

울릉분지 남동부 시추 퇴적물 내에 함유되어 있는 천부가스의 특성

Geochemistry of Shallow gases taken from the core sediments in the Southeastern Ulleung Basin

이영주 (Youngjoo Lee)* · 허 식 (Shik Huh)** · 광영훈 (Younghoon Kwak)* · 김학주 (Hagju Kim)*
천종화 (Jong-Hwa Chun)** · 한상준 (Sang-Joon Han)** · 유해수 (Hai-Soo Yoo)**

요 약

동해 울릉분지에 분포하는 천부 가스의 특성을 파악하기 위해서 분지 남동부 해역에서 채취한 시추 코아 (98EEZ-3)에서 가스를 포집하여 탄화수소 가스의 함량, 성분 및 탄소 동위원소 분석을 실시하였다. 또한 가스의 함량과 시추 코아 퇴적물의 연관성 및 특성을 파악하기 위해서 시추 퇴적물에 대해서 유기 지화학 분석을 실시하였다. 시추 코아에서 포집된 천부가스 중 탄화수소 가스의 함량은 755.3 ppm 에서 6176.7 ppm을 나타냈다. 탄화수소 가스로는 메탄의 함량이 가장 우세해서 697.9~6054.4 ppm을 포함하였고 메탄 외의 탄화수소 성분으로는 에탄, 프로판, 부탄, 헥산이 소량 분석되었다 (100 ppm 이하). 퇴적물 분석 결과 총 탄소는 1.84~5.11%, 유기탄소는 0.29~2.65%의 함유량을 나타냈다. 총 유기탄소와 총 질소의 비율은 분석 구간 중 일부를 제외하고는 10 이상으로 육상 기원 유기물의 유입이 우세했음을 시사한다. 포집된 총 탄화수소 가스 중 메탄의 성분비와 탄소 안정 동위원소 비를 고려하면 울릉분지 남동부에 분포하는 천부가스는 열기원 가스가 우세하고 일부는 생물기원 가스와 혼합되어 나타나는 양상을 나타낸다. 시추 퇴적물 중 유기물의 열적 성숙도는 동위원소 결과에 따른 가스의 열성숙 단계 보다 낮게 나타나서 시추구간보다 심부에서 생성된 열기원 가스가 이동하여 현재의 위치에 집적되어 있는 것으로 해석된다.

주요어 : 천부 가스, 울릉 분지, 생물기원 가스, 열기원 가스

Abstract : Chemical and isotopic compositions of hydrocarbon gases were analyzed to characterize the properties of the shallow gases distributed in the southeastern part of the Ulleung Basin, offshore Korea. Sediments from the core were also analyzed to determine the characteristics and relationship to shallow gases. Hydrocarbon gases in the sediments consisted of methane (697.9-6054.4 ppm), ethane, propane, butane and hexane. The total carbon content of the sediments ranges from 1.84% to 5.11% and the total organic carbon content ranges from 0.29% to 2.65%. High C/N ratio (>10) indicates that input of terrestrial organic matter was prevalent at the time of deposition. The methane content and stable isotopic data indicate that hydrocarbon gases from the sediments are identified to be thermogenic gas and mixture of both biogenic and thermal gases. Based on the Rock-Eval and carbon isotopic data, the level of thermal maturity of organic matter in the sediments ($T_{max} < 425^{\circ}C$) is lower than that of gas. It suggests that thermal gases in the sediments migrated from the deeper sediments than the penetrated depth.

Key words : shallow gas, Ulleung Basin, biogenic gas, thermogenic gas

서 론

환경 친화적인 청정 에너지원으로 1980년대 이후부터 탐사 및 개발이 활발히 진행되고 있는 천연가스는 재래가스 (conventional gas)와 비재래가스 (nonconventional gas)로 구분된다. 재래가스는 기존의 가스 저류층에서 발견되는 가스를 칭하고, 비재래가스는 이와 생성 및 집적 메커니즘이 다른 수용성 가스 (water-dissolved gas), 석탄층 가스 (coalbed methane), 타이트 저류층 가스 (tight reservoir gas), 가스 하이드레이트 (gas hydrate), 천부가스 (Shallow gas) 등을 일컫는다. 기존의 가스전 탐사 및 개발은 주로 재래 가스에 집중되어 있었던 것에 반해서 최근에는 비재래 가스에 대한 연구 및 개발이 활발히 이루어지고 있다

(Kvenvolden, 1996; Marsden and Kawai, 1965; Rice, 1992).

비재래가스인 천부가스 (shallow gas)는 해저면 혹은 지하 1,000 m 이내의 퇴적물 내에 분포하는 가스로 외국에서는 1980년대 후반부터 지구 물리학적 및 지화학적 특성에 대한 연구를 수행하고 있다 (Davis, 1992; Premchitt *et al.*, 1992).

국내에서 천연가스에 대한 연구는 재래 가스인 대륙붕의 천연 가스에 대한 연구 (한국석유개발공사, 1989, 1994; 이영주 외, 1999) 및 비재래 가스인 포항 지역 수용성 가스 (광영훈 외, 1995, 1996; 이영주 외, 1998) 에 대한 연구가 이뤄진 바 있다. 한편 천부가스에 대한 연구로는 국내 대륙붕에 분포하는 가스에 대해 지구물리학적 증거가 밝혀진 바 있고 (류병재 외, 1998) 동해 울릉 분지 남동부에서 채취한 시추퇴적물에서 균열조직과 로

*한국자원연구소 석유해양연구부(Petroleum and Marine Research Division, KIGAM, P.O. Box 111, Yusung, science Town, Taejon 305-350, Korea)

**한국해양연구소 해양지질연구단(Marine Geology and Geophysics division, KORDI, Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea)

도크로사이트 자생광물의 형성이 천부가스층 분포의 증거로 제시된 바 있다 (허식 외, 1999). 그러나 시추 코아에서 천부가스를 직접 채취하여 분석한 자료는 국내에서는 이루어진 바가 없다. 본 연구에서는 대륙붕 울릉 분지 남동부의 천부 시추 코아에서 가스 시료를 포집하여 탄화수소 가스의 특성을 밝히고자 하였다. 탄화수소의 성분 및 함량을 분석하였고, 탄화수소 가스 중에서 메탄 가스에 대해서 탄소 안정 동위원소 분석을 통해서 가스의 기원 및 특성을 밝히고 시추 코아 퇴적물을 유기 지화학적으로 분석해서 천부가스와의 연관성을 밝히고자 하였다.

시료 및 분석

동해 울릉분지 남동부 대륙 사면에 분포하는 천부 가스의 특성을 파악하기 위해서 온누리호에 장착되어 있는 길이 12m의 피스톤 코어러 (미국 Benthos사)를 사용하여 수심 1,970 m 지점에서 1,018 cm 길이의 시추 코아를 획득하여 (그림 1), 수평균열이 잘 발달되어 있는 715-865 cm 구간에서 분석을 실시하였다. 회수된 코아는 현장에서 가스가 새어나가지 않도록 밀봉하여 실험실로 운반한 후 가스 팽창에 의한 수평 균열이 있는 곳에서 셉텀과 진공 포집기 (vacutainer)를 이용하여 총 7개 지점에서 천부가스를 채취하였다 (그림 2). 채취된 가스는 실린지를 사용하여 휴렛 팩커드사 (Hewlett Packard)의 HP 5890 II 기체 크로마토그래프에 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 기체 크로마토그래프의 주입구 온도는 120°C, 검출기 온도는 200°C로 고정시켰고 오븐의 온도 조건은 100°C에서 5분 머무르고 150°C까지 5°C/분으로 승온시키고 150°C에서 등은 조건을 5분간 유지시켰다. 탄화수소 가스의 정량 분석을 위해서 표준 가스는 스카티 (Scotty)사의 표준

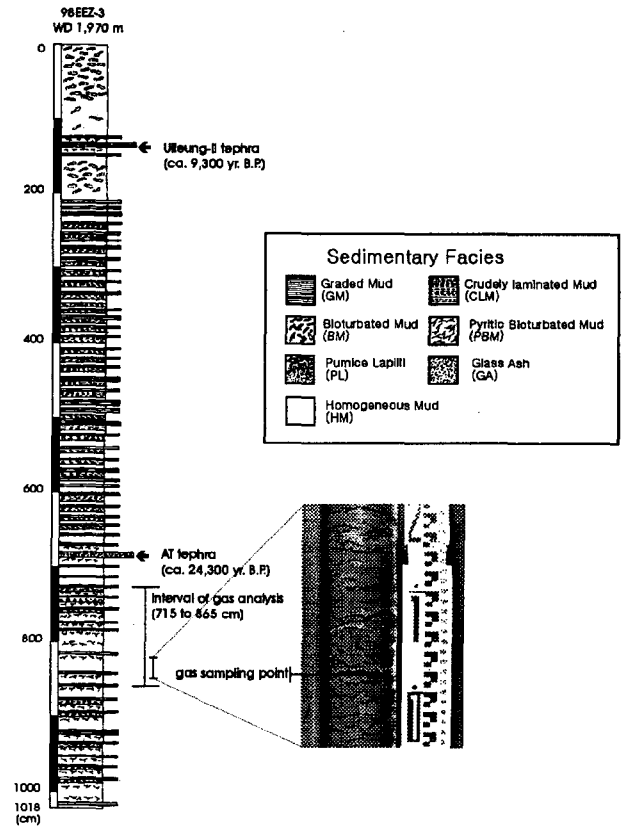


Fig. 2. Description of the 98EEZ-3 Core with interval of sediment and gas sampling.

가스 시료를 이용하였고 분석 시 운반 가스는 고순도 헬륨 (99.9995%)을 이용하였다. 메탄 가스의 탄소 동위원소 측정을 위해서는 휴렛팩커드사의 6890 기체 크로마토그래프, 휘니간 매트 (Finnigan Mat) 사의 기체 크로마토그래프 (GC Combustion III), Delta plus가 연결된 동위원소 질량분석기 (IRMS)를 이용하였다. 가스의 분리를 위해서는 분자체 (molecular sieve 5Å) 칼럼을 (길이; 25 m, 내경; 0.53 mm, 필름두께; 50 μm) 사용하였다.

천부 가스와 천부가스 함유 지층과의 연관성을 알아보기 위해서 가스를 포집한 후에 코아를 절개하여 심도 별로 총 10개의 퇴적물을 채취하였다. 채취한 퇴적물은 냉동 건조기에서 수분을 제거한 뒤 미세 분말로 만들어서 유기 지화학 분석을 실시하였다. Rock-Eval 6 (프랑스 Vinci사)로 총 유기탄소 및 유기물의 열분석 (pyrolysis)을 실시하였고, WR-112 탄소 분석기 (미국 Leco사) 및 CHN-900 분석기 (미국 Leco사)를 사용하여 총 탄소 및 총 질소 함량을 분석하였다.

분석 결과 및 토의

가스의 함량 및 성분

시추 코아에서 포집한 천부가스 중 총 탄화수소 가스의 함량은 755.3 ppm에서 6176.7 ppm의 분포를 나타낸다 (표 1). 총 탄화수소 가스의 양은 가스시료를 포집한 심도에 따라서 차이를 보이는

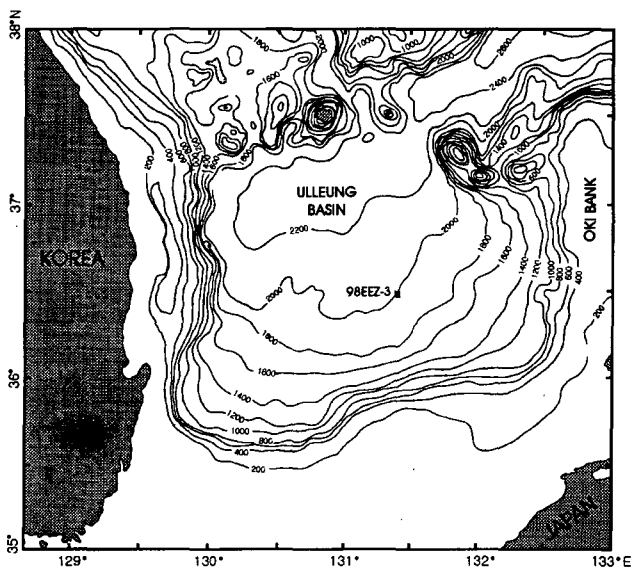


Fig. 1. Location map of piston core site (98EEZ-3).

Table 1. Composition and Origin of the Hydrocarbon gases in the sediments taken from the Southeastern Ulleung Basin.
(HC: hydrocarbon gas, gas composition unit: ppm)

| Depth(cm) | C ₁ | C ₂ | C ₃ | iC ₄ | nC ₄ | iC ₆ | nC ₆ | Total HC gas | ΣC _i /C _n | δ ¹³ C | Origin |
|-----------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|---------------------------------|-------------------|-------------|
| 735 | 2142.0 | 6.7 | 0.0 | 2.9 | 2.2 | 16.6 | 34.6 | 2205.0 | 0.97 | -58 | Biogenic |
| 750 | 697.9 | 7.5 | 1.9 | 2.8 | 1.6 | 14.4 | 29.2 | 755.3 | 0.92 | -47 | Mixture |
| 785 | 6054.4 | 13.2 | 6.1 | 0.0 | 3.0 | 32.7 | 67.2 | 6176.7 | 0.98 | -46 | Mixture |
| 805 | 5757.7 | 15.0 | 5.7 | 4.1 | 2.6 | 33.4 | 93.4 | 5911.9 | 0.97 | -46 | Mixture |
| 819 | 5431.6 | 16.6 | 2.7 | 3.6 | 2.6 | 29.2 | 80.8 | 5567.3 | 0.98 | -47 | Mixture |
| 835 | 2680.9 | 8.3 | 0.0 | 3.0 | 0.0 | 18.0 | 47.0 | 2757.1 | 0.97 | -44 | Thermogenic |
| 860 | 893.1 | 8.4 | 3.5 | 2.5 | 3.1 | 22.1 | 51.3 | 984.0 | 0.91 | -44 | Thermogenic |

데 분석된 구간 중에서는 해저면 하부 785 cm 지점에서 가장 많은 함량을 나타냈고 760 cm 지점에서 양이 가장 적었다. 탄화수소 가스의 함량은 가스 시료 채취 심도에 대해서 일정한 경향성을 갖지는 않았고 가스의 총진에 의해서 퇴적층이 수평 팽창해서 생긴 균열의 틈이 크게 벌어진 곳에서 함유량이 높게 나타나는 경향을 나타낸다. 분석한 가스 중에서는 메탄이 절대적으로 많아서 697.9-6054.4 ppm 포함되어 있고 메탄 외의 탄화수소 성분으로는 에탄이 (ethane) 6.7-16.6 ppm, 프로판이 (propane) 1.9-6.1 ppm, 부탄이 (butane) 0-3.1 ppm 함유되어 있었고 이소-, 노말 펜탄 (iso-, normal pentane)은 검출되지 않았다. 헥산 (hexane)은 메탄 이외에는 다른 탄화수소 가스 성분보다 함유비가 높아서 분석된 구간에서 이소, 노말 헥산이 각각 14.4-33.4 ppm, 29.2-93.4 ppm 포함되어 있었다 (표 1). 총 탄화수소 가스 중 메탄 성분의 함유 비율은 시료 채취 심도에 따라서 91-98%까지의 분포 범위를 보였고 심도에 따라서 일정한 경향을 나타내지는 않았다. 메탄의 성분비를 고려 할 때 785 cm와 819 cm 지점에서는 건성가스의 특성을 보이고 나머지는 대부분 습성 가스의 특징을 나타낸다. 습성가스는 천연 가스 100 m³ 내에 액체로 응축될 수 있는 성분 (gas liquid vapor)이 1.3 l 이상 포함되어 있는 탄화수소 소 가스로 메탄 성분이 97% 이하인 탄화수소 가스를 일컫는다 (Tissot and Welte, 1984). 일반적으로 습성가스는 케로젠이 석유를 생성하면서 수반되는 가스로 이런 특징은 연구 지역의 천연가스가 석유 생성과 연관된 가스를 함유하고 있음을 나타낸다.

가스의 기원 및 특성

울릉분지 남동부에 분포하는 천연 메탄 가스의 탄소 동위원소비 (δ¹³C)는 -58‰에서 -44‰까지의 범위를 보이고 시료 채취 심도가 깊어짐에 따라서 무거운 동위원소가 증가하는 경향을 나타낸다 (표 1). 탄소 동위원소 비에 근거하면 울릉분지 남동부에서 발견된 천연 탄화수소 가스는 주로 열기원 가스가 우세한 가운데 분석 구간중 상부로 갈수록 생물기원 가스가 혼합되어 최상부에서는 혼합 가스의 특징을 나타내는 것으로 판단한다. 즉 퇴적층 내의 가스는 열기원 가스가 해저면에서 상당히 깊은 심도에서부터 이동되어서 일부는 생물기원 가스와 혼합되는 양상을 보인다 (그림 3).

탄화수소 가스를 생성 메커니즘 및 기원에 따라 분류하면 크게 생물기원 (biogenic, bacterial)과 열기원 (thermogenic) 가스로 구분 할 수 있다 (Faber et al, 1992). 이 두 가지 가스의 생성은

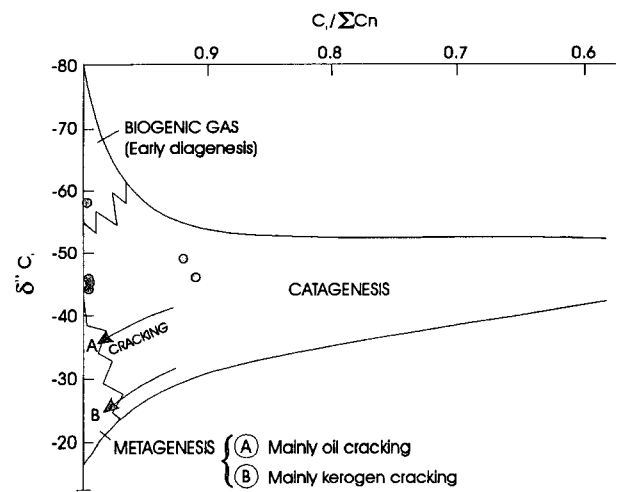


Fig. 3. Relative abundance and isotopic compositions of methane in the sediments (after Tissot and Welte, 1984).

모두 유기물과 밀접한 관계가 있는데 생물기원 가스는 메탄 생성 박테리아가 성장 에너지를 얻기 위해서 유기물을 분해하는 일련의 과정에서 생성되는 가스로 생성 메커니즘은 발효 (microbial fermentation, CH₃COOH → CH₄ + CO₂; 주로 아세테이트) 및 이산화탄소의 환원 (4H + CO₂ → CH₄ + 2H₂O)으로 크게 구분 할 수 있다 (Rice, 1992). 생물 기원 가스의 대부분은 메탄 생성 박테리아가 무산소 환경 (anoxic)에서 이산화탄소를 환원시키면서 생성되고 일부는 박테리아가 기질 (substract)을 탈 카르복실화 (decarboxylation)하면서 생성한다 (Whiticar et al., 1986). 이때 박테리아는 가벼운 동위원소를 선호하기 때문에 (¹³C 보다 ¹²C, Deuterium보다는 H) 박테리아에 의해 생성된 메탄 가스는 가벼운 것이 많다 (Rice and Claypool, 1981).

열기원 가스는 유기물이 지하에 매몰되는 과정에서 생성되는 가스로 온도가 75-150°C에 이르는 상태에서 석유와 수반되거나 케로젠으로부터 직접 생성되는 가스를 일컫는다. 이는 일반적으로 유기물의 매몰 깊이가 수 킬로미터에 도달하는 경우에 생기는 변화 과정으로 이때 퇴적물은 물이 빠져나가 공극율, 투수율이 감소하고 치밀화 작용이 일어나며 케로젠은 석유 및 컨덴세이트, 수반 가스들로 (습성 가스, C₁-C₄) 변환된다 (Tissot and Welte, 1984). 이런 메커니즘에 의해서 생성되는 메탄 가스는 생물기원 가스에 비해서 무거운 동위원소를 상대적으로 많이 포함하여 δ¹³C

Table 2. Geochemical analyses of the sediments from the Southeastern Ulleung Basin.

| Depth(cm) | S1 | S2 | PI | Tmax(°C) | TOC(%) | CaCO ₃ (%) | TC(%) | N(%) | TOC/N | HI | OI |
|-----------|------|------|------|----------|--------|-----------------------|-------|------|-------|-----|-----|
| 715 | 0.15 | 0.98 | 0.13 | 419 | 0.61 | 19.2 | 3.27 | 0.12 | 5.1 | 161 | 461 |
| 735 | 0.43 | 3.48 | 0.11 | 418 | 1.70 | 4.2 | 2.23 | 0.17 | 10.6 | 205 | 176 |
| 745 | 0.16 | 1.20 | 0.12 | 428 | 0.70 | 18.3 | 3.58 | 0.12 | 5.8 | 171 | 426 |
| 765 | 0.38 | 2.76 | 0.12 | 421 | 1.58 | 6.7 | 2.65 | 0.06 | 26.3 | 175 | 233 |
| 775 | 0.48 | 3.63 | 0.12 | 420 | 1.54 | 15.8 | 4.03 | 0.11 | 12.8 | 236 | 292 |
| 795 | 0.69 | 4.67 | 0.13 | 422 | 1.99 | 13.3 | 4.11 | 0.10 | 22.1 | 235 | 268 |
| 805 | 0.44 | 3.5 | 0.11 | 422 | 1.48 | 26.7 | 5.11 | 0.10 | 16.4 | 236 | 298 |
| 825 | 0.29 | 1.83 | 0.13 | 424 | 1.33 | 3.3 | 1.84 | 0.04 | 33.3 | 139 | 168 |
| 835 | 0.61 | 5.78 | 0.10 | 425 | 2.65 | 5.8 | 3.71 | 0.22 | 12.0 | 218 | 169 |
| 865 | 0.61 | 4.70 | 0.11 | 425 | 2.16 | 5.8 | 3.15 | 0.17 | 13.5 | 218 | 202 |

[PI; Production Index, S1, S2; mg HC/g Rock, HI (Hydrogen Index); mg HC/g TOC, OI (Oxygen Index); mg CO₂/g TOC, TC; Total Carbon, N; nitrogen, TOC; total organic carbon].

값이 다소 높게 나타난다. 이런 이유에서 생물 기원과 열 기원 가스를 탄소 동위원소 비에 의해서 구분할 수 있는데 생물기원 가스의 탄소 동위원소는 ($\delta^{13}C$) -90~-55에 해당되고 열 기원 가스의 경우에는 -50보다 무거운 값을 나타낸다 (Hunt, 1996).

퇴적물 특성

천부가스가 함유된 퇴적물의 지화학적 특성을 파악하기 위해서 시추 코어 10개 지점에서 퇴적물을 채취하여 총 유기탄소, 무기탄소, 유기물의 열분석, 총 탄소, 총 질소 함량을 분석하였다.

98EEZ-3 시추퇴적물은 깊이 130~134 cm 구간에 협재된 울릉-II 테프라층 (ca. 9,300 yr. B.P.)까지는 생물교란된 빨퇴적물로 구성되어 있다. 울릉-II 테프라층 이하 구간에서는 점이층리가 발달된 빨퇴적물 (graded mud)로 주로 구성된 세립질 저탁류의 공급에 의한 질량류층으로 구성되어 있다. 시추퇴적물 깊이 676~680.5 cm 구간에는 AT 테프라층 (ca. 24,300 yr. B.P.)이 협재되어, 저해수면시기에 아주 많은 양의 저탁류가 공급된 해역임을 시사한다 (Chun *et al.*, 1997). 또한 시추퇴적물 깊이 715~865 cm에서도 주로 점이층리가 발달된 빨퇴적물로 구성되어 있는데, 빈번한 해수면 변동과 관련된 질량류층으로 해석한다 (그림 2).

시추 코어중 해저면에서부터 715-861 cm 구간의 퇴적물의 분석 결과 총 탄소는 1.84~5.11%의 함유비를 나타냈고 유기탄소의 함량은 0.61~2.65%의 범위를 나타냈다. 또한 탄산염의 함량은 시추 채취 심도에 따라서 차이를 보여 3.3~26.7%까지 변화하였다 (표 2, 그림 5). 총 유기탄소와 총 질소의 비율은 2.4에서 33.3까지의 범위에서 변화하지만 두 구간을 제외하고는 대부분 10 이상으로 퇴적 당시에 육상 기원 유기물의 유입이 우세한 것을 나타낸다 (표 2, 그림 5; Stein, 1991).

잔류 석유 생성 잠재력을 나타내는 S2는 울릉분지 가스 시료의 경우에는 분석 구간에서 0.98-5.78 mgHC/gRock을 나타냈고 대부분의 구간에서 석유 생성 잠재력의 기준인 2 mgHC/gRock 이상 (Tissot and Welte, 1984)을 나타낸다 (그림 4). 즉, 유기물이 석유 또는 가스 생성 잠재력이 있는 특성을 나타냈다. 수소 지수 또한 분석된 시추 시료에서 139-236 mg HC/g TOC로 대체로 200 mg HC/g TOC 이상으로 석유 생성 관점에서 본다면 퇴적물의 탄화수소 생성 잠재력은 양호한 것으로 나타났다. 하지만 산

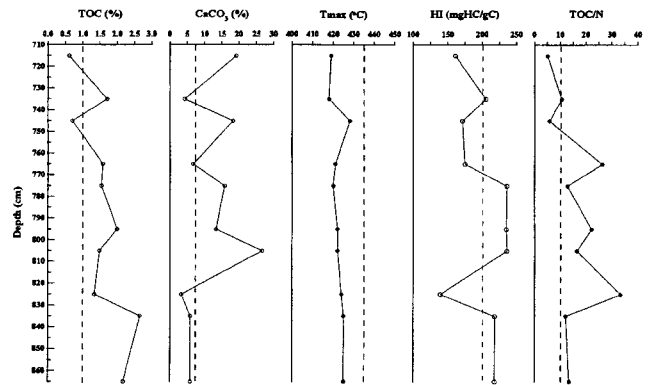


Fig. 4. Vertical profiles of TOC, CaCO₃ and Rock-Eval pyrolysis data.

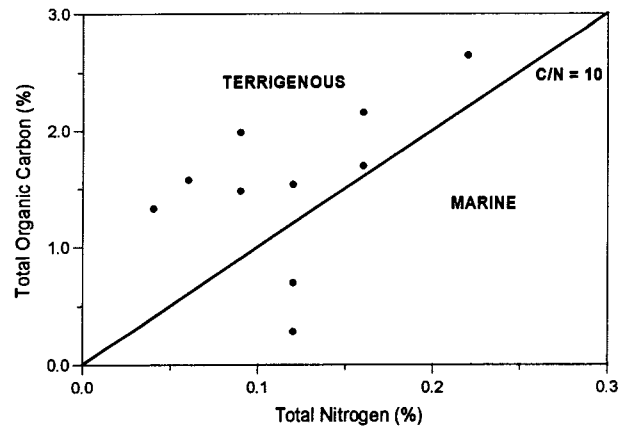


Fig. 5. Total organic carbon vs. total nitrogen contents of Core sediments at 98EEZ-3. Line indicates TOC/N ratio of 10.

소 지수도 168-461 mg CO₂/gC를 나타내서 분석 구간의 유기물은 역시 주로 타입 III에 해당되는 것으로 해석한다.

Rock-Eval에 의한 열분석 결과 분석 구간의 퇴적물의 Tmax 값은 410-425°C까지 심도가 깊어짐에 따라서 증가하는 경향을 보인다. 하지만 최 하부 구간의 유기물의 경우에도 다이아제네시스 (diagenesis) 단계를 벗어나지는 않은 것으로 판단된다. 시추 코어에서 채취한 퇴적물 내의 유기물의 열적 성숙도는 동위원소 결과

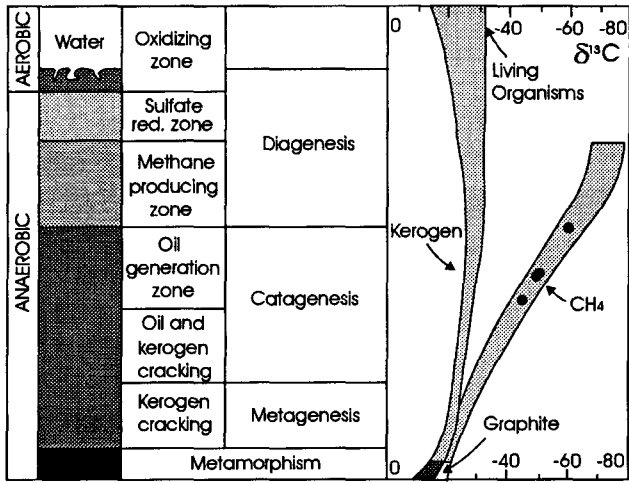


Fig. 6. Origin and thermal maturation levels of the methanes in the shallow gases (Tissot and Welte, 1984).

에 따른 가스의 열성숙 단계 보다 낮게 나타나서 (그림 6) 시추 구간보다 심부에서 생성된 열기원 가스가 이동하여 현재 가스가 집적되어 있는 곳에서 메탄 생성 박테리아에 의해서 생성된 생물 기원가스와 혼합된 것으로 보인다. 즉, 분석 구간의 천부 가스에 혼합되어 있는 열기원 가스는 시추 구간보다 심부에서 이동되어 현재의 위치에 저류되어 있는 것으로 해석한다.

결론

동해 울릉분지에 분포하는 천부 가스의 특성을 파악하기 위해서 분지 남동부 해역에서 채취한 시추 코아 (98EEZ-3)에서 가스를 포집하여 탄화수소 가스의 함량, 성분 및 탄소 동위원소 분석을 실시하였다. 또한 가스의 함량과 시추 코아 퇴적물의 연관성 및 특성을 파악하기 위해서 가스를 함유하는 퇴적물에 대해서 유기 지화학 분석을 실시하였다.

시추 코아에서 포집된 천부가스 중 탄화수소 가스의 함량은 755.3 ppm에서 6176.7ppm까지 나타났다. 탄화수소 가스 중에서 메탄의 함량이 가장 우세하며 697.9-6054.4 ppm 함유되어 있었다. 메탄 외의 탄화수소 성분으로는 에탄 (6.7-16.6 ppm), 프로판 (1.9-6.1 ppm), 부탄 (0-3.1 ppm)이 소량 함유되어 있었고 펜탄은 분석되지 않았다. 하지만 헥산의 경우에는 에탄보다 함유비가 높아서 분석된 구간에서 이소, 노말 헥산이 각각 14.4-33.4 ppm, 29.2-93.4 ppm까지 포함되어 있었다.

퇴적물 분석 결과 총 탄소는 1.84~5.11%, 유기탄소는 0.29~2.65%의 함유량을 나타냈다. 총 유기탄소와 총 질소의 비율은 분석 구간 중 일부를 제외하고는 10 이상으로 육상 기원 유기물의 유입이 우세했음을 시사한다. 포집된 총 탄화수소 가스 중 메탄 성분은 시료 채취 심도에 따라서 91-98%까지의 변화를 보였고 메탄 가스의 탄소 동위원소 비 ($\delta^{13}C$)도 -58‰에서 -44‰까지의 범위를 나타내는 것으로 보아 울릉분지 남동부에 분포하는 천부가스는 열기원 가스가 우세한 가운데 일부구간에서는 생물기원 가스가 혼합되어 나타나는 것으로 해석된다.

Rock-Eval에 의한 분석 결과 시추된 퇴적물의 열 성숙 단계는 심도가 깊어지면서 증가하는 가운데 최 하부 구간의 유기물도 다 이어제네시스 단계를 벗어나지는 않은 것으로 나타났다. 즉 분석 구간 유기물의 열적 진화 단계는 열기원 가스의 생성이 이루어지는 않은 것으로 보아 천부가스 중 열기원 가스는 시추 구간보다 심부에서 이동되어 현재의 위치에 저류되어 있는 것으로 해석된다.

이번 연구는 천부가스에 대한 직접 분석 및 해석은 국내에서 최초로 이루어진 것으로는 의미가 깊지만 향후에는 시료 채취방법을 개선해야 하고 물리 탐사 자료 및 암석 물성 자료 등과 연계시켜서 수행하는 것이 필요하다.

참고문헌

- 곽영훈, 오재호, 정태진, 허대기, 신창수, 박관순, 박근필, 류병재, 손병국, 윤철현, 황인걸, 조철현, 김현태, 이영주, 전치완, 김학주, 1995, 석유자원 직접 탐사법 및 가스전 개발 기술 연구 (I), 한국자원연구소 연구보고서, KR-95-(T)-6, 343p.
- 곽영훈, 오재호, 정태진, 허대기, 신창수, 박관순, 박근필, 류병재, 손병국, 윤철현, 황인걸, 조철현, 김현태, 이영주, 전치완, 김학주, 1996, 석유자원 직접 탐사법 및 가스전 개발 기술 연구 (최종보고서), 한국자원연구소 연구보고서, KR-96-(T)-16, 511p.
- 류병재, 정태진, 허대기, 선우돈, 김현태, 김세준, 1998, 메탄 하이드레이트의 부존 가능성과 평형 조건. 한국석유지질학회지 제5차 학술 발표회 논문집, 56-65.
- 이영주, 윤혜수, 곽영훈, 정태진, 오재호, 김학주, 강무희, 1998, 포항 지역 지하수에 분포하는 탄화수소 가스의 지화학. 한국석유지질학회지, 6, 25-36.
- 이영주, 정태진, 곽영훈, 김학주, 윤혜수, 1999, 국내 대륙붕 및 육상에 분포하는 탄화수소 가스의 지화학. 한국석유지질학회지 제6차 학술 발표회 논문집, 40-49.
- 허식, 천중화, 한상준, 유해수, 김성렬, 김한준, 최동림, 이윤국, 1999, 울릉분지 남동부 천부가스층의 분포, 특성 및 퇴적환경, 대한지질학회지, 35, 201-212.
- 한국석유개발공사, 1989, 제 6-1광구 돌고래 III, III-1, III-2 시추공 시료 분석 보고서 (미발간).
- 한국석유개발공사, 1994, 제 6-1광구 고래-1 시추 시료 분석 보고서 (미발간).
- Chun, J-H., Han, S-J. and Cheong, D-K., 1997, Tephrostratigraphy in the Ulleung Basin, East Sea: Late Pleistocene to Holocene. *Geoscience Journal*, 1, 154-166.
- Davis, A.M., 1992, Shallow gas: an overview, *Continental Shelf Research*, 12, 1077-1079.
- Faber, E., Stahl, W.J. and Whiticar, J.M., 1992, Distinction of bacterial and thermogenic hydrocarbon gases, in Bacterial gas edited by Roland Vially, *Editions Technip*, 47-62.
- Hunt, J.M., 1996, *Petroleum geochemistry and geology*, W.H. Freeman and Company, 743p.
- Kvenvolden, K. A., 1996, A review of the geochemistry of methane in natural gas hydrate, *Organic Geochemistry*, 23, 997-1008.
- Marsden, S.S., and Kawai, K., 1965, "SUIYOSEI-TENNENGASU," A special type of Japanese natural gas deposit, *The American Association of the Petroleum Geologists Bulletin*, 49, 3, 286-295.
- Premchitt, J., Rad, N.S., To, P., Shaw, R. and James, J.W., 1992, A study of gas in marine sediments in Hong Kong. *Continental Shelf*

- Research*, 12, 1251-1264.
- Rice, D.D., 1992, Controls, habitat, and resource potential of ancient bacterial gas, in Bacterial gas edited by Roland Vially, *Editions Technip*, 91-118.
- Rice, D.D., and Claypool G. E., 1981, Generation, accumulation, and resource potential of biogenic Gas, The American Association of the Petroleum Geologists Bulletin, 65, 5-25.
- Stein, R., 1991. Accumulation of organic carbon in marine sediments. Springer-Verlag. 217p.
- Tissot, B. P., and Welte, D. H. 1984, Petroleum Formation and Occurrence 2nd ed.: Springer-Verlag, 538p.
- Whiticar, M.J., Faber, E., and Schoell, M., 1986, Biogenic methane formation in marine and fresh water environment: CO₂ reduction vs. acetate fermentation-Isotope evidence. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 50, 693-709.

(2000년 2월 22일 접수)