

# 남해 제주분지에서 화산활동에 의한 분지의 지질구조 해석

허식, 유해수, 홍종국, 이광자, 민동주

한국해양연구원 해저환경·자원연구본부(sikhuh@kordi.re.kr)

## 1. 서론

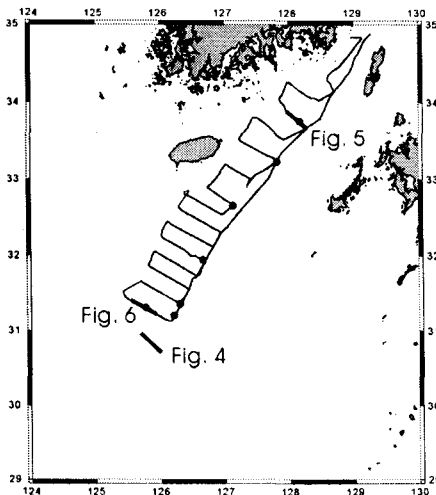


Fig. 1. Seismic survey tracks (lines) and exploratory wells (circles) from KNOC in the study area.

연구지역은 한반도 남해 동부 해역과 동중국해 북동 해역에 위치하고 있다(Fig. 1). 남해 동부 해역은 남해안과 쓰시마섬 사이에서부터 제주도 동쪽 해역을 포함하며 외대륙붕에서 대륙붕단까지의 해저지형 특성을 보인다.

연구지역의 광역지질 및 구조적 특징을 살펴보면, 전체적으로 한반도 남쪽 지괴가 남해 해저까지 연장되는 체민 융기대(Zhemín Uplift)가 제주도를 포함하여 광역적으로 발달하였다(Fig. 2). 또한 동쪽을 향해 동중국해 분지(East China Sea Basin), 타이완-신지 습곡대(Taiwan-Sinzi Uplift Belt), 오키나와 트러프(Okinawa Trough), 그리고 류큐 습곡대(Ryukyu Folded Uplift)의 퇴적분지 및 융기대가 북동-남서 방향의 장축으로 나란히 배열하면서 발달한다. 동중국해 분지는 몇 개의 고구조 융기대들로 구분된 소분지들로 구성되어 있으며, 특히 우리나라 남해 지역에는 도

미분지와 제주분지가 위치하고 있다. 체민 융기대 및 동중국해 분지의 기반암은 원생대의 변성암류에서 백악기의 화성암류로 구성된 것으로 알려졌다(Zhou et al., 1989). 타이완-신지 습곡대는 동중국해 분지의 남동쪽 고구조대로서 고제3기에 형성되었으며, 그 하부 구조는 습곡작용을 받은 퇴적층과 화성암류로 구성되었다.

연구지역은 지질구조적으로 북서쪽의 체민 융기대와 동중국해 분지의 소분지에 해당되는 도미분지와 제주분지로 구성된다. 남해 해양분지의 전반적인 형성 과정 및 발달 상황 등의 연구는 아직 미흡하기 때문에 본 연구에서는 다중채널 탄성과 단면도의 해석을 통해 남해 퇴적분지내에서 화산활동에 따른 퇴적층서의 발달 양상과 지질구조를 밝히는데 그 목적이 있다.

본 연구에서는 다중채널 탄성과 단면도와 기존에 발표된 한국석유공사의 석유 시추자료들

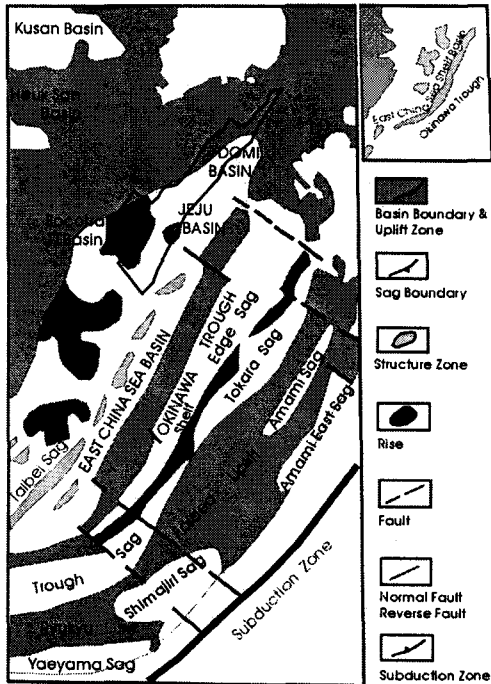


Fig. 2. Structural elements developed in the East China Sea (Zhou et al., 1989). The Jeju Basin forms as the part of the northeastern East China Sea Shelf Basin, which extends along a NE-SW trend. Polygon represents the study area.

을 이용하였다. 탄성과 자료들은 한국해양연구원 소속의 종합 해양연구선인 온누리호를 이용하여 2002년 4월에 획득하였으며, 총 탄성과 자료 길이는 약 1,980 line-km이다. 탄성과 측선은 주로 북동-남서 방향의 EEZ 경계측선 1개와 북서-남동 방향의 15개 측선으로 구성되었으며(Fig. 1), 북서-남동 방향 측선은 이들 측선들이 서로 연결되도록 보충 측선들을 설정하였다. 연구지역내 해양 퇴적분지의 암상, 퇴적환경 및 지질시대 등의 지질정보를 위해 7개 시추공 자료들(Sora-1, Domi-1, Dragon-1, KV-1, Okdom-1, Geobuk-1, PZ-1)을 이용하였다(오재호 외, 1994; 한국석유공사, 1998). 퇴적단위는 하부의 음향 기반암에서부터 상부로 가면서 올리고세 층(Oligocene Unit), 초기 마이오세 층(Early Miocene Unit), 중기 마이오세 층(Middle Miocene Unit), 후기 마이오세 층(Late Miocene Unit), 그리고 플라이오세-플라이스토세 층(Plio-Pleistocene Unit)으로 구성된다. 탄성과 단면 해석은 상기의 과정으로 퇴적단위를 구분한 후, 각 퇴적단위의 반사층리의 발달 특성, 즉 탄성과 퇴적상을 분석하였다. 탄성과 퇴적상의 분석은 반사층리의 발달형태, 진폭, 연속성 등을 통해 퇴적층내의 전반적인 암상, 층서, 퇴적환경을 파악하였다.

## 2. 층서 및 지질구조 해석

음향기반암 위에 놓여 있는 올리고세 층서는 단층으로 경계된 퇴적분지내에 한정되어 나타난다(Fig. 3). 이 퇴적층은 주로 조사구역의 동쪽 연변부 및 남동쪽에 분포하며, 제주분지와 도미분지의 중심부에 일부 걸쳐있다. 음향 기반암 위에 바로 퇴적되어 분포하면서 단층 경계로 제한되어 분포하는 것으로 보아 초기 퇴적분지가 열리면서 쌓인 층적 퇴적층으로 해석된다. 시추자료에서 보여주는 지질정보는 하상(fluvial) 또는 호수(lacustrine) 퇴적환경을 지시하나(오재호 외, 1994), 연구지역 북동부에 위치한 시추공에서는 상부 올리고세층에서 처음으로 shoreface가 나타나고 있다(한국석유공사, 1998).

초기 마이오세 퇴적층의 분포범위는 올리고세 퇴적층서보다 비교적 넓게 분포하나, 역시 단층으로 경계된 퇴적분지내에 대부분 분포하여 주로 조사지역의 남동 연변부와 제주도 남쪽 해역에 주로 분포한다. 탄성과 퇴적상으로부터 퇴적환경을 유추하기는 쉽지 않으나 시추자료의 분석 결과에 의하면 주로 호수 또는 하상 환경하에서 형성된 퇴적층으로 분석하였다(한국석유공사, 1998). 중기 마이오세 퇴적층은 조사지역의 남쪽에 넓게 분포한다. 제주도 바로 남쪽 지역부터 단층으로 경계된 분지에 국한적으로 분포하다가 다시 북쪽으로 가면서 기

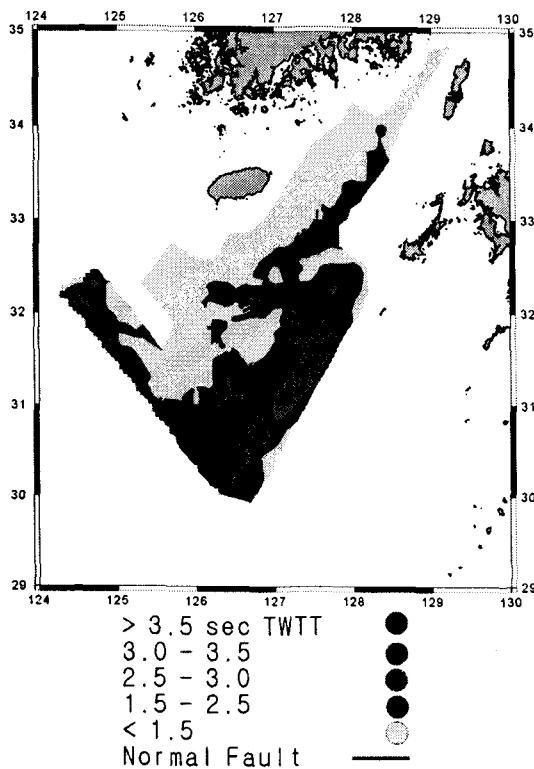


Fig. 3. Time structure map of top acoustic basement modified from KNOC (1998). More than 4 km of Tertiary strata are preserved in the southern part of the Jeju Basin. The strata thin to less than 1.5 km in the northern part of the basin, which are deformed by normal faults and volcanic activities. Contour intervals are 500 ms in two-way travel time.

반암 용기대가 발달한 지역에는 이 층이 나타나지 않는다. 본 퇴적층서가 집중적으로 발달한 남쪽 지역의 퇴적 층후도 양상을 보면 북서에서 남동쪽을 향해 서서히 두꺼워지는 경향이 두드러지게 나타난다. 시추공 PZ-1 주변 지역에서 1초 깊이에 강한 진폭과 연속적인 이상 반사층리(reflection anomaly)가 발달하였는데, 이는 화산 분출암(volcanic flow)으로 판명되었다(Fig. 4). 시추자료에 의하면 초기 마이오세 퇴적층과 동일한 호수-하상 퇴적환경으로 해석되어(오재호 외, 1994), 마이오세 초기에서 중기까지 주로 내대륙 퇴적분지에 발달한 호수 또는 하상 환경하에서 형성된 퇴적층서로 판단된다. 후기 마이오세 퇴적층은 조사 지역 북동쪽의 기반암이 얇은 지역을 제외하고 대부분 지역에 넓게 분포하며, 남동쪽을 향해 서서히 두꺼워진다. 후기 마이오세 퇴적층은 당시에 일어난 역전의 지구조 활동에 의해 상부층이 융기되었다가 삭박되어 침식된 구조를 보여주고 있다. 시추자료에 의하면 호수 및 하상 환경하에서 퇴적되었으며, 부분적으로 해양환경의 영향을 받은 것으로 해석되었다(한국석유공사, 1998). 플라이오-플라이스토세 퇴적층은 최상부에 해당되는 퇴적층으로 전 조사 지역에 넓게 분포하며, 남쪽 또는 남동 방향을 향해 서서히 두꺼워진다. 시추자료 분석결과는 천해 해양 환경하에서 퇴적된 층서로 해석된다(오재호 외, 1994).

탄성과 단면도상에는 평탄한 기반암이 단층들에 의해 절단되어 고기반암(basement high) 지대와 저기반암(basement low) 지대가 구분되어 나타난다. 고기반암이 발달한 지역은 주로 연구지역의 북서 지역이고, 저기반암 지역은 남동쪽에 분포함에 따라 퇴적층의 발달양상도 북서쪽은 얇게 분포하며, 남동 지역은 3초 정도까지 두껍게 쌓여 있다. 주 단층대는 체민 융기대와 동중국해 분지를 구분하는 구조적 경계선이며, 북동-남서쪽의 방향성을 갖는다. 저지대의 분지 형태는 지구(graben) 또는 반지구(half graben) 구조를 이루며, 초기 분지형성 시기에 장력 지구조 운동(extensional tectonism)이 연구지역에 작용했음을 알 수 있다. 즉, 연구지역에는 분지를 경계하는 블록 단층(block fault) 및 리스트릭 단층(listric fault) 구조들로 특징되는 열개분지(rifted basin)가 형성된 것으로 해석된다.

연구지역의 북동쪽 퇴적분지는 기존에 형성된 퇴적분지가 후기 마이오세에 일어난 역전의

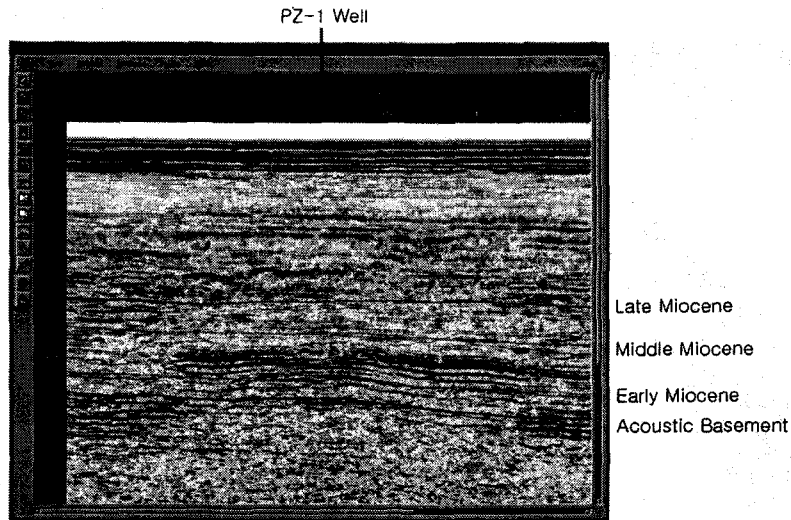


Fig. 4. Seismic section shows a strong amplitude anomaly caused by a volcaniclastic layer near the PZ-1 well. An evidence of effects of Miocene igneous intrusions known as diorite sills appears several wells in the study area.

지구조 활동에 의해 상부층이 융기되었다가 삭박된 퇴적구조를 보여주고 있다. 이와 같이 마이오세에는 지구조적으로 상승운동에 연관된 기반암 상승부에 석유자원을 저류할 수 있는 조건의 구조들이 존재하고 있어 이 구조에 대한 시추가 수행되었다.

### 3. 토의 및 결론

남해 제주분지 해역의 퇴적층서 발달 양상과 지질구조를 밝히기 위하여 1,980 line-km의 54 채널 탄성과 자료를 취득하였다. 연구지역의 퇴적분지는 제3기 후열도 분지인 동중국해 북동 해역에 위치하고 있으며, 열개작용에 의해 지구 또는 반지구 구조를 형성하면서 화산 활동의 영향을 많이 받았다. 연구지역내 퇴적층의 구조는 열개분지내에 쌓인 열개 이전과 열개와 동시에 쌓인 퇴적층, 그리고 광역 부정합면을 경계로 후열개 퇴적층으로 크게 구분된다. 이 3개의 퇴적층은 하부에서 상부로 가면서 열개 이전에 쌓인 올리고세 층서, 열개와 동시에 쌓인 초기 및 중기 마이오세 층서로 구성된다. 반면에 후열개 퇴적층은 후기 마이오세와 플라이오세-플라이스토세 층서로 구성된다. 제주분지 주변의 탄성과 및 시추자료에 의하면 올리고세-마이오세 퇴적층은 충적층 또는 호수 환경에서 퇴적되었음을 보여준다. 후기 마이오세에 일어난 역전의 지구조 활동 및 이에 연관된 상부층의 침식작용 이후, 제주분지는 플라이오세에 분지가 침강하기 시작하였으며, 결과적으로 천해 해양 환경하에서 퇴적층을 형성하게 되었다.

### 사사

본 연구는 “2002 배타적 경제수역 해양자원조사(CRPM153-00-1483-5)” 사업 결과의 일부이다. 자료처리와 정리에 힘써 주신 한국해양연구원 해저환경·자원연구본부 참여자들, 그리

고 온누리호 선장외 전 승조원들에게 감사드립니다.

### 참고문헌

- 오재호 외, 1994. 석유자원연구(I), 한국자원연구소, KR-94(C)4-1, 431p.  
한국석유공사, 1998. 국내 대륙붕 생층서 연구(제주분지), 한국석유공사, 380p.  
Zhou, Z., Zhao, J. and Yin, P., 1989. Characteristics and tectonic evolution of the East China Sea, In X. Zhu ed., Chinese Sedimentary Basins: Sedimentary Basins of the World 1, Elsevier, 165-179.