

## 가스하이드레이트 산업시스템 실용화 현황 및 동향 분석

권옥배<sup>1)</sup>, 신창훈<sup>2)</sup>, 박승수<sup>3)</sup>, 한정민<sup>4)</sup>, 이정환<sup>5)</sup>

### Investigation on the Practical Use of Gas Hydrate in Gas Industry

**Key words** : Gas hydrate(가스하이드레이트), Natural gas(천연가스), Future energy(미래에너지), R&D(연구 개발), Industrial process(산업공정)

**Abstract** : In Japan, research and development were undertaken on gas hydrate-side industrial processes associated with power generation system connections that may particularly be necessary to develop gas hydrated technology-based industrial systems. In so doing, data and engineering technologies useful in formulating guidelines on design of practical process were accumulated. In addition, basic research into theoretical evidence were carried out to promote and support the development of technological elements for those processes.

In basic research designed to promote and support the research and development of elemental technologies, microanalyses were conducted to understand the decomposition mechanism of mixed gas hydrate. Moreover, measurement technologies that can be applied in industrial processes, such as numerical analyses and concentration measurement, were examined.

Japan has developed a highly efficient gas hydrate formation process using micro-bubbles with a tubular reactor. Higher formation rate over conventional systems has been obtained by the process.

As mentioned above, the technical problems were clarified and the economics were studied from a view point of the NGH technology in this study. The results can be applied for utilization and must contribute to popularization of gas hydrate production.

### 1. 서론

“연소하는 얼음”이라고도 불리는 가스하이드레이트는 청결하고 CO<sub>2</sub> 배출량이 작은 메탄으로 구성되어 남극대륙과 같은 동토지역과 대륙 연변의 해역 및 툰드라 지대에 대량 분포되어 있다는 것이 알려지면서 신에너지원·석유 대체자원으로서 세계 각국에서 주목을 받게 되었다. 특히 우리나라와 마찬가지로 에너지자원이 부족한 일본에서 일본 근해 Nankai Torafu에서 가스하이드레이트의 매장량이 확인되면서 가스하이드레이트의 실용화에 대한 기대를 건 대형 프로젝트가 국내외에서 잇달아 기획되고 있다.

가스하이드레이트의 존재는 1930년에 미국에서 천연가스 수송용 파이프라인 내를 폐쇄하는 물질로서 인지하게 된 것이 시초이다. 그 후 1972년에는 러시아 Messoyakha 가스전에서 천연가스 생산에 가스하이드레이트층이 공헌하고 있다고 발표가 되면서 에너지자원으로서 가스하이드레이트의 가능성을 주목받기 시작하였다.

본 연구에서는 에너지 자원으로서의 관점이 아닌 산업시스템의 응용차원에서의 가스하이드레이트 활용 가능성을 제시하여 일반인 또는 가스하이드레이트에 직접 관여하지 않는 에너지개발 관계자나 전문가에게 가스하이드레이트 기술이

앞선 일본을 중심으로 가스하이드레이트 산업시스템의 실용화 현황 및 기술동향 분석을 통해 향후 국내에서의 가스하이드레이트 연구방향을 소개하고 가스하이드레이트 활용계획 수립에 있어 새로운 차원의 접근방법을 소개하고자 한다.

### 2. 가스하이드레이트의 특징

가스하이드레이트는 잘 알려진 바와 마찬가지로 gas와 물로 구성된 얼음상의 고체 물질이며 포접화합물의 일종이다. 포접화합물이란 2종의 분자가 적

- 
- 1) 한국가스공사 연구개발원  
E-mail : ref\_kwon@kogas.re.kr  
Tel : 031-400-7527
  - 2) 한국가스공사 연구개발원  
E-mail : ch shin@kogas.re.kr  
Tel : 031-400-7554
  - 3) 한국가스공사 연구개발원  
E-mail : pssso@kogas.re.kr  
Tel : 031-400-7550
  - 4) 한국가스공사 연구개발원  
E-mail : jmhan@kogas.re.kr  
Tel : 031-400-7545
  - 5) 한국가스공사 연구개발원  
E-mail : jhwan@kogas.re.kr  
Tel : 031-400-7481

당한 조건하에서 서로 결정하여 한쪽의 분자가 만드는 포접격자(터널형, 층상 또한 체강체 구조를 가진 격자)의 사이에 다른 분자가 들어가서 만들어진 구조를 말한다. 가스하이드레이트는 물 분자가 만든 격자에 복수 조합되어 구조를 형성하고 각각의 격자 안에 가스분자가 하나 갇혀있다. 물분자의 격자 사이를 차지하는 가스가 메탄이면 메탄하이드레이트라 부른다. 천연에 존재하는 가스하이드레이트의 가스분자는 그 반 정도가 메탄이므로 자원화를 목표로 하는 가스하이드레이트의 대상은 자연적으로 메탄하이드레이트가 된다. 메탄하이드레이트는 물분자가 각 정점에 있는 5각형이 12개 모여서 생성된 격자 2개와 5각형이 12개와 6각형이 2개 모여서 생성된 격자 6개로 구성되는 구조형 I 형으로 불리는 하이드레이트에 속한다(Figure 1 참조).

이 구조에 의해 Figure 2와 같이 1 m<sup>3</sup>의 메탄하이드레이트의 해리에 의해 메탄가스가 격자의 비율을 100 %로 한 경우에는 표준상태에서 0.8 m<sup>3</sup>의 물과 172 m<sup>3</sup>의 메탄가스를 얻을 수 있다.

메탄가스 함유량이 높은 특성이 비재래형 에너지 자원인 Coalbed Methane(CBM)뿐만 아니라 천부 퇴적층에서의 재래형 가스전에 비교하여도 메탄하이드레이트가 매력적인 것으로서 취급되는 이유가 된다.

현재 세계의 메탄하이드레이트의 메탄 자원량에 관해서는 여러 연구자가 평가를 시도하고 있지만 USGS(United States Geological Survey : 미국 지질조사소)의 Kvenvolden은 1998년에 21,000조 m<sup>3</sup>라는 값을 제시하고 있다.

### 3. 가스하이드레이트 산업시스템 기술현황

메탄하이드레이트의 에너지 자원으로서 위치결정은 아직 정해져있지 않다. 육상의 영구동토층 아래에 부존하는 메탄하이드레이트의 이용에 관해서는 러시아의 Messoyakha 가스전의 발표가 있지만 그 외에는 실적이 없다. 석유-천연가스의 개발을 보완하는 형태로 육상의 메탄하이드레이트층을 개발하는 시나리오는 논의되고 있지만 해양의 메탄하이드레이트층의 개발 시나리오를 논의할 단계에는 이르고 있지 않다.

한편 일본 신에너지 산업기술종합개발기구(NEDO)에서는 다음과 같은 가스하이드레이트의 산업시스템으로의 적용에 관한 프로젝트를 진행하고 있다.

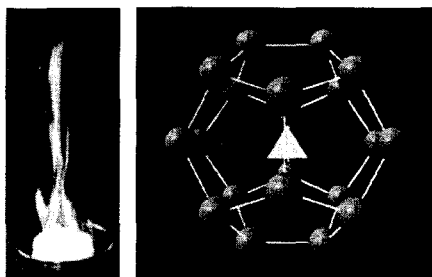


Figure 1 Burning gas hydrate and standard gas hydrate of crystallization

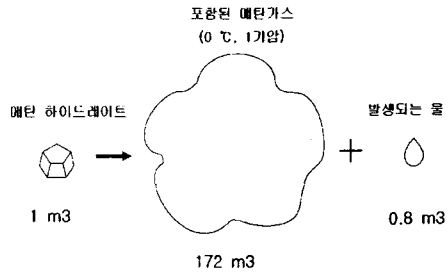


Figure 2 Formation ratio of methane hydrate

가스하이드레이트에는 가스포장성, 반응선택성 등 산업시스템에 적용 가능한 우수한 특성이 있다. 이러한 점을 이용하여 천연가스의 저장, 가스분리/흡수, 냉열이용시스템, 고효율발전시스템 등 새로우면서 유익한 산업시스템을 구축하는 것을 고려할 수 있으며, 또한 그 기술을 실용화할 때 시장적용성이 빠르면서 응용범위가 넓다고 생각할 수 있다.

산업시스템에 적용가능하다고 생각되는 가스하이드레이트의 특징(장점)으로서 들 수 있는 것은 ① 높은 가스포장성, ② 우수한 반응선택성, ③ 큰 생성 분해열, ④ 높은 분해압력 및 ⑤ 자기보존효과이다.

이러한 가스하이드레이트가 가지고 있는 특징을 공업프로세스에 응용한 경우 Figure 3, 4와 같이 산업시스템을 구축할 수 있다고 NEDO에서는 판단하고 있다.

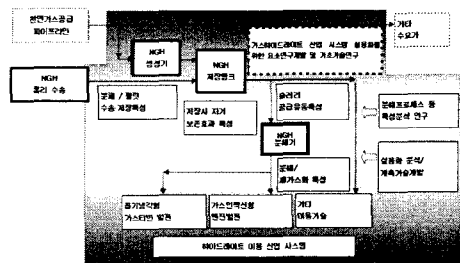


Figure 3 Investigation on the practical use of gas hydrate

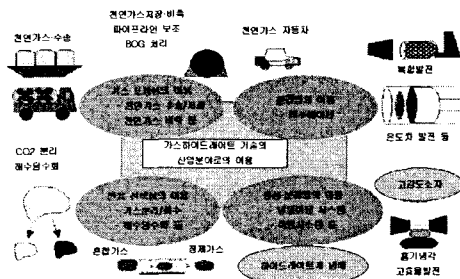


Figure 4 Application of gas hydrate in industry

- 천연가스수송/저장, 천연가스비축
- 가스분리/회수, 해수담수화
- 냉열이용시스템, 축열시스템
- 고압이용 시스템(액추에이터 등) 등

그림에서 나타난 가스하이드레이트의 특성을 이용한 산업시스템의 실현을 목표로 하여 기술개발을 수립하기 위해 NEDO에서는 프로젝트를 진행하고 있다.

#### 4. 가스하이드레이트 실용화 기술동향

천연가스를 가스하이드레이트로 만들어 수송하고 저장하는 기술의 개발은 경제산업적인 측면에서 중요한 과제로서 현재와 같은 LNG 수송 및 저장 수단이 아닌 가스하이드레이트에 의한 가스의 수송 및 저장이 이루어질 경우 일차적으로는 기술적인 안정성 및 안전성이 확보되고, 경제적인 측면에서도 비용절감으로 인해 경제성이 떨어지는 소규모의 중소 가스전의 개발도 용이하게 될 것이다.

이러한 경우 현재 보다 많은 소규모의 중소 가스전에서 개발이 될 것이고 에너지 개발비용의 저하로 가스의 소비자 가격의 하락도 예상될 수 있다. 또한 산업적으로 연쇄적으로 관련 산업의 발달로 부가치의 창출이 가능 할 것이다.

노르웨이 J. S. Gudmundsson은 가스하이드레이트를 이용한 경제적 평가를 분석하였다. Figure 5, 6은 Gudmundsson에 의해 pipeline natural gas(PNG), liquified natural gas(LNG) 및 natural gas hydrate(NGH)의 수송에 필요한 비용을 거리의 함수로 나타낸 것이다.

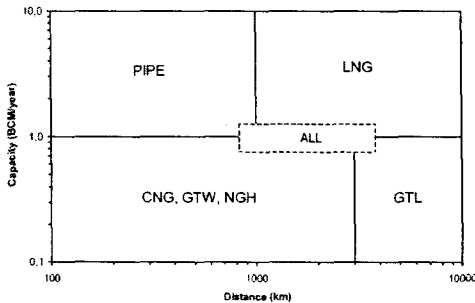


Figure 5 Capacity-distance diagram (Gudmundsson and Mock, 2001)

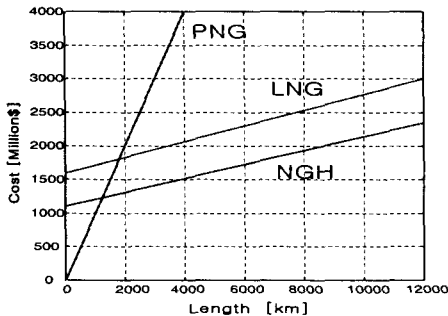


Figure 6 Economic estimation of PNG, LNG, NGH

이 결과는 약 1,200 km 이하에서는 PNG에 의한 수송비용이 가장 저렴한 것을 알 수가 있다. 그러나 그 이상에서는 천연가스 하이드레이트(이하, NGH)에 의한 가스의 수송이 가장 저렴하며 특히 LNG보다는 어떠한 위치에 있더라도 경제적임을 알 수가 있다.

Table 1은 Gudmundsson 등의 연구결과로서 기존의 LNG 시스템에 의한 액화 공장, 운반, 재가스화 공장 등을 가스하이드레이트로 변환하여 이용할 경우를 비용으로 환산하면 LNG 대비 액화공장 (135% 절감), 운반선 (5% 절감), 재가스화 공장 (24% 절감) 등 모든 부분에서 LNG 시스템 보다 비용이 절감되어 총 12%의 비용절감이 이루어진다고 보고하였다.

#### 5. 일본에서의 가스하이드레이트 고속제조 기술 동향

앞에서 언급한 바와 마찬가지로 NGH는 수분자가 구성된 격자구조 내에 천연가스 분자가 포장된 물질로 1 m<sup>3</sup>중에 약 172 m<sup>3</sup>의 천연가스를 비축하는 것이 가능하다. NGH의 우수한 가스포장성 및 대기압에서 -10~20 ℃(액화천연가스(LNG)에서는 -162 ℃)으로 상온에 근접한 온도에서의 수송·저장이 가능하다는 특징에 착안하여 인공적으로 하이드레이트를 제조하여 저비용 천연가스의 수송·저장에 이용하는 시스템이 제안되어 LNG의 상태로 천연가스를 장거리수송·저장하는 수단을 보완하는 기술로 주목을 받고 있다.

NGH에 의한 천연가스의 수송·저장시스템이 공업규모로 실현가능하기 위해서는 연속운전과 Scale-up이 가능한 고효율 하이드레이트 제조방법의 개발이 큰 과제로 되고 있다.

따라서 본 연구에서는 하이드레이트의 제조방법에 선진기술을 보유한 일본의 JFE Engineering사의 사례를 들어 향후 우리나라에서의 천연가스하이드레이트 제조기술의 방향을 제시하고자 한다.

Table 1 Capital cost of NGH and LNG chains for 400 MMscfs production and transport over 3,243 nautical miles(6,000 km). Cooling water temperature 35 ℃(5 ℃ in 1996 study) Million US dollars mid-2002(Aker Kvaerner Technology AS)

구분	액화 천연가스	가스하이드레이트	차이
생산	1,144 (55%)	992 (54%)	152 (13%)
수송	660 (32%)	628 (34%)	32 (5%)
재기화	285 (13%)	218 (12%)	67 (24%)
합계	2,089 (100%)	1,838 (100%)	251 (12%)

## 5. 결론

가스하이드레이트는 일반적으로 고압-저온의 조건에서 안정한 상태를 유지하면 이러한 안정영역을 벗어나게 되면 쉽게 물과 가스로 분해되는 특징이 있다. 가스하이드레이트를 제조하는 일반적인 방법으로서의 냉각된 반응용기내에서 (1) 기액계면을 블레이드 등으로 의해 각반하는 방법(각반법), (2) 미세한 수직을 분무하는 방법(수분무법), (3) 미세한 기포를 분무하는 방법(Bubbling법) 등을 들 수 있다. 어떠한 방법에 있어서도 냉각된 대형의 고압용기가 필요하고 공업이용을 위한 연속운전 및 대규모화에 적합한 생성방법이라고는 말하기 힘들다.

여기서 일본에서 현재 진행되고 있는 방법은 기액접촉에 의한 가스하이드레이트의 생성을 고려하는 방법으로서 고유의 반응속도 이외에 생성속도를 지속하는 인자는 수중으로의 가스 확산과 생성열 제거이다. 따라서 이러한 것을 개선하여 생성효율을 올리기 위해서 미세한 기포를 수중에 분산시켜 냉각된 관로(열교환기)에 흘러 가스하이드레이트를 생성하는 방법(이하, 미세기포류법)을 고안하였다. 개략 흐름도는 Figure 7에 나타내었다.

종래의 방법과 비교하기 위해 현재 제시되고 있는 각반법, 수분무법 및 미세기포류법에 의한 하이드레이트 생성속도에 관해서 프로판가스를 사용한 실험결과는 미세기포류법에 의한 생성속도는 Figure 8에 나타낸 바와 같이 각반법의 약 5배, 수분무법의 약 60배로 종래법에 비해 상당히 고속인 것으로 밝혀졌다.

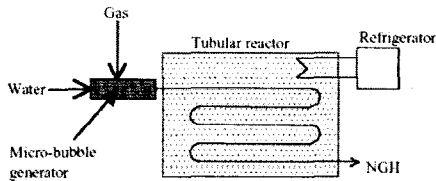


Figure 7 Schematic diagram of producing system using micro-bubbles(Japan, JEF Engineering)

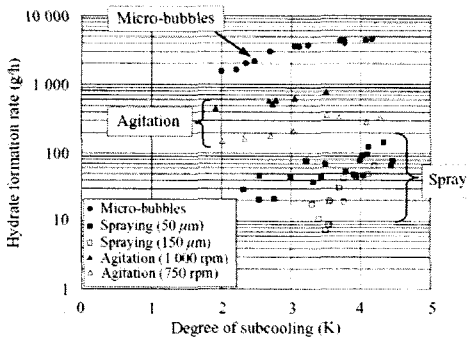


Figure 8 comparison of hydrate formation rate for various methods

본 연구에서는 가스하이드레이트의 특징과 선진국의 산업시스템 기술현황, 가스하이드레이트의 실용화 기술동향 등을 알아보았다.

특히 가스하이드레이트의 고속 제조기술인 미세기포류법에 대한 사례를 살펴봄으로서 향후 제조기술에 대한 다양한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

현재 가스하이드레이트 개발을 위한 시작단계이며 관련 연구인력도 부족한 상태로 지속적 관심과 투자로 기술개발이 진행되어야 할 것이다. 따라서 정부를 비롯한 유관기관의 긴밀한 상호협조와 강력한 개발의지를 통해 가스하이드레이트 기술개발사업을 지속적으로 발전시켜 간다면 국내 미래 에너지 확보에 대한 전망은 매우 밝을 것으로 판단된다.

그리고 동남아시아, 오세아니아 지역에 많은 미개발 중소 가스전을 경제적으로 개발하는 기술을 확립하는 것은 에너지 공급의 안전보장, 미이용 천연가스의 유효이용, 당해지역의 경제발전에 대한 기여 등 상당히 의미가 있을 것으로 판단된다. 앞에서 알아본 제조 기술 이외에 향후에 천연가스 수송기술의 NGH 시스템 실현을 위해서도 연구개발을 계속 추진하여야 할 것으로 사료된다.

## References

- [1] AIST 에너지-이용연구部門 가스하이드레이트 연구그룹, 2001, "메탄하이드레이트 1. 구조와 물성", 천연가스의 고도이용 기술-개발연구의 최전선-, 129-136
- [2] Matsuda, Y., Tanaka, S. and Naganawa, S., 1995: Preliminary Studies on Gas Hydrate Formation in Geosystem Engineering. Proc. Conference on Drilling Hydrates in Offshore Japan, Golden, Colorado, January 12-13, pp. 39-45.
- [3] 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.
- [4] Jon Steina Gudmundsson, 2006, Transport of Natural Gas Using Hydrate Technology, Petroleum Engineering and Applied Geophysics.
- [5] JFE技報, 2004, 천연가스하이드레이트 고속제조 기술, p.55.
- [6] Okui, T., 1997, Utilization of Methane Hydrate, *JIE J.*, Vol. 76, No. 5, pp.390-397
- [7] Gudmundsson, J. S., Andersson, V. and Levik, I., 1997, Gas storage and transport using hydrates, Offshore Mediterranean Conference