θ_1^1 , θ_1^0 의 4개의 미지수를 구해야 한다. 하지만 비선형인 위 식들은 정성적으로 풀 수 없기 때문에 실제 유가 및 원유공급 데이터를 이용하여 수치해석으로 구하도록 한다.⁶⁾

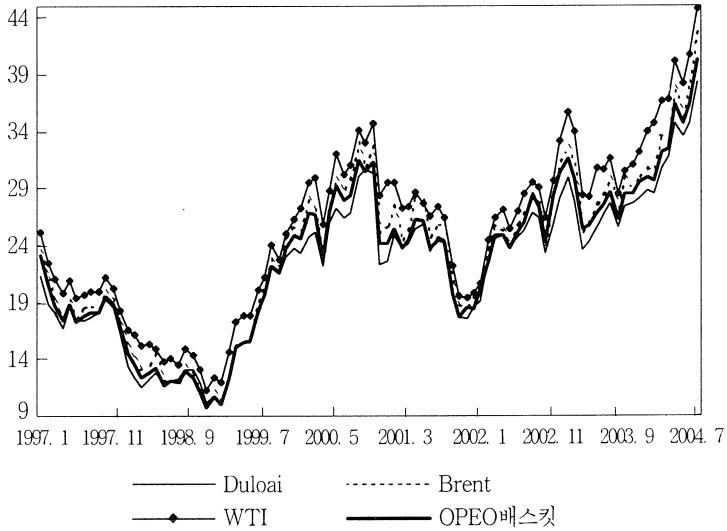
III. 시뮬레이션

시뮬레이션에서 사용하는 기본 데이터 중 OPEC와 비OPEC의 원유공급량 및

5) 현재의 $V_1(\theta, Q_1)$ 에서 $V_1^0(\theta, Q_1)$ 로의 이행은 유희생산설비의 발생이기 때문에 자본의 감축조정비용은 발생하지 않는다고 본다.

6) 우선 변수소거법으로 연산식의 개수를 줄인 후 Newton-Raphson 기법을 활용해서 비선형 방정식의 해를 구하였다. 프로그램으로는 Mathematica[®]를 활용하였다.

<그림 1> 국제유가의 동향 (1997. 1~2004. 8)



국제유가는 한국석유평공사의 페트로넷(Petronet) 데이터베이스를 이용하였다. <그림 1>은 1997년 1월~2004년 8월까지의 두바이, 브렌트, WTI 및 OPEC의 바스킷 가격의 월별 가격동향을 보여준다.

동기간 동안 OPEC와 비OPEC의 원유공급 추이를 살펴보면, 비OPEC의 공급량은 일일 약 4,000만 배럴로 OPEC의 일일공급량 약 3,000만 배럴을 지속적으로 상회하는 것으로 나타났다.

OPEC와 비OPEC의 원유공급에 대한 OPEC 바스킷 가격의 탄력성을 얻기 위하여 $\ln p = \gamma_1 \ln q_1 + \gamma_2 q_2 + \epsilon$ 을 추정하였다. 여기서 p 는 바스킷 월별 가격이며 q_1 과 q_2 는 해당월의 OPEC와 비OPEC의 공급량이다. OLS 추정 결과 $\hat{\gamma}_1 = -2.671$, $\hat{\gamma}_2 = -0.303$ 인 것으로 나타났으며, 잔차항 $\hat{\epsilon}$ 에서 증가율 $\alpha = 0.012108$ 과 분산율 $\sigma^2 = 0.10777$ 을 얻었다.

시뮬레이션을 위해 사용한 수치는 구체적으로 다음과 같다. 고갈자원인 석유의 스톡은 $Q_1 = 869.5 \times 10^9$, $Q_2 = 396.3 \times 10^9$, 원유의 탐사와 개발비용 I_i 는

〈표 1〉 원유의 탐사·개발 및 생산비용

(단위 : U.S. 달러/배럴)

국 가	탐사·개발비용	생산비용	총비용
사우디아라비아	1.50	1.50	3.00
쿠웨이트	1.75	1.80	3.55
이라크	2.25	1.50	3.75
이 란	1.75	2.50	4.25
베네수엘라	2.00	2.50	4.50
알제리	2.15	2.50	4.65
카자흐스탄	3.50	1.30	4.80
나이지리아	3.00	2.25	5.25
중 국	3.50	4.00	7.50
러시아	4.25	3.50	7.75
앙골라	5.00	3.00	8.00
인도네시아	2.50	6.00	8.50
미국 육상	4.95	3.57	8.52
멕시코	5.00	4.36	9.36
북 해	7.50	3.00	10.50
캐나다 오일샌드	0.00	11.00	11.00
미국 멕시코만	11.00	3.50	14.50

자료 : CERA.

CERA (Cambridge Energy Research Associates)의 자료를 인용하여 $I_1 = 1 \times \Delta q_1$, $I_2 = 4 \times \Delta q_2$, 생산비용은 $C_i(q_i) = c_i q_i$ 에서 $c_1 = 1$, $c_2 = 2$ 로 설정하였다. 생산량은 일일생산량이며, 배스켓 가격의 증가율과 분산율은 월별 자료에서 추정되었기 때문에 후자를 일일 증가율과 분산율로 전환한 후 시뮬레이션하였다.

최근 OPEC의 생산현황을 살펴보면, 2004년 5월의 200~300만 배럴/일이던 잉여생산능력이 급감하여 약 50만 배럴/일에 불과한 것으로 나타났다(한국석유공사, 2004). 더구나 이라크의 하루 18만 배럴의 잉여생산능력을 제외하면 나머지 OPEC 회원국의 잉여생산능력은 하루 41만 배럴 정도에 그친다. 최근 이라

〈표 2〉 OPEC 생산 및 잉여생산능력

(단위: 백만 배럴/일)

구 분	생산능력 (A)	생산량	
		2004. 8	2004. 9(B)
알제리	1.25	1.25	0.83
인도네시아	1.00	0.97	1.35
이 란	4.00	3.91	3.82
쿠웨이트	2.50	2.37	2.09
리비아	1.59	1.59	1.39
나이지리아	2.50	2.40	2.14
카타르	0.80	0.80	0.67
사우디아라비아	9.50	9.48	8.45
UAE	2.55	2.44	2.27
베네수엘라	2.25	2.22	2.99
이라크	2.50	1.79	2.33
총 계	30.44	29.20	28.33

자료: 한국석유공사(2004).

크의 석유생산 능력이 어느 정도 회복되었다고 하지만, 지속되는 이라크 지역 정세의 불안정 때문에 공급차질의 발생위험은 상존하고 있으며, 아울러 잉여생산능력의 부족 때문에 향후 세계수요의 증가를 고려하는 가운데 생산능력의 확장이 요구된다. 아래에서는 몇 가지 시나리오를 상정하여 OPEC의 생산능력의 확장을 촉발하는 확장분기점이 얼마인지 살펴본다.

우선 기준시나리오부터 소개하도록 한다. 비OPEC의 현재 생산용량이 4,200만 배럴일 때, 확장옵션의 행사시 생산용량을 100만 배럴 증대한다고 가정한다. 그리고 OPEC의 현재 생산능력은 이라크의 공급능력 감축을 감안하여 2,900만 배럴로 가정하며, 여기에서 확장시 생산능력을 3,300만 배럴까지 확대한다고 본다. 아울러, 감축할 경우 2,800만 배럴 대로 낮춘다.

기준시나리오에서 OPEC의 투자 분기점을 구하면 배럴당 48.44달러가 나왔으

〈표 3〉 시나리오별 OPEC의 확장과 감축 분기점

	기준시나리오	시나리오 I	시나리오 II
비OPEC	현재 : 4,200 확장 : 4,300	현재 : 4,200 확장 : 4,300	현재 : 4,000 확장 : 4,200
OPEC	현재 : 2,900 확장 : 3,300 감축 : 2,800	현재 : 2,900 확장 : 3,400 감축 : 2,800	현재 : 2,900 확장 : 3,300 감축 : 2,800
확장분기점	48.44달러/배럴	56.93달러/배럴	53.57달러/배럴
감축분기점	36.52달러/배럴	36.52달러/배럴	39.93달러/배럴

며, 감축 분기점은 36.52달러가 나왔다. 즉, 배스킷 가격이 배럴당 48.44달러 이상 상승할 때까지 OPEC는 생산설비의 확장투자를 연기하는 것이 최적이다. 반면 배스킷 가격이 배럴당 36.52달러 미만으로 감소하면 OPEC는 유가하락에 따른 수입보전을 위해 생산능력을 감축하는 것이 최적이다.

다음 아래에서는 OPEC와 비OPEC의 상황변화에 따른 두 종류의 시나리오를 설정하여 이때에 OPEC의 확장과 감축 분기점이 어떻게 바뀌는지를 살펴본다. 시나리오 I은 OPEC가 현재의 일일 생산능력인 2,900만 배럴에서 3,500만 배럴까지 증대하는 경우로서, 기준시나리오에 비해 100만 배럴 더 확장하는 경우이다. 비OPEC는 기준시나리오와 동일하다. 이 경우 OPEC의 확장분기점은 기준시나리오에 비해 상당히 증가한 배럴당 56.93달러로 상승하였다. 이는 기준시나리오에 비해 100만 배럴 더 많이 공급하는데 따른 비용의 증가가 확장옵션의 가치를 증가시켰기 때문이다. 한편 감축전략은 기준시나리오와 동일하기 때문에 감축분기점의 변동은 없었다.

시나리오 II는 비OPEC 측의 공급능력이 현저히 감소한 경우를 고려한다. 예를 들어, 일일 생산능력이 170만 배럴에 달하는 러시아 유코스(Yukos) 사가 최근 러시아 당국의 체납세금 강제 추징과 재무 불건전 상황으로 인해 안정적인 공급능력을 위협받는 상황 등을 염두에 둔 시나리오다. 여기에서는 비OPEC의

일일 생산능력이 기준시나리오에 비해 200만 배럴 모자라는 4,000만 배럴로 축소되었다고 보고, 여기에서 확장할 경우 4,200만 배럴까지 증대한다. 이 경우 OPEC의 확장분기점은 53.57달러, 감축분기점은 29.93달러로 나타났다. 확장분기점의 경우 기준시나리오에서보다는 높지만 시나리오 I의 확장분기점보다는 낮아, 비OPEC의 공급위축에 따라 OPEC의 확장 시기가 좀더 앞당겨진 것을 알 수 있다.⁷⁾

위에서 상정한 시나리오들은 다소 임의적인 것으로서 어떤 시나리오를 사용하느냐에 따라 분기점 역시 기준시나리오에서 상·하향 조정되겠지만, OPEC의 유가밴드가 상승할 것이라는 점은 최소한 확실하게 알 수 있다. 2000년에 설정된 후 잠시 운용되다가 현재 폐기된 22~28달러의 유가밴드가 최근의 현실을 반영하지 못하고 있는 것은 분명하다. 이에 따라 OPEC가 직·간접적으로 여러 가지 경로를 통해 시사하고 있는 바처럼 새로운 유가밴드가 설정된다면 그 범위는 대략 40~50달러 정도가 될 것으로 전망하고 있는데, 본 연구에서의 결과는 OPEC의 이러한 전망과도 부합한다.

IV. 결 론

비OPEC와의 게임을 고려한 OPEC의 원유공급 투자모형을 분석하였다. 최근에 관찰되는 바 국제유가의 높은 변동성을 고려하기 위하여 확률모형인 실물옵션 모형을 사용하였다. 이론적 모형을 도출한 후, 국제유가와 원유생산량 데이터를 이용하여 다양한 시나리오 하에서 확장과 감축 분기점을 도출하기 위한

7) 동일한 방법과 절차를 거쳐 OPEC의 배스킷 가격 대신 브렌트유의 가격을 이용하여 시물레이션 해 보았다. 기준시나리오에서의 확장분기점은 브렌트유 가격 기준으로 51.81달러/배럴, 감축분기점은 35.53달러/배럴인 것으로 계산되었다. 시나리오 I에서는 확장분기점과 감축분기점이 각각 55.25달러/배럴, 35.73달러/배럴, 시나리오 II에서는 51.05달러/배럴, 35.44달러/배럴인 것으로 나타났다.

시뮬레이션을 수행하였다.

OPEC의 증산 능력과 비OPEC의 공급능력 감소 등을 고려한 시나리오를 분석한 결과, 확장과 감축 분기점이 어느 정도 변동폭을 갖지만, 확장분기점의 경우 57달러를 초과하지는 않은 것으로 나타났다. 즉, 배스킷 가격 기준으로 57달러 이상 초과하기까지 OPEC는 설비증산 결정을 연기한다. 하지만, 최근까지 배스킷 가격이 배럴당 56달러 이상 상승한 적이 없음을 고려할 때 이러한 연구 결과는 향후 OPEC의 배스킷 가격이 점진적으로 상승할 가능성이 크다는 것을 시사한다.

한편 본 연구에서는 OPEC의 배스킷 가격을 사용하였지만, 국제거래에서 영향력 있는 것은 WTI의 가격과 관련해서 살펴볼 필요가 있다. 특히 최근에 유종간 스프레드의 변동성이 높아진 것을 감안할 때 본 연구에서 산출된 배스킷 가격의 분기점이 WTI 등의 유가와 어떠한 관련성을 갖는지에 관한 연구가 추후 필요하다고 판단된다. 아울러 본 연구는 세계 석유시장에서 수요측 요인을 고려하지 않았다는 점에서 한계를 지닌다. 최근 중국과 인도를 중심으로 한 석유수요의 증가와 미국의 재고유 감축으로 인한 국제유가의 변동 등 다양한 요인을 고려하지 않고 있으며, 석유공급 그룹의 시장점유율 유지를 주된 결정 기준으로 삼고 있다. 향후 공급모형과 수요측 요인을 모두 고려한 방향으로 추가 연구가 필요할 것이다. 마지막으로 본 모형은 OPEC 회원국간에 완벽한 연합(coalition)을 가정하였기 때문에, OPEC 회원국간의 이질적 전략 채택을 허용하는 부분연합(partial coalition)을 고려하지 않는다. 하지만 이 마지막 한계점은 기술적으로 본 모형에서 취급할 수 있는 사항은 아니다.

◎ 참고 문헌 ◎

1. 박호정·황의식, “실물옵션 모형을 이용한 농지보전 프로그램의 농업투자 효과분석”, 「농업경제연구」, 제44권 제4호, 2003 pp. 121~139.

2. 윤원철 · 손양훈 · 김수덕, “실물옵션을 활용한 발전소 건설 타당성 분석”, 「자원 · 환경경제연구」, 제12권 제2호, 2003.
3. 이인석 · 허은영, “해외자원개발사업평가를 위한 실물옵션모형 최적화 연구”, 「기술혁신학회지」, 제5권 제3호, 2002.
4. 한국석유공사, “최근 국제유가 동향 및 전망”, 2004. 10. 15.
5. Alhajji, A. F. and D. Huettner, “Crude Oil Markets from 1973 to 1994: Cartel, Oligopoly or Competitive?” *The Energy Journal*, Vol. 21, No. 3, 2000.
6. Dixit, A. and R. Pindyck, *Investment under Uncertainty*, Princeton University Press, 1994.
7. Griffin, James M., “OPEC Behavior: A Test of Alternative Hypothesis,” *American Economic Review*, Vol. 75, 1985, pp. 954~963.
8. Hnyilicza, E. and R. Pindyck, “Pricing Policies for a Two-part Exhaustible Resource Cartel: The Case of OPEC,” *European Economic Review*, Vol. 8, 1976, pp. 139~154.
9. Jones, C. T., “OPEC Behavior under Falling Prices: Implications for Cartel Stability,” *Energy Economics*, Vol. 11, No. 3, 1990, pp. 117~130.
10. Lund, D., “The Lognormal Diffusion is Hardly an Equilibrium Price Process for Exhaustible Resources,” *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 25, 1993, pp. 235~241.
11. MacAvoy, P. W., *Crude Oil Prices as Determined by OPEC and Market Fundamental*, Cambridge: Ballinger, 1982.
12. MetCalf, G. E. and K. A. Hassett, “Investment under Alternative Return Assumptions Comparing Random Walks and Mean Reversion,” *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 19, 1995, pp. 1471~1488.
13. Park, H. and G. Cho, “Does Credit Transfer Reduce Emission Transfer?” *Korean Energy Economic Review*, Vol. 12, No. 2, 2003, pp. 47~69.
14. Tourk, K., “The OPEC Cartel: A Revival of the Dominant-firm Theory,” *Journal of Energy and Development*, 1977, pp. 321~328.
15. Tvedt, J., “The Effect of Uncertainty and Aggregate Investments on Crude Oil Price Dynamics,” *Energy Economics*, Vol. 24, No. 6, 2002, pp. 615~628.

16. Weeds, H., "Strategic Delay in a Real Options Model of R&D Competition," *Review of Economic Studies*, Vol. 69, 2002, pp. 729~747.
17. Yang, Chin W., M. J. Hwang and S. N. Sohng, "The Cournot Competition in the Spatial Equilibrium Model," *Energy Economics*, Vol. 24, No. 2, 2002, pp. 139~154.

실물옵션 게임을 이용한 OPEC의 원유공급 투자모형

박 호 정

시장점유율을 고려한 OPEC와 비OPEC의 게임을 고려한 원유공급 투자모형을 분석한다. 국제유가의 불확실성을 반영하기 위하여 확률투자모형인 실물옵션 모형을 이용한다. 원유공급시설의 확장 및 감축을 위한 조정은 국제유가로 표시되는 분기점으로 나타난다. 국제유가가 확장(감축)분기점을 초과(하회)하면 OPEC는 공급시설을 확장(감축)한다. 최근 국제유가를 활용한 시뮬레이션 분석 결과, 확장분기점은 배스켓 가격 기준으로 높게는 56.93달러/배럴, 낮게는 48.44달러/배럴인 것으로 나타났으며, 감축분기점은 36.52달러/배럴과 36.93달러/배럴 사이에 머무는 것으로 나타났다.

주제어 : OPEC, 실물옵션게임, 원유공급 투자

An Investment Model for OPEC Crude Oil Supply
with Real Option Game

Hojeong Park

This paper is a study of the investment dynamics focusing on crude oil supply by OPEC and non-OPEC. Oil supply capacity is first determined by a leader, OPEC, and by an aggregate that represents non-OPEC producers. OPEC wants to increase a gain from oil price increase while keeping its market share relative to non-OPEC's share. An investment rule model is developed for OPEC crude oil supply capacity in response to non-OPEC's decision. In presence of oil price uncertainty, oil price threshold is derived above which it is optimal for OPEC to expand oil supply capacity since otherwise the increased supply of non-OPEC results in weakening of OPEC market share in the world oil market. In addition, a lower threshold price is derived below which OPEC triggers a capacity reduction to regain its otherwise forgone profits. A simulation is provided for calculating the capacity expansion and reduction thresholds.

Keywords : OPEC Oil Supply, Investment, Real Option Game