

울릉분지의 제4기 퇴적물에서 구조를 이용한 고기후 연구

박영숙^{1,*} · 이성주¹ · 천종화² · 이종덕³

¹경북대학교 지질학과

²한국지질자원연구원 석유해저연구본부

³전북대학교 지구환경과학과

요 약: 울릉분지 제4기 코어퇴적물 UBGH1-04와 UBGH1-10에서 산출된 구조군집과 구조 개체수농도, 환경 지시종(*Actinocyclus curvatus*, *Neodenticula seminae*, *Fragilariopsis doliolus*, *Hemidiscus cuneiformis* 와 *Thalassiosira oestrupii*)를 이용하여 구조 군집대를 구분하고 고기후 변화를 연구하였다. 2개의 연구 코어퇴적물로부터 산출된 구조분석에 의하여 각각 2개의 구조 군집대를 설정하였다: 구조 군집대 4-I (18,559 cm - 5,860 cm), 4-II (2,089 cm - 543 cm), 구조군집대 10-I (20,490 cm - 12,800 cm), 10-II (12,267 cm - 789 cm). 또한, UBGH1-04 코어 퇴적물이 퇴적되는 동안 하부에서 상부로 갈수록 temperate - cold - warm - temperate 로의 기후변화를 겪었음을 알 수 있었으며, UBGH1-10 코어퇴적물은 cold - warm - temperate로 세 번의 기후변화를 보여준다. 대마난류 유입의 지시종인 *Fragilariopsis doliolus*와 *Hemidiscus cuneiformis*의 산출로 보아 UBGH1-04 코어퇴적물에서는 18,559 cm 와 543 cm 시기, UBGH1-10 코어퇴적물에서는 20,490 cm 와 17,671 cm 시기에 대마난류가 유입되었음을 알 수 있다.

주요어: 구조 군집대, 구조 개체수농도, 고기후, 환경지시종

서 론

구조는 황갈색식물문(*Chrysophyta*)의 구조강에 속하는 단세포 조류로서, 크기는 평균적으로 20~100 μ m이다. 형태에 따라서 중심구조목과 우상구조목으로 나뉘며, 세포는 규산질인 2개의 강이 중첩된 2각 구조로 크기가 다소 큰 상각은 크기가 작은 하각을 뚜껑처럼 덮고 얇은 띠(girdle)에 의하여 연결되어 있다. 퇴적물 안에서 구조의 기록은 과거 수성환경이었음을 지시해주는 도구로서 유용하다(Stoermer and Smol, 1999). 또한 구조는 중요한 1차 생산자로서 이들의 군집조성과 생산성의 변화는 수온, 염도, 영양염류의 변화와 같은 고생태학적인 정보를 제공한다. 구조는 북서태평양의 퇴적물에서 매우 풍부하게 산출되며 다른 미화석들 보다 다양하고 광범위하게 분포한다(Jousé, 1962; Kanaya and Koizumi, 1966; Kozlova and Mukhina, 1967; Sancetta, 1982; Tanimura, 1999; Khim et al., 2005).

연구지역인 울릉분지에서의 구조 연구로는 동해안 지대와 인근 해저의 신제 3기층에 대한 연구로 이영길(1986)이 있으며, 류은영(2003)과 Ryu et al., (2005)는 울릉분지의 후기 제4기층에 대한 고환경 연구를 수행하였다. 또한 박영숙 외(2009)는 울릉분지의 제4기 플라이스토세 지층에 대한 구조 연구를 보고한 바 있다. 본 연구는 한국지질자원연구원에서 수행한 ‘가스하이드레이트 지질·지화학 및 안정성 연구’ 사업의 일환으로 시추선 REM ETIVE를 사용하여 울릉분지의 2 지점에서 채취한 UBGH1-04와 UBGH1-10의 코어퇴적물의 catcher sample을 이용하여 구조를 분석하고, 연구지역의 퇴적당시 고환경 변화를 추적하고자 한다.

연구지역 및 연구 방법

동해는 평균 수심 약 1350 m 이상의 반폐쇄성 주변해로서 4개의 얇은 해협 (타타르스키해협, 소야해협, 쓰가루해협, 대한해협)에 의해 호호츠크해, 북태평양, 동중국해로 연결된다. 울릉분지는 동해 남서부에 위치하

*Corresponding author E-mail: sydin@knu.ac.kr

며, 북쪽으로 한국대지, 동쪽으로 오키뱅크, 서쪽으로 한반도의 경사가 가파른 대륙사면, 그리고 남쪽으로 일본열도의 완만한 사면에 의하여 수심이 깊은 볼 형태 (bowl-shaped)를 가지는 퇴적분지이다. 본 연구에 사용된 2개의 시추 코어퇴적물은 울산 앞바다로부터 약 90-200 km 떨어진 지점에서 시추되었다(Fig. 1). 시추된 코어퇴적물에서 구조를 연구하기 위하여 UBGH1-04 (코어길이, 18,559 cm)에서 8개와 UBGH1-10 (코어길이 20,490 cm)에서 13개의 시료를 채취하여 총 21개의 시료를 대상으로 하였다. 이들 코어 퇴적물로부터 구조 화석 추출 실험을 하기 위해서는 박영숙 외 (2007)의 시료처리방법을 사용하였으며, 구조의 절대 개체수 농도를 알아보기 위하여 Boden(1991)의 공식에 의거하여 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{DVC (Diatom Valve Concentration)} = \frac{\text{WS} \times \text{AV} \times \text{NV} \times \text{VS}}{\text{WD} \times \text{AC} \times \text{ND}}$$

여기에서 WD: weight of the dried initial sample, AC: area of the setting container, ND: number of diatom valves counted, WS: weight of the sample solution, AV: area of the view-field, NV: number of view fields, VS: volume of sub-sample을 나타낸다.

결과 및 토의

1) UBGH1-04

울릉분지 내에서 채취한 코어 퇴적물 UBGH1-04의 총 8개 시료에서 산출된 구조를 분석한 결과, 전 층수에 걸쳐서 구조가 꾸준히 산출되었으나, 543cm, 5,860cm, 12,388cm 구간에서는 매우 적은 양이 산출되었다. 총 32속 66종의 구조가 감정되었으며 감정하기 어려운 부서진 조각도 다량 산출되었다. 구조 개체수 농도는 $2.2-8.4 \times 10^7/\text{g}$ 범위를 차지한다(Fig. 2). 산출된 구조 군집 조성을 살펴보면 주요 구성 종으로서 *Paralia*

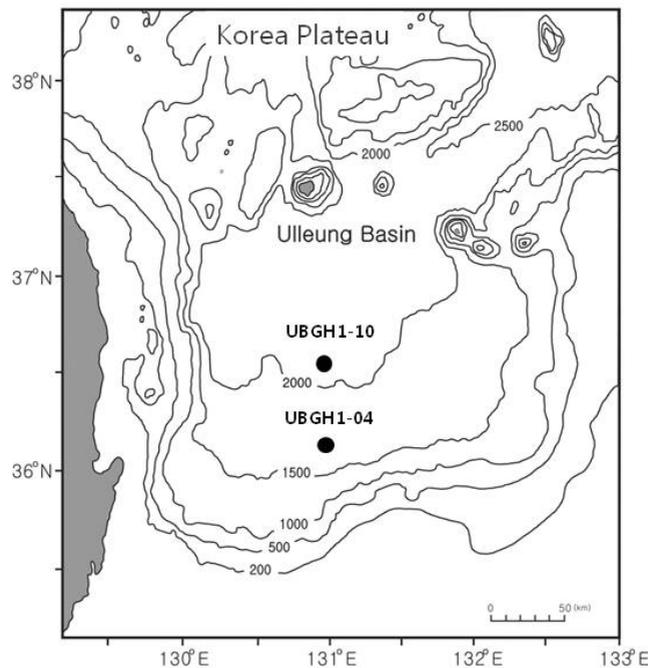


Fig. 1. Location map of the study area with coarse-scale bathymetry in the Ulleung Basin, East Sea.

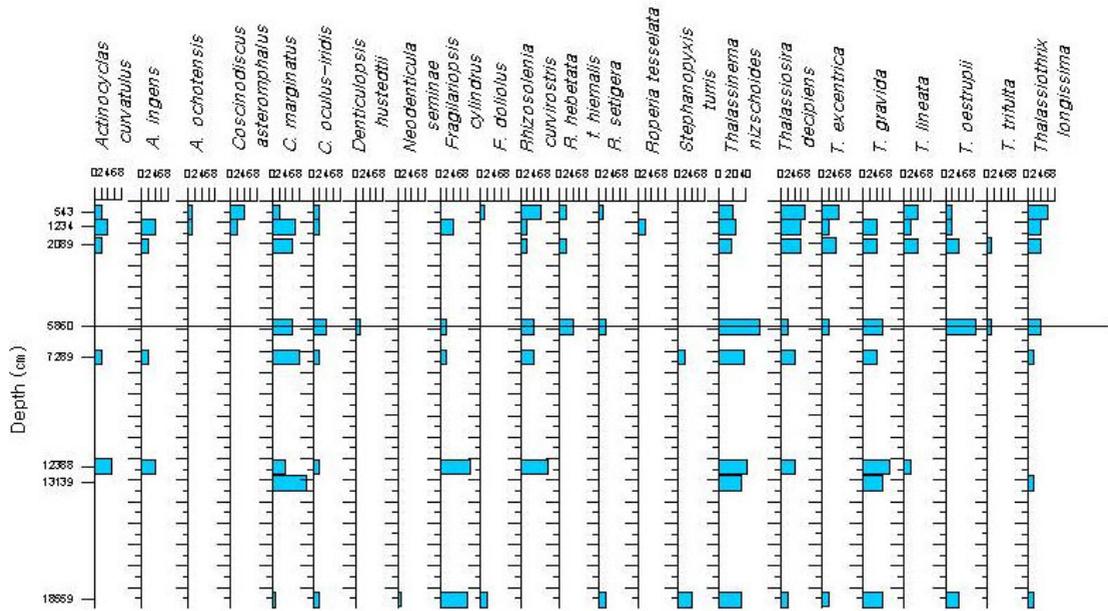


Fig. 2. Vertical abundance of the marine planktonic diatom taxa in UBGH1-04.

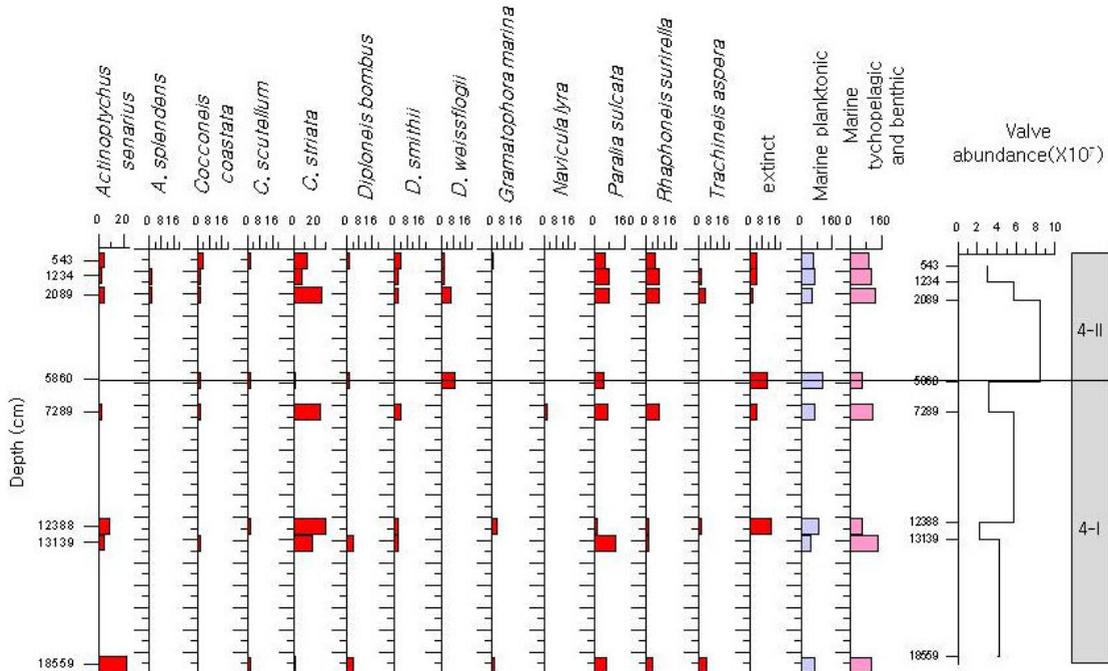


Fig. 3. Vertical abundance of the marine tychoepelagic and benthic diatom taxa in UBGH1-04.

*sulcata*가 31.1%로 가장 많이 산출되었으며 *Thalassinema nitzschoides* (16.1%)와 *Cyclotella striata* (7.5%)가 다량 산출되었다. 이에 동반하여 산출되는 종으로서 *Actinoptychus senarius* (2.8%), *Coscinodiscus marginatus* (2.6%), *Thalassiosira gravida* (2.3%)와 *Xanthiopyxis oblonga* (2.3%)가 전 층수에 걸쳐 꾸준히 산출되고 있다. 또한, 산출된 규조종은 marine planktonic taxa와 marine tychoepelagic and benthic taxa로 구분되는

데, 전체적으로는 marine planktonic taxa의 산출분포가 24~54%에 해당하여 marine tychopelagic and benthic taxa가 31~69%로 상대적으로 약간 풍부하게 산출되었다 (Fig. 2, 3).

UBGH1-04 구조 군집대

구조군집대 4-I (18,559-5,860 cm)

구조 개체수 농도가 $2.2\text{-}5.7 \times 10^7/\text{g}$ 범위에 해당하고 oceanic diatoms인 *Actinocyclus ochotensis*, *Fragilariopsis doliolus*, *Roperia tessellata* 등의 산출이 없으며, *Thalassiothrix longissima*는 산출이 적다. Littoral-neritic meroplanktonic diatoms인 *Thalassinema niszchioids*와 *Cyclotella striata*는 상부로 갈수록 산출이 증가하며, *Stephanopyxis turris*가 산출된다. 또한 *Actinoptychus senarius*의 산출이 상부로 갈수록 점점 감소한다.

구조군집대 4-II (2,089-543 cm)

구조 개체수 농도는 $3.2\text{-}8.4 \times 10^7/\text{g}$ 범위에 해당하며 구조군집대 4-I에서보다 증가하는 경향을 보여준다. Oceanic diatoms로서 *A. ochotensis*, *F. doliolus*, *R. hebetata f. hiemalis*, *R. tessellata*와 *T. trifulta*의 산출이 5,860 cm 이상의 상부 층에서 나타내고 *Thalassiosira oestrupii*는 18,559 cm 층을 제외하고 5,860 cm 이상의 상부에서 나타낸다. *Th. longissima*는 5,860 cm 이상의 상부층에서 하부 층에 비해 상대적으로 많이 산출된다. Littoral-neritic meroplanktonic diatoms인 *Th. niszchioids*는 5,860 cm 층보다 상부 구간에서 상대적으로 적은 산출을 보인다.

2) UBGH1-10

UBGH1-10코어 퇴적물은 수심 2000m 이상의 완만한 경사지에서 채취하였으며 UBGH1-04코어보다 북쪽에 위치한다. 이 코어 퇴적물로부터 총 13개의 시료를 관찰하였으며 총 36속 79종의 구조가 감지되었다. 전체적으로 구조 개체수 농도는 $1.8\text{-}9.6 \times 10^7/\text{g}$ 범위를 차지하며, 14,100 cm와 17,671 cm 구간에서는 구조의 산출이 폭발적으로 증가한다.

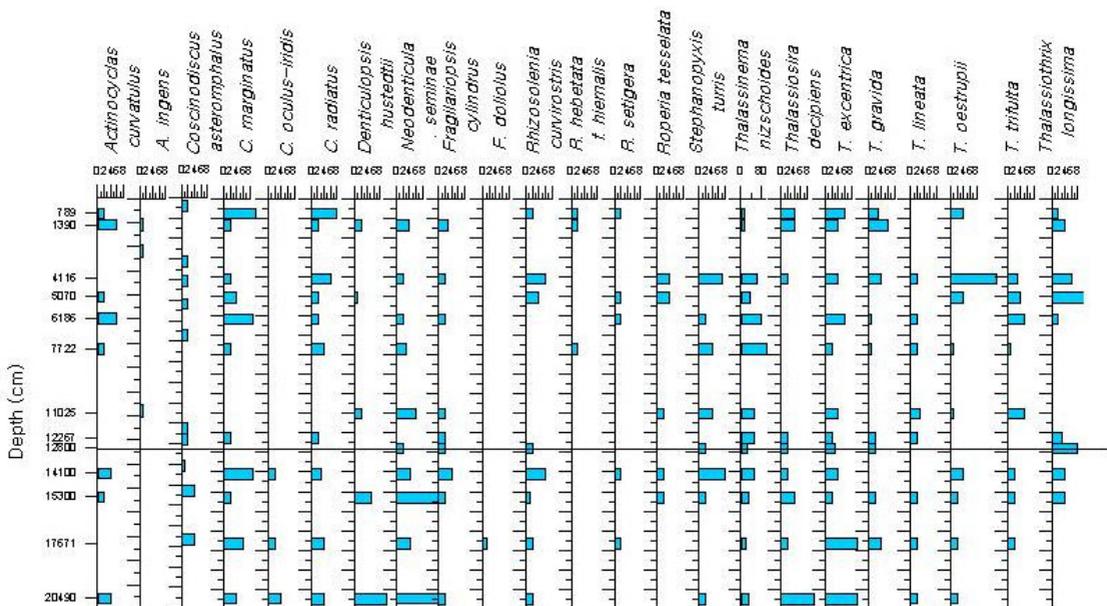


Fig. 4. Vertical abundance of the marine planktonic diatom taxa in UBGH1-10.

*Thalassinema nitzschioides*의 산출율이 20.5%로 *Paralia sulcata*의 19.2%보다 많이 산출되어, UBGH1-04 코어 퇴적물에서와는 달리 *Th. nitzschioides*가 가장 많이 산출되었다. 부수적으로는 *Cyclotella striata* (7.2%), *Chaetoceros* spp. (5.2%), *Actinocyclus senarius* (4.2%), *Xanthiopyxis* sp. (2.6%), *Diploneis bumbus* (2.6%), *Thalassiosira extrica* (2.1%), *Neodenticula seminae* (2%) 등이 산출되었다. 환경지시종들로서 marine planktonic taxa가 26-62% marine tychopelagic and benthic taxa가 14-57% 산출되었으며 최상부구간인 789 cm에서는 fresh water taxa가 나타난다(Fig. 4, 5).

UBGH1-10 규조군집대

규조군집대 10-I (20,490-12,800 cm)

규조 개체수 농도가 $3.4-9.6 \times 10^7/g$ 범위에 해당하며 oceanic diatoms인 *Actinocyclus ingens*와 *Rhizosolenia hebetata f. hiemalis*의 산출이 없고 marine tychopelagic and benthic diatom인 *Actinocyclus splendens*, *Cocconeis coastata*, *C. placentula*와 *Diploneis weissflogii*의 산출도 보이지 않는다. 전체적인 marine tychopelagic and benthic diatom의 산출이 12,800 cm 이하의 층에서 상대적으로 적게 나타난다.

규조군집대 10-II (12,267-789 cm)

규조 개체수 농도가 $1.8-6.0 \times 10^7/g$ 범위에 해당하며 규조군집대 10-I에서보다 감소하는 경향을 보여준다. 연안환경을 지시해주는 *Actinocyclus octonarius*와 *Actinocyclus senarius*의 산출이 적어지며 oceanic diatoms인 *A. curvatulus*, *Coscinodiscus radiatus*와 *Thalassiothrix longissima*가 10-I 규조분대에 비해서 상대적으로 많이 산출된다. 789 cm에서 담수종인 *Epithemia zebra*가 1개체 산출되었다.

고환경 해석

연구 코어 퇴적물 UBGH1-04와 UBGH1-10에서 산출된 환경 지시종으로서 차가운 해수의 유입을 지시해주는 *Actinocyclus curvatulus*와 *Neodenticula seminae*의 산출과 따뜻한 대마 난류의 유입을 지시해 주는

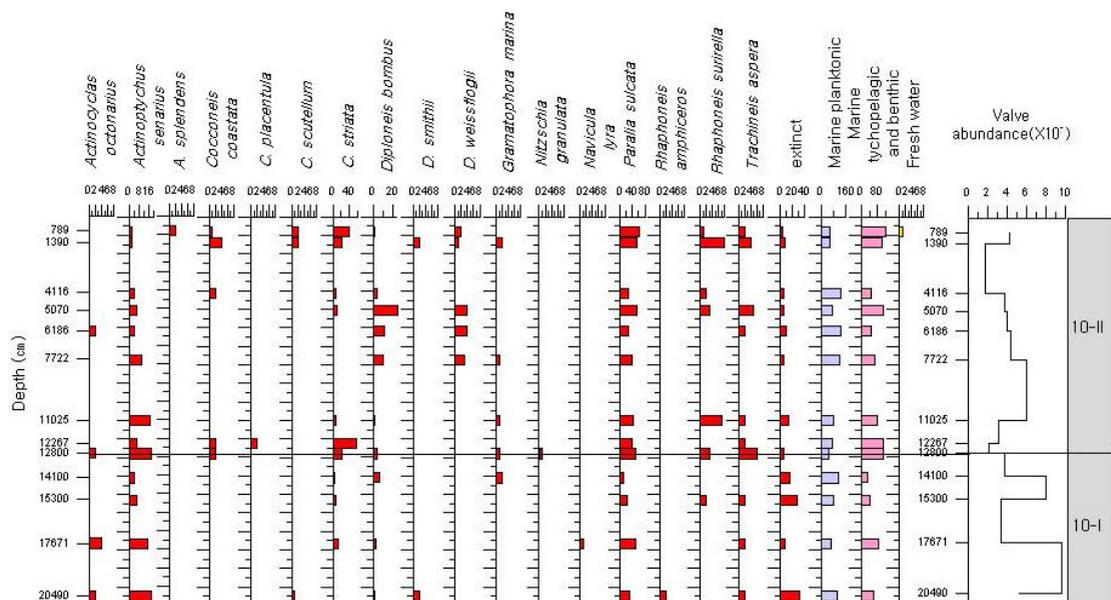


Fig. 5. Vertical abundance of the marine tychopelagic and benthic diatom and fresh water taxa in UBGH1-10.

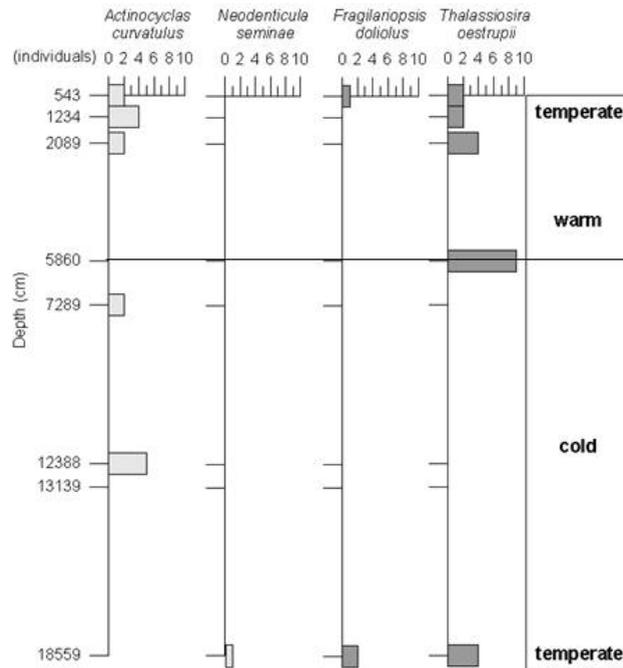


Fig. 6. Vertical variations of indicate taxa (cold species: *Actinocyclus curvatulus* and *Neodenticula seminae*; warm species: *Fragilariopsis doliolus* and *Thalassiosira oestrupii*) in the UBGH1-04 sediment. The right box indicating paleoclimate changes.

Fragilariopsis doliolus, *Hemidiscus cuneiformis*, *Thalassiosira oestrupii*의 산출 분포를 비교하여 퇴적 당시의 고환경 변화를 추적하였다(Tanimura, 1981; Koizumi, 1989; Koizumi *et al.*, 2003). 온대종과 한대종의 상대적인 비를 나타내는 구조 온도지수 Td 값을 이용하여 변화를 알아내는 것이 일반적이나 시료 채취 층준의 간격이 매우 길고 불규칙하기 때문에 전체적인 변화 경향을 보기 어려워 환경지시종들의 분포를 이용하였다. UBGH1-04 코어퇴적물에서 18,559 cm 층준에서는 한대종인 *N. seminae*와 온대종인 *F. doliolus*, *T. oestrupii*가 혼합되어 산출되는 양상을 보였으며, 12,388 cm와 7,289 cm 층준에서는 한대종인 *A. curvatulus*만 산출된다. 5,860 cm 층준에서는 온대종인 *T. oestrupii*만 산출되며 2089-543 cm 층준에서는 최하부와 마찬가지로 한대종인 *A. curvatulus*와 온대종인 *F. doliolus*, *T. oestrupii*가 혼합되어 산출된다. 따라서 UBGH1-04 코어퇴적물이 퇴적되는 동안 temperate - cold - warm - temperate로 고기후가 변화하였음을 알 수 있다(Fig. 6).

UBGH1-10 코어퇴적물에서는 20,490 cm에서 한대종인 *Actinocyclus curvatulus*와 *Neodenticula seminae*가 온대종에 비해서 다량산출 되었으나 대마난류 유입의 지시종인 *H. cuneiformis*가 산출되었다. 또한 17,671 cm 층준에서는 *H. cuneiformis*와 더불어 대마 난류의 유입을 지시하는 *Fragilariopsis doliolus*의 산출이 나타났으며 상대적으로 한대종의 산출이 줄어들고 온대종의 산출이 미약하게 나타났다. 대마난류의 유입을 지시하는 종들이 소량 산출되었으나 전체적으로는 한냉한 기후에서 17,671 cm 층준이 퇴적되는 동안 약간 온난화 되는 경향을 보인다. 그러나 15,300 cm 층준에서는 다시 한대종인 *Neodenticula seminae*의 산출이 갑자기 증가하며 상부 6,186 cm 층준까지 한대종의 산출이 온대종의 산출보다 우세하게 나타난다.

4,116 cm 층준에서는 온대종인 *Thalassiosira oestrupii*의 산출이 매우 증가하나 상부 층준인 1,390 cm 에서는 산출되지 않는다. 1,390-789 cm 층준은 상대적으로 한대종의 산출이 약간 우세하여 추운시기이다. 이를 종합해 보면 UBGH1-10 코어퇴적물이 퇴적되는 동안 적어도 3번 이상의 기후변화가 있었으며 전반적으로 cold - warm - temperate로 변화하였음을 알 수 있다(Fig. 7). UBGH1-04 와 UBGH1-10 코어퇴적물의 기후 변화 패턴이 전반적으로는 유사하나 시료 간격이 넓기 때문에 두 코어간의 연대 또는 군집대비를 하기 위

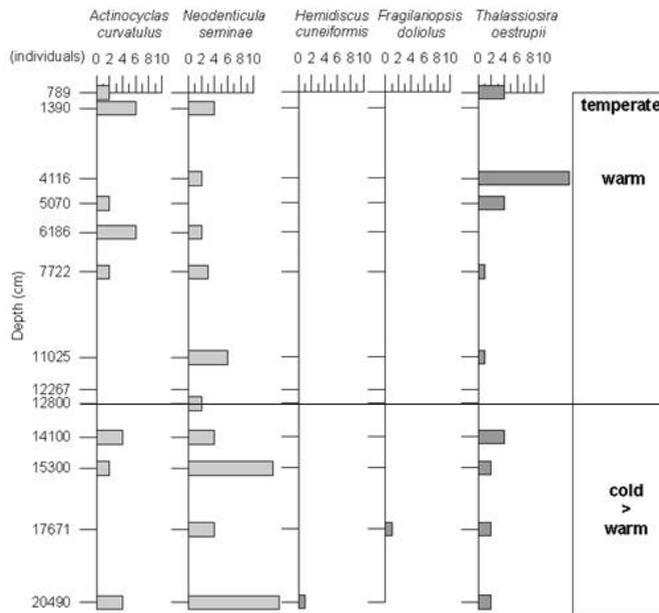


Fig. 7. Vertical variations of indicate taxa (cold species: *Actinocyclus curvatus* and *Neodenticula seminae*; warm species: *Fragilariopsis doliolus*, *Hemidiscus cuneiformis* and *Thalassiosira oestrupii*) in the UBGH1-10 sediment. The right box indicating paleoclimate changes.

해서는 좀 더 세밀한 연구가 필요하다.

퇴적시기

UBGH1-04와 UBGH1-10 코어퇴적물에서 시대를 지시해주는 종으로서 *Actinocyclus ingens*, *Denticulopsis hustedtii*, *D. dimorpha*, *D. praedimorpha*, *Fragilariopsis doliolus*, *Neodenticula seminae*와 *Nizschia reinholdii*가 산출되었다.

마이오세와 플라이오세 중인 *Denticulopsis hustedtii*, *D. dimorpha*와 *D. praedimorpha*의 산출이 나타났으나 UBGH1-04 코어퇴적물에서는 5,860 cm 층준에서 1개체 산출되었으며, UBGH1-10 코어퇴적물에서는 *D. dimorpha* (20,490 cm), *D. praedimorpha* (6,186 cm)가 각각 1개의 층준에서 산출되었고 *D. hustedtii*는 하부에서 상부 층준까지 고루 분포 하였다. 이들의 분포가 연구 코어퇴적물의 하부, 중부와 상부에서 일관성 없이 산출되는 경향을 보이는 것은 퇴적당시 재이동 된 것으로 생각된다.

첫 출현이 1.8 Ma로 early Pleistocene에 시작되는 *F. doliolus*가 UBGH1-04 코어퇴적물에서는 18,559 cm

Table 1. Age of selected diatom species (LO, last occurrence; LCO, last common occurrence; FO, first occurrence).

Datums	species	Age(Ma)	Reference
LO	<i>Actinocyclus ingens</i>	0.62	Ciesielski, 1983
LO	<i>Nizschia reinholdii</i>	0.65	Koizumi, 1975
FO	<i>Neodenticula seminae</i>	1.25	Koc et al., 1999
FO	<i>Fragilariopsis doliolus</i>	1.8	Burckle, 1972, 1977
LO	<i>Denticulopsis. hustedtii</i>	4.5	Ciesielski, 1983
LCO	<i>D. dimorpha</i>	10.1	Baldauf & Barron, 1991
LO	<i>D. praedimorpha</i>	12.4-12.9	Koizumi, 1985

와 543 cm에서 산출되며 UBGH1-10 코어퇴적물에서는 17,671 cm에서 산출된다. 또한 마지막 출현이 0.65Ma 인 *N. reinholdii*가 17,671 cm 층준에서 산출되는 것으로 보아 연구 코어 퇴적물의 퇴적 시기는 적어도 Pleistocene 이후에 퇴적되었음을 알 수 있다.

결론

동해 울릉분지 내에서 채취한 코어퇴적물 UBGH1-04와 UBGH1-10에서 각각 8개와 13개의 시료를 분석한 결과, 구조 개체수농도와 구조 군집의 변화를 토대로 각각 2개의 구조 군집대를 설정하였다. UBGH1-04에서는 구조 군집대 4-I (18,559-5,860 cm)와 구조군집대 4-II (2,089-543 cm)를 설정하였으며, 구조개체수의 농도가 4-I에서 4-II로 갈수록 증가하는 경향을 보여준다. UBGH1-04 코어퇴적물의 최하부층준인 18,559 cm와 최상부 층준인 543 cm에서 *Fragilariopsis doliolus*가 산출되는 것으로 보아 대마난류가 유입되었던 시기이다. 또한, 한대종과 온대종의 산출 수직분포의 변화에 의해 UBGH1-04 코어 퇴적물이 퇴적되는 동안 하부에서 상부로 갈수록 temperate - cold - warm - temperate의 기후변화를 겪었음을 알 수 있다. UBGH1-10에서는 구조 군집대 10-I (20,490-12,800 cm)와 구조 군집대 10-II (12,267-789 cm)를 설정하였으며 상부 군집대로 갈수록 구조 개체수농도가 감소하는 경향을 보인다. 대마난류의 유입을 지시하는 *F. doliolus*와 *Hemidiscus cuneiformis*가 구조 군집대 10-I의 최하부 층준인 20,490 cm와 17,671 cm에서 산출되나 전반적으로는 cold - warm - temperate의 기후변화를 보인다.

감사의 글

본 연구는 한국지질자원연구원 “가스하이드레이트 지질·지화학 및 안정성 연구” 연구사업의 지원으로 수행되었으며, 심부시추에 도움을 주신 지식경제부, 가스하이드레이트개발사업단, 석유공사, 가스공사의 관계자 분들께 감사드립니다. 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것입니다(2010-0016177). 논문심사과정에서 세심하고 값진 조언을 해주신 한국지질자원연구원 이상현 박사님과 익명의 심사위원께 깊은 감사를 드립니다.

PALEOCLIMATIC CHANGES FROM QUATERNARY SEDIMENTS IN THE ULLEUNG BASIN, KOREA: EVIDENCE FROM THE DIATOM RECORD

Young-Suk Bak^{1,*}, Seong-Joo Lee¹, Jong-Hwa Chun² and Jong-Deock Lee³

¹Department of Geology, Kyungpook National University, Taegu, 702-701

²Petroleum & Marine Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon, 305-350

³Department of Earth and Environmental Sciences, Chonbuk National University, Jeonju, 561-756

Abstract: The diatom analyses from UBGH1-04 and UBGH1-10 core sediments were carried out to identify the diatom assemblage zones and paleoclimatic changes in the Ulleung Basin, East Sea. Based on the diatom assemblages, valve abundance, paleoindicator species (*Actinocyclus curvatulus*, *Neodenticula seminae*, *Fragilariopsis doliolus*, *Hemidiscus cuneiformis* and *Thalassiosira oestrupii*), two diatom assemblage zones are identified on the basis of frequency of the critical taxa throughout UBGH1-04 and UBGH1-10 core sediments: UBGH1-04; 4-I(18,559 cm - 5,860 cm), 4-II(2,089 cm-543 cm), UBGH1-10; 10-I(20,490 cm-12,800 cm), 10-II(12,267 cm-789 cm). Paleoclimatic change during the deposition of the UGBH-04 core sediment was identified to be temperate

- cold - warm - temperate in upward direction. On the other hand, during the deposition of the UBGH1-10 core sediment three times of changes of cold - warm- temperate was identified. The occurrence of warm current species such as *Fragilariopsis doliolus* and *Hemidiscus cuneiformis* in UBGH1-04 (18,559 cm and 543 cm) and UBGH1-10 (20,490 cm and 17,671 cm) indicates the inflow of the warm Tsushima current.

Key words: diatom assemblage zone, valve abundance, paleoclimate, paleoindicator

참고문헌

- 류은영, 류병재, 윤혜수, 이성주. 2003. 규조화석군집을 이용한 동해 울릉분지의 후기 제4기 고환경 연구. 지질학회지 39(2), 183-198.
- 박영숙, 이종덕, 윤희일, 이재일. 2007. 남극 사우스 오크니 제도 서부 해역의 코어퇴적물에서 산출된 규조 군집. 지질학회지 43(1), 33-42.
- 박영숙, 이성주, 천중화, 이종덕. 2009. 동해 울릉분지내 시추코어퇴적물에서 규조를 이용한 고환경 변화 연구. 고생물학회지 25(2), 175-184.
- 이영길. 1986. 한국 동해안지대와 인근 해저의 신제삼기 미고생물 연구. 고생물학회지 2(2), 83-113.
- Baldauf, J.G. and Barron, J.A. 1991. Diatom biostratigraphy: Kerguelen Plateau and Prydz Bay regions of the southern ocean. In: Barron, J. A., Larsen, B., Baldauf, J. G., et al., Proceedings of the Ocean Drilling Program, Science Result 119, 547-598.
- Boden, P. 1991. Reproducibility in the random settling method for quantitative diatom analysis. Micropaleontology 37(3), 313-319.
- Burckle, L.H. 1972. Late Cenozoic planktonic diatom zones from the eastern equatorial Pacific. Nova Hedwigia 39, 217-246.
- Burckle, L.H. 1977. Pliocene and Pleistocene diatom datum levels from the equatorial Pacific. Quaternary Research 7, 330-340.
- Ciesielski, P.F. 1983. The Neogene diatom biostratigraphy of DSDP Leg 71, subantarctic sediments. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project 71, 635-665.
- Jousé, A.P. 1962. Stratigraphic and paleogeographic investigations in the northwest part of the Pacific ocean. Academy of Science Press, Moscow pp. 259 (In Russian).
- Kanaya, T. and Koizumi, I. 1966. Interpretation of diatom thanatocoenoses from the North Pacific applied to a study of core V20-130. Sci. Rep. Tohoku University Series 2(37), 89-130.
- Khim, B., Ikehara, K. and Shin, Y. 2005. Unstable Holocene climate in the northeastern East Sea (Sea of Japan): evidence from a diatom record. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 216, 251-265.
- Koc, N., Hodell, D.A., Kleiven, H. and Labeyrie, L. 1999. High-Resolution Pleistocene diatom biostratigraphy of site 983 and correlations with isotope stratigraphy. Raymo, M.E., Jansen, E., Blum, P. and Herbert, T.D. (eds.), Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results 162, 51-62.
- Koizumi, I. 1975. Diatom events in Late Cenozoic deep-sea sequences in the North Pacific. Journal of the Geological Society of Japan 81(10), 611-627.
- Koizumi, I. 1985. Late Neogene paleoceanography in the western North Pacific; In Heath, G.R., Burckle, L.H., et al., Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project 86: Washington(U.S. Government Printing Office) 429-438.
- Koizumi, I. 1989. Holocene pulses of diatom growths in the warm Tsushima current in the Japan Sea. Diatom Research 4, 55-68.
- Koizumi, I., Shiga, K., Irino, T. and Ikehara, M. 2003. Diatom record of the late Holocene in the Okhotsk Sea. Marine Micropaleontology 49, 139-156.
- Kozlova, O.G. and Mukhina, V.V. 1967. Diatoms and silicoflagellates in suspension and floor sediments of Pacific Ocean. Init. Geology Review 9, 1322-1342.
- Ryu, E., Yi, S. and Lee, S.-J. 2005. Late Pleistocene - Holocene paleoenvironmental changes inferred from the diatom record of the Ulleung Basin, East Sea(Sea of Japan). Marine Micropaleontology 55(3-4), 157-182.
- Sancetta, C. 1982. Distribution of diatom species in surface sediments of the Bering and Okhotsk Seas.

- Micropaleontology 28, 221-257.
- Stoermer, E.F. and Smol, J.P. 1999. Applications and uses of diatoms: prologue. In: Stoermer, E.F., Smol, J.P.(eds.), *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*. Cambridge University Press, Cambridge, 3-10.
- Tanimura, Y. 1981. Late Quaternary diatoms and Paleooceanography of the Sea of Japan. *Quaternary Research* 20, 231-242 (in Japanese with English abstract).
- Tanimura, Y. 1999. Varieties of a single cosmopolitan diatom species associated with surface water masses in the North Pacific. *Marine Micropaleontology* 37, 199-218.

투고일 : 2010년 12월 3일, 심사일 : 2010년 12월 8일, 게재확정일 : 2010년 12월 9일