

## 가스하이드레이트 생산기술 개발동향 분석

\*안 승희<sup>1)</sup>, 박 승수<sup>2)</sup>, 신 창훈<sup>3)</sup>, 김 병주<sup>4)</sup>, 이 정환<sup>5)</sup>

### The Status of the Development of Production Technology of the Gas Hydrate

\*Seunghee An, Seoungsoo Park, Hoonchang Shin, Byungjoo Kim, Jeonghwan Lee

**Key words** : Gas Hydrate(가스하이드레이트), BSR(해저면모방반사면), Depressurization Method(감압법), Thermal Recovery Method(열자극법), Inhibitor Injection Method(억제제주입법), Replacement Method(치환법), Production well(생산정), Observation well(관찰정)

**Abstract** : As a future clean substitute energy, the Gas hydrate development projects are world widely carried out to prepare the shortage of petroleum and natural gas resources. The OIIP of gas hydrate is estimated approximately 10 Trillion LNG equivalent ton and it reaches almost the amount of 5 thousand years use for the world people. To develop the commercial production technology, several research projects like Malik and Alaska project have been carried by several advanced countries and teams, but nobody have succeeded it yet due to the technical problems and the high risks. The technologies developed up to now for the hydrate production are categorized to four methods, such as depressurization method, thermal recovery method, inhibitor injection method and replacement method. As these methods are highly related to the costs and the environmental problems, many other researches including the safety, environment and disaster prevention are actively fulfilled as well.

### 1. 서론

가스하이드레이트는 전 세계적으로 LNG 환산 톤 기준 10조 톤이 매장되어 있는 것으로 추정되고 있다. 이것은 세계가 약 5,000년을 사용할 수 있는 양이고, 천연가스 확인 매장량의 25배이며, 석유같은 화석 에너지의 2배에 이르는 엄청난 양이다<sup>[1]</sup>. 또한 해저 지층내의 가스하이드레이트 속의 메탄의 양은 대기 중의 메탄의 양보다 3,000 배에 이른다. 이와 같이 엄청난 양이 동토 및 대양에 매장되어 있지만, 가스하이드레이트로부터 천연가스 추출시 해저 지반의 붕괴 및 쓰나미 발생 가능성이 있고, 또한 해리된 메탄가스가 대기 중으로 방출될 경우, 이산화탄소에 비하여 25배의 온실 효과를 가지고 있어 환경오염이 지대하다고 할 수 있다. 따라서 여러 나라에서 이 분야에 대한 연구도 진행 중에 있다. 본 연구는 미국 및 일본 등 여러 나라가 전 세계적으로 동토 및 대양에 매장되어 있는 엄청난 양의 가스하이드레이트를 개발생산하기 위하여 어떻게 활동을 하고 있는 지 생산기술 개발 동향을 고찰 분석함으로써,

향후 국내 가스하이드레이트 개발 방향을 조망하고 특히 가스하이드레이트 국제공동 시험생산 프로젝트 추진 현황 분석을 통해 에너지원으로서 가스하이드레이트 전망에 대한 가능성을 조망해보고자 한다.

- 
- 1) 한국가스공사 연구개발원 가스전기기술연구개발  
E-mail : cupidash@kogas.or.kr  
Tel : (031)400-7527 Fax : (031)416-9014
  - 2) 한국가스공사 연구개발원 가스전기기술연구개발  
E-mail : sspark@kogas.re.kr  
Tel : (031)400-7550 Fax : (031)416-9014
  - 3) 한국가스공사 연구개발원 가스전기기술연구개발  
E-mail : chshin@kogas.or.kr  
Tel : (031)400-7554 Fax : (031)416-9014
  - 4) 한국가스공사 사업개발본부 신에너지팀  
E-mail : kimbj@kogas.or.kr  
Tel : (031)710-0251 Fax : (031)710-0159
  - 5) 한국가스공사 연구개발원 가스전기기술연구개발  
E-mail : jhwan@kogas.re.kr  
Tel : (031)400-7481 Fax : (031)416-9014

## 2. 가스하이드레이트 생산 방법

석유, 천연가스를 장기적으로 대체할 미래청정 에너지 자원인 가스하이드레이트를 개발하기 위하여 많은 방법들이 사용되고 있으나 크게 4가지 감압법, 열자극법, 억제제 주입법, 치환법으로 나누어 볼 수 있다. 감압법(Depressurization Method)은 가스하이드레이트층과 하부퇴적층 사이의 내압감소에 의하여 가스하이드레이트를 분해 촉진시키는 방법으로써, 외부에서 추가적인 물질주입이나 열자극이 필요 없어 가장 경제적인 것으로 알려져 있으며, 시베리아 Messoyakha 가스전 및 캐나다 델타 분지의 Mallik 가스전에서 적용한 바 있다. 열자극법(Thermal Recovery)은 뜨거운 증기나 열수를 하이드레이트층에 주입하여, 저류층의 온도를 상승시켜서, 하이드레이트를 분해 촉진시키는 방법으로써 단일 시추정에서 수행되는 단일개정법과 복수의 시추정이 사용되는 다개정 연속증기법이 있으며, 캐나다 델타분지의 Mallik 가스전에서 이용하였다. 억제제주입법(Inhibitor Injection Method)은 액상의 가스하이드레이트 억제제를 주입하여, 평형곡선을 변형시키는 방법으로써 동토같은 추운지역에서 파이프라인을 통하여 가스 또는 콘덴세이트를 공급할 때, 가스하이드레이트에 의하여 파이프라인이 막히는 현상을 억제하기 위해서 사용하였다(시베리아 Messoyakha 가스전 적용)<sup>[2]</sup>. 치환법(Replacement Method)은 가스하이드레이트의 내부의 매탄을 이산화탄소 및 질소 등 가스로 치환하는 방법으로 종래의 회수 방법보다 높은 수율로 회수할 수 있을 뿐만 아니라 지구온난화 주범인 이산화탄소 문제를 해결할 수 있고 지층의 안정화를 추구할 수 있는 방법으로 대두되고 있다. 표 1은 1992년 미국 NPC(National Petroleum Council)에서 보고된 자료<sup>[3]</sup>로 가스하이드레이트 생산방법과 관련, 경제성을 비교 한 것으로 재래

Table 1 The Economic study of gas hydrate production

Economic factor <sup>a</sup>	Thermal injection <sup>b</sup>	Depressurization	Conventional gas
Investment( $\times 10^6$ \$)	5084	3320	3150
Annual cost( $\times 10^6$ \$)	3200	2510	2000
Total production(MMcf/year) <sup>c</sup>	900	1100	1100
Production cost(\$/Mcf)	3.60	2.28	1.82
Breaken-even wellhead price(\$/Mcf)	4.50	2.85	2.25

<sup>a</sup> Mcf. thousand cubic feet: MMcf, million cubic feet

<sup>b</sup> Assumed process: injection of 30,000 barrels/day of water at 150 °C

<sup>c</sup> Assumed reservoir properties: reservoir thickness=7.3 m, reservoir porosity=40 %, permeability=600md

형 가스 생산 방법이 가장 적은 비용으로 가스하이드레이트를 생산할 수 있는 것으로 보이며, 감

압법이 열자극법보다 적은 비용으로 가스하이드레이트를 생산할 수 있음을 보여주고 있다.

## 3. 가스하이드레이트 개발 및 생산 동향

### 3.1 국내 현황

가스하이드레이트의 생산은 회수, 생산방법 및 상용화 기술의 개발이 확보되지 않은 상태로 기존의 석유 및 가스 생산과 유사한 생산 방법 등이 제시되고 있으나 지속적인 연구개발이 필요한 실정이다. 몇몇 국가에서는 정립된 이론 모델을 실제 현장 조건에 반영하여 상업적 생산을 염두에 둔 시험 생산 프로젝트를 진행 또는 계획하고 있다. 우리나라의 경우, 1996년 한국지질자원연구원이 가스하이드레이트에 대한 기초연구를 착수하여, 1998년에 동해안에서 가스하이드레이트의 유무를 알 수 있는 징후를 최초로 인지하게 되었다. 2000년에 들어서서 한국가스공사 및 한국지질자원연구원이 수행한 5개년 동해안 광역 물리탐사 수행결과 동해지역에서 광범위한 BSR(Bottom Simulating Reflector: 해저면모방반사면)을 발견하였고, 매장량은 6억 톤 정도로 우리나라의 천연가스 사용량 기준 30년(2003년 천연가스 판매량 1,940만 톤 기준)에 해당되는 것으로 추정하였다. 이후 가스하이드레이트에 대하여 보다 체계적이고, 활발한 탐사, 개발 및 생산을 위하여 정부를 주축으로, 한국가스공사, 한국석유공사 및 한국지질자원연구원이 공동으로 가스하이드레이트 사업단을 조직하였으며, 2005년부터 2007년까지 3년 동안 1단계 가스하이드레이트 사업을 착수하였다. 1단계 사업 결과 동해안에서 해저코어링을 통한 가스하이드레이트 채취 및 최초로 130 m 두께의 초대형 가스하이드레이트의 구조가 발견되는 쾌거를 올렸다. 이 사업 결과로 우리나라 동해 울릉분지에 광범위하게 가스하이드레이트가 분포되어 있을 것으로 판단되고 있다.

2단계 사업은 2008년부터 2011년까지 4년 동안 수행할 예정으로, 참여기관별 역무에 따라 수행할 계획이며, 울릉분지 종합 정밀 조사 및 심부 시추, 부존 평가, 생산기반기술연구, 생산모사실험시스템 구축 및 미국 Alaska North Slope 국제 시험생산 프로젝트 참여 등으로 진행될 계획이다.

### 3.2 국외 현황

가스하이드레이트에 대한 연구를 오래전부터 수행해 왔으며, 상당한 기술 축적이 이루어진 상태이지만 아직까지 본격적인 상업 생산은 이루어지지 않고 있는 실정이다. 그나마 국외 여러나라 중 가장 활발한 연구를 수행하고 있는 나라는 일본, 미국 및 캐나다 정도이다. 일본의 경우, 1970년 말부터 연구를 시작하였고, 1995년부터 1999년까지 “통상산업성 5개년 R&D 프로그램”을 통해 가스하이드레이트 부존 확인을 위한 시추 및 탐사 작업을 진행하여, 3.5 조 입방미터의 가스하이드레이트 추정매장량이 부존되어 있

음을 확인하였다. 경제산업성 주관 메탄하이드레이트 개발 Program(MH21)을 착수하여 mallik 프로젝트를 미국, 캐나다와 공동 수행하였으며, 2016년 가스하이드레이트의 상업적인 생산을 목표로 연구개발을 진행하고 있다. 미국의 경우 1972년 알래스카에서 가스하이드레이트의 부존이 확인되면서 에너지부(DOE) 주관 3차에 걸쳐 GH R&D Program을 수행하였고, 1982년부터 1991년까지 1차 R&D Program을 통하여 전 세계적인 가스하이드레이트 부존 지도를 제작하였고, 알래스카지역에서 가스하이드레이트 생산(감압법 및 열주입법)모형을 개발하였으며, 미국내 천연가스 매장량의 1,800배에 달하는 가스하이드레이트 부존량을 확인하였다. 2001년부터 시작한 2차 R&D Program 사업을 수행하여, 2015년 상업 생산을 목표로 가스하이드레이트 개발에 박차를 가하고 있다. 캐나다의 경우, 1970년대 초반 영구동토 지역에서 탐사 시추를 통해 가스하이드레이트 부존을 확인하였고, 일본 및 미국과 더불어 Mallik 프로젝트를 통하여 현장 연구 사업 최초로 가스하이드레이트로부터 가스 추출시험을 수행하였다. 그 외 러시아, 인도, 중국 및 영국 등 여러나라에서 가스하이드레이트 개발 사업이 진행 중에 있다.

#### 4. 국제 시험 생산 동향

##### 4.1 Mallik Project

mallik project는 극지방의 가스하이드레이트를 연구하기 위한 프로그램으로 1998년 수행한 mallik 1998 project와 2002년의 mallik 2002 project가 있다. 일본, 캐나다, 미국 공동으로 시작한 mallik 1998 project는 캐나다 북서부의 맥켄지 델타의 mallik 2L-38 시추공을 대상으로, 동토지역에서 가스하이드레이트의 코어링, 물리검층, 수직 탄성과 단면탐사, 퇴적학 및 고생물 연구, 공극수 및 지화학 연구, 그리고 지구물리 및 저류공학 등을 연구하는 게 연구목적이었으며, mallik 2002 project는 일본, 미국, 캐나다, 독일 및 인도가 참여하여 생산정 5L-38과 관찰정 3L-38 및 4L-38 (그림 1은 mallik의 생산정 및 관찰정의 개략도를 나타냄)대상으로 가스하이드레이트 시험생산을 연구 목적으로 수행하였다<sup>[4]</sup>. mallik 2002 project (’01~’02) 연구 예산은 130억 정도로 절반을 일본에서 부담하였다. 생산정에서 시추한 코어의 물성 측정을 분석한 결과, 가스하이드레이트가 800 m ~ 1,100 m 사이에 110 m 두께의 사암층에 분포되어 있음을 확인되었고, 그 함유량도 공극에 64% ~ 67%를 차지할 정도로 타지역에 비하여 상당히 높은 수치를 보였으나, 가스하이드레이트에 의한 막힌 현상으로 유체투과율이 매우 낮다는 점이 문제점으로 대두되었다<sup>[5]</sup>. mallik project에서는 가스하이드레이트를 생산하기 위하여, 감압법 및 열주입법(열차극법의 일종)을 적용하였고, 장기간의 열수 주입과 회수하는 형식의 순환 기술을 이용하여, 성공적으로 해리가스를 시험 생산하였다는 점에 그 의의를 두고 있으며, 최초로 해리된 가스를 지상

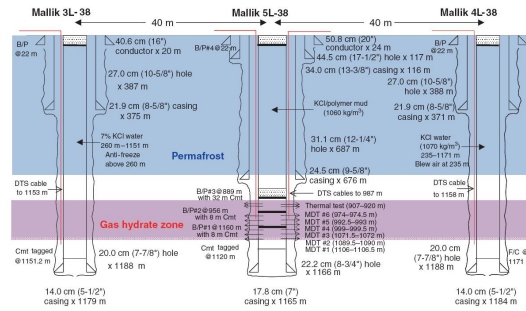


Figure 1. Well profile showing completions of Mallik 3L-38, Mallik 4L-38, and Mallik 5L-38 (modified from Tsubokawa et al., 2001). BP = bridge plug, Cnt = cement, DFS = distributed temperature sensing program, FC = float collar.

Fig.1 Production & Observation well of the Mallik project

으로 생산하여 flare stack에서 연소시킴으로서, 가스하이드레이트를 에너지자원으로 활용가능성을 높여주었다.

##### 4.2 Alaska Project

Alaska Project는 DOE(U.S. Department of Energy)가 주관하고, BP Exploration Alaska, Inc. 등 7개 기관이 참여하여 2001년부터 2009년까지 수행하는 프로젝트로서 총 예산은 2천 4백만 달러 정도 소요될 것으로 판단된다. 표 2는 Alaska Project의 단계별 사업내용이며, 그림 2는 중장기 R&D 로드맵을 나타낸다.

Table 2 The Program content of each Phase of Alaska Project

수행 기간	수행 내역
Phase 1 2002.10~ 2004.10	- 가스하이드레이트 저류층 특성화 및 모델링
Phase 2 2004.10 ~ 2006.10	- 도출된 유망지역의 상세 분석 및 평가 - 매장량 평가 : 최대 33 TCF - 생산 가능성 평가 : 0~12 TCF - 상업적 생산 : 0
Phase 3a (현재 진행) 2006.10 ~	- DOE 승인 및 2005.10. 착수 - 시추, 물리검층, 코어링 수행 - 시험생산 : MDT - 장기 생산 시험으로 사업 전환 필요 언급 - 물리검층, MDT 데이터 상세분석 중
Phase 3b	- phase 3a 평가 완료 및 DOE & BPXA의 승인 후 시험

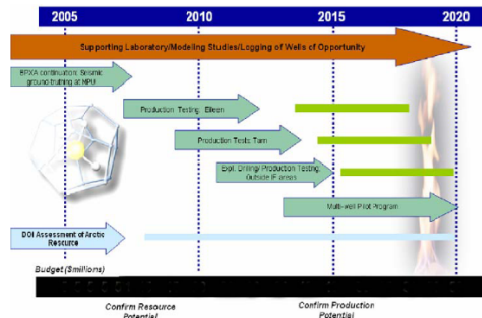


Fig. 2 The R&D Roadmap of arctic hydrate (Alaska)

### 4.3 Gulf of Mexico Project

Gulf of Mexico Project는 Alaska Project(육상수행)와 다르게 해상에서 수행되는 프로젝트로서, 2001년부터 2010년까지 수행되며, 예산은 약 4천 3백만 달러 정도 소요될 예정이다. DOE(U.S. Department of Energy)가 주관하고, Chevron Energy Technology Company 등 17개 기관이 참여하여, 심해저 가스하이드레이트 특성화를 위한 기술 개발 및 데이터제공, 해저면 안정성, 기후변화 연구에 대한 인자 도출, 천해 오일/가스 저

Table 3 The Program content of each Phase of Gulf of Mexico Project

수행 기간	수행 내역
Phase 1 2001.9 ~ 2006.	- 장비개발(일반/압력 코어링 장치 및 분석 장치, 이송 챔버 등) - 탐사, 지구물리, 지화학 데이터 분석 등 (Atwater Valley 14, Keathley Canyon 195 필드 연구 선정) - 시추: 2005. 5, 35days, 2 sites - 2곳 GH 확인 및 KC 대형구조 발견 - 2006. 인도 압력코어 분석 지원 - 리포트 제출
Phase 2 2006. ~ 2007.9	- phase 3 필드 선정을 위한 탐사 자료 및 물리검층 데이터 상세 분석 - phase 3 계획 및 예산 변경 (DOE) - GOM GH 퇴적층 분석
Phase 3A (현재 진행) 2007.10 ~ 2008.	- phase 3 위치 선정 (Alaminos Canyon818, Walker Ridge313, Green Canyon955) - 시추 : 2008. 봄, Drill ship 리스 완료
Phase 3B	- 심해 GOM phase 3 필드 GH 분석

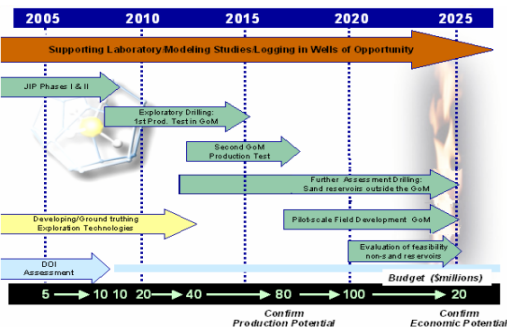


Fig. 3 The R&D Roadmap of marine hydrate (Gulf of Mexico)

류층에 인접한 가스하이드레이트 메카니즘 평가 등을 목표로 연구를 수행하고 있다. 표3은 Gulf of Mexico Project의 단계별 세부 사업 수행 내용이며, 그림 3은 Gulf of Mexico Project의 중장기 R&D 로드맵을 나타낸다.

### 5. 결론 및 제언

본 연구에서는 국내외적으로 가스하이드레이트 개발 및 생산기술개발 현황을 분석한 결과, 현재까지 가스하이드레이트를 상업적으로 생산하

는 나라가 없으나, 2010년대 후반에 상업적으로 가스하이드레이트를 생산하기 위하여 많은 예산이 소요되는 시험생산 Project가 수행하고 있는 만큼, 향후 상업생산 시기를 앞당길 수 있을 것으로 판단된다. 다만, 가스하이드레이트를 생산하기 위해서는 해저 지반 붕괴 및 대기중으로 메탄 가스의 방출 등 환경오염에 대한 방지 연구도 수반되어야 한다.

추가적으로 현재 국외의 가스하이드레이트 개발 및 생산기술에 비하여 뒤쳐진 기술을 타개하고, 동해안 가스하이드레이트 시험생산 및 상업 생산을 하기 위하여, 재해 및 환경오염, 새로운 생산방법 개발 등에 대하여 체계적인 연구와 Alaska Project와 같은 국외 공동 Project에 많이 참여해야 할 것이다. 물론 이러한 요구에 부응하기 위하여 금년 4월에 한-미간에 가스하이드레이트 기술협력 의향서를 체결하고, 내년 이후 실질적으로 Alaska Project에 직접 참여 추진 등과 같이 일련의 조치를 하고 있지만, 예산 및 인력, 기술수준 격차 등 선결해야 할 문제가 있다. 따라서 정부를 주축으로 산학연 협동강화 등 총체적으로 가스하이드레이트 생산에 관심을 집중할 필요가 있다고 판단된다.

### References

- [1] 박승수, 이정환, 2007, International Symposium on Circum-Pacific Petroleum and Alternative Energy Resources, "The Expectation and Development Prospect for Gas Hydrate as an Energy Source"
- [2] 유상수, 현상민, 2001, "메탄하이드레이트", 도서출판.
- [3] Timothy S. Collett, United States Geological Survey, Denver, Colorado, United States "Gas Hydrates" Encyclopedia of energy EC - GE Volume 2, Editor-in-Chief Cutler J. Cleveland.
- [4] 허대기, Vol.42, No.3(2005) pp. 206-213, "가스하이드레이트 기술개발현황"
- [5] 이정환, 박승수, 한정민, 김병주, 최양미, 2007, "가스하이드레이트 개발 및 생산(I)", 한국가스공사.