

# 청정에너지 ‘불타는 얼음’을 찾아라

## 1m<sup>3</sup> 하이드레이트에서 메탄 164m<sup>3</sup> 얻어

# 1

글\_ 진영근 한국해양연구원 극지연구소 책임연구원 ykjin@kordi.re.kr

21 세기가 시작되면서 미국과학재단에서는 세계적인 권위자들로 구성된 위원회를 통해, 지난 수십년 동안 발표된 많은 논문과 관련 연구자들의 여론 조사를 토대로 새로운 세기에 해양과학에서 해야 할 가장 중요한 연구주제들을 선정하였다.

선정된 연구주제들은 크게 7개의 대주제군에 포함된 27개의 세부주제로 분류되었다. 놀랍게도 이 세부주제 중 적어도 3개의 세부주제는 가스하이드레이트(gas hydrate, 가스수화물)와 직접적으로 관련된 것이다.

불과 10년만에 국내 관련분야의 연구자들에게도 생소한 물질에서 최근 전세계적으로 선풍적인 주목을 받는 물질로 갑자기 우리 앞에 등장한 가스하이드레이트는 과연 무엇이고 왜 중요한 것인가.

가스하이드레이트는 물분자와 가스가 섞여 만들어진 얼음과 비슷한 고체로, ‘불타는 얼음 (fire ice)’ 이라는 별칭으로 불린다. 가스하이드레이트는 1810년 영국의 화학자인 험프리 데이비에 의해 처음으로 합성되었다.

1930년대 들어서면서 추운 동토지역에서 천연가스전이 개발되면서 이 얼음덩어리가 천연가스관을 자주 막아버려 심각한 문제를 일으킨 골칫덩어임이 밝혀졌다. 가스하이드레이트는 20세기 중반부터 지구과학 분야의 탐사가 활발해짐에 따라 세계 각처의 영구동토지역과 해양에서 속속 발견되었고, 자연계에 광범위하게 존재하고 있다는 사실이 밝혀졌다. 탐사에서 발견되는 자연상태의 가스하이드레이트는 메탄이 주성분이기 때문에 메탄하이드레이트(methane hydrate)로 부르기도 한다.

### 전세계 동토에 광범위하게 분포

가스하이드레이트는 메탄이 많이 공급되는 지역에서 낮은 온도와 높은 압력을 보이는 조건에서 생성된다. 수심 500m 보다 깊은 바다 아래의 지층과 일년 내내 추운 영구동토지역인 경우, 가스하이드레이트가 존재할 수 있는 이런 조건을 만족한다. 하지만 지하로 내려가면서 압력의 증가효과보다 지온 상승효과가 크기 때문에 가스하이드레이트의 안정 조건이 곧 사라지게 된다. 따라서 가스하이드레이트가 존재할 수 있는 지층의 두께는 해양에서는 해저면에서 수백m, 영구동토 지역에서는 지표에서 1,200~1,300m를 넘지 않는다.

만일 온도가 높아지거나 압력이 낮아진다면 고체인 가스하이드레이트는 가스와 물로 해리된다. 1 m<sup>3</sup>의 가스하이드레이트는 약 164m<sup>3</sup>의 메탄가스를 방출한다. 가스하이드레이트의 주성분인 메탄은 이산화탄소보다 약 20배의 지구온실 효과를 지닌 가스로 대기중으로 방출되면 대기온도를 크게 상승시킨다. 많은 과학자들은 5천500만년 전인 후기 팔레오세에 있었던 극단적인 지구온난화현상이 이런 가스하이드레이트로부터의 메탄 방출에 의해 발생되었다고 믿고 있다. 한편 빙하기 동안 해수면이 낮아지게 되면 해저지층의 가스하이드레이트 층으로부터 막대한 양의 메탄이 방출되면서 대기중에서 온실 효과를 일으켜 빙하기를 끝나게 했다는 이론이 최근 각광을 받고 있다. 한 예로 많은 학자들은 인간의 활동에 의해 급속히 진행되고 있는 지구온난화과정이 앞으로 어떻게 진행될 것인지를 과거의 사례를 통해 예측하고, 이 과정에서 가스하이드레이트가 어떤 역할을 하는지에 대한 연구는 지금도 진행되고 있다.

가스하이드레이트에 포함된 메탄은 강력한 온실가스이지만, 연료로 사용될 경우에는 이산화탄소와 물만을 생성시키는 천연가스이기 때문에 석유나 석탄에 비해 훨씬 깨끗한 에너지이다. 실제로 같은 양의 에너지를 만들기 위해서는 가스하이드레이트에 비해 석유는 1.5 배, 석탄은 2배의 이산화탄소를 발생시킨다. 앞으로 환경기준이 강화되면서 천연가스와 같은 청정에너지의 수요는 계속 증가할 것이다.

최근 가스하이드레이트 산출지역에서 발견되는 새로운 생명체들이 학계에 비상한 관심을 끌고 있다. 이 생명체들은 산소가 결핍된 환경에서 메탄을 먹고 사는데 이는 원시지구의 환경과 매우 유사한 것이다. 이런 생명체의 발견은 심해의 뜨거운 열수지역에서 발견되는 생명체의 발견에 비견되며, 지구의 생명체 기원 연구나 신물질 개발 등에 중요한 계기를 제공할 것으로 기대된다.

### 석유·석탄보다 열량 1.5~2배 높아

가스하이드레이트는 지구상 많은 나라의 해역과 알래스카, 캐나다, 러시아 등 북극권 영구동토층 지역에서 발견되고 있다. 실제로 현재까지 추정되는 지구상에 존재하는 가스하이드레이트의 총량은 석유, 석탄, 천연가스 등 모든 화석연료에 비해서는 훨씬 많다는 연구결과가 나와 있다. 미국 에너지성의 자료에 의하면 미국 EEZ 안에 존재하는 가스하이드레이트의 1%만 개발할 수 있다면 미국내 소비량의 약 80년치에 해당하는 천연가스를 확보할 수 있다고 한다.

이런 가스하이드레이트의 중요성을 인식한 선진국들은 국가적인 연구지원을 하고 있다 일본은 1994년까지 일본 해역 12개 지역에서 약 100년치의 국내소비량에 해당하는 가스하이드레이트 매장량을 확인하고, 1995년부터 10개 이상 산학연 기관들로 이루어진 컨소시엄을 결성하여 통산성 5개년 단위의 프로젝트를 시작하였으며 현재는 2단계에 돌입하였다. 빠르면 10년내에 일본에서는 생산이 가능할 수도 있다는 것



불타는 얼음덩어리 가스하이드레이트

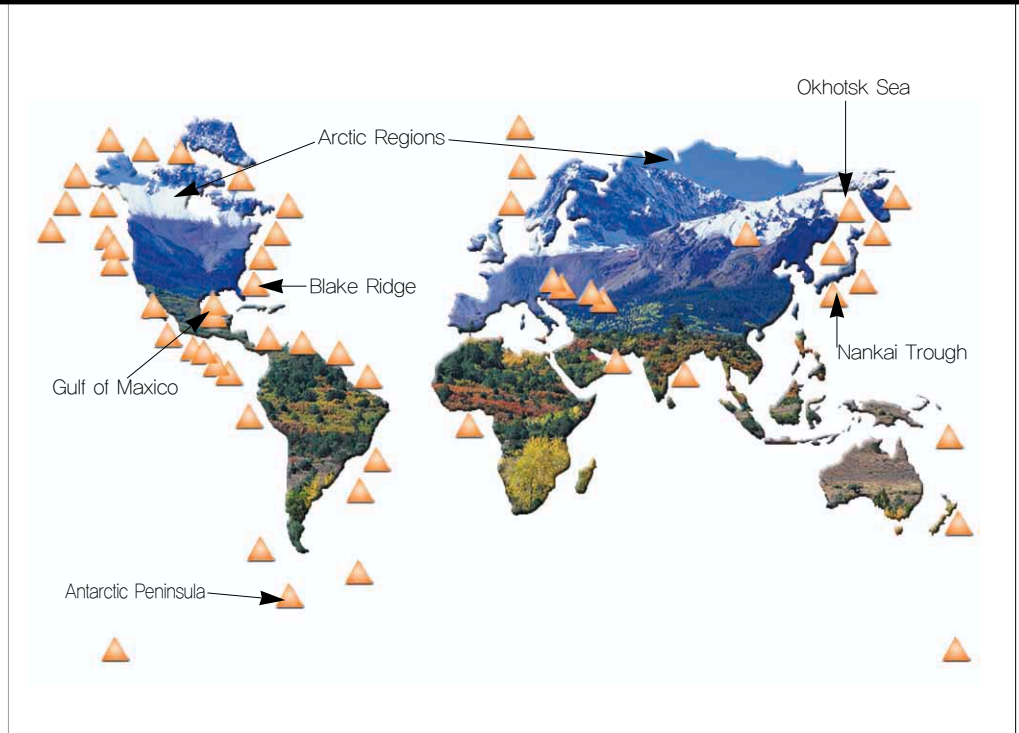
이 전문가들의 예측이다. 미국은 2000년에 미 의회에서 국가적인 가스하이드레이트 연구계획과 지원법안인 'Methane hydrate research and development Act'를 승인하여 국가연구개발프로그램을 출발시켰다. 이후 오랫동안 환경문제 등으로 개발이 제한되었던 알래스카 북극지역에서 가스하이드레이트 시험생산을 위한 시추프로그램이 현재 진행중이다. 러시아는 1971년부터 메소야키아 가스전에서 가스하이드레이트에서 메탄가스를 생산하기 시작한 것으로 보고하면서 가장 먼저 본격적인 가스하이드레이트 연구를 시작한 국가로, 자국내에 풍부한 가스하이드레이트 부존지역을 가지며 높은 연구수준과 연구인력을 확보하고 있다. 이 밖에도 독일, 캐나다, 노르웨이, 이탈리아, 영국, 인도, 중국 등 많은 국가들이 활발한 연구활동을 전개하고 있다.

한국해양연구원의 남극연구팀은 남극반도 해역에서 1993년부터 종합 해저지질탐사를 실시하고 있다. 이 지역의 심부 지질구조, 지체구조 형성역사, 고기후변화 등을 연구하기 위해 주로 탄성파, 해상자력, 중력 등 지구물리 자료와 해저퇴적물 시추시료와 심해암석시료를 획득하는 탐사를 수행하고 있다. 이중 탄성파탐사는 지층의 영상을 제공하기 때문에 석

유나 가스를 찾거나 지각의 구조나 운동을 연구하는데 필수적인 탐사이다. 탄성과 탐사는 강력한 음원을 발생시켜 이 음원이 수층을 통과해서 지층으로 전달된 후 각각의 지층 경계에서 반사되어 온 신호를 수신하는 탐사이다. 이 수신자료를 자료처리하여 지층의 영상을 완성하는 것이다. 이는 병원에서 인체 내부를 영상진단할 때 사용하는 초음파 진료기와 매우 비슷한 원리이다.

### 남극 세종기지 주변서 대규모 발견

우리 연구팀에 의해 세종기지가 위치하고 있는 킹조지 섬의 북동 대륙사면에서 얻은 탄성파탐사 단면도에는 해저면 약 600m 아래에 매우 강한 반사층이 광범위하게 확인되었다. 이 반사층은 해저지형과 평행한 달리는 반사층으로, 경사지거나 불규칙하게 휘어져 있는 실제 퇴적지층을 끊고 있는 매우 특이한 형태를 보인다. 해양에서 발견되는 이 이상한 반사층은 1970년대 이전에는 과학적으로 해석하기 힘든 현상이었다. 이후 계속된 연구와 심해 시추작업을 통해 이 반사층이 상부의 가스하이드레이트 함유층과 하부의 가스 함유층 사이의 상변화 경계면(phase boundary)임이 밝혀졌다. 앞에서 언급한대로 가스하이드레이트는 해저면에서 지하 일정깊이까지는 안정적으로 존재하지만, 지온이 상승하면서 그 깊이 이하에서는 가스만으로 존재하게 된다. 따라서 음파전파속도가 빠른 가스하이드레이트층과 매우 느린 가



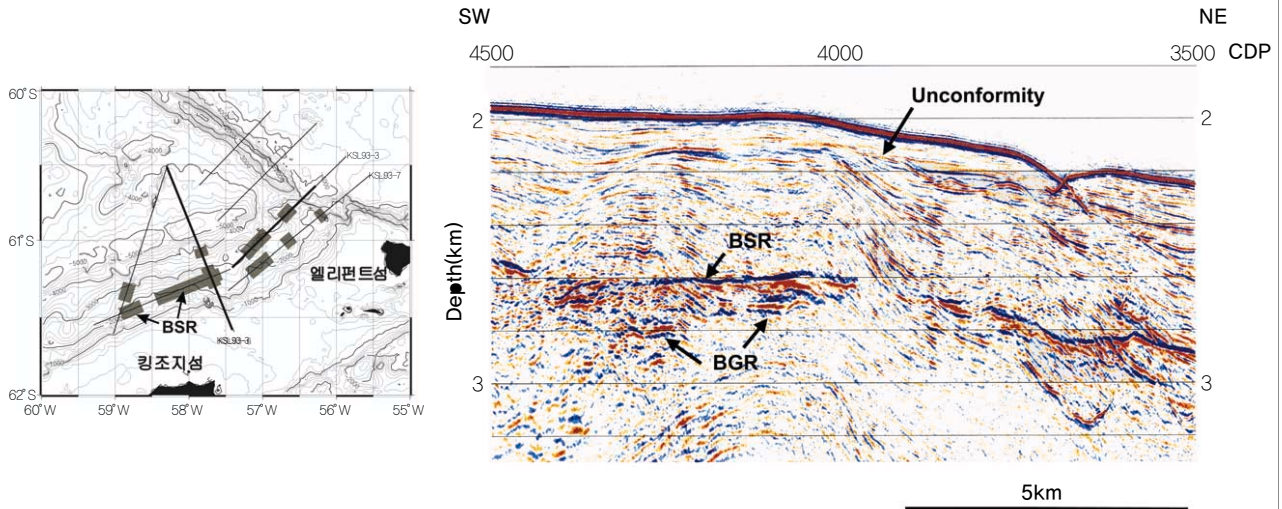
스층의 경계는 아주 강한 반사층으로 나타난다. 좁은 지역에서는 지온상승률이 크게 차이가 나지 않기 때문에, 이 반사층은 실제 지층과는 상관없이 해저면과 평행하게 나타난다. 따라서 이 반사층을 가스하이드레이트가 존재한다는 가장 유력한 증거로 이용되고 있으며, 전문용어로는 가스하이드레이트 기저반사층(Bottom Simulating Reflector: BSR)이라 부른다. 또한 BSR는 상부의 속도가 빠른 층과 하부의 속도가 느린 층에서 반사되어 온 신호이기 때문에, 속도가 낮은 해수층과 속도가 빠른 해저지층에서 만들어진 해저지층 반사층과는 반대의 극성, 즉 신호형태가 뒤집어진 형태를 보이게 되는 신호특성에 의해 잘 구별된다.

최근 우리 연구팀은 정밀한 매장량 평가를 수행하여 남세틀랜드 군도 북동해역에 약  $4.8 \times 10^{10} \text{m}^3$  (표준 상태에서의 메탄의 양으로는  $7.7 \times 10^{12} \text{m}^3$ )에 달하는 가스하이드레이트가 매장되어 있음을 밝혔다. 이는 국내 소비량의 400년치에 해당하는 매장량이다.

현재까지 남극지역에서의 가스하이드레이트 연구

지금까지 확인된 전 세계의 가스하이드레이트 분포지역





남극 세중기지 주변해역의 가스하이드레이트 BSR 분포도 (붉은 흑색)와 가스하이드레이트의 증거인 기저반사면을 보여주는 탄성파 단면도

는 남세틀랜드 군도의 북동해역에 국한되어 있기 때문에 앞으로 군도의 북부 해역 전역에 걸쳐 가스하이드레이트의 분포를 파악하는 연구를 수행할 예정이다. 이를 위해 이 지역에서 영국, 일본, 이탈리아, 미국 등 다른 국가에서 얻은 탄성파 자료를 수집하고, 자료가 없는 지역에 대한 탐사를 수행할 예정이다. 가스하이드레이트는 온도와 압력조건에 매우 민감한 물질이기 때문에, 이런 조건에 영향을 주는 지질현상이나 고기후변화를 반영하고 있는 것으로 예상된다. 따라서 이 지역의 가스하이드레이트 분포도 작성을 통해 지질학적으로 해구-열도 시스템에 속해 있고, 기후변화에 민감하게 반응하는 이 지역에 대한 이해를 높일 수 있을 것이다. 이런 광역적 연구와 함께 가스하이드레이트가 잘 확인된 북동해역에서는 보다 정밀한 탐사를 통해 가스하이드레이트의 산출상과 물성연구를 수행할 예정이다. 이를 위해 고해상도 탄성파탐사, 해저면음파영상(Side-scan Sonar) 탐사, 지열류량 측정, 해저퇴적물 시추코아 시료를 이용한 지화학 분석 등 탐사가 계획되어 있다. 그리고 보다 국제적인 수준의 연구를 위해 영국, 이탈리아 등과 국제공동연구 또는 협력연구를 추진하고 있다.

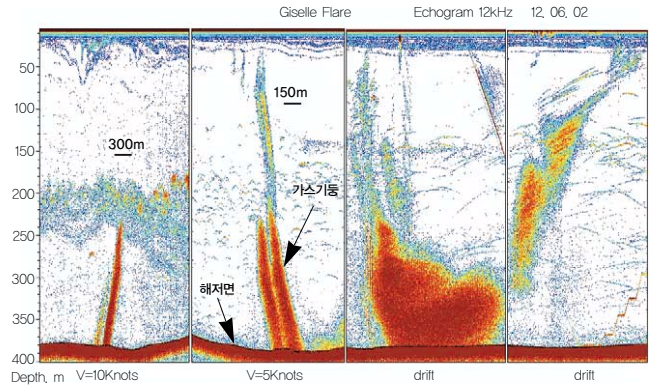
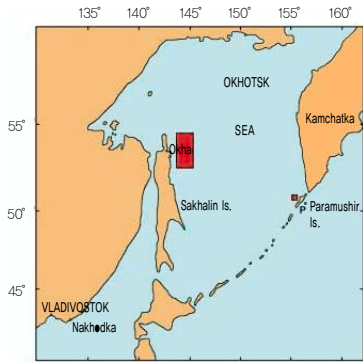
**한국·러시아 국제공동연구 착수**

남극은 현재 어떤 나라의 소유권도 인정되지 않는 지역으로, 세계 각국의 자유로운 과학연구활동이 가능한 지역이다. 대부분의 지구상의 지역들이 배타적 경제수역 (Exclusive

Economic Zone: EEZ)으로 넓어진 영토개념 때문에 해당국가 외에는 연구활동을 하기 어려운 현실을 감안할 때, 영토가 협소한 우리 나라에는 남극은 더할 나위 없이 좋은 활동지역이다. 이렇게 남극에서 축적된 연구능력과 성과를 바탕으로, 우리 연구팀은 2003년에는 러시아의 오흐츠크해 가스하이드레이트 국제공동연구 (hydro-Carbon Hydrate Accumulation of Okhotsk Sea: CHAOS project)에 참가하였다.

오흐츠크해는 동해와 연결된 바다로, 동해로 유입되는 차가운 북방해류가 공급되는 지역이며 한반도의 기후에 영향을 미치는 오흐츠크 기단이 발생하는 지역이다. 해양학적으로는 북서 태평양 해수순환에 있어서 중층수가 형성되는 해역으로 전지구적인 심층순환에 매우 중요한 역할을 하는 지역이다. 또한 인접한 사할린섬에서 세계 최대규모의 천연가스전이 발견되어 우리나라까지 가스파이프 설치가 검토되기도 했던 가스자원이 풍부한 지역이다.

최근 오흐츠크해는 이 해역이 세계에서 가장 유망한 가스하이드레이트 부존지역 중 하나로 밝혀지면서 세계적으로 주목을 받고 있다. 세계적으로 해저표층에서 가스하이드레이트가 직접 채취된 지역은 지구상의 몇 개 지역에 속하며, 어군탐지기와 같은 간단한 장비에 의해서도 해저의 가스하이드레이트층으로부터 바닷속으로 뿜어져 나오는 가스기둥이 감지되는 지역이다. 이런 현상은 지층과 해양, 그리고 대기에 이



1

르는 가스하이드레이트의 순환이 어떻게 지구환경 변화에 영향을 미치는지를 연구할 수 있는 좋은 연구 주제를 제공한다. 오토츠크해는 앞으로 가스하이드레이트가 상업적으로 생산될 경우 가장 유망한 개발 지역이 될 가능성이 높다.

이번 국제공동연구에는 한국, 러시아, 일본, 벨기에, 독일 등 5개국이 참여하여 약 한달의 현장탐사를 실시하였다. 이 탐사에서 우리 연구팀은 주로 고해상도 탄성과 자료, 해저퇴적물 및 공극수 시료, 해수 지화학 시료채취를 수행하였다. 또한 해저퇴적물에 포함된 가스하이드레이트 시료를 직접 채취하였다. 이런 자료를 통해 해저지층에서의 가스하이드레이트 산출 구조, 분포, 물리화학특성 등에 관한 연구를 수행할 계획이다.

가스하이드레이트는 지구환경에 대한 중요한 요인으로, 또한 미래의 에너지원으로서뿐만 아니라 많은 분야에서 새로운 기술로 응용될 가능성이 높은 연구 주제이다.

즉 21세기에 가장 중요한 테마인 환경과 자원이라는 두 주제를 포함하는 매력적인 대상이다. 이런 가스하이드레이트 연구와 개발에는 매우 다양한 분야의 연구자들이 참여하여야 한다. 국내에서의 가스하이드레이트 연구 발전을 위해서는 연구결과와 능력



2

을 공유할 수 있는 연구 커뮤니티를 활성화하며, 산·학·연 및 정부가 참여하는 범국가적인 공동연구프로그램이 추진되어야 할 것이다.

가스하이드레이트는 연구 역사가 짧고 아직 해결해야 할 문제들이 많이 남아 있기 때문에, 지금이라도 집중적인 연구가 이루어진다면 연구선진국들의 수준에 빠르게 도달할 수 있을 것으로 생각된다. 이를 바탕으로 전세계를 대상으로 하는 가스하이드레이트 연구에 선도적인 역할을 할 수 있기를 바란다. **SD**

- 1 오토츠크해 탐사 현장과 해저지층으로부터 해양으로 분출되는 가스기둥 모습
- 2 천부퇴적물 시추 코아로 획득한 하안반정 형태의 가스하이드레이트 모습



글쓴이는 서울대학교 지질학과 졸업후 동대학원 석사와 박사. 1992년에 제5차 남극월동연구원을 지냈다.