

카자흐스탄 북유스튀르트 분지의 지구조 발달과 석유지질

우주환¹⁾ · 황인걸²⁾ · 김지수¹⁾ · 이철우^{1)*}

Tectonic Evolution and Petroleum System of North Ustyurt Basin in Kazakhstan

Ju Hwan Woo, In-Gul Hwang, Ji Soo Kim and Chul Woo Rhee*

(Received 3 July 2014; Final version Received 24 February 2015; Accepted 26 February 2015)

Abstract : The North Ustyurt Basin was evolved as a result of the interaction of the Eurasia, India, Arabia, and numerous microplates since the Triassic. During the Late Triassic~Early Jurassic, several microplates were sutured to the Eurasian margin, closing the Paleo-tethys Ocean. The collision of Lut, Lhasa, India plates with Eurasia plate caused the deformation of North Ustyurt Basin and created petroleum system. The North Ustyurt Basin has several regional hydrocarbon plays in and around the Caspian Sea. Middle-Upper Jurassic siltstones and sandstones contain more than 60% of the basin's oil and gas reserves. Of the remaining around 40%, Triassic sandstones account for 10%, Lower Cretaceous(Neocomian) siltstones and sandstones for 21%, with Eocene porous siltstones(capped by clays) for approximately 8%.

Key words : North Ustyurt Basin, Petroleum systems, Caspian Sea

요약 : 삼첩기부터 시작된 인도판, 아라비아판 및 미소판들이 유라시아 판과 충돌하기 시작하면서 북유스튀르트 분지는 발달하였다. 후기 삼첩기에서 초기 쥐라기동안 미소판들이 유라시아 경계부와 접합되며, 고 테티스해가 닫히기 시작한다. Lut, Lhasa, 인도판이 유라시아 판과 충돌하며 북유스튀르트 분지 석유시스템을 형성하였다. 카스피해까지 이어지는 북유스튀르트 분지에는 여러개의 탄화수소 플레이가 존재한다. 주요 저류암은 쥐라기 층으로 중기 쥐라기 사암층과 실트층에는 분지 탄화수소의 60%가 부존되어 있다. 나머지 탄화수소는 삼첩기 사암층내에 10%, 후기 백악기 네오코미안 실트층과 사암층내에 21%, 점토층이 덮개암을 형성하는 에오세의 실트층에는 8%의 탄화수소가 부존되어 있다.

주요어 : 북유스튀르트, 석유시스템, 카스피해

서론

다양한 광물자원과 석탄, 석유·가스자원이 풍부한 카자흐스탄에는 해외의 여러 기업이 에너지 자원개발에 투자하고 있다(Lee, 2009). 세계 11위의 산유국인 카자흐스탄의 18개 퇴적분지에는 확인매장량으로 300억 배럴의 원유와 45.7 TCF의 천연가스가 부존한다(BP, 2014; Fig. 1). 주요 석유·가스전은 카자흐스탄의 서쪽의 Pre-Caspian(North Caspian), Ustyurt-Bozashi와 Mangystau 퇴적분지에 위치하며 카자흐스탄 동부의 15개분지(Aral,

North Torgay, South Torgay, North Kazakhstan, Teniz, Karagandy, Shu-Sarysu, Syrdarya, Balkhash, Tekess-Karkara, West- and East Ili, Alakol, Zaisan, PreIrtysh) 가운데 Aral, Shu-Sarysu, South Torgay와 Zaisan 분지에서 탄화수소의 부존이 확인되었다. 카자흐스탄 확인매장량의 대부분은 북카스피해 분지에 분포하며, 카스피해 인근에는 세계에서 3번째로 큰 텡기즈 유전과, 2013년 6월 생산을 시작한 카샤간 유전 등이 있다. 이들 유전의 저류층은 고생대에 북카스피해 분지에서 퇴적되었다. 중앙 카스피해는 북카스피해 분지가 아닌 북유스튀르트 분지에 속하며 저류암은 대부분 쥐라기 지층이다. 우리나라 기업들이 권소시업을 구성해 개발에 참여한 카스피해의 잠빌광구 역시 쥐라기 저류층이 확인되었으며, 텡기즈-카샤간의 석유시스템이 아닌 북유스튀르트 분지, 북부차치 지역의 석유시스템과 유사하다. 중앙 카스피해의 석유시스템을 파악하기 위해서는 북부차치 지역을 포함

1) 충북대학교 지구환경과학과

2) 한국지질자원연구원 석유해저부

*Corresponding Author(이철우)

E-mail; gloryees@cbu.ac.kr

Address; Dept. of Earth and Environmenta Sciences, Chungbuk National University, Cheongju, Chungbuk, Korea (362-763)

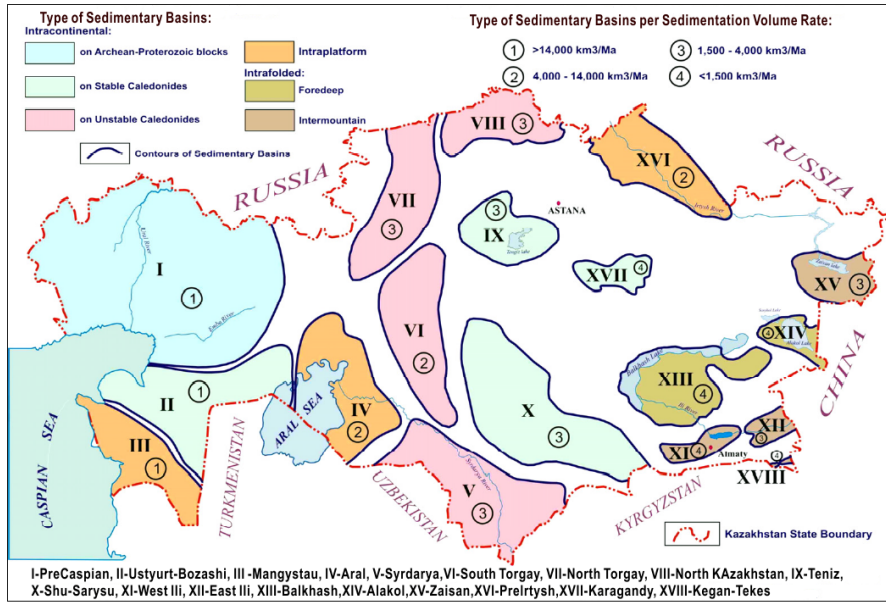


Fig. 1. Location and type of sedimentary basins in Kazakhstan (Paragulgov and Paragulgov, 2012).

하는 북유스티르트 분지의 지구조 발달 및 퇴적환경에 대한 이해가 필요하다.

카자흐스탄의 주요 탄화수소 함유분지인 북유스티르트 분지는 카스피해의 북서쪽에 위치하며 70%가 카자흐스탄에 속하고 동쪽으로는 우즈베키스탄과 투르크메니스탄까지 이어진다. 북유스티르트 분지 서쪽, 북부자치지역의 근원암은 북카스피해 분지의 고생대 세일층이고, 북부자치 이외 지역의 근원암은 삼첩기 상부~쥐라기 중기층이다. 저류암은 석탄기층에서 올리고세층으로 다양하지만, 주요 저류암은 쥐라기 중기 층이고, 에오세 사암층에서는 가스의 집적이 확인되었다(Abduleena *et al.*, 1993; Maximova, 1987). 북유스티르트 분지의 광역적인 덮개암은 쥐라기 상부의 점토질 탄산염으로 알려져 있다. 이 지역의 주요 탄화수소 플레이는 쥐라기 중기층으로 북부자치 지역에서는 원유가 우세하고 유스티르트 지역에서는 가스가 우세하다.

분지 및 층서 개요

북유스티르트 분지는 쥐라기~삼첩기에 형성된 깊은 단순침강분지(sag basin)로서 지질시대가 구명되지 않은 쥐라기 이전의 복잡한 기반암과 부정합 관계를 이루고 있다. 이 분지의 북쪽에서는 북동-남서방향으로 발달된 남엠바(South Emba) 용기대가 북카스피해 분지와 접하고, 남쪽에서는 주향이동 단층을 경계로 망기슐락(Mangyshlak)

분지와 접하며 분지의 동쪽은 아랄해와 경계를 이루며, 서쪽으로는 부자치 반도부근에서 침멸하고 있다(Fig. 2). 이 분지의 기반암은, 러시아 강괴의 기반암과 유사한 원생 영년 초기(Khain, 1977), 또는 원생영년 말기(Milanovskiy, 1987) 및 고생대 후기의 헤르시니안기(Letavin, 1980) 등으로 추정되고 있다. 북유스티르트 분지의 층서는 하부

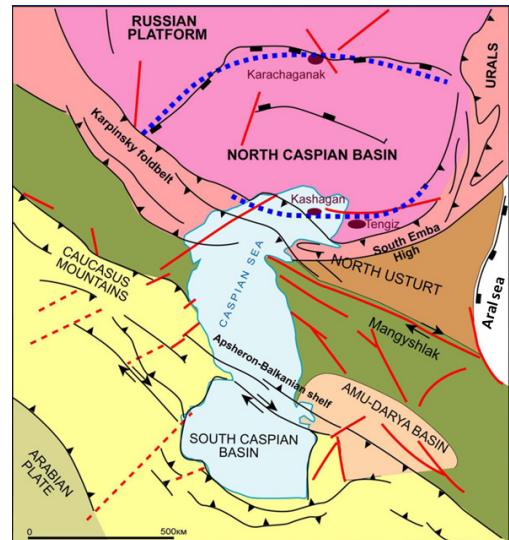


Fig. 2. Structural map of the Caspian region (Kuandykov *et al.*, 2011).

Table 1. Stratigraphy and lithology of North Ustyurt Basin (Modified after IHS, 2013)

CHRONO STRATIGRAPHY	AGE Ma	THICKNESS (M)	LITHOLOGY	DEPOSITIONAL ENVIRONMENT	TECTONIC EVENTS	LEGEND
TERTIARY	Pal	200	Shale, clay	SHALLOW MARINE - CONTINENTAL	↑ THERMAL SUBSIDENCE	Mudstone, shale, clay
	Olig	500	Siltstone	SHALLOW MARINE	COLLISION BETWEEN EURASIA & ARABIA UPRISE & STRIKE-SLIP	Siltstone
	Eoc	150	Silty	SHALLOW MARINE		Silty
	Pal	20-40	Sand, sandstone	SHALLOW MARINE		Sand, sandstone
	K2	400	Conglomerate	MARINE		Conglomerate
	K1	Up to 2,000	Chalk, limestone	SHALLOW MARINE		Chalk, limestone
	J3	20-50	Marl	DEEPER MARINE	↑ UPLIFT RELATED TO STRIKE-SLIP MOVEMENTS	Marl
	J2	400-600	Dolomite	SHALLOW MARINE - TRANSITIONAL DELTA		Dolomite
	J1	600	Coal	FLUVIAL - SHALLOW MARINE		Coal
	T3	1,000	Tuff	CONTINENTAL	↑ INVERSION OF DONBASS-TURKEY RIFT (CIMMERIAN OROGENY?)	Tuff
MESOZOIC	T2	200	Metamorphic		↑ RIFTING IN DONBASS-TURKEY SYSTEM	Metamorphic
	T1	1,000				
	P1	3,000			↑ URALIAN OROGENY; COLLISION OF KAZAKH & EURASIAN PLATES	
	C2	300		DEEP MARINE - SHALLOW MARINE	↑ URALIAN OROGENY; COLLISION OF KAZAKH & EURASIAN PLATES	
	C1	350		LAGOONAL	↑ NORTH USTYURT PRE-EOCENE MICROCONTINENT	
	D4	400		DEEP MARINE - SHALLOW MARINE		
	D3					
	D2					
	D1					
	D0					

로부터 테본기~석탄기 중기 석회암층, 석탄기 후기~페름기 초 쇄설성 퇴적암, 석회암 그리고 화산암, 페름기 후기~삼첩기의 육성쇄설성 퇴적층(주로 적색층) 등과 이들을 피복하는 수백 미터에서 5km 두께인 쥐라기의 쇄설성 퇴적층으로 구성된다(Ulmishek, 2001; Table 1). 북유스티르트 분지의 구조는 후기 석탄기에서 초기 페름기에 발생한 우랄(Uralian) 조산운동, 페름기~삼첩기 열개작용, 후기 삼첩기의 키메리(Cimmerian) 구조역전, 쥐라기~에오세 침강, 제3기의 내륙의 압축작용 등 다섯 차례의 주요 구조 활동을 거치며 형성되었다.

**탐사연혁
육상탐사**

북유스티르트 분지의 석유탐사는 1950년부터 시작되었으며, 첫 번째 가스전은 에오세 사암층에서 발견되었다. 1960년대 후반 두 개의 작은 석유전이 발견되었고, 1970년대 중반 Kalamakas와 Kalazhanbas를 포함하는 큰 규모의 유전이 북부자치 지역에서 발견되었다(Fig. 3). 북부자치 지역의 첫 번째 유전인 Kalazhanba는 1974년 시추되었으며, 회수가능 매장량은 622 MMB로 알려져 있다. 1975년 탐사된 Kazneftegazrazvedka 시추공은 Kalazhanbas 동쪽의 석유·가스전으로 그 매장량은 547 MMB이다. 1976년에 발견된 Kalamakas 유전은 505~936 m 깊이의 쥐라기층과 백악기 사암층내에 발달한 33 m 두께의 저류층에서 가채 매장량 1,165 MMB의 원유

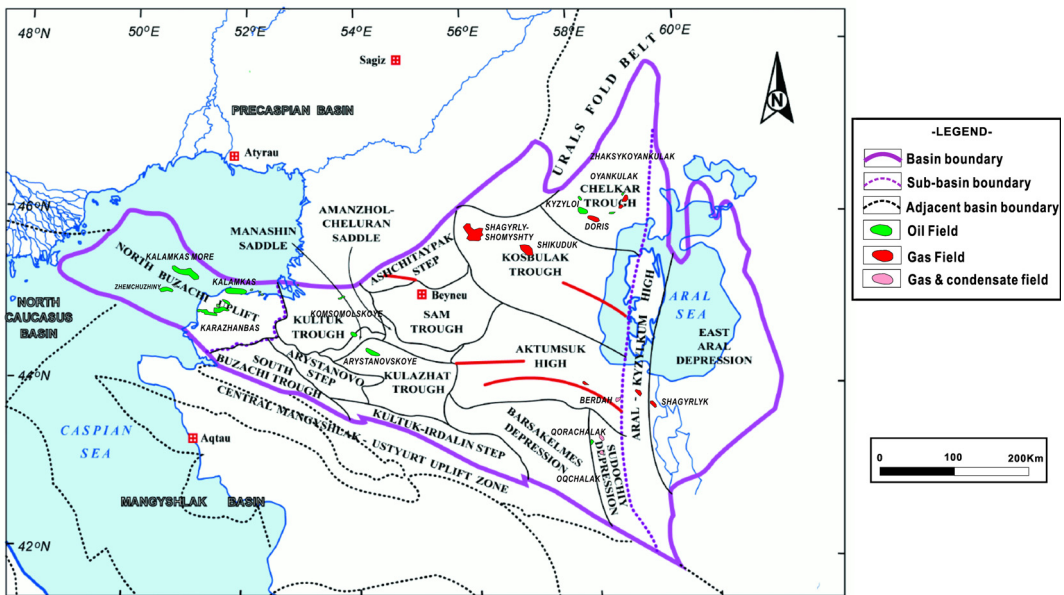


Fig. 3. Structural framework map including oil field (Italic word) (Complied with data from Daukeyev *et al.*, 2002).

를 포함하고 있다. 1976~86년 동안에 일곱 개의 시추공이 굴착되었으나 탐사자원량은 미미하다.

해상탐사 카스피해

2002년 북카스피해 컨소시엄이 출범해 Aagip KCO에 의한 첫 번째 해상 시추가 카람카스 모래(Kalamkas More) 구조에서 실시되었다. 중기 쥐라기 저류층까지(TD 2,360 m) 시추되었고, 생산시험결과 2,300 B/d가 산출되었다. 회수 가능량은 302 MMB로, 북부자치 반도 북쪽 해안 경계의 첫 번째 유전이다. 이 후 2007~2008년에 카람카스 모래 구조의 북동지역에 위치한 Zhemchuzhiny/Pearls 블록(Fig. 3)에서 두 개의 유전(Hazar/Auezov)이 추가로 발견되었으며, 중기 쥐라기 저류층으로 23~45 MMB의 원유가 회수 가능한 것으로 알려져 있다. 2013년에는 우리나라가 취득한 광구인 Zhambyl 블록의 중기 쥐라기 저류층에서 112 MMB의 자원탐사량이 확인되었다.

아랄해

아랄해 지역은 1950년대 초기부터 중자력 탐사가 실시되었다. 1967년부터 Yuzhmoregoe 층상단층대에서 탄성과 탐사가 실시되었고 1967년과 1972~73년에는 MOV 타입의 반사법 탐사가, 1974~1978에는 CDP 탐사가 시행되었으나 자료의 질이 좋지 않아 쥐라기 중기~백악기 지층에 대한 정보만 확인할 수 있다. 아랄해 지역에는 1999년 Geoken LLP에 의해 중력탐사가 실시되었고, 이후에도 여러 차례의 지구물리 탐사가 이루어졌다. 북서 아랄해 지역은 JNOC가 부분적으로 투자를 하였으나 거의 탐사되지 못하다가, 2001년 JGI가 KazmunayGaz/JNOC를 대신하여 490 line-km의 2D 탄성과 탐사를 실시하였다.

석유 및 가스의 특징

북부자치 지역

북부자치 원유는 중질유(API gravity 18~29°)로 점성이 높고, 황의 함량(0.8~2.2%)도 많으며, 타르의 함량(6.0~26.5%) 또한 높다. 북부자치와 Kalazhanbas 유전(Fig. 3)의 쥐라기 저류층과 백악기 저류층에서는 점성이 높은(20°C에서 195~300cP), 중질유(API gravity 8°)의 원유가 산출된다. Kalamkas와 Arman 유전 쥐라기 저류층의 원유는 API gravity가 25~29°이고 점성은 20°C에서 30cP로 원유의 질이 비교적 좋다. 두 경우 모두 황의 함량은 2%이상이고, 석유속에는 바나듐과 니켈과 같은 중금속이 포함되어 있다. 이러한 중질유는 북카

스피해 분지의 고생대 근원암에서 원유가 이동하며 생물 분해나 물과의 접촉(water washing)으로 품질이 저하되었기 때문인 것으로 보인다. 따라서 쥐라기 중기 저류층의 원유는 바나듐(240 g/ton), 니켈(29 g/ton)과 같은 미량 원소의 함량이 높은 특성이 있다(Nukenov *et al.*, 2002).

북부자치 외 지역

Karakuduk과 Komsomolskoye 유전의 원유 밀도는 0.80~0.81 g/cm³ (API gravity 43.2~45.4°)로 다양하며 Kultuk 지역에서는 밀도가 0.854 g/cm³, API gravity 34.2°이며, 황의 함량은 낮다. 분지 동쪽 쥐라기 저류층의 가스는 메탄이 우세하다(Abdullayev *et al.*, 2008). 중질 탄화수소 함유량이 10%를 초과하지 않으며 탄화수소 이외에 이산화탄소(0.2~0.8%), 질소(0.2~2.3%)와 헬륨(0.003~0.005%)을 포함한다. 쥐라기 저류층의 컨테네이트는 밀도 0.749~0.808 g/cm³, API gravity 43.6~57.4°로 그 변화가 크고, 경질유(light fraction) 함량(51~89%)이 높다(Abdullayev *et al.*, 2008). 북유스튀르트 분지 북동쪽 예오세 저류층의 가스는 메탄과 소량의 에탄을 포함하며(Ulmishek, 2001), 질소(3.4~7.3%)와 이산화탄소(1.0~3.2%) 가스를 포함하고 있다.

북유스튀르트 분지의 지구조 운동과 석유 시스템

후기 석탄기~초기 페름기의 카자흐 판과 시베리아 판이 러시아 판과 충돌하는 우랄 조산 운동으로 고 테티스 해(Paleo-Tethys)가 닫히기 시작하면서 카자흐 판의 비활동성 대륙연변부(passive continental margin)에 퇴적된 탄산염 퇴적체가 변형되었고, 북유스튀르트 분지의 북서부에는 층상단층대가 형성되었다(Barde *et al.*, 2002). 초기 페름기에는 유라시아 판의 충돌과 융기로 인해 망기슬락 접합대에 부가대가 형성되었고, 후기 페름기에는 북카스피해 분지 해양지각의 급격한 섭입으로 대륙지각이 융기되며 해양과 단절된 분지에는 암염층이 넓게 쌓였다. 곤드와나 대륙으로부터 떨어져 나온 미소판들은 북쪽으로 이동하며 유라시아 판의 남쪽 부분과 충돌하는 데(Sengor and Natalin, 2007), 석탄기에서 초기 페름기에는 이란 북서 지역의 Lut 판, 아프가니스탄의 Farah 판, Qiangtang 판이 충돌하고, 후기 삼첩기에는 Lhasa 판이, 백악기에는 인도판이 현재의 유라시아 판과 충돌하였다(Metcalf, 1996). 이들 판은 후기 삼첩기에서 올리고세까지 충돌이 지속되며 망기슬락-나라타우(Mangyshlak-Naratau) 단층대 및 주향이동 단층대를 형성시켰다(Kuandykov *et al.*, 2011; Fig. 2). 망기슬락-나라타우 단층대는 중생대 때 재활성화되며 북유스튀르트 분지의 석

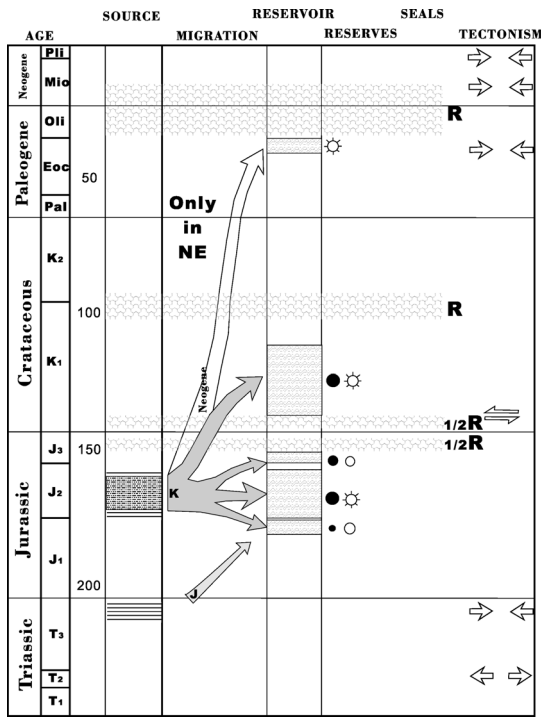


Fig. 4. Schematic diagram of the petroleum system of the North Ustyurt Basin. Approximate reserves trapped in the reservoirs are indicated by the oil and gas symbols, larger symbols indicate greater reserves (Modified after Otto, 1997). R: Regional, 1/2R: Semi-regional.

유시스템에 많은 영향을 끼쳤다(Fig. 4). 후기 삼척기에 시작된 망기슬락 용기대의 압축 작용은 초기 쥐라기까지 이어졌고, 강한 변형 때문에 탄화수소의 성숙이 저해되었다. 카스피해 남쪽 지역은 변형작용을 크게 받지 않았다. 근원암과 저류암 분포지역도 넓지 않다. 후기 쥐라기에서 초기 백악기까지 북부자치 용기대는 상승하였고, 단층대를 따라서 횡압력(transpression)이 작용하였다. 이에 따라 쥐라기 상부의 덮개암인 세일층이 침식작용을 받아 얇아지며, 탄화수소가 상부에 놓인 백악기 저류층으로 이동할 수 있었다(Fig. 4). 지층의 용기와 탄화수소의 이동시기를 고려하면 분지내 침강지역에 형성된 근원암에서 탄화수소가 저류층으로 이동되었을 수도 있지만, 분지 북서쪽의 북카스피해 고생대 근원암에서 이동되어 왔을 가능성도 크다(Okere and Toothill, 2012).

고생대 후기(후기 페름기~후기 삼척기)

지구조 운동

곤드와나의 미소판들은 계속해서 유라시아의 남쪽부분과 충돌하였고, 고 테티스해가 닫히면서 중앙아시아지역에는 광역적인 변형작용이 발생하였다. 대륙의 가장자리에서 시작된 판의 충돌은 조산대를 따라 유라시아 대륙 내에도 영향을 미쳤다(Golonka *et al.*, 1996). 유라시아 서쪽경계(Scythian-Turan)에서는 강한 남북방향의 압축작용(Zonenshain *et al.*, 1990)이, 후기 삼척기까지 진행되었고 망기슬락 용기대에는 구조역전(inversion)이 일어났다(Fig. 5).

후 조산운동의 신장력과 주향이동 운동으로 망기슬락 접

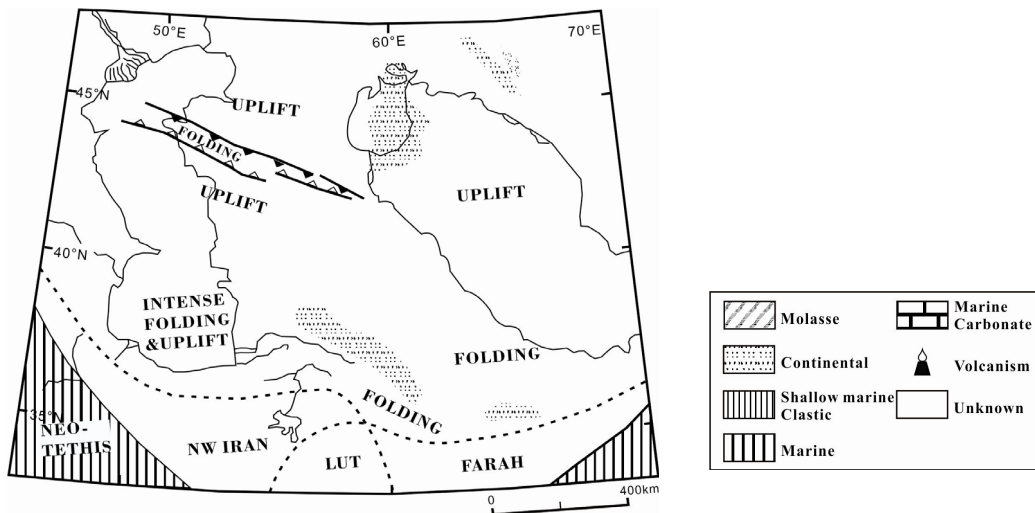


Fig. 5. Latest Triassic deformation event, showing accreted blocks, major fault movements and approximate palaeogeography (Modified after Otto, 1997). The legend is also illustrated in Fig. 6, 8.

합대에는 서·남서 방향의 용기대가 형성되며(Kuandykov *et al.*, 2011), 북유스튀르트 분지와 망기술락-유스튀르트 분지로 나뉘어졌다.

퇴적작용

용기대에는 10 km 두께의 페름기 상부~삼첩기 퇴적물이 퇴적되었다. 망기술락 지구(*graben*)의 북쪽에는 육성퇴적물이 우세하나, 페름기 상부~삼첩기 중기 적색 세일 층에는 소량의 탄산염과 응회암이 섞여 있다. 삼첩기 상부 층에는 사암과 실트암 세일이 퇴적되었다. 페름기~삼첩기 동안 망기술락 용기대의 쇄설성 퇴적물은 강한 습곡작용을 받았다. 이후 Karatau 용기부는 침식되어 부정합면이 형성되었고, 이 부정합면은 쥐라기 쇄설성 퇴적층으로 피복되었다. Lut, Farah(아프가니스탄)판이 유라시아 판과 충돌하는 압축작용으로 북유스튀르트 분지와 망기술락-유스튀르트 분지에도 습곡작용과 침식이 일어났다. 북부자치 반도의 산간분지(*intermontane basin*)에는 하·호성 퇴적물이 두껍게 쌓였다(Brookes *et al.*, 2000).

근원암

북부자치 지역(Fig. 3)은 근원암 퇴적층까지 시추되지 않았기 때문에 근원암에 대한 정의를 내리기 어렵다(Ulmişek, 2001). 하지만 북부자치 지역 유전에서 산출된 원유의 지구화학 분석결과와 고생대 해양 세일이 주요 근원암임을 지지하며(Brookes *et al.*, 2000), 이러한 결과는 북쪽의 북카스피해 분지의 근원암 분석결과와 동일하다. 북카스피해 분지의 주요 근원암은 데본기 하부(Frasnian) 세일과 점토질 탄산염암 그리고 페름기 하부 세일이다. 따라서 북부자치 용기대 북쪽지역의 탄화수소는 북카스피해 분지의 근원암에서 이동되어 왔을 것으로 추정되며(Okere and Toothill, 2012), 이러한 가정이 맞다면 북부자치 소분지의 석유시스템은 북카스피해 석유시스템의 한 부분으로 볼 수 있고, 북카스피해 분지의 고생대 층서와 구조적 진화과정도 북유스튀르트 분지와 연관되었을 것이다.

한편, JNOC가 분석한(현재는 Tethys Petroleum사가 탐사중) 아랄해 북서 육상지역의 근원암은 고생대층으로 밝혀졌다(Miyake, 1997). 총 유기 탄소 함량(TOC 5% 이상)은 높은 편이고 근원암은 중기 쥐라기층 뿐만 아니라 데본기 상부에서 석탄기 하부층까지 근원암으로 보고되었다. 상부 데본기와 하부 석탄기층의 근원암 유기물은 Type I 과 II-III가 섞여 있다. Type III의 유기물을 함유한 페름기 하부 세일층과 석탄기 중·상부 근원암층의 총 유기탄소 함량은 2~5%로 높은 편이다.

저류암

고생대 저류암은 석탄기 중·하부 층으로 분지의 남동쪽에서 Karachalak, Kokchalak, Urga Shimoliy 그리고 Chibiny 네 곳에서 탐사되었다. Karachalak의 탄화수소가 집적된 층은 균열과 충식상 공극(*vuggy porosity*)이 발달된 용탈된(*leached*) 석회암층으로 공극률은 14%이고 투수율은 90 mD이다. JNOC가 취득한 분지 북동쪽(Chelkar Trough; Fig. 3)의 탄성파자료의 분석결과, 석탄기 중·상부 탄산염층과 대륙사면 퇴적층이 저류층으로 해석되었다(Miyake, 1997).

중생대(중기 쥐라기-중기 백악기)

지구조 운동

Bathonian에는 유라시아 남서쪽 연변부에 Rhodope-Pontide(Moesian block) 미소판이 서쪽으로 부가되면서 후배호 신장 변형(*back-arc extension*)이 일어났다(Dercourt *et al.*, 1986; Robinson *et al.*, 1996). 후기 쥐라기에는 Lhasa 미소판과 Central Afghan 미소판이 유라시아 판과 충돌하며(Metcalf, 1994; Ricou, 1996), 나라타우-중앙 망기술락(Nuratau-Central Mangyshlak) 단층대를 따라 좌수향 횡압력(*sinistral transpression*)이 작용하였고 이로 인해 북부자치 지역은 서쪽까지 용기되어, 쥐라기와 백악기의 국부적인 부정합면을 형성시킨 것으로 해석할 수 있다(Otto, 1997; Fig. 6). 유라시아 판의 남쪽 끝 부분에서는 대륙의 충돌이 계속되며 변형이 일어났지만 북유스튀르트 분지가 속한 서쪽 부분에서는 특별한 변형이 일어나지는 않았다.

유라시아 가장자리 남서쪽에서는 신 테티스해(Neo-Tethys)의 해양판이 북쪽으로 섭입되면서 화산호(*volcanic arc*)가 형성되었다(Fig. 6). 화산호의 대륙쪽 배후지역(북쪽)에서는 열개작용이 시작되면서 초기의 흑해와 초기의 남카스피해 분지가 열리게 되었다. 북유스튀르트 분지와 아랄해의 동쪽 그리고 Turgay 분지 역시 장력의 영향을 받았다.

퇴적작용

북유스튀르트 분지는 침강이 계속되며 남쪽으로부터 해침이 일어나 천해의 사암과 실트암 그리고 세일층이 퇴적되었다. 또한 우랄 산맥이 용기되며 북유스튀르트 분지에 조립 쇄설성 퇴적물을 퇴적시키는 삼각주 환경이 형성되었다. 이로 인해 분지 주변부에는 하천-삼각주 사암층이 퇴적되었다. 북유스튀르트, 망기술락-유스튀르트 분지에는 Tithonian 석회암이 Oxfordian~Kimmeridgian 이암, 세일과 부정합관계를 이루나, 북부자치 용기대의 서쪽에는 백악기 하부 퇴적층이 중기 쥐라기 상부층과

부정합 관계를 보인다. 후기 쥐라기에는 신장력이 약해지며 침강이 계속되었고 북유스튀르트, 망기슐라-유스튀르트, Amu-Dar'ya(투르크메니스탄), Afghan-Tajik(아프가니스탄) 분지에는 천해 탄산염 퇴적체가 퇴적되었다. Kimmeridgian ~Tithonian에 접어들어 해퇴가 일어나며 해양 분지는

천해화되고, 심해 증발암층이 두껍게 쌓였다(Clarke, 1994). 초기 백악기까지 해퇴가 진행되며, 해양퇴적물은 후해호 분지를 따라서 퇴적되었다. 중기 백악기, 남카스피해와 유스튀르트 분지에는 해양 탄산염이 퇴적되었고 Amu-Dar'ya(투르크메니스탄), Syr-Dar'ya(카자흐스탄), 북유스튀르트, Turgay 분지에는 소량의 천해성 탄산염 물질을 함유한 퇴적층이 형성되었다.

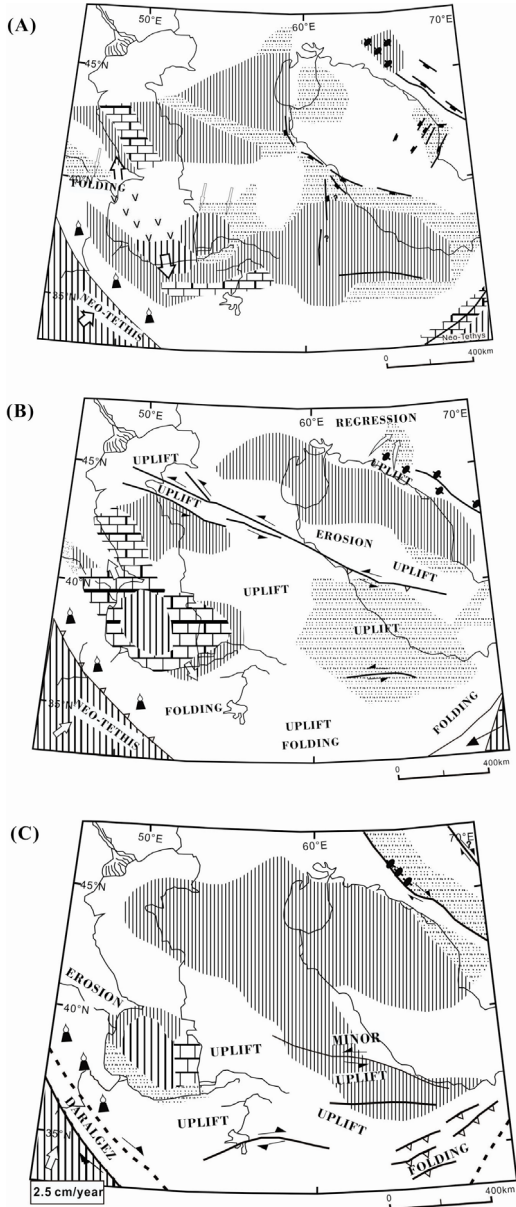


Fig. 6. Major fault movement and approximate paleogeography around North Ustyurt Basin, during (A) Middle Jurassic, (B) Latest Jurassic~Early Cretaceous, (C) Middle Cretaceous deformation event (Modified after Otto, 1997).

근원암

북부자치 지역 쥐라기 지층의 총 유기탄소 함량(TOC)은 1~4%이고 비트리나이트와 스포리나이트 분석결과 유기물 성분이 육상에서 기원한 것으로 해석되었다(Brookes et al., 2000). 쥐라기 세일층은 조류(藻類)성분을 함유하고 있지만, 석유생성단계까지 이르지 못했다. 쥐라기 근원암은 중기 쥐라기 해수면이 상승하며 퇴적된 것으로 카스피해쪽으로 갈수록 두꺼워진다. 지금까지의 지질학적인 연구에 따르면 북유스튀르트 분지 쥐라기층과 백악기층의 석유 집적은 페름기 상부 해성층으로부터 수직으로 이동하였을 것으로 추정되나(Kozmodemyansky et al., 1995; Ulmishek, 2001), 이들 지층에 대한 지구화학 자료는 알려져 있지 않다.

북부자치 외 지역의 근원암은 탄화수소의 집적형태에 따라 달라지며 몇 개의 지역으로 나누어 볼 수 있다. 탄화수소 형성 과정은 일반적으로 삼첩기 상부에서 쥐라기 퇴적상의 구성요소에 따라 변화하는데 서쪽과 중앙은 해성층이 발달하고, 동쪽과 남쪽은 육성층이 발달하였다. 이에 따라 서쪽과 중앙은 석유가 우세하고 동쪽 및 남동쪽은 가스가 우세하다.

Kultuk과 Kulazhat 근원암

Daukeyev 등(2002)은 Kultuk과 Kulazhat 함몰대(Fig. 3)에서 두 개의 유전을 확인하였다. 첫 번째 유전은 Karakuduk, Komsomolskoye와 Arystanovskoye 지역의 쥐라기 중기층에서 발견되었다. 이 원유는 높은 유기물을 함유한 식물로부터 생성된 것으로 특히 알칸이 풍부하며, 프리스탄/피탄(pristan/phytane)의 비율 또한 높고 방향족 성분이 20%를 넘지 않는다. 두 번째는 Kultuk 지역에서 분석된 원유이다. 프리스탄/피탄(pristan/phytane) 비율은 1.7~1.9 사이로 방향족탄화수소의 농도가 높고, 타르와 아스팔트를 포함하는 것이 특징이다. 이러한 타입의 원유는 삼첩기 상부층과 쥐라기 하부 해양층을 근원암으로 가지며, Kultuk 석유부존지역에서 흔하며 최근 발견된 Chelkar 함몰대의 유전에서도 확인할 수 있다.

Chelkar와 Kosbulak 근원암

Chelkar와 Kosbulak 함몰대(Fig. 3)의 탄화수소 부존 구간은 에오세와 올리고세층의 가스 집적층과, 쥐라기(Kimmeridgian) 상부 탄산염층과 백악기 하부 쇄설암층이 석유 집적층이다. Kyzyluy, Shikiduk, Shagyrly-Shomyshy 그리고 다른 유전인 Chelkar와 Kosbulak 함몰대의 에오세 저류층의 건식 가스의 기원은 확실하지는 않지만 쥐라기 근원암층에서 형성된 것으로 볼 수 있다(Ulmishek, 2001). 2010년 12월 시추된 도리스(Doris) 석유발견정(discovery well)의 쥐라기 상부 탄산염층과 삼첩기 하부 쇄설암층의 잠재 근원암에 대한 정보는 없지만 Kultuk 근원암과 같이 삼첩기 상부층과 쥐라기 하부 해성층이 근원암으로 추정된다.

Barsakelmes, Sudochiy와 아랄해 동쪽의 근원암

앞서 언급했듯이 쥐라기 퇴적상은 분지의 동쪽인 육지 쪽으로 이동하며 해양 퇴적물에서 석탄질 셰일과 석탄 그리고 셰일로 바뀐다(Daukeyev et al., 2002; Ulmishek, 2001). 가스가 발견된 Sudochiy 함몰대의 쥐라기 중기 해양 암석의 유기물의 함량은 0.62~2.5%에서 10~15%로 높다(Abdullayev et al., 2008).

저류암

북부자치 반도의 쥐라기 저류층은 대부분 쥐라기 중기이지만 카람카스 유전의 저류층은 쥐라기(Kimmeridgian) 상부층이다. 쥐라기 중기층은 Aalenian에서 Callovian에 퇴적된 층을 모두 포함하나 주요 저류층은 Bathonian 층으로 천해나 점이환경에서 퇴적된 하성-삼각주 사암과 실트질 사암이다. 이 층은 혼합퇴적체로 4개의 사암 퇴적체에 14개의 단위층으로 구성된다. 이 단위층은 YuI (Callovian), YuII~YuIV(Bathonian), YuV~YuX(Bajocian) 과 YuIX~YuXIV(Aalenian)으로 알려져 있다. 북부자치 지역의 저류층은 1,000 m 내외로 깊지 않으며 공극률은 23~34%, 투수율은 30~1,700 mD(평균 투수율 350 mD)이다. 현재까지 발견된 분지의 중앙과 동쪽 지역의 저류층은 쥐라기 중기의 쇄설층이다. 중생대 저류층은 중생대 하부지층에서 상부지층까지 그리고 백악기 하부지층까지 포함하며 대부분이 쇄설성 암석으로, 다양한 크기의 사암과 실트암으로 구성된다. 분지 중앙의 저류층은 쥐라기 중기(Aalenian~Callovian)에 퇴적된 층으로, Karakuduk, Komsomolskoye 지역의 공극률은 일반적인 공극률(15~16%)과 달리 12~18%로 나타난다. 분지 북동쪽(Chelkar Trough)에서 탐사된 도리스(Doris) 탐사정에서는 쥐라기(Kimmeridgian) 상부 돌로마이트 층과 백악기 하부(Aptian)의 사암 저류층이 확인되었다

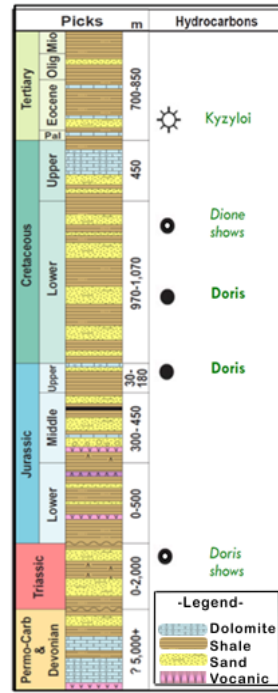


Fig. 7. Stratigraphy and hydrocarbon potential of the Doris area (Robson, 2011).

(Fig. 7). 도리스(Doris)유전의 첫 번째 시추공인 AKD01의 쥐라기 저류층에서 생산성 시험결과 일일 생산량이 2,803 B/d의 매장량이 확인되었고, API gravity 45°이며 돌로마이트층(2,355~2,367 m)의 투수율은 700 mD, 공극율은 16.9%로 좋은 편이다. 원유를 함유한 돌로마이트층은 8.2 m로 지역적으로 넓게 분포한다. 백악기 저류층(2,173~2,181 m)에서는 일일 생산량이 5,436 B/d로 확인되었다. 백악기 저류층의 공극률은 23%, 투수율은 1,750 mD이고, API gravity 37°로 경질유에 해당된다. 파라핀함량과 유동점도 낮다. 이 저류층은 북유스튀르트 분지의 북부자치 지역을 제외한 첫 번째의 백악기 저류층이다.

신생대(후기 백악기~신제3기)

지구조 운동

이 시기에는 유라시아대륙 연변부에서 충돌이 일어나지는 않았으나, 유라시아판 내의 변형을 일으키는 몇 가지 주요 사건이 발생하였다(Fig. 8). 첫 번째는 아프리카 판과 유라시아 판이 접입 되는 곳에서 판 운동의 극성이 반전되어 중기 백악기의 해양 지각이 아라비아 판으로 압등(obduction)하며 오피올라이트(ophiolite)를 형성하

였다(Golonka, 2007). 두 번째는 신 테티스해(Neo-Tethys)가 북쪽에 위치한 유라시아판 밑으로 섭입되며 Kohistan

-Karakorum 지역에 화강암체가 용결되며 좌수향의 신장력을 일으켜(Golonka *et al.*, 1994) 후백회 분지를 변형시켰다. Danian에 일어난 남서 카스피해 분지의 융기와 습곡작용으로 기존에 존재하던 접합대를 따라 우수향 운동이 일어났고, 후백회 분지가 동쪽으로 이동하여 남 카스피해 분지와 분리되었다. 고제 3기에서 신제 3기까지 아프리카, 인도, 아라비아판이 유라시아, 유럽판과 충돌하면서 서유럽에서 동아시아에 이르는 조산대를 형성하였고(Golonka, 2007), 아시아 지역에는 주향이동 단층대가 넓게 발달하였다(Kopp, 1997; Fig. 8).

퇴적작용

제 3기에는 침강이 광범위하게 일어나며 탄산염층과 사암, 증발암이 천해에 퇴적되었고 이 현상이 카스피해 동쪽으로 확장되어 Amu-Dar'ya(투르크메니스탄), Afghan-Tajik(아프가니스탄)와 우즈베키스탄의 페르가나(Fergana) 분지에서도 퇴적층이 형성되었다.

망기술락-유스튀르트, 북유스튀르트 분지에는 에오세 후기~올리고세 층 사이에 부정합면이 형성되었으며, Albian에는 단층이 재활성화되며, 지층이 융기되고, 배사 부분에는 침식이 일어났다. 망기술락-중앙유스튀르트 분지의 남쪽은 융기되고, 분지의 동쪽에는 사암과 실트암이 퇴적되었다. 마이오세 초기와 중기 그리고 플라이오세 중기까지 변형작용이 지속되었는데, 이것은 남 망기술락 고원지의 카르스트화와 침식의 흔적으로 확인된다(Pleshcheyev and Schlezinger, 1959).

저류암

부자치지역의 백악기 하부 저류층은 8개의 사암층으로 구성되며 퇴적시기는 Neocomian에서 Aptian이다. 천해나 점이환경에서 퇴적된 사암층과 실트질 사암층이 150~850 m 두께로 교호하며 나타난다. Karazhanbas, Severo-Buzachi, Kalamkas유전의 저류층은 실트암이고, Aptian의 점토층이 덮개암이다. 저류층의 공극률은 23~29%(평균 공극률 26%)이고 투수율은 40~365 mD(평균 투수율 160 mD)로 양호한 편이다. 저류층의 두께는 일반적으로 8~10 m이지만 이 지역에서는 20 m에 달한다. Chelkar와 Kosbulak 함몰대에서는 에오세, 올리고세 저류층이 확인되었다. 저류층의 두께가 깊지 않으나 공극률이 30%을 넘고 투수율 또한 수백 mD로 높다. 에오세 플레이는 Kuma 층의 상부로 이회토, 실트암, 점토로 구성되어 있다. 저류층은 실트암으로 공극률 36%, 투수율 30 md이다. 층의 두께는 10~30 m로 에오세 점토층이 덮개암이며 다섯 개의 가스 층이 Chumyshty-Bazay 그룹에서 발견되었다.

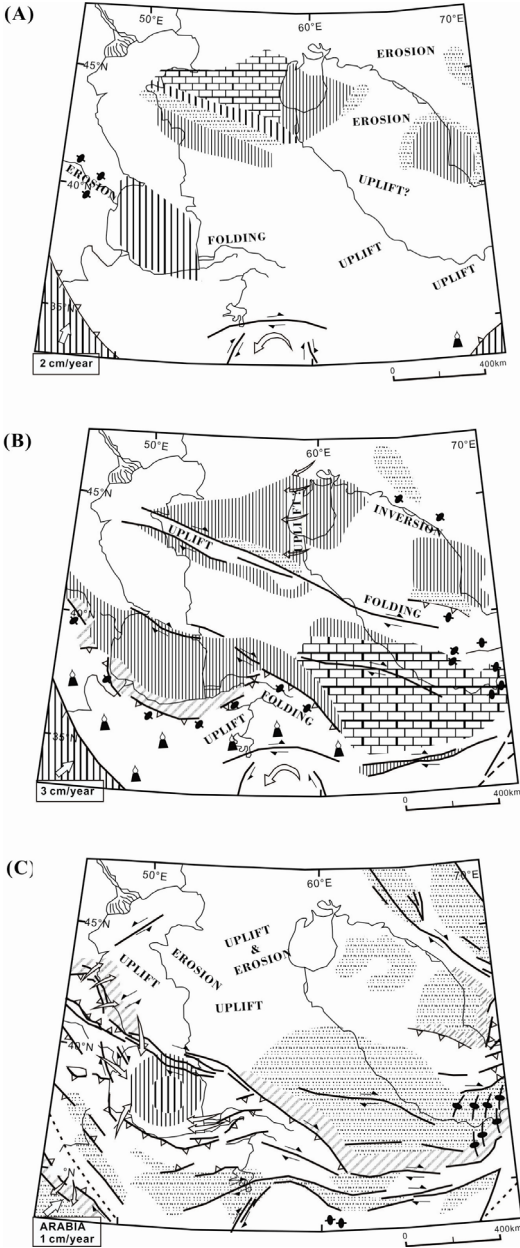


Fig. 8. Major fault movement and approximate paleogeography around North Ustyurt Basin, during (A) Latest Cretaceous~Paleocene (B) Early stage of late Paleogene to Neogene (C) Late stage of the Paleogene to Neogene deformation event (Modified after Otto, 1997).

북유스튀르트 분지의 덮개암

Callovian ~ Oxpordian의 점토질 탄산염층은 분지전체에 걸쳐 광역적인 덮개암 역할을 하고 있다(Daukeyev *et al.*, 2002). 그러나 쥐라기 상부층이 용기된 곳에서는 이 지층이 사라진 곳도 있다. 고생대 저류층은 석탄기 상부에서 폐름기 하부의 화산쇄설물로 덮여있고 화산쇄설물이 침식된 곳에서는 폐름기 상부층과 삼첩기 세일층이 덮개암으로 작용한다. Aalenian ~ Bajocian의 쇄설성 퇴적암층 및 Oxfordian ~ Valanginian의 점토질 탄산염층은 북부자치 소분지의 준광역적인 덮개암이다(Nukenov *et al.*, 2002). 쥐라기 중·하부의 층간 세일과 실트암은 분지 동쪽에서 저류암층과 같이 퇴적되어 국부적인 덮개암 역할을 하고 있다. Neocomian에 퇴적된 30 ~ 60 m 두께의 해양 세일은 분지 동쪽 쥐라기 중·상부층의 준광역적인 덮개암이다(Abdullayev *et al.*, 2008). Aptian의 해양 세일은 북부자치지역의 백악기 하부 저류층의 덮개암(Nukenov *et al.*, 2002)이며, 에오세 상부 Saksail 세일은(350 m 이상) 에오세 중기 Tasaran 저류층의 준광역적인 덮개암이다. 에오세 Zyzyloy 층내에는 층간 덮개암이 존재한다. 에오세 ~ 올리고세 저류층은 올리고세 상부 세일층이 350 m의 두께로 퇴적되어 있다.

결 론

북유스튀르트 분지의 주요 석유시스템은 백악기, 쥐라기, 고생대 후기로 알려져 있다. 지금까지의 탐사결과 고생대 후기 시스템에서 확인된 탄화수소가 상대적으로 적으므로, 앞으로의 탐사는 쥐라기 석유시스템에 중점을 두어야 한다. 쥐라기 상부의 저류층은 공극률 24%, 투수율 57 ~ 67 mD로 높은 편이며 분지전체 탄화수소의 60%가 이곳에 부존되어 있다. 나머지 탄화수소는 삼첩기 사암층내에 10%, 후기 백악기 Neocomian 실트층과 사암층내에 21%, 점토층이 덮개암을 형성하는 에오세의 실트층에 8%의 가량 부존되어 있다. 백악기 저류층은 북부자치 용기대로 한정되고, 북유스튀르트 분지 북쪽과 동쪽의 에오세 사암에서만 가스의 집적이 확인되었다. 북유스튀르트 분지의 북서쪽은 북 카스피해 분지의 텅기즈 유전과 같이 고생대 퇴적층이 주요 저류층이고 층서 트랩이 우세한 것으로 해석된다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원의 사업인 ‘국내의 석유 퇴적분지 분석 및 정보화(과제번호 14 ~ 1133)’의 일부로 수행되었고, 2014년도 산업통상자원부의 재원으로

한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20142510101810). 아낌없이 조언을 해주신 익명의 심사자분들께 감사드립니다.

References

- Abdulleena, A.A., Votsalevshy, E.C. and Kuandykova, B.M., 1993, "Oil and gas deposits of Kazakhstan," Nerda, Moscow, p. 247.
- Abdullayev, G.S., Akramova, N.M., Muminjanova, M.M., Rubtsova, S.A. and Ramazanov, S.R., 2008, "Geochemical characteristics of Jurassic gases and condensates in the Sudochiy trough, Ustyurt Region (in Russian)," *Geologiya, geofizika i razrabotka nefyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*, VNIIOENG, Moscow, Vol. 9, pp. 32-34.
- Barde, J., Gralla, P., Harwijanto, J. and Marsky, J., 2002, "Exploration at the eastern edge of the PriCaspian Basin: Impact of data integration on Upper Permian and Triassic prospectivity," *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, Vol. 86, No. 3, pp. 399-415.
- BP, 2014, "Quantifying energy - BP Statistical Review of World Energy 2014," <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/statistical-review-2014/BP-statistical-review-of-world-energy-2014-full-report.pdf>.
- Brookes, N.J., Flanagan, S. and Thomas, I., 2000, "NIMIR Petroleum Bars B.V. Exploration and Production Licence #974 on the Buzachi Peninsula Western Kazakhstan," http://www.energy365.com/preview/nimir_map_1.htm.
- Clarke, J.W., 1994, "Petroleum potential of the Amu Dar'ya Province, western Uzbekistan and eastern Turkmenistan," *International Geological Review*, Vol. 36, pp. 407-415.
- Daukeyev, S., Votsalevskiy, E.S., Shlygin, D.A., Pilifosov, V.M., Paragulgov, K.K., Kolomiyets, V.P. and Komarov, V.P., 2002, "Glubinnoye stroyeniye i mineralnye resursy Kazakhstana (Deep structure and mineral resources of Kazakhstan)," *Oil and Gas*, Vol. 3, pp. 138-162.
- Dercourt, J., Zonenshain, L.P., Ricou, L.-E., Kazmin, V.G., Le Pichon, X., Knipper, A.L., Grandjacquet, C., Sbertshikov, I.M., Geysant, J., Lepvrier, C., Pechersky, D.H., Boulon, J., Sibuet, J.-C., Savostin, L.A., Sorokhtin, O., Westphal, M., Bazhenov, M.L., Lauer, J.P. and Bijou-Duval, B., 1986, "Geological evolution of the Tethys belt from the Atlantic to the Pamirs since the Lias," *Tectonophysics*, Vol. 123, pp. 241-315.
- Golonka, J., 2007, "Geodynamic evolution of the South Caspian Basin," in P. O. Yilmaz and G. H. Isaksen, editors, *Oil and gas of the Greater Caspian area*, AAPG Studies in Geology 55, pp. 17-41.
- Golonka, J., Edrich, M., Ford, D.W., Pauken, R.B., Bocharova,

- N.Y. and Scotese, C.R., 1996, "Jurassic paleogeographic maps of the world," in M. Morales, ed., *The continental Jurassic*, Museum of Northern Arizona Bulletin, Vol. 60, pp. 1-5.
- Golonka, J., Ross, M.I. and Scotese, C.R., 1994, "Phanerozoic paleogeographic and paleoclimatic modeling maps," in A. F. Embry, B. Beauchamp, and D. J. Glass, eds., *Pangea: Global environment and resources*, Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir 17, pp. 1-47.
- IHS Energy, 2013, "North Ustyurt Basin," Basin Monitor, p. 215.
- Khain, V.E., 1977, "Regional Geotectonics (Extra-Alpine Europe and West Asia)," Nerda, Moscow, p. 360.
- Kopp, M.L., 1997, "Lateral escape structures in the Alpine-Himalayan collision belt (in Russian)," Moscow, Scientific World, *Russian Academy of Sciences Transactions*, Vol. 506, p. 314.
- Kozmodemyansky, V.V., Salimgereev, M.Zh., Avrov, V.P., Vinogradova, K.V. and Lipatova, V.V., 1995, "Framework of the pre-Jurassic structural complex of the Buzachi Peninsula in connection with petroleum potential," *Geologiya Nefti i Gaza*, No. 10, pp. 9-15.
- Kuandykov, B.M., Obryadchikov, O.S. and Taskinbayev, K.M., 2011, "Specifics of Geological Development of Caspian Block Structure," *Search and Discovery Article #10309*.
- Lee, D.K., 2009, "Current status and development Circumstance of mineral resources in Kazakhstan," *J. of the Korean Society for Geosystem Engineering*, Vol. 46, No. 5, pp. 635-645.
- Letavin, A.I., 1980, "Fundament Molodoy Platformmy Yuga SSSR (Basement of the Young Platform in Southern USSR)," Nauka, Moscow, p. 153.
- Maximova, S.P., 1987, "Oil and gas fields of the USSR," Nedra, Moscow, Vol. 1, p. 358.
- Metcalf, I., 1994, "Late Paleozoic and Mesozoic paleogeography of eastern Pangea and Tethys," in A. F. Embry, B. Beauchamp, and D. J. Glass, eds., *Pangea: Global environment and resources*, Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir 17, pp. 97-111.
- Metcalf, I., 1996, "Pre-Cretaceous evolution of SE Asian terranes," In: Hall, R. & Blundell, D. (eds) *Tectonic Evolution of Southeast Asia*, Geological Society London, Special Publications, Vol. 106, pp. 97-122.
- Milanovskiy, Y.Y., 1987, "Geologiya SSSR; Chast' 1, Vvedeniye, drevniye platformy i metaplatformennyye oblasti (Geology of the USSR; Part 1, Introduction, ancient platforms and metaplatform regions)," Moskov Universitet, Moscow.
- Miyake, K., 1997, "Newly identified play of unexplored Paleozoic in onshore north-western part of aral sea in the north Ustyurt basin. geological Framework and Petroleum Prospectivity of the Aral Sea," *Kazakhstan Caspiy Shelf (KCS) 4th Geological Seminar*, Almaty, October 23-24, pp. 51-56.
- Nukenov, D.N., Punanova, S.A. and Nasonova, Ye.A., 2002, "Buzachi peninsula as one of the most important oil producing areas in Western Kazakhstan (in Russian)," *Geologiya, geofizika i razrabotka neftnykh i gazovykh mestorozhdeniy*, Vol. 7, pp. 38-41.
- Okere, D. and Toothill, S., 2012, "New insights into hydrocarbon plays in the Caspian Sea, Kazakhstan," *Petroleum Geoscience*, Vol. 18, pp. 253-268.
- Otto, S.C., 1997, "Mesozoic-Cenozoic history of deformation and petroleum systems in sedimentary basins of Central Asia; implications of collisions on the Eurasian margin," *Petroleum Geoscience*, Vol. 3, pp. 327-341.
- Paragulgov, T.K. and Paragulgov, K.K., 2012, "Historic and Genetic fundamentals of kazakhstan sedimentary basins Oil and Gas potential," *Kazgeo 2012-existing Resources*, New Horizons Almaty, Kazakhstan, October 29-31.
- Pleshcheyev, I.A. and Schlezinger, A.Y., 1959, "History of the formation of relief in Mangyshlak and its connection to major tectonic structures (in Russian)," *Byulleten' MIOP, Otdel Geologicheskoy* 34, pp. 61-74.
- Ricou, L.-E., 1996, "The plate tectonic history of the past Tethys Ocean," in A. E. M.Nairn, L.-E.Ricou, B.Vrielynck, and J. Dercourt, eds., *The oceans basins and margin: The Tethys Ocean*, New York, Plenum Press, Vol. 8, pp. 3-70.
- Robinson, A.G., Rudat, J.H., Banks, C.J. and Wiles, R.L.F., 1996, "Petroleum geology of the Black Sea," *Marine and Petroleum Geology*, Vol. 13, pp. 195-223.
- Robson, D., 2011, "The Doris discovery and the potential of Ustyurt," *15th Uzbekistan International Oil & Gas Exhibition and Conference*, May 17-19.
- Sengor, A.M.C. and Natalin, B.A., 2007, "Regional tectonics and evolution of the Greater Caspian region," in P. O. Yilmaz and G. H. Isaksen, editors, *Oil and gas of the Greater Caspian area*, AAPG Studies in Geology 55, pp. 11.
- Ulmishek, G.F., 2001, "Petroleum Geology and Resources of the North Ustyurt Basin, Kazakhstan and Uzbekistan," *Bulletin United States Geological Survey*, 2201-D, <http://geology.cr.usgs.gov/pub/bulletins/b2201~d/>. U.S. Geological Survey, Reston, VA, United States.
- Zonenshain, L.P., Kuzmin, M.I. and Napatov, L.M., 1990, "Geology of the USSR: A Plate-Tectonic Synthesis," *American Geophysical Union, Geodynamics Series*, Washington DC, Vol. 21, p. 242.



우 주 환

1999년 충북대학교 자연과학대학 지구
환경과학과 이학사
2002년 충북대학교 대학원 지구환경과
학과 이학석사
2013년 충북대학교 대학원 지구환경과
학과 수료

현재 충북대학교 지구환경과학과 박사과정
(E-mail; jhonta@hanmail.net)



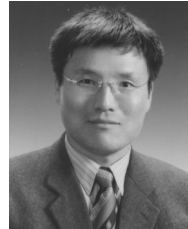
김 지 수

1980년 서울대학교 공과대학 자원공학
과 공학사
1991년 서울대학교 대학원 자원공학과
공학석사
1994년 University of Manitoba(Canada)
지구물리학 공학박사

현재 충북대학교 지구환경과학과 교수
(E-mail; geop22@chungbuk.ac.kr)

황 인 걸

현재 한국지질자원연구원 석유해저자원연구부 책임연구원
(本學會誌 第50卷 第6号 参照)



이 철 우

1988년 서울대학교 자연과학대학 해양
학과 이학사
1991년 서울대학교 대학원 해양학과 이
학석사
1994년 서울대학교 대학원 해양학과 이
학박사

현재 충북대학교 지구환경과학과 교수
한국에너지기술평가원 자원개발PD(파견 근무중)
(E-mail; gloryees@cbu.ac.kr)