

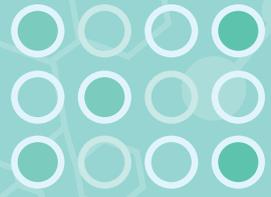
융합

# Weekly TIP

Technology · Industry · Policy

메탄 하이드레이트의 미래에너지 가능성 및 전망

김상식 | 융합연구정책센터



Technology

Industry

Policy

## 메탄 하이드레이트의 미래에너지 가능성 및 전망

김상식 | 융합연구정책센터

# 01

## 선정배경

● 메탄 하이드레이트는 우리나라 천연자원 중 유일하게 대규모 개발이 가능한 광물자원으로 주목받으며 에너지 안보 측면에서 매우 중요한 자원임

※ (국내매장량) 6조m<sup>3</sup> (국내 천연가스 소비 30년분) ⇒ 252조원 수입대체

● 세계적으로 메탄 하이드레이트 탐사 및 상업화를 위한 기술 개발을 추진하고 있으며, 우리나라 역시 산업부를 중심으로 2005년부터 10년간 가스 하이드레이트(GH) 개발사업 추진

● 아직은 경제성과 안전성 문제로 인하여 선도하는 국가가 없으며, 매장량 등을 고려하면 제2의 셰일혁명\*이 가능한 유망한 자원임

\* 셰일혁명: 2000년 미국 셰일산업 발전 결과 세계 석유시장을 흔들며 2014년 미국은 세계 최대 원유 생산국가로 부상함 (세계 저유가 기조 지속원인)

# 02

## 개요

### ① 메탄 하이드레이트란?

● **(정의)** 가스 하이드레이트는 해저·빙하 아래에서 저온·고압(0℃ 26기압 또는 10℃ 76기압)에서 물분자 안에 천연가스가 포획되어 형성된 얼음형태의 에너지원으로, 불타는 얼음이라고도 불리고 있음

- 천연가스의 주성분에 따라 메탄·이산화탄소·수소 하이드레이트 등으로 분류

※ 메탄 하이드레이트는 메탄가스가 주성분의 90% 이상일 때를 의미함

● **(형성과정)** 깊은 해저에 퇴적물이 쌓이면 그 안에서 메탄가스가 발생하게 되고, 가스가 위로 올라오는 도중 차가운 물과 만나 얼면서 메탄이 얼음 안에 갇히는 과정을 통해 형성됨



그림 1. 가스 하이드레이트 분자모형 및 시료

● **(생산방식)** 메탄 하이드레이트는 물과 합쳐진 화합물로 압력, 온도, 분해 등을 통해 메탄가스와 물을 분리 생산

※ 갯내부 압력을 낮추거나(감압법), 고온수를 주입(열수 처리법), 메탄을 등 저해제 용매를 통해 분해 촉진(분해 촉진제 주입법)을 사용

## 2 개발의 필요성

● **(풍부한 매장량)** 세계매장량 205조 $m^3$  (세계에너지 사용량의 350년분)

- 다른 에너지원과 비교하면, 가스 하이드레이트 총 매장량은 석탄, 원유, 가스를 모두 합친 것보다 2배 이상 많게 나타남<sup>1)</sup>

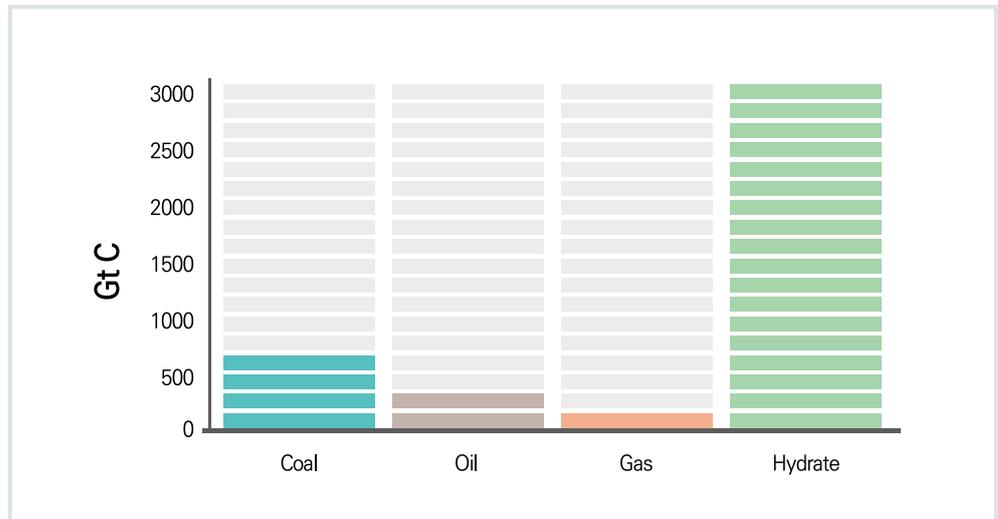


그림 2. 세계 메탄 하이드레이트와 전통에너지원의 매장량 비교 ※ 출처 : IEA Energy Outlook (2007), Wallmann GEOMAR Research Center(2011)

1) 석탄, 원유, 가스는 2011년 가격기준 경제적으로 개발 가능한 매장량이며, 가스 하이드레이트는 총 매장량임

● **(지역편재 小)** 전세계 해양지역에 고르게 분포되어 있음

- 기존의 시베리아, 알래스카 등 추운 동토지역 외에 최근에는 중국, 우리나라, 인도, 브라질 등 세계 다양한 해안에 매장되어 있다고 보고

※ 전통적인 원유·천연가스의 경우 'Vertical oil belt' 라 일컬어 중동, 코카서스, 카스피해(중앙아), 북아프리카, 아메리카 등에 수직 띠 모양으로 매장되어 있어 지역적 편재가 큼

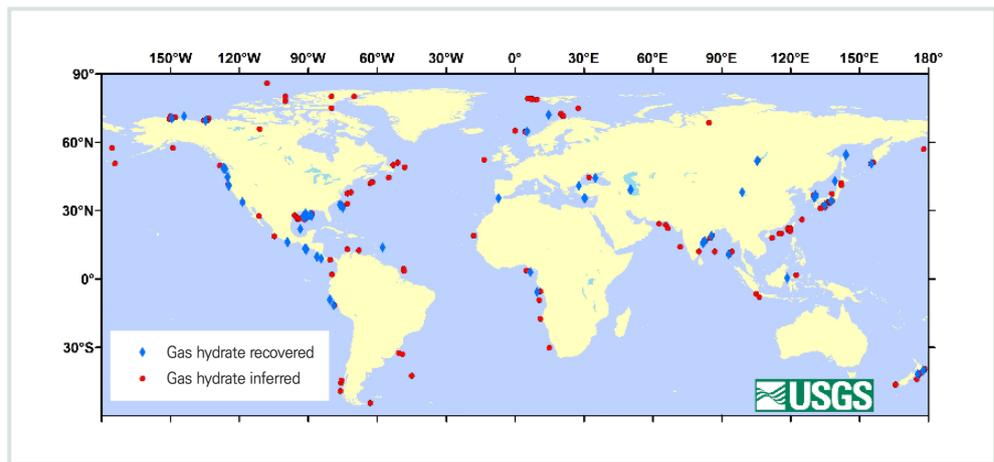


그림 3. 세계 가스 하이드레이트 매장량 분포

※ 출처 : 美 지질조사소(USGS) 웹사이트(1985년부터 가스 하이드레이트 지도 업데이트 중, 2016. 12 기준)

● **(친환경)** 천연료 대비 불순물과 이산화탄소 배출량 小

- 석탄과 원유는 탄소성분 비율이 높아 연소할 때 이산화탄소 배출이 많고 다른 성분들로 인해 유해물질 배출이 많음

※ 특히, 원유는 황화합물이나 질소화합물이 소량 포함되어 공기 중에서 연소 시 질소산화물, 아황산가스 등이 생성되거나, 불안전 연소 시 일산화탄소 등이 생성되어 대기오염의 주범이 되기도 함

- 이에 반해, 메탄 하이드레이트는 탄소와 수소만으로 구성되어 여타 유해물질이 없고 이산화탄소 배출량도 석탄, 원유에 비해 적은 편

※ 同에너지 생성 시, 석탄, 원유, 메탄 하이드레이트의 CO<sub>2</sub> 배출량 비율은 14:10:7 (원유 주성분 '옥탄'과 '메탄' 연소반응 차이로 CO<sub>2</sub> 배출량 차이)

● **(높은 발열량)** 상온에서 기체로 존재하여 발열량이 큰 편임

- 천연가스인 LPG가 연소할 때 발열량이 큰 것처럼 상온에서 기체로 존재하는 메탄은 고체와 액체인 석탄, 석유에 비해 발열량이 큼

### 3 개발의 한계

#### ● (고위험) 위험한 작업환경 및 심각한 지각변동 초래 우려

- 잘못 취급 시 가스 유출로 매장층 폭발로 인한 위험성이 높음
- 바다 속 바닥의 지각을 약화시켜 거대한 해일의 원인이 될 수 있음

※ 메탄 하이드레이트는 부드러운 모래만으로 된 바다 바닥 위를 단단하게 눌러 안정시키므로, 이를 제거 시 지각이 흔들려 거대한 해일 발생 가능

#### ● (고비용) 얇고 넓게 분포되어 많은 생산비용이 소요

- 특정 지역에 집중되어 있는 원유 등 전통 에너지와 다르게 조금씩 여러 지역에 분포되어 채굴 작업에 많은 비용이 발생할 수 있음

#### ● (환경피해) 메탄가스 방출 시 지구온난화 가속화

- 메탄가스는 이산화탄소 대비 72배의 강력한 온실가스
- 생산과정에서 메탄가스의 대기 유출은 이전에는 상상도 하지 못했던 정도로 지구온난화를 더 심화시킬 수 있음

# 03

해외 연구개발 동향

### 1 미국

#### ● 1972년 알래스카 지역의 메탄 하이드레이트 부존 확인 후 2차례에 걸쳐 R&D 프로그램 수행

- (1차) 10년간(1982~91) 800만 달러를 투입하여, 세계 부존지도 제작, 알래스카 부존확인, 감압법·열수처리생산모델 개발 등 추진
- (2차) 16년간(2001~15) 8,100만 달러를 투입하여, 알래스카 시험생산 및 장기 시험생산 기반 확보에 주력

※ 특히, Exxon, BP 등 에너지 기업과의 알래스카 Joint Industry Project(JIP)를 통해 알래스카 메탄 하이드레이트 부존 특성·모델 규명, 부존 지층 파악, 시추지점 선정 등의 상당한 연구 진전

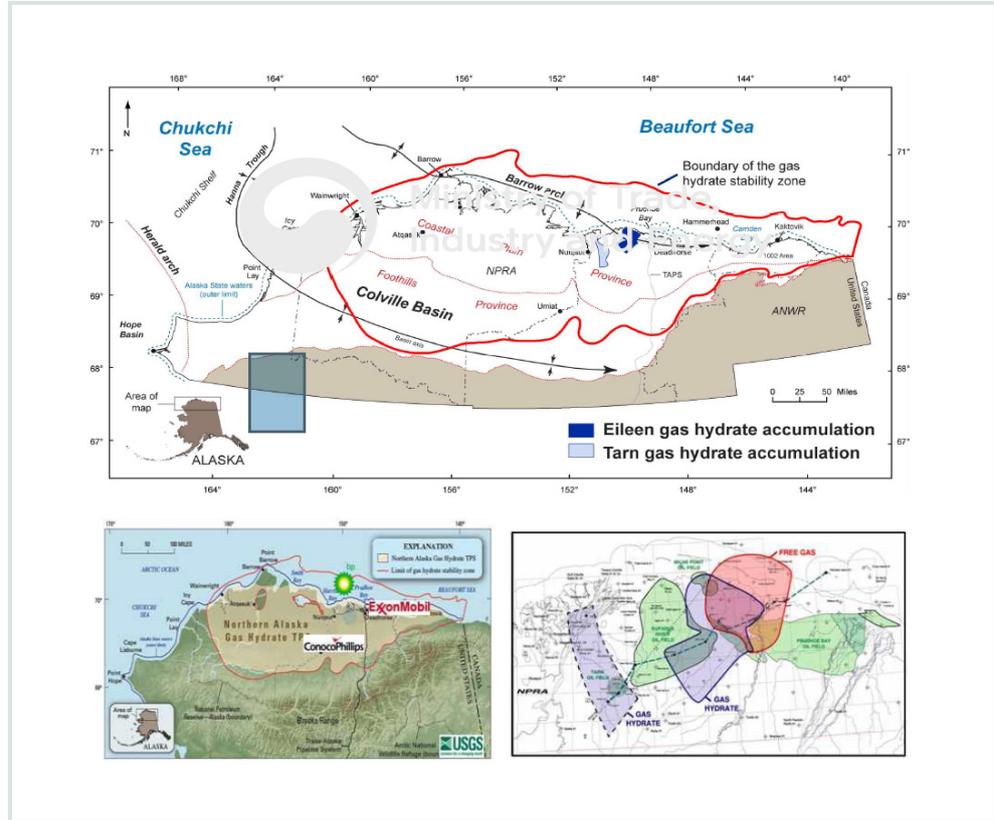


그림 4. 알래스카 Joint Industry Project 개발지역

※ 출처 : 美 에너지기술연구소(NETL) 웹사이트

● 또한, 최근 인도, 중국, 우리나라, 노르웨이 등과 연구협력 추진

※ 인도양(2006)과 중국남해, 우리나라 울릉분지 물리검층·코어링조사(2007), 노르웨이 Bergen 대학과 N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> 혼합가스 주입 시험생산(2012년) 등

## 2 일본

● 1970년부터 1994년까지 탐사에 집중하여 난카이(Nankai) 분지 등 12개 지역에서 메탄 하이드레이트 부존을 확인

● 통상산업성(MITI) 중심으로 R&D 프로그램(1995~2000)에 50억 엔을 투자하여 확인된 지역에서 시추작업 실시

※ 실질적 물리탐사(1995년), 美·日공동 3차원 물리탐사(1999년) 추진 등

- 그 결과, 2000년에 난카이 지역에서 프로토 시추에 최종 성공

● 이후, 2차 R&D 프로그램(MH21, 2001~2018)에 297억 엔을 투자하여 3단계 계획을 거쳐 경제성을 확보하고자 함

- (1단계 계획, 2001~2008) 탐사, 분해 생성 등 기초 연구 진행  
 ※ 시추 32공 실시·부존량 확인(2004년), 외국과 MOU(2007년 印, 2008년 美)
- (2단계 계획, 2009~2015) 생산시험 실시 및 상업화 테스트
- (3단계 계획, 2016~2018) 기술정비, 경제성·환경영향 평가 등 실시

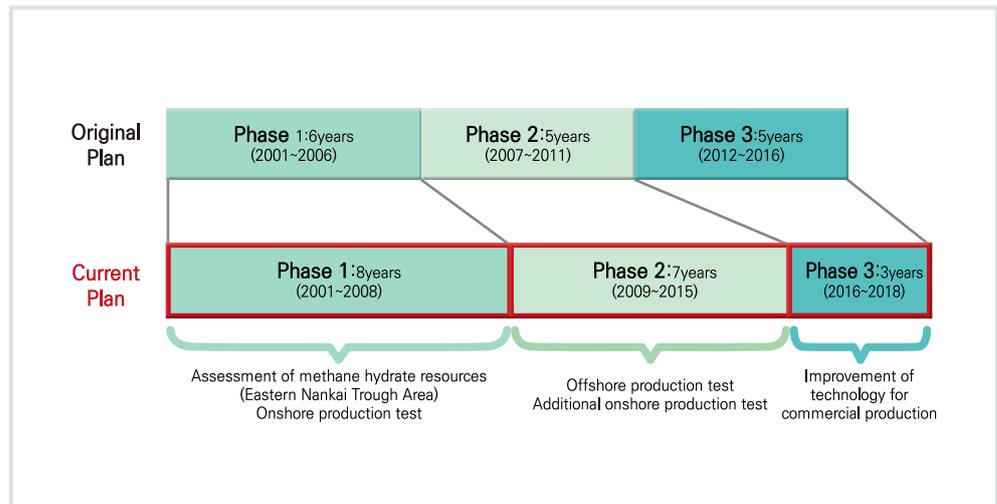


그림 5. MH21 로드맵: 2001~2018

※ 출처 : 한국자원공학회(2015) 재인용

- 2013년 아초미 반도에서 세계최초 메탄 하이드레이트 해양 생산시험을 실시하여 감압법의 유효성은 확인
  - 시추공 안정유지 실패 등에 따라 사업기간을 2028년까지 10년 연장하여 상업화 실현을 달성하고자 노력하고 있음

### 3 기타

- (중국) 1999년 자체연구를 시작하여 2003년 메탄 하이드레이트를 최초로 발견
  - 2007년 미국, 일본, 인도에 이어 세계 4번째 중국 Shenhu 지역에서 실물 시료채취에 성공, 매장량은 194억m<sup>3</sup>로 평가 (2008년 중국과학시보)
  - 2009년 중국 '973' 계획(국가중점기초연구발전 프로그램) 중 하나로 메탄 하이드레이트 개발을 포함 시켜, 2011년 중국 남해지역에 부존 유망지역 25곳 확정

● **(인도)** 1984년 인도해역에서 메탄 하이드레이트 부존 확인

- 1997년 정부차원에서 5,600백만 달러 규모 R&D 프로그램(National Gas Hydrate Program: NGHP) 추진
- 2000년 중반부터 미국, 일본 등 선진국과 연구협력 추진
  - ※ 2006년 미국과 공동으로 21개소 선정 및 39개 검증, 시추코어 획득 등 1차 연구협력을 추진하고, 2012년 최종 26곳에 2차 실험 추진 등

● **(캐나다)** 1970년 영구 동토층에서 메탄 하이드레이트 부존 확인

- 본격연구는 1997년 델타(Delta)지역 Mallik Gas Hydrate Testing Project를 시작으로 2002년 캐나다지질연구소(GSC)와 일본석유공사(JNOC) 주도로 5개국 10개 기관 협력연구를 추진
- 그 결과, 2008년 세계 최초로 메탄가스 연속 시험생산 성공

● **(러시아)** 세계에서 가장 많은 연구 노하우를 가지고 있음

- ※ 자연상태의 메탄 하이드레이트의 존재가능성을 최초로 주장(Stirzhev, 1946), 해저퇴적층에서 메탄 하이드레이트 최초 탐사(1982년)
- 시베리아 메탄 하이드레이트는 일찍부터 상업성을 인정받고 있음
- 이를 바탕으로, 2003년 러시아의 메탄 하이드레이트 개발 프로그램(CHAOS)\*에 일본, 독일, 벨기에, 우리나라 등 많은 국가가 참여하여 메탄 하이드레이트 개발연구에 큰 역할을 담당하고 있음

\* [hydro-Carbon Hydrate Accumulation in the Okhotsk Sea](#)

# 04

## 우리나라 연구개발 동향

① 가스 하이드레이트(GH) 개발사업

- 산업부 주도로 2005년부터 10년간 메탄 하이드레이트 상업생산 목표로 총 3단계에 걸쳐 사업을 추진
  - (1단계, 2005~2007) 유망지역 정밀조사로 시추방법과 부존지역 확인
  - (2단계, 2008~2011) 정밀탐사, 시추위치 확인, 시추작업 등에 기반이 되는 생산기반기술 연구 및 既확인 울릉분지 부존 평가 작업 실시
  - (3단계, 2012~2014) 시험 생산과 함께 상업적 생산기법 도출
- 본 사업은 크게 탐사개발과 R&D로 구분하여 상호 연계
  - (탐사개발) 해저면 퇴적시료 채취, 시추 등 탐사결과물 제공
  - (R&D) 탐사결과물의 정밀분석, 평가 등 추진

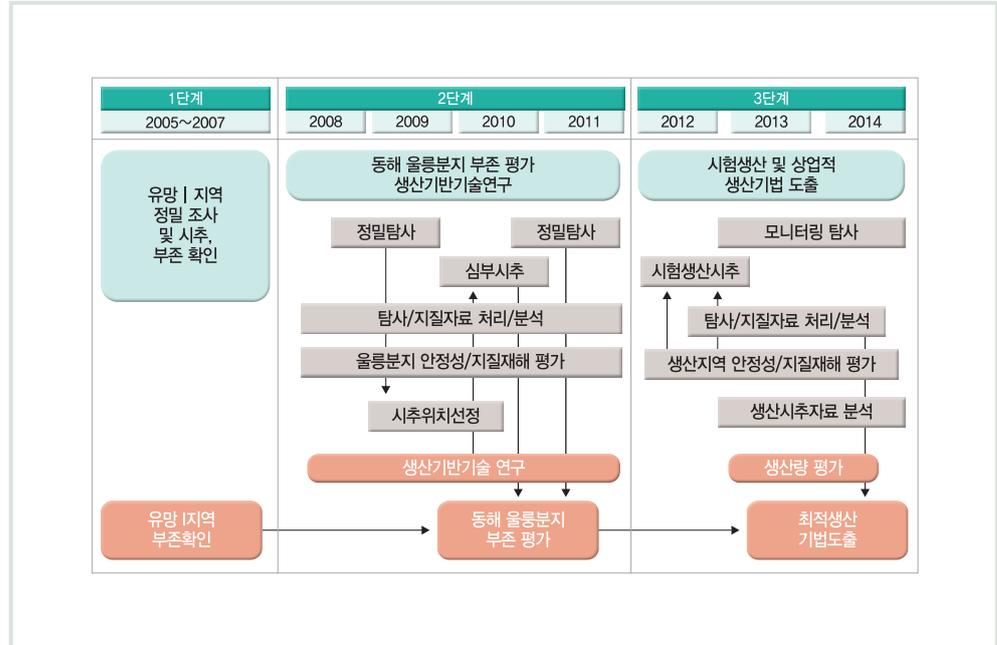


그림 6. GH개발사업 로드맵: 2005~2014

- (평가결과)** 탐사분야는 메탄가스 대기유출 등 안정성 연구 부족, 특히 울릉분지에 대한 정밀 환경모델 연구가 필요
  - 생산분야는 퇴적층 구조변화 입증·예방을 위한 지질학적 구조 연구가 부족하며, 전반적으로 선진국에 비해 연구기간이 짧다는 평이 많음

# 05

## 시사점

### 1 국제전망

- (경제성 확보 어려움)** 비전통에너지 '세일가스' 대비 경제성 부족

※ 에너지수지비(EPR, Energy Payback Ratio) 기준, 세일가스의 EPR이 5이면 메탄 하이드레이트가 2~3 정도로 여전히 경제성이 절반에 불과

- 특히, 대체재 LNG에 영향을 받고 있고, LNG 수입가격이 메탄 하이드레이트 생산비용보다 낮아 경제성 해결이 어려울 전망

- (세계의 관심 부족)** 풍부한 양의 비전통에너지 개발로 인하여 당분간은 메탄 하이드레이트에 대한 수요가 부족할 것임

※ 비전통 원유가 전체 5.9조 배럴 중 3.2조 배럴(54.2%), 비전통 가스는 전체 790조m<sup>3</sup> 중 330조m<sup>3</sup>(41.8%)정도로 풍부한 것으로 나타남

- **(기술개발의 어려움)** 셰일가스 등 he 비전통에너지와 달리 수평시추, 수압파쇄 등 기존 생산기술 적용이 어려움
  - 메탄 하이드레이트는 고체 상태이므로 메탄과 물을 분리시키는 별도 해리기술이 필요하며, 온실가스 배출을 막는 별도의 공법도 필요

## 2 우리의 대응방안

- 우리나라 동해의 메탄 하이드레이트는 부존지층 두께가 13m로 매우 얇아 개발 시 위험문제 제기 (안전성 문제)
  - 좁은 지역에 대량 집적되어 있지 않아 생산대비 비용이 클 것으로 예상됨 (생산성 문제)
- 때문에, 정부차원에서 안전성과 생산성 문제 해결을 위해 향후 R&D에 집중 투자한다면, CO<sub>2</sub> 절감 등 국제 기후변화대응에 효율적으로 대응할 수 있는 차세대 에너지 자원이 될 것으로 보임
- 특히, 많은 기술적 난제가 존재하므로 우리나라도 선진국과 같이 30년 이상 꾸준한 R&D 투자가 이루어져야 함

## 참고

### 1 우리나라와 일본의 메탄 하이드레이트 R&D 프로그램 비교

사업구분	韓「가스하이드레이트개발사업」 (2005~2014)	日「MH21」 (2001~2018)
1단계	<b>&lt;2005~2007&gt;</b> - 유망지역 정밀탐사 - 부존확인(1차 시추 : 07.9월) - 기초생산기반기술연구	<b>&lt;2001~2008&gt;</b> - 유망지역 정밀탐사 - 원시부존량 및 지층특성, 해저면 분석 - 기초생산기술시험
2단계	<b>&lt;2008~2011&gt;</b> - 부존량 평가(2차 시추 : 10.7월) - 생산기반기술연구 - 생산모사실험시스템 구축	<b>&lt;2009~2016&gt;</b> - 부존량 평가 - 시험생산 시행(13.3월, 난카이트로프 지역) - 상업생산기술 최적화
3단계	<b>&lt;2012~2014&gt;</b> - 시험생산 시추위치 선정 - 기준환경 조사 - 모의시험생산분석	<b>&lt;2016~2018&gt;</b> - 상업생산 준비 - 경제성 평가 및 환경 영향 평가

## ② 세계 비전통 가스 매장량

지역	타이트오일	셰일가스	CBM	가스 하이드레이트	합계
북미	1,371	3,842	3,017	242,011	250,239
중남미	1,293	2,117	39	187,839	191,287
서유럽	353	510	157	30,229	31,248
중동부유럽	78	39	118	0	235
러시아	901	627	3,957	166,367	171,852
중동/북아프리카	823	2,548	0	7,557	10,927
사하라이남	784	274	39	15,150	16,247
중양아시아/중국	353	3,528	1,215	15,150	20,244
태평양 OECD	705	2,313	470	60,494	63,981
기타 아태지역	549	314	0	7,557	8,419
남아시아	196	0	39	15,150	15,385
합계	<b>7,406</b>	<b>16,112</b>	<b>9,051</b>	<b>747,506</b>	<b>780,066</b>

※ 출처 : Holditch, JPT, 2010 ; Kevnvolden, 1993 ; 가스하이드레이트 개발사업단

## 참고자료

1. 서유택 외 3인, '가스 하이드레이트 : 차세대 에너지 자원으로서의 가치, 현황, 그리고 전망', NICE, 제26권 제3호, 2008
2. 원형원, '일본 메탄하이드레이트 활용 가능성 평가', 세계 에너지시장 인사이트 제15-3호, 2015.1.23.
3. 유신투자증권, '메탄 하이드레이트가 열 새로운 세상', 2013. 3. 18
4. 이경선 외 3인, '미래의 에너지, "불타는 얼음": Methane Hydrate', 2006 LG Global Challenger 탐방결과 보고서, 2006
5. 한국자원공학회, '가스하이드레이트개발사업 추진방안 수립 연구', 2015
6. Japan Oil, Gas and Metals National Corporation (JOGMEC), 'Japan's Methane Hydrate R&D Program, Phase 1 Comprehensive Report of Research Results', 2008
7. NETL(National Energy Technology Laboratory), 'Energy Resource Potential of Methane Hydrate', 2011
8. Wallmann GEOMAR Research Center, 'Energy Outlook 2007'
9. NETL 웹사이트(<http://www.netl.doe.gov/>)

