

## 중국 교래분지의 층서와 석유지화학적 특성

### Stratigraphy and Petroleum Geochemical Characteristics of Jiaolai Basin in Shandong Province of China

정태진 (Tae-Jin Cheong)\* · 오재호 (Jae-ho Oh)\* · 이영주 (Young-Joo Lee)\* · 김지훈 (Ji-Hoon Kim)\*

**요약** : 중국 산둥반도에는 백악기 육상 퇴적분지인 교래분지가 발달하고 있으며, 여러 지역의 노두에서 다양한 형태의 유징이 나타난다. 교래분지는 전기 백악기와 후기 백악기에 걸쳐 발달한 인리형 분지로 하호성 퇴적물과 화산암으로 구성된다. 교래분지의 퇴적층은 3개의 층으로 구분되는데 하부로부터 래양층 (萊陽層), 청산층 (靑山層), 왕씨층 (王氏層)이다. 전기 백악기에 속하는 래양층은 적색과 비적색 하호성 퇴적물로 구성되며 역암, 사암, 셰일을 포함한다. 청산층 역시 전기 백악기에 속하는데 여러 종류의 화산암으로 구성된다. 후기 백악기에 속하는 왕씨층은 적색의 역암, 사암, 셰일 등으로 구성된다. 아스팔트, 기름 냄새, 스며 나온 기름 등의 다양한 형태의 유징이 여러 지역의 노두에서 관찰되지만 유전은 발견되지 않았다. 3개의 지층 중에서 비교적 풍부한 유기물을 포함하는 지층은 래양층이다. 래양층의 일부 흑색 혹은 회색 셰일의 유기물 함량은 1% 이상이며, 타입 I 혹은 타입 II의 특성을 가지는 유기물 기원의 케로젠을 포함하는 층준들이 있다. 열적 성숙도는 주 석유 생성단계에 도달하였고, 석유생성 잠재력도 비교적 높아 래양층의 흑색 셰일은 석유 근원암으로 유망하다.

**주요어** : 교래분지, 인리형 분지, 백악기 육상분지, 유징, 근원암, 열적 성숙도

**Abstract** : Jiaolai Basin is the Cretaceous continental sedimentary basin developed in Shandong Province of China. It is interpreted as a pull-apart basin which is filled with fluvio-lacustrine sediments and volcanic rocks. The sedimentary strata are divided into three formations: Laiyang Formation, Qingshan Formation and Wangshi Formation in ascending order. Laiyang Formation of the early Cretaceous consists of conglomerate, sandstone and shale, which are grey, black or red in color, respectively. Qingshan Formation of early Cretaceous includes various kinds of volcanic rocks. Late Cretaceous Wangshi Formation consists of red conglomerate, sandstone and shale. Various types of oil shows are observed on many outcrops in the basin such as asphalt filling fissures, oil smelling, rocks wetted with oil. However, commercial oil discovery was not made. Laiyang Formation is the richest in terms of organic matter contents. Some grey or black shales of Laiyang Formation contain more than 1% of organic matter. Kerogens of some layers mainly consist of amorphous organic matter or pollen. Thermal maturity of the organic matter reached main oil generation zone and hydrocarbon genetic potential is fairly good. According to such geochemical data, some layers of Laiyang Formation can act as hydrocarbon source rocks.

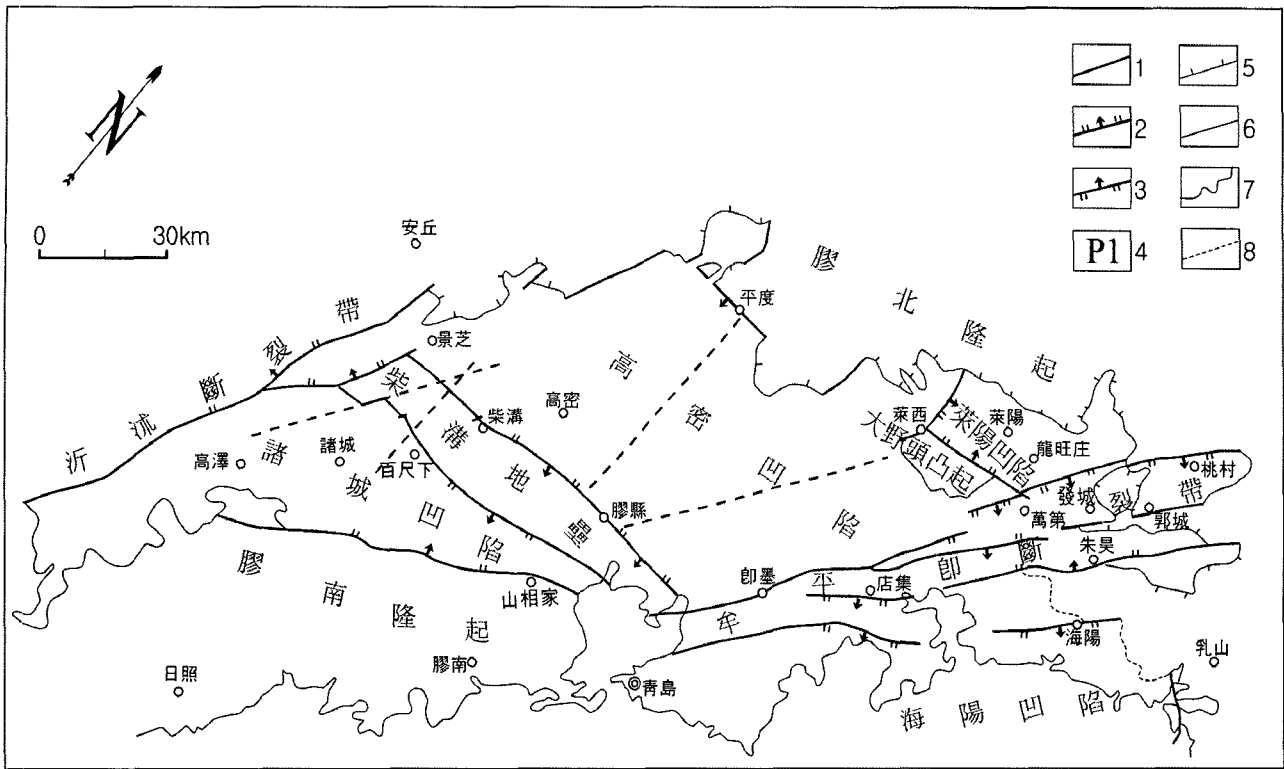
**Keywords** : Jiaolai Basin, pull-apart basin, Cretaceous nonmarine basin, oil show, source rock, thermal maturity

## 서론

교래분지는 중국 산둥반도의 탄루 단층대 동쪽에 발달하는 백악기 육상 퇴적분지로 인리형 분지이다 (Fig. 1). 분지 내에서 상업적 석유발견은 이루어지지 않았지만 여러 지역의 노두와 시추공에서 유징이 관찰되었고, 석유 근원의 조건을 갖춘 지층들이 발달한다. 교래분지는 서해의 퇴적분지 즉 근산분지와 매우 가깝게 위치하므로 교래분지에 대한 지질학적 정보는 서해 대륙붕 석유탐사에 도움이 될 수도 있을 것으로 생각된다 (오재호 외, 2003; 한국석유공사, 2000). 이에 따라

중국 지질학자들의 연구결과 중에서 층서에 대한 것과 저자들이 분석한 유기지화학적 특성을 소개하고자 한다. 층서 부분은 주로 중국의 陸克政 등 (1994)이 저술한 “膠萊盆地的形成和演化”에서 발췌 번역한 것이다. 유기지화학 부분은 저자들이 시료를 직접 채취하여 Rock-Eval 열분석을 하고 케로젠을 추출하여 관찰한 결과이다. 래양층의 회색 혹은 흑색의 세립질 암석을 채취하여 총유기탄소 함량, 열적 성숙도, 석유생성 잠재력 등의 화학분석을 수행하였고, 시료를 산처리하여 케로젠을 추출한 후 광학 현미경으로 관찰함으로써 유기물의 종류를 분석하였다.

\*한국지질자원연구원 석유해저자원연구부 (Petroleum and Marine Resources Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea)



1-단층, 2-정단층, 3-역단층, 4-원고계, 5-백악기첨멸선, 6-침입절촉식, 7-해안선, 8-단면선

Fig. 1. Structural map of the Jiaolai Basin.

## 총 서

교래분지를 채우는 백악기 성층암은 전기 백악기의 래양층과 청산층, 후기 백악기의 왕씨층으로 구성되며 국지적으로 고제3기의 황현층에 의하여 부정합으로 피복되어 있다. 육성쇄설암과 화산암류로 구성되며 주로 교래분지 내부에 분포되나 일부는 교북용기부와 교남용기부에 잔류한다 (Fig. 1). 광역 변성 작용이 없었으며 습곡 작용도 분명치 않다. 다만 강한 단층 작용이 관찰된다. 하위 기반암층과는 부정합적으로 접촉한다.

### 래양층 (萊陽層: Laiyang Formation)

래양층은 분지 서북부 대야두 등 국부적인 부분을 제외하고는 교래분지의 전 지역에서 분포되며 암상과 두께 변화가 비교적 크다. 萊陽 동부 지역에서는 최대 두께가 3,000m이고, 諸城 지역의 최대 두께도 2,500m를 넘는다. 전반적인 추세는 남부와 동부지역에서 두껍고 북부와 서부에서는 두께가 얇다. 분지 형성 말기 구조운동의 영향으로 래양층은 분지 남부의 五蓮 諸城 皇華店 지역, 중부의 柴溝 지역과 동북부의 萊陽, 海陽 지역에 넓게 노출된다. 다른 대부분 지역은 청산층과 왕씨층 아래에 놓여 있다. 전체적으로는 諸城 지역에 제일 깊게 매몰되어 있으며 층후가 5,000m를 넘는다. 분지 연변의 海陽, 五蓮 등의 지역에 대량의 관입암체가 있어서 접촉 변성작용도 발생하였다. 분지 내부에는 관입암체가 드물고 분명한 접촉 변성 작용이 발견되지 않는다. 래양층은

후기 단층으로 다양한 규모와 형태의 불력으로 절단된다. 분지 동부의 桃村-即墨 지역에서 단층 절단이 제일 심하다. 그 다음은 분지 중부의 膠縣-柴溝 지역이다. 단층의 절단이 제일 약한 지역은 분지 남부의 諸城 지역이다. 상기의 요인들 때문에 각 시기의 퇴적양상을 복원하기가 어렵다. 래양층의 지질시대와 지층 구분에는 과거에는 조사자 마다 많은 견해가 있어 왔으나 80년대 초부터 지금까지 래양층에서 다량의 지층 구분 표준화석을 발견하였으며 동위원소 연령 자료에 의하여 전기 백악기로 의견이 일치하였다. 래양층은 하호상쇄설암에 박층의 백운암이 들어있는 것이 특징이다. 萊陽 지역 瓦屋岬에서 修家溝까지의 지질단면 조사에 의하여 하부로부터 6개의 층원 즉 逍仙庄, 止馬庄, 馬耳山, 水南, 龍旺庄, 曲格庄層員으로 구분되었다 (Fig. 2). 소선장층원은 그 자체로서 1회의 퇴적 유희층을 구성하며, 상위 구간인 지풍장층원, 마이산층원, 수남층원, 용왕장층원과 곡격장층원은 또 다른 완전한 유희퇴적층을 구성한다. 두 개의 유희 사이의 접촉은 래양지역에서 경사 부정합 관계이며 다른 지역의 경우 평행부정합 또는 정합관계이다. 래양층의 상한은 상위 지층인 화산암 위주의 청산층과 접촉부이며 하한은 고생대 지층과의 부정합면이다.

### 소선장층원 (逍仙庄層員: 두께 102 m)

소선장층원은 회색, 회녹색 세일, 실트암을 위주로 하고 대량의 개갑류와 식물화석이 산출된다. 하위층은 전기 원생대에 해당되는 형산군의 흑운모 편암이고 대부분정합 관계를

계통	층	층원	층후(m)	암상	기재
白堊系	上白堊統	王	6	1163	2nd cyclothem: fluvial → lacustrine → fluvial
		氏	5	1044	
		層	4	540	
		統	3	378	
		層	2	300	
		層	1	405	
	下白堊統	青	3	1005	Top: conglomeratic coarse sandstones with feldspar sandstones, basalt, andesite basalt with olivine basalt, volcanic breccia
		山	2	276	Andesite, andesite basalt, andesite porphyrite
		層	1	371	Tuff, volcanic breccia, andesite
	白堊系	萊	曲	562	Purplish brown, grey conglomerates, sandy conglomerates, sandstones and mudstones, containing bivalvia, gastropoda and ostracode
格					
庄					
龍					
旺					
庄					
陽			427		
系	統	水	320	Greyish black, greyish green thin-bed shales, dolomites and siltstones with silty micrites and marls. Containing abundant fossils	
		南			
		層			
		馬			
		耳			
山	123	Greyish green, greyish yellow shales and siltstones with some marls and silicalites, only a few plant remains.			
止	138	Greyish purple, greyish brown granule, cobblestone, boulder conglomeratic sandstones, a few plant remains.			
風	102	Greyish black, greyish green shales and siltstones, containing abundant estheria and plant remains			
庄					
仙					
庄					
元古界					

Fig. 2. Columnar section of the Cretaceous strata in Jiaolai Basin.

나타낸다. 화석은 개갑류: *Diastheria* sp., *Yanjiestheria sinensis*, *Y. kyongsangensis*, 식물: *Otozamites* sp. (양치류), *Elatocladus* sp., 식물화석 파편 등이 확인된다. 소선장 시기에는 제성과 래양지역에 소분지가 두 개 형성되었다. 오런지역에서는 두께가 500 m에 달한다. 기저부에는 이류 (mud flow)의 빠른 퇴적상을 보이며 상부는 사행 하천 퇴적상이다. 제성지역의 경우, 기저부의 선상지 정부 역암에서 위로 선상지 발달의 층적 선상지와 하성층과 천호-심호상으로 발달한다. 牟平-즉묵 단층대 북부에서는 층후가 1,370 m이며, 반 건조 기후의 홍적, 층적 선상지, 망상 하천 퇴적상을 보

인다. 래양소분지에서 본 층원의 두께는 800 m이다. 하부에서 상부로 가면서 완전한 호침-호퇴 층서를 보인다. 주된 퇴적상은 선상지 삼각주에서 호수로 이동하는 체계이다. 깊은 호수 안에 퇴적된 저탁류암과 폭풍 기원 퇴적암이 나타나기도 한다. 소선장층원 퇴적 말기에는 호퇴 현상이 일어났는데 북부에서 강렬하였으며 퇴적 정부가 삭박되기도 하였다.

**지풍장층원 (止風庄層元: 두께 138 m)**

본 층원의 구성암석은 회자색, 회갈색 세립 역암과 조립 역

암, 거력암, 함력 사암 등이다. 상부로 가면서 차츰 실트암이 많아진다. 본 층원의 중부에는 소량의 회녹색 실트암이 들어 있다. 식물화석 *Onychiopsis* sp. (양치류) 및 식물 파편이 소량 발견되며 하위의 소선상과는 부정합 내지 가정합이다. 지풍장 시기에 전 지역이 건조-반건조 기후 환경으로 적색 퇴적층이 대부분이다. 모평-즉묵 단층대가 퇴적분지를 통제하였으며 海洋 朱뿔 지역의 경우 층후가 800m에 달한다. 래양소분지의 경우 산록 선상지 퇴적이 발달되었다. 大野頭 응기의 북측에서는 층적선상지를 형성하였고, 高密소분지에는 적색 쇄설암이 대부분이다. 제성소분지의 경우 하성 퇴적상을 보인다.

**마이산층원 (馬耳山層員: 두께 123 m)**

본 층원은 회녹색, 회황색 셰일과 실트암이 호층을 이루고 있다. 소량의 이회암과 규질암이 들어 있다. 화석이 드물고 식물화석의 파편이 나타난다. 하위의 지풍장층원과는 정합관계이다. 마이산 시기는 아직 건조-반건조 기후로서 구조운동이 약해지고 분지 내 지형변화가 완화되었다. 따라서 비교적 안정된 퇴적작용이 일어났으며, 천호수 퇴적상을 보인다.

**수남층원 (水南層員: 두께 320 m)**

본 층원은 회흑색, 회녹색의 얇은 층상 셰일, 백운암, 실트암을 위주로 구성되는데 실트질 미크라이트와 이회암 등이 협재된다. 회흑색 셰일과 실트암에 때로는 황철석 결정이 들어 있다. 하위의 마이산층원과는 정합관계이다. 본 층원에는 다음과 다량의 곤충, 물고기, 개갑류 및 식물화석이 함유된다.

- 담수어류: *Lycopera sinensis*, *L. laiyangensis*, *Sinamia* sp.
- 개갑류 : *Yanjiestheria longa*, *Y. yumenensis*, *Y. wannanensis*, *Y. quadratoides*, *Y. kyongsangensis*
- 복족류 : *Cincinia zhuchenensis*
- 곤충 : *Mesolygaeus laiyangensis* (딱정벌레), *Proteroscaraeus yeni* (풍뎅이), *Palaeopsis beipoziensis* (벌), *Sinaeschinidia heishankowensis* (잠자리)
- 식물화석: *Cupressinocladus elegans* (측백류), *C. gracilis*, *Brachiophyllum obesum* (측백류), *Onychiopsis* sp. (양치류), *Ptilophyllum boreale*, *Sagenopteris laiyangensis*, *S. jiaodongensis*, *Gennitzia* sp., *Cyparissidium* sp., *Zamites* sp., *Wlatides* sp., *Solenites murrayana*

수남층원 퇴적시기의 기후는 따뜻하고 습하였으며 분지 수위가 높았다. 수역이 가장 넓었으며 단일분지를 형성하였다. 침강의 중심은 제성소분지와 모평-즉묵 단층대에 해당된다. 퇴적 중심은 상기 두 군데 외에 래양소분지도 해당된다. 호수만, 삼각주, 호저 선상지와 비교적 깊은 호수에 화산 쇄설물과 호수 퇴적물이 포함되었다. 고밀소분지는 수심이 깊은 곳의 면적이 좁고 퇴적 시간이 짧다. 자료의 부족으로 정확한 소분지 발달 과정을 설명하기 어렵다.

**용왕장층원 (龍旺庄層員: 두께 427 m)**

본 층원을 구성하는 암석은 회자색, 회녹색 세립 사암, 실트암, 실트질 이암의 호층이지만 이회암이 미약하게 들어 있다. 암석들은 일반적으로 석회질을 함유한다. 남무촌에서는 본 층원 하부에서 곤충화석이 발견되었으나 전반적으로 산출이 드물다. 상위와 하위 층원과는 정합관계이다. 용왕장 시기의 구조운동이 차츰 활발해지며 지형 고도의 차이도 증가한다. 기후는 아습윤 아열대 기후로 변화하였다. 래양소분지와 토촌-즉묵 단층대에는 하류-삼각주상을 위주로 한다.

**곡격장층원 (曲格庄層員: 두께 562 m)**

본 층원의 시기에는 구조운동이 비교적 강하였다. 기후는 건조 내지 반건조 기후였다. 남부 지역은 상승하여 삭박되었고, 북부 지역과 단층대에는 층적 퇴적상이 발달하였다. 화산재와 화산 각력이 혼입되기도 하였다. 주요 암석은 역암, 회색역암, 사력암, 사암, 실트질 이암과 이암이 호층을 구성하는 것이 특징이다. 이암에 풍부한 쌍각류, 복족류와 개형충화석이 있다. 그 이외에 래양 청산구와 마에구 등 여러 지역에서 공룡화석이 발견되었다. 종류별로 화석은 다음과 같다.

- 이매패류: *Nakamuraia chingshanensis*, *N. elongata*, *N. aff. yongkangensis*, *Nippononio zhujiazhuangensis*, *N. laiyangensis*, *Sphaerium* sp.
- 복족류 : *Ammicola* sp.
- 개형충 : *Eucypris infantilis*, *Cyclocypris subovata*, *Ziziphocypris simacovi*, *Cypridea (Ullwellia) tumida*, *Drungarcia* sp., *Jinguella* sp.
- 공룡 : *Psittacosaurus sinensis*

**청산층 (靑山層: Qingshan Formation)**

청산층은 전기 백악기의 후기에 해당되며 암상이 복잡한 화산암과 화산 쇄설암 복합체이다. 극소량의 규질 쇄설암이 들어 있다. 화산암에 보통 기공과 행인상 구조가 보이고 대륙 화산 분출형이다. 그 분포는 단층대 위에 위치한 화산 분화구에 좌우된다. 당시에 분화구는 대부분 모평-즉묵 단층대에 집중적으로 분포되었다. 즉묵지역에서 청산층이 가장 두꺼워 2,000m가 넘는다. 제성소분지에서 180~2,027m이고, 래서 지역에서 1,100m, 래양소분지에서 360~1,000m, 安丘에서는 1,186m이다. 전체적으로 말하면 분지 동남부의 두께가 서북부보다 두껍다. 지역에 따라 암상과 층후는 다양하다. 즉 분지 남부에서는 3 시기로 나눌 수 있으며, 중성-산성 화산암을 위주로 하여 안산암, 안산암질 조면암, 유문암, 화산집괴암, 응회암, 응회질 사력암으로 구성된다. 반면에 분지북부는 2 시기로 나뉘어 진다. 즉 중성-염기성 용암을 위주로 하여 안산암, 현무암, 응회암, 응회질 사암으로 구성된다. 청산층과 하위의 래양층은 부정합으로 접촉한다. 분지 가장자리에서는 주로 경사부정합이나 분지 내부에는 평행부정합이 대부분이다. 청산층은 분지의 남, 동, 북부 연변에서 지표로 노출한다. 분지 서부 연변에서는 제4기층 아래에 놓이며, 분지 내

부에서는 주로 왕씨층 아래에 놓여 있다. 제성, 교현, 래양, 평도 등의 지역에서는 깊게 매몰되며, 제일 깊은 곳은 5,000 m에 달한다. 현재 청산층과 래양층의 분포 범위는 대체적 비슷하나 교북, 교남 두 읍기부에는 많은 청산층의 잔류체가 있어 청산층의 분포 범위는 래양층보다 크다고 볼 수 있다. 청산층은 래양지역에서 부정합으로 하위의 원생대 형산군(흑운모 편암)을 피복하고 있다. 청산층을 세분하면 3개의 층원으로 구분된다.

#### 하층원 (1층원: 두께 371 m)

래양 南小平-孫家 峯 단면에서 두께가 371 m에 달한다. 상부는 회록색 점토와 유문질 응회암에 다사이트질 화산각력암으로 두께는 61 m이다. 중부는 다사이트질 화산각력암, 응회질 역암에 회색 부식 변질 안산암으로 구성되며 층후 53 m이다. 하부는 다사이트질 화산각력암, 용암 각력 응회암에 안산질 집괴 화산 각력암으로 구성되며 층후는 117 m이다. 기저부는 응회질 사질 석회암에 회백, 회녹색 층상 유문질 응회암으로 구성되며 기저부의 중, 상부에는 유문질 유리질 응회암, 각력 응회암의 층리가 발달한다. 두께는 140 m에 달한다.

#### 중층원 (2층원: 두께 276 m)

래양 남소평-손가천 단면에서 두께가 276 m에 달하고, 상부는 안산질 집괴암과 각력암으로 구성되고 층후는 187 m 정도이다. 하부에는 안산암, 안산질 집괴암에 안산질 결정질-석질 응회암이 발달되며 두께가 39 m이다.

#### 상층원 (3층원: 두께 1005 m)

래양 大河口-紅土頂 단면에 잘 발달되며 두께가 1,005 m에 달한다. 최상부는 자회색 안산암, 안산질 화산 각력암, 용암 각력암으로 구성되고 층후는 172 m 정도이다. 상부는 자회색 안산 현무암, 회색-회흑색 감람 현무암으로 되어 있고 층후 453 m 정도이다. 중부에는 회흑색 감람현무암 하위에 회자색 실트암과 사암이 협재되며 층후 175 m이다. 하부는 회색 감람 현무암에 회자색 실트암과 소량의 황색 중립암 실트암으로 구성되고 층후는 205 m이다.

#### 왕씨층 (王氏層: Wangshi Formation)

왕씨층은 하성 퇴적상의 적색 쇄설암에 천호빈상 잡색 쇄설암과 소량의 이회암으로 구성되며 6개 층원으로 나누어진다. 1, 2, 3층원은 하부 윤회 퇴적층을 구성한다. 자색-갈색 이질 실트암, 이질 사암, 실트질 이암 위주로 구성되며 실트암과 이회암을 협재한다. 기저에 역암이 발달한다. 4, 5, 6층원은 상부 윤회 퇴적상을 구성한다. 세력암, 이질 사암, 이질 실트암, 이암의 호층에 이회암이 협재된다. 본 층에는 공룡 몸체, 공룡 알, 복족, 쌍각 개형충과 포자화분 화석이 보였다. 후기 백악기는 건조 기후, 산화 환경의 퇴적시기로 주로 중부와 서부, 북부에 분포한다. 래양-죽목 서부, 오련, 제성

이북, 래양, 평도, 고밀, 안구 등의 지역이다. 두께는 일반적으로 2,000~4,000 m이다. 고밀소분지에서는 시추 자료에 의하면 두께가 1,000~1,500 m이다. 본 층의 분포와 두께는 단층운동에 좌우된다. 제성지역에서는 百尺河 단층에 의해 통제된다. 북부가 두껍고 남부는 얇게 분포한다. 고밀지구는 주로 膠縣 단층의 통제를 받으며 평도단층도 통제작용을 하여 남부 양측이 두껍고 중간이 얇다. 이 지역의 많은 북서향, 북동향, 북북동향과 동서향 단층이 왕씨층의 두께에 영향을 미친 것으로 보인다. 래양지역은 五龍村 단층과 래서단층의 영향을 받아 남서부가 두껍고 북동부가 얇다. 桃村 지역에서는 도촌-東陡山 단층의 영향을 받았다. 왕씨층과 하위의 청산층은 부정합으로 접촉한다. 왕씨층의 분포 범위는 분명히 청산층과 래양층보다 작다. 래양 金剛口-紅土崖 단면의 왕씨층을 세분하여 층원별 암상 및 화석의 특징을 기술하면 아래와 같다.

#### 1층원 (두께 405 m)

본 층원의 주요 암석은 하부에 자홍색 암설 사암에 사력암이 발달하고, 상부에는 두꺼운 층상 역암과 사력암 위로 자홍색 암설 사암에 사력암이 나타난다. 공룡화석 *Psittacosaurus sinensis*, *P. youngi*, *P. sp.*이 발견되었다.

#### 2층원(두께 378 m)

본 층원의 주요 암질은 암자색, 회녹색 이질 실트암, 이회질 세립 암설사암에 층상의 마이크로이트, 이회암, 생물기원 쇄설 석회암이 협재된다. 석회암에 복족류와 이매패 화석이 보존되나 상태가 좋지 않아 감정하는 것이 어렵다.

#### 3층원 (두께 540 m)

하부에는 자색, 홍색의 함력 조립 장석사암, 사력암, 세립 장석사암, 실트암이 발달하고 가끔 실트질 사질 석회암이 협재된다. 상부는 홍색 이질 실트암에 홍색, 회백색 함력 조립 암설 장석사암이 들어있다. 화분·포자 화석인 Pinaceae (소나무과)가 나타나며 혼적화석인 *Scoyeni* sp.가 풍부하다.

#### 4층원 (두께 1,044 m)

잡색 역암, 사력암, 함력 조립 암설사암, 장석 암설사암이 호층을 이룬다. 중간에 붉은 벽돌색의 두꺼운 층후를 가지는 세립질 암설 사암이 들어있다. 화분·포자인 Pinaceae (소나무과), *Osmunda* sp. (양치류), *Schizaeosporites* sp.와 하부에 공룡화석 *Tanius sinensis*와 공룡 알 화석이 산출된다.

#### 5층원 (두께 1,163 m)

하부는 회백색 사력암과 전홍색 실트암이 호층을 이루고 상부는 전홍색 석회질 실트암과 이암을 위주로 하는 회백색 사력암, 함력 조립 사암으로 구성된다. 최상부는 황녹색, 자색 사질 이암에 사질 석회암과 이회암이 발달한다. 두께는 1,163 m이다. 본 층원에 풍부한 개형충, 복족류와 포자화분

화석 뿐만 아니고 상부에 공룡화석과 공룡 알 화석이 들어 있다.

개형충 : *Candona* cf. *voctangulata*, *C. laiyangensis*, *Cypridea* (*Morinia*) *laiyangensis*, *C. (Pseudocypridea)* *gigantea*, *Cristocypridea* *subturgida*, *C. amoena*,

복족류 : *Camplona* sp., *Hydrobia* sp., *Physa jingankouensis*, *P. shandongensis*, *Pseuduancylastrum jingankouensis*

화분·포자: Pinaceae (소나무과), *Brachyphyllum* sp. (측백류), *Quercus* sp. (참나무), *Ginkgo* sp. (은행), *Cycas* sp. (소철), *Cicatricosporites* sp. (양치류), *Kulkisporites* sp., Salvivaceae

공룡 : *Tanius chinkankouensis*, *Tsintaosaurus spinorhinus*

**6층원**

상부는 자색 함력 사질 실트암, 하부는 회백색 역암으로 되어 있다. 본 층원의 노출이 완전하지 않고 분포가 분산되어 있어서 정확한 두께를 추정하기 어렵다. 본 층원은 화석이 드물고 기반암인 원고계 변성암과는 단층접촉을 한다.

**지화학적 특성**

화학분석을 위한 시료는 래양층의 소선징층원, 수남층원의 회색 혹은 흑색의 세립질 암석으로부터 10개를 채취하였으며, 이들 중에서 6개가 분석되었다 (Fig. 3). 분석된 시료들은 0.15%-1.50%의 총유기탄소 함량을 보이는데 1개 시료를 제외하면 모두 0.5% 이상이다 (Fig. 3, Table 1). Rock-Eval 열분석에 의하면 암석의 탄화수소 생성 잠재력 (S2)은

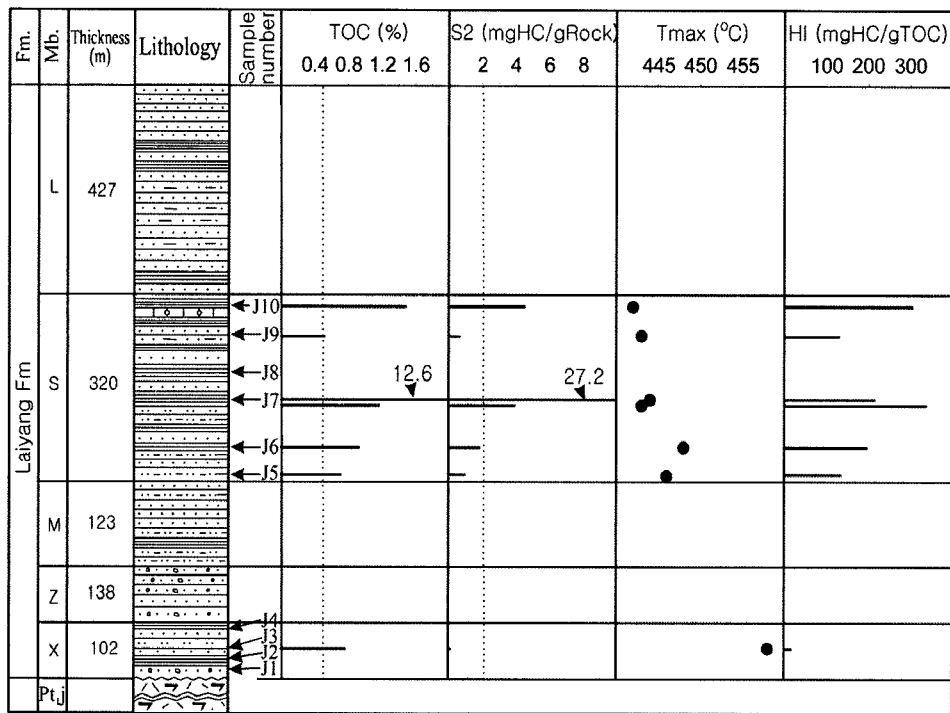


Fig. 3. Summary of Rock-Eval pyrolysis data. L: Longwangzhuang Mb., S: Shuinan Mb., M: Maershan Mb., Z: Zhifengzhuang Mb., X: Xiaoxianzhuang Mb.

Table 1. Pyrolysis assay data and TOC and mineral carbon contents

Sample	S1	S2	Tmax	HI	OI	TOC	Min. C	CaCO <sub>3</sub>
J10	0.52	4.60	442	307	59	1.50	3.97	33.1
J9	0.26	0.70	443	132	143	0.53	4.85	40.4
J7(coal)	1.15	27.22	444	216	52	12.61	9.73	81.1
J7	0.20	4.00	443	339	49	1.18	5.47	45.6
J6	0.11	1.86	448	198	90	0.94	4.35	36.2
J5	0.59	0.99	446	136	68	0.73	4.65	38.8
J3	0.02	0.15	458	19	88	0.78	1.32	11.0
J1	0.07	0.05	348	33	553	0.15	2.14	17.8

S1, S2: mgHC/gRock; Tmax: °C; HI: mgHC/gTOC; OI: mgCO<sub>2</sub>/gTOC; TOC, Min. C: %; CaCO<sub>3</sub>: %, calculated from mineral carbon content

0.05 mgHC/gRock에서 4.60 mgHC/gRock 사이에서 변화한다. 수남층원 시료의 탄화수소 생성 잠재력이 소선장층원보다 높으며, 특히 두 개의 시료 (J7 and J10)는 상당히 높은 각각 4.00와 4.60 mgHC/gRock의 S2 값을 보인다. 유기물의 탄화수소 생성 잠재력도 (HI) S2 값과 마찬가지로 수남층원이 소선장층원보다 높으며 상기의 2개 시료가 각각 307 mgHC/gTOC와 339 mgHC/gTOC의 비교적 양호한 탄화수소 생성 잠재력을 보인다. 유기물의 열적 성숙도를 나타내는 Tmax는 1개 시료를 제외하고는 442°C에서 458°C 사이에서 변화한다. 이러한 Tmax 값은 열적 성숙도가 주 석유생성 단계에 도달하였음을 보여주는 것이다. 또한 Tmax는 층서적으로 하위로 가면서 규칙적으로 증가한다 (Fig. 3). 이러한 Tmax 변화 형태는 열적 성숙도가 현재의 단계에 도달한 이후 교래분지에서 구조운동이 일어났다는 것을 뜻한다. 왜냐 하면 분석된 시료들은 모두 층서상 위치가 다른 지표 노두에서 채취되었으며, 구조운동 이후에 열적 성숙이 진행되었을 경우에는 층서상의 위치가 다를지라도 동일한 열적 성숙 단계를 보이기 때문이다. 열적 성숙도가 구조운동 이전에 현재 상태에 도달하였을 경우에는 석유 저류층 및 덮개암 형성에 부정적일 수도 있다. 그것은 구조 운동으로 인하여 이미 형성되었던 석유 광상이 파괴될 수도 있기 때문이다. 이러한 열적 성숙 특성이 많은 노두의 유징에도 불구하고 교래분지에서 상업적 석유발견이 되지 않은 원인의 하나일 가능성을 배제할 수 없다.

Rock-Eval Tmax-HI 다이어그램과 OI-HI 다이어그램을 그려보면 분석된 시료들의 유기물은 대부분 케로젠 타입 III

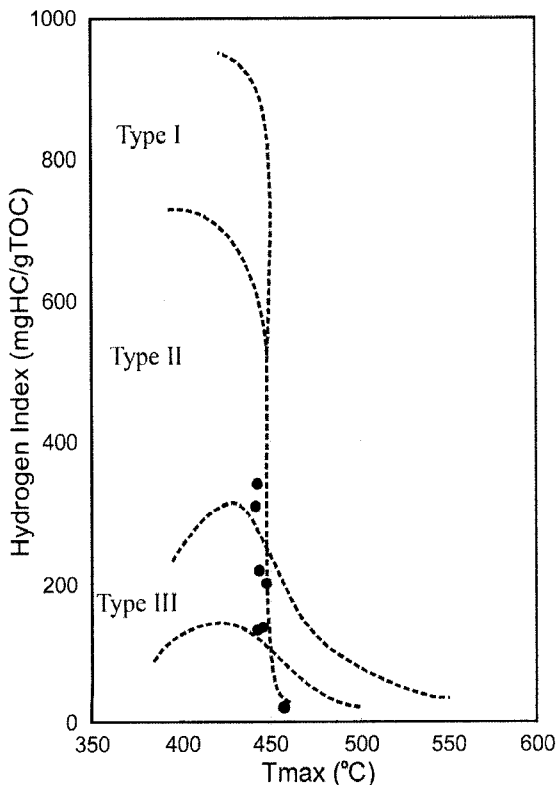


Fig. 4. Kerogen typing by Rock-Eval Tmax-HI diagram.

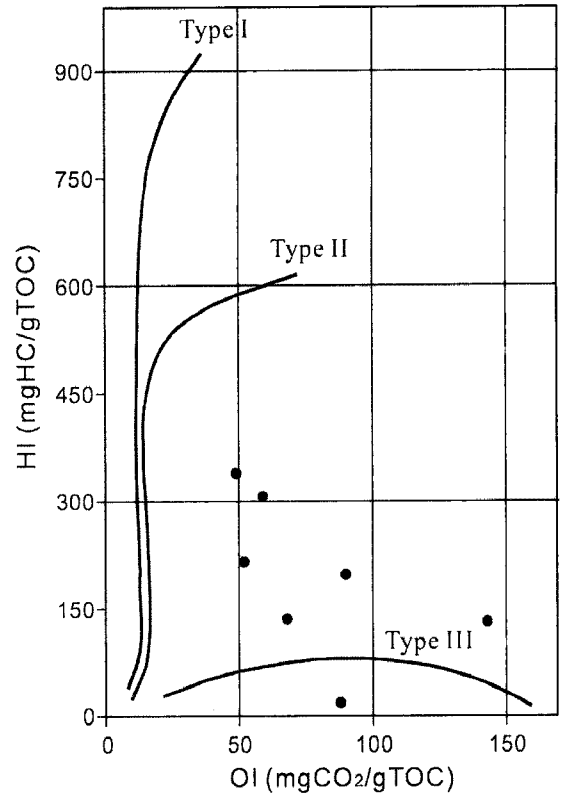


Fig. 5. Kerogen typing by Rock-Eval HI-OI diagram.

의 진화 경로에 위치하고 탄화수소 생성 잠재력이 높은 2개 시료는 케로젠 타입 II의 영역에 위치한다 (Figs. 4, 5). 한편 케로젠의 현미경 관찰 결과를 보면 소선장층원의 케로젠은 목질 기원의 유기물이 대부분을 차지한다. 따라서 타입 III 케로젠에 비교할 수 있다. 반면에 수남층원의 케로젠은 무정형 유기물이 대부분을 차지하는 것과 화분이 대부분을 차지하는 것으로 구분되는데 이들은 케로젠 타입 I 혹은 II와 유사한 특성을 가진다. 이러한 케로젠의 현미경 관찰 결과는 열분석 결과가 대부분 타입 III 케로젠 특성을 보여 주는 것과는 차이가 있다. 이와 같이 화학분석 결과와 현미경 관찰 결과에서 차이가 나는 원인으로 우선 타입이 다른 케로젠의 혼합을 들 수가 있다. 즉 타입 I 케로젠과 타입 III 케로젠이 혼합되었을 경우 혼합 비율에 따라 화학분석 결과는 타입 II 혹은 III의 특성을 보일 수 있다. 그러나 수남층원의 케로젠에서는 시료에 따라 무정형 케로젠 혹은 화분이 70% 이상을 차지하기 때문에 혼합 효과는 크지 않을 것으로 생각된다. 다른 원인으로는 케로젠의 열적 성숙 자체를 생각할 수 있다. 열적 성숙이 진행됨에 따라 타입 I 혹은 타입 II 케로젠의 수소함량이 타입 III 케로젠에 비하여 현저히 빠르게 감소함으로써 케로젠의 타입에 따른 화학적 특성 차이가 사라질 수 있다. 이 연구에서 분석된 시료들이 이 경우에 해당하는 것으로 생각된다. Fig. 4에서 분석된 시료들의 열적 성숙도가 케로젠 타입 사이의 화학적 특성이 사라지는 경계 부근에 도달한 것으로부터 이러한 해석이 가능하다.

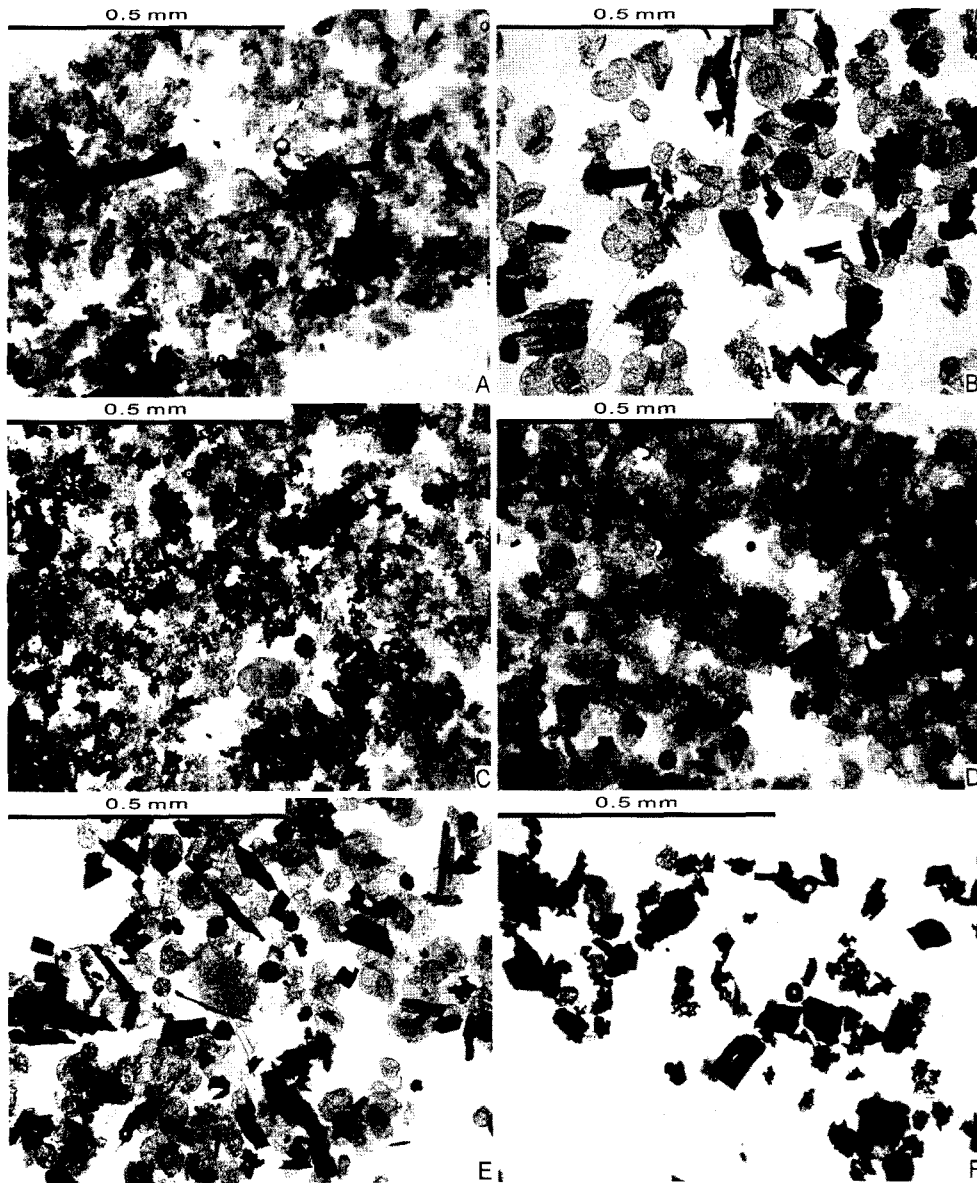


Fig. 6. Photomicrographs of kerogen. A: sample J10, B: sample J9, C: sample J7, D: sample J6, E: sample J5, F: sample J3.

### 결론

중국 산둥반도에 분포하는 백악기 육상 퇴적분지인 교래분지는 인리형 분지로 하호성 퇴적물과 화산암으로 구성된다. 전기 백악기에 속하는 최 하위의 래양층은 적색과 비적색 하호성 퇴적물로 구성되며 역암, 사암, 셰일을 포함한다. 칭산층 역시 전기 백악기에 속하는데 여러 종류의 화산암으로 구성된다. 후기 백악기에 속하는 왕씨층은 적색의 역암, 사암, 셰일 등으로 구성된다. 3개의 지층 중에서 비교적 풍부한 유기물을 포함하는 지층은 래양층이며, 래양층 수남층원의 흑색 혹은 회색 셰일은 0.5% 이상의 총유기탄소를 포함한다. 화학분석 결과는 대부분 타입 III 케로젠에 비교되는 특성을 보이지만 현미경 관찰 결과는 수남층원 케로젠은 유기물은 타입 I 혹은 타입 II의 특성을 가지는 유기물에서 기

원한 것으로 보게 한다. 열적 성숙도는 주 석유 생성단계에 도달하였고, 석유생성 잠재력도 비교적 높아 래양층의 흑색 혹은 회색 셰일은 석유 근원암으로 유망하다.

### 참고문헌

- 陸克政, 戴俊生, 1994, 月交萊盆地的形成和演化, 石油大學出版社, 174p.
- 오재호, 정태진, 선우 돈, 이영주, 2003, 한·중 인접 퇴적분지 공동조사 연차보고서, 한국지질자원연구원 연구 보고서, 114p.
- 한국석유공사, 황해 및 인접 지역의 한중 퇴적분지대비, 한국자원연구소 용역 보고서, 231p.

(2006. 1. 4. 원고 접수)  
(2006. 5. 10. 수정본 채택)