

자원가격 불확실성 하에 복미 독립계 E&P기업의 투자옵션 연구*

권오정** · 박은천*** · 박호정****

〈요 약〉

2000년 이래로 석유, 가스 등 에너지 가격이 지속적으로 상승하면서 에너지 안보는 그 어느 때보다 중요한 이슈가 되었다. 그 결과 에너지 확보를 위해 세계 각국은 적극적으로 해외 자원개발에 나서고 있는 상황이며 관련 경쟁은 점점 치열해져 가고 있다. 이와 관련하여 본 연구에서는 우리나라가 비교적 쉽게 접근할 수 있는 독립계 E&P기업의 투자 행태 분석을 시도하였다. 본 연구에서는 자원의 고갈을 고려한 실물옵션 모형을 이용하여 복미 독립계 E&P기업의 투자 옵션에 대하여 분석하였다. 분석결과, 대상기간인 2004년부터 2008년까지의 전반적인 시장 환경에서 독립계 E&P기업은 석유 프로젝트와 가스 프로젝트 모두 충분한 투자 타당성을 가지고 있는 것으로 나타났다. 특히 석유 프로젝트가 가스 프로젝트보다 기대 수익이 더 높은 것으로 나타났는데, 이는 가스의 가격이 석유보다 낮고 가스 가격의 변동성이 석유가격보다 높은 것에서 기인한다.

주제어 : 실물옵션, 독립계 E&P, 가격 불확실성

- * 이 논문은 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(NRF-2010-327-B00118).
- ** 고려대학교 식품자원경제학과 석사과정(제1저자).
- *** 고려대학교 식품자원경제학과 석사과정.
- **** 고려대학교 식품자원경제학과 부교수(교신저자).

As prices of energy resources such as oil and gas started to rise steadily in 2000, energy security has been one of the most important topics in the world. To secure more energy, most of countries which are highly dependent on imported energy resources try to occupy oversea oil or gas reserves, thereby intensifying competition for energy resources around world. Under this circumstance, we focus on independent E&P companies since they are relatively small size companies which are suitable for M&A.

We analyze investment option values for these E&P companies using a real option model for depletable resources. Based on analytical model, empirical study is provided to examine rationality of investment for energy companies. The result shows sufficient profitability for independent E&P companies in both oil and gas projects in the North America during 2004 to 2008. In Particular, oil projects were more feasible than gas project due to lower price of gas and high volatility of gas price at that time.

Keywords : real option, independent E&P, price uncertainty

JEL 분류 : H3

I. 서 론

2000년 이후로 에너지 가격이 지속적으로 상승함에 따라 우리나라와 같이 에너지의 대부분을 수입에 의존하는 국가에게 에너지 안보는 매우 중요한 이슈가 되었다. 이러한 위기 속에서 우리나라도 해외 에너지 자원을 직접 개발하는 등 에너지 안보 강화를 위해 정부차원에서 적극적으로 노력하고 있다. 그러한 노력의 일환으로 우리 정부는 석유공사, 가스공사 등의 공기업을 육성하여 해외 석유·가스전에 대한 개발에 적극 나서고 있는 상황이다¹⁾. 그러나 공기업 이외의 다양한 형태의 국내 에너지 자원개발 기업을 육성하기 위해서나, 우리 기업이 해외 시장에서 만족할 만한 성과를 얻기 위해서는 해외 석유·가스 개발기업의 현황과 경영환경 등에 대한 깊은 이해가 필요하다.

석유와 가스²⁾ 자원을 탐사·생산(Exploration&Production, E&P)하는 기업은 크게 세 가지 형태로 분류할 수 있다. 첫 번째로, 1800년대 중·후반 근대적인 석유개발의 시작과 함께 석유 시장을 개척하고, 석유파동이 일어난 1970년대 초반까지 세계 석유 생산을 주도했던 Exxon, BP와 같은 메이저 국제석유기업(International Oil Companies, IOC)이 있다.³⁾ 이들 기업은 1970년대 이전까지는 중동 유전으로부터의 안정적인 원유 공급 때문에 유전개발에 큰 투자를 하지 않았지만, 중동 유전의 국유화 이후 대체 공급처를 찾기 위해 적극적으로 유전 개발에 대한 투자 규모를 늘리기 시작했다.

두 번째로, 1970년 전후로 메이저 국제석유기업들(IOC)이 소유하고 있던 자국의 유전을 국유화하면서 영향력이 증가하기 시작한 OPEC 중심의 국영석유기업(National Oil Companies)이 있다.⁴⁾ 사우디의 Aramco나 쿠웨이트

1) 지식경제부, 제4차 해외자원개발기본계획(2010).

2) 본 연구에서는 재래식(Conventional) 또는 비재래식(Unconventional) 천연가스를 의미함.

3) 김기중·최성희(2009) 참고.

트의 KPC와 같은 국영석유기업은 자국의 풍부한 매장량을 독점적으로 개발, 생산해왔기 때문에 해외 유전개발에 적극적일 필요가 없었다. 그러나 노르웨이의 Statoil처럼 자국 유전개발을 통해 축적된 기술력을 기반으로 해외 유전개발에 적극적인 경우도 있다.

마지막으로, 1980년대 중반 소비국 주도의 저유가 시기가 지속되면서 본격적으로 성장하기 시작한 독립계 탐사·생산기업(Independent E&P Companies)이 있다. 독립계 E&P기업은 유전개발에 필요한 특정 기술에 특화된 소규모 기업부터 상류부분 전체를 담당하는 기업까지 매우 다양한 형태로 존재한다. 독립계 E&P기업들은 주로 미국의 육상 광구나 아프리카의 유전에서 활동하고 있다.

본 연구에서는 세 가지 자원개발 기업의 형태 중에서 국내 기업이 비교적 접근하기 용이한 독립계 E&P기업에 대해서 분석해보고자 한다. 우선 북미 주요 57개 기업의 경영 데이터를 분석하여 독립계 E&P기업의 특징을 살펴보고자 한다. 아울러 최근 고유가 이후 활발하게 투자가 이루어지고 있는 이들 북미지역 독립계 E&P기업의 투자 환경을 분석하도록 한다. 이를 위해 실물옵션 기법을 활용하여 신규 유전(또는 가스전) 개발을 위한 최적투자전략을 도출하고, 기업의 실제 투자결정이 합리적으로 이루어지는지에 대해 분석하도록 한다. 최근 국내에서 북미지역의 셰일가스를 중심으로 한 에너지 자원투자에 대한 관심이 증가하고 있는 바, 본 연구의 분석결과는 이러한 투자의 적정성에 대한 시사점을 제공하리라 기대된다.

투자 의사결정에 관한 기본적인 접근 방법은 순현재가치법(Net Present Value Method, NPV method)이다. 순현재가치법에서는 생산물의 미래 가격이 결정되어 있고 투자 시점을 선택할 수 없다는 가정 때문에 자원개발 프로젝트에 적용하기에는 적합하지 않다. 자원개발 프로젝트는 대규모의 투자가 필요하지만 대부분의 투자비가 비가역적인 매몰비용이라는 점과 투자 시점을 연

4) 도현재 · 정웅태(2010) 참고.

기할 수 있다는 점 때문에 실물옵션 기법이 더 적합한 방법으로 평가된다. 본 연구에서는 Dixit and Pindyck(1994), Brennan and Schwartz(1985)에 의해 제안된 생산물 가격의 불확실성⁵⁾을 고려한 전통적인 실물옵션 기법으로부터 시작하고자 한다. 전통적인 실물옵션 기법을 응용한 국내 연구로는 발전소 건설 타당성을 분석한 윤원철·손양훈·김수덕(2003)과 해외자원개발사업 평가를 위한 이인석·허은녕(2004)의 연구가 있고, 좀 더 발전된 형태로 동북아 오일허브 사업의 경제성을 평가한 박호정·박은천(2010)의 연구 등이 있다.

Mason(2001)은 전통적인 실물옵션 기법을 발전시켜 고갈 자원 개발에서 무시되어서는 안 될 중요한 특징인 자원의 유한성까지 고려하여 분석을 시도하였다. 그러한 노력 결과 Mason(2001)은 매장량을 상태변수로 포함하고 있는 실물옵션 모형을 제안하였다. Dias(2004)는 세 가지 투자 옵션이 있는 석유 개발 프로젝트의 최적 투자 전략을 찾기 위해서 비선형 최적화와 함께 몬테카를로 시뮬레이션을 사용하여 분석을 시도하였다. 본 연구는 Mason(2001)의 모형을 기초로 하여 상대적으로 단순화 된 고갈자원 개발의 투자 모형을 사용할 것이다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 먼저, 제II장에서는 실물옵션 모형 소개에 앞서 북미 독립계 E&P기업의 특징에 대해서 정리하였다. 제III장에서는 본 연구에 적용된 실물옵션 모형을 이용한 최적투자시점 도출 과정을 다루었고, 이를 바탕으로 제IV장에서는 투자 환경과 실제 독립계 E&P기업의 투자 행태를 실증적으로 분석하였다. 마지막으로 제V장에서는 결론과 함께 본 연구의 함의를 제시하는 것으로 연구를 마무리하였다.

5) 윤원철·박호정(2005)는 불확실성을 고려하여 원유가격의 동태성을 추정하였다.

II. 북미 E&P기업의 특징 분석

본 연구에서는 시장조사기관인 GlobalData社가 미국 증권거래위원회(Securities and Exchange Commission, SEC) 등의 자료를 바탕으로 정리한 2004년~2008년 57개의 북미 독립계 E&P기업의 데이터를 이용하였다. 북미에는 석유·가스의 탐사 및 개발과정에서 활동하는 독립계 E&P기업이 상당히 많은데, 이들 중 탐사, 개발, 생산의 상류부문 모두를 사업영역으로 가지고 있는 대표적인 57개 기업의 데이터를 이용하여 북미 독립계 E&P기업들의 전반적인 현황을 정리해 보고자 한다.

1. 확인매장량 현황

GlobalData社는 시가총액을 기준으로 하여 조사대상 기업을 대·중·소규모로 구분하였는데, 이들 57개 기업이 보유하고 있는 연도별 석유·가스 확인매장량(Proven Reserves)의 총 합은 <표 1>과 같다. 2008년 기준 57개

<표 1> 총 확인매장량 비교

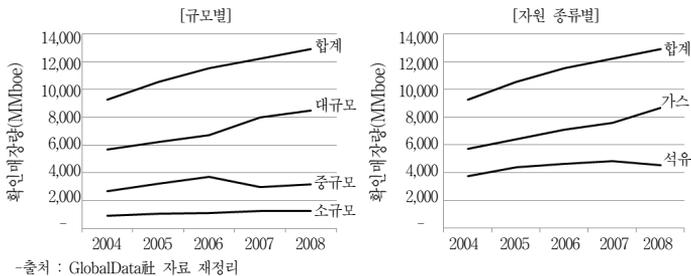
		2004	2005	2006	2007	2008
석유&가스 (MMboe)	미국 전체	57,282	59,796	60,314	65,534	64,526
	E&P 합계	9,293	10,558	11,538	12,242	12,911
석유 (MMbbl)	미국 전체	21,371	21,757	20,972	21,317	19,121
	E&P 합계	3,772	4,380	4,630	4,852	4,529
가스 (Bcf)	미국 전체	208,282	220,628	228,182	256,460	263,346
	E&P 합계	33,124	37,066	41,245	44,144	50,292

출처: GlobalData社와 EIA(Energy Information Administration).

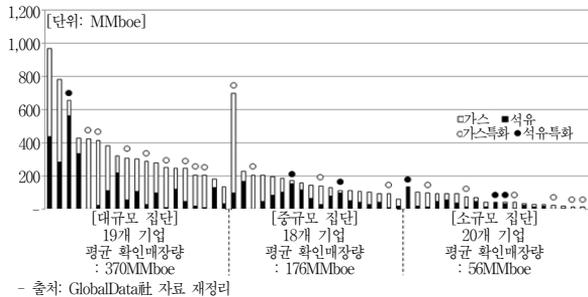
기업의 석유·가스 총 확인매장량은 12,911MMboe⁶⁾로 미국 전체의 총 확인 매장량 64,526MMboe의 약 20%에 해당하는 규모이다. 세부적으로, 석유와 가스는 전체 매장량의 약 24%와 약 19%로 석유의 점유율이 가스보다 높다.

〈그림 1〉의 연도별 확인매장량 변화 추이를 보면 2004년 9,293MMboe부터 2008년 12,911MMboe로 매년 증가하고 있고 그 증가율은 대상 기간 동안 일정하다. 총 확인매장량 증가의 대부분은 대규모 기업들에 의해 이루어지고 있으며 중·소규모 독립계 E&P기업들의 총 확인매장량은 일정 수준으로 유지되고 있음을 확인할 수 있다. 아울러 자원 종류별 확인매장량을 보면, 석유는 2006년 이후로 증가율이 둔화되다가 이후 감소하는 것으로 나타나는 반면 가스는 지속적으로 증가한다.

〈그림 1〉 연도별 확인매장량



〈그림 2〉 기업별 총 확인매장량



6) boe: barrels of oil equivalent, bbl: barrel, cf: cubic feet, M=10³, b=10⁹.

57개 기업 각각의 확인매장량은 대상기간(5년)동안의 평균 확인매장량을 기준으로 하여 <그림 2>에 정리해 두었다. 57개 중 2개의 기업은 가스전만 보유하고 있고 1개 기업은 유전만 보유하고 있다. 이들 3개의 기업을 제외한 모든 기업들은 유전과 가스전을 동시에 보유하고 있다. 본 연구에서는 유전과 가스전 모두를 보유하고 있는 기업들 중에서 어느 한 가지 자원을 80% 이상 보유하고 있는 기업을 그 자원에 특화된 기업이라고 정의하고 분석을 진행하도록 한다. 이 기준에 따르면 석유 특화 기업은 전체 57개 기업 중 6개이고, 가스 특화 기업은 18개로 가스 특화 기업이 석유 특화 기업보다 더 많은 것으로 나타났다.

개별 독립계 E&P기업들이 확보하고 있는 확인매장량 중에서 생산설비를 갖추어 개발된 상태로 있는 생산가능 매장량(developed reserves)은 보유하고 있는 전체 확인매장량의 평균 66%(표준편차 17%) 수준으로 기업 규모에 상관없이 일정한 모습을 보였다.

2. 생산 현황

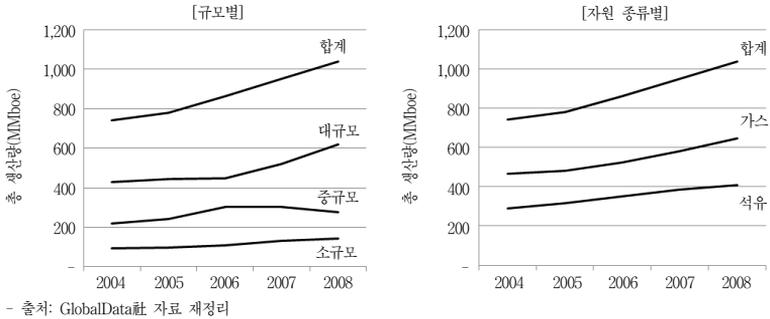
<표 2>의 총 생산량을 보면, 2008년 기준으로 독립계 E&P기업들은 총 1,040MMboe을 생산하였는데, 이는 미국 전체 생산량 6,405MMboe의 16%에 해당하는 수치이다. 석유는 미국 전체 생산량의 23%, 가스는 14%를 생산

<표 2> 총 생산량 비교

		2004	2005	2006	2007	2008
석유&가스 (MMboe)	미국 전체	6,298	6,108	6,102	6,281	6,405
	E&P 합계	742	781	862	951	1,040
석유 (MMbbl)	미국 전체	1,983	1,890	1,862	1,848	1,812
	E&P 합계	290	317	353	388	409
가스 (Bcf)	미국 전체	25,026	24,466	24,591	25,714	26,639
	E&P 합계	2,709	2,785	3,047	3,373	3,757

출처 : GlobalData와 EIA(Energy Information Administration).

〈그림 3〉 연도별 생산량



하였는데, 위에 언급한 확인매장량 점유율과 비교해본다면 석유는 확인매장량 점유율과 비슷한 비율로 생산한 반면 가스는 확인매장량 점유율보다 낮은 비율로 생산했다는 것을 알 수 있다. 대상 기간 동안에는 〈그림 3〉 규모별 그림에서처럼 대규모 기업군의 생산량 증대가 전체 독립계 E&P기업의 생산량 증가를 이끌었고, 자원 종류별로는 석유 생산과 가스 생산이 유사한 증가율을 보이고 있음을 확인할 수 있다.

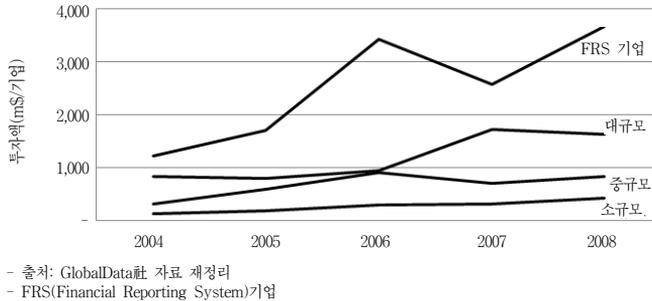
3. 투자 현황

대상기간 동안 57개 기업이 신규 유전 또는 가스전의 탐사와 개발을 위해 투자한 금액⁷⁾은 5년간 약 2,000억 달러로 연평균 400억 달러이며 기업 1개당 평균 투자액은 연평균 7억 달러에 해당한다. 기업군별로 보면, FRS기업⁸⁾ 연평균 25억 달러 기준으로 보았을 때, 대규모 기업군이 연평균 12억 달러로 FRS기업 평균의 47%에 달하고 중규모 기업군은 27%, 소규모 기업군은 11%에 달한다.

7) 총 투자액=취득비용(Acquisition Costs)+탐사비용(Exploration Costs)+개발비용(Development Costs).

8) 미국 EIA의 Financial Reporting System을 통해서 기업 자료를 공개하는 약 29개의 대표 기업.

〈그림 4〉 연도별 투자액



연도별 증가율을 보면 FRS기업은 해당기간 동안 연평균 24%(CARG⁹⁾)의 증가율을 보였다. 독립계 E&P기업은 소규모 기업군이 연평균 28%(CARG)로 FRS기업 평균보다 증가율이 높았고 중규모는 21%, 대규모는 14%로 FRS기업 평균보다 증가율이 낮은 것으로 나타났다. 개별 기업의 투자 행태는 제IV 장 모형의 실증분석 파트에서 좀 더 구체적으로 다루도록 하겠다.

4. boe당 수익과 주요 비용

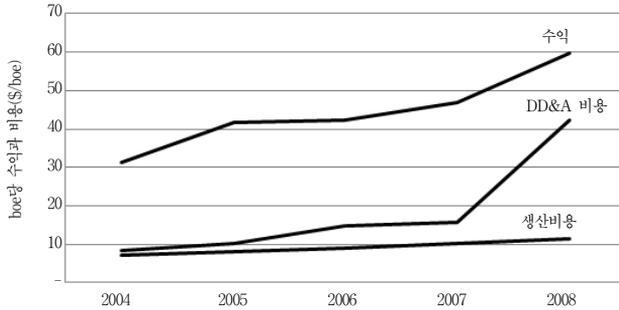
대상 기간 동안 생산량은 연평균 7%(CAGR) 증가한 반면, 석유 가격은 연평균 19%(CAGR)가 상승하였고 천연가스 가격은 연평균 9%(CAGR) 상승하였다. 그 결과 〈그림 5〉에서 보는 것처럼 수익은 연평균 14%(CAGR) 상승할 수 있었다.

주요 비용으로는 직접비용인 생산비용(Lifting costs)과 간접비용인 DD & A¹⁰비용이 있다. DD&A비용의 경우 탐사 및 개발에 투자된 비용을 자산화 하면서 발생하는 비용인데, 발견을 실패한 광구에 투자된 비용의 자산화 여부에 따라서 성공원가법(Successful effort method)과 전부원가법(Full cost

9) Compound Annual Growth Rate.

10) Depreciation(감가상각), Depletion(감모상각), Amortization(무형자산의 상각).

〈그림 5〉 연도별 수익과 비용



- 출처: GlobalData社 자료 재구성

method)의 두 가지 방법이 적용될 수 있다. 북미에서는 개별 기업이 두 가지 방법 중 하나를 선택하여 적용하도록 하고 있다. 따라서 실제 DD&A비용 대비, 성공원가법을 기준으로 했을 때에는 본 연구에 사용된 값이 과대평가된 것이고 전부원가법을 기준으로 했을 때에는 과소평가된 것으로 해석할 수 있다.

〈그림 5〉에서 보는 것처럼, 생산비용은 일정하게 증가하고 DD&A비용은 2007년 이후에 급격히 증가하는 모습이다. DD&A비용의 급격한 증가는

〈표 3〉 boe당 수익과 비용

	대규모	중규모	소규모	전체
수익(시장가격) (\$/boe)	55 (13)	59 (12)	59 (13)	58 (13)
수익(판매가격) (\$/boe)	46 (12)	51 (12)	52 (14)	50 (13)
생산비용 (\$/boe)	9 (3)	11 (3)	10 (4)	10 (4)
DD&A (\$/boe)	20 (27)	20 (15)	32 (39)	24 (29)

- 3년 평균값(2006~2008).

- 괄호 안은 표준편차.

- 수익(현물가)는 해당연도 시장의 연평균 현물 가격을 적용하여 환산한 boe당 수익.

2006년도에 대규모 기업군의 탐사, 발견을 위한 투자액이 대폭 증가한 것에 기인한 것으로 판단된다.

〈표 3〉의 boe당 수익과 비용을 보면, 전체 수익 중 생산비용이 약 20%를 차지하고 DD&A비용이 약 48%를 차지하는 것을 확인할 수 있다. 한 가지 주목할 만한 점은, 독립계 E&P기업들은 현물가격보다 낮은 수준으로 생산물을 판매하고 있다는 점이다. 실제 기업의 판매가를 적용하여 계산한 boe당 수익과 해당 연도 시장의 연평균 현물가격을 적용하여 계산한 boe당 수익에는 상당한 차이가 있는데, 독립계 E&P기업들의 평균 boe당 수익은 연평균 현물가격으로 판매했을 경우(58\$/boe)의 약 86% 수준인 50\$/boe로 조사되었다.

IV. 분석 모형

본 장에서는 개별 기업의 입장에서 생산물가격의 불확실성을 고려한 가운데, 자원개발에 대한 최적투자 결정모형을 제시하도록 한다.

R_i 만큼의 확인매장량을 가지고 있는 유전(또는 가스전)을 새롭게 확보하여 생산이 가능하도록 생산정을 개발하고 석유(또는 가스)를 생산하여 수익을 창출하는 프로젝트를 가정하도록 하자. 이때 이 프로젝트를 시작하기 위해 소요되는 총 투자액을 I_i ($i=0$ 은 석유, $i=1$ 은 가스)로 표기하기로 한다.

투자가 이행되어 탐사, 개발단계를 거치게 되면 생산이 가능해져 이윤이 창출되는데, 석유와 가스 가격은 각각 p_{ot} 와 p_{gt} 로 나타내고 생산비용은 시간에 관계없이 C_i 로 고정되어 있다고 가정한다면 주어진 시점 t 에서의 이윤함수 $\pi_{it} = p_{it}q_{it} - C_i$ 에 대해서 프로젝트의 가치는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V^i(p_i, R_i) = E \int_0^{\infty} (p_{it}q_{it} - C_i)e^{-\rho t} dt \quad (1)$$

여기서 ρ 는 할인율, E 는 기대연산자를 의미한다.

Mason(2001)의 모형과 유사하게 최대 생산 가능비율($0 \leq q_c \leq 1$)을 고려한다면 최대 생산 가능량은 주어진 시점 t 에서 보유하고 있는 확인매장량(R_{it})에 생산가능비율을 곱한 $q_c R_{it}$ 가 된다(R_{it} 의 초기값은 R_i). 따라서 t 에서의 생산량 q_{it} 는 $q_{it} \leq q_c R_{it}$ 를 만족해야 하고 확인매장량과 생산량은 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$dR_{it} = -q_{it}dt \quad (2)$$

그리고 석유와 가스의 가격은 외생적으로 아래와 같이 확률과정(Random process)인 Geometric Brownian Motion(GBM)을 따른다고 가정한다.

$$dp_i = \mu_i p_i dt + \sigma_i p_i dz \quad (3)$$

위의 식 (3)에서 μ 는 가격의 증가율(Drift), σ 는 변동성(Volatility)을 의미하고 dz 는 위너과정(Wiener process)의 증분을 의미한다.

투자 연기가 가능한 프로젝트의 가치는 투자가 이행되기 전의 “옵션가치(Value of the option to invest)”와 투자가 완료되어 생산이 가능해진 이후의 “프로젝트가치(Value of the project)”로 구분할 수 있다. 옵션가치와 프로젝트가치는 모두 기준 시점에서의 상태변수인 가격(p_i)과 신규확인매장량(R_i)의 함수로 표현된다.

먼저, 프로젝트가치 $V^i(p_i, R_i)$ 부터 도출하기 위해, Ito's Lemma를 이용하여 얻은 다음의 Hamiltonian-Jacobi-Bellman(HJB) 방정식으로부터 시작한다.

$$p_i q_c R_i - C_i - q_c R_i V_{R_i}^i + \mu_i p_i V_{p_i}^i + \frac{1}{2} \sigma_i^2 p_i^2 V_{p_i p_i}^i - \rho V^i = 0 \quad (4)$$

$V^i(p_i, R_i)$ 의 2계 미분방정식인 HJB방정식의 해를 도출함으로써 프로젝트가 치합수 $V^i(p_i, R_i)$ 를 얻을 수 있다. 미정계수법을 사용하여 위 HJB방정식을 풀면 아래와 같은 해를 도출할 수 있다.

$$V^i = B_1 (p_i R_i)^{\beta_1} + B_2 (p_i R_i)^{\beta_2} + \omega_i p_i R_i - \frac{C_i}{\rho} \quad (5)$$

여기서 $\omega_i = q_c / (\rho + q_c - \mu_i)$ 이고, β_1 과 β_2 는 HJB방정식의 동차방정식(Homogeneous equation)으로부터 도출한 특성방정식(Characteristic equation)의 두 해로 다음과 같은 값을 갖는다.

$$\beta_1 = 0.5 - \frac{(\mu_i - q_c)}{\sigma_i^2} + \sqrt{\left[\frac{(\mu_i - q_c)}{\sigma_i^2} - 0.5 \right]^2 + \frac{2\rho}{\sigma_i^2}} > 1 \quad (6)$$

$$\beta_2 = 0.5 - \frac{(\mu_i - q_c)}{\sigma_i^2} - \sqrt{\left[\frac{(\mu_i - q_c)}{\sigma_i^2} - 0.5 \right]^2 + \frac{2\rho}{\sigma_i^2}} < 0 \quad (7)$$

식(5)에서 β_1 과 β_2 를 포함하고 있는 처음 두 항은 프로젝트가치의 투기적 요소(Speculative components)로 불리고 있는 항들이다. 그 중 두 번째 항인 $B_2 (p_i R_i)^{\beta_2}$ 항은 $V^i(p_i = 0, R_i) = 0$ 을 만족시키기 위해서 $B_2 = 0$ 이 되어야 한다. Dixit and Pindyck(1994)는 생산 중인 프로젝트를 중간에 매각하는 경우는 없다는 가정 하에 $B_1 (p_i R_i)^{\beta_1}$ 항을 소거하였다. 그러나 석유·가스 프로젝트의 경우에는 프로젝트의 시장 가치가 기대 가치보다 상승했을 때 프로

젝트 자체를 매각하는 경우가 실제 존재하므로 본 연구에서는 $B_1 \neq 0$ 으로 가정하고 자산의 매각에 대한 옵션가치를 프로젝트 가치함수에 반영하도록 한다. 이상의 논의를 종합하면 프로젝트의 가치함수 $V^i(p_i, R_i)$ 는 아래와 같이 정리할 수 있다.

$$V^i(p_i, R_i) = B_1 (p_i R_i)^{\beta_1} + \omega_i p_i R_i - \frac{C_i}{\rho} \quad (8)$$

다음으로, 옵션가치함수를 $F^i(p_i, R_i)$ 라 할 때, 옵션가치함수는 기준시점의 이윤은 발생하지 않는다는 가정, 즉 $\pi_{it} = 0$ 이라는 가정만 추가하여 프로젝트 가치함수와 동일한 방법으로 도출할 수 있다. 옵션가치함수의 HJB방정식은 프로젝트 가치함수 도출과정과 마찬가지로 Ito's Lemma로부터 아래와 같이 도출된다.

$$-q_c R_i F_{R_i}^i + \mu_i p_i F_{p_i}^i + \frac{1}{2} \sigma_i^2 p_i^2 F_{p_i p_i}^i - \rho F^i = 0 \quad (9)$$

프로젝트가치함수 도출과정과 동일하게 F^i 의 2계 미분방정식의 해를 도출하고 $F^i(p_i = 0, R_i) = 0$ 을 만족하도록 해를 정리하면 다음과 같은 옵션가치함수를 얻을 수 있다.

$$F^i = A_1 (p_i R_i)^{\beta_1} \quad (10)$$

지금까지 도출한 프로젝트가치함수와 옵션가치함수를 이용하면 최적 투자시점을 결정해주는 임계가격(p_i^*)을 도출할 수 있다. 임계가격(p_i^*)은 프로젝트가치에서 기회비용(옵션가치)을 차감한 순편익($V^i(p_i^*, R_i) - F^i(p_i^*, R_i)$)을 투자비

용(I_i)과 함께 만들어주고 이와 동시에 한계비용과 한계순편익을 일치시키는 가격을 의미하는데, 바로 이때가 최적화된 투자 시점인 것이다. $p_i R_i \equiv X_i$ 로 정의하면 임계가격(p_i^*)을 도출하기 위한 식을 아래와 같이 정리할 수 있다.

$$\left[B_1(X_i)^{\beta_1} + \omega_i X_i - \frac{C_i}{\rho} \right] - [A_1(X_i)^{\beta_1}] = I_i \quad (11)$$

$$\beta_1 B_1(X_i)^{\beta_1-1} + \omega_i = \beta_1 A_1(X_i)^{\beta_1-1} \quad (12)$$

식 (11)을 순편익-비용 일치조건(Value-matching condition)이라 하고 식 (12)를 한계순편익-한계비용 일치조건(Smooth-pasting condition)이라고 한다. 식 (11)과 식 (12)를 연립하여 정리하면 다음과 같이 임계값 X_i^* 를 도출할 수 있다.

$$X_i^* = p_i^* R_i = \frac{\beta_1}{\omega_i(\beta_1 - 1)} \left(\frac{C_i}{\rho} + I_i \right) \quad (13)$$

식 (13)에 따르면, 임계가격(p_i^*)은 외생변수인 투자비용(I_i), 생산비용(C_i), 최대생산가능비율(q_c) 그리고 유전(또는 가스전)의 크기(R_i)에 따라 달라진다. 투자비용과 생산비용이 증가하면 임계가격이 높아져 투자가 지연되고, 최대생산가능비율과 유전(또는 가스전)의 크기가 증가하면 임계가격이 낮아져 투자 시점이 빨라지게 된다. 아래 장에서는 자원투자에 대한 위의 비교정태 분석 결과를 바탕으로, 기업의 적정투자 분기점을 실증적으로 도출하고, 이에 대한 시사점을 살펴보도록 한다.

IV. 모형의 실증 분석

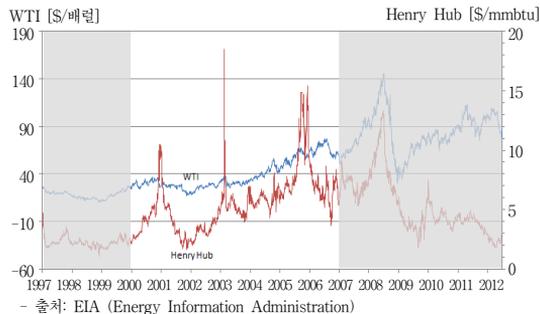
본 장에서는 북미 57개 독립계 E&P기업의 2004년부터 2008년까지 5년도 데이터를 활용하여 실물옵션 관점에서 독립계 E&P기업들의 투자가 어떻게 이루어지는지 분석하도록 한다.

1. 석유·가스 가격 및 GBM 파라미터

분석에 필요한 석유와 가스의 가격 데이터는 WTI 원유 현물 가격과 Henry Hub 천연가스 현물 가격¹¹⁾을 이용하였다. <그림 6>의 WTI 원유 현물 가격을 보면, 2000년까지 배럴당 20달러 선에서 머물고 있던 원유 가격은 2000년 이후 수요 증가로 인해 지속적으로 상승하다가 2008년 금융위기를 겪으면서 폭락하였고 이후 경기가 회복되면서 다시 상승하는 모습을 보이고 있다.

Henry Hub 천연가스 가격도 2000년 이후 원유 가격과 함께 상승하다가

<그림 6> 석유 및 가스 가격 추이



11) WTI 원유와 Henry Hub 천연가스 가격 모두 EIA(Energy Information Administration)의 일일 가격 데이터를 사용하였다.

〈표 4〉 GBM 파라미터

대상기간	석유		가스	
	Drift(μ)	Volatility(σ)	Drift(μ)	Volatility(σ)
2000년 1월 ~2004년 12월	0.19	0.42	0.55	0.85
2000년 1월 ~2005년 12월	0.23	0.41	0.58	0.82
2000년 1월 ~2006년 12월	0.20	0.39	0.46	0.82
2000년 1월 ~2007년 12월	0.24	0.38	0.46	0.80

금융위기와 함께 하락하였지만, 2000년 이후 셰일가스 등의 가스전 개발에 대한 지속적인 투자 확대에 의해 증가하기 시작한 공급량 때문에 금융위기 이후로 가격이 회복하지 못하고 계속 하락하고 있다.

본 연구에서는 원유, 가스 등 원자재 가격이 전체적으로 상승하기 시작한 2000년도부터 시장의 구조적인 변화가 있었다고 보고 2000년부터 2007년까지의 가격 데이터를 바탕으로 원유 가격과 천연가스 가격에 대해 총 8개의 GBM 파라미터를 도출하였다. 〈표 4〉에서 보는 것처럼 천연가스 가격 GBM의 상승률(Drift rate)과 변동성(Volatility)이 원유 가격 대비 약 2배 이상 높은 것을 확인할 수 있다. 연도별로 보면, 원유 가격은 대상 기간이 길어지면서 가격 상승률도 증가하는 반면, 천연가스 가격은 오히려 상승률이 떨어지는 것으로 나타났다. 연도별 변동성은 원유 가격과 천연가스 가격 모두 큰 변화가 없는 것으로 확인되었다.

2. 민감도 분석

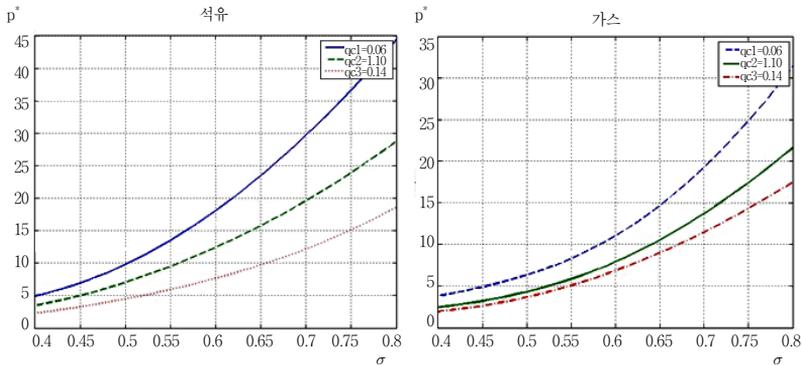
위에서 도출된 GBM 파라미터와 GlobalData社의 데이터를 이용하여 모형의 가격 변동성(Volatility)에 대한 민감도 분석을 수행하였다. GlobalData

〈표 5〉 민감도 분석을 위한 파라미터

파라미터 항목		석유	가스
μ	가격의 증가율(drift rate)	0.24	0.46
σ	가격의 변동성(volatility)	0.38	0.80
q_c	연간생산량/확인매장량	0.16	0.18
C	생산비용	2.56 m\$	4.95 m\$
I	투자비용	79 m\$	174 m\$
R	확인매장량	3,311 Mboe	7,236 Mboe
ρ	할인율	0.04	0.04

출처: GBM파라미터 및 GlobalData社

〈그림 7〉 민감도 분석



社의 57개 기업의 데이터 중에서 소규모 기업군에 속한 20개 기업의 평균값을 사용하여 민감도 분석을 수행하였고 그 값들은 〈표 5〉에 정리해 두었다.

민감도 분석 수행 결과 가격의 변동성이 커질수록 임계가격(p_i^*)의 가격이 지속적으로 증가한다는 것을 확인할 수 있다. 임계가격이 증가한다는 것은 $t^* = \inf\{t | p(t) > p_i^*\}$ 로 정의되는 투자 시점이 지연된다는 뜻으로 투자가 불확실성에 의해 보다 보수적으로 이루어진다는 것을 의미한다. 실물옵션 모형에서의 민감도 분석 결과는 투자자의 변동성(또는 리스크)에 대한 태도 또는 가격 변동성과 시장 변동성의 상관관계와는 무관하게 도출된 결과이다.

또한, 최대 생산가능비율(q_c)이 증가할수록 임계가격(p_i^*)은 감소한다. q_c 가 증가하면 초기 생산량이 상대적으로 많아지기 때문에 그만큼 프로젝트가치가 옵션가치보다 커지게 되어 투자 시점이 앞당겨지게 된다. 이상의 민감도 분석 결과는 <그림 7>에서 확인할 수 있다.

3. 투자 적정성 분석

다음으로 GBM 파라미터와 GlobalData社의 데이터를 바탕으로 실제 E&P기업의 투자 행태를 분석해 보고자 한다. 먼저 2004년부터 2008년까지 연도별 개별 기업의 데이터를 이용하여 임계가격(p_i^*)을 도출해보면 아래 <표 6>와 같다. p/p^* 는 현재가격과 임계가격의 비율로 $p/p^* > 1$ 이면 현재 투자하는 것이 타당하다는 것을 의미하고 p/p^* 값이 커질 수록 투자를 통해 기대되는 편익 또한 증가한다는 것을 의미한다.

전체적으로 보면, 소규모 기업군에서의 2004년, 2006년, 2007년을 제외하면 2004년부터 2008년까지의 석유와 가스 프로젝트는 모두 투자 타당성이 있는 것으로 나타났다. 기업군별로 보면 기업 규모가 커질수록 p/p^* 값이 크게 나타나는데 이는 투자를 통해 확보하게 되는 신규 확인매장량(R_i)이 중·소규모 기업보다 더 크기 때문이다. 이러한 결과는 자금력이 상대적으로 더 좋은 대규모 기업이 대규모 유전(또는 가스전)에 접근하기가 더 쉽기 때문이라고 해석할 수 있다. 실제 기업군별 생산정(Well)당 평균 매장량을 보면 유정의 경우 대규모 기업이 13MMbbl로 중규모(9MMbbl), 소규모(3MMbbl) 기업 집단보다 훨씬 큰 것을 확인할 수 있다. 가스정의 경우에도 마찬가지로 가스정당 평균 매장량은 대규모 기업이 48MMboe로 중규모(14MMboe), 소규모(7MMboe) 기업들보다 크다.

연도별 변화 추이를 보면, 기업규모에 상관없이 석유 프로젝트는 p/p^* 값이 증가하고 가스 프로젝트는 p/p^* 값이 전반적으로 감소하는 경향을 보인다. 이러

〈표 6〉 투자 적정성 분석 결과

		2004	2005	2006	2007	2008
대규모	석유 p_o/p_o^* , (A)	2.87	3.61	3.48	4.32	4.82
	천연가스 p_g/p_g^* , (B)	2.03	2.84	1.39	1.39	1.50
	A / B	1.41	1.27	2.50	3.10	3.21
중규모	석유 p_o/p_o^* , (A)	1.98	3.09	2.38	2.70	3.05
	천연가스 p_g/p_g^* , (B)	1.44	2.70	1.09	1.10	1.10
	A / B	1.38	1.15	2.18	2.45	2.76
소규모	석유 p_o/p_o^* , (A)	1.14	1.87	1.99	2.40	3.07
	천연가스 p_g/p_g^* , (B)	0.98	1.68	0.90	0.95	1.14
	A / B	1.17	1.11	2.23	2.53	2.69

한 경향은 앞서 원유와 가스 가격의 GBM 파라미터 도출 과정에서 언급했던 가격의 증가율(Drift)의 변화와 일치하는 결과임을 쉽게 확인할 수 있을 것이다.

석유 프로젝트와 가스 프로젝트를 비교해보면 전체적으로 석유 프로젝트가 가스 프로젝트보다 p/p^* 값이 더 높은 것으로 나타난다. 이는 결정적으로 boe 당 가스가격이 석유가격보다 낮다는 것에 기인한다. 2005년부터 2007년 사이의 석유가격과 가스가격을 boe 단위로 환산하여 비교해 보면, 석유가격이 \$73 /boe임에 반해 가스가격은 \$45/boe로 가스가격이 석유가격의 62% 수준에 불과하다.

지금까지의 분석에 따르면, 석유 프로젝트와 가스 프로젝트는 동일한 확인매장량을 가지고 있더라도 석유 프로젝트의 수익성이 더 높게 나타난다. 그 결과 독립계 E&P기업의 가치를 분석할 때, 동일한 확인매장량을 가지고 있더라도 석유와 가스의 확인매장량 보유 비율에 따라서 그 기업의 가치는 달라질 수 있

다. 따라서 북미 독립계 E&P기업의 인수 시, 석유와 가스 포트폴리오를 고려하여 가치를 평가하는 것이 필요하다.

VI. 결 론

북미 독립계 E&P기업을 대표하는 57개의 조사 대상 기업은 미국 확인매장량의 20%를 보유하면서 미국 생산량의 16%에 해당하는 석유와 가스를 생산하고 있다. 이들 기업은 지속적인 탐사·개발 활동을 통해 신규 유전과 가스전을 발굴함으로써 기업의 영속성을 유지해 나갈 수 있다. 따라서 탐사·개발에 대한 투자는 독립계 E&P기업의 생명 유지에 필수적인 것이며 신중하게 추진되어야 하는 것이다.

실물옵션은 가격 변동성에 대해 보수적인 입장에서 투자안을 평가한다. 다시 말해 다른 조건이 변하지 않는다면 가격 변동성이 높아질수록 투자 시점은 점점 더 늦어지게 되는 것이다.

보수적이라는 실물옵션의 기본적인 특징을 생각해본다면 2004년부터 2008년 사이에 석유와 가스 개발 프로젝트의 사업성은 매우 높았다고 판단할 수 있겠다. 전반적으로, 투자를 타당하게 만들어주는 가격 수준보다 0.9배~4.8배 사이에 시장 가격이 형성되어 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 가스 개발보다는 석유개발의 타당성이 더 높았고 소규모 매장량을 개발하는 것보다는 대규모로 개발하는 것이 훨씬 더 타당한 것으로 나타났다.

GlobalData社의 데이터는 석유 부문과 가스 부문의 자료가 분리되어 있지 않았다. 그렇기 때문에 석유와 가스부문의 행태를 독립적으로 자세하게 살펴보기 어려운 한계가 있었다. 그리고 대부분 북미 지역에서 활동하는 기업들 중심의 데이터이기 때문에 지역별로 다른 환경에 있는 기업들에게까지 일반화하기에는 무리가 있다.

현재 국내에서 북미지역의 셰일가스를 중심으로 한 에너지투자에 관심이 증

대하고 있다. 하지만 앞서 분석에서 살펴본 바와 같이 가스투자는 2000년대 중반의 고유가에 힘입어 어느 정도 과잉이 된 측면도 없지 않기 때문에, 현 시점에서의 투자진입은 보다 신중히 이루어질 필요가 있다.

아울러, 우리나라가 에너지 안보 강화의 한 방법으로 해외 에너지 자원 개발 기업을 육성해야 하는 상황 속에서, 해외 자원 개발 기업의 벤치마킹 또는 인수·합병을 위한 가치평가 등을 위해 본 연구가 기초 자료로서 활용될 수 있을 것이다. 본 연구에서는 기업의 생산수준이 최대 생산한도에서 이루어진다고 가정하고 있지만, 최적생산수준을 내생화한 E&P 투자규모를 고려할 수 있을 것이다. 이는 추후 연구과제로 개발되어야 할 주제로서, Park et al. (2012) 등에서 살펴보고 있지만 실증분석과 연계하여 보다 설득력 있는 연구가 추가되어야 할 것이다.

한편 기존의 독립계 E&P기업의 인수를 통해 해외 에너지 사업에 진출하려고 할 때에 중요하게 고려해야 하는 요인으로 환경비용이 있다. 미국 내 가스 생산의 23%를 담당하는 셰일가스의 경우 수압파쇄법¹²⁾(Hydraulic fracturing)에 의해 가스전 주변의 수질 오염이 발생할 수 있다는 주장이 제기되고 있으며, 해양 석유 개발의 경우 2010년 멕시코만 원유 유출 사고와 같은 돌이킬 수 없는 환경재앙이 발생할 위험이 있다. 이러한 환경 비용을 고려한다면 적정 투자 가치 또는 인수에 대한 인센티브가 보다 낮아질 수 있으므로 E&P기업의 가치평가 시 면밀히 반영되어야 할 것이다.

12) 강력한 수압(500~1,000기압)으로 셰일가스층에 균열을 내어 가스를 포집하는 기술.

◎ 참고 문헌 ◎

1. 도현재·정웅태, “해외자원개발 전략 연구 : 국영자원개발기업 성장전략 연구”, 기본연구보고서(10-23), 에너지경제연구원, 2010.
2. 박호정·박은천, “최적규모를 고려한 실물옵션 모형연구: ‘동북아 오일허브 사업’의 경제성 평가, 「응용경제」, 제12권 제3호, 2010, pp. 57~81.
3. 윤원철·박호정, “원유가격의 동태성 추정과 옵션가치 산정”, 「자원·환경경제연구」, 제14권 제4호, 2005, pp. 943~964.
4. 윤원철·손양훈·김수덕, “실물옵션을 활용한 발전소 건설 타당성 분석”, 「자원·환경경제연구」, 제12권 제2호, 2003, pp. 217~244.
5. 이인석·허은녕, “해외자원개발사업 평가를 위한 옵션가격 결정모형 연구”, 「자원·환경경제연구」, 제13권 제4호, 2004, pp. 735~761.
6. 지식경제부, 제4차 해외자원개발 기본계획, 2010
7. 최성희·김기중, “해외자원개발 전략 연구 : 메이저 기업의 경쟁 전략 연구”, 기본연구보고서(09-24), 에너지경제연구원, 2009.
8. Brennan, M. J. and E. J. Schwartz, “Evaluating natural resource investments,” *Journal of Business*, 1985, Vol. 58, pp. 135~158.
9. Dias, M. A. G., “Valuation of exploration and production assets: an overview of real options models,” *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Vol. 44, Issues 1~2, 2004, pp. 93~114.
10. Dixit, A. and R. S. Pindyck, *Investment under Uncertainty*. Princeton University Press, 1994.
11. Mason, C. F., “Nonrenewable Resources with Switching Costs,” *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 42, Issue 1, 2001, pp. 65~81.
12. Park, E., H. Park, and H. Doh, Optimal Switching Strategy between Oil and Gas Resource for Independent E&P Companies under the Price Risk, presented at the IAEE Asian Conference, Feb, 2012. Kyoto, Japan.

접수일(2012년 8월 3일), 수정일(2012년 9월 3일), 게재확정일(2012년 9월 5일)