

## 심부 탄성과 자료를 이용한 한반도 동남부 플라이오세 이후 퇴적층의 층서

정치목<sup>1)\*</sup> · 황인걸<sup>2)</sup>

### 1. 서론

울릉 분지 남서부 대륙 주변부에서는 탄성과 탐사 자료를 활용한 층서연구, 분지의 형성 기원과 진화 과정, 퇴적 환경의 변화 양상 등에 대한 연구가 수행되어 왔다. 그러나 이들 연구는 석유 탐사 목적으로 수행되었기 때문에 주로 심부 퇴적층에 집중되었고, 상대적으로 천부 퇴적층에 대해서는 자세한 연구가 이루어지지 않았다. 또한 고해상도 탄성과 자료는 지극히 천부 퇴적층만을 대상으로 하고 있어 소위 ‘음향 사각지대’에 위치한 플라이오세 퇴적층에 대해서는 정밀한 연구가 수행되지 않았다. 이 연구에서는 플라이오세 이후 퇴적층에 대해 시퀀스 층서 분석의 기본 원리를 바탕으로 층서 해석을 시도하였다.

### 2. 본론

울릉 분지 남서부 대륙 주변부는 수심 200 m 이하의 대륙붕과 200-1500 m 의 대륙 사면으로 이루어져 있으며 (Fig. 1 a), 대륙붕단 인근에 퇴적된 신생대 퇴적층은 분지 구조진화와 밀접히 관련하여 발달해 왔다. 분지는 후기 올리고세에서 초기 마이오세에 아무리안 판 하부에 필리핀 판 및 태평양 판이 섭입하면서 열개를 시작하였고 중기 마이오세까지 활발한 확장 운동을 하였다. 중기 마이오세 말에 들어 횡압력에 의한 압축력이 작용하면서 분지는 압축변형을 받게 되었고, 플라이오세 이후로도 약한 압축력에 의한 습곡 및 단층 운동이 계속되었다 (Yoon and Chough, 1995). 이번 연구의 대상이 되는 플라이오세 이후 퇴적층은 분지의 압축 변형이 거의 완료된 이후 퇴적되었고, 기존의 연구에서 제시된 돌고래 부정합면 상부에 발달한다 (Park, 1998; Lee et al., 2001; Yoon et al., 2003).

#### 2.1 탄성과 단면 기술 및 해석

연구 지역 내의 퇴적층은 반사파의 배열이 부정합을 보이는 면 중에서 분지 전역으로 연장되는 강한 반사파면을 경계로 삼아 총 9개의 퇴적 단위로 구분하였다.

단면 A-A' : 단면 A는 연구지역 남단으로부터 북동방향으로 약 85 km 정도 탐사된 단면이다. 이 단면의 퇴적층은 8개의 퇴적 단위로 구분되며 연속성이 매우 좋은 탄성과상을 보임으로써 하부의 마이오세 퇴적층과는 뚜렷한 대비를 보이고 있다 (Fig. 2). 퇴적층의 퇴적 형태를 보면 남쪽의 용기부 (Fig. 2, arrow 1)에서는 퇴적층이 상향 걸침하거나 얇게 피복하는 양상을 보인다. 반면 북쪽의 용기부 (Fig. 2, arrow 2)에서는 퇴적 단위  $I_a$ ,  $I_c$ 의 경우 일정한 두께를 유지하며 하부 경계에 평행하게 퇴적된 형태를 보이고 있다. 이는 북쪽의 용기부는 퇴적 단위  $I_a$ ,  $I_c$ 가 퇴적된 후에 용기한 것임을 지시한다. Park (1992)은 남쪽의 용기부를 초기 마이오세의 트러스트 구조 운동에 의한 용기부로, 북쪽의 용기부를 후기 마이오세에서 플라이오

주요어 : 울릉 분지, 시퀀스 층서, 플라이오-플라이스토세, 탄성과 층서

1) 과학기술연합대학원대학교 석유자원공학과 (bluesalley@hanmail.net)

2) 한국지질자원연구원 석유해저자원연구부 (ighwang@kigam.re.kr)

세 사이의 우수향 주향이동에 의해 형성된 구조 만곡부 (structural arch)로 해석하였다. 퇴적 단위 II<sub>a</sub>에서는 전진 구축형 퇴적체가 관찰되며 교차 단면 (Line B)과의 비교를 통해 퇴적물은 서-남서에서 북동쪽으로 공급된 것으로 해석하였다 (Fig. 2, arrow 3).

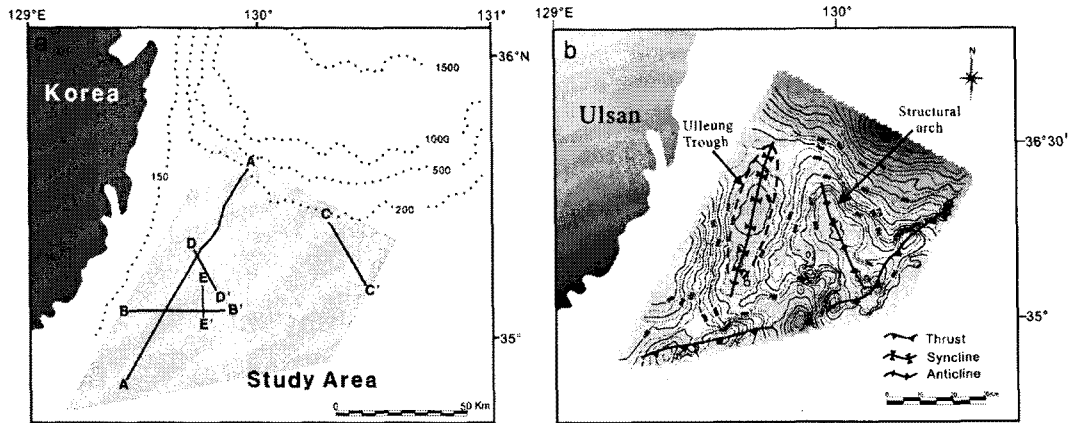


Fig. 1. (a) Bathymetry map of study area and location of survey lines. Solid lines indicate seismic lines and dotted lines indicate contours in meters. (b) Time structure map of horizon  $h_1$  (bounded by Dolgorae unconformity) and major structures and features in the study area. Contours are two way travel times.

단면 B-B': 라인 B는 남북으로 발달하고 있는 울릉 트러프 (Fig. 1 b)를 가로지르며 서에서 동쪽으로 약 36 km 정도 탐사된 단면이다 (Fig. 1 a). 이 단면에서는 서쪽으로부터 유입하는 퇴적물이 트러프를 충전하는 양상을 보이고 있다 (Fig. 3). 이러한 특징은 퇴적 단위 I<sub>b</sub>와 I<sub>c</sub>에서 관찰되는 전진 구축형 퇴적체의 진행 방향과 반사파의 배열이 동쪽의 융기부에 상향 걸침하는 패턴을 통해서 확인된다. 퇴적 단위 I<sub>b</sub>, I<sub>c</sub>에서 관찰되는 전진 구축형 퇴적체의 진행 방향은 북서에서 남동으로 퇴적물이 이동하였음을 지시한다 (Fig. 4).

단면 C-C': 이 단면상에서는 NE - SW 주향으로 발달하는 일련의 단층구조에 의해 퇴적층이 네 개의 구간으로 절단된 형태를 보이고 있다 (Fig. 5). 퇴적층은 북서쪽으로 갈수록 두꺼워지고 있으며, 퇴적 단위 III<sub>b</sub>는 층의 변형과 함께 퇴적이 이루어져 성장 단층의 형태를 보인다 (Fig. 5). 상반과 하반의 운동 방향이 반대로 나타나는 단층 (Fig. 5, arrow 1)은 기반암을 융기시킨 트러스트 단층면을 따라 후기에 재 활성화 된 것으로 해석된다. 층의 변위가 해저면 가까이까지 관찰되는 것으로 보아 현재에도 활동 중인 단층으로 보인다. Park (1992)은 구조 만곡부를 형성시킨 우수향 주향이동 단층이 플라이오세 기간 동안에 연구지역 북동부에서 재 활성화 된 것으로 보고한 바 있다. 단면 상부에서는 퇴적 단위 III<sub>c</sub>와 III<sub>d</sub>의 경계면을 침식시킨 채널이 관찰된다 (Fig. 5, arrow 2).

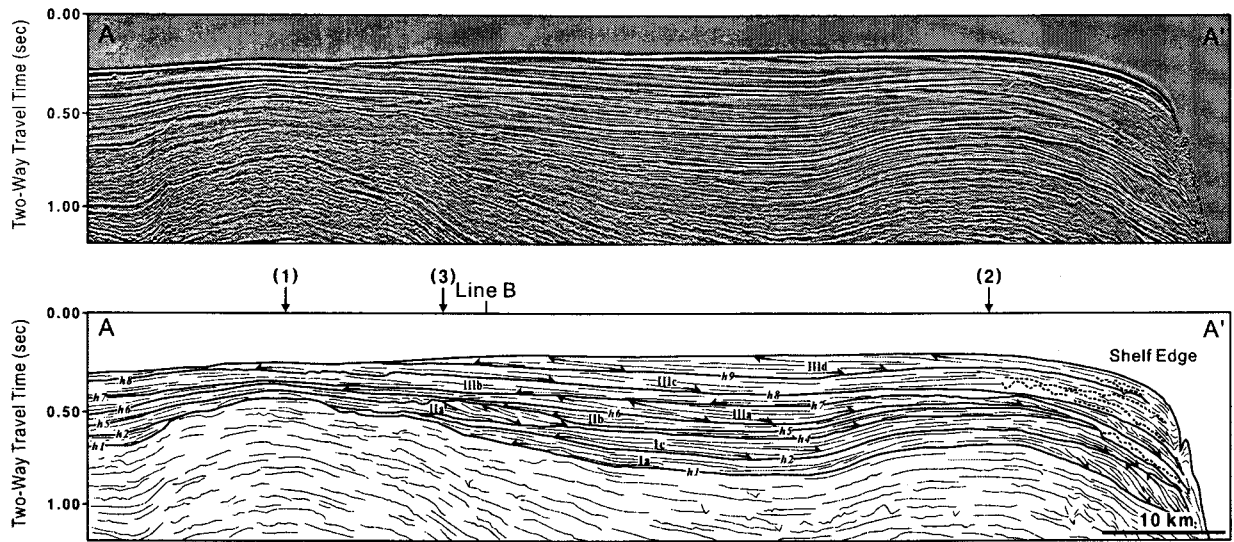


Fig. 2. Seismic section and interpretation of Line A-A'. For location, see Fig. 1.

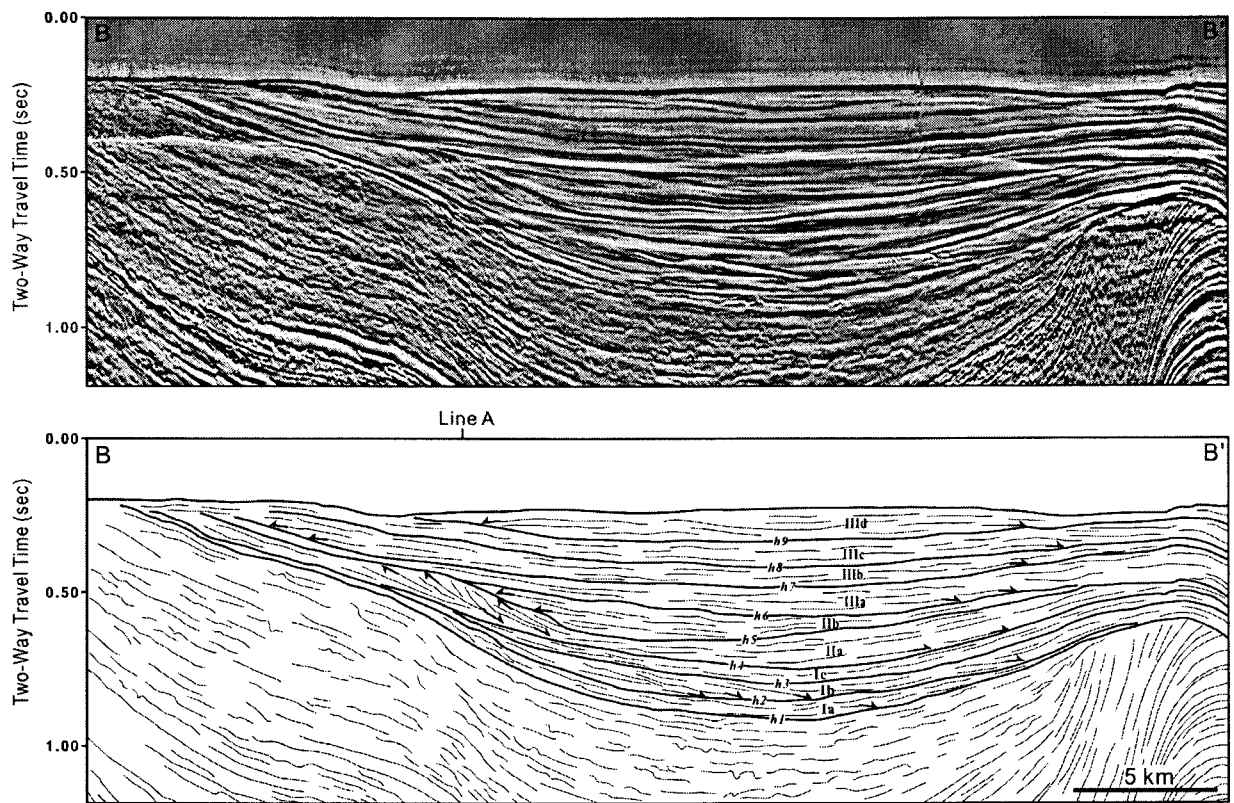


Fig. 3. Seismic section and interpretation of Line B-B'. For location, see Fig. 1.

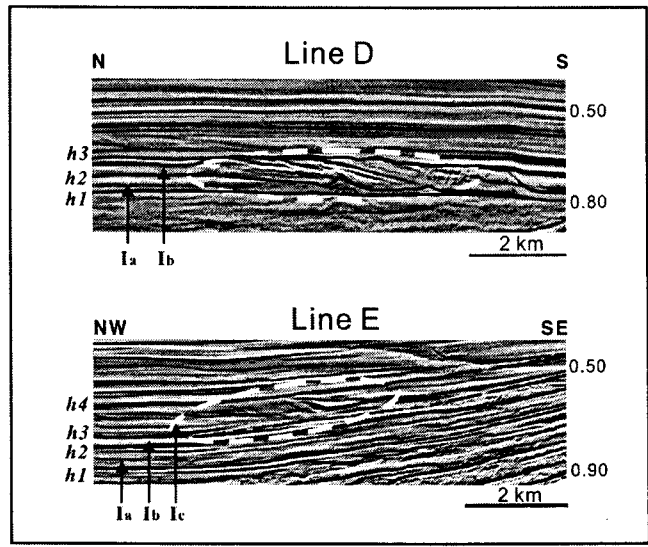


Fig. 4. Seismic profiles showing clinoforms.

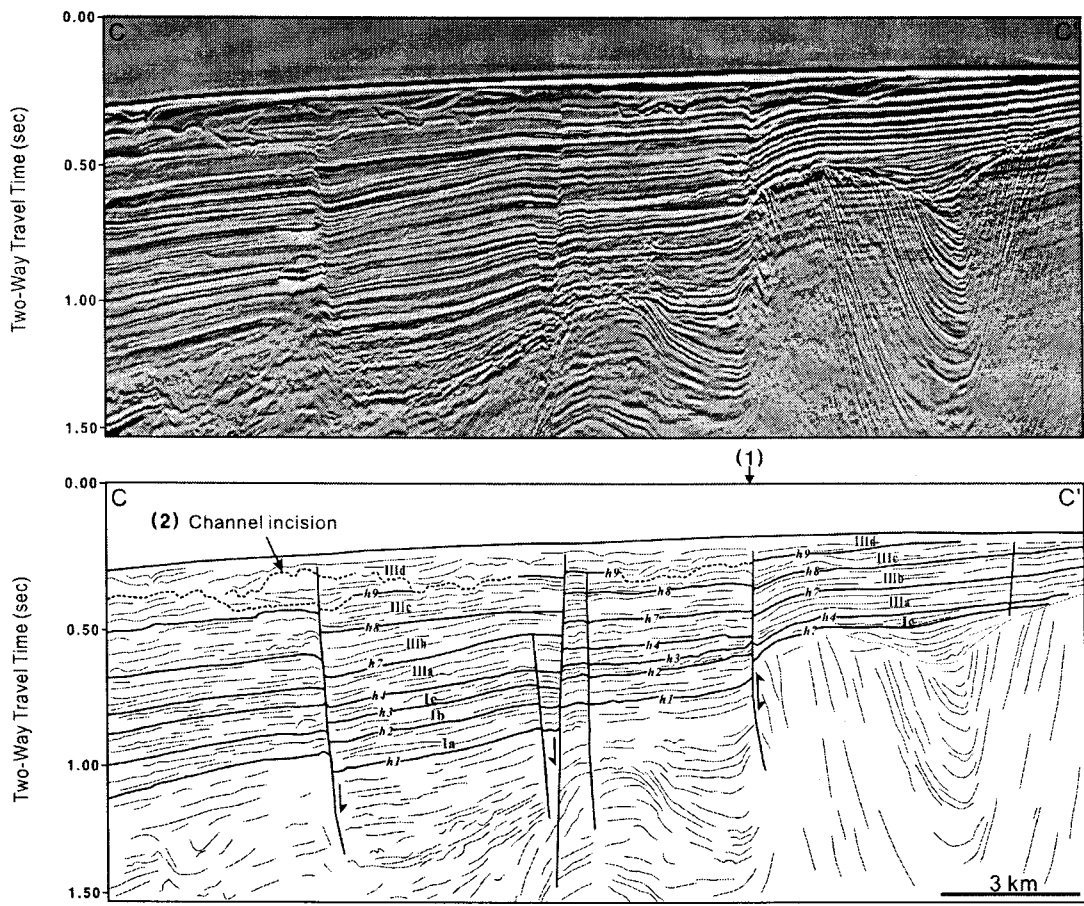


Fig. 5. Seismic section and interpretation of Line C-C'. For location, see Fig. 1.

## 2.2 퇴적층의 발달 과정

탄성과 단면상에서 관찰되는 퇴적층의 집적 형태와 각 퇴적 단위 간의 왕복 주시차를 통해 작성한 등시선도 (isochrone map)를 이용하여 연구 지역 퇴적층의 발달 과정을 제시하였다 (Fig. 6).

Stage 1 : 퇴적 단위  $I_b$ 와  $I_c$ 에서 관찰되는 전진 구축형 퇴적체의 발달 방향으로 보아 퇴적물은 북서쪽의 육상에서 남동방향으로 공급된 것으로 해석된다 (Fig. 4). 퇴적 중심지는 대륙붕단 근처에서 발달하고 있으며, 퇴적물은 남북 방향으로 연장되어 있는 울릉 트러프를 지나 대륙사면까지 이동한 것으로 해석된다. 퇴적 단위  $I_b$ 에서는 소규모의 퇴적 중심지가 연구 지역 남쪽에 발달하고 있다 (Fig. 7).

Stage 2 : 퇴적 단위  $I_c$ 가 퇴적된 후에 연구 지역 중앙의 융기부 (structural arch)가 융기함에 따라 대륙붕 내에는 낮은 기복을 갖는 소분지가 형성되었고 퇴적 단위  $II_a$ ,  $II_b$ 는 이 소분지를 충전하는 퇴적 양상을 보이고 있다. 퇴적 단위  $II_a$ 와  $II_b$ 의 퇴적 중심지는 연구 지역 서쪽에서만 제한적으로 나타난다 (Fig. 7).

Stage 3 : 퇴적 단위  $II_a$ 와  $II_b$ 가 융기부 서쪽에 퇴적이 되면서 소분지의 기복이 작아지게 되고 퇴적 단위  $III_a$ ,  $III_b$ ,  $III_c$ ,  $III_d$ 는 대륙붕 전체에 걸쳐 퇴적되었다. 이 시기에 대륙붕단에는 두꺼운 퇴적층이 형성되었다 (Fig. 7).

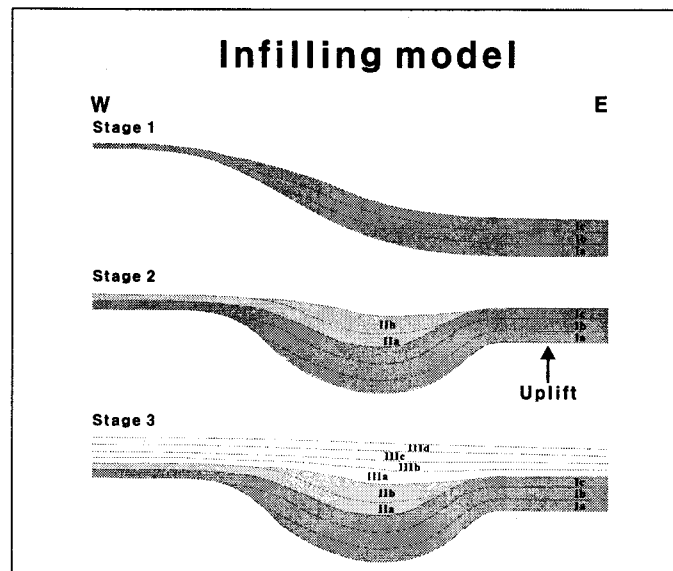
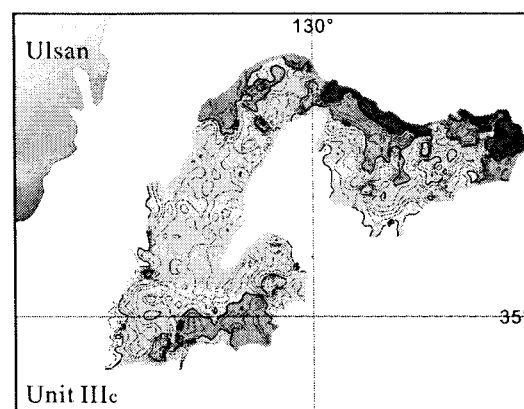
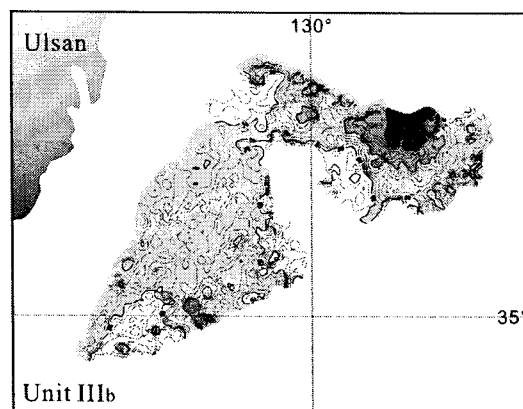
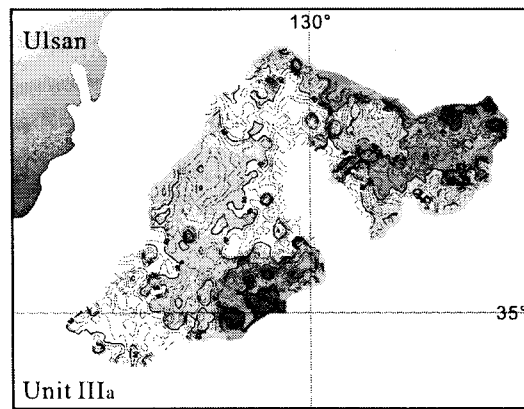
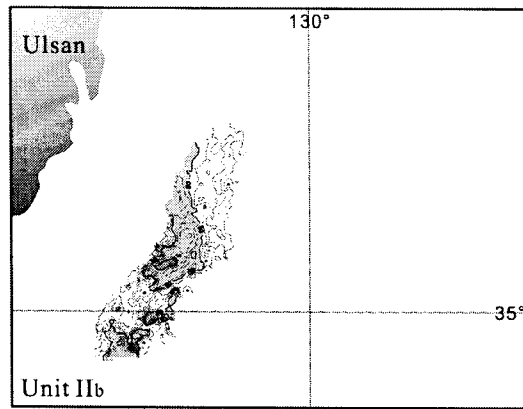
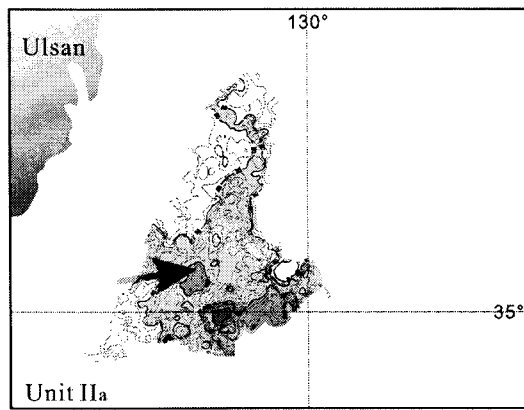
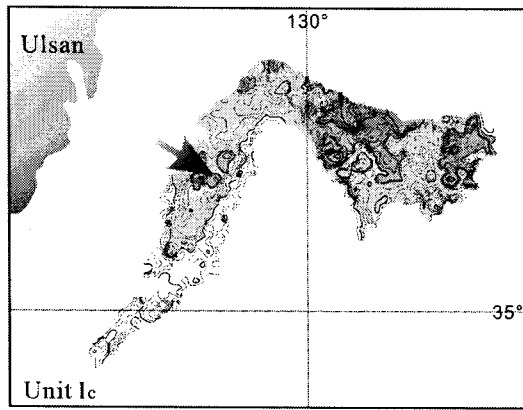
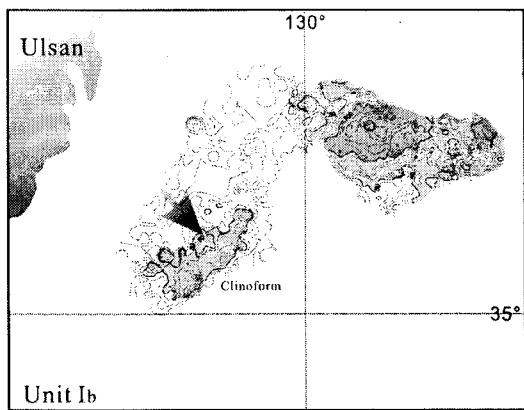
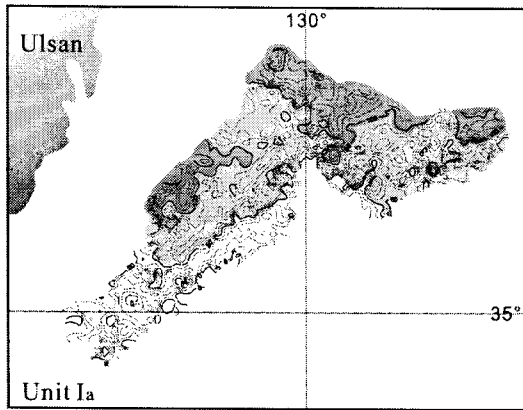


Fig. 6. Schematic illustration of infilling history of the continental shelf of southeastern part of Korean Peninsula.

## 3. 결론

심부 탄성과 자료를 이용한 한반도 동남부 플라이오세 이후 퇴적층의 층서 분석 결과 총 9 개의 퇴적 단위가 구분되었다. 이들 퇴적 단위는 퇴적 동시성 조구조 운동에 의해 퇴적 양



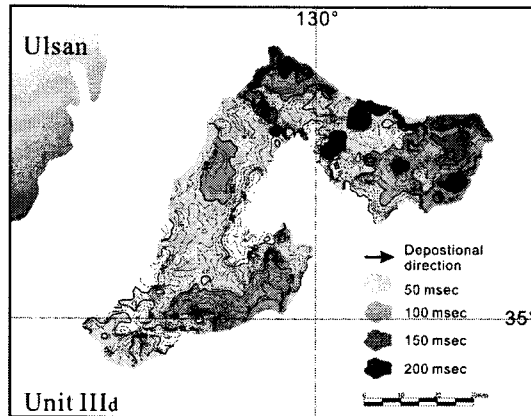


Fig. 7. Isochrone maps of each depositional unit.

상과 분포가 달라졌으며, 그에 따라 세 단계로 구분되었다: 1) stage 1에는 울릉 트러프를 따라 좁고 긴 퇴적체를 이루었으며 대륙붕단에 퇴적 중심지가 위치하였다. 2) stage 2에는 구조 만곡부 지역에 용기가 일어났고 이에 의해 형성된 소분지에 퇴적이 집중되었다. 3) stage 3에 이르러서는 분지 전체에 걸쳐 퇴적이 일어나며 대륙붕단에 두꺼운 퇴적체가 형성되었다.

퇴적 단위 I<sub>a</sub>, I<sub>b</sub>, II<sub>a</sub>에서 관찰되는 전진 구축형 퇴적체의 발달 방향과, 동서 방향의 단면에서 관찰되는 상향 걸침 패턴을 통해 파악한 결과 퇴적물은 서에서 동으로, 또는 북동으로 이동하였으며, 공급원은 서-북서쪽의 육상으로 해석된다.

#### 참고 문헌

- Lee, G.H., Kim, H.J., Han, S.J., Kim, D.C., 2001, Seismic stratigraphy of the Ulleung Basin in the East Sea (Japan Sea) back-arc basin. *Marine and Petroleum Geology* 18, p. 615-634
- Lee, G.H., Suk, B.C., 1998, Latest Neogene-Quaternary seismic stratigraphy of the Ulleung Basin, East Sea (Sea of Japan). *Mar. Geol.* 146, 205-224.
- 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 sea*, Korean Sedimentology Research Group, Special Publication 1, Hanrimwon Publishers, Seoul, p. 40-59.
- Park, S.J., 1998. *Stratal patterns in the southwestern margin of Ulleung Back-Arc Basin: a sequence stratigraphic analysis*. Ph.D. dissertation, Seoul National University, Seoul, Korea, 169 pp.
- Yoon, S.H., Chough, S.K., 1995. Regional strike-slip in the eastern continental margin of Korea and its tectonic implications for the evolution of Ulleung Basin, East Sea (Sea of Japan). *Geol. Soc. Am. Bull.* 107, 83-97.
- Yoon, S.H., Chough, S.K., Park, S.J., 2003, Sequence model and its application to a Miocene shelf-slope system in the tectonically active Ulleung Basin margin, East Sea (sea of Japan). *Marine and Petroleum Geology* 20, p. 1089-1103