

## 한국 대륙붕 VI-1 광구 고래 II 지역의 3D 탄성과 자료 해석

### 3D Seismic Data Interpretation of the Gorae II Area, Block VI-1, Offshore Southeast Korea

신국선(Kook Sun Shin)<sup>1</sup>, 유강민(Kang Min Yu)<sup>2</sup>, 김건득(Kun Deuk Kim)<sup>1</sup>, 엄창렬(Chang Lyeol Um)<sup>1</sup>

#### 요 약

연구지역인 고래 II 지역은 한반도 동남쪽 육지에 근접해 있으며 울릉분지(쓰시마분지)의 서남부에 위치한다. 동지역에 대한 3D 탐사는 2D 탐사에 의해 기확인된 구조들의 정밀평가를 목적으로 시행되었으며, 동작업의 일환으로 울릉분지의 층서 및 구조의 정밀분석이 시행되었다. 동지역은 기반암이 얇고 울릉분지의 구조운동이 모두 영향을 미친 지역으로 고해상도의 기반암지역 자료를 토대로 기반암을 포함하는 구조운동 및 층서와의 상관관계가 분석되었다. 3D 탄성과 자료 해석결과, 본 지역에는 조구조운동과 성인적 연관을 가진 8개의 건층면이 관찰되고 있다. 연구지역에서 관찰되는 지질구조는 분지형성초기에 형성된 블록단층과 후기 마이오세 스트리트 및 플라이오세 렌치단층 등 세 종류의 단층이 관찰되며, 울릉곡분으로 불리는 완만한 향사가 발달되어 있다. 본 지역에서 상기 지질 구조와 관련된 퇴적 시퀀스로는 음향 기반암, 열개동시성 시퀀스(시퀀스 A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>), 후열개 시퀀스(시퀀스 B<sub>1</sub>~B<sub>3</sub>), 횡압력 동시성 시퀀스(시퀀스 C), 후횡압력 시퀀스(시퀀스 D) 등이 인지되었다. 각 시퀀스에 대해 구조도, 등시선도 등이 작성되어 상분석, 퇴적환경 해석작업이 이루어 졌다. 조구조운동 및 퇴적물 공급량에 따른 상대 해수면 변화와 관련하여 발달한 본 지역 시퀀스의 해석 결과, 울릉분지는 여러 형태의 조구조운동 및 퇴적물공급에 의해 형성된 복합적인 분지의 층서 및 구조 양상을 나타낸다.

**주요어 :** 3D 탄성과 자료, 건층면, 시퀀스, 열개작용, 울릉곡분

**Abstract :** The Gorae II area is located in the southwestern margin of the Ulleung Basin, East Sea and corresponds to the Ulleung Trough. The survey of 3D seismic data in this area was performed to delineate the structural leads confirmed by the previous 2D seismic data. As a part of 3D interpretation, basement related structural movements and their relationship with the stratigraphy were studied. The study shows that eight sequences were identified which are genetically related to the tectonics and sediment supply in this area. The geologic structures characterizing the study area consist of : (1) block faults developed in the early stage of basin opening, (2) late Miocene thrusts, and (3) Pliocene wrench faults. The eight sequences consist of pre-rift (acoustic basement), syn-rift (Sequence A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>), post-rift (Sequence B<sub>1</sub>~B<sub>3</sub>), syn-compressional sequence (Sequence C), and post-compressional sequence(Sequence D) from oldest to youngest. The time structure and isochron maps were constructed for each sequence and also used in seismic facies analysis and interpretation of sedimentary environment. The interpretation results reveal that the relative sea level changes caused by several stages of tectonic movements and sediment supply control the stratal and structural geometry of Ulleung basin.

**Key words :** 3D seismic data, horizon, sequence, rifting, Ulleung Trough

#### 서 론

연구대상지역인 고래 II 지역은 동해남부 울릉분지(쓰시마분지) 국내대륙붕 제VI-1 광구의 서남부에서 3D 탄성과탐사 작업이 실시된 지역을 지칭하며 자료가 취득된 면적은 약 255 km<sup>2</sup> (총 10,843 L-km) 이고 울산 해안에서부터 약 30 km 떨어져 있다 (그림 1). 동지역은 기반암 및 이를 덮은 상부 퇴적층이 육지 쪽으로 갈수록 급격히 알아지는 지역이다.

이 지역에 대한 3D 탄성과 탐사자료는 1992년 광역 2D 탄성과 탐사자료의 해석결과에 따라 상세한 유망구조 도출을 위해

1995년도에 추가적으로 취득되었다. 자료 취득 및 전산처리에는 각각 싱가포르 및 호주에 소재한 헬리버튼사(Halliburton Co.)와 웨스턴 지오피지칼사(Western Geophysical Co.)에 의해 이루어 졌고, 자료해석은 유개공에 설치된 랜드마크 워크스테이션(Landmark Workstation)의 3D 탄성과 자료 해석용 소프트웨어인 SeisWorks 3D를 이용하여 이루어 졌다. 자료해석은 각 축선별 단층분석과 각 건층면을 대상으로 한 컴퓨터 상에서의 시퀀스 분석, 상분석 등의 순으로 실시되었다. 분석된 단층 및 시퀀스 자료를 근거로 구조, 층서 및 퇴적환경 해석이 이루어 졌다. 탄성과 속성(seismic attributes)분석을 실시하여 탄성과상 분석 및 퇴적환경해석을 실시하였다.

연구 지역에는 신제3기 동안 형성된 울릉곡분이 확장되며 침

<sup>1</sup>한국석유개발공사 기술실, 경기도 안양시 동안구 관양동 1588-14

<sup>2</sup>연세대학교 지구시스템과학과, 서울특별시 서대문구 신촌동 120

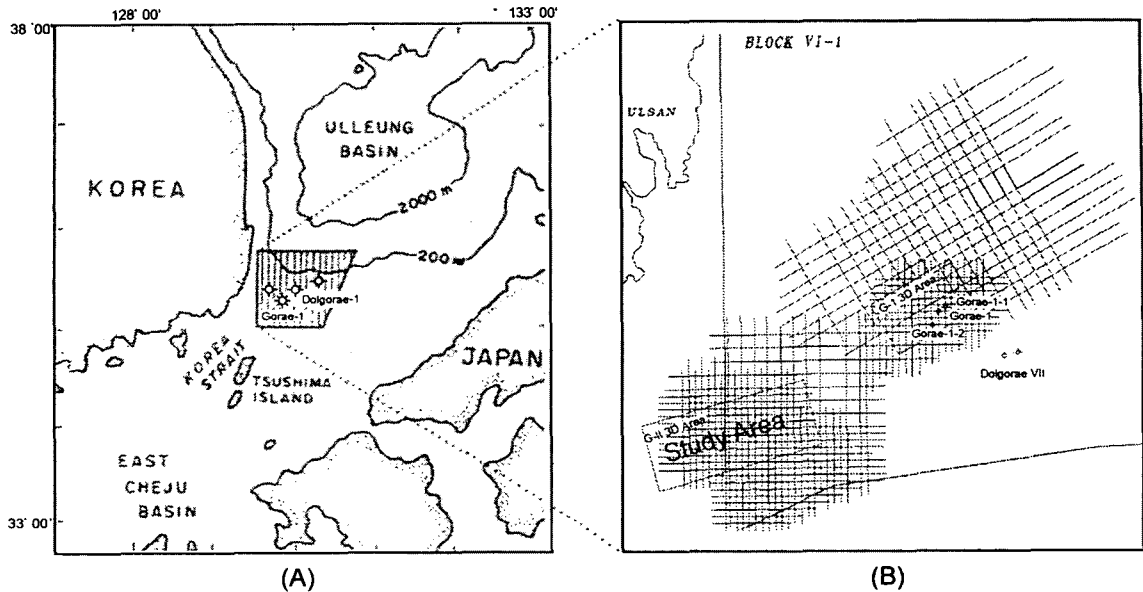


Fig. 1. Physiographic features of the Ulleung Basin (A) and location of the study area (B).

강되면서 쇠설성 퇴적물이 매우 빠른 속도로 두껍게 퇴적되었으며, 이들 퇴적물은 뚜렷한 암상 대비를 보이지 않고 있으며 수평적 퇴적상 변화가 심한 편이다 (PEDCO, 1995). 그러나 연구지역을 포함한 울릉분지 서남부에는 광역적인 연장성을 가진 건층면의 발달이 관찰되고 있다. 특히 고래 II 지역은 육지와 가장 근접하고 연구지역 3D 탄성과 탐사 자료가 취득된 지역으로서 건층면이 뚜렷이 발달되어 있다 (그림 3).

본 연구에서는 고래 II 지역에서 조구조운동에 따른 분지발달 과정 및 이에 따른 퇴적작용을 파악하기 위해 3D 탄성과 자료를 해석하였다. 연구지역은 Minami(1979)에 의해 세워진 인근 대마해협일대의 층서에 대비하여 이루어져 왔을 뿐 연구 지역을 포함한 울릉분지 서남부 일대에서의 3D 탄성과 자료 해석에 의한 정밀한 지질 구조 및 층서해석은 기실시된바 없었다. 금회 분지 해석시에는 기존 연구에서 자료 해석력이 떨어져 실시되지 못했던 지질구조 및 각 시퀀스의 구조도 및 등시선도 제작을 통해 분

지 발달과정 및 기하학적 형태 등에 대한 정보가 획득되었다. 각 시퀀스의 퇴적상 및 퇴적환경은 탄성과 반사면의 특성을 분석함으로써 이루어 졌다. 금번 연구는 향후 울릉분지 서남부 전체의 탄성과 시퀀스 층서계통의 수립을 위해서도 유용하게 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

### 과거 연구

울릉분지 VI-1 광구의 층서와 관련한 연구들은 1970년대에는 돌고래-1공 및 인접 지역의 시추공 자료에 의한 암층서 및 생층서 연구가 주로 이루어졌으며, 1980년대 초반이후부터는 광역적 탄성과 탐사 및 석유시추 탐사작업이 활발해져 울릉분지 전역을 대상으로 하는 조구조 층서 및 탄성과 층서에 대한 연구가 수행되어져 오고 있다. 과거 울릉분지 대륙붕에 대한 층서 및 구조 연구들로서는 Emery and Hiroshi(1968), Keiji and Trapman

Table 1. Stratigraphic scheme of the southern part of Ulleung Basin (previously established)

Geologic age	Keiji & Trapman ('73)	Minami ('79)	KIER ('87)	Park, K.S ('90)	This study (G-II area)
Pleistocene	<i>Criboelphidium yabei</i>	D Group	<i>Globigerina bulloides</i>	Q	
Pliocene	<i>Epistominella pulchella</i>		<i>Cassidulina laevigata</i>	PL	Seq. D
Miocene	Late	Rare & barren	Rare & barren	MIU3 MIU2 MIU1	Seq. C Seq. B <sub>3</sub>
	Mid.	<i>Martinottiella communis</i>	<i>Martinott. communis</i>	MIM	
	Early	<i>Cyclamina japonica</i>	N Group	<i>Cyclamina japonica</i>	Seq. B <sub>2</sub> Seq. B <sub>1</sub> Seq. A <sub>2</sub> Seq. A <sub>1</sub>
Oligocene		X Group			Ac. Basement

(1973), Minami(1979), 한국동력자원연구소(1982), 한국자원연구소(1987), Chough and Barg(1987), Park(1990), Lee(1992), MicroStrat(1993), 이호영(1994), 최동립의(1994), 한국자원연구소(1994, 1995), Yoon(1994)등이 있다.

Park(1990)은 광역탄성과 탐사자료를 이용하여 구조 및 탄성과 층서해석을 실시한 후 울릉분지는 분지확장, 스러스트, 주향이동 단층운동 등에 의해 형성된 복합분지(composite basin)로서 초기 마이오세에 지각충돌이 일어나 지각융기, 침식작용을 수반한 구조대가 형성되었으며, 후기 마이오세 중엽에 주향이동 단층작용이 일어났다고 해석하였다. 이 단층은 플라이스토세에 이르러 재활성화되고 있다. 이들 연구는 분지 생성의 기원을 밝혀 줄 수 있는 기반암지역을 포함하지 못하였기 때문에 본 연구에서는 고해상도의 3D 탄성과 자료를 통하여 기반암을 포함한 전체의 층서 및 구조에 대한 연구를 수행하였다.

**지질개요**

연구지역이 위치해 있는 제 VI-1광구는 동해 남서부에 위치하며 북동-남서 방향을 따라 발달된 쇄설성 퇴적암으로 이루어진 울릉분지의 서남부의 수심 200미터 미만의 대륙붕 지역 대부분을 포함한다 (그림 1). 울릉분지는 일본열도 및 심해저해구 형성 상관관계가 깊은 전형적인 대륙 주변분지(marginal basin)이다

(Park, 1990). 탄성과 자료에 의하면 울릉분지의 신생대 퇴적층의 두께는 약 8 km 정도에 이르고 있다. 울릉분지는 북서쪽과 서쪽으로는 영남육괴의 일부인 한반도와 접하며, 동남부는 일본 호상열도와 접한다. 북동부쪽으로는 동해의 심부까지 연장되며 서남부 쪽으로는 동중국해분지의 동북단에 위치한 도미분지와 연결된다 (그림 2).

VI-1광구의 북쪽 연장부인 동해 심부에는 화산암이 두껍게 퇴적된 심해분지(深海盆地)가 위치하며, 구조운동을 매우 미약하게 받은 두꺼운 쇄설성 퇴적물이 발달된 분지남서부의 비구조대(非構造帶)와 분지남동부에서 중첩된 스러스트대를 갖는 구조대(構造帶)로 구성된다 (Park, 1990).

울릉분지는 후기 올리고세와 초기 마이오세동안 대륙이 열개작용으로 인해 백악기 내지 고제3기 기반암이 N-S 및 NW-SE 방향의 정단층에 의해 지구대가 형성되면서 침강됨에 따라 울릉분지의 초기형태인 울릉곡분이 이루어졌으며 그 위에 쇄설성 퇴적물의 공급이 이루어졌다 (Park, 1990). 울릉분지의 중심부에는 이암, 화산쇄설암 및 암편을 포함한 저탁류 사암등 심해성 퇴적층의 퇴적이 광범하게 이루어졌으며, 주변부에는 육성내지 천해성퇴적물이 퇴적되었다 (Inoue, 1982).

중기 마이오세 말경 보니아크(Bonic Arc)대 유라시아판의 충돌이 일어나 판이 북서방향으로 비스듬히 침강함에 따른 횡압력(transcompression)이 울릉분지에 작용하기 시작하였다. 이 구조

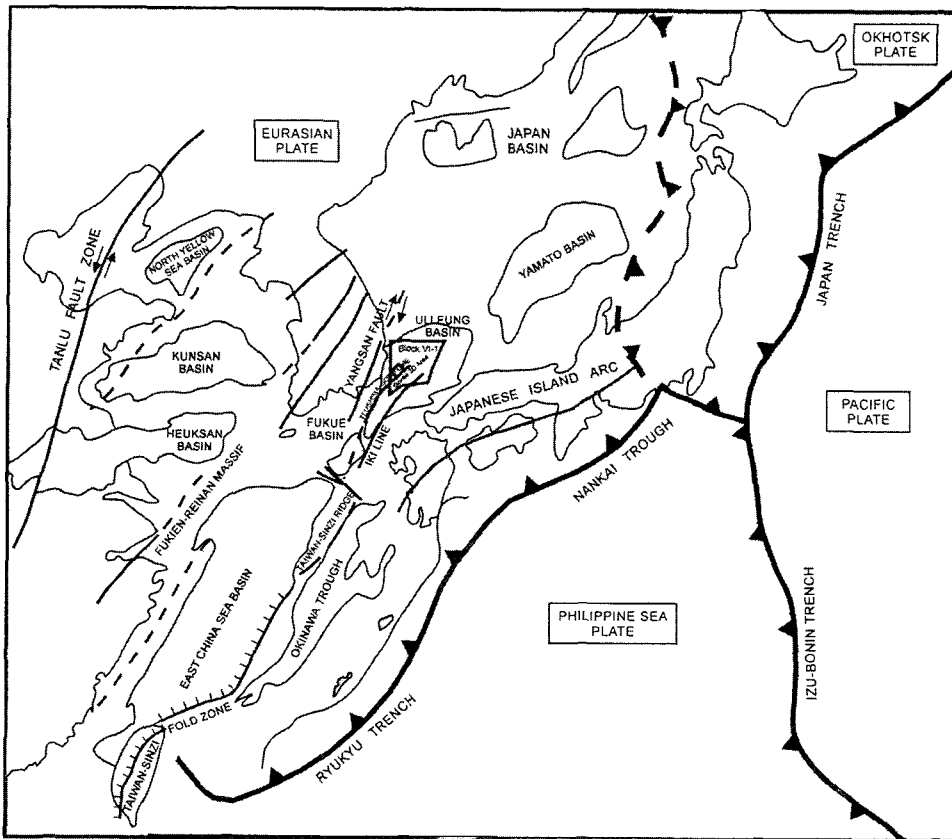


Fig. 2. Tectonic map of the Ulleung Basin and its neighboring areas.

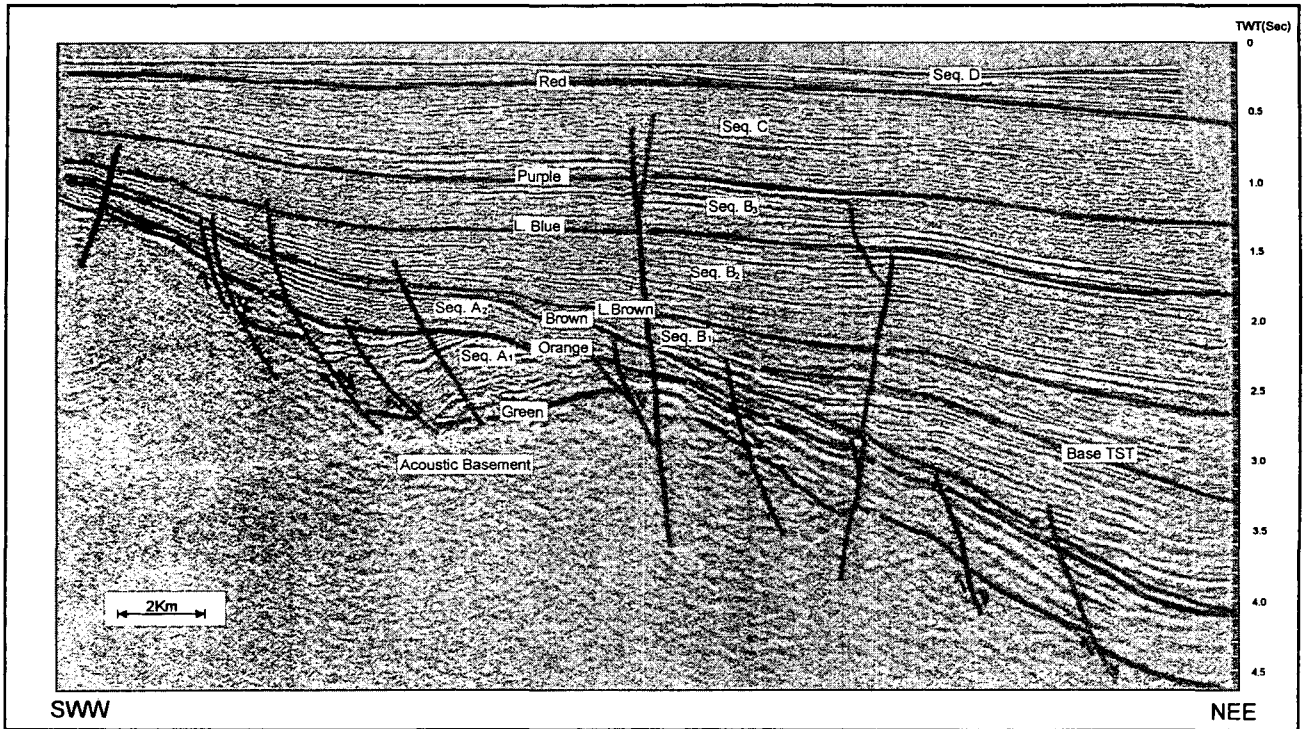


Fig. 3. The seismic line showing horizons and sequence boundaries mapped in Gorae II 3D area.

운동은 후기 마이오세 (8.2 Ma~6.3 Ma)에 이르러 최대변형 단계에 이르게 되었고 습곡 전단부도 점차 서쪽으로 이동하게 되었다. 습곡대는 분지 융기에 따라 침식작용이 활발히 일어나게 되었고 울릉분지 북부 내지 북서부 쪽으로 후기 마이오세 이전 퇴적물을 채널, 해저협곡을 통해 거의 대부분 재퇴적시켰다 (Park, 1990).

후기 마이오세에서 플라이오세 기간에 구조대는 장력의 영향 하에 놓였고 플라이오세 이후 제4기까지 연구지역은 광구 동쪽으로부터 작용된 횡압력에 의해 습곡작용을 받기 시작하여 완만한 경사를 가진 구조적 돌출부(거북돌출부)를 형성하게 된다. 후기 마이오세 퇴적층의 침식면이 해저에 노출된 것으로 보아, 이 구조운동은 거의 최근까지 계속되고 있다. 플라이스토세 이후 울릉분지의 전역에 걸쳐 광범한 퇴적작용이 이루어졌으며, 주로 천해성 및 하성 퇴적층이 형성되었다 (한국동력자원연구소, 1982).

### 연구 방법

연구 지역은 울릉분지 열개와 관련한 퇴적층과 대륙붕 퇴적층이 잘 발달되어 있어 탄성과 자료 및 시추공 자료에 의해 시퀀스 층서의 정립이 가능하다 (Park, 1992). 본 연구에서는 탄성과 자료를 이용하여 광역적 층서해석을 실시하기 위해 탄성과 층서학 (Mitchum and Vail, 1977)의 일반 해석절차를 이용하였다. Mitchum and Vail(1977)은 퇴적작용에 의해 형성된 탄성과 반사면의 형태 및 종단면을 인지함에 따라 탄성과 시퀀스(seismic sequence)를 구분하였으며 시퀀스내의 탄성과상(seismic facies)을 분석함으로써 퇴적상 분석이 가능한 것으로 보았다.

고래 II 지역에서 취득된 3D 탄성과 축선에서 관찰된 주요 반사면을 이미 시퀀스 층서분석이 종료된 인근 고래-1공 지점까지 연장시켜 고래-1공의 반사면(시퀀스 경계면)과 상호 대비해본 결과, 고래 II 지역은 음향 기반암 상부층을 제외한 7개의 주요 퇴적층으로 구성되어 있음이 확인되었다. 연구지역에서 이들을 하부에서부터 상부로 가면서 각각 시퀀스 A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, C 및 D로 명명하였다 (그림 3).

이 중 시퀀스 D, C 및 B<sub>3</sub>는 연구지역을 포함하여 울릉분지 광역적으로 발달되어 있는 부정합면으로 경계 지워지며, 지질시대는 인근 고래-1공 생층서 지질시대와 대비하여 각각 6.3 Ma, 10.5 Ma, 및 15.5 Ma 로 결정되었다 (MicroStrat, 1993). 이들 시퀀스들은 울릉분지의 생성 및 발달과 관련이 있는 조구조운동과 밀접한 관련이 있기 때문에 이에 따라 5개의 메가 시퀀스들로 구분되었다 (표 2).

Table 2. Seismic sequences and geologic ages, the Gorae II 3D area

Seismic Sequence	Geologic Age	Mega Sequence
Sequence D	~ 6.3 Ma	Post-compression
Sequence C	6.3 ~ 10.5 Ma	Syn-compression
Sequence B <sub>3</sub>	10.5 ~ 15.5 Ma	
Sequence B <sub>2</sub>	15.5 ~ 17.5 Ma	
Sequence B <sub>1</sub>	E. Miocene (?)	Post-rift
Sequence A <sub>2</sub>	E. Mio~late Oligocene (?)	Syn-rift
Sequence A <sub>1</sub>	E. Mio~late Oligocene (?)	
Acoustic Basement	Pre-Tertiary (?)	Pre-rift

**선열개 음향 기반암 (Pre-rift acoustic basement)**

연구지역에서 음향 기반암은 한반도 육지쪽으로 갈수록 얇아지며 연장되고 있으며 인근 광역축선에 의하면 연구지역 서측 방향에서 해저면에 근접하여 관찰되고 있다. 음향 기반암은 구조도 상에서 남북 내지 북동-남서방향의 주향을 보이는 블록단층 운동(block faulting)에 의해 다수의 반지구(half graben)를 이루고 있다. 정단층은 주향이 주로 NE-SW 방향이며 간혹 E-W 방향도 나타난다. 음향 기반암은 연구지역 동쪽으로 깊어져 왕복주시시간(TWT) 4.5초 이하로 깊어진다 (그림 3). 이 음향 기반암은 탄성과 반사면의 형태가 거의 관찰되지 않는 음향적으로 균질한 특성을 보인다. 음향 기반암 상부 일부구간에서 연속성이 대체로 불량하며, 미약한 진폭의 반사면이 관찰되고 있다.

**열개동시성 시퀀스 (Syn-rift sequences)**

**시퀀스 A<sub>1</sub>(Green-Orange Horizon)** : 이 시퀀스는 열개작용에 의해 형성된 반지구(half graben)를 왕복주시시간(TWT) 약 0.8초 이상의 두꺼운 퇴적물로 충전하고 있다. 정단층은 주향이 주로 NE-SW 방향이며 간혹 E-W 방향도 나타난다 (그림 4 & 그림 5). 이 시퀀스는 내부의 반사면은 함몰대의 주변부는 연속성 및 진폭이 비교적 양호하나 중심부는 반사면이 미약하며 hummocky 한 탄성과상을 보여준다. 이 시퀀스는 육상쪽으로 발달하는 분지 형태 및 광역지질 상황으로 보아 전체적으로는 호성환경을 지시

하나 후기에 호수 주변부로 선상지등 고에너지 하성 환경의 영향을 받은 것으로 해석된다. 이 시퀀스 퇴적시기는 열개작용에 의해 반지구가 형성된 시기가 후기 올리고세-초기 마이오세 (Chough and Barg, 1987)인 사실에 비추어 볼 때 이 시퀀스의 퇴적시기도 이 시기에 속할 것으로 보인다.

**시퀀스 A<sub>2</sub>(Orange-Brown Horizon)** : 하위 시퀀스를 경사 부정합적으로 피복하는 시퀀스 A<sub>2</sub>는 열개작용 말기에 형성된 시퀀스로서 연구지역의 동쪽 심부로 가면서 점점되는 것으로 보아 국부적인 발달양상을 보인다. 이 시퀀스는 왕복주시시간(TWT)으로 최대 4.0초까지 관찰이 가능하며, NNE~SSW방향의 주향을 가지며 전체적으로 두께가 일정하나 남동쪽의 경사방향으로 가면서 두께가 얇아진다. 이 시퀀스와 하위 A<sub>1</sub>시퀀스 사이의 등시선도로 보아 시퀀스 A<sub>2</sub>의 총후는 최대 왕복주시시간(TWT) 0.35초로서 다른 시퀀스에 비해 두껍지 않은 것으로 보인다. 이 시퀀스는 연구지역 중앙부에서 가장 두껍고 주변부로 갈수록 얇아진다 (그림 3). 시퀀스 A<sub>2</sub>반사면의 진폭은 연속성이 천부에서는 불량하나 분지중심에서는 보통 내지 미약하게 연속성을 보인다. 따라서 이 시퀀스는 울릉분지의 본격적인 확장단계이전에 형성된 육성 퇴적층으로 판단된다.

시퀀스 A<sub>1</sub>형성에 영향을 준 정단층은 시퀀스 A<sub>2</sub>도 끊고 지나가고 있다. 하위의 시퀀스와 동일하게 북서에서 남동쪽 방향으로 퇴적방향을 가지며 두꺼워지며 단층들이 아직 성장단층(growth fault)의 특성을 보여주고 있다. 단층의 상·하반의 성장비

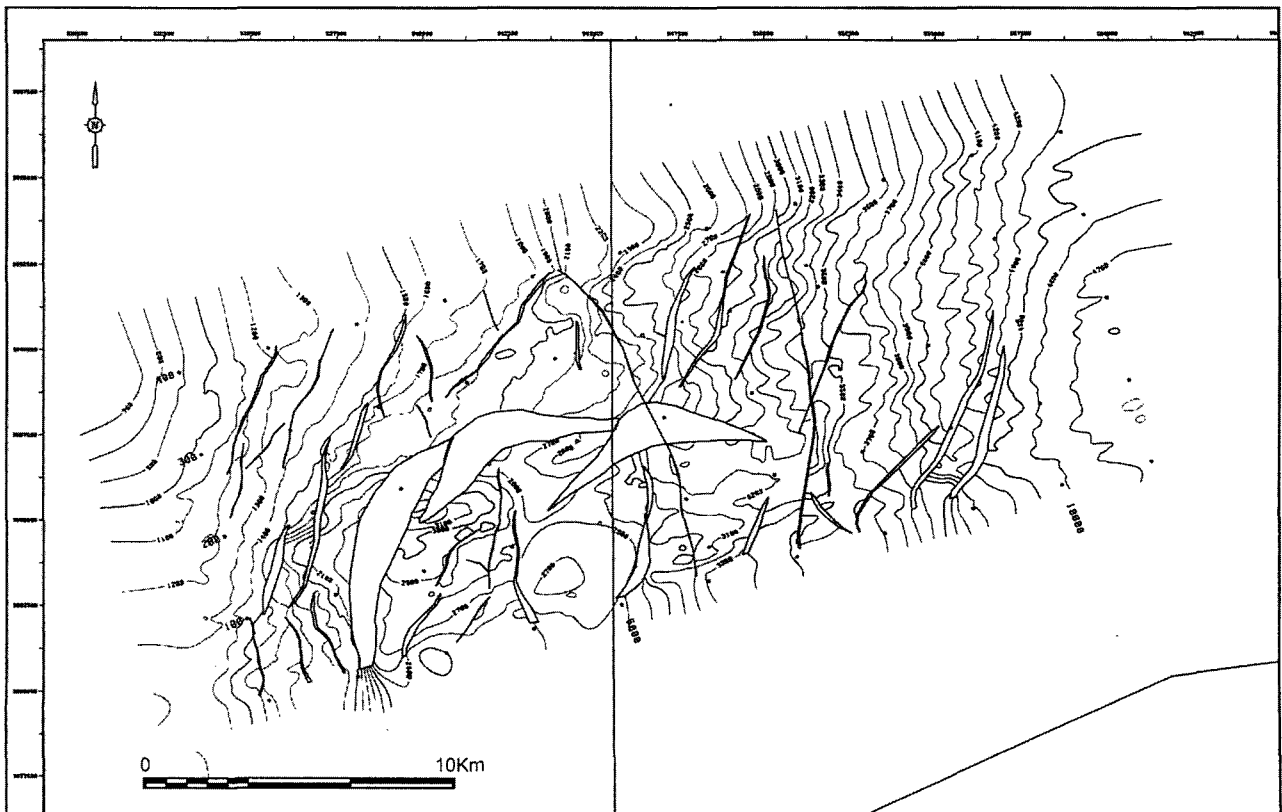


Fig. 4. Time structure map of Green horizon (acoustic basement), C.I.=100 msec (TWT).

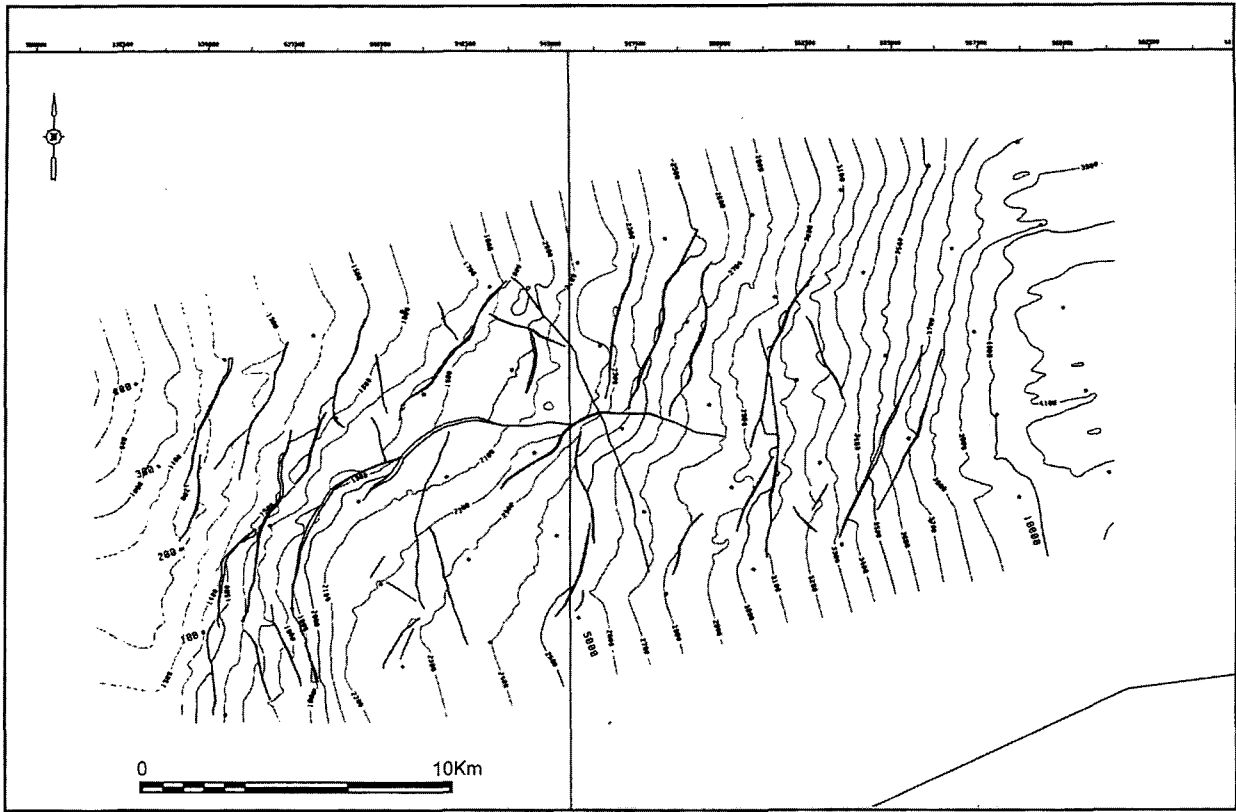


Fig. 5. Time structure map of Orange horizon, C.I.=100 msec (TWT).

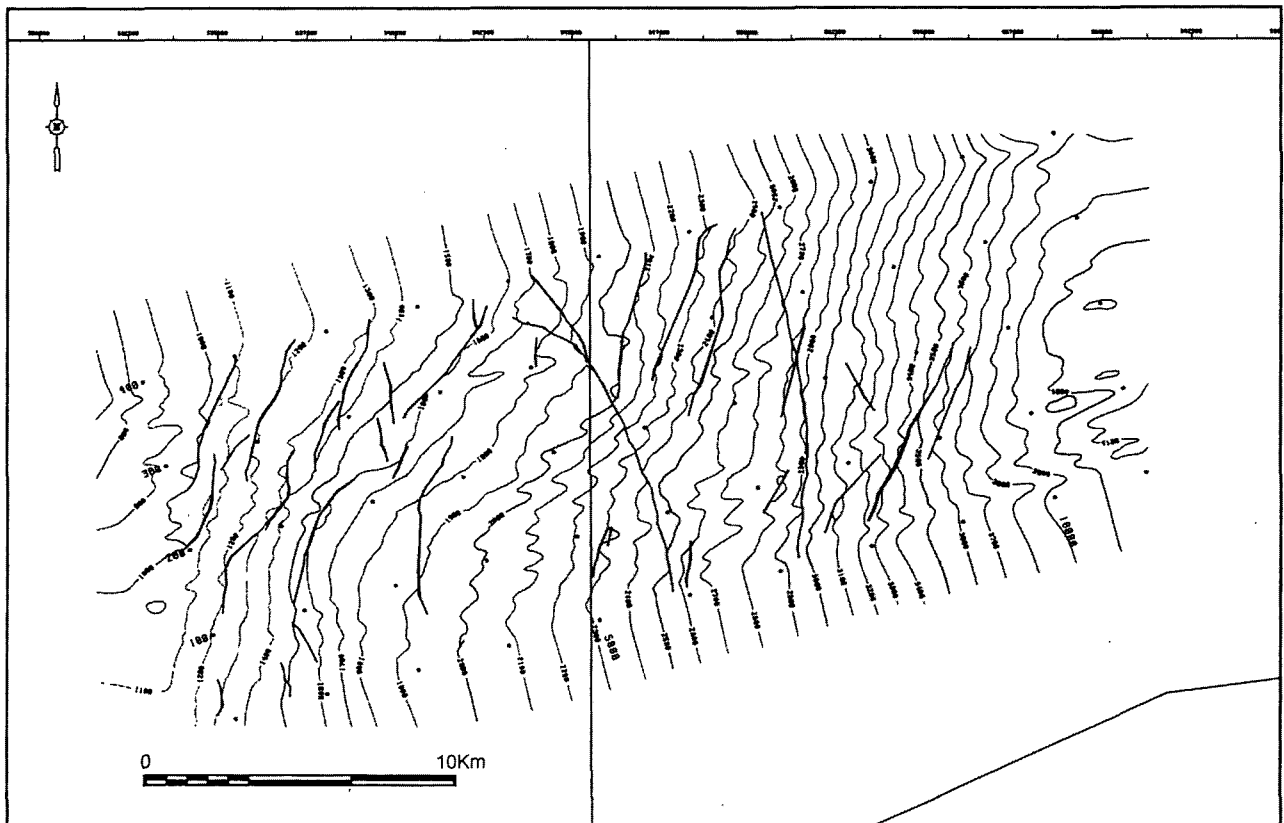


Fig. 6. Time structure map of Brown horizon, C.I.=100 msec (TWT).

(Growth Ratio)가 거의 비슷해지고 있는 것을 볼 때 동 시퀀스는 rift 구조운동 말기에 형성된 시퀀스임을 나타낸다.

**후열개 시퀀스 (Post-rift sequences)**

**시퀀스 B<sub>1</sub>(Brown-L. Brown Horizon)** : 이 시퀀스는 하부 시퀀스 A<sub>2</sub>상부에 부정합적 관계로 퇴적되어 있으며 하위 시퀀스에서 관찰되는 정단층은 활동이 중단되었으나 아직 일부 구간에 퇴적물 하중에 의한 약간의 정단층 재활성작용이 관찰되고 있다.

등시선도면에 의하면 동 시퀀스는 퇴적물 공급이 한반도 쪽으로 이루어짐을 보이며 고래 II 지역의 중앙으로부터 열개작용 결과 형성된 울릉분지에 퇴적물을 공급하는 통로역할을 수행했던 울릉곡분대로 퇴적작용이 북동쪽으로 빠르게 일어나 이 시퀀스의 층후가 급격히 두꺼워지게 된다. 즉 열적침강과 퇴적물공급에 의해 울릉분지는 급격히 매몰되기 시작하였다. 이 시퀀스에서부터 울릉분지는 비록 폭은 좁지만 대륙붕 고해안선이 어느 정도 모양을 갖추게 되었으며 이에 따라 해안선에서의 상대 해수면변화에 따른 해침·해퇴분석이 비로소 가능할 수 있게되었다. 이 시퀀스의 대륙붕쪽에서는 반사면의 진폭 및 연장성이 양호한 반면 시퀀스 두께가 매우 얇아 단지 퇴적물의 이동 통로 역할만을 수행했을 뿐이다. 본 연구지역 동쪽의 사면환경쪽은 반사면의 진폭 및 연속성이 불량한 저해수면 계열의 사면 복합체(prograding slope complex)가 두껍게 발달되어 있다. 이 시퀀스는 상부쪽에서 수많은 채널이 관찰되고 있으며 이들 채널 내에는 해침시 퇴적물(TST)로 충전되어 있을 것이다. 이 시퀀스내에서 가장 뚜렷한 반사면을 나타내는 Base TST 건층면은 HST 에 On-lap 된 것으로 보아 동 시퀀스의 TS 면으로 판단된다 (그림 3). 이 시퀀스의 퇴적환경은 육지쪽은 해안 및 삼각주 평원으로 해석된다. 이 시퀀스 최상부의 지질 시대는 고래 I 지역과 대비시 17.5 Ma 에 해당됨을 보인다.

**시퀀스 B<sub>2</sub>(L. Brown-L. Blue Horizon)** : 시퀀스 B<sub>2</sub>도 시퀀스 B<sub>1</sub>보다 는 미약하지만 동일하게 울릉분지 중심부를 향해 층후가 두꺼

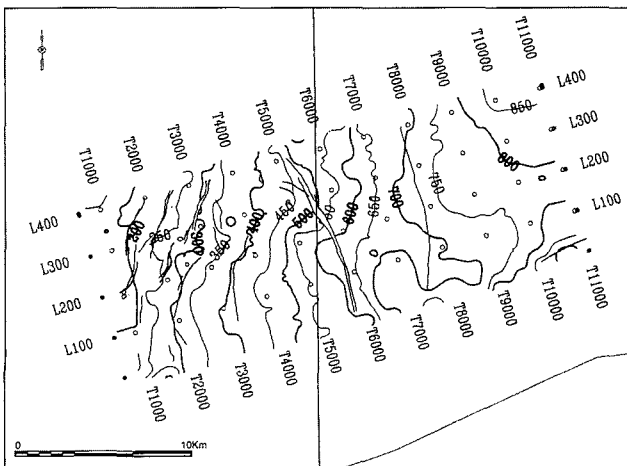


Fig. 7. Isochron map of Sequence B<sub>2</sub>. C.I.=50 msec (TWT).

워짐을 보인다. 이 시퀀스의 최대층후는 왕복주시시간(TWT)으로 0.8초 이상을 나타내고 있다 (그림 7). 등시선도 우하단에서 스러스트 하부에도 시퀀스 B<sub>2</sub>의 층후가 일정하게 유지되고 있는 것으로 보아 이 시퀀스 퇴적기간 중에는 단층 및 횡압력에 의한 습곡작용이 일어나지 않았으며 단지 분지의 열적침강이 지속되고 있는 것으로 해석된다. 이 시퀀스의 층후는 주로 분지쪽으로 갈수록 점점 두꺼워지며 일부 구간에서는 탄성과상이 어그레테이션(aggradation)됨을 보여준다. 이 시퀀스내에서는 채널이 자주 관찰되고 있으며 고래공의 생층서 및 암상과 대비하여볼 때 이 시퀀스는 해침과 해퇴가 반복되며 형성되는 해안평원(coastal plain) 및 삼각주 평원(delta plain) 환경하에서 퇴적된 것으로 해석된다. 고래공 생층서자료(MicroStrat, 1993)에 의해 이 시퀀스 최상부의 퇴적시기는 15.5 Ma에 대비되고 있다.

**시퀀스 B<sub>3</sub>(L. Blue-Purple Horizon)** : 시퀀스 B<sub>3</sub>는 등시선도에 의하면 연구지역 남동쪽으로 두꺼워짐을 보여 스러스트 형성 이전에 퇴적된 지층임을 지시한다. 시퀀스 B<sub>3</sub>의 경우 육지쪽은 반사면이 HST를 지시하며(하성환경), 대륙붕쪽은 TST가 우세하다. 이 시퀀스는 주로 해침작용이 반복되어 해안선 퇴적층이 측방으로 이동되는 특성을 보여준다. 연구지역내에서 이 시기이후의 해안선은 보통 SW 에서 NE 방향으로 확장되어 나감을 보인다. 반사면은 TST의 경우 연속성이 좋고 진폭이 매우 강하다. 반면 HST는 반사면이 불연속적 및 약간 평행(subparallel)함을 보인다. 이 시퀀스의 퇴적환경은 천해지역에 근접하여 해수면의 변화가 수만년 삼각주 환경으로 해석된다. 연구지역 중앙에 렌치단층에 의해 이 시퀀스가 단절되고 있다. 이 시퀀스의 시기는 후기 마이오세의 횡압력 구조운동보다 선행되고있으므로 중기 마이오세인 10.5~15.5 Ma로 대비될 수 있을 것으로 해석된다.

**횡압력 동시성 시퀀스 (Syn-compressional sequence)**

**시퀀스 C (Purple-Red Horizon)** : 시퀀스 C는 스러스트의 상반(hanging wall)이 얇아지는 것으로 보아 횡압력 작용으로 융기되던 지층이 침식되면서 퇴적되었다. 이 시퀀스는 스러스트 북동쪽의 울릉분지 중심부로 퇴적층의 두께가 두꺼워 짐을 보인다. 이 퇴적층의 최대 층후는 왕복주시시간(TWT) 약 0.8초에 이른다 (그림 8 & 그림 9). 시퀀스 상부로 갈수록 고해안선은 울릉분지 중심을 향해 이동되고 있다. 이 시퀀스의 반사면은 측방으로 진폭 및 연속성이 불량한 지역이 대부분을 차지하며 channel 탄성과상들이 나타나는 것으로 보아 연구지역은 주로 하성환경이 우세한 것으로 보인다. 이 시퀀스는 울릉분지내에서 스러스트 구조운동이 일어난 동시기인 후기 마이오세의 10.5~6.3 Ma에 대비하였다. 이 시퀀스는 최상부가 들고래 부정합에 의해 삭박되어 있다.

**후횡압력 시퀀스 (Post-compressional sequence)**

**시퀀스 D (플라이스토세~Red Horizon)** : 시퀀스 D는 하위 시퀀스 C를 경사 부정합적으로 피복하며 스러스트 구조운동이 종료

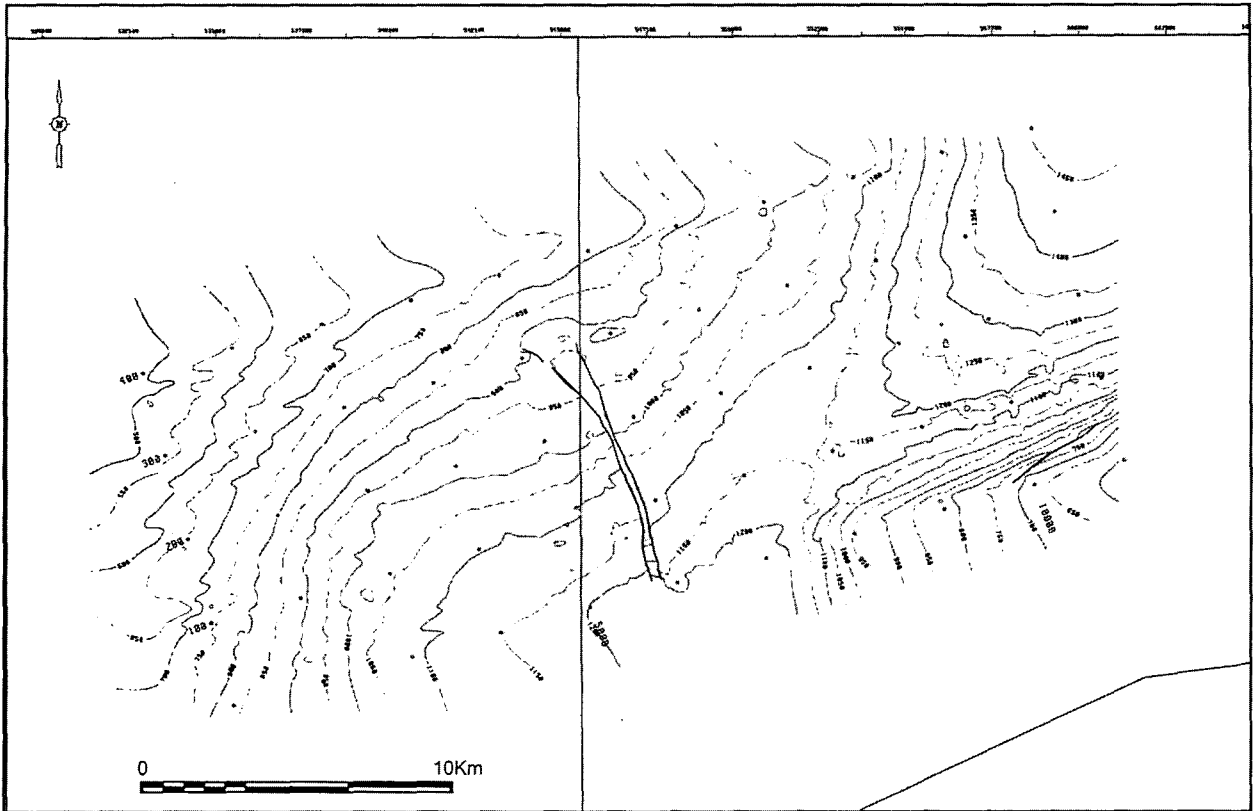


Fig. 8. Time structure map of Purple horizon, C.I.=50 msec (TWT).

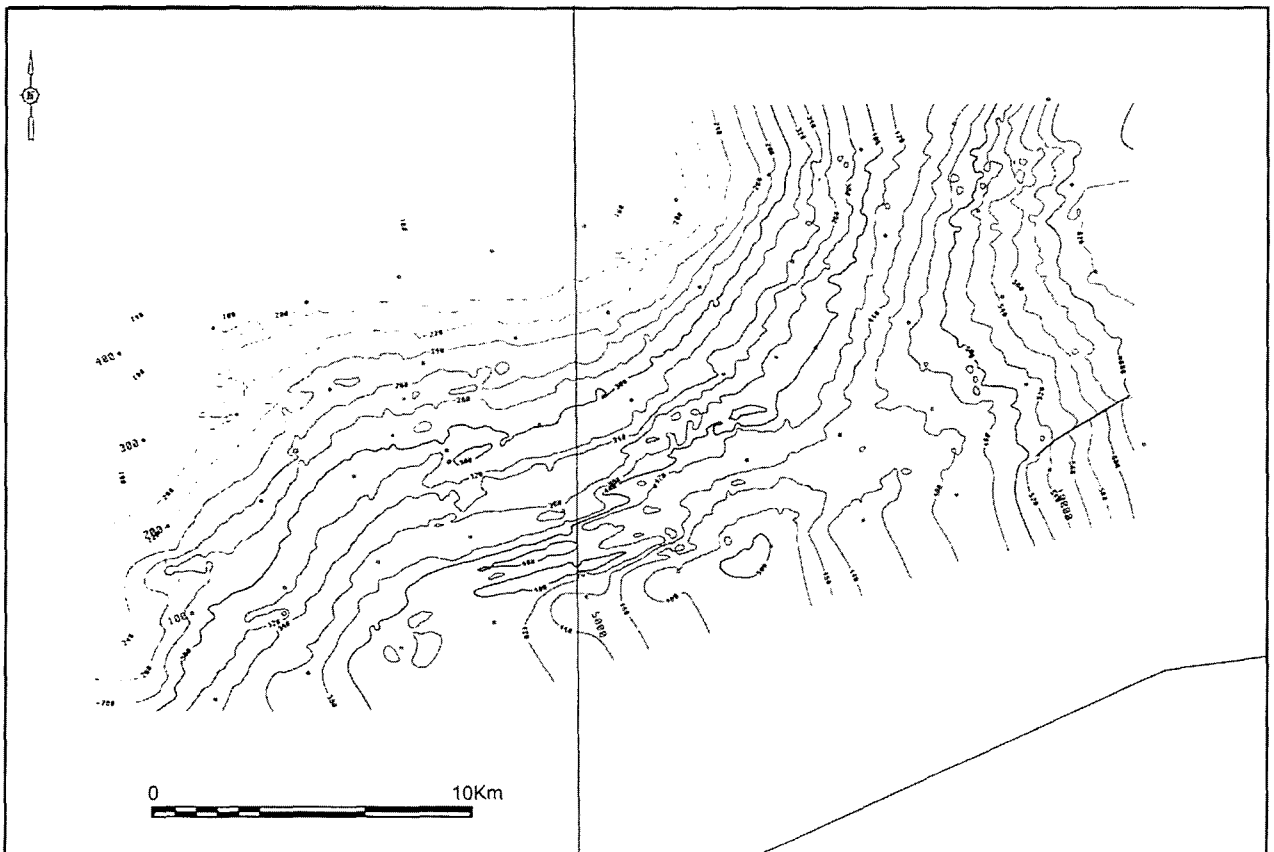


Fig. 9. Time structure map of Red horizon, C.I.=20 msec (TWT).



된 후에 퇴적되었으며 울릉분지 전역에 발달되어 있다. 이 시퀀스는 반사면의 연속성 및 진폭이 양호하게 발달되어 있어 해상 환경으로 해석된다. 이 시퀀스의 퇴적시기에는 이 전까지 좁은 협곡형태로 발달되던 울릉곡분은 넓고 완만한 형태를 유지하며 이때부터 울릉분지 쪽으로의 퇴적작용은 넓은 해안선을 따라 이루어지게 되었다. 연구지역내는 켈치단층이 발달되는 것이 관찰되며 이 단층은 연구지역 동남부 지역에서 해수면까지 연장 발달되는 것으로 이들은 활성단층으로 해석된다.

**결 론**

고래 II 지역은 기반암 상부 부정합면을 포함하여 8개의 주요 시퀀스 경계면이 관찰된다. 이들에 대한 시퀀스 분석결과 이들은 대부분 울릉분지를 형성시킨 조구조운동에 밀접히 연관되어 형성된 시퀀스들이 밝혀졌다.

열개작용을 전후하여 퇴적된 시퀀스로는 선열개 기반암, 열개 동시성 시퀀스(A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>), 후열개 시퀀스(B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>)가 있으며, 후기 마이오세 기간에 일어난 횡압력 구조운동에 관련하여서는 횡압력 동시성 시퀀스(C) 및 후횡압력 시퀀스(D)로 분대가 가능하다. 이 시기에 울릉분지내에 퇴적된 각 시퀀스는 이 지역 내에 발생한 조구조 운동 및 퇴적물 공급량에 따른 상대 해수면 변화와 관련하여 퇴적작용이 일어났으며, 주로 후열개 시퀀스(B)가 울릉분지내에서 가장 두꺼운 퇴적층을 형성하고 있다. 횡압력 동시성 시퀀스(C)는 후열개 시퀀스(B)가 스러스트 지역에서 삭박되어 대마곡분을 따라 두껍게 퇴적된 foreland 분지형태로 발달되었다. 따라서 울릉분지는 열개작용, 스러스트 변형대 및 foreland 분지가 결합된 복합적인 분지의 층서 및 구조 양상을 나타낸다.

**감 사**

이 논문은 제4차 한국석유지질학회 정기학술발표회에서 확대 초록으로 이미 발표했던 내용을 일부 수정하여 다시 게재한 것이며, 논문내용은 한국석유개발공사가 국내 대륙붕 제 VI-1광구 고래 II 지역에서 취득한 3D 탄성과 자료에 대한 해석 결과의 일부를 포함하고 있다. 도면 제작작업에 도움을 준 유개공의 주지안, 이종은씨에게 감사드린다. 이 논문이 학술 발표회 및 학회지에 실릴 수 있도록 허가해준 한국석유개발공사에 사의를 표한다.

**참고문헌**

이호영, 1994. 동해 울릉분지 남동부의 신제3기 유공층 생층서. 미발

간 박사학위논문, 서울대 대학원, 328p.  
 최동림, 오재경, Mikio Satoh, 1994. 동해 울릉분지 남부해역의 신생대 지질구조 및 지구조 변화. 한국석유지질학회지, 2(2), 59-70  
 한국동력자원연구소, 1982. 대륙붕 석유탐사자료 평가연구, 342p.  
 한국자원연구소, 1987-1995. 돌고래 및 고래 시추공 시료분석보고서.  
 Chough, S.K. and Barg, E., 1987. Tectonic history of Ulleung Basin margin, East Sea (Sea of Japan), *Geology*, 15, 45-48.  
 Emery, K.O. and Niino Hiroshi, 1968. Stratigraphy and petroleum prospects of Korea Straits and the East China sea; *CCOP Bulletin*. v.1, 13-27.  
 Ingle, J.C. et al., 1990. Proceedings of the ocean drilling programme, initial reports, 128.  
 Inoue, E., 1982. Geological problems on Cretaceous and Tertiary rocks around Tsushima-Korea Straits; *UN. ESCAP CCOP Technical Bulletin*, v.15, 85-121.  
 Keiji and Trapman, S., 1973. Stratigraphy of exploration well, Dolgorae-1, Korea; Shell Internationale Petroleum Maatschappij B. V., The Hague, 5p.  
 Lee, K.E., 1992. Geological structure of Ulleung back-arc basin, East Sea, unpublished M.S thesis, Seoul National Univ., 121p.  
 MicroStrat, 1993. Integrated seismic sequence stratigraphic analysis of the Gorae-1 well, Bock VI-1, 52p.  
 Minami, A., 1979. Distribution and characteristics of the sedimentary basin offshore San-in to Tsushima Island. *Japanese Assoc. Petrol. Technology*, 44, 321-328.  
 Mitchum R, M. Jr. and Vail, P.R., 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 7: seismic stratigraphic interpretation procedure in seismic stratigraphy-application to hydrocarbon exploration, Charles, E. Payton(ed.); 135-143.  
 Park, K.S., 1990. The seismic stratigraphy, structure and hydrocarbon potential of the Korea Strait; unpublished Ph. D thesis, Imperial University, 431p.  
 Park, K.S., 1992. Geologic Structure and seismic stratigraphy of the Southern Part of Ulleung Basin. In Chough, S.K.(ed.), *Sedimentary Basins in the Korean Peninsula and adjacent Seas. Special Publication of the Korean Sedimentary Research Group (KSRG)*, 40-59.  
 PEDCO, 1995. Well evaluation report, Gorae 1-1 and Gorae 1-2, Block VI-1, Offshore Korea, 145p.  
 Tamaki, K., Suyehiro, K., Allan, J., Ingle, Jr. J. C., and Pisciotto, K. A., 1992. Tectonic synthesis and implications of Japan Sea ODP Drilling. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Science Results, 127/128(part 2), 1333-1348.  
 Yoon, S. H., 1994. The eastern continental margin of Korea's seismic stratigraphy, geologic structure & tectonic evolution, Ph.D. thesis, Seoul National University, 136p.