

에너지원으로서의 가스 하이드레이트 개발 전망

백 영순¹⁾, 이 정환²⁾, 최 양미³⁾, 박 승민⁴⁾

The Development Prospect for Gas Hydrate as an Energy Source

Youngsoon Baek, Jeonghwan Lee, Yangmi Choi, Seungmin Park

Key words : Gas hydrate(가스 하이드레이트), Natural gas(천연가스), Future energy(미래에너지)

Abstract : Considering the fact that more than 97% of fossil energy resources such as oil and natural gas needed in Korea rely on import, primary concern of the national economy is to secure future energy sources. Gas hydrates, which is non-conventional types of natural gas, distribute worldwide, especially in marine and permafrost. Gas hydrates draw great attention recently as a new clean energy resources substituting conventional oil gas due to its presumed huge amount of volume reaching 10 trillion tons of gas and environmentally friendly characteristics. Results of preliminary survey by Korea Gas Corporation (KOGAS) and Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM) showed that gas hydrates can be present in deep sea over 1,000 m water depth in the East Sea. Gas hydrates can contribute to the rapidly increasing consumption of natural gas in Korea and achieve the self-support target by 2010 which 30% of total natural gas demand. This study presents the potentialities and development prospects of gas hydrate as a future energy source.

1. 서론

최근 우리나라의 에너지 수요는 계속 증가하고 있는 추세이고 세계 에너지자원의 수급동향은 불안정한 상태를 유지하고 있다. 대부분의 석유·가스 자원을 해외에서 수입하는 우리나라 실정에 새로운 에너지원으로 부각되고 있는 가스 하이드레이트의 부존을 확인하고 개발하여 국내 에너지 자급률을 높이는 일은 국가의 사활이 걸린 중대한 문제이며, 미래의 잠재적인 에너지 자원으로써 가스 하이드레이트의 개발과 활용은 산유국으로서 꿈을 이루는 동시에 에너지 자급도를 높일 수 있는 중대한 문제이다.

천연가스는 일반적으로 지하의 다공질 암반저류층에 액체나 기체의 형태로 매장되어 있지만, 최근에는 심해저 퇴적층이나 동토지대에서 물과 결합하여 얼음과 유사한 결정체인 천연가스 수화물(일명: 가스 하이드레이트)의 형태로 매장되어 있음이 보고되고 있으며 탐사나 시추를 통해 일부 확인된 바 있다.¹⁾ 이러한 가스 하이드레이트의 원시 매장량은 기존 천연가스 확인 매장량의 25배 이상으로 화석에너지의 약 2배에 달하는 막대한 양이 분포되어 있고²⁾, 일본 해역 주변에도 자국에너지 소비량의 100년 이상 사용할 수 있는 가스 하이드레이트가 매장되어 있다고 발표하

고 있어서 21세기 화석에너지를 대체하여 자리매김 할 에너지로 평가받고 있다. 본 연구에서는 가스 하이드레이트의 특성과 기술개발현황과약을 통해 미래 에너지원으로서의 상업적 개발 가능성을 조망해보고자 한다.

2. 가스 하이드레이트 특성

가스 하이드레이트는 낮은 온도·높은 압력(예: 0°C 26 기압, 10°C 76 기압에서 생성)하에서 가스 와 물이 결합되어 만들어진 고체 에너지를 말하는데, 겉보기에는 드라이아이스(dry ice)와 거의 유사하여 대기 중에서 물과 가스로 쉽게 분리되며, 1 cc의 가스 하이드레이트 안에는 약 172 cc

- 1) 한국가스공사 연구개발원
E-mail : ysbaek@kogas.re.kr
Tel : (032)810-0320 Fax : (032)810-0330
- 2) 한국가스공사 연구개발원
E-mail : jhwan@kogas.re.kr
Tel : (032)810-0329 Fax : (032)810-0330
- 3) 한국가스공사 기술기획실
E-mail : yangmi@kogas.or.kr
Tel : (031)710-0161 Fax : (031)710-0249
- 4) 한국가스공사 기술기획실
E-mail : seungmin@kogas.or.kr
Tel : (031)710-0162 Fax : (031)710-0249

의 가스가 함유되어 있다 (Fig. 1). 하이드레이트를 구성하는 가스는 주로 메탄가스로 이루어져 있어서 연소 시 석유에 비해 이산화탄소, 일산화탄소, 아황산가스와의 같은 오염물질의 배출이 현저하게 적기 때문에 환경친화적 에너지원으로서 선진국이 주도하는 그린라운드에 적절하게 대응할 수 있다. 가스 하이드레이트는 1810년에 최초로 그 존재가 확인되었으나 에너지원으로서의 연구는 1990년 이후에 구체화되고 있다.

가스 하이드레이트의 대부분은 수심 1000~2000m인 곳으로 해서 1000m 아래의 하이드레이트를 회수개발하는 모든 방법은 하이드레이트의 가스화 (해리)를 전제로 한다. 이때 사용되는 방법으로는 감압, 메탄을 및 염수를 등의 저해제 투입, 열처리 기법 등으로 나눌 수 있다. 열회수법은 중질유의 회수시 많이 사용되는 방법으로 증기 또는 염수를 주입하여 가스 하이드레이트를 해리시키고 가스를 생산하는 방법으로 다른 법에 비해 에너지 효율 면에서 우수하다. 그러나 비용이 많이 소요되는 단점이 있으며, 동토지역에서 증기 또는 염수를 주입할 때는 동토의 용해에 의한 지반 침하를 방지하기 위한 특별한 연구가 요구된다. 감압법은 가스 하이드레이트 층의 내압을 감소시켜 하이드레이트의 해리를 촉진하는 방법으로, 러시아 메소야카 (Messoyakha) 가스전에서 사용했던 방법이다. 메탄올의 주입은 오래 전부터 추운 지역에서 하이드레이트의 형성을 막기 위해 사용된 기술을 응용한 것이다. 이 방법은 메탄올을 재사용할 수 있어 열회수법보다는 비용이 적게 들지만, 다량으로 필요한 용매의 가격이 여전히 문제가 된다. 이외에 염수를 주입함으로써 가스 하이드레이트를 해리시키고 가스를 회수하는 방법이 있다. 이 방법은 해저 퇴적층에 부존되어 있는 가스 하이드레이트를 개발할 경우에 해수를 쉽게 이용할 수 있다는 점에서 적절한 방법으로 판단된다.

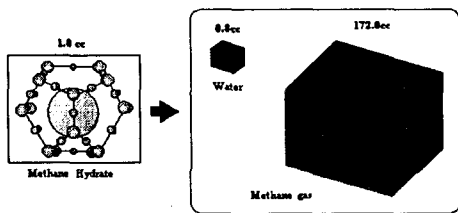


Fig. 1. Relative volumes of water and gas in a hydrate for CH₄.

3. 국내외 기술개발 현황

가스 하이드레이트관련 기술개발은 미국, 캐나다, 러시아, 일본 등을 중심으로 활발히 이루어지고 있다. 특히 최근에는 동북아시아에서의 연구가 활발한데 일본, 중국, 러시아가 막대한 연구비를 투입하여 탐사사업을 전개하고 있다. 1995년부터 국책사업으로 시작한 일본의 가스 하이드레이트 사업은 안정적인 에너지 자원의 확보 차원에서 다른 나라에 비해 매우 적극적이고 신속하게 이루어지고 있다. 1999~2000년에 남카이 (Nankai) 해구

에서 시추한 탐사정의 성공에 이어 2000~2003년의 2차원, 3차원 탄성파탐사를 토대로 2004년에는 30여개의 탐사정이 시추된 바 있다. 일본의 가스 하이드레이트 탐사 및 개발에 대한 연구는 자국에 국한되지 않고 캐나다의 말릭 (Malik) 사업, 오흐츠크해 (Okhotsk Sea) 사업 등에도 활발히 참여하고 있다. 중국은 가스 하이드레이트 연구의 후발주자이나 에너지 자립을 위하여 매우 적극적으로 가스 하이드레이트 사업에 나서고 있으며 남중국해에서 매우 선명한 BSR (bottom simulating reflector)이 발견되어 가스 하이드레이트의 매장량이 상당할 것으로 예상된다. BSR은 탄성파탐사에서 가스 하이드레이트 부존층의 하부경계면에 나타나는 해저면에 평행한 강진폭의 반사면을 말한다. 러시아의 경우는 동토지역인 메소야카 가스전에서 전세계 유일하게 가스 하이드레이트의 생산경험을 가지고 있으며 현재는 오흐츠크해에서 탐사활동을 수행하고 있다. 독일의 4개 연구기관과 러시아의 8개 연구기관이 추진했던 KOMEX (Kurile Okhotsk Sea Marine Experiment) 프로젝트는 1998년부터 2002년까지 탐사작업을 수행하였으며, 2003년부터는 일본, 한국, 러시아, 벨기에, 독일의 연구기관이 컨소시엄을 이루어 2700톤급의 러시아 탐사선을 이용한 CHAOS (Hydrocarbon Hydrate Accumulations in the Okhotsk Sea) 프로젝트를 수행 중에 있다.

국내에서는 1995년부터 국책연구소를 비롯한 일부 대학에서 하이드레이트에 관한 연구가 시작되어 기초연구 및 탐사를 수행한 바 있으며, 최근에는 정부의 지원하에 한국가스공사 및 한국지질자원연구원이 공동으로 국내 동해지역의 가스 하이드레이트 생성 잠재력과 부존 유망지역을 규명하기 위한 5개년 광역탐사 및 기초연구개발 사업을 진행하였다. 2000년부터 2004년까지 약 30억 원을 투자해 동해 전 해역에 대해 가스 하이드레이트 기초 탐사가 수행되어 수심 약 1,000m 이상의 동해지역에서의 가스 하이드레이트 부존가능성을 확인하였으며 이를 토대로 부존 유망지역을 광역적으로 도출하였다. 정확한 수치는 아니지만 부존 면적으로 보아 약 6억 톤 이상의 가스 하이드레이트가 매장되어 있을 것으로 추정되며, 이는 우리나라가 최소 30년간 사용할 수 있는 양으로 현재의 천연가스 가격인 톤당 250달러를 적용하면 약 1,500달러 이상의 수입대체 효과를 얻을 것으로 예상된다.

이러한 결과를 바탕으로 정부에서는 기초탐사로 드러난 가스 하이드레이트에 대한 시추작업과 매장량 평가를 위해 오는 2007년까지 667억원을 투입하는 1단계 사업을 포함 2014년에는 가스 하이드레이트에 대한 시험생산 및 상업생산기술을 완성하는 10개년 중장기 계획을 수립하고 가스공사, 석유공사, 지질자원연구원 등으로 구성된 전담 사업단을 설립하여 단위사업을 일원화시키고 있다. 풍부한 매장량과 환경 친화적인 자원으로써 가스 하이드레이트는 미래 주요 에너지원이며, 동해에 부존 가능성이 존재하므로 이러한 중장기 계획이 성공적으로 수행될 경우 오는 2014년 이후에는 가스 하이드레이트에 대한 상업생산기술이 완성될 수 있을 것이다.

4. 에너지원으로서의 가스 하이드레이트 장단점

영구동토 지역 퇴적층에 부존되어 있는 가스 하이드레이트의 존재는 1967년 구 소련에서 최초로 보고되었다.²⁾ 1969년부터는 서시베리아에 위치한 메소야카 가스전에서는 가스 하이드레이트로부터 해리된 가스를 생산하였으며, 가스 하이드레이트 결정은 흑해 퇴적물에서 최초로 관찰되었다.³⁾ 심해저 퇴적층에 부존되어 있는 가스 하이드레이트는 거의 대부분 DSDP (Deep Sea Drilling Project) 및 ODP (Ocean Drilling Program)을 통하여 확인되었다. 심해저 퇴적층에 부존되어 있는 가스 하이드레이트의 최초 발견은 1979년 멕시코 남쪽 Middle America Trench에서 수행된 DSDP Leg 66의 Site 490, 491 및 492에서 이루어 졌다. 이들 in-situ 가스 하이드레이트의 발견을 계기로 새로운 하이드레이트 연구의 전환기를 맞이하였다.

가스 하이드레이트는 다음과 같은 이유에서 에너지원으로서의 매우 중요한 위치를 차지하고 있다. 첫째, 1cc의 가스 하이드레이트는 해리될 경우, 172cc의 메탄가스를 생산할 수 있다는 점이다. 이에 따라 가스 하이드레이트에 포획된 메탄의 추정 매장량은 10^4 Gt으로 유전과 천연가스전에 포함된 메탄 양의 25배 이상으로 화석에너지의 약 2배에 달하는 막대한 양이며 (Fig. 2), 이들 대부분은 수심이 깊은 해저의 천부 퇴적층에 부존되어 있다.

둘째, 가스 하이드레이트는 확인된 재래형 석유와 천연가스의 매장량 한계 및 지역적 편중이 심하지 않다는 것이다. 부존 해역이 일정 심도를 만족하는 경우 전 세계 해양지역에 걸쳐 비교적 광범위하게 분포하고 있다. 우리나라의 경우, 에너지원의 대부분을 외국에서 수입하는 상황 및 심연이 해양에 접해있다는 점을 고려한다면 가스 하이드레이트는 매력적인 에너지원일 수밖에 없다.

셋째, 가스 하이드레이트는 Fig. 3에서 보듯이 주 구성성분인 메탄이 연소 시 현재 사용되고 있는 다른 화석 에너지에 비해 이산화탄소를 적게 배출하는 특성을 가지고 있다.⁴⁾ 환경의 중요성이 부각되고 기후변화 협약에 따라 기존 에너지원인 석유 및 석탄에 대한 경각심이 증대하고 있는 시점에서 청정 에너지원으로서의 천연가스의 수요는 지속적으로 증가될 전망이다. 따라서 가스 하이드레이트는 21세기의 청정 에너지원으로 큰 잠재력을 가지고 있다할 수 있다.

넷째, 고체상의 가스 하이드레이트는 투수율이 낮기 때문에 하위에 부존되어 있는 재래형 천연가스의 방출을 막는 덮개 역할을 하며, 퇴적층이 해저면과 사교하며 발달되어 있는 경우 탄성과 단면도 상에서 쉽게 인지된다는 특성을 갖고 있다.

그러나 가스 하이드레이트는 물의 빙점 보다 높은 온도에서도 생성될 수 있으며, 온도·압력의 변화에 쉽게 해리되는 특성을 가지고 있기 때문에 영구 동토지역과 심해 등 특수한 지역에서 천연가스의 생산, 수송 및 처리 시 가스 하이드레이트의 생성과 해리에 의하여 많은 문제점이 야기된다. 따라서 이들 문제점 해결을 위한 연구가 1970년대 부터 본격적으로 착수되었으며, 현재까지도 많은

연구가 지속적으로 수행되고 있다.^{5,6)} 또한 가스 하이드레이트에 기인한 환경오염과 지질재해에 의한 피해 가능성이 존재한다. 영구 동토지역과 심해저 천부 퇴적층에 부존되어 있는 가스 하이드레이트는 지각변동, 온도상승 및 해수면 변화에 의하여 해리되면 지반침하, 해저붕락 등을 야기시키며, 이는 광케이블, 구조물 등의 손상을 초래할 수 있다. 또한 가스 하이드레이트가 해리되면 온실가스 (주로 메탄)가 대기로 방출된다. 메탄은 이산화탄소 보다 온실효과 중대에 더 많은 영향을 미친다.⁷⁾ 미국지질조사소 (U.S. Geological Survey: USGS)는 50년 후 대기 중의 메탄 양은 현재 농도의 약 2배에 달할 것이며, 주된 원인 중 하나가 가스 하이드레이트 해리에 의한 것이라고 보고한 바 있다.

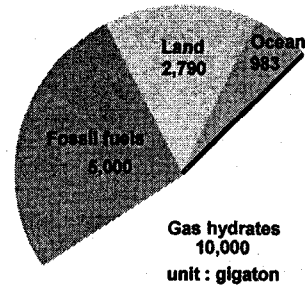


Fig. 2. Distribution of organic carbon in earth reservoirs.

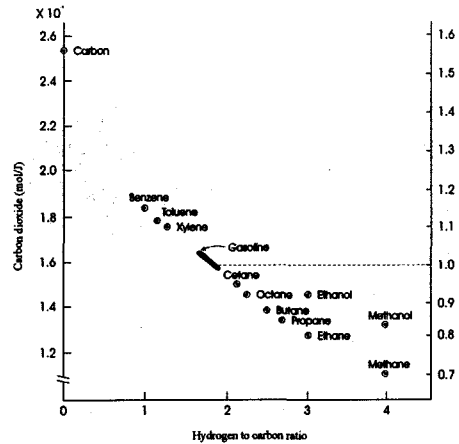


Fig. 3. CO₂ generation per unit of energy.

5. 가스 하이드레이트의 상업적 개발 가능성

미국은 1980년대 초부터 가스 하이드레이트에 대한 연구를 시작하여 2015년 상업적 개발을 목표

로 정부주도의 가스 하이드레이트 사업을 추진 중에 있다. 일본은 자국의 빈약한 에너지 부존 상황을 타개하기 위해 가스 하이드레이트 개발에 많은 기대를 하고 있다. 1980년대 초에 시작된 탐사를 필두로 이미 상당량의 가스 하이드레이트 매장량을 확보하여 미국과 비슷한 시기의 생산을 목표로 연구에 박차를 가하고 있다. 5개국 국제공동 프로그램인 말릭 프로젝트는 일본의 가스 하이드레이트에 거는 기대가 어느 정도인지 보여주고 있다. 말릭 프로젝트는 최초의 성공적인 가스 하이드레이트 시험생산이었다는 점에서 향후 상업적 생산의 청신호를 보여준 사례이다.

많은 전문가들은 현재의 기술발전 추세라면 조만간 생산기술을 확보하여 현재의 천연가스 개발비보다 약 30% 증가된 비용으로 가스 하이드레이트를 생산할 수 있을 것으로 예측하고 있다. 그러나 해저 2,000~3,000m를 시추해야 하는 기존의 천연가스전과는 달리 가스 하이드레이트는 수백m의 시추로 개발이 가능하므로 향후의 기술개발 여하에 따라 오히려 개발비가 낮아질 가능성이 높다. 현재 가스 하이드레이트 해리속도 조절 문제 등 핵심적인 기술이 확보되지 않았으나, 전 세계 수많은 국가에서 가스 하이드레이트 개발사업을 적극적으로 추진하고 있어 조만간 획기적인 기술발전을 이룩할 것으로 예측하고 있다.

6. 결론 및 제언

2000년부터 시작된 우리나라의 가스 하이드레이트 기초탐사 결과로 볼 때, 수심 1,000m 이상의 동해지역에서 가스 하이드레이트의 부존가능성을 간접적으로 시사하는 여러 반사면이 확인되었고, 가스 하이드레이트 형성조건을 만족하는 것으로 나타났다. 그러나 가스 하이드레이트 부존에 대한 보다 확실한 결론을 얻기 위해서는 가장 매장량이 풍부할 것으로 판단되는 지역을 선정 후 향후 정밀탐사를 거쳐 시추를 통해 확인해 가는 절차를 진행해 나가야 할 것이다.

가스 하이드레이트는 분명히 풍부한 매장량과 환경 친화적인 자원으로써 차세대 에너지이고, 동해에 부존 가능성이 있으므로 우리나라의 미래에너지를 선점할 수 있는 좋은 기회임을 틀림없다. 국내 부존 가스 하이드레이트의 개발이 성공적으로 이루어질 경우 화석연료의 고갈에 대비한 국가 에너지 안보의 확보에 기여할 수 있을 뿐 아니라 막대한 에너지 수입액의 대체를 통한 국부의 증가와 산업경쟁력의 향상에 기여하고 온실가스의 저감을 통한 지구환경문제의 해결에도 일익을 담당할 것으로 기대되고 있다. 그러나 기술을 개발하여 활용하기까지는 많은 연구투자비와 개발기간이 요구된다. 현재까지의 탐사 및 기술개발 결과는 긍정적인 결과로 판단되나 가스 하이드레이트 개발을 위한 시작단계이며 관련 연구인력도 부족한 상태로 지속적 관심과 투자로 기술개발이 진행되어야 할 것이다. 따라서 정부를 비롯한 유관기관의 긴밀한 상호협조와 강력한 개발의지를 통해 가스 하이드레이트 기술개발사업을 지속적으로 발전시켜 간다면 국내 미래 에너지 확보에 대한 전망은 매우 밝을 것으로 판단된다.

References

- [1] Kvenvolden, K. A., and Lorenson, T.D., 2001, The Global Occurrence of Natural Gas Hydrates. In: Natural Gas Hydrates, Occurrence, Distribution, and Detection, 3-18.
- [2] Makogon, Y.F., 1997, Hydrate of Hydrocarbons, PenWell Books, Tulsa, Oklahoma.
- [3] Yefremova, A. G. and Zhizhchenko B. P., 1974, Doklady Akademii Nauk SSSR 214, 1179-1181.
- [4] Matsumoto, R., Okuda, Y., Aoki, Y., 1994, Methane Hydrate: Natural Gas as Enormous Resources for 21st Century, Tokyo Mikkei Science Publishers, 253.
- [5] Hammerschmidt, E.G., 1934, Formation of Gas Hydrates in Natural Gas Transmission Lines, *Ind. Eng. Chem.*, 26, 8, 851-855. *Eng. Chem.*, 26, 851.
- [6] Lee, J. H., Baek, Y. S., Sung, W. M., 2002, "Effect of Flow Velocity and Inhibitor on Formation of Methane Hydrates in High Pressure Pipeline", *J. Ind. Eng. Chem.*, 8, 5, 493-498.
- [7] Rodhe, H., 1990, A Comparison of the Contribution of Various Gases to the Greenhouse Effect, *Science*, 248, 1217-1219.