

동해 울릉분지 시추결과를 통한 탄성과 단면에 나타나는 가스 및 가스하이드레이트 지시자의 고찰

강동호[‡] · 천종화 · 구남형 · 김원식 · 이호영

한국지질자원연구원 석유해저연구본부

요 약

동해 울릉분지에서는 가스하이드레이트 부존 확인을 위해 13곳에서 심해시추가 이루어졌다. 시추공은 지구 물리측면에서는 탄성과 단면에 가스 및 가스하이드레이트 지시자로 해석되는 해저모방반사면, 침니, 음향공백대, 증폭반사면, 해저모방반사면 상부의 강한 반사면을 대상으로 선정되었다. 시추결과 가스하이드레이트는 침니, 음향공백대, 해저모방반사면이 있는 곳에서 부존이 확인되었고, 증폭반사면, 해저모방반사면 상부의 강한 반사면은 가스하이드레이트 부존과는 관계가 없었다. 특히 침니는 6곳에서 시추가 이루어 졌고 모든 공에서 가스하이드레이트 부존이 확인되었다. 가스하이드레이트 부존이 확인된 단층 인근 지역의 음향공백대는 단층을 통해 이동한 가스가 사질층과 니질층이 교호하는 퇴적층에서 사질층으로 이동하여 가스하이드레이트가 부존할 때 나타나는 현상으로 해석된다. 해저모방반사면은 직상부층에 사질층이 있을 때만 가스하이드레이트 부존이 확인되었다. 시추결과는 단층 및 침니가 울릉분지 가스하이드레이트 형성에 큰 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

주요어: 울릉분지, 침니, 음향공백대, 가스하이드레이트, 가스하이드레이트 지시자

Dong-Hyo Kang, Jong-Hwa Chun, Nam-Hyung Koo, Won-Sik Kim and Ho-Young Lee, 2015, Consideration on the gas and gas hydrate indicators in seismic profiles based on drilling result from the Ulleung Basin, East Sea. Journal of the Geological Society of Korea. v. 51, no. 6, p. 561-568

ABSTRACT: Deep sea drilling was conducted at 13 sites for identifying the existence of gas hydrate. Well sites were selected to test the seismic indicators of gas hydrate and associated gas such as bottom simulating reflector (BSR), chimney, blanking, enhanced reflection and strong reflector. From the drilling result, gas hydrate was detected in chimney, acoustic blanking, BSR, but is not identified at enhanced reflection and strong reflector. Especially, 6 chimney sites were drilled and the occurrence of gas hydrate was identified at all wells. Acoustic blanking could present at the site where gas migrates upward through fault and gets in the sandy sediments to form gas hydrate. Gas hydrate was also detected in only sandy layer just above the BSR. Drilling result shows that chimney and fault influence on the formation of gas hydrate in the Ulleung Basin.

Key words: Ulleung Basin, Chimney, Acoustic blanking, Gas hydrate, Gas hydrate indicator

(Dong-Hyo Kang, Jong-Hwa Chun, Nam-Hyung Koo, Won-Sik Kim and Ho-Young Lee, Petroleum & Marine Research Division, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources (KIGAM), Daejeon 34132, Republic of Korea)

1. 서 론

탄성과 단면에 나타나는 가스 및 가스 하이드레이트(gas hydrate; GH) 부존 지시자로는 해저모방 반사면(bottom simulating reflector; BSR), 음향공백대(acoustic blanking), 침니(chimney), BSR 상부의 강한 반사면(strong reflector), 하부의 증폭반사

면(enhanced reflection, high amplitude reflection or bright seismic reflection), 폭막(pockmark)등이 있다(Choi *et al.*, 2001; Lee *et al.*, 2005; Yoo *et al.*, 2008). 세계 여러 곳의 GH 탐사 지역도 이러한 지시자가 나타나는 곳에서 GH 부존이 확인되었다. 일본의 경우 GH 집중대의 조건으로 수로가 발달하는 곳에서 저탁류 퇴적물 연계층(turbidite sequences)과 더

[‡] Corresponding author: +82-42-868-3339, E-mail: dhkang@kigam.re.kr

불어 높은 구간속도 그리고 탄성과 단면에 BSR의 존재와 상부의 강한 반사면을 제시하였다(Noguchi *et al.*, 2011). 침니의 경우, 일본(Matsumoto and Hiromatsu, 2011) 및 캐나다 밴쿠버 섬의 카스카디아 주변부(Cascadia margin)의 국제해저지각 시추프로그램(integrated ocean drilling program; IODP) Exp. 311에서 GH 실물이 확인되었으며(Riedel *et al.*, 2006) 브레이크 릿지(Blake Ridge)의 GH 부존 지역에서는 음향공백대의 특징을 잘 보여 준다(Max *et al.*, 2006). 증폭 반사면의 경우 가스를 함유한 경사진 투수율이 좋은 층이 GH 안정영역으로 들어서는 구간에서 GH가 부존할 수 있음을 보여 주고 있다(Max *et al.*, 2006; Thakur and Rajput, 2011). 해저지각 시추프로그램 Leg 204에서는 증폭반사면이 잘 나타나는 곳에서 시추를 통해 BSR 직상부에서 GH 부존을 확인하였다(Trehu *et al.*, 2002).

우리나라의 경우 동해 울릉분지 심해저에 GH 부존을 확인하기 위해 두 번에 걸쳐 13곳에서 심해시추작업(UBGH 1&2; Ulleung Basin Gas Hydrate Expedition 1&2)이 수행되었다(KIGAM, 2008; Ryu *et al.*, 2012). 시추공은 지구물리학적 측면에서 탄성과 단면에 나타나는 가스 및 GH 지시자가 나타나는 곳에서 이루어 졌다. 대부분의 시추공의 경우 인근 및 시추지역에 BSR이 존재하는 곳에서 수행되었고 침니지역, 음향공백대지역, 증폭반사면이 발달한 곳, BSR 직상부에 강한 반사면이 존재하는 곳을 대상으로 하였다. 시추 결과 GH 부존이 확인된 곳은 침니 지역이 6곳으로 우세하였고 음향공백대, BSR 직상부 지역의 사질층, 그리고 뚜렷한 지시자는 없으나 단층 및 침니 인근 지역의 사질층이다. 그러나 증폭반사면이 잘 나타나는 곳이나 BSR 상부의 강한 반사면이 나타나는 곳, BSR이 아주 뚜렷이 나타나 직상부층이 사질층이 아닌 곳에서는 GH 부존을 확인할 수 없었다.

동해 울릉분지에서 탄성과 단면 분석으로 가스 및 가스하이드레이트 지시자와 이들의 정의, 특성, 분포등은 이미 기존연구를 통해 잘 알려져 있다(Choi *et al.*, 2001; Lee *et al.*, 2005; Yoo *et al.*, 2008). 본 논문에서는 동해 울릉분지에서 시추결과를 통해 확인된 GH 부존지역과 탄성과 단면에 나타나는 가스 및 GH 지시자와의 상관 관계를 유추해 보고 이를 통해 가스 및 GH 부존이 확인이 안 된 시추지역의 BSR,

음향공백대, BSR 하부의 증폭반사면, 상부의 강한 반사면이 어떤 조건에서 가스 및 GH 부존 지시자로서의 의미를 가질 수 있는지 보여주려고 한다. 또한 단층과 침니는 시추로 확인된 GH 부존 지역으로 가스를 이동시키는 주요 통로이며 이들과 더불어 인근 지역에 GH 지시자가 나타날 때 그 지역은 GH 부존 지역으로 가능성이 있음을 알 수 있었다. 이러한 결과는 향후 동해 울릉분지에서 GH 부존지역을 추가로 확인하는데 도움을 줄 것이다.

2. 연구지역

울릉분지(Ulleung Basin)는 동아시아 대륙과 일본 열도(Japan Arc)에 의하여 둘러싸인 반폐쇄성 주변해(semi-closed marginal sea)인 동해의 남서부에 위치한 심해저 분지이다(그림 1). 평균수심 약 1,350 m, 최대수심이 약 3,700 m을 보이는 동해에는 지형적 고지대(topographic high)에 의하여 일본분지(Japan Basin), 야마토편지(Yamato Basin), 울릉분지 등 세 개의 해양퇴적분지가 발달해 있다(Chough, 1983). 울릉분지는 북쪽으로는 한국대지(Korea Plateau), 동쪽으로는 오키뱅크(Oki Bank), 서쪽으로는 한반도와 가파른 경사로, 남쪽으로는 일본열도(Japan Arc)와 완만한 경사로 접하고 있으며, 울릉도와 독도 사이에 발달된 “Korea Gap (Lee *et al.*, 2007)”을 통해 일본분지와 연결된다.

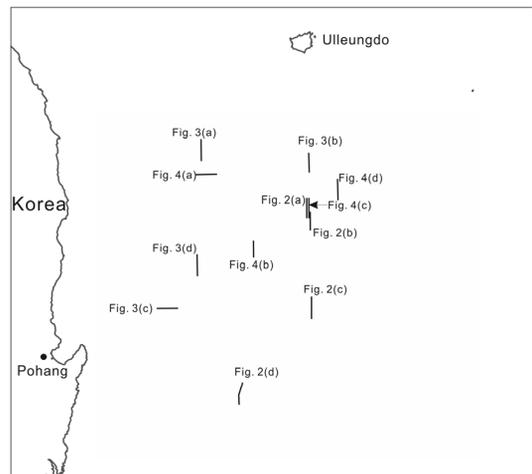


Fig. 1. Study area and locations of seismic profiles shown in Fig. 2, 3 and 4.

Table 1. The existence of GH for the indicators of gas and GH from drilling result.

Indicators of gas and gas hydrate	Well number	Existence of gas hydrate
Chimney	Well1	Nodule, vein, layer in mud
	Well2	Nodule, vein, layer in mud
Bottom simulating reflector	Well3	Disseminated form in sand
	Well4	None
Blanking	Well5	Disseminated form in sand
	Well6	None
Enhanced reflection	Well7	None
	Well8	None
	Well9	None
	Well10	None
Strong reflector	Well11	None
	Well12	None
etc.	Well13	Disseminated form in sand
	Well14	Disseminated form in sand

울릉분지에 분포된 제3기(Tertiary) 퇴적층의 두께는 분지의 중앙부에서는 약 5 km 정도이나 남쪽으로 가면서 두꺼워져 최대 10 km에 달한다(Chough, 1983). 연구지역의 북쪽과 서쪽 경계부는 경사가 급하여 대규모의 사면침식, 사면붕락(slump), 사면사태(slide), 그리고 암설류 퇴적체(debris flow deposit)가 특징적으로 발달하고 있으며 남쪽과 동쪽 경계부는 다소 경사가 완만하지만 역시 다양한 사면침식과 사면붕락, 사면사태, 소규모 협곡이 발달하고 있다.

울릉분지의 천부퇴적층은 중력류에 의해 대륙사면에는 암설류 퇴적물이 넓게 분포하고 분지평원에는 하부의 암설류 퇴적물 위에 저탁류 및 반원양성 퇴적물이 우세하게 분포한다(Chough *et al.*, 1997). 암설류 퇴적물은 암설류 로브(debris lobe) 형태로 중첩되어있으며 지역에 따라 저탁류 퇴적물 또는 반원양성 퇴적물이 암설류 로브 사이에 분포한다.

3. 연구자료 및 방법

연구에 이용된 자료는 울릉분지에서 수행된 2차원 탄성파 탐사자료, 분지 중앙부에서 수행된 300 km² (12 km × 25 km)의 3차원 탄성파 탐사자료, UBGH1&2

시추자료이다.

2차원 탄성파 탐사자료는 길이 3 km, 그룹간격 12.5 m, 채널수 240의 수신기(streamer)와 1,035 in³ 용량의 에어건(airgun) 음원을 사용하여 획득하였다. 자료는 샘플링(sampling) 간격 1 ms로 기록되었으며, 발파간격은 25 m로 하였다. 3차원 탄성파탐사의 자료취득 변수는 2차원 탐사와 동일하다. 취득된 자료처리를 위해 미국 랜드마크 그래픽(Landmark Graphics)사의 프로맥스(ProMax) 소프트웨어를 사용하였다. 자료처리 과정은 기본전산 처리과정인 트레이스 편집(trace editing), 주파수 필터링(frequency filtering), 이득 회수(gain recovery), 속도분석(velocity analysis), 중합(stack)으로 이루어 졌다. 전산처리된 2차원, 3차원 자료는 탄성파탐사자료 전문해석프로그램인 지오그래픽스(GeoGraphix) 프로그램을 사용하여 가스 및 GH 부존을 지시하는 탄성파 지시자를 확인하였다. 시추공과 탄성파자료는 검층자료로부터 합성탄성파기록(synthetic seismogram)을 만들어 탄성파 단면과 대비(well tie)하였다.

시추공에서 GH 부존 확인은 실물을 직접 코어에서 확인하거나 공극수 염소 이온 농도 측정에 의한 이상값과 적외선 카메라를 이용한 열화상 이미지로

부터, 그리고 로깅자료분석에 의해 유추되었다 (KIGAM, 2008; Ryu *et al.*, 2012).

4. 가스 및 GH 지시자의 심해시추(UBGH1&2) 결과

심해시추(UBGH1&2)로 총 18곳에 시추가 이루어졌다. 시추된 곳의 탄성과 단면에 나타나는 가스 및 GH 지시자는 침니, BSR, 음향공백대, BSR 상부의 강한 반사면, 하부의 증폭반사면이다. 각 시추공에서 나타나는 가스 및 GH 지시자는 표 1에 정리하였다. 18곳의 시추공 중 침니는 6곳으로 모든 침니 지역에서 GH 부존이 확인되었고 그 중 두 곳만 표와 그림으로 나타내었다(표 1; 그림 2, 3, 4). Well13은 시추위치에서 가스 및 GH 지시자가 없으나 침니 인접 지역으로 침니에서 확인된 GH의 수평적인 연장성을 알아보기 위해 시추되었고 Well 14는 인근에 단층이 지나가고 BSR, 강한 반사면, 증폭반사면으로 해석되는 곳에서 시추되었다.

Well1과 Well2는 침니 지역으로(그림 2(a), 2(b)) 니질층에 노들, 베인, 층 형태의 GH 실물이 확인되었다. 침니와 연결되는 단층이 탄성과 단면에서 확인되는 곳도 있으며 GH가 층과 맥의 형태로 나타나는 것으로 보아 침니는 단층과 연결되거나 내부에 단열이 발달하여 이를 통해 가스가 이동한 것으로 해석된다. 총 6곳의 침니가 시추되었고 모든 곳에서 가스하이드레이 부존이 확인되어 침니는 가장 확실한 GH 지시자로 해석된다.

Well3과 Well4는 BSR이 발달한 곳에서 시추되었다(그림 2(c), 2(d)). Well4 지역은 BSR이 아주 뚜렷이 나타나고 하부에는 P파의 속도가 1,400~1,450 m/s이며, 강한 반사강도, 저주파수 대역을 보이고 있어 가스층이 존재할 가능성이 크며(KIGAM, 2006) 그 상부에는 GH가 부존할 것으로 해석되었으나 시추 결과 BSR 직상부 지역에는 부존하지 않았다. Well3 지역 또한 BSR이 뚜렷이 나타나나 검층결과 GH 부존 판단에 많이 이용되는 비저항 값이 2 ohm-m 이하로 이상대를 확인할 수 없었다(KIGAM, 2008). 다

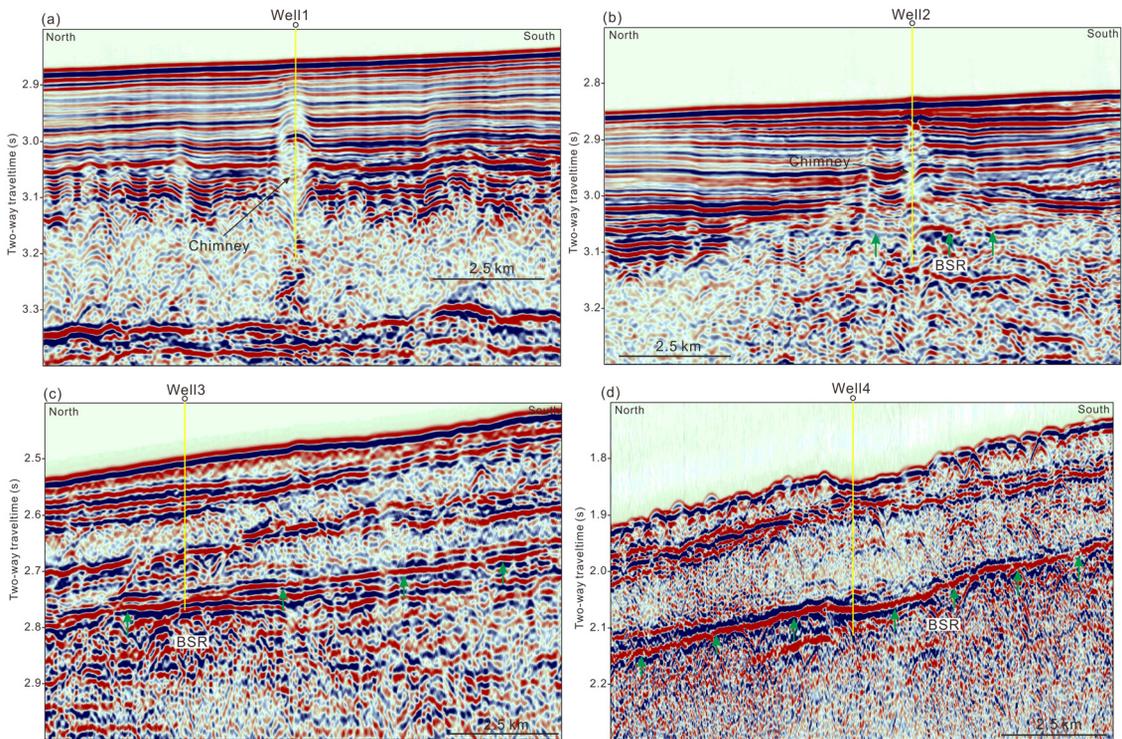


Fig. 2. A seismic profile showing the chimney for the figure (a) and (b), the BSR for the figure (c) and (d). The occurrence of GH was identified at all chimneys and detected in only sandy layer just above the BSR.

만 BSR 직상부 사질층 시료를 이용한 염소 이온 농도가 GH 해리를 지시하는 이상값이 관찰되어 사질층에 GH가 부존하는 것으로 해석되었다(KIGAM, 2008)

Well5와 Well6은 수평적으로 음향이상대의 변화를 보이는 곳이다(그림 3(a), 3(b)). 시추결과 Well5에서는 사질층의 공극을 채우는 GH 부존이 확인되었고 Well6에서는 GH 부존을 확인할 수 없었다.

GH는 저온, 고압에서 안정적이기 때문에 가스가 해지면 가까이 상부층으로 이동하면 고압, 저온의 조건에 의해 물과 결합하여 GH로 상변이한다. BSR은 GH를 함유한 층과 가스를 함유한 층과의 반사계수 차이에 의해 탄성과 단면에 잘 나타나며 BSR 상부 퇴적층이 GH 안정영역에 해당하게 된다. Well7과 8, 9, 10은 BSR 하부에 진폭이 큰 증폭반사면이 존재하는 곳으로 사질층에 가스가 존재하여 큰 진폭을 보이고 사질층이 GH 안정영역으로 이어지는 곳에서 GH가 부존할 수 있을 것으로 해석되었으나 검

층결과 GH 부존이 확인되지 않았다(그림 3(c), 3(d)). 또한 코어가 획득된 Well9에서는 증폭반사면이 사질층이 아니라 니질층으로 밝혀졌다.

사질층에 GH가 많이 포화되어 있을 때 GH의 높은 속도값에 의해 GH를 함유한 사질층은 큰 반사계수를 가져서 탄성과 단면에 진폭이 강한 반사면으로 나타난다. Well11과 Well12는 GH 안정영역지역에 강한 반사면이 존재하는 곳으로 사질층에 GH가 부존할 때 나타나는 현상으로 해석되었다(그림 4(a), 4(b)). 시추결과 Well11의 강한 반사면에는 GH가 부존하지 않았다. 반사면은 저탁류 퇴적암과 암설류 퇴적물의 경계에 의해 나타나는 것으로 유추되었다. 또한 Well12의 강한 반사면도 GH가 부존하지 않았고 그 하부에 위치하는 BSR 직상부의 사질층에 부존이 확인되었다.

Well13은 시추공 위치에서는 가스 및 GH 지시자가 존재하지 않지만 인근에 침니가 존재하는 곳으로 GH의 수평적인 연장성을 알아보기 위해 시추되었

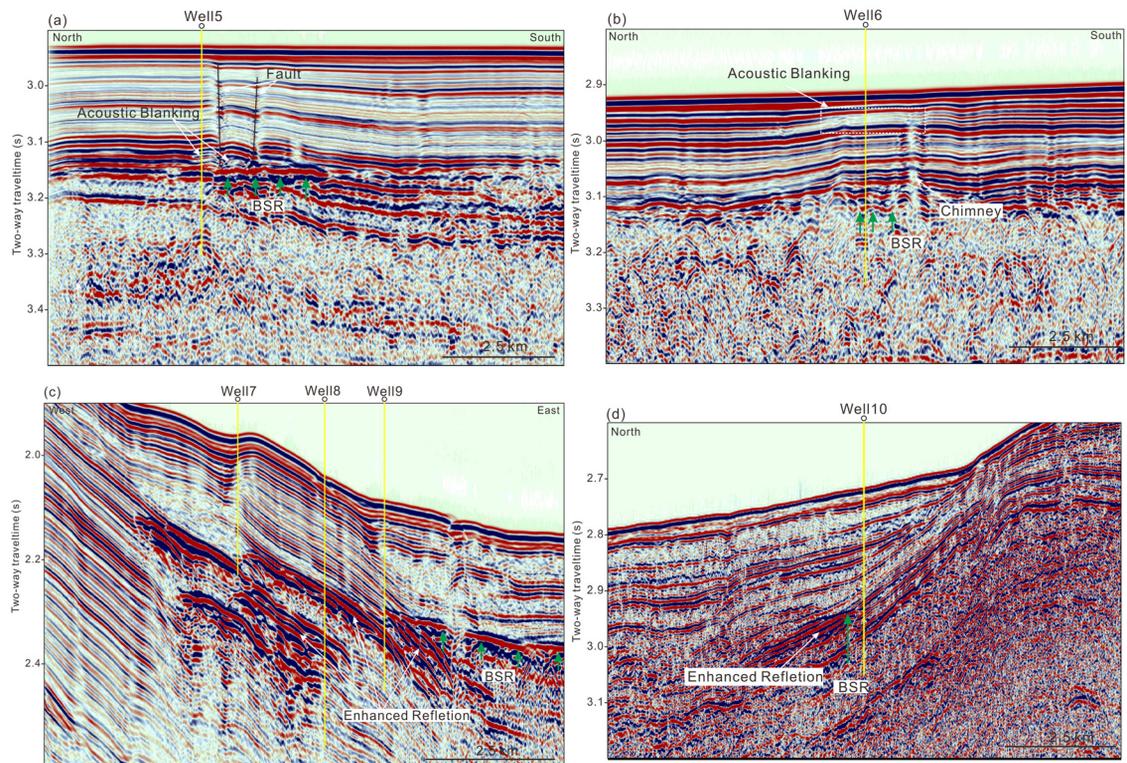


Fig. 3. A seismic profile showing the acoustic blanking for the figure (a) and (b), the enhanced reflection for the figure (c) and (d). From drilling result, acoustic blanking could present at the site where gas migrates upward through fault and gets in the sandy sediments to form gas hydrate. GH is not identified at the wells with enhanced reflection.

고 GH 부존을 확인한 곳이다(그림 4(c)). Well14는 BSR, 증폭반사면, 강한 반사면이 함께 나타나는 곳으로 BSR 직상부의 사질층에 GH 부존이 확인되었다(그림 4(d)).

5. 토의: GH 부존 지시자들에 대한 고찰

시추결과 GH 부존이 확인된 곳에서 나타나는 가스 및 GH 지시자는 침니, BSR, 음향공백대이며 증폭반사면이 BSR을 지나 GH 안정영역으로 들어서는 구간이나 BSR 상부의 강한 반사면에서는 GH가 부존하지 않았다. BSR 또한 직상부에 모래층이 있는 구간에서만 GH 부존이 확인되었고 니질층에서는 확인되지 않았다. 음향공백대의 경우, 수평적으로 층이 두께의 변화를 보이는 곳에서 GH와 무관하게 나타날 수 있음을 시추결과를 통해 알 수 있었다.

그러면 BSR은 GH 부존에 어떤 의미를 부여할 수 있는지, 음향공백대가 어떤 조건과 더불어 나타날

때 GH 지시자로 해석할 수 있는지, 울릉분지에서는 해외에서 GH 부존이 확인된 증폭반사면이 GH 안정영역과 연계되는 지역과 BSR 상부의 강한 반사면은 어떤 차이로 GH가 부존하지 않는지 고려해 볼 필요가 있다.

탄성과 단면에 다른 가스 및 GH 지시자 없이 BSR만 존재하는 곳의 시추공은 Well3, Well4이다. 시추결과 Well3은 BSR 직상부 층이 사질층이고 Well4는 코어가 획득되지 않았지만 탄성과 단면에서 BSR은 암설류 퇴적층에 나타나고 있다. 암설류 퇴적층은 퇴적상 해석에 의하면 주로 니질층으로 구성되어 있다(KIGAM, 2008). GH 부존은 Well3에서만 확인되었다. Well14의 경우 BSR, 강한 반사면, 증폭반사면이 함께 나타나는 곳으로 GH는 해저모방사면으로 추정되는 직상부 사질층에서 부존이 확인되었다. Well6, 9는 코어가 획득된 곳으로 BSR 직상부 층은 사질층이 아니며 BSR 직상부층에 GH가 부존하지 않았다. Well11은 코어가 획득되지 않았지만 BSR이

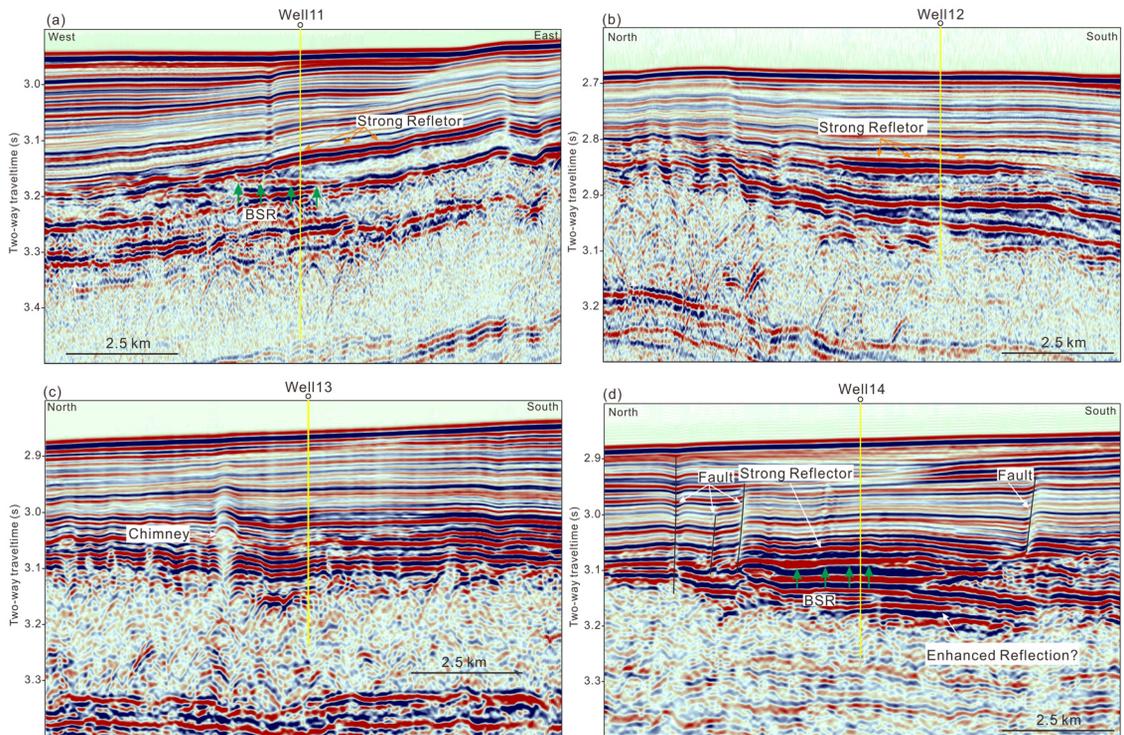


Fig. 4. A seismic profile showing the strong reflector for the figure (a) and (b), the well site near to chimney for the figure (c), and the well site characterized by BSR, strong reflector, enhanced reflection for the figure (d). There's no GH at strong reflector.

암설류 퇴적층 내부를 관통하고 있다. 암설류 퇴적층은 주로 니질층으로 구성되었을 것으로 추정되며 검증결과로 BSR 직상부에 GH 부존을 확인하지 못하였다. 이러한 시추결과로 볼 때 BSR과 GH의 연관관계는 GH는 BSR 직상부에 사질층이 존재할 때만 국한되어 부존한다고 표현할 수 있겠다.

음향공백대의 경우 니질층과 사질층이 교호되어 나타나는 층에서 사질층에 GH가 부존할 때 나타나는 현상으로 알려져 있으며(Max *et al.*, 2006) Well5에서 나타나는 음향공백대도 시추결과 니질층과 사질층이 교호하는 곳에서 사질층에 GH가 부존하는 경우이다. 그러나 Well6에서는 수평적으로 국한되어 음향공백대가 잘 나타나지만 GH가 부존하지 않았다. 음향공백대가 수평적으로 주위층과 달리 국한되어 나타난다는 점에서는 Well5와 6은 동일하지만 Well5의 음향공백대는 단층 및 BSR과 접해 있다는 차이점이 있다. 즉 Well5가 음향공백대로 가스의 이동이 훨씬 용이하다는 점이고 이런 곳에서 GH가 사질층에 분포하였다. 음향공백대가 GH 부존지역으로 의미를 두기 위해서는 음향공백대에 사질층이 존재할 수 있는 퇴적학적 분석과, 가스의 이동이 용이한 단층이 인근지역에 있는지의 여부 또한 고려 대상이 되어야 하겠다.

증폭반사면이 GH 지시자로서의 역할을 하려면 증폭반사면이 나타나는 층이 가스를 함유한 투수율이 좋은 층이어야 한다. 대만의 경우 수로 제방 복합체(channel-levee complexes)에서 투수율이 좋은 층에 가스가 이동하여 GH 안정영역 직상부에 GH가 부존할 수 있음을 보여주고 있다(Lin *et al.*, 2015). 울릉분지에서는 4곳의 증폭반사면 시추공에서 GH 부존이 확인되지 않았을 뿐만 아니라 코어를 획득한 Well9에서는 증폭반사면을 나타내는 층이 니질층으로 확인되었다. 이러한 시추결과는 증폭반사면이 투수율이 좋은 사질층 뿐만 아니라 니질층에도 나타날 수 있음을 보여 주고 있다. 증폭반사면을 GH 지시자로 고려하기 위해서는 증폭반사면이 사질층을 함유할 수 있는 시스템(수로등) 인지의 퇴적학적 해석이 필요하다.

BSR 상부의 강한 반사면은 일본의 경우 GH 부존 지역에서 잘 나타나고 있으며(Noguchi *et al.*, 2011) 저탁류 퇴적물 수로(turbidite channel)에서 니질층과 사질층이 교호하는 층에서 사질층에 GH가 부존

하여 나타나는 현상이다. 음향공백대의 경우도 니질층과 사질층이 교호하는 곳에서 사질층에 GH가 부존할 때 나타나는 현상이나 계속적으로 GH가 사질층에 더 많이 집적될 때 높은 속도를 유발시키고 강한 반사층이 되어 결과적으로 음향공백대와 반대 현상이 일어날 수 있음이 설명된다(Lee and Dillon, 2001). BSR 상부의 강한 반사면이 GH의 부존 지시자가 되기 위해서는 강한 반사면 또한 사질층이 존재할 수 있는 퇴적학적 해석이 선행되어야 하겠다. 또한 경사가 없는 층에서는 사질층으로 가스의 이동이 가능한 단층, 침니등이 함께 나타나야 할 것으로 해석된다.

GH 심부시추를 통해 GH가 부존하는 곳은 침니, BSR 직상부의 사질층, 음향공백대의 사질층이다. 침니는 내부에 단층이나 단열이 발달하여 가스의 이동이 원활하여 GH 부존이 확인 된 곳이다. 또한 침니 인근 지역에 시추한 Well13의 경우 사질층에 GH 부존이 확인 되었는데 주위의 침니 지역으로 이동한 가스가 수평적으로 사질층으로 이동하여 시추위치에 GH 부존을 가능하게 한 것으로 해석할 수 있다. 음향 공백대에 분포하는 GH 경우도 Well5에서 단층을 따라 이동한 가스가 사질층과 만나 수평적으로 이동하여 단층 인근 지역에 GH 부존을 가능케 한 것으로 해석된다. 시추결과에서 보듯이 침니와 단층은 울릉분지 가스하이드레이트 분포와 관련하여 가스의 이동 통로이며 주위 사질층에 GH 부존을 가능케 하는 중요한 역할을 한다.

6. 결론

심부시추 결과 울릉분지 GH 부존을 지시하는 지시자는 침니, BSR, 음향공백대이며 증폭반사면, BSR 상부의 강한 반사면에서는 가스 및 가스하이드레이트의 부존을 확인하지 못하였다. BSR, 음향공백대는 모든 곳에서 GH 부존이 확인되지 않았다. BSR의 경우 직상부에 사질층이 존재하는 곳에서 확인되었고 음향공백대의 경우 BSR 상부층에 사질층이 존재하며 사질층으로 가스의 이동을 가능하게 하는 단층 혹은 침니가 인근지역에 함께 나타나는 지역에서 GH가 부존하였다. 울릉분지 탄성과 단면에 나타나는 증폭반사면은 코어 분석결과 니질층이며 니질층에서도 증폭반사면이 나타날 수 있음을 알 수 있다.

BSR 상부의 강한 반사면이 GH 부존을 지시하는 지시자로서의 의미를 부여하기 위해서는 대상층이 사질층인지, 사질층으로 가스의 이동이 가능한 메커니즘이 무엇인지 함께 고려되어야 한다. 단층과 침니는 GH 부존 지역으로 가스를 이동시키는 주요 통로이며 인근지역에 GH 지시자가 나타날 때 그곳에 GH가 부존할 가능성을 고려할 수 있다.

사 사

이 연구는 산업통상자원부와 가스하이드레이트 개발사업단의 연구비 지원에 의해 수행된 “가스하이드레이트 환경영향 분석 연구” 사업결과의 일부이며 자료취득에 도움을 준 탐해2호 승조원 및 도움을 주신 가스하이드레이트연구팀, 해저물리탐사연구팀에게 감사드립니다. 논문의 심사를 맡아주시고 유익한 조언을 해주신 익명의 심사위원님, 편집위원님께 감사드립니다.

REFERENCES

- Choi, D.L., Hong, J.K., Yoo, H.S., Jou, H.T. and Han, S.J., 2001, Gas hydrate occurrence in the southwestern slope of the Ulleung Basin, East Sea, inferred from seismic evidence. *Journal of the Korea Society of Oceanography*, vol.6, no.4, 242-248 (in Korean with English abstract).
- Chough, S.K., 1983, *Marine Geology of Korean Seas*. Boston: IHRD, 157 p.
- Chough, S.K., Lee, S.H., Kim, J.W., Park, S.C., Yoo, D.G., Han, H.S., Yoon, S.H., Oh, S.B., Kim, Y.B. and Back, G.G., 1997, Chirp (2-7kHz) echo characters in the Ulleung Basin. *Geoscience Journal*, 1, 143-154.
- KIGAM, 2006, Studies on Geophysical exploration of gas hydrate, NP2006-012-2006(1), 462 p (in Korean with English abstract).
- KIGAM, 2008, Analysis of gas hydrate deep-drill cores and studies on gas hydrate stability and geohazards. NP2008-003-2008(1), 240 p (in Korean with English abstract).
- Lee, J.H., Baek, Y.S., Ryu, B.J., Riedel, M. and Hyndman, R.D., 2005, A seismic survey to detect natural gas hydrate in the East Sea of Korea. *Marine Geophysical Researches*, 26, 51-59.
- Lee, K.S., Park, K.W. and Yoon, O.K., 2007, Marine Geography of the East Sea. In: *Ocean Atlas of KOREA*. National Oceanographic Research Institute, 32-51.
- Lee, M.J. and Dillon, W.P., 2001, Amplitude blanking related to the pore-filling of gas hydrate in sediments. *Marine Geophysical Researches*, 22, 101-109.
- Lin, L.F., Liu, C.S., Lin, C.C., Hsu, H.H. and Chang, J.H., 2015, Seismic implications of gas hydrate presence in the frontal ridge area offshore southwestern Taiwan. 8th International Conference on Asian Marine Geology.
- Matsumoto, R. and Hiromatsu, M., 2011, Fluid flow and evolution of gas hydrate mounds of Joetsu basin, eastern margin of Japan sea: constraints from high-resolution geophysical survey by auv. *Proceedings of the 7th International conference on gas hydrate*. Edinburgh, July 17-21.
- Max, M.D., Johnson, A.H. and Dillon, W.P., 2006, *Economic Geology of Natural Gas Hydrate*, Springer, 341 p.
- Noguchi, S., Shimoda, N., Takano, O., Oikawa, N., Inamori, T., Saeki, T. and Fujii, T., 2011, 3-D internal architecture of methane hydrate-bearing turbidite channels in the eastern Nankai Trough, Japan, *Marine and Petroleum Geology*, 28, 1817-1828.
- Riedel, M., Collett, T.S., Malone, M.J. and Expedition 311 Scientists, 2006, *Proceeding of the Integrated Ocean Drilling Program: Volume 311 Expedition Reports Cascadia Margin Gas Hydrates*. IODP.
- Ryu, B.J., Kim, G.Y., Chun, J.H., Bahk, J.J., Lee, J.Y., Kim, J.H., Yoo, D.G., Collett, T.S., Riedel, M., Torres, M.E., Lee, S.R. and the UBGH2 Scientists, 2012, The second ulleung basin gas hydrate drilling expedition (UBGH2): Expedition report, 666 p.
- Thakur, N.K. and Rajput, S., 2011, *Exploration of Gas Hydrates: Geophysical Techniques*. Springer, 281 p.
- Trehu, A.M., Bohrmann, G. and the Leg 204 Scientists, 2002, *Proceeding of the Ocean Drilling Program: Drilling gas hydrates on hydrate ridge, Cascadia continental margin sites 1244-1252*, ODP.
- Yoo, D.G., Kang, D.H., Koo, N.H., Kim, W.S., Kim, G.Y., Kim, B.Y., Chung, S.H., Kim, Y.J., Lee, H.Y., Park, K.P., Lee, G.H. and Park, S.C., 2008, Geophysical evidence for the occurrence of gas hydrate in the Ulleung Basin, East Sea. *Journal of the Geological Society of Korea*, v.44, no.5, 645-655 (in Korean with English abstract).

Received : November 6, 2015

Revised : November 30, 2015

Accepted : December 2, 2015