

가스하이드레이트 형성과 공극수 특성

이영주^{1)*} · 김지훈¹⁾ · 류병재¹⁾ · 권봉진¹⁾

1. 서론

해저 퇴적층에 탄화수소 가스가 분포하는 양상은 크게 세 가지로 구분할 수 있다. 만일 탄화수소 가스가 공극수의 용해도보다 적은 양이 분포한다면 탄화수소 가스는 공극수에 용존된 상태가 된다. 하지만 탄화수소 가스의 양이 공극수의 용해도 보다 많다면 가스 하이드레이트 안정영역 내에서는 가스 하이드레이트가 형성되고 안정 영역 하위에서는 자유 가스가 분포하게 된다. 퇴적층 내에 분포하는 가스 및 가스 하이드레이트는 막대한 양의 미래형 에너지로서의 역할과 지구 환경 변화의 조절자로서 최근에는 과학자뿐만이 아니라 일반인에게도 지대한 관심을 끌고 있다.

가스 하이드레이트를 탐사하는 방법에는 지질학적인 방법, 지구화학적인 방법과 지구물리학적 방법이 있다. 지질학적인 방법으로는 코어링을 통해서 퇴적물을 채취하여 가스 하이드레이트의 지질 구조를 찾거나 적외선 카메라를 이용하여 온도 이상대를 (cold spot) 찾는 기술이 있고 지구 물리학적 방법으로는 탄성과 탐사를 통한 BSR 확인, 음향 공백대 등 탄성과 이상대를 확인, 음파 탐지기를 이용한 해저면의 가스 유출 확인, 해저면 측사기 (side scan sonar)나 다중 수중측심기 (multibeam)을 이용하는 방법 등이 있다. 지화학적으로 가스 하이드레이트를 탐사하는 것은 퇴적물을 채취하여 가스를 분석하는 방법, 해저면에서 해수를 채취하여 분석하는 방법, 공극수에서 염소 이온 측정 방법 등이 있다. 지화학적인 탐사 방법 중에 염소 이온 측정 기술은 최근에 가스 하이드레이트 탐사에 널리 이용되고 있는 기술이다. 기술의 원리는 가스 하이드레이트를 형성할 때 물 분자가 격자를 만들면서 해수중의 염 성분을 (나트륨과 염소 이온 등) 배제하기 때문에 코어 퇴적물에서 염소 이온을 측정하면 가스 하이드레이트를 함유하고 있던 층에서는 일반적으로 염소이온의 결핍 현상이 (chlorite depletion) 나타난다. 염소 이온 결핍 현상은 최근에는 퇴적층내의 가스 하이드레이트 유무를 판단하는 것 외에도 정량적 계산이 가능하여 매우 신뢰성 있는 지화학적인 탐사 방법으로 인정되고 있다.

하지만 ODP Leg 204의 가스 하이드레이트 시추를 통해서 가스 하이드레이트가 형성된 지층에서 항상 염소 이온 결핍 현상이 일어나는 것은 아니라는 것이 밝혀졌다. ODP Leg 204의 시추 결과에 의하면 해저면에 가스 하이드레이트가 과상으로 분포하는 지역에서는 공극수의 염소 이온 농도가 알려진 것과는 달리 염소 이온 성분이 더욱 농집되어 있었다. 이런 현상은 IODP Exp. 311의 시추 분석 결과에서도 유사하게 나타났다. 이 논문에서는 가스 하이드레이트 형성 시 염소 이온 농집 현상에 대한 연구 결과와 향후 연구 계획에 대해서 토론하고자 한다.

2. 가스하이드레이트 형성과 염소 이온 특성: ODP Leg 204

ODP Leg 204 동안에 오레곤 해역의 남부 하이드레이트 락지에서 총 9개의 지점을 시추하

주요어 : 가스 하이드레이트, 공극수, 염소 이온 농도, 하이드레이트 락지

1) 한국지질자원연구원 석유해저자원연구부 (yjl@kigam.re.kr)

여 가스 하이드레이트 형성 기작에 대한 연구를 수행하였다. 남부 하이드레이트 띠지는 해저면에서 메탄 가스의 분출이 보고된 바 있고 가스 하이드레이트도 해저면에까지 분포하는 것으로 알려져 있는 지역이다. 가스 하이드레이트와 공극수의 상관 관계를 밝히기 위하여 9개의 시추 지점에서 회수된 코어 퇴적물에서 공극수를 추출하여 염소 이온 농도를 분석하였다. 가스 하이드레이트가 분포하는 층에서는 분석된 염소 이온의 농도가 해수의 염소 이온 농도에 (559 mM) 비해서 적어서 400 mM 내지는 500 mM의 농도를 나타내었다 (Fig. 1). 이런 염소 이온의 결핍 현상은 적외선 카메라의 온도 차이, 물리 검층 자료 및 실질적인 가스 하이드레이트 분포 양상 등 다른 자료와 비교 검토해 본 결과 퇴적층내의 가스 하이드레이트의 정량적 분포와 일치하는 결과를 나타내었다. 즉, 염소 이온 농도의 결핍 정도가 크게 나타나는 층에서는 퇴적층내의 가스 하이드레이트의 농도가 매우 높게 나타나서 염소 이온 결핍 정도는 가스 하이드레이트의 정량적인 계산에 직접적으로 이용할 수 있었다.

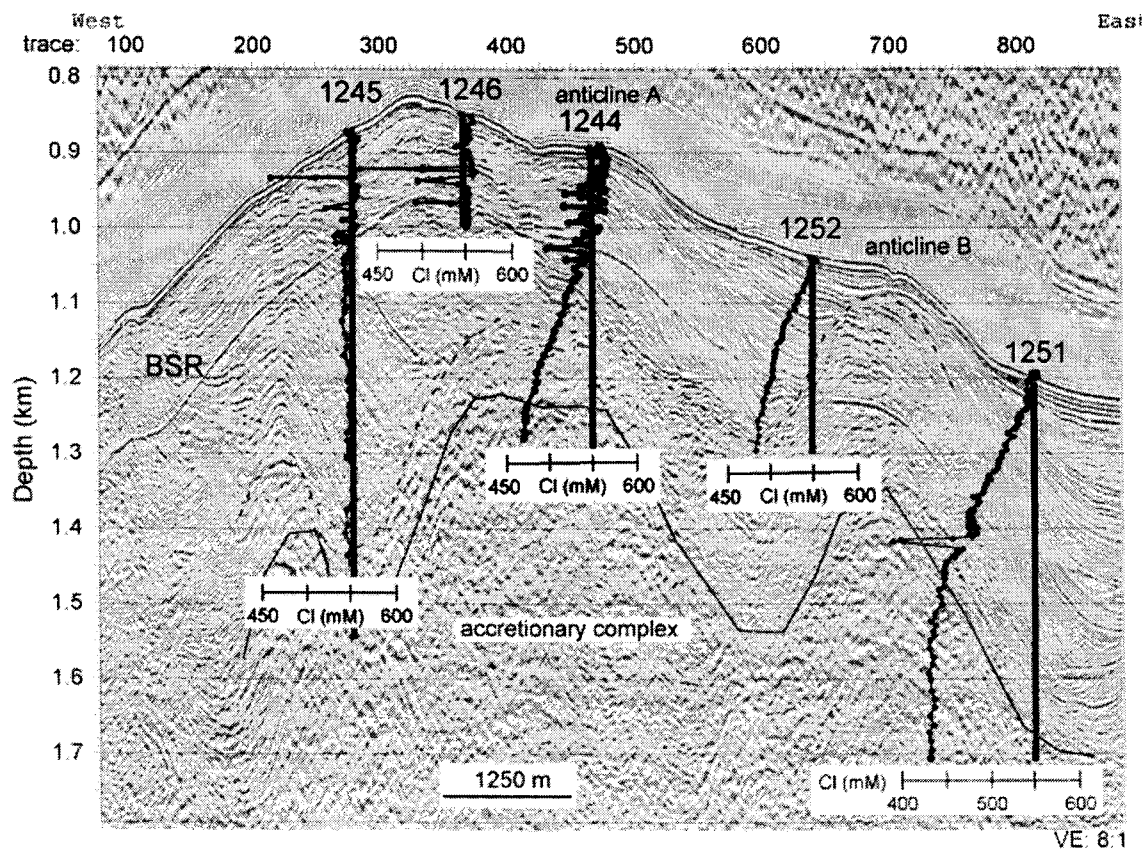


Fig. 1. Chloride depletion profiles of the interstitial waters, samples taken from ODP Leg 204.

하지만 1249, 1250 지점의 해저면 30 mbsf 이하 구간에서 채취된 퇴적물의 경우에는 기존의 이론과 달리 공극수내의 염소 이온의 농도가 해수에 비해서 오히려 농집되어 있는 것으로 나타났다 (1000 mM 이상). 이런 현상은 가스의 공급이 매우 활발한 지역에서 국부적으로 생기는 현상으로 가스 하이드레이트의 형성 속도가 매우 빠르고 가스 하이드레이트 형성이 갑작스럽게 이루어져서 배제된 염소 이온을 포함하는 공극수가 다른 곳으로 이동되는 통로가 차단되는 경우에 일어나는 현상으로 해석된다. 이렇게 가스 하이드레이트 형성 속도가 매우 빠르

게 일어나서 염소 이온 농도가 농집되는 지역에는 자유 가스가 흔히 분포하는데 이는 염도가 높아지면 가스 하이드레이트 형성이 쉽게 일어나지 않기 때문이다. 염소 이온의 농집 현상은 ODP Leg 204 시추 뿐 아니라 IODP Exp, 311에서도 나타난 현상으로 가스의 공급과 가스 하이드레이트 형성 속도가 빠른 지역에서는 일반적으로 나타날 수 있는 현상으로 해석된다.

3. 결론 및 향후 계획

ODP Leg 204 동안에 공극수의 염소 이온 농도를 분석한 결과 기존의 이론과는 달리 염소 이온 농도가 농집되는 현상이 나타났다. 염소 이온이 해수에 비해서 농집되는 것은 가스의 공급이 매우 활발한 지역에서 가스 하이드레이트가 빠르게 형성되어서 가스 하이드레이트 격자인 물 분자로부터 배제되어 일시적으로 농집된 염소 이온을 함유하는 공극수가 확산(advection or diffusion)을 통해서 다른 곳으로 이동되지 못했기 때문에 일어나는 현상이다. 염소 이온 농도가 농집된 지역은 가스 하이드레이트의 형성이 상대적으로 저지되기에 자유 가스도 많이 분포하는 것으로 나타났다. 이 지역에서는 가스 하이드레이트, 자유 가스, 그리고 염도가 높은 공극수가 평형을 이루는 새로운 가스 하이드레이트 평형 시스템이 구축된다. 염도가 높은 지역에 흔히 나타나는 자유 가스는 물리 탐사 방법을 이용하여 가스 하이드레이트의 매장량을 계산할때에 영향을 주게 되므로 주의를 기울여야 한다.

한국지질자원연구원의 IODP 연구팀에서는 염소 이온 농도가 농집되는 지역의 가스 하이드레이트 평형과 형성 속도와의 상관성을 정확히 밝히기 위해서 실험실에서 가스 하이드레이트 형성 속도를 제어하면서 염소 이온의 농집 여부를 점검하는 연구를 수행중이다.