

## 울릉분지 북서부 해역의 코어퇴적물에 대한 제4기 후기 테프라 층서 및 테프라층 비교 연구

박명호<sup>1</sup> · 김일수<sup>2\*</sup> · 류병재<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국지질자원연구원 석유·해저자원연구부, <sup>2</sup>연세대학교 지구시스템과학과

### Stratigraphy of Late Quaternary Core Sediments and Comparative Study of the Tephra Layers from the Northwestern Ulleung Basin of the East Sea

Myong-Ho Park<sup>1</sup>, Il-Soo Kim<sup>2\*</sup> and Byong-Jae Ryu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Petroleum · Marine Resources Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Gajeong-dong 30, Yuseong-gu, Daejeon 305-350, Korea

<sup>2</sup>Department of Earth System Sciences, Yonsei University, Shinchon-dong 134, Seodaemun-gu, Seoul 120-749, Korea

Three piston cores, obtained from the northwestern Ulleung Basin of the East Sea, are analyzed to study the tephrostratigraphy of the late Quaternary core sediments and to reveal the comparative characteristics of the tephra layers. The cores consist mainly of the muddy sediments that are partly interbedded with lapilli tephra and ash layers. The muds are further divided into hemipelagic and turbiditic mud facies. The hemipelagic facies is dominated by bioturbated mud and crudely laminated mud, whereas the turbiditic facies includes mainly thinly laminated mud and homogeneous mud, and often alternates with non-turbiditic muds. According to microscopic observation and EDX analysis, three tephra layers of the Ulleung-Oki (U-Oki; ca. 9.3 ka), Aira-Tanzawa (AT; ca. 22~24.7 ka) and Ulleung-Yamato (U-Ym; ca. 25~33 ka) are identified in the study cores. Among these, the U-Oki and U-Ym layers, originating from the Ulleung Island, consist mainly of massive-type glass shards with alkali feldspar. Both of the tephra layers contain a lower content of SiO<sub>2</sub> (57~66.5 wt.%) and a higher content of Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O (11~16 wt.%) than the AT layer (SiO<sub>2</sub>=75~78.5 wt.%, Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O=6.5~9 wt.%) that consists of typical plane-type and/or bubble-wall glass grains. Compared with that of the U-Ym layer, a sedimentary facies of the U-Oki layer is very thick and contains three stratigraphic units, probably due to relatively large and different supplies of pyroclastic sediments. Thus, the eruption of Ulleung Volcano (ca. 7,300 B.C.) is thought to have had a more powerful effect on depositional environment than the U-Ym eruption.

Key words : Muddy sediments, tephra layer, glass shards, Ulleung Basin, late Quaternary

제4기 후기의 세립질 퇴적물의 층서와 테프라층의 특성을 연구하기 위하여 동해의 울릉분지 북서부 해역에서 세 개의 피스톤 코어를 채취하여 분석하였다. 코어퇴적물은 대부분 이질 퇴적물로 이루어져 있으며, 부분적으로 화산재 입자들이 협재되어 있다. 세립질 실트는 반원양성 이토와 저탁류 이토로 나뉜다. 반원양성 이토는 생물교란 이토와 약엽리 이토로 구성되어 있다. 반면 저탁류 이토에는 엽리 이토와 균질 이토가 지배적이며, 이들 퇴적물들은 간혹 비저탁류 퇴적물과 교호한다. 현미경 관찰과 EDX 분석결과에 의하여, 울릉-오키(U-Oki; ca. 9.3 ka), 아이라-탄자와(AT; ca. 22~24.7 ka) 및 울릉-야마토(U-Ym; ca. 25~33 ka) 테프라층을 코어에서 동정하였다. 이 중에서 울릉도 기원의 U-Oki층과 U-Ym층은 알칼리 장석류와 함께 대부분 괴상의 유리질 입자로 구성되어 있다. 두 울릉도 기원의 테프라층은 버블형과 관상형의 유리질 입자로 이루어진 일본 기원의 AT층에 비하여 SiO<sub>2</sub> 함량이 평균 14.2~14.4 wt.% 낮으며 Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O 함량은 평균 6~7 wt.% 높다. 특히 U-Oki층은 U-Ym층에 비하여 매우 두껍고 세 종류의 층서 단위(stratigraphic unit)를 보다 분명하게 보이고 있는데, 이는 상대적으로 크고 연속적인 화산쇄설물의 분급작용에 의하여

\*Corresponding author: ilsookim@yonsei.ac.kr

형성된 것으로 보인다. 따라서 기원전 7,300년의 U-Oki층을 형성한 화산분출이 U-Ym층의 분출 때보다 주변 퇴적환경에 더 큰 영향을 준 것으로 생각된다.

**주요어** : 이질퇴적물, 테프라층, 유리질 입자, 울릉분지, 제4기 후기

## 1. 서 론

동해 울릉분지의 제4기 후기 퇴적물에는 크게 두 가지 기원의 테프라층(tephra layers)이 알려져 있다(Machida and Arai, 1992; Chun *et al.*, 1997; 천종화 외, 1998). 첫 번째는 울릉도 나리 칼데라(Nari Caldera)에서 분출되어 공급된 테프라층이고, 두 번째는 일본 기원의 테프라층이다.

일본 기원의 테프라층 중에 MIS(Marine-oxygen Isotope Stage) 5 이전에 분출하여 형성된 층으로 키카이-아카호야(K-Ah; ca. 6.3 ka), 아이라-탄자와(AT; ca. 22~24.7 ka), 아소-4(Aso-4; ca. 84~89 ka), 아소-3(Aso-3; ca. 110~123 ka) 화산체층 등이 있다(Machida and Arai, 1976; Walker *et al.*, 1984; Machida and Arai, 1992; Machida, 1999). AT층은 큐슈의 아이라 칼데라로부터 공급된 테프라층으로 K-Ah층과 유사한 유문암질 마그마에서 기원했으나, AT층이 상대적으로 SiO<sub>2</sub> 함량에서 3~4 wt.% 정도 더 높은 함량을 갖는다(Furuta *et al.*, 1986). AT층의 분포는 매우 광범위하여 일본과 동해의 대부분의 지역에서 확인되고 있다(Machida, 1999). 심지어 한반도는 물론 중국의 산둥반도에서도 AT층으로 생각되는 유리질 입자가 보고된 바 있다(Eden *et al.*, 1996).

반면 울릉도 나리 칼데라의 화산분출에 의해서 형성된 제 4기 후기 테프라층은 동해지역에서 지금까지 3개가 보고되었다(Chun *et al.*, 1997; Machida and Arai,

1992). 이 중에서 가장 큰 규모의 분출에 의하여 형성된 층은 울릉-오키 테프라층(U-Oki; ca. 9.3 ka)이며, 확산된 범위는 동해를 건너 멀리 일본 혼슈 지역까지 이른다(Machida and Arai, 1992). U-Oki층 내에서 관찰되는 유리질 입자의 주요원소값은 60~62 wt.%의 SiO<sub>2</sub> 함량과 13~14 wt.%의 Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O 함량으로 측정되었다(Furuta *et al.*, 1986; Machida, 1999). 이런 결과로 볼 때, U-Oki층은 조면암질 또는 향암질(trachytic or phonolitic) 마그마로부터 분출된 것으로 일본 기원의 유문암질 화산체층과 쉽게 구별이 된다(Furuta *et al.*, 1986).

일반적으로 테프라층은 테프라시간층서학(tephrochronology) 및 고환경 복원에 크게 기여하고 있음에도 불구하고 동해의 테프라층에 대한 연구는 아직 미흡한 편이다. 특히 분출 시기가 약 25~33 ka인 울릉-아마토(U-Ym; Machida and Arai, 1983; Oba *et al.*, 1991) 테프라층에 대한 조성광물, 퇴적구조 및 지화학적 특성은 거의 알려져 있지 않다. 따라서 이번 논문에서는 제 4기 후기 코어퇴적물의 일반적인 특징과 함께 코어에서 발견된 울릉도 기원의 U-Oki층과 U-Ym층 및 일본 기원의 AT층에 대하여 비교 연구하였다.

## 2. 코어시료와 연구방법

울릉분지 북서부 해역과 한국대지(Korea Plateau)의 남부 해역의 세 정점에서 피스톤 코어러(piston corer)

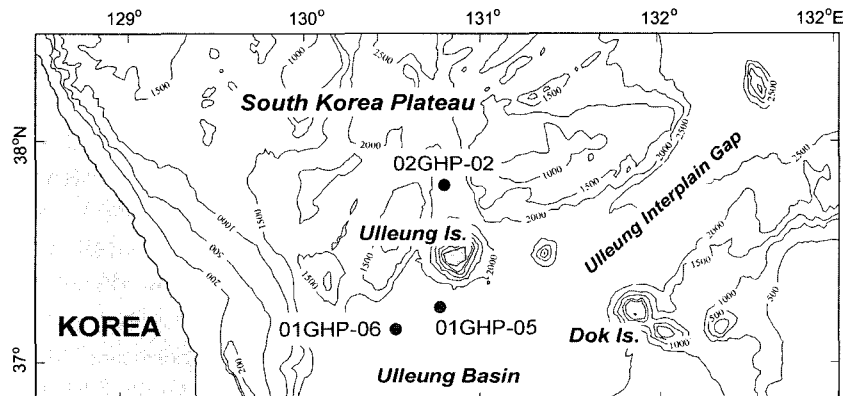


Fig. 1. Location of the piston cores in the northwestern Ulleung Basin and Korea Plateau of the East Sea. Bathymetry in meters.

를 이용하여 천부 코어퇴적물을 채취하였다(Fig. 1). 코어가 채취된 지점의 수심은 2,074~2,174 m이며, 코어의 길이는 7.35~7.55 m이다.

코어퇴적물들은 양면으로 절개하여 한 쪽은 저온창고에 보관하였고, 다른 한 쪽은 분석 시료로 사용하였다. 코어 절개면에서 테프라층은 육안관찰을 통하여 1차로 확인할 수 있었다. 테프라층에서 채취한 시료들은 습식체질(wet sieving)을 하였다. 입자들을 40°C에 건조시킨 후 연세대학교 퇴적학연구실의 SEM(Scanning Electron Microscope, JEOL JSM-5410)과 실체현미경을 이용하여 관찰하였다. 그리고 SEM에 장착된 OXFORD ISIS-300 EDX(Energy-Dispersive X-ray analyzer)를 이용하여 화산재 입자들의 화학조성과 주요원소 분석을 행하였다. EDX분석 시 10 µm 직경의 빔과 20 kV의 가속전압을 사용하였다. <sup>14</sup>C 방법을 통해 절대연령이 알려진 테프라층을 기준으로 일정구간 내의 퇴적률을 계산하였다.

### 3. 결과 및 토의

#### 3.1. 코어퇴적물의 특징과 퇴적상

울릉분지의 남서부 및 서부 해역에서 시추한 코어의 퇴적물(박명호 등, 2002; 김일수 등, 2003)에 대한 연구결과와 마찬가지로 코어퇴적물은 대부분 세립질 실트(fine silt)로 구성되어 있다. 부유성 유공층 패각은 일부 화산재 유리질 입자(volcanic glass shards)가 나오는 구간과 엽리가 발달된 구간에서 발견된다. 이질 퇴적물(muddy sediments)에서 관찰되는 퇴적물의 색은 녹색회색(greenish gray, 10Y 5/1; Munsell Soil Color Charts, 1994)에서 암녹회색(dark greenish gray, 10Y 3/1)까지의 계열이며, 그 중에서 퇴적물의 주된 색은 암녹회색(10Y 4/1)이다.

코어퇴적물의 세립질 실트는 반원양성(hemipelagic) 이토와 저탁류(turbiditic) 이토로 양분된다. 반원양성 이토에는 생물교란 이토(bioturbated mud)와 약엽리 이토(crudely laminated mud)가 있다. 저탁류 이토에는 엽리 이토(laminated mud)와 균질 이토(homogeneous mud)가 지배적이고, 이들 퇴적물들은 간혹 비저탁류(non-turbiditic) 퇴적물과 교호한다(Fig. 2). 생물교란 이토는 코어퇴적물에서 가장 흔하게 발견되는 퇴적상(sedimentary facies)이다. 생물교란 이토는 코어의 상부구간(0~1.7 mbsf)에서 잘 발달되어 있으며, 01GHP-06 코어 이외에 두 코어는 하부구간(> 5.5 mbsf)에서도 생물교란 이토가 발달하여 나타난다(Fig. 2). 엽리가 잘

발달된 엽리 이토와 희미한 엽리를 보이는 약엽리 이토 구간에서는 1~2 mm 두께의 엽리가 관찰되며, 실트질 엽리와 매우 얇은 점토질(clayey) 엽리가 교호한다. 현미경 관찰에 의하면 실트질 엽리는 석영, 장석, 운모 등의 육원성 광물과 유공층의 패각으로 이루어져 있다. 코어의 중간구간(약 1.5~5.5 mbsf)에서는 여러 종류의 퇴적상이 교호하여 나타나며, 특히 저탁류 이토가 다른 구간에 비하여 잘 발달되어 있다.

#### 3.2. 코어퇴적물의 층서 대비

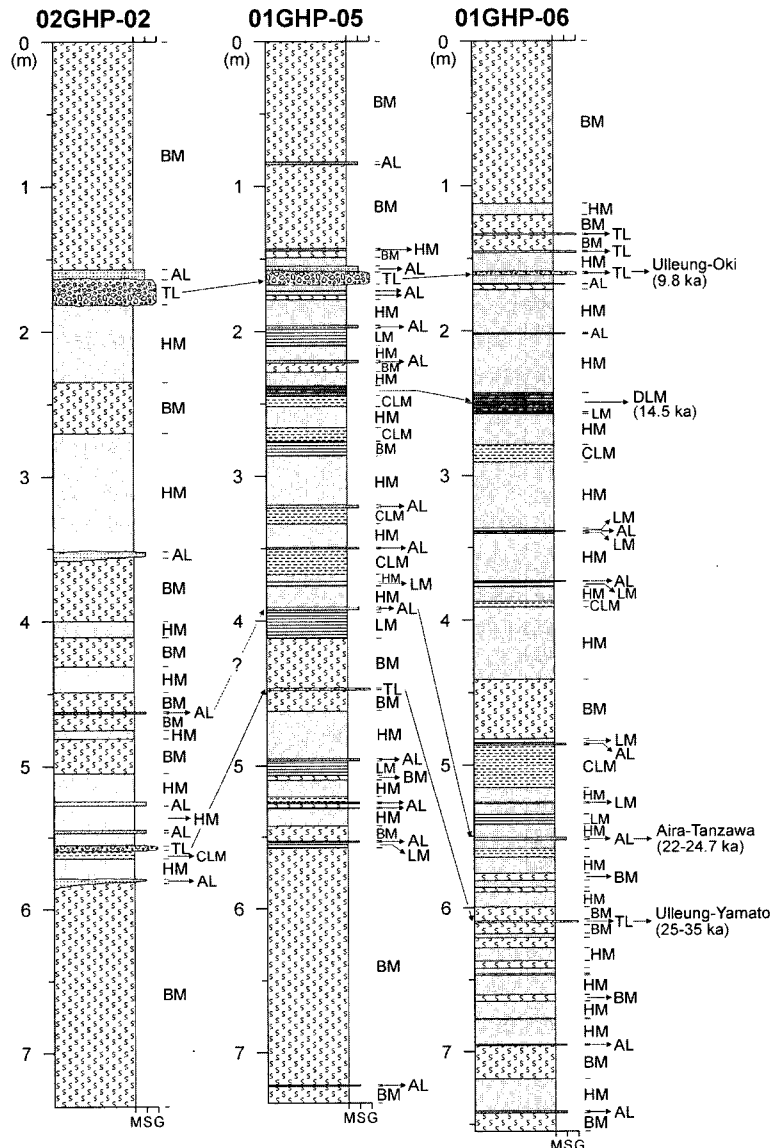
코어에서 관찰되는 테프라층 중에서 기존의 절대연령 측정 방법에 의해 형성 시기가 결정되어진 테프라층은 U-Oki층과 AT층, 그리고 U-Ym층이다. U-Oki층은 약 9.3 ka(Furuta *et al.*, 1986), AT층은 약 22~24.7 ka(Machida and Arai, 1992), 그리고 U-Ym층은 약 25 ka~35 ka(Machida and Arai, 1983; Oba *et al.*, 1991)에 각각 형성되었다. U-Ym층은 다른 두 테프라층과는 달리 형성시기가 확실하지 않다. 위와 같은 테프라층이 코어에서 관찰되지만, 02GHP-02 코어에서 AT층은 01GHP-05와 01GHP-06코어에 비해 상대적으로 미약하게 발달하여 있다. U-Oki층과 AT층을 이용하여 측정한 퇴적률은 01GHP-05 코어에서 평균 17.7 cm/kyr와 01GHP-06 코어에서 평균 30.7 cm/kyr이다. 또한 01GHP-05와 01GHP-06 코어에서는 DLM(Dark Laminated Mud)층이 2.5 mbsf 내외의 퇴적구간에 협재되어 있으며, 이 구간은 기존 연구에 의해 <sup>14</sup>C 절대연령이 알려져 있기 때문에 층서 대비에 유용하게 이용될 수 있다(Fig. 2; Bahk *et al.*, 2002).

층서 대비를 통하여 볼 때, 코어의 퇴적기록이 약 40~50 ka, 즉 MIS 3 중반 이후부터 시작되고 있음을 의미한다. 그리고 코어의 중간구간(01GHP-05 코어: 약 160~390 cmbsf, 01GHP-06 코어: 약 160~550 cmbsf)의 퇴적상 변화는 울릉분지 남서부와 서부 해역에 대한 기존의 연구결과(박명호 등, 2002; 김일수 등, 2003)와 유사하며, 이 구간은 시기적으로 해수면이 하강한 마지막 빙기(last glacial period) 동안 사면사태(slope failure)에 의하여 형성된 퇴적구간으로 생각된다(Lee *et al.*, 1996).

#### 3.3. 코어에서 관찰되는 테프라층

##### 3.3.1. 테프라층의 일반적인 특징

02GHP-02 코어에서는 다른 코어에 비하여 화산력 테프라층(lapilli tephra layer)이 잘 발달되어 있지만,



**Fig. 2.** Description of the three piston cores and inferred stratigraphic correlation. The <sup>14</sup>C ages of tephra and DLM (Dark Laminated Mud layer) are taken from Machida and Arai (1983), Oba *et al.* (1991) and Bahk *et al.* (2002). Symbols on the right side of the column represent sedimentary facies: *BM* bioturbated mud, *HM* homogeneous mud, *LM* laminated mud, *CLM* crudely laminated mud, *TL* lapilli tephra layer, and *AL* ash layer. *M*, *S*, and *G* indicate mud, sand, and gravel, respectively.

일본 기원의 화산재층에서는 상대적으로 덜 발달되어 있는 편이다(Fig. 2). 02GHP-02 코어에서 테프라층은 169~181 cmbsf, 357~365 cmbsf, 464~465.5 cmbsf, 525~528 cmbsf, 545~547 cmbsf, 556~559 cmbsf 및 579~581 cmbsf 구간에 협재되어 있다. 코어 상부의 U-Oki층과 500~600 cmbsf 구간의 테프라층 사이에는 반원양성 퇴적물이 발달되어 있다. 357~365 cmbsf 구

간의 화산재층에서는 상·하부의 이질퇴적물이 재퇴적 작용(resedimentation)을 받은 후 다시 다짐작용(compaction)에 의하여 형성된 층리 구조를 보인다. 01GHP-05와 01GHP-06 코어에서도 U-Oki층과 U-Ym층이 관찰되는데, 02GHP-02 코어와는 달리 U-Oki층과 U-Ym층 사이에 6~7개의 화산재층이 협재되어 있다. 이 중에서 U-Ym층의 상부에 놓이는 화산재층은

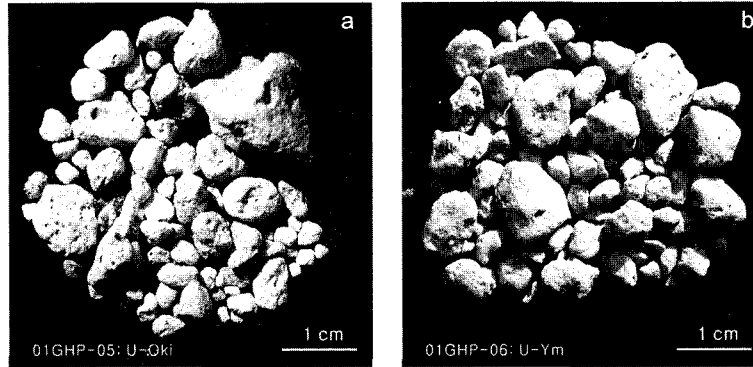


Fig. 3. Photographs of milky pumice lapilli grains of the Ulleung-Oki (a) and Ulleung-Yamato (b) tephra layers.

약 22~24.7 ka에 형성된 일본 기원의 AT층이다(Fig. 2).

코어에서 U-Oki층과 U-Ym층은 주로 유백색의 부석(pumice)과 세립질의 유리질 입자로 구성되어 있다. 유공층의 폐각과 스크리아(scoria) 파편도 일부 관찰된다. 유백색의 부석은 1 mm에서 거의 2 cm 직경까지 매우 다양한 크기로 관찰된다(Fig. 3). U-Oki층과 U-Ym층의 조성광물은 거의 동일하지만, U-Oki층은 상대적으로 큰 부석들을 갖고 있다. 그러나 AT층을 포함한 일본 기원의 화산재층은 울릉도 기원의 테프라층과는 달리 부석이나 암편(rock fragments)을 거의 함유하고 있지 않으며, 유리질 입자 이외에 반원양성 이질퇴적물과 모래입자 크기의 부유성 유공층의 폐각 등

이 다양하게 포함되어 있다. 코어에서 화산력 테프라층의 두께는 보통 수 cm에 이르고, 화산재층의 두께는 대부분 1 cm 이하이다.

### 3.3.2. 유리질 화산재의 유형과 지화학

SEM 관찰에 의하면, 테프라층에서 관찰된 유리질 파편은 크게 두 가지 유형으로 구분된다(Fig. 4): (1) U-Oki층과 U-Ym층과 같은 울릉도 기원의 테프라층은 주로 부석과 암편들이 조밀하게 박혀있는 퇴적구조를 보이며, 괴상(massive-type)의 유리질 입자가 대부분을 이루고 있다(Fig. 4a, b). (2) AT층을 포함한 일본 기원의 화산재층은 버블형(bubble-wall type)의 유리질 입자가 대부분이다. 특히 01GHP-05와 01GHP-06 코어에서 관찰된 AT층은 63 m 이상의 입자 중에서 99% 이

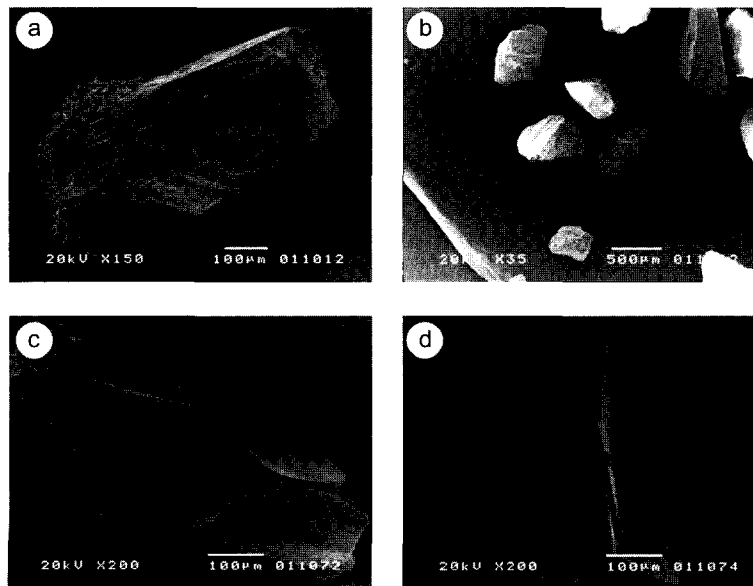


Fig. 4. SEM microphotographs of two representative volcanic glass shards: Pumice-type glass shards of the Ulleung-Oki (a) and Ulleung-Yamato (b) tephra layers; (c) and (d) bubble-wall shards of Japanese origin.

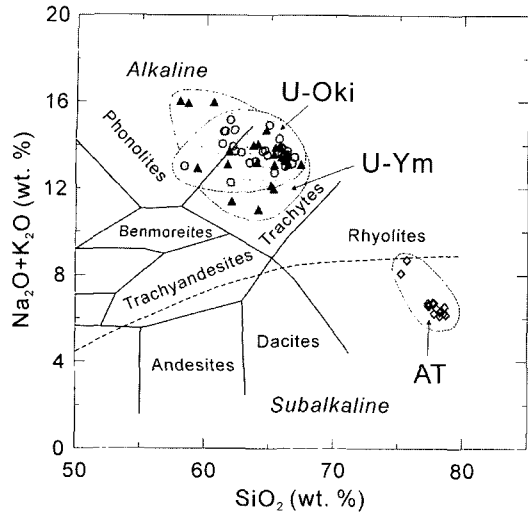


Fig. 5. Classification of the glassy tephra layers based on the total alkali-silica plot after Le Bas *et al.* (1986): U-Oki Ulleung-Oki (open circles), U-Ym Ulleung-Yamato (closed triangles), and AT Aira-Tanzawa ashes (open diamonds).

상이 유리질 입자로 구성되어 있다. AT층은 전형적인 판상의 유리질 파편(platy glass grain)을 갖고 있으나 (Furuta *et al.*, 1986; Machida and Arai, 1992) 실제로 현미경 관찰에 따르면 유리질 입자의 유형은 매우 다양한 편이다(Fig. 4c, d).

U-Oki층과 U-Ym층에서 산출된 유리질 파편의 주요 원소 분석값은 평균 64.0 wt.%(U-Ym층)~평균 64.2 wt.%(U-Oki층)의 SiO<sub>2</sub> 함량과 평균 13.7 wt.%(U-Ym층)~평균 13.8 wt.%(U-Oki층)의 알칼리(Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) 함량으로 측정되었다. 이와 같은 함량은 U-Oki층과 U-Ym층이 조면암질 또는 향암질 마그마로부터 분출된 것임을 가리킨다(Fig. 5). 그러나, AT층의 유리질 파편에 대한 주요원소 분석값은 평균 78.4 wt.%의 SiO<sub>2</sub> 함량과 평균 6.76 wt.%의 알칼리 함량으로 측정되어, 울릉도 기원의 테프라층에 비하여 6~7 wt.% 낮은 알칼리 함량을 보인다. 이는 AT층이 유문암질 마그마로부터 분출되었음을 의미한다(Fig. 5). Fig. 6에서 보는 바와 같이, AT층은 울릉도 기원의 U-Oki 층과 U-Ym층에 비하여 Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O를 상대적으로 적게 함유하고 있다. 일본 기원의 화산체층과 울릉 기원의 화산체층은 지화학 성분에 차이가 뚜렷하게 구분되는 반면, 울릉도 기원의 U-Oki층과 U-Ym층에 대한 주요원소 분석 결과는 거의 동일하게 측정되었다. 이는 두 층이 거의 동일한 성분의 마그마로부터 기원된 것임을 의미한다.

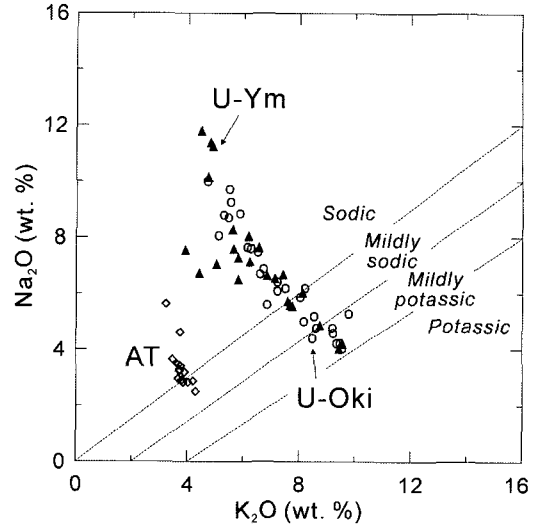


Fig. 6. Distribution of the Ulleung-Oki (U-Oki, open circles), Ulleung-Yamato (U-Ym, closed triangles), and Aira-Tanzawa (AT, open diamonds) ashes in the diagram of Na<sub>2</sub>O versus K<sub>2</sub>O. The diagram shows the more sodic and potassic characters of the Ulleung tephra layers than those of AT ash layers.

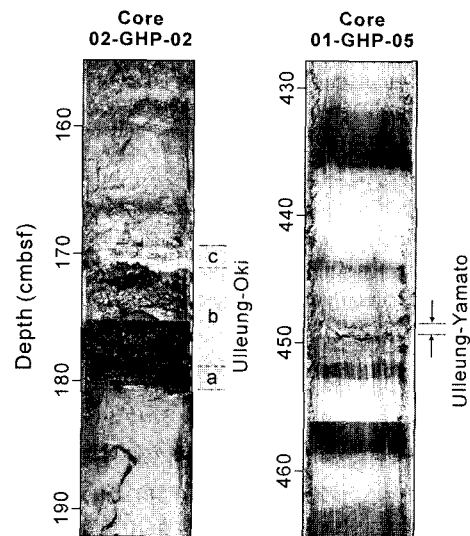


Fig. 7. Sedimentary facies of the Ulleung-Oki and Ulleung-Yamato tephra layers.

### 3.4. 테프라층의 퇴적상 변화와 의미

02GHP-02 코어에서 관찰된 U-Oki층은 약 12 cm의 두께를 갖고 있다(Fig. 7). U-Oki층의 상부 3 cm(c)는 세립질의 화산재로 이루어져 있으며, 층리(bedding)가 잘 발달되어 있는 편이다. 172~178 cmbsf의 중간 부분(b)은 질은 실트질 기질(matrix)에 다양한 크기의 부석이 흩어져 있는 퇴적구조를 보인다. 178~

**Table 1.** Major characteristics of the Ulleung-Oki, Aira-Tanzawa and Ulleung-Yamato tephra layers found in the study cores.

Tephra layers	Ulleung-Oki	Aira-Tanzawa	Ulleung-Yamato
<sup>14</sup> C absolute ages	ca. 9.3 ka	ca. 22~24.7 ka	ca. 25~33 ka
Thickness of layers	10~14 cm	0.4~1.2 cm	1.5~3 cm
Pumiceous fragments	present	not present	present
Morphology of glass shards	massive	plane or bubble-wall	massive
SiO <sub>2</sub>	57.5~66 wt.%	75~78.5 wt.%	57~66.5 wt.%
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	12~15.5 wt.%	6.5~9 wt.%	11~16 wt.%
Classification of volcanic rocks	trachytic to phonolitic	rhyolitic	trachytic to phonolitic
Stratigraphic sequence	three units	one unit	one unit

181 cmbsf의 최하부 테프라층(a)은 부석을 함유하고 있지 않으며, 미세한 층리가 희미하게 관찰된다. 이와 같은 상·하부 및 최하부 테프라층의 층서 시퀀스(stratigraphic sequence; Fisher and Schmicke, 1984)는 U-Oki 층을 형성시킨 울릉도의 분출이 플리리언 형태(plinian type)의 화산분출이었음을 가리킨다(천중화 등, 1998).

U-Ym 층이 분포되어 있는 퇴적구간에는 특징적으로 퇴적물의 색이 뚜렷하게 교호한다. 위에서 언급한 코어퇴적물의 층서와 평균 퇴적률을 적용하면, 색이 교호하는 구간은 최적(optimum)의 기온을 보인 MIS 5에 비해 다소 낮은 기온을 보인 MIS 3에 해당하는 시기이며, 다소 규칙적인 해수면 변동(sea-level change)과 이에 따른 해저 퇴적환경 변화를 반영하고 있는 것으로 생각된다(Martinson *et al.*, 1987). 모든 코어에서 U-Ym층은 U-Oki층에 비해 상대적으로 얇은 두께의 층이며, 층도 분화되어 있지 않다(Fig. 7; Table 1). 이는 U-Oki층에 비하여 U-Ym층을 형성시킨 화산분출이 상대적으로 약했으며, 이로 인하여 해저로 공급된 화산 분출물도 빈약했음을 가리킨다.

#### 4. 결 론

1. 코어퇴적물은 대부분 세립질 실트이며, 부분적으로 부유성 유공층의 패각, 부석, 암편 및 화산재 입자들이 협재되어 나타난다. 관찰된 퇴적상은 대부분 생물교란 이토, 엽리 이토, 약엽리 이토, 균질 이토 등과 같은 이토 퇴적상(mud facies)이다. 세립질 실트에서 관찰되는 색은 암녹회색 계통이 주를 이루고 있다.

2. 층서 대비는 기준에 알려진 테프라층의 <sup>14</sup>C 절대연령을 이용하였다: 코어에서 동정된 테프라층은 U-Oki층(ca. 9.3 ka), AT층(ca. 22~24.7 ka) 및 U-Ym층(ca. 25~33 ka)이다. 추가로 두 코어(O1GHP-05와 O1GHP-06)에서 발견된 DLM의 퇴적구간(ca. 14.5 ka)

을 층서 대비에 이용하였다. 이와 같은 층서 대비는 코어의 퇴적기록이 약 40~50 ka, 즉 MIS 3 중반 이후부터 시작되고 있음을 의미한다.

3. 실체현미경과 SEM 관찰에 의하면, 울릉도 기원인 U-Oki층과 U-Ym층은 부석과 일부 암편을 갖고 있으며, 괴상의 유리질 입자가 대부분인 반면, 일본 기원의 AT층은 부석이나 암편 등의 큰 입자는 관찰되지 않으며, 대부분 버블형의 유리질 입자로 구성되어 있다.

4. 주요원소 분석에 의하면, U-Oki층과 U-Ym층은 57~66.5 wt.%의 SiO<sub>2</sub> 함량과 11~16 wt.%의 Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O 함량으로 추정되어 조면암질 내지 향암질 성분이었으며, AT층은 75~78.5 wt.%의 SiO<sub>2</sub> 함량과 6.5~9 wt.%의 알칼리 함량으로 추정되어 유문암질 성분이었다.

5. 코어에서 U-Oki 층은 상부, 하부 및 최하부의 구간으로 분화되어 있으며, 플리리언 형태의 화산분출로부터 형성된 테프라층이다. 반면 U-Ym 층은 U-Oki 층과 비교하여 상대적으로 얇은 층의 두께를 갖고 있으며, 층의 분화도 관찰되지 않는다. 지화학 분석에 의하면, 두 층은 거의 동일한 성분의 마그마로부터 분출되어 형성된 것임을 알 수 있으나, 층의 두께나 분포양상을 고려한다면 U-Ym 층을 형성시킨 화산 분출이 상대적으로 약했음을 알 수 있다. 이는 U-Ym 층이 주변 퇴적환경 변화에 미친 영향도 그만큼 약했음을 가리킨다.

#### 사 사

이번 연구에 이용된 코어퇴적물은 한국지질자원연구원에서 수행하고 있는 “가스 하이드레이트 탐사 및 개발 연구”의 일환으로 채취되었다. 현미경 관찰과 EDX 분석에 여러모로 도움과 편의를 제공해 준 연세대학교 퇴적학연구실의 신재봉 군에게 감사를 드린다. 또한 논문을 심사해 주신 고려대학교의 유인창 박사님과 한국

해양연구원의 허식 박사님께 심심한 감사를 드린다. 이 논문은 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었다 (KRF-2002-037-C00021).

### 참고문헌

- 김일수, 박명호, 이영주, 류병재, 유강민 (2003) 울릉분지 남서부 해역의 제4기 후기 퇴적환경에 대한 지질·지화학적 연구. *자원환경지질*, 36권, p. 9-15.
- 박명호, 류병재, 김일수, 정태진, 이영주, 유강민 (2002) 울릉분지 남서부 해역의 천부퇴적물에 대한 층서·퇴적학적 연구. *자원환경지질*, 35권, p. 171-177.
- 천중화, 한상준, 정대교, 허식, 박장준, 최동립 (1998) 울릉분지 북동부 해저수로 주변 퇴적층의 화산재층서. *지질학회지*, 34권, p. 192-210.
- Bahk, J.J., Lee, K.E. and Han, S.J. (2002) Modes of dark laminated mud formation during the last 25 kyr in the East Sea (Sea of Japan): Relative role of productivity vs. stagnation. *Korea-Japan Symposium*, Gyeongju, Korea, p. 107-122.
- Chun, J.-H., Han, S.-J., Cheong, D.-K., Huh, S. and Shin, D.-H. (1997) Volcanic processes of the Ulleung-II tephra (Ulleung-Oki Ash) erupted from the Ulleung Island. *Ocean Research*, v. 19, p. 275-283.
- Eden, D.N., Froggatt, P.C., Zheng, H. and Machida, H., 1996, Volcanic glass found in late Quaternary Chinese loess: A pointer for future studies?. *Quaternary International*, v. 34-36, p. 107-111.
- Fisher, R.V. and Schmincke, H.-U. (1984) *Pyroclastic Rocks*. Springer-Verlag, Berlin, 472p.
- Furuta, T., Fujioka, K. and Arai, F. (1986) Widespread submarine tephra around Japan: Petrographic and chemical properties. *Marine Geology*, v. 72, p. 125-142.
- Le Bas, M., Le Maitre, R., Streckeisen, A. and Zanettin, B. (1986) A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, v. 27, p. 745-750.
- Lee, H.J., Chough, S.K. and Yoon, S.H. (1996) Slope-stability change from late Pleistocene to Holocene in the Ulleung Basin, East Sea (Japan Sea). *Sedimentary Geology*, v. 104, p. 39-51.
- Machida, H. (1999) The stratigraphy, chronology and distribution of distal marker-tephras in and around Japan. *Global and Planetary Change*, v. 21, p. 71-94.
- Machida, H. and Arai, F. (1976) Volcanic ashes distributed in wide area: A discovery and significance of Aira-Tn ash. *Kagaku*, v. 46, p. 339-347.
- Machida, H. and Arai, F. (1983) Extensive ash falls in and around the Sea of Japan from large late Quaternary eruptions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 18, p. 151-164.
- Machida, H. and Arai, F. (1992) *Atlas of Tephra in and around Japan*. University of Tokyo Press, Tokyo, 276 p. (in Japanese).
- Martinson, D.G., Pisias, N.G., Hays, J.D., Imbrie, J., Moore, T.C., Jr. and Shackleton, N.J. (1987) Age dating and the orbital theory of the ice ages: development of a high-resolution 0 to 300,000-year chronostratigraphy. *Quaternary Research*, v. 27, p. 1-29.
- Munsell Soil Color Charts (1994) Revised edition, Munsell Division of Kollmorgen Instruments Co., New Windsor.
- Oba, T., Kato, M., Kitazato, H., Koizumi, I., Omura, A., Sakai, T. and Takayama, T. (1991) Paleoenvironmental changes in the Japan Sea during the last 85,000 years. *Paleoceanography*, v. 6, p. 499-518.
- Walker, G.P.L., McBroom, L.A. and Caress, M.E. (1984) Products of the Koya eruption from the Kikai Caldera, Japan. In Walker, G.P.L. and Ui, T. (eds.) *Volcanology of the Koya ash flow. A progress report of the U.S. Japan Cooperative Science Program*, p. 4-8.

2003년 3월 31일 원고접수, 2003년 5월 29일 게재승인.