

## 유기질 미화석에 의한 군산분지(남황해북부분지)의 고환경 고찰

변현숙<sup>1,†</sup> · 정철환<sup>2</sup> · 박순옥<sup>1</sup> · 이병수<sup>3</sup> · 권영인<sup>4</sup> · 최은정<sup>1</sup> · 박명호<sup>5</sup> · 이상헌<sup>6</sup>

<sup>1</sup>㈜자연사연구소

<sup>2</sup>순천대학교 한국경관지질연구소

<sup>3</sup>전북대학교 지구과학교육과

<sup>4</sup>㈜지오스캔

<sup>5</sup>한국석유공사 석유개발연구원

<sup>6</sup>한국지질자원연구원 국토지질연구본부

### 요 약

군산분지(남황해북부분지)의 5개 시추공(Kachi-1, Haema-1, IIIH-1Xa, IIC-1X, Inga-1)에서 수행된 기존의 유기질 미화석 연구 자료들과 지구조적 해석 자료를 연계하여 지질시대별 분지의 종합적인 고환경을 고찰하였다. 백악기 전기의 퇴적층은 Kachi-1, IIC-1X의 최하부구간에만 분포하며, 전체적인 미화석의 산출량은 빈약하지만, 화분·포자, 담수조류 개형층, 윤조 화석 등이 산출된다. 화분 화석군집에 의하면 건조한 난온대기후의 하성환경이 우세하였고, 주변의 산록에는 나자식물수림이 발달하였다. 백악기 후기 퇴적층은 Kachi-1, IIIH-1Xa에서만 확인된다. 이 시기 동안은 인리형 열개의 후반기로 주로 우세한 확장력 작용으로 빠른 분지 침강이 발생하여 넓고 깊은 호수가 형성되었다. 목본식물의 화분과 수생식물의 대·소형 포자 및 담수조류들이 아주 풍부하고 다양하게 산출되는 것은 그 당시 환경이 습윤한 아열대의 호수 환경이었음을 시사한다. 팔레오세 퇴적층은 Haema-1, IIIH-1Xa, IIC-1X에서만 확인된다. 이 시기 동안에는 반지구 확장형 열개가 시작된 켄기 형태를 보이는 열개 동시성 퇴적단위체가 발달하였다. 이 시기의 퇴적층에서는 팔레오세의 식물화분들만이 산출되는 것으로 당시의 기후조건이 습윤한 난온대의 하성퇴적환경이었음을 지시한다. 에오세 퇴적층은 Haema-1, IIIH-1Xa, IIC-1X, Inga-1에서만 확인된다. 에오세 전기~중기 퇴적층은 군산분지(남황해북부분지) 내에서 가장 두꺼운 퇴적층으로 켄기형태의 열개동시성 퇴적체이며 하성 퇴적환경이 보다 우세하게 발달하였다. 에오세 후기 퇴적층은 몇 개의 소규모 켄기로 나뉘어져 발달하는 양상을 보여준다. 에오세 전기에는 비교적 풍부한 낙엽활엽수와 소량의 침엽수 화분이 출현하는 것으로 보아 건조한 온대 기후였다. 에오세 중기에는 습도가 증가한 약간 한랭한 기후하에서 저습지 식물이 주종을 이루며, 산록성 식물은 퇴적지 주변에 생육하였다. 에오세 후기에는 건조한 냉온대기후에서 냉온대성 낙엽활엽수림이 하천환경 주변의 산사면에서 발달하였다. 올리고세 동안은 에오세 후기와 올리고세 사이에 구조역전 현상이 일어나면서 분지의 남서지역(Kachi-1, Haema-1)과 중앙지역(IIIH-1Xa, IIC-1X)이 융기되어 퇴적층이 침식, 삭박되었다. 올리고세의 미화석 역시 산출되지 않아, 이 시기의 퇴적층이 군산분지(남황해북부분지)에서는 광역적으로 결층인 것으로 해석하였다. 마이오세 전기 퇴적층은 Haema-1, IIIH-1Xa, IIC-1X, Inga-1에서만 관찰된다. 마이오세 동안에는 미약해진 조구조 활동과 퇴적층의 열적수축에 따른 점진적인 분지 침강으로 분지 중심부에만 국한된 향사형 퇴적구조를 형성하면서 두꺼운 퇴적층이 형성되었다. 마이오세 중기는 대규모 구조역전에 따른 분지가 융기, 삭박되면서 광역적인 평탄화가 일어났다. 마이오세 전기 동안에는 다양한 낙엽활엽수들이 번성하였고, 지역에 따라 수생식물들이 번성한 것으로 보아 습윤한 난온대기후에서 하성환경이 발달하였으며, 주변 산록에는 낙엽활엽수림이 발달하였다. 마이오세 중기 동안에는 고온성 낙엽활엽수림 매우 발달하였고, 침엽수, 풀, 담수조류 등도 비교적 잘 생육한 점은 당시 다습한 난온대기후에서 하성 또는 얇은 호소환경이었음을 지시한다. 플라이오세 퇴적층은 Haema-1, IIIH-1Xa, IIC-1X, Inga-1에서 확인된다. 다양한 종류의 풀, 낙엽활엽수, 침엽수의 화분이 산출되는 점으로 보아 그 당시에는 다소 건조한 냉온대기후의 저지대 하성퇴적환경이 발달하였고, 주변 산지에는 혼합림이 번성하였음을 나타낸다.

<sup>†</sup> Corresponding author: +82-42-867-4667, E-mail: dinobyun@hanmail.net

주요어: 화분·포자, 고환경, 군산분지(남황해북부분지)

Hyunsook Byun, Chull-Hwan Chung, Sun-Ok Park, Byung-Su Lee, Youngin Kwon, Eunjung Choi, Myongho Park and Sangheon Yi, 2013, Review on paleoenvironments of the Kunsan Basin (northern South Yellow Sea Basin) based on palynofloral assemblage. *Journal of the Geological Society of Korea*. v. 49, no. 1, p. 145-163

**ABSTRACT:** The paleoenvironments with geological ages of the northern South Yellow Sea Basin (Kunsan Basin) are reviewed on the basis of the tectonic interpretation and the previous palynological studies of the five wells (Kachi-1, Haema-1, IIH-1Xa, IIC-1X and Inga-1). Early Cretaceous strata identified only in lowermost interval of Kachi- and IIC-1X wells yield palynomorphs, freshwater algae, ostracods, and charophyta, although they are rare in occurrence. The palynomorph assemblages indicate a fluvial environment surrounding a mountain slope with gymnosperm forest under dry and warm temperate conditions. Late Cretaceous strata are found only in Kachi-1 and IIH-1Xa wells. During the Late Cretaceous, the sedimentary basin became a large lake due to post pull-apart rifting. Abundant and diverse flora of gymnosperm and angiosperm pollen, aquatic mega- and micro-spores, and freshwater algae reflect that the lacustrine environment was under wet and subtropical conditions. Paleocene strata are detected in Haema-1, IIH-1Xa, and IIC-1X wells. Sedimentary succession during this period was formed in a wedge-shaped syn-rift basin after half-graben normal rifting. Moreover, the strata yield abundant Paleocene pollen grains indicating wet, warm temperate conditions and fluvial environments. Eocene strata are identified only in Haema-1, IIH-1Xa, IIC-1X, and Inga-1 wells. Early to Middle Eocene successions with syn-rift sedimentary features are the thickest in the Kunsan Basin (northern South Yellow Sea Basin). Late Eocene strata are distributed in several small-scale wedge-shaped basins. Abundant deciduous broad-leaved tree pollens associated with rare conifer indicate dry and temperate climate conditions during the Early Eocene. During the Middle Eocene, however, pollen grains derived from the low-wetland vegetation and surrounding slope are predominant reflecting somewhat wet and cool temperate conditions. During the Late Eocene cold temperate climate developed and cold-tolerant, deciduous broad-leaved trees flourished on the slope surrounding the fluvial area. Oligocene was the main period of severe tectonic activity of the basin, leading to uplift, erosion and denudation of the southwest sag (Kachi-1 and Haema-1) and central sag (IIH-1Xa and IIC-1X). Absence of Oligocene palynomorphs also indicates a hiatus. Early-Middle Miocene strata are identified only in Haema-1, IIH-1Xa, IIC-1X, and Inga-1 wells. During the Early Miocene, the basin has maintained thermal subsidence to get thick sedimentary succession. Subsequently the basin was uplifted and denuded again during the Middle Miocene. Diverse deciduous broad-leaved trees prevailed in fluvial and slope areas, and aquatic plants also lived in wetlands or ponds. The pollen assemblages indicate that the Early Miocene was a wet, warm temperate period. During the Middle Miocene, subtropical vegetation replaced the former forest due to increasing temperature. Pliocene strata are recorded in Haema-1, IIH-1Xa, IIC-1X and Inga-1 wells. Pollen grains derived from grass and conifer, together with hardwood trees, reflect that the Pliocene environment was fluvial surrounded by slope under dry, cold temperate conditions.

**Key words:** Pollen:spore, paleoenvironment, Kunsan Basin (northern South Yellow Sea Basin)

(Hyunsook Byun, Sun-Ok Park and Eunjung Choi, Natural History Research Institute Inc., Daejeon 305-701, Korea; Chull-Hwan Chung, Korea Landscape and Geology Institute, Sunchon National University, Chonnam 540-742, Korea; Byung-Su Lee, Dept. of Earth Sciences Education, Chonbuk National University, Jeonju 561-756 Korea; Youngin Kwon, GeoScan Inc., Anyang 431-806, Korea; Myongho Park, Technology Management Team and CCS TF Team, E&P Technology Institute, Korea National Oil Corporation, Anyang 431-711, Korea; Sangheon Yi, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea)

## 1. 서론

퇴적분지의 형성과정에서 당시의 기후는 주변의 식생번성과 호수의 미생물 번성 등 1차 생산자의 생태에 대단히 중요한 요소이며(Smol *et al.*, 2001), 퇴적 후 환경조건은 1차 생산자들의 보존에 대단히 중요한 또 하나의 환경적 요소이다. 따라서 석유탐사

에서의 고환경 연구는 석유의 근원인 유기물이 집적되고 퇴적될 수 있는 조건을 추적하고 재현하여 경제성 타당성을 판단하는 데에 제일 먼저 수행해야 할 분석항목 중 하나이다.

국내에서는 군산분지(남황해북부분지)로부터 석유발굴에 필요한 기초적인 탐사와 시추공 확보를 위해 지난 수십 년 동안 끊임없는 노력을 기울여왔다.

이의 일환으로 대륙붕 지질구조 파악과 분지발달사 규명을 위하여 탄성파탐사가 수행되었으며(Park *et al.*, 2010), 총 5개의 시추(IIIC-1X, IIIH-1Xa, Inga-1, Kachi-1, Haema-1)가 수행되었다. 5개의 시추공 연구에서 근원암과 저류암 파악을 위한 다양한 분야(퇴적층서, 광물학, 지화학, 퇴적연대, 생층서, 고환경)의 연구가 수행되었다(Chun *et al.*, 1984; KIGAM, 1997, 2004; Park *et al.*, 1997; Cheong *et al.*, 1998, 2002; Ryu *et al.*, 2000, 2002; Yun *et al.*, 2000).

그러나 군산분지(남황해북부분지) 퇴적층의 고환경 연구 자료는 생층서 연구와 지질시대 자료에 비하여 상대적으로 매우 적다. 그 이유는 이 분지에 대한 시추의 목적이 주로 석유 탐사와 석유 유망성 연구에 집중되었기 때문이다. 지금까지 5개의 시추공에서 분석한 육성 미화석(화분포자, 개형충, 윤조)과 일부 해양성 와편모류 화석에 의한 고환경 해석은 산발적으로 진행되었다(Bong *et al.*, 1991; KIGAM, 1992; Yi, 1996; Park *et al.*, 1997; Yi and Batten, 2002; Yi *et al.*, 2003).

따라서 이 논문에서는 지금까지 산발적으로 진행된 각 시추공에 대한 육성의 유기질 미화석(화분포자)자료와 석회질 미화석(개형충, 윤조)자료를 종합적으로 검토하여 군산분지(남황해북부분지)의 고환경에 대하여 고찰해보고자 한다.

## 2. 지질개요

황해는 한반도 서해안과 중국대륙 동부해안으로 둘러싸인 반폐쇄성 주변해(평균 수심 44 m, 최대 수심 100 m)인 천해성 대륙붕으로서, 북쪽으로부터 발해분지(북중국분지), 서한만분지(북황해분지), 군산분지(남황해북부분지), 흑산분지(남황해남부분지) 등의 퇴적분지로 이루어져 있다. 황해는 상해의 치둥과 제주도를 연결하는 선을 경계로 동중국해와 나누어지며, 중국지역에서는 중국 산둥성 성상곶과 한국 장산곶을 연결하는 선을 기준으로 북황해와 남황해로 세분된다.

황해분지는 제1, 2광구(Block I, II)에 분포하는 군산분지(남황해북부분지)와 제3광구(Block III)에 분포하는 흑산분지(남황해남부분지)로 대분되며, 중국 측의 남황해북부분지(Northern Depression)와 남황해남부분지(Southern Depression)에 각각 연

결된다. 군산분지(남황해북부분지)는 중국의 동부와 한반도 사이에 위치하며, 남중국 지괴의 양자 준탁상지 상에 발달된 복합형 분지(polyphase basin)로서 백악기 후기~신생대의 퇴적물로 이루어져 있다. 분지의 형성초기에는 인리형 열림(pull-apart opening) 형태를 보이지만, 이후 확장형 열개(normal rifting)로 발달한 후 구조 역전을 겪은 이후에는 열개 후 열적 침강분지로 전환되는 양상을 갖는다(Ryu *et al.*, 2000; KIGAM, 2004; KNOC, 2005). 군산분지(남황해북부분지)는 분지 내의 융기부와 단층에 의해 북서, 북동, 남서, 남동 4개의 소분지로 세분된다(그림 1). 주로 신생대 육성 쇄설퇴적물로 이루어져 있으며, 일부 지역에서는 신제3기 퇴적층이 존재한다(KNOC, 2008).

군산분지(남황해북부분지)는 최대 약 6,000 m 두께의 하호성 육성퇴적층과 화산암층으로 이루어진 대륙분지이며 지리적으로는 군산 앞 바다의 해저에 위치한다. 분지의 기반암으로는 백악기 전기(78.6~88.798 Ma)의 화산암층군이 대부분이며 이들을 피복하고 있는 퇴적물의 상당 부분은 육상 산화환경하의 적색 쇄설성 퇴적암이다(Oh *et al.*, 2006; 그림 2).

북서소분지(NW sag)에서는 Haema-1, 남서소분지(SW sag)에서는 Kachi-1과 IIIH-1X, 남동소분지(SE sag)에서는 Haema-1, IIC-1X, Inga-1 등이 각각

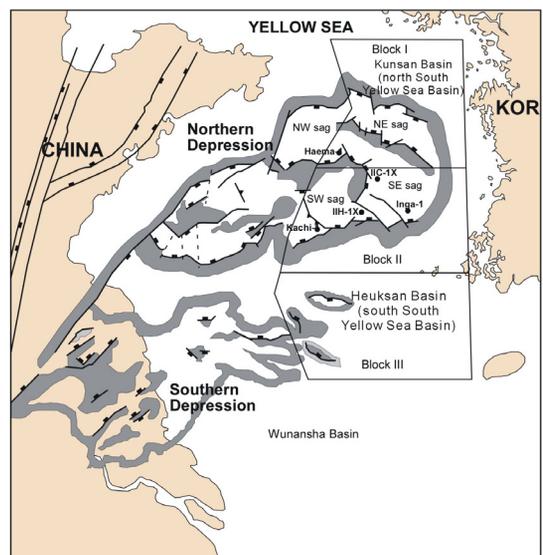


Fig. 1. Geological structure map of the Kunsan Basin (northern South Yellow Sea Basin), Offshore Korea, showing the distribution of sub-basins (modified from PEDCO, 1997).

시추되었다(그림 1). 이들 시추공 중에서 중생대 백악기 퇴적층은 Kachi-1, IHH-1Xa의 하부구간에서만 존재하는 것으로 알려져 있다. 또한 이들 시추공의 퇴적물은 대부분이 육상 산화환경에서 퇴적된 적색 쇄설물이기 때문에 화석의 산출이 미약한 것으로 보고되었다(Park *et al.*, 1997; Yun *et al.*, 2000; Yi *et al.*, 2003; KNOC, 2008). 이들 시추공에서 보고된 미화석은 대부분이 유기질인 화분포자 화석이고 일부 환원환경의 퇴적물에서는 개형충과 윤조 등의 담수

성 미화석들이 소량 산출되었다(Bong *et al.*, 1991; Park *et al.*, 1997; Cheong *et al.*, 1998; Yun *et al.*, 2000; Oh *et al.*, 2006).

### 3. 시추공별 고환경

#### 3.1 Kachi-1

475~613 m 구간(플라이오세)에서는 초본화분인 *Graminidites media*, *Fupingopollenites minutus*, *Persicariopollis*

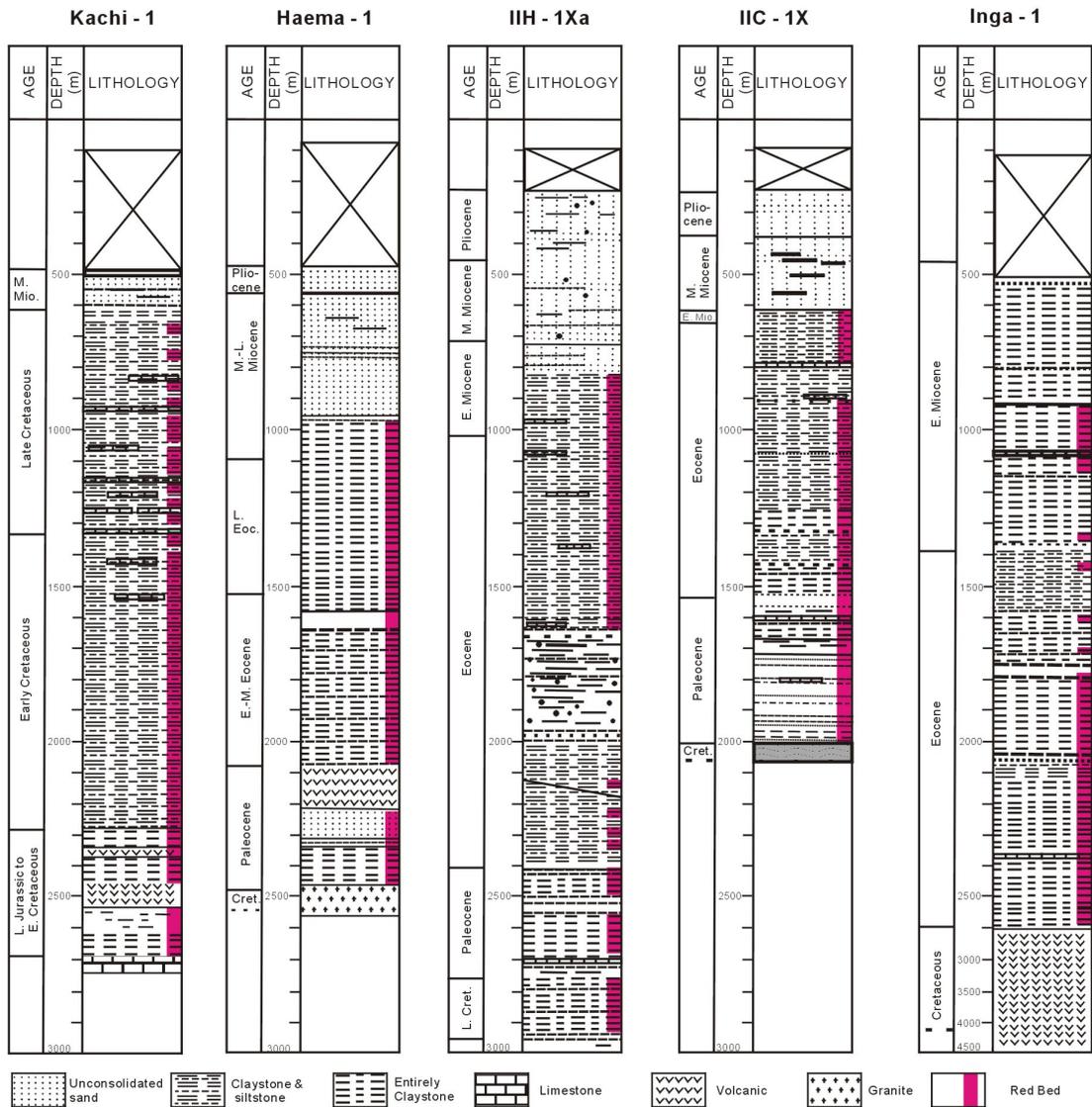


Fig. 2. Generalized lithostratigraphy with age of 5 wells in the Kunsan Basin (northern South Yellow Sea Basin) (modified from KNOC, 2005).





spp., *Ephedripites* spp. 등이 주요 종으로 산출된다. 이 화분의 모식물들은 주로 구릉이나 산악지대에서 생육하는 종들로서 산지의 말단부 선상지환경을 나타낸다. 1,560~2,040 m 구간(에오세 전기~중기)에서는 목본화분인 *Caryapollenites veripites*, *C. imparilis*, *Momipites coryloides*, *Platycaryapollenites platycaryoides* 등이 풍부하게 산출된다. 이 구간에서 산출되는 화분들의 모식물들은 구릉지~저지대에서 생장하는 종들로서 하성환경을 나타낸다. 2,080~2,460 m 구간(팔레오세)에서는 산사면이나 고지대에서 생육하는 목본화분인 *M. wyomingensis*, *M. leffingwellii*, *Caryapollenites simplex*, *U. tricostatus*, *P. platycaryoides*, *Q. microhenrici* 등의 우점산출로산지주변에 선상지환경을 나타낸다(그림 3b, 5).

### 3.3 IIIH-1Xa

259~460 m 구간(플라이오세)에서는 초본화분인 *Graminidites media* (= Gramineae), *Artemisia*, *Persicarioipollis* sp. (= *Persicaria*) 등이 우점으로 산출되고, 목본화분인 *Ulmipollenites undulosus*, *Quercoidites microhenrici* (= *Quercus*), *Betulaepollenites claripites* (= *Betula*) 등도 비교적 풍부하게 산출된다. 이들 초본화분의 모식물과 담수조류 등의 출현하는 것은 저지 범람성 하천환경을 지시한다. 478~716 m 구간(마이오세 중기)에서는 *Liquidambarpollenites minutus* (= *Liquidambar*), *Caryapollenites simplex* (= *Carya*)의 목본화분이 우점으로 산출되고, *Sporotrapoidites erdtmanii* (= *Trapa*), *Magnastriatites granulastratus* (= *Ceratopteris*)의 수생식물 화분과 포자도 비교적 풍부하게 산출된다. 이들 화분포자의 모식물들은 주로 호수나 냇가에서 생육하는 종들로서 그 당시의 고환경은 하도나 작은 연못 등이 존재하는 하성환경임을 알 수 있다. 735~1,400 m 구간(마이오세 전기)에서는 목본화분인 *Betulaepollenites claripites* (= *Betula*), *Pinuspollenites minutus* (= *Pinus*), *Inaperturopollenites dubius*, *I. hiatus*, *Cycadopites* sp., *Ephedripites* spp., *Cyrrillaceoipollenites* sp. 등이 풍부하게 산출하며, 수생식물인 *Magnastriatites granulastratus* (= *Ceratopteris*) 포자 역시 지속적으로 산출된다. 이 구간에서는 초본식물들이 감소하며 산사면이나 고지대에서 생육하는 목본식물들이 출현하는 점은 산지 말단부의 선상지환경임을 지시한다(그림 3c, 6).

### 3.4 IIC-1X

229~375 m 구간(플라이오세)에서는 초본화분인 *Graminidites media* (= Gramineae), Cyperaceae, *Artemisia* 등이 우점산출하며, 목본화분인 *Pinuspollenites* sp. (= Pinaceae), *Betulaepollenites claripites* (= *Betula*) 등도 풍부하게 산출된다. 이들 초본화분의 모식물과 담수조류 등은 주로 저지대의 하도가 발달된 곳에서 생육하는 식물들로서 그 당시는 하성환경임을 나타낸다. 375~610 m 구간(마이오세 중기)에서는 목본화분인 *Liquidambarpollenites minutus* (= *Liquidambar*), *Caryapollenites veripites* (= *Carya*), 수생식물인 *Sporotrapoidites erdtmanii* (= *Trapa*), *Magnastriatites granulastratus* (= *Ceratopteris*) 등이 풍부하게 산출된다. *Persicarioipollis minor* (= *Persicaria*), *G. minor* (= Gramineae) 등의 초본화분도 산출한다. 이들 화분의 모식물은 저지에서 생육하는 수목들과 수생식물들로서 그 당시는 저지 평탄면에 발달한 호수환경임을 나타낸다. 610~625 m 구간(마이오세 전기)에서는 상부 구간과 동일한 화분산출과 초본화분인 *Chenopodipollis* sp. (= *Chenopodium*)의 우점산출 그리고 수생식물인 *S. erdtmanii* (= *Trapa*), *M. granulastratus* (= *Ceratopteris*) 등의 꾸준한 산출은 호수환경을 지시한다. 625~1,526 m 구간(에오세)에서는 전체적으로 화석의 산출이 빈약하지만, 목본화분인 *Betulaepollenites* sp. (= *Betula*), *Salixipollenites* sp. (= *Salix*), *Inaperturopollenites dubius* (= Taxodiaceae) 등이 산출되고, *Platycaryapollenites platycaryoides* (= *Platycarya*), *Engelhardtipollenites* sp. (= *Engelhardtia*), *Alnipollenites verse*, *Ulmipollenites tricostatus* 같은 화분들이 이 구간에서 새롭게 출현한다. 이들 목본화분의 모식물은 주로 구릉이나 산지 말단부에 생육하는 종들이며, 호습윤성인 화분도 출현하는 점으로 보아 주변에 산지가 있는 하성퇴적환경임을 나타낸다. 1,526~2,001 m 구간(?팔레오세)에서는 상위 구간(625~1,526 m)처럼 전체적으로 화석산출이 아주 미약하다(그림 3, 7).

### 3.5 Inga-1

350~506 m 구간(플라이오세)에서는 목본화분인 *Betulaepollenites claripites* (= *Betula*), *Cycadopites* sp., *Ulmipollenites undulosus* (= Ulmaceae), *Faguspollenites* sp. (= *Fagus*), *Quercoidites microhenrici* (= *Quercus*), *Alnipollenites verus* (= *Alnus*), *Salixipollenites* sp.

(= *Salix*), *Inaperturopollenites dubius*, 초본화분인 *Graminidites media* (= Gramineae), *Cheonopodipollis* sp. (= Chenopodiaceae), *Sporotrappoidites erdtmanii* (= *Trapa*) 등이 주요 산출 종이다. 이 구간에서는 산록지역에 생육하는 수목류와 저지의 호습윤성 수목 및 수생식물 화분들이 함께 산출하는 점으로 보아 주변에 산지가 있는 저지대 하성환경임을 나타낸다. 506~1,380 m 구간(마이오세 전기)에서는 목본화분인 *U. planeraeformis* (= Ulmaceae), *Faguspollenites* sp. (= Fagaceae), *Inaperturopollenites dubius* (= Taxodiaceae), *Pinuspollenites* spp. (= Bisaccates) 등이 풍부하게 산출되며, 초본화분인 *Chenopodipollis* sp. (= *Chenopodium*) 도 비교적 풍부하게 산출된다. 수생식물 화분인 *S. erdtmanii* (= *Trapa*) 역시 미약하지만 상부구간에서 산출된다. 이 구간에서도 역시 산록지역의 수목류와 저지의 호습윤성 및 수생식물의 화분이 함께 산출되지만, 호습윤성과 수생식물의 산출이 상부구간보다 낮은 것은 저지대 하호성환경으로 변화하였음을 나타낸다. 1,380~2,728 m 구간(에오세)에서는 상부구간(1,380~1,817 m)와 하부구간(2,545~2,591 m)에서 화석이 풍부하게 산출하며 나머지 구간에서는 아주 미약하게 산출된다. 산출 종으로는 *Pinuspollenites* spp. (= Bisaccates), *U. tricostatus* (= Ulmaceae), *Q. microhenrici* (= *Quercoidites*), *Caryapollenites veripites* (= *Carya*) 등의 목본화분이 산출된다. 이들 화분의 모식물들은 대부분 구릉이나 산악지에서 생육하는 종들이며, 호습윤성 목본류(*Inaperturopollentias*)도 지속적으로 출현하는 것으로 보아 산지 말단부에 발달한 선상지 환경임을 나타낸다(그림 3e, 8).

#### 4. 지질시대별 고환경

전술한 바와 같이 군산분지(남황해북부분지)는 대륙성 육성분지로 주로 하호성 퇴적물로 이루어져 있다. 5개의 시추공에서 확인된 퇴적층은 주로 (아)건조기후의 하성 퇴적물로 판단되는 적색 쇄설물인 이암과 사암이며, 일부구간에서만 나타나는 회색 실트암과 석회암은 호수 기원일 가능성이 있다(그림 2). 그러나 국지적인 시추공의 분석 자료에 의한 분지 전체의 퇴적환경 해석은 매우 어려운 것으로 시추지점을 중심으로 지질시대에 따라 고환경을 고찰하였다.

#### 4.1 백악기 전기(Early Cretaceous)

백악기 전기의 퇴적층은 주로 Kachi-1, IIC-1X의 최하부구간에 분포하는 것으로 보고되었다(KIGAM, 1992; Park et al., 1997; Cheong et al., 1998; Yun et al., 2000; Yi et al., 2003; Ryu and Kim, 2007). Kachi-1의 하부구간에는 대체적으로 미화석 산출이 미약하지만 유기질 미화석인 *Ephedripites*, *Classopollis*, *Cranwellia* 등의 화분, *Polycingulatisporites*, *Cyathidites*, *Densosporites*, *Pterisporites* 등의 소형포자, *Azolla cretacea*의 대형포자와 함께 *Botryococcus*같은 담수조류도 산출되었다. 또한 윤조 화석, *Mesochara*, *Prochara* 그리고 개형충 화석인 *Cypredia* 등 담수성 미화석 등도 함께 산출되었다(Park et al., 1997; Cheong et al., 1998). Yun et al. (2000)와 Yi et al. (2003)의 연구결과에 의하면, 백악기 전기의 퇴적층에서 *Classopollis classoides*, *Inaperturopollenites* spp., *Ephedripites* spp., *Desosporites* sp., *?Campotriletes* sp., *Pterisporites* spp. 등이 산출되었다(그림 3a). 특히 *Ephedripites*와 식물학적으로 대비되는 현생 식물인 마황(*Ephedra*)은 오늘날 중국의 건조한 사막지역과 그 주변에서만 생육한다(Hou, 1983; Li et al., 2005). 그리고 백악기 전기 말의 멸종 식물인 *Classopollis*는 아열대~난온 대기후 하에서 번성하였던 종으로 보고되어 있다(Wall, 1965; Srivastava, 1976). 이들 유기질 미화석과 석회질 미화석 군집의 산출은 백악기 전기의 퇴적환경이 건조한 아열대 기후 하에서 하천~범람성 환경이 우세하였음을 시사한다(그림 4). 이처럼 백악기 전기의 고기후 해석은 경상분지의 동시대층(Aptian-Santonian)부터 육상식물질분석에 의한 대기 이산화탄소 농도( $\rho\text{CO}_2$ )의 높은 값의 결과(Hong and Lee, 2012; Hong et al., 2012)와도 매우 잘 일치한다.

Kachi-1의 하부구간에는 백악기 전기 지층이 두 겹계 발달하는데, 주로 적색의 이암과 실트암 및 괴상의 사암으로 구성되어 있다(KIGAM, 2004; KNOC, 2005; 그림 2). KNOC (2005)의 지구조 해석에 의하면, 백악기 전기는 인리형 열개가 시작된 열개초기로 이 시기에는 분지종축 방향을 따라 일시적으로 형성된 망상하천(ephemeral braided stream)이 주로 발달하였고, 때로는 말단선상지(terminal fan)가 형성된 것으로 해석되었다. 이와 함께 자연제방이 제한적으로 발달된 광역적인 범람원이 발달하였으나, 건조한 기후조건으로 인해 호소의 발달은 미약하여

주로 적색의 산화된 실트암과 사암이 광범위하게 발달한 것으로 해석하였다. 그러나 예외적으로 분지 말단부에는 매우 얇은 호수가 발달하여 회색이나 녹회색 이암층이 형성되거나 석회암이 형성되기도 했을 것으로 추정하였다. 결과적으로 미화석 군집에 의한 고환경 해석은 퇴적층 분석 및 지구구조와 연계한 해석과 비교적 잘 일치한다.

4.2 백악기 후기(Late Cretaceous)

백악기 후기 퇴적층은 Kachi-1, IIIH-1Xa에서만 확인되며, 갈색의 이암이 우세하고 사암과 실트암 및 석회암은 간헐적으로 나타난다(KIGAM, 2004; KNOC, 2005; 그림 2). Kachi-1의 이 구간에서는 유기질 미화석이 풍부하고 다양하게 산출되지만(Park et al., 1997; Chenong et al., 1998; Yun et al., 2000; Yi and Batten, 2002; Yi et al., 2003; 그림 3a), IIIH-1Xa에서

는 다양하지만 산출정도는 낮다(Park et al., 1997; Chenong et al., 1998; 그림 3c). Kachi-1에서 산출되는 대표적인 화분포자는 백악기 후기에 번성했던 나자식물인 *Rugubivesculites rugosus*, *Inaperturopollenites* spp., 피자식물인 *Aquilapollenites* spp., *Alnipollenites trina*, *Dilwynites granulatus*, *Diporopollenites kachiensis*, *Gabonisporsis vigourouxii*, *Penetetrapites inconspicuus*, *Ulmipollenites tricostatus*, 그리고 대형포자인 *Azolla cretacea*, *Gohsipora* spp. 및 소형포자의 *Leptopocpites pocockii*, *Triporoletes* spp. 등이다(Yun et al., 2000; Yi et al., 2003). 또한 담수조류인 *Botryococcus braunii*, *Pediastrum* spp., *Savitrinia* spp., *Kachisporis* spp., *Brazilea* spp. 등이 매우 풍부하게 산출된다. 이와함께 *Feistiella anluensis*, *Mesochara* sp., *Clavator* (?) sp. 등의 윤조 화석과 *Cypridea* (C.) *cavemosa*, *Cypridea* (C.) *gigantea*, *Metacypris* 등의

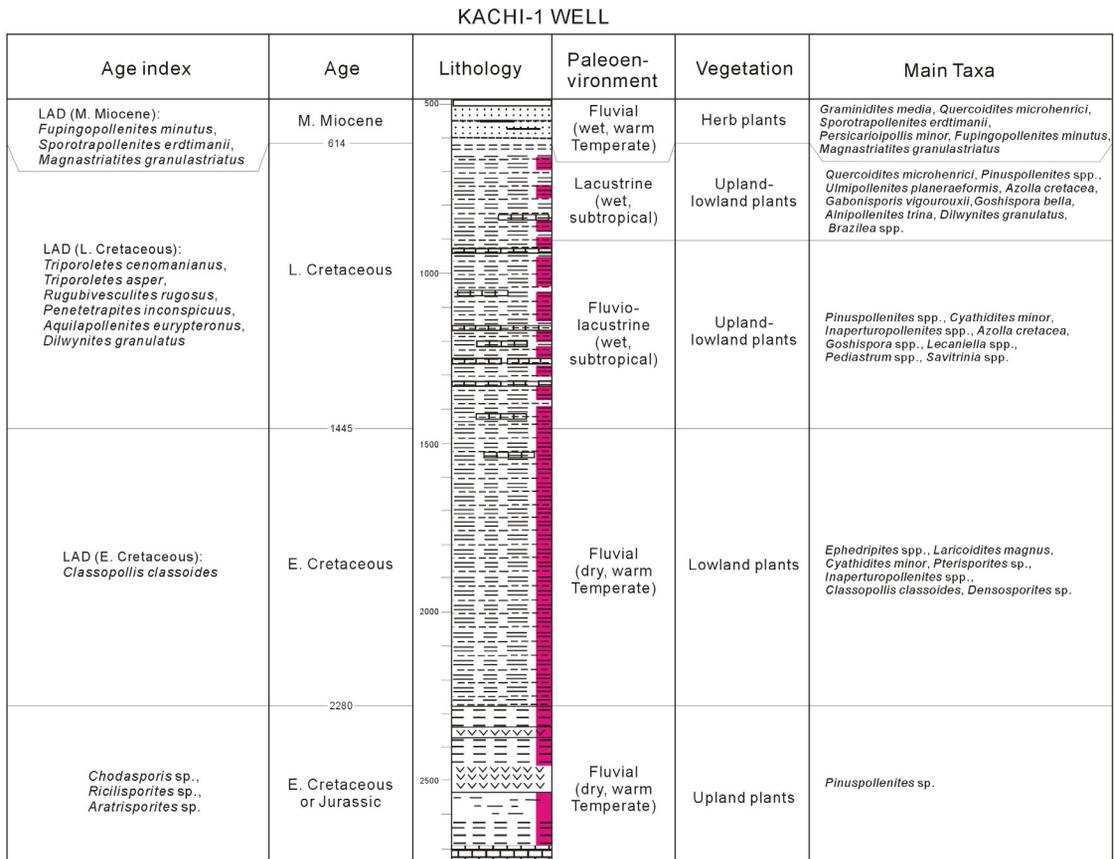


Fig. 4. Composite diagram of Kachi-1 showing age, paleoenvironment, and vegetation.

개형층 화석도 산출된다. 따라서 유기질 미화석인 나자식물, 피자식물의 화분 화석과 수생식물의 대소형 포자 화석 및 담수조류 화석들이 아주 풍부하고 다양하게 산출되는 점으로 보아 백악기 후기 동안 습윤한 아열대 기후였을 것으로 해석된다. 즉 백악기 전기에는 건조하였다가 이후에 매우 습윤한 상태의 호수성 분지로 변화한 것으로 해석된다.

KNOC (2005)의 탄성파 자료 기반의 지구조 분석에 의하면, 백악기 후기 동안은 인리형 열개의 후반기로 주로 확장력이 우세하게 작용하여 빠른 분지 침강이 일어난 시기로 해석되었다. 이 시기의 분지 침강은 주경계단층을 따라 주로 발생했기 때문에, 분지의 횡축은 반지구(half graben)분지와 유사한 단면을 보여준다. 빠른 침강이 일어나는 동안 분지 전체에 넓고 깊은 호수가 형성되어 회색의 이암층이 퇴적되었으며, 이후 지속적인 퇴적물 공급에 의해 분지 양측에 하반경계퇴적계(footwall-derived depositional system)이 발달하게 되었다. 하반경계퇴적계에는 주로 단구나 선상지가 발달하고, 상대적으로 경사도가 높은 상반경계퇴적계에는 조립질 삼각주나 선상지삼각주가 발달한 것으로 해석되었다. 이들 삼각주는 때때로 호수 저면에 호저선상지를 형성하여 연장되는 경우도 있다. 분지횡단 퇴적계의 전진 퇴적이 이루어지는 동안, 분지종축 퇴적계도 초기의 호저 선상지형태에서 점차 하천~하성삼각주 형태로 진화했을 것으로 판단된다. 최종적으로 호수의 면적과 깊이는 점차 축소되어 원호성 퇴적(pelagic sedimentation)이 중단된 것으로 해석하였다. 결과적으로 상기 미화석, 퇴적학적 분석결과 및 지구조에 의한 고환경 해석은 서로 잘 일치하는 것으로 나타났다.

#### 4.3 팔레오세(Paleocene)

팔레오세 퇴적층은 Haema-1, IIIH-1Xa 그리고 IIC-1X에서만 확인되며 적색 이암과 이회암 등으로 이루어져 있다(KIGAM, 2004; KNOC, 2005; 그림 2). 팔레오세 퇴적층에 대한 고환경 연구 결과는 연구자들 간에 다소 차이를 보인다. Haema-1의 퇴적층에서는 팔레오세에 번성하였던 *Momipites wyomingensis*, *Momipites leffingwellii*, *Caryapollenites simplex*, *Ulmipollenites tricostatus*, *Platycaryapollenites playcaryoides*, *Quercoidites microhenrici* 등의 화분 화석(그림 3b)과 *Microhara* 윤조 화석이 풍부하게 산출

되는 것으로 보고되었다(Yun *et al.*, 2000; Yi *et al.*, 2003). 이 연구자들은 유기질 미화석 군집을 근거하여 이 시기는 습윤한 온난 온대기후의 하성퇴적환경으로 해석하였다(그림 5). 팔레오세의 고기후 해석은 중국의 화분분석 결과(Wang, 1961; Zhang, 1995)와도 잘 일치하는데, 이들은 중국의 북동지역에 낙엽활엽수와 상록수의 혼효림이 습윤한 온난 온대기후 조건하에서 넓게 분포하는 것으로 해석하였다.

팔레오세는 반지구 확장형 열개가 시작된 썩기형태를 보이는 열개 동시성 퇴적단위가 특징적이다(KNOC, 2005). 이 퇴적단위는 탄성파 단면상 분석에 의하면 상부경계부에서 연속성이 좋은 균일한 두께의 반사면이 발달하는데(Cheong *et al.*, 1998), 이는 퇴적형성 후기에 퇴적중심부를 중심으로 광역적인 호수의 발달과 원호성 퇴적을 지시하는 것으로 해석되었다. 이는 확장형 열개 초기에는 주위 배후지에서 조립질 퇴적물 공급이 활발하여 분지 주변 퇴적계가 잘 발달한 반면, 후반기에는 배후지 퇴적물 공급이 줄어들면서 분지 중심부에는 세립질 퇴적물만이 운반, 퇴적되었기 때문이다. 이러한 상향세립화 추세는 열개동시성 퇴적단위의 대표적 특징 중 하나라고 해석하였다(KNOC, 2005).

#### 4.4 에오세(Eocene)

에오세 퇴적층은 Kachi-1을 제외한 모든 시추공(Haema-1, IIIH-1Xa, IIC-1X, Inga-1)에서 확인되며, 주로 적색 이암층과 비적색암으로 구성되었다(KIGAM, 2004; KNOC, 2005; 그림 2). 에오세 미화석 군집은 Haema-1, IIIH-1Xa, IIC-1X, Inga-1에서 모두 산출된다(그림 3b~e). Cheong *et al.* (1998)은 이들 4개의 시추공에서 산출된 화분·포자 화석 군집을 근거로 다음과 같이 고환경을 해석하였다. 에오세 전기에는 소량의 구과류(conifer) 화분 화석이 나오는 것으로 보아 건조한 아열대 기후였다. 에오세 중기에는 이끼류인 *Sphagnum*을 비롯한 목본화분인 *Inaperturopollenites dubius* (= *Taxodium*)의 저습지 식물이 주종을 이루며, *Betulaepollenites claripites* (= *Betulaceae*), *Ulmipollenites undulosus* (= *Ulmaceae*) 등의 산록성 식물은 퇴적지 주변에 번성하였다. 또한 이 시기에 윤조 화석과 담수성 와편모류 미화석이 발견되는 점으로 보아 기온은 약간 한랭하였으며, 습도가 크게 증가한 기후에서 다양한 식생이 생육하였던 것으로 해석하였다.

반면 에오세 후기에는 다시 고온 건조해져 미화석이 산출되지 않는 것으로 해석하였다. 또한 Cheong *et al.* (1998)은 에오세에 적색암과 비적색암이 변하는 퇴적학적 특징을 이용하여 환경을 해석하였다. 에오세 전기에 퇴적된 적색암은 팔레오세부터 시작된 건조한 온대기후 하의 범람원에서 쌓였고, 에오세 중기의 비적색암들은 기후가 습윤해 지면서 주로 호수 또는 소택지 주변부에서 퇴적된 것으로 해석하였다. 그리고 에오세 후기의 적색 이암층은 기후가 다시 건조해 지면서 퇴적된 지층으로 보았다(그림 5~8). 그러나 Yun *et al.* (2000)의 연구결과에 의하면, 에오세 후기의 퇴적층에서는 냉온대성 목본식물 화분인 *Betulaepollenites claripites*, *Coryluspollenites constatus*, *Quercoidites microhenrici*, *Ulmipollenites undulosus* 와 윤조 화석인 *Nitellopsis* (?) sp., *Gobichara nigra* 등이 산출함에 따라 건조한 냉온대 기후의 하천환경

으로 주변에는 산사면이었던 것으로 해석하였다. 따라서 에오세 동안에는 고기후의 조건이 전기~중기 동안에는 온대기후의 계절적 습윤 또는 건조를 반복하는 시기이며(Song *et al.*, 1999), 후기에 이르러서는 냉온대성(Collinson, 1992; Zhang, 1995)으로 변하였다.

KNOC (2005)의 지구조 연구결과에 의하면, 에오세 전기 퇴적층은 군산분지(남향해북부분지) 내에서 가장 두꺼운 퇴적층을 형성하는데, 팔레오세 퇴적층과 마찬가지로 켜기형태의 열개동시성 퇴적단위로 해석되었다. 다만 상부경계부분에서 연속성이 양호한 반사면의 발달이 상대적으로 미약한데, 이는 형성된 호수의 규모가 작았거나 퇴적물 공급량이 많았기 때문으로 해석하였다. 따라서 에오세 시기에는 하성 퇴적환경이 보다 우세하게 발달하였고 호수의 발달은 국지적으로 제한되었을 것으로 여겨진다. 이

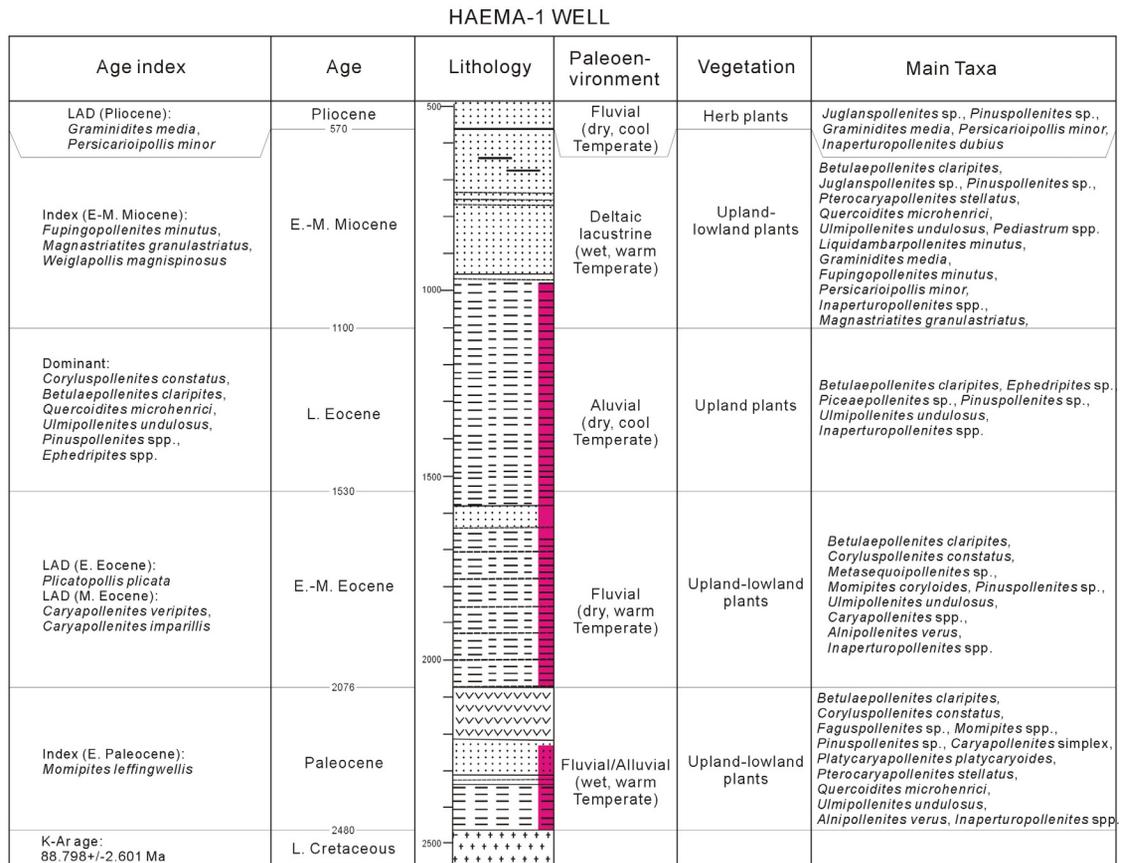


Fig. 5. Composite diagram of Haema-1 showing age, paleoenvironment, and vegetation.

러한 퇴적환경과 분지충진구조의 조절요인은 현재로서는 불분명하지만, 아마도 보다 습윤해진 기후에 의한 영구하천의 발달과 그에 따른 점진적이고 지속적인 퇴적물 운반, 퇴적을 가능한 원인 중의 하나로 추정하였다. 또는 분지침강 속도가 보다 완만하여 분지경계부에 조립질 퇴적물이 포획되지 않고 분지 중심부까지 이동할 수 있었기 때문일 수도 있다. 에오세 후기 퇴적층은 이전 지층과 달리 분지 전체에 걸쳐 켜기형태의 충진구조를 보이는 것이 아니라 몇 개의 소규모 켜기로 나뉘어져 발달하는 양상을 나타낸다. 이는 이 시기에 분지가 여러 개의 소분지로 나뉘어졌음을 반영하는데, 아마도 계속된 분지 확장과 침강을 보조하기 위해 분지 내부에 여러 개의 정단층이 생성되고 분지 경계부에는 주향이동성 전이단층(transfer fault)이 형성되면서 각 단층의 분절별로 서로 다른 침강속도를 갖게 되었기 때문으로 판

단된다. 이러한 단층수반 차별침강에 의하여 균산분지(남황해북부분지)는 여러 개의 퇴적중심부를 갖는 소규모 함몰지(호수)들로 나뉘게 되었다. 이로 인해 하성 범람평원 퇴적환경이 전반적으로 우세하게 나타난 것으로 여겨진다.

4.5 올리고세(Oligocene)

Cheong *et al.* (1998)의 유기질 미화석 연구결과 올리고세 화석군집이 Inga-1에서 주로 산출되고 Haema-1은 매우 얇은 층에서만 산출된다고 보고하였다. 이 연구자들은 올리고세 전기까지는 식생발달이 미약하다가 이후 양치류 포자 화석, 구과류 화분 화석 및 소량의 운조 화석이 산출되는 점으로 보아 점차 습윤도가 증가한 것으로 해석하였다. 이와 같은 미화석 산상을 기반으로 올리고세 전기는 건조기후의 범람원 환경이 우세하였으나 이후 습윤기후로 전환

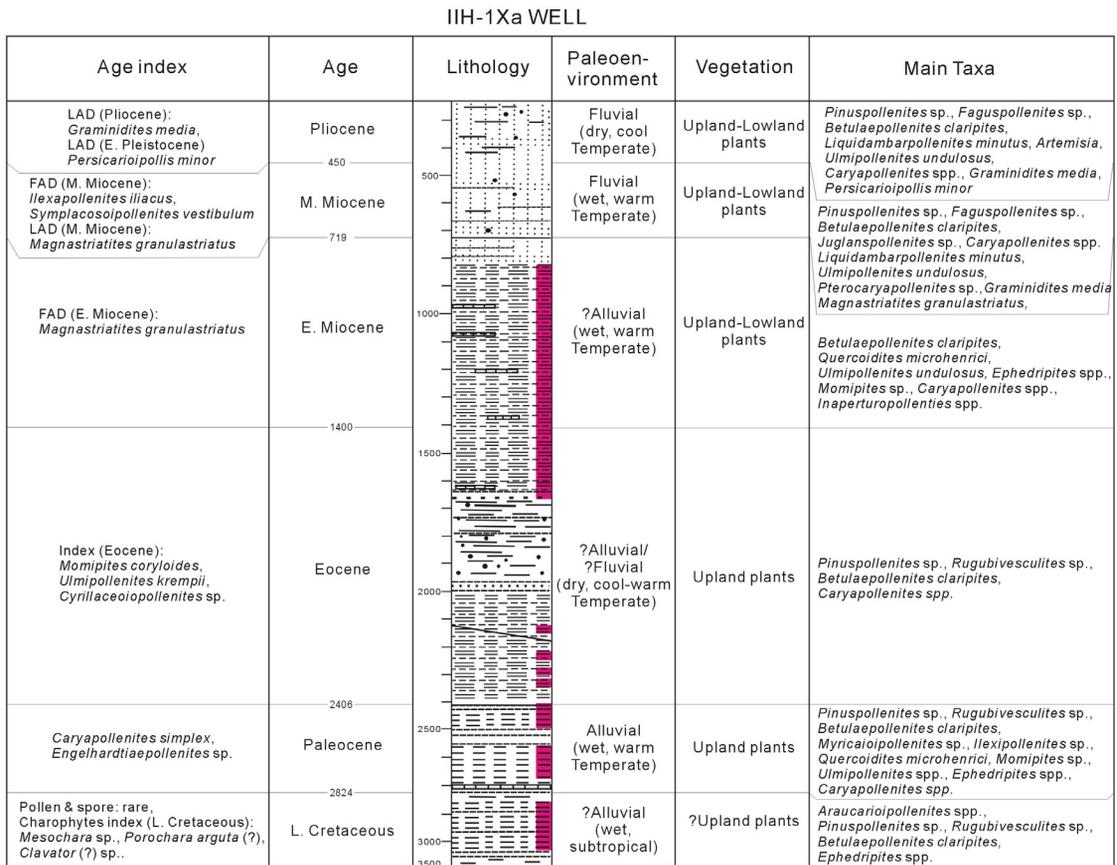


Fig. 6. Composite diagram of IIH-1Xa showing age, paleoenvironment, and vegetation.

되면서 하호성 환경으로 변했다고 해석하였다. 그러나 Yun *et al.* (2000)와 Yi *et al.* (2003)은 Haema-1에서는 올리고세 화석이 산출되지 않아 이 시기의 퇴적층은 결층이라고 해석하였다.

KNOC (2005)는 에오세 후기와 올리고세 사이에 구조역전(basin inversion) 현상이 일어나면서 분지의 남서지역(Kachi-1, Haemai-1 시추지점)과 중앙지역(IIIH-1Xa, IIC-1X 시추지점)이 융기되어 퇴적층이 침식, 삭박되었다고 해석하였다. 이 시기에 분지 융기와 구조역전 현상은 규모가 매우 컸기 때문에 부정합면은 마이오세 부정합면에 중첩되어 은닉되었다고 판단하였다. 그리하여 올리고세 부정합의 발달은 구조역전에 의한 퇴적층의 융기, 삭박에 의한 것으로 해석하였다.

Yun *et al.* (2000)와 Yi *et al.* (2003)의 에오세 결층에 대한 해석은 KNOC (2005)의 지구조 해석과 매

우 잘 일치한다. 따라서 군산분지(남황해북부분지)의 5개 시추공에서는 올리고세가 결층인 것으로 판단하는 것이 타당하다(그림 9).

4.6 마이오세(Miocene)

마이오세 전기의 퇴적층은 군산분지(남황해북부분지)의 동쪽인 중앙 소분지에서 시추한 Haema-1, IIIH-1Xa, IIC-1X, Inga-1에서만 관찰된다(그림 1, 2). 이 중에서 Inga-1의 1400 m 층준부터 마이오세전기 층이 비교적 두껍게 발견된다(그림 2). Cheong *et al.* (1998)는 마이오세 전기 퇴적층에서는 *Ulmipollenites undulosus* (= *Ulmaceae*), *Quercoidites microhenrici* (= *Quercus*), *Betulaepollenites claripites* (= *Betula*) 등 낙엽활엽수가 우점으로 산출되며, *Cheonopodipollis* sp. (= *Cheopodium*)의 초본류도 풍부한 산출을 보이고, 시추공에 따라 수생식물인 *Sporotrapoidites erdt-*

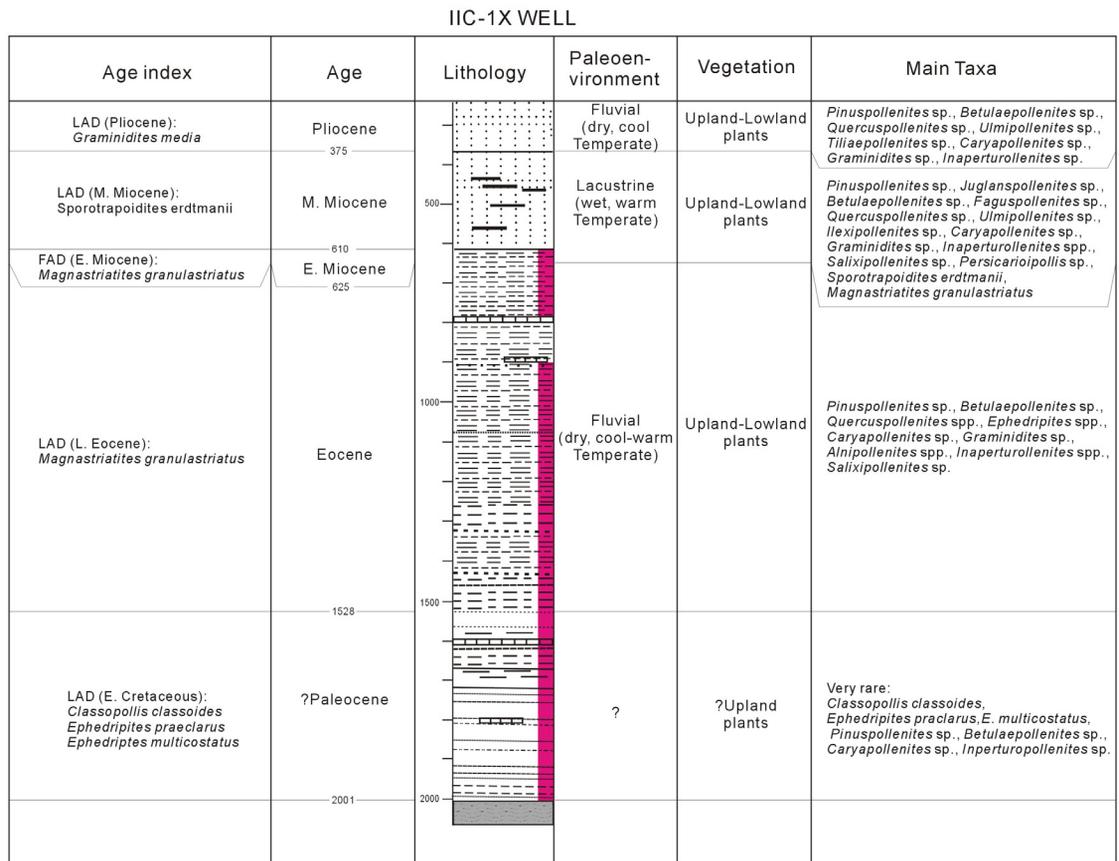


Fig. 7. Composite diagram of IIC-1X showing age, paleoenvironment, and vegetation.

*manii* (= *Trapa*), *Magnastriatites granulastratus* (= *Ceratopteris*)가 소량 산출되는 점을 들어 이 시기는 습윤한 온난온대 기후 조건으로 해석하였다. Yun *et al.* (2000)와 Yi *et al.* (2003)들도 상기 시추공들로부터 마이오세 전기~중기 퇴적층에서 다양하고 풍부한 유기질 미화석과 석회질 미화석을 보고하였다. 이 시기의 화분·포자 화석으로는 *Fupingopollenites minutus*, *Weigelpollis magnispinosus*, *Graminidites media*, *Liquidambarpollenites minutus*, *Persicarioipollis minor*, *Potamogetonacipites* sp., *Quercoidites microhenrici*, *Magnastriatites granulastratus* 등이다. 이와 같은 화분·포자 화석이 산출됨에 따라 이 시기는 습윤한 온난온대기후의 저지대 호수나 하천변이었을 것으로 해석하였다(그림 5~8). 군산분지(남황해 북부분지)에서 산출된 화분군집상은 전체적으로 동북아시아의 마이오세 지층에서 분석된 화분연구결

과(Liu and Leopold, 1992; Yamanoi, 1992; Wang, 1994; Chung and Koh, 2005)들과 비교적 잘 일치한다. 이들은 마이오세 전기~중기 전이시기 동안 기후는 다소 습윤한 온난 온대로 해석하였다.

마이오세 동안에는 열개 후 분지의 조구조 활동이 미약해지면서 퇴적층의 열적수축에 의한 점진적인 분지 침강(thermal basin subsidence)이 일어났다. 이에 동반된 주 경계 단층 인근 지역은 계속적으로 침강하면서 분지 중심부에만 국한된 향사형 퇴적구조를 형성하며 비교적 두꺼운 퇴적층이 형성되었다(KNOC, 2005). 그렇지만 다른 지역에서는 하위층이 변형된 지역에 얇게 퇴적되었다. 비적색인 쇄설 퇴적물은 주로 습윤한 기후 하에서 형성된 하호성 주변부에서 퇴적되었다. 반면 적색 이암은 건조 기후시기에 범람원에서 퇴적된 것으로 추정하였다(Cheong *et al.*, 1998).

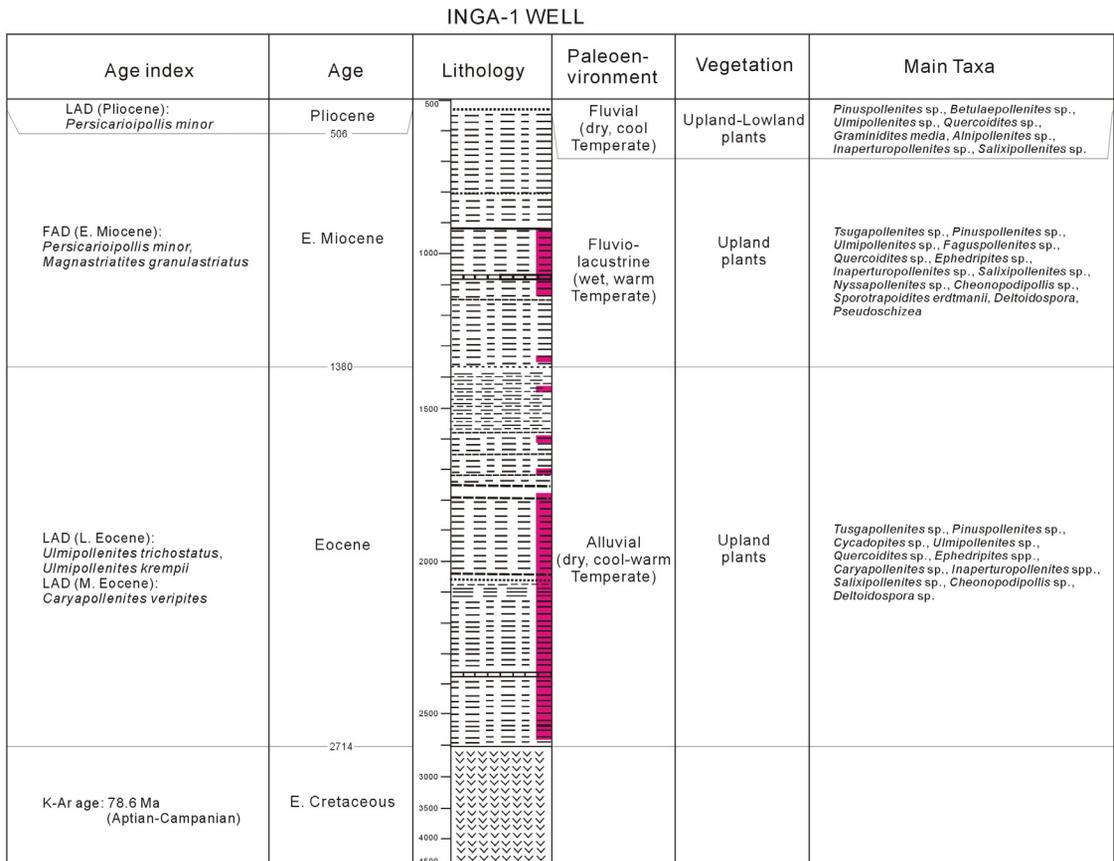


Fig. 8. Composite diagram of Inga-1 showing age, paleoenvironment, and vegetation.

마이오세 중기의 퇴적층은 Inga-1을 제외한 모든 시추공의 광역 부정합면 상위에 놓이며 거의 평탄면으로 분포한다(그림 2). 이런 특성은 조구조 운동으로 융기했던 퇴적층이 대부분 침식된 후 분지 전반에 걸쳐 침강이 발생하면서 형성되었기 때문이다(KNOC, 2005). 전 구간에 걸쳐 이암이 대부분이며 사암과 토탄이 간간히 협재하고 때론 쳐트 역을 함유한다. 이런 퇴적학적 특징은 범람원, 호수, 하천 등 다양한 퇴적환경이었음을 반영한다.

Cheong *et al.* (1998)과 Yun *et al.* (2000)의 유기질 미화석 분석에 의하면, 마이오세 중기 동안 난온대 이상의 고온성 목본식물인 *Liquidambarpollenites minutus* (= *Liquidambar*), *Caryapollenites claripites* (= *Carya*), *Fupingopollenites minutus*와 수생식물인 *Sporotrapoidites erdtmanii* (= *Trapa*), *Magnastriatites granulastriatites* 등이 우점으로 산출한다. 이와 함께 다양한 낙엽활엽수, 침엽수 및 초본식물들도 풍부하

게 산출되고, 담수조류 역시 지속적으로 산출하였다(그림 3a~d). 이런 유기질 미화석 군집조성의 특성으로 보아 그 당시는 고온 다습한 난온대기후의 하성내지 앞은 호소환경이었을 것으로 해석하였다. Yun *et al.* (2000)의 생층서 보고서에 의하면, IIIH-1Xa에서 마이오세 중기의 해성 와편모조류인 *Systematophora placantha* (LAD: Middle Miocene), *Operculodinium israelianum*, *Operculodinium longispinigerum*과 *Haema-1* 으로부터 *Lejeuncysta* sp.가 인지되어 마이오세 중기 동안에 짧은 해침을 받아 일시적으로 천해환경이 발달했을 것으로 해석한다 있다.

KNOC (2005)는 마이오세 중기에 일어난 대규모 구조역전 현상으로 분지가 융기하여 삭박되면서 광역적인 평탄화가 일어난 것으로 해석되었다. 2차 구조역전 현상의 원인은 불분명 하지만, 약 12 Ma에 발생한 Izu-Bonin Arc와 일본열도의 충돌에 따른 동북아시아의 북서-남동방향의 횡압력에 의한 것으로 추정하였다. 이 시기도 마이오세 전기와 마찬가지로 하성퇴적환경이 우세했던 것으로 해석하였다.

유기질 미화석에 의한 결과자료(Cheong *et al.*, 1998, Yun *et al.*, 2000; Yi *et al.*, 2003)들은 마이오세 후기가 모두 결층인 것으로 해석하였는데, KNOC (2005)는 마이오세 후기 퇴적층이 존재하는 것으로 결과를 얻었다. 따라서 마이오세 후기 퇴적층의 존재에 대해서는 유기질 미화석분석결과와 탄성과 단면도상의 해석결과가 차이를 보이고 있어, 앞으로 꼭 해결해야 할 과제로 남아있다. 하지만 4개 시추공의 퇴적층 구간에서는 모두 마이오세 중기의 지시종들이 다수 산출되는 특징을 가진다(그림 4~7). 결과적으로 이 논문에서는 유기질 미화석 군집 조성을 근거로 마이오세 후기는 결층으로 판단하였다.

| Northern South Yellow Sea Basin    |                  |                                |   |                              |
|------------------------------------|------------------|--------------------------------|---|------------------------------|
| Chronostratigraphy                 | Pollen zone      | Depositional environments      | Basin development                                       |                              |
| Quaternary                         | Holocene         |                                | marine transgression                                    |                              |
|                                    | Pleistocene      |                                |   |                              |
| Neogene                            | Pliocene         | Graminidites-Persicarioipollis | fluvial   |                              |
|                                    |                  |                                |   |                              |
|                                    | Miocene          | Late                           |   | regional subsidence          |
|                                    |                  | Mid                            | Liquidambarpollenites-Fupingopollenites-Magnastriatites |                              |
| Early                              |                  |                                |   |                              |
| Paleogene                          | Oligocene        |                                | inversion, erosion                                      |                              |
|                                    | Eocene           | Late                           |   | Quercoidites-Pinuspollenites |
|                                    |                  | Mid                            | Caryapollenites-Inaperturopollenites                    | fluvial                      |
|                                    |                  | Early                          |   |                              |
|                                    | Paleocene        | Late                           | Momipites-Coryluspollenites                             | fluvial/alluvial             |
|                                    |                  | Mid                            |   |                              |
|                                    |                  | Early                          |   |                              |
| Cretaceous                         | Late             | Aquilapollenites-Penetrapites  | shallow marginal lacustrine                             |                              |
|                                    |                  | Alisporites-Rugubivesiculites  | fluviallacustrine                                       |                              |
|                                    | Early            | Classopollis-Ephedripites      | fluvial   |                              |
| Early Cretaceous-Late Jurassic (?) | Few palynomorphs | alluvial                       | pre-rift (?)  |                              |

Fig. 9. Schematic illustration of depositional environmental changes in the Kunsan Basin (northern South Yellow Sea Basin) (modified from Yi *et al.*, 2003).

#### 4.7 플라이오세(Pliocene)

플라이오세 퇴적층은 Haema-1, IIIH-1Xa, IIC-1X, Inga-1에서 확인되며, 연회색 내지 갈색의 사암으로 구성되어 있다(그림 2). 이 지층에서는 일반적으로 Compositae, Gramineae, Cyperaceae, *Persicaria* 등의 초본화분 화석이 풍부하게 산출된다. 이 외에 Pinaceae, Betulaceae의 목본화분 화석과 담수조류 화석 등이 산출된다(Park *et al.*, 1997; Cheong *et al.*, 1998; 그림 3d, e). Yun *et al.* (2000)과 Yi *et al.* (2003)도 플라이오세 지층으로부터 *Graminidites media*,

*Persicarioipollis minor*의 초본화분과 *Quercoidites microhenrici*, *Juglanspollenites* sp., *Pinuspollenites* sp. 등의 목본화분을 보고하였다(그림 3b). 이들(Cheong et al., 1998; Yun et al., 2000; Yi et al., 2003)은 유기질 미화석 군집조성의 특성을 기반으로 플라이오세의 고환경 조건은 다소 건조한 한랭 온대의 저지대 하천 또는 범람원 환경으로 서로 유사한 해석을 하였다. 이 시기의 고기후 해석은 냉온대기후로 해석한 기존 화분결과(Liu, 1988; Heusser and Morley, 1996)자료와 잘 일치한다.

Inga-1의 최상부 구간(472~506 m)에서 플라이오세를 지시하는 화분 화석(*Persicarioipollis minor*, *Graminidites media*)들이 산출된다(Bong et al., 1991; 그림 3e). 따라서 Inga-1도 역시 플라이오세의 퇴적층이 존재하는 것으로 판단된다(그림 8).

## 5. 결론

군산분지(남황해북부분지)에서 시추한 5개 시추공(Kachi-1, Haema-1, IIIH-1Xa, IIC-1X, Inga-1)에 대하여 지난 30년간 국내외 연구소와 대학에서 개별적인 미화석 연구가 수행되었다. 기존의 미화석 연구(특히, 유기질 미화석) 자료와 지구조적 해석 자료를 연계하여 이 분지의 지질시대별 고환경을 고찰한 결과는 다음과 같다.

백악기 전기의 퇴적층은 Kachi-1, IIC-1X의 최하부구간에만 분포하며 주로 적색의 이암과 실트암 그리고 피상의 사암으로 구성되어 있다. 이 시기의 퇴적층에서는 미화석의 전체적인 산출량은 빈약하지만, 유기질 미화석, 담수조류 및 개형충, 윤조 화석 등이 산출되었다. 화분 화석에 의하면 건조한 냉온대기후의 하성환경이 우세한 가운데에 주변의 산록에는 나자식물 수림이 산림저면에는 이끼 또는 고사리류의 식물들이 번성한 것으로 해석되었다.

백악기 후기의 퇴적층은 Kachi-1, IIIH-1Xa에서만 확인되며, 갈색의 이암이 우세하고 사암과 실트암 및 석회암은 간헐적으로 나타난다. 이 시기 동안은 인리형 열개의 후반기로 주로 확장력이 우세하게 작용하여 빠른 분지 침강이 발생하여 넓고 깊은 호수가 형성되었다. 유기질 미화석인 나자식물, 피자식물의 화분과 수생식물의 대소형 포자 및 담수조류들이 아주 풍부하고 다양하게 산출된다. 이런 유기

질 미화석 군집 특성은 백악기 후기 동안 습윤한 아열대 기후의 호수 환경이었음을 시사한다. 즉 백악기 전기의 건조한 환경에서 매우 습윤한 상태의 호수성 분지로 변화한 것으로 추정된다.

팔레오세 퇴적층은 Haema-1, IIIH-1Xa 그리고 IIC-1X에서만 확인되며 적색 이암과 이회암 등으로 이루어져 있다. 이 시기 동안에는 반지구 확장형 열개가 시작된 썩기형태를 보이는 열개 동시성 퇴적단위체가 발달하였다. 이 시기의 퇴적층에서는 팔레오세에 번성했던 화분이 아주 풍부하게 산출되었다. 이들 팔레오세 화분들의 군집특성은 당시의 기후조건이 습윤한 온난 온대의 하성퇴적환경이었음을 지시한다.

에오세 퇴적층은 Kachi-1을 제외한 모든 시추공(Haema-1, IIIH-1Xa, IIC-1X, Inga-1)에서 확인되며, 주로 적색 이암층과 비적색암으로 구성되어 있다. 에오세 전기~중기 퇴적층은 썩기형태의 열개동시성 퇴적단위로서 군산분지(남황해북부분지) 내에서 가장 두꺼운 퇴적층을 형성한다. 이 시기에는 하성 퇴적환경이 보다 우세하게 발달하였다. 에오세 후기 퇴적층은 이전 지층과 달리 몇 개의 소규모 썩기로 나뉘어져 발달하는 양상을 보여준다. 에오세 전기에는 비교적 풍부한 낙엽활엽수와 소량의 침엽수 화분 화석이 나오는 것으로 보아 건조한 온대기후로 해석된다. 에오세 중기에는 저습지 식물이 주종을 이루며, 산록성 식물은 퇴적지 주변에 생육하였다. 이 시기의 기후조건은 약간 한랭하였으며, 습도가 증가한 기후에서 다양한 식생이 번성하였다. 에오세 후기에는 건조한 냉온대기후 하에서 냉온대성 낙엽활엽수림이 하천환경 주변 산사면에서 발달하였다.

지구조 연구 자료에 의하면, 올리고세에는 에오세 후기와 올리고세 사이에 구조역전 현상이 일어나면서 분지의 남서지역(Kachi-1, Haema-1 시추지점)과 중앙지역(IIIH-1Xa, IIC-1X 시추지점)이 융기되어 퇴적층이 침식, 삭박된 것으로 해석되었다. 이 시기에 분지 융기와 구조역전 현상은 규모가 매우 컸기 때문에 부정합면은 마이오세 부정합면에 중첩되어 은닉되었다. 올리고세의 미화석 역시 산출되지 않아, 이 시기의 퇴적층이 군산분지(남황해북부분지)에서는 광역적으로 결충인 것으로 해석된다.

마이오세 전기의 퇴적층은 중앙 소분지에서 시추

한 Haema-1, I1H-1Xa, I1C-1X, Inga-1에서만 관찰된다. 이 중에서 Inga-1의 1,400 m 층준부터 마이오세 전기 층이 비교적 두껍게 나타난다. 마이오세 동안에는 열개 후 분지의 조구조 활동이 미약해지면서 퇴적층의 열적수축에 의한 점진적인 분지 침강이 일어났다. 이에 동반된 주 경계 단층 인근 지역은 계속적으로 침강하면서 분지 중심부에만 국한된 향사형 퇴적구조를 형성하며 비교적 두꺼운 퇴적층이 형성되었다. 마이오세 중기는 대규모 구조역전 현상으로 분지가 융기하여 삭박되면서 광역적인 평탄화가 일어났다. 마이오세 전기 동안에는 다양한 낙엽활엽수들이 번성하였고, 지역에 따라 수생식물들이 번성한 것으로 보아 습윤한 온난온대기후 조건하에서 하성 환경이 발달하였고 주변 산록에는 낙엽활엽수림이 발달한 것으로 해석된다. 마이오세 중기 동안에는 고온성 낙엽활엽수림 매우 발달하였고, 침엽수, 풀 및 담수조류 역시 왕성하게 성장하였다. 이런 화분 군집 특성은 당시 고온 다습한 난온대기후에서 하성 내지 얇은 호소환경이었음을 지시한다.

플라이오세 퇴적층은 Haema-1, I1H-1Xa, I1C-1X, Inga-1에서 확인되며, 연회색 내지 갈색의 사암으로 구성되었다. 이 시기 동안에는 다양한 종류의 초본 화분과 낙엽활엽수, 침엽수의 화분이 산출된다. 이런 군집특성은 다소 건조한 냉온대기후 하에서 저지대 하성퇴적환경이 발달하였고, 주변 산지에는 혼합림이 번성하였음을 지시한다.

## 사 사

본 연구는 국토해양부 주관 하에 한국해양과학기술진흥원의 지원에 의한 한국석유공사의 위탁과제로 수행하고 있는 “CO<sub>2</sub> 해양지중저장기술개발”사업의 연구결과 중 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다. 논문의 심사과정에서 많은 조언을 해주신 부경대학교 백인성 교수님과 익명의 심사위원께 진심으로 감사를 드립니다.

## 참고문헌

- Bong, P.Y., Chun, H.Y., Lee, H.Y. and Kwon, Y.I., 1991, Stratigraphy and micropaleontology of the Well Inga-1, Block II, Offshore Korean Peninsula. Korea Institute of Energy and Resource, KIER Research Report KR-90-5B, p. 59-106 (in Korean with English abstract).
- Brenner, G.J., 1963, The spores and pollen of the Potomac Group of Maryland. Department of Geology, Mines and Water Resources, Bulletin 27, 1-215.
- Cheong, T.J., Bong, P.Y., Oh, J.H., Lee, H.Y., Chang, J.H., Sunwoo, D., Yoo, D.G., Kim, S.P., Kong, K.S. and Kim, J.H., 2002, Yellow Sea Science Program: Study on the marine geology and mineral resources in the Yellow Sea. KIGAM Research Report, M1-0123-00-0001, 1-69 (in Korean with English abstract).
- Cheong, T.J., Kwak, Y.H., Son, J.D., Oh, J.H., Bong, P.Y., Lee, H.Y., Ryu, B.J., Son, B.K., Hwang, Y.G., Kwon, Y.I., Lee, Y.J., Kim, H.J., Park, K.S., Park, K.P., Sunwoo, D., Yoo, D.G. and Kim, K.O., 1998, Petroleum Resources Assessment of the Kunsan Basin. KIGAM Research Report, KR-98 (C)-33, 3-194 (in Korean with English abstract).
- Chun, H.Y., Lee, H.Y., Bong, P.Y. and Choi, D.K., 1984, A micropaleontological study of Block II, Offshore Korea. Report of Korea Institute of Energy and Resources, 29-54 (in Korean with English abstract).
- Chung, C.H. and Koh, Y.K., 2005, Palynostratigraphic and palaeoclimatic investigations on the Miocene deposits in the Pohang area, South Korea. Review of Palaeobotany and Palynology, 135, 1-11.
- Collinson, M.E., 1992, Vegetational and floristic changes around the Eocene/Oligocene boundary in western and central Europe. In: Prothero, D.R., Berggren, W.A. (eds.), *Eocene-Oligocene Climatic and Biotic Evolution*. Princeton University Press, Princeton, NJ, pp. 437-450.
- Heusser, L.E. and Morley, J.J., 1996, Pliocene climate of Japan and environs between 4.8 and 2.8 Ma: a joint pollen and marine faunal study. Marine Micropaleontology, 27, 85-106.
- Hong, S.K. and Lee, Y.I., 2012, Evaluation of atmospheric carbon dioxide concentrations during the Cretaceous. Earth and Planetary Science Letters, 327-329, 23-28.
- Hong, S.K., Lee, Y.I. and Yi, S., 2012, Carbon isotopic composition of terrestrial plant matter in the Upper Cretaceous Geyonsang Formation, Geyonsang Basin, Korea: Implications for Late Cretaceous palaeoclimate on the East Asian Continental margin. Cretaceous Research, 35, 169-177.
- Hou, X.Y., 1983, Vegetation of China with reference to its geographical distribution. Annals of Missouri Botanical Garden, 70, 509-549.
- Korea Institute of Geology, Mineral and Materials (KIGAM), 1992, Micropaleontology, Petroleum Geochemistry and Petrology of Haema-1, Offshore Korea Block. PEDCO (in Korean with English abstract).

Bong, P.Y., Chun, H.Y., Lee, H.Y. and Kwon, Y.I., 1991, Stratigraphy and micropaleontology of the Well Inga-1, Block II, Offshore Korean Peninsula. Korea Institute of Energy and Resource, KIER Research Report KR-90-5B,

- Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), 1997, Integrated Assessment Report of Korean Continental Shelf (Yellow Sea Basin I). KIGAM Report for Korea National Oil Corporation (in Korean with English abstract).
- Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), 2004, Petroleum resources assessment of Block II, Korean Continental Shelf. KIGAM Report for Korea National Oil Corporation, 121 p (in Korean with English abstract).
- Korea National Oil Corporation (KNOC), 2005, Petroleum resources assessment of Block II (with emphasis of South Central Sag). KNOC Report, 92 p (in Korean with English abstract).
- Korea National Oil Corporation (KNOC), 2008, Integrated Interpretation of Yellow Sea Basin. KNOC Report, Exploration Project Authority 2, Domestic Team (in Korean with English abstract).
- Korea Petroleum Development Corporation (PEDCO), 1997, '96 Report of Geophysical Interpretation on south-West Sub-basin, Yellow Sea, Korea. PEDCO, 50 p (in Korean with English abstract).
- Li, Y.C., Xu, Q.H., Zhao, Y.K., Yang, X.L., Xiao, J.L., Chen, H. and Lu, X.M., 2005, Pollen indication to source plants in the eastern desert of China. Chinese Science Bulletin, 50, 1631-1641.
- Liu, G.W., 1988, Neogene climatic features and events of northern China. In: Tsuchi, R. (ed.), Neogene Biotic Evolution and Related Events. Osaka Museum, Natural History Special Publication, pp. 21-30.
- Liu, G.W. and Leopold, E.B., 1992, Paleocology of a Miocene flora from the Shangwang Formation, Shangdong Province, northern East China. Palynology, 16, 187-212.
- Oh, J.H., Cheong, T.J., Sunwoo, D., Lee, Y.J., Kim, K.O. and Kang, M.H., 2006, Joint Study on the Sedimentary Basins between Korea and China. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources Research Report, GAA2003002-2006 (4), 1-175 (in Korean with English summary).
- Park, K.S., Lee, H.-Y., Kang, D.-H. and Shin, W.-C., 2010, Structural development and geological age of rocks in the Gunsan Basin, Yellow Sea: a perspective from seismic data interpretation. Journal of the Geological Society of Korea, 46, 577-593 (in Korean with English abstract).
- Park, K.S., Park, K.P., Sunwoo, D., Kwon, Y.I., Yoo, D.G., Cheong, T.J., Oh, J.H., Bong, P.Y., Son, J.D., Lee, H.Y., Ryu, B.J., Son, B.K., Hwang, I.G., Lee, Y.J. and Kim, H.J., 1997, Petroleum resources assessment on the western part of the Gunsan Basin. KIGAM Research Report, KR-97 (C)-17, 3-190 p (in Korean with English abstract).
- Ryu, I.-C., Kim, B.Y., Kwak, W.J., Kim, G.H. and Park, S.J., 2000, Stratigraphic response to tectonic evolution of sedimentary basins in the Yellow Sea and adjacent area. Korean Journal of Petroleum Geology, 8, 1-43 (in Korean with English abstract).
- Ryu, I.-C. and Kim, T.-H., 2007, Stratigraphy of the Kachi-1 Well, Gunsan Basin, Offshore Western Korea. Economic and Environment Geology, 40, 473-490 (in Korean with English abstract).
- Ryu, I.-C., Lee, E.H., Kwon, Y.Y., Park, S.J. and Kim, C.S., 2002, Tectonic development and petroleum potential of an adjacent area of the Korean Peninsula (petroleum system model). Research Institute of Basic Sciences, Korea University, 108 p (in Korean with English abstract).
- Smol, J.P., Birks, H.J.B. and Last, W.M., 2001, Tracking Environmental Change Using Lake Sediments Volume 3: Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 371 p.
- Song, Z.C., Zheng, Y.H., Li, M.Y., Zhang, Y.Y., Wang, W.M., Wang, D.N., Zhou, S.F., Zhu, Z.H., Zhao, C.B. and Zhao, Y.N., 1999, Fossil Spores and Pollen of China, Vol. 1. Late Cretaceous and Tertiary Spores and Pollen. Science Press, Beijing, 910 p (in Chinese with English abstract).
- Srivastava, S.K., 1976, The fossil pollen genus *Classopollis*. Lethaia, 9, 437-457.
- Wall, D., 1965, Microplankton, pollen, and spores from the Lower Jurassic in Britain. Micropaleontology, 11, 151-190.
- Wang, C.W., 1961, The Forests of China. Harvard University Press, Cambridge, 250 p.
- Wang, W.M., 1994, Paleofloristic and paleoclimatic implications of Neogene palynofloras in China. Review of Palaeobotany and Palynology, 82, 239-250.
- Yamanoi, T., 1992, Miocene pollen stratigraphy of Leg 127 in the Japan Sea and comparison with the standard Neogene pollen floras of northeast Japan. Proceedings of Ocean Drilling Program, Scientific Results, 127/128, 471-491.
- Yi, S., 1996, A study of Late Cretaceous and Tertiary palynology from the Yellow Sea Basin, west coast of South Korea. Ph.D. thesis of University of Sheffield, 354 p (unpublished).
- Yi, S. and Batten, D.J., 2002, Palynology of Upper Cretaceous (uppermost Campanian-Maastrichtian) deposits in the South Yellow Sea Basin, offshore Korea. Cretaceous Research, 23, 687-706.
- Yi, S., Yi, S., Batten, D.J., 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*, 191, 15-44.
- Yun, H., Lee, E.H., Yi, S., Seo, S.H. and Cho, H.B., 2000, Biostratigraphy of the South Yellow Sea Basin, Korea. Research Institute of Basic Sciences, Chungnam National University, Report for Korean National Oil Corporation, 108 p (in Korean with English abstract).
- Zhang, Y.Y., 1995, Outline of Palaeogene palynofloras of China. *Acta Palaeontologica Sinica*, 34, 212-227 (in Chinese with English abstract).
- 
- 투 고 일 : 2013년 2월 1일  
심 사 일 : 2013년 2월 4일  
심사완료일 : 2013년 2월 28일