

제주 분지 올리고세층의 층서 및 퇴적환경

김재호¹⁾, 이용일²⁾

¹⁾ 한국석유공사 기술실, 경기도 안양시 동안구 관양동 1488

²⁾ 서울대학교 지질학과, 서울특별시 관악구 신림동 산 56

ABSTRACT

Stratigraphic subdivision, correlation and depositional environments of Oligocene strata in the Cheju basin are studied using microfossils, wireline-log, trace elements from Geobuk-1, Okdom-1 and JDZ V-2 exploratory wells as well as seismic attributes. Application of these integrated approaches is becoming increasingly an important tool in sedimentary and petroleum geology. The purpose of this study is to provide an integrated sequence-stratigraphic interpretation for petroleum system in the Cheju basin.

During the last several years the Cheju basin has been studied for petroleum potential in terms of sequence stratigraphy. The strata assigned to be of the Early Miocene in the previous studies are reinterpreted to be of Oligocene in age. Depositional environments of these strata are also reinterpreted to have been influenced significantly by marine floodings. This interpretation is supported by the lines of evidence such as occurrences of abundant dinoflagellates and calcareous nannofossils, higher sulfur (1000~10000 ppm), TOC contents (>1~3%) and hydrogen index, and specific biomarkers such as dinostrane and C₃₀ 4-methyl steranes. Seismic facies, determined as a fairly continuous amplitude reflection, relatively parallel uniform strata, also provides a clue for recognizing marine transgressions during the Oligocene.

Two 2nd-order stratigraphic cycles are observed in Oligocene strata based on well-log responses and the presence of microfossils. Each sequence comprises shallow marine deposits in the lower part and inner-outer neritic deposits in the upper part, thus showing a upward-deepening trend.

In petroleum exploration point of view, the presence of marine strata would provide a better exploration potential for source rock and reservoir quality in the Cheju basin,

offshore Korea.

1. 지질 개요

제주분지는 동중국해분지 (East China Sea Basin)의 북서부에 발달한 열개분지로서 북쪽 경계부는 제주 융기대 (중국명 Hupijiao Rise)의 선캠브리아기~중생대까지의 변성암류와 화성암류로 구성되고 남쪽 경계부는 Taiwan-Sinzi Folded Belt가 놓여져 있다 (Fig. 1).

분지형성 기원은 열개작용 (rifting)에 의한 분지형성 또는 주향이동단층에 따른 pull-apart 분지로 알려져 있다 (Waton, 1990, 1991; BP, 1993; Wang *et al.*, 1995). 분지의 형태는 북북동-남남서 방향의 긴 곡분형 분지이며, half-graben 또는 sag 형태로 구성된 다수의 소분지로 구성된다.

중국측 Xihu 분지 연구결과 퇴적작용은 신생대 고제3기인 팔레오세부터 시작된 것으로 알려지나 제주분지 내에서는 상대적으로 후기인 에오세 시기부터 퇴적이 시작된 것으로 보고된다 (한국석유개발공사 보고서 I, II 1997; Wang *et al.*, 1995). 현재로서는 팔레오세층의 존재는 알려져 있지않다. 제주분지의 퇴적환경은 시대별로 다른 환경을 보이는데, 분지형성초기인 에오세 기간동안은 호성~하성환경하의 삼각주 퇴적층의 발달되었고, 올리고세 기간동안에는 coastal~inner-outer neritic 환경이 우세한 것으로 나타난다 (한국석유공사, 1998). 마이오세 기간동안은 하성~호성환경이 위 지역을 지배한 환경으로 해석되며, 분지형성의 마지막단계인 플라이오세에서 광역적인 해침과 더불어 해성환경을 나타내고 있다.

2. 통합 순차층서

2.1 지질 시대

제주 분지에 대한 전반적인 지질시대 규명은 거북-1공과 옥돔-1공, 그리고 기타 제주 분지내에 추가 시추가 이루어짐으로써 정확한 층서가 확립되기 시작하였다 (Waton 1990, 1991; 봉필운 외, 1987, 1994; 곽영훈 외, 1985, 1986; 박관순 외, 1994; 권영인, 1996; 한국석유개발공사, 1997). 그러나, 대부분 70~80년대 시추작업이 이루어졌고 화분포자화석을 근거로 층서를 구분한 까닭에 정확한 층서 분대를 위한 추가작업이 필요하였다. 층서 분대는 거북-1공과 옥돔-1공의 암편시료를 이용하여 석회질 초미화석과 외편모조류에 대한 추가 정밀분석을 실시함으로써 보다 정확한 층서 분대가 가능하였다 (한국석유공사, 1998).

층서 해석에 따르면, 기존의 연구에서 초기 마이오세층으로 해석된 부분이 올리고세층으로 재규명 되었다 (한국석유개발공사, 1997; Waton, 1991). 거북-1공과 옥돔-1공에서

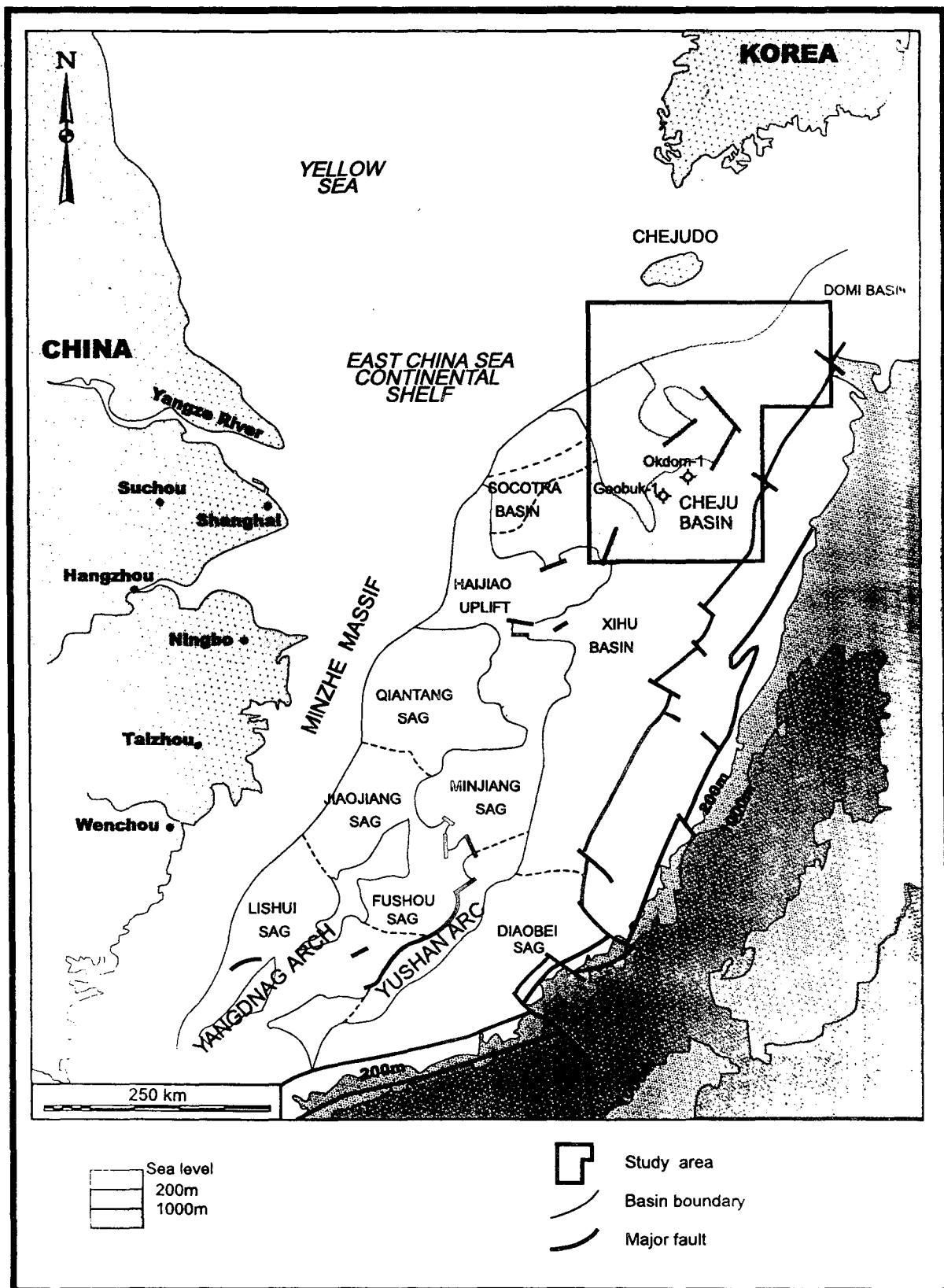


Fig. 1. Basin location of the Cheju Basin.

와편모조류의 *Cordosphaeridium inoides*, *Glaphyrocysta exuberans*, *Paleoperidium huanaghuaense*, *Phthanoperidium comatum* 등 올리고세 시대를 지시하는 종 (species) 이 산출됨으로써 층서 분대가 가능하였다. 위 시추공을 기준으로 할 때, 올리고세층의 상부경계는 기존 해석결과 보다 약 400 m 상부에 존재하는 것으로 나타난다. 상부경계의 지질시대는 후기 올리고세 초기 (early Late Oligocene)로 해석된다 (한국석유공사, 1998). 올리고세 상부 경계면은 탄성과 단면에서 부정합으로 나타나므로 층서구분이 가능하였다.

2.2 고환경 및 퇴적환경

이번 연구에서는 기존의 palynology 자료와 와편모조류, 석회질 초미화석, 지구화학자료, 물리검층자료 등을 이용하여 올리고세층에 대한 고환경 해석을 시도하였다.

이번 연구에 따르면, 올리고세 기간동안 석회질 초미화석과 해성기원의 와편모조류 등 해성환경을 지시하는 미화석이 산출되어 해성환경이 당시에 유지되었음을 보여준다. 와편모조류 분석결과, 환경적으로 coastal에서 inner-outer neritic까지 전체적으로 해성환경이 우세했음을 보인다. 두 개의 층준으로 구분되는 올리고세층의 하부구간은 coastal환경이 우세하였으며, 상부구간은 shallow marine에서 inner-outer neritic환경을 지시하는 미화석이 다량 산출되고 있어 해성환경이 지속적으로 유지되었음을 나타낸다 (Figs. 2 & 3). 그러나 올리고세층 중간부 상하부 경계면에서는 해퇴에 따라 부분적으로 brackish 또는 비해성환경이 유지된 증거도 보여준다. 이는 freshwater에서 coastal 환경 기원의 미화석과 특정 생체표기물 (biomarker)의 산출로 설명이 가능하다. Lee (1997)에 의한 생체표기물 (biomarker) 분석자료중 거북-1공 2154 m 구간에서 산출되는 botryococcane는 lacustrine algae 기원의 *botryococcus Braunii*로부터 유래가 된 것으로 알려져 lacustrine 환경의 존재 가능성을 보이는데, 동구간 (2140~2160 m)에 대한 와편모조류 분석에서도 freshwater 기원으로 추정이 되는 *Leiosphaeridina hyalina* (= *Bosedinia infragranulata*) 와 *Pediastrum boryaum*이 다량 산출되어 환경해석면에서 일치되는 경향을 보이고 있다. 층의 경계부 (올리고세층 중간의 경계면 구간)에서 나타나는 국부적인 환경변화는 상대해수면이 낮아짐에 따른 것으로 해석이 가능하다.

해성환경을 지시하는 또다른 증거로써 지구화학자료에서 찾을수 있다. 생체표기물 (biomarker) 분석에서 해성기원의 특징을 보여주는 다양한 증거들이 나타나는데 거북-1공 2,319 m지점에서 와편모조류 기원의 dinostrane과 diatom 및 와편모조류 기원의 C₃₀ 4-methyl steranes이 2154~2600 m 구간에서 나타나고 있어 해성환경의 가능성 잘 보여준다. 이와 같은 biomarker에 의한 특징은 옥돔-1공에서의 올리고세 구간에서도 비슷한 특징을 보인다. 올리고세 구간에서 산출되는 석회질 초미화석은 비록 양적으로 소량이

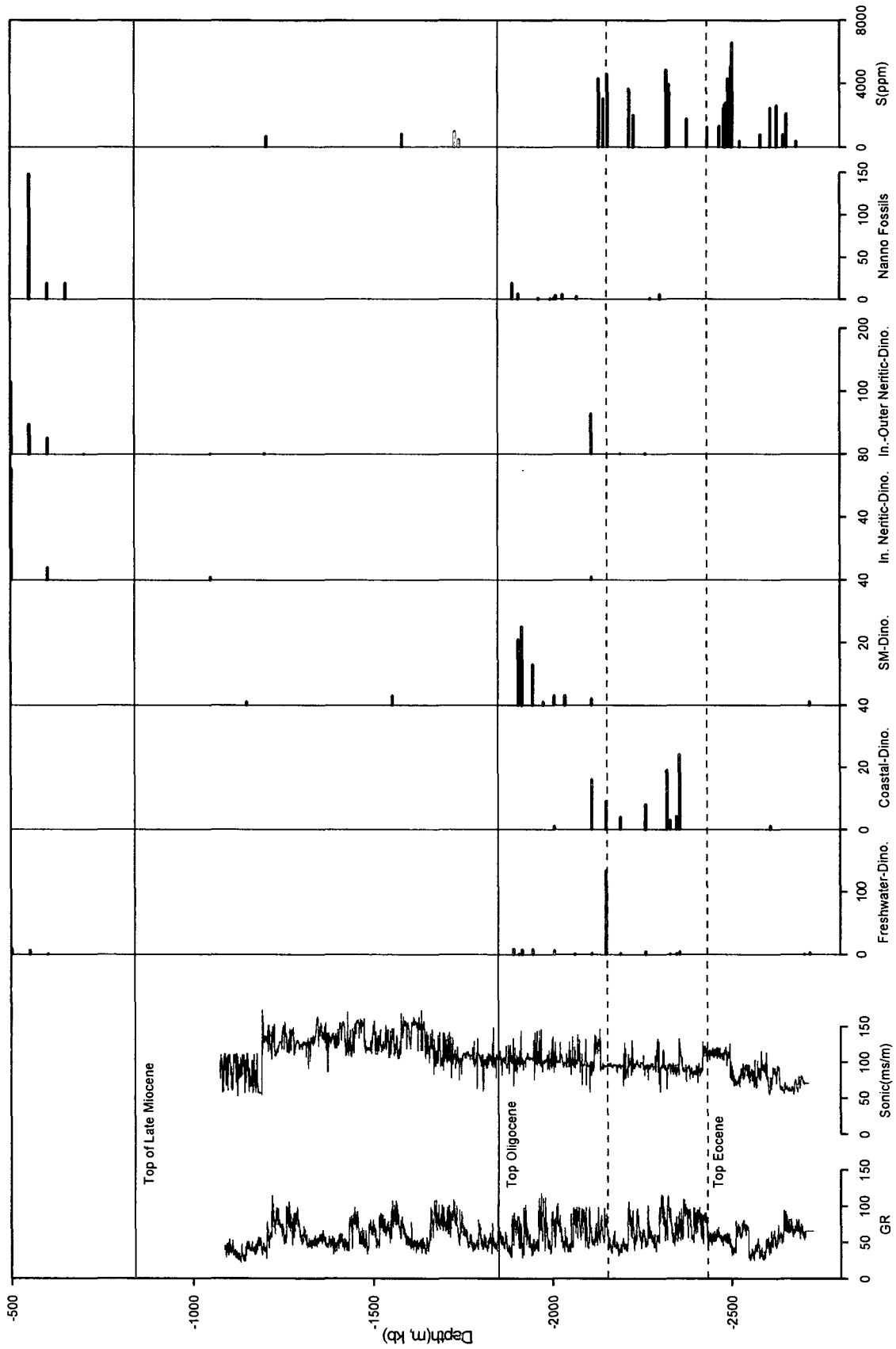


Fig. 2. Stratigraphic subdivision by dinoflagellates, nanno fossils, sulfur and wire-line log of Geobuk-1 well, Cheju Basin.

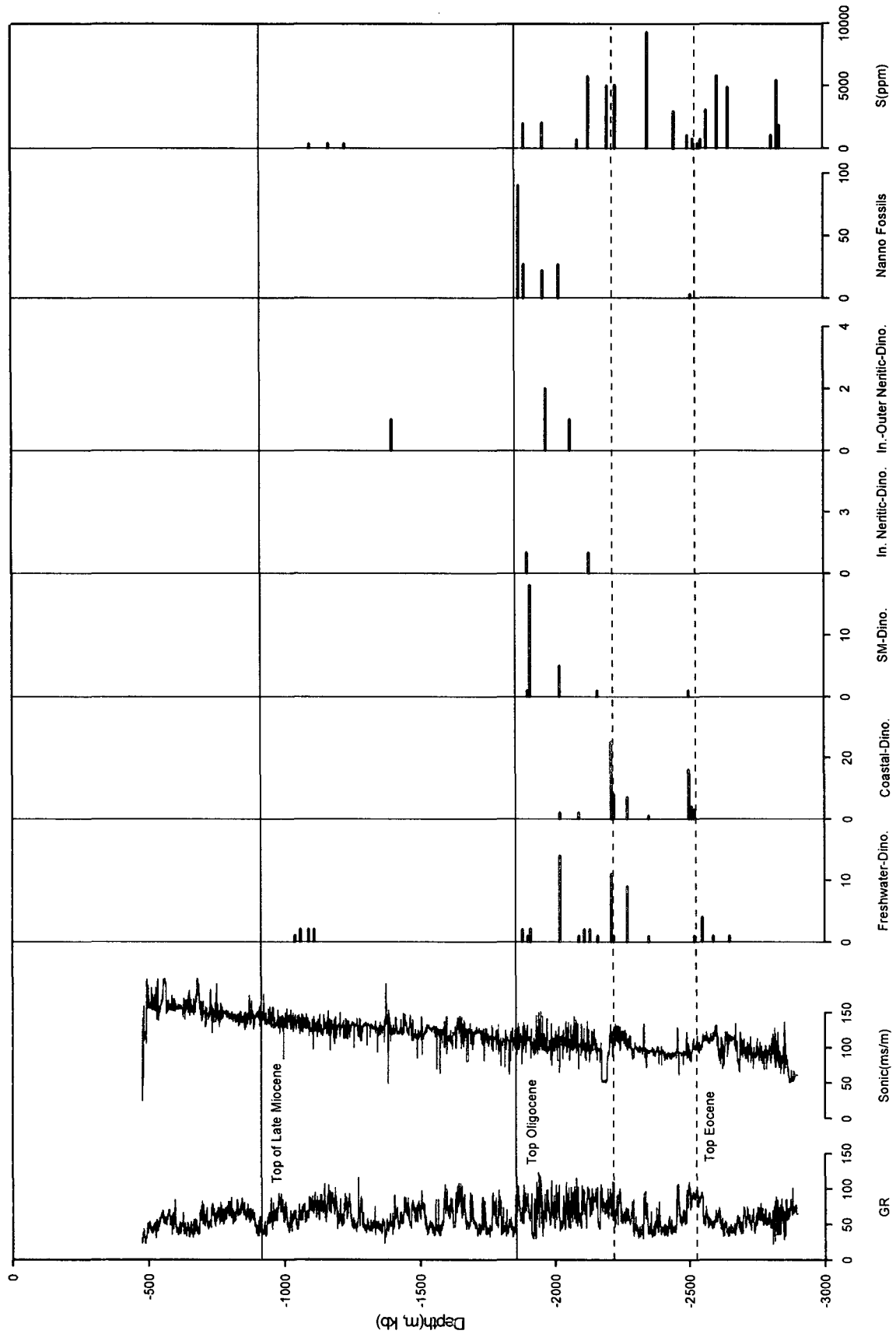


Fig. 3. Stratigraphic subdivision by dinoflagellates, nanno fossils, sulfur and wire-line log of Okdom-1 well, Cheju Basin.

지만 그 구간이 와편모조류의 산출구간과 거의 일치하고 있다. 해성의 anoxic 환경에서 다량 존재하는 황 (sulfur)은 해성환경을 지시하는 대표적 원소의 하나로 알려져 있는데 거북-1, 옥돔-1공의 올리고세층에서 공히 최고 10000 ppm에 이르는 높은 값을 보이고 있다. 유기지화학 측면에서 올리고세층의 총유기함량 (TOC)은 평균 3%이상, 수소지수 (HI)는 평균 >200이상을 보여주고 있어 육성환경으로 알려진 마이오세층 (총유기함량: <1%, 수소지수: <100) 보다는 훨씬 높은 값을 가지고 있다. 탄성과 단면에서 올리고세층은 전체적으로 연속성이 좋은 진폭이상을 나타내고 있어 육성기원의 마이오세층과는 seismic attributes에서 구별된다.

올리고세층 구간에 대한 상대해수면 변화곡선 (relative sea level curve)을 작도한 결과 위 기간동안 두 번에 걸친 2nd order cycle의 해수면변화가 있었던 것으로 나타난다. 물리검층자료에서 2번에 걸친 cycle동안 전체적으로 상향 조립화 하는 경향을 보이며 고해수면 (HST)의한 전진퇴적양상 (prograding complex)에 의한 것으로 해석이 된다.

결론적으로 올리고세층은 기존에 알려진 것과는 달리 해성환경에서 퇴적된 특징을 여러 가지로부터 확인을 할 수 있다.

3. 결론

올리고세층의 상부경계는 기존의 연구와는 달리 약 400 m 상부 (거북-1, 옥돔-1)에 위치하며 기존연구에서의 초기 마이오세층과 층서적으로 대비된다.

올리고세기간동안 주로 해성환경이 우세했던 것으로 해석이 되어지나, 부분적으로 층의 중간 경계부에서는 해수면 하강에 따른 호성-하성환경 유입에 대한 증거가 관찰되기도 한다.

순차층서적으로 올리고세 기간동안은 두 번에 걸친 2nd order cycle이 있었던 것으로 해석되는데 이는 미화석 분포, 지화학분석자료와 물리검층자료 해석결과와 일치한다.

올리고세 기간동안 해성기원 퇴적암의 존재는 석유 근원암과 저류암의 질과 성숙도를 증가시키므로 석유탐사측면에서 보다 긍정적인 요인으로 작용할 수 있다.

참고문헌

곽영훈, 최현일, 손진담, 한종환, 1985, 대륙붕 제4광구의 석유지질 및 지화학적 연구, 한국동력자원연구소 연구보고서, KR-85-13, 63 p.

곽영훈, 최현일, 손진담, 한종환, 1986, 대륙붕 제5광구의 석유지질 및 지화학적 연구, 한국동력자원연구소 연구보고서, KR-86-16, p. 29-60.

- 권영인, 1996, 제주분지의 시퀀스 층서구분 및 열개와 관련된 퇴적물 특징, 연세대학교 박사학위 논문, 302 p.
- 박관순, 박근필, 신창수, 조철현, 권영인, 1994, 석유자원연구 (I); 제주분지의 석유 자원 평가연구 (물리탐사자료해석), 한국동력자원연구소 연구보고서, KR-94(C)4-1, p. 263-332.
- 봉필윤, 전희영, 이호영, 최성자, 1987, 대륙붕 한일공동개발구역 제5소구 시추공 층서 고생물연구, 한국동력자원연구소 연구보고서, KR-89-3A-1, p. 7-45.
- 봉필윤, 손진담, 이호영, 권영인, 1994, 석유자원연구 (I); 제주분지의 석유자원연구 (고생물, 층서 및 퇴적), 한국동력자원연구소 연구보고서, KR-94(C)4-1, p. 24-123.
- 한국석유개발공사, 1997, 국내대륙붕 종합 기술 평가 보고서 (동중국해 분지 I, II).
- 한국석유공사, 1998, 국내대륙붕 생층서 연구 (제주분지).
- BP, 1993, Block V Evaluation Report (unpublished).
- Lee, Y. J., 1997, Petroleum Geochemistry of Organic Matter from the Cheju Basin, Northern Part of the East China Sea, Ph. D. Thesis, Chungnam National University, 328 p.
- Watson, P. V., 1990, Okdom-1 Well Block-5, Offshore South Korea, Hadson Energy Ltd., Biostratigraphy, Robertson Singapore Private Limited., p. 1-23.
- Watson, P. V., Carnell, A. J. H., Scotchmer, J., Baky, A. A. and Ludi, P. H., 1991, Well Geobuk-1 (490-2722.5 m TD) Block-5, Offshore South Korea, Ultramar Canada Inc., Biostratigraphy, Geochemistry and Petrography, Robertson Singapore Private Ltd., p. 1-25.
- Wang, G. M., Coward, M. P., Yuan, W., Liu, S. and Wang, W., 1995, Fold Growth during Basin Inversion-Example from the East China Sea Basin (ed.) Basin

Inversion, Geological Society Special Pub., No. 99., p. 493-522.