J. Korean Fish. Soc. 29(4), 481~496, 1996 한수지, 29(4), 481~496, 1996

# 울릉분지의 고환경과 화산활동 특성에 관한 연구 : 퇴적환경

박맹언 · 이광훈* · 송용선
부경대학교 해양과학대학 응용지질학과
*군산대학교 자연과학대학 해양학과

# Paleoenvironments and Volcanism of the Ulleung Basin : Sedimentary Environment

**Maeng-Eon PARK, Gwang-Hoon LEE* and Yong-Sun SONG**
*Department of Applied Geology, Pukyong National University*
**Department of Oceanography, Kunsan National University*

**The East Sea is a typical back-arc basin consisting of basins, plateaus, ridges, and seamounts. The Ulleng Basin, located in the southwestern corner of the East Sea, contains thick Neogene sedimentary sequence. Analysis of over 2,500 km of single-channel seismic reflection data suggests that hemipelagic sedimentation prevailed over much of the basin during the late Miocene and pelagic sedimentation became more dominant during the Pliocene. During the Pleistocene terrigeneous sediments transported by turbidity currents and other gravity flows, together with continuous hemipelagic settling, resulted in well-stratified sedimentary layers. Influx of terrigenous sediments during the Pleistocene formed depocenters in the western and southern parts of the basins. In the Ulleung Interplain Gap, where the Ulleung Basin joins the deeper Japan Basin, sediment waves suggesting bottom current activities are seen**

**Key words** : East Sea, Back-arc Basin, Ulleung Basin, Acoustic Basement

## 서 론

동해는 아시아 대륙의 열개작용과 일본열도의 아시아대륙으로부터의 분리로 생성된 배호상분지로서 일본열도와 그 주변의 얕은 암상(sill)에 의하여 태평양과 분리되어 있다(Figure 1). 동해에는 일본분지, 야마토분지, 울릉분지등 세 개의 소분지로 이루어져 있는데 이 중 동해의 남서쪽에 위치한 울릉분지가 가장 작은 소분지이다.

울릉분지(Figure 1과 2)는 서쪽으로는 한반도의 완만한 대륙사면과 북쪽으로는 대한대지(Korea Plateau)와 맞닿아 있다. 대한대지는 동해생성의 대륙열개 당시 떨어져 나온 대륙지각의 잔재이다(Tamaki, 1988). 분지 남쪽은 한반도와 일본열도 사이에 놓여 있는 얕은 암상인 대한해협과 동쪽은 일본 오키뱅크(Oki Bank)의 완만한 사면과 맞닿아 있다. 울릉분지의 해저면은 매우 평탄하고 북쪽으로 완만하게 경사를 이루고 있으며(Ludwig et al., 1975) 북동쪽으로 Ulleung Interplain Gap(UIG)을 통하여 깊은 일본분지와 연결되어 있다(Chough, 1983).

일본분지와 야마토분지의 구조 및 지질에 대한 연구는 이미 활발히 진행된 상태인데 특히 Deep Sea Drilling Project(DSDP)와 Ocean Drilling Project (ODP)는 이 분지들의 지구조와 지질학적인 진화를 밝히는데 큰 기여를 하였다(Figure 1). 반면에 울릉분지는 Ludwig et al. (1975)과 Honza(1978)의 연구가 분지의 구조와 퇴적상의 대체적인 윤곽을 제공하기는 하였지만 기존의 자료가 한정되어 있고, 특히

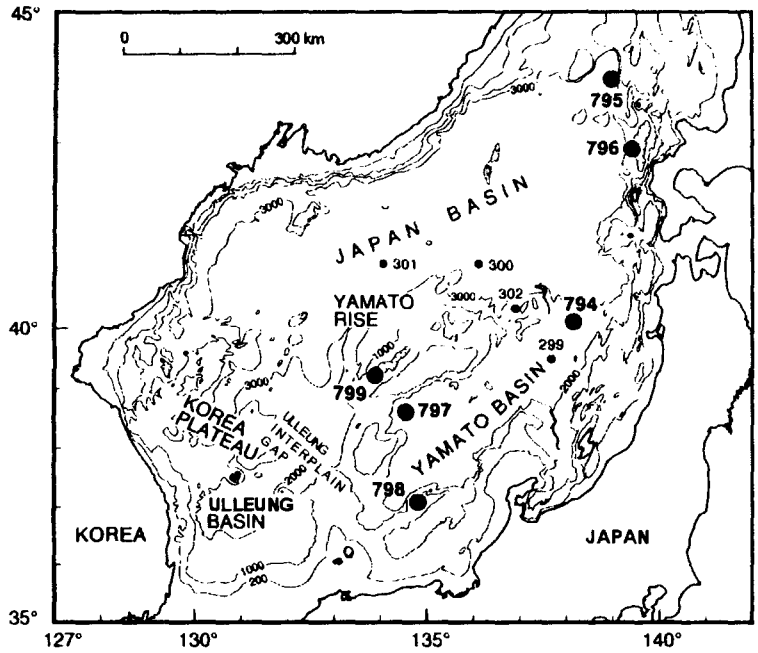


**Fig. 1. Physiography of the East Sea. Deep Sea Drilling Project drilling sites(299~302) and Ocean Drilling Project drilling sites(794~799) are shown. Contour interval in meters.**

분지 중앙부는 빈약한 자료 때문에 연구가 매우 미흡한 실정이다.

1972년에 한국지질조사소와 독일지질조사소가 공동으로 울릉분지의 서쪽 주변부에서 탄성파탐사 자료를 획득하였다. Schulter와 Chun (1974)은 한반도 동부 천해지역의 석유와 가스부존 가능성을 조사하기 위해 이 탄성파탐사 자료를 이용하였으며 Yoon과 Chough (1992)와 Yoon과 Chough (1993)는 이 자료와 추가로 얻어진 탄성파 자료를 해석하여 이 지역에서 단층으로 인한 대륙사면 분지들을 확인하고 이들 분지들에 쌓인 후 제 3기와 그 이후의 퇴적층을 연구하였다. Yoon (1994)은 울릉분지 서쪽 주변부가 후 제 3기동안 여러 차례에 걸친 광역적 변형을 받았다고 발표하였다.

울릉분지의 남쪽 주변부인 포항 앞바다는 석유나 가스의 부존 가능성이 높아서 많은 2-D와 3-D 탄성파 탐사와 몇 차례의 시추가 이루어졌다. 이 지역의 퇴적층은 대체로 광역적인 구조 활동에 영향을 받았으며 주로 반심해에서 연안성에 이르는 퇴적물로 이루어져 있다 (Chough and Barg, 1987). 초기에서 후기 마이오세 동안에는 기반 (basement)이 서서히 침강하면서 동시에 퇴적물의 유입이 증가하여 대륙붕단이 형성되었고, 후기 마이오세 이후에는 기반의 침강이 가속화되어 대륙붕단이 형성되었다 (Yoon, 1994).

울릉분지의 한반도쪽 주변부는 비교적 연구가 많이 이루어졌으나 중앙부인 심해 지역은 최근 들어서야 연구의 대상으로 주목을 받기 시작했다. Lee (1992)는 석유탐사용 다중채널 탄성파 자료를 이용하여 울릉분지 음향기반의 탄성파 특징을 연구하고 마이오세와 그 이후의 퇴적물들을 네개의 탄성파층으로 나누었다. 울릉분지의 음향기반 (acoustic basement)은 연속성이 좋고 진폭이 큰 탄성파 반사 특징을 보여 야마토분지와 유사하게 화산성 용암과 화산성 암상 (volcanic sills)으로 이루어진 것으로 생각된다. 음향기반 위에 놓여있는 하부 탄성파층은 연속성이 나쁘고 진폭이 작거나 진폭의 변화가 있는 탄성파반사 특징을 나타내는 것으로 보아 화산암과 퇴적물들이 섞여 있는 것으로 해석된다. 중간의 탄성파층들은 해양성 세일로 구성되어 있고 상부의 탄성파층은 반원양성과 대륙성 퇴적물로 구성되어 있는 것으로 생각된다.

1992과 1993년에 한국해양연구소와 러시아과학원의 학자들로 구성된 한 · 러 조사단이 울릉분지에서

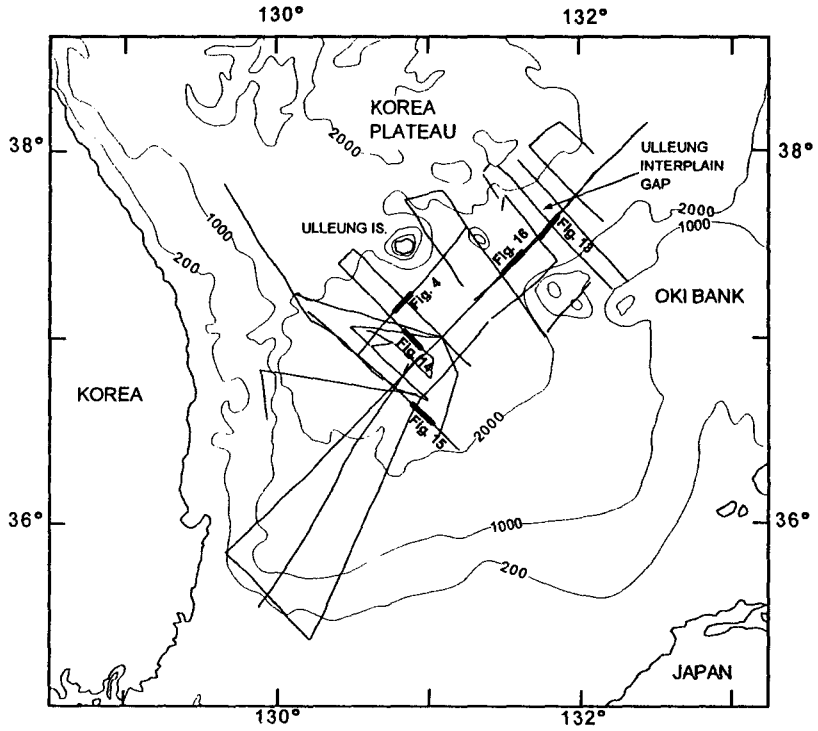


**Fig. 2. Physiography of the Ulleung Basin and distribution of seismic data used in this study. Locations for seismic profiles are indicated by heavy lines and respective figure numbers. Contour interval in meters.**

탄성파굴절, 단일채널 탄성파반사, 중력, 코어링 등의 지질 및 지구물리학적 조사를 실행하였다. Anosov et al. (1993)은 이 조사에서 얻은 탄성파반사 자료로부터 울릉분지의 기반에 한반도의 주구조들과 평행한 buried ridge들이 있음을 발견하였다. 해양저 지진계(OBS)로 얻은 탄성파굴절 자료는 울릉분지가 야마토 분지와 비슷하게 아주 두꺼운 해양성 하부지각으로 이루어져 있다는 것을 보여 준다 (Kim et al., 1994).

이러한 연구들이 울릉분지의 전반적인 구조와 퇴적양상을 밝히는데 도움이 되었지만 아직까지도 분지내의 퇴적작용과 퇴적물분포를 규명하는 자세한 층서학적 연구는 충분하게 진행되어 있지 않은 실정이다. 본 연구에서는 자세한 층서학적 해석에 유용한 단일채널 탄성파반사 자료를 이용하여 울릉분지의 과거 퇴적작용과 퇴적환경을 규명하고 이 지역뿐만 아니라 유사한 기원의 다른 배호상분지들의 이해에 기초가 될 수 있는 퇴적학적 발달 모델을 제시하고자 하였다. 울릉분지의 고해양학적 이해는 주변의 일본분지, 야마토 분지를 포함하는 동해 전체의 지질학적 발달을 이해하는데 필수적인 것이다.

## 연구자료 및 방법

본 연구는 한국해양연구소가 제공한 한.러 조사단의 단일채널 탄성파 자료 (Figure 2)를 이용하였다. 이 자료는 울릉분지의 심해지역을 중심으로 걸쳐있는 약 2,500 km의 스파커 프로파일 (sparker profile)로 구성되어 있다. 첫 단계로 이 자료를 이용하여 새로운 수심도를 작성하여 분지의 전반적인 지형 및 형태를 알아 보았다. 해저지형은 퇴적작용과 구조 활동의 영향을 받기 때문에 중요한 정보를 제공한다.

다음 단계로 Mitchum et al. (1977), Brown과 Fisher (1980)등에 의하여 정립된 방법대로 탄성파자료를 해석하였다. 층서경계면은 부정합면이나 부정합면과 관련된 정합면들로서 결정하고 층서경계면의 지질

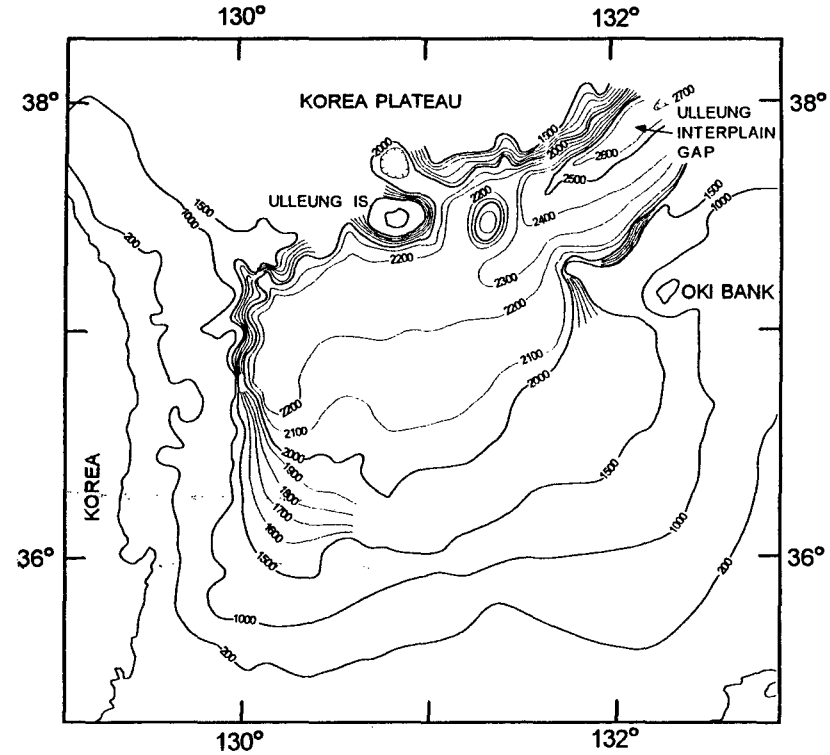


Fig. 3. Detailed bathymetry of the Ulleung Basin. Contour interval in meters.

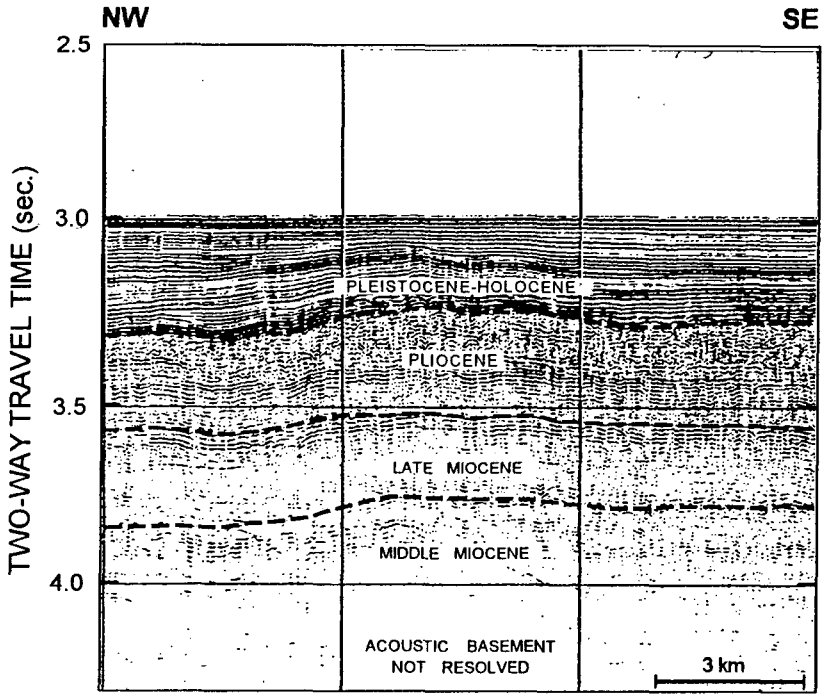


Fig. 4. Seismic section showing seismic sequences and their boundaries. See Figure 2 for location.

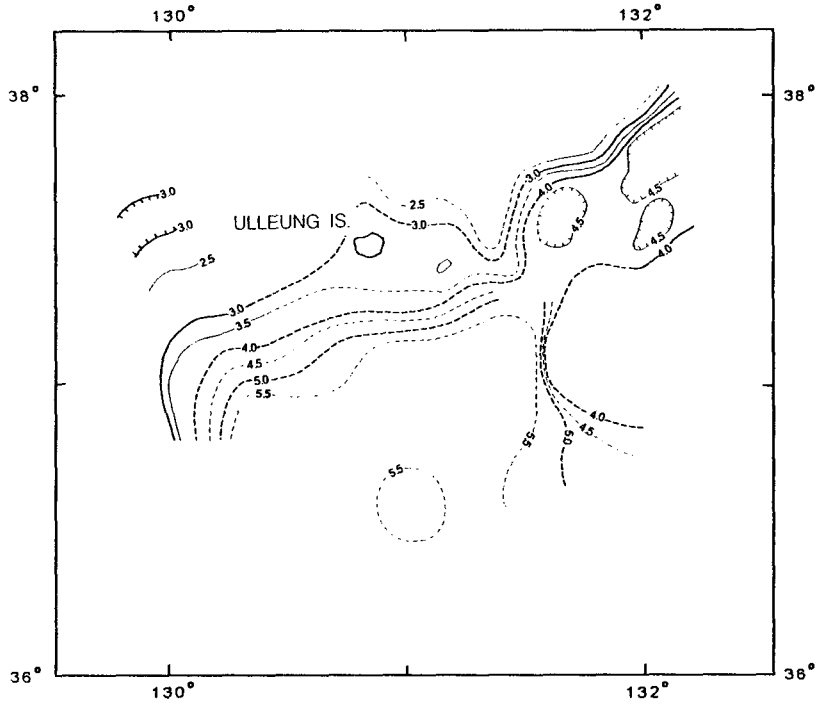


**Fig. 5. Time structure of the acoustic basement. The southern part of the map was adapted from Lee (1992). Contour interval in seconds.**

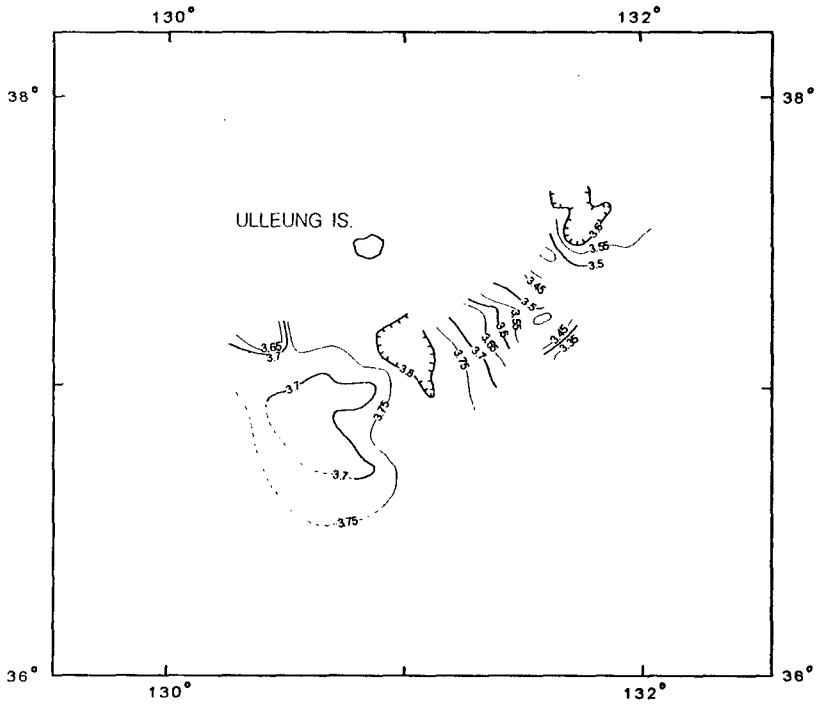


**Fig. 6. Time structure of the top of middle Miocene. Contour interval in seconds.**

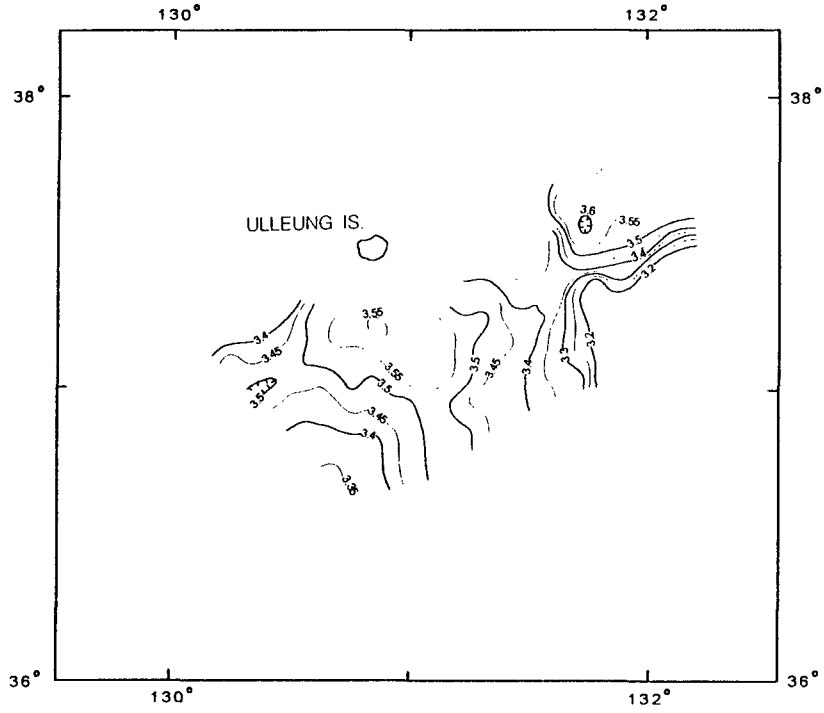


Fig. 7. Time structure of the top of late Miocene. Contour interval in seconds.

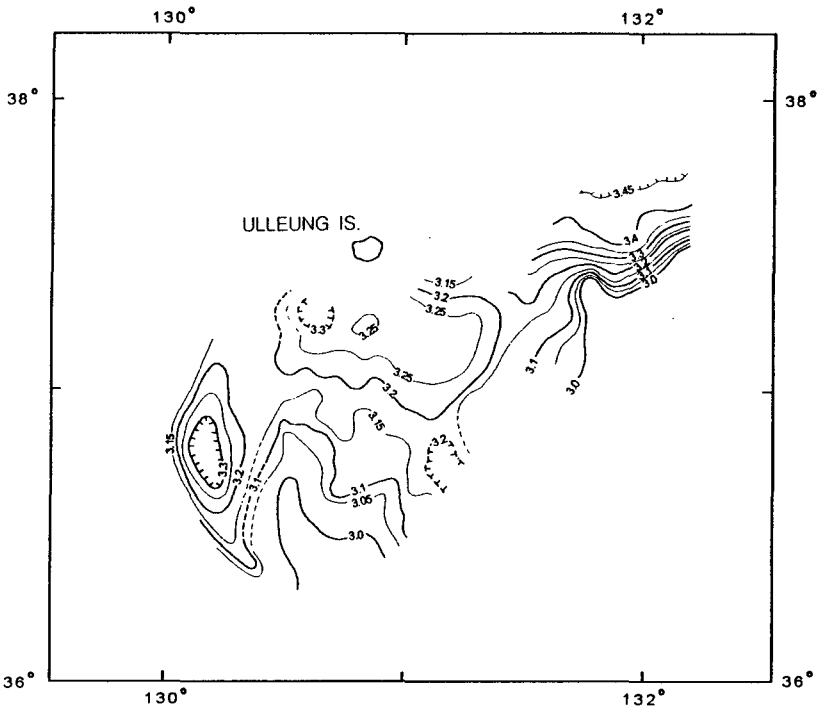


Fig. 8. Time structure of the top of Pliocene. Contour interval in seconds.

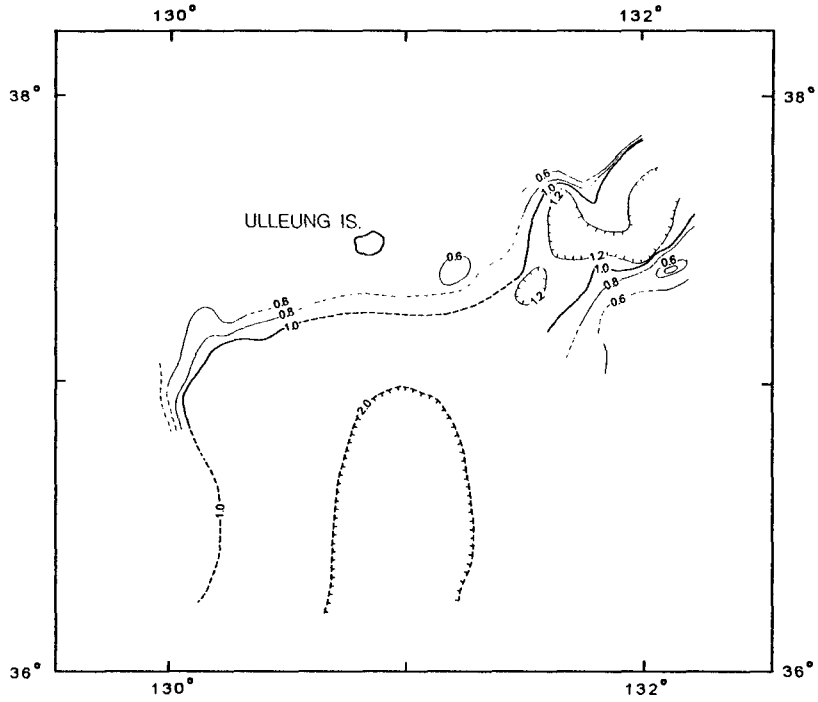


**Fig. 9. Time thickness of total sediment above acoustic basement. Contour interval in seconds.**

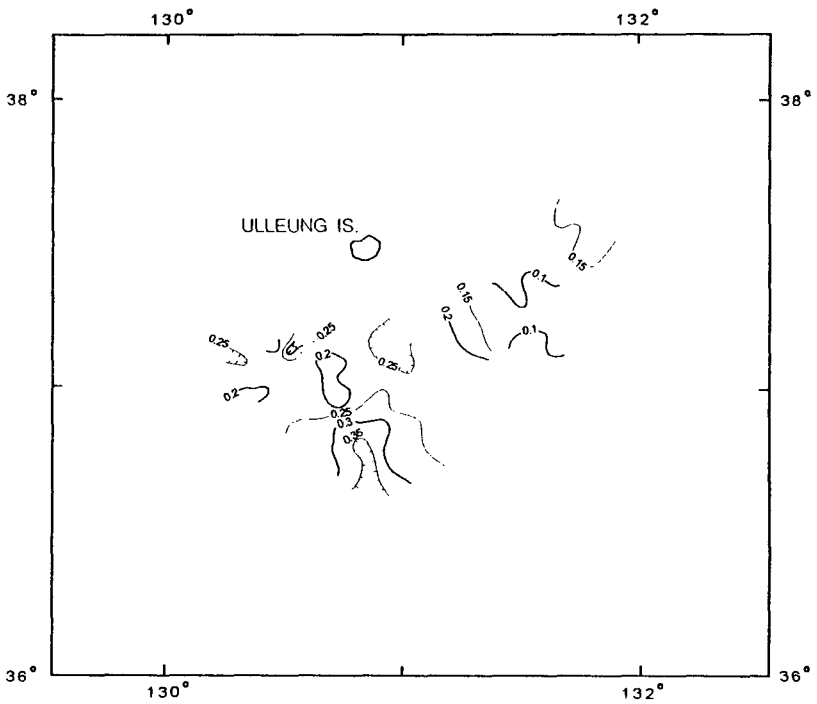


**Fig. 10. Time thickness of Layer 2(late Miocene). Contour interval in seconds.**

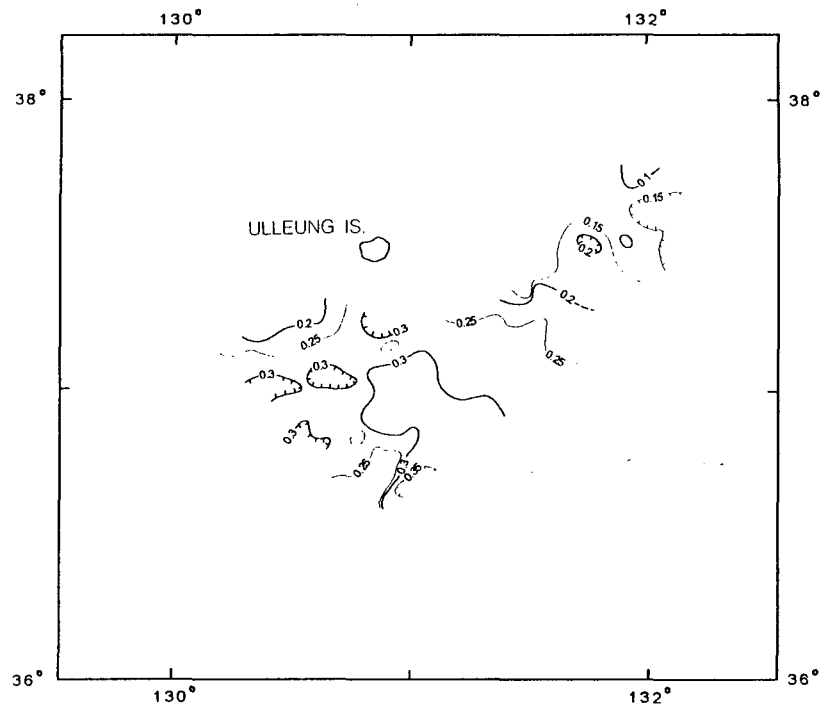


**Fig. 11. Time thickness of Layer 3(Pliocene). Contour interval in seconds.**

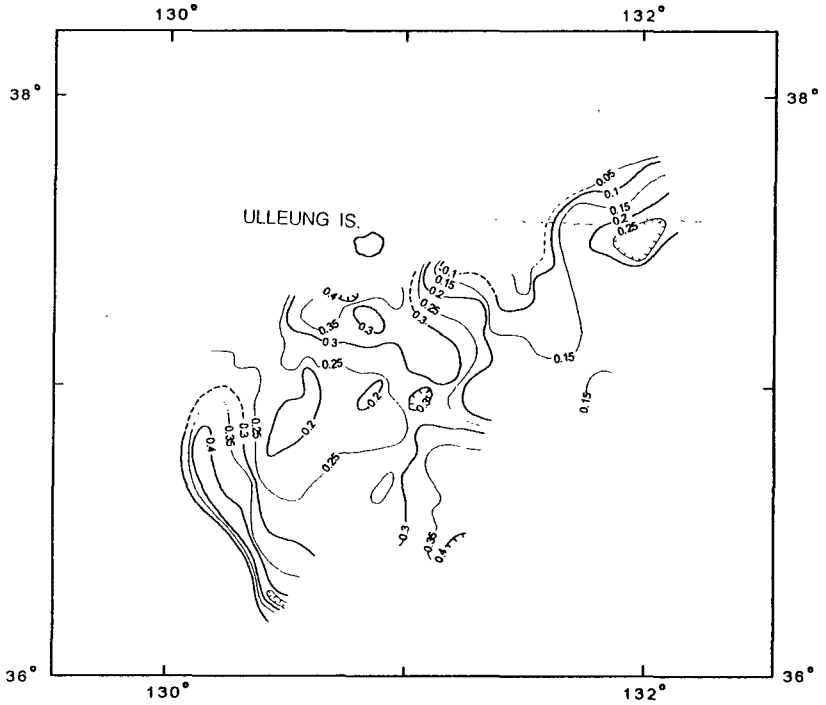


**Fig. 12. Time thickness of Layer 4(Pleistocene-Holocene). Contour interval in seconds.**

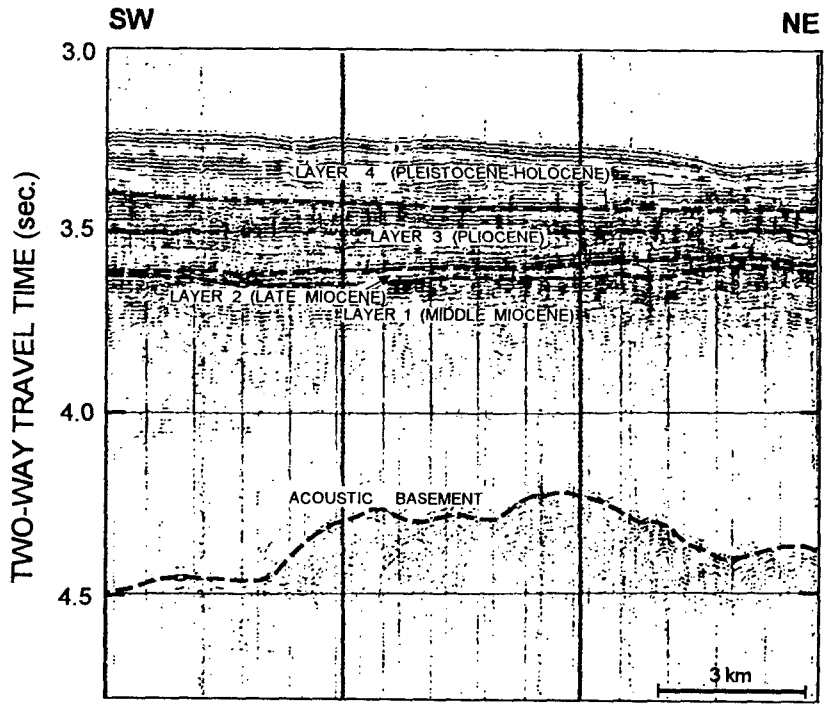


Fig. 13. Seismic section showing seismic character of acoustic basement. See Figure 2 for location.

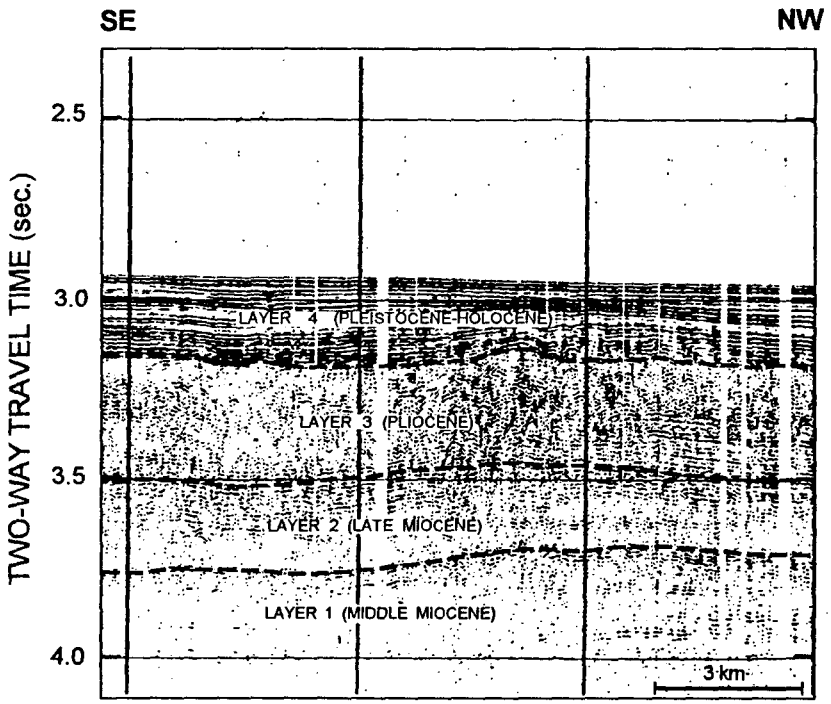


Fig. 14. Seismic section showing seismic character of Layers 1~4. See Figure 2 for location.

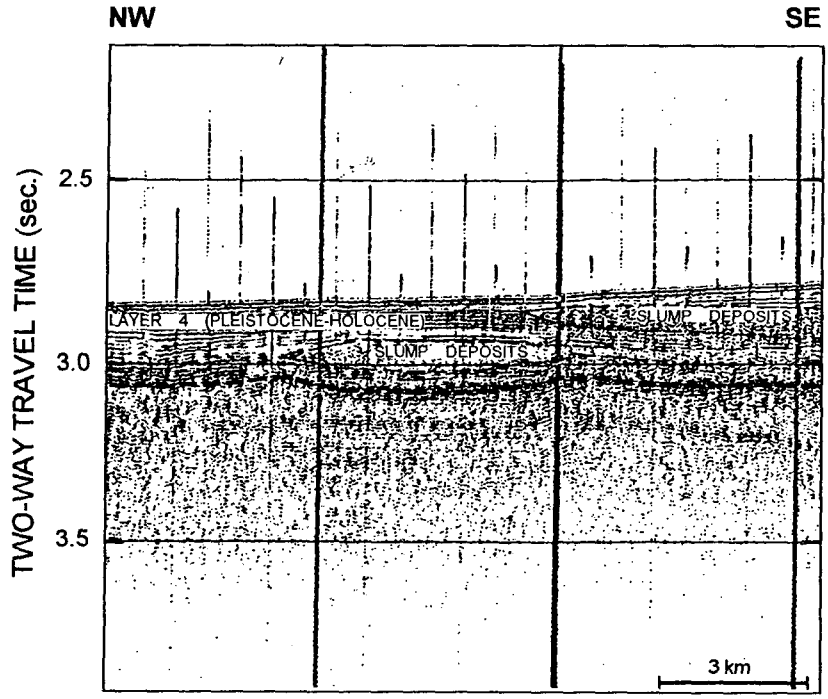


Fig. 15. Seismic section showing slump deposits in Layer 4. See Figure 2 for location.

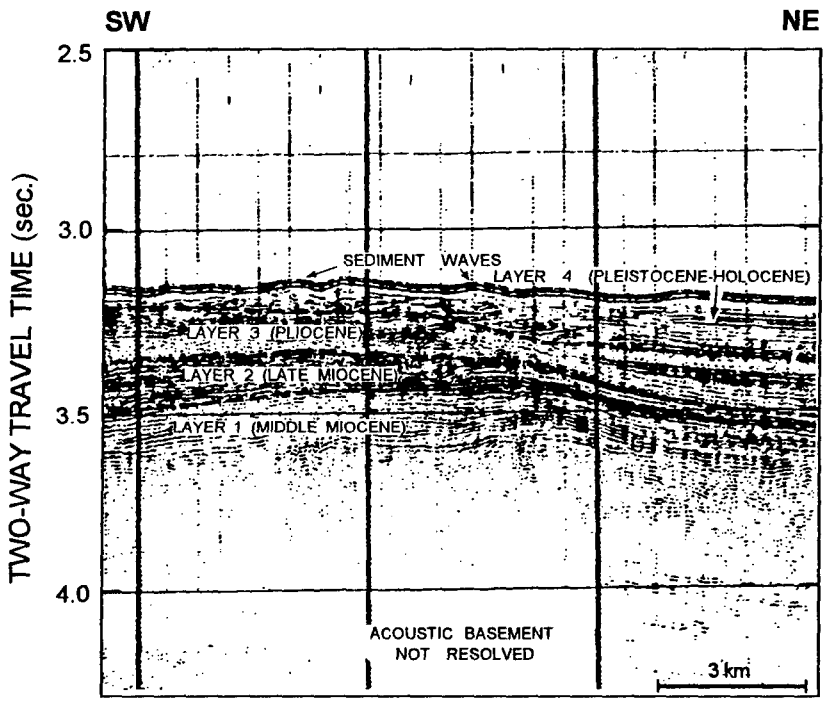


Fig. 16. Seismic section showing sediment waves in Layer 4, associated with bottom currents in the Ulleung Interplain Gap. See Figure 2 for location.

학적 연대는 분지 주변부의 시추공으로부터 얻은 생층서학 자료 (Lee, 1994)를 이용하여 유추하였다. 이 단계에서 각 층서경계면의 구조도와 각 층의 두께를 나타내는 도면등이 작성되었으며, 이들을 이용하여 분지내의 구조 및 구조발달 과정과 퇴적심 (depocenter)의 위치와 이의 시간-공간적 변화를 이해하였다.

층서면 해석이 끝난 후 Sangree와 Widmier (1977)이 설명한 방법대로 각 층의 seismic facies를 해석하였다. 지진파상의 수평, 수직적인 변화 관계는 국지적인 퇴적작용과 퇴적환경을 유추하는데 도움이 된다. 본 연구에서 이용된 자료는 심부에서는 해상력이 낮아서 정확한 지진파상의 해석이 불가능했다. 해상력이 높은 천부에서는 지진파상이 단순했다. 마지막 단계로 울릉분지의 전반적인 퇴적학적 발달을 재구성해 보았다.

## 수 심 도

탄성파 자료를 이용하여 등심선 간격 100 m의 새로운 수심도 (Figure 3)를 작성하였다. 연구 지역에서의 수심은 1,500 m부터 2,700 m까지 분포한다. 분지 서쪽은 분지바닥과 급격하게 이어지는 한반도의 가파른 대륙사면과 맞닿아 있고, 남쪽은 수심이 1,500 m에서 2,200 m까지 아주 완만하게 변하며 분지바닥과 점진적으로 이어진다. 분지 남동쪽과 동쪽 주변부는 Oki Bank의 급한 사면으로 이루어졌으며 북쪽 주변부는 대한대지와 울릉도의 비교적 급한 사면과 만나고 있다. 울릉도와 독도사이에는 울릉해저산 (Ulleung Seamount) (Chough, 1983)이 분지바닥으로부터 약 1,000 m정도 상승해 있다.

울릉분지와 일본분지를 연결하는 UIG에 대해서는 본 연구에서 작성된 수심도가 기존의 어떠한 수심도보다 자세한 지형을 보여준다. UIG의 북쪽 사면은 대한대지의 비교적 급한 사면과 맞닿아 있고 남쪽 사면은 완만한 편인데 전체적으로 등심선이 남서방향으로 돌출된 형태를 보인다.

## 구 조 도

분지 남쪽 주변부에서 시추된 돌고래공 I의 생층서 자료 (Lee, 1994)와 시간-심도관계 (Exploitech Inc., 1989)를 토대로 Yoon (1994)의 자료와 본 연구의 자료를 대비하여 세 개의 탄성파층 경계면 (top of middle Miocene, top of Miocene, top of Pliocene; Figure 4)이 확인되었다. 음향기반 (Figure 4)은 자료에서 해석이 가능한 최고 깊이의 탄성파 반사층이다. 음향기반과 각 탄성파 경계면의 고구조를 알아보기 위하여 이들의 왕복 주시 (two-way travel time) 구조도 (Figure 5~8)를 작성하였다.

음향기반의 구조도 (Figure 5)는 Lee (1992)의 구조도와 유사하나 UIG지역에서 보다 자세한 음향기반의 구조를 보여준다. Figure 6의 남단부는 Lee (1992)의 구조도를 참조한 것이다. 음향기반의 최고 깊이는 분지 중앙부에서 5.5초를 넘지만 UIG에서는 4.5초를 조금 넘는다. 전체적인 깊이는 야마토분지의 음향기반 깊이 (Tamaki, 1988)와 비슷하지만 7.0초가 넘는 일본분지의 음향기반 (Tamaki, 1988)보다는 훨씬 얕다. 중기 마이오세 상부면의 깊이 (Figure 6)는 3.35~3.8초의 범위이며 분지 중앙부에서 3.7초이고 UIG에서는 3.6초로 큰 차이는 보이지 않는다. 울릉도 남쪽에는 3.8초 등심선이 분지의 윤곽을 보여준다. 마이오세 상층부의 깊이 (Figure 7)는 중기 마이오세의 상층부와 마찬가지로 분지 중앙부와 UIG가 큰 차이를 보이지 않지만 중기 마이오세의 상층부와 반대의 양상을 보여서 UIG가 약간 더 깊다. 울릉도 남쪽의 분지는 더욱 잘 발달한 반면 중기 마이오세 상층부 구조도에서 보이던 분지는 뚜렷하게 나타나지 않는다. UIG에도 좀 더 잘 발달된 분지가 있다. 플라이오세 상층부의 깊이 (Figure 8)는 울릉분지에서 두 개의 분지가 뚜렷이 나타나는 반면 UIG에는 마이오세 상층부에서 나타났던 분지가 존재하지 않고 오키뱅크로부터 깊이가 증가하는 단순한 사면을 이루고 있다. 새로이 확인된 한반도 동부의 분지는 플라이오세 이전에도 존재했던 것으로 생각되나 이 지역에서 자료의 해상력이 3.5초 이상의 깊이에서 급격히 불량해져 도화가 불가능하였다.

## 시간층후도

울릉분지 퇴적물의 총시간 층후도(Figure 9)와 음향기반부터 중기 마이오세 상층부까지의 층을 제외한 세 개의 탄성파층 시간층후도(후기 마이오세, 플라이오세, 최신세와 홀로세; Figure 10~12)가 완성되었다. 편의상 음향기반부터 중기 마이오세 최상부, 후기 마이오세, 최신세와 홀로세 층을 각각 Layer 1, Layer 2, Layer 3, Layer 4로 부르기로 하였다.

울릉분지 퇴적물의 총두께(Figure 9)는 2.0초 이상으로써 Tamaki(1988)가 발표한 일본분지의 퇴적물 총두께의 최고값과 비슷하다. UIG에는 최고 두께 1.2초 이상으로 울릉분지보다 퇴적율이 매우 낮다. 따라서 분지 중앙부와 UIG에서 탄성파의 속도가 같다고 가정하면 분지 중앙부에서의 퇴적속도가 UIG에서의 약 1.7배이다. Layer 2의 두께(Figure 10)는 분지 남쪽에 잘 발달된 퇴적심과 울릉분지 남쪽에서 이 퇴적심과 분리되어 있는 작은 퇴적심도 보여준다. Layer 3의 두께(Figure 11)는 분지 남동부에서 분지 중앙에 이르는 퇴적심의 발달을 보여 주고 또한 분지 서쪽 중앙부에서 소규모의 퇴적심들을 보인다. UIG에서는 뚜렷한 퇴적심이 나타나지 않는다. Layer 4의 층후도(Figure 12)에서는 Layer 3 층후도에서 나타난 분지 남동부의 퇴적심이 약간 축소되어 있고 울릉도 남쪽에 새로 형성된 퇴적심과도 연결되어 있는 것으로 나타난다. 또한 분지 서부 한반도 동부에는 남북 또는 남남동 방향으로 퇴적심이 길게 발달되어 있다.

## 탄성파특성

음향기반은 분지의 일부 지역, 특히 분지 주변부에서만 확인되었는데 연속성이 없고, 진폭이 낮거나 중간 정도의 반사층으로 구성되어 있고 오목하거나 볼록한 외형을 보이고 있다(Figure 13). 단층도 확인할 수 있었으나 두 개 이상의 탄성파 측선에 나타날 정도로는 길지 않아 도화가 불가능 하였다. Layer 1은 상부에서는 연속성이 없고 진폭의 변화가 심하거나 낮은 반사층이 나타나고 하부에서는 반사층의 형성이 없다(Figure 14). 이와 같이 하부로 가면서 반사층이 뚜렷하지 않은 것은 스파커의 투과력이 약하기 때문일 것이다. Layer 2는 Layer 1과 매우 유사하나 전반적으로 연속성과 진폭이 조금 더 높다(Figure 14). 특히 Layer 2의 상부는 주파수가 낮은 반사층으로 구성되어 있다. Layer 3는 전체적으로 반사층의 형성은 빈약하나 하부로 가면서 국지적으로 연속성이 낮고, 낮은 진폭크기를 갖는 반사층들로 구성되어 있다(Figure 14). 분지의 북서쪽에는 비교적 연속성과 진폭이 높은 반사층들이 Layer 3의 최상부를 구성하는데, 이 지역과 반사층의 형성이 빈약한 지역과의 경계는 상당히 뚜렷하다. UIG에서는 Layers 1, 2, 3 모두 전반적으로 두께가 감소하고 연속성이 좋고 중간 정도의 진폭을 보이는 반사층들로 되어 있다. Layer 4는 전반적으로 연속성이 매우 높고 거의 평행하며 진폭이 큰 반사면으로 구성되어 있다(Figure 14). 분지 남부 일부와 오키뱅크와 기타-오키뱅크의 급한 사면으로 이루어진 UIG지역 남동부에서 붕락이나 슬라이딩에 의한 퇴적물들이 Layer 4를 구성한다(Figure 15). UIG 지역에는 이러한 퇴적물 바로 북쪽으로 저층류의 영향으로 보이는 파랑구조가 UIG의 방향으로 좁고 길게 분포한다(Figure 16).

## 퇴적분지 특성

울릉분지의 과거 퇴적환경을 유추하기 위해서는 암상이 밝혀진 일본분지와 야마토분지 퇴적물의 음향특성과 울릉분지 퇴적물의 음향특성을 비교하는 것이 가장 좋은 방법 중의 하나일 것이다. Figure 17은 ODP 보고서(Shipboard Scientific Party, 1990a, 1990b)와 Tamaki et al.(1992)를 참조한 일본분지(ODP site 795)와 야마토분지(ODP site 797)의 주상도와 본 연구로부터 확인된 울릉분지 탄성파층의 탄성파 특성을 보여 준다.

1970년대에 일본분지에서 있었던 DSDP의 시추는 기반암까지 도달하지 못하여 기반암의 성분을 밝히지 못하였으나 1980년대 후반 ODP 시추로 일본분지와 야마토분지에서 현무암질 용암과 암상으로 구성된 상부 기반암을 확인하였다(Shipboard Scientific Party, 1990a, 1990b). 그러나 울릉분지에서는 아직까지 어떠한 시추도 없었기 때문에 음향기반은 물론 퇴적물의 암상도 정확히 밝혀지지 않았다. 최근의 탄성파 굴절연구(Kim et al., 1994)에 의하면 울릉분지의 기반은 속도와 지각내 층리가 야마토분지보다 해양지각에

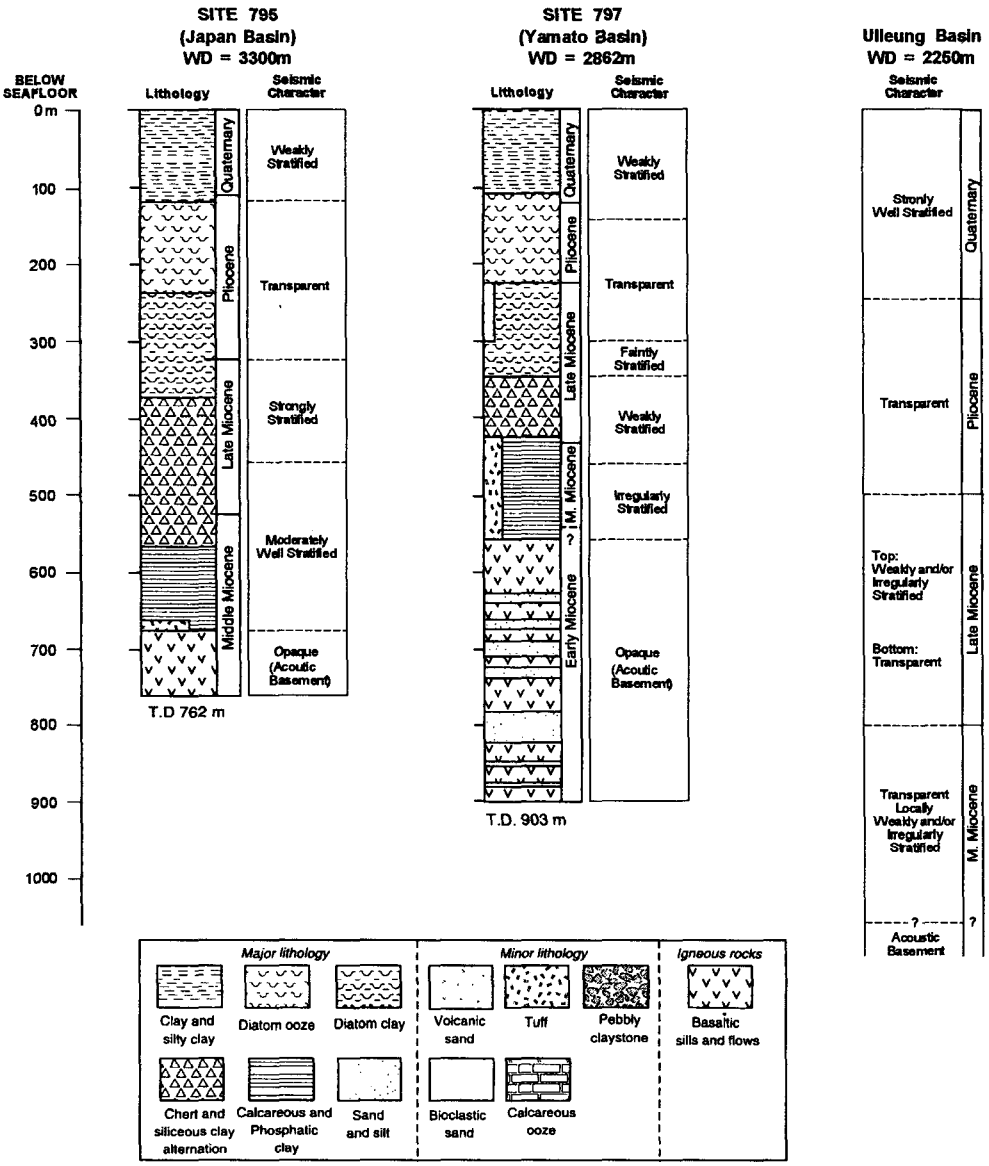


**Fig. 17. Columnar sections of Ocean Drilling Project sites 795 and 797(Tamaki et al., 1992) and seismic character of these sites(Shipboard Scientific Party, 1990a, 1990b) and the Ulleung Basin.**

더 가깝다. 본 연구에서 확인된 울릉분지 기반암 상부는 반사층이 불연속이며 진폭이 비교적 낮고 외부형태가 오목하거나 볼록한 탄성파 특징을 보여서 일본분지, 야마토분지의 음향기반 상부와 매우 유사하다. 따라서 울릉분지의 기반암 상부도 화산 용암과 암상(sill)으로 구성되어 있을 것으로 추정된다. Lee (1992)도 울릉분지의 다중 채널 탄성파 자료로부터 비슷한 탄성파 특징을 확인하고 음향기반 상부가 동일한 암상으로 구성되었을 것이라고 추정하였다.

울릉분지의 음향 깊이(Figure 4)는 5.5초를 조금 넘어 일본분지의 음향기반 최고 깊이인 7.0초(Tamaki, 1988)보다 거의 1.5초 이상 얕으며 UIG지역의

음향기반은 4.5초로 울릉분지의 음향기반보다 더 얕다. 따라서 UIG의 기반이 울릉분지와 일본분지를 분할하는 구조적 안장(saddle)을 이루고 있는데 아마도 이 구조가 울릉분지의 생성 당시부터 울릉분지를 깊은 일본분지로부터 분리하고 있었거나, 또는 울릉분지에 더 많은 퇴적물이 쌓여 기반이 많이 침강한 반면 UIG에서는 퇴적속도가 크지 않아서 침강이 적어 결과적으로 구조적 안장이 형성된 것으로 생각된다.

음향기반과 중기 마이오세 최상부 사이의 Layer 1은 국지적으로 반사층들이 보이지만 전반적으로 투명한 특징을 보인다. 일본분지와 야마토분지에서 Layer 1과 대비되는 층은 약간 또는 불규칙한 층상의 특징을 갖는다(Shipboard Scientific Party, 1990a, 1990b). 이러한 결과는 화산활동이 활발하였고 기반 침강이 일어난 중기 마이오세동안에 중간 정도의 깊이 환경에서 쌓인 이암, 밀도류에 의한 응회암 등의 퇴적물로 구성되어 있다. 울릉분지 Layer 1의 탄성파 특징과 일본분지나 야마토분지 대비층의 탄성파 특징이 유사하지 않은 것은 울릉분지에서는 사용된 탄성파 음원이 약했기 때문인 것으로 생각된다.

분지 중앙부와 UIG에서 음향기반의 깊이는 1.0초 이상의 차이를 보이는데 반하여, Layer 1의 top (Figure 5)은 거의 깊이에 있어 차이를 보이지 않아 분지 생성시부터 중기 마이오세동안까지 분지 중앙부에서의 퇴적속도가 UIG에 비하여 상당히 높았음을 알 수 있다. 울릉도와 Oki Bank 사이에서는 Layer 1의 top이 3.5초 정도로 낮아서 (Figure 5) UIG지역과 울릉분지를 분할하는 구조가 있었던 것으로 생각된다.

Layer 2는 국지적으로 불규칙 또는 미약한 반사면을 형성하거나 투명한 탄성파 특징을 보인다. Layer 2와 대비되는 야마토분지의 층은 약하거나 희미하게 층리를 나타내는 탄성파 특징을 보이고 일본분지의 대비층은 중간 또는 강한 층리를 갖는 특징을 보여 모두 Layer 1과 유사하다. 일본분지와 야마토분지의 대비층들은 주로 claystone으로 구성되어 있는데 화산활동이 많이 감소하였고 반원양성 퇴적작용이 우세해지면서 쌓인 것이다. 울릉분지에서의 퇴적작용도 이와 유사했던 것으로 짐작된다.

Layer 3가 쌓였던 플라이오세동안 일본분지와 야마토분지에서는 반원양성 또는 원양성 퇴적작용이 우세하여 규조질 점토와 규조질 우즈가 퇴적되었고 퇴적속도가 매우 낮았다. 탄성파 특징을 보면 울릉분지의 Layer 3, 일본분지, 야마토분지의 대비층들 모두 투과하여 동해 전 지역에서 반원양성 또는 원양성 퇴적이 우세하였다고 짐작된다. 그러나 퇴적속도가 매우 낮게 나타나는 야마토 분지의 site 797 (Shipboard Scientific Party, 1990b)에서도 퇴적율이 5 m/my (Shipboard Scientific Party, 1990a)로 전형적인 원양성 퇴적물 퇴적율의 5배인 것으로 보아 대륙성 퇴적물이 꾸준히 유입되었던 것으로 짐작된다. 분지 남부의 퇴적심 (Figure 11)은 분지 남쪽 주변부로부터 많은 양의 육성 퇴적물이 유입되었음을 보여 준다.

Layer 4는 일본분지와 야마토분지에서 모두 약한 반사면의 탄성파 특징을 보이고 (Shipboard Scientific Party, 1990a, 1990b) 울릉분지에서는 잘 발달된 층리의 특징을 보이는데 이 차이는 퇴적작용이 달랐기 때문이기보다는 탄성파 획득체계 (acquisition system)의 차이 때문이라고 생각된다. 이러한 차이에도 불구하고 모든 분지에서 층리의 특징을 보이는 것은 거의 같은 퇴적작용이었음을 시사한다. 최신세동안 일본분지와 야마토분지에서는 기반의 침강이 계속되었고 규조질 점토와 규조질 우즈의 퇴적이 감소하면서 동시에 육상 퇴적물의 유입이 증가하였다 (Shipboard Scientific Party, 1990a, 1990b). 울릉분지에서도 비슷하게 저탁류와 같은 밀도류에 의한 퇴적작용이 진행되며 원양성 퇴적이 감소하였을 것이다. 울릉분지 서쪽에 나타난 퇴적심 (Figure 12)은 한반도 동부지역으로부터 많은 양의 퇴적물이 유입되었기 때문이며, 이 퇴적심에는 한반도로부터 유입된 퇴적물이 대부분 분지를 가로질러 이동하지 않고 형성된 것으로 생각된다. 울릉분지 남쪽의 퇴적심에는 마이오세 당시와 같이 계속적으로 대한대지로부터 퇴적물이 유입되었을 것이다. Layer 4의 특징 중의 하나는 분지 남부 일부 지역과 UIG 남부에 나타나는 붕락이나 슬라이딩같은 사태에 의한 퇴적물이다. 이러한 특징이 Layer 4에서만 확인되는 이유는 천부에서 탄성파 자료의 해상력이 좋기 때문이거나 최신세동안에 특히 많은 퇴적물이 주변의 대륙붕이나 대륙사면으로부터 유입되었기 때문이다.

UIG지역의 음향기반에는 울릉분지의 기반과 더 깊은 일본분지의 기반을 분할하고 있는 구조적 안장이 존재한다. 이 구조적 안장은 분지 생성 초기부터 존재하였거나 UIG에서 퇴적속도가 낮아서 이들 분지보

다 기반의 침강이 적게 일어났기 때문이다. 울릉분지의 음향기반은 분지 중앙부에서는 확인할 수 없었으나 탄성파 특성으로 보아 그 상부가 일본분지, 야마토분지와 마찬가지로 화산 용암이나 화산 암상(volcanic sills)으로 구성되어 있을 것이다.

후기 마이오세에서 현재에 이르면서 울릉분지를 포함한 동해 전체가 거의 비슷한 퇴적환경이었던 것으로 생각된다. 후기 마이오세동안 울릉분지에서는 일본분지, 야마토분지에서와 같이 반원양성 퇴적작용이 우세하였고, 일본열도와 해저화산의 화산활동이 감소하였지만 어느 정도의 화산성 퇴적물도 계속적으로 공급되었다. 플라이오세에는 원양성 퇴적이 우세해지면서 규조질 점토나 규조질 우즈의 퇴적이 활발하게 진행되었으나 대륙성 퇴적물의 유입으로 퇴적속도는 전형적인 원양성 퇴적속도보다 훨씬 크다. 최신세동안에는 저탁류같은 밀도류에 의한 대륙성 퇴적물의 유입이 보다 증가하여 대륙성 퇴적물과 반원양성 퇴적물이 두꺼운 층을 형성하였다. 울릉분지에는 분지 남쪽과 서쪽에 퇴적심이 형성되었고 국지적으로 붕락이나 슬라이딩같은 퇴적물의 사태도 있었다. UIG지역에서는 저층류의 영향으로 보이는 퇴적 파랑(sediment wave)이 나타난다.

## 결 론

UIG (Ulleung Interplain Gap)지역의 음향기반에는 울릉분지의 기반과 더 깊은 일본분지의 기반을 분할하는 구조적 안장(saddle)이 존재한다. 이 구조적 안장은 분지 생성 초기부터 존재하였거나 UIG에서 퇴적속도가 낮아서 이들 분지보다 기반의 침강이 적게 일어났기 때문이다. 울릉분지의 음향기반은 분지 중앙부에서는 확인할 수 없었으나 탄성파 특성으로 보아 그 상부가 일본분지, 야마토분지와 마찬가지로 화산암류로 구성되어 있을 것으로 추정된다. 후기 마이오세 (late Miocene)에서 현재에 이르면서 울릉분지는 동해 전체와 거의 비슷한 퇴적환경으로서 일본분지, 야마토분지에서와 같이 반원양성 퇴적작용이 우세하였고, 어느 정도의 화산성 퇴적물도 계속적으로 공급되었다. 플라이오세 (Pliocene)에는 원양성 퇴적이 우세해지면서 규조점토나 규조니의 퇴적이 활발하게 진행되었으나 대륙성 퇴적물의 유입으로 퇴적속도는 전형적인 원양성 퇴적속도보다 훨씬 컸다. 최신세 (Pleistocene)동안에는 밀도류 (gravity flows)에 의한 대륙성 퇴적물의 유입이 증가하여 대륙성 퇴적물과 반원양성 퇴적물이 두꺼운 층을 형성하였다.

## 사 사

본 연구는 1994년도 교육부 해양/수산과학분야 학술연구조성비의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사를 드린다. 단일채널 탄성파 반사자료를 제공해 주신 한국해양연구소와 러시아과학원 해양지질 및 지구물리연구소 극동분소와 지자기와 암석연대측정등의 후속연구에 도움을 준 전략광물자원연구센터 (CMR) 및 심사과정에서 적절한 용어의 선정에 조언을 주신 익명의 심사자에 대해서도 사의를 표한다.

## 참 고 문 헌

Asonov, G. I., Semakin, V. P., Gretskaya, E. V. and E. G Zhiltsov. 1993. Bathymetry and sediment cover. In An Oceanographic Study in the East Sea(the Sea of Japan)-Korea and Russia Cooperative Research, KORDI Rep. BSPE00242, 167~202.

Brown, L. F. and W. L Fisher. 1980. Seismic Stratigraphic Interpretation and Petroleum Exploration. AAPG Course Note 16, 56 pp.

Chough, S. K. 1983. Marine Geology of Korean Seas. IHRD, Boston, 157 pp.

Chough, S. K. and E. Barg. 1987. Tectonic history of Ulleung Basin margin, East Sea(Sea of Japan). Geology, 15, 45~48.

Exploitech, Inc. 1989, Unpublished depth vs. time chart from Dolgorae wells.

Honza, E. 1978. Geological Investigation in the Northern Margin of the Okinawa Trough and the Western Margin of the Japan Sea. Geol. Surv. Japan Cruise Report 10, 79 pp.

Kim, H. J., Park, C. H., Hong J. K., Jou, H. T., Chung, T. W., Zhigulef, V. and G. I. Anosov. 1994. A seismic experiment in the Ulleung Basin(Tshushima Basin), southwestern Japan Sea(East of Korea). Geophy. Res. Let., 21; 1975~1978.

Lee, H. Y. 1994. Neogene foraminifera biostratigraphy of the southern margin of the Ulleung Basin. Ph.D. Thesis, Seoul National University, 377 pp.

Lee, K. E. 1992. Geological structure of Ulleung back-arc basin, East Sea. M.S. Thesis, Seoul National University, 121 pp.

Ludwig, W. J., Murauchi, S. and R. E. Houtz. 1975. Sediments and structure of the Japan Sea. Geol. Soc. Am. Bull., 86, 651~664.

Mitchum, R. M., Vail, P. R. and S. Thompson. III. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 2: the depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis. In: C. E. Payton(Editor), Seismic Stratigraphy-Applications to Hydrocarbon Exploration. AAPG Memoir 26, 53~62.

Posamentier, H. W. and P. R. Vail. 1988. Eustatic controls on clastic sedimentation II. Sequence and systems tract models. In; C. K. Wilgus, B. S. Hastings, C. G. St. C. Kendall, H. Posamentier, C. A. Ross and J. C. Van Wagoner(Editors), Sea Level Changes-An Integrated Approach. SEPM Spec. Publ., 42, 125~154.

Posamentier, H. W., Jervey, M. T. and P. R. Vail. 1988. Eustatic controls on clastic sedimentation I. Conceptual framework. In; C. K. Wilgus, B. S. Hastings, C. G. St. C. Kendall, H. Posamentier, C. A. Ross and J. C. Van Wagoner(Editors), Sea Level Changes-An Integrated Approach. SEPM Spec. Publ., 42, 109~204.

Sangree, J. B. and J. M. Widmier. 1977, Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 9: seismic interpretation of clastic depositional facies. In; C. E. Payton(Editor), Seismic Stratigraphy-Applications to Hydrocarbon Exploration. AAPG Memoir 26, 165~184.

Schulter, H. V. and W. C. Chun. 1974. Seismic survey of the East Coast of Korea. UN ECAFE/CCOP Tech. Bull., 10, 1~16.

Shipboard Scientific Party, 1990a. Proceedings of the Ocean Drilling Project, Initial Reports, 127.

Shipboard Scientific Party, 1990b. Proceedings of the Ocean Drilling Project, Initial Reports, 128.

Tamaki, K. 1988. Geological structure of the Japan Sea and its tectonic implications. Bull. Geol. Surv. Japan, 39, 269~365.

Tamaki, K., Suyehiro, K., Allan, J., Ingle, J. C. Jr. and K. A. Pisciotto. 1992. Tectonic synthesis and implications of Japan Sea ODP Drilling. Proceedings of the Ocean Drilling Project, Scientific Results, 127/128, Pt. 2, 1333~1348.

Yoon, S. H. 1994. The eastern continental margin of Korea; seismic stratigraphy, geological structure and tectonic evolution. Ph.D. Thesis, Seoul National University, 235 pp.

Yoon, S. H. and S. K. Chough. 1992. Tectonic history of eastern continental margin, Korea. In; S. K. Chough(Editor), Sedimentary Basins in the Korean Peninsula and Adjacent Seas. Korean Sed. Res. Group Spec. Publ., Hamlimwon Publishers, 22~39.

Yoon, S. H. and S. K. Chough. 1993. Evolution of Neogene sedimentary basins in the eastern continental margin of Korea. Korean Jour. Petrol. Geol., 1, 15~27.

1996년 5월 13일 접수
1996년 7월 9일 수리