

한국 서해 대륙붕 군산분지 까치-1공의 층서

유인창* · 김태훈
경북대학교 지질학과

Stratigraphy of the Kachi-1 Well, Kunsan Basin, Offshore Western Korea

In-Chang Ryu* and Tae-Hoon Kim

Department of Geology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

Strata of the Kachi-1 well, Kunsan Basin, offshore western Korea, were analyzed by using integrated stratigraphy approach. As a result, five distinct unconformity-bounded units are recognized in the well: Triassic, Late Jurassic-Early Cretaceous, Early Cretaceous, Late Cretaceous, and Middle Miocene units. Each unit represents a tectono-stratigraphic unit that provides time-sliced information on basin-forming tectonics, sedimentation, and basin-modifying tectonics of the Kunsan Basin. In the late Late Jurassic, development of second- or third-order wrench faults along the Tan-Lu fault system probably initiated a series of small-scale strike-slip extensional basins. Continued sinistral movement of these wrench faults until the Late Cretaceous caused a mega-shear in the basin, forming a large-scale pull-apart basin. However, in the Early Tertiary, the Indian Plate began to collide with the Eurasian Plate, forming a mega-suture zone. This orogenic event, namely the Himalayan Orogeny, continued by late Eocene and was probably responsible for initiation of right-lateral motion of the Tan-Lu fault system. The right-lateral strike-slip movement of the Tan-Lu fault caused the tectonic inversion of the Kunsan Basin. Thus, the late Eocene to Oligocene was the main period of severe tectonic modification of the basin. After the Oligocene, the Kunsan Basin has maintained thermal subsidence up to the present with short periods of marine transgressions extending into the land part of the present basin.

Key words : Kunsan Basin, Kachi-1 well, Stratigraphy, Tectonic inversion, Tectonics in East Asia

서해 대륙붕 군산분지 까치-1공의 퇴적층을 통합층서적 접근을 통하여 분석하였다. 분석 결과, 까치-1공 내에서 ① 트라이아스기 돌로마이트 기반암층, ② 후기 쥬라기 말-전기 백악기 초 퇴적층, ③ 전기 백악기 퇴적층, ④ 후기 백악기 퇴적층 및 ⑤ 중기 마이오세 이후 퇴적층 등 5개의 단위층들이 인지되었다. 각 단위층은 부정합에 의해 경계되는 구조층서 단위층으로 군산분지의 형성, 퇴적 및 변형에 대한 정보를 제공해 준다. 후기 쥬라기 말에 들어와 탄루단층대를 따라 이차 및 삼차 순위의 주향이동 단층들이 분지되면서 소규모 열개 분지들이 형성되기 시작하였다. 전기 백악기 이후 팔레오세 말까지 지속된 분지단층들의 좌수향 이동에 의해 군산분지는 대규모의 인장력을 받게 되어 소규모 열개 분지들은 대규모의 인리형 분지로 확장되었다. 그러나 팔레오세 말에 시작된 인도판과 유라시아판의 연성층들에 의한 1차 히말라야 조산운동의 영향으로 탄루단층이 우수향으로 이동을 시작하면서 군산분지는 서서히 변형을 받기 시작하였다. 이후 에오세 중기에 일어났던 인도판과 유라시아판의 강성층들에 의한 2차 히말라야 조산운동에 의해 탄루단층의 우수향 이동이 본격화되면서 군산분지는 극심한 구조역전의 현상이 일어났다. 따라서 에오세 말과 올리고세 동안 군산분지에서는 심한 구조역전에 의한 분지변형이 일어났다. 올리고세 이후 현재까지, 군산분지는 간헐적인 해침과 함께 광역적인 침강을 유지하면서 안정된 대륙 연변부 침강분지로 전이되었다.

주요어 : 군산분지, 까치-1공, 퇴적층서, 구조역전, 동아시아 지체구조

1. 서 론

최근 중국 동부 발해분지(Bohai Basin) 육상 지역인

화북성 당산시 인근 지동유전(Jidong Oil Complex) 일대에서 추정 매장량 약 74억 배럴 규모의 초대형 유전이 새롭게 발견되었다. 발해분지는 1960년대 초 승

*Corresponding author: inchang@mail.knu.ac.kr

리유전이 분지 내에서 최초로 발견되어 1970년대 후반 부터 본격적인 생산이 개시된 이후 현재까지 약 74억 배럴 정도의 누적 생산량을 기록하고 있으며 현재는 153개 유전에서 일산 120만 배럴 규모로 원유를 생산 하고 있다. 따라서 이번에 추가로 발견된 74억 배럴 규모의 매장량은 기존 생산 유전들의 잔존 매장량을 제외하고도 현재의 일산량 규모로 향후 20여 년 간 원 유 생산을 지속할 수 있다는 것으로 중국 국내의 석유 증산과 공급의 안정이라는 경제적 측면에서 매우 중요 한 의미를 갖는다.

발해분지에서 초대형 규모의 유전이 추가로 발견된 사실은 중국 국내의 경제적 측면에서의 중요성뿐만이 아니라 지리적으로 인접해 있는 우리나라 서해 대륙붕

내에도 발해분지에서와 같이 초대형 규모의 유전이 존 재하고 있을 가능성이 있다는 점에 있어서 또한 중요한 의미를 가진다. 특히 발해분지와 지질구조가 유사하고 퇴적분지의 형성과 변형, 퇴적작용 등에 관한 지질학적 요인들이 시·공간적으로 서로 밀접하게 연결되어 있 는 서한만분지(북황해분지) 또는 군산분지(북부 남황해 분지) 등은 그 어느 때 보다도 석유자원 부존 가능성이 고조되고 있는 실정이다. 그러나 현재까지 국내 서해 대 륙붕 내 석유자원에 대한 탐사 및 부존 가능성에 대한 연구는 1968년 ECAFE(Economic Commission for Asia and the Far East) 산하에 조직된 동부아시아 지 역 국가 간 협력기구인 아시아 지역 천해저 광물자원 공동탐사위원회(CCOP)의 중계로 미 해군 해양연구소

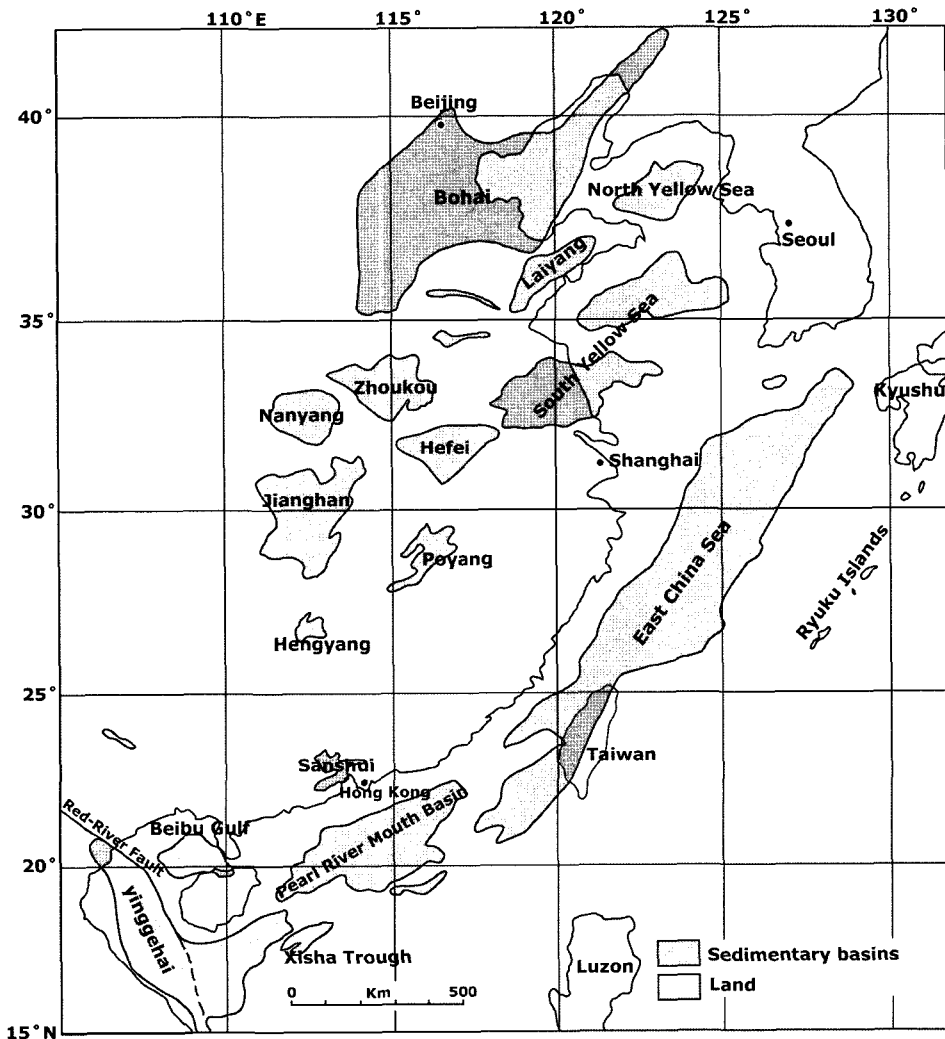


Fig. 1. Location of major sedimentary basins in offshore western Korea and adjacent eastern China. Modified from Allen *et al.* (1997).

탐사 팀에 의해 서해와 남해 대륙붕 전역에 걸쳐 항공 자력 탐사와 개략적인 탄성파탐사가 실시된 이후 40여 년이 경과하고 있지만 현재까지 24,859 L-km의 탄성파 탐사와 총 5개 공 15,682 m를 시추한 정도에 그치고 있어 인접 발해분지의 탐사활동과 비교하면 아직까지 미미한 수준에 머물러 있다. 따라서 국내 서해 대륙붕 및 인접 지역에 분포하는 퇴적분지들의 석유자원 부존 가능성에 대한 새로운 재평가가 요구된다.

균산분지를 포함하여 황해 인근 지역의 층서적 연구는 Ryu *et al.*(2000)에 의하여 개략적으로 연구된 바가 있다. 하지만 최근의 연구들에 의하면 동아시아 지역의 백악기 지체구조운동 발달에 대한 새로운 해석들이 제시되어 왔고(Ratschbacher *et al.*, 2000; Graham *et al.*, 2001; Zhang *et al.*, 2003), 국내 서해 대륙붕 균산분지에 시추되었던 5개 시추공(IIIH-1X, IIC-1X, 까치-1, 해마-1, 잉어-1) 중 까치-1공은 유일하게 백악기 퇴적층 전체를 관통하고 있으므로 까치-1공의 층서에 대한 재분석을 통해 균산분지 백악기 지체구조운동 발달에 대한 재고찰의 필요성이 대두되었다. 따라서 본 논문에서는 까치-1공에 대한 물리검층 및 기타자료(암층서 및 생층서)들을 재분석하여 퇴적층 분대를 수행하였으며, 이를 토대로 광역지질 자료와의 합병을 통해 균산분지 발달사를 논의하였다. 특히 본 연구에서는 한반도 백악기 퇴적층의 표식층인 경상분지와와의 비교를 통해 균산분지와 경상분지의 분지발달사를 비교 연구하였으며 이를 토대로 동아시아 백악기 동안의 지체구조운동 발달에 대한 모델을 제시하였다.

2. 광역지질

서해 대륙붕 및 인접 지역에는 북쪽으로부터 발해분지(북중국분지), 서한만분지(북황해분지) 및 중국 육상의 장수분지(남부 남황해분지)와 서해 대륙붕 내의 흑산분지 및 균산분지(북부 남황해분지)를 포함하는 남황해분지가 발달되어 있다(Fig. 1). 서해 대륙붕 및 인접 지역에 분포하는 퇴적분지들의 형성과 변형에 주로 관여했던 주요 구조선은 중국 동부 육상에 북북동 방향을 따라 발달하는 주향이동성 단층인 탄루단층으로 중국 발해만을 거쳐 시베리아에까지 연장되어있다(Fig. 2). 탄루단층은 남중국 지괴와 북중국 지괴의 경계로 두 지괴의 충돌에 의해 트라이아스기 이후 좌수향으로 이동을 시작되었으며, 인도 판이 유라시아 판과 충돌되는 제삼기 초에 들어와 우수향으로 운동 방향이 변환된 것으로 보고되고 있다(Zhang *et al.*, 1989; Allen

et al., 1997).

선캠브리아 이언 이후, 북중국지괴가 남중국 지괴와 충돌이 시작되기 전(탄루단층이 좌수향으로 이동을 시작하기 전)까지 서해 대륙붕 지역은 태본기 동안의 칼레도니안 조산운동을 제외하고는 비교적 안정된 대륙 지각(남중국 및 북중국 지괴)의 연변부에 위치하였으며, 해수면의 상승과 하강에 따라 침침과 해퇴가 반복되면서 광역적 퇴적작용이 일어났다(Watson, 1987). 트라이아스기 말부터 시작된 남중국 지괴와 북중국 지괴의 충돌에 의해 친링-다비 및 수투 습곡대가 형성되었으며(Fig. 2), 이후 남중국 지괴가 북중국 지괴 밑으로 섭입을 시작하면서 서해 대륙붕 지역은 압축성 구조운동의 영향을 받게 되었다(Watson, 1987). 그러나 주라기에 들어와 섭입이 중단됨에 따라 섭입에 의해 깊게 매몰되었던 기반암들이 지역적으로 빠르게 융기되면서 심부 지각 연성대로부터 천부 지각 쇠성대로 전이될 때 발생하는 신장력에 의해 소규모 대륙 내 열개형 분지(intra-continental rift basin)들이 선캠브리아 이언의 기반암 위에 형성되었다(Kim *et al.*, 2000). 주라기 초기에 형성되었던 소규모 대륙 내 열개형 분지들은 주라기 초기와 중기를 거치면서 육성 퇴적물에 의해 충전되었으나 기반암들의 지속적인 융기에 의해 분지를 충전한 퇴적층 대부분이 침식되어 주라기 동안에 형성된 소규모 대륙 내 열개형 분지들은 소멸되었다(Kim *et al.*, 2000).

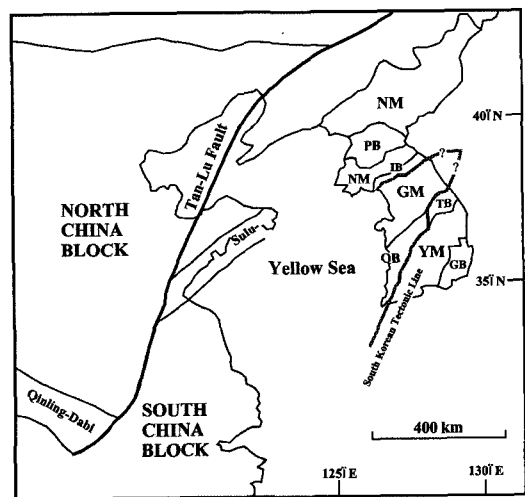


Fig. 2. Simplified geologic map of eastern Asia. GB-Gyeongsang Basin, GM-Gyeonggi Massif, IB-Imjingang Belt, NM-Nangrim Massif, OB-Ogcheon Belt, PB-Pyeongnam Basin, TB-Taebaeksan Basin, YM-Yeongnam Massif. After Ree *et al.* (1996).

쥬라기 말에 들어와 고태평양판의 일부인 이자나기 판이 북쪽으로 섭입을 시작함에 따라 한반도 내에 북동 방향으로 발달하는 공주 및 광주단층들이 발달하게 되었으며 이들의 좌수향 이동에 의해 소규모 인리형 분지(pull-apart basin)들이 단층대를 따라 발달하였다 (Lee, 1999; Chough *et al.*, 2000). 아울러 서해 대륙 봉 내에도 소규모 대륙 내 열개 분지들이 발달하였다 (Xu *et al.*, 1987). 이후 백악기 동안에 지속된 북동 방향의 주향이동단층들의 좌수향 이동과 이에 따른 동서 방향의 인장력에 의해 소규모 대륙 내 열개분지들

은 대규모 인리형 분지로 확장되었다(Chun and Chough, 1992). 그러나 제삼기 초 인도판과 유라시아 판의 충돌에 의한 영향으로 탄루단층이 우수향으로 이동을 시작하면서 남황해분지는 압축성 구조운동을 받게 되어 심한 습곡작용과 함께 구조역전이 일어났던 것으로 추정된다. 제삼기 초에 일어났던 구조역전에 의해 남황해분지 내 제삼기 초 이전에 퇴적된 퇴적층들을 전체적으로 변형을 받아 융기된 후 침식되었으며, 마이오세에 들어와 남황해분지 지역은 광역적 침강과 함께 플라이오세 및 제4기에 걸친 해침의 결과로 안정

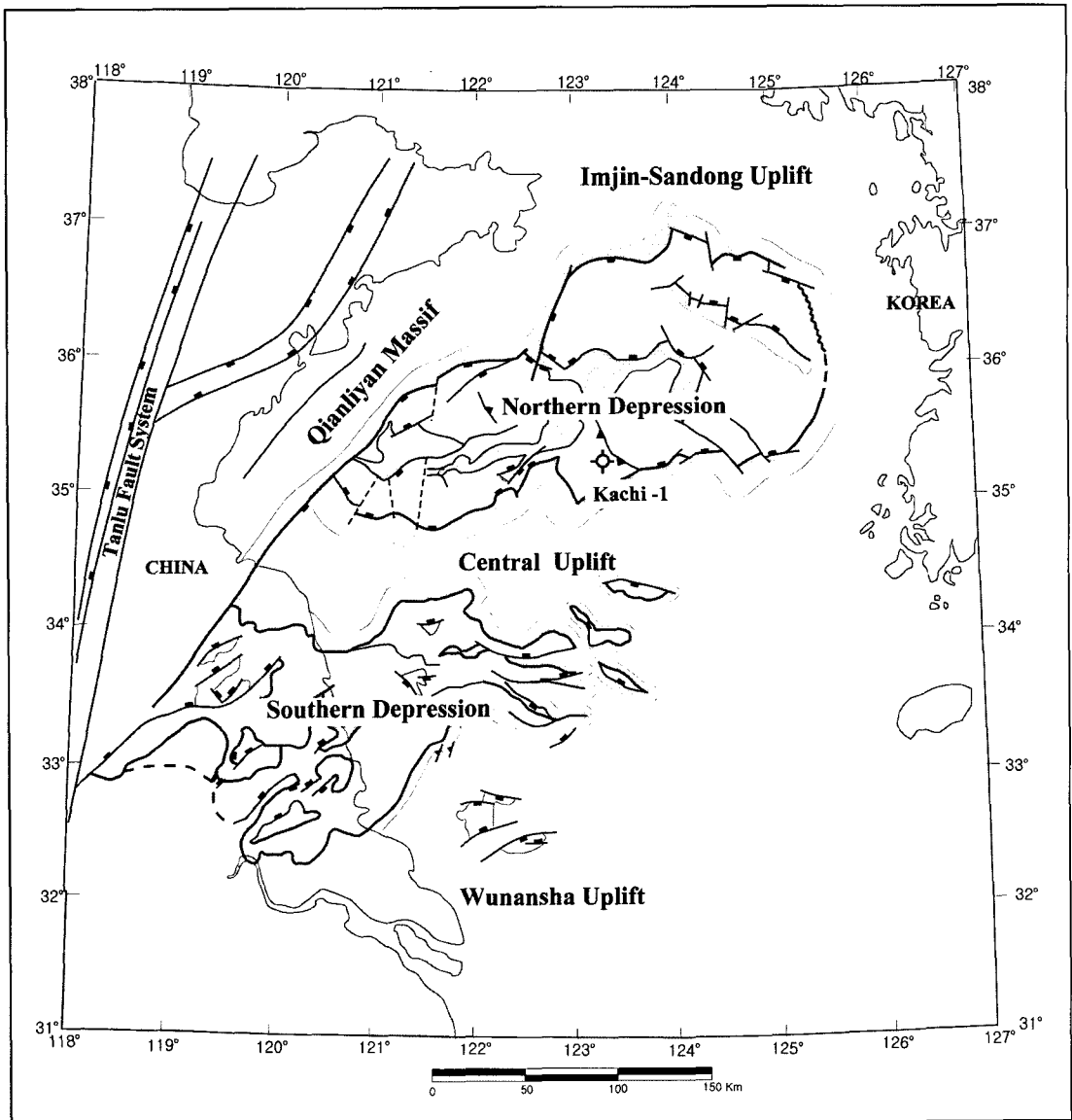


Fig. 3. Simplified structural map of the South Yellow Sea Basin. After Ryu *et al.* (2000).

된 대륙붕 지역으로 전이되었다.

3. 연구 지역 및 연구 방법

서해 대륙붕에 위치하는 남황해분지는 임진-산동 융기대와 우난샤 융기대 사이에 위치하며, 중앙 융기대에 의해 북부 남황해분지와 남부 남황해분지로 구분된다(Fig. 3). 북부 남황해분지는 한국 측 균산분지를 포함, 중국 측 동부 대륙붕으로 연장 발달하여 천리안

육괴와 접하고 있으며, 남부 남황해분지는 중국 측 육상의 장수분지와 한국 측 흑산분지를 포함한다(Fig. 3). 북부 남황해분지는 분지 내에 발달하는 소규모 융기대에 의해 123°E 선을 경계로 서쪽의 2개의 소분지(북소분지 및 남소분지)와 동쪽의 4개의 소분지(북동소분지, 북서소분지, 남동소분지 및 남서소분지)로 분리된다(Fig. 3). 본 연구에서는 123°E 선을 경계로 동쪽의 4개 소분지 중 남서소분지 남서쪽에 위치한 배사구조를 시추하였던 까치-1공을 주 연구 대상으로 하였다

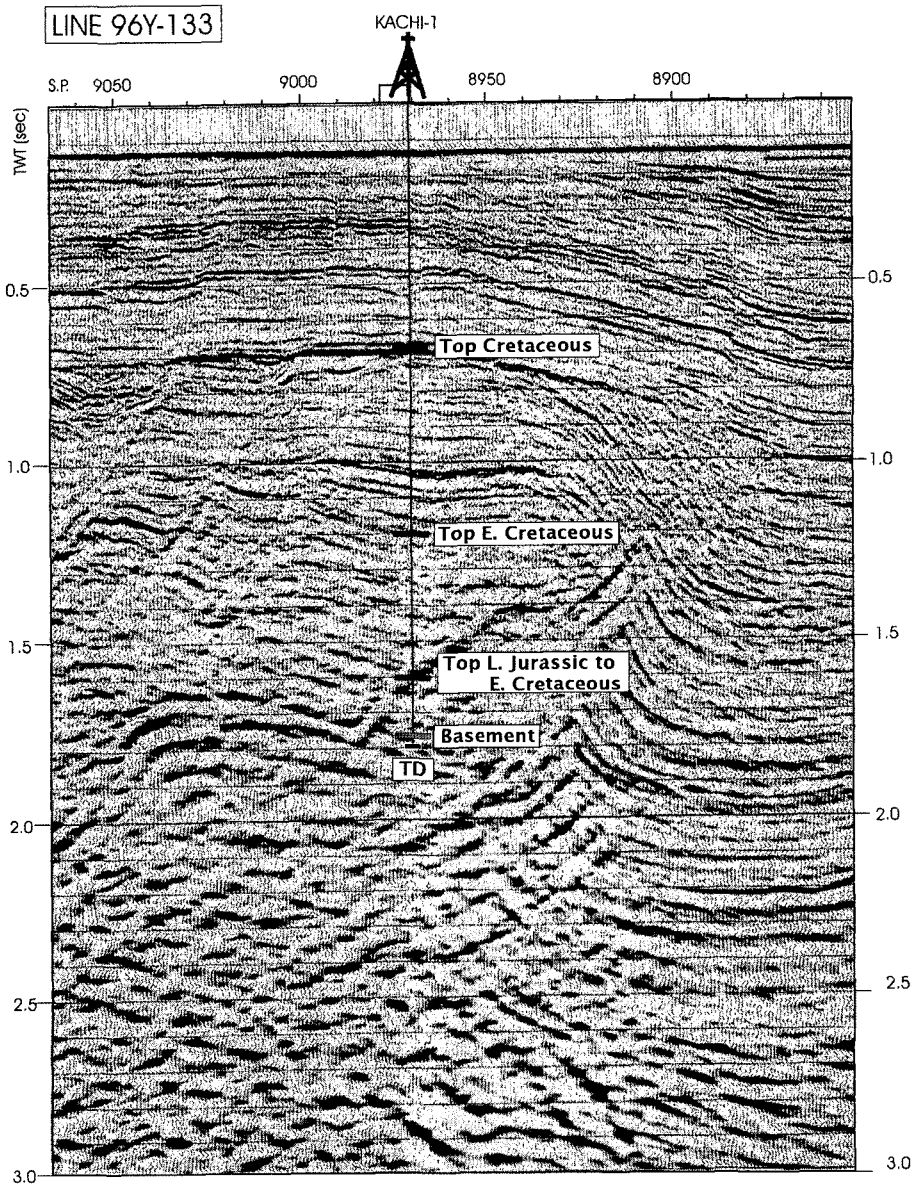


Fig. 4. An example of E-W seismic lines tied to the Kachi-1 well, Kunsan Basin, offshore western Korea.

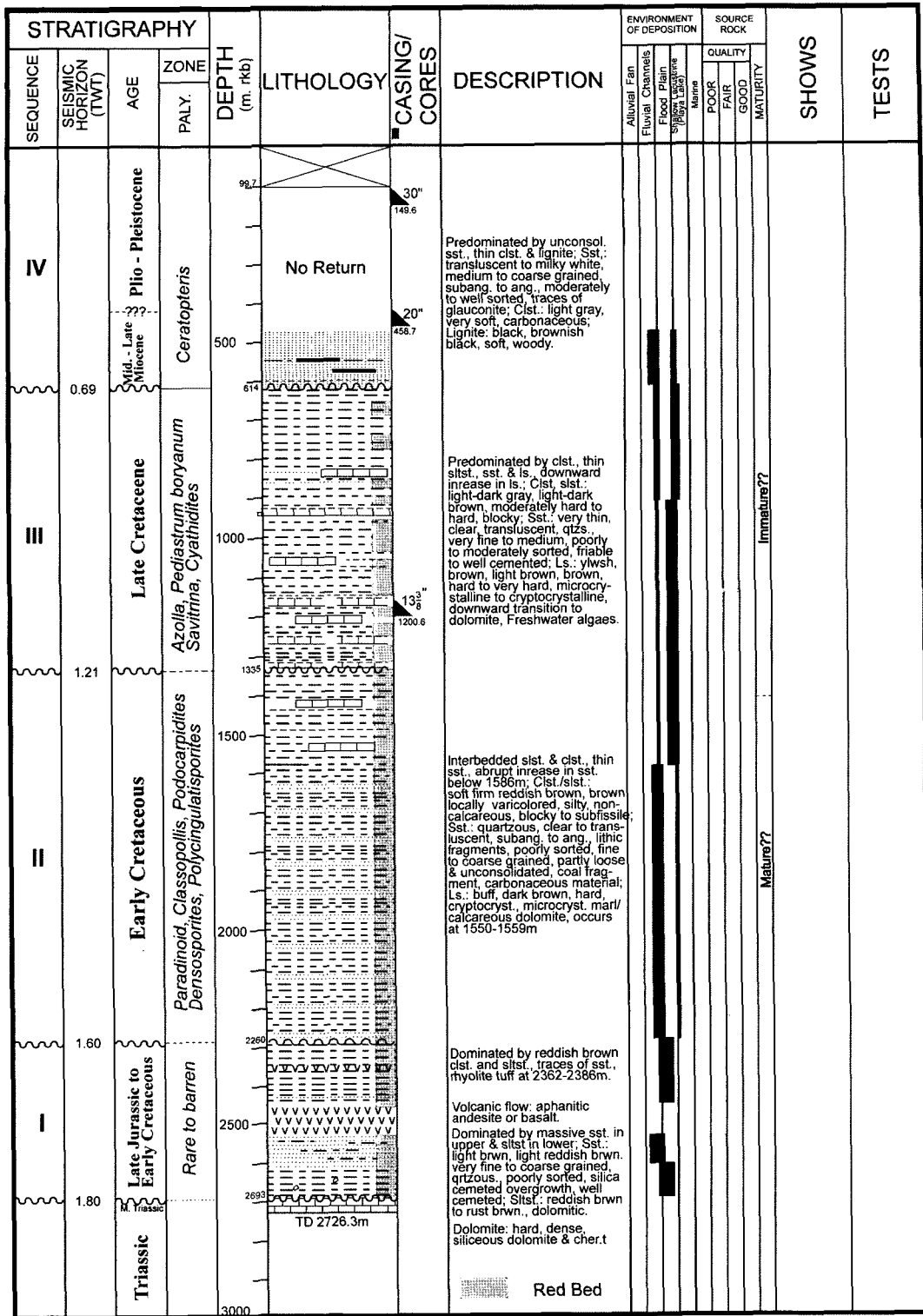


Fig. 5. Well summary of the Kachi-1 well, Kunsan Basin, offshore western Korea. After unpublished internal report of the Korea National Oil Corporation.

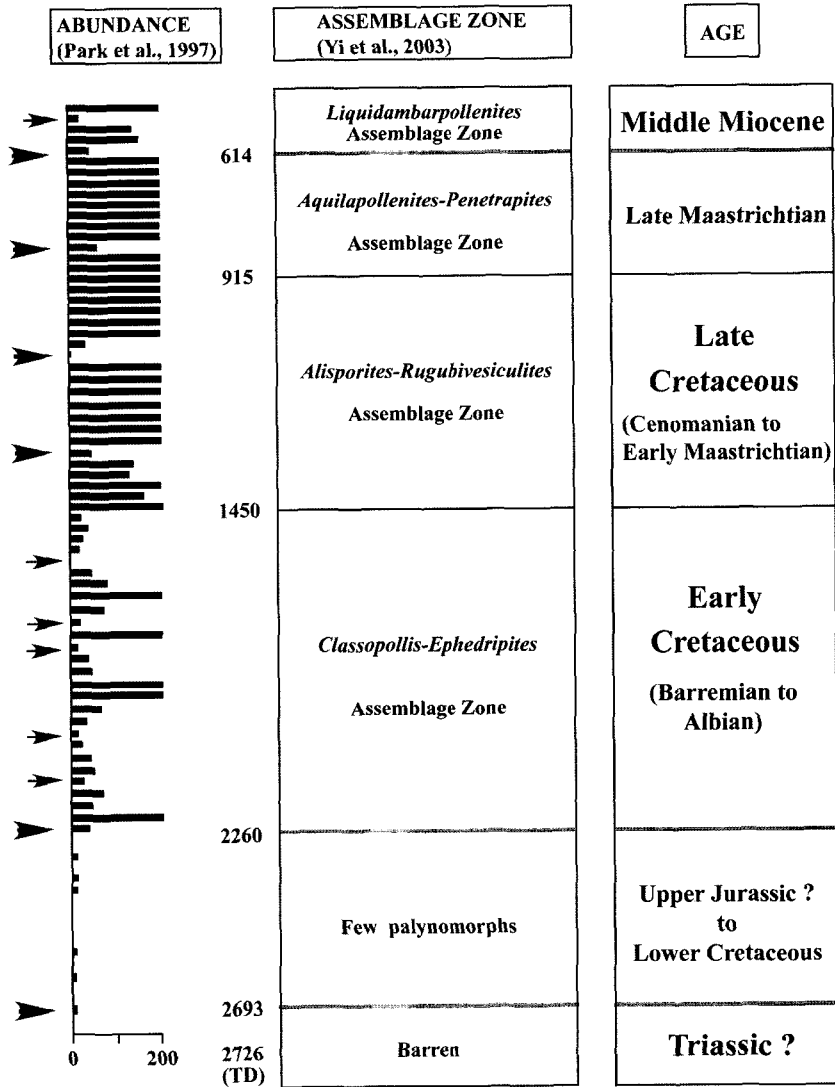


Fig. 6. Sequence-keyed biostratigraphy of the Kachi-1 well, Kunsan Basin, offshore western Korea.

(Figs. 3, 4).

서해 대륙붕 군산분지 내에 시추되었던 5개 시추공의 암편 시료 중 한국석유공사가 보유하고 있는 까치-1공의 암편 시료들을 물로 세척한 후 실체 현미경을 사용하여 이들의 암상, 입자의 크기 및 색깔 등에 대한 변화를 관찰하였으며, 이를 기준으로 퇴적층에 대한 암층서 분대를 우선적으로 실시하였다(Fig. 5). 아울러, 기존에 수행되었던 화분·포자 및 개형충, 윤조류들의 미화석 분석 결과(Park et al., 1997; Yun et al., 2000; Yi et al., 2003)들을 병합하여 암층서 분대에 의해 인지된 불연속면들에 대한 시간층서적 의미를 부여하였으며(Fig. 6), 각 불연속면들에 의해 정의된 퇴적

단위층들에 대하여 물리검층 자료들의 변화 양상을 바탕으로 퇴적환경 해석을 실시하였다(Fig. 7). 또한 중국 측 장수분지 육상에 노출되어 있는 각 퇴적층들의 퇴적환경에 대한 문헌 연구 및 야외 지질조사를 통하여 이들의 시대에 따른 공간적 변화를 유추하였으며, 각 단위층들을 기준으로 일부 주요 탄성과 탐사 단면에 대한 층서 및 구조 해석을 수행하였다(Fig. 4).

4. 까치-1공의 퇴적층 분석

군산분지 내 까치-1공을 동서로 지나는 탄성과 탐사 단면을 보면 까치-1공은 남서소분지의 남서부에 발달

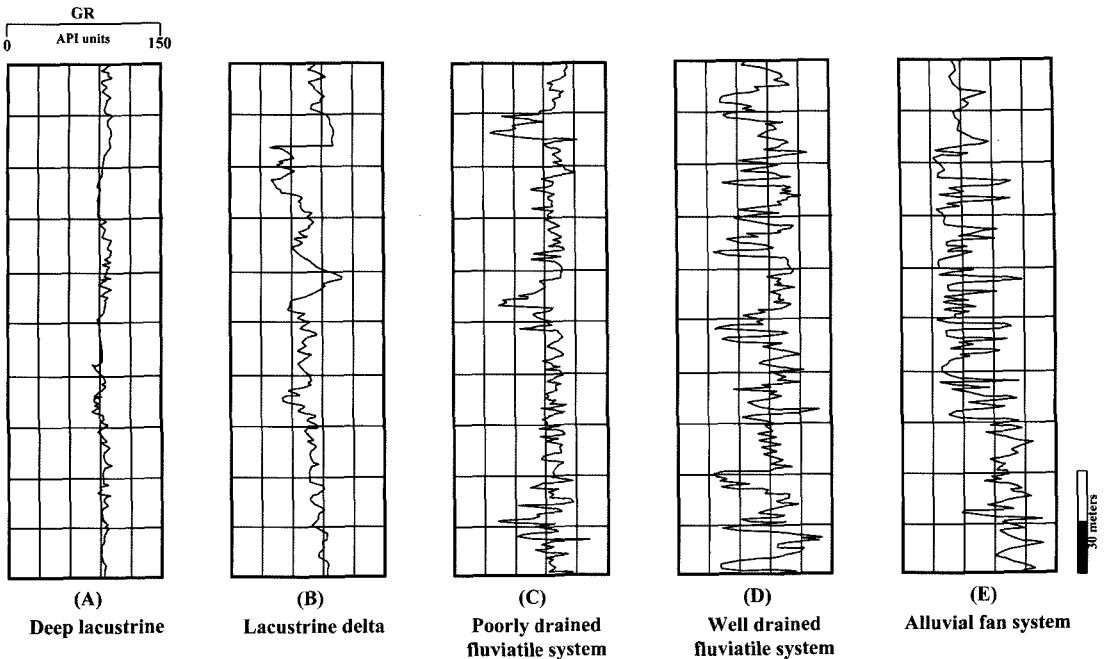


Fig. 7. Typical gamma-ray responses of the Kachi-1 well. (A) 640-790 m, (B) 1030-1180 m, (C) 1360-1510 m, (D) 1950-2100 m, and (E) 2480-2630 m.

하는 배상구조를 2726.3 m까지 시추한 것으로 나타난다(Figs. 3, 4). 까치-1공에 대한 암편 시료를 분석한 결과, 까치-1공의 퇴적층은 암상을 기준으로 상부로부터 503-614 m 구간, 614-1335 m 구간, 1335-2260 m 구간, 2260-2693 m 구간 및 2693-2726.3 m 구간 등 5개의 구간으로 분대된다(Fig. 5).

시추공 최상부 503-614 m 구간에 나타나는 퇴적층은 대부분 미고결 상태의 사암으로 구성되어 있으며, 박층의 갈탄층 및 연회색 이암이 교호한다. 하부에서 상부로 갈수록 갈탄층의 협재가 감소하거나 조개 파편들의 산출이 빈번해 지는 것으로 미루어 퇴적환경은 육성환경에서 점차 천해성 환경으로 전이되었던 것으로 해석된다. 본 단위층의 감마선 검층 자료는 일부 한정된 구간에서만 취득되었기 때문에 수직층서상 뚜렷한 변화를 인지할 수는 없으나 일반적으로 분절된 실린더 형태를 띠고 있어 30-40 m 두께를 가지는 괴상의 사암체가 3-4 m 두께의 이암층과 함께 교호되는 것으로 해석된다. 본 구간에서는 전반적으로 화분포자 화석이 드물게 산출되나, 이들 중에서 초본 화분화석 *Graminidites media*, *Fupingopollenites minutus*, *Persicarioipollis minor*, *Potamogetonacipites* sp., *Sporotrapoidites erdtmanii*와 목본 화분화석 *Inaperturo-*

pollenites spp., *Pinuspollenites* spp., *Alnipollenites verse*, *Liquidambarpollenites minutus*, *Quercoidites microhenrici*, *Pterocaryapollenites stellatus* 및 포자화석 *Magnastrites granulastriatus* 등이 꾸준히 산출된다(Yun et al., 2000). Yi et al.(2003)은 본 구간에서 *Liquidambarpollenites* Assemblage Zone을 설정하였으며(Fig. 6), 시대 지시종으로는 마이오세 중기까지만 산출되는 *F. minutus*, *M. granulastriatus*, *S. erdtmanii*가 본 단위층의 최상부 구간에서 산출된다(Yun et al., 2000). 특히 614 m 구간을 기준으로 사암의 종류가 석영질 사암(quartz arenite)에서 암편질 사암(lithic sandstone)으로 급격한 변화를 보인다(Figs. 5, 8).

614-1335 m 구간의 퇴적층은 흑색 세일, 적갈색 이암 및 암갈색 사암으로 구성되어 있으며, 간간히 박층의 탄산염암들이 교호한다(Fig. 5). 동 구간의 퇴적층에 산출되는 화분포자 화석군집들은 높은 다양도와 풍성도를 보이며, *Triporoletes cenomanianus*, *Triporoletes asper*, *Rugubivesculites rugosus*, *Penetetrapites inconspicuous*, *Aquilapollenites eurypteromus*, *Diluvymites granulatus* 등과 같이 전 세계적으로 후기 백악기 동안에 번성하였던 시대 지시종들이 포함된다(Fig. 6). 이 외에 후기 백악기 말(late Maastrichtian)과 팔레오세 초기의 시대 지

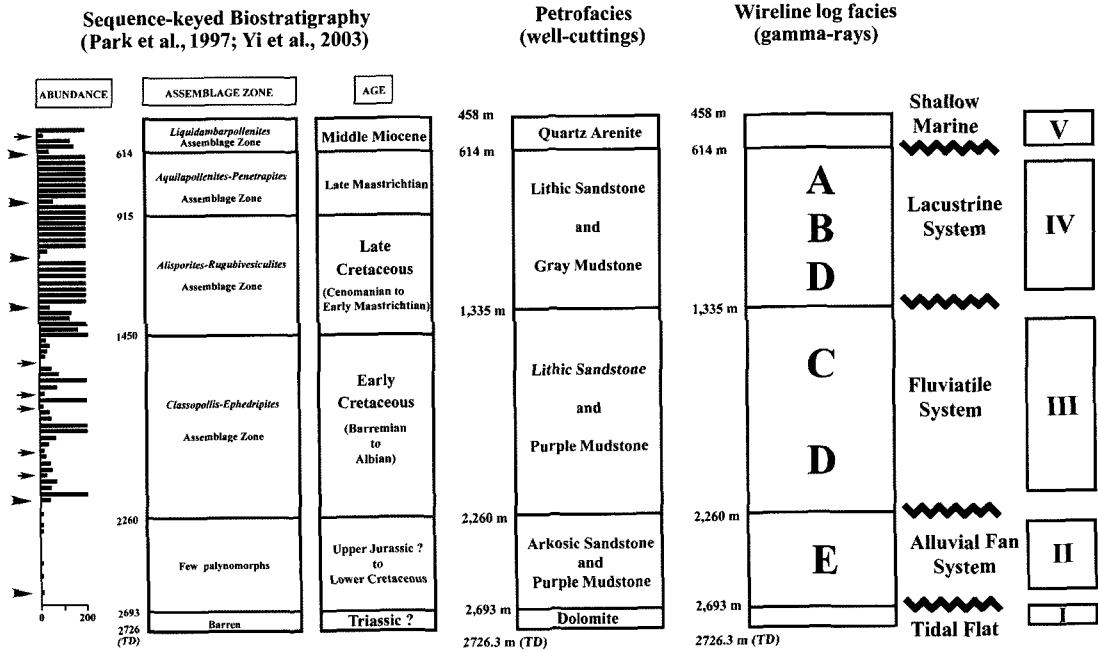


Fig. 8. Integrated stratigraphic interpretation of the Kachi-1 well, Kunsan Basin, offshore western Korea.

시종인 *Azolla cretacea*, *Aquilapollenites spinulosus*, *Anipollenites trina* 등이 614-844 m 구간에서 산출한다(Yi et al., 2003). 윤조 화석도 주로 백악기 지시종인 *Feistiella*, *Mesochara*, *Porochara* 등이 산출되며, 특히 *Feistiella anluensis*과 같은 후기 백악기 지시종이 전 구간에 걸쳐 꾸준히 산출한다(Yun et al., 2000). 개형층 화석 역시 백악기 지시종인 *Cypridea (C.) cavernosa*, *C. (C.) gigantea*, *Metacypris* spp. 등이 산출한다(Yun et al., 2000). 특히, 614-1335 m 구간의 퇴적층은 화분 및 포자 화석의 산출 빈도가 급격히 감소하는 구간을 경계로 614-844 m, 844-1119 m, 1119-1335 m 등 3개의 소규모 구간으로 세분된다(Fig. 6). 아울러 각 소규모 구간 내에서 수직층서 상 일어나는 감마선 검출 자료의 변화를 보면 844-1335 m 구간의 하부에서는 상향 세립화를 보이는 종(bell) 모양의 양상이 우세하나, 중부로 갈수록 깔때기(funnel) 모양의 양상이 우세해 지며, 상부로 갈수록 흑색 세일이 우세한 shale base line까지 감마선이 전이된 후에 다시 깔때기 모양의 양상이 우세해 지는 변화 양상이 인지된다(Fig. 7). 그러나 844 m 구간을 지나면서 채차 종 모양의 양상이 우세해지며, 상부로 갈수록 점차 종 모양이 감소하면서 적갈색 이암 및 탄산염암들이 우세한 shale base linedm로 전이되는 현상이 인지된다(Fig. 7). Yi et al.(2003)은 까치-1공의 614-915 m 구간에서

Aquilapollenites-Penetratrites Assemblage Zone을, 915-1450 m 구간에서 *Alisporites-Rugubivesiculite* Assemblage Zone을 각기 설정하고 1450 m를 후기 백악기와 전기 백악기의 경계로 해석하였다(Fig. 6). 그러나 본 연구에서는 1335 m를 경계로 이암편들의 암색이 암회색에서 적갈색으로의 급격한 변화와 함께 퇴적환경의 급격한 변화가 인지되어 본 연구에서는 1335 m 구간을 부정합에 준하는 단위층 경계로 설정하였다(Figs. 5, 8).

1335-2260 m 구간에 걸쳐 나타나는 퇴적층은 대부분이 적갈색 이암과 다양한 색깔의 사암으로 구성되어 있으며, 박층의 탄질 및 흑색 세일과 탄산염암들이 간간히 협재한다(Fig. 5). 중 구간에서는 상위의 퇴적층들에 비해 산출되는 화분포자 화석군집들이 낮은 종 다양도와 풍성도를 보이며(Fig. 6), 포자화석으로는 *Camptosporites* sp., *Densosporites* spp. 등이 산출하며, 나자식물 화분화석으로는 *Classopollis classoides*, *Ephedripites* spp., *Inaperturopollenites* spp., *Pinuspollenites* spp. 등 전기 백악기를 통해 가장 번성하였던 종들이 산출된다(Yun et al., 2000). 윤조 화석은 상부 구간인 614-1335 m 구간에 비해 산출량은 적으나, 주로 백악기 지시종인 *Feistiella*, *Mesochara*, *Porochara* 등이 산출한다. 특히, 전기 백악기(Aptian~Albian)의 지시종인 *Porochara mundula*가 산출한다(Yun et al., 2000). Yi et al.(2003)은 1450-2260 m

구간에서 *Classopolis-Ephedripites* Assemblage Zone을 설정하였으며, 본 구간을 전기 백악기 Barremian에서 Albian에 해당하는 퇴적층으로 해석하였다(Fig. 6). 아울러 동 구간 퇴적층의 감마선 검층 자료는 대체적으로 상향 세립화의 특징을 보이는 종모양이 우세하게 나타나며, 하부에서 상부로 갈수록 사암의 협재 빈도가 감소하면서 이암들의 협재 빈도가 증가하는 현상이 인지된다(Fig. 7C, D).

2260-2693 m 구간에 나타나는 퇴적층은 상부 구간인 1335-2260 m 구간의 퇴적층들과는 달리 적갈색의 장석질 사암과 적갈색의 이암 및 응회암으로 구성되어 있으며, 2500 m 구간을 전후하여 약 30 m 두께의 현무암질 화산암이 협재한다(Figs. 5, 8). 동 구간 퇴적층의 수직층서 상 일어나는 감마선 검층 자료의 변화를 보면 대체적으로 하부에는 실린더 모양을 보이나 상부로 갈수록 종 모양으로 전이되는 경향을 보인다(Fig. 7D). 2260-2693 m 구간의 퇴적층에서는 상부의 타 구간에 비해 전체적으로 화석산출이 빈약하나 일부 구간에서 백악기 초기의 나자식물 화분인 *Pinuspollenites*, *Inaperturopollenites* 등이 산출되며(Yun et al., 2000), 담수조류인 *Pediastrum*이 산발적으로 산출된다.

최하부 구간인 2693-2726.3 m 구간의 퇴적층은 주로 돌로마이트질의 탄산염암으로 구성되어 있으며(Fig. 5), 본 퇴적층 내에서 *Chordasporis* sp., *Ricciisporites* sp., *Aratisporites* sp., 등과 같은 트라이아스기 화석들이 산출된다(Park et al., 1997). 2693 m을 기준으로 직상부의 장석질 사암층이 우세한 퇴적층과 직하부의 돌로마이트층 사이에 급격한 암상 변화가 인지된다(Figs. 5, 8).

5. 까치-1공의 단위층 분대 및 인접 퇴적 분지와의 대비

전술한 까치-1공에 대한 통합층서 분석 결과, 614 m, 1335 m, 2260 m 및 2693 m 등 4개의 구간을 중심으로 암상의 급격한 변화가 인지된다(Figs. 3, 8). 이러한 암상의 급격한 변화는 층서적 불연속면으로 부정합 또는 이에 시간적으로 대비되는 정합으로 해석된다(Fig. 8). 따라서 까치-1공의 퇴적층은 부정합이나 또는 이에 시간적으로 대비되는 정합에 의해 상부와 하부가 경계되어진 5개의 단위층으로 구분될 수 있다(Fig. 8). 각 단위층들은 광역 지체구조운동과 밀접한 관계를 가지는 구조층서단위(tectono-stratigraphic unit), 또는 2차 순위의 연계층(second-order depositional sequence)

으로 정의될 수 있으며, ① 트라이아스기의 탄산염암을 기반암(2694-2726.3 m)으로, 하부로부터 ② 후기 쥐라기 말-전기 백악기 초 단위층(2260-2693 m), ③ 전기 백악기 단위층(1335-2260 m), ④ 후기 백악기-팔레오세 단위층(614-1335 m) 및 ⑤ 마이오세 중기 이후 단위층(503-614 m)으로 분대된다(Fig. 8).

5.1. 트라이아스기 기반암

남부 남황해분지의 시추공인 Wuxi-5-ST1을 보면 최하부에 약 440 m 두께의 폐름기 함탄 퇴적층이 관통되고 있으며, 그 직상부에 약 1410 m 두께의 트라이아스기 탄산염암층이 분포한다(Jiangsu Oil Company, 미 발표 자료). 이들 퇴적층들을 장수분지 육상 층서 자료들과 대비시키면 주로 남중국 지괴 위에 퇴적된 폐름기 후기 퇴적층인 롱탄층(Longtan Formation)과 창싱층(Changxing Formation) 및 트라이아스기 초기와 중기 퇴적층인 칭룽층(Qinglong Formation)과 조우청층(Zhouchong Formation)에 각기 해당된다(Fig. 9). 한편, 북부 남황해분지 까치-1공 최하부(2693-2726.3 m)는 돌로마이트질 탄산염암으로 구성되어 있으며, 본 돌로마이트질 탄산염암층 내에서 *Chordasporis* sp., *Ricciisporites* sp., *Aratisporites* sp., 등과 같은 트라이아스기 화석들이 산출되는 점으로 미루어 까치-1공 최하부 구간에 나타나는 탄산염암층은 인접 남부 남황해분지(장수분지) 트라이아스기 탄산염암층에 대비된다. 그러나 북부 남황해분지(군산분지) 내의 주요 탄성파 탐사 단면들을 보면 트라이아스기 퇴적층 하부에는 뚜렷한 반사면들이 보이지 않고 있어 본 연구에서는 트라이아스기 탄산염암층을 군산분지의 음향기반암으로 해석하였다. 본 기반암층을 한반도 육상에 분포하는 퇴적층들과 비교하면 쇠설성 퇴적암으로 구성되어 있는 평안누층군 최상부층인 고한층 및 동고층에 대비되며, 탄산염암으로 구성되어 있는 장수분지의 트라이아스기 칭룽층 및 조우청층에 각기 대비된다(Fig. 9). 이들 퇴적층들의 퇴적 당시는 북중국 지괴와 남중국 지괴가 서로 분리되어 있었기 때문에 각 지괴의 연변부에 발달하는 대륙 연변부 침강형 분지(marginal sag basin) 내에 남중국 지괴에는 탄산염암이, 북중국 지괴에는 쇠설성 퇴적암들이 각기 우세하게 퇴적되었던 것으로 해석된다.

5.2. 후기 쥐라기 말-전기 백악기 초 단위층

까치-1공 최하부 탄산염암층을 부정합으로 피복하는 단위층은 2260-2693 m 구간의 장석질 사암 및 응회암

Period	Epoch	Formation	Thickness (m)	Lithology	
Quaternary	Pleistocene	Dongtai	170--389		
		Upper Yangcheng	153--705		
Neogene	Pliocene	Upper Yangcheng	153--705		
	Miocene	Lower Yangcheng	100--916		
Paleogene	Oligocene				
	Eocene	Sanduo	0--1179		
		Dainan	0--1079		
	Paleocene	Funing	4	0--508	
			3	0--332	
			2	0--398	
			1	0--440	
Cretaceous	Late	Taizhou	574--?		
		Chishan	492--?		
		Pukou	1190--?		
	Early	Gecun	396--?		
Jurassic		Xihengshan	?		
Triassic		Huangmaqing	167--		
		Zhouchong			
		Qinglong			
Permian		Changxing	1013--		
		Longtan			
pre-Cambrian		Dengying	?		
		Doshantuo			

Fig. 9. Recently modified lithostratigraphy of the Mesozoic sedimentary sequences Erathem in the Jiangsu Basin (southern depression of the South Yellow Sea Basin). After unpublished internal report of the Jiangsu Oil Company.

으로 구성된다(Figs. 5, 8). 본 퇴적층에서는 전체적으로 화석산출이 빈약하기 때문에 지질시대를 정확하게 규명하기는 어렵다. 단지 상부 구간의 지질시대가 전기 백악기이고 직하부 2693-2726.3 m 구간의 퇴적층에서 트라이아스기를 지시하는 *Chordasporis* sp., *Riccisporites* sp., *Aratisporites* sp., 등이 산출되는 점(Park et al., 1997)을 근거로, 동 구간의 지질시대는 백악기 초기

에서 트라이아스기 말기에 해당된다고 볼 수 있다. 인접 장수분지의 층서와 비교하면 본 퇴적층은 트라이아스기 말기의 퇴적층에 해당되거나, 전기 및 중기 쥐라기 퇴적층, 또는 후기 쥐라기 및 전기 백악기 초 동안에 퇴적된 단위층의 하나로 볼 수 있다.

그러나 본 단위층 내의 사암들이 풍화에 민감한 장석을 포함하고 있는 장석질 사암이라는 점과, 분급이 매우 불량한 점 등으로 미루어 구조운동과 관련되어 퇴적물의 공급지로부터 이동거리가 멀지 않은 곳에 급격하게 퇴적된 퇴적층으로 판단되어 트라이아스기 이후 남중국과 북중국 지괴의 충돌(또는 섭입)이 중단됨에 따라 전기 및 중기 쥐라기 동안에 일어나는 빠른 융기 현상에 의해 형성된 열개형 분지 내의 퇴적층이거나, 또는 후기 쥐라기 말에 탄루 단층으로부터 분지되기 시작한 주향이동성 단층들에 의해 균산분지 발달 초기 단계에 퇴적되기 시작한 퇴적층에 해당된다고 할 수 있다. 본 연구에서는 본 단위층의 일부 구간에서 백악기 초기의 나자식물 화분들이 산출되는 점을 들어 본 단위층을 후기 쥐라기 말-전기 백악기 초(?Tithonian-Berriasian) 동안에 균산분지 발달 초기인 전열개(pre-rifting) 단계에 퇴적된 단위층으로 해석하였다. 특히 본 단위층의 상부 구간(2452-2522 m)에 약 30 m 두께의 현무암질 화산암층은 중국 측 장수분지의 쥐라기 말 퇴적층인 시행산층(Xihangshan Formation) 상부를 괴복하는 화산암층과 대비된다(Fig. 9). 따라서 본 단위층은 장수분지의 시행산층과 같은 시기에 퇴적된 퇴적층으로 해석된다. 또한 장수분지 주릉지역(Jurong)의 시추기록 및 탄성과 탐사 단면을 보면 인도시니안 조산운동 때부터 basement decoupling에 의해 시작된 저각의 역단층 하부에 엔샤니안 조산운동시기를 지시하는 쥐라기 말기의 응회암층들이 나타난다(Zhang et al., 1989). 이러한 응회암층들은 쥐라기 말기인 ?Tithonian에 들어와 1차 엔샤니안 조산운동이 시작되었으며, 이러한 1차 엔샤니안 조산운동의 영향으로 균산분지의 열개가 시작되었던 것으로 해석된다. 이러한 후기 쥐라기 말 동안에 일어난 분지 열개에 대한 증거는 한반도 육상에서도 인지되는데, 경상분지 발달 초기인 전열개 단계의 퇴적물로 판단되는 후기 쥐라기 말-전기 백악기 초(?Tithonian-Berriasian)의 묘곡층 및 자성계에 대비된다(Fig. 10). 따라서 균산분지의 열개작용은 백악기 이전인 쥐라기 말부터 시작되었던 것으로 판단되며, 1차 엔샤니안 조산운동과 밀접한 관련이 있는 것으로 해석된다. 아울러 현재까지 연구에 의하면 후기 쥐라기 말-전기 백악기 초의 전열개 단계 단위층들은

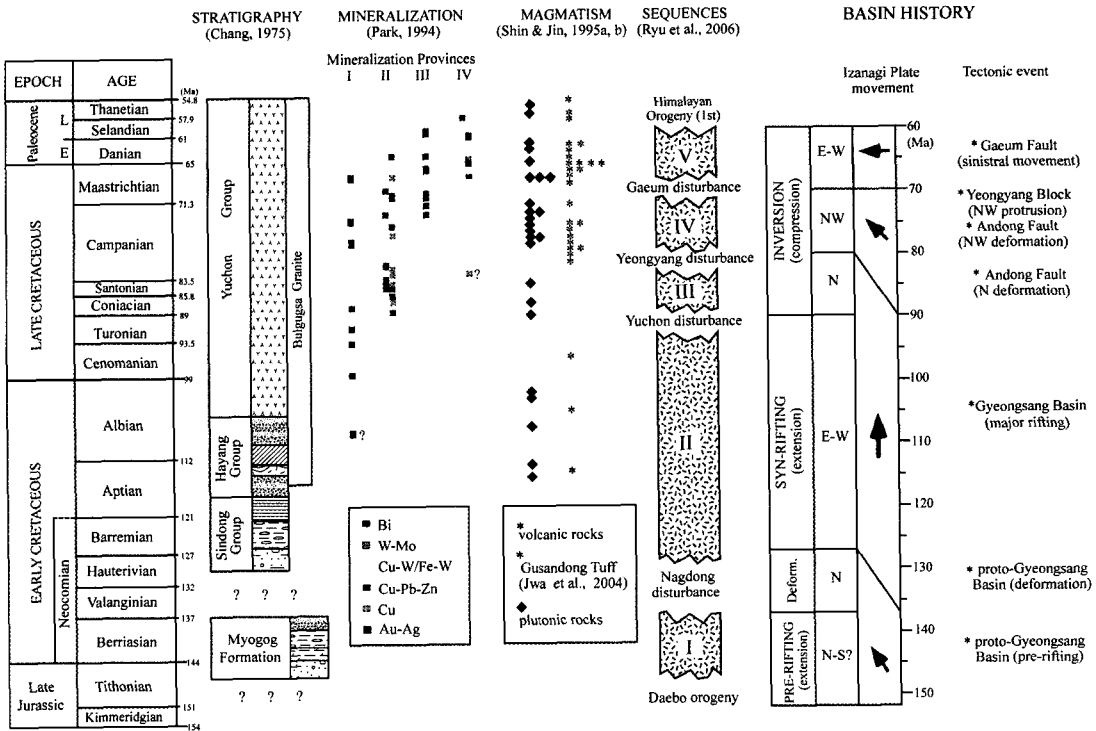


Fig. 10. A newly proposed stratigraphic framework of the Cretaceous Gyeongsang Basin. Five distinct stratigraphic units are recognized in the basin, which represent pre-rifting (Late Jurassic to Early Cretaceous), syn-rifting (Early Cretaceous), inversion I, II, and III (Late Cretaceous) stages. After Ryu *et al.* (2006).

연구 지역인 군산분지 전 지역에 걸쳐 광범위하게 연속적으로 발달하기보다는 지역적으로 분리된 썩기형태를 띠면서 소규모로 발달되는 특징을 보인다(Fig. 4).

5.3. 전기 백악기 단위층

후기 쥐라기 말-전기 백악기 초 단위층을 부정함으로 피복하는 전기 백악기 단위층은 까지-1공 1335-2260 m 구간에 나타난다(Figs. 5, 8). 하부의 후기 쥐라기 말-전기백악기 초 단위층과는 달리 대부분이 다양한 색깔의 암편질 사암과 적갈색 이암으로 구성되어 있으며, 일부 구간에서 탄질 및 흑색 셰일층들이 교호하면서 상부로 갈수록 박층의 탄산염암들의 협재가 빈번해진다(Fig. 5). 본 구간에서는 일부 상부 구간에서 후기 백악기 종들이 출현하나, 전기 백악기 동안에 번성 하였던 종들이 모든 구간에서 산출된다는 점을 들어 본 단위층을 전기 백악기 단위층으로 해석하였다(Fig. 6).

본 단위층은 화분포자 화석의 산출 우세종들을 기준으로 2개의 생층서대로 구분될 수 있으며, 1335-1814 m 구간에 걸쳐 나타나는 상위의 생층서대는 Aptian으로부터 Albian에 걸쳐, 1814-2260 m 구간의 하위의 생

층서대는 Barremian 이전인 ?Hauterivian에서부터 Barremian에 걸쳐 퇴적된 퇴적층으로 해석되었다(Lentin and Swan, 1987). 그러나 Yi *et al.* (2003)은 1440 m 구간을 전기 백악기와 후기 백악기의 경계로 해석하였으며, 따라서 상위의 생층서대가 Aptian으로부터 후기 백악기 초인 Cenomanian 및 ?Turonian까지 연장될 수 있음을 시사하였다.

본 단위층의 감마선 검층 자료는 대체적으로 상향 세립화의 특징을 보이는 종모양이 우세하게 나타나기 때문에 본 단위층은 주로 범람원 및 하성 환경 하에서 퇴적되었던 것으로 해석된다(Fig. 7C, D). 아울러 하부에서 상부로 갈수록 사암의 협재 빈도가 감소하면서 이 암들의 협재 빈도가 증가하는 현상이 인지됨에 따라 시간에 따라 저만곡(low sinuosity)의 배수가 양호한(well drained) 하성 환경으로부터 고만곡(high-sinuosity)의 배수가 불량한(poorly drained) 하성 환경으로 전이되었던 것으로 해석된다. 또한 일부 고만곡 하성 환경이 우세한 상부 구간에서 탄층 및 흑색 셰일, 탄산염암들이 나타나는 점으로 미루어 시간 및 공간에 따라 부분적으로 일시적인 호수 환경이 형성되었던 것으로 판단된다.

본 단위층은 장수분지 육상 지역의 전기 백악기 퇴적층인 개륜층(Gecun Formation)과 한반도 육상에 발달하는 경상분지의 신동층군 및 하양층군에 대비된다(Figs. 9, 10). 특히 본 단위층은 화분포자 화석에 의해 작은 단위의 퇴적유회로 세분되는 특징을 보인다(Fig. 6). 본 단위층에 대한 이와 같은 층서 분대의 특징은 한반도 경상분지 및 장수분지의 같은 시기 퇴적층에서도 인지된다(Figs. 9, 10). 한반도 육상에 대규모로 분포하는 경상분지의 동 시대 퇴적층인 전기 백악기 퇴적층에 대한 층서 분대를 보면 ?Hauterivian-Barremian 동안에 퇴적된 신동층군 및 Aptian-Albian 동안에 퇴적된 하양층군으로 이분되며, 각 층군은 수직 층서상 하성 및 범람원 퇴적체에서 호소성 퇴적체로의 전이를 보이는 7개의 층으로 구성되어 있는 특징이 인지된다(Chang, 1975; Fig. 10). 이와 같이 동아시아의 광범위한 지역에 걸쳐 공간적으로 분리되어 있는 퇴적분지들이 비슷한 시기에 동일한 퇴적 양상을 보이는 것은 본 단위층의 퇴적이 지체구조의 변화뿐만이 아니라 기후 변화에 의해서도 제어되었던 것으로 판단된다. 즉, 동아시아 전 지역에 걸쳐 광역적 지체구조운동 변화에 의해 공간적으로 분리되어 형성되기 시작한 인리형 분지 내에 건기와 우기의 기후 변화가 반복됨에 따라 하성 및 범람원 퇴적체가 호소성 퇴적체로의 전이를 보이는 소규모의 퇴적유회가 수직 층서상 누적되었던 것으로 해석된다.

균산분지 및 장수분지의 탄성과 탐사단면을 보면 전기 백악기 단위층의 발달이 기존의 주라기 말기-전기 백악기 초의 전열개 단계 단위층을 평행 피복(drape over)하거나 비대칭의 썩기모양을 띠면서 트라이아스기 기반암을 사교 피복(onlapping)하는 특징을 보인다(Ryu *et al.*, 2000). 이러한 현상은 전기 백악기 단위층이 엔사니안 조산운동의 지속적인 영향 하에 있었던 것으로 판단된다. 즉, 1차 엔사니안 조산운동 시기에 단루단층으로부터 분지되었던 단층들이 2차 엔사니안 조산운동 시기에 들어와 좌수향으로의 이동을 시작함에 따라 균산분지 내에 동서 방향의 인장력이 발생되어 지역적으로 분리되어있던 전열개 단계의 소규모 분지들이 병합되기 시작하면서 대규모 인리형 분지로 확장되어 침강을 계속하였던 것으로 보인다. 따라서 전기 백악기 단위층은 전열개 단계의 소규모 분지들이 본격적인 대규모 인리형 분지로 발달되는 동안에 퇴적된 동시열개(syn-rifting) 단계의 퇴적층으로 해석된다.

5.4. 후기 백악기 단위층

후기 백악기 단위층은 주로 암갈색 사암과 흑색 및

적갈색 셰일들로 구성되며, 탄산염암이 구간에 따라 협재한다. 본 단위층 내에서 전 세계적으로 후기 백악기의 시대 지시종들이 산출되기 때문에 본 퇴적층을 후기 백악기에 걸쳐 퇴적된 단위층으로 해석하였다.

본 단위층은 화분포자 화석의 산출 빈도에 따라 3개의 소규모 구간으로 세분된다(Fig. 6). 각 구간의 시대는 하부 구간(1119-1335 m)이 ?Coniacian에, 중부 구간(884-1119 m)이 Santonian - early Maastrichtian에, 상부 구간(614-884 m)이 late Maastrichtian에 해당되는 것으로 해석되었다(Lentin and Swan, 1987; Yi *et al.*, 2003). 아울러 본 단위층 내에서 인지된 감마선 검층 자료를 보면 하부에는 상향 세립화를 보이는 종 모양의 양상이 우세하나, 중부로 갈수록 깔때기 모양의 양상이 우세해 진 후, shale base까지 감마선이 전이된 후에 상부로 갈수록 다시 깔때기 모양의 양상이 우세해 지는 변화 양상이 인지된다(Fig. 7A, B). 이러한 변화 양상은 최초로 하성 환경에서 퇴적이 진행된 후, 범람원 환경을 거쳐 점차 호수 환경으로 전이되면서 호수 환경의 팽창과 수축과 관련되어 호수 연변부에 발달하는 호소성 삼각주 사암체들이 호수 중심을 향해 전진과 후퇴를 반복했기 때문인 것으로 해석된다. 특히, 본 단위층 최하부 약 20 m 구간에 발달하는 두꺼운 역질 사암층은 후기 백악기 초에 들어와 전기 백악기 동안의 퇴적이 종료된 후, 새로운 구조운동이 시작되면서 분지의 재편과 함께 침강과 확장에 따라 퇴적된 퇴적층으로 판단된다. 따라서 본 후기 백악기 단위층은 전기 백악기 동안의 본격적인 동시열개 단계를 뒤따르는 후열개(post-rifting) 단계의 퇴적층으로 해석될 수 있다.

본 단위층은 중국 측 장수분지의 육상 지역에 분포하는 후기 백악기 포구층(Pukou Formation), 적산층(Chishan Formation) 및 태주층(Taizhou Formation)에 대비되며(Fig. 9), 한국 측 경상분지와 공주 및 광주단층계를 따라 발달하는 소규모 인리형 분지(예; 음성, 영동, 진안 및 해남) 내의 화산암층(예; 유천층군) 및 화강관입암류(예; 불국사화강암)에 대비된다(Fig. 10). 그러나 균산분지 및 장수분지를 포함하는 남황해분지와 한반도 육상에 분포하는 백악기 퇴적분지 내의 후기 백악기 단위층은 암상에 있어 뚜렷한 차이를 보인다. 남황해분지 내의 후기 백악기 단위층은 하성 및 호소성 환경 하에서 퇴적된 퇴적암이 우세하고 지역적으로 화산암과 화강암류가 분출 또는 관입하고 있으나, 한반도 육상에 분포하는 후기 백악기 단위층은 화산암과 화강관입암류가 우세하고 극히 일부 지역에만 호소성 퇴적암류인 흑색 셰일들이 협재되어 나타난다. 이

러한 암상의 차이는 퇴적분지들의 위치와 후기 백악기 당시 고태평양 판(paleo-Pacific Plate)의 일부로 존재하였던 이자나기 판(Izanagi Plate)의 섭입에 따른 화성활동 중심지와와의 공간적 근접성에 기인한 것으로 보인다.

최근 Ryu *et al.*(2006)에 의해 수행된 경상분지에 대한 통합층서 결과는 경상분지 내 후기 백악기 및 팔레오세 화산암층 및 관입화성암류들이 90-80 Ma, 80-70 Ma, 70-60 Ma에 해당되는 3개의 단위층으로 세분될 수 있음을 보여준다(Fig. 10). 아울러 Ryu *et al.* (2006)은 경상분지 내 후기 백악기의 3개 단위층들은 고태평양 판의 일부인 이자나기 판의 섭입 방향이 시간에 따라 북에서 북서 및 서쪽 방향으로 전이되는 것과 매우 밀접한 관계가 있음을 시사하였다. 따라서 군산분지와 장수분지 및 경상분지의 후기 백악기 및 팔레오세 단위층들을 대비시키면 각 퇴적분지들이 지리적으로 서로 떨어져 있음에도 불구하고 분지발달사 측면에서 퇴적작용은 지구조적으로 매우 밀접하게 연관되어 있는 것으로 해석된다.

5.5. 마이오세 중기 이후 단위층

마이오세 중기 이후 단위층은 주로 미고결 상태의 사암과 박층의 갈탄 및 연회색 이암들로 구성되어 있으며,

하부는 대체적으로 육성층임에 반하여 상부의 퇴적층들은 간간히 해침을 받아 퇴적된 천해성층으로 전이된다. 본 단위층에서는 *Liquidambar*, *Carya*, *Ceratopteris*, *Fagus*, *Trapa*로 대표되는 마이오세 중기의 식물화석 군집이 나타나며, 플라이오세 및 제사기를 지시하는 *Gramineae*, *Persicaria*, *Compositae*를 위시하여 *Cyperaceae*, *Chenopodiaceae*, *Cyperaceae*로 대표되는 식물화석 군집이 나타난다. 따라서 본 단위층을 마이오세 중기(약 12 Ma) 이후, 마이오세 후기와 플라이오세 및 제4기에 걸쳐 퇴적된 단위층으로 해석하였다. 본 단위층은 장수분지 육상 지역에 분포하는 안청층(Yancheng Formation)에 대비된다(Fig. 9). 단성과 탐사 단면에서는 매우 뚜렷한 마이오세 중기의 광역적 부정합면 상부에 퇴적된 미변형 퇴적층으로 나타나며, 마이오세 중기에 들어와 일어났던 광역적인 분지의 침강과 플라이오세 및 제4기 동안에 일어났던 광역적 해침에 의한 퇴적으로 해석된다(Fig. 4).

6. 토 의

6.1. 군산분지발달사 및 동아시아 백악기 지체구조 운동 발달

군산분지 내 까치-1공에 대한 통합층서 분석 결과를

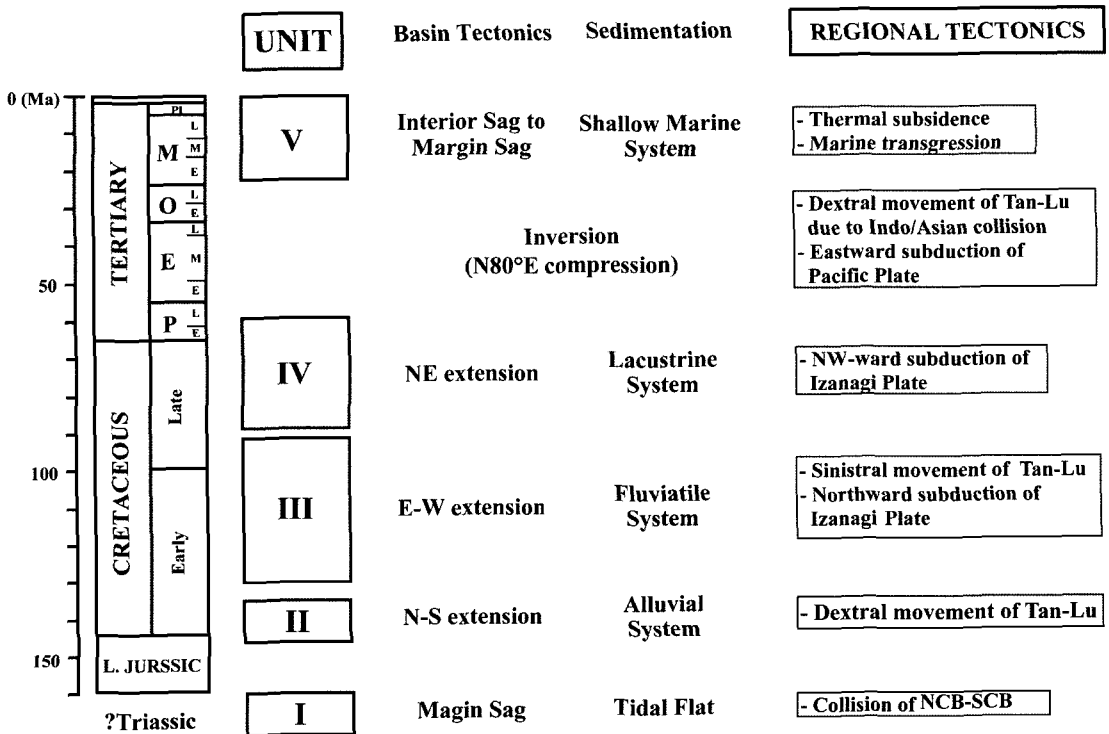


Fig. 11. Summary of stratigraphic response to tectonic evolution of the South Yellow Sea Basin.

토대로 수립된 쥬라기 말 이후, 백악기 및 팔레오세 동안의 층서들은 균산분지 발달사를 이해하는데 있어 매우 중요한 정보를 제공한다. 아울러 균산분지의 층서들을 기준으로 인접 장수분지 및 한반도 내에 위치하는 동 시대 퇴적분지들의 층서를 비교하면 한반도 주변 동아시아 지역의 지체구조 운동 발달을 이해하는데 있어서 새로운 층서적 사고의 틀을 제공할 뿐만이 아니라, 각 퇴적분지들의 석유자원 부존 가능성 평가를 위한 기초 자료와 함께 각 분지들의 석유 시스템 설정 및 대비를 위한 하나의 규범으로 사용될 수 있다.

선캠브리아 이언 이후, 트라이아스 중기까지 각기 분리되어 있던 북중국 지괴와 남중국 지괴의 연변부에는 침강형 분지 형태의 퇴적분지들이 발달하게 되었다. 각 퇴적분지는 해수면의 변동과 분지의 침강에 따라 해침과 해퇴를 반복하면서 각 분지 내에 고생대 캠브리아기-데본기 초기 및 석탄기-트라이아스기 중기에 걸쳐 천해성의 탄산염암 및 쇄설성 퇴적암들이 퇴적시켰다(Fig. 11). 트라이아스기 말기에 들어와 남중국 지괴가 북중국 지괴와 충돌하게 되면서 양 지괴의 사이에는 친링-다비-수루 습곡대가 형성되었으며, 경계부에는 좌수향의 탄루단층에 의해 북중국 지괴와 남중국 지괴가 인접하게 되었다(Fig. 2). 쥬라기에 들어와 남중국 지괴가 북중국 지괴 밑으로의 섭입이 진행되면서 습곡대의 전면에서 발생하는 압축성 구조운동에 의해 북중국 지괴 내에는 대륙전사면 분지(foreland basin)가 발달하게 되어 쥬라기의 쇄설성 퇴적층들이 퇴적되었다. 이후, 섭입대 내에서 일어나는 underplating 현상에 의해 섭입대가 뒤로 후퇴함에 따라 섭입이 중단되어 북중국 지괴에 발달하는 대륙전사면 분지들은 점차 소멸되었으며, 남중국 지괴 내에는 인도시니안 조산운동으로 깊게 매몰되었던 기반암들이 지역적으로 빠르게 융기되면서 심부 지각 연성대(deep crustal ductile regime)로부터 천부 지각 쇄성대(shallow crustal brittle regime)로 전이될 때 발생하는 신장력에 의해 소규모 대륙 내 열개형 분지들이 선캠브리아 이언의 기반암 위에 형성되었던 것으로 해석된다(Kim *et al.*, 2000). 쥬라기 초기와 중기를 거치면서 남중국 지괴 내의 소규모 열개 분지들은 함탄 육성 퇴적물에 의해 충전 되기 시작하였으나 지속적인 융기에 의해 대부분 삭박되었던 것으로 해석된다. 한편 양 지괴의 서쪽 경계부인 장수분지와 동쪽 경계부인 태백산분지 내에서는 basement decoupling에 의해 지각의 역단층들이 발달하게 되어 역단층과 역단층 사이에 소규모의 피기백(piggyback) 형태의 분지가 형성되면서 쥬라기 초기와 중기에 걸쳐

쇄설성 퇴적물이 퇴적되었다(Fig. 2).

쥬라기 말기에 들어와 북중국과 남중국 지괴의 서쪽 경계부인 탄루단층대 주변을 따라 2, 3차 순위의 단층(예; 청도-압록단층 및 하부 양자강단층)들이 발달하게 되었다(Fig. 3). 탄루단층대 주변의 2, 3차 순위의 단층들이 좌수향으로 운동을 시작하면서 소규모 열개 분지들이 반지구대의 형태로 발달하게 되었으며, 반지구대 형태의 소규모 분지들은 전기 백악기 초까지 지속되면서 구조 동시성 장석질 퇴적층인 쥬라기 말-전기 백악기 초기의 전열개 단계 단위층을 퇴적시켰다. 아울러 북중국과 남중국 지괴의 동쪽 경계부인 한반도 내에도 반지구대 형태의 소규모 열개 분지들이 발달하게 되어 지역에 따라 구조 동시성 장석질 퇴적층인 쥬라기 말-백악기 초기의 모곡층이 퇴적되었다(Fig. 11).

전기 백악기 중기(?Hauterivian 말)에 들어와 탄루단층대 주변에 발달하는 2차 및 3차 순위 단층들의 지속적인 좌수향 이동과 함께 고태평양 판의 일부인 이자나기 판이 북쪽으로 이동하면서 북동-남서 방향으로 발달되어 있는 섭입대 밑으로 사각 섭입을 시작함에 따라 공주 및 광주단층계가 좌수향으로 이동을 시작하면서 남황해분지와 한반도 동남부에 위치하는 경상분지 내에 동서 방향으로의 대규모 인장력이 발생함에 따라 전열개 단계의 소규모 분지들의 경계 단층들이 연결되면서 남황해분지와 경상분지는 쥬라기 말-백악기 초기의 소규모 전 열개 단계를 벗어나 본격적인 대규모 인리형 분지로 확장되기 시작하였다(Fig. 11). 대규모 인리형 분지로 확장되기 시작한 남황해분지와 경상분지 내에 전기 백악기를 통해 동아시아 전 지역에 걸쳐 건기와 우기가 주기적으로 반복되는 기후 체계가 형성되어 주기적 변화를 보이는 하성 및 호소성 퇴적체들이 분지의 동시열개 단계의 단위층으로 퇴적되었다(Figs. 9, 10).

후기 백악기에 들어와 전기 백악기 동안 북쪽으로 이동하면서 북동-남서 방향으로 발달되어 있던 섭입대 밑으로 사각 섭입을 하던 이자나기 판이 서서히 북서쪽으로 이동 방향을 바꾸기 시작하면서 직각으로 섭입 양태를 바꿈에 따라 동아시아 전 지역에 서서히 화성 활동이 시작되었다(Maruyama *et al.*, 1997). 따라서 후기 백악기 동안의 남황해분지 및 인접 지역의 퇴적분지들은 분지 내에 화성활동이 동반되는 공통적인 특징을 보인다. 특히 섭입대 가까이에 위치해 있던 한반도 내의 퇴적분지들은 극심한 화성활동과 함께 직각 섭입에 따른 영향으로 남북과 북북서-남남동에 이은 북서-남동 방향으로의 압축 변형을 주로 경험하였으며, 결과

로 분출 화산암류와 관입 화강암류로 대표되는 후기 백악기 유전층군과 불국사화강암이 한반도 남쪽에 광범위하게 분포하게 되었다(Fig. 10). 그러나 섭입대로부터 비교적 떨어져 있었던 남황해분지에는 경상분지와 비교하여 상대적으로 미약한 화성활동을 동반하면서 지속적인 인장력의 영향으로 확장되었던 것으로 해석된다. 특히, 후기 백악기 및 팔레오세 단위층 내에서 인지된 3개의 소규모 단위층들은 이자나기 판의 섭입 방향이 북에서 북서, 및 서쪽으로 전이되면서 초기 단계(?Coniacian)에는 남북 방향으로의 압축과 동서 방향으로의 확장이, 중기 단계(Santonian-early Maastrichtian)에는 북북서-남남동 방향으로 압축과 동북동-서남서 방향으로의 확장이, 말기 단계(late Maastrichtian)에는 북서-남동 방향으로의 압축과 북동-남서 방향으로의 확장이 우세하였던 것으로 판단된다(Fig. 10).

따라서 확장이 계속되는 분지의 중심부에는 호소성 환경의 세립질 퇴적물들이, 분지의 연변부에서는 하-호성 환경의 조립질 퇴적물들이 퇴적되었던 것으로 보이며, 분지의 일부 지역에서는 분지 확장의 결과로 화강암 및 화산암류들의 관입과 분출이 있었던 것으로 해석된다. 한편, 분지 내 약선대를 따른 화강암 및 화산암류들의 지역적 관입과 분출은 일부 지형적 고지대를 형성하면서 후기백악기 및 팔레오세 단위층 내에서 인지된 소규모 단위층들의 불규칙적인 퇴적 양상을 지배하는 요인이 되었던 것으로 판단된다. 이와 같이 이자나기 판의 이동 방향이 북에서 북서로 바뀌면서 후기 백악기를 거쳐 팔레오세 초까지 지속되었던 동아시아 지역의 지체구조운동 발달은 남황해분지 및 경상분지의 확장 및 압축을 유도하면서 분지 내에 각기 다른 암상을 보이는 후열개 단계의 단위층을 퇴적시켰으며, 팔레오세 말에 들어와 인도 판이 유라시아 판과 충돌되는 히말라얀 조산운동의 영향으로 변형되기 시작하였다.

제3기 초기인 팔레오세 말에 들어와 인도 판과 유라시아 판의 연성층들에 의한 영향으로 동아시아 지역 퇴적분지의 형성에 관여하였던 탄루단층이 점차 우수향으로 이동을 시작하였다. 이와 함께 본 연구에서는 인지되지 않았지만 에오세의 퇴적층인 장수분지의 다이난층(Dainan Formation) 및 산두오층(Sanduo Formation)에 대비되는 단위층들이 남황해분지 내에 퇴적되었다(Fig. 9). 이 후, 에오세 말에 들어와 인도 판과 유라시아 판의 강성층들에 의해 탄루단층대는 우수향으로의 본격적인 이동을 시작하면서 남황해분지 지역은 남북 방향의 압축성 구조운동의 영향을 받게 되기 때문에 심한 습곡작

용이 일어났던 것으로 해석된다(Fig. 11). 히말라얀 조산운동은 올리고세에 들어와 더욱 심화되면서 구조역전에 의해 대부분의 남황해분지 내 퇴적층들이 용기된 후, 침식되었던 것으로 보인다. 일부 지역(예; 까치-1공)에서는 용기 삭박된 정도가 3 km 이상이었던 것으로 추정되며, 결과로 에오세 말로부터 올리고세에 걸친 퇴적층들이 결층인 채로 백악기 후기 퇴적층이 마이오세 중기의 퇴적층과 경사 부정합으로 직접 접하게 된다(Figs. 4, 11).

마이오세 초기에 들어와 히말라얀 조산운동에 의한 압축성 구조운동은 점차 둔화되기 시작하여 에오세 중기 말과 올리고세 동안에 심한 습곡을 받아 형성된 요철부를 마이오세 초기의 퇴적층들이 부분적으로 채우는 평탄화 현상이 일어나면서 남황해분지 전 지역은 대륙 내 침강형 분지(intra-continental sag basin)로 전환되었다. 이후 마이오세 중기 말에 있었던 광역적 구조운동의 영향으로 부정합이 형성된 후, 완만한 침강과 함께 마이오세 말로부터 플라이오세와 제사기에 걸쳐 광역적으로 해침이 일어나면서 대륙 내 침강형 분지가 대륙 연변부 침강형 분지(marginal sag basin)로 전환되어 현재의 대륙붕으로 전이되었던 것으로 해석된다(Fig. 11).

7. 결 론

군산분지 내 까치-1공의 통합층서 분석 결과, ① 트라이아스기 돌로마이트질 탄산염암을 기반으로 ② 쥐라기 말-전기 백악기 초 단위층, ③ 전기 백악기 단위층, ④ 후기 백악기 단위층 및 ⑤ 마이오세 중기 이후 단위층 등 5개의 단위층으로 분대된다. 각 단위층들은 광역 구조운동의 발달에 따라 군산분지가 쥐라기 말기로부터 현재까지 엔샤니안 조산운동과 히말라얀 조산운동의 영향으로 인리형 분지를 거쳐 변형된 후, 대륙 내 침강형 분지 및 대륙 연변부 침강형 분지로 전이된 다단계 분지형성-퇴적-분지변형의 발달사를 겪은 것으로 해석되었다. 본 연구를 통해 수립된 통합층서들을 기준으로 군산분지의 발달사를 종합하면, 트라이아스기 말로부터 좌수향 운동을 시작한 탄루단층은 쥐라기 말기에 들어와 단층 주변부에 2, 3차 순위의 주향이동 단층들이 발달되면서 전열개 단계의 소규모 분지들이 형성되기 시작하였다. 전기 백악기를 거쳐 후기 백악기 및 팔레오세 초 동안 열개 단계의 소규모 분지들은 인장력에 의해 대규모의 인리형 분지로 확장되었으며, 팔레오세 말에 들어와 시작되는 히말라얀 조산운동의 영향으로 변형되기 시작하였다. 에오세와 올리고세 동안에 지속된 히말

라안 조산운동의 영향에 의해 탄루단층은 우수향으로 이동 방향이 변환되기 시작하면서 균산분지를 포함하는 남황해분지 지역에서는 구조역전 현상이 일어났다. 올리고세 이후 현재까지, 남황해분지는 간헐적인 해침과 함께 광역적 침강을 유지하면서 안정된 대륙 연변부의 평원 및 대륙붕 지역으로 전이되었다.

사 사

이 논문은 2004년도 경북대학교학술진흥연구비에 의하여 연구되었다. 본 연구를 위해 서해 대륙붕 시추공 자료와 물리탐사 자료에 대한 열람을 허락한 한국석유공사 제위계 감사드린다. 아울러 본 논문을 심사하여 주신 익명의 세 분 심사자에게 감사드린다.

참고문헌

- Allen, M.B., Macdonald, D.I.M., Xun, Z., Vincent, S.J. and Brout-Menzies, C. (1997) Early Cenozoic two-phase extension and late Cenozoic thermal subsidence and inversion of the Bohai Basin, northern China. *Marine and Petroleum Geology*, v. 14, p. 951-972.
- Chang, K.H. (1975) Cretaceous stratigraphy of southeast Korea. *Journal of Geological Society of Korea*, v. 11, p. 1-23.
- Chough, S.K., Kwon, S.T., Ree, J.H. and Choi, D.K. (2000) Tectonic and sedimentary evolution of the Korean peninsula: a review and new view. *Earth-Science Reviews*, v. 52, p. 175-235.
- Chun, S.S. and Chough, S.K. (1992) Tectonic history of Cretaceous sedimentary basins in the southwestern Korean Peninsula and Yellow Sea. In: Chough, S.S. (ed.), *Sedimentary basins in the Korean Peninsula and adjacent seas*. Special Publication of the Korean Sedimentology Research Group, Hamlimwon, p. 60-76.
- Graham, S.A., Hendrix, M.S., Johnson, C.L., Badamgarav, D., Badarch, G., Amory, J., Porter, M., Barsbold, R., Webb, L.E. and Hacker, B.R. (2001) Sedimentary record and tectonic implications of Mesozoic rifting in southeast Mongolia. *Geological Society of America Bulletin*, v. 113, p. 1560-1579.
- Kerans, C. (1988) Karst-controlled reservoir heterogeneity in Ellenburger Group Carbonates of West Texas. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 72, p. 1160-1183.
- Kim, J.N., Ree, J.H., Kwon, S.T., Park, Y., Choi, S.J. and Cheong, C.S. (2000) The Kyonggi shear zone of the central Korean peninsula: late orogenic imprint of the North and South China collision. *The Journal of Geology*, v. 108, p. 469-478.
- Lee, D.W. (1999) Strike-slip fault tectonics and basin formation during the Cretaceous in the Korean Peninsula. *Island Arc*, v. 8, p. 218-231.
- Lentin, J.K. and Swan, F.M. (1987) Report of biostratigraphy: palynology and micropaleontology of the Marathon Petroleum Korea Ltd. Kachi-1 Wildcat. 76p.
- Liu, L. (2002) Evaluation of Ordovician carbonate source rocks in the Dagang Oilfield, Huanghua Depression, Bohai Bay Basin, China. *Proceedings of Korea/China Symposium for Sedimentary Basins in Yellow Sea and adjacent areas*. p. 3-27.
- Maruyama, S., Isozaki, Y., Kimura, G. and Terabayashi, M. (1997) Paleogeographic maps of the Japanese Islands: Plate tectonic synthesis from 750 Ma to the present. *The Island Arc*, v. 6, p. 121-142.
- Park, K.S., Park, K.P., Sunwoo, D., Kwon, Y.I., Yoo, D.K., Jung, T.J., Oh, J.H., Bong, P.Y., Son, J.D., Lee, H.Y., Ryu, B.J., Shon, B.K., Hwang, I.G., Lee, Y.J. and Kim, H.J. (1997) Study on hydrocarbon potentials of the Kunsan Basin, offshore western Korea. *Research Report of Korea Institute of Geology, Mining and Materials KR-97(C)-17*, p. 3-190.
- Park, H.I. (1994) Metallogenic provinces and mineralization of metallic mines in the Cretaceous Gyeongsang Basin, southeastern Korea. *Research Report of Korea Science and Engineering Foundation KOSEF 91-06-00-03*, p. 29-75.
- Ratschbacher, L., Hacker, B.R., Webb, L.E., McWilliams, M., Ireland, T., Dong, S.W., Calvert, A., Chateigner, D. and Wenk, H.R. (2000) Exhumation of the ultrahigh-pressure continental crust in east central China: Cretaceous and Cenozoic unroofing and the Tanlu fault. *Journal of Geophysical Research*, v. 105, p. 13303-13338.
- Ree, J.H., Cho, M., Kwon, S.T. and Nakamura, E. (1996) Possible eastward extension of Chinese collision belt in South Korea: the Imjingang belt. *Geology*, v. 24, p. 1071-1074.
- Ryu, I.C., Choi, S.G. and Wee S.M. (2006) An inquiry into the formation and deformation of the Cretaceous Gyeongsang Basin, Southeastern Korea. *Journal of Korea Society of Economic and Environmental Geology* v. 38, p. 129-149.
- Ryu, I.C., Kim, B.Y., Kwak, W.J., Kim, K.H. and Park, S.J. (2000a) Stratigraphic response to tectonic evolution of sedimentary basins in the Yellow Sea and adjacent areas. *Internal Research Report of Korea National Oil Corporation*. 201p.
- Ryu, I.C., Kim, B.Y., Kwak, W.J., Kim, K.H. and Park, S.J. (2000b) Stratigraphic response to tectonic evolution of sedimentary basins in the Yellow Sea and adjacent areas. *Journal of the Korean Society of Petroleum Geologists*, v. 8, p. 1-43.
- Shin, S.C. and Jin, M.S. (1995) Isotopic age maps in Korea (1:100,000). *Korea Institute of Geology, Mining and Materials*
- Yun, H.S., Lee, E.H., Yi, S.H., Seo, S.H. and Cho, H.B. (2000) Study of biostratigraphy of the South Yellow Sea Basin. *Internal Research Report of Korea National Oil Corporation*. 93p.
- Watson, M.P., Hayward, A.B., Parkinson, D.V. and Zhang, Z.M. (1987) Plate tectonic history, basic development and petroleum source rock deposition onshore China. *Marine and Petroleum Geology*, v. 4, p. 205-225.
- Xu, J., Zhu, G., Tong, W., Cui, K. and Liu, Q. (1987) Formation and evolution of the Tancheng-Lujiang wrench fault system: a major shear system to the northwest

- of the Pacific Ocean. *Tectonophysics*, v. 134, p. 272-310.
- Yi, S.H., Yi, S.S., Batten, D.J., Yun, H.S. and Park, S.J. (2003) Cretaceous and Cenozoic non-marine deposits of the Northern South Yellow Sea Basin, offshore western Korea: palynostratigraphy and paleoenvironments. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, v. 191, p. 15-44.
- Zhang, Y., Dong, S. and Shi, W. (2003) Cretaceous deformation history of the middle Tan-Lu fault zone in Shandong province, eastern China. *Tectonophysics*, v. 363, p. 243-258.
- Zhang, Y., Wei, Z., Xu, W., Tao, R. and Chen, R. (1989) The North Jiangsu-South Yellow Sea Basin. In: X. Zhu (ed.), *Chinese Sedimentary Basins*. Elsevier, p. 107-123.

2007년 7월 23일 원고접수, 2007년 8월 10일 게재승인.