

서부 울릉분지 천부 퇴적층의 탄화수소

류 병재¹⁾, 김 지훈²⁾, 이 영주³⁾, 김 일수⁴⁾

Hydrocarbons in shallow sediments of the western Ulleung Basin

Byong-Jae Ryu, Ji-Hoon Kim, Young-Joo Lee, Ilsoo Kim

Key words : Ulleung Basin (울릉분지), hydrocarbon (탄화수소), natural gas hydrate (천연가스 하이드레이트)

Abstract : Studies on the hydrocarbons in shallow sediments of the East Sea of Korea have been carried out by the Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM) since 2000. 4946 L-km of 2D multichannel reflection seismic data, 3250 L-km of high-resolution Chirp profiles and 16 selected piston cores were analyzed to determine the presence of hydrocarbons in shallow sediments of the western deep-water Ulleung Basin. The seismic data show a number of blanking zones that probably reflect widespread fluid and gas venting. The blanking zones are often associated with velocity pull-up structures. These upwelling structures are interpreted to be the result of high-velocity natural gas hydrate. There are also several bottom-simulating reflectors that are associated with free gas and probably overlying gas hydrate. Numerous pockmarks were also observed in the Chirp profiles. They are seafloor depressions caused by the removal of near-seafloor soft sediments by escaping of fluid and gas. In piston cores, cracks generally oriented parallel to bedding suggest significant gas content some of which may have been contained in gas hydrate in situ.

subscript

MCRS : multi-channel reflection seismic
ROV : remotely-operated vehicle
SMI : sulfate methane interface
NGH : natural gas hydrate
BSR : bottom simulating reflector

기도 한다. 탄화수소는 탄소와 수소로 이루어진 화합물로 석유와 천연가스(natural gas)의 주성분이다. 기체상(gas phase)의 탄화수소는 산상에 따라 유정가스(oil well gas), 자유가스(free gas), 용해가스(dissolved gas), 탄전가스(coal field gas)로 구분된다. 퇴적물 내에 가스상(gas phase)으로만 존재하는 자유가스는 고압·저온의 특수한 조건 하에서는 물분자와 결합하여 고체상(solid phase)의 천연가스 하이드레이트(natural gas

1. 서론

일반적으로 해저면으로부터 심도 1000 m 보다 얕은 천부 퇴적층에서는 박테리아의 작용에 의해 유기물로부터 생물기원(biogenic)의 탄화수소 가스(hydrocarbon gas; mainly methane)가 생성된다 [1]. 반면에 이 보다 깊은 심도에서는 높은 열과 압력에 의한 열기원(thermogenic)의 탄화수소 가스가 생성되며, 이때 메탄 이외에 프로판(propane), 부탄(butane) 등 무거운 탄화수소도 생성된다. 열기원의 탄화수소 가스는 단층 등을 따라 상향 이동(upward migration)되어 천부 퇴적층에 집적되

-
- 1) 한국지질자원연구원 석유해저자원연구부
E-mail: bjryu@kigam.re.kr
Tel : (042)868-3211 Fax : (042)862-3417
 - 2) 한국지질자원연구원 석유해저자원연구부
E-mail: save@kigam.re.kr
Tel : (042)868-3276 Fax : (042)862-3417
 - 3) 한국지질자원연구원 석유해저자원연구부
E-mail: yjl@kigam.re.kr
Tel : (042)868-3209 Fax : (042)862-3417
 - 4) 한국석유공사 국내탐사팀
E-mail: ilsookim@knoc.co.kr
Tel : (042)868-3362 Fax : (042)861-0066

hydrate)로 상변화(phase change)하기도 한다.

시추 또는 코어링(coring)을 통하여 천부 퇴적층에 포함된 탄화수소의 부존을 직접 확인하는 방법 이외에, 탄화수소의 부존을 지시하는 증거(evidence)는 지질·지화학적, 지구물리학적, 생물학적 증거로 구분된다[1, 2, 3]. 이들 증거들은 시추 과정에서의 이수분석(mud analysis)과 물리검층(well logging), 퇴적물의 온도 측정, 퇴적물과 간극수(interstitial water)에 대한 지질·지화학 분석, 심해 카메라, ROV(remotely-operated vehicle) 또는 유인 잠수정을 이용한 해저면과 해저면 부근의 해수층(sea-water column)의 관찰과 시료(퇴적물, 해수, 생물군, 액체상과 기체상 탄화수소, NGH 등) 분석, 탄성과 단면도와 음향측심기 image 등 지구물리 탐사자료에 대한 분석을 통해 확인된다[1, 2, 3, 4, 5].

본 연구에서는 서부 울릉분지에서 채취되고 취득된 피스톤 코어, 다중채널 탄성과 및 Chirp 단면도를 이용하여 연구지역 천부 퇴적층에서의 탄화수소 부존 증거와 양상을 밝히고자 하였다.

2. 연구지역의 지형과 지질

연구지역은 동해 남서부에 발달되어 있는 울릉분지(Ulleung Basin)의 서부에 위치하고 있다. 울릉분지는 북쪽으로는 한국대지(Korea Plateau)와, 동쪽으로는 오키뱅크(Oki Bank)와, 서쪽으로는 한반도와 가파른 경사로, 남쪽으로는 일본열도와 완만한 경사로 접하고 있는 제3기 퇴적분지이다. 분지의 평원(basin floor)은 수심 약 2000-2500 m에 발달되어 있으며, 북동부에 위치한 화산기원의 섬과 해산을 제외하고는 대체로 편평하다. 울릉분지는 울릉도와 독도 사이에 발달된 'Ulleung Interplain Gap'을 통해 일본분지(Japan Basin)와 연결된다[6].

탄성과 탐사자료에 의하면 울릉분지에 발달된 퇴적층의 층후는 분지의 가운데에서는 약 5 km 정도이나[7], 분지의 남쪽으로 가면서 두꺼워져 최대 10 km에 달한다[8].

3. 연구 자료와 방법

연구지역 천부 퇴적층에서의 탄화수소 생성 잠재력과 부존 증거 및 양상을 밝히기 위해 한국지질자원연구원의 탐해-2호를 이용하여 총 35개 지점에서 5-8 m 길이의 피스톤 코어를 채취하였다. 또한 탄화수소 부존 증거와 양상을 규명하기 위해 4946 L-km의 2D 다중채널 반사법 탄성과(2D multichannel reflection seismic: MCRS) 탐사자료와 3250 L-km의 3.5 kHz Chirp 자료를 취득하였다.

채취한 코어를 탐해-2호 선상에서 1.2-1.6 m 간격으로 절단하고 공기층 가스(head-space gas)와 간극수 분석을 위한 시료를 sub-sampling한 후 실험실에서의 추가 분석을 위해 저온(4°C) 상태로 보관·운반하였다. 실험실에서 코어를 2등분 하였으며, 절단된 코어 중 하나는 보관용 코어로 다른 하나는 각종 지화학·퇴적학적 분석을 위한 연구용 코어로 사용하였다. 탄화수소와 관련된 퇴적구조와 부존 증거를 확인하기 위해 16개 코어(연구지

역 북부: 7개 코어, 남부: 9개 코어)를 선택하여 코어 관찰과 함께 지화학·퇴적학적 분석을 수행하였다. 또한 코어에 특별히 나타난 구조들과 NGH와의 관계를 비교하기 위해 코어가 채취된 지역에 대한 NGH-안정영역(NGH-stability zone)을 분석하였다.

탄화수소 부존을 지시하는 대표적인 증거들인 탄성과 공백대(seismic blank zone), enhanced reflector, BSR 등을 확인하기 위해 Promax를 이용하여 전산처리된 MCRS 탐사자료를 분석하고 mapping 하였다. 이밖에 해저면 부근에 분포된 퇴적층과 수층에 나타나는 탄화수소 증거인 pockmark와 gas plum를 확인하기 위해 Chirp 자료를 분석하고 mapping 하였다.

4. 연구 결과 및 토의

선택된 16개 코어에 대한 관찰과 함께 퇴적학적 분석을 수행한 결과 연구지역의 남부에서 채취된 6개 코어에서 층리면과 수평하게 발달된 수평균열(crack)을 확인하였다(Fig. 2). 이들 균열은 코어가 회수되는 동안 퇴적물에 포함된 자유가스의 팽창(expansion)에 의한 것으로 해석된다. 그러나 이들 균열이 나타나는 구간이 NGH-안정영역 내에 위치하는 점으로 미루어 코어회수 과정에서 온도·압력 변화에 기인해 NGH로부터 해리된 가스의 팽창에 의한 형성도 배제할 수 없다. SMI(sulfate methane interface) 심도에 대한 분석결과로 미루어 연구지역 북부에서 채취된 코어에 균열이 나타나지 않는 것은 메탄이 생성되는 구간이 코어가 회수된 구간 보다 깊은 심도에 위치하기 때문인 것으로 생각된다.

탄성과 공백대는 가스 또는 유체의 상향 이동에 의해 Chirp 단면도는 물론 MCRS 탐사자료 상에 수직 또는 반수직의 기둥(column) 형태로 나타나는 대표적인 탄화수소의 부존 증거이다. 퇴적층이 해저면과 평행하게 발달되어 있는 연구지역 중부의 동쪽에 많이 나타나는 이들 탄성과 공백대는 해저면까지 발달되기도 한다. 또한 간혹 탄성과 공백대 내에서 나타나는 velocity pull-up structure는 공백대가 높은 탄성과 속도를 가지는 NGH로 포화되어 있다는 것을 지시하는 것이다. 탄성과 공백대가 BSR이 광범위하게 나타나는 지역에 잘 나타나지 않는데, 이 원인이 탄화수소 가스 또는 유체의 상향 이동이 투수율이 낮은 NGH층에 의해 억제되는 것인지 다른 요인에 의한 것인지 세심한 추가 연구가 필요하다.

BSR은 NGH층과 하위에 자유가스로 포화된 퇴적층과의 경계면에서 탄성과 속도와 밀도 차이에 기인한 극성역전(polarity reversal)을 동반한 큰 진폭의 반사면으로, 2000년대 중반까지 NGH 부존을 지시하는 가장 중요한 증거로 인식되었다. 그러나 근래 자유가스가 BSR에 보다 큰 영향을 미친다고 발표되고 있다. BSR은 연구지역의 남동부에 광범위하게 분포되어 나타나며, 북서부와 북동부에서 국부적으로 확인된다. 탄성과 공백대가 잘 나타나는 지역에서 BSR을 확인하기가 용이하지 않다. 이 원인이 공백대가 잘 나타나는 지역의 퇴적 특성 때문에 BSR이 해저면에 평행하게 발달된 퇴적-반사면에 가려져 확인하기가 어려운 것인지 다른 요인에 의

한 것인지에 대한 추가 연구가 필요하다.

Pock-mark는 심부로부터 이동된 가스 또는 유체의 분출에 의해 해저면 부근의 연약한 퇴적층이 함몰되면서 해저면에 나타나는 양상으로 탄화수소 증거로 측심기 image와 Chirp 단면도에서 쉽게 확인된다. Pock-mark의 형성은 탄성과 공백대와 마찬가지로 상향 이동되는 탄화수소 또는 유체의 영향을 받는다. 탄성과 공백대가 특정한 지역에 집중적으로 나타나는 반면 pock-mark는 연구지역 전역에 산발적으로 나타난다. Pock-mark의 산출이 탄성과 공백대 및 BSR과 달리 산발적으로 나타나는 이유가 어떤 요인에 의한 것인지 보다 추가 연구가 요구된다.

후 기

본 연구는 한국지질자원연구원이 수행한 산업자원부 출연연구사업인 '가스 하이드레이트 탐사 및 개발 연구' 및 '해저 지질도 작성연구' 과제에서 지원되었습니다. 이 연구과제에 참여한 연구원과 탐해-2호 선박직원들께 감사드립니다.

References

- [1] Davis, A.M., 1992. "Shallow gas: an overview." In: Methane in Marine Sediments (Davis, A.M. ed.), Pergamon Press, pp. 1077-1079.
- [2] Judd, A.G. and Hovland, M., 1992. "The evidence of shallow gas in marine sediments." In: Methane in Marine Sediments (Davis, A.M. ed.), Pergamon Press, pp. 1077-1079.
- [3] Kvenvolden, K.A. and Lorenson, T.D., 2001. "The global occurrence of natural gas hydrate." In: Natural Gas Hydrates Occurrence, Distribution and Detection (Paull, C.K. and Dillon, W.P. eds.), AGU, pp. 3-18.
- [4] Sloan, E.D. Jr., 1998. "Clathrate Hydrates of Natural Gases (2nd Ed.)." Marcel Decker, New York, 705 p.
- [5] Wille, C.W., 2005. "Sound Images of the Ocean." Springer, 471 p.
- [6] Chough, S.K., Lee, H.J. and Yoon, S.H., 2000, "Marine geology of Korean seas," (2nd Ed.), Elsevier, Amsterdam, 313 p.
- [7] Park, C.-H., Kim, H.-J., Yang, C.-S., Suk, B.-C. and Isezaki, N., 1996. "Crustal structure of the Ulleung Basin, the EastSEA (Japan SEA), from gravity and ocean bottom seismometer data." J. Geol. Soc. Korea, Vol. 32, pp. 276-290.
- [8] Park, K.S., 1992. "Geologic structure and seismic stratigraphy of the southern part of the Ulleung Basin." In: Sedimentary basins in the Korean Peninsular and adjacent seas (Chough, S.K. ed.), Hanlimwon Publ., pp. 40-59