

대륙붕 한일공동광구에 분포하는 제 3기 시추 시료 유기물의 지화학적 특성

Geochemical characteristics of organic matter in the Tertiary sediments from the JDZ Blocks, offshore Korea

이영주 (Youngjoo Lee)* · 윤혜수 (Hyesu Yun)** · 정태진 (Taejin Cheong)*
곽영훈 (Younghoon Kwak)* · 오재호 (Jaeho Oh)*

요 약

동중국해 분지의 북부에 위치한 한일 공동 광구 시추공 (JDZ V-1, V-3, VII-1 그리고 VII-2) 제3기 퇴적물 내의 유기물의 특성을 파악하기 위해서 유기 지화학적 분석을 실시하였다. JDZ V-1, JDZ V-3 공 후기 마이오세 퇴적물의 유기물 함량은 분석 구간에서 대부분 0.5% 이하로 매우 낮으나 초기 마이오세 및 올리고세 층에서는 0.6-0.8%로 일정한 함유량을 보인다. JDZ VII-1, JDZ VII-2 시추공의 중기-후기 마이오세 퇴적층의 경우에는 유기물이 풍부해서 20%에까지 이르는 것으로 나타났다. 이들 시추공 퇴적물이 JDZ V-1이나 V-3공의 그것에 비해 일부 구간에서 유기물의 함량이 매우 높은 것은 탄질 세일이 분석된 것으로 퇴적 환경이 탄층이나 탄질 세일의 발달에 적합했던 것으로 판단된다. JDZ 시리즈 시추공 제3기 퇴적물에 포함된 케로젠은 주로 육상기원의 목질 및 탄질물이고 원소 분석 결과에서는 주로 타입 III에 비교되는 것으로 나타났다. 유기물 함량에 비하여 석유 생성 잠재력 (S₂) 및 수소지수 (HI)가 낮은 것은 육상 유기물의 특성을 반영하는 것이다. 생물표기화합물 분석에 의하면, JDZ 시추공의 제3기 퇴적물 내의 유기물은 육상 고등 식물에서 유래한 것들이 우세한 것으로 나타났고, 퇴적 당시의 조건은 산화 환경이어서 퇴적된 유기물의 보존에 적합치 않았던 것으로 해석된다. 지화학적 특성을 통해서 유추한 JDZ 시추공의 유기물의 특성 및 퇴적환경은 하성 환경이 우세한 가운데 일 시적인 호수, 혹은 늪지나 범람원이 형성을 나타내 기존 구조조 운동 연구 및 퇴적학적 연구 결과와 일치하고 있다. 유기물의 열 성숙 단계는 JDZ V-1 및 V-3 시추공의 총 심도 부근 (각각 3317 m, 3221 m)에서는 석유 생성 중간 단계에 도달했고, JDZ VII-1 및 VII-2 공의 3600 m 하부층은 건성 가스 생성 단계에까지 도달한 것으로 나타났다. JDZ VII-1, VII-2 시추공의 3500 m 하위 구간의 올리고세 퇴적층에서 유기물 함량 및 수소 지수가 급격히 감소하는 것은 매몰 심도가 깊어지면서 유기물이 열 분해되어 이미 탄화수소를 생성한 것으로 해석된다. JDZ VII-1 및 VII-2 시추공의 가스정후 및 길소나이트 (gilsonite)는 탄화수소가 생성되어 이동한 흔적을 시사한다.

주요어: 한일공동광구, 총유기탄소, 유기물 특성, 탄화수소 생성 및 이동

Abstract : Organic geochemical analyses were carried out in order to characterize organic matter (OM) in the sediments recovered from Korea/Japan Joint Development Zone (JDZ V-1, V-3, VII-1 and VII-2) which is located in the northern end of the East China Sea Shelf Basin. Late Miocene sediments from the JDZ V-1 and JDZ V-3 wells generally contain less than 0.5% of total organic carbon (TOC). However, early Miocene and Oligocene sediments show TOC values of 0.6-0.8%. Middle to late Miocene sediments are rich in TOC up to 20% from JDZ VII-1 and JDZ VII-2 wells. The reason for this rich TOC might be attributed to the presence of coaly shales. Kerogens in the Tertiary sediments from the JDZ series wells are mainly composed of terrestrially derived woody organic matter. Elemental analyses indicate that OM from these wells can be compared to type III. Low hydrocarbon potential and hydrogen index reflect the type of OM. According to the biomarker analyses, the input of the terrestrial OM is prevalent. Oxidizing condition is also indicated by Pristane/Phytane ratio. Samples from the JDZ V-1 and V-3 wells obtain maturities equivalent to the oil generation zone around total depth, and organic matter below 3600 m from JDZ VII-1 and VII-2 wells reached dry gas generation stage. Oligocene sediments below 3500 m in the JDZ VII-1 and JDZ VII-2 wells may have generated limited amount of hydrocarbons, showing a progressive decrease in hydrogen index with depth, due to thermal degradation with increased burial. Gas shows and finely disseminated gilsonite may indicate the generation and migration of the hydrocarbons.

Key word : Korea/Japan Joint Development Zone, TOC, organic matter characteristics, hydrocarbon generation and migration

서 언

대륙붕 광구 중 하나인 한일 공동 개발 구역 (Korea-Japan Joint Development Zone)은 제주도 남동쪽에 위치하고 있으며 2,

4 소구에서 한국 석유 개발 공사, 외국회사 및 일본석유회사가 주관하여 1980년부터 1986년까지 JDZ V-1, V-2, V-3, VII-1 및 VII-2 등 총 5개의 공을 시추하였다 (그림 1). 이 중 세 개의 시추공에서 (JDZ V-1, VII-1 및 VII-2) 가스 및 유정을 나타내었

*Petroleum and Marine Research Division, Korea Institute of Geology, Mining and Materials (한국자원연구소),

**Dept. of Geology, Chungnam National University, (충남대학교 지질학과)

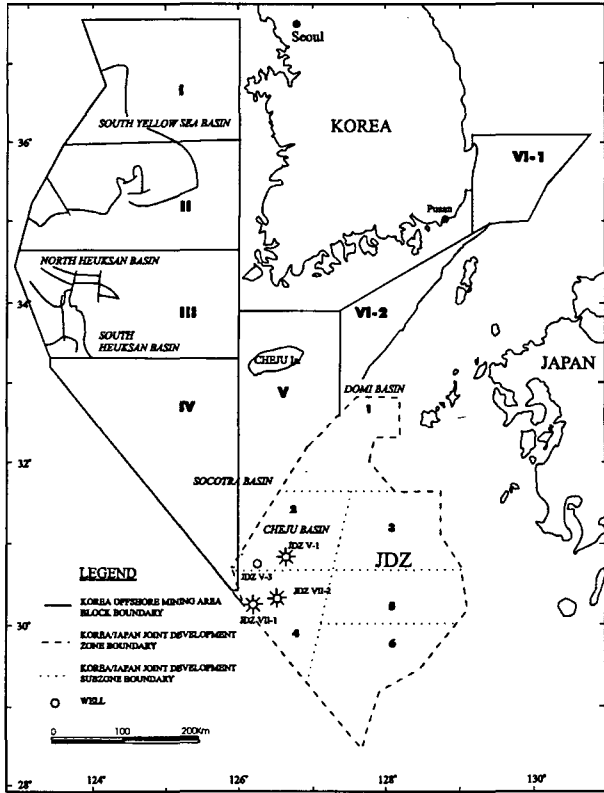


Fig. 1. Location map of the study area with block identification (modified after Lee, 1997).

다. JDZ 시리즈 시추공이 시추된 곳은 동중국해 분지의 북부로 이 지역에 대한 광역적인 조구조 및 분지 발달사는 그간 여러 학자에 의해서 연구되었다 (Hilde *et al.*, 1977; Jolivet *et al.*, 1989; Zhou *et al.*, 1989; Li and Tao, 1992). 시추공 시료 내의 유기물의 특성을 밝히고 석유 생성 잠재력을 규명하는 연구는 한국자원연구소에서 수행된 바 있다 (광영훈 외, 1987, 1989; 오재호 외, 1994; 정태진 외, 1996). 본 연구에서는 한일 공동 광구의 2, 4 소구에서 시추된 JDZ V-1, V-3, VII-1 및 VII-2 등 4개 시추공의 제3기 퇴적물에 대해서 상기 연구 결과 추가로 요구된 전암 분석, 케로젠 및 비투렌 분석을 실시하고 그 결과를 비교 검토하여 암석 내에 있는 유기물의 특성 및 열적 진화 단계 등의 특성을 밝히고자 하였다.

조구조 및 광역 지질

한일 공동 광구는 제주 분지내에 위치하고 있으며 제주 분지는 동중국해 분지내에 남서-북동 방향으로 발달한 일련의 열개 분지 중 하나인 소분지이다. 제주 분지는 북서쪽으로는 후피지아오 융기대 (Hupijiao Rise)와 접하고 있고 남동쪽으로는 타이완-신지 습곡대 (Taiwan-Sinzi Folded Uplift Belt)와 경계하고 있다 (그림 2). 분지의 조구조 운동에 대해서는 연구한 학자들 사이에 이견을 보이지만 태평양 판, 필리핀 판 및 유라시아 판의 운동에 의해서 분지가 형성되었다는 것에 대해서는 의견을 같이한다 (Hilde *et al.*, 1977; Jolivet *et al.*, 1989; Li and Tao, 1992). 이들 세 개 판의 운동에 의해서 시대마다 다른 조구조 단계를 나

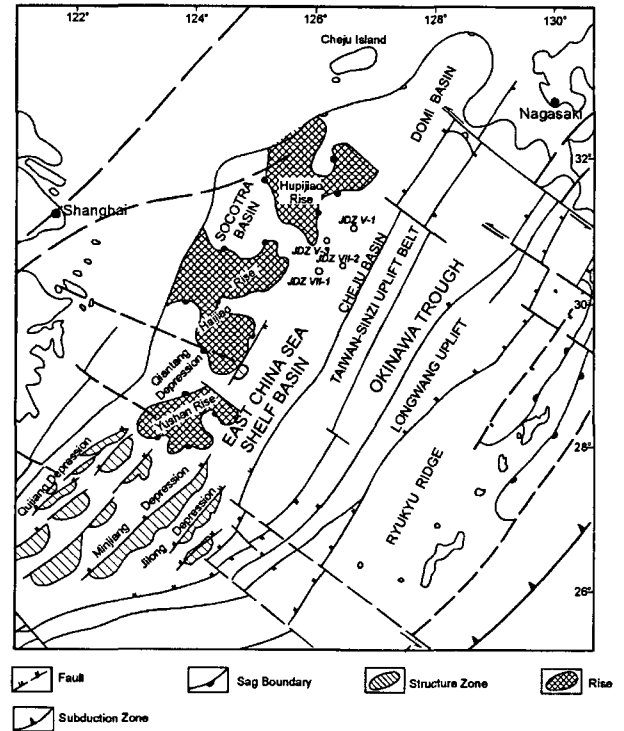


Fig. 2. Locations of the Cheju Basin and other adjacent basins (modified after Zhou *et al.*, 1989).

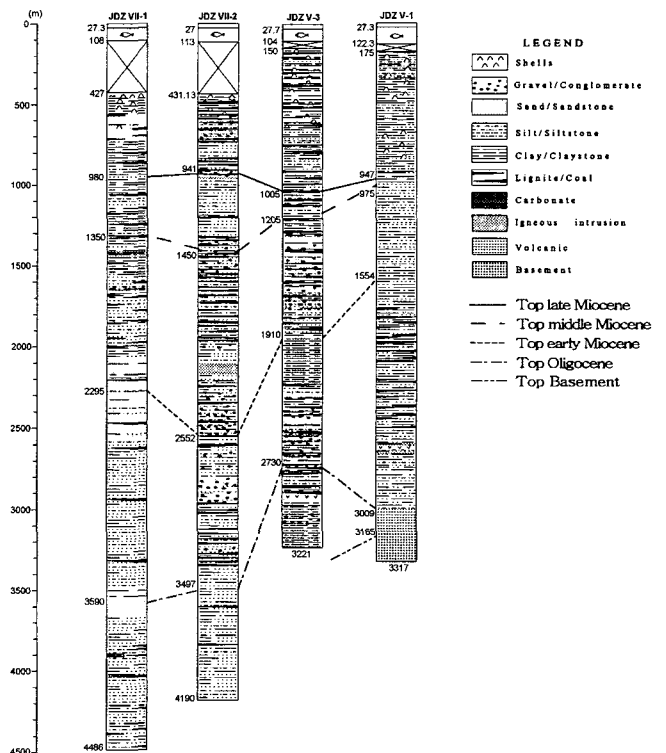


Fig. 3. Simplified columnar sections and chronologic correlation among them (after Cheong *et al.*, 1996).

타내는데 Li and Tao (1992)는 후기 백악기-팔레오세의 열개 단계, 에오세의 열개 함몰 운동, 올리고세-마이오세의 함몰 단계 및

플라이오세 이후의 광역적인 침강과 퇴적 단계로 분류한 바 있다.

제주 분지의 신생대층은 광역적인 부정합에 의해서 올리고세-마이오세의 육상 퇴적물과 플라이스토세 이후의 해양퇴적물로 나뉠 수 있다 (봉필윤 외, 1987, 1989; 전희영 외, 1986; 박영수 외, 1987, 1989; 오재호 외, 1994). 즉, 올리고세-마이오세 동안에는 타이완 신지 습곡대가 해침을 막는 댐의 역할을 하였으며 플라이오세 이후에는 광역적인 침강에 의해서 습곡대가 더 이상 댐의 역할을 하지 못해 해성 환경을 이루었다 (Li and Tao, 1992). 제주분지에서는 탄성과 자료 및 고생물, 층서 퇴적 연구에 의해서 4개의 광역 부정합면 (top basement, top Oligocene, top early Miocene, top late Miocene)이 확인된 바 있다 (그림 3; 정대진 외, 1996).

연대 측정 자료에 의하면 분지의 기반암은 위치에 따라서 원생대 변성암 혹은 백악기 화성암으로 이루어 졌다 (김중수 외, 1986; 오재호 외, 1994; Silverman *et al.*, 1996). 올리고세-마이오세 퇴적층에는 사암, 역암, 셰일이 교호하며 화산성 쇄설물과 갈탄층이 협재된다. 플라이오세 이후의 퇴적물에는 해성 환경의 이질 및 실트질 퇴적물이 주를 이루고 사암이 협재되며 부분적으로 미교결 상태이다 (그림 3; 오재호 외, 1994).

시료 및 연구 방법

4개의 시추공 (JDZ V-1, V-3, VII-1 및 VII-2)에서 회수된 총 401개의 미 세척 압편 시료를 물로 세척한 후 유정 분석기 (oil show analyzer)를 이용하여 지화학적 스크리닝 분석 (총유기탄소 및 Rock-Eval Pyrolysis; Bordenave *et al.*, 1993; Espitali *et al.* 1984)을 실시하였다. 분석된 시료중에서 유기물의 함량이 비교적 높은 구간의 시료에 대해서 케로젠을 분리하고 비투멘을 추출하였다 (그림 4).

케로젠 분리는 케로젠나트론 (Kerogenatron)을 사용하였다. 분리 방법은 테프론 재질의 용기에 시료를 넣고 질소 가스를 계속 흘려주는 가운데 80°C의 불산과 염산에 순차적으로 반응시켜 증류수로 세척하는 과정을 반복하는 것이다 (Durand, 1980). 분리된 케로젠에 대해서는 라이츠 편광 현미경을 이용해서 광학적 관찰을 하였고, 리코 (Leco)사의 C,H,N 분석기 (CHN-900)와 RO-478 산소 측정기를 사용하여 원소 분석을 실시하였다.

비투멘은 자석교반기와 염화 메틸렌 (methylene chloride)을 용매로 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 기체 크로마토그래프를 사용하여 성분을 분석하였다. 포화탄화수소 성분을 분석하기 위해서는 HP-1 모세관 칼럼 및 불꽃 이온화 검출기 (Flame Ionization Detector)를 이용하였다. 생물표기화합물 분석은 기체 크로마토그래프-질량 분석법 (Gas Chromatograph-Mass Spectrometer, HP 5989A)을 사용하였다. 운반가스는 초고순도 (99.995% 이상) 헬륨을 사용하였으며 질량 분석기의 이온 소스 온도는 200°C, 이온화 전압은 70 eV로 고정시켜 분석하였다. 노말 알칸 및 이소프레노이드 외의 생물표기화합물을 분석하기 위해서 m/z = 191

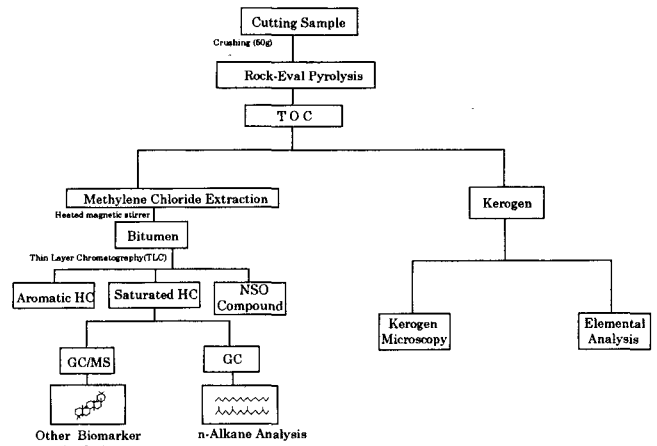


Fig. 4. Flow chart of the organic geochemical analyses (modified after Lee, 1997).

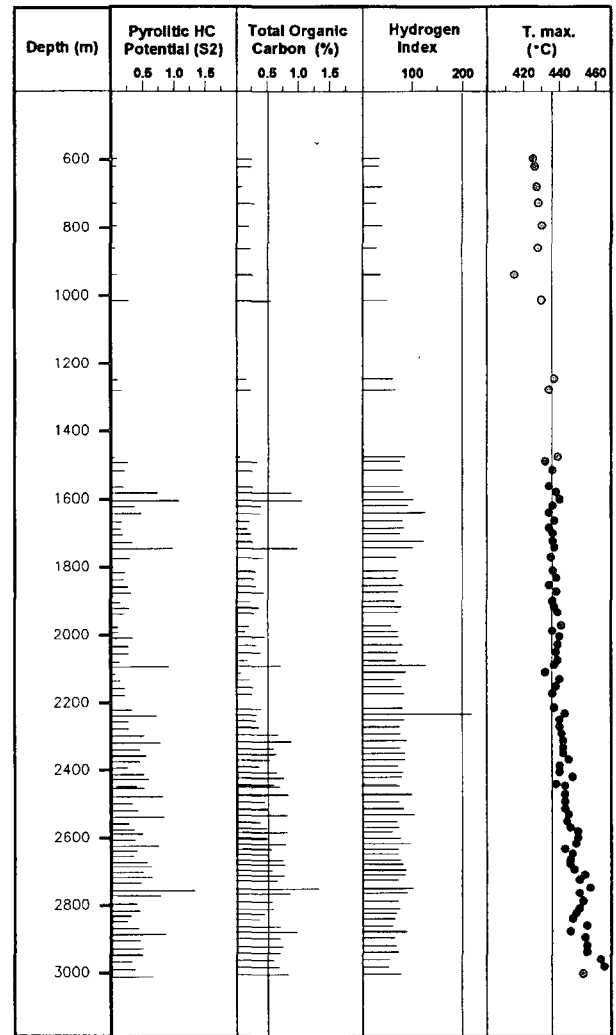


Fig. 5. Geochemical log of the fine sediments from the well JDZ V-1.

및 217을 이용해서 호판 (hopane) 및 스테란 (sterane)을 분석하였다.

Table 1. TOC contents and Rock-Eval pyrolysis results from the JDZ V-1 well

Depth(m)	S2(mg/g rock)	Tmax(°C)	TOC(%)	HI(mg/g TOC)	Depth(m)	S2(mg/g rock)	Tmax(°C)	TOC(%)	HI(mg/g TOC)
596	0.09	425	0.26	34	2238	0.72	443	0.33	218
620	0.08	426	0.25	32	2256	0.27	440	0.32	84
680	0.04	427	0.10	40	2277	0.28	440	0.37	75
728	0.08	428	0.29	27	2298	0.52	441	0.68	76
794	0.08	430	0.20	40	2319	0.78	442	0.88	88
860	0.07	428	0.24	29	2340	0.46	442	0.60	76
938	0.10	415	0.27	37	2358	0.55	442	0.64	85
1014	0.28	430	0.55	50	2376	0.46	445	0.54	85
1247	0.10	437	0.16	62	2394	0.26	440	0.37	70
1280	0.16	434	0.24	66	2412	0.52	440	0.65	80
1478	0.06	439	0.07	85	2427	0.60	447	0.76	78
1492	0.26	432	0.34	76	2448	0.41	438	0.60	68
1518	0.22	436	0.27	81	2454	0.52	443	0.70	74
1565	0.20	434	0.27	74	2478	0.82	443	0.83	98
1583	0.74	438	0.89	83	2499	0.33	443	0.45	73
1604	1.08	440	1.05	102	2520	0.42	443	0.51	82
1622	0.37	436	0.40	92	2538	0.84	445	0.81	103
1643	0.48	434	0.38	126	2559	0.27	444	0.39	69
1667	0.17	437	0.21	80	2577	0.36	446	0.49	73
1688	0.15	434	0.18	83	2589	0.50	450	0.83	60
1704	0.18	436	0.24	75	2607	0.38	450	0.49	77
1728	0.33	436	0.27	122	2625	0.76	449	0.79	96
1746	0.98	437	0.98	100	2640	0.41	443	0.57	71
1775	0.29	435	0.43	67	2655	0.36	447	0.50	72
1815	0.22	436	0.31	70	2673	0.57	446	0.75	76
1836	0.19	438	0.28	67	2685	0.64	446	0.78	82
1857	0.26	434	0.32	81	2703	0.51	448	0.58	87
1875	0.31	438	0.44	70	2718	0.65	454	0.76	85
1902	0.15	436	0.23	65	2733	0.48	451	0.66	72
1917	0.29	437	0.37	78	2757	1.32	457	1.32	100
1935	0.21	439	0.29	72	2772	0.78	451	0.86	90
1977	0.12	441	0.21	57	2796	0.41	453	0.57	71
1993	0.11	436	0.15	73	2817	0.45	451	0.59	76
2010	0.34	440	0.46	73	2832	0.31	449	0.45	68
2034	0.27	439	0.33	81	2847	0.25	447	0.38	65
2056	0.28	438	0.39	71	2868	0.44	455	0.71	61
2079	0.13	439	0.19	68	2886	0.86	446	0.97	88
2094	0.92	437	0.72	127	2904	0.46	454	0.71	64
2115	0.07	432	0.08	87	2928	0.51	455	0.75	68
2136	0.14	440	0.21	66	2946	0.50	455	0.70	71
2157	0.22	438	0.28	78	2968	0.34	463	0.61	55
2178	0.22	436	0.26	84	2991	0.38	465	0.70	54
2220	0.34	437	0.42	80	3012	0.66	453	0.85	77

총 유기탄소 (TOC) 분석

JDZ V-1 및 JDZ V-3 시추공에서 회수된 퇴적물은 시추된 구간 전반에 걸쳐 총유기탄소의 함량 (TOC)이 매우 적은 것이 특징으로 특히 중기 마이오세 이후에 퇴적된 시료는 (2300 m 상위 구간) 0.5% 이하의 함량을 나타낸다. 또한 초기 마이오세 및 올리고세 퇴적물은 구간에 따라서 0.5% 이상의 유기물 함량을 나타내지만 대부분 1% 이하의 값을 보인다 (표 1; 그림 5 & 6).

JDZ VII-1 및 JDZ VII-2 공에서의 유기물 함량은 심도 및 암상에 따라 변화의 폭이 매우 크다. 즉, 플라이오세 이후의 퇴적물

은 유기물의 함량이 0.5% 이내로 매우 적으나 마이오세 퇴적물은 총유기탄소의 함량이 매우 높아 JDZ VII-2공의 경우에 20% 이상에 까지 이른다 (그림 6 & 7). 이렇게 유기물의 함량이 두드러지게 높은 구간에서는 탄질세일 및 탄질물이 분석된 것으로 판단된다. 시추시 얻은 물리 검증 자료나 시추 암편 시료를 관찰한 결과 탄질 세일이나 탄질물의 함량이 높은 것이 확인되었다. 초기 마이오세와 올리고세 기간에 쌓인 퇴적물에서 (시추심도 3400 m 하위) 유기 탄소의 함량은 다시 크게 감소하여 극히 일부 구간을 제외하고는 0.5% 이하의 낮은 함량을 보인다 (표 2; 그림 7 & 8).

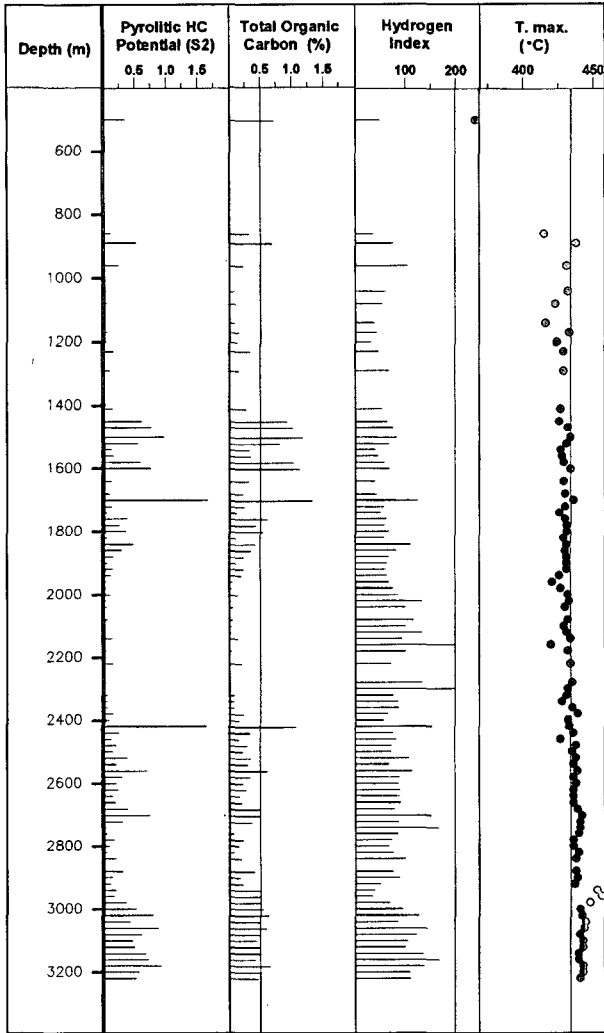


Fig. 6. Geochemical log of the fine sediments from the well JDZ V-3.

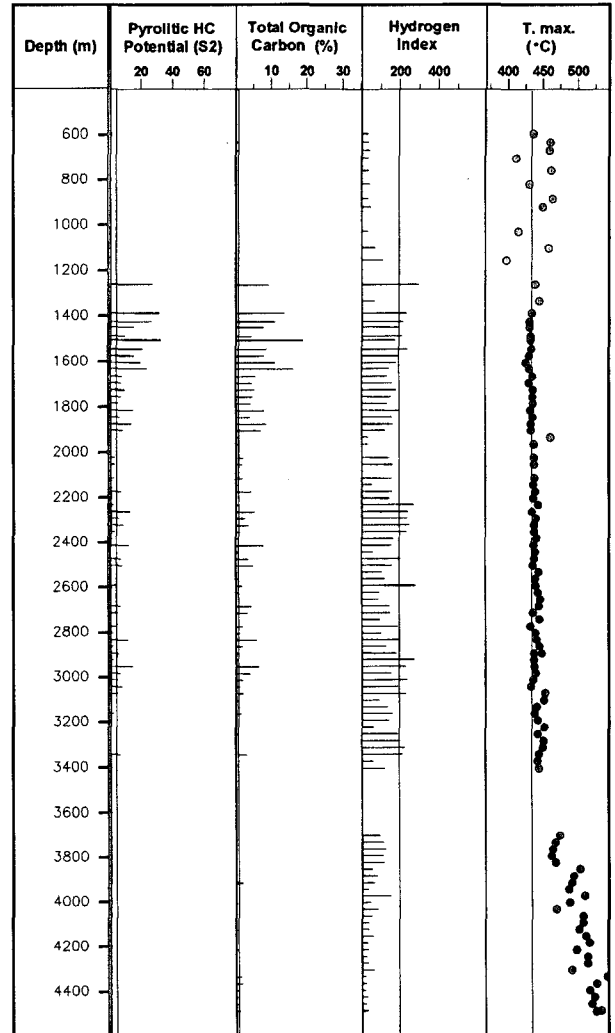


Fig. 7. Geochemical log of the fine sediments from the well JDZ VII-1.

Rock-Eval 열분석

JDZ V-1 공에서 회수된 퇴적물의 S1 값은 0-0.34 mgHC/gRock으로 나타났고 S2 값은 0.04-1.32 mgHC/gRock을 보인다. 또한 수소 지수는 27에서 217 mgHC/gTOC를 나타냈다. 유기물의 열적 성숙 단계를 나타내는 Tmax 값은 분석 구간에서 415내지 465°C를 나타내었고 주 석유 생성 단계인 Tmax 435°C는 2000 m 부근에서 도달한다. 2600 m, 3000 m 깊이에서 Tmax 값이 불규칙적으로 상승하는 것은 화산암의 관입에 의한 국지적인 열 성숙도의 증가 때문으로 생각된다 (그림 5).

JDZ V-3 공의 경우에도 JDZ V-1 시추공 시료와 유사한 분석 결과를 나타낸다. 즉, S1은 0-0.17 mg HC/gRock, S2는 0.02-1.66 mgHC/gRock을 나타내며 수소 지수는 30에서 217 mgHC/g TOC를 나타낸다. 유기물의 열적 성숙 단계를 나타내는 Tmax 값은 분석 구간에서 366-456°C를 나타내고 2700 m 깊이에서 주 석유 생성 단계에 도달한다. 이 시추공의 2700 m, 3000 m 깊이의 Tmax 값도 화산 활동에 의해서 불규칙적인 변화를 보인다 (그림 6).

JDZ VII-1공에서 S1 값은 0에서 1.35 mg HC/g rock, S2 값은 0.01-32.34 mg HC/g rock까지 각각 변화한다. 특히 할 것은 시료의 S2 값이 상당히 높은데 비해서 수소 지수는 분석된 구간에서 낮은 수치를 (250 mg HC/g TOC 이하) 나타내어 육상 기원 유기물의 특징을 나타내었다. 유기물의 열적 진화 단계를 나타내는 Tmax 값은 398 에서 542°C까지 변화하여 분석 구간의 유기물은 미성숙 단계에서부터 건성 가스 생성 단계까지의 열 성숙 단계를 보인다. 즉, 유기물은 시추 심도 2100 m 구간에서 주 석유 생성 단계, 3600 m 부근에서 건성 가스 생성 단계에 도달하였다. 유기물의 열적 성숙도의 상승 경사도 (gradient)는 해저면에서부터 3400 m 까지는 비교적 완만한데 그 하위층에서는 상부에 비해서 높게 나타난다 (표 2; 그림 7).

JDZ VII-2 시추공 시료의 S1은 0-8.82 mg HC/g rock을 나타내는데 S1이 높은 (4.33-8.82 mg HC/g rock) 705-735 m 구간의 이수 검층 자료에는 유정이 확인되지 않았다. 따라서 이와 같이 높은 S1 값은 시추 작업시 첨가물에 의한 오염일 때문일 가능성이 높다. 분석 구간의 S2 값은 0.03-57.08 mg HC/g rock를, 수소

Table 2. TOC contents and Rock-Eval pyrolysis results from the JDZ VII-1 well.

Depth(m)	S2(mg/g rock)	Tmax(°C)	TOC(%)	HI(mg/g TOC)	Depth(m)	S2(mg/g rock)	Tmax(°C)	TOC(%)	HI(mg/g TOC)
595	0.05	436	0.15	33	2653	0.29	446	0.33	87
631	0.19	460	0.54	35	2683	6.52	444	4.52	144
667	0.24	459	0.57	42	2713	4.82	436	3.33	144
703	0.16	412	0.43	37	2743	0.23	445	0.24	95
757	0.14	462	0.37	37	2773	3.66	432	1.97	185
817	0.20	431	0.48	41	2803	2.32	439	1.23	100
883	0.14	464	0.37	37	2833	11.32	441	5.85	193
919	0.14	450	0.30	46	2863	2.35	445	1.85	127
1027	0.01	415	0.03	33	2893	0.11	448	0.21	52
1099	0.20	458	0.29	68	2894	5.60	437	0.87	181
1153	0.29	398	0.26	111	2923	2.37	437	0.87	272
1261	26.81	439	9.15	293	2953	14.58	438	6.42	227
1333	0.23	445	0.34	67	2983	6.21	440	4.06	152
1387	31.50	434	13.53	232	3013	4.86	436	2.06	235
1423	26.69	431	10.97	213	3043	7.64	433	1.10	186
1447	15.12	431	7.84	192	3073	4.98	453	2.17	229
1487	9.31	432	4.45	209	3103	0.92	451	1.00	92
1504	32.34	432	18.71	172	3133	1.31	441	0.98	133
1543	20.90	434	8.78	238	3163	2.37	438	1.50	158
1573	15.51	431	8.12	191	3193	0.41	442	0.29	141
1603	19.76	426	10.98	179	3223	0.23	452	0.38	60
1630	23.63	431	16.28	145	3253	0.99	443	0.53	186
1663	7.61	435	5.70	133	3283	0.18	451	0.09	200
1693	7.20	430	4.58	157	3313	0.40	450	0.18	222
1723	9.69	436	5.37	180	3343	6.48	444	3.06	211
1753	7.17	435	4.69	152	3373	0.14	442	0.23	60
1783	5.54	436	4.19	132	3403	0.29	444	0.24	120
1813	14.90	432	7.96	187	3703	0.14	474	0.15	93
1843	6.24	435	4.01	155	3733	0.09	468	0.08	112
1873	13.34	433	8.49	157	3763	0.15	464	0.12	125
1903	8.28	433	6.95	119	3793	0.22	462	0.20	110
1933	0.16	461	0.48	33	3823	0.07	468	0.06	116
1963	0.31	437	0.88	35	3853	0.07	503	0.13	53
1993	58.09	426	27.66	210	3883	0.04	494	0.05	80
2023	3.12	437	2.19	142	3913	1.26	491	1.88	67
2053	2.93	437	1.81	161	3943	0.03	487	0.09	33
2083	76.97	424	31.51	244	3973	0.03	510	0.02	150
2113	2.86	438	1.84	155	4003	0.18	488	0.38	47
2143	0.25	436	0.48	52	4033	0.12	469	0.15	80
2173	6.75	439	4.35	155	4063	0.06	507	0.12	50
2203	0.33	436	0.23	143	4093	0.14	508	0.36	38
2233	2.37	443	0.87	272	4123	0.18	502	0.49	36
2263	12.52	434	5.24	238	4153	0.06	512	0.10	60
2293	5.83	440	2.46	236	4183	0.08	517	0.27	29
2323	8.74	437	3.56	245	4213	0.13	498	0.41	31
2353	2.91	437	1.26	230	4243	0.05	514	0.19	26
2383	1.83	441	1.10	166	4273	0.08	514	0.27	33
2413	11.86	437	7.73	153	4303	0.21	491	0.32	65
2443	0.53	439	0.92	57	4333	0.30	542	1.62	18
2473	7.31	438	3.61	202	4393	0.10	517	0.51	19
2503	7.98	436	4.99	159	4363	0.40	527	1.87	21
2533	0.52	444	0.49	106	4423	0.11	524	0.37	29
2563	1.00	439	0.83	120	4453	0.14	520	0.59	23
2593	4.97	440	1.78	279	4483	0.39	533	1.31	29
2623	0.57	443	0.63	90	4486	0.07	526	0.46	15

지수는 3-305 mg HC/g TOC를 보여 VII-1공의 시료와 마찬가지로 S2 값에 비해 낮은 수소 지수를 나타내었다. 특히 3400m 하

위 구간은 S2 (0.5 mg HC/g rock 이하) 및 수소 지수가 매우 낮고 (100 mg HC/g TOC 이하) 시료의 Tmax는 391°C에서

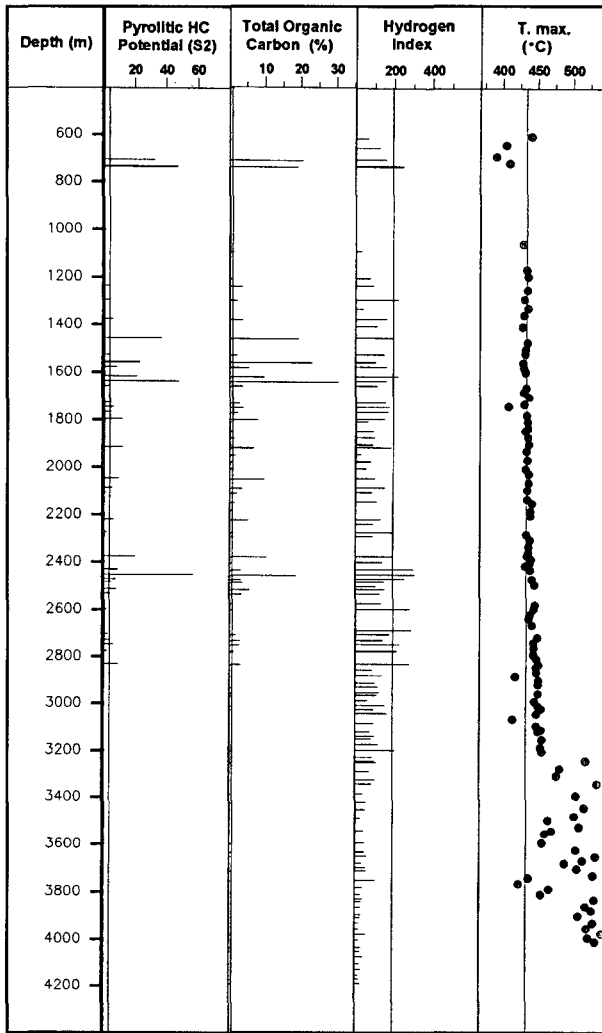


Fig. 8. Geochemical log of the fine sediments from the well JDZ VII-2.

Table 3. Elemental compositions of the kerogens from the wells JDZ V-1 and JDZ VII-1

Well	Depth (m)	Carbon (Wt. %)	Hydroge n(Wt. %)	Oxygen (Wt. %)	Atomic O/C	Atomic H/C
JDZ V-1	2328	29.40	3.10	10.28	0.26	1.27
	2489	20.50	1.35	7.83	0.29	0.79
	2589	29.38	1.64	7.33	0.19	0.67
	2769	28.13	2.01	7.53	0.20	0.86
	2886	25.96	1.22	6.09	0.18	0.56
	3012	24.26	0.87	6.80	0.21	0.43
	3087	20.21	1.76	6.16	0.23	1.05
JDZ VII-1	1378	51.02	4.20	12.17	0.18	0.99
	1573	28.01	2.93	9.64	0.26	1.25
	2026	64.42	4.94	13.32	0.16	0.92
	3853	22.27	0.86	6.50	0.22	0.46
	4000	22.73	1.19	7.11	0.23	0.63

542°C까지 변화하며 3400 m 하위 구간에서는 총 유기탄소의 함량이 매우 적어서 Tmax의 변화가 불규칙하게 나타난다 (그림 8).

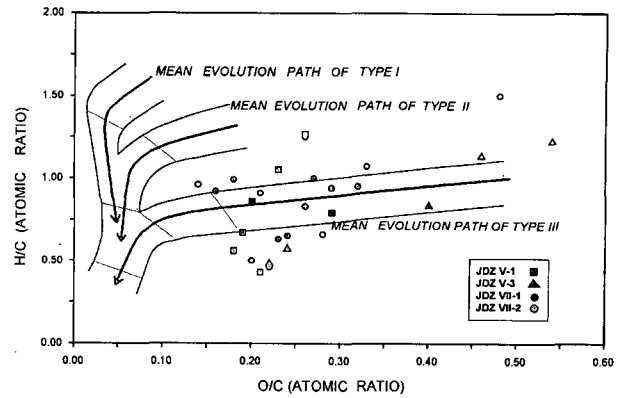


Fig. 9. Distribution of kerogens from the wells in the JDZ Block.

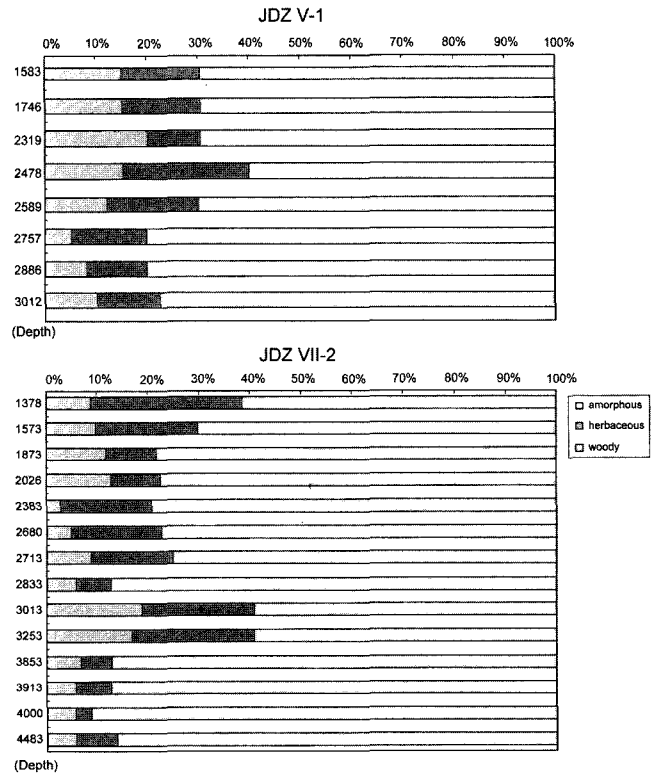


Fig. 10. Relative proportions of amorphous, herbaceous and woody kerogens from the wells in the JDZ Block.

케로젠 분석

JDZ V-1의 초기 마이오세 및 올리고세 시료에서 (2238-3087 m 구간) 분리된 케로젠의 산소/탄소 및 수소/탄소 (O/C, H/C) 원자비는 각각 0.18-0.29와 0.43-1.27의 범위를 나타내고 JDZ V-3 시추공 시료는 각각 0.22-0.54, 0.78-1.50의 범위를 나타낸다 (표 3). 원소 분석 결과를 van Krevelen 도표에 표시하면 유기물은 대부분 타입 III의 진화 경로상에 위치한다 (그림 9). 현미경 관찰을 통해서 이들 케로젠을 무정형 (amorphous), 초본류 (herbaceous) 및 목질과 탄질 성분 (woody or coaly)으로 구분 한 결과 (Brooks,

1981), 구성 성분은 대부분의 구간에서 60% 이상이 목질과 탄질 류로 이루어졌음을 나타내었다 (그림 10). 케로젠의 열변질 지수는 JDZ V-1공에서는 2200 m, JDZ V-3공에서 2700 m 깊이에서 주 석유 생성 단계에 도달하는 2+를 나타내었다.

현미경 관찰에 의하면 JDZ VII-1공의 유기물은 59-91%가 목 질과 탄질 유기물로 판명되었다 (Fig 10). 열변질 지수에 의하면 1387-2023 m 깊이의 유기물은 열적으로 미성숙 단계에 있고 2386m 하위 구간의 유기물은 주 석유 생성 단계에 도달하였다.

생물표기화합물 분석

JDZ V-1 및 JDZ V-3 시추공 마이오세 및 올리고세 지층 시 료의 포화 탄화수소 분포는 대부분 일항 분포를 (unimodal distribution) 나타내며, 가장 풍부하게 나타나는 성분은 nC₂₃ 혹은 nC₂₅이다. 포화탄화수소의 프리스테인과 파이테인의 비는 (pristane/

phytane) JDZ V-1공 시료의 경우에는 1.59에서 3.5, JDZ V-3시 추 시료는 1.78에서 6.48을 나타낸다 (표 4; 그림 11). 탄소의 흡수 선호 지수는 (carbon preference index; Bray and Evans, 1961) JDZ V-1공은 1에서 1.26 까지, JDZ V-3 시추공은 1.2에 서 1.77 까지 변화하고 두 시추공에서 모두 시추 심도에 따라서 감소하는 경향을 보인다. 프리스테인/파이테인 비율과 비교 할 때 흡수 선호지수가 낮은 값을 나타내는 것은 열 성숙 단계에 따른 영향으로 판단된다 (Tissot and Welte, 1984).

JDZ V-1 시추공 마이오세 및 올리고세 시료의 호판 및 스테란 생물표기화합물의 분석 결과는 층수에 따른 변화가 거의 없이 유사하다. 호판류 분석 결과 대부분의 구간에서 C₃₀αβ 호판이 가장 우세하게 나타났고, 올레아난 (oleanane)과 C₂₇-C₃₁까지의 호판류 가 검출되었다 (그림 12). 호판류가 대부분 스테란류에 비해 우세 하게 나타났고 스테란 분포는 C₂₉ 성분이 가장 우세하게 나타났 다. 유기물의 열적 성숙 단계를 반영하는 C₃₁ 호호호판의 22S/ (22S+22R) 비율은 분석 구간에서 심도에 따라서 0.51에서 0.59 까지 변화하여 분석 구간의 유기물의 열적 성숙도는 이미 주 석 유 단계에 거의 도달하였음을 나타냈다 (Philp, 1985). 또한 모레 탄과 C₃₀αβ 호판 비율 (moretane/C₃₀ α β Hopane)은 유기물이 성숙됨에 따라 감소하여 0.40에서부터 0.21까지의 변화폭을 보인 다. 그러나 Rullkötter와 Marzi (1988)에 의하면 모레탄과 호판의 비율은 부분적으로 기원 유기물의 특성 및 퇴적환경에 의해서 변 화 할 수 있으므로 해석시 주의해야 한다고 했다.

JDZ V-3 시추공의 마이오세-올리고세 시료는 구간에 따라서 C₃₀αβ 호판외에 C₂₉ 호판이 가장 우세한 시료도 있는데 이는 양 치류의 다이플롭틴 (diplotenes)에서 유래한 것으로 육상 유기물 의 특징을 나타낸다 (Philippe, personal communication). 모레탄 과 호판(moretane/C₃₀ α β Hopane)의 비율은 0.54에서부터 0.16 까지 변화하고 올레아난도 일부 구간에서 검출된다. JDZ V-3 공 제3기 시추 시료에서 검출된 스테란 피크는 호판에 비해서 매우 작고 C₂₉ 스테란이 가장 우세하게 나타나는데 (그림 13) ααα 20R C₂₉ 스테란은 52%에서 100%를 차지한다 (표 4).

JDZ VII-1 및 JDZ VII-2 시추공의 마이오세-올리고세 시료의

Table 4. Alkane and other biomarker parameters determined with the bitumens from the wells JDZ V-1 and JDZ VII-1

well	Depth	Pr/Ph	Pr/C ₁₇	Ph/C ₁₈	CPI	OEP	C ₃₁ H	C ₂₉ S	%C ₂₉ S
JDZ V-1	2238	3.20	10.26	0.91	1.26	1.09	-	-	100.00
	2547	3.23	2.92	0.24	1.13	1.03	-	-	62.69
	2577	1.90	1.94	0.14	1.11	0.99	0.51	-	-
	2589	1.59	1.59	0.16	1.14	1.04	0.56	-	100.00
	2757	3.17	0.87	0.17	1.07	0.99	0.56	-	-
	2772	2.83	0.95	0.16	1.06	1.00	0.59	-	-
	2886	3.16	0.70	0.16	1.03	1.00	0.53	-	100.00
	2968	3.50	0.62	0.12	1.03	0.98	-	-	-
	3012	2.13	0.47	0.11	1.02	0.95	0.54	-	-
	3027	-	5.12	3.08	1.00	0.78	-	-	-
3087	2.22	0.44	0.08	1.07	1.01	0.52	-	-	
JDZ VII-1	1387	-	-	0.63	2.32	1.33	0.13	-	58.08
	1573	-	0.77	0.63	1.48	1.01	0.22	0.18	47.35
	1873	1.28	2.08	0.73	1.52	1.11	0.35	0.14	64.84
	2031	-	1.45	0.80	1.48	1.08	0.35	-	-
	2383	1.95	2.84	0.44	1.20	0.96	0.51	-	32.35
	2713	0.96	1.58	0.50	1019	1.01	0.49	0.37	40.79
	2833	2.60	1.41	0.27	1.09	0.87	0.57	0.29	-
	3013	3.14	1.77	0.27	1.27	1.10	0.49	-	60.13
	3253	-	-	-	-	-	0.64	0.61	18.12
	3913	0.71	0.54	0.34	-	1.07	-	-	100.00
4483	2.16	0.48	0.15	-	0.71	-	-	-	

Pr: Pristane, Ph: Phytane, CPI = 2(C₂₃+C₂₅+C₂₇+C₂₉) / [C₂₂+2(C₂₄ + C₂₆+C₂₈)+C₃₀], OEP = (C₂₁+6C₂₃+C₂₅) / (4C₂₂+4C₂₄), C₃₁H: C₃₁ homohopane 22S / 22S+22R, C₂₉S: 20S / (20(S+R) α α α R C₂₉ sterane, %C₂₉S: % C₂₉/(C₂₇+C₂₈+C₂₉) Sterane.

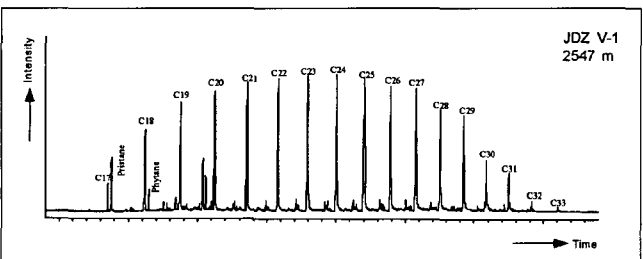


Fig. 11. Gas Chromatogram of the representative saturated cut at the depth of 2547 m from the well JDZ V-1.

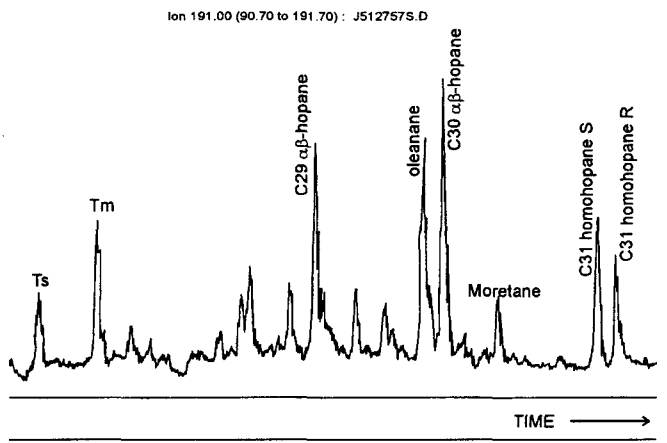


Fig. 12. Mass Chromatogram at m/z 191 represents hopanoids and oleanane at the depth of 2757 m in the JDZ V-1.

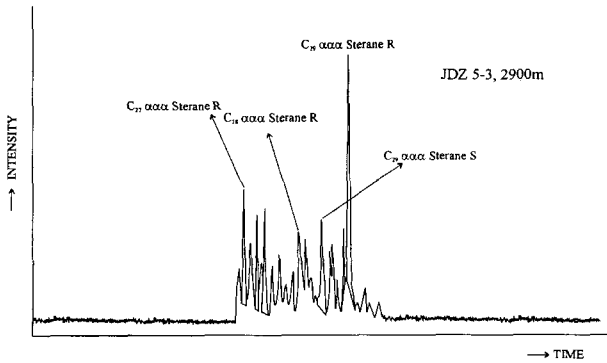


Fig. 13. Mass Chromatogram at m/z 217 represents sterane distribution at the depth of 2900 m in the JDZ V-3.

포화탄화수소 역시 대부분 일항 분포를 보이며 일반적으로 nC₂₅ 나 nC₂₇ 피크가 가장 우세하게 나타났다. JDZ VII-1 시추공 시료에서 추출한 포화탄화수소 중 프리스테인/파이테인 비는 0.96에서 3.14까지, 홀수 우세 지수는 1.09에서 2.32까지 변한다 (표 4). 또한 JDZ VII-2 공 시료의 프리스테인/파이테인 비는 1.2에서 3.53까지 그리고 홀수 우세 지수는 1.06에서 2.07까지 변화한다.

JDZ VII-1 및 JDZ VII-2 시추공의 마이오세-올리고세 시료 중 트리테펜 분포는 C₂₇-C₃₁ 호환이 우세하였고 C₃₀ αβ 호환이 가장 크게 나타났다. 이들 시추공에서도 JDZ V-1 과 마찬가지로 호환류가 대부분 스테란류에 비해 우세하게 나타났고 스테란 분포는 C₂₉ 성분이 가장 우세하게 나타났다. 또한 호성 퇴적물, 특히 중국의 호성 분지에서 자주 보고 된 바 있는 4-메틸 스테란도 GC-MS/MS 분석에 의해서 검출되었다 (Brassell *et al.*, 1988; Fu Jiamo *et al.*, 1988, 1989). JDZ VII-1 공에서 C₃₁ 호호호환의 2S/(2S+22R) 비율은 분석 구간에서 심도에 따라서 0.13에서 0.64까지 변화하고 C₂₉ 5α (H), 14α (H), 17α (H) 스테란의 20S/(20S+20R) 비율은 분석된 구간에서 0.18에서 0.61까지 변화하여 (표 4; 그림 14) 2300 m 구간 시료의 열성숙 단계는 주 석유 생성 단계에 도달했음을 나타낸다 (Seifert and Moldowan, 1986) 이들 열 성숙 파라메타에 의하면 JDZ VII-1, VII-2 공의 최 하부 분석 구간 유기물은 JDZ V-1, V-3 공의 최 하부 분석 구간의 그것보다 보다 열적으로 더욱 진화된 양상을 나타낸다.

토 론

퇴적 분지의 석유 및 가스 생성 잠재력은 퇴적암에 포함된 유기물의 특성과 매우 밀접한 관계가 있고 석유 생성과 관련된 유기물의 특성 파악은 유기물의 함량, 유기물의 타입 그리고 열적 성숙도를 밝힘으로써 이루어진다 (Hunt, 1996). 유기물의 함량은 퇴적물 내의 유기탄소의 양을 측정함으로써 결정 할 수 있고, 유기물의 타입은 퇴적암의 열 분석, 케로젠 및 비투멘의 분석에 의해서 이루어진다. 열적 성숙도는 퇴적된 유기물이 석유 및 가스 생성과 관련해서 겪는 변성 작용 단계를 일컫는 것으로 신선하게 퇴적된 유기물이 탄화수소로 변해 가는 화학적 변화 정도

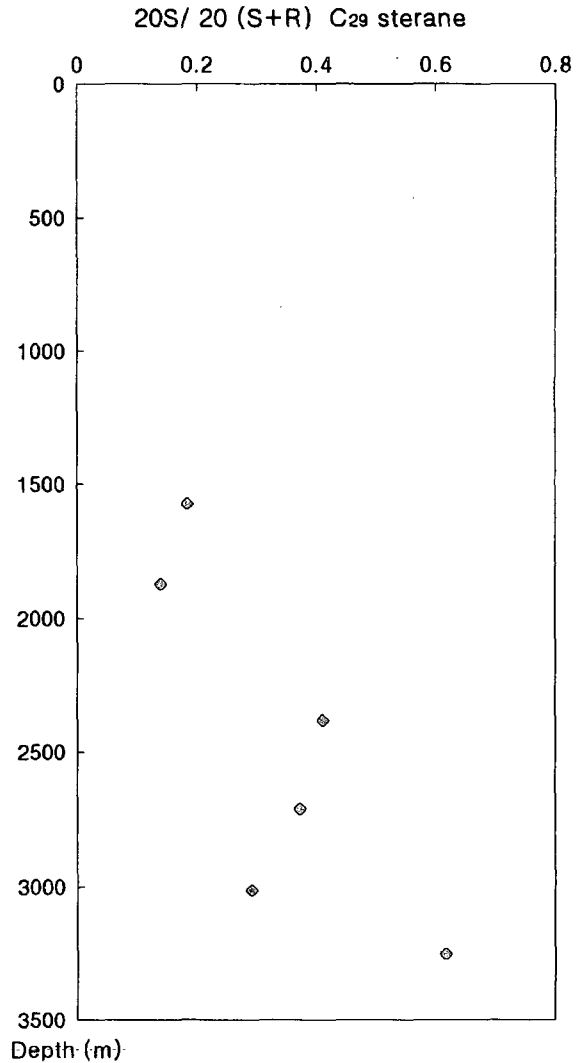


Fig. 14. Plot of % 20S/(20S+20R) sterane against depth from the well JDZ VII-1.

를 지칭한다 (Cooper, 1990).

유기물 함량

한일 공동 광구에 시추된 JDZ V-1 및 JDZ V-3 시추공에서 회수된 퇴적물내의 유기물 함량은 지질 시대에 따라서 다소 변화하는데 중기 마이오세 이후의 퇴적물은 0.5% 이하의 유기물을 함유해서 석유 생성에 부적합한 것으로 나타났다. 이들 시추공의 초기 마이오세 내지 올리고세 퇴적물은 상대적으로 많은 유기물을 함유하지만 전반적으로 1% 이내의 유기물을 함유하고 있어서 방대한 양의 석유 생성을 기대하기는 어려운 조건을 갖고 있다. 이와는 달리 JDZ VII-1 및 VII-2 시추공의 마이오세 퇴적물은 3500 m 이상 깊이 및 상부의 일부 구간을 제외하고는 0.5% 이상을 포함하고 있다. 일부 구간에서 유기물의 함량이 매우 높은 (10% 내외) 것은 주로 탄질 셰일을 분석한 것으로 당시의 퇴적 환경이 석탄 및 탄질 셰일의 퇴적이 용이했었음을 알 수 있다. JDZ V-1 및 V-3공의 시료에서 유기물의 함량이 상대적으로 더

적은 이유는 하성 환경이 우세한 것에 기인하는 것으로 해석된다.

유기물 특성 및 퇴적 환경

Rock-Eval 열 분석을 통한 수소 지수와 Tmax 값에 의하면 JDZ 시추공에 의해서 시추된 마이오세 및 올리고세 퇴적물 내의 유기물은 타입 III에 대비된다. 케로젠의 원소 분석 결과를 van Krevelen 도표에 표시했을 때도 이와 같은 결과를 나타내고 케로젠의 현미경 관찰을 한 결과에서도 성분이 목질, 탄질 유기물이고 초분류 및 무정형의 케로젠이 소량인 것도 이와 일치하는 결과이다. 특히 무정형 케로젠이 대부분 형광을 보이지 않는 것으로 보아 이들 무정형 케로젠도 타입 I보다는 III에 분류되는 것으로 보인다.

비교적 최근에 생물표기화합물을 이용해서 퇴적 환경을 유추하는 시도가 이루어진 바 있다 (Brassell, 1992; Dydyk et al, 1978; Lee et al, 1997). 그런데 퇴적물 중에서 추출해낸 유기성분은 원지성 (autochthonous) 및 타지성 (allochthonous)의 특성을 같이 갖고 있으므로 해석 시에 매우 주의를 기울여야 한다. JDZ V-1, JDZ V-3, JDZ VII-1 및 JDZ VII-2 등 4개 시추공 비투멘의 알칸 성분인 프리스테인과 파이테인 비 (Pr/Ph)를 비교할 때 유기물은 주로 산화 환경에서 퇴적되었던 것으로 나타났다. 이는 JDZ VII-1 및 JDZ VII-2 시추공에서 탄질 셰일 및 석탄을 제외하고는 마이오세-올리고세 기간 동안에 유기물의 보존 상태가 나쁜 영향을 미쳐 유기물의 함량이 적은 결과를 초래했다 (Illich, 1983). 이들 시추공 시료의 포화탄화수소 분석을 프리스테인/nC₁₇ 및 파이테인/nC₁₈의 도표에 표시한 결과 시추공의 초기 마이오세와 올리고세의 유기물은 주로 육상 기원임을 알 수 있다 (그림 15; Shanmungam, 1985). 호판류가 스테란류에 비해 우세하게 나타났고 스테란 중에서는 C₂₉ 스테란 성분이 가장 우세하게 나타나서 육상 기원이나 생물체에 의해 재동원 (reworked) 유기물이 주 기원 물질이었음이 밝혀졌다 (그림 16; Peters and Moldowan, 1993). 올레아난이 뚜렷하게 나타나는 것과 소량의 4-

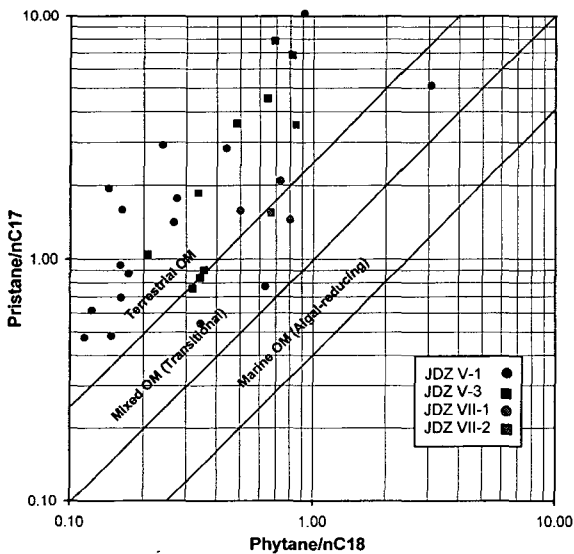


Fig. 15. Cross plot of pristane/nC₁₇ versus phytane/nC₁₈ from the wells in the JDZ Block.

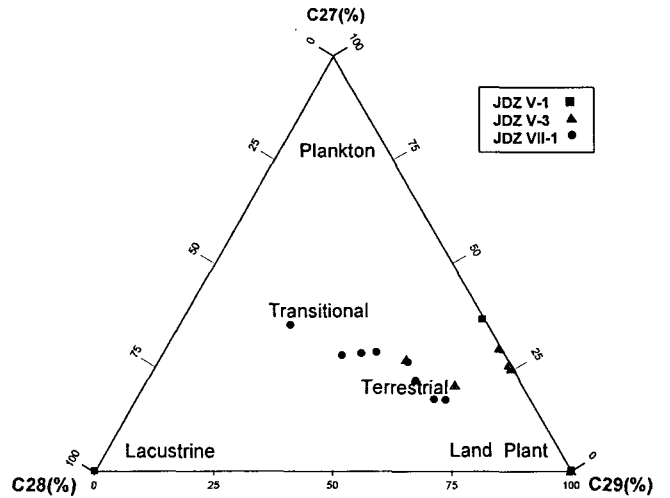


Fig. 16. Ternary diagram of C₂₇₋₂₈₋₂₉ α, α, α sterane distribution from the wells in the JDZ Block.

메틸 스테란 등의 호수 원지성 (lacustrine autochthonous) 표기물이 검출되는 것으로 보아 마이오세와 올리고세 동안에 JDZ 시추공이 시추된 지역은 하성 환경이 우세한 가운데 부분적으로 호수 및 늪지가 형성되었던 환경이었음을 알 수 있다 (Goodwin et al, 1988; Moldowan et al., 1985). 이 기간동안에 형성되었던 호수 및 늪지는 지질학적인 시간 동안에서 일시적이었고 규모도 크지 않아서 주변 육상 유기물의 유입이 매우 용이했던 것으로 판단된다. 지화학적인 결과에서 유추한 퇴적 환경은 기존의 퇴적학적, 고생물학적 연구 결과와 일치하는 결과를 나타낸다 (정태진 외, 1996).

열적 성숙 단계

Rock-Eval Tmax, 케로젠 관찰 및 생물표기화합물 분석 결과에 의한 유기물의 열적 성숙 단계는 JDZ V-1 및 JDZ V-3의 경우에는 각각 2000 m, 2600 m 깊이에서 주 석유생성 단계에 도달하여 총 심도에서도 주 석유 생성 단계의 중반에 머문다. 또한 JDZ VII-1과 VII-2 시추공에서는 2200 m 깊이에서 주 석유 생성 단계에 도달하고 3700 m 깊이에서는 습성 가스 생성 단계에 도달한다. JDZ V-1 및 JDZ V-3 시추공에 있었던 화성암의 관입에 의해서 Tmax 값의 불규칙적으로 변화하는 양상을 보이는데 JDZ V-1 공의 탄화수소 징후로 미루어 보아 탄화수소 생성 및 일차 이동에 영향을 주었을 가능성을 배제 할 수는 없다. JDZ V-1 및 JDZ V-3 공에서는 초기 마이오세 및 올리고세 유기물이 주 석유 생성 단계에 이른 반면 JDZ VII-1과 JDZ VII-2 시추공 시료는 중기 마이오세 유기물이 석유 생성 단계에 도달하였는데 이렇게 성숙되는 시기가 다르게 나타나는 것은 JDZ VII-1과 JDZ VII-2 시추공 주변의 퇴적물의 퇴적이 높았고 침강 속도가 빨라서 상대적으로 매물 심도가 깊고 두꺼운 퇴적층이 상위에 쌓였기 때문으로 해석된다 (권영인, 1995; Lee, 1997; Su et al., 1989). JDZ V-3 시추공에서 열 성숙 경사도가 비교적 작게 나타난 것은 시추공이 위치한 지역의 열류량이 작거나, 암상이 열 전도도가 낮았기 때문으로 생각할 수 있다 (Unomah and Ekweozor, 1993). 암편 시료 및 물리 검증 자료를 종합해 볼 때

JDZ V-3 시추공에서 회수된 암석은 열 전도도가 낮은 세일의 함량이 다른 시추공에서 보다 많은 것으로 나타났다 (평균 68%; 한국석유개발공사, 1997). 하지만 시추공 주변의 열류량은 측정 자료가 부족한 상태이다.

석유 생성 잠재력

유기물의 특성 즉, 유기물의 함량과 타입 및 석유 생성 잠재력을 파라메타인 S2, 수소지수에 근거 할 때 JDZ V-1 및 V-3 시추공에 의해서 시추된 마이오세-올리고세 퇴적물은 탄화수소 생성 잠재력이 극히 낮은 것으로 나타났다.

JDZ VII-1 및 JDZ VII-2 시추공 1200 m부터 3200 m에서 회수된 마이오세-올리고세 퇴적물은 1% 이상의 유기물을 함유하지만 S2 값과 수소 지수가 각각 2 mgHC/gRock, 200 mgHC/gTOC 이하이어서 유기물은 주로 육성 기원의 휴믹 (humic) 물질로 석유보다는 가스 생성에 적합한 유기물 특성을 보인다. JDZ VII-1 및 VII-2 시추공의 3500 m 이하 구간 퇴적물에서 유기물의 함량, 수소 지수가 급격히, 규칙적으로 줄어들고 Tmax 의 기울기가 상대적으로 상승하는 것은 탄화수소가 생성, 방출되었을 가능성을 시사 할 수도 있다. 이수 검증 자료에서 JDZ VII-1공의 3400-4070 m 구간에서 가스징을 보인 것과 JDZ VII-2 공의 2300 m 하위 구간에서 나타나는 가스징은 이 층중에서 방출된 탄화수소로 간주할 수 있다. 또한 JDZ VII-2 공의 2900 m 하위에서 나타나는 길소나이트 (gilsonite)와 풍화된 오일 (weathered oil) 역시 탄화수소의 생성 및 이동을 지지 할 수도 있다.

결 론

한일 공동 광구의 JDZ V-1, JDZ V-3 공의 마이오세 내지 올리고세 퇴적물의 유기물 함량은 지질 시대에 따라서 약간의 변화는 있으나 대부분의 분석 구간에서 0.5% 내외로 석유 생성 관점으로 보면 한계 함량을 나타냈다. JDZ VII-1, JDZ VII-2 시추공의 마이오세 퇴적층은 선술한 시추공의 퇴적물에 비해서 유기물이 풍부하게 나타났고 일부 구간에서 유기물의 함량이 매우 높은 (10% 내외) 것은 탄질 세일이 분석된 것으로 당시의 퇴적 환경이 석탄 및 탄질 세일의 퇴적이 용이했었음을 알 수 있다. JDZ VII-1 및 JDZ VII-2 시추공 마이오세-올리고세 퇴적물은 1% 이상의 유기물을 포함하지만 이들의 S2 값과 수소 지수에 기초하면 육성 기원의 휴믹 (humic) 물질이 주종으로 석유보다는 가스 생성에 적합한 유기물이었다.

현미경 관찰에 의하면 JDZ 시리즈 시추공의 제3기 퇴적물에 포함된 케로젠은 주로 육상기원의 목질 및 탄질물로부터 유래된 것이고, 원소 분석 결과 주로 타입 III에 비교 될 수 있음을 보여 준다. 이 퇴적물이 풍부한 유기물에 비해 석유 생성 잠재력 및 수소지수가 낮은 것은 육상 유기물의 특성을 반영하는 것이다. 생물표지화합물 분석에 의하면 JDZ 시추공 들의 제3기 퇴적물은 육상 기원 유기물의 유입이 우세했고, 퇴적 당시의 조건은 산화 환경이었기에 유기물의 보전이 어려운 상태이었음을 나타냈다. JDZ 시추공 들의 제3기 퇴적 환경은 하성 환경이 우세한 가운데

일시적인 호수, 혹은 늪이나 범람원이 형성되었던 곳으로 해석된다. 유기물의 열 성숙 단계는 JDZ V-1 및 V-3시추공의 총 심도 구간에서는 석유 생성 중간 단계에 도달했고 JDZ VII-1 및 VII-2 공의 3600 m 하부 층은 건성 가스 생성 단계에까지 도달한 것으로 나타났다.

유기물의 함량과 타입 및 석유생성 잠재력 S2, 수소지수를 기준으로 할 때 JDZ V-1 및 V-3 시추공에 의해서 시추된 마이오세-올리고세 퇴적물은 탄화수소 생성 잠재력은 매우 희박 한 것으로 나타났다. 그러나 JDZ VII-1, VII-2 시추공의 3400 m 깊이 하위의 올리고세 퇴적층은 유기물 함량 및 수소 지수가 급격히 감소하는 것과 가스 징후, 이수 검증 시 길소나이트가 검출되는 것은 매물 심도가 깊어지면서 유기물이 열 분해되어 이미 탄화수소를 생성했던 것을 시사한다.

사 사

원소 분석 및 Rock-Eval 분석을 도와주신 한국자원연구소 김학주 씨와 논문을 검토하고 좋은 의견을 주신 익명의 심사위원께 감사 드린다. 연구의 일부는 산업자원부의 연구 사업 지원에 의해서 이루어졌다.

참 고 문 헌

곽영훈, 손진담, 오재호, 정태진, 김홍렬, 손병국, 권석기, 김학주, 1989, 대륙붕 한·일 공동광구 제 8, 9 소구의 석유지질 및 지화학적 연구. 한국동력자원연구소 연구보고서, KR-89-3B, 3-50.

곽영훈, 양문열, 손진담, 한중환, 정태진, 손병국, 1987, 대륙붕 한·일 공동광구 제 5 소구의 석유지질 및 지화학적 연구. 한국동력자원연구소 연구보고서, KR-87-24, 35-86.

권영인, 박관순, 유강민, 손진담, 1995. 제주분지 제3기 육성층의 층서 및 퇴적물 기원, 한국석유지질학회지, 3, 1-15.

김중수, 박영수, 공영세, 1986, 대륙붕 지질 자료 해석 연구 (제 5 광구 KV-1 호공의 퇴적상에 대해서), 한국동력자원연구소 연구보고서, KR-86-16, 7-27.

박영수, 공영세, 김승우, 김중수, 1989, 한·일 공동 개발구역 제 8 및 9 소구 시추공 지질자료 해석 연구, 한국동력자원연구소 연구보고서, KR-89-3A-1, p. 5-31.

박영수, 공영세, 최계림, 김승우, 1987, 대륙붕 한·일 공동 개발 구역 제 5 소구 시추공 지질자료 해석 연구, 한국동력자원연구소 연구보고서, KR-87-24, 1-34.

봉필윤, 전희영, 이호영, 최성자, 1987, 대륙붕 제 5 소구의 층서 고생물학적 연구. 한국동력자원연구소 연구보고서, KR-87-24, 87-130.

봉필윤, 전희영, 이호영, 최성자, 1989, 대륙붕 제 5 소구의 층서 고생물학적 연구. 한국동력자원연구소 연구보고서, KR-89-3A-1, 34-72.

오재호, 곽영훈, 정태진, 류병재, 손병국, 황인길, 이영주, 김학주, 박관순, 박근필, 신창수, 조철현, 권영인, 봉필윤, 손진담, 이호영, 1994, 제주분지의 석유 자원 평가 연구, 한국동력자원연구

- 소 연구보고서, KR-94(C)4-1, 3-344.
- 전희영, 최덕근, 봉필윤, 이호영, 1986, 대륙붕 제 5 광구 KV-1 호공의 미고생물학적 연구, 한국동력자원연구소 연구보고서, KR-86-16, 61-100.
- 정태진, 광영훈, 오재호, 손진담, 봉필윤, 이호영, 류병재, 손병국, 황인걸, 권영인, 이영주, 김학주, 박관순, 박근필, 선우돈, 1996, 남부 대륙붕 분지의 석유 자원 평가 연구, 한국자원연구소 연구보고서, KR-96(C)-27, 3-198.
- 한국석유개발공사, 1997, 국내 대륙붕 종합 기술 평가 보고서, 미발간.
- Bordenave, M.L., J. Espitalié, P. Leplat, J. L. Oudin, and M. Vandenbroucke, 1993, Screening techniques for source rock evaluation. In: M. L. Bordenave (Editor), Applied petroleum geochemistry, Editions Technip, Paris, 217-278.
- Brassell, S.C., 1992, Biomarkers in sediments, sedimentary rocks and petroleum; Biological origins, geological fate and applications: in L. M. Pratt, ed., Geochemistry of organic matter in sediments and sedimentary rocks, SEPM short course 27, SEPM, 29-72.
- Brassell, S.C., G. Sheng, and F. Jiamo, 1988, Biological markers in lacustrine Chinese oil shales. In: K. Kelts, A. J. Fleet, and M. Talbot (Editors), Lacustrine Source Rocks, Blackwells, Oxford, 299-308.
- Bray, E. E. and E. D. Evans, 1961, Distribution of n-paraffines as a clue to recognition of source beds, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, V.22, p.2-15.
- Brooks, J.D., 1981, Organic maturation of sedimentary organic matter and petroleum exploration; review: in J. Brooks ed., Organic maturation studies and fossil fuel exploration, Academic press, p.1-37.
- Cooper, B.S., 1990, Practical petroleum geochemistry: Robertson Scientific Publications, 174p.
- Didyk, B.M., B.R. T. Simoneit, S.C. Brassell, and G. Eglinton, 1978, Organic geochemical indicators of paleoenvironmental conditions of sedimentation, *Nature*, 272, 216-222.
- Durand, B., 1980, Kerogen ; Insoluble organic matter from sedimentary rocks: Editions Technip, 519p.
- Espitalié, J., F. Marquis, and I. Barsony, 1984, Geochemical logging, in K.J. Voorhees, ed., Proceeding of the 5th International Symposium on Analytical Pyrolysis, 276-304.
- Fu Jiamo, G. Sheng, and D. Liu, 1988, Organic geochemical characteristics of major types of terrestrial petroleum source rocks in China. In: K. Kelts, A. J. Fleet, and M. Talbot (Editors), Lacustrine Source Rocks, Blackwell, Oxford, 279-290.
- Fu Jiamo, G. Sheng, J.Xu, G. Eglinton, A.P. Gowar, J. Rongfen, S. Fan, and P. Peng, 1989, Application of biological markers in the assessment of paleoenvironments of Chinese non-marine sediments. *Organic Geochemistry*, 16, 769-779.
- Goodwin, N.S., A.L. Mann, and R.L. Patience, 1988, Structure and significance of C30 4-methyl sterane in lacustrine shales and oils. *Organic Geochemistry*, 12, 495-506.
- Hilde, T.W.C., S. Uyeda, and L. Kroenke, 1977, Evolution of the western Pacific and its margin. *Tectonophysics*, 38, 145-165.
- Hunt, 1996, Petroleum geochemistry and geology. Freeman, New York, 743p.
- Illich, H.A., 1983, Pristane, phytane, and lower molecular weight isoprenoid distribution in oils. *American Associations of Petroleum Geologists Bulletin*, 66, 385-393.
- Jolivet, L., L. Huchon, and R. Claude, 1989, Tectonic setting of Western Pacific Marginal Basins, *Tectonophysics*, 160, 23-47.
- Lee, Y., Y. Kwak, J. Oh, T. Cheong, H. Kim, M. Kang and H. Yun, 1997, Characteristics of the Biomarkers from the Pohang and Cheju Basins: Proceedings of the 4th Korean Associations of Petroleum Geologists Bulletin. 82-86.
- Lee, Y., 1997, Petroleum Geochemistry of Organic matter from the Cheju Basin, northeastern part of the East China Sea, PhD thesis, Chungnam National University, 328p.
- Li, D., and R. Tao, 1992, Petroleum geological characteristics of East China Sea Shelf Basin. *Indian Journal of Petroleum Geology*, 1, 1-19.
- Moldowan, J.M., W.K. Seifert and E.J. Gallegos, 1985, Relationship between petroleum composition and depositional environment of petroleum source rocks. *American Associations of Petroleum Geologists Bulletin*, 69, 1255-1268.
- Peters, K.E., and J.M. Moldowan, 1993, The Biomarker Guide- interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments-. Prentice Hall, 363p.
- Philp, R.P., 1985, Fossil Fuel Biomarkers-application and spectra. Elsevier, 294p.
- Rullkötter, J., and R. Marzi, 1988, Natural and artificial maturation of biological markers in a Toarcian shale from northern Germany. *Organic Geochemistry*, 13, 639-645.
- Shanmungam, G. 1985, Significance of coniferous rain forests and related organic matter in generating commercial quantities of oil, Gippsland Basin, Australia. *American Associations of Petroleum Geologists Bulletin*, 69, 1241-1254.
- Silverman, M.R., Q. Wang, B.L. Byrd, Z. Kun, Z. Ying, C. Ming, and P. Weimer, 1996, 3-D evaluation of the Ping Hu field, East China Sea: in P. Weimer, and T. L. Davis, eds., AAPG studies in Geology No. 42 and SEG Geophysical Developments series No. 5, AAPG/SEG, Tulsa, 91-102.
- Su, D., N. White, and D. Mckenzie, 1989, Extension and subsidence of the Pearl River Mouth basin, northern South China Sea. *Basin Research*, 2, 205-222.
- Tissot, B. P., and D. H. Welte, 1984, Petroleum Formation and Occurrence. Springer-Verlag, 538p.
- Unomah, G.I., and C.M. Ekweozor, 1993, Application of vitrinite reflectance in reconstruction of tectonic features in Anambra basin, Nigeria; Implication for petroleum potential. *American Associations of Petroleum Geologists Bulletin*, 77, 436-451.
- Zhou, Z., J. Zhao, and P. Yin, 1989, Characteristics and Tectonic Evolution of the East China Sea. In: X. Zhu (Editor), Chinese Sedimentary Basins. Elsevier, p.165-179.