



Review

한국해역 석유 및 가스 자원탐사에 관한 연구개관: 도전과 전망

유인창

경북대학교 자연과학대학 지질학과

Overview of research on offshore oil and gas resource exploration in Korea: Challenges and prospects

In-Chang Ryu

Department of Geology, College of Natural Sciences, Kyungpook National University, Daegu 41566, Republic of Korea

Received: July 20, 2026 / Revised: August 11, 2026 / Accepted: August 15, 2026

*Corresponding author: +82-53-950-5359 / E-mail: inchang@knu.ac.kr

요약: 한국해역에는 서한만분지, 군산분지, 제주분지, 울릉분지, 동한만분지가 분포한다. 1970년 이후 동 퇴적분지들에서 탄화수소 자원을 찾기 위한 탐사가 진행되었다. 각각의 퇴적분지는 석유와 가스 자원의 가능성을 보여주는 독특한 지질구조를 보여준다. 그러나, 울릉분지를 제외한 분지들에서는 상업적 발견이 매우 제한적이었다. 이러한 매우 제한적인 성공은 분지 내 석유 시스템을 평가하기 위한 종합적인 퇴적분지 해석의 부족에서 기인한다. 본 보고서는 각 퇴적분지에서 그동안 수행되었던 석유 자원탐사 결과들을 바탕으로 과거에 수행되었던 탐사의 문제점과 미래의 탐사 전망에 초점을 맞춘 개관을 제공한다.

주요어: 한국해역, 퇴적분지, 석유가스 자원탐사, 석유시스템, 통합적 접근

ABSTRACT: Sedimentary basins in offshore Korea include the West Korea Bay, Gunsan, Jeju, Ulleung, and East Korea Bay basins. These basins have been explored for hydrocarbon resources since the 1970s. Each basin exhibits distinct geological characteristics relevant to oil and gas potential. However, commercial discoveries have been rare in all basins except the Ulleung Basin. This limited success is likely due to the lack of an integrated basin analysis approach for assessing petroleum systems in the basin. This report provides an overview of the history of oil and gas exploration in these basins, focusing on past challenges and future prospects.

Key words: offshore Korea, sedimentary basin, oil and gas exploration, petroleum system, integrated approach

1. 서론

석유(石油; petroleum)는 동물과 식물의 유해와 같은 유기물질들이 자연의 상태에서 퇴적물과 함께 일정 장소에 퇴적된 후 지하로 매몰되면서 지열과 지층압력을 받아 만들어진 유기화합물로, 퇴적층의 미세공간 내에 집적되어있는 액체 상태의 원유 또는 기체 상태의 천연가스를 포함한다. 에너지 자원으로써 석유의 가치가 발견되기 전에는 지하에서 지표로 스며 나온 석유를 인류가 약품이나 방수재 등으로 사용했던 기록이 있으며 세계 최초로 지하에 매장되어 있는 석유를 캐낸 기록은 기원후 347년 중국에서 이뤄졌으며 지하 240 m까지 시추하여 지하의 석유를 채취하

여 연료로 사용하였다.

현대로 들어오면서 1859년 미국 북동부 지역 펜실베이니아에서 상업적으로 지하의 석유를 채굴하여 사용하였으며 19세기 후반까지 석탄의 대체자원으로 쓰이다가 19세기 후반에 미국이 석유 보일러 선박 개발에 성공하면서 단번에 가장 중요한 에너지 자원으로 급부상하였다. 특히 1, 2차 세계대전 동안에는 석유 자원이 곧 군사력의 핵심으로 전쟁의 승패를 가르는 주요 군수물자로 등장하였으며, 2차 세계대전 이후, 20세기 중반부터는 석유 자원이 국가 경영에 있어서 필수적인 경제자원으로 인식되기 시작하여 대규모 석유기업 집단들이 만들어지기 시작하면서 몇 개의 석유기업 집단들에 의해 세계 경제가 지배되었다. 20세기 후



Fig. 1. Sedimentary basins and concession areas, offshore Korea (Reproduced from Korea National Oil Corporation).

Table 1. Exploratory drilling history in the southern offshore Korea (1972-1995)(Reproduced from Korea National Oil Corporation).

년도	광구	시추공명	시추선	시추심도 (M)	시추결과	참여회사
1972	5	KV-1	Glomar-IV	1,186	건공	텍사코(40), 셰브론(40), 락히유전(20)
	6-1	돌고래-1	Ocean Prospector	4,262	건공	헬(100)
1973	2	IIH-1XA	GlomarIV	3,467	건공	컬프(100)
1975	6-2	소라-1	Ocean Prospector	3,167	가스징	헬(100)
	6-2	도미-1	Ocean Prospector	3,212	유가스징	헬(100)
1980	JDZ	JDZVII-1	Hakuryu III	4,486	가스징	코암(50), 일본석유(50)
	JDZ	JDZV-1	Hakuryu III	3,317	유가스징	일본석유(50), 텍사코(20), 셰브론(20), 락히(10)
1981	JDZ	JDZVII-2	Hakuryu V	4,190	가스징	코암(50), 일본석유(50)
1983	4	PZ-1	Jim Cunningham	1,206	건공	JAPEX(50), 유개공(50)
1984	JDZ	JDZV-2	Hakuryu V	3,203	건공	일본석유(50), 텍사코(20), 셰브론(20), 락히(10)
1985	JDZ	Nkkan8-IX	Hakuryu V	3,248	건공	제국석유(50), 코암(50)
	JDZ	JDZVII-3	Sedco 445	4,258	건공	코암(50) 일본석유(50)
1986	JDZ	JDZV-3	Hakuryu III	3,221	건공	일본석유(50), 유개공(45), 경인(5)
1987	6-1	돌고래-3	두성호	3,216	가스발견	유개공(100)
1988	6-1	돌고래-3-1	두성호	3,623	건공	유개공(100)
	6-1	돌고래-3-2	두성호	3,143	건공	유개공(100)
	6-1	돌고래-2	두성호	3,230	가스발견	유개공(100)
	2	잉어-1	두성호	4,103	건공	마라톤(50), 유개공(50)
1989	6-1	돌고래-5	두성호	2,012	가스발견	유개공(100)
	6-1	돌고래-5-1	두성호	3,237	가스발견	유개공(100)
	6-1	돌고래-7	두성호	4,616	건공	유개공(100)
	5	옥돔-1	두성호	2,903	건공	해드슨(30), 유개공(50), 울트라마(20)
1991	1	해마-1	두성호	2,541	건공	유개공(100)
	2	까치-1	두성호	2,726	건공	마라톤(50), 유개공(50)
	5	거북-1	두성호	2,722	건공	울트라마(20), 유개공(70), 커틀랜드(10)
1993	5	드래곤-1	South Seas Driller	2,520	건공	커틀랜드(40), 유개공(50), 베이직(5), 팔라완(5)
	6-1	고래-1	Jim Cunningham	4,229	가스발견	유개공(100)
1994	6-1	고래-1-1	Atwood Oceanics	3,896	건공	유개공(100)
1995	6-1	고래-1-2	Atwood Oceanics	3,800	건공	유개공(100)

반부터는 주요 산유국을 중심으로 자원민족주의가 대두되면서 전 세계적으로 석유파동이 일어남에 따라 국가의 외교·안보적 측면에서 매우 중요한 국가전략자원으로 자리를 차지하면서 현재에 이른다. 한편, 우리나라는 고도 경제성장에 따라 석유는 주요 전략자원이 되었으며 석유자원 개발을 시작하게 되었다. 본 논문은 한반도 해역을 중심으로 석유자원의 탐사에 대한 현황을 정리하고 석유와 가스를 포함하는 에너지 자원 연구에 대한 동향과 쟁점들을 정리하였다.

2. 한반도 및 주변의 석유 개발사

19세기 후반에 들어와 석유 자원이 중요한 에너지 자원

으로 급부상하면서 선진국들은 자국 내에 매장되어 있는 석유 자원에 대한 조사를 시작하였다. 특히 선진국들은 석유를 포함하여 금속, 비금속 등 지하에 분포하는 자원이 매장되어 있을 가능성이 매우 높은 지역들을 식민지로 선점하면서 당시의 과학적 기법들을 동원하여 조사에 착수하였다.

한반도를 포함하는 동아시아 지역도 예외는 아니어서 석유와 석탄을 포함하여 금속, 비금속 등 지하에 분포하는 자원에 대한 조사가 19세기 말부터 일본 정부에 의해 수행되었다. 1884년 당시 일본의 동경대학 지질학과 강사로 재직하고 있었던 독일인 고체(C. Gottsche)가 한반도 내륙을 답사하면서 한반도에서는 최초로 지하자원에 대한 조사가

Table 2. Exploratory drilling history in North Korea (1977-1991) (Reproduced from Huh *et al.*, 2006, with permission from Korean Society of Petroleum Geology).

반	시추공 번호	시추기간	시추기	시추심도 (m)	특기사항	결과
서한만	301	1977-1979	육상용	3,000	쥬라기 사암에서 미약한 유정 발견	부정적 측면: - 8개공 실패 긍정적 측면: - 9개공 유정 발견 - 2개공 석유발견 - 1개공 가능성 높음 - 2개의 석유 근원암층
	401	?-1982	"	2,800	실패	
	402	1986-1987	"	3,300	유정 발견	
	403	?-1985	"	3,500	실패	
	404		"		두꺼운 올리고세	
	405		"			
	601	9개월	유성호	3,880	백악기 층서에서 미약한 유정 발견	
	602	1980 (?)	"		올리고세-중생대층에서 유정 발견	
	603	1981-1982	"	4,058		
	604		"	2,100		
	605		"	3,754	백악기 사암에서 석유 분출	
	606	1985-1986	"	3,754	235 배럴/일 산출	
	607		"	1,750	유정 발견	
	608		"		석유 분출 없음	
	609	1989	"			
동한만	610	1989	"		425 배럴/일 산출	
	611	1987-1988	"	1,950	고생대 석회암에서 유정 발견	
	3203	1999	"	2,500		
길주 - 명천 지구대	E-601	1988 이후	"		미약한 가스 징후	부정적 측면: - 경제성 규모 회박 긍정적 측면: - 소규모 석유 및 가스 부존
	E-602	1991	"		실패	
길주 - 명천 지구대	22개 시추공		육지		경제성 있는 규모의 석유 부존 가능성 회박 미약한 가스 징후	부정적 측면: - 경제성 규모 회박 긍정적 측면: - 소규모 석유 및 가스 부존

시작되었으며, 1905년 일본 정부가 한반도를 공식적으로 식민지화한 이후, 한반도 전역에 걸쳐 자원 조사가 일본인들에 의해 수행되었다(Yang, 1991). 당시 일본은 니이가타(Niigata) 연안에서 소규모 유전들이 개발되어 석유를 생산하였으나(그림 1) 소비량에 미치지 못해 수입에 의존하지 않으면 안 될 정도로 부족했고 이 때문에 일본은 한반도에서 석유 자원을 기대하였으나 발견치 못하였으며, 1931년 만주사변을 일으켜 만주를 침공하게 되었다. 만주를 점령한 일본은 만주 지역에서 석유 자원탐사를 수행하였으나 만주에도 석유가 없다고 결론을 내리고 당시 석유가 생산되고 있었던 동남아시아로 전선을 확장하면서 태평양 전쟁으로 확대시켜 나갔다. 그러나 2차 세계대전이 끝나고 1949년 중화인민공화국이 건립된 이후, 중국 정부는 만주 지역을 다시 조사하면서 일본이 석유가 없다고 포기한 만주 지역(송화-요하분지)에서 1959년 대정 유전과 같은 규

모 있는 유전들이 발견되었다(Spence, 1999). 이어서 1970년 중반 발해만 지역에서도 승리 유전과 같은 대규모 유전들이 발견되었으며, 1980년대에는 수베이지역에서, 2000년대에는 동중국해 해역(동중국해대륙붕분지)에서 통징 및 핑후유전들이 계속하여 발견되었다(그림 1). 이러한 중국의 성공적인 석유개발 역사는 오늘날 중국이 세계 2위의 경제력을 자랑하는 경제 대국으로 부상할 수 있었던 발판이 어디에서부터 시작되었는가를 잘 말해준다. 이를 배경으로 중국은 현재 전 세계를 무대로 전방위적으로 공격적인 탐사 활동을 벌이고 있다.

1970년대에 들어와 세계 경제가 주요 산유국들의 자원 민족주의에 지배되면서 유가가 급격하게 상승하자 우리 대한민국 정부는 1970년대 초부터 국내 대륙붕 해역에 석유 광구를 설정하였으며, 외국 석유회사와 공동으로 석유 자원을 탐사하기 시작하였다(그림 1; 표 1). 초기 단계인 1972~

1975년에는 외국계 석유회사인 텍사코, 셰브론, 쉘 등이 동남해 대륙붕에서 탐사를 수행하였다(표 1). 1980년에 들어오면서 정부는 한국석유개발공사(현재의 한국석유공사)를 설립하고 일본석유, 제국석유, JAPEX 등의 일본 석유회사와 텍사코, 셰브론 등의 외국 석유회사 공동으로 한일공동개발구역(JDZ; Joint Development Zone)에 대한 석유 자원탐사를 추진하였다(표 1). 1986년까지 탐사가 진행되었으나 이후, 일본 석유회사를 포함하는 외국 석유회사들 모두 국내 대륙붕 석유 자원 탐사사업에서 철수하였다. 1987년 이후에는 일부 외국 석유회사가 참여하였으나, 한국석유개발공사(현 한국석유공사)가 대부분 독자적으로 국내 대륙붕에서 석유 자원탐사를 수행하였으며, 결과로 1998년 울산 앞바다 58 km 해역 울릉분지 마이오세 퇴적층에서 양질의 가스층을 발견하였다. 양질의 가스층이 발견된 동해-1 및 동해-2 가스전은 2004년까지 6년 동안 생산시설 건설 등의 개발 기간을 거쳐 2004년부터 2021년까지 17년 동안 약 0.23 Tcf (Trillion cubic feet)의 천연가스와 약 390만 배럴의 초경질유를 생산하여 국내로 공급되었다. 총 누적 매출액 약 2조 6,000억 원을 기록하면서 투자액(1조

2,000억 원) 대비 220%의 비교적 양호한 수익률을 달성하였다. 현재는 가스층 고갈로 인하여 동해 가스전은 폐쇄되었으나 정부는 국내 해역에서 새로운 석유·가스전을 발견하기 위해 지속적인 탐사를 진행하고 있다.

한편, 북한의 석유 자원 개발 역사는 1965년으로 거슬러 올라간다. 기록상으로는 1965년 8월에 ‘연료자원지질탐사국’을 신설하여 최초로 석유 자원 개발을 위한 지질학적 조사에 착수한 것으로 알려진다. 북한은 1970년대 말에 들어와 서한만 해역(서한만 분지)에서 석유 자원탐사를 시작으로, 동한만 분지와 평안도의 신의주, 안주, 온천, 함경도의 길주·명천(길주·명천 지구대), 회령 등, 육상 지역을 포함하여 총 42개의 탐사정을 시추하였다(그림 1; 표 2). 그동안 기발표된 북한의 관련 자료들을 분석해 보면, 위 7개 지역이 석유 잠재력이 유망한 것으로 판단된다. 이 중 석유 잠재력이 가장 유망한 지역은 청천강 하구 유역의 안주를 중심으로 하는 안주 지역과 서해 해상의 서한만 분지로 나타난다(그림 1; 표 2). 원래 안주 지역은 1800년부터 바위틈에서 기름이 유출되어 이 기름을 주민들이 등화용으로 사용했다고 알려져 왔으며, 1964년에는 이 지역 탄전의 조사과

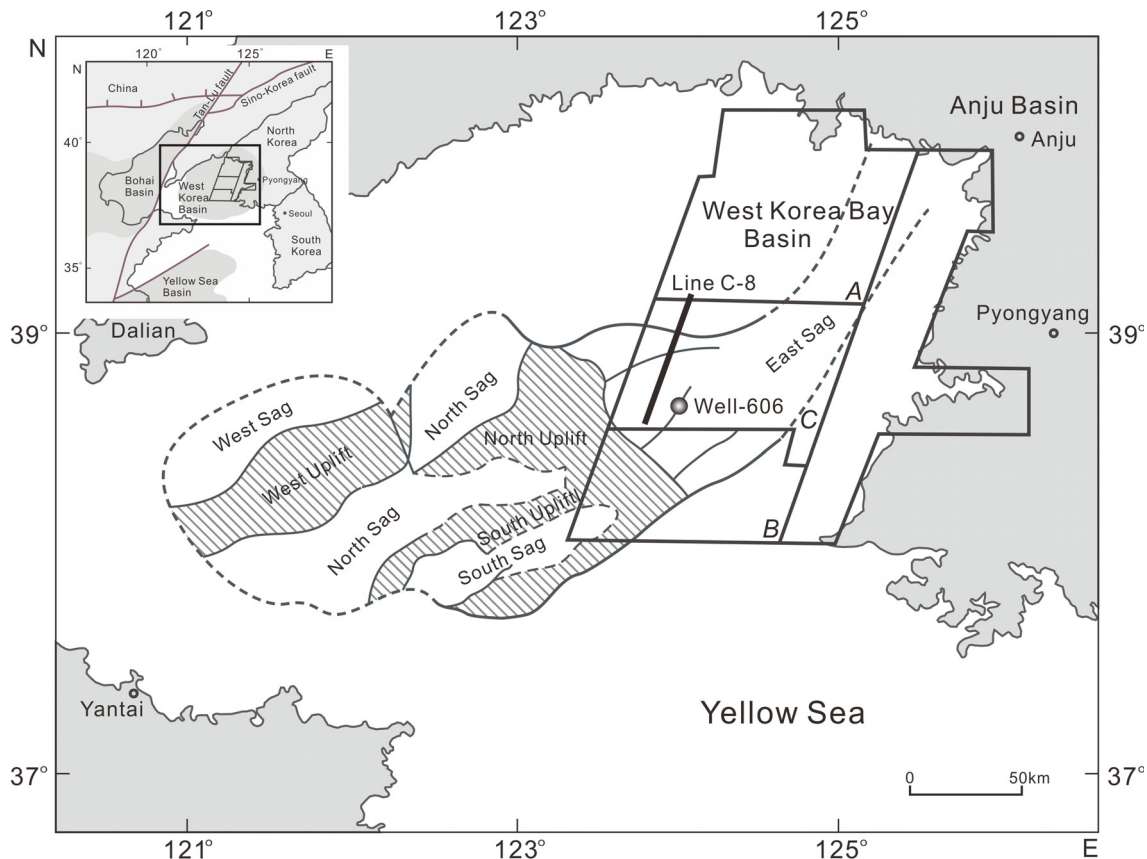


Fig. 2. Basin structure of the West Korea Bay Basin, offshore northwestern Korea (Reproduced from Park and Son, 2015, with permission from Geological Society of Korea).

정에서 처음으로 유징이 확인되어 북한에서도 석유부존 가능성을 처음으로 공식 인식한 지역으로 알려져 있다 (JOGMEC). 그러나 1960년대 이후, 1970년대로 들어오면서 탄전 개발과 함께 더 이상의 석유와 관련된 자료들이 발표되지 않고 있어 안주 분지에는 유전이 존재해 있을 가능성은 없는 것으로 판단된다. 이후 북한은 중국과 소련의 기술적 지원으로 서한만 해역에서 물리탐사와 시추작업을 수행하였으며, 중국의 보하이만 분지에서 대규모의 유전이 발견됨에 따라 비슷한 지질 조건을 가지고 있는 서한만 분지에서도 석유 발견을 기대하게 되었다. 1980년대까지 중국, 소련, 유고슬라비아 등 공산권 국가의 도움을 받아 탐사작업을 수행해 온 북한은 1990년대부터는 탐사자본과 기술을 얻기 위하여 서구의 석유회사가 참여할 수 있도록 개

방하였다. 1990년대 후반까지는 호주, 스웨덴, 영국 업체들이 활동하였으며, 스웨덴의 타우루스 페트롤리엄(Tarus Petroleum)사는 1997년 6월에 시행한 탄성과 탐사에서 원유 부존이 가능한 지질학적 구조를 확인하였다고 밝힌 바 있다. 외국 석유회사들과 물리탐사와 시추작업을 공동 수행하여 현재까지 서한만 분지에서 18개 공을 시추하였으며, 이 중 9개 시추공에서 유징을 확인하였다(표 2). 이후에도 소규모 석유탐사 회사들이 여타 지역에서 광구를 획득하여 탐사 및 개발을 수행하였으나 정치적인 이유 등으로 모두 철수하였고, 1999년 서한만에서 3203호 시추공을 마지막으로 현재는 석유 자원탐사를 위한 더 이상의 시추가 수행되지 않고 있다(표 2). 20여 년에 걸친 노력에도 불구하고 남한과 같이 상업성이 있는 석유가스전 발견에는 실

Age		Lithology		Thickness	Oil show	Environment
Cenozoic	Quaternary	Pleistocene	Fine sand, Mud	30~80m		Fluvial
		Pliocene	Sandstone, Conglomerate, Shale	450m		
	Neogene	Miocene	Sandstone, Conglomerate(brown coal)	200~300m		
	Paleogene	<Unconformity>				
		Oligocene	Upp.	Sandstone, Conglomerate, Shale(coal)	~3,000m	Fluvial
			Mid.	Alternation of Sandstone, Conglomerate, Salt, and Shale		Lacustrine
			Low.	Alternation of purple Shale, Silt, and Conglomerate		Swamp
Mesozoic	Eocene		Purple calcareous mudstone, sandstone, pebble-bearing sandstone	~750m	●	Lacustrine
			<Unconformity>			Fluvial
			Purple calcareous mudstone, sandstone, pebble-bearing sandstone			
	Lower Cretaceous	Upp.	Purple calcareous mudstone, sandstone, pebble-bearing sandstone	~3,000m		Lacustrine
		Mid.	green calcareous mudstone, black shale			Fluvial
		Low.	purple-gray sandstone, conglomerate		●	
	Upper Jurassic	Upp.	Black shale	~3,500m		
		Mid.	Gray sandstone, Muddy limestone		●	Lacustrine (deep lake)
		Low.	Black shale			
Paleozoic	Carboniferous~Ordovician		Limestone, Dolomite, Slate, Sandstone	5,000m~	●	
	Precambrian		Limestone, Dolomite, Slate, Sandstone			

Fig. 3. Basin stratigraphy of the West Korea Bay Basin (Reproduced from Son and Park, 2015, with permission from Geological Society of Korea).

패하였으나 북한 측 탐사 기록을 보면 1985년과 1989년에 서한만에서 시추하였던 605호, 610호 두 개의 시추공에서 각각 일산 235배럴, 425배럴의 원유를 시험 생산한 기록이 있다(표 2). 이러한 시험 생산한 기록은 석유 잠재력에 있어서 매우 고무적이며, 적어도 서한만 분지에는 석유가 생성되어 퇴적층 내에 부존되어 있을 가능성이 매우 높다는 것을 지시한다.

3. 퇴적분지와 석유 시스템

지하에 매장되어 있는 석유 자원을 찾기 위해서는 다량의 유기물질을 포함하는 퇴적층들이 퇴적된 장소인 퇴적분지가 그 주요 대상이 된다. 따라서 석유와 같은 에너지 자원을 탐사하기 위해서는 퇴적분지에 대한 연구가 필수적이다. 본 장에서는 한반도 주변 해역에 분포하는 퇴적분지들의 분지 발달사 및 각 퇴적분지들의 석유 시스템에 대한 그동안 수행되었던 연구내용들을 정리하였다.

3.1. 서한만분지와 석유시스템

서해 북부 해역에 위치하는 서한만분지(West Korea Bay Basin)는 국제적으로는 북황해분지(North Yellow Sea Basin)로 불리고 있으며, 실제로는 북황해분지의 북한 해역에 속하는 동부 침강(East Sag)만이 서한만 분지로 정의된다(그림 2). 수심 75 m 이하의 대륙붕에 발달하는 서한만분지는 육상으로 연장되어 동쪽으로 육상의 안주분지와 연결된다. 서한만분지는 동경 124°를 경계로 중국으로 연장되면서 북황해분지의 서부로 연결된다. 북황해분지의 서부는 분지 내의 융기대에 의해 서부 침강(West Sag), 북부 침강(North Sag), 남부 침강(South Sag)으로 나뉘며, 분지 중부에 위치하는 북부 침강은 다시 두 부분(북북부 침강과 남북부 침강)으로 분리되는 것으로 보인다(그림 2). 북황해 분지의 형태를 보면 동측의 서한만 분지는 북동 방향으로 50 km 정도의 좁은 폭과 120 km 정도의 길이를 유지하면서 길쭉한 형태를 보이고 있으나, 서측 연장부인 중국해역에 속하는 분지는 100 km 정도의 폭과 120 km 정도의 길이를 유지하는 사각형의 형태를 보인다(그림 2). 하나의 분지가 형태적으로 이원성을 보이는 것은 흔치 않으며, 이는 북황해 분지가 하나의 분지로 발달한 것이 아니라 각기 다른 분지로 발달한 두 개의 독립된 분지들이 단층에 의해 공간적으로 인접해 있는 것으로 해석될 수도 있다.

서한만 분지는 평균 30 km 정도의 두께를 가진 대륙지각 위에 발달하는 대륙 내 침강 분지(intra-continental sag basin)로 최대 침강 깊이는 6 km 정도에 이르는 것으로 분석된다(Choi and Ryu, 2018). 분지가 초기에는 느린 속도로 침강하였으나 점차 침강 범위가 확장되었고 분지 발달

후기에는 중부 침강이 단층에 의해 빠르게 침강되면서 현재의 분지 형태를 유지하게 되었던 것으로 해석된다. 이러한 해석은 서한만 분지는 캄브리아기 이전의 변성암 위에 5,000 m 이상의 고생대, 중생대, 신생대 퇴적암층이 두껍게 퇴적되어 있다는 것을 지시한다(그림 3). 서한만 분지 발달에 대한 분석은 서한만 분지에 퇴적된 퇴적물에 석유를 생성시킬 수 있는 유기물질들이 포함되어 있다면 이들로부터 석유가 생성될 수 있는 충분한 깊이를 보이는 것으로 해석된다.

분지의 기반암을 부정합으로 피복하는 고생대 퇴적층은 오르도비스기~석탄기 동안에 천천히 침강하는 석회암 대지의 환경에서 퇴적되었던 퇴적암으로 하부는 주로 석회암과 백운암으로, 상부는 역암과 사암, 석회암, 석탄층을 포함하는 이암들로 구성되어 있다(그림 3). 오르도비스기~석탄기 퇴적층을 부정합으로 피복하고 있는 퇴적층은 상부 주라기 퇴적층으로 하부는 흑색 이질암층이 우세하며, 중부는 사암 내지는 이질 석회암층이 우세하고, 상부는 다시 흑색 이질암층이 우세하다(그림 3). 전체적으로 상부 주라기 퇴적층은 흑색 이질암이 우세하기 때문에 “흑색 이암층”으로 불리고 있으며 서한만 분지의 석유를 생성시키는 주요 근원암이다. 이 흑색 이질암층은 깊은 호수 환경에서 퇴적되었으며, 누적 두께는 두꺼운 곳에서 약 3,500 m에 이른다. 상부 주라기 퇴적층 위에는 하부 백악기 퇴적층이 정합적으로 피복한다. 하부 백악기 퇴적층의 하부는 회색 또는 보라색을 띠는 이암, 사암, 역암들이 교호하는 호층대가 발달하며, 중부는 적자색 또는 회녹색을 띠는 석회질 이암과 흑색을 띠는 이질암이 우세하다. 그리고 상부에는 적자색의 석회질 이암과 사암이 우세하다. 전체적으로 하부 백악기 퇴적층은 붉은 자주색을 띠고 있어서 “적자색 지층”으로 불린다. 하부 백악기 퇴적층은 건조한 기후의 하천성 환경에서 퇴적된 것으로 판단되며 두꺼운 곳에서는 누적 두께가 약 3,000 m에 이른다. 이후 5,000만 년 동안 퇴적 활동이 중단되어 후기 백악기와 팔레오세에는 퇴적되지 않았다.

하부 백악기 퇴적층을 부정합으로 피복하고 있는 퇴적층은 에오세와 올리고세 동안에 퇴적된 퇴적층으로 에오세 퇴적층과 그 위를 정합으로 피복하는 올리고세 퇴적층으로 구성되어 있다(그림 3). 에오세 퇴적층은 자주색 이암, 사암, 함역질 사암으로 이루어졌으며, 최대 약 750 m의 두께를 나타낸다. 에오세 퇴적층 상위의 올리고세 퇴적층은 분지의 중앙부에서는 매우 두꺼워서 누적 두께가 3,000 m 정도에 이른다. 하부의 적자색을 띤 이암-실트암-사암 호층대, 중부의 사암-실트암-역암 호층대, 상부의 사질역암-이암(함탄층) 호층대로 나누어지는데, 일반적으로 상위로 갈수록 조립질이 우세하게 나타난다. 올리고세 퇴적층은 하천, 호수, 습지 등 다양한 퇴적 환경에서 퇴적된 것으로 판

단된다. 에오세 및 올리고세 퇴적층은 서한만 분지의 차별적 침강이 빠르게 일어나는 시기에 퇴적된 경계 단층의 차별적 침강에 의해 퇴적된 퇴적층으로 해석된다. 특히 하부의 에오세 퇴적층의 두께가 750 m 정도로 타 퇴적층에 비해 얇은 이유는 빠르게 침강하는 중부 침강의 동쪽 경계면을 따라 급격하게 퇴적되는 썩기형의 선상지 퇴적체로 중부 침강의 동쪽 경계 단층을 따라 제한적으로 퇴적되는 퇴적체로 판단된다.

올리고세 퇴적층을 부정합으로 피복하는 퇴적층은 마이오세 퇴적층으로 주로 사암, 역암, 이암으로 이루어졌으며, 분지 전반에 걸쳐 광역적으로 발달한다(그림 3). 총 800 m의 누적 두께를 보이며, 주로 하천 환경에서 퇴적된 것으로

판단된다. 마이오세 이후 광역적으로 일어난 해침에 의해 사암, 셰일, 이암으로 구성된 플라이오세-플라이스토세의 천해성 퇴적층이 정합적으로 마이오세 퇴적층을 피복한다.

서한만 분지의 분지 형성 과정과 암층서를 고려할 때 서한만 분지의 가장 유력한 근원암층은 상부 주라기층인 것은 의심의 여지가 없다. 즉, 분지의 열적 침강 단계가 끝나고 분지 내 경계 단층의 침강 1단계가 시작되면서 서한만 지역은 크고 작은 침강들이 만들어지면서 내륙의 호수로 발달하였고, 여기에 유기물이 풍부한 심호성의 상부 주라기층이 퇴적된 것으로 해석된다(그림 3). 상부 주라기층 내의 유기물들은 매몰되면서 매몰 심도와 온도가 증가함에 따라 석유와 가스를 생성하게 되고, 근원암의 공극에 많은

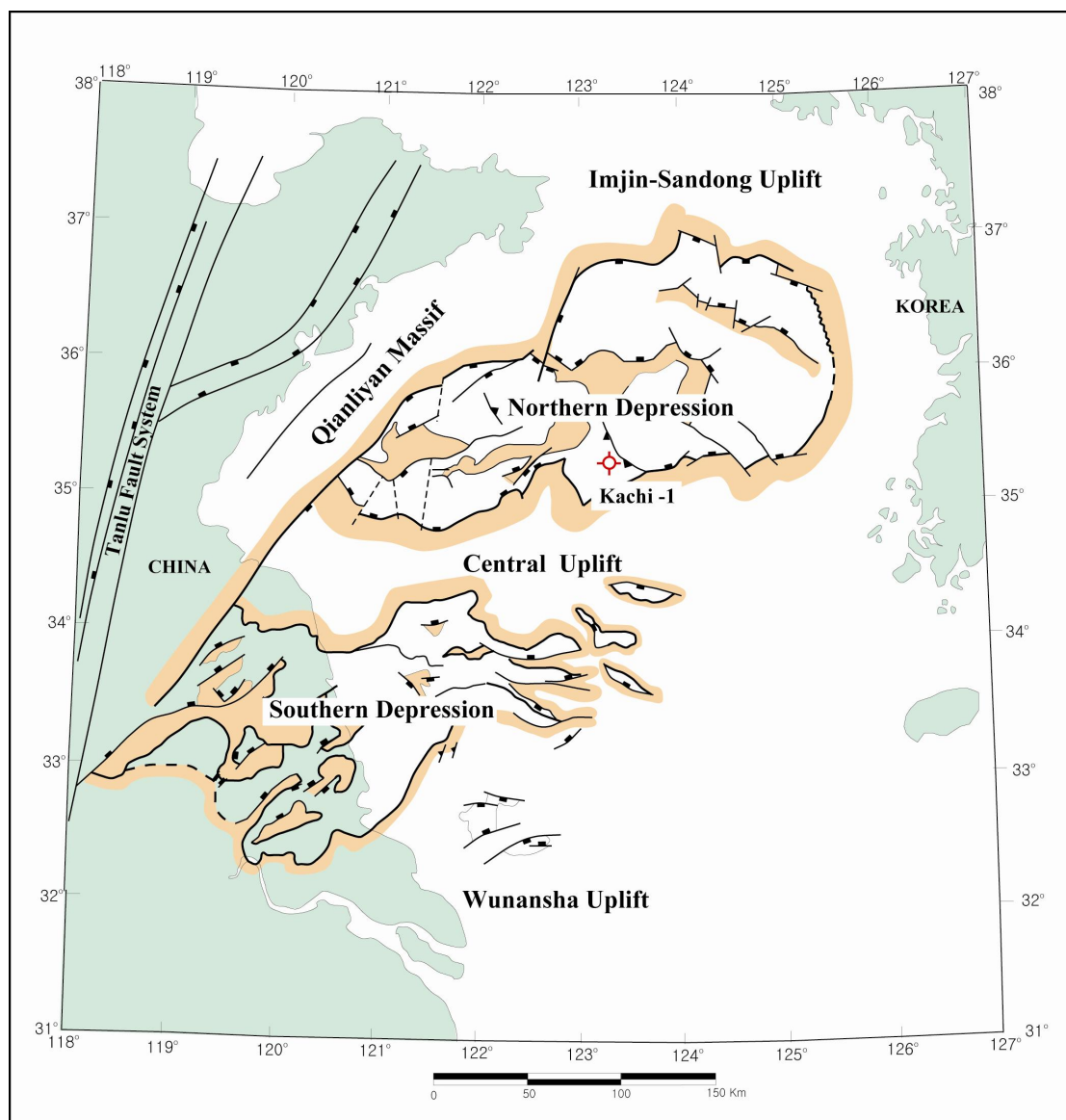


Fig. 4. Basin structure of the Gunsan Basin, offshore western Korea (from Ryu *et al.*, 2000).

양의 석유와 가스가 채워지게 되면 근원암으로부터 배출되어 주변의 공극률이 큰 퇴적층으로 이동해 갔을 것이다.

서한만 분지에서는 지금까지 18개 공이 시추되었고 9개 시추공에서 형광 반응에 의한 유징이 확인되었다(표 2). 특히, 605, 606 시추공에서는 하부 백악기층에서 석유가 분출되었거나 회수되어 원유분석이 수행된 바도 있다(표 2). 유징이 확인된 퇴적층도 다양하여, 중생대의 상부 쥐라기 층과 하부 백악기층뿐만 아니라 신생대의 에오세와 올리고세층에서도 유징이 확인된 바 있다(표 2). 또한, 기반암층인 고생대층에서도 유징이 나타나고 있다(표 2).

3.2. 군산분지와 석유시스템

군산분지를 포함하는 남황해분지는 한반도 서해안과 중국 산둥 반도 동부 해안으로 둘러싸인 반폐쇄성 주변해인 남황해 전반에 걸쳐 북동-남서 방향으로 발달하며, 중앙 융기대에 의해 북부 침강과 남부 침강으로 구분된다(그림 4). 남황해분지의 북부 침강은 중국해역과 한국해역에 걸쳐 발달하며, 북부 침강의 동부를 군산분지로 부른다(그림 4). 남황해분지의 남부 침강은 중국해역과 육상에 걸쳐 발달하며 장수분지로 알려져 있다. 특히 장수분지 육상의 수베이 지역에는 현재 석유를 생산하고 있는 유전이 존재한다(그림 1).

군산분지를 포함하는 남황해분지는 중국 동부 육상에 북북동 방향을 따라 발달하면서 북중국 지괴와 남중국 지괴의 경계가 되는 주향이동성 단층인 탄루단층에 의해 형성된 후, 변형되어 현재에 이르는 것으로 해석된다(그림 4). 트라이아스 말기에 북중국 지괴와 남중국 지괴의 충돌에 의해 친링-다비-수루 습곡대가 형성되었고 북중국지괴 아래로 남중국지괴가 섭입하면서 두 지괴는 압축성 구조운동의 영향을 받게 되었으며(Watson *et al.*, 1987), 이후 지속적인 섭입 및 압축 구조운동의 결과로 탄루단층을 따라 친링-다비 습곡대와 수루 습곡대가 분리되었다. 쥐라기에 들어와 섭입이 중단되고 깊게 매몰되어 있던 기반암들이 지역적으로 빠르게 융기하면서 심부지가 연성대로부터 천부지가 쇄성대로 전이될 때 발생하는 신장력에 의해 지역 내에 소규모 열개 분지가 생겨났다(Kim *et al.*, 2000).

신장력뿐만 아니라 탄루단층을 따라 생기는 이차 주향이동성 단층에 의해 남북 방향으로 신장된 소규모 열개 분지들이 남황해분지 내에 지역적으로 생기게 되었다. 이 분지들은 선캄브리아 기반암 위에 형성된 것으로, 쥐라기 초기 및 중기 동안 대륙성 퇴적물들이 유입되어 퇴적되었지만 대부분 융기 과정에서 삭박된 것으로 판단된다(Kim *et al.*, 2000). 쥐라기 말, 이자나기 판이 북쪽으로 섭입되면서, 한반도 내에 북동 방향으로 발달하는 공주 및 광주단층들이 발달하게 되었으며 이들의 좌수향으로의 이동에 의해 소규모 인리형 분지(pull-apart basin)들이 단층대를 따라

발달하였다(Chough *et al.*, 2000). 백악기 동안 주향이동단층들의 지속적인 이동과 이에 따른 인장력에 의해 소규모 열개 분지들이 동서 방향 혹은 서북서-동남동 방향의 대규모 인리형 분지로 확장되었다(Chough *et al.*, 2000). 고진기 에오세에 들어와 인도-유라시아 대륙의 충돌로 인한 조산운동의 영향으로 탄루 단층이 좌수향에서 우수향으로 이동을 시작하면서, 남황해분지는 남북 방향의 압축성 구조운동을 받게 되어 심한 습곡작용과 함께 구조 역전을 겪었다(Ryu and Kim, 2007). 에오세의 구조역전이 올리고세 초까지 지속되면서 동아시아 지역퇴적 분지 내 퇴적층들을 전체적으로 융기 및 삭박 시켰고 이는 마이오세까지 지속되었다. 마이오세 중기에 들어와 광역적 침강이 일어나고 플라이오세 및 제4기의 해침 결과로 남황해분지는 안정된 반폐쇄성 주변해로 전이된 것으로 해석된다(Ryu *et al.*, 2000).

군산분지 내 퇴적층은 시원생대 화강편마암류와 트라이아스기의 돌로마이트질 탄산염암을 기반암으로 부정합이나 이에 시간적으로 대비되는 정합에 의해 상부와 하부가 경계되는 6개의 단위층으로 분류된다(그림 5). 각 단위층들은 광역 지체구조운동과 밀접한 관계를 가지는 구조층서단위(tectono-stratigraphic unit), 또는 2차 순위의 연계층(second-order depositional sequence)으로 정의될 수 있으며, 하부로부터 ① 후기 쥐라기 말-전기 백악기 초 단위층, ② 전기 백악기 단위층, ③ 후기 백악기 단위층, ④ 후기 백악기 말-팔레오세 초 단위층, ⑤ 마이오세 초기 단위층, ⑥ 마이오세 중기 이후 단위층으로 분대된다.

트라이아스기 돌로마이트질 탄산염암층을 부정합으로 피복하는 후기 쥐라기 말-전기 백악기 초 퇴적층은 장석질 사암 및 응회암으로 구성된다(Ryu *et al.*, 2000). 본 단위층의 사암들은 풍화에 민감한 장석들을 포함하고 있고 괴상이며, 분급이 불량한 점 등으로 미루어 조산운동과 관련되어 퇴적물의 공급지로부터 이동거리가 멀지 않은 곳에 빠르게 퇴적된 퇴적층으로 해석된다. 본 퇴적층의 사암들이 장석을 포함하고 있고 분급이 불량한 점으로 미루어 분지형성 구조운동과 관련되어 급격하게 퇴적된 퇴적층으로 판단되어 군산분지가 본격적인 인리형 분지로 발달되기 전 단계인 열개(rifting) 단계에 퇴적된 퇴적층으로 해석된다.

쥐라기 말-전기 백악기 초 퇴적층을 부정합으로 피복하는 전기 백악기 퇴적층은 하부의 후기 쥐라기 말-전기 백악기 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. 군산분지의 탄성과 탐사 단면을 보면 전기 백악기 단위층의 발달이 후기 쥐라기 말-전기 백악기 초 동안에 퇴적된 열개 단계의 단위층을 평행

피복하거나 비대칭의 켜기모양을 띠면서 기반암을 사교 피복하는 특징을 보인다. 이러한 현상은 전기 백악기 단위층이 열개 단계 이후에 단순 침강에 의해 분지가 침강되면서 퇴적이 이루어졌던 것으로 판단된다.

전기 백악기 퇴적층을 부정합으로 피복하는 후기 백악기 단위층은 후기 쥐라기 말-전기 백악기 초 단위층 및 전기 백악기 단위층들에 비해 보다 광역적인 분포를 보이며, 다양한 암석들로 구성된다. 군산분지 시추공에서 관통된 후기 백악기 단위층은 주로 흑색 및 적갈색 셰일들로 구성되며, 탄산염암 및 다양한 색깔의 사암들이 구간에 따라 협재한다. 후기 백악기 단위층은 전기 백악기 단위층을 평행 피복하거나 지역적으로 사교 피복하는 특징을 보인다. 이러한 현상은 후기 백악기 단위층이 전기 백악기 단위층과 거의 비슷한 지구조 환경에서 분지가 침강되면서 퇴적이 이루어졌던 것으로 판단된다.

후기 백악기 퇴적층을 부정합으로 피복하는 후기 백악기 말-팔레오세 초 단위층은 주로 흑색 셰일 및 이암으로 구성되어 있으며, 간간히 탄산염암 및 암갈색 사암들이 협재한다. 본 단위층은 장수분지의 주근원암층과 주저류층인 후기 백악기 말-팔레오세 초 호소성 퇴적층인 태주층(Taizhou Formation)과 부령층(Funning Formation)층에 대비되며, 이전의 전기 및 후기 백악기 단위층과는 달리 매우 제한된 지역에만 분포하는 특징을 보인다(Ryu *et al.*,

2000). 군산분지 내에서도 광범위하게 분포하기 보다는 매우 제한된 지역에 분포하고 있으며, 탄성과 탐사단면을 보면 주로 북동 방향의 연속성을 보이면서 북서 방향으로 열개된 비대칭 함몰대 내의 퇴적체로 나타난다.

군산분지 내 후기 백악기 말-팔레오세 초 단위층의 분포 특성은 후기 백악기 말에 들어와 군산분지 및 인접 지역에 이전의 북동 방향의 신장력과 다른 북서 방향의 새로운 인장력이 영향을 미치게 되면서 분지가 재차 열개되었던 것으로 판단된다. 이러한 후기 백악기 말-팔레오세 초 동안의 군산분지 내 분지발달사를 탄루 단층의 발달사와 연계시켜보면 후기 백악기 말에 들어와 탄루 단층은 우수향으로의 이동을 시작하였으며, 결과로 탄루 단층 주변부에 북동 방향의 연속성을 보이면서 북서-남동 방향의 인장력에 의해 열개되었던 소규모 비대칭 함몰분지(예: 천산분지, 남경분지, 장수분지 육상, 제성분지)들이 형성되었다(Zhu *et al.*, 2005). 이러한 후기 백악기 말에 형성된 열개분지들은 팔레오세 초기까지 퇴적작용이 진행되었으며, 장수분지의 주 근원암층과 주 저류암층인 태주층 및 부령층(단위층 IV)을 퇴적시켰다(Ryu *et al.*, 2000). 아울러 군산분지 내에서도 이와 유사한 북동 방향의 연속성을 보이면서 북서 방향으로 열개된 비대칭 함몰분지들이 후기 백악기 말에 발달하기 시작하여 지속적으로 침강되었으며, 팔레오세 초기에 들어와 침강이 심화되면서 심호성 셰일들이 퇴적되었

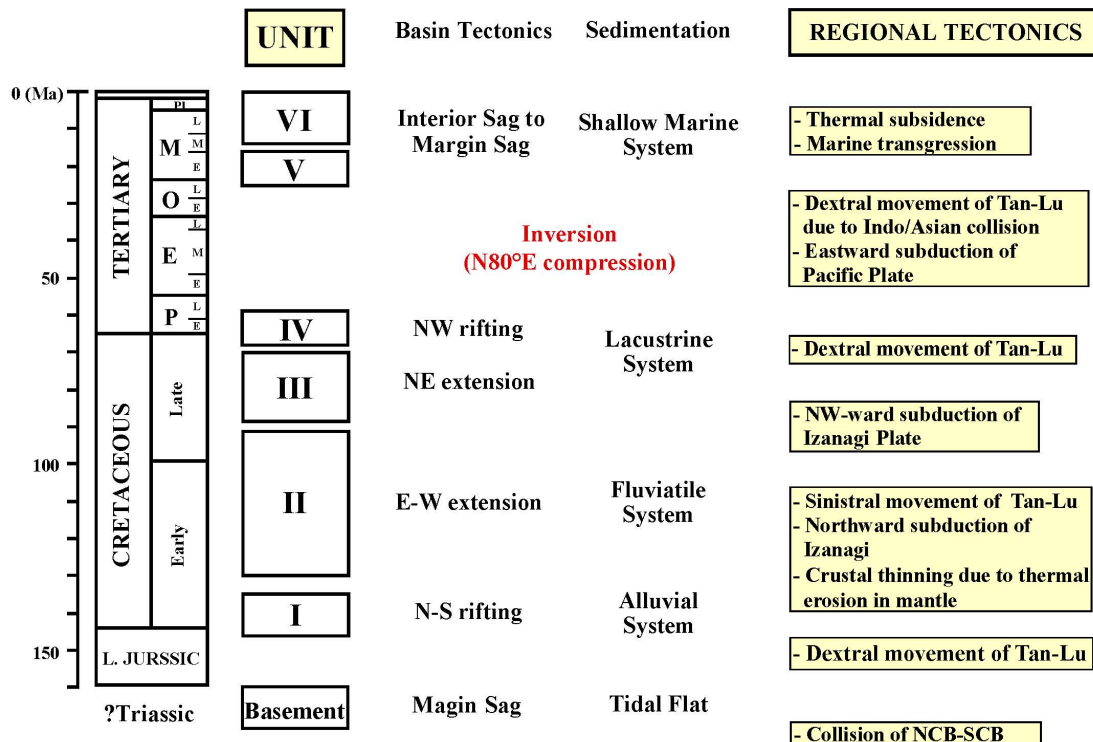


Fig. 5. Basin stratigraphy and tectonic evolution of the Gunsan Basin, offshore western Korea (from Ryu and Kim, 2000).

다. 이후 팔레오세 중기로 들어와 인접 지역으로부터 퇴적물의 유입량이 분지 침강률을 증가하면서 점차 분지가 충전되었던 것으로 해석된다(Zhang *et al.*, 1989).

팔레오세 말 이후 에오세와 올리고세 동안 퇴적은 중단되었고, 이전의 백악기 단위층들을 경사부정합으로 직접 피복하는 마이오세 초기 단위층은 직하부의 백악기 단위층과 같이 하성 및 범람원 환경을 지시하는 적색의 이암과 사암들로 구성되어 있으며, 일부 소택지 환경에서 퇴적된 것으로 보이는 박층의 탄산염암이나 건조 기후를 지시하는 증발암들이 협재한다.

마이오세 중기 이후 단위층은 주로 미고결 상태의 사암과 박층의 갈탄 및 연회색 이암들로 구성되어 있으며, 본 단위층의 하부는 대체적으로 육상충입에 반하여 상부의 플라이오세 및 제4기 퇴적층들은 간간히 해침을 받아 퇴적된 천

해성층으로 전이된다. 탄성과 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.

현재까지 군산분지 내에는 6개 공이 시추되었으나 생산 유전은 발견되지 않고 있다. 인접 장수분지(소북지역 육상 유전) 생산 유전의 석유시스템을 비교해 보면, 군산분지의 각 발달 단계에 따라 특징적인 탄화수소 부존 가능성이 존재한다. 이를 대별하면, 전기 백악기 석유시스템 및 후기 백악기-팔레오세 석유시스템으로 분류된다. 특히, 후기 백악기-팔레오세 석유시스템 내의 호소성 세일층이 근원암으로, 하성 환경의 사암층이 저류암으로 군산분지 내 가장 유망성이 있는 석유시스템으로 인지된다. 백악기 후기의 열

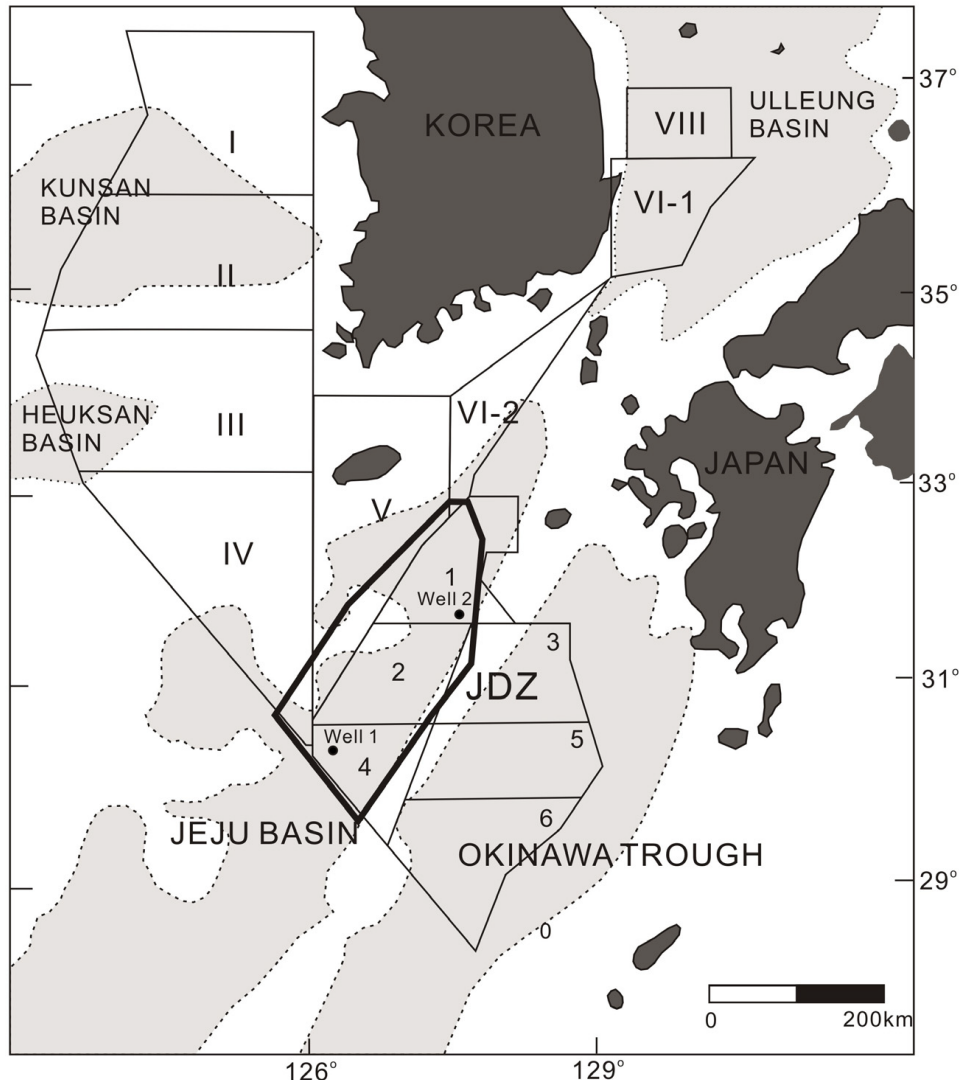


Fig. 6. Location map of the Jeju and Ulleung basins (Reproduced from Son and Lee, 2018, with permission from Geological Society of Korea).

개작용에 의해 형성된 지구나 반지구에 유기물이 많은 호소성 퇴적물이 쌓이고 성숙된 후, 경사면을 통해 탄화수소가 이동되어 팔레오세 사암층 내에 집적되어 단층에 의한 구조 트랩에 집적된 것으로 해석된다.

3.3. 제주분지와 석유시스템

제주분지는 6-1광구와 한일공동개발광구의 일부를 포함하고 있으며, 지역적으로는 남부 대륙붕에 걸쳐 발달한다(그림 1, 6). 구조적으로는 동중국해대륙붕분지와 지질학적 유사성을 가지는 퇴적분지로 보고되고 있다(Hsu *et al.*, 2001) (그림 1).

광역적으로 동중국해대륙붕 분지는 유라시아판, 태평양판, 필리핀판의 상호 구조작용에 따른 인장력에 의해 후기 백악기에서 팔레오세 시기에 열개작용이 일어났으며 지구대 및 반지구대가 형성되었다(Hsu *et al.*, 2001). 후기 올리고세에서 전기 마이오세에 이르는 동안 침강이 계속되었으며 지구대 및 반지구대에 퇴적물이 충전되었다. 이후 후기 마이오세에는 구조역전이 발생하여 분지 전체에 습곡과 침식 부정합이 발달하게 되었다. 전기 플라이오세 이후부터 현재까지는 광역적인 침강현상이 일어났으며 해침으로 인하여 현재와 같은 대륙붕 환경이 형성되었다(Hsu *et al.*,

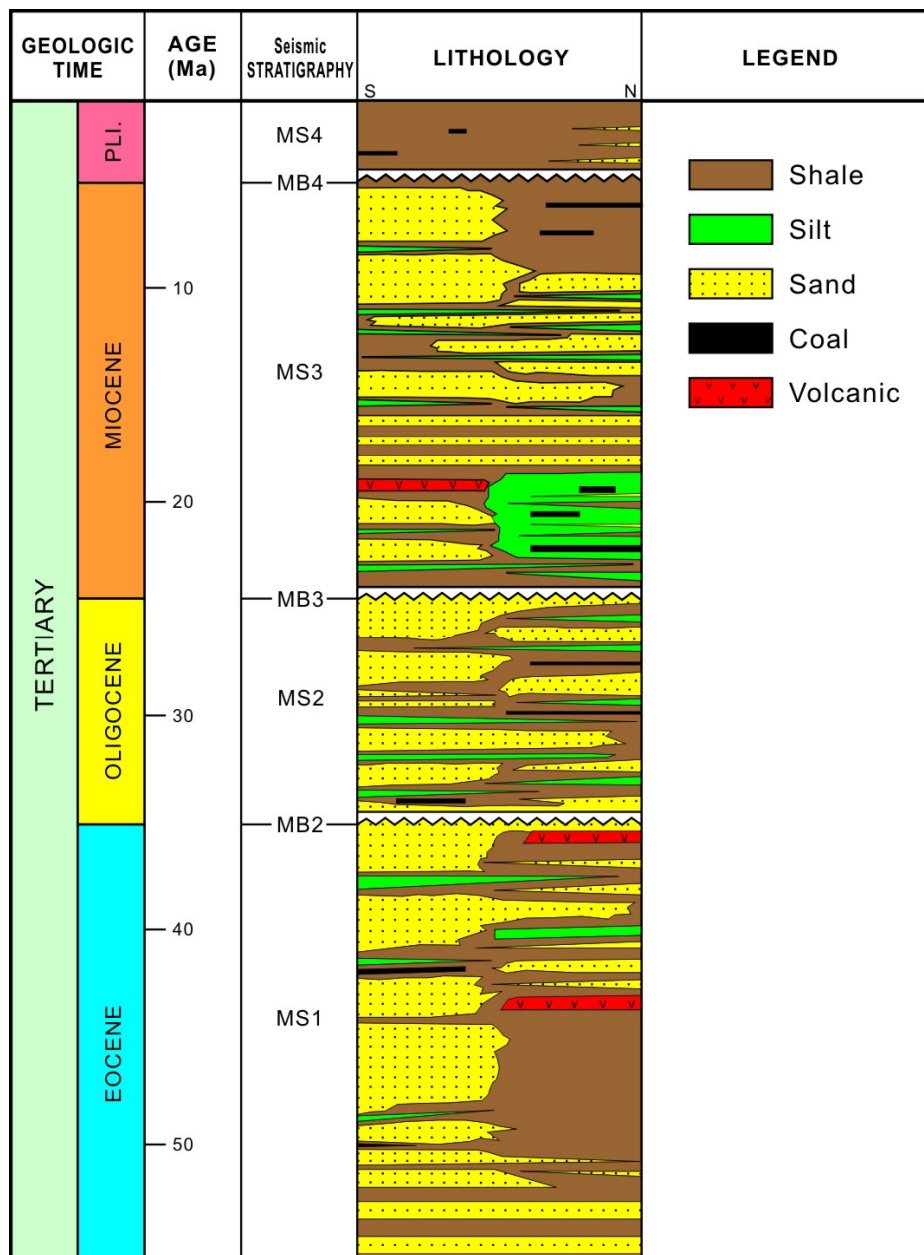


Fig. 7. Basin stratigraphy of the Jeju Basin (Reproduced from Korea National Oil Corporation, 2014).

2001). 제주분지 중심부에서의 총 퇴적층 두께는 5.5 km 이상으로 매우 두꺼운 것으로 알려져 있으며, 제주분지 내 퇴적층은 백악기 퇴적암을 음향기반암으로 부정합이나 이에 시간적으로 대비되는 정합에 의해 상부와 하부가 경계지어진 4개의 단위층으로 분류된다.

각 단위층들은 광역 지체구조운동과 밀접한 관계를 가지는 구조층서단위(tectono-stratigraphic unit), 또는 2차 순위의 연계층(second-order depositional sequence)으로 정의될 수 있으며, 하부로부터 ① 에오세 단위층, ② 올리고세 단위층, ③ 마이오세 단위층, ④ 플라이오세 이후 단위층으로 분대된다(그림 7). 분지 내의 퇴적작용은 열개와 동시에 후기 에오세 육성퇴적물이 집중적으로 퇴적되기 시작하였으며, 열개 이후 올리고세부터 중기 마이오세까지 지속된 열적침강(thermal subsidence)에 의해 광범위한 하성 및 호성 퇴적층이 퇴적되었다(Koh *et al.*, 2016). 에오세 시기의 제주분지는 완전한 육성환경이었으나 올리고세에는 해침에 의해 해양환경으로 전이된 지역도 일부 나타난다. 그러나 초기 마이오세의 용기에 의하여 다시 육성환경이 발달되어 마이오세 퇴적층이 퇴적되었고 플라이오세 이후부터는 광역적인 해침에 의하여 해양환경 하에서 플라이오세 퇴적층이 퇴적되었다(Koh *et al.*, 2016).

현재까지 제주분지 내에는 15개 공이 시추되었으나 석유를 생산하는 유전이 발견되지 못하고 있다. 그러나 인접한 중국 해역의 평후유전은 동중국해의 첫 번째 해상 유전으로 시후분지 내에 속해있다(그림 1). 근원암은 해안평야 또는 호성 기원의 석탄이나 석탄을 함유한 에오세의 셰일로, 저류층은 에오세 또는 올리고세의 사암층으로 알려져 있다. 제주분지 내의 석유시스템은 열개작용에 의해 형성된 지구나 반지구에 유기물이 많은 퇴적물이 쌓이고 성숙된 후, 경사면을 통해 탄화수소가 이동되어 전형적인 배사구조나 단층에 의한 구조 트랩에 집적된 것으로 해석된다.

3.4. 울릉분지와 석유시스템

울릉분지는 한반도와 일본열도 사이의 6-1광구와 8광구에 걸쳐 위치하며(그림 6), 대륙붕 및 대륙사면, 심해저를 포함한다. 동해의 열림은 전기 올리고세에 일본 분지의 북동부 지각이 얇아지면서 시작되었고(Tamaki *et al.*, 1992), 울릉분지는 후기 올리고세에서 초기 마이오세 동안 울릉분지 서쪽에 위치한 전단대를 따라 우수향 주향이동이 일어나면서 인리형 분지로 확장이 진행되었다(Lee *et al.*, 2011). 그 결과, 울릉분지의 중심부에는 이암, 화산쇄설암 및 저탁류 사암 등의 심해퇴적물의 퇴적이 광범위하게 이루어졌고 주변부에는 육성 또는 연안성 퇴적물이 퇴적되었다(Lee *et al.*, 2011). 초기 마이오세에서 중기 마이오세까지는 인장

력(extension)에 의한 동해 열림 작용이 왕성하게 되면서 울릉분지에 집중적으로 퇴적물이 쌓이며 8~10 km의 두께로 발달하고 있다(Lee *et al.*, 2011). 초기 마이오세의 퇴적층은 분지 형성과 함께 연안 환경에서 퇴적되었으며(Lee *et al.*, 2011), 중기 마이오세에 대륙사면의 퇴적층을 형성하면서 분지 중심인 북동 방향으로 전진 퇴적이 계속되었다. 중기 마이오세 말경에는 필리핀해판의 이즈-보니아크(Izu-Bonin Arc)와 유라시아판의 충돌이 일어나 난카이해구(Nankai Trough)에 있는 섭입대가 내륙으로 후퇴되면서 횡압력이 울릉분지에 작용하기 시작했다(Chough and Barg, 1987). 이로 인해 중기 마이오세 중기(13.8 Ma)에서 후기 마이오세 초기(10.5 Ma)까지 횡압력에 의해 울릉분지 남동부 대륙붕지역에 영향을 미치면서 퇴적층의 용기와 함께 충상단층(thrust fault) 및 정단층 등의 심한 지층변형이 일어난 반면, 연구지역인 울릉분지 남서주변부는 구조적변형을 비교적 약하게 받았다(Yoon *et al.*, 1997). 이러한 퇴적층 변형 정도에 따라 남동부의 돌고래 변형대(Dolgorae Deformed Belt)와 북서부의 비변형대로 구분되었다(Yoon *et al.*, 1997). 후기 마이오세(8.2~6.3 Ma)에는 주로 연안 및 대륙붕 환경이 우세한 퇴적층이 형성되었으며(Yoon *et al.*, 1997), 횡압력에 의한 영향을 받아 용기 및 침식작용이 활발하게 일어나면서 울릉분지 북부 내지 북서부로 후기 마이오세 이전 퇴적물을 하도(channel) 및 침식수로를 통해 거의 대부분 재퇴적시켰다(Yoon *et al.*, 1997). 후기 마이오세에서 플라이오세 기간에는 장력의 영향 하에 놓였고 플라이오세 이후 제4기까지 작용된 횡압력에 의해 습곡작용을 받기 시작하여 경사가 완만한 소규모의 배사구조가 발달한다(Yoon *et al.*, 1997). 플라이스토세 이후의 울릉분지는 전역에 걸쳐 광범위한 퇴적작용이 이루어졌으며, 주로 연안 및 대륙사면을 따라 퇴적층이 형성되었다(Yoon *et al.*, 1997).

울릉분지 내 퇴적층은 백악기 퇴적암과 화산암을 음향기반암으로 부정합이나 이에 시간적으로 대비되는 정합에 의해 상부와 하부가 경계지어진 4개의 단위층으로 분류된다. 각 단위층들은 광역 지체구조운동과 밀접한 관계를 가지는 구조층서단위(tectono-stratigraphic unit), 또는 2차 순위의 연계층(second-order depositional sequence)으로 정의될 수 있으며, 하부로부터 ① 초기 마이오세 단위층, ② 중기 마이오세 단위층, ③ 후기 마이오세 단위층, ④ 플라이오세 이후 단위층으로 분대된다(그림 8) (Lee *et al.*, 2015). 초기 마이오세 단위층은 열개 동시성 퇴적층으로 지역적으로 분포하며 주로 연안 환경의 퇴적물로 구성된다. 중기 마이오세 단위층은 열개 후 퇴적층으로 중기 마이오세 동안 분지가 확장되며 다량의 퇴적물 유입에 의해 퇴적된 층으로 주로 북동 방향의 전진퇴적 양상을 보인다. 후기 마이오세 단위층은 횡압력 동시성 퇴적층으로 주로 연

안 및 대륙붕 환경이 우세한 퇴적층이 퇴적되었으며, 횡압력에 의한 영향을 받아 용기 및 침식작용이 활발하였다. 플라이오세 이후 단위층은 횡압력 후에 퇴적된 퇴적층으로 주로 연안 환경에서 퇴적작용이 진행되어 주기적으로 반복된 해수면의 상승-하강에 의해 대륙사면을 따라 심해저로 현재까지 퇴적이 진행되고 있다.

현재까지 울릉분지 내에는 24개 공이 시추 되었으며, 결과로 1998년 울산 앞바다 58 km 해역 울릉분지 중기 마이오세 퇴적층에서 양질의 가스층을 발견하였다(그림 1). 양질의 가스층이 발견된 동해-1, 동해-2 가스전은 2004년까지 6년 동안 생산시설 건설 등의 개발 기간을 거쳐 2004년부터 2021년까지 17년 동안 약 0.23 Tcf (Trillion cubic feet)의 천연가스와 약 390만 배럴의 초경질유를 생산하였으며, 현재는 가스층의 고갈로 인하여 폐쇄되었다. 동해 울

릉분지 남서부의 동해 가스전의 컨테네이트는 호수 또는 삼각주 환경에서 퇴적된 근원암으로부터 생성된 것임을 지시한다. 따라서 울릉분지 열개 시에 퇴적된 초기 마이오세 호성 퇴적물과 열개 이후 분지 확장기에 퇴적된 중기 마이오세 삼각주 퇴적물이 근원암의 역할을 하였을 것으로 해석된다. 분지 열 개 시기와 확장기의 좁고 깊은 분지의 형태와 퇴적 환경은 탄화수소를 생성하기에 적합한 퇴적물과 유기물을 퇴적시켰을 것이며, 또한 양질의 저류암을 퇴적시켰을 것으로 해석된다.

3.5. 동한만분지와 길주-명천 지구대의 석유시스템

동해 북서부 지역 함흥 앞 바다의 동한만분지에는 2개 공이 시추 되었으며(그림 1; 표 2) 주로 육성 및 천해성 환경의 마이오세 퇴적층이 퇴적된 분지로 알려져 있다. 한편

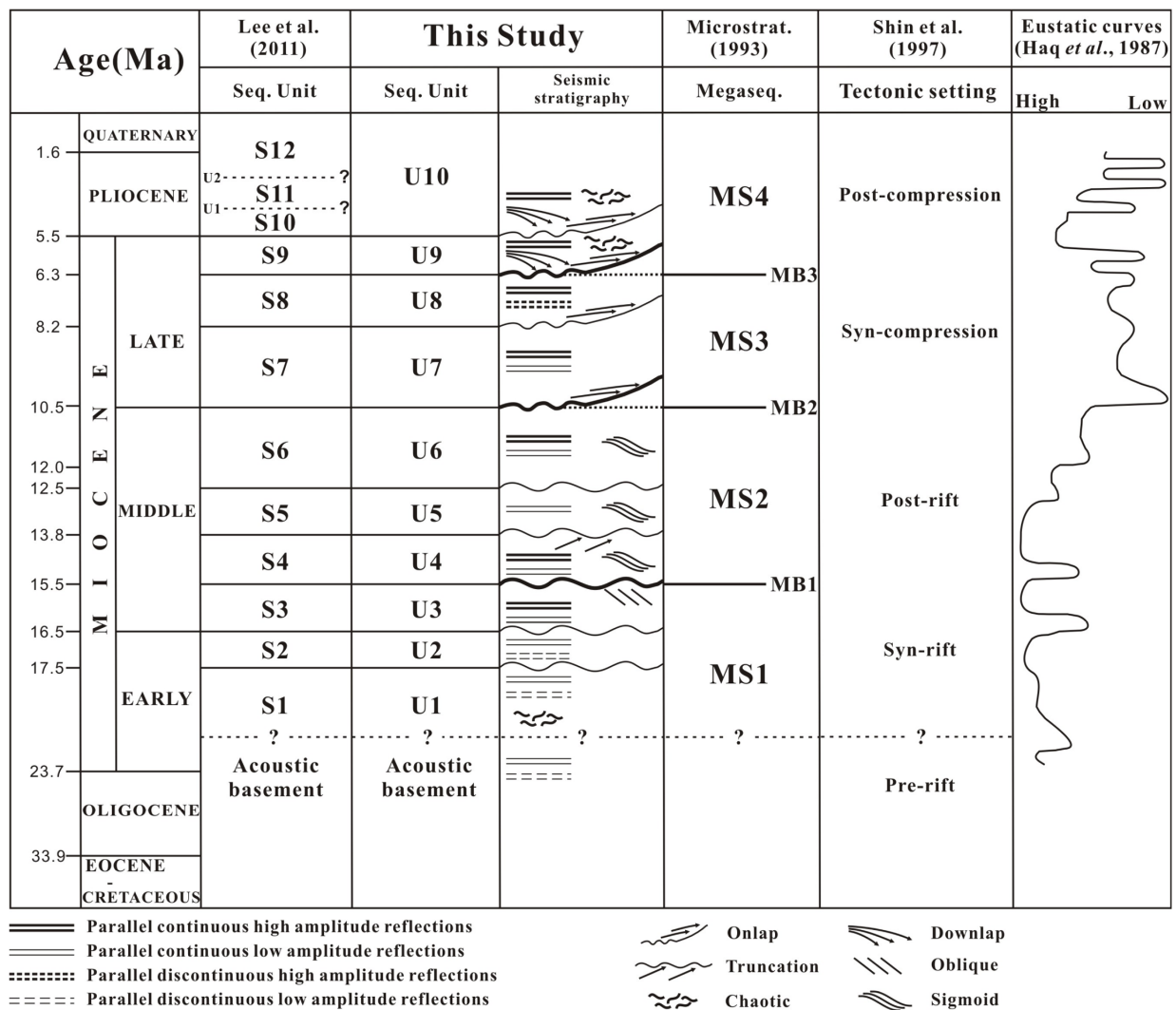


Fig. 8. Basin stratigraphy of the Ullung Basin (Reproduced from Lee et al., 2015, with permission from with permission from Korean Society of Economic and Environmental Geology).

육상의 길주-명천 지구대에는 22개 공이 시추 되었으며(그림 1, 표 2), 북동 방향으로 발달하는 길고 좁은 지구대를 따라 육상 및 천해성 환경의 올리고세, 마이오세, 플라이오세의 퇴적층이 퇴적되었다. 그러나 현재까지 동한만분지와 길주-명천 지구대 내에서는 석유를 생산하는 유전이 발견되지 못하고 있다. 석유시스템에 대해서는 알려진 바는 없으나 동한만분지와 길주-명천 지구대의 형성은 동해의 형성과 연관되어 있기 때문에 울릉분지의 동해 가스전과 같은 마이오세 열개 시에 퇴적된 초기 마이오세 퇴적층과 열개 이후 분지 확장기에 퇴적된 중기 마이오세 퇴적층이 유망할 것으로 추정된다.

4. 한국해역 석유·가스 에너지 자원 연구 현황과 문제점

한반도 해역에서 석유·가스 에너지 자원의 탐사가 시작된 지 거의 50여 년이 지나가고 있다. 초기 단계(1972~1975년도)에는 텍사코, 셰브론, 쉘, 걸프 등과 같은 외국 석유회사들의 한반도 서해, 남해, 동해 대륙붕에 집중되었다(표 1). 그러나 1975년 이후, 외국 석유회사들은 철수하였고 5년 동안의 공백기를 거쳐 1979년 한국석유개발공사가 설립되어 일본과 공동으로 한일공동개발구역에 대해 집중적인 시추가 진행되었다. 그러나 1986년 이후 일본 석유회사들도 사실상 철수하였으며, 1987년부터 대부분 한국석유개발공사 단독으로 국내 서남해와 동해 대륙붕에 대한 탐사가 진행되었다. 1972년부터 1995년까지의 국내 석유 자원탐사 실적은 총 29개 공을 시추하였으나 대부분 실패하였고 동해 대륙붕 울릉분지에서만 경제성이 없는 소량의 가스가 발견되었을 뿐이다.

1995년 이후, 한국석유공사는 지금까지의 국내 대륙붕 석유탐사에 대한 재정비를 통해 새로운 탐사 방향을 설정하였으며, 주로 배사구조와 같은 구조 트랩에 집중하였던 기존의 탐사개념을 퇴적분지의 특성에 따라 탐사한다는 새로운 탐사개념을 제시하고 동해 대륙붕 울릉분지에 적용하기 시작하였다. 결과로, 1998년 경제성 있는 규모(0.23 Tcf)의 국내 최초의 동해 가스전을 발견하게 되었다. 이러한 사실은 국내 대륙붕에서 석유를 효율적으로 탐사해 내기 위해서는 국내 해역에 발달하는 퇴적분지들에 대한 체계적인 석유시스템 연구가 수행되어야 하며, 그 연구 결과를 바탕으로 각 퇴적분지에 맞는 탐사개념들이 제시되어야 한다는 점을 시사한다. 향후, 한반도 해역에서 석유·가스 에너지 자원의 효율적 탐사를 위해 다음과 같은 문제점들을 제시하고 이에 대한 해결책을 모색하고자 한다.

1. 지금까지 수행된 국내 대륙붕 석유탐사는 주로 동해 대륙붕에 집중되었으며, 1991년 이후 30여 년 동안 서해와

남해 대륙붕에 대한 석유탐사는 실질적으로 거의 중단되었다. 이러한 국내 대륙붕에 대한 탐사의 불균형은 향후 국토의 균형적 발전에 큰 저해 요소가 될 수 있으며, 향후 중국 또는 일본과의 배타적경제수역(EEZ) 획정을 위한 협상에 불리하게 작용할 수 있어 조속히 수정되어야 한다.

2. 과거 1970년대부터 1990년대 초까지 국내 대륙붕은 외국 석유회사들이 주도하여 탐사가 수행되었기 때문에 대부분 대규모(1억 배럴 이상) 유가스전을 탐사하기 위한 탐사가 진행되었다. 그러나 국내 대륙붕 퇴적분지들의 지질 특성을 고려하면 대규모 유가스전의 부존 가능성보다는 소규모 유가스전의 존재 가능성이 있다. 실제로 소규모 가스전(동해-1)을 개발한 결과, 해외에서 발견된 1억 배럴 이상의 유가스전에 버금가는 수익성과 경제성이 있는 것으로 평가되고 있으며, 수익성 이외에 국내 기술진들의 기술력 향상 및 관련 산업의 활성화 등 부수적인 효과가 더 큰 것으로 평가되고 있다. 따라서, 서해와 남해 대륙붕 소규모 유전에 대한 정밀 평가를 위한 새로운 탐사 전략이 수립되어야 한다.

3. 서해 대륙붕 군산분지에 대한 시추 결과를 보면, 1973년에 시추되었던 1개 시추공과 1989년부터 1991년까지 시추되었던 4개 공들은 주로 탄성파탐사 자료로 도출된 배사구조를 중심으로 구조 트랩에 시추되었다. 그러나 인접 산유 분지인 장수분지와 지질학적 대비를 바탕으로 하는 연구결과는 백악기 말-팔레오세의 석유시스템이 분지 내 검증된 석유시스템임을 지시한다. 따라서 군산분지에 적합한 새로운 탐사 전략이 수립되어야 하며, 최근의 중국 측 탐사 현황을 보면, 고생대 퇴적층에 대한 유가스전 부존 가능성에 대한 연구 결과들이 발표되고 있다. 따라서 국내 서해 대륙붕 음향기반암 하부에 존재하는 중생대 및 고생대 심부 퇴적층에 대한 탐사를 고려해야 할 필요가 있다.

4. 남해 대륙붕 제주분지에 대한 시추 결과를 보면, 1972년부터 현재까지 시추되었던 총 15개 공들은 주로 탄성파탐사 자료로 도출된 배사구조를 중심으로 구조 트랩에 시추되었다. 그러나 인접 산유 분지인 시후분지와 지질학적 대비를 바탕으로 하는 연구 결과는 에오세-올리고세 석유시스템이 분지 내 검증된 석유시스템임을 지시하고 있다. 따라서 제주분지의 탐사는 에오세-올리고세 석유시스템을 중심으로 새로운 탐사 전략이 수립되어야 한다. 아울러 최근의 시후분지에 대한 중국 측 탐사 현황을 보면, 에오세-올리고세 퇴적층 직 하부의 중생대 퇴적층에 대한 유가스전 부존 가능성에 대한 연구결과들이 발표되고 있다. 따라서 국내 남해 대륙붕 음향기반암 하부에 존재하는 중생대 심부 퇴적층에 대한 탐사를 고려해야 할 필요가 있다.

5. 동해 가스전이 발견된 1998년 이후, 국내 대륙붕 석유탐사는 주로 동해 대륙붕 울릉분지 남서부에만 집중되었다. 그러나 아직까지 동해가스전과 같은 형태를 보이는 침

식수로형 층서트랩을 추가로 발견하지 못하고 있는 상황이다. 따라서, 동해 대륙붕 남서부 지역을 중심으로 침식수로형 층서트랩 발달에 대한 정밀탐사가 필요하다. 아울러, 동해가스전 근원암에 대한 정확한 지질학적 정보가 없어 동해 대륙붕 심부 지층 내에 근원암이 존재해 있을 것이라는 추론에만 그치고 있다. 이러한 울릉분지 내 근원암에 대한 막연한 추론은 울릉분지에 대한 새로운 탐사개념 수립에 장애가 되고 있으며, 현재 한국석유공사가 울릉분지의 탐사 범위를 대륙붕에서 심해지역으로 확장 시켜 나가려는데 걸림돌이 되고 있다. 동해 대륙붕 지역의 심부 퇴적층에 대한 정밀탐사를 기반으로 근원암 특성을 이해한 후에 탐사를 심해지역으로 확장해 나가야 한다.

6. 북한 지역의 서한만분지와 동한만분지, 길주-명천 지구대에 대한 석유·가스에 대한 탐사는 현재로서는 한계가 있다. 일부 원격탐사를 이용한 자원탐사가 있었으나 현장을 탐사하지 못하고 있다는 점에 있어서 한계가 있다. 현재까지의 탐사 결과를 보면, 서한만분지와 동한만분지, 길주-명천 지구대 3개 지역 모두 석유부존 가능성은 있으나 대규모 유전보다는 1억 배럴 이하의 소규모 유전들이 부존되어 있을 가능성이 있어 외국 석유회사들은 경제성이 맞지 않아 투자가 어려울 것으로 예상된다. 따라서 남한과 북한 간의 경제협력 차원에서 우리 정부의 자체 자금력과 기술력을 동원하여 개발되어야 하며, 지속적인 관심을 가지고 이에 대한 준비를 지금부터 해야 할 필요가 있다.

REFERENCES

- Choi, S.C. and Ryu, I.C., 2018, Spatial distribution of hydrocarbon reservoirs in the West Korea Bay Basin in the northern part of the Yellow Sea, estimated by 3D gravity forward modeling. *Journal of the Geological Society of Korea*, 54, 641-656 (in Korean with English abstract).
- Chough, S.K. and Barg, E., 1987, Tectonic history of Ulleung basin margin, East Sea (Sea of Japan). *Geology*, 15, 45-48.
- 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*, 52, 175-235.
- Hsu, S.-K., Sibuet, J.-C. and Shyu, T.-C., 2001, Magnetic inversion in the East China Sea and Okinawa Trough: tectonic implications. *Tectonophysics*, 333, 111-122.
- Huh, S., Yoo, H.S., Kwon, S.J., Oh, W.Y. and Pae, S.H., 2006, Characteristics of petroleum geology of the marine basins in North Korea and mutual cooperative plans for marine technology. *Korean Journal of Petroleum Geology*, 12, 27-33 (in Korean with English abstract).
- JOGMEC, <https://oilgas-info.jogmec.go.jp> (March 14, 2026).
- 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*, 108, 469-478.
- Koh, C.S., Yoon, S.H., Lee, D.K. and Yoo, H.S., 2016, Tectonic evolution and depositional environments of Jeju and Socotra basins in the southernmost continental shelf of the South Sea, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 52, 355-371 (in Korean with English abstract).
- Korea National Oil Corporation (KNOC), <https://www.knoc.co.kr> (March 14, 2026).
- Korea National Oil Corporation (KNOC), 2014, Integrated technical evaluation on oil and gas exploration, offshore Korea (Volume III). 322 p (in Korean).
- Lee, G.H., Yoon, Y.H., Nam, B.H., Lim, H.H., Kim, Y.S., Kim, H.J. and Lee, K.S., 2011, Structural evolution of the southwestern margin of the Ulleung Basin, East Sea (Japan Sea) and tectonic implications. *Tectonophysics*, 502, 293-307.
- Lee, M.W., Kang, M.H., Yoon, Y.H., Yi, B.Y., Kim, K.O., Kim, J.H., Park, M.H. and Lee, K., 2015, Analysis of hydrocarbon trap in the southwestern margin of the Ulleung basin, East Sea. *Journal of Korean Society of Economic and Environmental Geology*, 48, 301-312 (in Korean with English abstract).
- Ryu, I.C. and Kim, T.H., 2007, Stratigraphy of the Kachi-1 Well, Kunsan Basin, Offshore Western Korea. *Journal of Korean Society of Economic and Environmental Geology*, 40, 472-490 (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 seas. *Korean Journal of Petroleum Geology*, 8, 1-43 (in Korean with English abstract).
- Son, B.K. and Lee, H.Y., 2018, 3-D petroleum system modeling of the Jeju Basin, offshore southern Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 54, 587-603 (in Korean with English abstract).
- Son, B.K. and Park, M.S., 2015, Petroleum system analysis of West Korea Bay Basin, North Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 51, 433-449 (in Korean with English abstract).
- Spence, J.D., 1999, *Search for Modern China*. W. W. Norton and Company, New York, 728 p.
- Tamaki, K., Suyehiro, K., Allen, J., Ingle, J.C., Jr. and Pisciotto, K.A., 1992, Tectonic synthesis and implications of Japan Sea ODP drilling. *Proceedings of the Ocean Drilling Program (part 2)*, 1333-1348.
- Watson, M.P., Hayward, A.B., Parkinson, D.N. and Zhang, Z.M., 1987, Plate tectonic history, basin development and petroleum source rock deposition onshore China. *Marine and Petroleum Geology*, 4, 205-225.
- Yang, S.Y., 1991, *Early geological research in Korea*. Kyungpook National University Press, Daegu, 657 p (in Korean).
- Yoon, S.H., Park, S.J. and Chough, S.K., 1997, Western boundary fault systems of Ulleung Back-arc Basin: further evidence of pull-apart opening. *Geoscience Journal*, 1, 75-88.
- 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, 107-123.
- Zhu, G., Wang, Y.S., Liu, G.S., Niu, M., Xie, C.L. and Li, C.C., 2005, 40Ar/39Ar dating of strike-slip motion on the Tan-Lu fault zone, East China. *Journal of Structural Geology*, 27, 1379-1398.