[2008-06-RP-007]

경제성 측면에서의 가스하이드레이트 개발 가치

김화영*, 이동준, 허은녕**

The Economic Aspect of Gas Hydrate Development

Hwa-Young Sin(Kim)*, Dong-Jun Lee and Eunnyeong Heo**

Abstract The price to import natural gas continues to rise, as well as the rate of its domestic consumption. This research examined the economic feasibility of domestically developing and producing gas hydrate to substitute imported natural gas. Today, the industry still lacks the technology to commercially produce gas hydrate. However, if the gas hydrate is able to be commercially produced domestically and replace imported natural gas, the annual economic benefit for the Republic of Korea would be 211 - 833 USD/ton. Gas hydrate is rated as a high value investment by the gas industry since the potential annual profit can reach over 150USD/ton. The commercial value of gas hydrate development will increase as long as the natural gas market continues to expand and its consumption increase remains steady. With further development of technology, one can anticipate an even higher expected return on the investment.

Key words Gas Hydrate(가스하이드레이트), Economic Feasibility(경제성), NPV, IRR

(접수일 2008. 6. 5, 수정일 2008. 6. 11, 게재확정일 2008. 6. 19)

* 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부
■ E-mail : lovesin7@snu.ac.kr ■ Tel : (02)880-8284 ■ Fax : (02)882-2109

** 서울대학교 공과대학 에너지시스템공학부
■ E-mail : heoe@snu.ac.kr ■ Tel : (02)880-8323 ■ Fax : (02)882-2109

Subscrip

NPV : net present value
IRR : internal rate of return

1. 서 론

가스하이드레이트는 자원 고갈의 문제에 대한 새로운 대안으로서 각광 받고 있는 비재래식 에너지자원이다. 지구상의 탄소원 가운데 가스하이드레이트가 차지하는 비중은 50% 이상이며, 그 양은 기존 화석 에너지원의 두 배에 이른다.[1] 가스하이드레이트는 천연가스와 동일한 성분이며, 메탄의 함유량이 60-99%까지 되는 것으로 알려져 있다. 특히 동해에 매장되어 있는 가스하이드레이트의 메탄 함량은 99%에 이르는 최상급인 것으로 파악되었다.

동해의 가스하이드레이트 매장 추정량은 세계적인 수준이며, 일본의 가스하이드레이트 매장 확인 추정량의 2.1배에 이

른다. 그러나 가스하이드레이트를 당장 천연가스 대체 에너지원으로 사용할 수 있는 것은 아니다. 가스하이드레이트의 자원화 가능성 및 이에 대한 관심이 높고, 최초의 가스하이드레이트 개발 사업 시작 이후 상당한 기간이 경과하였으나 여전히 상업적 생산은 이루어지지 않고 있다.[2]

가스 하이드레이트 개발 및 생산의 가장 중요한 요인은 생산기술의 개발이다. 미국이나 캐나다에서도 아직까지 상업적 생산을 주저하고 있는 이유는 현재까지 개발된 기술로는 경제성이 현저히 떨어지기 때문이다. 그러나 국제적인 유가 급상승과 더불어 가스하이드레이트와 관련된 다양한 기초 연구가 활발히 진행되고 있는 한편 각국의 가스하이드레이트 개발 사업단의 지원이 증가되고 있으며, 기술 개발이 가속화 되고 있어 향후 10-15년 이내에 생산기술이 개발될 수 있을 것으로 예상된다.[2] 에너지원 및 석유화학 산업의 원료로서 사용될 수 있는 가스하이드레이트를 개발하기 위해서는 실험실은 물론 field test와는 다른 수준의 산업화 문제를 고려해야 한다. 대량 생산을 위한 scale-up에 수반되는 기술적 문제들과 특히 천연가스 수요를 대체할 수 있는 기술적 대량 생산 가능성과 경제성은 상용화에 있어 가장 중요하게 고려되어야 한다.

본 연구에서는 가스하이드레이트가 상업적으로 개발되어 천연가스 수요를 대체할 경우 예상되는 투자비 및 수익 추정을 통해 상업적 생산의 경제성을 고찰하고자 한다. 물론 가스하이드레이트의 상용화의 의미를 경제적인 측면에서만 평가할 수는 없을 것이다. 에너지안보, 지속적이고 안정적인 에너지 수급, 청정에너지원 사용을 통한 기후변화협약 부담 완화 등 여러 국가적 관점에서의 중요성이 논의될 수 있다. 한편 경제적 가치는 투자의 직접적인 수익으로 발생되는 가치와 함께 기술 개발의 효과 및 고용 증가 효과 등 다양한 가치로 나타난다.[3] 그러나 본 연구에서는 가스하이드레이트의 개발 사업의 직접 효과인 투자 기업의 수익과 국가의 경제적 이익을 분석하고, 분석 결과에 따라 가스하이드레이트의 개발 가치를 평가해 보고자 한다.

2. 가스하이드레이트 개발가치평가 고려사항

가스하이드레이트 생산의 시기, 규모 및 경제성을 결정하는 요인은 생산기술의 개발과 관련되어 있다. 현재 가스하이드레이트 결정(結晶)으로부터 가스를 생산하는 방법은 열수법(thermal recovery), 이산화탄소 치환법, methanol/glycol 등의 inhibitor injection 방법 및 감압법(depressurization) 등이 있다. 가스 생산을 위해서는 한 가지 또는 두 가지 이상의 방법을 결합하여 사용한다.[1,4]

이미 각 방법들에 대한 field test 및 연구실 수준의 성공 사례들이 보고되고 있으며, 계속적인 기술개발 투자 및 노력이 지속되고 있음에도 불구하고 어떤 방법도 충분한 경제성 및 대량 생산 능력을 갖추지 못하고 있는 것이 가스하이드레이트 개발의 가장 큰 난점이다. 즉, 기술은 이미 개발되어 있으나, 상업적 생산이 가능한 수준의 경제성을 확보한 기술의 미비점이 문제라 할 수 있다. 현재 미국이나 캐나다 등지에서 가스하이드레이트의 부존을 확인하고도 생산을 미루는 이유는 이와 같은 상업적 생산 기술의 부재에 기인한다. 따라서 대량생산기술의 확보가 가스하이드레이트의 상용화 여부를 결정한다고 해도 과언이 아니다. 플랫폼 설비 투자비용, 운전비용은 물론 생산 시기의 문제를 포함한 모든 생산 및 비용의 문제가 상업생산 기술에 의해 좌우된다고 하겠다.

가스하이드레이트 개발이 경제적 가치를 갖기 위해서는 시장과 수요가 확보되어야한다. 가스하이드레이트의 주요 성분은 메탄으로 천연가스와 주성분이 같다. 따라서 기존의 천연가스 시장을 완전히 대체할 수 있을 것으로 판단되며, 천연가스에서 가스하이드레이트로 대체된다 해도 추가적인 설비의 교체나 보수가 필요치 않을 것이다. 에너지원(연료) 전환 시 가장 중요하게 고려되는 문제는 에너지원 전환에 따라 발생되는 비용을 대체된 에너지원 사용의 경제적 이익으로 보상할 수 있어야 한다는 것이다. 가스하이드레이트는 천연가스

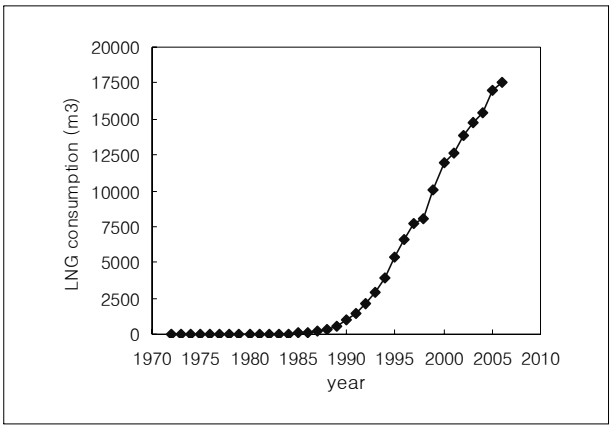


Fig. 1 LNG Consumption Trend in Korea.

와 성분이 같으므로 설비 교체에 의한 추가적인 부담이 발생되지 않으므로 기존의 천연가스 시장을 대체하기에 무리가 없을 것이다.

우리나라의 천연가스 수요는 Fig. 1에서와 같이 90년대 들어선 이후 계속 증가하고 있으며, 증가세가 가장 두드러진 에너지원이다. 석유의 사용이 감소되는 반면 전력과 천연가스 수요는 계속 증가하고 있으므로[5] 가스하이드레이트 개발 시 시장 및 수요 확보가 원활할 것으로 예상된다.

3. 가스하이드레이트 개발가치

가스하이드레이트의 상용화 시 중요하게 고려되는 요인은 수익성이다. 투자비의 회수는 물론 위험 요인이 높은 사업에 투자한 만큼 충분한 수익이 보장될 때 기회비용을 포함한 투자 가치를 지닌다고 볼 수 있다. 가스하이드레이트 개발의 경제적 가치는 사업에 직접 투자한 기업의 수익으로 나타나는 가치와 국가 경제 전반에 대한 가치가 있다. 상술한 바와 같이 천연가스의 수요가 계속 증가하고 있으며, 수요의 대부분을 수입에 의존하고 있으므로 가스하이드레이트 생산 시 막대한 경제적 이익이 기대된다.

3.1 Case Study - 가스하이드레이트 개발 비용 및 수익 산정

가스하이드레이트의 상업적 개발 사례 및 기술이 여전히 개발 단계이므로, 설비 투자비 및 기술의 선정은 선행 연구 사례를 참조하였다.[4,6]

사업의 투자비 및 운영비는 기술의 선택에 따라 달라진다. 투자비와 운영비는 생산량과 정비례하지 않는다. 그러므로 적정 용량의 플랜트 건설과 투자 시기의 조정이 반드시 필요하다.[7]

본 연구에서는 2010년에 사업 투자를 시작하여 3년이 설비 공사 기간을 거쳐 2013년부터 상업생산이 가능한 것으로 가정하였다. 가스하이레이트 생산 기술은 고온의 스팀을 well에 주입하여 가스를 생산하는 열수법(thermal method)을 사용하는 것으로 가정하였다. 설비 가격의 현가는 미국의 물가 상승률을 적용하여 추정하였다.[4,6]

가스하이드레이트로부터 가스를 생산 플랜트는 통영 LNG 생산기지를 기준으로 설정하였다. 동해의 가스하이드레이트는 파이프라인을 통해 인수기지로 수송될 수 있는데, 동해의 매장 지역에서 통영이 가장 가까운 생산기지이다. 가스하이드레이트는 기존의 천연가스에 비해 부피가 현저히 작고 안정하므로 천연가스에 비해 운송 면에서 유리하다. 그러나 본 연구에서는 가스하이드레이트의 운송비용을 최소화하기 위하여 통영 생산기지를 대상으로 분석하였다.

통영 인수기지의 생산 능력은 1,530ton/hour이며, 연간 1200만ton 이상의 천연가스 생산 능력을 갖추고 있다. 통영 인수기지를 완전히 가동할 경우 현재 국내 수요의 60%를 충족시킬 수 있다. 가스하이드레이트 개발 시작 시점에서의 천연가스 수요는 현재의 1.3배 정도 증가하고, 개발기간인 3년 후 사업(생산) 기간을 20년으로 예상한다면, 사업의 종료시점인 2032년의 천연가스 수요는 현재의 3배에 달하게 된다. 그러므로 추가적인 생산기지의 건설이나 타 생산설비의 운영이 고려될 수 있다. 그러나 본 연구에서는 산정 및 분석의 편의를 위하여 추가적인 생산의 확장이나 축소를 고려하지 않고, 기존 생산기지의 가동에 대해서만 고려하였다. 생산기지에는 이미 기화, 송출 및 저장설비가 갖추어져 있으므로 플랫폼 건설에 소요되는 비용만이 추가되는 것으로 산정하였다.

가스하이드레이트 생산 설비는 채굴 및 이송 관련 설비, 생산기지로 운반된 후의 저장설비, 소비자용 가스 생산 시설 및 송출 설비를 들 수 있다. 본 연구는 천연가스 수요가 현재의 수준으로 유지되며, 가스하이드레이트는 현재 수요의 일부를 대체하는 것으로 가정하였으므로 가스하이드레이트 생산을 위한 추가 생산기지를 건설하지 않고 현재 사용중인 천연가스 생산기지를 활용하는 것으로 가정하였다. 따라서 분석에서는 가스하이드레이트 생산 설비 가운데 생산기지 건설을 제외한 플랫폼 건설비용만을 산정하고, 기존의 가스 생산기지를 활용하는 방안을 제시하였다. 이 경우 초기 투자비용이 작게 산정될 우려가 있으나, LNG 도입의 경우 재액화 공정의 설비 및 운영비용이 많이 드는 반면, 가스하이드레이트로부터 가스 생산 및 파이프라인으로 이송 시에는 재액화 공정이 필요치 않다. 따라서 생산기지 설비로는 저장 설비와 송출설비가 주로 필요할 것이므로 생산기지의 설비 비용이 크게 산정되지는 않을 것이다. 열수법은 현재까지 알려진 바로는 초기 투자비는 작고 운영비 규모는 비교적 큰 생산 방법이다. 가스하이드레이트 생산에 있어 생산 방법의 선택 및 플랜트

설비 규모 선정은 사업의 경제성에 큰 영향을 미치는 요인이 될 것이다.

생산기지의 생산 능력을 고려하고, 열수법에 의해 생산한다고 가정할 때 플랫폼 건설에 소요되는 총 투자비는 22억4천만USD로 산정되었다. 열수법은 고온의 증기를 주입하는 방식이므로 증기를 생산하는데 소요되는 에너지 비용이 높다. 따라서 운전유지비가 높게 산정되는데, 연간 1200만ton의 가스 생산 시 11억 8천만USD의 비용이 소요된다.

가스 생산 시 발생되는 수익은 천연가스 판매에 수입이므로 천연가스 가격에 따라 달라진다. 우리나라에서 사용되는 천연가스는 거의 전량을 수입에 의존하고 있으므로 국제 시장 가격에 비해 높은 단가가 형성되고 있으며, 최근의 천연가스 가격 상승에 의해 수입단가는 점차 상승하고 있다. 그러므로 이러한 가격 현상을 반영할 때 수익 규모가 점차 증가할 것으로 예상할 수 있다.

가스하이드레이트 개발 사업의 투자 타당성은 NPV(Net Present Value, 순현금흐름)를 사용해 분석하였다. NPV 분석은 사업의 타당성 평가 또는 여러 대안들 간의 비교에 사용되는 방법으로, 단일 사업 평가 시에는 NPV가 최소한 (+) 값을 갖게 되면 사업의 투자 경제성이 보장된다. NPV 방법의 강점은 모든 평가 대상 사업에 대해 분명하고 일관된 평가 및 의사결정 기준 제공이 가능하고, 투자자의 위험 선호도와 관계없이 동일한 결과를 제시한다는 것이다. 또한 현금흐름의 시간가치 및 위험요인을 고려하므로 미래의 시간 흐름에 따른 가치 변화를 반영할 수 있다. 가스하이드레이트로부터 천연가스를 추출, 생산 및 판매하는 사업은 시장의 확보 및 수익 창출이 무난하며, 위험요소가 크지 않을 것으로 판단되므로 NPV를 통한 경제성평가 적용이 합당한 것으로 판단된다.

NPV는 사업 시행에 따라 예상되는 현금흐름을 특정 이자율이나 할인율로 할인한 수입의 현재가치로부터 지출, 즉 생산 원가의 현재가치를 차감한 순현가이므로 사업에서 발생되는 수익의 현재가치라고 할 수 있다. NPV는 다음과 같이 산정된다.

$$NPV=\sum_{t=1}^{T}\frac{C_t}{(1+r)^t}-\sum_{t=1}^{T}\frac{O_t}{(1+r)^t}+A \qquad (1)$$

여기에서, C_t는 t 시점의 현금 유입, O_t는 t 시점의 현금 유출이 된다. 자본 및 설비의 잔존가치는 A로 나타낸다. r은 자본에 대한 무위험 기회비용, 즉 할인율이다. 할인율의 결정은 현금흐름의 규모를 결정하는 중요한 요인이다. 본 연구에서는 국공채 이자율을 감안하여 5%를 적용하였다. 설비의 잔존가치는 20년간의 감가상각 기간을 적용할 수 있으나 기술의 수명이나 기타 설비의 잔존 가능성을 예측할 수 없으므로 고려하지 않았다.

NPV 분석 결과에 의하면 천연가스 가격이 계속 상승할 경우, 즉 현재의 도입 가격이 그대로 적용될 경우, 법인세율을 30%까지 고려해도 생산 시작 2년 후에 이미 NPV가 (+)가 되어 막대한 수익이 예상되는 사업이라고 하겠다. 천연가스 가격이 계속 상승할 경우 기업은 연평균 44억USD (367USD/ton)의 수익을 예상할 수 있다. 한편 천연가스 가격이 최근 3년간의 천연가스 도입 평균 가격으로 고정될 경우에는 연평균 18억USD(150USD/ton)의 수익이 기대된다.

3.2 Case Study - 가스하이드레이트 개발에 의한 천연가스 가격 변화 가능성

천연가스 가격은 지역에 따라 크게 달라진다. 그러므로 지역별로 석유와 비교할 때의 경제성이 다르게 나타난다. 이러한 가격 비대칭은 천연가스 생산지로부터의 거리에 따른 수송비용에 기인한다. 천연가스를 파이프라인으로 운송하는 지역과 선박으로 운송하는 지역의 가격 차이는 매우 크다. 이러한 차이는 운송비에 의한 것으로서, 열량 기준으로 파이프라인의 가스 수송비는 유류수송비보다 낮다. LNG 생산 및 수송비용은 지난 10년간 35-50% 하락하였으나 여전히 높은 수준이다.[8]

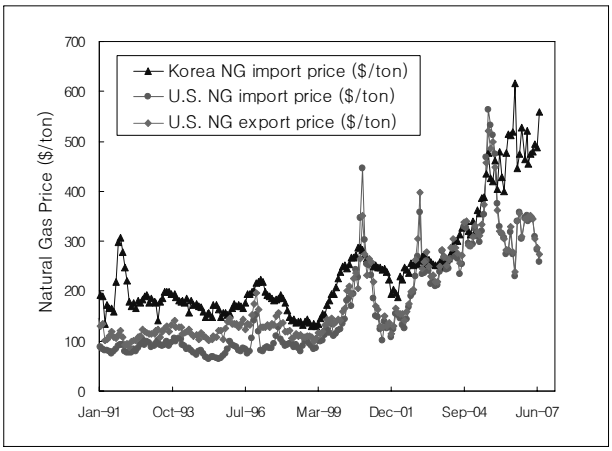


Fig. 2 Korean LNG import price and USA natural gas import and export prices.[9,10]

Fig. 2에는 우리나라와 미국의 천연가스 가격 동향을 살펴볼 수 있다. 미국은 파이프라인을 통해 천연가스를 수입 및 수출 하고 있으며, 주로 캐나다로부터 수입하고 멕시코에 수출한다. 우리나라는 카타르, 인도네시아, 말레이시아, 오만 등지로부터 선박을 이용하여 LNG를 수입한다. 미국의 천연가스 수출입 가격은 우리나라의 도입가격 증가에 비하면 비교적 일정한 가격대를 유지하는 것으로 평가된다. 최근의 급격한 천연가스 도입 가격 상승은 유류가격 급상승에 의한 수송비용 상승과도 연관되어있다고 사료된다. 그러므로 우리나라 인근에서 천연가스가 생산되어 운송비용이 격감된다면 천연가스 가격도 낮아질 것이다.

Fig. 2에서와 같이 우리나라의 천연가스 도입 가격은 급격한 상승세를 나타내고 있다. 천연가스 도입 가격이 이와 같은 추세로 계속 상승할 경우의 천연가스 가격을 추정해보면[11,12], 2032년에는 1,600USD/ton을 상회할 것으로 추정된다.

미국의 천연가스 수출입 비용은 2010년 이후 약 310USD/ton이 될 것으로 추정된다. 국내 천연가스 도입 단가 상승에 비해 미국의 인근 국가와의 파이프라인 이송에 의한 수출입 가격은 현재와 비교하여 크게 달라지지 않을 전망이다. 그러므로 국내에서 가스하이드레이트가 생산됨에 따라 수송비용이 감소됨은 물론 수입에 따르는 제반 비용이 절감될 것이다.

가스하이드레이트가 개발되어 국내에서 사용될 때, 천연가스 가격은 국외 도입 단가에 비해 낮아질 것이다. 그러나 천연가스 가격 하락은 투자 기업의 입장에서는 시장 확대와 이윤 감소라는 두 가지 영향이 동시에 나타나므로 최적의 이윤 확보와 최적 생산량 결정을 위해서는 가격, 생산량 및 이윤의 관계가 면밀히 고려되어야 한다.

가스하이드레이트 개발 및 가스 생산 시 천연가스 가격 하락에 대비하여 투자 기업의 이윤이 보장되는 수준의 천연가스 가격을 산정하였다.

투자에 대한 수익률을 산정하는 방법은 내부수익률, 외부수익률 등 다양하나 공학적인 투자 사업의 성과 측정에는 현금흐름 할인법과 같은 결과를 나타내는 내부수익률(IRR: Internal rate of return)이 가장 많이 사용되고 있다. IRR은 기대되는 현금 유입의 현가와 현금 유출의 현가가 같을 때의 할인율을 의미한다. 즉 수익률 대안의 현금 유출 및 현금 유입의 현가를 동일하게 하는 손익분기 이자율을 의미한다.[13] IRR은 다음과 같이 산정된다.

$$NPV = \sum_{t=0}^{T} \frac{A_t}{(1+IRR)^t} = 0 \qquad (2)$$

가스하이드레이트 사업은 투자 위험성이 높은 사업이므로 기업의 수익률을 높게 책정하였다. IRR을 20%로 가정했을 때의 천연가스 가격은 98USD/ton이었다. 이 가격은 기업의 IRR 20%를 보장하는 수준이라고 할 수 있다. 가스하이드레이트 시장 가격이 산정된 수준 이상으로 유지된다면 투자 기업의 수익은 충분히 보장된다. 국내 도입 천연가스 단가의 지속적 상승은 물론, 최근 3년간의 도입단가 평균을 감안한다면 가스하이드레이트 가격은 100USD/ton을 상회할 것이다. 특히 미국의 파이프라인을 통한 수출입 가격이 310USD/ton 정도임을 감안할 때, 가스하이드레이트 개발 시 천연가스 시장에서의 경쟁력 확보는 매우 유리할 것이며, 아울러 기업의 수익률은 클 것으로 추산된다.

3.3 Case Study - 국내 천연가스 가격 변화에 의한 국가의 경제적 이익

가스하이드레이트 개발 및 생산에 따라 국가 차원의 경제적 이익을 추정해볼 수 있다.

사업 기간 중 LNG 도입 가격이 계속 상승할 것이라는 예측과 지난 3년간의 가격이 유지될 것이라는 보수적인 가정을 함께 검토하였다. 우리나라의 최근 3년간의 LNG 도입 평균 단가는 459USD/ton였다. 가스하이드레이트 개발에 투자가 가능한 최저 가격이 유지된다고 할 때, 1200만ton/yr의 가스 생산 시 투자비 및 운전비용을 제외한 우리나라의 경제적 이익은 연간 2.6억~10억USD(221~883USD/ton)으로 산정되었다. 가스하이드레이트 생산 기간을 20년으로 가정할 때의 경제적 이익은 총 50억~200억USD에 달한다.

4. 결 론

본 연구에서는 가스하이드레이트의 상업적 생산 시 직접 투자 기업과 국가의 경제적 효과를 검토하였다. 분석 결과 가스하이드레이트 개발 사업은 위험도 높은 사업임에도 불구하고 단기간에 투자비를 회수함은 물론 충분한 수익을 보장하는 것으로 분석되어 투자 타당성이 있는 사업이라고 하겠다.

또한 천연가스 도입 비용의 상당부분을 차지하는 운송비용의 절감 효과는 물론 국내 천연가스 시장 가격의 감소로 인하여 국가 경제에도 많은 기여를 하는 것으로 나타났다.

국내 가스하이드레이트 개발 시 투자기업의 이윤이 보장되는 최소 가격은 최근 국내 천연가스 도입 단가의 20% 수준인 98USD/ton으로 산정 되었다. 이러한 가격 수준은 국내 시장에서의 경쟁력 확보는 물론 에너지 비용 감소에 의하여 산업 및 국가 경쟁력 증진에도 도움이 될 것이다.

천연가스 가격 동향에 따라 기업 측면에서는 연간 150~367USD/ton의 수익이 기대되며, 국가적으로는 연간 221~883USD/ton의 경제적 이익을 기대할 수 있다. 이러한 이익의 규모는 국내 천연가스 수요의 일부만을 대체했을 때 발생하는 것이므로 지속적으로 증가하고 있는 천연가스 수요를 모두 가스하이드레이트로 대체할 경우의 이익은 규모가 막대할 것으로 기대된다.

분석에서는 가스하이드레이트 생산 설비 가운데 생산기지 건설을 제외한 플랫폼 건설비용만을 산정하고, 기존의 가스 생산기지를 활용하는 방안을 제시함으로써 초기 투자비용이 작게 산정되었다. 그러나 천연가스의 경우 재액화 공정의 설비 및 운영비용이 많이 드는 반면 가스하이드레이트를 생산하여 파이프라인으로 이송하게 되면 재액화 공정을 별도로 고려하지 않아도 되는 점 등을 감안한다면 천연가스 생산설비와 비교하여 시설투자 규모가 크게 증가하지는 않을 것으로 짐작된다. 열수법은 현재까지 알려진 바로는 초기 투자비는 작고 운영비 규모는 비교적 큰 생산 방법이며, 생산 방법의 선택 및 플랜트 설비 규모에 따라 경제성이 달라질 것이다. 그러나 천연가스 가격이 현재와 같은 추세로 상승하게 된다면 가스하이드레이트의 개발 가치는 증가된다. 따라서 가스하이드레이트 관련 기술개발 및 경제적 가치 평가에 대한 연구가 더욱 활발히 진행되어야 할 것이다.

후 기

본 연구는 산업자원부가 지원한 “가스하이드레이트 개발의 가치 및 경제적 파급효과 분석” 과제의 일환으로 수행되었다.

References

[1] B. Beauchamp, 2004, “Natural gas hydrates: Myths, facts and issues”, Comptes Rendus Geosciences, Vol. 336, No. 9, pp. 751-765.

[2] Y. F. Makogon, S. A. Holditch and T. Y. Makogon, 2007, “Natural gas-hydrates - A potential energy source for the 21st Century”, Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. 56, No. 1-3, pp. 14-31.

[3] 허은녕(서울대학교), 2007, “가스하이드레이트 개발의 가치 및 경제적 파급효과 분석”, 연구보고서, 산업자원부.

[4] G. D. Holder, V. A. Kamath, S. P. Godbole, 1984, “The potential of natural gas hydrate as an energy resources”, Ann. Rev. Energy, Vol. 9, pp. 427-45.

[5] 에너지통계연보 2006, 에너지경제연구원.

[6] V. A. Kuuskraa, E. Hammersheimb, W. Sawyer, 1985, “Evaluation of the Gas Production Economics of the Gas Hydrate Cyclic Thermal Injection Model”, Topical Report, DOE/MC/19239-3060(DE92001141), DOE, USA.

[7] T. Dangl, 1999, “Investment and capacity choice under uncertain demand”, European Journal of Operational Research, Vol. 117, No. 3, pp. 415-428.

[8] 김대형, 2006, “가스하이드레이트 개발추진 대책연구”, 연구보고서, NP2006-016-2006, 산업자원부.

[9] 에너지경제연구원, 통계 DB, LNG 수입 가격자료.

[10] EIA, US natural gas price data, http://tonto.eia.doe.gov/dnav/ng/ng_move_ist_a2dcu_nus_a.htm

[11] 변종국, 조정일, 2003, “KOSPI 200 주가지수선물 도입과 주식시장의 비대칭적 변동성”, 재무관리연구, 제 20권, 제 1호, pp. 191-212.

[12] 김태혁, 강석규, 2002, “나스닥증권시장이 한국증시의 가격 변동성에 미치는 영향”, 증권학회지, 제 30권, pp. 363-390.

[13] 김진욱, 이현주, 차동수, 2002, “내부수익률을 이용한 수익률 분석법에 대한 이해”, Journal of the Society of Korean Industrial and Systems Engineering, Vol. 25, No. 5, pp. 9-14.

김 화 영

1991년 아주대학교 생물공학과 공학사
1994년 아주대학교 생물공학과 공학석사

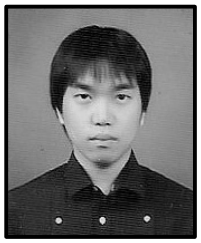
현재 서울대학교 지구환경경제연구실 박사과정
(E-mail : lovesin7@snu.ac.kr)

허 은 녕

1987년 서울대학교 자원공학과 공학사
1989년 서울대학교 자원공학과 공학석사(자원경제학 전공)
1996년 Ph.D. in Energy, Environmental and Mineral Economics Department of Energy, Environmental and Mineral Economics College of Earth and Mineral Science The Pennsylvania State University

현재 서울대학교 에너지시스템공학부 부교수
(E-mail : heoe@snu.ac.kr)

이 동 준



2008년 연세대학교 도시공학과 공학사

현재 서울대학교 에너지시스템공학부 석사과정
(E-mail : mjun@snu.ac.kr)