

## 중국 대경 유전에 대한 고찰

### An Overview of the Daqing Oil Field in China

박세진 (Se-Jin Park)\* · 유인창 (In-Chang Ryu)\*\*

**요 약 :** 본 단보는 2002년 7월 30일부터 8월 8일까지 길림 대학교 (Jilin Univ., 중국 장춘 소재)에서 개최된 제9차 한중 공동 심포지움 (주제: Crustal Evolution in NE Asia)의 발표에 이은 야외조사에서 중국 Daqing (大慶) 유전 현장을 방문, 다양한 정보를 획득하였기에 회원들과의 지식 공유를 목적으로 작성되었다.

#### 유전개요

대경 (Daqing) 유전은 중국 흑룡강성 (黑龍江省, HeiLongJiang) 하얼빈 (哈爾濱, Harbin) 북서쪽 300 km Anda (安達) 근처를 중심으로 위치하고 있는 유전으로 2001년 중국 내 생산량인 약 11.7억 bbl의 47.2%를 차지하고 있는 중국 내 최대 유전이다 (Fig. 1). 동 유전은 1959년에 발견, 1960년대 개발을 개시하여 76년 이후 계속하여 연간 3.5억 배럴이상 (일산 약 100만 bbl)을

생산하고 있다. 지금까지 개발된 30개 유전 중 1998년까지 24개 유전에서 약 39,472공 (수주입공 13,242 공 포함)을 시추, 최근 24년 이상 일일생산량 1백만 배럴이상 생산하여 누적생산량이 110억 배럴에 달하고 있다. 현재 잔존가채매장량은 160억 배럴이상으로 알려져 있다.

#### 지리적 위치

대경 (Daqing) 유전은 지리적으로 서북쪽으로는 DaHingGan Mts. (大興安嶺), 동북쪽으로 XiaoHingGan Mts. (小興安嶺) 및 동남쪽으로 ZhangGuanCai Mts. 등으로 둘러싸여 있다. 유전 내 주요도시로는 남북방향으로 남쪽으로부터, ChangChun (長春), Dehui (德惠), Harbin, Anda, Daqing, Qiqihar (齊齊哈爾) 등이 있다 (Fig. 1).

#### 분지개요

대경유전이 위치하고 있는 Songliao (松遼) 분지는 약 260,000 km<sup>2</sup>의 면적을 갖는 대규모의 중생대 및 신생대 퇴적 분지로 퇴적층 두께는 5,000~6,000 m에 달하며, 크게 7개의 광역지구조인 중앙함몰대, 서부사면, 남동용기대, 북동용기대, 북부압축대, 남서용기대, Kailu 함몰대로 구분할 수 있다 (Fig. 2). 동 유전은 대부분이 송요분지의 중앙 함몰대의 완배사 형태의 용기구조 (placanticline\*) 내에 위치한다.

(\***placanticline**: A gentle anticline-like uplift of the continental platform, usually asymmetric and without a typical outline. There is no corresponding syncline-like structure. 이 용어는 Volga-Ural 지역의 러시아측 문헌에서 주로 사용되며, 서방측은 plains-type fold라고도 칭함)

이 배사구조대는 NNE 축의 주향을 갖고 남북 140 km, 동서 20~30 km 규모인 7개의 돔 형태 구조를 갖는다. 동 구조들의

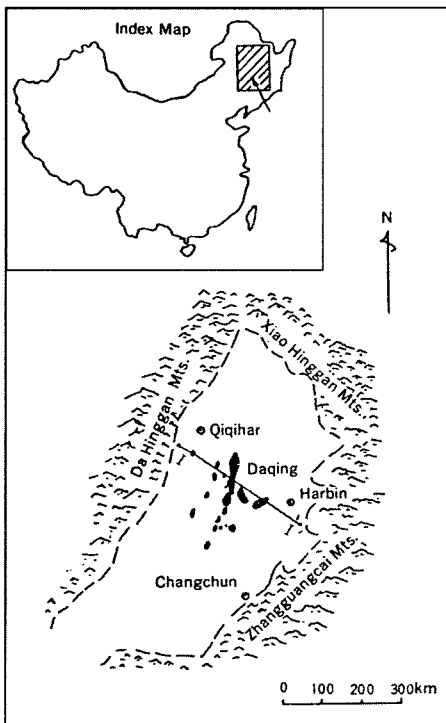


Fig. 1. Location of the Songliao Basin.

\*한국석유공사 (Korea National Oil Corporation, Anyang 430-060, Korea) ; sjpark@knoc.co.kr

\*\*경북대학교 지질학과 (Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea) ; inchang@knu.ac.kr

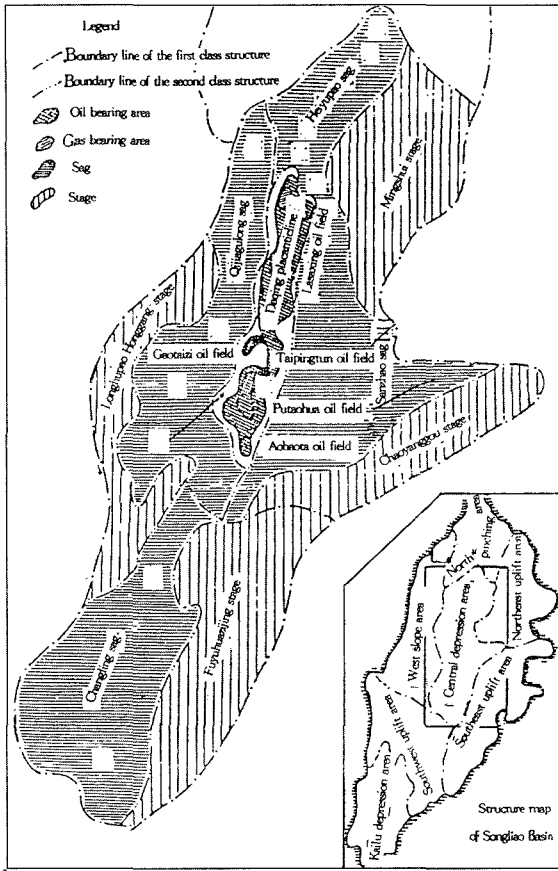


Fig. 2. Regional locational map of Daqing oil field.

총 closures는 2,000 km<sup>2</sup>이며 closure의 두께는 약 600 m이다. Songliao 분지의 기저는 DaHingGan Mts. Hercynian 후기습곡대 및 Jihei Hercynian 후기습곡대로 구성되는데, 삼척기와 쥬라기 초기의 용기 침식을 거치면서, 쥬라기 후기의 파열 및 침강 등의 구조조 활동에 의해 많은 단층함몰지루, 단층단계계가 발달된다. 백악기 초기에 동 분지에서 침강은 다시 강화되었는데, 이는 소 규모의 단층함몰에 의한 분할로 퇴적물의 소통이 원활하였다. 3기 및 신생대 후기에 침강률은 실트질 층진으로 극명하게 완화됨에 따라, 그 함몰지는 점진적으로 수축되었다.

백악기 하부의 Quantou 층에서 Nenjiang 층까지의 퇴적시간 동안 침강 발달이 가장 최대이었고 이때 중앙 함몰지는 분지의 축 방향과 일치하여 발달했으며, 호소성 분지에서의 지구적 함몰지 (sustaining depression)의 중심이 되었다. 동 시기동안 전체 퇴적층의 두께는 약 4,000 m 정도로 5개의 하성-삼각주 (fluvial-delta) 퇴적계가 호수 주위 및 북부 퇴적계를 중심으로 발달하였다. 가장 큰 규모의 북부지역 퇴적계는 약 20,000 km<sup>2</sup>로 북쪽에서 남쪽으로 중앙 함몰대로 연장된다. 북쪽 퇴적 전면부의 평야에서 동서쪽은 양쪽 다 오일기원의 함몰인데, 서쪽 (Qijiagulong sag)은 오랜 발달기간동안 깊은 함몰지 (depression)의 특징을 보인다. 여기에 500~700 m의 두께를 갖는 근원암으로 양호한 Qingshankou (Qing)층 및 Nenjiang (Nen)층이 발달한다. 이 층들은 유기탄소 (organic carbon)가 2% 미만이며, 총 탄화수소함

량이 0.15%에 달한다. 따라서 근원암은 저류층인 Qing2, Qing3 및 Yaojia층 상하부에 위치하고 근원암층인 Nen1, Nen2층은 상향으로는 200~300 m 두께로, 하향으로는 Qing층이 100 m 이상 두께로 놓이는데, 이들은 양호한 종류의 근원암, 저류암 및 덮개층으로 발달하였다. 또한 알맞은 집적구조가 현존하고 충분한 석유 및 가스가 집적된 바, 오늘날의 대경유전이 되었다.

### 총 서

동 분지의 장축을 따라 발달된 중앙함몰대 (central depression)는 호수분지의 계속적인 중심부를 형성하였고 (Fig. 2) 완배사구조 기저부의 매몰심도는 중력 및 자력 자료에 의하면 5,100 m까지 기록되며, 가장 깊은 시추공인 Songji well #6 (T.D. = 4,574 m)의 경우 쥐라기까지 굴착했는데, 중생대 쥐라기 및 백악기에서 신생대 제4기에 이르는 두꺼운 퇴적층이 기반암을 덮고 있다. 이 중 백악기층이 가장 두꺼우며 넓게 분포되어 있는데 근원암, 저류암, 덮개암 조합뿐만 아니라 퇴적환경 및 암상을 기초

Eon	System	Series	Formation	Member	Lithology	Sediment cycle deposit facies lacustrine ↔ fluvial	Thickness	Oil bearing group	Oil (gas) reservoir																																								
										Upward and downward																																							
Cenozoic	Quaternary	Tertiary	Duan Yan	Mingshui	—	—	Alluvial facies pluvial facies	0-200																																									
										Upper	Sifangtai	—	—	—	Alternating fluvial and lacustrine facies	0-300																																	
																		Nenjiang	—	—	—	Mainly fluvial alternating with lacustrine facies	200-500	Upper part	Hailuimin																								
																										Yaojia	—	—	—	Deep lacustrine facies	80-252	middle part	Seertu																
																																		Qingshankou	—	—	—	Delta	200-450	middle part	Geozhuo								
																																										Qianru	—	—	—	Delta fluvial	300-450	Lower part	Furu Yangshanchengzi
																		Jurassic	—	—	—	—	Lacustrine sag	—																									
																										Paleozoic	—	—	—	—	Volcanic sediment	> 1000																	

Fig. 3. Comprehensive column map of strata in Songliao Basin.

로 하부로부터 Dengloukou층, Quantou층-Qingshankou층, Yaojia층-Nenjiang층 및 Sifangtai층-Mingshui층으로 구성된 4개의 순차층 (sequence)으로 나뉜다 (Fig. 3). 순차층 경계면은 부정합면이거나 결층면이며 각 순차층들은 하부로부터 상부에 이르기까지 조립질-세립질-조립질 퇴적물의 암상변화와 함께 밝은 색-어두운 색-밝은 색의 색깔변화를 보이는데 이는 호수의 주기적인 확장-수축의 반복에 의한 것으로 해석되고 그에 따른 퇴적환경의 주기적인 변화 (산화-환원-산화)로 인해 각 순차층의 가운데 퇴적층이 근원암을, 그 상하부의 퇴적층은 저류암 역할을 하게 된다.

**조구조**

대경 (Daqing) 유전 지역은 조구조적으로 크게 4단계로 나뉘는데 (Fig. 4), 기반암은 고생대 변성암 및 Hercynian 화강암체로 확인된다. 위 기반암에서 Moho까지의 깊이는 함몰지 (depression)로부터는 약 27 km이며, 주위 산맥지역으로부터는 35 km 이상의 범위를 보인다 (Fig. 5). 특히 깊게 놓여있는 상부맨들의 upwelling의 주향이 NNE 방향으로 이는 공간적으로 전기 백악기 함몰대의 방향과 일치하고 있다.

1) 열적 열도 및 인장-열개 단계 (thermal arc & tension-rift stage)

고생대 말기의 Hercynian 운동으로 광역적인 지각융기가 있었는데, 강한 마그마 활동 (화강암 관입)이 수반되었음.

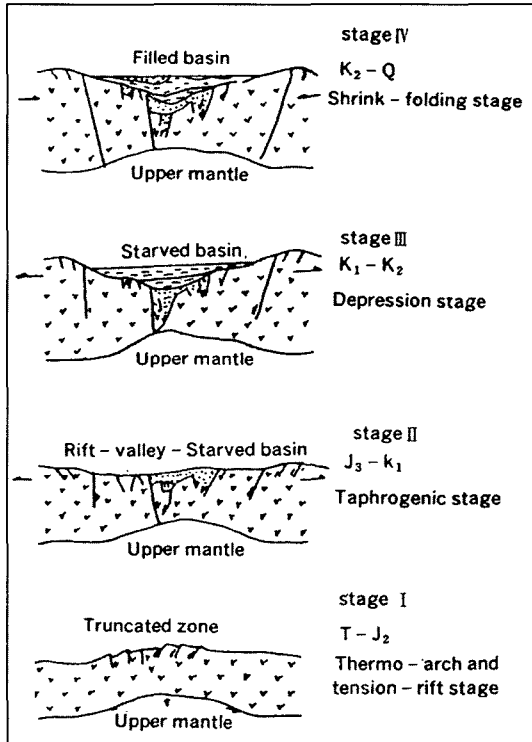


Fig. 4. Tectonic evolution of the basin.

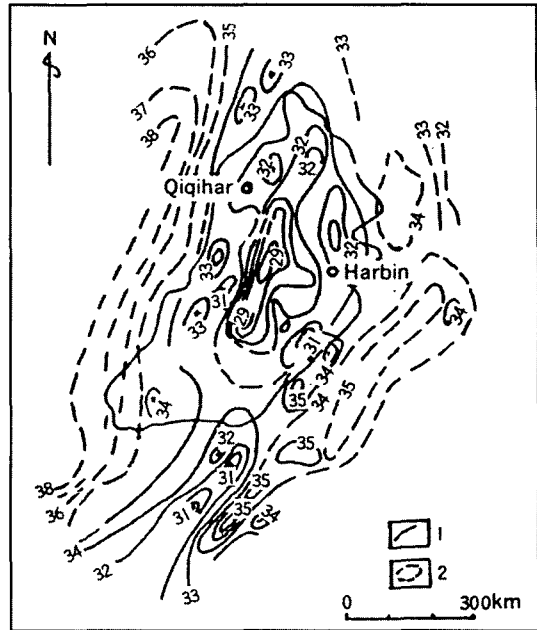


Fig. 5. Isolines of Moho in the Songliao Basin.

2) 단층사이 쪼개짐 단계 (taphrogenetic\* stage)

쥬라기 중기-말기에 Yenshanian 지괴단층 운동을 수반하며 인장력이 다양한 조구조 단위들의 연결부에 집중되어 일련의 지각 균열을 야기 시켰는데 이로 인해 다양한 크기로 많은 분리된 열곡 (rift valley)을 연속적으로 발전시켰다.

(\*taphrogeny: a general term for the formation of the phenomena, characterized by high-angle normal faulting and associated subsidence).

3) 함몰단계 (depression stage)

백악기 초기의 퇴적시 분지가 급속히 침강하였고, 이는 현재의 석유질 (petroliferous) 사암 및 셰일의 퇴적을 가져왔는데, 이는 델타 환경으로, 천해 및 심해 호소성 상을 보인다.

4) 수축-습곡단계 (shrink-folding stage)

백악기 말기에 동해의 열림과 관계되어 서쪽에서의 압축력 발생됨. 아울러 배사 및 향사구조가 발달하였음.

**석유지질**

**근원암**

Songliao 분지의 육성근원인 호소성 퇴적물은 매우 양호한 석유 근원암으로 이는 2개 층의 심부 호소성인 흑색 이암 층으로 구성되고, 동 분지에 광범위하게 분포한다. 주로 백악기 전기의 Qingshankou (약 100만년전) 지층의 Member 1 및 Nenjiang (약 75만년전) 지층의 Member 1 등으로 나뉜다 (Fig. 3).

동 분지의 케로진은 3종류로 구분되는데, 1) type I (sapropelic type): Qingshankou층의 Member 1 및 Nenjiang층의 Member 1, 2) type II (mixed type): Qingshankou층의 Member 2, 3,

그리고 3) type III (humic type), Nenjiang 층의 Member 4 등이며 (Fig. 6), 평균 탄소 및 중생대 백악기 비해성 근원암의 탄화수소 함량은 각각 2.3% 및 1,540 ppm으로 인지된다.

동 분지의 지하 증온율 구배는 3.7°C/100 m 정도로 이는 케로진의 성숙에 양호한 구배이며, 근원암으로부터 탄화수소 추출에 대한 높은 효율을 달성 가능하게 한다. 특징적으로 비해성 기원의 탄화수소는 근원암 층과 원유의 지화학적 특징에 의해 확인되었고 이는 isoprenoids 및 phenanthrenes의 풍부함과 함께 높은 wax질 및 nickel 함유량을, 또한 낮은 sulphur 및 vanadium 함량과, 낮은 수치의 δ<sup>13</sup>C 등을 보인다. 특히 동 지역은 높은 구배의 지열 지역이고, 열집적이 효율적임에 따라 탁월한 조건을 보

인다. 이를 케로진의 성숙도 (maturation) 상태로 나누면 다음과 같이 4종류로 나누어진다 (Table 1).

**퇴적계, 저류암 및 덮개암**

다방향 집수계 (drainage system)가 백악기 층이 퇴적될 때, 강한 침강 등으로 분지중앙으로 동심원상으로 모이는데 크게 6개의 주요 퇴적 집수계가 인지된다 (Fig. 7). 주로 산기슭에서 호수까지는 충적선상지 (alluvial fan), 하성범람원 (fluvial flood plain) 및 삼각주 퇴적상이 발달하는데, 이는 강하구 바 (river mouth bars) 및 삼각주전면부 사질편입체 (delta front sand sheets)에 의해 지배되는 수지상 삼각주 복합체 (lobate deltaic complex)를 형성한다. 즉 이러한 사암체가 상위, 하위 및 측면에서 주위 이암질 근원암에 의해 에워 쌓여있다.

이러한 근원암과 저류암의 결합관계와 생성은 퇴적상대 (facies zone)의 분포에 의해 강하게 제어된다. 즉 육성기원의 석유질 분지는 여러 층의 저류층과 다주기의 퇴적 등에 의해 특징 지워지는데, 덮개암과 불투수성 불연속면의 자연적 생성에 따라 대경유

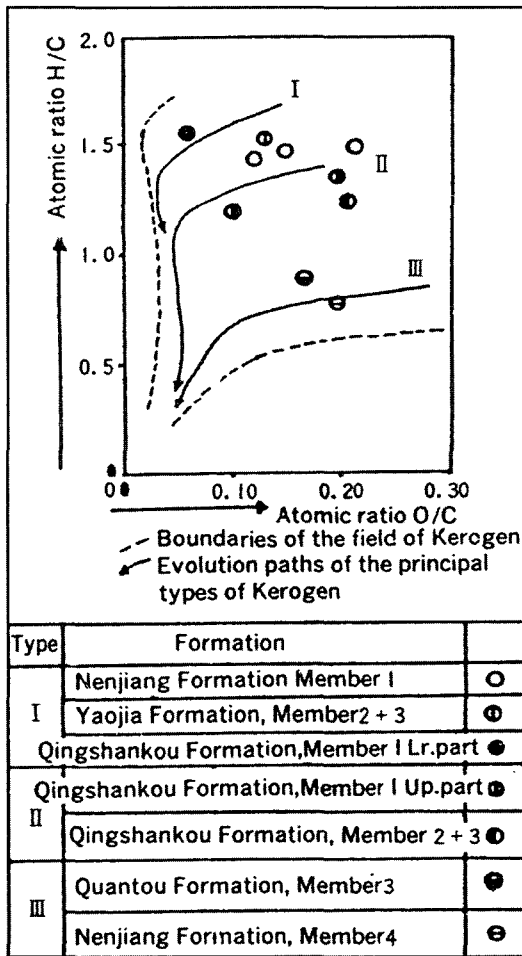


Fig. 6. Kerogen types in source sequences in the basin.

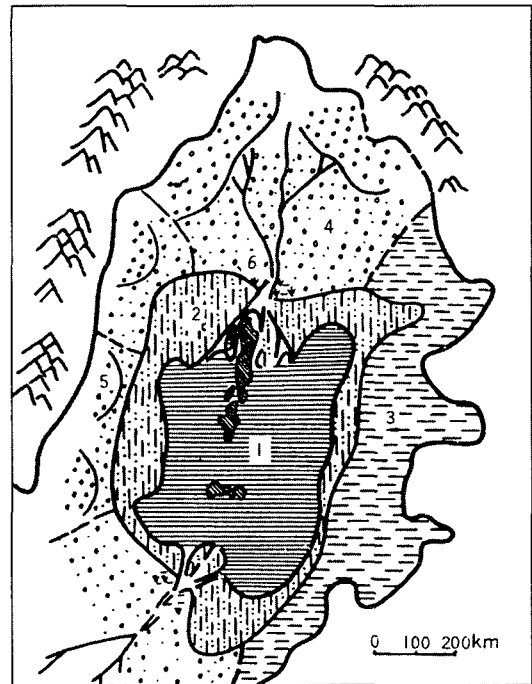


Fig. 7. Model for Early Cretaceous depression in Sonliao Basin. 1. Semideep to deep lacustrine facies; 2 Shallow lake to lake shore facies; 3. Alluvial facies; 4. Flood plain facies; 5. Diluvial facies; 6. Marsh facies.

Table 1. Maturation Types in the Songliao basin

Stage (depth)	Temperature (°C), color	Vitrinite refl. value (Ro %)
a) immature (~1300 m)	70, light yellow	less than 0.5
b) low mature (1300~1900 m)	70~90, brownish yellow	0.5~1.0 (heavy oil)
c) mature (1900~2900 m)	90~120, brown, black	1.0~2.0 (oil & condensates)
d) overmature(2900m~)	120~, dark brown, black	2.0~

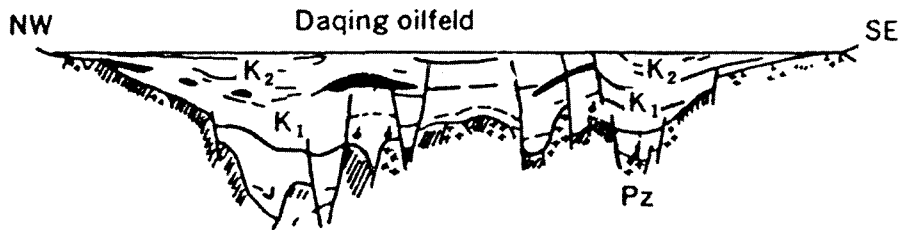


Fig. 8. Geologic cross section showing various trap types of the Songliao Basin.

전의 석유 생산 대순차층 (mega-sequence)은 5개 저류대 (reservoir zone), 14개 저류아대 (reservoir subzone) 및 단일 사암층 (single sand beds)으로 구분이 가능하다.

### 종합의견

#### 주요 집적구조 형태

동 유전의 탄화수소 집적은 대규모 돔 형태의 배사구조를 대상으로 하나, rollover anticlines, fault noses, normal drag 구조와 또 다른 소규모의 구조들이 다량의 정단층의 존재에 따라 공통적인 대상으로 보인다. 대부분의 석유-가스 풀 (oil & gas pool)에 구조적인 것이 발견됨에 따라 층서복합체 (stratigraphic composite)와 기반암 저류층이 탐사 대상이 되고 있다 (Fig. 8).

#### 주요 대상 저류층

일반적으로 동 분지에서 근원암 및 저류층이 수직적으로 교호되면서 크게 3개의 함유조합 (상부, 중부, 하부 등)이 이루어지는데, 각 조합마다 근원암층, 저류층, 덮개암층을 각각 포함한다. 현재까지의 탐사 결과, 중부에 해당하는 층이 대개 가장 다량의 석

유 및 가스를 포함하고 있고 저류층 명칭은 하부로부터 Gaotaizi (Qing2, Qing3), Putaojua (Yaojia) 및 Saertu (Nen1) 저류층으로 대표된다.

#### 향후 탐사 방향

전 세계에서 과거 석유 탐사 방향은 해성 내지 호성 기원의 석유탐사에 집중 되었다고 해도 과언이 아니나, 중국은 Daqing 유전 발견 전부터 비해성 분지에 대한 연구를 꾸준히 해온 결과, 대륙성 하성-호성 (continental fluvial-lacustrine) 퇴적환경인 동 유전에서 무려 수백억 배럴의 유전을 발견 (1959년)하는 개가를 올렸다. 현재도 새로운 탐사 아이디어로 미래를 위해 비해성 분지 탐사 (non-marine basin exploration), multi-zone heterogeneous sandstone, 얇은 호상저류암 (thin interbedded reservoir) 등에 연구를 아끼지 않는다면 지속적인 유전 발견이 지속될 가능성이 높다.

(2003. 10. 27 원고 접수)

(2004. 6. 20 수정본 채택)