자원환경지질, 제36권, 제1호, 9-15, 2003
Econ. Environ. Geol., 36(1), 9-15, 2003

울릉분지 남서부 해역의 제4기 후기 퇴적환경에 대한 지질 · 지화학적 연구

김일수[1]* · 박명호[2] · 이영주[2] · 류병재[2] · 유강민[1]
[1]연세대학교 지구시스템과학과, [2]한국지질자원연구원 석유 · 해저자원연구부

Geological and Geochemical Studies on the Late Quaternary Sedimentary Environment of the Southwestern Ulleung Basin, East Sea.

Il-Soo Kim[1]*, Myong-Ho Park[2], Youngjoo Lee[2], Byong-Jae Ryu[2] and Kang-Min Yu[1]

[1]Department of Earth System Sciences, Yonsei University, Shinchon-dong 134, Seodaemun-gu, Seoul 120-749, Korea
[2]Petroleum · Marine Resources Research Division, Korea Institute of Geoscience and Marine Resources, Gajeong-dong 30, Yuseong-gu, Daejeon 305-350, Korea

Two piston cores, obtained from the southwestern Ulleung Basin in East Sea, were analyzed to study the geochemical characteristics of the late Quaternary sediments and to detect any changes in sedimentary environment. The results show that the capacity of Total Organic Carbon is remarkably higher (average 1.8%) than that known from general open-sea. According to tephrochronology from known eruption ages, the sedimentation rates are high, ranging from 12.1 to 14.9 cm/kyr. The ratios of nitrogen and TOC (average 6.18~7.42) imply that the organic matter in the study area would be of oceanic origin. The correlation between sedimentation rates and sulfur contents suggests that the study area may be on the whole anoxic and somewhat high in primary productivity. During the Termination I, inflows of organic matters were high. The sedimentary environments are characterized by rapid rates of sedimentation, and high anoxic values were compatible with accumulation of organic matters.

Key word : Total Organic Carbon, sedimentation rates, anoxic, late Quaternary, Ulleung Basin.

울릉분지 남서부 해역에서 두 개의 코어(00GHP-01, 00GHP-07)를 시추하였다. 채취된 코어의 제4기 후기 퇴적환경 변화 및 지화학적 특성을 연구하였다. 유기탄소의 함량은 일반적인 개방형 해양보다 높게(평균 1.8%) 측정되었다. 기존의 보고된 테프라층 연대를 이용한 지층의 층서에 따르면 울릉분지는 높은 퇴적률(12.1~14.9 cm/kyr)을 보이는 환경이었을 것으로 추정된다. 질소와 유기탄소의 비(평균 6.18~7.42)는 퇴적되어진 유기물이 주로 해양성 유기물에서 비롯된 것으로 보인다. 퇴적률과 황의 함량을 각각 유기탄소의 함량과 비교하여 도시해 본 결과, 산소가 결핍되고 다소 생산성이 높은 환경이었을 것으로 생각된다. 연구지역은 Termination I 동안에 유기물의 유입이 많았으며, 유입된 유기물들이 축적되기 용이한 높은 퇴적률을 갖는 산소가 결핍된 환경이었던 것으로 생각된다.

주요어 : 총유기탄소, 퇴적률, 산소결핍, 제4기 후기, 울릉분지.

1. 서 론

해양퇴적물 내에 포함된 유기물은 상당히 복잡한 분포양상을 나타낸다(Premuzic *et al.*, 1982). 일반적으로 대륙붕이나 대륙사면의 상부 또는 연근해 퇴적물에서는 유기물이 풍부하게 포함된 반면, 해양의 중심부로 갈수록 유기물 함량이 현저하게 낮아진다(Romankevich, 1984). 이러한 유기물 분포의 차이는 유기물의 집적과정이 각기 다르기 때문이며, 이는 주로 퇴적 당시의 기후와 해양학적인 요건, 유기물의 종류와 특성 및 집적 양상 등과 관계가 있는 것으로 알려져 있다(Ganeshram *et al.*, 1999).

*Corresponding author: ilsookim@yonsei.ac.kr

퇴적물 내의 유기물 함량과 성분을 분석함으로써 퇴적환경 변화를 유추해 내는 연구는 활발히 이루어져왔다. 퇴적물 내에서 측정된 총유기탄소(TOC: Total Organic Carbon) 함량과 질소의 비율을 계산하여 퇴적환경이 육원성 혹은 해양성인지를 판단하는 연구(Emerson and Hedges, 1988; Jasper and Gagosian, 1990; Meyers, 1994), 수소지수(Hydrogen Index)와 총유기탄소 함량의 상관관계를 통한 해양기원의 유기물의 유입을 판단하는 연구가 있다(Schubert, 1996). 또한 총유기탄소 함량과 퇴적률의 관계(Stein, 1990; Ginsberg, 1998) 및 총유기탄소와 황의 상관관계(Berner, 1984; Morse and Berner, 1995)를 이용하여 유기물이 퇴적되어지는 환경을 유추하는 연구가 이루어지고 있다. 이외에도 퇴적 당시의 환경변화를 유추하는 연구가 활발히 이루어지고 있다(Kowalski and Meyers, 1997; Arthur *et al.*, 1998; Murat and Got, 2000).

동해에 대한 지화학적 연구는 일본의 야마토분지(Yamato Basin)에서 실시한 해양 시추 프로그램(Ocean Drilling Program)의 Leg 128에서 이루어진 바 있다(Stein, 1990; Piper and Issacs, 1996). 하지만 국내의 경우 유기물의 특성 변화를 이용한 퇴적환경 변화에 대한 연구가 아직 미흡한 상태이다.

이번 연구에서는 울릉분지 남서부 해역에서 채취된 두 개의 피스톤 코어(00GHP-01, 00GHP-07)를 대상으로 퇴적학적 분석 결과와 지화학적 분석 결과를 비교하고 해석함으로써 제4기 후기의 퇴적환경 변화를 밝히고자 하였다.

2. 연구방법

본 연구에서는 한국지질자원연구원의 "가스 하이드레이트 탐사 및 개발 연구 사업"의 일환으로 울릉분지 남서부 해역에서 채취한 피스톤 코어 중에서 본 연구를 위하여 두 개의 코어를 선정하여 분석하였다(Fig. 1). 연구에 이용된 코어의 정확한 채취 위치와 수심 및 회수 길이는 Table. 1과 같다.

채취한 코어는 실험실에서 수직으로 양분하여 한 쪽은 저온창고에 보관하였고, 다른 한 쪽은 분석 시료로

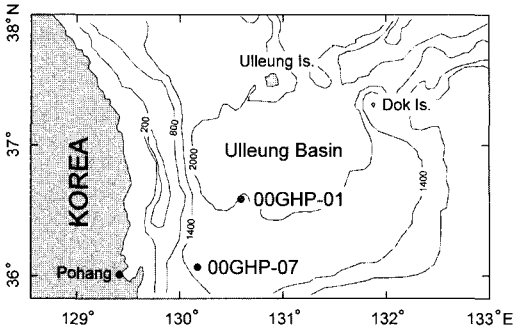

Fig. 1. Sampling location of two piston cores 00GHP-01 and 00GHP-07, obtained from the southwestern Ulleung Basin, East Sea (contour line: bathymetry (m)).

사용하였다. 코어시료에 대한 퇴적학적 관찰과 분석을 위하여 획득한 코어 시료를 실험실에서 퇴적상(sedimentary facies) 변화를 조사하기 위하여 코어 퇴적물을 자세하게 관찰 · 기재하였다. 사진 촬영은 자외선 램프 하에서 30 cm 간격으로 모든 코어에 대해 실시하였다. 육안관찰시 식별이 되지 않는 퇴적구조의 관찰을 위하여 아크릴 슬랩(slab)을 제작하여 X-선 촬영을 하였다. X-선 촬영 시 40초 동안 X-선에 시료를 노출시켰으며 촬영조건은 70 vp, 3 A를 유지하였다. 지화학 분석을 위한 시료는 절개한 코어에서 2~10 cm 간격으로 채취하였다. 채취된 시료는 냉동건조기를 이용하여 건조시킨 후에 분말화하였다. 준비된 시료를 사용하여 총유기탄소와 수소지수를 측정하기 위하여 Vinci사의 Rock-Eval 6을 이용하였고, 질소 함량을 측정하기 위하여 Leco사의 CHN-900을 사용하였다. 황 함량을 측정하기 위하여 Leco사의 SC-132를 이용하였다. $CaCO_3$의 함량은 총탄소(TC)와 총유기탄소(TOC)의 분석 결과로부터 다음과 같이 계산하여 얻었다:

$$CaCO_3\text{함량}(\%) = (TC\text{-}TOC) \times 8.333.$$

3. 퇴적물의 특성

00GHP-01 코어와 00GHP-07 코어는 주로 실트질이 우세한 이질 퇴적물(muddy sediments)로 구성되어 있다. 관찰되어지는 대표적인 퇴적상으로는 엽리 이토 퇴적상(laminated mud facies), 약엽리 이토 퇴적상

Table 1. Sampling log of the piston cores used in the present study.

Core No.	Latitude	Longitude	Water Depth(m)	Core Length(cm)
00GHP-01	36°35.9'N	130°34.3'E	1,975	516
00GHP-07	36°04.9'N	130°08.6'E	1,484	792

(slightly laminated mud facies), 생물교란 이토 퇴적상(bioturbated mud facies), 균질 이토 퇴적상(homogeneous mud facies)을 들 수 있다(박명호 등, 2002). 이들 퇴적상과 함께 실트질 모래(silty sand)와 테프라층(tephra layer)이 부분적으로 협재되어 나타난다. 테프라층은 00GHP-01 코어의 심도 16~18.5 cmbsf, 59.5~61 cmbsf, 220~222.8 cmbsf 및 235~235.6 cmbsf 구간에서, 00GHP-07 코어에서는 심도 242~244.5 cmbsf 구간에서 발견된다. 특히 00GHP-01 코어의 심도 220~222.8 cmbsf 구간과 00GHP-07 코어의 심도 242~244.5 cmbsf 구간에서 관찰되는 테프라층의 광물조성은 규산질 성분(SiO_2)이 54.8~67.8 wt%(평균 64.19 wt%)이고 알칼리 성분인 K_2O와 Na_2O의 합은 평균 12.5 wt%(10.71~13.57 wt%)이다. 이 값은 Furuta *et al.*(1986)에 의해 보고된 울릉-오키 테프라층의 조성과 동일한 것이다. 울릉-오키(Ulleung-Oki) 테프라층(Fig. 2a)은 약 9,300년 전에 분출하여 형성된 것으로 보고되었다(Machida and Arai, 1992). 코어에서 발견되는 울릉-오키 테프라층과 대비되는 테프라층은 수 cm에 이르는 유백색의 부석들 이외에 운모류와 스코리아(scoria), 세립질의 화산재 등으로 이루어져 있다. 00GHP-01 코어의 심도 378~382 cmbsf 구간과 00GHP-07 코어의 심도 432~433 cmbsf 구간에 발달된 층은 약 22,000년 전에 분출된 아이라-탄자와 이벤트(Aira-Tanzawa ash event)와 관련이 있으며(Machida and Arai, 1983, 1992), 주로 유리질 성분의 세립질 파편으로 이루어져 있다. 아이라-탄자와 화산재층의 상부와 하부는 0.5~1 cm 두께의 유공충 연니(foraminiferal ooze)로 구성되어 있다(Fig. 2b). 확대경 관찰에 의하면, 상부와 하부의 연니는 90% 이상이 부유유공충의 각으로 이루어져 있다. 두 코어에서 발견된 테프라층의 절대연령을 기초로 코어 퇴적물의 나이를 계산해 보면, 두 코어는 동위원소층서(MIS: Marine-oxygen Isotope Stage) 3부터 MIS 2를 거쳐 홀로세(Holocene)의 최근까지 기록을 담고 있다. 코어 퇴적물에서 발견되는 특징적인 구조로는 00GHP-07 코어의 심도 491 cmbsf 하위 구간에서 발견되는 수평균열이다(Fig. 2c).

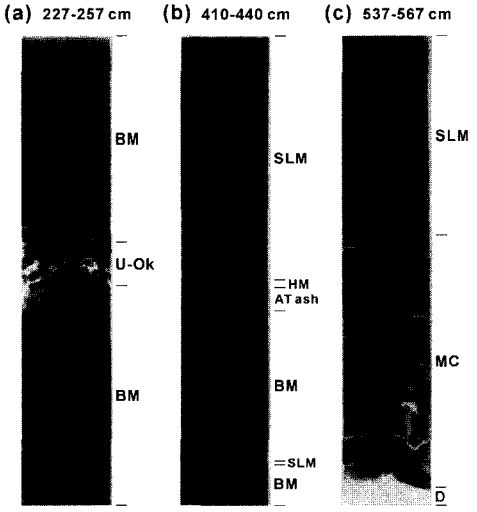

Fig. 2. X-radiographs showing several representative mud facies and tephra layers of the core 00GHP-07. U-Oki: Ulleung-Oki tephra layer, AT: Aira-Tanzawa ash layer, BM: bioturbated mud, SLM: slightly laminated mud, HM: homogeneous mud, MC: mud with cracks, SS: silty sand, and D: disturbed interval.

4. 지화학 분석 결과

코어 퇴적물에 포함된 총유기탄소의 함량은 00GHP-01 코어의 경우 평균 1.83%(0.1%~4.5%)이고, 00GHP-07 코어의 경우 1.79%(0.26%~3.95%)로 측정되었다(Fig. 3). 00GHP-01 코어의 심도 205~255 cmbsf 구간에서 총유기탄소의 함량이 증가하는 추세를 보인다. 반면에 심도 70~125 cmbsf 구간에서는 총유기탄소의 함량이 평균 0.94%로 다른 구간에 비해 상대적으로 낮다. 00GHP-07 코어에서는 심도 250~300 cmbsf 구간에서 함량이 증가하는 추세를 보인다.

수소지수는 단위 유기탄소가 생성할 수 있는 탄화수소 함량을 지시한다. 00GHP-01 코어에서는 평균 323.3 mgHC/gTOC(125~964 mgHC/gTOC), 00GHP-07코어에서는 평균 221.89 mgHC/gTOC(48~482 mgHC/gTOC)로 측정되었다(Fig. 3). 분석결과 00GHP-01 코어의 경우 00GHP-07 코어에 비해 전체적으로 높은 수소지수 값을 갖는다.

황의 함량은 00GHP-01 코어에서 0.36%~3.06%(평균 1.59%), 00GHP-07 코어에서 0.16%~2.00%(평균 0.94%)로 측정되었다(Fig. 3). 두 코어 모두 심도에 따른 황 함량의 변화 양상이 나타나지 않는다. CaCO3 함량은 00GHP-01 코어에서는 0.69%~54.2%(평균 10.53%)이고, 00GHP-07 코어는 0.07%~46.5%(평균 10.21%)이다(Fig. 3). 아이라-탄자와 화산재층으로 사료되는 구간(00GHP-01: 심도 378~382 cmbsf, 00GHP-07: 심도 432~433 cmbsf)에서 높은 함량(00GHP-01: 39.42%, 00GHP-07: 46.47%)을 보인다. 이는 아이라-탄자와 화산재층과 동반되어 나타나는 유공충연니의 영

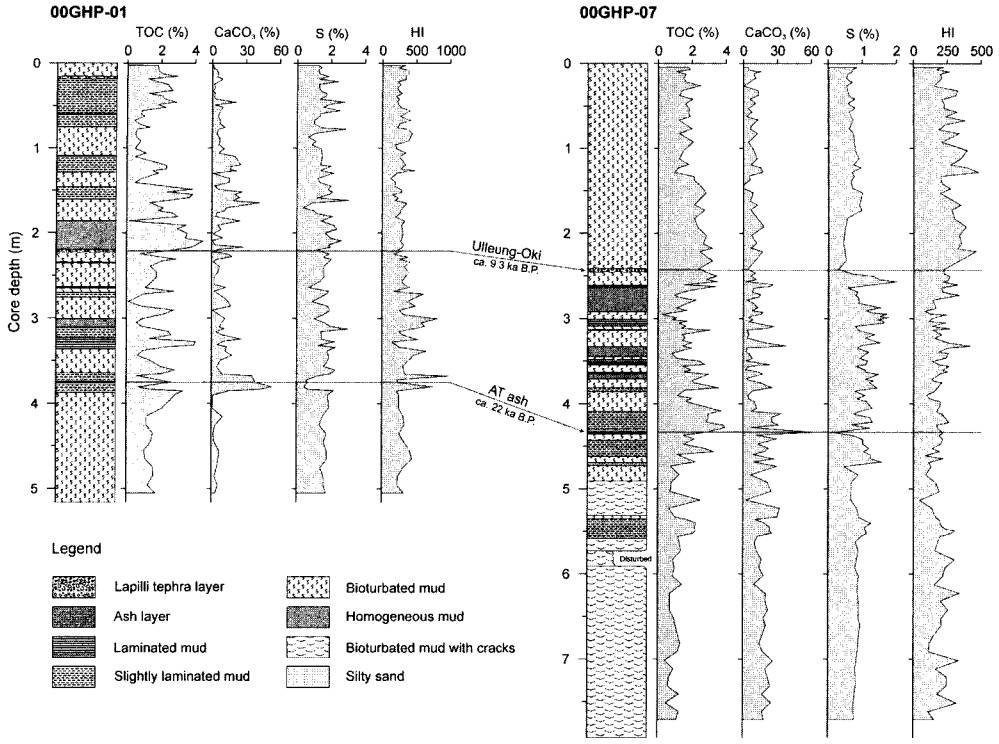

Fig. 3. Sedimentological and geochemical data from the cores 00GHP-01 and 00GHP-07; TOC: total organic carbon contents; S: sulfur contents; HI: hydrogen index.

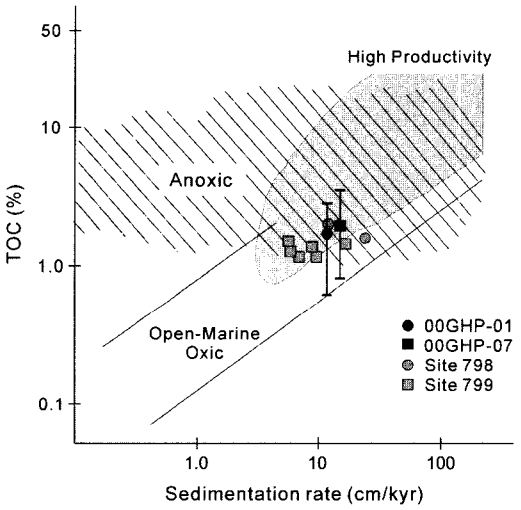

Fig. 4. Relationship between Total Organic Carbon and sedimentation rates at cores 00GHP-01 and 00GHP-07 (after Stein, 1990).

향으로 사료된다.

심도별 총유기탄소와 질소의 비율은 00GHP-01 코어에서는 평균 6.18(0.46~17.63), 00GHP-07 코어에서는 평균 7.42(2.04~26.6)이다(Fig. 4).

5. 토 의

5.1. 총유기탄소 함량

퇴적물에 포함된 총유기탄소 함량은 00GHP-01 코어에서 평균 1.83%, 00GHP-07 코어에서는 평균 1.79%로 측정되었다. 일반적인 개방형 해양에 부존된 0.3%의 퇴적물 내의 총유기탄소 함량을 갖는 것(Suess, 1980)에 비하면 상당히 높은 편에 속한다. 총유기탄소 함량은 일반적으로 생물교란 이토 구간보다는 엽리가 발달된 구간에서 높게 나타나는데, 생물교란 이토 구간에서는 유기물의 집적이 생물분해에 의해 방해되었던 것으로 판단된다. 00GHP-01 코어의 심도 205~255 cmbsf 구간과 00GHP-07 코어의 250~300 cmbsf 구간에서는 유기탄소의 함량이 점진적으로 증가하는 양상을 보여준다(Fig. 3). 이 구간은 MIS 2에서 MIS 1로 환경이 변화하는 Termination I에 해당하며, 총유기탄소의 함량 증가는 해수면 상승과 함께 유기물의 유입이 증가하였음을 추측케 한다.

5.2. 총유기탄소 함량과 퇴적률

퇴적률은 울릉-오키 테프라와 아이라-탄자와 이벤트를 기준으로 계산한 결과 00GHP-01 코어에서 12.1 cm/kyr, 00GHP-07 코어에서는 14.9 cm/kyr이다(박명호 등, 2002). 연구 코어의 총유기탄소 함량의 평균값과 퇴적률의 상관관계를 각각 그래프상에 도시해 보면, 두 코어 모두 상대적으로 산소가 결핍(anoxic)되고 생산성(productivity)이 다소 높은 해양환경에서 퇴적되었던 것으로 보인다(Fig. 4). 이는 야마토분지(Yamato Basin)와 야마토뱅크(Yamato Bank)에서 채취된 ODP Leg 128의 Site 798과 Site 799 퇴적물에 대한 분석 결과와 매우 유사하다(Stein, 1991). 또한 Ginsberg(1998)에 의하면, 유기탄소의 값이 0.1~2 %이고 퇴적률이 2~13 cm/kyr이면 퇴적이 빠르게 일어난 퇴적환경이라고 해석하였다. 이 결과에 연구 코어를 대비시켜 보면 코어가 채취된 지역은 빠르게 퇴적되어진 환경이었을 것으로 해석된다.

5.3. 수소지수와 총유기탄소 함량

수소지수는 상대적으로 낮은 총유기탄소 함량을 보이는 00GHP-01 코어의 상부구간(심도 70~125 cmbsf)에서 높게 나타난다(Fig. 3). 이와 같은 현상은 해양성 유기물의 유입의 증거로 볼 수 있으며(Schubert, 1996), 동위원소층서(MIS)에 대비시켜 보면 MIS 1동안 해수면의 상승으로 인해 해양성 유기물의 유입이 많았던 것으로 해석된다. 이와 같은 특징은 00GHP-07 코어의 상부 구간에서는 나타나지 않는데, 그 원인은 재동(reworked)된 퇴적물로 이루어져 뚜렷한 특징이 나타나지 않는 것으로 보인다(Pratt, 1984). 그러나 수소지수 함량은 스멕타이트(smectite), 일라이트(illite)와 같은 점토광물 및 석고(gypsum), 방해석(calcite) 등의 함량 증가로 인해 현격히 떨어질 수 있기 때문에 고려하여 판단해야 한다(Espitalie *et al.*, 1980; Orr, 1983; Hunt, 1996).

5.4. 총유기탄소와 질소 함량

총유기탄소와 질소의 비율에 대한 연구(Emerson and Hedges, 1988; Jasper and Gagosian, 1990; Meyers, 1994)에 의하면 일반적으로 유기탄소와 질소의 비율이 4~10일 경우 신선한 해양 유기물로 보고, *20~100인 경우 육상기원 유기물로 본다.*

두 개의 코어에서 계산된 총유기탄소와 질소의 비율은 00GHP-01 코어에서 평균 6.18이며 00GHP-07 코어는 평균 7.42이다(Fig. 5). 이와 같이 상대적으로 낮은 값은 00GHP-01 코어와 00GHP-07 코어를 구성하는 퇴적물 내의 유기물은 육원성 유기물보다는 해양성 유기물이 상대적으로 많이 포함되어 있는 것을 지시한다. 일부 시료의 경우 1 이하의 값을 나타나는 경우도 있는데 이런 경우는 너무 낮은 값을 갖기 때문에 해양성임을 판단하는데는 무리가 있다. 또한 일부 시료에서 10이상 20이하의 값을 나타내는데 이는 육원성 유기물의 영향을 받은 것으로 생각할 수 있다.

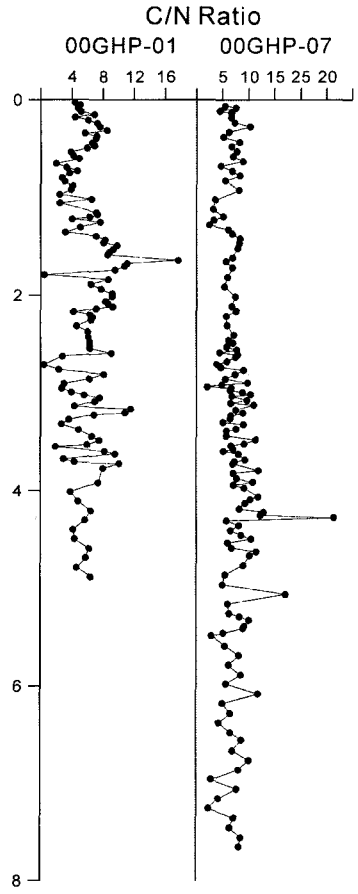

Fig. 5. C/N ratios in the study cores.

5.5. 총유기탄소와 황 함량

총유기탄소와 황 함량의 상관관계를 통한 퇴적환경 유추방법(Berner, 1984; Morse and Berner, 1995)에 두 코어를 대비시켜 보면, 두 코어의 퇴적 환경은 빙기에서 간빙기로 가면서 산소 공급이 원활한 환경(oxic)으로 전이됨이 보여진다. 00GHP-01 코어가 00GHP-07 코어에 비해 전체적으로 좀 더 산소가 결핍된 환경에서 형성되었음을 지시한다(Fig. 6). 00GHP-01 코어는

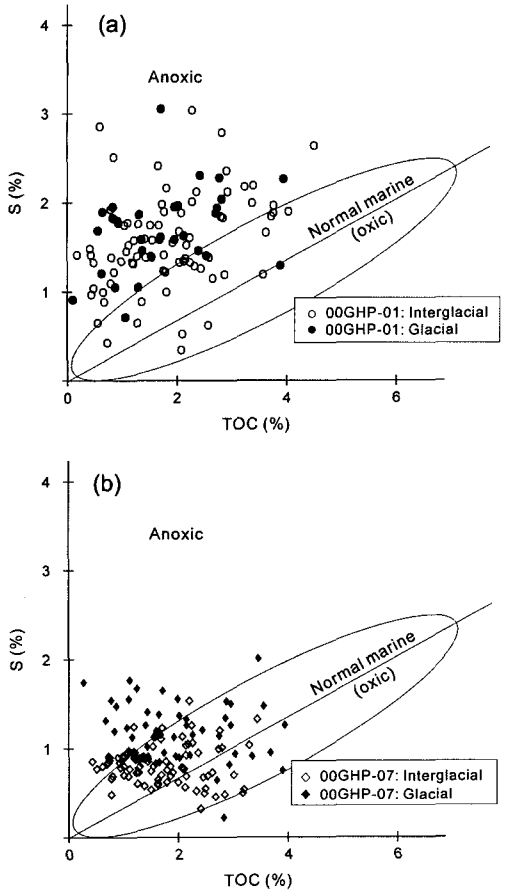

Fig. 6. Relationship between total organic carbon and sulfur contents of the cores: (a) 00GHP-01 and (b) 00GHP-07. Distinction between oxic and anoxic environment according to Leventhal(1983) and Berner(1984).

빙기에서 간빙기로 전환되는 기간의 환경변화가 적은 편이며 간빙기동안 산소가 있는 환경으로 전이되는 부분이 일부 나타난다(Fig. 6a). 반면, 00GHP-07 코어는 빙기에서 간빙기로 가면서 산소가 많아지는 환경으로 변하는 것이 뚜렷이 나타난다(Fig. 6b). 이런 두 코어의 양상 차이는 00GHP-01 코어가 상대적으로 분지 중심부의 가까운 쪽에 위치하고 수심이 깊기 때문에 간빙기로 변화하면서 일어나는 해수면의 상승과 관련된 환경 변화의 영향을 00GHP-07 코어에 비해 보다 적게 받았기 때문이라고 생각된다.

6. 결 론

1. 총유기탄소의 함량은 각각 평균 1.83%(00GHP-01), 1.79%(00GHP-07)로 일반적인 개방형 해양보다 상당히 높은 함량을 나타낸다. 두 코어에서 유기탄소 함량이 MIS 2에서 MIS 1로 변화하는 시기(Termination I)에 증가하는 양상을 보이는 것은 해수면 상승과 함께 유기물의 유입이 증가하였을 것으로 판단된다. 울릉-오키 테프라층과 아이라-탄자와 화산재로 사료되는 층을 기준으로 계산된 퇴적률(12.1~14.9 cm/kyr)과 총유기탄소 함량을 연관하여 비교해 보면, 연구 지역은 높은 퇴적률을 가지고 있어 유기물의 집적이 용이했을 것으로 생각된다.

2. 총유기탄소와 질소의 비율을 측정한 결과, 00GHP-01(평균 6.18)과 00GHP-07(평균 7.42)은 해양성 기원의 유기물로 이루어진 것으로 생각된다.

3. 아이라-탄자와 화산재 층으로 추정되는 구간에서 $CaCO_3$ 함량이 상대적으로 높게 나타나는 원인은 구간의 상부와 하부에 유공충 각이 90% 이상 존재하기 때문이다.

4. 유기탄소와 수소지수의 상관관계로 볼 때, 00GHP-01 코어의 상부구간(심도 70~125 cmbsf)에서 해양성 유기물의 유입이 증가하였을 것으로 추정된다.

5. 유기탄소와 황의 상관관계에 의하면 두 코어는 다소 산소가 결핍된 환경에서 퇴적되어진 것으로 추정되며, 빙기에서 간빙기로 전환되면서 해수면 상승으로 인해 산소 공급이 원활한 환경으로 전이되었던 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원에서 수행하고 있는 "가스 하이드레이트 탐사 및 개발 연구" 결과의 일부이다. 본 연구사업을 위해 연구비를 지원해 주신 한국가스공사에 깊은 감사를 드린다. 탐사자료의 취득과 실험을 위하여 힘써 주신 참여 연구원들과 탐해 2호의 선박직원들께 감사를 드린다. 또한 논문에 대한 고견을 주신 한국교원대학교 위수민 교수님과 고려대학교 유인창 박사님께 심심한 감사를 드린다.

참고문헌

박명호, 류병재, 김일수, 정태진, 이영주, 유강민 (2002) 울릉분지 남서부 해역의 천부퇴적물에 대한 층서 · 퇴적학적 연구. 자원환경지질. 35권, p. 171-177.

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.

Berner, R.A. (1984) Sedimentary pyrite formation: An update. Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 48, p. 605-615.

Emerson, S. and Hedges, J.I., (1988) Processes controlling the organic carbon content of open ocean sediments. Paleoceanography, v. 3, p. 621-634.

Espitalié, J., Madec, J. and Tissot, B. (1980) Role of mineral matter in kerogen pyrolysis: Influence on petroleum generation and migration. AAPG Bulletin, v. 64, p. 58-66.

Furuta, T., Fujioka, K. and Arai, F. (1986) Widespread submarine tephras around Japan: Petrographic and chemical properties. Marine Geology, v. 72, p. 125-142.

Ganeshram, R.S., Calvert, S.E., Pedersen, T.F. and Cowie, G.L. (1999) Factors controlling the burial of organic carbon in laminated and bioturbated sediments off NW Mexico: Implications for hydrocarbon preservation. Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 63, p. 1723-1734.

Ginsberg, G.D. (1998) Gas hydrate accumulation in deep-sea marine sediments. In Henriet, J.P. and Mienert, J. (eds.) Gas Hydrates: Relevance to World Margin Stability and Climate Change. Geological Society London, Special Publication, no. 137, p. 51-62.

Hunt, J. M. (1996) Petroleum geochemistry and geology. 2nd(ed.), W. H. Freeman and Company, New York, 743p.

Jasper, J.P. and Gagosian, R. (1990) The sources and deposition of organic matter in the Late Quaternary Pygmy Basin, Gulf of Mexico. Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 54, p. 1117-1132.

Kowalski, E.A. and Meyers, P.A. (1997) Glacial-interglacial variations in Quaternary production of marine organic matter at DSDP Site 594, Chatham Rise, southeastern New Zealand margin. Marine Geology, v. 140, p. 249-263.

Leventhal, J.S. (1983) An interpretation of carbon and sulfur relationships in Black Sea sediments as indicators of environments of deposition. Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 47, p. 133-137.

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.

Meyers, P.A. (1994) Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. Chemical Geology, v. 114, p. 289-302.

Morse, J.W. and Berner, R.A. (1995) What determines sedimentary C/S ratios? Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 59, p. 1073-1077.

Murat, A. and Got, H. (2000) Organic carbon variations of the eastern Mediterranean Holocene sapropel: a key for understanding formation processes. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 158, p. 241-257.

Orr, W.L. (1983) Comments on pyrolytic hydrocarbon yields in source-rock evaluation. In Bjorøy et al. (eds.) Advances in organic geochemistry. Wiley & Sons, p. 775-787.

Piper, D.Z. and Issacs, C.M. (1996) Instability of bottom-water redox conditions during accumulation of Quaternary sediment in the Japan Sea. Paleoceanography, v. 11, p. 171-190.

Pratt, L.M. (1984) Influence of paleoenvironmental factors on preservation of organic matter in Middle Cretaceous Greenhorn Formation, Pueblo, Colorado. AAPG Bulletin, v. 68, p. 1146-1159.

Premuzic, E.T., Benkovitz, C.M., Gaffney, J.S. and Walsh, J.J. (1982) The nature and distribution of organic matter in the surface sediments of world oceans and seas. Organic Geochemistry, v. 4, p. 63-77.

Romankevich, E.A. (1984) Geochemistry of organic matter in the ocean. Springer, Berlin, 334p.

Schubert, C.J. (1996) Deposition of organic carbon in arctic ocean sediments: terrigenous supply vs marine productivity. Organic Geochemistry, v. 24, p. 421-436.

Stein, R. (1990) Organic carbon content/sedimentation rate relationship and its paleoenvironmental significance for marine sediments. Geo-Marine Letters, v. 10, p. 37-44.

Stein, R. (1991) Accumulation of organic carbon in marine sediments: results from the Deep Sea Drilling Project/Ocean Drilling Program. In Bhattacharji, S., Friedman, G.M., Neugebauer, H.J. and Seilacher, A. (eds.) Lecture Notes in Earth Sciences. Springer, v. 34, 217p.

Suess, E. (1980) Particulate organic carbon flux in the oceans-surface productivity and oxygen utilization. Nature, v. 288, p. 260-263.

2003년 1월 15일 접수일자, 2003년 2월 22일 게재승인.