

독도 인근 해저퇴적물과 유기 퇴적물 분포 특성

Characterization of Clastic and Organic Sediments Near Dokdo, Korea

전 창 표(Chang Pyo Jun)¹ · 김 창 환(Chang Hwan Kim)² · 이 성 주(Seong-Joo Lee)*¹

¹경북대학교 지질학과

(Department of Geology, Kyungpook National University)

²한국해양과학기술원 동해연구소 독도전문연구센터

(East Sea Research, Korea Institute of Ocean Science & Technology (KIOST), Ulsan, Korea)

요약 : 독도로부터의 거리 및 수심에 따라 채취된 표층 퇴적물에 대하여 입도분석, 광물분석, 유기물 분석 및 미화석 분석 결과를 이용하여 독도 인근 해저의 퇴적 기작 및 유기 퇴적물의 분포를 규명하였다. 독도 인근 해저 퇴적물은 자갈 및 사질이 우세하며, 끌림에 의한 퇴적 작용이 주를 이루는 반면에 독도와 거리가 멀어짐에 따라 실트와 머드의 비율이 증가하며 점토광물과 장석 등의 광물 성분의 변화를 보이고 뜬짐에 의한 퇴적이 우세해지는 경향을 보인다. 퇴적물에 포함된 유기 퇴적물의 군집 조성 또한 큰 변화를 보이는데, 연안 퇴적물에서는 해양 기원의 유기 퇴적물이, 심해 퇴적물에서는 육상 기원의 유기 퇴적물이 우점한다. 이러한 유기 퇴적물의 군집 변화는 퇴적물의 입도에 큰 영향을 받는 것으로 밝혀졌으며 유기 퇴적물중 높은 화분 농집도는 심해 퇴적물의 유기탄소 함량을 증가시키는 데 중요한 역할을 하는 것으로 판단된다.

주요어 : 독도, 퇴적 기작, 유기 탄소, 유기 퇴적물, 화분

ABSTRACT : Sediment transport mechanism and distribution of organic sediments are elucidated by the study of particle size, mineralogy, organic matters and microfossils of the surface samples collected from seafloor adjacent Dokdo island. Shallow marine sediments are dominated by coarse-grained sediments including gravel and sand, and their sedimentation has mainly been controlled by traction. While the samples collected from oceanic zone are characterized by high contents of fine-grained sediments such as silt and mud in bulk sediments, and the changes of mineral compositions including clay minerals and feldspar, and the fine sediments have been deposited mainly by suspension. The change of organic sedimentary communities is detected between neritic and oceanic zone. Although marine organic matter is predominant in neritic zone, terrestrial organic matter is monopolized according to increasing water depth. This trend is associated with grain size of sediments. The results also suggest that high pollen concentrations in whole organic matters may played an important role in excessive organic carbon in sediment.

Key words : Dokdo, sediment transport mechanism, organic carbon, palynomorph, pollen

*Corresponding author: +82-53-950-5355, E-mail: sjl@knu.ac.kr

서 론

해저 퇴적물의 유기탄소의 기원을 파악하는 것은 해양의 생지화학적 순환을 규명하고(Prahl *et al.*, 1994), 고해양환경을 복원하는데 필수적이다(Emerson, 1985; Emerson and Hedges, 1988). 퇴적물의 유기 탄소는 복잡한 지질학적, 생물학적 과정의 결과물로서, 다양한 요인에(예를 들어, 1차 생산량, 수심, 유기 퇴적물의 종류, 퇴적물의 광물성분과 입도) 영향을 받는다(Tyson, 1995). 따라서 유기탄소의 근원과 특성을 규명하기 위해서는 퇴적물과 유기물질 및 해저 환경을 동시에 고려해야만 한다. 동해의 해저 퇴적물은 다른 해역에 비해 매우 높은 유기탄소 함량을 가지고 있으나(Choi *et al.*, 2009; Hyun *et al.*, 2010), 그 원인에 관한 연구는 아직 미비한 실정이다. 퇴적물에 포함된 광물 중, 유기물질의 군집 구성과 그 특성의 파악을 통해 유기탄소의 기원 및 보존에 관한 정보를 얻을 수 있다. 본 연구는 독도 인근 표층 퇴적물의 성분, 분포 특성 및 유기 퇴적물의 정량적 파악을 통해 유기탄소의 기원과 특성을 규명하고자 한다.

시료 및 연구 방법

독도 인근 해저 퇴적물의 특성 및 유기 퇴적물의 군집을 파악하기 위하여 13개의 정점에서 표층퇴적물을 채취하였다(그림 1). 표층퇴적물은 심해와 천해 퇴적물로 구분하여 채취하였으며 독도를 중심으

로 천해 지역에서 7개의 천해 표층퇴적물을 채취하였고 심해 표층퇴적물은 독도와 울릉도를 잇는 가상의 축선을 기준으로 하여 인근 심해지역에서 6개의 표층퇴적물을 채취하였다(표 1).

시료는 드라이 오븐에서 건조한 후 입도 분석, 광물 분석, 총유기탄소 분석, 유기 퇴적물 분석을 위해 세분하였다. 약 20 g의 건조된 시료는 입도분석을 위해 과산화수소를 이용하여 퇴적물 내의 유기물을 제거하였다. 3번의 중화를 거친 후 다시 건조시켜 순수한 퇴적물의 무게를 측정하였다. 그리고 10% 칼콘(sodium hexametaphosphate) 용액을 넣고 초음파 세척기를 사용하여 멍쳐있는 입자들을 분리하였다. 분산된 시료는 습식분석방법으로 63 μm 의 체를 이용하여 모래와 이질을 분리하였고 이질 크기의 입자들은 입도 분석기를 사용하여 추가 정밀 분석한 후, 교정프로그램을 사용하여 분리하였다. 입도 분석을 통해 얻어진 자료는 Visher (1969)의 방법에 기초하여 누적 입도 분포곡선을 도시하였다.

광물 분석의 경우 X-선회절분석법(XRD, X-ray diffraction)을 이용하여 심해지역의 6개 표층 시료에 대하여 퇴적물에 포함되어 있는 광물을 동정하였다. 분석은 한국기초과학지원연구원 대구 센터에서 Cu-K α 파장을 이용하여 실시되었으며(X'pert APD Phillips) 40 kV와 30 mA 조건에서 2 θ 5~60°의 범위 내에서 0.016° 스텝으로 스텝 당 1초를 이용하여 분석하였다.

유기퇴적물 분석은 Moore *et al.* (1991)의 표준화분실험 방법에 기초하여 진행하였다. 조립질인 천

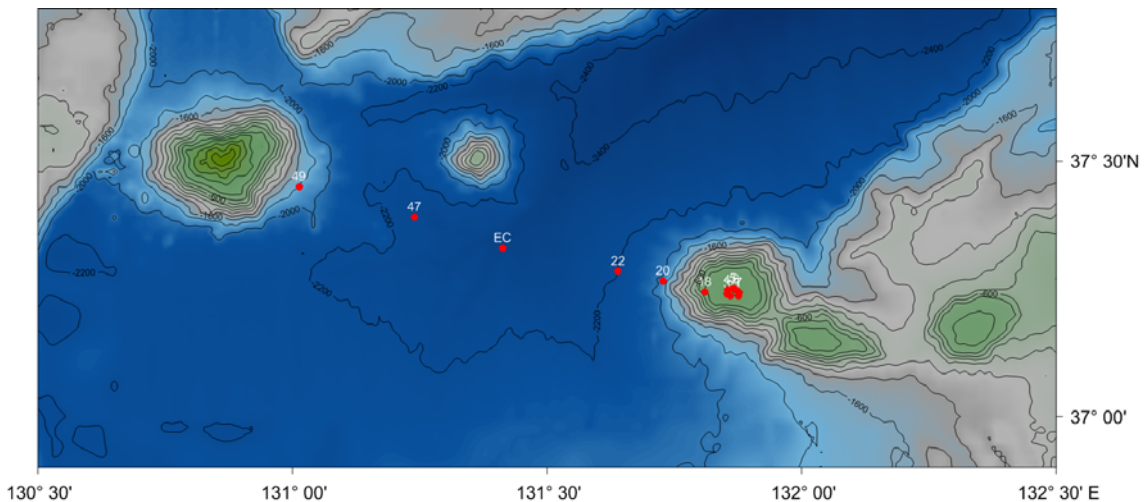


Fig. 1. Locality map of surface sediments collected from the East Sea.

Table 1. Detailed information of surface samples collected from the sea floor near Dokdo

Sample	Latitude	Longitude	Water depth (m)
St. 1	37°14'13.2"	131°52'32.6"	-50.6
St. 2	37°14'08.7"	131°51'38.4"	-63.3
St. 3	37°14'26.8"	131°51'13.6"	-66.8
St. 4	37°14'53.9"	131°51'15.9"	-80.9
St. 5	37°15'05.1"	131°51'56.5"	-55.2
St. 6	37°14'56.1"	131°52'19.0"	-61.0
St. 7	37°14'33.6"	131°52'37.1"	-54.3
St. 18	37°14'37.7"	131°48'36.0"	-213.3
St. 20	37°15'57.6"	131°43'40.8"	-1,959.9
St. 22	37°17'02.4"	131°38'24.0"	-2,200.0
St. EC	37°19'49.1"	131°24'47.6"	-2,298.0
St. 47	37°23'29.0"	131°14'24.0"	-2,233.0
St. 49	37°27'02.9"	131°00'46.8"	-1,798.7

해 퇴적물은 30 g을, 세립질인 심해 퇴적물은 3 g의 시료를 분석에 사용하였다. 시료는 탄산염과 규질을 제거하기 위해 염산 및 불산과 반응시켰다. 반응이 끝난 시료는 필터수로 여러 번 행귀 충분히 중화시킨 후 체질 및 비중액 처리를 통해 잔류 광물의 제거 및 유기물의 농집도를 높였다. 최종 잔류물은 글리세린 젤리를 이용하여 박편을 만든 후 현미경에서 관찰하였다. 현미경에서 관찰되는 모든 유기 퇴적물을 기재하였으며, 화분과 포자의 개체수가 300개가 될 때까지 헤아렸다. 화분 농집도가 극도로 낮은 일부 독도 근해 퇴적물의 경우 *Lycopodium*의 개체수가 150개가 될 때까지 산출되는 유기퇴적물의 개체수를 헤아렸다. 유기퇴적물의 산출을 단순히 상대 빈도(퍼센트)로 비교할 때는 하나의 우점종에 따른 다른 종의 산출빈도를 간과하기 쉽다(Tyson, 1995; Swan and Sandilands, 1995). 이러한 문제를 피하기 위해 본 연구에서는 개체수를 알고 있는 포자를 인위적으로 삽입하여 퇴적물의 단위 중량에 따른 유기 퇴적물의 농집도를 산출하였다.

총유기탄소 분석은 시마즈(Shimadzu)사의 TOC-Vcph를 이용하여 실시하였다. 약 1 g의 시료를 가루로 분쇄한 후 고온촉매가 들어있는 연소에서 연소(680~900°C)시켜 시료에 포함된 유기탄소의 함량을 분석하였다. 총유기탄소 값은 총탄소에서 총무기탄소를 뺀 값으로 구해졌다.

결 과

입도분석을 통한 퇴적상 파악 및 광물분석

입도 구성에 따른 퇴적물의 유형 파악을 위해 Folk and Ward(1957)의 자갈-모래-머드 삼각도와 모래-실트-점토 삼각도에 도시한 결과, 독도 인근 퇴적물은 대부분이 모래질 자갈(sG) 유형에 속하며, 독도 원양 퇴적물은 실트(Z) 유형에 속한다(그림 2, 3). 자갈은 대다수 시료에서 관찰되었으며, 독도 인근 퇴적물에서는 22.0~80.8%의 높은 자갈 함량을 보인다(표 2). 대부분 잔자갈(granule)에 해당하며, St. 18과 St. 49 시료에서 중자갈(pebble)이 소량 분포한다. 모래의 함량은 2.4~78%의 분포범위를 보인다. 독도와 울릉도의 중앙 지점에 있는 St. EC는 2.4%의 가장 낮은 함량을 관찰할 수 있다. 독도 인근 퇴적물은 0~2Φ에 해당하는 조립질 모래가 우세하고, 독도 원양 퇴적물은 2~4Φ에 해당하는 세립질 모래가 우세하다. 실트와 점토는 독도 인근의 퇴적물에서는 전혀 나타나지 않는 특징을 보인다. 독도 원양의 퇴적물에서 실트는 13.9~83.6%를, 점토는 2.6~21.7%의 함량을 보인다. 독도 원양 퇴적물에서 가장 큰 함량을 보이는 실트는 6~7Φ의 크기에 해당하는 세립질 실트가 우세하다.

독도 인근 표층 퇴적물(St. 1~St. 7)은 -1.33~0.03Φ의 평균 입도 값을 보이며, 모래질 자갈 내지

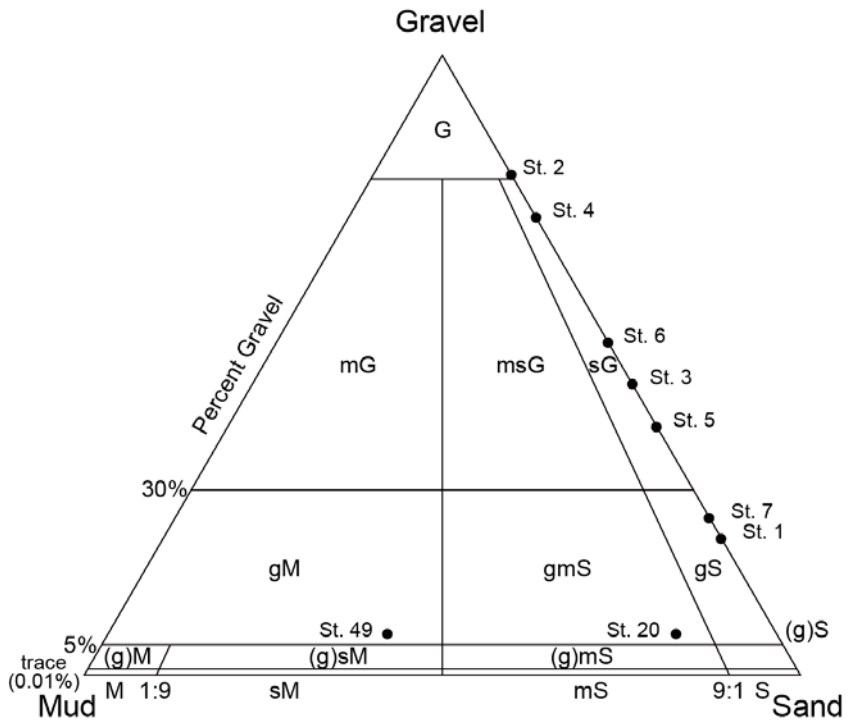


Fig. 2. Ternary diagram of the shallow sediments (St.1~7, St 20, 49) on the basis of gravel/sand/mud ratios.

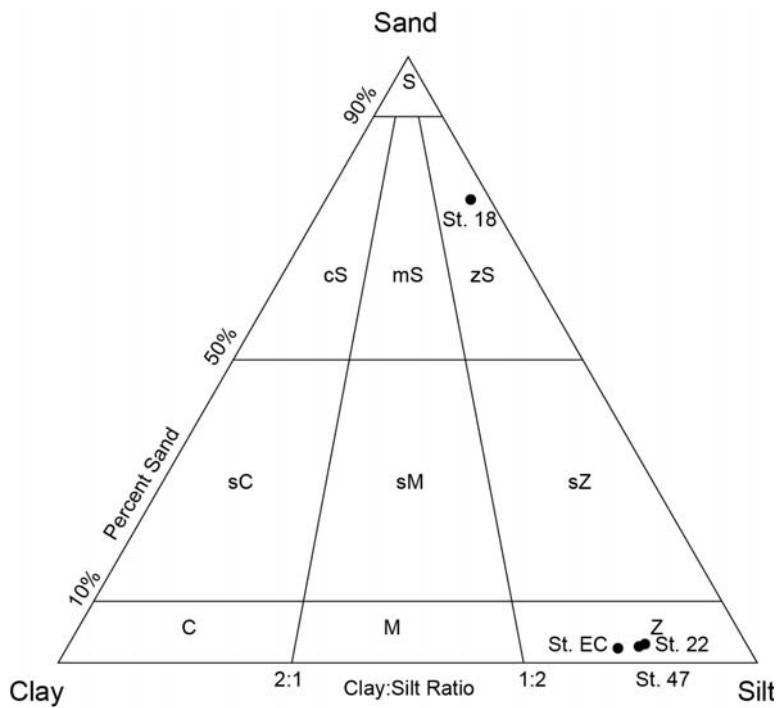


Fig. 3. Ternary diagram of the deep sediments (St.18, 22, EC) on the basis of gravel/sand/mud ratios.

Table 2. Grain size and textural parameters of the samples

Sample	Content (%)				Textural parameter (phi)				Sediment type
	Gravel	Sand	Silt	Mud	Mean	Sorting	Skewness	Kurtosis	
ST1	22.0	78.0	0.0	0.0	0.03	1.21	0.04	0.80	Gravelly sand
ST2	80.8	19.2	0.0	0.0	-1.33	0.51	0.25	1.15	Gravel
ST3	47.0	53.0	0.0	0.0	-0.52	1.24	0.43	0.86	Sandy gravel
ST4	75.6	24.4	0.0	0.0	-1.11	0.96	0.54	2.05	Sandy gravel
ST5	40.1	59.9	0.0	0.0	-0.79	0.76	0.02	0.83	Sandy gravel
ST6	53.8	46.2	0.0	0.0	-0.95	0.77	0.26	0.83	Sandy gravel
ST7	25.4	74.6	0.0	0.0	-0.17	1.15	0.04	0.87	Gravelly sand
ST18	0.0	76.2	20.9	4.0	3.76	1.50	0.71	2.20	Silty sand
ST20	3.7	77.7	13.9	2.6	1.17	2.34	0.59	2.05	Gravelly muddy sand
ST22	0.0	2.9	81.7	21.7	6.30	1.58	0.17	0.96	Silt
ST-EC	0.0	2.4	83.6	20.0	6.18	1.56	0.19	1.01	Silt
ST47	0.0	3.9	82.9	18.5	6.30	1.58	0.18	0.97	Silt
ST49	4.2	38.7	47.2	10.7	4.06	3.09	-0.20	1.18	Gravelly mud

자갈질 모래에 해당한다. 반면에 독도에서 다소 떨어진 곳에서 채취된 퇴적물의 평균 입도는 1.17~6.18 Φ 의 다소 넓은 범위를 보이고, 실트질 모래에서 실트에 해당하는 입도 변이를 보인다. 비교적 작은 입자로 구성된 원양 퇴적물의 경우 이러한 입도의 차이는 광물의 성분 변화와도 밀접한 관계를 보이고 있다(그림 4). ST22, ST-EC, ST 47의 경우 세 시료 모두 6 Φ 이상의 세립질의 퇴적물로서 주 구성 광물은 석영과 더불어 약간의 장석, 그리고 다른 시료에 비하여 일라이트, 카올리나이트와 스�멕타이트와 같은 점토광물이 우세하다. 특히 가장 작은 입자 크기를 보이는 ST22 (6.30 Φ) 시료의 경우 XRD 상에서 약간의 스�멕타이트도 동정되었다. 이에 비하여 비교적 입자의 크기가 큰 ST18, ST20, ST49 등의 시료에서는 앞의 시료와 비교할 때 쇄설성의 장석이 상대적으로 많은 양으로 나타나며 ST18 시료의 경우 방해석도 동정되었다. 따라서 이러한 입도의 차이는 광물의 성분 차이와 밀접한 연관성이 있으며 광물 입자들의 풍화정도와의 밀접한 관계가 있음을 보여준다.

독도로부터의 거리가 멀어짐에 따라 퇴적물의 평균 입도는 점차 증가하는 양상을 보이지만, 울릉도와 거리가 가까워짐에 따라 St. 47과 St. 49의 시료는 다시 조립해지는 경향을 보인다. 독도 인근 퇴적물의 분급은 대부분이 극양호분급(very well sorted) 내지 양호분급(well sorted)인 반면에 독도

원양 퇴적물은 극불량분급(very poorly sorted)에서 최극불량분급(extremely poorly sorted)에 해당하는 경향을 보인다. 왜도(skewness)와 첨도(kurtosis)는 독도로부터의 공간적 변화에 따라 어떠한 경향을 보이지 않으며 다소 불규칙한 양상을 보인다.

퇴적물 입도의 누적 빈도

입도의 누적빈도분포곡선을 통해 나타난 퇴적 메카니즘은 독도 인근 퇴적물과 원양 퇴적물간의 확연한 차이를 보인다. St. 1과 St. 3, St. 7의 시료는 1 Φ 를 기준으로 조립질 퇴적물(전체 퇴적물의 85%)은 밀집으로 이동하고, 나머지 퇴적물은 튄짐으로 이동한다(그림 5). St. 2, St. 4, St. 5 및 St. 6은 밀집 이동과 튄짐 이동을 구분하는 입도의 크기는 0~2 Φ 로 나타났고, 퇴적물 중 98% 이상이 밀집 이동에 의해 퇴적된다.

독도 원양 퇴적물은 천해 퇴적물에 비해 퇴적 기작이 변화하는 입도의 구간이 다양하게 나타났으며, 튄짐 이동과 뜬짐 이동에 의한 퇴적이 주를 이룬다(그림 5). St. 18은 3 Φ 보다 조립한 퇴적물은 밀집 이동(50%)을 하였으며, 뜬짐(25%)은 4 Φ 이상의 퇴적물에서 나타났다. 독도에서 멀어짐에 따라 뜬짐에 의한 퇴적 기작은 점차 증가하여 St. 22부터는 80%에 도달한다. 특히 St. 22, St. 47, St. EC는 튄짐과 뜬짐의 경계가 5 Φ 에 해당하며, 대부분의 퇴적물이

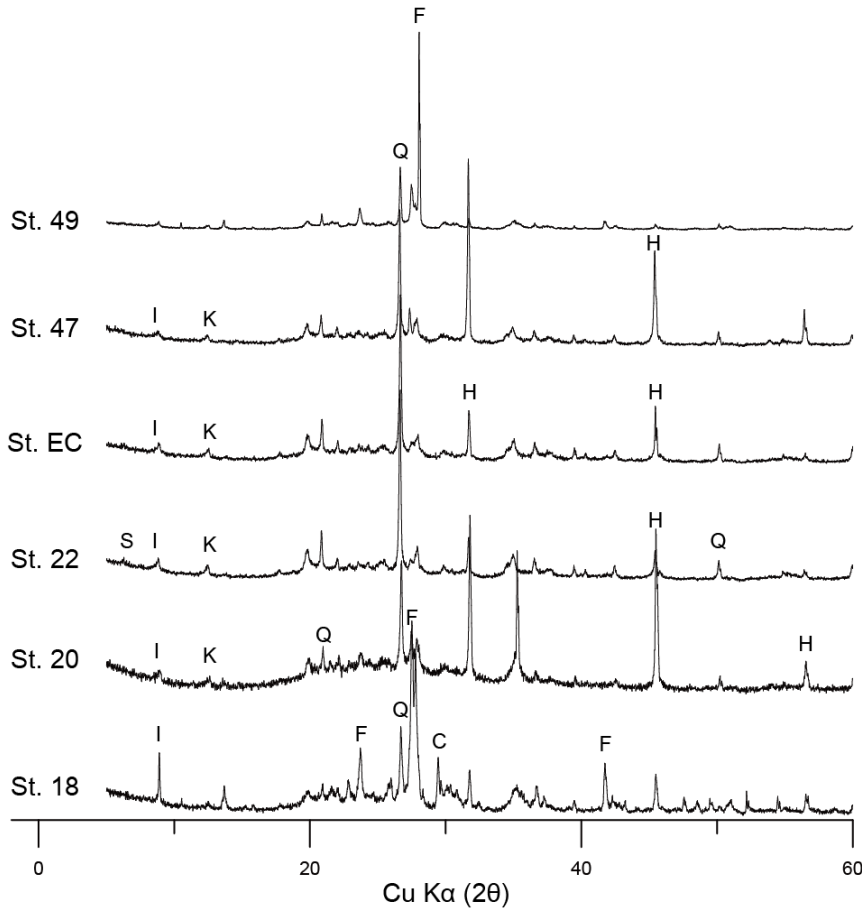


Fig. 4. XRD patterns of deep ocean sediments. C: calcite, F: feldspar, H: hallite, I: illite, K: kaolinite, Q: quartz, S: smectite.

뜬짐에 의해 퇴적된다. St. 18번을 제외한 원양 퇴적물에서 밀집 이동에 의한 퇴적은 10% 미만으로 나타났다.

유기 퇴적물 분석

표층 퇴적물시료에서 산출된 다양한 유기퇴적물은 육상기원과 해양기원으로 나눌 수 있으며, 이들은 생물학적 분류에 따라 8개의 분류군으로 세분화였다. 육상기원 유기퇴적물에는 화분과 포자, 균류, 담수 조류 등이 있으며 해양기원 유기 퇴적물에는 와편모조류 피낭(dinocysts), 미유공충 내벽(직선형과 나선형) 및 다양한 동물 기원성 잔해가 포함된다. 각 분류군은 채취된 퇴적물의 수심에 따라 산출 양상이 달랐고, 일반적으로 수심이 증가함에 따라 유

기퇴적물의 전체 개체수가 증가하는 경향을 나타낸다(그림 6). 수심 200 m 이하의 연안 퇴적물에서는 해양기원의 유기퇴적물(와편모조류 피낭 및 유공충)이 우세하게 나타나지만 200 m 이상의 퇴적물에서는 육상기원의 유기퇴적물(화분과 포자 및 담수조류)이 우점하는 양상을 보인다. 특히 육상기원 유기 퇴적물 중 가장 풍부하게 산출되는 화분은 연안 퇴적물에서는 $110\sim 880\text{ g}^{-1}$ 의 개체수가 산출되는 반면 원양퇴적물에서의 산출량은 약 70배에 달하는 $7,830\sim 31,949\text{ g}^{-1}$ 의 개체수가 산출되었다. 포자와 균류는 연안퇴적물에서 10 내외의 낮은 개체수가 나타났지만, 원양 퇴적물에서는 풍부하게 산출된다. 한편 담수 조류의 산출 양상은 별다른 특징을 보이지 않으며 천해 퇴적물(St. 5)과 심해 퇴적물(St. 49) 모두에서 소량 산출되고 다른 시료에서는 전혀 나

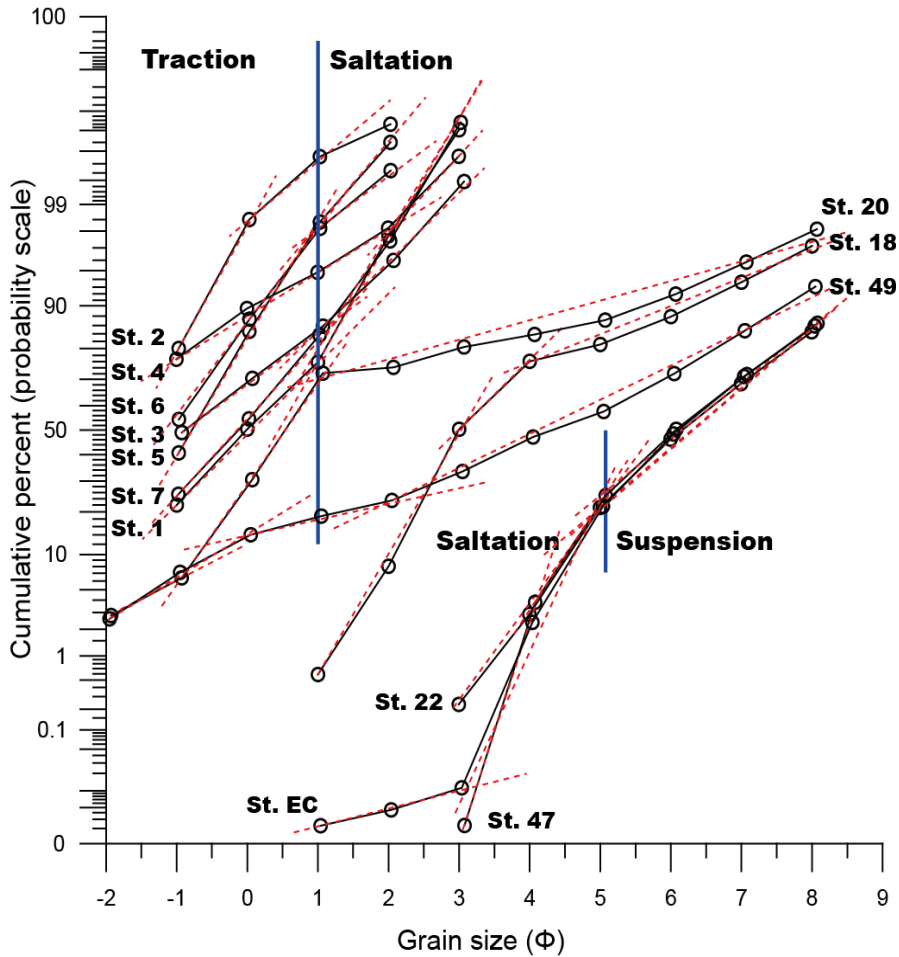


Fig. 5. Mechanism of sedimentation inferred from cumulative grain size curves. Note that most of the shallow sediments are characterized by saltation while deep sediments by suspension.

타나지 않는다. 외편모조류 피낭의 농집도 또한 연안퇴적물(280~1,200 g⁻¹)과 원양 퇴적물(2,800~7,800 g⁻¹)에서 커다란 차이를 보인다. 직선형 미유공충 내벽은 연안지역에서는 100개 미만의 개체수가 산출되나, 원양 퇴적물에서는 급격히 증가하여 150~1,700 g⁻¹의 높은 비율을 보인다. 나선형 미유공충 내벽은 연안 퇴적물에서 410~980 g⁻¹의 농집도가 나타나고, St. 18을 제외한 원양 퇴적물에서는 100개 미만의 개체수가 산출된다. 동물 기원성 잔해는 연안 퇴적물에서는 전혀 산출되지 않는 반면에 원양 퇴적물에서는 비교적 풍부한 개체수(130~650 g⁻¹)가 산출되었다. 나선형 미유공충 내벽을 제외한 모든 유기퇴적물 분류군은 원양 퇴적물에서 높은 개체수가 산출되었다.

총유기탄소 분석

총유기탄소는 연안퇴적물(St. 1~St. 7)에서는 1.6~8.2%의 함량을 나타내며 원양퇴적물(St. 18~St. 49)에서의 함량은 다소 적은 0.8~2.4% 정도이다. 원양 퇴적물에서는 총유기탄소가 거의 나타나지 않는 특징을 보인다(표 3).

총유기탄소 함량은 전반적으로 퇴적물의 입도 및 수심과 반비례하는 관계를 보이지만 세밀한 상관도는 연안 퇴적물과 심해 퇴적물에서 각기 다르게 나타났다(그림 7). 유기탄소 함량은 연안 퇴적물에서 수심과는 15%, 입도와는 3.2%의 낮은 상관관계를 보이지만, 1,500 m 이상의 퇴적물에서는 89%, 77%의 높은 신뢰도를 갖는 것으로 드러났다.

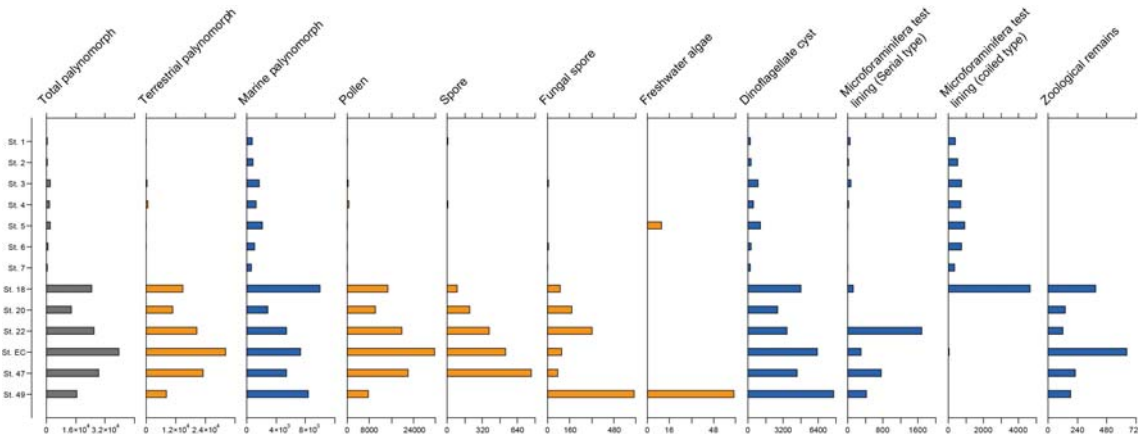


Fig. 6. Concentration of sedimentary organic matter. X-axis magnitude of each graph represents relative amount depending on palynomorph concentration values.

토 의

독도 인근 해저의 퇴적 기작

독도는 해저 바닥에서 우뚝 솟아난 해산의 일종이기 때문에 독도 인근의 연안지역(독도 주변 해산 정상부의 플랫폼, 수심 200 m)과 심해지역(울릉분지 해저)의 수심 및 생물상은 극명하게 구분된다(그림 1). 따라서 두 해역의 퇴적물 입도 또한 커다란 차이를 보여 연안지역에는 자갈질 모래가 분포하는 반면 심해 지역은 석영과 점토광물로 구성된 실트에 해당하는 퇴적물이 주로 나타난다. 일반적인 분지와 같이 독도 인근 퇴적물의 입도도 수심이 증가함에 따라 점차 세립해지는 경향을 보인다. 수심에 따른 이러한 입도의 뚜렷한 변화는 독도와 울릉도가 동해 중앙부에 위치한 해산의 일종이고 이를 중심으로 비교적 짧은 거리에서 수심변화가 이루어지기 때문이다(Hyun *et al.*, 2010).

일반적으로 해양 환경에서의 퇴적기작을 복원하기 위해서는 입도의 누적빈도분포가 널리 사용된다(e.g., Angusamy and Rajamanickam, 2006; Achab, 2011; Luo *et al.*, 2013). 누적빈도분포를 이용한 복원에는 다소의 문제점이 제기되고 있지만(Syvitski and Murray, 1977; Tucker and Vacher, 1980), 독도 인근 해역의 퇴적물에 대한 적용에는 그리 큰 문제점은 없는 것으로 판단된다. 독도 인근 퇴적물의 입도 누적빈도분포 곡선(그림 5)에 의하면 천해지역과 심해지역의 퇴적기작은 차이가 있음을 보여준다. 즉, 천해 지역 퇴적물 대부분에서 밀집과 틈집기작

Table 3. Mean values of total carbon, total inorganic carbon, and total organic carbon of the samples

Sample	Total carbon (%)	Total inorganic carbon (%)	Total organic carbon (%)
St. 1	6.953	1.0440	5.909
St. 2	8.137	0.9405	7.196
St. 3	8.829	0.8521	7.977
St. 4	2.564	0.4845	2.079
St. 5	9.542	1.3130	8.229
St. 6	2.121	0.5237	1.598
St. 7	5.690	0.8845	4.806
St. 18	1.151	0.2051	0.946
St. 20	0.835	0.0240	0.811
St. 22	2.206	0.0196	2.186
St. EC	2.391	0.0181	2.373
St. 47	2.253	0.0240	2.229
St. 49	0.948	0.0207	0.928

의 분기점은 누적입도가 약 90%를 전후하여 나타나는 반면 심해퇴적물의 경우에는 뜬짐과 밀집기작의 분기점이 누적입도 약 20%를 전후하여 나타난다. 이러한 결과는 독도 인근 천해지역의 퇴적물 대부분은 주로 밀집에 의해 퇴적되는 반면 심해 퇴적물은 뜬짐에 의해 퇴적되었음을 시사한다. 입도 누적빈도분포에 따른 이러한 퇴적기작의 해석은 수심에 따른 일반적인 퇴적기작 양상과도 일치한다.

연안 지역 퇴적물은 1Φ를 기준으로 조립한 퇴적

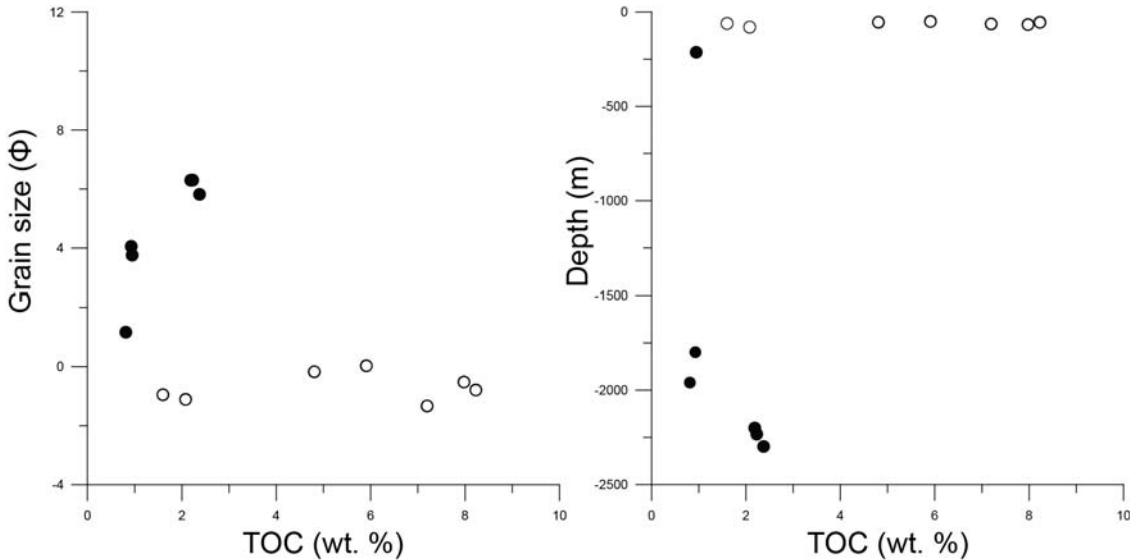


Fig. 7. Relationship between TOC, grain size and water depth. The open and solid circles represent samples collected from neritic and oceanic zones, respectively.

물은 밀집 기작으로, 세립한 퇴적물은 튼집 기작으로 퇴적된다. 뜬집에 의한 퇴적은 일어나지 않으며, 이는 연안 지역의 퇴적물이 모래질 자갈 혹은 자갈질 모래로 이루어져 있음을 고려할 때 당연한 결과이다. 원양 퇴적물은 대부분 시료에서 입자가 작은 점토광물과 석영 등을 포함한 뜬집에 의한 퇴적기작이 높은 비율을 가지며, 밀집에 의한 이동은 연안 퇴적물과 달리 극히 낮은 비율을 보인다. 원양 퇴적물의 경우, 각 시료에서 나타나는 기율기의 변화지점이 한 지점에 집중되지 않아 어떠한 입자 크기를 기준으로 퇴적기작을 구분하는 것이 불분명하다. 이는 연안 퇴적물은 각 시료의 채취 위치가 조밀하고 수심이 일정한데 반해, 심해 퇴적물은 공간적인 거리 및 수심의 차이가 크기 때문이다. 하지만 St. 22와 St. EC, St. 47의 경우에는 밀집된 누적빈도분포 곡선을 보이는 것을 확인할 수 있다. 이들 세 지점에서는 5Φ를 기준으로 튼집과 뜬집 기작이 구분되며, 대부분의 퇴적물이 뜬집에 의해 형성되는 것으로 보인다. 이는 독도와 울릉도로부터 비교적 멀리 떨어져 있어 주변 육상으로부터 유입되는 퇴적물이 제한적이고 해류에 의한 퇴적이 주를 이루기 때문으로 판단된다.

독도 인근 해저 유기퇴적물의 분포 특성

독도 인근 해저의 퇴적물에서 산출된 다양한 유기퇴적물은 공간에 따른 뚜렷한 양적 변이를 보이며, 이러한 변화는 퇴적물의 특성과도 잘 일치한다(그림 6). 각 분류군의 산출 변화를 보다 명확히 파악하기 위하여 산출 개체수를 통한 시료 간의 혹은 분류군 간의 차이점과 유사성을 상호 비교하였다.

해양 기원 유기물

일반적으로 해양 플랑크톤은 수심이 얇고 영양염류의 유입이 활발한 연안지역에서 풍부하게 서식한다. 하지만 독도 해저 퇴적물에서 산출된 와편모조류 피낭은 심해퇴적물에서 풍부하게 산출되는 반면에 연안 퇴적물에서는 거의 산출되지 않는 상반된 특징을 보인다. 이는 와편모조류 피낭의 퇴적학적 특성에 따른 것으로 판단된다. 일반적으로 와편모조류 피낭의 농집도는 세립질 퇴적물에서 증가하고(McKee *et al.*, 1959; Dale, 1976; Rogers and Bremner, 1991), 연안지역의 사질 퇴적물에서는 감소한다(Rossigol, 1961, White and Lewis, 1982). 또한, 현생 와편모조류의 10% 정도만이 피낭을 형성하는 것으로 알려져 있기 때문에(Evitt, 1985), 퇴적물에서 산출되는 와편모조류 피낭이 와편모조류의 1차 생산량을 그대로 반영하지는 않는다(Wall *et*

al., 1977).

독도 연안 퇴적물에서는 나선형의 미유공충 내벽이 비교적 풍부하게 산출되는 반면 원양 퇴적물에서는 직선형의 미유공충 내벽이 주를 이룬다. 미유공충 내벽은 150 μm 이하의 저서성 유공충이 만드는 유기질 내벽으로서(Traverse and Ginsburg, 1966; Bradford, 1977), 다른 유기퇴적물과 달리 비교적 크고 무거워서 조립질 퇴적물에 주로 퇴적된다(Tyson, 1995). 특히 수심이 얕고 여름철 온도가 높은 곳이나(McKee *et al.*, 1959; Bradford, 1977) 용승지역(Melia, 1984)에서 풍부하게 산출되는 것으로 알려져 있다. 수심 9,200 m의 일본 해구에서도 미유공충의 내벽이 보고된 바 있으나(Boulouard and Delauze, 1966) 본 연구와 같이 풍부하게 산출되는 현상은 극히 이례적인 현상이다.

육상 기원 유기물

독도 퇴적물에서 산출된 화분은 연안 퇴적물에서는 낮은 빈도를 나타내며 심해 퇴적물에서는 높은 빈도를 보인다. 육상 기원인 화분이 심해 퇴적물에서 더 풍부하게 산출되는 이유는 일반적으로 화분의 분포는 퇴적물의 입도에 의해 영향을 받기 때문으로 해석된다(Hoffmeister, 1960; Correia, 1967). 화분과 와편모조류 피낭은 비중이 비슷하기 때문에 중립질 내지 세립질 실트가 퇴적되는 곳에 함께 농집된다(Muller, 1959; Stanley, 1965; Matsushita, 1985). 이로 인해 사질의 함량이 30~40% 이상인 해양 퇴적물에서는 낮은 화분 산출량을 보인다(Mudie, 1982). 예를 들어, 북해 대륙붕의 사질 퇴적물에서는 40 g^{-1} 미만의 화분 농집도를(Rossignol, 1961), 북동 태평양 지역의 대륙붕에서는 500~1,000 g^{-1} 의 화분 농집도를 보인다(Heusser and Balsam, 1977). 따라서 독도 연안 퇴적물은 모든 시료가 자갈 혹은 사질로 이루어져 있기 때문에 화분이 퇴적물 속에 보존되기 어려운 반면 실트 함량이 높은 심해 퇴적물에는 풍부한 개체수가 산출되는 것으로 해석할 수 있다.

한편, 포자는 독도로부터 멀어짐에 따라 산출량이 증가하여 원양퇴적물에서 비교적 풍부하게 산출되는 특징을 보인다. 포자는 화분과 마찬가지로 중립질 내지 세립질 실트 퇴적물에서 주로 퇴적된다. 삼각주나 기수역, 혹은 습지 퇴적물에서 풍부하게 산출되며(예: Jun *et al.*, 2009; Jun *et al.*, 2010), 해양 퇴적물에서는 잘 나타나지 않는 것이 일반적이다(Heusser and Balsam, 1977; Mudie, 1982; Sun and Wu, 1988). 하지만 대륙붕이 짧고 퇴적물의 재

동이 흔한 지역에서는 심해저 퇴적물에서도 양호하게 산출되는 것으로 알려져 있다(Groot *et al.*, 1967; Van Waveren, 1989). 독도 해저 퇴적물에서는 재동의 흔적이 발견되지 않았고 이러한 분포 특징은 포자의 퇴적 특성에 기인하는 것으로 여겨진다.

균류의 산출 양상 또한 앞서 언급한 화분, 포자의 분포 형태와 유사한 경향을 보인다. 대부분의 균류는 육상 환경에서 서식하며, 수생 종은 전체 균류의 2% 미만으로 알려져 있다(Kohlmeyer and Kohlmeyer, 1979). 따라서 해성 퇴적층에서 산출되는 균류는 육상에서 유입된 것임을 유추할 수 있다(Cooke and Rayner, 1984). 해양 퇴적물에서 균류의 포자는 연안 지역(Elsik, 1976; Jun *et al.*, 2010) 및 용승 지역(Cross *et al.*, 1966)에서 풍부하게 산출되는 특징을 보인다. 본 연구에서 나타난 균류의 풍부도는 기존에 보고된 바와 상반되는 결과를 갖는다. 퇴적물 입자에 따른 균류의 분포 양상 연구는 아직 수행된 적이 없지만, 물보다 약간 높은 비중으로 인해 정체된 물이나 상대적으로 고요한 환경에서 퇴적되는 것으로 판단된다(Ingold, 1971; Rees, 1980). 독도 인근 퇴적물에서 산출되는 균류의 분포 역시 근원지와의 거리가 아닌 수리수문학적 퇴적 요인이 크게 작용하는 것으로 판단된다.

독도 인근 지역의 퇴적물과 유기퇴적물, 총유기탄소 간의 상관관계

일반적으로 해저 퇴적물의 유기탄소 함량은 연안에서는 2%, 심해 퇴적물에서는 0.5%의 값을 갖는 것으로 알려져 있다(Seiter *et al.*, 2004). 이와는 달리 독도 인근 해저 퇴적물의 유기탄소 함량은 천해(5.3%)와 수심 2,000 m 이상의 심해 지역(2.3%) 모두의 동해지역에서 매우 높은 수치를 보인다. 이러한 결과는 동해가 전 지구 해양에서 차지하는 면적은 0.3%에 불과함에도 불과하고 대기로부터 흡수하는 이산화탄소 양의 상대적 비율(전 대양 흡수량의 1.5~1.8%)이 매우 크다는 기존의 연구 결과와 일치한다(Kim *et al.*, 2003). 동해로 유입된 이산화탄소의 대부분은 동해에 서식하는 광합성 생명체에 의해 활용되어 유기물의 일부로 전환되고 궁극적으로는 유기퇴적물의 형태로 해저 바닥에 퇴적되어 총유기탄소의 함량에 기여한다.

이러한 유기탄소 함량은 일차적으로는 해양에서의 일차 생산량 및 생물다양성과 비례하며 수심과 퇴적물의 입도 및 용존 산소량과는 반비례하는 경

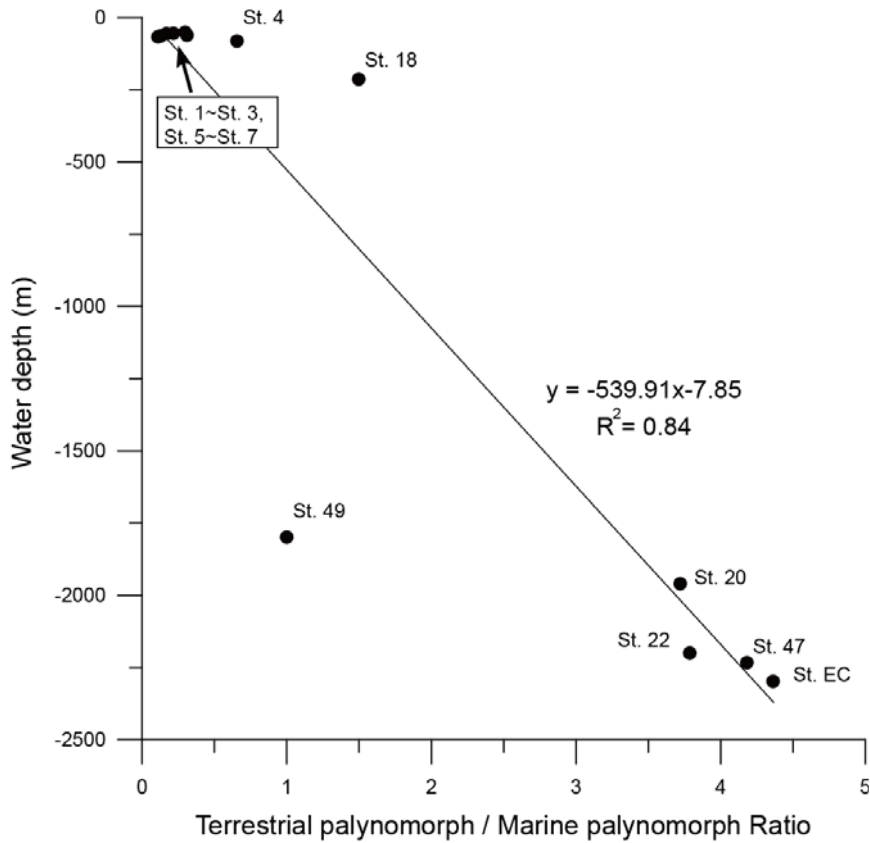


Fig. 8. The variation of ratio of terrestrial to marine palynomorph along water depth. The high values of this ratio strongly suggest that terrestrial palynomorph play more important role in sedimentary organic matter than marine palynomorph.

향을 보인다(Tyson, 1995). 독도 인근 해저 퇴적물의 유기탄소 함량 또한 퇴적물의 입도와 반비례하는 것으로 나타난다(그림 7). 하지만 천해 퇴적물과 심해 퇴적물에서 그 상관도는 각기 다르게 나타난다. 즉, 천해퇴적물에서는 상관관계(3.2%의 신뢰도)가 없는 것으로 판단되며 심해퇴적물에서는 77%의 높은 신뢰도를 보이는 것으로 나타났다. 천해 퇴적물에서의 매우 높은 유기탄소 함량 및 퇴적물 입도와 낮은 상관관계는 국지적인 육상 유기물의 유입과 높은 일차 생산량에 기인하는 것으로 판단된다. 조립질 모래 혹은 세립질 모래가 퇴적되는 연안 지역은 크기가 큰 나무 조각이나 식물 파편(macrophyte debris)이 풍부하게 퇴적된다(Nwachukwu and Barker, 1985; Tyson, 1995). 또한, 천해 퇴적물이 채취된 곳은 50~80 m 정도 수심의 투광층(photic zone)으로서, 해양 플랑크톤의 1차 생산성

이 높아 퇴적물의 유기탄소 함량이 증가하기에 용이하다. 이로 인해 독도 천해 퇴적물의 유기탄소 함량은 퇴적물의 입도와 낮은 상관관계를 갖는 것으로 판단된다.

퇴적물의 입도가 감소함에 따라 유기탄소의 함량이 증가하는 것은 일반적인 현상이며(e.g., Bordovskiy, 1965; Pearson, 1970; Cole and Weigmann, 1983; Secieru and Oaic, 2009) 독도 해저 퇴적물에서도 동일한 양상이 관찰된다. 또한 Keil *et al.*, (1994)은 점토광물과 같이 입자의 표면적이 큰 경우 총유기물 함량이 많고 이는 유기물의 많은 부분이 광물 입자에 흡착하기 때문으로 해석하였고 이는 역시 카올리나이트와 일라이트가 우세한 경우 유기탄소함량이 증가하는 본 연구지역의 경우와도 유사하다. 하지만 수심 2,000 m 이상의 심해에서 퇴적물의 유기탄소 함량은 수문학적 평형에 따른 유기

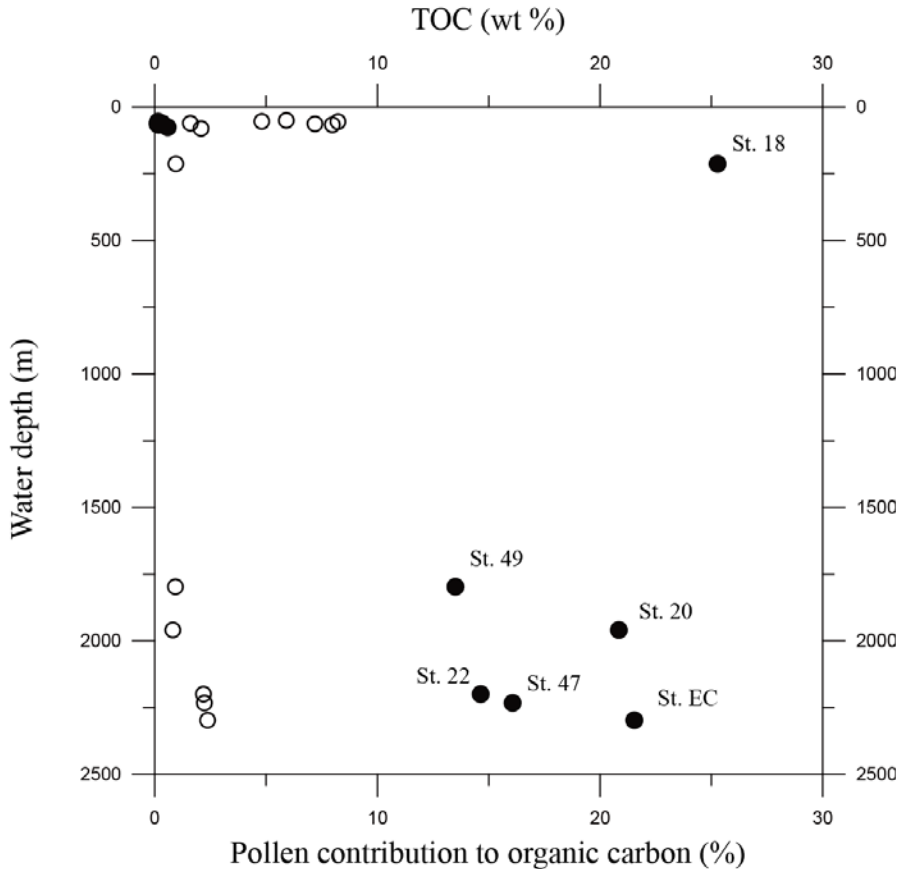


Fig. 9. Pollen contribution to organic carbon and TOC along the water depth. The open circles represent the total organic carbon while the solid circles are percentage of organic carbon originated from pollen in total organic carbon. Assuming that pollen grains contain an average of 160 ng C each, based on weight of pollen is 250 ng (Goss, 1968) and carbon content of pollen is 64% (Erdtman, 1969; Brown *et al.*, 1989). The proportion of pollen-originating carbon to total organic carbon increases toward the ocean floor.

퇴적물의 퇴적보다는 용존 산소 농도와 같은 유기물의 보존에 관련된 요소에 더 많은 영향을 받는다 (Tyson, 1995). 따라서 입도와외의 상관관계만으로 독도의 높은 유기탄소 함량을 설명하는 것은 적절하지 못하다. 독도 심해 지역의 높은 유기탄소 함량은 해수 표층에서 저층으로 유입되는 높은 유기물 플럭스(Choi *et al.*, 2009)와 평형 광물인 생물 기원성 오팔의 방패효과(Lee *et al.*, 2010) 및 낮은 탄산칼슘 함량으로 인한 탄산칼슘 희석의 최소화(Lee *et al.*, 2008) 등이 그 이유로 거론된 바 있다. 하지만 동해 심층의 용존 산소의 농도는 다른 해역에 비해 매우 높은 것으로 알려져 있어(Kang *et al.*, 2010), 유기물 보존에 적합하지 않은 환경이다. 또한, Woo *et al.* (2009)는 수심 2,000m 이상의 퇴적물에서도

약 10~20%의 탄산염 퇴적물이 함유되어 있어, 독도 주변 해역의 탄산염 보상심도가 이보다 더 깊을 수 있음을 제시한 바 있다.

지금까지 독도 심해 퇴적물의 높은 유기탄소 함량은 해양 자체의 생산력과 해양환경만이 그 원인으로 고려되었으며, 육상 유기물의 영향은 무시되어 왔다. 이는 울릉분지의 퇴적물은 해양 기원성 유기물이 주를 이루는 것으로 해석되는 4~10의 C/N비를 가질 뿐만 아니라(Hyun *et al.*, 2010), 동해안을 따른 큰 강의 부재로 인해 울릉분지에 육상 유기물의 유입이 거의 없는 것으로 평가되었기 때문이다(Hong *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2008). 하지만 독도 해저 퇴적물에 포함된 유기퇴적물은 수심이 증가함에 따라 육상 기원의 물질이 점차 증가하는 경향을

Table 4. Concentration of palynomorph per gram of dry weight sediment

Sample	Terrestrial palynomorph	Marine palynomorph	Pollen	Spore	Fungal spore	Freshwater algae	Dinoflagellate cyst	Microfora-miniferal test lining (serial type)	Microfora-miniferal test lining (coiled type)	Zoological remains
St. 1	237	797	226	11	0	0	280	65	453	0
St. 2	119	932	110	8	0	0	322	34	576	0
St. 3	203	1,843	493	0	10	0	976	89	779	0
St. 4	890	1,357	880	11	0	0	554	43	760	0
St. 5	372	2,200	361	0	0	11	1,215	11	974	0
St. 6	347	1,118	337	0	11	0	326	0	793	0
St. 7	155	717	148	0	7	0	288	15	414	0
St. 18	15,149	10,116	14,951	99	99	0	4,885	148	4,688	395
St. 20	10,963	2,947	10,568	216	180	0	2,768	0	36	144
St. 22	20,717	5,472	20,001	391	326	0	3,583	1,694	65	130
St. EC	32,599	7,473	31,949	542	108	0	6,390	325	108	650
St. 47	23,242	5,559	22,392	772	77	0	4,556	772	0	232
St. 49	8,530	8,530	7,830	0	637	64	7,830	446	64	191

보이며, 2,000 m 이상의 심해 퇴적물에서는 산출되는 유기퇴적물의 대부분이 육상기원의 화분으로 구성된다(그림 8). 특히 소나무속 화분이 전체 화분 조성의 90% 이상을 차지한다. 두 개의 기낭을 가진 소나무속 화분은 바람에 의해 육상과 멀리 떨어진 해저 퇴적물에서 자주 산출되는 종이다. 소나무속은 다른 화분에 비해 스포로폴레닌(sporopollenin)의 함유량이 많아 퇴적물에서 보존이 용이하고, 탄소 함유량이 높다. 또한 소나무속 화분의 C/N 비는 12~14로(Descola-Gros and Scholzel, 2007) 다른 육상식물의 값(보통 19~105, Meybeck, 1982; Meyers, 1990)에 비해 현저히 낮은 값을 갖는다. 독도 인근 심해 퇴적물의 유기탄소 함유량에 대한 화분 입자의 유기탄소 기여도는 14.6~16%의 높은 비율을 보인다(그림 9). 따라서 화분은 독도 인근 퇴적물의 높은 유기탄소 함량의 증가에 중요한 역할을 했을 것으로 판단된다.

결 론

독도 인근의 해저 퇴적물을 대상으로 다양한 광물학적, 퇴적학적, 생물학적 방법론을 적용하여 해저 퇴적상을 파악하고 그에 따른 생물상과 유기탄소 함량의 변화를 분석하였다. 독도 인근 해저는 대

부분이 자갈질 모래 내지 모래질 자갈로 이루어져 있는 것으로 밝혀졌으며, 독도 원양 퇴적물은 점차 세립화되어 카올리나이트와 일라이트를 포함한 실트질 모래 혹은 실트 퇴적상으로 변화한다. 이러한 입도 조성을 이용하여 해저 퇴적물의 퇴적기작을 규명한 결과 독도 연안지역은 밀집과 틈집으로 퇴적이 이루어지는 반면, 독도에서 거리가 멀어짐에 따라 최대 80%까지의 퇴적물이 틈집에 의해 퇴적되는 것으로 밝혀졌다. 퇴적물에 포함된 유기퇴적물은 퇴적물의 입도에 따라 산출되는 분류군이 변화한다. 연안지역의 조립질 퇴적물에서는 해양 기원인 와편모조류 피낭과 나선형의 미유공충 내벽의 산출이 특징적이다. 하지만 수심이 증가하고 입도가 감소함에 따라 육상기원의 화분이 크게 증가하는 양상이 관찰된다. 수심 2,000 m 이상의 퇴적물에서는 20,000 g⁻¹를 초과하는 화분이 산출된다. 심해 퇴적물 내 유기탄소 함량에 대한 화분의 기여도는 15%를 초과한다. 따라서 육상기원의 화분은 독도 인근 심해 퇴적물의 높은 유기탄소 함량에 많은 영향을 가하는 것으로 판단된다.

사 사

이 연구는 한국해양과학기술원의 ‘동해 해양환경 및 생

태계 변동감시 체계 구축(PE98921)'과 해양수산부의 '독도의 지속가능한 이용연구(PG48010)'의 지원으로 수행되었다. 논문의 심사과정에서 많은 조언과 건설적인 비판을 통해 논문의 질적 향상에 도움을 주신 손병국 박사님과 익명의 심사위원께 감사사를 드린다.

참고문헌

- Achab, M. (2011) Dynamics of sediments exchange and transport in the Bay of Cadiz and the adjacent continental shelf (SW-Spain). In: Manning, A.J. (ed.), *Sediment Transport in Aquatic Environments*. InTech, 332p.
- Angusamy, N. and Rajamanickam, G.V. (2006) Depositional environment of sediments along the southern coast of Tamil Nadu, India. *Oceanologia*, 87-102.
- Bordovski, O.K. (1965) Accumulation of organic matter in bottom sediments. *Marine Geology*, 33-82.
- Boulouard, C. and Delauze, H. (1966) Analyse palynoplantologique de sediments prelevés par le bathyscaphe "Archimede" dans la fosse du Japon. *Marine Geology*, 461-466.
- Bradford, M.R. (1977) The distribution and paleoecology of the dinoflagellate cysts in the Persian Gulf and adjacent regions. Ph.D. thesis, University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada. 555p.
- Brown, T.A., Nelson, D.E., Mathewes, R.W., Vogel, J.S., and Southon, J.R. (1989) Radiocarbon dating of pollen by accelerator mass spectrometry. *Quaternary Research*, 205-212.
- Choi, Y.J., Kim, D.S., Lee, T.H., and Lee, C.B. (2009) Estimate of manganese and iron oxide reduction rates in slope and basin sediments of Ulleung Basin, East Sea. *Journal of the Korean Society of Oceanography*, 127-133.
- Cole, R.A. and Weigmann, D.L. (1983) Relationships among zoobenthos, sediments, and organic matter in littoral zones of western Lake Erie and Saginaw Bay. *Journal of Great Lakes Research*, 568-581.
- Cooke, A.C. and Rayner, A.D.M. (1984) *Ecology of Saprotrophic Fungi*. Longman, Harlow, 415p.
- Correia, M. (1967) Relations possibles entre letat de conservation des elements figures de la matiere organique (microfossiles palynoplantologiques) et l'existence de gisements d'hydrocarbures. *Revue de l'Institut Francais du Petrole*, 1285-1306.
- Cross, A.T., Thompson, G.G., and Zaitzeff, J.B. (1966) Source and distribution of palynomorphs in bottom sediments, southern part of Gulf of California. *Marine Geology*, 467-524.
- Dale, B. (1976) Cyst formation, sedimentation, and preservation: factors affecting dinoflagellate assemblages in recent sediments from Trondheimsfjord, Norway. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 39-60.
- Descola-Gros, C. and Scholzel, C. (2007) Stable isotope ratios of carbon and nitrogen in pollen grains in order to characterize plant functional groups and photosynthetic pathway types. *New Phytologist*, 390-401.
- Elsik, W.C. (1976) Fossil fungal spores. In: Weber, D.J. and Hess, W.M. (eds.), *Spore: Form and Function*. Wiley, New York, p.849-862.
- Emerson, S. (1985) Organic carbon preservation in marine sediments. *Geophysical Monograph Series*, 78-87.
- Emerson, S. and Hedges, J.I. (1988) Process controlling the organic carbon content of open ocean sediments. *Paleoceanography*, 621-634.
- Erdtman, G. (1969) *Handbook of Palynology: Morphology-Taxonomy-Ecology, An Introduction to the Study of Pollen Grains and Spores*. Copenhagen: Munksgaard. 486p.
- Evitt, W.R. (1985) *Sporopollenin Dinoflagellate Cysts: Their Morphology and Interpretation*. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, 333p.
- Folk, R.L. and Ward, W.C. (1957) Brazos River bar: A study in the significance of grain-size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 3-26.
- Goss, J.A. (1968) Development, physiology, and biochemistry of corn and wheat pollen. *Botanical Review*, 333-358.
- Groot, J.J., Groot, C.R., Ewing, M., Burckle, L., and Conolly, J.R. (1967) Spores, pollen, diatoms and provenance of the Argentine Basin sediments. *Progress in Oceanography*, 179-217.
- Heusser, L.E. and Balsam, W.L. (1977) Pollen distribution in the northeast Pacific ocean. *Quaternary Research*, 45-62.
- Hoffmeister, W.S. (1960) Palynology has important role in oil exploration. *World Oil*, 101-104.
- Hong, G.H., Kim S.H., Chung C.S., Kang D.J., Shin D.H., Lee H.J., and Han S.J. (2007) ²¹⁰Pb-derived sediment accumulation rates in the southwestern East Sea (Sea of Japan). *Geo-Marine Letters*, 126-132.
- Hyun, S., Kim, C.H., Jou, H.T., Kim, J.K., and Park, C.H. (2010) Characteristics of surface sediments distribution and submarine topography around Dokdo Island, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 647-660. (in Korean with English abstract).
- Ingold, C.T. (1971) *Fungal Spores: Their Liberation and Dispersal*. Clarendon, Oxford, 302p.
- Jun, C.P., Yi, S., and Lee, S.J. (2009) Holocene environmental reconstruction of Pyeongtaek blanket wetland inferred from palynological assemblages. *Journal of the Geological Society of Korea*, 299-309. (in

- Korean with English abstract).
- Jun, C.P., Yi, S., and Lee, S.J. (2010) Palynological implication of Holocene vegetation and environment in Pyeongtaek wetland, Korea. *Quaternary International*, 68-74.
- Kang, D.J., Kim, Y.B., and Kim, K.R. (2010) Dissolved oxygen at the bottom boundary layer of the Ulleung Basin, East Sea. *Ocean and Polar Research*, 439-448.
- Keil, R.G., Tsamakis, E.C., Fuh, C.B., Giddings, J.C., and Hedges, J.I. (1994) Mineralogical and textural controls on the organic composition of coastal marine sediments: Hydrodynamic separation using SPLITT-fraction. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1507-1511.
- Kim, J.Y., Kagn, D.J., Kin, E, Cho, J.H., Lee, C.R., Kim, K.R., and Lee, T. (2003) Biological pump in the East Sea estimated by a box model. *Journal of the Korean Society of Oceanography*, 295-306.
- Kohlmeyer, J. and Kohlmeyer, E. (1979) *Marine Mycology, The Higher Fungi*. Academic Press, New York, 690p.
- Lee, T., Hyun, J.H., Mok, J.S., and Kim, D. (2008) Organic carbon accumulation and sulfate reduction rates in slope and basin sediments of the Ulleung Basin, East/Japan Sea. *Geo-Marine Letters*, 153-159.
- Lee, T., Kim, D., Khim, B.K., and Choi, D.L. (2010) Organic carbon cycling in Ulleung Basin sediments, East Sea. *Ocean and Polar Research*, 145-156.
- Luo, C., Zheng, Z., Zou, H., Pan, A., Fang, G., Bai, J., and Li, J. (2013) Palaeoenvironmental significance of grain-size distribution of river flood deposits: a study of the archaeological sites of the Apengjiang River Drainage, upper Yangtze region, Chongqing, China. *Journal of Archaeological Science*, 827-840.
- Matsushita, M. (1985) The behavior of stream-borne pollen in the KaKo River, Hyoho Prefecture, western Japan. *The Quaternary Research (Tokyo)*, 57-61.
- McKee, E.D., Chronic, J., and Leopold, E.B. (1959) Sedimentary belts in lagoon of Kapingamarangi Atoll. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 501-562.
- Melia, M.B. (1984) The distribution and relationship between palynomorphs in aerosols and deep-sea sediments off the coast of Northwest Africa. *Marine Geology*, 345-371.
- Meybeck, M. (1982) Carbon, nitrogen, and phosphorus transport by world rivers. *American Journal of Science*, 401-450.
- Meyers, P.A. (1990) Impacts of late Quaternary fluctuations in water level on the accumulation of sedimentary organic matter in Walker Lake, Nevada. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 229-240.
- Moore, P.D., Webb, J.A., and Collinson, M.E. (1991) *Pollen Analysis*, 2nd(ed.), Blackwell Scientific Publications, Oxford, 216p.
- Mudie, P.J. (1982) Pollen distribution in recent marine sediments, eastern Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 729-747.
- Muller, J. (1959) Palynology of recent Orinoco Delta and shelf sediments: reports of the Orinoco Shelf expedition. *Micropaleontology*, 1-2.
- Nwachukwu, J.I. and Barker, C. (1985) Organic matter: size fraction relationships for recent sediments from the Orinoco Delta, Venezuela. *Marine and Petroleum Geology*, 202-209.
- Pearson, T.H. (1970) The benthic ecology of Loch Linnhe and Loch Eil, a sea-loch system on the west coast of Scotland. 1. The physical environment and distribution of the macrobenthic fauna. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1-34.
- Prahl, F.G., Ertel, J.R., Goni, M.A., Sparrow, M.A., and Eversmeyer, B. (1994) Terrestrial organic carbon contributions to sediments on the Washington margin. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 3035-3048.
- Rees, G. (1980) Factors affecting the sedimentation rate of marine fungal spores. *Botanica Marina*, 375-385.
- Rogers, J. and Bremner, J.M. (1991) The Benguela System. Part VII. Marine-geological aspects. *Oceanography and Marine Biology and Annual Review*, 1-85.
- Rossigol, M. (1961) Analyse pollinique de sediments marins Quaternaires en Israel. 1. Sediments recents. *Pollen et Spores*, 303-324.
- Secieru, D. and Oaic, G. (2009) The relationship between the grain size composition of the sediments from the NW Black Sea and their Total Organic Carbon (TOC) content. *Geo-Eco-Marina*, 5-11.
- Seiter, K., Hensen, C., Schroter, J., and Zabel, M. (2004) Organic carbon content in surface sediments-defining regional provinces. *Deep-Sea Research I*, 2001-2026.
- Stanley, E.A. (1965) Abundance of pollen and spores in marine sediments off the eastern coast of the United States. *Southeastern Geologist*, 25-33.
- Sun, X. and Wu, Y. (1988) The distribution of pollen and algae in surface sediments of Dianchi, Yunnan Province, China. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 193-206.
- Swan, A.R.H. and Sandilands, M. (1995) *Introduction to Geological Data Analysis*. Blackwell, Oxford, 446p.
- Syvitiski, J.P. and Murray, J.W. (1977) Grain-size distribution using log-probability plots: discussion. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 683-694.
- Traverse, A. and Ginsburg, R.N. (1966) Palynology of the surface sediments of Great Bahama Bank, as related to water movement and sedimentation. *Marine*

- Geology, 417-459.
- Tucker, R.W. and Vacher, H.L. (1980) Effectiveness of discriminating beach, dune, and river sands by moments and the cumulative weight percentages. *Journal of Sedimentological Petrology*, 701-716.
- Tyson, R.V. (1995) *Sedimentary Organic Matter*. Chapman & Hall, London, 615p.
- Van Waveren, I.M. (1989) Palynofacies analysis of surface sediments from the northeastern Banda Sea (Indonesia). *Netherlands Journal of Sea Research*, 501-509.
- Visher, G.S. (1969) Grain size distributions and depositional processes. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1074-1106.
- Wall, D., Dale, B., Lohmann, G.P., and Smith, W.K. (1977) The environment and climatic distribution of dinoflagellate cysts in modern marine sediments from regions in the North and South Atlantic Oceans and adjacent seas. *Marine Micropalaeontology*, 121-200.
- White, A.W. and Lewis, C.M. (1982) Resting cysts of the toxic, red tide dinoflagellate *Gonyaulax excavata* in Bay of Fundy sediments. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1185-1194.
- Woo, K.S., Ji, H.S., Kim, L., Jeon, J., Park, J.S., Park, H.S., Kim, D.S., and Park, C.H. (2009) Distribution and origin of carbonate sediments near Dok Island: preliminary study. *Journal of Korean Society of Oceanography*, 171-180.
-
- 접수일(2013년 5월 29일), 수정일(1차 : 2013년 6월 18일),
게재확정일(2013년 6월 19일), 책임편집위원 : 손병국