

울릉분지 남서부 해역의 천부퇴적물에 대한 층서·퇴적학적 연구

박명호¹ · 류병재² · 김일수^{1*} · 정태진² · 이영주² · 유강민¹

¹연세대학교 지구시스템학과, ²한국지질자원연구원 석유·해저자원연구부

Stratigraphical and Sedimentological Studies on Core Sediments from the Southwestern Ulleung Basin, East Sea

Myong-Ho Park¹, Byong-Jae Ryu², Il-Soo Kim^{1*}, Taejin Cheong², Youngjoo Lee² and Kang-Min Yu¹

¹Department of Earth System Sciences, Yonsei University, Shinchon-dong 134, Seodaemun-gu, Seoul 120-749, Korea

²Petroleum Marine Resources Research Division, Korea Institute of Geoscience and Marine Resources, Gajeong-dong 30, Yusong-gu, Daejeon 305-350, Korea

Two piston-core sediments, obtained from the southwestern margin of the Ulleung Basin in East Sea, are analyzed to investigate the stratigraphy and sedimentary environment of the Late Quaternary. The cores consist mainly of muddy sediments with silty sands, lapilli tephra and ash layers. The chronostratigraphic correlation with known eruption ages reveals that the core sediments contain the stratigraphic document over the past 46.1 kyr and the sedimentation rates during the last glacial period were relatively higher (12.1~14.9 cm/kyr) than those in pelagic ocean. Several sedimentary facies, mainly affected by turbidity currents, are commonly present in the core interval accumulated during the oxygen-isotope stage 2. Many of horizontal voids, which are thought to have formed by gas expansion, are observed in core 00GHP-07. The total organic carbon (TOC) contents of the core sediments are noticeably high (average 1.8%). Particularly, these TOC values increased during Termination I, suggesting that during this time interval the sedimentary environment of the study area was changed to more anoxic.

Key words : Late quaternary, sedimentary environment, muddy sediments, tephra layer, total organic carbon, Ulleung Basin

제4기 후기의 층서와 퇴적환경 변화를 조사하기 위하여 울릉분지 남서부 해역에서 채취한 두 개의 피스톤 코어 시료를 분석하였다. 코어는 이질 퇴적물이 주종을 이루었고 일부 사질 퇴적물 및 테프라층(tephra layer)으로 구성되어 있다. 이미 확인된 울릉분지의 테프라층을 이용하여 층서 대비를 한 결과, 코어는 약 46,100년의 층서 기록을 보이며, 마지막빙기 동안의 퇴적률(12.1~14.9 cm/kyr)은 대양보다 높은 편이었다. 동위원소층서 2 동안 퇴적된 시료구간에서는 저탁류의 영향을 받은 몇 종류의 퇴적상이 교호하여 나타난다. 코어 00GHP-07의 하부구간에서는 가스 방출에 의하여 형성된 것으로 보이는 수평균열 구조가 관찰된다. 시료의 총유기탄소(TOC) 함량은 전체적으로 매우 높다(평균 1.8%). 특히 총유기탄소의 값은 Termination I 동안 증가하는 추세를 보이는데, 이것은 이 기간 동안 남서부 울릉분지가 산소가 다소 결핍한 환경으로 전이하였음을 의미한다.

주요어: 제4기 후기, 퇴적환경, 이질 퇴적물, 테프라층, 총유기탄소, 울릉분지

1. 서 론

동해 남부의 대륙붕 지역을 대상으로 한 퇴적학적, 지구물리학적 연구는 1970년대 이후 6-1광구에서 석

유탐사가 이루어지면서 수행되었다. 동해의 심해지역에 대한 연구는 1990년대에 들어 한국지질자원연구원과 한국해양연구원의 지구물리 탐사와 퇴적물 시료의 채취 등으로 인하여 본격화되었다. 특히 울릉분지에서 취득한 코어를 중심으로 다각적인 연구가 이루어졌다. 예를 들면, 유공충(foraminifera)을 이용하

*Corresponding author: ilsoo_kim@lycos.co.kr

여 제4기 기후변화를 유추해내는 연구 및 고환경에 관한 연구가 이루어졌으며(Kim *et al.*, 1998; Kim *et al.*, 2000), 탄성파를 이용한 지구물리학적 연구(박찬홍 외, 1997) 및 가스 하이드레이트 부존 가능성에 관한 연구(류병재 외, 1999; 이영주 외, 2000; 정부홍 외, 2000)가 수행되었다. 또한 퇴적구조와 테프라층(tephra layer)을 이용한 제4기의 퇴적환경 변화에 대한 연구(Chun *et al.*, 1997; Bahk *et al.*, 2001)가 이루어졌다. 그러나 울릉분지 남서부 해역에 대한 제4기 후기의 퇴적학적, 층서학적 연구는 아직 미흡한 편이다.

따라서, 본 연구에서는 울릉분지 남서부 심해저에서 채취한 피스톤 코어를 이용하여 천부퇴적물의 특성과 층서학적 문제들을 다루었다. 또한 시기에 따른 퇴적환경 변화를 총유기탄소(Total Organic Carbon) 및 수소지수(Hydrogen Index)의 분석 결과와 비교하여 논의하였다. 특히 총유기탄소와 수소지수의 상관관계를 이용하여(Schubert, 1995) 연구지역에서 해양성 유기물의 유입이 어떻게 변화하였는지 분석하였으며, 퇴적물과 총유기탄소의 상관관계를 통하여(Stein, 1990) 해양에서의 생산성(productivity)의 크기와 퇴적환경을 추론하였다.

2. 코어 시료 및 연구방법

본 연구에서는 한국지질자원연구원에서 수행하고 있는 “가스 하이드레이트 탐사 및 개발 연구” 사업의 일

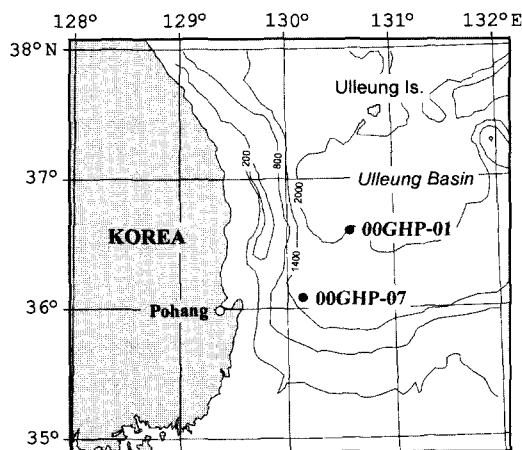


Fig. 1. Location map of two piston cores 00GHP-01 and 00GHP-07, obtained from the southwestern Ulleung Basin, East Sea.

환으로 탐해 2호에 장착된 피스톤 코어러를 이용하여 울릉분지 남서부 해역에서 채취된 퇴적물 시료를 이용하였다(Fig. 1). 코어 00GHP-01은 수심 1,975 m 지점에서 채취되었으며, 총 회수길이는 5.16 m이다. 코어 00GHP-07은 수심 1,484 m에서 채취된 코어이며, 총 회수길이는 7.92 m이다.

채취한 코어는 실험실에서 수직으로 양분하여 한 쪽은 저온창고에 보관하였고, 다른 한 쪽은 분석 시료로 사용하였다. 코어 퇴적물의 층서를 밝히기 위하여 코어에서 관찰된 테프라층을 분류하였으며, 이를 기준으로 코어의 퇴적률을 계산하였다. 또한 퇴적상(sedimentary facies) 변화를 조사하기 위하여 코어 퇴적물을 자세하게 관찰하여 기재하였다. 그리고 각각의 코어에서 2~10 cm 간격으로 시료를 선별한 후, VINCI사의 Rock-Eval을 이용하여 총유기탄소의 함량과 수소지수를 측정하였으며, 이들 자료를 서로 대비하여 상관관계를 체크하였다.

3. 퇴적상의 종류 및 특성

코어는 주로 실트 입자크기가 우세한 엽리 이토 퇴적상(laminated mud facies), 약엽리 이토 퇴적상(weakly laminated mud facies), 생물교란 이토 퇴적상(bioturbated mud facies), 균질 이토 퇴적상(homogeneous mud facies) 등으로 구성되어 있으며, 테프라층과 실트질 모래(silty sand)가 일부 협재되어 나타난다(Fig. 2).

실트질 모래는 코어에서 1 cm 이상의 두께를 보이며, 현미경 관찰에 의하면 입자의 95% 이상이 유공충의 각으로 이루어져 있다. 코어에서 주로 관찰되는 이토 퇴적상은 다음과 같다:

(1) 엽리 이토 퇴적상 : 엽리 이토 퇴적상에는 1~3 mm 두께의 엽리가 잘 발달되어 있다. 실트질 엽리와 매우 얇은 점토질 엽리가 교호한다. 실트질 엽리는 육원성 광물(석영, 장석, 운모 등)과 유공충의 각으로 이루어져 있다. 엽리 이토에는 일반적으로 올리브 회색(olive gray, 5GY 4/1)과 암올리브 회색(dark olive gray, 2.5GY 6/1)이 교호한다.

(2) 약엽리 이토 퇴적상 : 이 퇴적상은 엽리 이토 퇴적상에 비하여 퇴적물의 색에 의한 엽리의 경계가 대체로 뚜렷하지 않다. 실트질 엽리는 엽리 이토 퇴적상에서 관찰된 것과 같이 육원성 광물(쇄설성 석영과 장석)과 유공충의 각으로 구성되어 있다. 유공충의 각은 산발적으로 흩어져 있으며, 석영과 장석류의 광물은 약

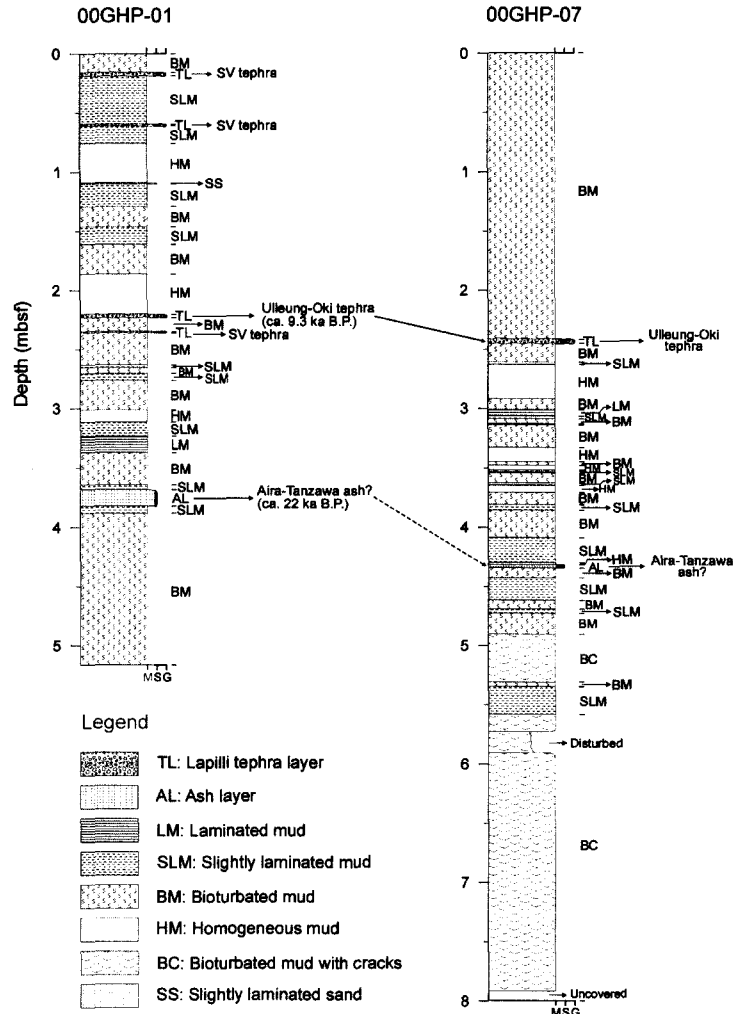


Fig. 2. Columnar sections of two piston cores and inferred tephrochronologic correlation using tephra layers of core sediments. Symbols on the right side of the column represent sedimentary facies. M, S, G, and SV stand for mud, sand, gravel, and submarine volcano, respectively.

하게 발달한 엽리면에 평행으로 배열되어 있다.

(3) 생물교란 이토 퇴적상 : 생물교란 이토 퇴적상은 생물교란작용(bioturbation)에 의하여 초기퇴적구조가 변형된 퇴적상이다. 생물교란 이토 퇴적상은 코어에서 가장 발달한 퇴적상이며 두께도 가장 두껍다. 생흔혈(burrows) 화석으로는 원형, 타원형, 튜브형 등 여러 가지가 있다. 화석의 크기는 수 mm에서 1 cm에 이르기까지 매우 다양하다. 생물교란 이토 퇴적상은 코어의 상부(심도: 약 2 mbsf 이하)와 하부구간(심도: 약 4 mbsf 이상)에 특징적으로 발달되어 있다(Fig. 3). 이 구간은 시기적으로 홀로세(Holocene)와 빙기 이전의

동위원소층서(MIS: Marine-oxygen Isotope Stage) 3에 해당된다.

(4) 균질 이토 퇴적상 : 위에서 언급한 퇴적상과는 달리 균질 이토 퇴적상에서는 퇴적구조가 육안으로 관찰되지 않는다. 균질 이토 퇴적상은 마지막 빙기 중에 형성된 시료구간(심도: 약 2~4 mbsf)에서 일반적으로 관찰된다.

00GHP-01의 상부구간(심도: 18.5~129 cmbsf)에 나타나는 엽리는 00GHP-07의 상부구간보다 상대적으로 잘 발달되어 있다. 이 구간에서는 퇴적물의 색이 뚜렷하게 교호하는 특징을 보이고 있으며, 두 매의 테프라

층이 관찰된다. 반면 00GHP-07의 상부구간(심도: 0~242 cmbsf)에서는 생물교란작용을 강하게 받은 관계로 엽리의 발달이 뚜렷하지 않으며, 테프라층도 관찰되지 않는다. 두 코어의 중간구간(심도: 약 2~4 mbsf)에서는 여러 종류의 퇴적상들이 교호하여 나타난다. 이것은 해수면이 하강한 빙하기 때 사면사태(slope failure)에 의하여 형성된 저탁류(turbidity current)의 영향으로 추정된다. 00GHP-07의 심도 432~434 cmbsf 구간에 분포된 퇴적물의 상부(심도: 432~432.4 cmbsf)와 하부(심도: 433.1~434 cmbsf)는 90% 이상 유공층(대부분 부유유공층)의 각으로 구성되어 있다. 주로 이질 퇴적물로 구성되어 있는 중간 부분(심도: 432.4~433.1 cmbsf)에서 세립질의 유리질 파편과 유공층의 각이 드물게 발견된다. 심도 491 cmbsf 하위 구간에 나타나는 수평균열은 시료회수 시 방출된 가스의 방출(expansion)에 기인한 것으로 추정된다. 이러한 양상은 특히 심도 573~591 cmbsf의 구간에서 잘 나타난다.

4. 퇴적물의 층서 및 지화학 분석

4.1. 층서 대비

00GHP-01에서 테프라층은 심도 16~18.5 cmbsf, 59.5~61 cmbsf, 220~222.8 cmbsf 및 235~235.6 cmbsf에 협재되어 있고, 00GHP-07에서는 심도 242~244.5 cmbsf 구간에서 발견된다(Fig. 2). 테프라층은 주로 유백색의 부석과 세립질의 화산재(volcanic ash)로 구성되어 있으며, 유공층의 각과 스코리아(scoria) 파편도 일부 발견된다. 관찰된 부석의 크기는 mm 단위에서부터 2 cm 이상까지 매우 다양하다. 그러나 주로 세립질의 화산재와 이질 퇴적물로 구성된 00GHP-01의 테프라층(심도: 220~222.8 cmbsf 및 235~235.6 cmbsf)에서는 부석의 직경이 크게 작아진다.

잘 알려진 울릉분지 테프라층의 조성광물과 퇴적구조, 그리고 분포 등을 고려하면(Furuta *et al.*, 1986; 천종화 외, 1998), 00GHP-01의 심도 220~222.8 cmbsf 구간, 그리고 00GHP-07의 심도 242~244.5 cmbsf 구간에 발달되어 있는 테프라층은 울릉-오기 테프라층(Ulleung-Oki tephra layer)으로 해석된다. 울릉-오기 테프라층은 유리질 파편 등의 입자가 울릉도로부터 멀어질수록 작아지기 때문에 그 기원을 울릉도의 나리 칼데라(Nari Caldera)로 보고 있으며(Furuta *et al.*, 1986), 분출시기는 상·하위 퇴적층에 대한 ^{14}C -연대측정을 기초로 약 9,300년 전으로 추정된다(Machida

and Arai, 1992). 00GHP-01의 최상부 구간(심도: 59.5~61 cmbsf)에 발달된 테프라층은 다른 테프라층에 비해 층후가 두껍고, 부석의 직경도 상대적으로 큰 편이다. 이 층이 백두산 화산재층(Baegdusan-Tomakomai ash)과 층서적으로 대비될 수 있는지는 더 연구되어야겠지만 입자들이 유문암질 알칼리성이 아닌 점으로 미루어(Machida and Arai, 1992) 백두산 기원이라기보다는 코어 채취 주변의 해저화산으로부터 기원되었을 가능성이 더 높다. 00GHP-01의 심도 368~382 cmbsf 구간에 발달된 사질 퇴적물은 이질 퇴적물을 상당량 함유하고 있으며 미약하게나마 층리(bedding)가 관찰된다. 이 구간은 유공층의 각은 물론 유리질의 파편도 소량 함유되어 있는 점으로 미루어 약 22,000년 전에 분출된 아이라-탄자와 화산재 이벤트(Aira-Tanzawa ash event)와 관련이 있는 것으로 추정되며(Machida and Arai, 1983), 00GHP-07의 심도 432~434 cmbsf 구간에 있는 화산재층과 대비할 수 있다(Fig. 2).

두 코어에서 발견된 테프라층의 절대연령을 기초로 퇴적률을 계산해 보면, 울릉-오기 테프라층과 아이라-탄자와 화산재층 사이(마지막 빙기 동안)의 퇴적률은 00GHP-01에서 12.1 cm/kyr이고, 00GHP-07에서 14.9 cm/kyr이다. 00GHP-07에서 퇴적률이 약간 더 높은 것은 Chough *et al.*(1997)에 의해 보고된 지형적인 퇴적 환경과 관련이 있는 것으로 생각된다. 계산된 퇴적률을 기초로 나머지 구간의 퇴적률을 선형외삽법(linear extrapolation)으로 계산하면 00GHP-01은 약 33,700년 전의 기록부터 시작하고 있다. 00GHP-07은 이보다 더 오래 전인 약 46,100년 전부터 시작한다. 결국 두 코어의 시료는 동위원소층서 3(MIS 3)부터 마지막 빙기를 거쳐 홀로세까지의 기록을 포함하고 있는 것이다.

4.2. 총유기탄소의 함량과 수소지수

00GHP-01과 00GHP-07 퇴적물에 포함된 총유기탄소의 평균 함량은 각각 1.83%(범위: 0.1~4.5%)와 1.79%(범위: 0.26~3.95%)로, 일반적인 해양퇴적물에서 측정되는 값(<0.3%; Suess, 1980)에 비해 상당히 높다(Fig. 3). Stein(1990)의 퇴적률과 총유기탄소의 상관 관계를 이용하여 분석해 보면, 연구 코어의 퇴적물은 빙하기(MIS 2) 동안 상대적으로 산소가 결핍되고 다소 높은 생산성을 갖는 해양환경에서 퇴적되었다. 00GHP-01의 심도 2~2.5 mbsf 구간과 00GHP-07의 2.5~3 mbsf 구간(Interval a in Fig. 3)에서 상부로 갈수록 총유기탄소의 함량이 점진적으로 증가하는 양상이 나타난다. 이 구간의 퇴적물이 형성된 시기는 마지막 빙

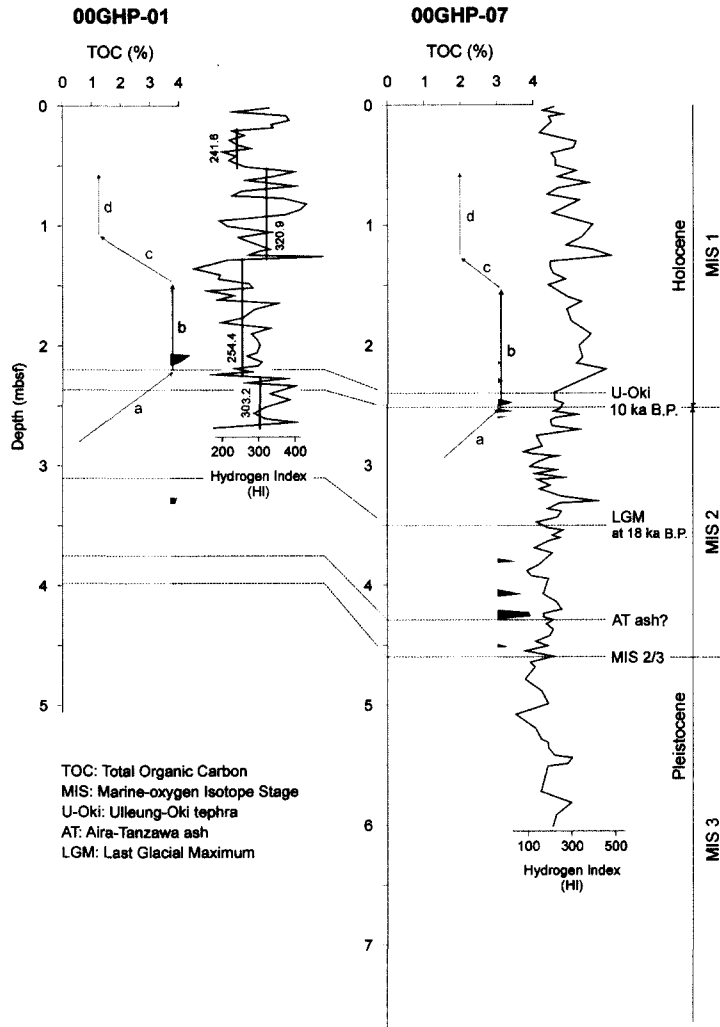


Fig. 3. Variations of total organic carbon (TOC) and hydrogen index (HI) with the average values. The interval a corresponds to Termination I. Age boundaries of MIS based on Martinson *et al.* (1987). Note the reciprocal correlation between TOC and HI during MIS 1 and Termination I in the core 00GHP-01.

기에서 간빙기로 환경이 변화하는 Termination I에 해당되며, 이 구간에서 유기탄소 함량의 증가는 Termination I의 환경이 후기로 갈수록 산소가 다소 결핍되고 있음을 보여주는 것이다(Haq, 1998). 그리고 MIS 1 동안 유기탄소 함량은 다시 감소하는 경향을 보인다(Fig. 3). 이와 같은 결과는 해수면의 상승과 함께 대한해협을 통하여 해수가 동해로 유입되기 시작하면서 이루어진 것으로 보인다(Oba *et al.*, 1991).

00GHP-01에서 유기탄소의 함량과 수소지수의 값은 Termination I 이후 대체로 반비례의 관계를 보여주고 있다(Fig. 3). Schubert(1995)에 따르면, 00GHP-01에

서 유기탄소의 함량이 상대적으로 낮고 수소지수의 값이 높은 구간(Intervals a and d in Fig. 3)은 해양성 유기물의 유입이 증가하였음을 의미한다. 그러나 수소지수의 함량을 변화시킬 수 있는 다른 요인들(예: 퇴적물 내에 들어 있는 점토광물의 함량; Espitalié *et al.*, 1980; Orr, 1983; Hunt, 1995)도 고려해야 한다. 00GHP-07의 상부구간은 00GHP-01의 같은 구간에 비해 리워크(reworked)된 퇴적물로 이루어졌기 때문에 뚜렷한 수소지수의 변화를 보이지 않는다(Pratt, 1984; Tyson, 1995). 수소지수의 평균값은 00GHP-07보다 00GHP-01에서 상대적으로 높게 나타난다(Fig. 3). 이

러한 차이는 육원성 기원의 광물과 해양성 플랑크톤의 상대적인 정량차이를 의미하는 것이나(Pratt, 1984; Arthur *et al.*, 1998), 이에 대한 정확한 상관관계를 규명하기 위해서는 적절한 지화학적 연구가 앞으로 추가되어야 하겠다.

5. 결 론

1. 연구 코어는 주로 이토 입자로 구성되어 있다. 퇴적물의 퇴적상은 엽리 이토 퇴적상, 약엽리 이토 퇴적상, 생물교란 이토 퇴적상, 균질 이토 퇴적상 등으로 나뉜다. 코어에는 유백색의 부석이나 화산재로 이루어진 테프라층과 사질 퇴적물이 일부 협재되어 나타난다.

2. 마지막 빙기 동안에는 몇 가지 종류의 퇴적상이 교호하며 형성되었다. 이것은 해수면이 하강한 빙하기 동안의 저탁류 영향으로 판단된다.

3. 00GHP-07의 하부구간(심도: 491~792 cmbsf)에서 수평균열이 관찰되는데, 이는 가스 방출과 관련된 것으로 생각된다.

4. 기존에 확인된 울릉분지의 테프라층 가운데 울릉-오키 테프라층과 아이라-탄자와 화산재 이벤트로 추정되는 층을 코어에서 확인하였고 이를 이용하여 퇴적률(12.1~14.9 cm/kyr)을 계산하였다. 이를 전제로 나머지 구간의 나이를 추론한 결과, 코어는 MIS 3부터 홀로세까지의 기록을 포함하고 있다.

5. 코어는 일반적인 개방형 해양에서 측정되는 유기탄소의 값보다 높은 범위의 함량을 보인다. 유기탄소와 수소지수의 상관관계로 볼 때, 코어의 상부구간(Termination I 이후)에서 해양성 유기물의 유입이 증가하였을 것으로 추정된다. 또한 유기탄소의 함량변화는 연구지역이 Termination I의 초기보다 후기로 갈수록 상대적으로 산소가 결핍된 환경으로 전이하였음을 나타낸다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원에서 수행하고 있는 “가스 하이드레이트 탐사 및 개발 연구” 결과의 일부이다. 탐사자료의 취득과 실험을 위하여 힘써 주신 참여 연구원과 탐해 2호의 선박직원들께 감사를 드린다. 또한 논문을 심사해 주신 충남대학교 박수철 교수님과 한국해양연구원 허식 박사님께 건설적 비평과 조언에 대하여 감사한다.

참고문헌

- 류병재, 선우돈, 장성형, 오진용 (1999) 동해 울릉분지 남서부 해역에서의 가스 하이드레이트 안정영역. 한국석유지질학회지, v. 7, p. 1-6.
- 박찬홍, 허 식, 김한준, 한상준, 김성렬, 이용국, 유해수, 최동림, 박병권 (1997) 동해 울릉분지 북동부(울릉도와 독도 주변) 해역의 분지 구조. 지질학회지, v. 7, p. 127-138.
- 이영주, 유동근, 류병재, 정태진 (2000) 울릉분지 심해저 퇴적층에 분포하는 탄화가스의 특성: 가스 하이드레이트의 생성 조건과 관련하여. 한국석유지질학회 제7차 학술발표회 논문집, p. 39-46.
- 정부홍, 서상용, 장성형, 류병재, 선우돈 (2000) 가스 하이드레이트 탐사를 위한 특성화 탐사자료처리 기법 연구. 춘계공동학술발표회 논문집, p. 160-162.
- 천중화, 한상준, 정대교, 허 식, 박장준, 최동림 (1998) 울릉분지 북동부 해저수로 주변 퇴적층의 화산재층서. 지질학회지, v. 34, p. 192-210.
- Arthur, M.A., Dean, W.E. and Laarkamp, K. (1998) Organic carbon accumulation and preservation in surface sediments on the Peru margin. *Chemical Geology*, v. 152, p. 273-286.
- Bahk, J.J., Chough, S.K. and Han, S.J. (2001) Sedimentary records of paleoenvironmental changes during the last deglaciation in the Ulleung Interplain Gap, East Sea (Sea of Japan). *Global Planet. Change*, v. 28, p. 241-253.
- Chough, S.K., Lee, S.H., Kim, J.W., Park, S.C., Yoo, D.G., Han, H.S., Yoon, S.H., Oh, S.B., Kim, Y.B. and Back, G.G. (1997) Chirp (2-7 kHz) echo characters in the Ulleung Basin. *Geoscience J.*, v. 1, p. 143-153.
- Chun, J.H., Han, S.J. and Cheong, D.K. (1997) Tephrostratigraphy in the Ulleung Basin, East Sea: Late Pleistocene to Holocene. *Geoscience J.*, v. 1, p. 154-166.
- Espitalié, J., Madec, J. and Tissot, B. (1980) Role of mineral matter in kerogen pyrolysis: Influence on petroleum generation and migration. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* v. 64, p. 58-66.
- Furuta, T., Fujioka, K. and Arai, F. (1986) Widespread submarine tephra around Japan: Petrographic and chemical properties. *Marine Geology*, v. 72, p. 125-142.
- Haq, B.U. (1998) Natural gas hydrates: Searching for the long-term climatic and slope-stability records. *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, v. 137, p. 303-318.
- Hunt, J.M. (1995) *Petroleum Geochemistry and Geology*. Freeman, New York, 743p.
- Kim, G.Y., Kim, D.C., Shin, I.C. and Park, S.C. (1998) Latest Quaternary environmental history in the East Sea. *J. Paleont. Soc. Korea*, v. 14, p. 200-216.
- Kim, J.M., Kennett, J.P., Park, B.K., Kim, D.C., Kim, G.Y. and Roark, E.B. (2000) Paleooceanographic change during the last deglaciation, East Sea of Korea. *Paleoceanography*, v. 15, p. 254-266.
- Machida, H. and Arai, F. (1983) Extensive ash falls in and around the Sea of Japan from large late Quaternary eruptions. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, v. 18, p. 151-164.
- Machida, H. and Arai, F. (1992) Atlas of Tephra in and

- around Japan. Univ. Tokyo Press, Tokyo, 276p.
- 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. *Quat. Res.*, v. 27, p. 1-29.
- 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.
- Orr, W.L. (1983) Comments on pyrolytic hydrocarbon yields in source-rock evaluation. In Bjorøy, M. et al. (eds.), *Advances in Organic Geochemistry*. Wiley, Chichester, p. 775-787.
- Pratt, L.M. (1984) Influences of paleoenvironmental factors on preservation of organic matter in middle Cretaceous Greenhorn Formation. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, v. 68, p. 1146-1159.
- Schubert, C.J. (1995) Organischer Kohlenstoff in spätquartären Sedimenten des Arktischen Ozeans: Terrigener Eintrag und marine Produktivität. *Reports on Polar Res.*, v. 177, 178p.
- Stein, R. (1990) Organic carbon content/sedimentation rate relationship and its paleoenvironmental significance for marine sediments. *Geo-Mar. Lett.*, v. 10, p. 37-44.
- Suess, E. (1980) Particulate organic carbon flux in the oceans: Surface productivity and oxygen utilization. *Nature*, v. 288, p. 260-263.
- Tyson, R.V. (1995) *Sedimentary Organic Matter: Organic Facies and Palynofacies*. Chapman and Hall, London, 615p.

2001년 11월 1일 원고접수, 2002년 4월 26일 게재승인.