

## 동해 한국대지 및 울릉 분지간통로의 제4기 후기 해저퇴적작용

윤석훈\* · 박장준<sup>1</sup> · 한상준<sup>1</sup>  
제주대학교 해양과학부, <sup>1</sup>한국해양연구원

### Late Quaternary Depositional Processes in the Korea Plateau and Ulleung Interplain Gap, East Sea

SEOK-HOON YOON\*, JANG-JUN BAHK<sup>1</sup> AND SANG-JOON HAN<sup>1</sup>  
<sup>\*</sup>Faculty of Marine Sciences, Cheju National University, Jeju 690-756, Korea  
<sup>1</sup>Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan 425-600, Korea

한국대지와 인근 울릉 분지간통로에 분포하는 플라이스토세 후기 퇴적층에 대한 Chirp 방식 고해상 지층탐사 자료의 탄성파상과 피스톤 코어 시료의 퇴적상 분석을 통하여 해저 퇴적작용을 규명하였다. 한국대지는 한반도와 분리된 해저고지대로서 육성 퇴적물 유입이 매우 제한되어 있으며, 한국대지 사면에는 불규칙한 돌출지형과 함께 다양한 규모의 해저협곡이나 해저계곡이 형성되어 있다. 환경사의 한국대지 대부분 지역에는 화산기원 퇴적물이 협재하는 (반)원양성 퇴적물이 우세하게 집적되어 있으며, 한국대지 사면과 해릉 및 해산의 급경사 부분에서는 이들 퇴적물이 슬럼프, 슬라이드, 암설류 등 해저사태에 기인한 질량류로 재동되어 함물혼적과 함께 나타난다. 재동된 퇴적물은 점토가 우세한 조직 특성과 사면의 급경사 때문에 저탁류보다는 부유입자가 우세한 고농도 수층의 형태로 전이되어 해저협곡을 통해 울릉분지평원으로 이동된 것으로 보인다. 울릉분지간통로 지역은 통상적인 (반)원양성 침전과 주로 오키뱅크와 독도 사면에서 해저수로를 통해 유입되는 간헐적인 저탁류와 암설류가 주된 퇴적작용의 역할을 하였으며, 이와 함께 일본분지로부터 유입되는 심층수의 영향으로 분지간수로와 그 주변 해저에 분포하는 퇴적물이 활발히 침식되어 재동된 것으로 보인다.

High-resolution (Chirp, 3-11 kHz) echo facies and sedimentary facies of piston-core sediments were analyzed to reveal the late Quaternary depositional processes in the Korea Plateau and Ulleung Interplain Gap. The Korea Plateau is an isolated topographic high with a very restricted input of terrigenous sediments, and its slope is characterized by a thin sediment cover and various-scale submarine canyons and valleys. Echo and sedimentary facies suggest that the plateau has been moulded mainly by persistent (hemi) pelagic sedimentation and intermittent settling of volcanic ashes. Sediments on the plateau slope and steep margins of ridges and seamounts were reworked by earthquake-induced, large-scale slope failures accompanied by slides, slumps and debris flows. As major fraction of the reworked sediments consists of (hemi) pelagic clay particles, large amounts of sediments released from mass flows were easily suspended to form turbid nepheloid layers rather than bottom-hugging turbidity currents, which flowed further downslope through the submarine canyons and spreaded over the Ulleung Basin plain. In the Ulleung Interplain Gap, sediments were introduced mainly by (hemi) pelagic settling and subordinate episodic mass flows (turbidity currents and debris flows) along the submarine channels from the slopes of the Oki Bank and Dok Island. The sediments in the Ulleung Interplain Channel and its margin were actively eroded and reworked by the deep water flow from the Japan Basin.

**Key words:** Korea Plateau, Ulleung Interplain Gap, Quaternary Sedimentary Process, Echo Facies, Sedimentary Facies

#### 서 언

동해 울릉분지는 한반도, 한국대지, 오키뱅크 및 남서 일본열도로 둘러싸인 최대수심 2,300여 m의 후열도 분지로서(Fig. 1), 1980년대 이래 코아퇴적물 자료와 고해상 탄성파탐사기를 이용하여 분

지주변부는 물론 분지평원까지 광범위한 지역에 걸쳐 해양지질학적 연구가 수행되어 현재 제 4기 후반기의 퇴적작용에 관한 많은 정보가 축적되어 있다(Chough *et al.*, 1985a, 1997; Lee *et al.*, 1991, 1993; 최 등, 1989; 윤 등, 1996). 이들 연구에 따르면, 울릉분지 퇴적물은 주로 분지의 남쪽과 동쪽 주변부로부터 유입되었으며, 이 과정에서 빈발한 지진활동에 의해 야기된 사면사태와 이로부터 전이되는 암설류 및 저탁류의 작용이 상당히 큰 기여를 한

\*Corresponding author: shyoon@cheju.ac.kr

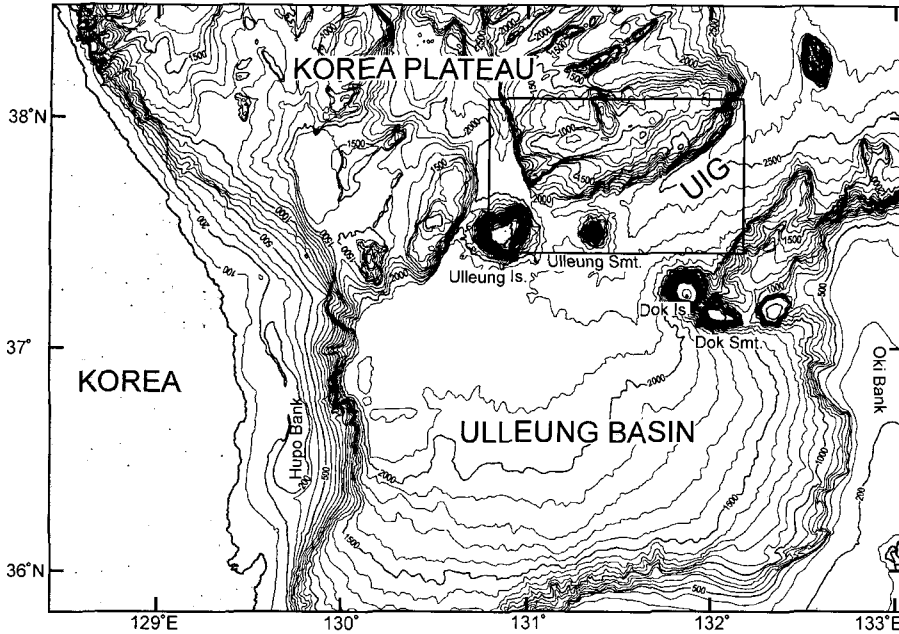


Fig. 1. Physiography of the Ulleung Basin, Korea Plateau and Ulleung Interplain Gap. The box indicates location of the study area shown in Figure 3. Contour interval is 100 m. Is.=Island; Smt.=Seamount; UIG=Ulleung Interplain Gap. Modified from Lee (2001).

것으로 보인다. 이에 비해 분지의 서쪽, 한반도 주변부에서는 해안에 인접하여 태백산맥이 남북으로 발달되어 있기 때문에 다량의 퇴적물을 해양으로 운반할만한 대형 하천이 육상에는 거의 없으며, 최근 탄성파탐사자료의 분석을 통하여 일부 해저협곡-선상지 퇴적계의 존재가 알려져 있지만(Lee, 2001), 분지의 남쪽과 동쪽에 비해 퇴적물 유입은 적은 편이다. 하지만 이곳에서도 다른 지역과 마찬가지로 제4기 동안에는 사면사태에 의한 함몰대와 질량류 퇴적층이 여러 지역에서 보고되고 있다(Chough *et al.*, 1991; Lee *et al.*, 1991; 윤 등, 1996). 한편, 분지의 북쪽 주변부에 자리잡은 한국대지는 일본분지 서부와 울릉분지 사이에 위치한 수심 600~1,600 m의 해저고지대(topographic high)로서(Fig. 1), 선캄브리아기 암석을 포함하는 대륙지각이 동해 후열도 확장동안 열개(rifting)되어 해릉(ridge), 해곡 및 해저산 등이 산재하는 불규칙한 해저지형을 형성하고 있는 곳이다(Tamaki, 1988). 이 지역에서는 최근 한국해양연구원의 '동해분지의 해양환경 변화와 지구조 진화 연구' 사업의 연구보고(한국해양연구소, 1996, 1997)와 국립해양조사원의 고해상(Chirp, 2-7 kHz) 탄성파 자료를 이용한 연구(Lee and Chough, 2001; Lee *et al.*, 2002)가 있었지만, 아직까지도 한국대지의 퇴적작용 양상과 울릉분지 제 4기 후기 퇴적물과의 연계성에 관한 연구가 미미한 실정이다. 본 연구에서는 북위 37°~38°, 동경 131°~132°사이의 한국대지 및 이에 인접한 울릉분지간통로(Fig. 1)에서 취득된 고해상 탄성파 탐사자료를 분석함으로써, 이 해역에 분포하는 탄성파상(echo facies)과 퇴적상(sedimentary facies)을 분류하고 이를 바탕으로 제 4기 후기에 일어났던 퇴적작용을 밝히고자 한다.

## 지역 개요

울릉분지는 서쪽으로 한반도의 동해 대륙붕, 남서쪽 및 남쪽에는 대한해협 및 쓰시마해협을 이루는 남동대륙붕, 북쪽으로는 울

릉도와 한국대지, 그리고 동쪽은 독도를 포함하는 오키뱅크(Oki Bank)로 둘러싸인 해저분지로서(Fig. 1), 지금으로부터 약 3,000만년전부터 1,000만년전 사이에 일본열도의 남진으로 형성된 동해 후열도 분지의 일부분이다(Jolivet and Tamaki, 1992; Yoon and Chough, 1995). 울릉분지 북부와 한반도 중부 대륙사면에 접한 한국대지는 평균수심이 1,000 m 내외로 남북 혹은 북동-남서 방향으로 신장된 해릉과 해곡이 불규칙하게 산재하며, 해릉의 정상부에서는 화강편마암이 채취되어 그 형성연대가 20-27억 년 전(선캄브리아기)으로 분석되었다(Lelikov and Bersenev, 1975). 이러한 지형 및 암석학적 특성을 근거로, 한국대지는 동해 후열도 분지 형성 초기에 한반도에 인접한 대륙지각이 활발히 열개(rifting)되었다가 곧 중단되어 버린 곳으로 추정되고 있다(Tamaki, 1988).

조사지역인 북위 37°~38°, 동경 131°~132°해역은 울릉분지 북동부 심해평원과 동부 한국대지가 맞닿아 있는 곳으로서, 울릉분지간수로(UIC), 울릉해저산 및 울릉도 화산체가 한국대지와 인접하여 분포한다(Fig. 2). 수심 600~1,600 m 이하의 한국대지는 다양한 규모의 해저릉과 해저산이 특징적으로 발달되어 있으며, 이들 돌출 지형 사이에는 해곡과 연장성이 짧은 해저수로, 그리고 단층면으로 추정되는 급경사 단애가 나타난다. Lee and Chough (2001)는 완경사의 해릉의 사면에서 해저포행(creep)에 의한 파형층리 퇴적층을 보고한 바 있다. 수심 1,600~2,600 m의 한국대지 사면지역은 6° 내외의 급경사를 보이며, 다양한 규모의 V자형 해저협곡이나 해저계곡, 그리고 불규칙한 돌출지형들이 특징적으로 발달되어 있다. 한국대지 사면과 울릉분지 평원은 경사의 차이로 인해 뚜렷한 경계부를 이룬다(Fig. 2).

울릉분지 북동부를 이루고 있는 울릉 분지간통로(UIG)는 울릉분지와 일본분지를 연결하는 심해 지형으로서, 북동쪽으로 매우 완만하게 경사져 있는, 수심 2,000~2,600 m의 비교적 평탄한 부분이다(Figs. 1, 2). 분지간통로에는 일본분지에서 울릉분지로 유입되는 심층수의 영향으로 침식되어 형성된 깊이 50 m 내외, 폭 5~14 km의 울릉분지간수로(UIC)가 북동-남서 방향으로 나타난다

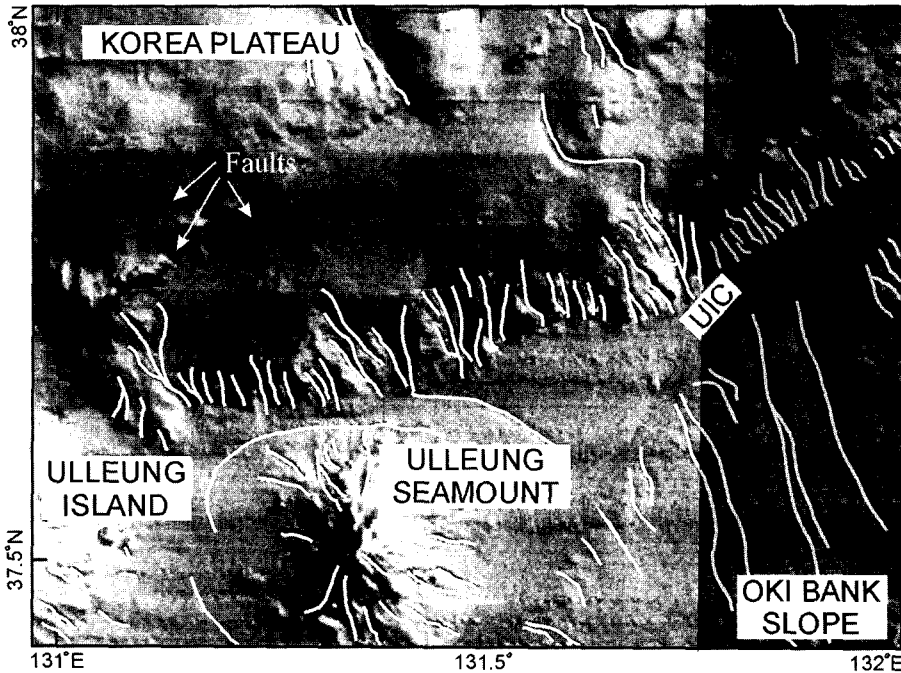


Fig. 2. Multi-beam image showing major physiographic features (modified from KORDI, 1997). Lines indicate axes of submarine canyons and channels. UIC=Ulleung Interplain Channel.

(Lee, 2001). 한편, 울릉분지간수로 남동쪽에 접한 오키뱅크 사면 말단에는 다수의 해저수로(submarine channel)들이 남북 방향으로 발달되어 있다. 이들 해저수로들은 형태(자연제방의 유무)에 따라 침식 및 퇴적형으로 구분되며, 주로 저탁류(turbidity current)나 해저류(bottom current)에 의해 형성된 것으로 제안된 바 있다(한 등, 1997). 울릉 분지간수로의 서쪽에는 신생대 화산활동에 의해 형성된 것으로 추정되는 울릉도 화산체와 울릉해저산이 위치한다. 울릉해저산은 해저면에서 1,350여 m의 높이로 솟아있으며 남북으로 다소 신장된 평면형태를 보이는데, 화산체의 사면에는 퇴적물의 집적이 많지 않고 불규칙한 돌출지형과 계곡들이 발달되어 있다(Fig. 2).

### 자료 및 분석방법

본 연구의 기본자료는 약 1,440 km의 길이의 동서 방향 측선을 따라 취득된 고해상 천부 탄성파 탐사 단면과 6개 정점에서 회수된 시추퇴적물이다(Fig. 3). 고해상 지층단면도는 한국해양연구원 연구선 온누리호에 장착된 3~11 kHz 주파수 대역의 Chirp 방식 지층탐사기인 'Bathy 2000P 시스템'을 이용하여 취득된 것으로서, 투과깊이는 해저면으로부터 최대 75 m이며, 각 신호에 대한 해상도는 최대 8 cm까지 유지할 수 있는 신호처리 특성을 갖고 있다. 퇴적물 시료는 12 m 길이의 피스톤 시추기를 사용하여 990~1,170 cm의 주상시료 형태로 채취되었는데, 입도는 습식제질법과 Sedigraph 5000D를 이용하여 분석되었고, 퇴적구조와 생흔구조를 기술하기 위한 X-선 사진은 Softex M-1005형 X-선 촬영기(70 kV, 4 mA, 노출 8초, 거리 40 cm)를 이용하여 제작하였다.

### 탄성파상

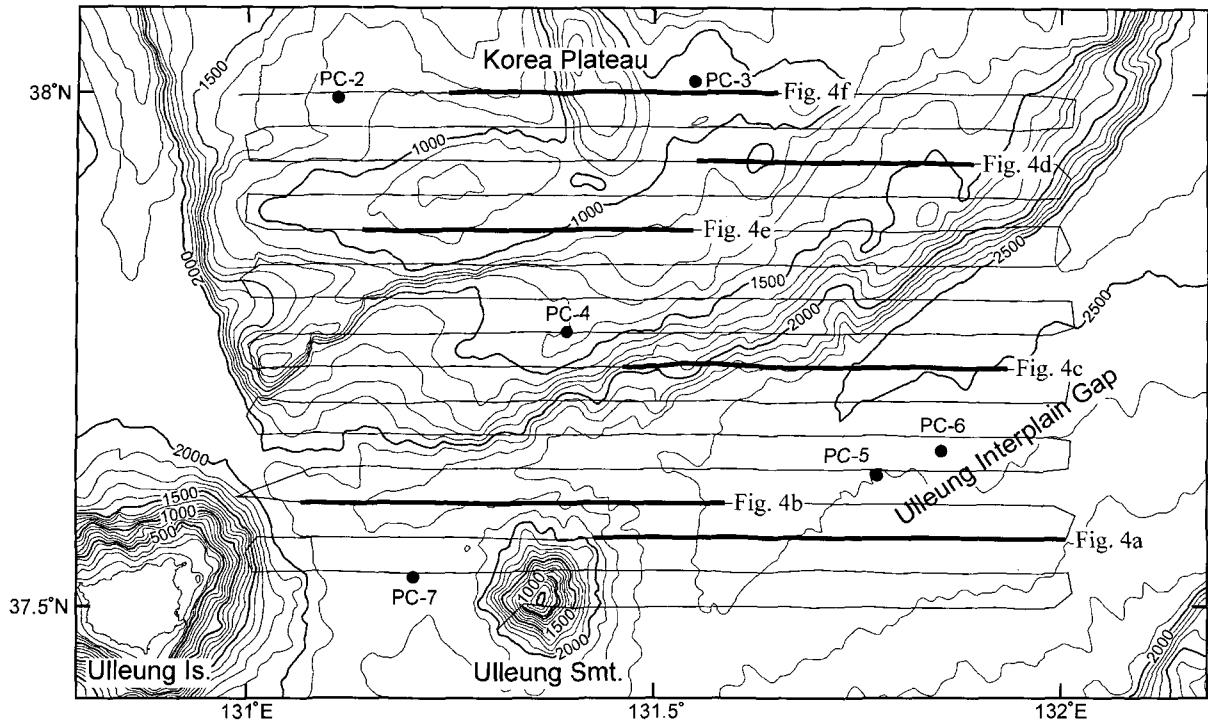
고해상 천부 지층탐사기에 의해 기록되는 반사파의 음향학적 특성은 일반적으로 해저 표층(bottom)과 그 하부의 심층(subbottom)

에서 오는 반사파로 구분되는데, 이들 반사파들의 명확성(또는 반사강도), 측면연속성, 형태, 그리고 해저지형 등의 특징을 기준으로 탄성파상이 분류된다. 이러한 분류는 일반적으로 로마자와 영문알파벳으로 구성된 두 자리의 코드로 표시된다. 본 연구에서는 기본적으로 Damuth(1978, 1980)의 기준과 코드를 따랐는데, 표면 반사파가 확산되어 다소 두껍고 불명확하게 나타나는 경우(II)와 총첩하는 쌍곡선 반사파(hyperbolic echo)로 나타나는 경우(III)로 분류되었으며, 다시 이러한 두 그룹은 심층 반사파의 유무, 명확성, 측면연속성, 형태 등에 따라 구분되어 영문 알파벳 대문자 코드를 추가하여 5개의 탄성파상으로 세분하였다(Table 1).

### 탄성파상 IIa

탄성파상 IIa는 다소 확산(semi-prolonged)되어 있고 측면연속성이 양호한 해저표층 반사파와 그 하부 수십 m에 걸쳐 나타나는 다수의 평행한 심층 반사파들을 특징적으로 보인다(Fig. 4). 심층 반사파의 형태는 표층 반사파와 거의 동일하며 반사면은 대부분 뚜렷하지 않고 약간 확산되어 있다. 이러한 탄성파상이 나타나는 해저표면의 지형은 대부분 약간의 굴곡(undulation)을 보이거나 매끈하며, 국지적으로는 불규칙한 침식 흔적을 보이기도 한다. 이러한 탄성파상은 한국대지의 평탄한 해저와 울릉분지간통로의 오키뱅크 말단에서 우세하게 관찰되는데(Fig. 5), 한국대지에 비해 오키뱅크 사면에서 관찰되는 심층 반사파의 측면 연속성이 침식으로 인해 다소 불량하고, 층리의 두께 변화가 더욱 심하게 나타난다(Fig. 4a).

탄성파상 IIa의 분리된 다수의 평행한 심층 반사면은 입도, 밀도, 굳기 등 물리적 특성이 서로 다른 퇴적층이 교호하고 있음을 반영하는 것으로 해석할 수 있다. 이러한 탄성파상은 주로 수층내 부유퇴적물이 지속적으로 침전하면서 해저지형을 정합적으로 피복하는 원양성(pelagic) 또는 반원양성(hemipelagic) 퇴적이나 판상류(sheet flow) 형태로 넓은 지역으로 확산되는 저밀도 세립질



**Fig. 3.** Bathymetric map of the study area showing chirp-profiling tracklines and coring sites (dots). Bold lines indicate locations of the profiles shown in Figure 4. Contour interval is 100 m. Is.=Island; Smt.=Seamount; UIG=Ulleung Interplain Gap. Bathymetric map is modified from NORI (1998).

**Table 1.** Description and interpretation of echo facies.

Echo facies	Description	Occurrence	Interpretation
IIA	Semi-prolonged bottom echoes with several intermittent subbottom reflectors; smooth, undulatory, or irregularly eroded topography	Korea Plateau and Ulleung Interplain Gap	Composite deposits consisting of hemipelagites and/or turbidites (Yoon <i>et al.</i> , 1991)
IIB	Prolonged bottom echoes with no discrete sub-bottom reflectors; flat or smooth surface topography	Axis of Ulleung Interplain Channel and Ulleung Basin plain	Thick beds of turbidites (Damuth, 1978; Pratson and Laine, 1989) or contourites (Kenyon, 1986; Yoon <i>et al.</i> , 1991)
IIC	Acoustically transparent (i.e., no internal reflection) sediment masses with variable surface echoes, such as seafloor-tangential hyperbolae to weak or very prolonged echoes; lens-shaped or lobate form	Korea Plateau and its slope area	Debrisites (Embley, 1976; Chough <i>et al.</i> , 1985b; Yoon <i>et al.</i> , 1991)
IIIA	Large, irregular, overlapping hyperbolae with widely varying summit elevations	Steep slope areas of Korea Plateau, Ulleung Island and Ulleung Seamount	High-relief volcanic edifices or irregularly-eroded slope by mass-failures
IIIC	Regular, overlapping hyperbolae with slightly varying vertex elevations (generally less than 30 m)	Slope areas of Korea Plateau, Ulleung Island and Ulleung Seamount	Deposits of slope failures including slump, slide and debris flow (Damuth, 1978; Embley, 1980; Yoon <i>et al.</i> , 1991)

저탁류의 퇴적작용과 밀접한 관계를 갖는 것으로 알려져 있다(Damuth, 1975, 1978, 1980; Mullins *et al.*, 1979; Yoon *et al.*, 1991).

**탄성파상 IIB**

탄성파상 IIB의 해저표층 반사파는 탄성파상 IIA에서와 거의 동일하다. 그러나 해저면 아래의 심층 반사파는 뚜렷한 반사면으로 나타나는 것이 아니라 일정구간에 걸쳐 반사신호가 확산되어 나타나는 특징을 보인다(Fig. 4). 이 탄성파상이 나타나는 해저의

지형은 비교적 매끈하거나 평탄하며, 부분적으로 다소의 굴곡을 갖고 있는 경우도 있는데, 울릉분지간수로, 울릉도 화산체와 울릉해저산 사이의 평탄한 해저에서 주로 관찰된다(Fig. 5).

일반적으로 확산된(diffuse) 반사특성은 소규모 연흔이나 자갈 해저와 같은 소규모 퇴적면 구조와 관계된 것으로 알려져 있다. 이러한 퇴적구조 발달 지역에서는 표층 반사파가 다소 확산되어 나타나는데, 이는 소규모 지형 기록에 의한 음파의 산란효과에 기인한 것으로 알려져 있다. 해저면 퇴적구조의 규모

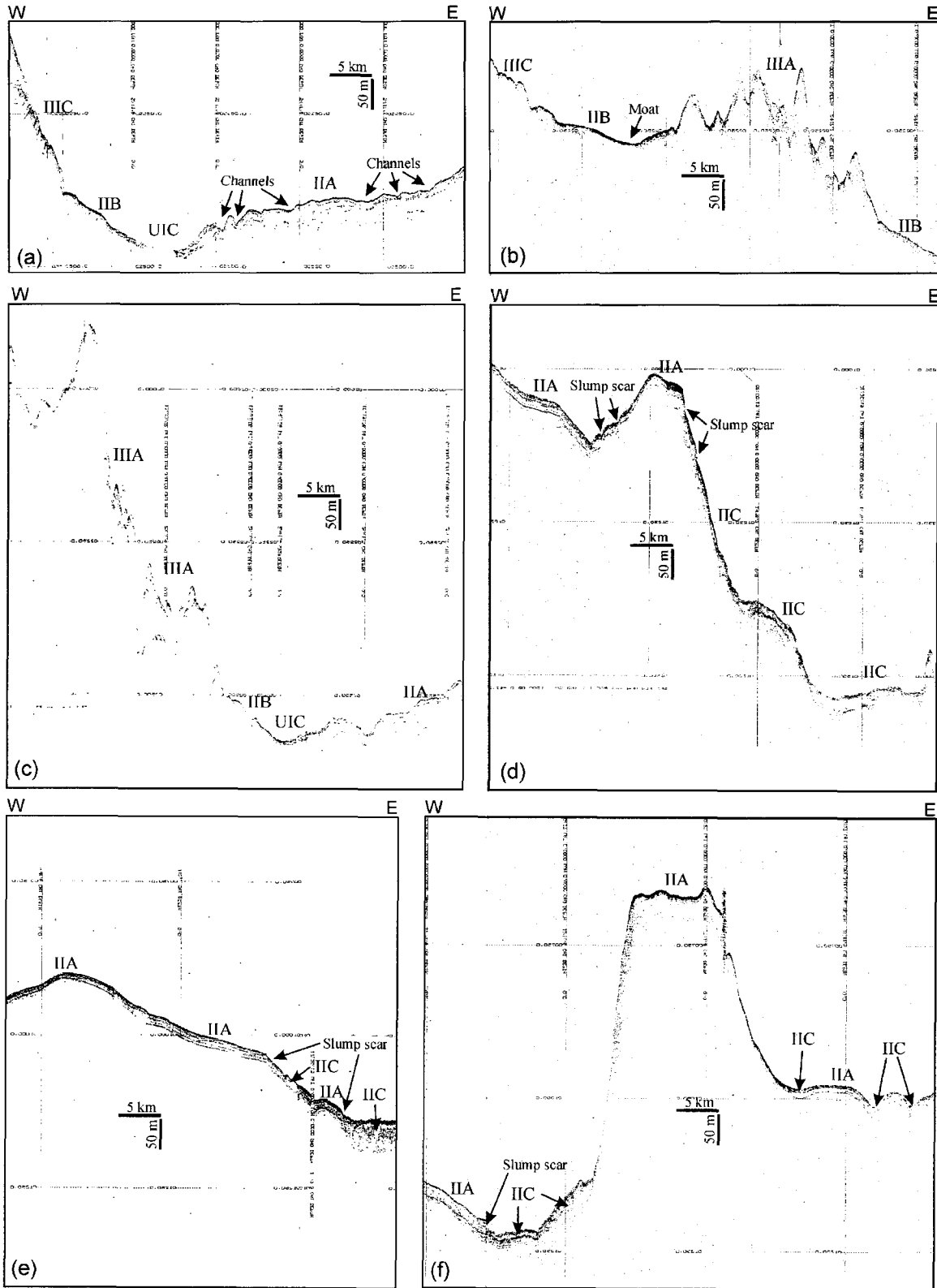


Fig. 4. Chirp subbottom profiles with codes of echo facies described in Table 1. For locations see Figure 3. UIC=Ulleung Interplain Channel.

가 고해상 탄성파 탐사기의 해상도 이하인 경우 여기서 반사되어 나온 음파들은 대부분 산란되어, 하나의 반사면으로 기록되

지 않고 확산된 반사파로 나타난다(Ewing *et al.*, 1973; Damuth, 1980).

**탄성파상 IIC**

탄성파상 IIC에서는 심층 반사면이 없거나 불규칙하게 변형된 내부 반사면이 부분적으로 나타나며, 일반적으로 위로 불룩한 썰기 또는 렌즈 형태를 보인다(Fig. 4). 표층 반사파는 명확도나 형태에 있어서 비교적 다양한 특성을 보이는데, 다소 확산되고 불연속적인 반사파이거나 또는 비교적 규칙적으로 중첩하는 수 m에서 십 수 m 높이의 쌍곡선 반사파(hyperbolic echo)로 나타난다. 탄성파상 IIC를 보이는 퇴적체의 두께는 보통 20~50 m이며, 주로 한국대지의 급경사 사면과 해곡의 바다에 분포하는데, 대부분 상부 경사면 쪽으로 함몰침식대(failure scar)와 접하고 있다.

함몰침식대의 하부사면에 분포하는 음향학적으로 투명한 렌즈 형태의 퇴적체는 일반적으로 암설류(debris flow)에 의해 집적된 것으로 해석된다(Embley, 1976; Damuth and Embley, 1981; Piper *et al.*, 1985). 탄성파적 투명성은 주로 퇴적체 내부의 불량한 층리 발달에 기인하는데, 암설류는 층리가 잘 발달된 퇴적층을 집적시키는 저탁류에 비해 함유 퇴적물 농도와 점성이 크고, 퇴적이 짧은 시간 안에 이루어지기 때문에 운반되던 퇴적물들은 대부분 규칙적인 층리를 이루지 못한다. 한편, 탄성파상 IIC의 소규모 쌍곡선 형태의 표층반사파와 확산 반사파는 암설류 퇴적물이 집적되는 동안 퇴적체의 표면에 발달한 다양한 퇴적면 구조나 불규칙한 표면을 반영한다(Embley, 1976; Damuth, 1980; Yoon *et al.*, 1991).

**탄성파상 IIIA**

탄성파상 IIIA는 대규모의 불규칙한 회절 쌍곡선 반사파(diffraction hyperbolic echo)가 단독 또는 여러 개 중첩되어 나타나는 것으로서 높이와 폭은 수 m에서 수 km로 매우 폭넓게 변화된다(Fig. 4). 쌍곡선 반사파는 해저표층에서 뚜렷하거나 다소 확산되어 있으며, 심층 반사파는 따로 구분되지 않는다. 이러한 탄성파상은 주로 한국대지의 급경사 사면과 울릉도 화산체 및 울릉해저산의 사면에서 우세하게 관찰된다(Fig. 5).

불규칙하게 중첩하는 쌍곡선 반사파가 나타나는 한국대지, 울릉도 및 울릉해저산 사면의 Seabeam 해저면 영상 자료(Fig. 2)

를 보면 해저협곡과 해저수로가 비교적 근접하여 발달되어 있으며, 이러한 지형 사이에는 소규모 돌출지형들이 관찰된다. 따라서 탄성파상 IIIA는 기복이 매우 심한 불규칙한 해저지형을 반영하는 것으로 해석된다. 기존 연구에서는 대서양 중앙해령의 해저산, 단구대(fracture zone) 등 주로 화산암 기반의 불규칙한 해저나 침식이 활발하게 일어나는 대륙사면의 해저협곡이나 대륙대 등에서 보고되어 있다(Damuth, 1978; Pratson and Laine, 1989).

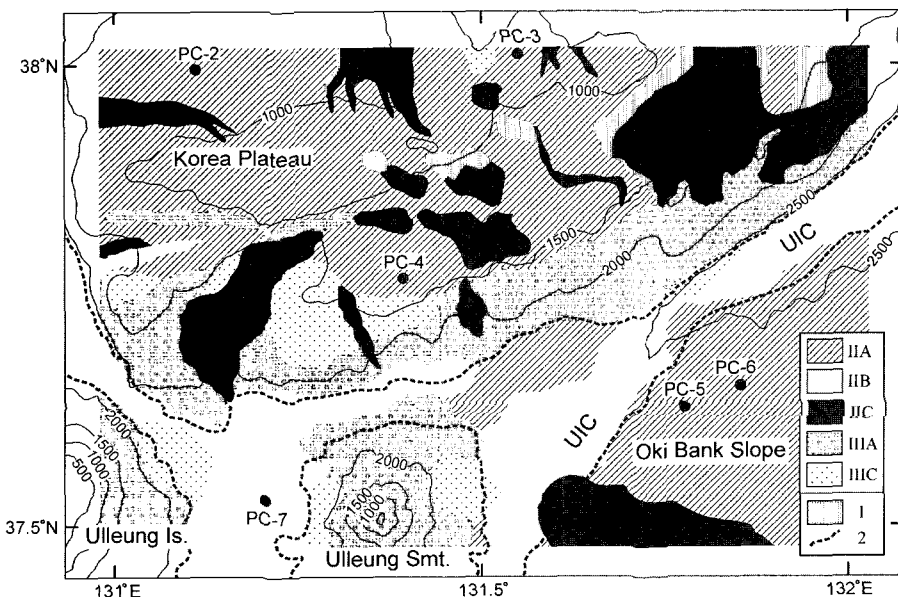
**탄성파상 IIIC**

탄성파상 IIIC에서는 비교적 규칙적으로 중첩하는 쌍곡선 표층 반사파가 특징적으로 나타난다(Fig. 4). 쌍곡선 반사파의 높이는 대부분 수 십 m 이내로 변화범위가 탄성파상 IIIA보다는 작고, 표층 반사파가 매우 확산되어 있어서 심층 반사면이 나타나지 않는 특성이 있다. 이 탄성파상은 주로 울릉도 화산체 사면의 화산돌출 지형 사이의 한국대지 사면말단에 수백 m 크기의 덩어리로 분포하는 경향이 있다(Fig. 5).

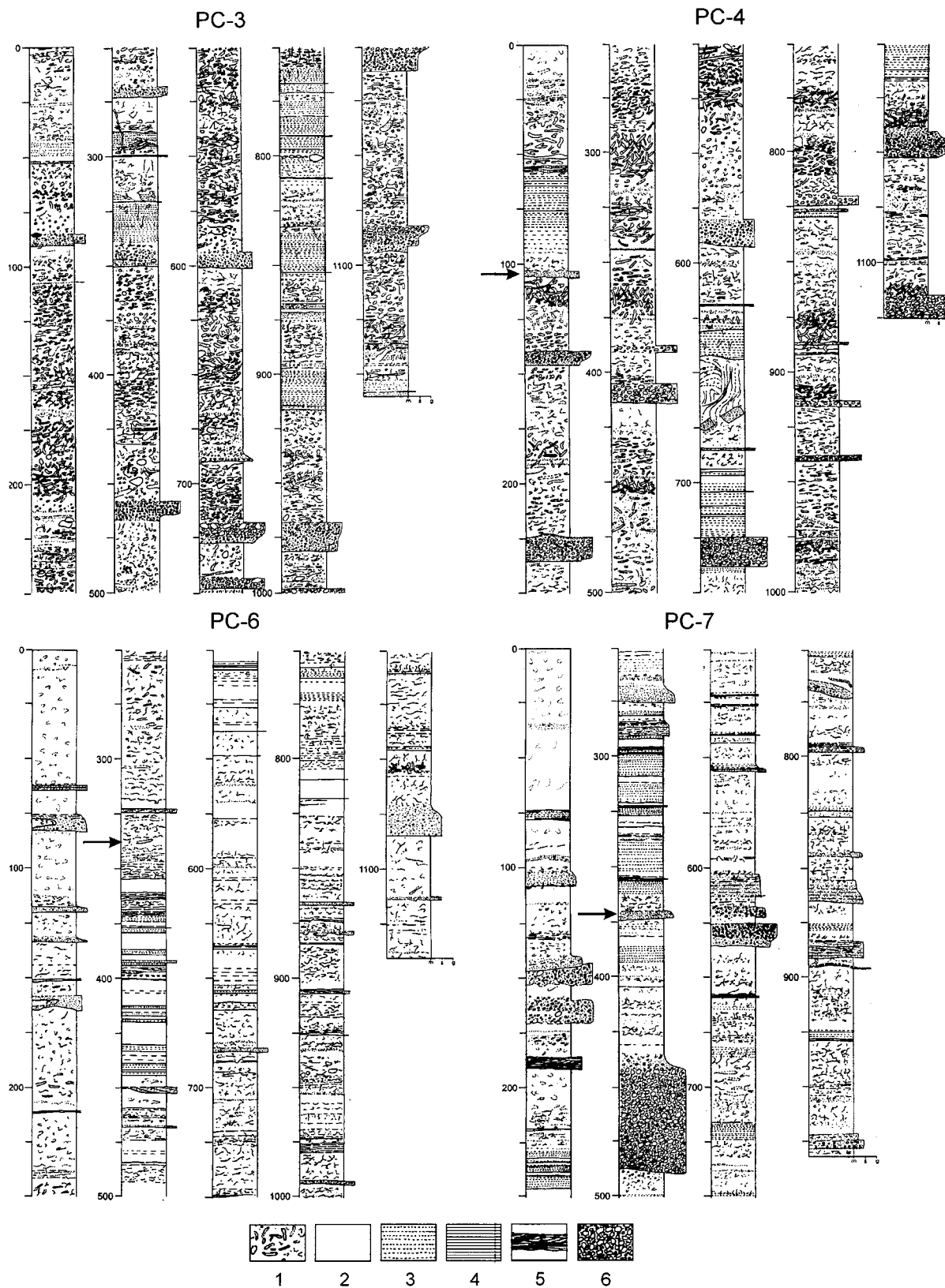
기존의 연구에서 탄성파상 IIIC와 같은 반사 특성은 다수의 침식 또는 퇴적 구조가 일정한 간격으로 두고 근접하여 발달되어 있는 해저에서 우세하게 기록된다(Damuth, 1978). 이러한 지형과 구조는 일반적으로 대륙대나 심해저 선상지에 발달하는 해저수로 충전 퇴적층(Damuth, 1975)이나 해저사태 및 암설류 퇴적체(Embley and Jacobi, 1977; Pratson and Laine, 1989; Yoon *et al.*, 1991)와 관련 있는 것으로 보고되었다. 따라서 탄성파상 IIIC는 대부분 사면사태에 의해 야기된 슬럼프/슬라이드 및 암설류 등 질량류(gravity-related mass flow)에 기인한 것으로 해석할 수 있다.

**퇴적상**

시추퇴적물 시료의 퇴적상은 입도와 X-선 사진에서 인지되는 1차(primary) 및 2차(secondary) 퇴적구조의 특징을 기준으로 5개로 분류되었다.



**Fig. 5.** Distribution of echo facies. Description and interpretation of individual echo facies in Table 1. Dots indicate core locations. Bathymetric contour interval is 500 m. 1=slump scars; 2= major physiographic boundaries; Is.= Island; Smt.=Seamount; UIG=Ulleung Interplain Gap.



**Fig. 6.** Columnar sections of core sediments. Arrowed tephra layers are correlated with Aira-Tanzawa ash (24,300 yrs B.P.) based on Chun (2000). 1=bioturbated mud; 2=homogeneous mud; 3=crudely laminated mud; 4=thinly laminated mud; 5=cross-laminated mud; 6=massive muddy gravel or sand (volcanic ash). See Figure 3 for core locations. Core depth in cm.

**생물교란 니(bioturbated mud)**

이 퇴적상은 조사지역의 모든 코아에서 가장 우세하게 나타나는데, 직경 1 cm가 넘는 *Thalassinoides*, *Planolites*와 같은 벌레구멍(burrow)에서부터 1 mm 내외의 *Chondrites*까지 다양한 생물활동 흔적이 서로 교차하는 생물교란 조직을 특징적으로 보여준다(Figs. 6, 7). 1차 퇴적구조는 거의 관찰되지 않으며, 퇴적상의 경계면은 다소 불분명하고 두께도 다양하게 나타난다(Fig. 7). 입도는 대부분 8~10Φ의 범위에서 변화하며, 점토가 50% 이상으로 우세하다.

퇴적층 내의 광범위한 생물교란이 이루어지기 위해서는 저서생물들이 매몰되지 않고 충분히 표층 퇴적물을 교란할 정도로 퇴적률이 낮아야 하고, 생물서식에 유리한 호기성 조건이 만족되어야 한다. 따라서 온대 심해저에서의 생물교란 니 퇴적상은 암설류나 저탁류와 같이 다량의 퇴적물 유입작용이 없이, 해수순환이 양호한 수층 내에서 세립질 부유성 입자들이 느린 속도로 침전하는(반) 원양성 퇴적을 지시하는 것으로 해석된다(Stanley and Maldonado, 1981; Chough *et al.*, 1984). 실제로 생물교란 니 퇴적상이 우세한 코아 PC-4의 상부에서 Aira-Tanazawa 화산재층이 인지되는데(Fig. 6; Chun, 2000), 이 층의 절대연령(24,300년 전)에 따른 단순 퇴적률(퇴적층의 압밀효과 고려치 않음)은 약 4 cm/1000년으로서 원양 심해저의 평균 퇴적률 10 cm/1000년(Stow, 1985)의 절반 수준이다.

**균질 니(homogenous mud)**

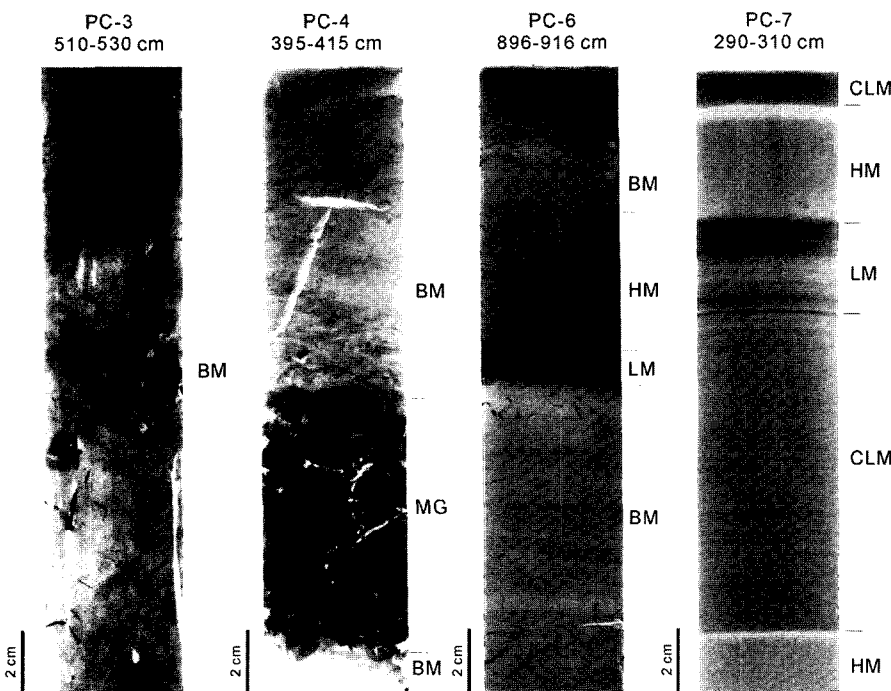
균질 니 퇴적상에서는 부분적인 점이층리를 제외한 1차 퇴적구조 및 생물교란이 거의 나타나지 않는데, 일반적으로 박층리 니의 상부에 나타나는 경향이 강하다(Fig. 6의 PC-6, PC-7). 상하 경계면 모두에서 점이적인 입도 및 구조 변화를 보이며, 층의 두께는 대부분 15 cm 이하로 얇게 나타난다(Fig. 7). 평균입도는 8~10Φ로 생물교란 니와 유사하다.

점토가 우세한 균질 니 퇴적상은 뜬집으로 이동되던 세립 입자들이 저에너지 조건에서 침전되어 형성된 것으로 보인다. 특히, 생물교란이 거의 나타나지 않고 박층리 니의 상부에 우세하게 나타나는 것으로 보아(Fig. 7) 저탁류에 의해 이동되다가 비교적 급속히 퇴적된 것으로 해석된다. 따라서 본 퇴적상은 Bouma(1962)의 T<sub>2</sub> 분층, Chough *et al.*(1984)의 E<sub>2</sub> 또는 E<sub>3</sub> 분층에 해당된다. 세립질 저탁류층 형성 모델(Hesse and Chough, 1980)에 따르면, 이러한 분층들은 저탁류의 속도가 약화되어 난류가 소멸하는 단계에서 세립질 퇴적물이 실트와 점토 박층(laminae)으로 분급되지 않고 혼합된 상태에서 침전되어 형성된 것들이다. 이 경우, 점토는 일반적으로 점착력에 의한 뭉침현상(flocculation)이 있어서 침전속도는 실트와 큰 차이가 나지 않게 되며, 따라서 실트와 점토는 함께 침전되어 균질한 니를 형성하게 된다.

**희미한 층리 니(crudely laminated mud)**

희미한 층리 니는 수 cm 이내에서 30 cm까지의 다양한 층후를 가지며(Fig. 6), 각 켜의 구분이 다소 불분명하고, 하부에서 상부로 가면서 켜의 두께나 입도의 체계적인 변화가 없다(Fig. 7). 이 퇴적상은 대개 분급이 불량한 균질 니와 불규칙하게 산재하는 부유성 유공층 모래 입자로 이루어져 있으며, 층리 니-균질 니 순차층과 교호하거나, 생물교란 니와 교호하며 나타난다.

분급이 불량한 구조질 니와 불규칙하게 산재하는 부유성 유공층 모래 입자, 입도와 켜 두께의 체계적인 수직적 변화가 없는 점등은 이 퇴적상이 반원양성 퇴적작용에 의해 형성되었음을 지시한다. 특징적으로 나타나는 희미한 층리는 저층수의 용존산소 농도가 매우 낮은 환경에서 생물교란작용이 억제되어 표층으로부터의 반원양성 입자 퇴적의 주기적 변화가 보존되어 형성된 것으로 여겨진다(Bahk *et al.* 2000). 동해에는 지난 최후빙기 동안의 해수면 하강으로 해수 순환이 정체되면서, 현재와 달리 저층수는 무산소



**Fig. 7.** X-radiographs of sedimentary facies. For core locations, see Figure 3. BM=bioturbated mud; MG=massive muddy gravel; LM=laminated mud; CLM=crudely laminated mud; HM=homogeneous mud.



환경에 놓였던 것으로 보고되고 있다(Oba *et al.*, 1991; Gorbarenko and Southon, 2000).

**박층리 니(laminated mud)**

박층리 니(또는 니질사)는 실트질(혹은 사질)겨와 점토질 겨로 분리되는 층리가 관찰되며, 각 겨의 두께가 상부로 가면서 감소하는 점이층리의 양상을 보여준다(Fig. 7). 층리 니는 상부의 균질 니로 점이적으로 변하거나, 층후가 얇은 경우에는 부분적으로 생물교란되어 있다(Fig. 6). 경우에 따라 사층리를 보이거나 하부경계가 경사진 침식면을 이루기도 한다. 평균입도는 생물교란 니나 희미한 층리 니와 비교해서 뚜렷한 차이를 보이지는 않으나, 실트와 점토가 각각 수 mm 이하의 얇은 겨로 분리되어 비교적 규칙적이고 선명한 층리를 형성한다. 퇴적상의 하부 경계면은 비교적 뚜렷하며, 경우에 따라서는 침식면으로 나타나기도 한다. 이 퇴적상은 한국대지보다는 울릉분지간 통로 등 심해저 평원에서 채취된 PC-5, PC-6, PC-7에서 우세하게 관찰된다(Fig. 6)

얇고 규칙적이며 뚜렷한 층리, 생물교란이 없고 명확한 상 경계면 등은 일반적으로 세립질 퇴적물로 구성된 저탁류 퇴적층에서 보고되고 있는 특징들이다(Piper, 1978; Hill, 1984). 저탁류 퇴적층에서 박층리 니 퇴적상은 T<sub>1</sub>(Bouma, 1962) 또는 E<sub>1</sub> 분층(Chough *et al.*, 1984)으로 분류되는데, 저탁류와 해저면 사이의 경계면에 발달하는 점성부층(viscous sublayer)에서 일어나는 솟구침과 휩쓸림(burst and sweep) 현상에 의해 실트와 점토가 분리되어 집적됨으로써 수 mm 이하의 교호하는 박층리가 형성되는 것으로 알려져 있다(Hesse and Chough, 1980).

**괴상 니질역 또는 사**

괴상의 니질역 퇴적상은 조사지역 모든 코아에서 관찰되는데, -1~4Φ 범위의 분급이 불량한 부석질 화산재로 구성되어 있다. 일반적으로 내부 퇴적구조가 뚜렷하지는 않지만 부분적으로 밀도층리를 이루기도 한다(Fig. 7). 층의 하부경계는 비교적 선명하지만 상부경계는 점이적인 경우가 많다. 두께는 평균 8~10 cm이며, 최대 57 cm까지 집적된 경우도 있다. 전반적으로 뚜렷이 구별되는 층을 이루고 있지만, 조립질 화산재 입자들이 생물교란된 니 속에 층리나 겨를 이루면서 산재하는 양상으로 나타나기도 한다(Fig. 6).

**퇴적 작용 및 환경**

본 연구지역에서 고해상 음향 신호의 최대 투과깊이는 해저면 하 50 m 정도로 나타나는데, 동해 일본분지와 야마토분지에서 취득된 ODP 시추 퇴적물의 생층서 분석결과(Burckle *et al.*, 1992)에 따르면, 제3기와 제4기 층경계는 해저면 하 70~220 m에서 인지된다. 이를 한국대지 및 울릉분지 지역에도 적용하면 본 연구에서 분석된 탄성파상은 대부분 제4기 플라이스토세 후기와 홀로세에 집적된 퇴적층의 특성을 반영한다고 할 수 있다. 또한 990~1170 cm 길이로 채취된 시추퇴적물도 화산재층서를 이용한 연대 대비 결과, 최하부는 117,000년으로 플라이스토세 후기에 해당된다(Chun, 2000). 따라서 고해상 탄성파상과 시추퇴적물의 퇴적상을 통해 후기 플라이스토세 이후 제 4기 동안의 퇴적양상을 추정해 볼 수 있다.

**한국대지**

수심 1,500 m 이하의 한국대지는 다양한 규모의 해저릉과 급경사의 단애를 갖는 해저산, 그리고 이들 돌출지형 사이의 좁은 해곡과 해저수로 등이 불규칙하게 분포하는 기복이 심한 지형 특징을 보인다(Figs. 2, 4). 한국대지에서 취득된 3개의 시추코아 퇴적물(PC-2, PC-3, PC-4)에서는 반원양성 퇴적을 지시하는 생물교란 니와 희미한 층리 니 그리고 이에 협재하는 화산재층이 분지평원에서와는 달리 저탁류 퇴적물과 교호하지 않고 두껍게 나타난다(Fig. 6). 이러한 퇴적상의 특징은 평행한 다수의 내부 반사면을 보이는 탄성파상 IIA와 밀접한 관계를 갖는데, 경사가 다소 급한 해릉 및 해저산의 사면, 해곡, 수로 등을 제외한 대부분의 한국대지 지역에서 이러한 탄성파상 IIA가 우세하게 기록된다(Fig. 5). 이와 같은 퇴적상 및 탄성파상 분포는 한국대지가 한반도 및 일본열도 대륙붕이나 대륙 사면으로부터 퇴적물 공급을 받는 울릉분지의 평원이나 기타 분지 주변부와는 달리, 육성기원 퇴적물의 유입이 거의 차단되어 주로 원양성 퇴적물과 화산기원 퇴적물이 우세하게 집적되었음을 반영하는 것으로 보인다. 이는 주변 육상과 차단되었다는 지리적 요인과 기복이 심한 지형특성에 주로 기인한다.

원양성 세립질 퇴적물에서 나타나는 다양한 생흔들의 수직적 양상의 변화는 저층수의 산소농도 변화와 밀접하게 관련된 것으로 알려져 있다(Behl and Kennett, 1996; Savrda and Bottjer, 1989). 특히, Savrda and Bottjer(1989)는 생흔의 다양성, 직경, 저질에서의 분포 깊이 등이 저층수의 산소농도가 감소함에 따라 줄어든다는 점과 저질의 깊이에 따라 감소하는 공극수 용존산소량에 적응하기 위하여 저질 깊이가 증가함에 따라 서식하는 생물체의 크기가 감소한다는 사실 등에 착안하여 고기 해성 퇴적물에 나타나는 생흔구조의 수직적 변화로부터 저층수의 산소농도의 변화를 유추하는 모델을 수립하여 적용한 바 있다. 이 지역의 시추퇴적물에서 생물교란 니에 나타나는 생흔구조의 변화에 이 모델을 적용해 보면, 상부로 가면서 점차 큰 생흔구조가 사라지고, 작고 수평적인 Chondrites 생흔구조만 나타나고 그 상부에 희미한 층리 니가 오는데, 이는 저층수의 산소농도가 점진적으로 감소하여 생물교란 작용이 거의 일어나지 않는 정도로 떨어졌음을 지시한다. 또한 희미한 층리 니 위에 *Planolites*로 추정되는 상대적으로 큰 생흔들이 나타나고 그 교란정도가 하부로 가면서 감소하는 것은 저산소 환경이 상당기간 지속된 후에 산소농도가 비교적 빠르게 상승하였음을 지시한다. 부분적으로 보존된 유공충 겨들은 상대적으로 짧은 저산소 환경동안 생성되었다가, 그 후의 유산소환경 동안의 생물교란 작용에 의해 교란되었음을 지시한다.

한편, 한국대지의 경사가 다소 급한 해릉 및 해저산의 사면에서는 해저사태를 지시하는 함몰흔적(slump scar)이 관찰되며, 이에 접하여 탄성파상 IIC 또는 IIIC를 보이는 질량류 퇴적체가 다양한 규모로 분포한다(Fig. 5). 함몰대에서 채동된 퇴적물은 함몰대의 하부사면에 주로 투명한 내부 반사특성을 보이는 암설류 퇴적체로 놓여 있으며, 일부는 해곡이나 해저수로를 따라 나타나기도 한다. 해저사태는 일반적으로 불안정한 사면에서 폭풍해파(storm wave)나 지진에 의해 해저면이 교란되어 발생되는데, 폭풍해파의 최대 영향수심이 100m를 넘지 않는다는 점(Lee and Edwards, 1986)을 감안한다면, 한국대지에서의 해저사태는 주로 지진에 의해 발생한 것으로 추정되며, 조사지역 내 SeaBeam 영상자료(Fig.

2)에서는 이러한 지진의 발생지가 될 수 있는 급경사의 단층면이 인지된다. Lee *et al.*(2002)은 한국대지 사면의 천부 퇴적층에서 폭넓게 나타나는 해저포행(submarine creep), 사면붕괴(slope failure) 및 이에 연계된 중력류의 발생 원인을 이와 같은 지진으로 해석한 바 있다.

### 한국대지 사면

수심 1,500~2,600 m, 경사 8° 이하의 한국대지 사면은 전반적으로 동북동-서남서 방향으로 나타나며, 울릉도 화산체와는 깊은 해곡에 의해 분리되어 있다. 이곳에는 다양한 규모의 V자형 해저협곡이나 해저계곡이 형성되어 있으며(Fig. 2), 탄성파상 IIIA로 나타나는 불규칙한 돌출지형들이 특징적으로 발달되어 있다(Figs. 4, 5). 사면사태를 지시하는 탄성파상 IIC와 IIIC는 주로 울릉도 화산체와 울릉 해저산에 인접한 사면에서 대규모로 분포한다. 경사 7~8°의 한국대지 사면과 0.1° 이하의 울릉분지간통로 및 울릉분지 평원과의 경계는 경사의 급변으로 비교적 뚜렷하게 나타나는 반면, 분지간통로의 반대편 오키뱅크 사면에는 암설류 및 저탁류의 퇴적층이 잘 발달되어 완경사의 사면을 보인다(Fig. 2). 한국대지와 사면 지역에 적지 않은 사면붕괴 흔적(slope failure scar)과 재동된 해저사태 퇴적층이 분포하고(Figs. 4, 5), 해저협곡 등 퇴적물 운반통로의 발달에도 불구하고 사면말단(base of slope)과 분지평원에는 이로부터 공급된 퇴적물의 집적체나 이동통로(mass-flow chute)가 뚜렷하게 나타나지 않는다(Fig. 2). 이러한 퇴적층 분포의 차이는 양쪽 사면에서 재동되어 분지간 통로로 유입되는 퇴적물 양의 차이로써 설명할 수도 있겠지만, 제 4기 동안 오키뱅크 지역의 퇴적물 집적체나 해저사태 발생빈도가 한국대지에 비해 더 높다는 뚜렷한 증거는 아직 보고되어 있지 않다. 따라서, 퇴적층 분포 차이에 대한 설명으로서 기원 퇴적물의 조직과 사면 경사 특성을 또다른 가능성으로 제안해본다. 한국대지에는 점토 함량이 50% 이상인 평균입도 8~10 $\Phi$ 의 (반)원양성 퇴적물이 우세하다. 이와 같은 세립질 퇴적물이 사면에서 해저사태에 의해 재동되어 슬라이드, 슬럼프, 암설류 단계를 거치면서 급경사의 사면을 이동할 경우, 주변 해수와의 활발한 혼합으로 난류운동이 우세하게 될 것이다. 따라서, 점토와 실트가 대부분인 퇴적물은 전형적인 저탁류처럼 해저면을 따라 흐르기보다는 난류에 의해 쉽게 부유되어 고탁도 수층(turbid nepheloid plume)을 형성하게 될 것이다. 이러한 저층의 고농도 수층은 일정 수심까지 서서히 사면을 따라 흐르다가 사면말단이나 평원의 비교적 넓은 지역에 고르게 퇴적물을 집적시키거나, 분지간통로를 흐르는 저층수에 의해 울릉분지 평원으로 이동되어 버리기 때문에 한국대지 사면말단에는 두꺼운 질량류 퇴적체의 발달이 미약할 것으로 추정된다.

### 울릉 분지간통로 및 분지 평원

울릉 분지간수로와 오키뱅크 사면 말단을 포함하는 울릉 분지간통로는 울릉분지와 일본분지를 연결하는 심해지형으로서, 북동쪽으로 매우 완만하게 경사져 있는, 수심 2,000~2,600 m의 비교적 평탄한 부분이다(Fig. 3). 이 지역에는 SeaBeam 탐사에 의해 보고된 바와 같이(한국해양연구소, 1996, 1997), 다양한 규모의 해저수로가 오키뱅크와 독도 사면으로부터 발달하고 있으며, 울릉해저산 주위의 모트(moat)가 해저면 침식으로 형성되어 있다(Fig. 2).

특히, 오키뱅크 사면 쪽의 울릉 분지간통로에서는 침식에 의한 것으로 보이는 다양한 규모의 기복이 나타난다.

울릉 분지간수로 및 울릉도 화산체와 울릉해저산 사이의 평탄한 해저에는 해저류 또는 저탁류 작용을 지시하는 탄성파상 IIB가, 울릉 분지간 수로 인접지역 및 독도와 오키뱅크 하부사면 지역에는 반원양성 퇴적과 간헐적인 저탁류의 영향을 지시하는 탄성파상 IIA가 우세하게 분포하며, 독도사면 말단에는 불규칙한 표면의 암설류 퇴적체(탄성파상 IIC)가 형성되어 있다(Figs. 4, 5). 탄성파상 IIB는 일반적으로 연흔과 같은 소규모 퇴적면 구조가 잘 발달된 저탁류(Damuth, 1978; Pratson and Laine, 1989) 또는 해저류 퇴적층(Kenyon, 1986; Yoon *et al.*, 1991)을 지시하는 것으로 해석되고 있는데, 울릉 분지간수로 내에 분포하는 탄성파상 IIB는 주로 분지간수로를 따라 일본분지로부터 유입되는 저층수에 의한 퇴적 또는 재동작용을 반영하는 것으로 보인다.

울릉 분지간수로 주변의 탄성파상 IIA와 IIB 지역에서 채취된 코어 퇴적물(PC-5, PC-6, PC-7)은 얇고 규칙적이며 뚜렷한 박층리, 생물교란이 없고 명확한 퇴적상 경계면 등을 특징으로 하고 있으며, 이는 심해 세립질 저탁류 퇴적층에서 일반적으로 보고되고 있는 특징들이다(Piper, 1978; Chough, 1984). 박층리 니와 균질 니 층의 두께 변화를 보면, 울릉도 화산체와 울릉 해저산 사이의 PC-7 코어에서는 비교적 두꺼운 반면, 해저수로에 가장 가까운 PC-5에서는 미약하다. 대신 PC-5 코어에서는 전반적으로 생물교란된 니가 분포한다. 이는 해저수로를 발달시킨 저층수의 작용에 의해 대부분의 저탁류 퇴적물들이 재동되거나 지속적인 저서 생물들의 활동에 의해 그 흔적이 지워졌음을 지시한다. 한편 희미한 층리 니 퇴적상과 층리 니-균질 니 퇴적상이 반복되는 구간은 무산소 혹은 저산소 저층환경에서 생물교란이 억제되는 가운데 원양성 퇴적작용과 간헐적인 저탁류의 유입이 반복되었음을 지시한다(Bahk *et al.*, 2000). 탄성파상 IIA는 한국대지의 것과 비교해서 내부반사파의 평행성과 측면연속성이 불량하며 퇴적층리의 두께 변화가 심하게 관찰된다(Fig. 4). 이러한 퇴적층리의 두께 변화는 울릉분지간통로에 우세한 심층수의 유동에 따른 침식이나 소규모 질량류 퇴적층이 부분적으로 협제되는 데에 기인한 것으로 추정된다.

### 울릉해저산 및 울릉도 화산체

울릉해저산은 수심 850~2,200 m 사이에 분포하는데, 주로 쌍곡선 반사파로 이루어진 탄성파상 IIIA를 특징적으로 보인다. 특히 해저산의 말단부에는 비교적 일정한 높이(10~25 m)의 쌍곡선 반사파가 규칙적으로 중첩되어 나타나는 탄성파상 IIIC가 관찰된다. 이러한 쌍곡선 반사파는 사면사태에 의한 슬럼프나 슬라이드, 암설류 퇴적층의 표면기복을 반영하는 것이다. 울릉 화산체 역시 사면에서는 표면이 비교적 불규칙한 퇴적물 피복이 적은 급경사의 돌출 암반(탄성파상 IIIA)이 우세하게 나타나며, 사면말단에는 이러한 사면을 통과하여 집적된 슬럼프, 슬라이드 및 암설류에 의한 탄성파상 IIIC의 질량류 퇴적체가 관찰된다.

## 결론

한국대지 및 울릉분지간통로에 분포하는 제 4기 퇴적층의 고해상 탄성파상과 퇴적상 분석결과, 한국대지는 경사가 다소 급한 해

릉 및 해저산의 사면, 해곡, 수로 등을 제외한 대부분 지역에서 주로 (반)원양성 퇴적물과 화산기원 퇴적물이 우세하게 집적되었으며, 이는 주변 육상과 차단되어 퇴적물 유입이 매우 제한되어 있음을 반영한다. 한편, 한국대지의 경사가 다소 급한 해릉 및 해저산의 사면에서는 해저사태를 지시하는 함몰흔적과 이에 접하여 슬럼프, 슬라이드, 암설류 등의 질량류에 의해 재동된 퇴적체가 분포하며, 이러한 해저사태는 주로 단층활동과 연관된 지진에 의해 야기된 것으로 추정된다. 급경사의 한국대지 사면에도 해저사태에 의한 대규모 질량류 퇴적층이 분포하며, 불규칙한 돌출지형과 함께 다양한 규모의 V자형 해저협곡이나 해저계곡이 형성되어 있다. 이러한 통로를 통한 울릉분지로의 퇴적물 이동은 점토가 우세한 세립질 특성과 사면의 급경사 때문에 쉽게 부유되어 전형적인 저탁류보다는 부유입자로 구성된 고농도 수층의 형태로 이루어지면서, 사면말단과 분지평원에 광범위하게 집적된 것으로 추정된다. 울릉분지간통로 지역은 통상적인 (반)원양성 침전과 주로 오키벵크와 독도 사면에서 해저수로를 통해 유입되는 간헐적인 저탁류와 암설류가 주된 퇴적작용의 역할을 하였으며, 이와 함께 일본분지로부터 유입되는 심층수에 영향으로 분지간수로와 그 주변 해저에 분포하는 퇴적물이 활발히 재동된 것으로 보인다. 울릉해저산 및 울릉도 화산체의 사면은 퇴적물 피복이 적어 돌출 암반이 노출되어 있으며, 사면말단에는 국지적으로 슬럼프, 슬라이드 및 암설류에 의한 질량류 퇴적체가 분포한다.

사 사

본 연구는 2000년도 제주대학교 해양과학대학 두뇌한국(BK)21 사업단 산학협동 공동과제 지원사업의 일환으로 수행되었다. 분석 자료는 1996년 한국해양연구원 '동해분지의 해양환경 변화와 지구구조 진화 연구(2차년도)' 사업(BSPE 98709-00-1136-5)의 일환으로 취득된 것이며, 자료 취득과 처리에 참여하신 한국해양연구원 지구해양환경연구본부 연구원들과 온누리호 승무원들께 감사 드린다. 아울러 논문 심사과정에서 유익한 조언을 주신 전남대 전승수 교수님과 한국해양연구원 이상훈 박사님께 깊은 감사를 드린다.

참고문헌

윤석훈, 이희준, 한상준, 김성렬, 1996. 동해 대륙사면(삼척-양양)에서의 제 4기 퇴적작용. *대한지질학회지*, **32**: 250-266.  
 최동림, 김성렬, 유해수, 석봉출, 한상준, 최진혁, 1989. 동해 대륙연변부의 천부탄성과 특성. *해양연구*, **11**: 15-27.  
 한국해양연구소, 1996. 한국 대수심 해역의 지구조적 해저환경 연구(2-3차년도). 한국해양연구소, BSPN00321-950-5, 548 pp.  
 한국해양연구소, 1997. 동해분지의 해양환경 변화와 지구구조 진화 연구(1차년도). 한국해양연구소, BSPE97605-00-1037-5, 657 pp.  
 한상준, 김한준, 허 식, 박찬홍, 김성렬, 이용국, 유해수, 최동림, 박병권, 1997. 동해 울릉분지 북동부(울릉도와 독도 주변) 해역의 분지구조. *대한지질학회지*, **33**: 127-138.  
 Bahk, J.J., S.K. Chough and S.J. Han, 2000. Origin of laminated mud and its paleoceanographic significance in the Ulleung Basin, East Sea (Sea of Japan). *Mar. Geol.*, **162**: 459-477.  
 Behl, R.J. and J.P. Kennett, 1996. Brief interstadial events in the

Santa Barbara basin, NE Pacific, during the past 60 kyr. *Nature*, **379**: 243-246.  
 Bouma, A.H., 1962. *Sedimentology of Some Flysch Deposits: A graphic approach to facies interpretation*. Elsevier, Amsterdam, 168 pp.  
 Burckle, L.H., C.A. Brunner, J. Alexandrovich, et al., 1992. Biostratigraphic and biochronologic synthesis of Legs 127 and 128: Sea of Japan. *Proc. ODP, Scientific Results*, **127/128**: 1219-1228.  
 Chough, S.K., G.H. Lee, B.K. Park and S.W. Kim, 1984. Fine structures of turbidite and associated muds in the Ulleung (Tsushima) Basin, East Sea (Sea of Japan). *Jour. Sed. Petrol.*, **54**: 1212-1220.  
 Chough, S.K., K.S. Jeong and E. Honza, 1985a. Zoned facies of mass-flow deposits in the Ulleung (Tsushima) Basin, East Sea (Sea of Japan). *Mar. Geol.*, **65**: 113-125.  
 Chough, S.K., D.C. Mosher and S.P. Srivastava, 1985b. Ocean Drilling Program (ODP) site survey (Hudson 84-30) in the Labrador Sea: 3.5 kHz profiles. Geological Survey of Canada, Paper, **85-1B**: 33-41.  
 Chough, S.K., S.H. Yoon and H.J. Lee, 1991. Submarine slides in the eastern continental margin, Korea. *Mar. Geotech.*, **10**: 71-82.  
 Chough, S.K., S.H. Lee, J.W. Kim, S.C. Park, D.J. Yoo, H.S. Han, S.H. Yoon, S.B. Oh, Y.B. Kim and G.G. Back, 1997. Chirp (2-7 kHz) echo characters in the Ulleung Basin. *Geosciences Journal*, **1**: 143-153.  
 Chun, J.H., 2000. Late Pleistocene to Holocene Tephrostratigraphy and Palaeoenvironment of the Ulleung Basin in the East Sea, Korea. Ph.D. Thesis, Kangwon National University, Chuncheon, 283 pp.  
 Damuth, J.E., 1975. Echo character of the western equatorial Atlantic floor and its relationship to dispersal and distribution of terrigenous sediments. *Mar. Geol.*, **18**: 17-45.  
 Damuth, J.E., 1978. Echo character of the Norwegian-Greenland Sea: relationship to Quaternary sedimentation. *Mar. Geol.*, **28**: 1-36.  
 Damuth, J.E., 1980. Use of high-frequency (3.5-12 kHz) echograms in the study of near-bottom sedimentation processes in the deep-sea: a review. *Mar. Geol.*, **38**: 51-75.  
 Damuth, J.E. and R.W. Embley, 1981. Mass-transport processes on Amazon Cone: western equatorial Atlantic. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.*, **65**: 629-643.  
 Embley, R.W., 1976. New evidence for occurrence of debris flow deposits in the deep sea. *Geology*, **4**: 371-374.  
 Embley, R.W., 1980. The role of mass transport in the distribution and character of deep-ocean sediments with special reference to the North Atlantic. *Mar. Geol.*, **38**: 23-50.  
 Embley, R.W. and R.D. Jacobi, 1977. Distribution and morphology of large submarine sediment slides and slumps on Atlantic continental margins. *Mar. Geotech.*, **2**: 205-228.  
 Ewing, M., R.W. Embley and T.H. Shipley, 1973. Observations of shallow layering utilizing the pinger-probe echo sounding system. *Mar. Geol.*, **14**: 55-63.  
 Gorbarenko, S.A. and J.R. Southon, 2000. Detailed Japan Sea paleoceanography during the last 25 kyr: constraints from AMS dating and  $\delta^{18}O$  of planktonic foraminifera. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **156**: 177-193.  
 Hesse, R. and S.K. Chough, 1980. The Northwest Atlantic Mid-Ocean Channel of the Labrador Sea: II. Deposition of parallel laminated levee-muds from the viscous sublayer of low density turbidity

- currents. *Sedimentology*, **27**: 697–711.
- Hill, P.R., 1984. Sedimentary facies of the Nova Scotian upper and middle continental slope, offshore eastern Canada. *Sedimentology*, **31**: 293–309.
- Jolivet, L. and K. Tamaki, 1992. Neogene kinematics in the Japan Sea region and volcanic activity of northeast Japan arc. *Proc. ODP, Scientific Results*, **127/128**: 1311–1331.
- Kenyon, N.H., 1986. Evidence from bedforms for a strong poleward current along the upper continental slope of northwest Europe. *Mar. Geol.*, **72**: 187–198.
- KORDI, 1997. Marine Environment Changes and Basin Evolution in the East Sea, Korea (MECBES-97). *Korea Ocean Research and Development Institute Report*, BSPE97605-00-1037-5, 657 pp.
- Lee, H.J. and B.D. Edwards, 1986. Regional method to assess offshore slope stability. *Jour. Geotech. Eng.*, **112**: 489–509.
- Lee, H.J., S.K. Chough, S.S. Chun and S.J. Han, 1991. Sediment failure on the Korea Plateau slope, East Sea (Sea of Japan). *Mar. Geol.*, **97**: 363–377.
- Lee, H.J., S.S. Chun, S.H. Yoon and S.R. Kim, 1993. Slope stability and geotechnical properties of sediment of the southern margin of Ulleung Basin, East Sea (Sea of Japan). *Mar. Geol.*, **110**: 31–45.
- Lee, S.H., 2001. Depositional Processes of Quaternary Sediments in the Ulleung Basin, South Korea Plateau, Ulleung Interplain Gap and Oki Bank, East Sea: Chirp (2–7 kHz) Profiles. Ph.D. Thesis, Seoul National University, Seoul, 156 pp.
- Lee, S.H. and S.K. Chough, 2001. High-resolution (2–7 kHz) acoustic and geometric characters of submarine creep deposits in the South Korea Plateau, East Sea. *Sedimentology*, **48**: 629–644.
- Lee, S.H., S.K. Chough, G.G. Back and Y.B. Kim, 2002. Chirp (2–7 kHz) echo characters of the South Korea Plateau, East Sea: styles of mass movement and sediment gravity flow. *Mar. Geol.*, **184**: 227–247.
- Lelikov, E.P. and I.I. Bersenev, 1975. Early Proterozoic gneiss-migmatite complex of the Japan Sea, southwestern part. *Proc. Academic Sci. U.S.S.R.*, **223**: 676–679.
- Mullins, H.T., M.R. Bordman and A.C. Neumann, 1979. Echo character of off-platform carbonates. *Mar. Geol.*, **32**: 251–268.
- NORI (National Oceanographic Research Institute), 1998. Bathymetric Chart of Middle Part of East Sea (No. B4623). Ministry of Maritime Affairs and Fisheries, ROK.
- Oba, T., M. Kato, H. Kitazato, I. Koizumi, A. Omura, T. Sakai, and T. Takayama, 1991. Paleoenvironmental changes in the Japan Sea during the last 85,000 years. *Paleoceanography*, **6**: 495–518.
- Piper, D.J.W., 1978. Turbidite muds and silts in deep-sea fans and abyssal plains. Sedimentation in Submarine Fans, Canyons and Trenches, edited by Stanley, D. and G. Kelling, Hutchinson and Ross, Stroudsburg, Penn., pp. 163–176.
- Piper, D.J.W., J.A. Farre and A. Shor, 1985. Late Quaternary slumps and debris flows on the Scotian slope. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **96**: 1508–1517.
- Pratson, L.F. and E.P. Laine, 1989. The relative importance of gravity-induced versus current-controlled sedimentation during the Quaternary along the mid-east United States outer continental-margin revealed by 3.5 kHz echo character. *Mar. Geol.*, **89**: 87–126.
- Savrda, C.E. and D.J. Bottjer, 1989. Trace-fossil model for reconstructing oxygenation histories of ancient marine bottom waters: application to upper Cretaceous Niobrara Formation, Colorado. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **74**: 49–74.
- Stanley, D.J. and A. Maldonado, 1981. Depositional models for fine-grained sediment in the western Hellenic Trench, Eastern Mediterranean. *Sedimentology*, **28**: 273–290.
- Stow, D.A.V., 1985. Fine-grained sediments in deep water: an overview of processes and facies models. *Geo-Mar. Lett.*, **5**: 17–23.
- Tamaki, K., 1988. Geologic structure of the Japan Sea and its tectonic implications. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **39**: 269–365.
- Yoon, S.H. and S.K. Chough, 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., S.K. Chough, J. Thiede and F. Werner, 1991. Late Pleistocene sedimentation on the Norwegian continental slope between 67°N and 71°N. *Mar. Geol.*, **99**: 187–207.

---

2003년 4월 17일 원고접수

2003년 5월 26일 수정본채택

담당편집위원: 강효진