

## 울릉 분지 6-1 광구에서 발견된 탄화수소의 지화학적 특성

### Geochemical Characteristics of the Hydrocarbons from the Block 6-1, Ulleung Basin

이영주 (Young-Joo Lee)\* · 정태진 (Tae-Jin Cheong)\* · 오재호 (Jae-Ho Oh)\* · 박세진 (Se-Jin Park)\*\* · 이성숙 (Songsuk Yi)\*\*

**요 약** : 울릉분지의 남쪽에 위치하는 VI-1 광구에서는 돌고래, 고래 구조들에서 총 17개 공이 시추되었다. 탐사 시추공 중에서 대부분의 시추공에서 가스 징후를 보였으며 일부 시추공에서는 가스 및 컨덴세이트가 발견된 바 있다. 특히 고래 5 구조에서 발견된 가스와 컨덴세이트는 상업성이 확인되어 생산을 준비하고 있다. 울릉분지의 저류층 구간의 천연가스는 탄화수소 성분을 93% 이상 함유하고 메탄의 함량이 탄화수소의 96% 이하인 습성 가스로 주로 석유나 케로젠의 크래킹에 의해서 생성된 것으로 해석된다. 고래 1, 돌고래 3, 고래 5, 5-3공의 저류층 가스는 석유생성 단계 후기 내지 습성가스 단계에서 생성되어 이동되었으며, 가스를 생성한 근원암이 서로 다를 가능성을 보인다. 고래 1공과 고래 5공의 저류층 구간의 컨덴세이트에 대한 생물표기화합물 분석결과에 의하면 이들의 근원암에는 육상 기원 유기물이 매우 우세하게 포함된 것으로 나타났으며 호성 기원 유기물의 영향은 미미한 것으로 석유 및 가스의 생성에 영향을 주지는 않았을 것으로 생각된다. 고래 5공에서는 해성 기원 유기물이 일부 포함된 특성을 보여준다. 저류층 가스 분석 결과에서 나타난 바와 같이 고래 1공과 고래 5공 컨덴세이트는 각기 다른 근원암에서 유래했을 가능성을 보인다. 컨덴세이트의 열적 성숙도는 고래 5공의 경우 주 석유생성단계 초기 내지는 중기에 해당하고 고래 1공은 석유생성단계 중기에 해당하는 것으로 나타났다. 시추시료의 생물표기화합물에 의한 열적성숙도 변화경향과 컨덴세이트의 열적성숙도를 비교하여 컨덴세이트의 생성구간을 추정하면 고래 5공에서는 심도 3,000 m 부근으로 생각되며 고래 1 공에서는 3,900 m 구간 부근으로 생각한다. 하지만 고래 5공은 예상 심도까지 시추가 되지 않았으며 고래 1 시추공에서는 공내 붕락이 매우 심하게 일어났기 때문에 시추공 시료에서 탄화수소를 생성한 증거를 포착하기가 매우 어렵다.

**주요어** : 울릉분지, 6-1 광구, 저류층 가스, 컨덴세이트

**Abstract** : Seventeen exploratory wells have been drilled in the Block VI-1 of offshore Korea, which is located in the southern part of the Ulleung Basin. Gas show has been recognized from most of the wells, and gas and condensate have been accompanied in some wells. Commercial discovery of gas, accompanied by condensate, has been made from Gorae V well. The reservoir gases of the Dolgorae III, Gorae I, and Gorae V wells in the Ulleung Basin mainly consists of hydrocarbon gases (>93%). These gases are thermogenic wet gases which contain more than 96% of the methane and result from the cracking of petroleum or kerogen. Based on the chemistry and composition of the gases and stable isotope data, they seem to be generated from different source rocks. The condensates from the Gorae I and V wells are mostly generated from terrestrial organic matter. Lacustrine organic matter may not play an important role for the generation of these condensates. The condensates from the Gorae V wells consist predominantly of terrestrial organic matter but with minor subsidiary input from marine organic matter. The condensates from Gorae I and V wells may be generated from different source rocks. The thermal maturity level of the condensates from the Gorae V well ranges from early to middle oil generation zone and condensate from Gorae I reaches middle oil window. Correlation of the thermal maturation level of the condensates and organic matter in the sediments reveals that a depth of the generation of liquid hydrocarbons can be inferred to 3,000 m and 3,900 m for the Gorae V and I wells, respectively. Gorae V well, however, did not reach the target depth and the geochemical data of the Gorae I well were obscured due to the severe sediment caving in.

**Keywords** : Ulleung Basin, Block VI-1, reservoir gas, condensate

## 서 론

동해의 VI-1 광구는 울릉분지의 남쪽에 위치하며 총 면적은 12,000 km<sup>2</sup>이다. 1972년 돌고래 1공을 시작으로 현재까지 돌고래, 고래 구조들에서 총 17개 공이 시추되어 국내 대륙붕 석유광구 중에서 가장 활발하게 탐사가 수행된 곳이다. 탐사 시추공 중

에서 돌고래 1공에서는 가스징후 (gas show), 돌고래 2, 돌고래 3, 돌고래 5, 돌고래 5-1에서는 가스를 발견하였고, 고래 1, 고래 5, 고래 5-1, 고래 5-2, 고래 5-3 시추공에서는 가스 및 컨덴세이트를 발견한 바 있다. 특히 고래 5 구조에서 발견된 가스는 상업성이 확인되어 생산을 준비하고 있다(Fig. 1).

울릉분지내의 석유생성과 관련된 유기물 특성에 관한 연구로는

\*한국지질자원연구원, 대전시 유성구 가정동 30 (KIGAM, Gajeong-dong 30, Yuseong-gu, Daejeon, 305-350 Korea), E-mail: yjl@kigam.re.kr

\*\*한국석유공사, 경기도 안양시 관양동 1588-14 (KNOC, Gwanyang-dong 1588-14, Dongan-gu, Anyang, Gyeonggi-do, 431-711, Korea)

시추 퇴적물의 지화화학적 분석 (한국석유개발공사, 1989a, 1989b, 1990a, 1990b, 1991, 1994, 1995a, 1995b, 1995c; PEDCO, 1998; KNOC, 2003), 천부 퇴적물의 탄화수소 가스 특성에 대한 연구 (류 외, 2002; 이 외, 1999a, 1999b, 2003) 및 울릉 분지의 퇴적 작용과 탄화수소 생성 모델링 연구(Lee & Kim, 2002)가 수행된 바 있으나, 저류층에서 발견된 탄화수소에 대한 석유지화학적 특성에 대한 종합적인 연구는 수행되지 못하였다. 이 논문에서는 지금까지 VI-1광구 저류층 구간에서 발견된 탄화수소 즉, 저류층 가스 및 컨덴세이트의 특성을 밝힘으로써 향후 VI-1 광구에서 수행될 석유 및 가스 탐사 연구에 방향을 제시하고자 한다.

### 연구 방법

본 연구를 위해서 한국석유공사에서 제공한 고래 및 돌고래 시추공 시추 암편과 저류층 구간에서 채취된 가스와 컨덴세이트를 사용하였다.

채취된 가스는 실린지를 이용하여 휴렛패커드사 (Hewlett Packard)의 HP 5890 II 가스 크로마토그래피에 주입하여 탄화수소 가스의 함량 및 성분을 분석하였다. 탄화수소 가스의 성분을 분리하기 위해서 모세관 칼럼 (Plot fused silica column)을 사용했다 (길이: 50 m, 내경: 0.32 mm, 필름 두께: 0.5 μm). 탄화수소 가스의 분석 시 가스 크로마토그래피의 주입구 온도는 120°C, 검출기 온도는 200°C로 고정시켰고, 오프의 온도 조건은 100°C에서 5분 머무르고 150°C까지 5°C/분으로 승온시키고 150°C에서

등온 조건을 5분간 유지시켰다. 메탄가스의 탄소 동위원소 측정을 위해서는 휴렛패커드사의 6890 가스 크로마토그래피, 휘간간 매트 (Finnigan Mat)사의 가스 크로마토그래피 (GC Combustion III), Delta plus가 연결된 동위원소 질량분석기 (IRMS)를 이용하였다. 가스의 분리를 위해서는 분자체 (Molecular sieve 5Å) 칼럼 (PLOT Fused Silica type; 길이: 25 m, 내경: 0.53 mm, 필름두께: 50 μm)을 사용하였다.

시추 암편에서 비투멘은 자석교반기와 용매로 염화 메틸렌 (methylene chloride)을 사용하여 추출하였다. 추출된 비투멘은 박층 크로마토그래피 (thin-layer chromatography)에 의하여 지방족, 방향족, 레진 및 아스팔텐으로 분리하였다. 분리된 탄화수소 중에서 포화탄화수소 성분은 HP 5890 시리즈 II 가스 크로마토그래피를 사용하여 성분을 분석하였다. 포화탄화수소 성분을 분석하기 위해서는 HP-1 모세관 칼럼 및 불꽃 이온화 검출기 (Flame Ionization Detector)를 이용하였다. 비투멘과 컨덴세이트의 생물표기화합물 분석은 가스 크로마토그래피-질량 분석기 (Gas Chromatograph-Mass Spectrometer, HP 5989A)를 사용하였다. 운반가스는 초고순도 (99.995% 이상) 헬륨을 사용하였으며 질량 분석기의 이온 소스 온도는 200°C, 이온화 전압은 70 eV에서 분석하였다.

### 저류층 가스

분석된 시추공의 저류층 천연가스는 탄화수소 성분이 92.87~

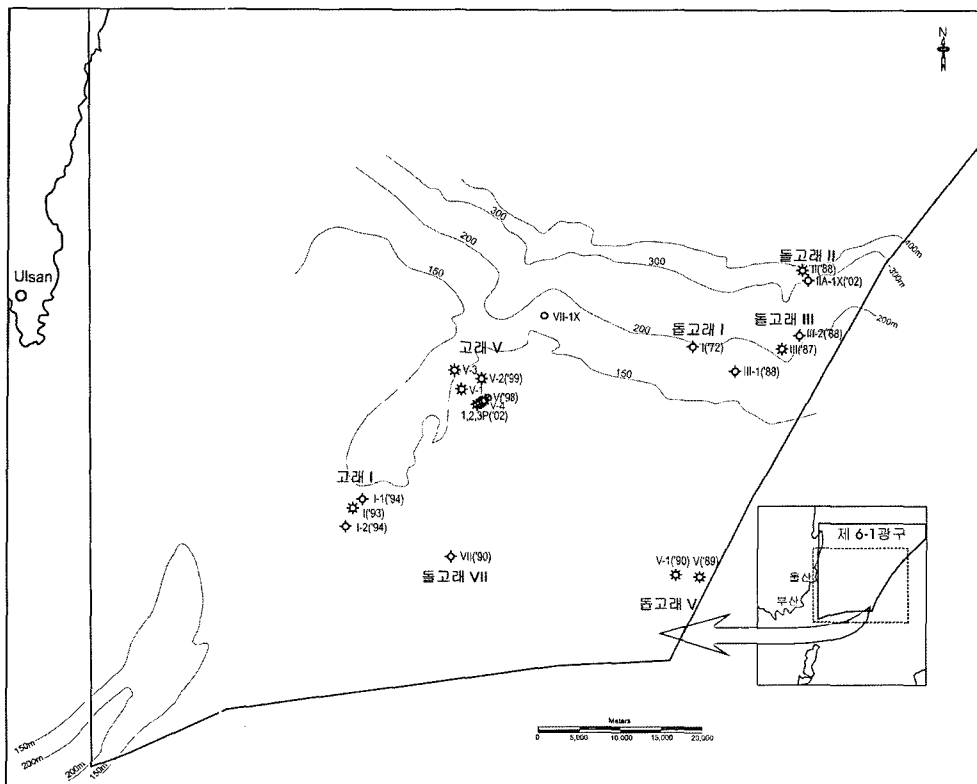


Fig. 1. Location map of the Block 6-1 and exploratory wells.

**Table 1.** Composition and origin of the hydrocarbon gases in the Ulleung Basin

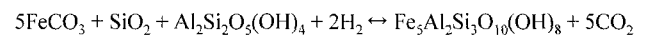
	Gorae 1	Dolgorae III	Gorae V DST #2	Gorae V DST #3	Gorae V-3 DST #1	
Methane	89.83	95.97	90.39	90.81	84.19	
Ethane	5.82	3.80	4.14	4.1	4.00	
Propane	2.79	0.05	1.95	1.93	2.40	
Iso-butane	0.77	0.07	0.43	0.42	0.77	
n-butane	0.79	-	0.48	0.48	0.76	
Iso-pentane	-	-	0.18	0.16	0.38	
n-pentane	-	-	0.11	0.08	0.20	
Hexanes	-	-	0.17	0.11	0.09	
Hexanes+	-	-	0.13	0.02	0.06	
Total HC gas	100.00	99.62	97.98	98.11	92.87	
ΣC <sub>i</sub> /C <sub>n</sub>	0.90	0.96	0.92	0.93	0.93	
CO <sub>2</sub>	-	0.38	1.75	1.64	0.26	
Nitrogen	-	-	0.27	0.25	3.61	
Methane	δ <sup>13</sup> C	-38.80	-42.70	-32.37	-36.39	-37.26
	δD	-121.60	-225.40	-	-	-
Ethane	δ <sup>13</sup> C	-28.57	-	-26.92	-28.92	-
Propane	δ <sup>13</sup> C	-28.19	-	-24.54	-26.89	-
Depth (m)	3,088-3,120	1,359-1,370	2,427-2,470	2,376-2,394	2,156-2,167	
Origin	Thermogenic	Thermogenic	Thermogenic	Thermogenic	Thermogenic	
Stage of evolution	Catagenesis (oil & kerogen cracking)	Catagenesis (oil generation)	Catagenesis (oil & kerogen cracking)	Catagenesis (oil & kerogen cracking)	Catagenesis (oil & kerogen cracking)	

100%를 차지하고 비 탄화수소 (non-hydrocarbon) 가스는 8% 이하이다 (Table 1). 특히 고래 5공의 저류층에서 발견된 가스는 열량이 1,085~1,109 BTU/ft<sup>3</sup>로 높은 것으로 분석되었다. 탄화수소 가스의 조성은 시추공 및 저류층의 심도에 따라서 약간의 차이를 보이지만 모든 시추공에서 메탄 (CH<sub>4</sub>)의 함량이 84.19~95.97%로 다른 성분에 비해서 월등히 우세하게 나타났고, 다음으로 함량이 높은 것은 에탄 (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)으로 3.80~5.82%이다 (Table 1).

고래 1공과 돌고래 3공의 저류층 탄화수소 가스가 메탄에서부터 부탄까지 포함하는 것과는 달리 고래 5공의 저류층 구간에서는 미량이지만 펜탄 (C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>), 헥산 (C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>) 및 그 보다 무거운 성분 (C<sub>6+</sub>)도 포함된다. 분석된 저류층 가스는 총 탄화수소 성분 중에서 메탄의 함유비가 모두 96% 이하로 습성 가스로 분류된다 (Table 1). 습성가스는 천연가스 100 m<sup>3</sup> 내에 액체로 응축될 수 있는 성분 (gas liquid vapor)이 1.3 l 이상 포함되어 있는 탄화수소 가스로 메탄 함유비가 97% 이하인 가스이다 (Tissot & Welte, 1984; Hunt, 1996). 고래 5공의 생산성 시험구간 #2 및 #3에서 채취한 가스는 조성이 매우 유사하므로 동일한 근원암에서 생성되어 유사한 이동경로를 통해서 집적되었을 것으로 보인다 (Table 1).

비탄화수소 가스는 이산화탄소와 질소가 각각 0.38~1.75%와 0.27~3.61% 포함되어 있다. 저류층에 함유되는 이산화탄소 가스의 기원으로는 몇 가지를 생각할 수 있지만 우선 유기 기원과 무기 기원으로 구분할 수 있다. 유기 기원은 주로 부식질 유기물의 분해에 의하여 다이아제네시스와 카타제네시스 동안에 생성되는데 carbonyl(C=O), methoxyl(-OCH<sub>3</sub>), phenolic hydroxyl(-OH)

그리고 산소를 포함하는 다른 작용기가 분해되면서 생성된다. 무기 기원의 이산화탄소 가스는 유기 기원의 이산화탄소보다 깊은 심도에서 생성된다. 무기 기원 중 보편적인 것은 탄산염암류와 카올리나이트가 결합해서 녹니석과 이산화탄소를 생성하는 것이다 (Hutcheon and Abercrombie, 1989).



이 화학 반응은 100°C 이상에서 시작되고 160°C에서 평형상태에 이른다. 이산화탄소 가스의 또 다른 기원은 화산활동이다. 고온의 마그마가 탄산염암을 뚫고 분출할 때 탄산염암이 분해되고 CO<sub>2</sub> 가스가 생성되어 주변의 저류층에 집적된다 (Hunt, 1996). 이상과 같은 것들이 일반적인 저류층 이산화탄소 생성 메커니즘이며, 기원에 따라서 탄소동위원소 (δ<sup>13</sup>C) 값이 달라진다. 따라서 울릉분지 석유 시추공에 분포하는 이산화탄소 가스의 정확한 기원을 밝히기 위해서는 이산화탄소의 동위원소 분석이 필요하다 (Table 2; Hunt, 1996).

저류층에 포함된 질소는 퇴적분지 공극수의 일반적인 구성성분

**Table 2.** Variation of δ<sup>13</sup>C of CO<sub>2</sub> from different sources (Hunt, 1996)

Source	δ <sup>13</sup> C (‰)
Thermal degradation of organic matter	-8~-12
Thermal degradation of carbonates	+4~-5
Bacterial oxidation of methane	-20~-59
Volcanic degassing	-8
Atmospheric CO <sub>2</sub>	-8

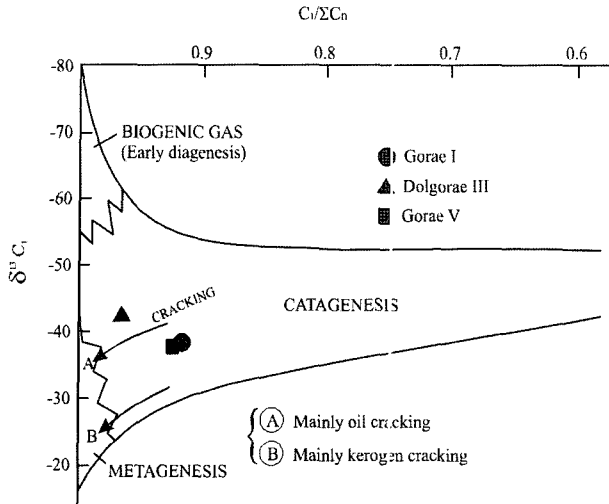


Fig. 2. Relative abundance and isotopic composition of methane in gases from offshore Korea.

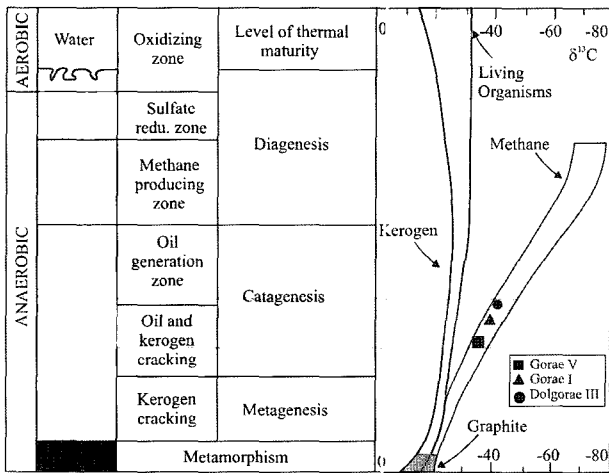


Fig. 3. Thermal maturation level of reservoir gases in offshore Korea Block VI-1 (based on  $\delta^{13}C$  of Methane, after Tissot & Welte, 1984).

의 하나로 공극수에 있던 암모니아 혹은 질소 함유 유기물이 중금속 산화물이나 산소를 함유하는 간극수에 의해서 산화됨으로써 생성된다 (Hunt, 1996). 고래 5-3공의 저류층 구간에서 발견된 가스에서는 질소 성분이 3.61%로 다른 시추공에 비해서 비교적 높게 나타났는데 이는 가스의 채취 과정에서 공기에 의한 오염으로 판단된다.

메탄의 탄소 동위원소 측정 결과에 의하면 돌고래 3, 고래 1, 고래 5공의 저류층 가스는 카타제네시스 단계, 혹은 석유 생성대에서 석유나 케로젠의 크래킹에 의해서 생성된 것으로 나타났다 (Table 1, Fig. 2, Fig. 3). 저류층 가스의 열적성숙 단계는 돌고래 3공에서 가장 낮고, 고래 1공, 고래 5-3공 #1 구간, 고래 5공 #3 구간, 고래 5공 #2 구간 순으로 높아지는 것으로 나타났다 (Fig. 4, 4). 이와 같이 저류층의 심도 혹은 시추공에 따라서 가스의 열적성숙단계가 다르게 나타나는 것은 열적성숙도가 다른 근원암에서 가스가 생성되었거나 가스가 이동하는 동안에 동위원

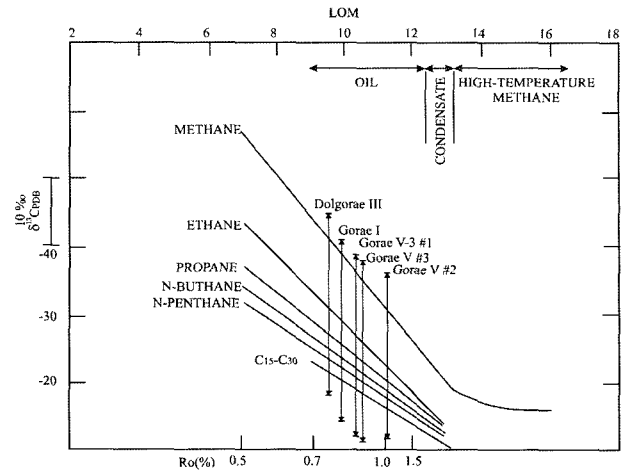


Fig. 4. Measured carbon isotopic separations of reservoir gases based on calculated maturation diagram.

소 분별작용에 의해서 동위원소 성분이 변한 것으로 가정할 수도 있다 (Prinzhofer *et al.*, 2000). 그러나 시추공에 따라서 저류층 가스의 구성성분이 차이를 보이는 것을 고려할 때 VI-1 광구의 저류층 탄화수소 가스 특성들은 분별증류보다는 근원암이 서로 다를 가능성이 높다.

### 컨덴세이트

고래 5공의 생산성 시험 구간 (DST #2, #3)에서 회수된 컨덴세이트의 노말 알칸은 가솔린 범위의  $C_5 \sim C_{10}$ 이 주종을 이루며 (최대 피크:  $C_6$ ),  $C_{20}$  이상의 성분이 매우 적은 경질 탄화수소 (51-53° API)의 특징을 나타낸다 (Table 3). 생물표기화합물 분석에서 고래 5공의 컨덴세이트에서는 프리스테인/파이테인 비가 6.5~6.7로 매우 높게 나타나고 올레안 지수도 38~45로 높게 나타므로 이 컨덴세이트가 주로 육상기원 유기물을 포함하는 근원암에서 생성된 것으로 판단된다 (Peters & Moldowan, 1993). 특히 탄화

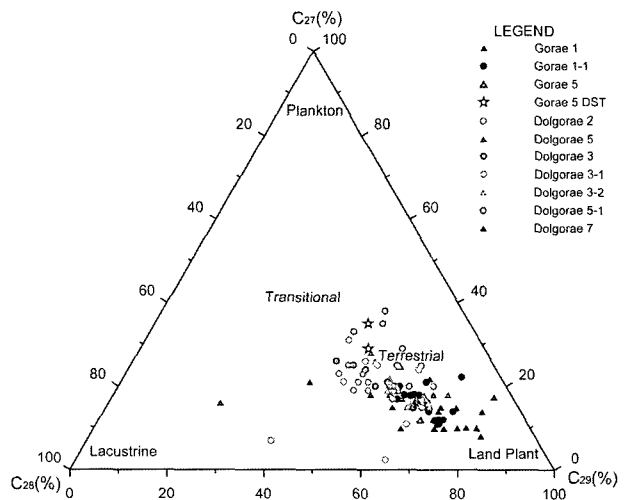


Fig. 5.  $C_{27-28-29}$  sterane ternary diagram of reservoir condensate and drilling cuttings.

**Table 3.** Geochemical parameters of the condensates and source rocks

Parameters		Condensates			Source Rocks			
		Gorae I	GoraeV #2	GoraeV #3	Gorae I	GoraeV	Dolgorae III	Dolgorae V-1
Depth (m)		3,088-3,120	2,427-2,470	2,376-2,394	3,940	2,555	3,190	2,220
n-Alkane Peak		C <sub>13</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>29</sub>	C <sub>22</sub>	C <sub>29</sub>	C <sub>18</sub>
δ <sup>13</sup> C		-27.1	-27.4	-27.4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
API gravity		42.7	51	53	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Composition	Aliphatic	65	34	n.a.	41	33	32	35
	Aromatic	34	61	n.a.	16	27	26	33
	NSO	2	5	n.a.	43	40	42	32
Light Hydrocarbon	Aromaticity B	2.13	1.78	1.58	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Aromaticity X	2.69	1.19	1.09	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Paraffinicity F	0.25	0.31	0.31	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Paraffin Index I	0.985	0.92	0.93	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Heptane Value	12	13.32	13.08	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Biomarkers	Pr/Ph	6.63	6.7	6.5	4.4	1.3	3.79	2.42
	Pr/nC <sub>17</sub>	1.28	1.19	1.19	2.12	7	5.16	2.42
	Ph/nC <sub>18</sub>	0.22	0.21	0.22	0.43	0.6	1.07	0.76
	CPI	1.4	1.14	1.14	1.26	1.2	1.62	1.30
	Oleanane Index	60.7	45	38	57.5	50	37	n.a.
	Ts/(Ts+Tm)	41	24	n.d.	56	24	35	30
	%20S C <sub>29</sub> Sterane	50	37	45	55	32	33	45
	C <sub>30</sub> Sterane Index	0	7.9	4.3	0	n.a.	0	n.a.
	24-Nordia/ (27+24-Nordia) Index	n.d.	62	64	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	% Regular Sterane	24-27-48	29-24-47	35-21-44	22-15-64	25-19-56	21-24-55	24-20-56
4-Methyl sterane Index	n.d.	0.1	0.1	n.d.	n.a.	n.a.	n.a.	

n.a.: not analyzed; n.d.: not detected

수소 성분 중에서 방향족 성분이 매우 우세하게 나타나므로 탄질 물을 많이 함유하는 근원암에서 유래되었을 가능성이 있다 (Cooper, 1990). 그렇지만 해양성 구조류를 지시하는 생물표기화합물인 24/(27+24)-nordiacholestane과 C<sub>30</sub> 스테란이 검출되는 것은 해양성 유기물이 컨테세이트를 생성하는데 기여했을 것으로 생각한다 (Table 3). 또한 스테란 C<sub>27-28-29</sub> 분석 결과를 삼각도표에 나타낼 때 접이대 (transitional zone)에 비교적 가깝게 위치하므로 육상기원 유기물의 영향이 매우 우세한 가운데 해성기원의 유기물이 일부 유입된 것으로 볼 수 있다 (Fig. 5). 그렇지만 황해나 동중국해분지, 보하이분지 등의 호성 퇴적분지에서 나타나는 4-methyl sterane이 거의 나타나지 않는 것으로 보아 호성기원 유기물이 컨테세이트 생성에 영향을 미쳤을지는 의문이다 (Table 3). 고래 5공의 생산성 시험구간 #2와 #3에서 채취한 컨테세이트의 스테란과 (%20S C<sub>29</sub> Sterane) 호판류 생물표기화합물 분석에 [Ts/(Ts+Tm)] 의하면 고래 5공 #3 구간의 컨테세이트는 주 석유생성 단계 중기의 열적성숙 단계에 해당하고 #2 구간의 컨테세이트는 주 석유생성 단계 초기에 해당하는 것으로 나타났다 (Table 3). 즉, 고래 5공의 시험구간 #3의 컨테세이트가 #2보다 열적으로 더 진화되어 있다. 이것은 심부에서 생성된 컨테세이트가 이동시에 열

적 성숙도가 낮은 것과 혼합되어 나타난 현상 혹은 분별증류에 의한 현상으로 해석할 수도 있다 (Table 3).

고래 1공의 생산성 시험구간 (3,088~3,120 m)에서 채취된 컨테세이트는 노말 알칸 중 C<sub>13</sub> 노말 알칸 피크가 가장 우세하게 나타났고 가장 무거운 성분은 C<sub>32</sub>로 고래 5공의 컨테세이트보다는 무거운 성분들이 많이 함유되어 있는 것으로 나타났다. 탄화수소 성분 중 포화탄화수소 함유비는 65%, 방향족 탄화수소는 33.8%, 그리고 NSO 성분은 1.2%로 고래 5공과 마찬가지로 비교적 방향족 탄화수소 성분이 우세하다 (Table 3). 높은 프리스테인/파이테인의 비와 프리스테인/nC<sub>17</sub>, 파이테인/nC<sub>18</sub> 비등을 고려할 때 컨테세이트를 생성한 지층은 주로 타일 III에 비교되는 유기물을 포함하고 산화환경에 노출되기 쉬운 환경이었음을 지시한다. 오래 아난 지수가 60.7로 매우 높게 나타나는 것도 육상기원 유기물의 영향을 나타낸다. 생물표기화합물 분석 결과에서 고래 5공의 컨테세이트가 해성 유기물의 영향을 일부 보이는 것과는 달리 고래 1공에서는 해성 유기물의 특징이 나타나지 않는다. 고래 1공의 컨테세이트가 고래 5공에 비해 비교적 무거운 알칸 성분을 많이 포함하고 비중도 높은 것은 육상기원 유기물이 탄화수소 생성에 중요한 역할을 했다는 것을 지시한다.

노말 알칸 및 기타 탄화수소 성분 분석결과에 의하면 고래 1 및 5공의 컨텐세이트는 생물분해, 물 씻김 등에 의한 변질을 받지 않은 것으로 판단된다. 그러나 Aromaticity B가 매우 높고 (고래 1: 2.13, 고래 5: 평균 1.68) 상대적으로 Paraffinicity F (고래 1: 0.25, 고래 5: 0.31)는 매우 낮게 나타나는 것을 고려하면 분별증류 현상에 의한 것으로 고려할 수 있다 (Table 3).

**비투멘 특성**

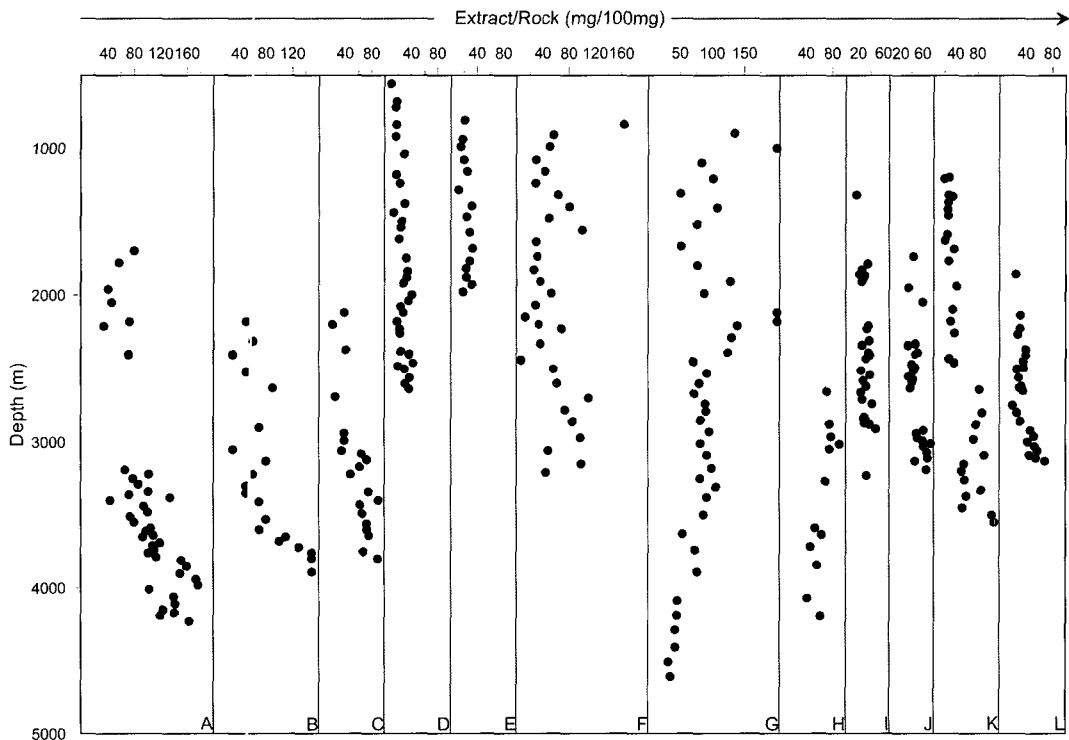
돌고래 2공의 추출성 비투멘 함량은 분석된 구간에서 173~419 ppm이고, 주로 근원암에서 유래된 것으로 유흔을 나타내지 않았다. 돌고래 3, 3-1, 3-2공의 시료에서 추출된 비투멘의 양은 대부분의 분석 구간에서 500 ppm 이하로 적게 나타났다 (Fig. 6; I, J, K, L). 그러나 돌고래 3-1공의 2,600 m 하위 구간에서는 추출성 유기물의 양이 평균 500 ppm 이상으로 나타났고 이 구간에서는 Rock-Eval 열분석의 S1 값도 비교적 높게 나타나므로 일부 구간에서는 소량의 탄화수소 생성 및 이동 가능성을 시사한다. 돌고래 5공의 추출성 유기물은 127~268 ppm의 범위를 보여 이동된 것이라기보다는 근원암 자체에서 추출된 비투멘으로 간주되지만 돌고래 5-1공의 일부 구간에서는 추출성 유기물의 양이 비교적 많아서 탄화수소의 이동 가능성을 나타내기도 한다 (Fig. 6의 E, F). 돌고래 7공의 추출성 유기물의 함량은 다른 돌고래 시추공에 비해서 비교적 높다 (Fig. 6의 G). 특히 2,000~2,200 m 구간의 시료는 추출성 비투멘의 함량이 상당히 높아서 근원암에서 생성되어 이동된 탄화수소일 가능성을 보인다. 고래 1공에서

는 3,200 m 하위의 일부 구간에서 추출성 유기물의 양이 높게 나타나는 것도 이동된 탄화수소의 증거를 시사하는 것으로 볼 수 있다. 고래 1-1공도 3,650~3,720 m 구간에서 추출성 유기물의 양이 비교적 높은 것으로 나타났다. 고래 1-2공과 고래 5공의 추출성 비투멘 함량은 매우 적어서 이동된 탄화수소의 흔적을 나타내는 것으로는 보이지 않는다 (Fig. 6의 A, B, C, D).

**근원암-오일 대비**

6-1 광구에서 시추암편 시료의 생물표기화합물 분석 결과에 의하면 올레아난 지수가 매우 높고 프리스테인/피이테인 비도 비교적 높아서 대부분의 시료에서 추출된 비투멘이 주로 육상 기원 유기물로부터 생성된 것임을 나타내었다 (Table 1). 스테란과 프리스테인/nC<sub>17</sub>, 피이테인/nC<sub>18</sub> 분석에 의하면 고래 1, 1-1, 1-2 시추공 퇴적물은 주로 육상기원 유기물을 포함하는 것으로 나타났고 돌고래 시추공의 일부 구간에서 해성 조류가 퇴적물에 유입된 흔적을 보인다 (Figs. 5, 7). 이러한 생물표기화합물 특징에 의하면 고래 1 시추공에서 발견된 컨텐세이트는 육상기원 유기물의 퇴적 작용이 활발한 고래 1 구조 시추공들 주변의 퇴적물로부터 생성되었을 가능성을 시사한다.

생물표기화합물의 열적성숙도 자료에 의하면 고래 1 시추공의 저류층에서 발견된 컨텐세이트는 고래 1공이 시추된 지역 심도 3,900 m 비투멘의 열적성숙단계와 같은 것으로 분석되었다 (Table 1). 그렇지만 고래 1 시추공에서는 공내 봉락이 매우 심하게 일어났기 때문에 시추공 시료에서 탄화수소 생성 증거를 확인하기가



**Fig. 6.** Variation of soluble extract with depth in Ulleung Basin. A:Gorae 1, B:Gorae 1-1, C:Gorae 1-2, D:Gorae 5, E:Dolgorae 5, F:Dolgorae 5-1, G:Dolgorae 7, H:Dolgorae 1, I:Dolgorae 2, J:Dolgorae 3, K:Dolgorae 3-1, L:Dolgorae 3-2.

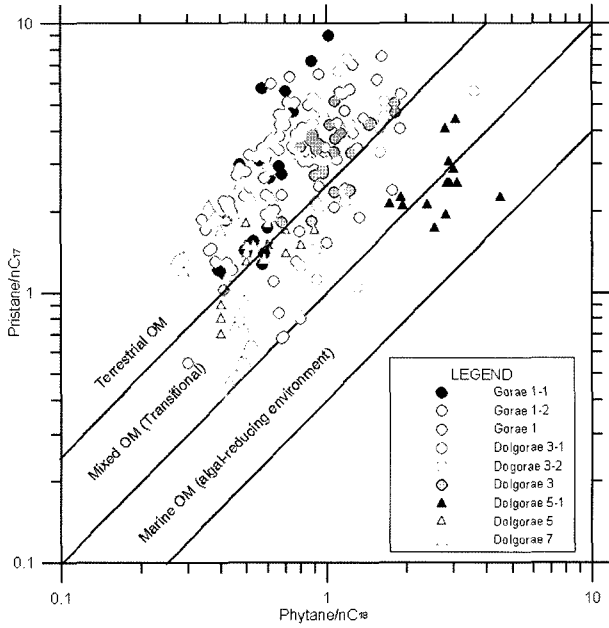


Fig. 7. Cross plot of pristane/nC<sub>17</sub> versus phytane/nC<sub>18</sub> (Shanmugam, 1985).

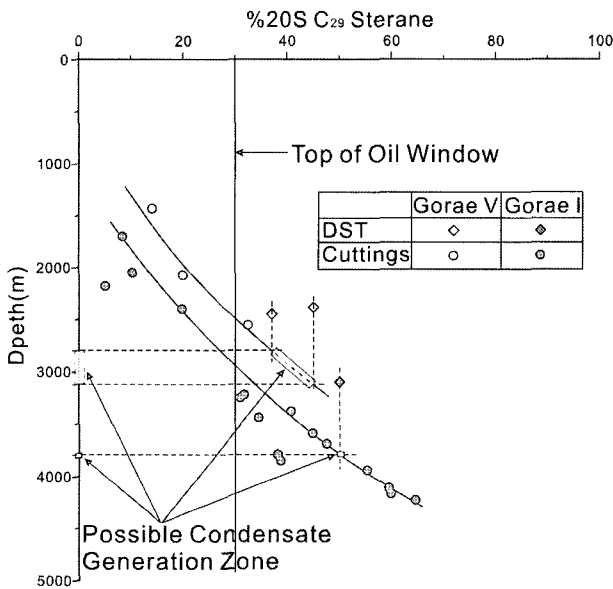


Fig. 8. Estimation of condensate generation zone in the Goraе I and Goraе V well by %20S C<sub>29</sub> sterane.

매우 어렵다. 단지 고래 1, 1-1 시추공의 3,200 m 하위 구간에서 추출성 비투멘의 양이 비교적 많은 것이 탄화수소 생성과 관련이 있을 수도 있는 것으로 생각된다.

고래 5공의 컨덴세이트 시료는 육상기원 유기물의 영향 외에 미약하지만 해상 조류의 특징도 나타내는데 고래 5공에서는 시추시료에 대한 분석이 충분히 이루어지지 않아서 해석에 어려움이 따른다. 단지 고래 1공 지역보다는 고래 5공 지역에서 해상 유기물의 영향이 좀 더 많아지는 경향을 고려하면 고래 5공의 저류층에서 발견된 컨덴세이트는 고래 5공 지역에서 생성되었을 가능성이

높다 (Figs. 5, 7). 이러한 결과는 고래 1공과 고래 5공에서 발견된 컨덴세이트의 근원암은 서로 다를 가능성을 시사하는 것이다. 스티란 생물표기화합물 파라메타를 이용해서 컨덴세이트의 열적 성숙단계를 근원암의 열적성숙도와 비교하면 고래 5공 저류층의 컨덴세이트는 지층의 용기활동과 삭박이 심하게 일어나지 않았다는 조건을 전제로 하여 약 3,000 m 부근에서, 고래-1공의 컨덴세이트는 약 3,900 m 부근에서 생성되어 현재의 저류층으로 이동되었다고 추측할 수 있다 (Fig. 8).

### 결론

울릉분지 VI-1광구의 돌고래 3-1, 고래 1, 고래 5 및 고래 5-3 공의 저류층에서 채취된 천연가스와 컨덴세이트에 대한 지화학적 특성을 분석하고 근원암의 발달 가능 구간을 추정하였다. 저류층 구간의 천연가스는 탄화수소 성분을 93% 이상 함유하는 습성가스이다. 메탄의 탄소 동위원소 ( $\delta^{13}C$ ) 분석에 의하면 이들 탄화수소 가스는 석유나 케로젠의 크래킹에 의해서 생성된 것으로 해석되며, 고래 1, 돌고래 3, 고래 5, 5-3공의 저류층 가스는 석유생성 단계 후기 내지 습성가스 단계에서 생성되어 이동된 것으로 나타난다.  $\delta^{13}C$  분석에 의하면 저류층 가스의 열적성숙단계가 서로 다르고, 고래 1공, 돌고래 3공, 고래 5-3공의 #1구간, 고래 5공의 #2 구간, 고래 5공의 #3 구간 순으로 열적성숙도가 높아지므로 가스를 생성한 근원암이 서로 다를 가능성을 보인다.

생물표기화합물 분석에 의하면 고래 1공과 고래 5공의 저류층 구간의 컨덴세이트는 육상 기원 유기물이 매우 우세하게 포함된 근원암으로부터 생성된 것으로 나타난다. 고래 5공에서 해양성 구조류를 지시하는 생물표기화합물이 검출된 것은 해양성 유기물이 컨덴세이트를 생성한 기원 물질로 작용을 했을 가능성을 시사하지만 그 영향은 미미한 것으로 나타났다. 이러한 점은 저류층 가스 분석 결과와 마찬가지로 고래 5공과 고래 1공의 컨덴세이트는 각기 다른 근원암에서 유래했을 가능성을 보여 주는 것이다.

컨덴세이트의 열적성숙도는 주 석유생성단계 초기 내지는 중기에 해당하는 것으로 나타났다. 시추시료의 열적 성숙도 변화 경향과 컨덴세이트의 열적성숙도를 비교하여 컨덴세이트의 생성 구간을 추정하면 고래 5공에서는 심도 3,000 m 부근, 고래 1공에서는 3,900 m 구간 부근일 가능성이 있다.

### 참고문헌

류병재, 서상용, 오재호, 김원식, 박근필, 정태진, 허대기, 정부홍, 한현철, 이효영, 손병국, 김현태, 선우돈, 유동근, 장성형, 이영주, 김세준, 김학주, 김정기, 김성필, 공기수, 김영진, 김경오, 구남형, 강무희, 김지훈, 서갑석, 퇴종규, 황규덕, 백여순, 이영철, 이정환, 조병학, 2002, 가스 하이드레이트 탐사 및 개발 연구, 산업자원부, 353p.

이영주, 유동근, 김일수, 류병재, 2003, 울릉 분지 남서부 심해저 퇴적층에 분포하는 천부 가스의 지화학적 및 지구물리 특성. 자원환경지질학회지, 36, 149-157.

이영주, 정태진, 박영훈, 김학주, 윤혜수, 1999a, 국내 대륙붕 및 육상에 분포하는 탄화수소 가스의 지화학. 한국석유지질학회 제6차 학술 발표회 논문집, 40-49.

이영주, 허 식, 곽영훈, 김학주, 천종화, 한상준, 유해수, 1999b, 울릉 분지 남동부 시추 퇴적물내에 함유되어 있는 천연가스의 특성. 한국석유지질학회지, 7, 35-40.

한국석유개발공사, 1989a, 제VI-1광구 돌고래 2공 시추시료 분석보고서.

한국석유개발공사, 1989b, 제VI-1광구 돌고래 3, 3-1, 3-2공 시추시료 분석보고서.

한국석유개발공사, 1990a, 제VI-1광구 고래 5-1공 시추시료 분석보고서.

한국석유개발공사, 1990b, 제VI-1광구 고래 5공 시추시료 분석보고서.

한국석유개발공사, 1991, 제VI-1광구 돌고래 7공 시추시료 분석보고서.

한국석유개발공사, 1992, 국내 대륙붕 제 VI-1 광구 층서 트랩 평가.

한국석유개발공사, 1994, 제VI-1광구 고래 1공 시추시료 분석보고서.

한국석유개발공사, 1995a, 제VI-1광구 고래 1-1공 시추시료 분석보고서.

한국석유개발공사, 1995b, 제VI-1광구 고래 1-2공 시추시료 분석보고서.

한국석유개발공사, 1995c, 제VI-1광구 고래 1-2공 시추시료 분석보고서.

Cooper, B.S., 1990. Practical petroleum geochemistry. London: Robertson Scientific Publications. 174p.

Hutcheon, I. and Abercrombie, H.J., 1989. The role of silicate hydrolysis in the origin of CO<sub>2</sub> in sedimentary basins. Proceedings of the Sixth International Symposium: on Water-Rock Interaction. Rotterdam, Balkema. 321-324.

Hunt, 1996, Petroleum geochemistry and geology. Freeman, New York, 743p.

KNOC, 2003, Petroleum geochemistry screening study of the interval 910 m to 2595 m (T.D.), DG2A-1X well, Ulleung basin, Block VI-1 offshore Korea.

Lee, G.H. and Kim, B.Y., 2002, Infill history of the Ulleung Basin, East Sea (Sea of Japan) and implications on source rocks and hydrocarbons, Marine and Petroleum geology, 19, 829-845.

PEDCO, 1998, Petroleum geochemistry and sedimentary petrology of the Gorae V, offshore Korea Block VI-1.

Peters, K.E. and Moldowan, M.M., 1993, The Biomarker Guide: Interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 363p.

Prinzhofer, A., Mello, M.R., and Tikae, T., 2000, Geochemical Characterization of natural gas: A physical multivariable approach and its application in maturity and migration estimates. AAPG Bulletin, 84, 1152-1172.

Shanmugam, G., 1985. Significance of coniferous rain forests and related organic matter in generating commercial quantities of oil, Gippsland Basin, Australia. AAPG Bulletin, 69, 1241-1254.

Tissot, B.P. and Welte, D.H., 1984, Petroleum Formation and Occurrence, Springer-Verlag, 538p.

(2005. 5. 30 원고 접수)

(2005. 6. 20 수정본 채택)