

가스하이드레이트 시험생산 기술개발 동향

*박 승수¹⁾, 주 우성²⁾, 안 승희³⁾, 이 정환⁴⁾

An Investigation on the Technical Progress of Test Production for Gas Hydrate Development

*Seoungsoo Park, Woosung Ju, Seunghee An, Jeonghwan Lee

Key words : Gas Hydrate(가스하이드레이트), Alaska North Slope(알래스카 산맥 경사면), Production Test site(시험생산위치), Site Comparison(시험생산위치 비교), GH Characterization (GH 특성화)

Abstract : For the Gas hydrate Research and Development in Korea, the prospect area **I & II** was surveyed and drilled during the first phase. At the result, we succeeded to discovering gas hydrate real sample at BSR reflection and vent structure. This expedition processing contributes to developing the offshore seismic survey technologies and data processing of Korea. But Korean gas hydrate test production research, in spite of activating test production at other countries, is such a limitation about technician, GH production technologies and E&P processing. First of all, there is no exist in Korea to application site for the their production research results. In this paper, we have studied the gas hydrate reservoir selection technics of the DOE & BPXA for the ANS test production. And this result will helpful to preparation of gas hydrate test production in Korea.

subscrip

GH : gas hydrate
 DOE : U.S. department of energy
 USGS : U.S. geological survey
 BPXA : british petroleum exploration alaska
 GSC : geological survey of canada
 ANS : alaska north slope
 JIP : joint industry project
 GOM : gulf of mexico
 TCF : trillion cubic feet
 MITI : ministry of international trade & industry
 WL : wireline logging
 LWD : logging while drilling
 MWD : measurement while drilling
 SLB : schlumberger
 OBM : oil based mud

1. 서론

천연가스의 수급 확보는 기존 재래식 연료중에서 친환경성의 장점과 전 세계적으로 이용 확

대된다는 이유로 우리나라뿐만 아니라 비교적 자원이 풍부한 미국에서도 에너지정책에서 가장 중요한 목표로 설정하고 있는 실정이다. 화석 연료 중에서 단위 발열당 CO₂ 방출이 가장 적어 석탄 및 석유를 대체 가능하고, 온실효과 감소의 효과를 얻을 수 있어, 천연가스의 안정적인 가격 확보와 수급 확보는 산업계, 발전부분, 중소 및 대기업을 뿐만 아니라 가정에서도 중요한 문제로 인식하고 있다. 이에 따라, 천연가스가 주성분인 가스하이드레이트는 전 세계적으로 천연가스 환산 700,000 TCF, 미국에 200,000 TCF 부존량으로 추정되고 있어, 이는 미국 연간 소비량 22 TCF와 비교할

-
- 1) 한국가스공사 연구개발원
E-mail : pssoo@kogas.or.kr
Tel : (031)400-7550 Fax : (031)416-9014
 - 2) 한국가스공사 연구개발원
E-mail : wsju@kogas.or.kr
Tel : (031)400-7556 Fax : (031)416-9014
 - 3) 한국가스공사 연구개발원
E-mail : cupidash@kogas.or.kr
Tel : (031)400-7527 Fax : (031)416-9014
 - 4) 한국가스공사 연구개발원
E-mail : jhwan@kogas.re.kr
Tel : (031)400-7481 Fax : ((031)416-9014

경우, 엄청난 양으로 평가하고 있다. 따라서, 가스하이드레이트의 상업적 성공은 향후 미국 에너지 포트폴리오 구성에 기여할 것으로 판단하고 있어 자원빈국인 우리나라 가스하이드레이트 개발 사업에 귀감이 되고 있다. 본 연구에서는 ANS의 Prudhoe Bay에서 수행된 기초탐사자료와 물리검층 데이터로부터 2010년 알래스카 시험생산 계획을 구상중인 미국의 GH 저류층 선정과정 등의 분석을 바탕으로 향후 국내 가스하이드레이트 기술 개발 방향 설정에 기여하고자 한다.

2. 본 론

2.1 일본의 GH 개발 현장 적용성 노력

우리나라와 유사한 자원빈국인 일본은 안정적인 에너지 자원의 확보 차원에서 다른 나라에 비해 매우 적극적이고 신속하게 이루어지고 있으며, 자국내의 경우 1994년 이미 매장량 평가를 완료하였다. 1995년 4월부터 통산성의 주도하에 약 5,000만 달러를 투자하는 5개년 프로젝트를 수행하여, 1999년 MITI를 통해, 일본 동중부 해역의 난카이 트로프 지역에서 터비나이트 팬 퇴적층에서 가스하이드레이트 함유 사암층을 발견을 토대로 2001년부터 16년간의 가스하이드레이트 개발 프로그램에 착수하였다. 일본의 GH 개발 전략은 적극적인 해외 현장 기술개발 노력에 있다. 특히, 캐나다 말릭 육상 가스하이드레이트 저류층에서 2002년과 2008년 각각 시험생산을 적용하여 일부 경제성 있는 생산기법 도출 및 GH 저류층 특성화 연구를 수행완료하여 자국내 영해에서 적용성을 검토하고 있다. 특히, 2008년 말릭 시험생산 프로젝트의 경우 표1과 같이, 자국내 기술자 및 과학자를 대거 참여시켜 독자적인 생산 기술을 확보하고자 하였다.

표 1 말릭 2008 GH 시험생산 분야별 책임자

분야	소속	책임자
Methane Hydrates	GSC	Scott R. Dallimore
Drilling Program 6L-38 & 2L-38R	SLB (Canada)	Alejandro Trejo Guillermo Caballero
Deployment Plan	SLB (Japan)	Brian W. Cho
Completion & Testing Program	SLB	Luis G Hernandez
Reservoir Modelling	General Manager	Masanori Kurihara
Geology & Geophysics	JOGMEC	Tetsuya Fujii
Logistics & Mobilization	SLB	Doug Ashford

2.2 미국 GH 시험생산 계획

2.2.1 미국 GH 개발 목적

미국의 GH 개발 프로그램은 크게 4단계로 구성되었으며, 1) 재래형 오일/가스의 탐사 및 생산 활동으로부터 불안전해지는 가스하이드레이트에 대한 평가 및 충격 완화 기술, 2) 가스하이드레이트 부존지역에서의 안정성 시추 기술 평가, 3) 동토지역에서의 가스하이드레이트 생산에 대한 장비, 기술 및 경제성 평가 등이 2015년까지 계획되었으며, 2025년까지는 1) 자국내의 해양지역에서의 가스하이드레이트 생산에 대한 기술 및 경제성 평가, 2) 자연 방출되는 가스하이드레이트의 환경영향 평가, 3) 해양에 매장되어 있는 가스하이드레이트 생산성 평가 등에 대한 내용을 담고 있다.

이중 육상 가스하이드레이트 사업의 목표는 크게 두 가지로 2002년부터 2009년 12월까지 첫 번째가 “ANS에서 가스하이드레이트 자원의 구체화”이고, 두 번째가 “현장 및 실험실 연구를 통하여 동토지역에 부존되어 있는 가스하이드레이트의 에너지원으로서 가능성 여부 결정”이며, 이는 광권 소유자인 BPXA의 탐사자료 제공 및 현물지원을 통하여 수행하고 있다. USGS는 ANS에서 천연가스 원시매장량을 약 590TCF으로 평가한바 있고, 이중 가스하이드레이트 추정매장량은 Eileen Trend에서 약 40 TCF, Tarn Trend에서 약 60T CF로 추정하고 있다. 한편 해상에서는 Chevron사 주관으로 JIP 형태로 수행되고 있는 해상 사업목표는 첫 번째가 “심해저 GOM의 가스하이드레이트 특성화를 위한 기술 개발 및 데이터 제공”이고, 두 번째가 “해저면 안정성, 기후 변화 연구에 대한 인자 도출”, 세 번째 목표인 “천해 오일/가스 저류층에 인접한 GH 메카니즘 평가”를 추구하고 있다. 2001년부터 2010년까지 4단계 프로젝트를 수행하고 있고, 2005년 5월 AV(Atwater Valley)와 KC(Keathley Canyon)의 시추 및 압력 코어링을 통하여 2곳 모두에서 가스하이드레이트를 확인한 바 있다.

2.2.2 ANS GH 시험 생산 프로젝트 현황

이중 알래스카 R&D 계획은 기본적으로 필드 및 실험실 연구, 수치모델링을 통한 메탄가스 생산의 상업적 가능성을 증명하기 위하여 시작되었고, 초기 결과는 2008년에 DOE에 의해 ANS에 가스하이드레이트의 지하 매장량 평가 및 가채매장량 평가가 이루어졌다. 이 평가에서 Prudhoe Bay 보다 훨씬 큰 “Eileen trend”에서 비상업적인 시험테스트와 기초 탐사자료로부터 얻은 평가가 이루어졌고, 또한 상기 시험정은 향후 장기 시험 생

산정으로 이어질 것으로 내다봤다.

표 2 알래스카 프로젝트 단계별 내역 및 계획

단계	연도	예산 (US\$MM)	주요 내용
Phase 1	2003~2004	2.5	- GH characterization & modeling
Phase 2	2005	0.8	- 개략적인 부존 지층 Modeling
Phase 3a	2006~2009	4.8	- 층서 해석 - 코아분석, 물리검층 분석, MDT test
Phase 3b	2009~	20 이상	- 추가 물리검층 - 장기 시험 생산

BP가 주관하는 알래스카 프로젝트는 미국 DOE의 지원 하에 2001년 9월 phase 1부터 시작하여 2009년 12월까지 진행되는 프로젝트로써 현재 Phase 3A가 진행되고 있으며, 2009년부터 1월 Phase 3B로 구성된 프로젝트를 준비 중이다. 아래 표2 는 알래스카 프로젝트의 각 단계별 기간과 수행내역을 나열한 것이다.

2.2.3 ANS GH 시험생산 위치 선정을 위한 고찰

DOE-BPXA는 지난 2007년 2월 ANS MPU의 ice pad에서 시추를 통한 검토 결과, Eileen trend 가스하이드레이트 저류층에서 기본 인프라가 구축되어 있는 MPU, PBU, KRU에 매장되어 있는 원시부존량 0.92 TCM(33 TCF)중에서 모델링 결과 기술적으로 회수 가능성을 0~0.34 TCM(0~12 TCF)정도로 추정하고 있다('0 TCF'는 기술적 뿐만 아니라 상업적 이용 가능성을 고려하고 있음).

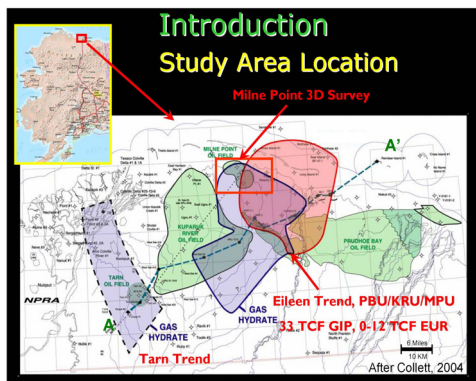


그림 1 ANS Eileen Trend GH resources

이와 같은 기술적 회수 가능성은 실제 현장 시험생산의 필요성을 보여주며, MPU의 Mount Elbert-01 well 뿐만 아니라 추가 데이터를 취득함으로써 시험 생산에 대한 불확실성을 점차 줄여

가야함을 역설하고 있다. USGS는 ANS에서 원시 부존량을 16.7 TCM(590 TCF)으로 추정하고 있으며, 이중 Eileen trend에서 기본적으로 구축된 인프라 내의, 비교적 천부 사암층에서의 가스하이드레이트 원시 부존량을 약 0.93 TCM(33 TCF)으로 평가하고 있다. ANS Tarn에서 시작된 층서는 Eileen 북쪽 slope까지 연속으로 발달되었으며, 일부 구간에서는 4개의 formation zone으로 해석되고, 목표 지층을 'C', 'D'층으로 설정한 바 있다.

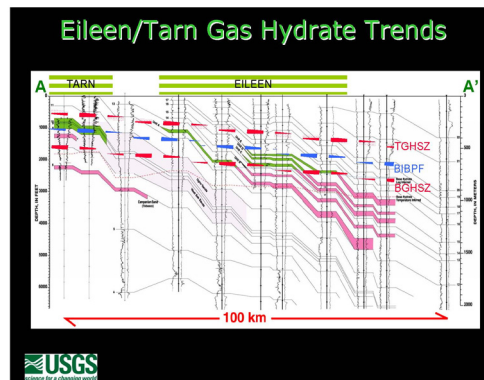


그림 2 ANS Tarn-Eileen GH sequence

2007년 2월 3일부터 19일동안 수행된 MPU의 Mount Elbert-01 test well은 코아링(122~183미터, gashydrate bearing zone: 30.5 m), 물리검층, 3D 탐사자료 해석, MDT 등을 수행하여, 총 261개의 코아링을 통하여 지화학, 물리적, 온도특성, 미생물적 기원 등 분석을 수행하여 최적의 시험생산 위치를 선정하고자 하였다.

드릴링시 영하1도 이하의 OBM을 이용 시추공의 안정성을 유도하였고, 코아의 보관은 앵커리지 ASRC에서 냉동 보관하고 있는 것으로 알려져 있다. 물리검층으로는 gamma-ray, resistivity, neutron-density porosity, Dipole Sonic Acoustic porosity, Nuclear Magnetic Resonance, Formation Imaging, caliper 등을 이용하여 GH formation의 특성을 해석하고자 하였다.

결과적으로 MPU의 Mount Elbert-01의 가스하이드레이트 지층은 D지층과 C지층으로 물리검층 결과 약 30.5m의 두께의 sandstone 층으로 확인되었고, 또한 silt와 clay가 섞여 있는 저류층중에서 일부 순수 샌드층 공극에는 GH가 약 75% 포화되어 있고, 나머지 25%는 지층수로 포화되어 있는 것으로 해석한바 있다. C층의 경우 암석분석 결과 약 50%내의 sandstone, 약 40%내의 silt과 나머지는 clay로 구성되었고, sandtone 경우 입자크기는 매우 미세한 입자형상(very fine)을 보였다.

○ ANS GH 시험생산 위치 선정 시나리오

(감압법 이용시)

- MPU-1 (Mount Elbert-01) 'C' sand formation
- PBU-2 (L-pad) 'C' sand formation
- PBU-3 (down-dip) 'C' sand formation
- KRU-4 (WestSak24) 'B' sand formation

General comparison of test site options									
Target	Depth	Contact	H (ft)	Sw/Swirr (%)	Phi (%)	K (mD)	T (oC)	Pressure gradient	Salinity (ppt)
Milne Point Unit - Mount Elbert Prospect									
C-sand	2132	Water	52	35/25	35	1000	3.3 - 3.9	9792	5
D-sand	2014	Water?	47	35 -	40	1000	2.3 - 2.6	9792	5
Prudhoe Bay Unit - L-pad vicinity									
C2-sand	2318	Shale	62	25	40	1000	5.0 - 6.5	9792	5
C1-sand	2226	Shale	56	25	40	1000	5.0 - 6.5	9792	5
D-sand	2060	Shale	50						
E-sand	1915	Shale	50						
Prudhoe Bay Unit Down-Dip from L-pad									
C-sand	2500	?	60*	25	40	1000	-12	9792	5
Kuparuk River Unit - West Sak 24 vicinity									
B-sand	2260	Shale?	40	35	40	1000	2.0 - 3.0	9792	5

KRU and MPU units are very similar, both colder and are treated as one scenario for modeling

- MPU/KRU-like reservoirs
- PBU L-pad-like reservoirs
- Warmer reservoirs such as those that occur down-dip of the PBU L-Pad area

그림 3 각각 광구와 GH formation 물성 비교

기본적으로 MPU-1, PBU-2, PBU-3, KRU-4지역은 기본 인프라와 가스하이드레이트 지층이 잘 발달 되어 있음. MPU-1, PBU-2, PBU-3은 데이터가 충분하여 저류층 모델링을 위한 입력 데이터로 사용하였다.

- 각 광구의 'C' 지층 평가
- Temperature
 - : 기본적으로 지층의 온도가 높을수록 생산성이 유리함.
 - MPU-1/KRU-4 : 2.3~3.9℃,
 - PBU-2(L-pad) : 5.0~6.5℃,
 - PBU-3 : 12℃
- Phi, K, Salinity, Thickness, Sw_free/Swirr
 - : 상대적으로 유리한 광구 없음.
- Pressure : PBU-2이 더 깊은 심도에 따라 유리
- Formation contact
 - : water contact이 상대적으로 해리되어 생산되는 물의 조절측면에서 불리

Parameter	MPU/KRU option				PBU L option /down-dip			
	MP E-pad	MP B-pad	KRU W Sak 24	KRU LH	PBU L-pad	PBU Kup St 3-11-11	PBU down-dip	
Temp ¹	H	H	H	H	M	M	L	
Ownership ²	L	L	M-L	M-L	H	H	H	
Access ³	M*	M*	L	L	L	L	H	
Geo Risk ⁴	L	L	M	M	L	L	H	
Data ⁵	L	L	M	M	L	M	H	
Well Risk ⁶	L-M	L-M	M	M	M	M	H	
Facilities ⁷	L	L	M	L	L	M	H	
Gas ⁸	H	H	H	H	H	H	H	
Interference ⁹	L	?	L	H?	H?	L	L	
Water ¹⁰	L	L	M	L	L	M	H	
Market ¹¹	L?	L?	L	L?	M	M	M	
Options ¹²	M-H	M-H	H	H	L	L	M-H	

그림 4 세부 비교(H: high, M: medium, L: low risk)

○ 모델링 및 히스토리 매칭 결과

- Simulator : TOUGH+Hydrate, MH-21, STARTS (Fekete, Wilson, Anderson)
- MPU-1, MPU-2, KRU-4
 - : 9~16년 동안 , 3.500~9,500 scm/d 생산 예측
- PBU-3: 80,00~170,000 scm/d

미국의 이와 같은 노력은 1950~1960년대의 tight gas, 1970~1980년대의 CBM, 1990~2000년대의 shale gas 개발 등 비재래형 에너지 개발의 연장선으로 보고 있고, 또한, 이러한 에너지는 장기간의 기술적 및 상업적 성공을 위하여, 현장에서 필드 실험과 경험을 토대로 에너지 시장 전면으로 나오게 되었음을 역설하고 있다. 미국은 또한, 해상 GOM과 마찬가지로 육상 ANS 프로젝트 개발 프로젝트에서도 JIP 형태의 구성 예정에 있어 GH 개발은 어느 단독 국가에서 기술확립이 이루어질 수 없음을 보여주고 있다. 또한, 이러한 ANS 개발을 통해서 향후 훨씬 광대한 매장량을 분포하고 있는 해상 가스하이드레이트 개발을 위해 소중한 정보와 기술을 제공할 것으로 판단하고 있다.

3. 결론

- 가스하이드레이트는 시험생산 위치 선정시 가스하이드레이트 저류층의 온도, 압력, 투수계수 등 물성 분석을 통하여 최적의 위치 선정이 필요함을 확인하였다.
- 말릭 프로젝트, GOM 프로젝트 등을 JIP 형태로 추진하고 있으며, DOE는 이러한 효과적인 조직 구성을 향후 ANS 프로젝트에도 적용 계획에 있어, 한국 또한 적극적인 참여가 필요하다.
- 가스하이드레이트 시험생산 현황을 고찰함으로써 향후 국내 동해안 시험생산 준비시 적절한 사전검토 사항을 도출하였다.

References

- [1] 이정환, 박승수 외, 2008, "가스하이드레이트 회수생산 현장적용성 연구 연차 보고서", 한국가스공사
- [2] 박승수, 이정환 외, 2008, "퇴적층 물성이 가스하이드레이트 생산성에 미치는 영향 연구" 한국 신·재생에너지 추계 학술대회, pp51
- [3] Robert Hunter et. al., 2009, "Gas Hydrate research, Stratigraphic Test, and production Test plans ANS", Morgantown KickOff Meeting.