

소라소분지 BP-1공의 층서연구

오재호¹ · 김용미¹ · 윤혜수^{2*} · 박은주³ · 이성숙³ · 이민우²

¹한국지질자원연구원, ²충남대학교 지질환경과학과, ³한국석유공사

Stratigraphy of the BP-1 well from Sora Sub-basin

Jaeho Oh¹, Yongmi Kim¹, Hyesu Yun^{2*}, Eunju Park³, Songsuk Yi³ and Minwoo Lee²

¹Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources(KIGAM), Daejeon 305-350, Korea

²Department of Geology and Earth Environmental Sciences, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

³Korea National Oil Corporation, Anyang 431-711, Korea

This study carried out palynological analysis and seismic interpretation to establish a stratigraphic and environmental reconstruction mainly based on fossil palynomorphs and seismic reflection data correlated with the oil exploitation well (BP-1) located in the Sora Sub-basin. There were frequent environmental and floral changes due to sea level change in the Sora Sub-basin. The palynomorph assemblages found in the well sediments enabled paleoecological zonation of the well sediment sequence resulting in 4 zones: Ecozone III, Ecozone IV, Ecozone V, Ecozone VI. Index fossils among palynomorphs indicate geological ages of the units within the well ranging from Eocene to Pleistocene, and paleoenvironment varies from freshwater to inner neritic marine. Previous studies suggest that the marine deposits were slightly different in stratigraphic range from well to well. It is considered the difference is credited to geomorphological setting. This study also shows stratigraphic correlation between existing wells and BP-1 well to establishes a standard stratigraphy of the Domi Basin.

Key words : Domi Basin, Sora Sub-basin, microfossils, biostratigraphy, paleoenvironment

소라소분지에 위치한 BP-1공을 대상으로 유기질 미화석 분석 결과와 탄성과 자료를 비교 분석하여 연구지역의 지질시대를 구분하였고 고환경을 해석하였다. 소라소분지에서는 해침 해퇴의 반복과 해수면 변화에 따른 환경변화 및 생물군의 변화가 있었다. 표준화석과 생태층서 해석에 의하여 지질시대는 하부로부터 후기 에오세, 올리고세, 전기 마이오세로 구분하였다. 유기질 미화석군을 기초로 흑진주공의 생태층서를 상부부터 Ecozone III, Ecozone IV, Ecozone V, Ecozone VI 로 각각 4개의 생태층서대로 나누었다. 흑진주공과 기존 연구된 도미분지의 층서 자료를 비교한 결과, 소라-1공과 인접한 BP-1공에서는 해성층의 미화석 군집의 다양도가 각각 다르게 나타났는데, 이는 각각의 분지 주변과 중앙에 위치한 지형적 차이로 인한 결과로 판단하였다. BP-1공의 층서 연구를 통해 기존의 시추공들과 층서대비를 할 수 있었고 도미분지의 표준층서를 확립하게 되었다.

주요어 : 도미분지, 소라소분지, 미화석, 층서, 고환경

1. 서 론

한국 대륙붕에 대한 연구는 1980년대 이후부터 탄화수소자원 개발을 목적으로 물리탐사와 다수의 탐사시추를 시행하여 생층서, 고환경, 탄성과층서, 지구조, 유기지화학 등의 자료가 축적되었다(KIER, 1984,

1987, 1988, 1989). 남해 제주분지 내 V, VI광구에서도 거북-1, 옥돔-1공과 도미-1, 소라-1 시추공에서 다양한 연구가 수행되어 석유자원 잠재력에 대한 석유지질학적 평가가 있었다(KIER, 1989, 1996; Lee, 1997). 2010년에 한국석유공사는 소라소분지 중심부에 BP-1 공을 시추하여 탄화수소 부존 징후를 확인하였으며 시

*Corresponding author: hsyun@cnu.ac.kr

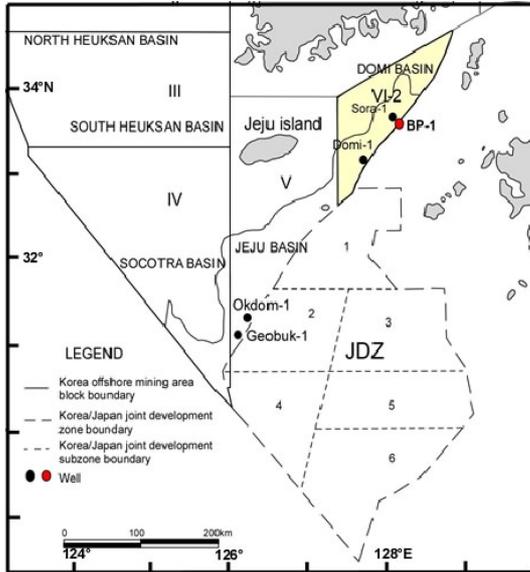


Fig. 1. Location of BP-1 well.

추시료 분석을 통한 근원암 기능성을 평가하였다(Fig. 1; Park, 2011).

시추 후 석유잠재력을 평가하기 위해 수행하는 연구는 비교적 짧은 기간에 이루어지기 때문에 연구하고자 하는 각 분지의 지화학적, 고생물학적, 퇴적 암석학적 분석 이외의 범지역적 층서검토나 학문주제간 결과비교, 시추공들과의 비교 및 인접 분지간의 비교까지 수행하기 어렵다. 그로 인해 인접 분지 시추공의 비슷한 층준에서 지질시대가 상이하고, 같은 분지에서도 연구자에 따라 생층서 분대나 지질시대가 다름으로 탄성과 해석이나 구조해석, 분지발달사 해석, 더 나아가 이 지역의 석유지질학적 평가에서 많은 혼란이 일어난다.

남해 대륙붕 6-2광구지역의 석유시스템 분석에서도 동일 지구조에 속하는 한국 측 시추공(도미-1, 소라-1)과 일본 측 시추공(Fukue-1)의 생층서 결과가 다르게 해석되어 석유시스템 분석에서 결정적인 고려요소들을 확정짓지 못하는 원인이 되었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 도미분지의 생층서 확립에 목표를 두고 기존 생층서 연구결과들을 검토한 결과 특히 논란이 되고 있는 하부구간의 퇴적층에서는 석회질 미화석이 거의 산출되지 않는 점에 주목하였다. 이러한 특성이 퇴적환경에 의한 것인지 혹은 화석 보존의 차이 때문인지를 확인하기 위하여 기존에 분석된 바 없는 상대적으로 보존력이 뛰어난 유기질 미화석(외편모조류, 화분포자)을 이용하여 생층서 분석을 실시하였다. 그 결과

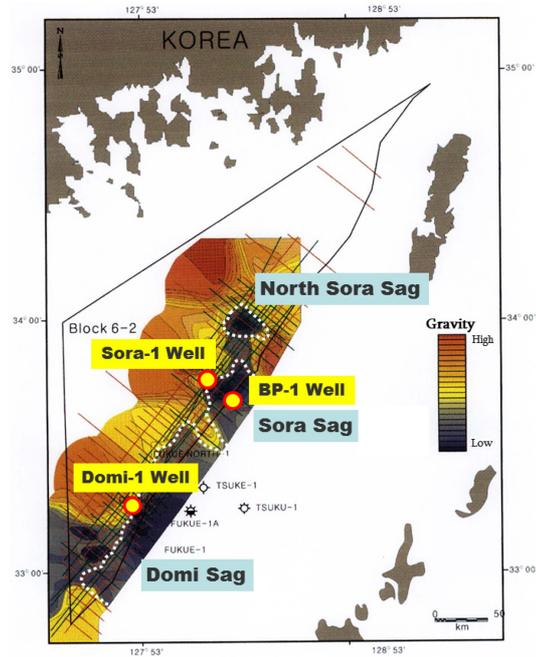


Fig. 2. Gravity anomaly map of the Block 6-2(modified from Park, 2011).

기존 해성 석회질 미화석이 보존되지 않은 구간으로부터 다량의 해성 유기질 화석을 획득함으로써 도미분지의 생층서 및 고환경 정보를 복원하였다. 이를 토대로 남해 대륙붕 6-2광구지역 시추공 도미-1과 소라-1의 고환경 발달사와 생층서 및 지질시대를 규명하고 탄성과 층서 결과와 비교하여 도미분지를 포함한 범지역적 표준층서를 확립하였다(Yun *et al.*, 2012).

본 연구에서는 도미분지 내의 소분지 중 하나인 소라소분지의 중심부에서 시추한 BP-1(Fig. 2)공의 시료를 상대적으로 보존력이 뛰어난 외편모조류 미화석과 화분포자 미화석 분석을 이용한 연구를 실시하여 BP-1공의 지질시대를 규명하고 고환경을 유추하여 BP-1공의 층서를 확립하고자한다. 나아가 기 연구된 도미분지의 표준층서에 본 연구결과를 추가 및 대비하여 도미분지의 표준층서를 완벽하게 설정하고자 한다.

2. 광역지질 및 연구지역

2.1. 광역지질

동중국해에는 서쪽의 동중국해대륙붕분지(East China Sea Shelf Basin; Zhou *et al.*, 1989)와 동쪽의 오키나와 해곡분지(Okinawa Trough Basin; Zhou *et al.*,

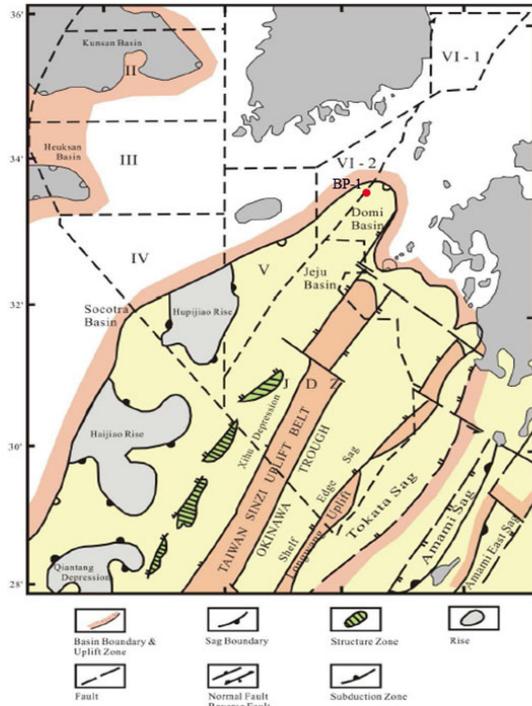


Fig. 3. The structural division of the East China Sea(after Yin *et al.*, 1990).

1989)가 발달되어 있다. 이 분지들은 중국 남부지역을 따라 발달한 일련의 열개 분지들 중의 하나로 동중국해대륙붕분지는 후기 백악기~전기 에오세에, 오키나와해곡분지는 후기 마이오세에 열개운동에 의해 형성되었다.

동중국해분지는 북서쪽으로 체민 융기대(Zhe-Min Uplift)와 남동쪽으로 류큐 습곡융기대(Ryukyu Folded Uplift)에 의해 경계가 되며, 분지 내부에 발달하는 다이오유다오 습곡 융기대(Dioyudao Folded Uplift)를 중심으로 동중국해 대륙붕분지(Shelf Basin of the East China Sea)와 오키나와 트러프분지(Okinawa Through Basin)로 구분된다(Fig. 3). 그리고 중력탐사에 의하면 동중국해 대륙붕분지 지역의 지각의 두께는 약 28 km로 대륙지각에 해당되며, 오키나와 트러프의 지각의 두께는 14 km 내지 20 km로 대륙지각이 남동쪽으로 갈수록 얇아지는 경향을 보인다(Yin and Liu, 1990).

2.2. 연구지역

국내 대륙붕 남해지역의 6-2광구에 해당하는 본 연구지역인 소라소분지는 크게 도미분지에 속하고 더 크

게는 제주분지에 속하며, 동중국해 분지에 속한다. 도미분지의 퇴적중심지를 포함한 분지 절반 이상이 분포하는 동쪽 부분은 일본 후쿠에 분지로 알려져 있다(Fig. 1).

한국 석유공사가 수행한 2차원 탄성과 조사와 중차력 탐사결과에 의하면 도미분지는 기반암 융기부에 의해 3개의 소분지(도미소분지, 소라소분지, 북소라 소분지)로 나누어지고(Fig. 2; PEDCO, 1998; KNOC, 2005; Park, 2011), 본 연구 지역은 동해의 울릉 분지와 남해의 동중국해 분지 사이에 위치하여 두 분지의 연결지역에 해당한다(Lee *et al.*, 2008).

제주분지와 도미분지는 백악기~ 팔레오세에 류큐 호상열도의 섭입과 관련하여 형성된 남서-북동주향의 열개분지이다(Meng and Chou, 1976; Li, 1984). 주로 동중국해 분지의 시후 트러프(Xiu Trough)의 지역적인 구조운동의 영향을 받았으며 에오세 말의 압축운동으로 대규모 융기작용이 일어났다. 올리고세에 들어서면서 태평양판의 섭입이 지속되면서 발생한 장력에 의해 새로운 확장기에 이르렀으며(Jolivet *et al.*, 1989), 후기 마이오세에는 룡징운동으로 발생한 횡압력에 의해 제주분지 북동쪽 쓰시마 지역이 융기되었다(Yin and Liu, 1990).

3. BP-1공의 자료 해석

3.1. 시료 및 방법

본 연구는 소라소분지에서 시추한 BP-1공을 대상으로 상대적으로 보존력이 뛰어난 외편모조류와 화분포자를 대상으로 화학적 방법으로 시료를 처리하여 각 미화석종을 분석하였다. 시료처리를 위하여 약 10 m 간격으로 5-10 g의 시료를 채취하여 총 262개의 시료를 분석하였고, 약 30 m 간격으로 총 80개의 시료를 현미경 관찰하였다.

3.2. 생층서

BP-1공의 80개의 시료로부터 총 9속 10종의 해성 외편모조류 화석과 1속의 담수성 외편모조류화석, 1속의 아크리타치(Table 1), 28속 29종의 화분포자 화석이 산출되었다(Table 2). 해성 외편모조류 화석의 층서적 산출특성에 따라 상부로부터 전기 마이오세, 올리고세, 후기 에오세로 나누었다.

3.2.1. 932 m ~ 1620 m: 전기 마이오세

본 구간은 해성 외편모조류가 산출하지 않고, 담수

Table 1. Occurrence chart of the Dinoflagellates and Acritarch from BP-1 well

Depth(m) / Species	<i>Glaphyrocysta exuberans</i>	<i>Cordosphaeridium</i> sp.	<i>Pentadinium laticinctum</i>	<i>Selenopemphix nephroides</i>	<i>Selenopemphix quanta</i>	<i>Tuberculodinium vancampoae</i>	<i>Polysphaeridium</i> sp.	<i>Lingulodinium</i> sp.	<i>spiniferites</i> sp.	<i>Hystrichokolpoma</i> sp.	<i>Bosedinia</i> sp.	<i>Baltisphaeridium</i> (short spine)
932												
960												
990												
1020												
1050												
1080												
1110												
1140												
1170												
1320											1	
1350												
1380												
1410												
1440												
1470												
1500												
1530												
1560												
1590												
1620	1			1					1			
1650					1							
1680				1							1	
1710	1					2						
1740												
1770												
1800												
1830												
1860							1					
1890												
1920												
2070							1					
2100												
2130												
2160											1	
2190												
2220												
2250												
2280								1		1	1	2
2310										1	3	
2340												
2370				1								
2400		1									2	
2430										1	2	2
2490												
2520												
2550												
2580				1							2	
2610												
2640												
2670												
2700											1	
2730												
2850												
2880												
2900												
2940												
2970												
3120												
3150												
3180												
3210												
3240												
3270												
3300												
3330												
3360												
3390												
3420												
3450												
3480												
3510												
3540												
3570												
3600												
3630												
3660												
3690												
3720												
3750												
3780												
3810												
3840												
3870												
3900												
3930												
3960												
4020												
4050												
Total	2	1	1	3	1	2	2	1	1	3	12	4

성 외편모조류 *Bosedinia* sp.가 1320 m 에서 발견된다. 화분포자는 28속 29종의 미화석이 산출한다. 발견된 화분포자 미화석 가운데 *Compositoipollenites* sp., *Engelhardtia* sp., *Malvacipollis* sp., *Trilobapollis* sp. 의 전기 마이오세를 지시하는 종(Barnett, 1989; Guangdon, 1981; Hu & Sarjeant; 1992)들이 발견되었다.

3.2.2. 1620 m ~ 2880 m: 올리고세

본 구간에서는 9속 10종의 해성 외편모조류 화석, 1속의 담수성 외편모조류, 1속의 아크리타치, 24속 25종의 화분포자가 산출한다(Fig. 4). 외편모조류는 1620 m ~1740 m에서 *Glaphyrocysta exuberans*, *Selenopemphix nephroides*, *Selenopemphix quanta*, *Tuberculodinium vancampoae* 가 각각 1~2개체씩 산출하였고, 1860 m에서 *Polysphaeridium* sp. 가 1개체, 2280 m ~ 2580 m에서 *Glaphyrocysta exuberans*, *Cordosphaeridium* sp., *Pentadinium laticinctum*, *Selenopemphix nephroides*, *Lingulodinium* sp., *spiniferites* sp., *Hystrichokolpoma* sp.가 발견되었다. 담수성 외편모조류 *Bosedinia* sp. 와 아크리타치 *Baltisphaeridium* sp. 가 이 구간에서 간헐적으로 산출한다. 화분포자는 *Acer* sp. 의 23속 24종이 발견되었고, 특히 산출된 화분포자 중 *Atnipollenites verus* 와 *Tiliaepollenites microreticulatu* 의 산출량이 증가하는 양상을 보인다.

이 구간에서의 외편모조류는 *Cordosphaeridium* sp., *Glaphyrocysta exuberans*, *Polysphaeridium* sp. 의 에오세-올리고세를 지시하는 종(Table 3) 들이 산출하고, 본 구간의 상부경계에서는 올리고세 말에 절멸하는(LAD) *Glaphyrocysta exuberans* 가 나타남에 따라 올리고세로 해석하였다.

3.2.3. 2880 m ~ 4060 m: 에오세

BP-1공의 최 하부 구간에 해당하는 본 구간은 외편모조류는 산출하지 않고, 화분포자는 13속 13종이 산출하였다. 특히 전형적인 후기 에오세를 지시하는 *Quercoidites microhenricii*, *Betulaepollenites* sp., *Ulmipollenites undulosus*, *Pinuspollenites* sp. 화분 미화석의 조합(Yi et al., 2003)이 나타나므로 후기 에오세로 해석하였다(Table 4).

3.3. 고환경

산출된 외편모조류, 담수성 조류, 화분포자 미화석의 생물종, 다양도를 근거로 보았을 때, BP-1공의 전 구간에서 *Pinuspollenites* sp., *Piceapollenites* sp. 가 우

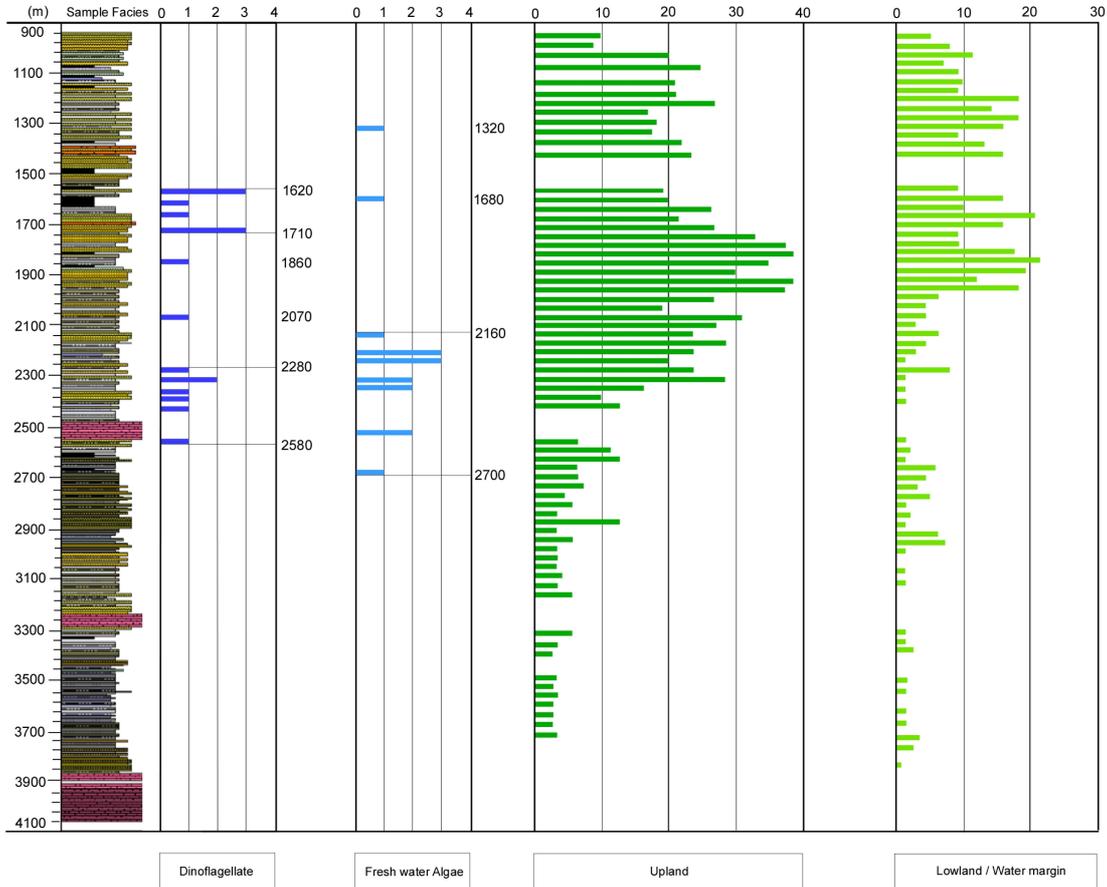


Fig. 4. The diagram of Microfossil abundances in the BP-1 well(lithology: KNOC Report, 2005).

Table 3. Dinoflagellates stratigraphic range known previously from Northern hemisphere(Williams *et al.*, 1993)

Index species	FAD	LAD
<i>Selenopemphix spp.</i>	43 Ma	0 Ma
<i>Tuberculodinium vancampoeae</i>	27 Ma	0 Ma
<i>Polysphaeridium congregatum</i>	40 Ma	28 Ma
<i>Glaphyrocysta exuberans</i>	54 Ma	38 Ma
<i>Pentadinium laticinctum</i>	50 Ma	12 Ma
<i>Cordosphaeridium gracilis</i>	in Cret.	30 Ma
<i>Cordosphaeridium fibrospinosum</i>	in Cret.	33 Ma

점층으로 산출되는 것으로 보아 산악지대가 멀리 있지 않은 환경이었고, 외편모조류가 발견된 구간은 해침이 있었음을 나타낸다(Fig. 4).

3.3.1. 932 m ~ 1620 m: Ecozone III / Upper Coastal Plain

본 구간은 해성 외편모조류가 산출하지 않고, 담수성

외편모조류 *Bosedinia* sp. 가 1320 m에서 발견된다. 화분 포자 미화석 중 소택지나 물가 등지에 서식하는 (Hopkins, Jr., 1969; Jarzen, 1978; Barnett, 1989) *Laevigatosporites* sp. 가 우점종으로 산출되고 *Pinuspollenites* sp., *Piceapollenites* sp.도 다량 산출되었다. 건조한 산악지역에서 주로 서식하는(Hopkins, Jr., 1969; Jarzen, 1978; Barnett, 1989) *Quercoidites microhenricii*, 도 발견되므로 산악지대 근처의 Upper Coastal Plain 환경이었던 것으로 해석된다.

3.3.2. 1620 m ~ 1740 m: Ecozone IV / Shoreface

본 구간에서는 해성 외편모조류인 *Glaphyrocysta exuberans*, *Selenopemphix nephroides*, *Selenopemphix quanta*, *Tuberculodinium vancampoeae*, *Spiniferites* sp. 가 산출한다. 담수성 조류 화석은 *Bosedinia* sp. 1 개체만 나타났다. 화분포자 화석은 두 개의 기낭이 있는 *Pinuspollenites* sp., *Piceapollenites* sp. 가 다량

Table 4. Palynological characteristics and paleoenvironments of BP-1 well

Interval (m)	Geological age	Ecozone	Critical taxa	Paleoenvironments
932 1170	Early Miocene	III	(no Dinoflagellates) Pollen, Spore <i>Pinuspollenites</i> sp., <i>Piceapollenites</i> sp., <i>Quercoidites microhenricii</i> , <i>Inaperturopollnites</i> sp., <i>Laevigatosporites</i> sp.	Upper Coastal Plain
1620		IV	↑	Shoreface
1740	Oligocene	V	Dinoflagellate <i>Glaphyrocysta exuberans</i> , <i>Selenopemphix nephroides</i> , <i>Selenopemphix quanta</i> , <i>Tuberculodinium vancampae</i> , <i>Spiniferites</i> sp., <i>Bosedinia</i> sp., Pollen, Spore <i>Pinuspollenites</i> sp., <i>Piceapollenites</i> sp., <i>Inaperturopollnites</i> sp., <i>Laevigatosporites</i> sp. Dinoflagellate, Acritarch <i>Polysphaeridium</i> sp., <i>Cordosphaeridium</i> sp., <i>Pentadinium laticinctum</i> , <i>Selenopemphix nephroides</i> , <i>Linglodinium</i> sp., <i>Hystrichokolpoma</i> sp., <i>Bosedhinia</i> sp., <i>Baltisphaeridium</i> sp., Pollen, Spore <i>Pinuspollenites</i> sp., <i>Piceapollenites</i> sp., <i>Ulmipollenites undulosus</i> , <i>Tilliaepollenites microreticulatus</i> , <i>Laevigatosporites</i> sp.	Lower Coastal Plain
2580 2880		VI	(no Dinoflagellates) Pollen Spore <i>Pinuspollenites</i> sp., <i>Piceapollenites</i> sp., <i>Ulmipollenites undulosus</i> , <i>Laevigatosporites</i> sp.	Upper Coastal Plain
4060	Eocene			

산출되었고, *Inaperturopollnites* sp., *Laevigatosporites* sp. 가 우점종으로 산출된다. *Pinuspollenites* sp., *Piceapollenites* sp. *Inaperturopollnites* sp., *Laevigatosporites* sp. 과 같은 육상기원의 화분포자가 이 구간에서 우점종으로 산출되었지만 산출된 외편모조류 중 *Selenopemphix nephroides* 는 Inner Neritic 환경을 지시하고, 다른 외편모조류 화석도 해양환경을 지시한다.

3.3.3. 1740 m ~ 2610 m: Ecozone V / Lower Coastal Plain

이 구간에선 해성 외편모조류 화석인 *Polysphaeridium* sp., *Cordosphaeridium* sp., *Pentadinium laticinctum*, *Selenopemphix nephroides*, *Linglodinium* sp., *Hystrichokolpoma* sp. 이 산출되고, 담수성 조류인 *Bosedinia* sp.와 *Baltisphaeridium* sp.이 1860 m와 2070 m에서 1개체씩, 담수성 조류 화석 *Bosedinia* sp. 가 2160 m에서 1개체가 산출되었다. 화분 포자 화석은 *Pinuspollenites* sp., *Piceapollenites* sp. 와 *Ulmipollenites*

undulosus, *Tilliaepollenites microreticulatus*, *Laevigatosporites* sp. 가 우점종으로 산출된다.

Pinuspollenites sp., *Piceapollenites* sp., *Ulmipollenites undulosus*, *Tilliaepollenites microreticulatus* 는 비교적 고지대에서 서식하는 식물이지만 *Laevigatosporites* sp. 와 같은 습한 저지대에서 서식하는 식물의 포자화석과 담수성조류, 해성 외편모조류 미화석도 함께 수반되어 산출되므로 본 구간은 간헐적으로 해수의 영향을 받은 Lower coastal Plain 환경에 해당된다.

3.3.4. 2610 m ~ 4060 m: Ecozone VI / Upper Coastal Plain

이 구간에서는 해성외편모조류의 산출은 나타나지 않고, 담수성 외편모조류인 *Bosedinia* sp. 가 2700 m에서 1개체 나타난다. 화분포자화석은 *Pinuspollenites* sp., *Piceapollenites* sp. 와 *Ulmipollenites undulosus*, *Laevigatosporites* sp. 가 우점종으로 산출된다. 외편모조류와 담수성조류의 화석이 거의 나타나지 않고, 두

개의 기낭을 가진 *Pinuspollenites* sp., *Piceapollenites* sp.의 산출이 우세한 것으로 보아 산악지대가 멀리 있지 않은 Upper Coastal Plain 을 나타낸다(Table 4).

3.4. 시추공 및 탄성파자료 대비

한국석유공사는 2010년 초에 도미분지 북부의 소라분지 분지 중심부에 BP-1공(시추심도 4,060 mMD)을 시추하여 하부로부터 기반암, 에오세, 올리고세, 마이오세 플라이오세-현생의 퇴적층을 확인하였다. 시추 결과 주로 사암과 이암으로 구성되며 후기 에오세 및 올리고세는 사암의 비율이 높고 후기 올리고세 및 마이오세 퇴적층에는 탄층 및 화산암층이 이암 또는 사암 사이에 협재하여 나타난다. 이러한 시추공의 암상 및 층서 결과와 기존의 소라-1공과 BP-1공을 지나는 탄성파 자료를 참고하여 층서 대비에 이용하였다(Fig. 5).

4. 토의 및 결과

본 연구지역인 소라소분지가 포함된 도미분지는 도미-1공 및 소라-1공 시추시료 생층서 분석을 통하여 4개의 생태층서 또는 고환경으로 나누어졌다(Fig. 6). 도미분지 생태층서는 상부에서부터 Ecozone A (marine), Ecozone (barren) B(freshwater), Ecozone C (blackish-marine), Ecozone (barren) D(freshwater/alluvial fan)으로 구분된다. 표준화석에 의한 지질시대는 2개 시추공 모두 하부로부터 에오세, 올리고세, 마이오세, 플라이오세, 플라이스토세 시기로 나타났다. 지질시대에 따른 환경변화가 심하여 최하부 에오세 초기 시기는 육성 환경이며, 에오세 중기-올리고세 시기는 해양환경

우세로 바뀌었고 마이오세 시기는 대부분이 육성환경이었으며 플라이오세-플라이스토세 시기는 다시 해양환경으로 변화하였다(Yun *et al.*, 2012).

BP-1공에서는 4개의 생태층서대로 나누었다. 상부로부터 Ecozone III (Upper Coastal Plain), Ecozone IV (Shoreface), Ecozone V (Lower Coastal Plain), Ecozone VI (Upper Coastal Plain). 이번 연구의 BP-1공의 생층서와 기 연구된 거북-1공, 옥돔-1공, 도미-1공, 소라-1공의 생층서 특성을 토대로 시추공간의 대비를 시도하였다(Fig. 6).

4.1. Ecozone

4.1.1. Ecozone III : 마이오세

본 구간에서는 외편모조류화석의 산출이 없는 구간이다. 이 구간은 기 연구된 소라-1공의 Ecozone B와 대비되는 구간으로 마이오세 또는 마이오세 그 이후의 시대에 퇴적되었을 것으로 추정된다. 소라-1공의 유기물 상분석에 의하면 갈색나무조직과 식물 표피조직, 화분 등 육상기원 유기물과 담수유입을 지시하는 포자화석이 발견됨으로써 담수영향을 받은 육성환경으로 추정된 바 있다. BP-1공에서도 수서식물로서 주로 연못이나 강가의 얇은 흐르는 물에서 서식하는 화분이나 건조지역에서 서식하는 화분, 담수성 조류 등이 발견되면서 담수의 영향을 받은 Upper Coastal Plain 환경으로 판단하였다.

4.1.2. Ecozone IV ~ Ecozone V : 올리고세

본 구간은 에오세-올리고세의 고환경으로 대비하였을 때 인근 도미-1공과 소라-1공의 Ecozone C 구간이

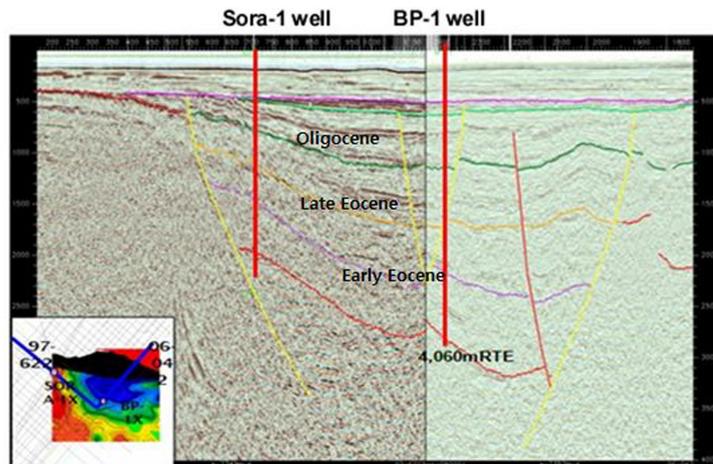


Fig. 5. Seismic section showing stratigraphic correlation between the Sora-1 and BP-1 well(modified from Park, 2011).

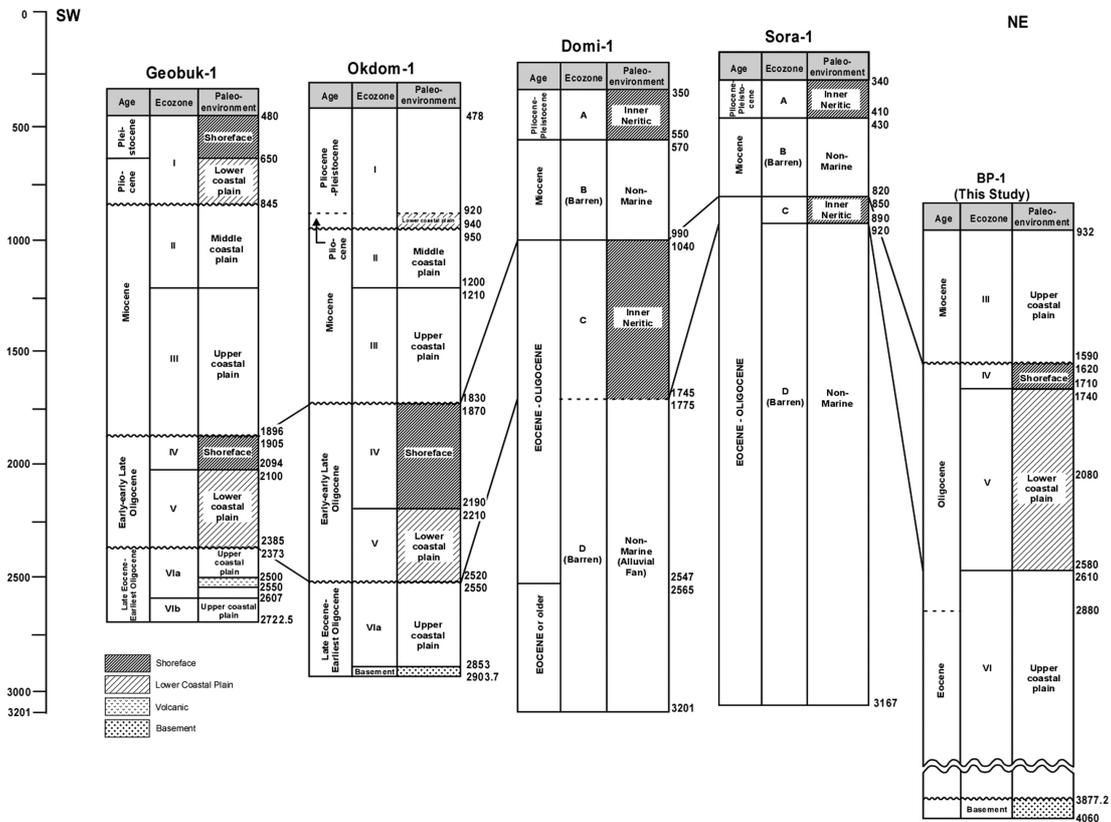


Fig. 6. Biostratigraphic correlation of Geobuk-1, Okdom-1, Domi-1, Sora-1, BP-1 wells based on dinocysts. (modified after Yun *et al.* 1999 and 2012 with results of this study)

BP-1공의 Ecozone IV, V 구간과 해성층으로 대비된다. 이 구간의 상부경계에서는 올리고세 말에 절멸하는 (LAD) *Glaphyrocysta exuberans* 가 나타남에 따라 올리고세 기간에 퇴적된 해양환경으로 해석하였다. 특히, BP-1공의 외편모조류 산출이 나타나는 Ecozone IV 와 Ecozone V 에서 각각 해침이 있었음을 시사한다. 반면에 인접한 소라-1공에서는 BP-1공의 Ecozone IV, V와 대비되는 Ecozone C 에서만 해성층이 나타나는데 이는 각각 분지 주변과 중앙에 위치한 소라-1공과 BP-1공의 지형적 차이로 인한 결과로 해석되며(Fig. 2) 탄성과 단면도 상에서도 확인할 수 있다(Fig. 5). 즉, 올리고세의 소라소분지에서는 해침 해퇴의 반복으로 해수면 변동이 있었고, 남쪽의 BP-1공과 북서쪽의 소라-1공의 위치와 해성층의 시작 층준을 비교한 결과 해침은 동남쪽으로부터 진행되었다고 판단하였다.

4.1.3. Ecozone VI : 올리고세

본 구간은 BP-1공에서 외편모조류가 산출되지 않는

구간으로 도미-1공의 3201 m - 2565 m, 소라-1공의 3167 m - 920 m 구간의 최하부 구간과 대비된다. 유기물상 분석에 의하면 도미-1공의 경우 흑색나무조식이 우세하며 그 밖에 화분, 포자가 우세하게 나타나고, 소라-1공의 경우 흑색나무조식과 갈색나무조식이 다량 산출된다. BP-1공에서는 *Pinuspollenites* sp., *Piceapollenites* sp. 와 *Ulmipollenites undulosus*, *Laevigatosporites* sp. 의 화분포자 화석이 우점종으로 산출되면서 산악지대가 멀리 있지 않은 Upper Coastal Plain 환경을 나타낸다. 3 개 시추공의 본 구간은 서로 대비되어 주위에 산악지형이 있었고 소택지가 많은 저지대 환경이었음을 시사한다.

4.2. 고지리 및 지구조 발달

소라소분지의 BP-1공(932 m~4060 m)의 시료로부터 유기질 미화석(외편모조류, 화분포자)의 산출유무로 해침과 해퇴 구간을 설정하고 인근 공과 비교한 결과 예오세시기는 모두 육성환경이었고 올리고세는 해성환

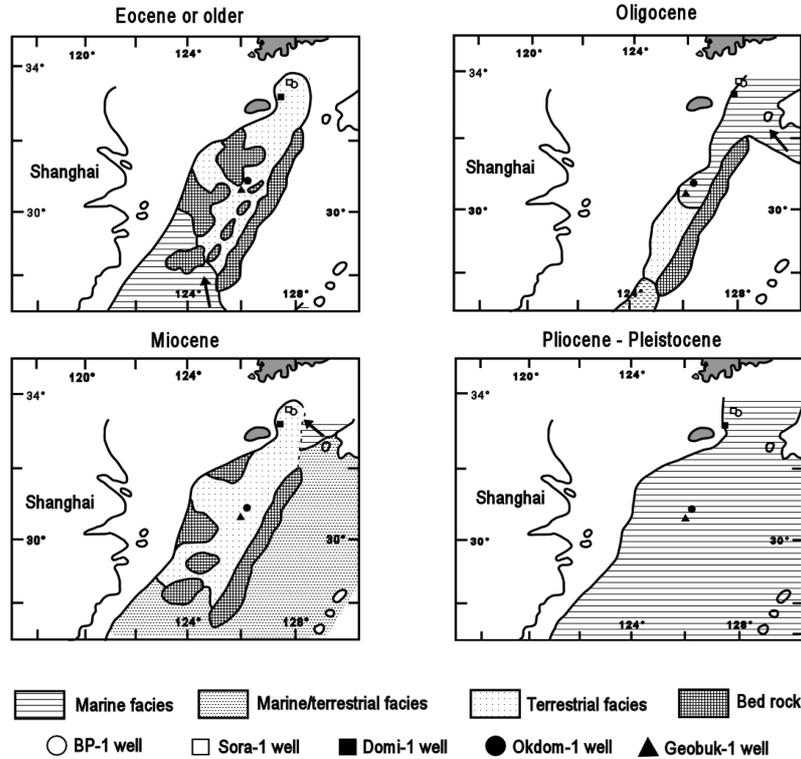


Fig. 7. Eocene to pleistocene paleogeography of the East China Sea including the Cheju Basin and Domi Basin(modified after Zhou *et al.*, 1989; Yun *et al.*, 1999).

경, 마이오세는 다시 육성환경으로 변화하였다(Fig. 7). 그러나 소라공의 해침구간은 짧고 BP-1공의 해침구간은 긴데 이는 소라공은 분지 가장자리에, BP-1공은 분지 중심에 위치하여 같은 기간에서도 퇴적물의 차이와 또한 소라공의 지구조적 용기에 기인하는 것으로 보인다. BP-1공과 소라공의 해침시작 시기의 차이(1680 m)는 크고 해퇴시작 시기의 차이 (780 m)는 비교적 크지 않는 것으로 보아 소라공의 용기속도는 해침초창기에는 아주 컸고 이후 차츰 느려진 것으로 보인다. 이런 용기로 인하여 퇴적층의 두께가 소라공에서 매우 얇다. 인근공과 소라공의 Pliocene-Pleistocene 해침시기는 인근 도미공과 비슷한 것으로 보아 이 시기에서는 소라공의 용기와 BP-1공의 침강운동 등을 포함한 구조운동은 이 지역에서 거의 끝난 것으로 보인다.

5. 결 론

BP-1공을 포함하는 소라소분지는 도미분지 내의 소분지중 하나로 지금까지 국내에서 도미-1공, 소라-1공

의 시추공자료 분석을 통한 퇴적층의 시대에 대한 연구를 수행하였지만 북소라 소분지는 단층의 단절로 인해 아직 정확한 시대는 결정되지 않았다. 본 연구에서는 소라소분지의 중심부에서 시추한 BP-1 공의 시료를 상대적으로 보존력이 뛰어난 외편모조류 및 화분포자 미화석 분석을 이용한 연구를 실시하였고 주변에 인접한 도미-1공과 소라-1공의 시추공 자료와 함께 대비하여 지질시대를 규명하고 고환경을 유추하여 도미분지의 층서를 확립하고자 하였다. 한국석유공사에서 시추된 BP-1공의 시추공 결과는 하부부터 기반암, 에오세, 올리고세, 마이오세 플라이오세-현생의 퇴적층임이 확인되었고, 본 연구결과와 표준화석 지시종에 의한 각 퇴적층의 시대는 하부로부터 에오세, 올리고세, 마이오세를 지시하였다. 또한 기존의 소라-1공과 BP-1공을 지나는 탄성과 자료를 참고하여 층서 대비에 이용하였다. 시대에 따른 환경변화로 최하부 육성층은 에오세에 해당되고 두 구간의 해성층은 올리고세, 그 상부의 육성층은 마이오세로 해석하였다. 소라소분지에서는 해침해퇴가 반복과 해수면 변화에 따른 환경변화 및 생물

군의 변화가 있었고, 이를 토대로 크게 4개의 고환경으로 나눌 수 있었다; 상부부터 Ecozone III (Upper Coastal Plain), Ecozone IV (Shoreface), Ecozone V (Lower Coastal Plain), Ecozone VI (Upper Coastal Plain) 로 각각 나누었다.

또한, 올리고세의 소라소분지에서는 외편모조류 산출량 해석결과 해침 해퇴의 반복으로 해수면 변동이 있었음을 알 수 있었고, 소라-1공과 인접한 BP-1공에서는 해성층이 각각 다르게 나타났는데, 이는 각각의 분지 주변과 중앙에 위치한 지형적 차이로 인한 결과로 해석하였다. 해침의 방향은 남쪽의 BP-1공과 북서쪽의 소라-1공의 위치와 해성층의 시작 층위를 비교한 결과 동남쪽으로부터 왔다고 판단하였다. 따라서 BP-1공의 연구를 통해 기존의 도미분지의 표준층서를 확립하는 계기가 되었다.

사 사

이 논문은 2012년 국토해양부의 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행되었다(20110183). 본 연구를 위해 자료를 제공해준 한국석유공사에 감사드립니다.

참고문헌

- Barnett, J. (1989) Palynology and paleoecology of the Tertiary Weaverville Formation, Northwestern California, U.S.A. *Palynology*, v.13, p.195-246.
- Guandong (1981) Tertiary palaeontology of North continental shelf of South China Sea Guangdong Science and Technology Press, 274p.
- Hopkin, Jr., W.S. (1969) Palynology of the Eocene Kitsilano Formation, southwest British Columbia, Canadian Journal of Botany, v.47, n.7, p.1101-1131.
- Hu, Z. and Sarjeant, W.A.S. (1992) Cenozoic spore-pollen assemblage zone from the shelf of the East China Sea. *Review of Palaeobotany and Palynology*, v.72 p.103-118.
- Jarzen, D.M. (1978) The terrestrial palynoflora from the Cretaceous-Tertiary transition, Alabama, U.S.A. *Pollen et Spores*, v.20, n.4, p.535-553.
- Jolivet, L., Huchon, L. and Claude, R. (1989) Tectonic setting of Western Pacific marginal basins, *Tectonophysics*, v.160, p.23-47.
- KIER (1984) Research of Petroleum Geology and Geochemistry, Block II: KIER Report, 83-Submarine Mineral Resources-2-21, p.110.
- KIER (1987) Research of Petroleum Geology and Geochemistry, JDZ V: KIER Report, KR-87-24, p.35-86.
- KIER (1989) Research of Petroleum Geology and Geochemistry, JDZ VIII: KIER Report, KR-89-3B, p.3-50.
- KIER (1987) A Study of Geology Data Analysis in Situ, JDZ V: KIER Report, KR-87-24, p.1-34.
- KIER (1988) A Study of Geology Data Analysis in Situ, JDZ VII: KIER Report, KR-88-3A-1, p.7-46.
- KIER (1989) Research of Organic Geochemistry and Kerogen Analysis : KIER Report, KR-89-3B, p.51-106.
- KIER (1996) Assessment of Petroleum Resource in the Southern Continental Shelf of Korea : Research of Petroleum Resource(I). KIER Report, KR-96(C)-27, p.3-198.
- KNOC (2005) Tectonic Evolution and Hydrocarbon Potential in Korea, KNOC Report, 50p.
- Lee Y.J. (1997) Organic Matter of Petroleum Geochemical Characteristics, Cheju Basin, Eastchina Sea, Northeast, Doctor of Philosophy, Chungnam National University, 328p.
- Lee, S.D., Oh, J.Y., Park, M.H. and Chang, T.W. (2008) Interpretation of Seismic Profiles in the Sora and North Sora Sub-basins, South Sea of Korea, *Korean Jour. Petrol. Geol.*, v.14, p.63-73.
- Li, D. (1984) Geologic evolution of petroliferous basins on continental shelf of China, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v.68, p.93-1003.
- Meng, W.J. and Chou, J.T. (1976) Petroliferous Tiwan basins in framework of Western Pacific Ocean, *American Association of Petroleum Geologists Memoir*, v.25, p.256-260.
- Park, E.J. (2011) Petroleum System Modeling of the Sora Basin, South Sea, Offshore Korea : Doctor of Philosophy, Chungnam National University.
- PEDCO (1998) Assessment of Hydrocarbon Potential, Domi Basin, PEDCO Report, 45p.
- Yi, S., Yi, S., David J. Batten, Yun, H. and Park, S.-J. (2003) Cretaceous and Cenozoic non-marine deposits of the northern South Yellow Sea Basin, offshore western Korea: palynostratigraphy and palaeoenvironments, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v.191, p.15-44.
- Williams, G.L., Stover, L.E. and Kidson, E.J. (1993) Morphology and stratigraphic ranges of selected Mesozoic-Cenozoic dinoflagellate taxa in the Northern Hemisphere. *Geological Survey of Canada, Paper*, n.92-10, 137p.
- Yin, P.L. and Liu, S.S. (1990) Characteristics and hydrocarbon exploration of the East China Sea. *Proceeding of International Symposium on Tectonic Evolution and Petroleum Potential of the East China Sea*, Stanford University, p.80-100.
- Yun, H., Yi, S., Yi, S., Kim, J.H., Byun, H.S., Kim, K.H. and Park, D.B. (1999) Biostratigraphy and Paleoenvironment of the Cheju Sedimentary Basin, *J. Paleont. Soc. Korea*, v.15, n.1, p.43-94.
- Yun, H., Byun, H.S., Oh, J.Y., Park, M.H. and Lee, M. (2012) Stratigraphy and Paleoenvironment of Domi-1 and Sora-1 Wells, Domi Basin, *Econ. Environ. Geol.*, v.45, n.4, 0-0.
- Zhou, Z., Zhao, J. and Yin, P. (1989) Characteristics and tectonic evolution of the East China Sea. In: Zhu, X. (ed.) *Chinese sedimentary basins*, Elsevier, New York, U.S.A., 165-179.

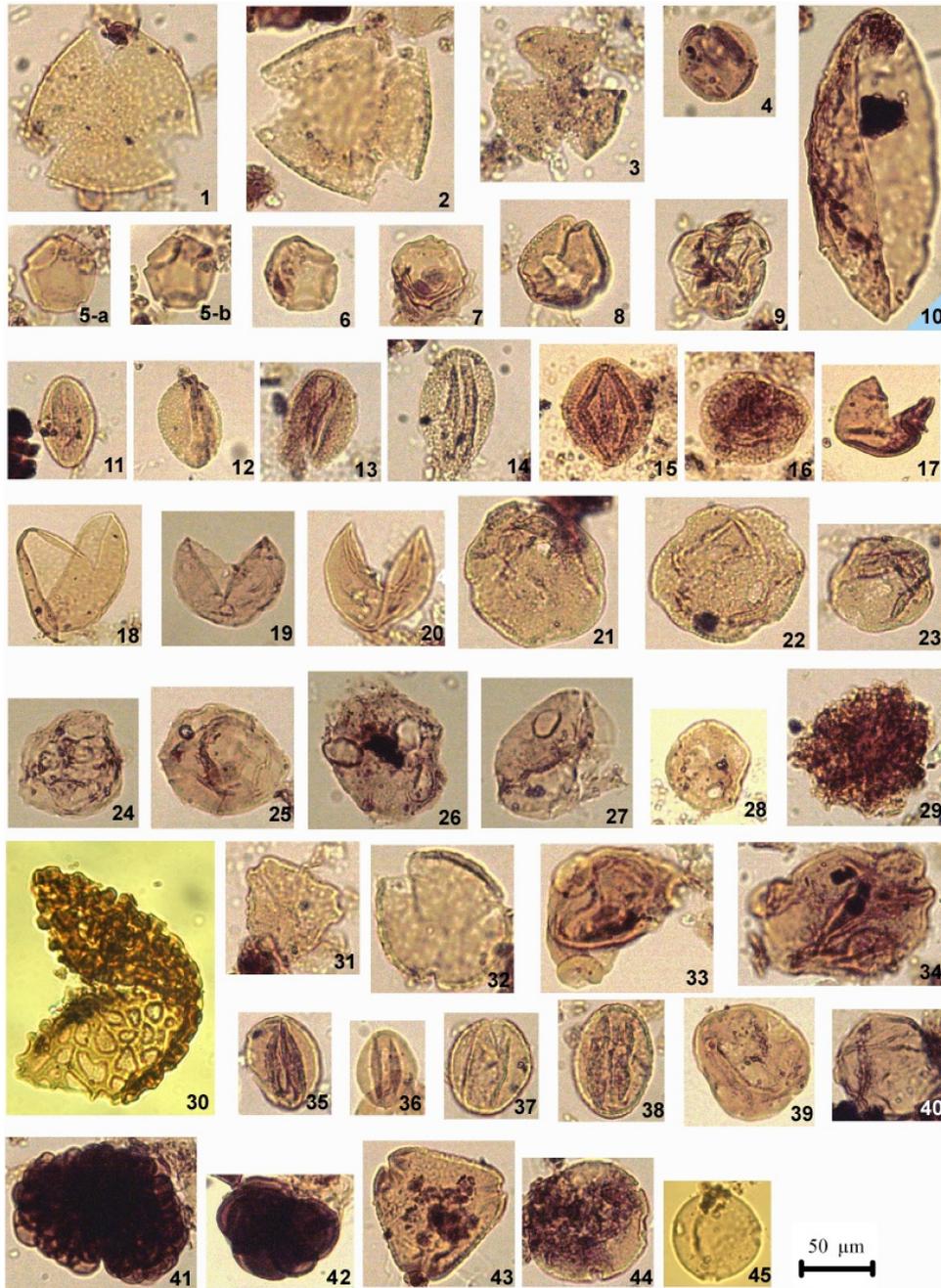


Plate 1. 1. *Acer* sp., 2. *Acer* sp., 3. *Acer* sp., 4. *Carya* sp., 5. *Alnipollenites verus*, 6. *Alnipollenites verus*, 7. *Betulaepollenites* sp., 8. *Engelhardtia* sp., 9. *Compositoipollenites* cf. *grandiamulatus*, 10. *Magnoliaceae* sp., 11. *Fraxinus* sp., 12. *Fraxinus* sp., 13. *Fraxinus* sp., 14. *Fraxinus* sp., 15. *Fraxinus* sp., 16. *Ilexpollenites* sp., 17. *Inaperturopollnites* sp., 18. *Inaperturopollnites* sp., 19. *Inaperturopollnites* sp., 20. *Inaperturopollnites* sp., 21. *Liquidambapollenites* sp., 22. *Liquidambapollenites* sp., 23. *Liquidambapollenites* sp., 24. *Liquidambapollenites* sp., 25. *Liquidambapollenites* sp., 26. *Liquidambapollenites* sp., 27. *Liquidambapollenites* sp., 28. *Liquidambapollenites* sp., 29. *Malvacipollis* sp., 30. *Longapertites* sp., 31. *Nyssapollenites pseudolaesus*, 32. *Nyssapollenites pseudolaesus*, 33. *Onagraceae*, 34. *Onagraceae*, 35. *Quercoidites*, 36. *Quercoidites*, 37. *Quercoidites*, 38. *Quercoidites*, 39. *Ulmipollnites* sp., 40. *Ulmipollnites* sp., 41. *Psilatricolpites* spp., 42. *Psilatricolpites* spp., 43. *Simplocoipollenites* sp., 44. *Tiliaepollenites* sp., 45. *Tiliaepollenites* sp.

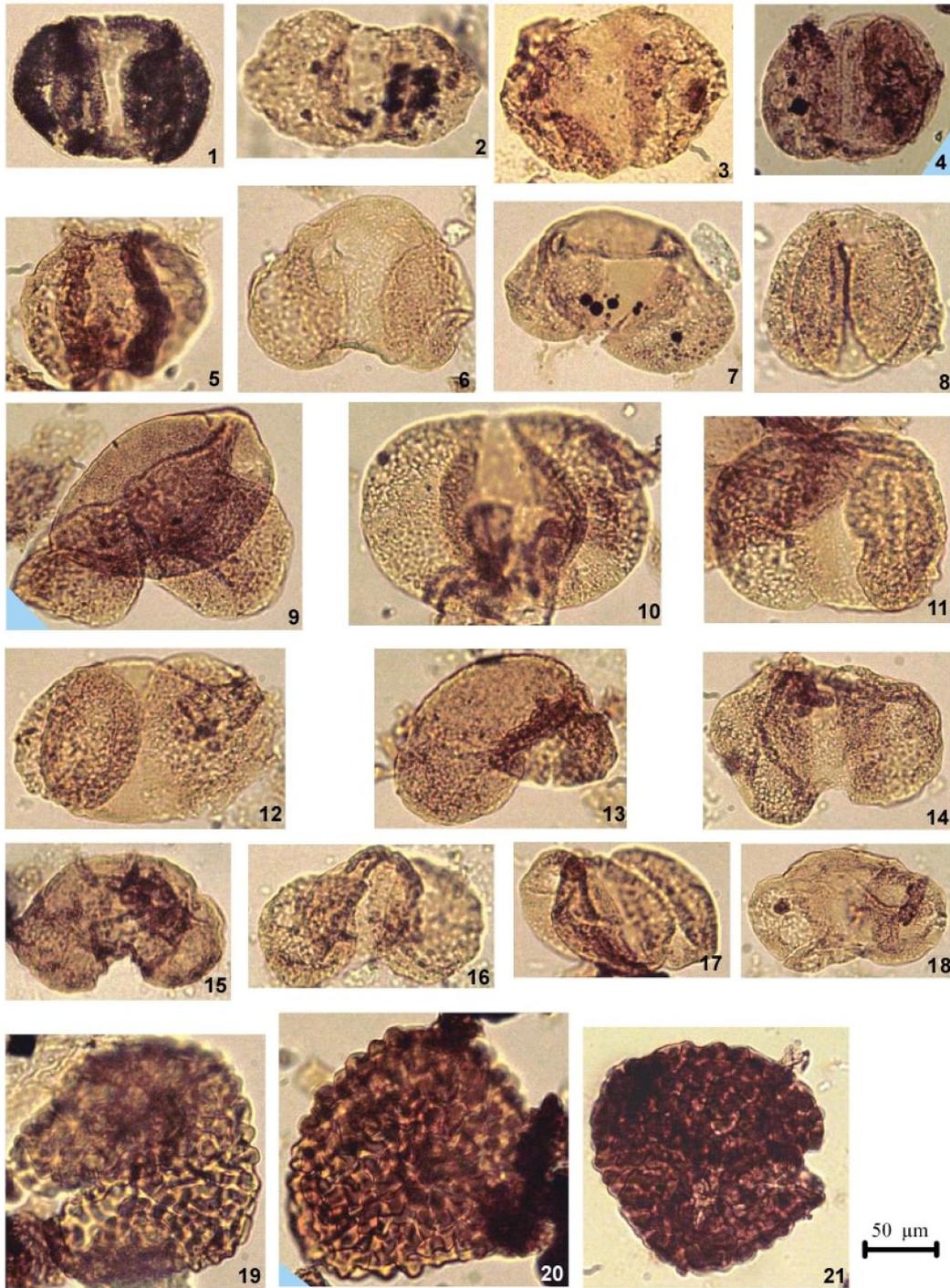


Plate 2. 1. *Piceapollenites* sp., 2. *Piceapollenites* sp., 3. *Piceapollenites* sp., 4. *Piceapollenites* sp., 5. *Piceapollenites* sp., 6. *Piceapollenites* sp., 7. *Pinuspollenites* sp., 8. *Pinuspollenites* sp., 9. *Pinuspollenites* sp., 10. *Piceapollenites* sp., 11. *Piceapollenites* sp., 12. *Piceapollenites* sp., 13. *Pinuspollenites* sp., 14. *Piceapollenites* sp., 15. *Piceapollenites* sp., 16. *Piceapollenites* sp., 17. *Piceapollenites* sp., 18. *Piceapollenites* sp., 19. *Crassoretitriletes vanraadshooveni*, 20. *Crassoretitriletes vanraadshooveni*, 21. *Crassoretitriletes vanraadshooveni*.

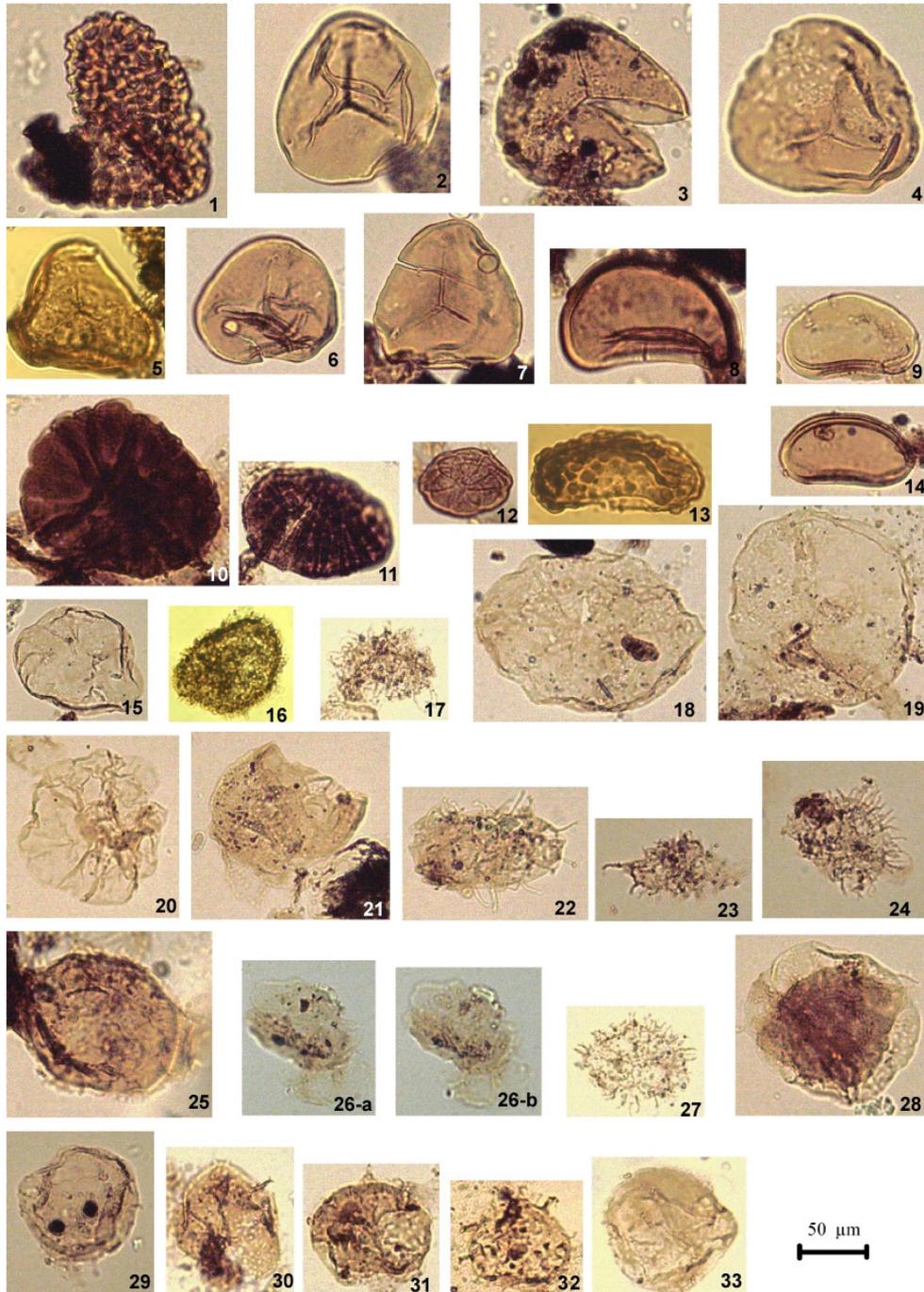


Plate 3. 1. *Crassoretitriletes vanraadshooveni*, 2. *Cyathidites* sp., 3. *Cyathidites* sp., 4. *Cyathidites* sp., 5. *Cyathidites* sp., 6. *Cyathidites* sp., 7. *Cyathidites* sp., 8. *Laevigatosporites* sp., 9. *Laevigatosporites* sp., 10. *Magnastriatites*, 11. *Magnastriatites*, 12. *Magnastriatites*, 13. *Nephrolepis* type, 14. *Laevigatosporites* sp., 15. *Bosedinia* sp., 16. *Baltisphaeridium* sp. (short spined), 17. *Baltisphaeridium* sp. (short spined), 18. *Bosedinia* sp., 19. *Bosedinia* sp., 20. *Cordosphaeridium* sp., 21. *Glaphyrocysta exuberance*, 22. *Linglodinium* sp., 23. *Linglodinium* sp., 24. *Linglodinium* sp., 25. *Cordosphaeridium* sp., 26. *Hystrichokolpoma* sp., 27. *Linglodinium* sp., 28. *Pentadinium laticinctum*, 29. *Selenopemphix* sp., 30. *Spiniferties* sp., 31. *Selenopemphix* sp., 32. *Spiniferties* sp., 33. *Selenopemphix* sp.