

교환옵션을 이용한 미국산 LNG 계약의 신축성 가치 연구*

박호정** · 도현재*** · 장희선****

국제 시장에서 천연가스 공급이 증가함에 따라 우리나라도 기존의 유가인덱스 방식의 중동산 천연가스 계약에서 미국 HH(Henry-Hub) 기준의 계약을 확대하고 있다. 미국산 천연가스 계약은 중동산과 마찬가지로 TOP(Take or Pay) 구조를 갖지만 페널티 수준이 낮기 때문에 유연한 계약구조로 평가된다. 본 논문에서는 HH인덱스 계약이 갖는 신축성 가치를 옵션모형으로 평가하였다. HH인덱스 계약 상황에서 JKM으로 전환하는 경우를 일회적인 전환과 전체 계약을 JKM으로 전환하는 경우로 살펴보았다. 단기 계약전환옵션의 분석 결과, HH인덱스 가격 기준으로 JKM 현물가격이 약 57% 낮을 경우에는 HH 기준에서 JKM으로 전환하는 것이 최적인 것으로 나타났다. 전체 계약의 전환은 HH인덱스 계약 가격이 백만Btu당 17달러 이상일 경우에 이루어질 수 있는 것으로 나타났다.

핵심주제어: 교환옵션, 실물옵션, 천연가스, HH인덱스, 신축성 가치
경제학문헌목록 주제분류: B4, C6, Q4

I. 서론

북미에서의 셰일가스 개발 붐은 세계 에너지 시장의 판도를 뒤바꿔 놓고 있다. 2000년대 중·후반까지 미국은 자국 내 천연가스 생산량 감소와 캐나다로부터의 수입량 증대의 한계로 LNG 수입이 불가피하게 급증할 것으로 예상하여, 미국 동부 및 멕시코만 일대에 LNG 수입터미널을 건설하였다.¹⁾ 그러나 셰일가스

* 본 논문은 에너지경제연구원의 『미국산 LNG 도입환경과 국내 가스 시장 파급효과 분석』의 일부를 발췌하여 발전시킨 연구임을 밝혀둔다.

** 제1저자, 고려대학교 식품자원경제학과 교수, KU·KIST 그린스쿨 대학원 겸임교수, 전화: (02) 3290-3039, E-mail: hjeongpark@korea.ac.kr

*** 공동저자, 에너지경제연구원 선임연구위원, 전화: (052) 714-2287, E-mail: hjdoh@keei.re.kr

**** 교신저자, 에너지경제연구원 부연구위원, 전화: (052) 714-2280, E-mail: heesun.jang@keei.re.kr

논문투고일: 2019. 2. 20 수정일: 2019. 3. 27 게재확정일: 2019. 4. 16

개발로 미국 내 가스 생산량이 급증하면서 미국은 이제 수입국이 아닌 LNG 수출국으로 급부상하면서 20여 개의 LNG 수출 프로젝트와 다수의 수출터미널이 추진되기에 이르렀다.²⁾

미국 천연가스 시장은 세계 천연가스 소비의 약 1/4을 차지할 정도로 규모가 크고 현물 및 선물 거래 기반이 잘 형성되어 있어, 거래의 유연성이 높다. 이 때문에 미국 시장에서는 석유메이저와 같은 대형 공급자를 포함하여 모든 시장참여자들이 자신의 거래나 의사결정이 전체 시장 가격에 거의 영향을 미치지 않는 가격수용자(price taker)가 된다. 이는 곧 미국 가스 시장의 참여자들은 현물시장의 가격조건으로 원하는 수량만큼 공급하거나 구매할 수 있다는 점을 의미한다. 즉, LNG 공급자에게 미국 가스 시장은 장기 수요처를 확보하지 않더라도 항상 LNG 판매가 가능한 최후 지지시장(market of last resort)으로서의 역할을 기대할 수 있게 되었다. 미국의 LNG 생산 확대는 과거의 공급자와 수요자 간 장기계약 위주의 LNG 교역에서 다자 간 시장거래 및 단기·현물 거래를 확대할 수 있는 중심축으로 부상하게 된 것이다.³⁾

한편 2008년 금융위기 이후 미국 LNG 수입량이 예상보다 크게 증가하지 않았으며, 유럽의 가스 시장도 경기 침체 및 금융위기로 인해 수입 수요가 위축되는 상황에서 가스 수요가 큰 동북아시아 시장을 둘러싼 경쟁이 더욱 가열화될 전망이다. 특히, 대규모 현물시장을 기반으로 하는 유연한 LNG 거래조건의 미국산 LNG의 국제 시장 유입은 기존의 천연가스 거래 방식에 상당한 변화를 가져올 것으로 전망된다. 미국의 LNG 매매 가격은 Henry Hub 현물가격에 연동되어 있으며, 목적지 제한(destination clause)이나 의무인수(take-or-pay) 등 경직적인 조건이 없거나 그 페널티 수위가 낮아,⁴⁾ 단거나 현물 거래를 확대하고 LNG 거

1) 1970년대 말/1980년대 초에 가동을 시작한 4개 수입터미널(Cove Point, Elba Island, Everett, Lake Charles)과 2005년에 가동 시작한 1개 터미널(Gulf Gateway)을 포함하여 미국에는 총 13개 수입터미널이 존재한다. FERC(2015c) 참조.

2) FERC(2015a; 2015b) 참조.

3) 즉, 수요처와의 장기 매매계약 체결이 선행된 이후에야 LNG 프로젝트에 대한 투자가 진행되던 관행에서 탈피하여, 미국과 유럽 등 현물시장 공급을 염두에 두거나 일부 수요만 확보된 상황에서 프로젝트 투자를 진행하는 사례가 나타나고, LNG 수송선 시장에서도 특정 프로젝트에 귀속되지 않은 수송선 발주가 확대되기 시작하였다.

4) 계약 형태에 따라 차이가 있지만, 일반적으로 미국산 LNG 매매 계약(또는 액화설비 이용 계약)에서 수요자가 계약물량을 인수하지 않는 경우, 확보한 원료가스(feedgas)는 재판매될 수 있기 때문에 가스물량과 관련된 좌초비용이 크지 않아, 의무인수(take-or-pay) 발생 페널티는 액화설비용량 및 파이프라인 예약요금 등의 좌초비용을 보상하는 수준에서 결정된다.

래의 유연성을 높이는 촉매역할을 할 수 있기 때문이다. King and Cuc(1996)은 1980년대 중반 북미 천연가스 시장의 규제완화 이후 현물가격의 동조화 현상이 뚜렷하게 나타나고 있음을 분석하였으며, Neumann(2009)은 북미와 유럽 가스 시장 간의 가격 동조화 현상을 제시하였다. 최근의 동북아시아 시장을 보면 다음과 같다. 싱가포르의 LNG 트레이더사는 2018년 동절기에 천연가스 수요가 증가하는 컨탱고(contango) 상황을 예상하고 하절기에 물량을 대거 확보해 두었지만, 예상보다 따뜻한 날씨로 인해 천연가스 수요가 줄면서 아시아 시장의 LNG 현물 가격이 큰 폭으로 하락하였다(심윤국, 2019).⁵⁾ 이때 HH인텍스의 미국산 LNG 계약 구매자는 계약 가격보다 싱가포르의 현물가격이 현저히 낮을 경우 현물구매로 전환하는 옵션을 행사함으로써 현물구매 비중을 확대할 수 있다. 물론 계약사항 변경에 따라 지불해야 하는 페널티와 미국, 싱가포르 두 시장의 가격 스프레드를 비교하여 전환 여부를 결정해야 한다.

본 논문에서는 가격 변동성이 높은 천연가스 시장에서 HH인텍스의 천연가스 계약이 갖는 이와 같은 유연성 가치를 옵션모형으로 평가하는 방법론을 제시하고자 한다. 전통적인 방식의 알래스카의 LNG 수출을 제외하고, 미국 본토의 LNG 수출 논의는 불과 수년 전에 시작된 사안이기 때문에, 이와 관련된 가격 변동성과 계약구조의 정량적 평가에 대한 선행연구는 거의 전무한 상황이다. 따라서 본 논문을 통해 중동과 동남아 등 전통적인 LNG 공급자로부터 공급되는 경직적인 LNG 도입조건에 비해 유연한 특성을 가진 미국산 LNG 계약에 대한 분석도구를 제시하고자 한다.

특히, 본 연구에서는 HH 연동 계약이 갖는 신축성의 가치를 실물옵션 관점에서 옵션가치로 평가하도록 한다. 가스전 개발 및 액화설비 투자 등 대규모 자본 투자가 요구되는 자원산업의 고유한 여건을 반영하여 장기 또는 중·단기 등 기간 계약(term contract)을 체결하는 관행은 미국 가스 시장에서도 거래의 근간을 이루고 있다. 또한 2014년 말 이후 유가가 낮은 수준에서 소폭의 등락을 거듭하고 있기는 하지만 여전히 국제 유가 시장은 장기적인 가격 불확실성을 내포한다. 이러한 계약구조의 비가역성과 시장 가격의 불확실성을 반영하기 위한 모형으로서 본 연구는 실물옵션 방법론을 채택하였다.

앞서 언급한 바와 같이 미국 본토의 LNG 수출 논의는 불과 수년 전에 시작

5) 예상치 못한 백워데이션 상황에서 판매하지 못한 2018년의 잉여물량 대부분은 LNG 해상저장시설(floating storage)에 보관하였는데, 이는 과거에는 가능하지 않았던 영하 162도의 가스 장기 비축이 최근 기술개발로 가능해졌기 때문이다.

된 사안으로, 이와 관련된 가격 변동성과 계약구조의 정량적 평가에 대한 선행연구는 거의 이루어지지 않은 상황이다. 다만, 미국산 HH인덱스 계약의 신축성은 어떤 한 시점에 계약물량의 전부 또는 일부를 인수하지 않아도 되는 일종의 아메리카형 교환옵션(American exchange option)의 관점에서 해석할 수 있다. Margrabe(1978)는 투자자가 현재 보유한 자산을 다른 자산과 교환할 수 있는 옵션의 가치를 소개하였다. McDonald and Siegel(1986)은 위험회피적인 투자자가 투자비용과 수익이 불확실하고 투자 여부에 대한 의사결정이 비가역적인 상황에서 기다림(waiting to invest)의 가치를 만기무한 아메리카형 교환옵션(perpetual American exchange option)의 관점에서 분석하였으며, Wong(2008)은 이를 보다 일반화하였다. 한편, Margrabe(1978)의 옵션가치는 특수한 형태의 스프레드옵션(spread option)으로 볼 수 있는데, Deng *et al.*(2008)은 보다 일반적인 스프레드 옵션의 해의 근사치를 효율적이고 정확하게 도출하기 위한 방법을 제안하였다. 다음으로 Kaiser and Tumma(2004)는 에틸렌 TOP 계약을 선물옵션의 관점에서 분석하였는데, 에틸렌의 현물가격과 사적 불확실성(private uncertainty)을 반영하였다. 여기에서 사적 불확실성이란 에틸렌의 생산-소비-저장 과정에서 제조업자가 직면하는 불확실성을 의미한다. 마지막으로 Abadie and Chamorro(2009)는 천연가스발전소에 대한 투자옵션을 연구하였으며, 이때 투자자가 직면하는 불확실성은 발전소 수익에 영향을 미칠 수 있는 천연가스 가격, 전력 가격, 그리고 CO₂ 배출권 가격 등으로 요약된다. 본 연구는 이러한 선행연구를 기반으로 미국산 HH인덱스 계약의 신축성 가치를 평가하는 방법을 제시하는 데 그 목적이 있다.

논문의 구성은 다음과 같다. II절에서는 HH인덱스 계약의 유연성 가치를 분석하기 위한 옵션모형을 소개하도록 한다. III절은 HH 가격 및 싱가포르 현물시장의 JKM(Japan-Korea-Market) 가격 데이터를 활용한 유연성 가치의 계량 분석을 제공한다. 요약과 결론은 IV절에서 제시하도록 한다.

II. 유연성 가치의 분석모형 및 실증 분석

1. 분석모형의 개관

전통적인 원유가 인덱스 LNG 계약은 의무인수(TOP) 및 재판매 등의 조건에서 경직적이다. 이러한 문제점과 더불어 최근에는 국제 에너지 가격의 변동성 또

한 증가하면서, 우리의 LNG 도입 계약 방식을 다원화하는 방안에 대한 검토가 필요하게 되었다. 유가인덱스의 TOP 계약과는 달리 미국산 LNG 도입 계약은 대체로 미국의 대표적 현물시장인 Henry Hub(HH) 가격에 연동(이하 HH인덱스)하는 가격구조를 취한다. 또한 대부분 Tolling 또는 Merchant 모델을 채택하기 때문에, 계약한 LNG 물량을 미인수하는 TOP 발생의 경우에도 액화설비 이용요금(용량예약요금) 수준으로 TOP 페널티가 낮아지는 효과 때문에 미국산 LNG 계약은 기존의 유가인덱스 계약보다 높은 유연성 또는 신축성(flexibility)을 갖는다.⁶⁾

이에 따라 본 논문에서는 HH인덱스의 미국산 LNG 계약이 갖는 신축성 가치를 정량적으로 평가하여 국내에서 적용할 수 있는 가능성을 검토하고자 한다. 물론 2014년 말 이후 급속히 하락한 후 현재까지 저유가 수준에서 소폭의 등락을 거듭하고 있는 상황에서는 과거의 배럴당 100달러 수준 때와는 달리 유가인덱스 계약에 비해 HH인덱스 계약이 갖는 장점이 감소하였다고 평가할 수 있다. 하지만 국제 석유 시장과 가스 시장의 장기적 가격 변동성을 고려할 때 HH인덱스 계약의 신축성 가치는 여전히 매력적인 요소를 갖고 있다. 특히, LNG 계약은 20년 이상의 장기적인 기간구조를 갖고 있어 계약의 이행과 탈퇴에 따른 비가역성(irreversibility)이 크기 때문에, 유가인덱스에 비해 신축적인 HH인덱스 계약의 장점에 주목할 필요가 있다. 주지하는 바와 같이, 미국의 HH인덱스 계약에서는 유가인덱스 계약과는 달리 인수자에게 경직적인 목적지 제한(destination clause) 역시 요구하지 않는다.

이들 계약 가격의 변동성을 고려하여 미국 HH인덱스 계약의 신축성 가치를 분석하기 위하여 실물옵션(real options) 방법론을 활용한다. 실물옵션 관점에서는 HH인덱스 계약이 갖는 신축성 가치는 옵션가치로 평가할 수 있다. 이하에서는 계약구조, 가격 변동성의 형태 등에 따라 여러 옵션모형의 적용 가능성을 검토하여, 미국산 도입 계약에 내재된 신축성 가치 분석에 적합한 형태로 모형을 설정하도록 한다. 보다 세부적으로 미국산 LNG 도입 계약에서 액화설비 예약요금은 LNG 물량의 실제 인수 여부와 관계없이 항시 지불해야 하지만, 어떤 한 시점에 계약물량의 전부 또는 일부를 인수하지 않아도 되는 신축성은 만기 이전에 언제라도 행사 가능한 아메리카형 옵션(American option)구조를 가지는 것으로 해석할 수 있다. 즉, 필요한 LNG 물량을 조달함에 있어서 HH인덱스 계약을 통해 구매하지만, 어떤 시점에 HH 가격이 너무 높게 형성되었을 때 이 계약으로부터

6) Tolling과 Merchant 모델에 대한 상세한 설명은 도현재(2015)를 참조하길 바란다.

LNG 도입을 포기하고, 현물시장에서 필요물량을 조달하는 옵션을 생각해 볼 수 있다. 이때 계약물량을 인수하지 않는 경우의 take-or-pay 페널티는 실질적으로 액화설비 예약요금이 되는데, 이는 이러한 옵션권리를 가지기 위한 아메리카형 옵션의 가격으로 재해석할 수 있다.

신축성 가치를 추정하기 위하여 두 종류의 옵션모형을 적용하는데, 이는 LNG 도입업자가 HH인덱스 계약에서 계약을 취소하는 유형에 따른 구분이다. 우선은 단기 계약 전환모형으로서, 매 기간에 도입하도록 계약된 HH인덱스의 미국 LNG 물량을 실제 도입(인수)할 것인지, 아니면 이 물량을 도입하는 대신 현물시장에서 LNG를 도입하는 것으로 전환을 할 것인지에 관한 의사결정 모형이다. 이 경우 비교대상은 HH 가격과 JKM 현물가격으로 설정하였다. 직관적으로 볼 때 HH 가격이 충분히 높은 어느 임계 수준에서는 HH인덱스 계약에서 JKM 계약으로 전환하는 것이 타당하다는 것을 알 수 있는데, 아래에서 소개되는 옵션가치 분석에서는 이 전환 임계 가격도 정량적으로 추정하도록 한다.

두 번째 유형의 신축성 가치 분석은 전 계약기간에 걸쳐서 기존의 HH인덱스 계약을 철회하고 유가인덱스 계약으로 전환하는 의사결정을 고려한 것이다. 이 경우 비교대상은 HH 가격과 원유 가격이 되며, 앞서와 마찬가지로 HH인덱스 계약에서 유가인덱스 계약으로 전환하는 최적 임계 가격과 더불어 신축성 가치를 추정하도록 한다.

<표 1> HH인덱스 계약의 신축성 가치 연산을 위한 모형

	단기(부분) 계약전환	전체 계약전환
기존 계약 가격	HH인덱스 계약 가격	HH인덱스 계약 가격
전환 계약 가격	JKM 현물	유가인덱스 계약 가격

이하 신축성 가치 분석 논의의 구성은 다음과 같다. HH인덱스 계약이 갖는 신축성의 가치를 정량적으로 분석하기 위한 앞서 언급한 두 종류의 옵션모형을 우선 개발한다. 단기 계약전환과 전체 계약전환의 기간 특성이 다르기 때문에 각각의 옵션모형을 별도로 고려하도록 한다. 이어서 HH인덱스 계약이 갖는 신축성의 정량적 가치를 실증 분석하고, 다양한 민감도 분석을 시행한다.

2. 신축성 가치의 분석모형

1) 단기 계약전환옵션모형

본 절에서는 HH인덱스 계약에서 JKM 현물가격 기준 계약으로 전환할 수 있는 미국산 LNG 도입 계약의 신축성 가치를 구하도록 한다. 초기 전제조건은 HH인덱스 계약을 보유한 위치에서 시작하지만, HH 가격과 JKM의 가격을 비교하여 전자가 후자보다 현격히 높을 경우, HH인덱스 계약에서 JKM 기준 계약으로 전환하는 것이 나올 수 있다. 이 경우 신축성의 가치는 이른바 스프레드 옵션(spread option)으로 평가할 수 있다.

일반적으로 HH 가격에 연동된 LNG 도입 계약 가격은 'P(US LNG)=a×HH+액화비용+수송비용'과 같이 정의된다. 이를 일반화하여 만일 t 시점에서의 단위(백만 Btu)당 HH 가격을 $H(t)$, 액화비용을 m , 수송비용을 n 으로 표시하면, HH인덱스 계약 가격은 아래의 P_g 와 같다.

$$P_g(t) = a_g H(t) + m + n \quad (1)$$

미국산 LNG 수출 프로젝트의 선두주자인 Cheniere Energy의 Sabine Pass 프로젝트 매매 계약(SPA) 등 대표적인 HH인덱스 계약에서 인덱스계수(a_g)가 1.15, 액화비용(m)이 약 \$3/백만Btu, 수송비용(n)이 약 \$3/백만Btu 수준을 보이는데,⁷⁾⁸⁾ HH 가격이 \$4/백만Btu이면, 계약 가격은 $1.15 \times 4 + 3 + 3 = \$10.6/\text{백만Btu}$ 가 된다. HH 가격이 확률 과정을 따르므로 이의 함수인 $P_g(t)$ 가 기하학적 브라운 과정의 확률 과정을 따른다고 가정한다.

$$dP_g(t) = \alpha_g P_g(t) dt + \sigma_g P_g(t) dw_g(t) \quad (2)$$

위 식에서 α_g 는 증가율(drift rate), σ_g 는 변동성(volatility rate)을 나타내며, 이들 파라미터는 시간에 대해 불변하는 것으로 가정한다. $dw_g(t)$ 는 위너 과정

7) Sabine Pass 프로젝트는 Merchant 모델을 채택하고 있으며, 한국가스공사, Total, Gail India 등 여러 구매자와 20년 기간의 매매 계약(SPA)을 맺고 있다.

8) 최근 Calcasieu Pass LNG 프로젝트의 주주사인 Global Venture는 액화처리비용으로 1.75달러의 파격적인 조건을 제시하기도 하였다(심윤국, 2019).

(Wiener process)을 나타낸다. 한편, JKM 현물가격을 $P_s(t)$ 라 하면 이의 확률과정 역시 다음과 같은 기하학적 브라운 과정으로 표현될 수 있다.⁹⁾

$$dP_s(t) = \alpha_s P_s(t)dt + \sigma_s P_s(t)dw_s(t) \quad (3)$$

위너 과정 $w_g(t)$ 와 $w_s(t)$ 는 서로 독립적인 것으로 가정한다. 이 둘 사이의 상관관계가 높을 경우에는 아래에서 적용하는 스프레드 옵션을 단순하게 적용할 수는 없지만, 최근 HH와 JKM의 가격동향을 보면 탈동조화한 것이 뚜렷하게 관찰되기 때문에 $w_g(t)$ 와 $w_s(t)$ 의 독립성 가정을 무난하게 받아들일 수 있다.

할인을 ρ 가 주어질 때 HH인덱스 계약에서 JKM 계약으로 전환하는 옵션행사시점을 τ 라 하면 스프레드 옵션은 다음처럼 표현하게 된다.

$$V(x, y) \equiv \text{Exp}_0 [e^{-\rho\tau} (P_s - P_g)_+] \quad (4)$$

위에서 x, y 는 P_g 및 P_s 의 $t=0$ 에서의 초기 가격을 의미한다. Exp_0 은 현재 시점에서 기대연산자(expectation operator)를 의미한다. 식 (4)와 같은 아메리카 스프레드 옵션은 옵션 보유자에게 한 단위의 자산에 대해 다른 자산과 맞바꿀 수 있는 권리를 부여한다(Margrabe, 1978). McDonald and Siegel(1986)은 만기무한 아메리카형 교환옵션(perpetual American exchange option) 모형을 소개하였으며, Wong(2008)은 보다 일반화한 형태로 개발하였다. 식 (4)에 Ito's lemma를 적용하여 HJB 방정식(Hamilton Jacobi Bellman equation)을 도출한 후, 이 방정식의 해인 $V(x, y)$ 를 구할 수 있다.¹⁰⁾

$$V(x, y) = \left(\frac{x}{\hat{\theta}}\right)^{\hat{\theta}} \left(\frac{\hat{\theta}-1}{y}\right)^{\hat{\theta}-1} = \left(\frac{\hat{\theta}-1}{\hat{\theta}}\right)^{\hat{\theta}} \left(\frac{x}{y}\right)^{\hat{\theta}} (\hat{\theta}-1)^{-1} y \quad (5)$$

식 (5)에서 $\hat{\theta} = \eta - \gamma$, $\eta = 1/2 - (\alpha_g + \alpha_s)/v^2$, $\gamma = \sqrt{\eta^2 + 2(\rho + \alpha_g)/v^2}$, 그리

-
- 9) 흔히 현물구매는 DES(delivered ex-ship) 조건으로 거래되기 때문에 여기에서는 별도의 수송비용이 없다고 가정한다.
10) 일반적인 옵션모형에서와 마찬가지로 $\rho > \alpha_s$ 를 만족하는 것으로 가정하지만 Wong(2008)은 이러한 가정이 필요 없는 일반화된 해를 제시하였다.

고 $v^2 = \sigma_g^2 + \sigma_s^2$ 를 나타낸다.¹¹⁾ HH 계약 가격에서 JKM 가격으로 전환할 수 있는 행사경계(exercise boundary)를 P_g 와 P_c 의 상대 가격인 $c^* = P_s/P_g$ 다음과 같이 정의된다.

$$c^* = \frac{\hat{\theta}}{\hat{\theta} - 1} \quad (6)$$

만일 P_s 의 상대 가격이 c^* 보다 낮아지게 되면, 즉 JKM 가격에 비해 HH인덱스 계약 가격이 현격히 높은 수준에 도달하게 되면 해당 기간의 HH 가스를 도입하는 대신 JKM 현물로 전환하는 것이 최적이라는 것을 의미한다. 일반적으로 실물옵션 문헌에서는 식 (6)의 $\hat{\theta}/(\hat{\theta}-1)$ 을 옵션승수(option multiplier)라고 하는데, 이 값이 커질수록 P_g 와 P_s 사이의 차이가 커지기 때문이다. 위 모형을 바탕으로 HH 가격과 JKM 가격의 데이터를 활용하여 HH 계약의 신축성 가치를 스프레드 옵션 관점에서 평가할 수 있다.

2) 전체 계약전환옵션모형

본 소절에서는 HH 계약을 유가인덱스 계약으로 전체적으로 전환할 수 있는 경우의 계약전환의 행사경계를 평가하고자 한다. 앞 절의 단기 계약전환옵션, 즉 스프레드 옵션 분석은 HH 계약의 한 기간 단위 기준으로 유가인덱스 계약으로 전환할 수 있는 경우를 분석한 것이다. 반면 본 소절에서는 남은 계약기간 동안의 전체 계약을 유가인덱스 계약으로 전환하는 경우를 상정한 것이다.

HH인덱스의 전체 계약을 철회하고 유가인덱스 계약으로 전환하는 경우는 HH 가격과 유가의 수준뿐 아니라 불확실성에 따른 리스크가 고려되어야 하여 쉽게 발생할 수 없겠지만, HH 계약의 행사경계와 신축성 가치의 최대치에 대한 정보를 제공한다는 점에 의미가 있다. 아울러 HH인덱스 계약에서 타 계약으로 전부 전환하는 것 역시 비가역적(irreversible)인 행사로서, 가격의 불확실성이 존재하는 상황에서 실물옵션의 분석 주제에 적합하다.

11) 보통의 콜옵션에서는 가격이 높을수록 유리하기 때문에 $\hat{\theta} = \eta + \gamma$ 를 취하게 되지만, 본 연구에서는 P_s 역시 낮을수록 LNG 구매자 입장에서는 유리하므로 경계조건을 만족하기 위하여 $\hat{\theta} = \eta - \gamma$ 를 취하여야 한다. 상세한 도출 과정은 Wong(2008) 또는 박호정(2018)을 참고하길 바란다.

만일 HH인덱스 계약 가격이 상대적으로 유가인덱스 계약 가격보다 너무 높으면, HH인덱스 계약을 포기하고 유가인덱스 계약으로 전환하는 것이 바람직할 수 있다. 따라서 HH인덱스 계약 가격과 유가인덱스 계약 가격 간의 상대적 가치를 고려해야 하는데, 우선 각 계약 가격을 정의하면 다음과 같다.

$$\text{HH인덱스 계약 가격: } C_g = a_g P_g + m + n \quad (7)$$

$$\text{유가인덱스 계약 가격}^{12): } C_o = a_o P_o + b \quad (8)$$

계약물량이 Q , 계약기간이 T , 할인율이 ρ , 그리고 도입한 가스의 국내 판매 가격이 \tilde{P} 인 경우에 HH 기준 계약의 가치는 아래와 같다.

$$V(P_g) = \text{Exp} \int_0^T Q(\tilde{P} - C_g) e^{-\rho t} dt \quad (9)$$

$$\text{s.t. } dP_g(t) = \alpha_g P_g(t) dt + \sigma_g P_g(t) dw(t) \quad (10)$$

$V(P_g)$ 를 Ito's lemma로 전개하여 HJB 방정식을 도출하여 식 (11)을 구한다.

$$\rho V(P_g) = Q\tilde{P} - QC_g + \alpha_g P_g \frac{\partial V(P_g)}{\partial P_g} + \frac{1}{2} \sigma_g^2 P_g^2 \frac{\partial^2 V(P_g)}{\partial P_g^2} \quad (11)$$

미분방정식 (11)을 만족하는 $V(P_g)$ 는 일반해와 특수해의 합으로 구성되는데, 우선 특수해는 다음과 구할 수 있다(박호정, 2018).

$$V(P_g) = Q \left(\frac{\tilde{P} - m - n}{\rho} - \frac{a_g P_g}{\rho - \alpha_g} \right) (1 - e^{-\rho T}) \quad (12)$$

식 (12) 우변 항은 식 (11)의 비동차방정식의 특수해로서, HH인덱스 계약의 본원적 가치(fundamental value)를 나타낸다. 계약의 만기가 존재하지 않는 경우에는 $(1 - e^{-\rho T})$ 의 항이 존재하지 않지만, 가스 계약은 비록 장기간일지라도 만

12) 유가인덱스 LNG 계약 가격 공식은 대체로 유가에 대한 1차함수의 형태를 띤다. 보다 자세한 논의는 도현재·박지민(2007, pp. 18~19)을 참조하길 바란다.

기(T)가 주어지기 때문에 이 항이 포함된다. 식 (11)의 동차방정식의 일반해를 $F(P_g)$ 로 표시하면 그 해는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F(P_g) = A_1 P_g^{\beta_1} + A_2 P_g^{\beta_2} \quad (13)$$

식 (13)에서 옵션상수항인 A_1 과 A_2 가 주어질 때(옵션상수항은 아래에서 추가적인 조건식에 의해 구하게 된다), $A_1 P_g^{\beta_1}$ 과 $A_2 P_g^{\beta_2}$ 는 일반적으로 옵션가치를 의미하는데, 식 (11)의 동차방정식 풀이 과정에서 구할 수 있으며 이때 도출된 특성방정식에서 β 의 값을 구할 수 있다.

$$\beta_1 = \left(\frac{1}{2} - \frac{\mu}{\sigma^2} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{2} - \frac{\mu}{\sigma^2} \right)^2 + \frac{2\rho}{\sigma^2}} > 1 \quad (14)$$

$$\beta_2 = \left(\frac{1}{2} - \frac{\mu}{\sigma^2} \right) - \sqrt{\left(\frac{1}{2} - \frac{\mu}{\sigma^2} \right)^2 + \frac{2\rho}{\sigma^2}} < 0 \quad (15)$$

P_g 가 증가할수록 HH인덱스 계약에서 원유 가격 인덱스 계약으로 전환하는 것이 유리하기 때문에, $\lim_{P_g \rightarrow \infty} F(P_g) = \infty$, $\lim_{P_g \rightarrow 0} F(P_g) = 0$ 의 경계조건을 만족해야 한다. 즉, P_g 가 충분히 높은 수준에 이르게 되면 HH인덱스 계약 전체를 전환하는 옵션가치 역시 높게 될 것이며, 반대로 P_g 가 0에 가까워지면 전환옵션을 행사할 이유가 없어지기 때문이다. 이 경계조건을 이용하여 $\beta_2 < 0$ 의 $A_2 P_g^{\beta_2}$ 항은 제거한다. 따라서 아래에서는 표기의 단순화를 위하여 β_1 을 β 로 표시한다. HJB 방정식의 해를 구성하기 위해 마지막으로 식 (12)와 식 (13)의 두 식을 합하여 다음과 같이 정리한다.

$$V(P_g) = Q \left(\frac{\tilde{P} - m - n}{\rho} - \frac{a_g P_g}{\rho - \alpha_g} \right) (1 - e^{-\rho T}) + A P_g^\beta \quad (16)$$

만일 원유 가격 인덱스 계약을 택하게 되면 HH인덱스 계약의 HJB 방정식을 풀 것과 동일한 방식으로 유가인덱스 계약의 가치를 구할 수 있다. 다만, 유가인덱스 계약으로 일단 전환한 이후에는 더 이상 전환옵션이 존재하지 않는 것으로 가정한다.

$$W(P_o) = \text{Exp} \int_0^T Q(\tilde{P} - C_o) e^{-\rho t} dt \quad (17)$$

$$\text{여기서, } C_o = a_o P_o + b$$

식 (17)의 HJB 방정식을 도출하여 그 해를 풀면 식 (18)을 얻는다. 유가인덱스 계약에서는 전환옵션을 고려하지 않기 때문에, 동차방정식의 해는 포함하지 않는다.

$$W(P_o) = Q \left(\frac{\tilde{P} - b}{\rho} - \frac{a_o P_o}{\rho - \alpha_o} \right) (1 - e^{-\rho T}) \quad (18)$$

비용편의 일치조건(value-matching condition)과 한계비용편의 일치조건(smooth-pasting condition)을 이용하여 계약전환을 위한 최적임계 가격을 구하도록 한다.

$$AP_g^\beta = Q(1 - e^{-\rho T}) \left(\frac{m + n - b}{\rho} + \frac{a_g P_g}{\rho - \alpha_g} - \frac{a_o P_o}{\rho - \alpha_o} \right) - m T Q \quad (19)$$

$$\beta A P_g^{\beta-1} = \frac{a_g Q}{\rho - \alpha_g} (1 - e^{-\rho T}) \quad (20)$$

식 (19) 우변의 첫 번째 항은 HH인덱스 계약에서 원유 가격 인덱스 계약으로 전환하였을 경우의 순익의 차이를 나타내며, 좌변의 AP_g^β 는 계약전환의 옵션가치를 의미한다. 따라서 위 식이 의미하는 바는, 최적분기 가격 P_g^{**} 에서는 계약전환의 옵션가치와 계약전환의 순익이 일치해야 함을 의미하는 것을 알 수 있다.

HH인덱스 계약에서 원유 가격 인덱스 계약으로 전환하는 최적분기 가격 P_g^{**} 와 옵션상수항인 A 는 식 (19)와 식 (20)을 풀어서 구할 수 있는데, 그 결과는 다음과 같다.

$$P_g^{**} = \left[m T - (1 - e^{-\rho T}) \left(\frac{m + n - b}{\rho} - \frac{a_o P_o}{\rho - \alpha_o} \right) \right] \frac{\rho - \alpha_g}{a_g (1 - e^{-\rho T})} \frac{\beta}{\beta - 1} \quad (21)$$

위 식이 의미하는 바는, HH 가격이 P_g^{**} 를 초과하게 되는 시점에서는 HH

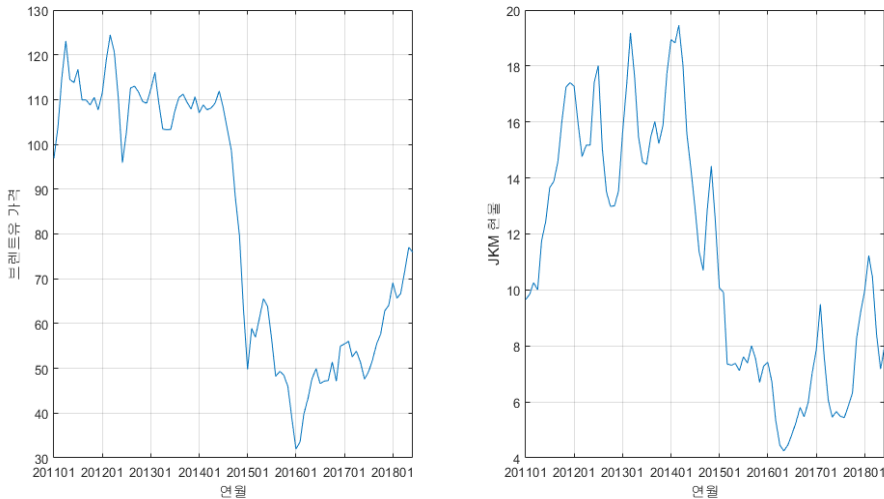
가격이 미국산 LNG 도입의 이득이 사라지는 수준으로 높아져, HH인덱스 계약 전체를 유가인덱스 계약으로 전환하는 것이 최적임을 나타낸다. 앞서 스프레드 옵션과 유사하게 식 (22)의 $\beta/(\beta-1)$ 은 옵션승수를 나타낸다.

III. 유연성 가치의 분석

우선 2011년 1월부터 2018년 6월까지의 JKM과 브렌트(Brent) 가격의 추세를 살펴보도록 한다. <그림 1>에서 JKM과 브렌트 가격 간에는 동조 현상이 관찰되는 것을 알 수 있다.

다음 <그림 2>는 동일한 기간 사이에 JKM 현물가격과 HH인덱스 계약 가격의 추세를 보여 준다. HH인덱스 계약 가격 시계열을 생성하기 위하여 액화비용 \$3/백만Btu, 수송비용 \$3/백만Btu을 가정하였다. 앞에서 설명한 바와 같이 두 시계열 사이의 추세 이탈이 뚜렷한 것을 알 수 있다.

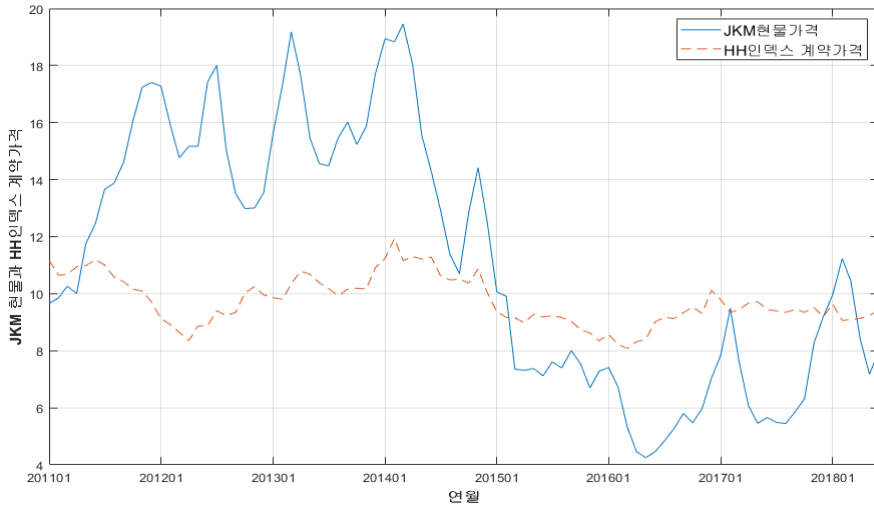
<그림 1> 브렌트유와 JKM 현물가격의 동조현상



우선 JKM과 HH인덱스 계약 가격의 확률 과정이 앞서 모형에서 상정한 바와 같이 기하학적 브라운 과정을 따르는지에 대한 통계적 검정이 필요하다. 이는 일반적으로 단위근(unit root) 검정을 위한 ADF(Augmented Dickey Fuller) 테스트

를 통해 이루어지는데, JKM의 경우 -0.5675 , HH인덱스 계약 가격의 경우 0.7532 로서 유의수준 5% 임계값이 -1.9445 이기 때문에 단위근 귀무가설을 기각할 수 없었다. 따라서 정상성을 가지지 않은 기하학적 브라운 과정의 사용이 적합하다고 판단된다.

<그림 2> JKM 현물과 HH인덱스 계약 가격 추세



다음 단계로 신축성 가치를 추정하기 위하여 HH 계약 가격과 JKM 현물가격의 증가율(drift rate)과 변동률(volatility rate)을 추정한다. 기하학적 브라운 과정을 따르는 시계열의 증가율과 변동률 추정은 식 (2)와 식 (3)에 관한 최대우도추정치(MLE)에 해당한다. 가격 $P(t)$ 가 증가율 α , 변동률 σ 인 기하학적 브라운 과정을 따를 때 시계열 $y(t)$ 를 $y(t) = \ln P(t) - \ln P(t-1)$ 로 정의하고, $y(t)$ 의 평균 \bar{y} 와 표준편차 σ_y 를 구한다. 증가율과 변동률의 각 추정치는 $\hat{\alpha} = \bar{y}/\Delta + \sigma^2/2\Delta$, $\hat{\sigma} = \sigma_y/\sqrt{\Delta}$ 의 식을 이용하여 구할 수 있는데, 원 시계열 자료가 월 자료이므로 연간 추정치로 변환하기 위해서 $\Delta = 1/12$ 을 적용하도록 한다.

위 데이터를 이용하여 JKM 현물가격과 HH인덱스 계약 가격의 증가율과 표준편차를 추정한 후, α_i 와 σ_i 를 계산한 결과는 다음 표와 같다. 할인율은 5%를 기준으로 선정하였으며, 이에 대한 적절한 범위 내에서의 민감도 분석을 수행하도록 한다. 계약기간은 LNG 계약이 보통 20년 이상의 장기 계약이므로 본 분석에서는 $T = 20$ 으로 가정한다.

<표 1> JKM 현물가격과 HH인덱스 계약 가격의 파라미터 추정 결과

	JKM 현물가격($i = s$)	HH인덱스 계약 가격($i = g$)
증가율 α_i	-0.0238	5.14e-04
변동률 σ_i	0.0318	0.1179

주: $\rho=0.05$, $a_g=1.15$, $m=3$, $n=3$, $Q=5$, $T=20$.

다음 단계는 추정된 기본 파라미터를 바탕으로 스프레드 옵션에서의 신축성 가치를 구하는 것이다. HH인덱스 계약에서 JKM 현물 계약으로 전환할 수 있는 행사단계 c^* 를 계산한 결과는 다음과 같다.

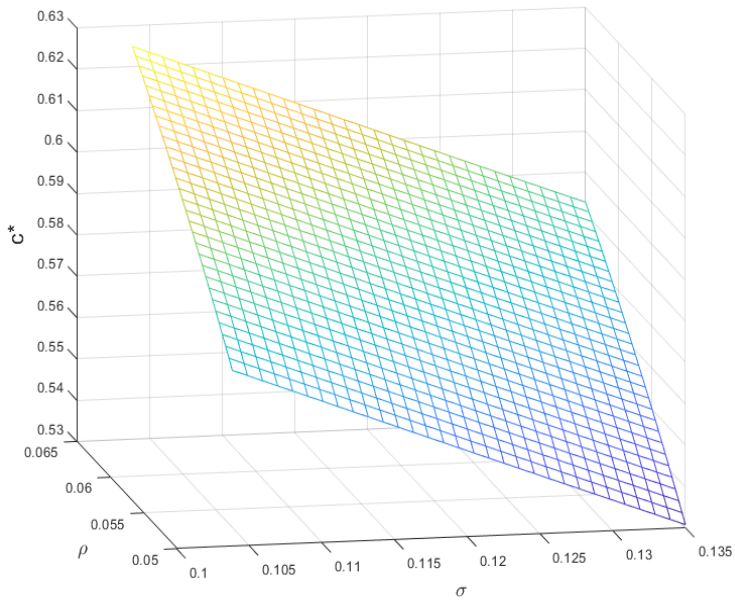
$c^*=0.57$ 이 나왔는데, 이는 JKM 현물가격이 HH인덱스 계약 가격의 57% 수준 이하로 떨어지게 되면 JKM으로 전환하는 옵션을 행사할 수 있음을 의미한다. 2018년 6월 기준 HH인덱스 계약 가격이 \$9.38/백만Btu인데, 이의 57% 수준인 \$5.37/백만Btu에 JKM 현물가가 형성되면 패널티인 \$3/백만Btu를 추가하더라도 \$8.37/백만Btu가 되기 때문에 HH인덱스 계약 가격보다는 저렴하다. 따라서 HH인덱스 계약에서 지불해야 하는 액화비용 \$3/백만Btu를 고려할 경우 나름대로 합리적인 수준으로 평가할 수 있다.

다음으로 할인율 ρ 와 변동률에 대한 c^* 의 민감도 분석 결과를 살펴보면 다음 <그림 3>과 같다. 할인율이 0.05에서 0.065 수준으로 높아질수록 c^* 가 증가하는데 이는 금리비용의 상승효과가 있기 때문이다. 또한 변동률이 증가할수록 c^* 는 감소하는데, 이는 시계열 상의 변동성 리스크가 높아질 경우에는 JKM 현물가격이 충분히 낮아져야만 계약전환이 유리하기 때문이다. 즉, 변동성의 증가가 옵션 가치를 높이는 이른바 히스테리시스(hysteresis) 효과와 관련이 있다.

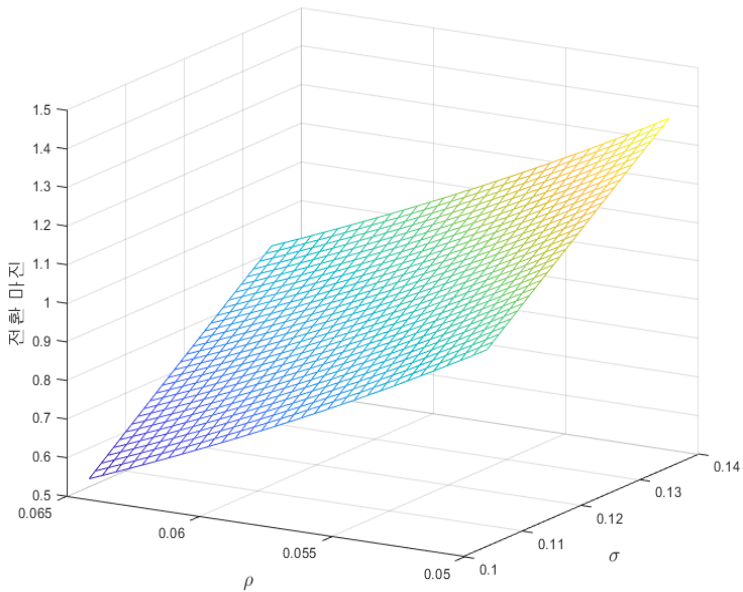
<그림 4>는 c^* 에 도달하였을 때 HH인덱스에서 JKM으로 전환할 경우 달성할 수 있는 전환 마진¹³⁾의 민감도 분석 결과를 보여 준다. 변동성이 높을수록 전환에 따른 마진이 증가하기 때문에 유연한 구조를 가진 HH인덱스 계약의 장점이 잘 드러나는 것으로 보인다.

13) HH인덱스 계약 가격에서 전환시점의 JKM 가격과 패널티를 제한 값을 마진으로 정의하였다.

<그림 3> 할인율 및 변동률 대비 c^* 의 민감도 분석



<그림 4> 전환 마진의 민감도 분석



<표 2> HH인덱스에서 JKM 전환 시 마진

(단위: \$/백만Btu)

		HH인덱스 계약 가격						
		8.00	8.50	9.00	9.50	10.00	10.50	11.00
JKM 가격	4.58	0.42	0.92	1.42	1.92	2.42	2.92	3.42
	4.87	0.13	0.63	1.13	1.63	2.13	2.63	3.13
	5.15	-0.15	0.35	0.85	1.35	1.85	2.35	2.85
	5.44	-0.44	0.06	0.56	1.06	1.56	2.06	2.56
	5.73	-0.73	-0.23	0.27	0.77	1.27	1.77	2.27
	6.01	-1.01	-0.51	-0.01	0.49	0.99	1.49	1.99
	6.30	-1.30	-0.80	-0.30	0.20	0.70	1.20	1.70

<표 2>는 HH인덱스에서 JKM으로 전환 시에 달성할 수 있는 마진을 \$/백만 Btu 단위로 보고한 것인데, 표를 읽는 방식은 다음과 같다. HH인덱스 계약 가격이 8달러 이상일 때 c^* 를 적용한 최저 JKM 임계 가격이 4.58달러가 된다. 이 경우 HH인덱스 계약 가격이 8달러보다 높을 경우의 전환 마진이 첫 번째 행의 0.42달러에서 시작해서 0.92달러에 이어 3.42달러까지 증가하는 것을 알 수 있다. JKM 5.15달러는 HH인덱스 계약 가격이 9.00달러일 때의 임계 가격임에도 불구하고 만일 HH인덱스 계약 가격 8달러일 때 물량을 JKM으로 전환하게 되면 그때의 마진은 -0.15달러로 손실이 나는 것을 알 수 있다.

다음으로 HH인덱스 계약을 전체 계약기간에 대해 해지하고 대신에 유가인덱스 계약으로 전환하는 경우를 분석하도록 한다. 의사결정자 입장에서는 두 종류 계약의 상대 가격을 기준으로 유리한 계약을 택할 수 있다. 유가는 브렌트유나 두바이유 등 벤치마커 원유 가격을 일반적으로 기준하기 때문에, 본 분석에서는 브렌트유를 대상으로 하도록 한다.

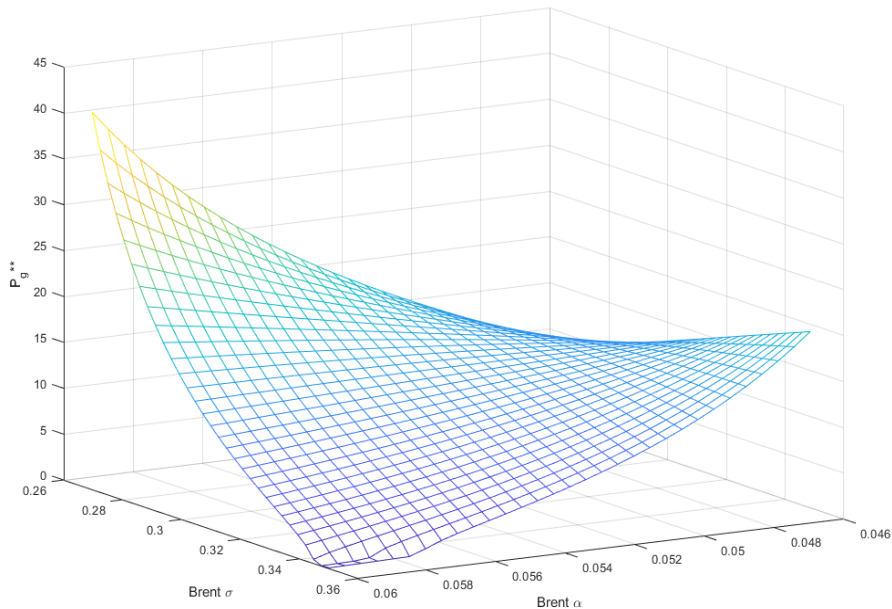
유가인덱스 계약 가격의 증가율과 변동률은 각 0.0461과 0.2692로 추정되었으며, HH인덱스 계약 가격의 증가율과 변동률은 각각 -0.0034와 0.2086으로 추정되었다. HH인덱스 계약 가격의 증가율이 (-)인 것은 주지하는 바와 같이 셰일가스 개발이 본격화됨에 따라 미국산 천연가스 가격이 하락하였기 때문이다.

위 수치를 적용하여 앞 절에서 개발한 전체 계약전환의 임계 가격을 계산하

면, \$17.72/백만Btu인 것으로 나타났다. 이는 유가인덱스 계약 가격과 비교해서 HH인덱스 계약 가격이 \$17.72/백만Btu 이상이 될 경우, HH인덱스 계약을 전 기간에 걸쳐서 해지하고 유가인덱스 계약으로 전환하는 것이 최적이라는 점을 의미한다. 앞서 도입 계약의 기간별 해지 후 JKM으로 전환하는 임계 가격 수준보다 높게 평가된 것은, $T=20$ 이라는 장기 계약 자체의 전환이라는 비가역적인 행사비용이 반영되었기 때문인 것으로 사료된다.

<그림 5>는 전체 계약 해지를 위한 P_g^{**} 의 유가인덱스 계약 가격의 증가율 α 및 변동률 σ 에 대한 민감도 분석 결과를 보여 준다. 변동률 σ 이 증가하면 HH인덱스의 매력이 커지므로 P_g^{**} 가 전체적으로 낮아지는 것을 알 수 있다. 하지만 증가율이 높은 구간에서는 변동성의 증가가 P_g^{**} 를 오히려 증대시키는 것으로 나타났는데, 이는 앞에서 설명한 배당효과와 불확실성의 효과가 혼재해서 나타난 결과이다. 즉, 변동성이 높아질지라도 유가인덱스 계약 가격의 증가가 현저히 높아진다면 하방으로 떨어질 확률도 존재하기 때문에 P_g^{**} 가 근소하나마 높아질 수도 있음을 의미한다.

<그림 5> 전체 계약 해지의 P_g^{**} 민감도 분석



IV. 요약 및 결론

국제유가와 천연가스의 불확실성이 증가함에 따라 LNG 도입 계약 방식을 다원화하는 노력이 강화되고 있다. 기존의 유가인덱스 방식의 TOP 계약은 가격 및 재판매 등의 조건에서 경직적인 반면, 미국 HH(Henry Hub) 기준의 계약은 비록 TOP 구조를 갖지만 액화비용 정도 수준의 낮은 패널티만 지불하면 도입물량을 취소할 수 있다는 점에서 유연한 계약구조로 평가된다. 이에 착안하여 본 논문에서는 HH 기준의 계약이 갖는 신축성 가치를 옵션모형으로 평가하고자 하였다. HH 기준 계약을 타 계약으로 전환하는 두 경우, 즉 단기 계약전환옵션과 전체 계약전환옵션으로 구분하여 모형을 개발한 후 실증 분석하였다.

단기 계약전환의 신축성 가치 분석 결과, 가장 최근 JKM 가격이 HH인덱스 계약 가격의 약 57% 미만으로 저평가되어 있을 경우에, HH 기준 계약에서 JKM으로 전환하는 것이 최적인 것으로 나타났다.

만일 20년이나 30년 단위의 장기 계약 자체를 해지하고 석유가격 인덱스 계약으로 전환하는 전체 계약전환옵션을 행사하고자 한다면, 이를 위한 적절한 HH 기준의 임계 가격 수준은 \$17.72/백만Btu인 것으로 평가되었다. 단기 예약보다 임계 가격 수준이 높게 나온 것은 계약 전체 해지에 대한 비가역적인 요소의 기회비용이 반영되기 때문이다.

본 분석에서 나타난 바와 같이, HH 기준 계약의 신축성 가치가 상당히 존재하기 때문에, LNG 수입원을 다변화하는 차원에서도 석유인덱스 계약 외에 HH 기준 계약으로 적절히 다원화하는 방안을 모색할 필요가 있음을 알 수 있다. 또한 LNG 도입 계약의 다변화는 그동안 지속적으로 제기되어 온 아시아 지역의 가스 도입 가격 프리미엄 문제를 해소하는 데에도 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

도현재, “미국산 LNG 도입환경과 국내 가스시장 파급효과 분석, 에너지경제연구원,” 2015.

도현재 · 박지민, “대서양지역 가스가격 결정구조와 아·태지역 LNG 도입조건 전

- 망,” 에너지경제연구원, 2007.
- 박호정, “실물옵션과 투자분석,” 리얼포털, 2018.
- 심윤국, “LNG 시장현황과 전망,” 천연가스산업연구회 2월 세미나, 2019.
- Abadie, M. Luis and Jose M. Chamorro, “Monte Carlo Valuation of Natural Gas Investment,” *Review of Financial Economics*, 18, 10-22, 2009.
- Deng, Shi-Jie, Minqiang Li, and Jieyun Zhou, “Closed-form Approximations for Spread Option Prices and Greeks,” MPRA Paper No. 6994, 2008.
- Dixit, A. and R. Pindyck, *Investment under Uncertainty*, Princeton University Press, 1994.
- FERC, North American LNG Export Terminals - Approved, 2015a(<https://www.ferc.gov/industries/gas/indus-act/lng/lng-approved.pdf>).
- _____, North American LNG Export Terminals - Proposed, 2015b(<https://www.ferc.gov/industries/gas/indus-act/lng/lng-proposed-export.pdf>).
- _____, North American LNG Import/Export Terminals - Existing, 2015c (<https://www.ferc.gov/industries/gas/indus-act/lng/lng-existing.pdf>).
- Kaiser, J. Mark and Sudharkar Tumma, “Take-or-pay Contract Valuation under Price and Private Uncertainty,” *Applied Mathematical Modelling*, 28, 2004, 653~676.
- King, M. and M. King, “Price Convergence in North American Natural Gas Spot Markets,” *The Energy Journal*, 17(2), 1996, 17~42.
- Lund, D., “The Lognormal Diffusion is Hardly an Equilibrium Process for Exhaustible Resources,” *Journal of Environmental Economics and Management*, 25, 1993, 235~241.
- Margrabe, W., “The Value of an Option to Exchange One Asset for Another,” *Journal of Finance*, 33, 1978, 177~186.
- McDonald, R. and D. Siegel, “The Value of Waiting to Invest,” *Quarterly Journal of Economics*, 1986, 707~727.
- Metcalf, G. E. and K. A. Hassett, “Investment under Alternative Return Assumptions Comparing Random Walks and Mean Reversion,” *Journal of Economic Dynamics and Control*, 19, 1995, 1471~1488.
- Neumann, A., “Linking Natural Gas Markets-is LNG doing Its Job?,” *The Energy Journal*, 30, 2009, 187~199.

Wong, S-K T., “The Generalized Perpetual American Exchange Option Problem,” *Advanced Applied Probability*, 40, 2008, 163~182.

[Abstract]

An Exchange Options Analysis on the Flexibility Value of the US LNG Contracts*

Hojeong Park** · Hyun-Jae Doh*** · Heesun Jang****

Expansion of the US LNG contracts, which link its contract price to Henry Hub spot price index, is expected to bring substantial changes to the international LNG markets, especially in terms of the flexibility it offers. In this paper, we develop a real options model to evaluate the flexibility value of the US LNG contracts. Two cases are examined. First, we evaluate the option of replacing HH-indexed LNG with spot cargoes for a given period of time. Second, we consider the case that switches the entire contract, whereas the first case considers switching for a single period. For the first case, the result shows that it is optimal to switch to spot cargoes if the Japan-Korea Marker(JKM) price is lower by 57% than the HH-indexed price. The full contract switching is optimal if the HH-indexed price is higher than \$17/million Btu.

Keywords: exchange option, real option, natural gas, HH index, flexibility value

JEL Classification: B4, C6, Q4

* This work was developed from “Contractual circumstances for the US LNG and its impacts on the domestic LNG market” conducted by the Korea Energy Economics Institute in 2015.

** First author, Professor, Department of Food and Resource Economics, Affiliate Professor, KU-KIST Green School, Korea University, E-mail: hjeongpark@korea.ac.kr

*** Senior research fellow, Korea Energy Economics Institute, E-mail: hjdoh@keei.re.kr

**** Corresponding author, Associate Research Fellow, Korea Energy Economics Institute, E-mail: heesun.jang@keei.re.kr