

황해 남동부 표층 해양 퇴적물의 광물 분포; 2010년 한국해양연구원 탐사 시료

Mineral Distribution in the Southeastern Yellow Sea Surface Sediments; KORDI Cruise Samples in 2010

조 현 구(Hyen Goo Cho)^{1,*} · 김 순 오(Soon-Oh Kim)¹ · 이 희 일(Hi-Il Yi)² ·
· 신 경 훈(Kyung-Hoon Shin)³

¹경상대학교 지구환경과학과 및 기초과학연구소

(Department of Earth and Environmental Sciences and Research Institute of Natural Science,
Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea)

²한국해양연구원 해양환경특성연구사업단

(Marine Geoenvironment Research Division, Korea Ocean Research and Development Institute)

³한양대학교 해양환경과학전공

(Department of Environmental Marine Sciences, Hanyang University)

요약 : 2010년 해양연구원의 황해 남동부 탐사에서 채취된 67개 표층 퇴적물 시료에 대하여 정량X선 회절분석법을 이용하여 광물조성을 구하였다. 황해 표층 퇴적물은 주구성광물(석영 49.1%, 사장석 13.0%, 알카리 장석 9.3%), 점토광물, 방해석 및 아라고나이트 등으로 구성되어 있다. 점토광물 중에는 일라이트(9.4%)가 가장 많고, 녹니석(4.6%)이 두 번째로 많으며, 카올리나이트(0.8%)는 매우 소량 들어 있다. 석영과 알카리장석은 조립질 퇴적물, 각섬석과 점토광물들은 세립질 퇴적물에 농집되는 경향을 나타낸다. 석영, 사장석, 알카리장석, 녹니석 및 카올리나이트 함량은 황해 중앙 니질대의 남단에 해당되는 니질대 1에서 높고, 일라이트 함량은 황해 남동 니질대의 일부인 니질대 2에서 높다. 이와 같은 구성광물의 차이는 세립질 퇴적물의 근원지가 다름을 시사하며, 황해 남동 니질대는 주로 한반도 서해안의 금강과 영산강으로부터 운반되었을 것으로 판단된다.

주요어 : 정량X선회절분석, 표층 퇴적물, 황해 남동 니질대, 황해 중앙 니질대, 일라이트, 점토광물, 근원지

ABSTRACT : Mineral compositions of 69 southeastern Yellow Sea surface sediments collected at the Korea Ocean Research and Development Institute (KORDI) cruise in 2010, were determined using the quantitative X-ray diffraction analysis. Southeastern Yellow Sea surface sediments are composed of major minerals (quartz 49.1%, plagioclase 13.0% and alkali feldspar 9.3%), clay minerals, calcite, and aragonite. Illite (9.4%) is the most abundant clay mineral, chlorite (4.6%) is the second, and kaolinite (0.8%) is few. Quartz and alkali feldspar contents are high in coarse-grained sediments, whereas amphibole and clay mineral contents are high in fine-grained sediments. Quartz, plagioclase, alkali feldspar, chlorite, and kaolinite contents are higher, and illite content is lower in mud zone 1 corresponding to

*교신저자: hgcho@gsnu.ac.kr

south margin of Central Yellow Sea Mud than in mud zone 2, a part of Southeastern Yellow Sea Mud. Difference of mineral composition between two mud zone suggests that source of fine sediment may be different in two mud zone and Southeastern Yellow Sea Mud might be largely supplied from the Keum and Youngsan rivers in southern part of the west coast in the Korean Peninsula.

Key words : Quantitative X-ray diffraction analysis, surface sediment, Southeastern Yellow Sea Mud, Central Yellow Sea Mud, illite, clay mineral, provenance

서 언

황해는 중국 양자강과 제주도를 연결하는 선상의 북측 지역으로 평균수심이 약 44 m인 전형적인 대륙 주변해로서, 중국의 황하강과 양자강, 그리고 한반도의 한강, 금강, 영산강 등을 통해 막대한 양(전 세계 하천 퇴적물 양의 약 10%)의 육상기원 퇴적물이 유입되어 집적되고 있다(Milliman and Meade, 1983; Schubel *et al.*, 1984). 이 세립질 퇴적물은 황해 중앙 니질대(Central Yellow Sea Mud, CYSM), 황해 남동 니질대(Southeastern Yellow Sea Mud, SEYSM), 황해 남서 니질대(Southwestern Cheju Island Mud, SWCIM) 등 몇 개의 특징적인 니질대(muddy patch)를 형성하고 있다(Yang *et al.*, 2003; 문동혁 등 2009; 최진용 등 2010).

황해에 분포하는 이들 니질대들의 기원을 규명하기 위하여 퇴적학적, 지화학적, 광물학적 연구가 매우 많은 학자들에 의하여 수행되었지만, 황해의 복잡한 물리-화학적 특성 때문에 일치된 견해를 보이지는 못하고 있다(Yang *et al.*, 2003; 최진용 등 2010). 특히 한국 서남해 연안에 남-북 방향으로 길게 발달한 황해 남동 니질대 또는 흑산니질대(Huksan Mudbelt Deposit; HSMD) 퇴적물에 대하여, 한국의 주변 하천으로부터 기원했다는 이론과 한국의 하천 이외에 중국의 황하와 양자강 등 여러 하천의 혼합물이라는 이론이 존재한다. Chough and Kim (1981), Lee and Chough (1989), Jin and Chough (1998), Lee and Chu (2001)는 퇴적학적 연구, Chough *et al.* (2002)은 지구물리학적 연구, Lee *et al.* (1992)은 지구화학적 연구, Park and Khim (1992), 문동혁 등(2009)은 광물학적 연구를 통하여 흑산니질대 퇴적물의 한국의 금강과 영산강으로부터 유래하였다고 주장하였다. 한편 Schubel *et al.* (1984), Ren and Shi (1986), Alexander *et al.* (1991a), Park *et al.* (2000)은 퇴적학적 연구, Cho *et al.* (1999), Lim *et al.* (2007)은 지구화학적 연구, Zhao *et al.* (2001)은 지구화학적-광물학

적 연구를 통하여 이 퇴적물의 기원이 한국과 중국 강의 혼합물이라고 제기하였다. Wei *et al.* (2000)은 점토광물학적 연구를 통하여 흑산니질대의 북부 지역은 금강과 영산강 기원, 남부는 한국과 중국 강 등의 여러 기원이 혼합된 ‘multi-origin’ 퇴적물이라고 주장하기도 하였다.

흑산니질대 퇴적물의 기원을 밝히기 위하여 여러 측면에서의 연구가 진행되었지만, 아직도 두 결론 사이의 견해 차이는 여전하다. 그 이유는 연구자마다 시료 채취와 처리 과정 및 분석 방법들을 사용하였기 때문인 것으로 여겨진다. 특히 광물학적인 방법에 의한 연구는 극소수의 연구자를 제외하고는 이루어지지 않고 있다(Park and Khim, 1992; Wei *et al.*, 2000; Zhao *et al.*, 2001; 문동혁 등, 2009). 세립질 해양퇴적물 내에 존재하는 광물의 종류를 감정하고, 그 조성을 구하는 방법에는 여러 가지가 있지만, X선 회절분석 자료를 이용하는 것이 가장 효과적이고 정확한 방법으로 여겨진다(조현구 등, 2007). 기존에 이루어진 흑산니질대 퇴적물의 광물학적인 연구는 스펙타이트, 일라이트, 카올리나이트, 녹니석 등 4가지 주요한 점토광물의 반정량적인 분석을 통하여 수행되었다(Biscaye, 1965; Park and Khim, 1992; Wei *et al.*, 2000; Zhao *et al.*, 2001). 그 이유는 점토광물을 포함하는 지구물질 시료의 X-선정량분석이 쉽지 않았기 때문이다.

최근 하드웨어와 소프트웨어 분야의 발전에 힘입어 정량 X선 회절분석법이 여러 학자나 회사에 의하여 개발되어 예전보다 훨씬 정확한 결과를 도출할 수 있게 해주고 있다. 이런 프로그램에는 Siroquant (Taylor, 1991), QUAX (Vogt *et al.*, 2002), RockJock (Eberl, 2003, 2004) 등이 있다. 고분해능 X선회절분석기와 컴퓨터 프로그램을 이용할 경우, 정방위시료 대신 무방위시료(randlomy oriented specimen)를 사용할 수 있으며, 각 광물의 특징적인 하나의 피크 대신 모든 X선 회절선을 계산에 참여시킬 수 있기 때문에 Biscaye의 방법에 비하

여 훨씬 정확한 광물조성을 구할 수 있다(Srodon, 2002).

이번 연구에서는 정밀한 X선 회절분석기로부터 얻어진 회절선 자료를 Siroquant 프로그램을 이용하여 구성광물의 비를 정량적으로 구하였다. Siroquant 프로그램은 몇 개의 피크가 아니라 전체 회절선(full pattern)을 사용하여 광물을 정량하는 방법이다(Rietveld, 1969; Taylor, 1991). Siroquant v.3.0은 2006년 upgrade된 것으로서, 한번에 25가지 종류의 광물까지 정량할 수 있으며, 1% 이하까지 감지하는 매우 예민한 방법이고, 내부 또는 외부 표준물질이 필요 없는 편리한 방법이다. 게다가 점토광물 패키지(clay mineral package)를 포함하고 있으므로, 점토광물을 많이 포함하는 육상 또는 해양 퇴적물 연구에 매우 적합한 방법이라고 여겨진다.

이번 연구의 목적은 2010년 황해 남동부 해역에서 수행된 한국해양연구원 탐사에서 얻어진 시료를 이용하여 흑산니질대와 그 주변 해역을 구성하는 광물의 종류와 양을 정량X선회절분석법을 통하여 정확히 알아낸 후, 이를 이용하여 광물의 분포 양상을 파악하고, 연구지역 내에 분포하는 퇴적물의 근원지를 추정하는 것이다.

연구 재료 및 방법

이번 연구에 사용된 시료는 한국해양연구원에서 운영하는 이어도호를 이용하여 2010년 6월 27일부터 6월 30일까지 실시한 황해 남동부 탐사 시 표층퇴적물 시료 67개의 시료이다(그림 1). 시료 채취는 그랩 샘플러(grab sampler)를 이용하였으며 채취된 시료는 표층 5 cm 이내의 퇴적물이다.

정량분석에 이용된 시료는 입도 분리 또는 화학적 처리를 거치지 않은 원 시료 자체를 분말 상태로 분쇄하여, 가능한 방향성을 가지지 않도록 X선 회절분석기 홀더(holder)에 장착한 후, 고분해능 X선 회절분석기를 이용하여 획득한 X선 회절 자료를 Siroquant v. 3.0 프로그램을 이용하여 정량분석 하였다.

X선 회절분석은 경상대학교 지구환경과학과에서 보유하고 있는 Siemens/Brucker D5005 고분해능 X선 회절분석기를 이용하였으며, 흑연 단색화된 파장($\text{CuK}\alpha = 1.5406 \text{ \AA}$)을 사용하였다. 정량분석을 위한 원 시료의 분석조건은 40 kv/35 mA, $3\sim 90^\circ$ 2-theta 구간에서 주사 간격 0.02° , 주사 시간 5 sec로 설정하여 스텝-스캔 방식으로 회절값을

기록하였으며, 슬릿은 $1.0\text{-}1.0\text{-}0.1^\circ$ 를 이용하였다.

결과 및 토론

정량 X선 회절분석법에 의하여 67개 퇴적물 시료의 광물 조성을 결정하였다. 황해 남동부 표층 퇴적물 시료는 석영, 사장석, 알칼리장석, 각섬석 등과 같은 조암광물, 일라이트, 녹니석, 그리고 카올리나이트 등의 점토광물 및 방해석과 아라고나이트로 판단되는 탄산염광물 등으로 구성되어 있다(표 1).

석영은 황해 표층 퇴적물에 가장 많이 존재하는 광물로서 최소 21.6%에서 최대 74.5%까지 포함되어 있으며, 평균 49.1%를 차지하고 있다. 사장석은 두 번째로 많은 광물로서, 최소 2.6%에서 최대 20.4%, 평균 13.0% 들어있으며, 알칼리장석은 최소 0%에서 최대 9.3%, 평균 4.4%, 각섬석은 최소 0%에서 최대 10.6%, 평균 2.3%를 차지하고 있다. 사장석과 알칼리장석을 합한 장석의 양은 4.5~25.4% 범위로, 평균 17.4%이며, 석영과 장석, 각섬석 등 조암광물을 모두 합한 양은 31.4~87.9%, 평균 68.8%를 차지하고 있다.

일라이트는 연구지역 표층 퇴적물 내에 가장 많은 점토광물로서, 최소 0.4%에서 최대 21.8%까지 포함되어 있으며, 평균 9.4%를 차지하고 있다. 녹니석은 두 번째로 많은 점토광물로서 최소 1.5%에서 최대 32.4%, 평균 4.6%를 들어있다. 카올리나이트는 0~3.2%, 평균 0.8% 존재한다. 일라이트, 녹니석 및 카올리나이트를 합한 점토광물의 총량은 1.2% 내지 36.3%이며, 평균 15.1%이다. 방해석은 평균 7.6%, 아라고나이트는 4.5% 포함되어 있다.

정량 X선 회절분석법에 의하여 구한 광물 조성 자료를 이용하여 각 광물의 분포 양상을 그림 2에 표시하였다. 황해 표층 퇴적물 내에 가장 많이 존재하는 석영은 연구 해역의 중앙부와 동쪽에서 비교적 높은 함량을 나타내는데(그림 2A), 이들 지역은 대체로 입자의 크기가 굵은 조립질 퇴적물이 분포하는 지역과 거의 일치하는 양상을 나타낸다(그림 1B). 이에 반하여 연구 해역 서쪽과 중앙 동쪽에서는 상대적으로 석영의 함량이 낮는데, 이들 지역은 세립질 퇴적물의 분포 지역에 해당된다.

사장석은 두 번째 풍부한 광물인데, 조사 지역의 서쪽에서 함량이 높고, 동쪽으로 갈수록 감소하는 경향을 나타낸다(그림 2B). 이에 반하여 알칼리 장

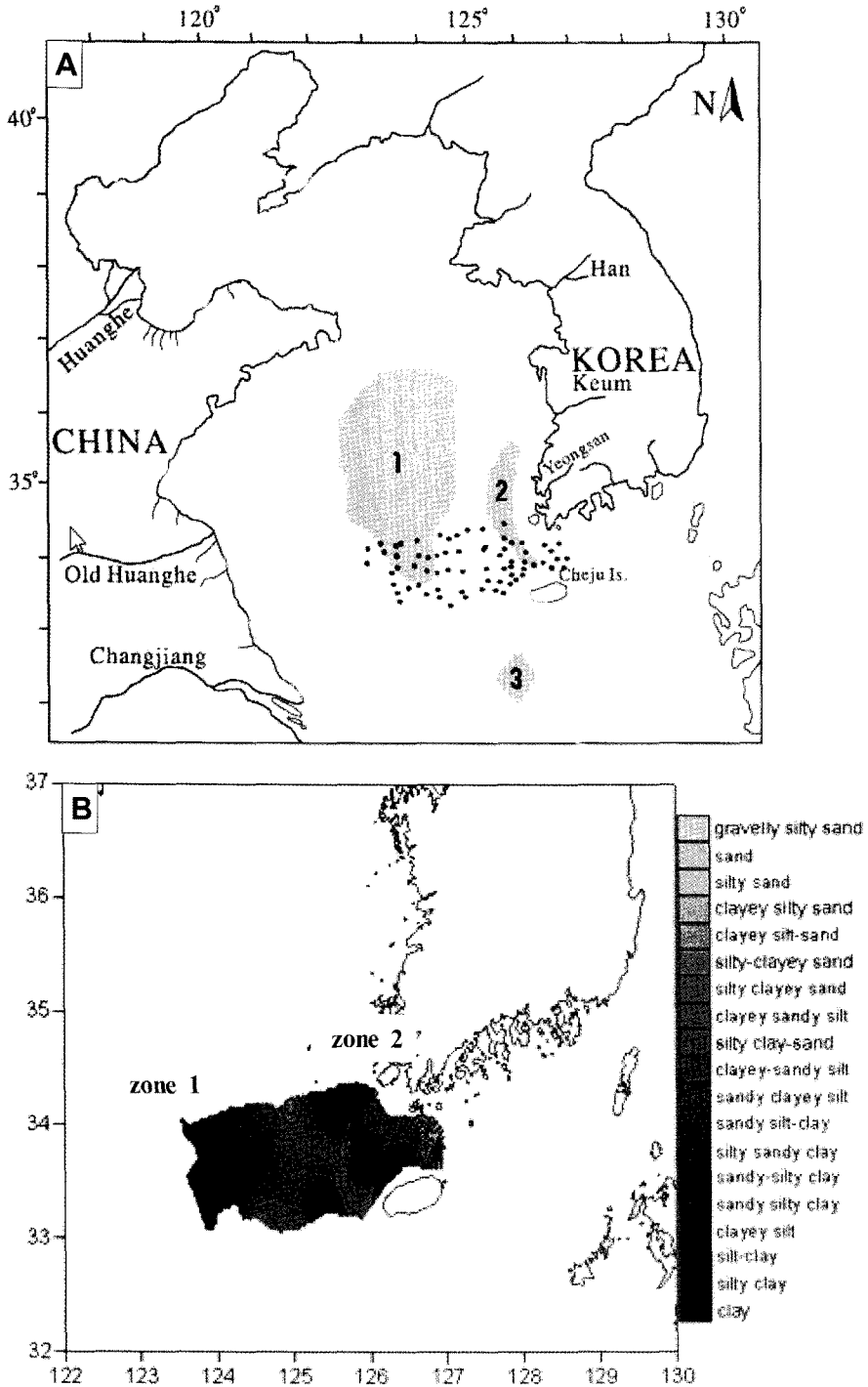


Fig. 1. Map showing (A) grab sample locations and mud patches in the Yellow Sea and adjacent areas (after Yang *et al.*, 2003) and (B) sediment types based on the Yi's classification (2004) in the study area. 1, Central Yellow Sea Mud (CYSM); 2, Southeastern Yellow Sea Mud (SEYSM); 3, Southwestern Cheju Island Mud (SWCIM).

Table 1. Mineral composition of southeastern Yellow Sea surface sediments

| # | Qtz | Pl | Ksp | Amp | Ill | Chl | Kao | Cal | Arg | type* | zone |
|------|------|------|-----|-----|------|------|-----|------|------|-------|------|
| G-3 | 63.9 | 7.0 | 4.5 | 0.0 | 0.4 | 2.1 | 0.0 | 11.4 | 8.9 | gS | |
| G-4 | 62.4 | 7.0 | 5.4 | 1.0 | 3.5 | 1.8 | 0.0 | 8.5 | 7.7 | gmS | |
| G-6 | 47.2 | 11.3 | 3.0 | 0.0 | 13.1 | 4.0 | 0.4 | 11.6 | 7.8 | gmS | |
| G-7 | 51.6 | 12.4 | 5.8 | 0.0 | 5.5 | 6.0 | 1.1 | 6.6 | 2.5 | sC | 2 |
| G-8 | 57.8 | 15.0 | 8.5 | 2.4 | 3.9 | 3.0 | 0.5 | 4.8 | 1.7 | mS | |
| G-9 | 58.7 | 8.5 | 3.1 | 1.9 | 4.7 | 2.8 | 1.0 | 5.9 | 11.3 | gmS | |
| G-12 | 47.4 | 14.3 | 3.5 | 0.6 | 17.0 | 3.9 | 1.7 | 1.8 | 7.7 | sM | 2 |
| G-13 | 56.7 | 14.2 | 6.6 | 1.8 | 6.6 | 4.2 | 1.4 | 2.2 | 0.9 | cS | |
| G-14 | 50.9 | 17.3 | 7.4 | 4.0 | 9.0 | 6.1 | 2.2 | 2.4 | 0.5 | sM | 1 |
| G-15 | 46.1 | 15.2 | 4.7 | 0.6 | 18.1 | 4.6 | 1.3 | 2.2 | 1.8 | sM | 1 |
| G-18 | 42.5 | 13.4 | 8.5 | 6.8 | 16.3 | 4.5 | 2.0 | 1.7 | 0.0 | C | 1 |
| G-19 | 42.2 | 14.9 | 5.0 | 2.6 | 14.5 | 5.8 | 2.3 | 3.5 | 1.6 | sC | 1 |
| G-21 | 47.9 | 16.3 | 6.3 | 2.1 | 7.3 | 6.0 | 1.5 | 5.2 | 1.6 | sC | 1 |
| G-22 | 46.9 | 13.8 | 5.5 | 3.1 | 6.8 | 7.8 | 2.0 | 5.8 | 1.9 | sC | 1 |
| G-23 | 63.7 | 13.6 | 8.3 | 1.8 | 5.2 | 2.7 | 0.6 | 1.4 | 1.9 | mS | |
| G-24 | 54.8 | 18.2 | 5.3 | 4.6 | 4.6 | 5.7 | 0.0 | 1.7 | 2.7 | cS | |
| G-25 | 48.0 | 17.5 | 7.0 | 1.5 | 8.1 | 8.2 | 0.0 | 5.0 | 3.2 | cS | |
| G-26 | 42.6 | 16.9 | 6.3 | 1.1 | 4.6 | 9.6 | 2.0 | 8.2 | 0.3 | cS | |
| G-28 | 45.2 | 13.5 | 5.7 | 2.9 | 12.4 | 8.1 | 1.3 | 3.9 | 1.2 | sC | 1 |
| G-29 | 51.0 | 19.5 | 5.9 | 2.0 | 6.4 | 7.4 | 1.5 | 3.1 | 2.8 | cS | |
| G-32 | 66.6 | 12.7 | 4.2 | 1.0 | 3.1 | 2.0 | 0.0 | 5.5 | 3.3 | cS | |
| G-33 | 52.9 | 12.8 | 5.6 | 1.4 | 6.3 | 6.4 | 1.6 | 5.7 | 3.8 | sC | 2 |
| G-34 | 52.2 | 13.1 | 8.0 | 1.2 | 2.8 | 1.4 | 0.3 | 13.2 | 5.9 | cS | |
| G-35 | 31.5 | 11.8 | 2.3 | 6.3 | 13.6 | 6.8 | 0.4 | 21.7 | 2.1 | sC | 2 |
| G-36 | 46.5 | 10.0 | 4.8 | 0.7 | 9.4 | 3.0 | 0.5 | 14.3 | 8.2 | gM | 2 |
| G-37 | 47.0 | 9.9 | 1.3 | 0.6 | 5.3 | 2.0 | 0.1 | 19.1 | 12.0 | (g)mS | |
| G-39 | 68.4 | 10.6 | 7.3 | 0.3 | 4.1 | 1.9 | 0.1 | 2.1 | 3.5 | (g)mS | |
| G-41 | 36.5 | 18.8 | 0.5 | 6.2 | 17.7 | 5.7 | 1.1 | 5.3 | 0.0 | sM | 1 |
| G-43 | 48.6 | 15.3 | 2.8 | 0.1 | 16.3 | 5.3 | 1.3 | 5.9 | 0.0 | sC | 1 |
| G-44 | 49.3 | 17.6 | 4.6 | 4.1 | 4.9 | 6.6 | 3.2 | 2.3 | 1.8 | sM | 1 |
| G-46 | 49.6 | 17.1 | 6.6 | 0.6 | 9.2 | 4.4 | 0.6 | 6.3 | 0.9 | cS | |
| G-52 | 50.7 | 12.6 | 6.1 | 0.1 | 9.7 | 3.7 | 0.6 | 8.5 | 4.0 | cS | |
| G-53 | 21.6 | 4.6 | 0.8 | 4.9 | 5.7 | 3.4 | 0.5 | 29.4 | 28.7 | gM | 2 |
| G-54 | 39.9 | 19.5 | 3.7 | 6.2 | 16.2 | 7.8 | 0.2 | 2.0 | 2.5 | M | 2 |
| G-62 | 48.1 | 5.1 | 0.6 | 0.0 | 6.6 | 5.1 | 0.8 | 21.7 | 10.5 | gmS | |
| G-63 | 62.4 | 3.0 | 3.8 | 1.6 | 1.5 | 0.0 | 0.0 | 15.8 | 10.9 | (g)mS | |
| G-65 | 52.5 | 7.5 | 6.8 | 2.1 | 2.2 | 1.4 | 0.3 | 13.7 | 12.5 | gmS | |
| G-66 | 52.0 | 5.7 | 5.4 | 0.0 | 1.7 | 1.4 | 0.1 | 13.7 | 18.6 | (g)S | |
| G-67 | 50.7 | 10.9 | 3.3 | 1.9 | 3.2 | 2.3 | 0.4 | 11.9 | 13.8 | cS | |
| G-69 | 51.0 | 12.9 | 1.8 | 1.6 | 17.4 | 6.4 | 0.0 | 5.2 | 0.7 | sM | 1 |
| G-72 | 46.3 | 15.1 | 9.3 | 4.2 | 4.7 | 10.9 | 0.0 | 2.8 | 2.4 | cS | |
| G-78 | 47.6 | 13.6 | 5.0 | 1.1 | 14.2 | 5.4 | 1.6 | 4.9 | 0.9 | sC | 1 |
| G-79 | 53.3 | 17.4 | 6.0 | 4.3 | 4.2 | 6.5 | 1.9 | 2.8 | 1.5 | cS | |

석은 석영의 분포 양상과 같이 연구 해역의 중앙부와 서쪽에서 비교적 높은 함량을 가진다(그림 2C).

각섬석은 석영과 거의 반대되는 분포 경향을 나타내다(그림 2D).

Table 1. Continued

| # | Qtz | Pl | Ksp | Amp | Ill | Chl | Kao | Cal | Hal | type* | zone |
|-------|------|------|-----|------|------|-----|-----|------|------|-------|------|
| G-80 | 64.3 | 12.5 | 8.0 | 2.5 | 5.0 | 2.4 | 0.4 | 1.8 | 1.2 | cS | |
| G-81 | 74.5 | 2.6 | 1.9 | 0.0 | 1.3 | 0.0 | 0.3 | 13.9 | 4.6 | S | |
| G-83 | 44.2 | 13.6 | 0.1 | 5.7 | 17.3 | 8.2 | 1.7 | 2.0 | 0.7 | sM | 2 |
| G-85 | 44.4 | 16.4 | 3.9 | 3.6 | 8.2 | 9.2 | 2.9 | 4.5 | 1.7 | (g)mS | |
| G-87 | 59.5 | 7.4 | 5.4 | 0.6 | 6.3 | 0.0 | 0.0 | 10.3 | 8.6 | (g)mS | |
| G-88 | 40.3 | 11.7 | 4.1 | 1.6 | 7.4 | 3.5 | 0.1 | 16.2 | 11.6 | cS | |
| G-89 | 54.4 | 15.1 | 6.6 | 0.0 | 9.0 | 2.5 | 0.1 | 6.1 | 3.5 | C | |
| G-90 | 67.3 | 9.7 | 5.0 | 1.0 | 5.7 | 2.4 | 0.4 | 2.6 | 4.0 | cS | |
| G-93 | 41.6 | 6.5 | 5.0 | 0.1 | 5.8 | 1.8 | 0.2 | 22.0 | 13.3 | gM | |
| G-94 | 43.2 | 13.8 | 0.0 | 7.8 | 13.3 | 7.1 | 0.4 | 6.9 | 0.0 | sC | 1 |
| G-95 | 32.3 | 10.2 | 4.5 | 0.9 | 12.7 | 3.5 | 1.4 | 14.6 | 1.8 | sC | 2 |
| G-96 | 40.5 | 14.4 | 2.1 | 2.6 | 18.1 | 7.9 | 1.1 | 4.7 | 1.3 | sC | 1 |
| G-97 | 43.0 | 14.0 | 0.9 | 5.7 | 17.2 | 5.7 | 0.0 | 3.9 | 0.8 | M | 2 |
| G-99 | 44.7 | 12.4 | 0.5 | 10.6 | 16.2 | 8.4 | 0.0 | 4.1 | 0.0 | sM | 1 |
| G-101 | 51.4 | 20.4 | 4.3 | 4.2 | 7.0 | 6.2 | 0.2 | 1.9 | 1.9 | sC | 1 |
| G-103 | 52.7 | 14.8 | 3.5 | 2.9 | 10.0 | 4.6 | 1.4 | 3.7 | 0.0 | sC | 1 |
| G-104 | 44.5 | 13.7 | 2.3 | 1.5 | 18.0 | 8.4 | 1.4 | 4.4 | 1.1 | sM | 1 |
| G-105 | 44.0 | 16.1 | 3.8 | 0.1 | 19.1 | 7.3 | 0.7 | 5.3 | 2.3 | sC | 1 |
| G-106 | 59.8 | 12.4 | 5.9 | 0.0 | 3.8 | 2.7 | 0.0 | 3.4 | 8.5 | (g)mS | |
| G-109 | 44.8 | 16.9 | 2.1 | 4.4 | 18.0 | 6.2 | 0.5 | 1.5 | 0.8 | M | 2 |
| G-112 | 39.2 | 19.5 | 4.6 | 0.0 | 13.7 | 9.7 | 0.0 | 3.4 | 5.8 | sM | 1 |
| G-113 | 38.3 | 15.1 | 5.0 | 2.7 | 3.2 | 3.2 | 0.5 | 19.1 | 8.4 | cS | |
| G-114 | 33.2 | 10.4 | 0.0 | 4.3 | 21.8 | 6.7 | 1.5 | 11.3 | 1.4 | C | 2 |
| G-115 | 36.2 | 11.7 | 0.1 | 2.0 | 20.8 | 9.3 | 2.3 | 10.6 | 0.2 | C | 2 |
| AVG. | 49.1 | 13.0 | 4.4 | 2.3 | 9.4 | 4.9 | 0.8 | 7.6 | 4.5 | | |

Qtz; quartz, Pl; plagioclase, Ksp; alkali feldspar, Amp; amphibole, Ill; illite, Chl; chlorite; Kao; kaolinite, Cal; calcite, Arg; aragonite. * sediment type by Folk (1970); gmS; gravelly muddy sand, gS; gravelly sand, S; sand, ms; muddy sand, cS; clayey sand, gM; gravel mud, sM; sandy mud, M; mud, sC; sandy clay, C; clay

황해 표층 퇴적물 내 가장 많은 점토광물인 일라이트는 연구 지역의 서쪽과 중앙 동쪽에 많이 분포하고 있는데, 이런 분포 양상은 석영의 분포와 거의 정반대되는 경향을 가진다(그림 3A). 일라이트 함량이 높은 지역은 입자 크기가 작은 세립질 퇴적물이 분포하는 지역과 거의 정확히 일치한다(그림 1B). 녹니석과 카올리나이트의 분포 양상은 대체로 일라이트와 비슷하지만, 연구 지역의 서쪽이 중앙 동쪽에 비하여 높은 경향을 나타낸다(그림 3B, 3C). 조암광물들과 점토광물들의 분포양상이 대체로 동에서 서로 감에 따라 높고 낮은 지역이 반복되는 것은 이들 광물들이 퇴적물 입자의 크기에 따라 함량이 달라지기 때문인 것으로 판단된다. 퇴적물 입자의 분포 양상을 보면 동에서 서로 감에 따라 조립대, 세립대, 조립대, 세립대 순으로 순차

적을 분포하고 있는 것을 알 수 있으며(그림 1B), 이에 따라 광물들의 분포 역시 높고 낮음이 반복되고 있다. 즉 석영과 알카리장석은 조립질 퇴적물, 각섬석과 점토광물들은 세립질 퇴적물에 농집되는 경향을 나타낸다.

방해석과 아라고나이트 등 탄산염광물의 함량은 조사 지역의 동쪽에서 높고, 서쪽에서 낮은 경향을 나타낸다(그림 2E, 2F). 탄산염광물은 황해 퇴적물에서만 높고, 양자강이나 한반도 하천 퇴적물에서는 매우 낮기 때문에, 황해 기원의 퇴적물에 대한 유용한 지시자 역할을 할 수 있을 것으로 여겨졌다(Choi, 1981; Qin and Li, 1983; Milliman *et al.*, 1985, 1987; Liu *et al.*, 1987; Ren and Shi, 1986; Yang, 1988; Alexander *et al.*, 1991a). 그러나 황해 남동부에 나타나는 높은 탄산염광물 함량은 조

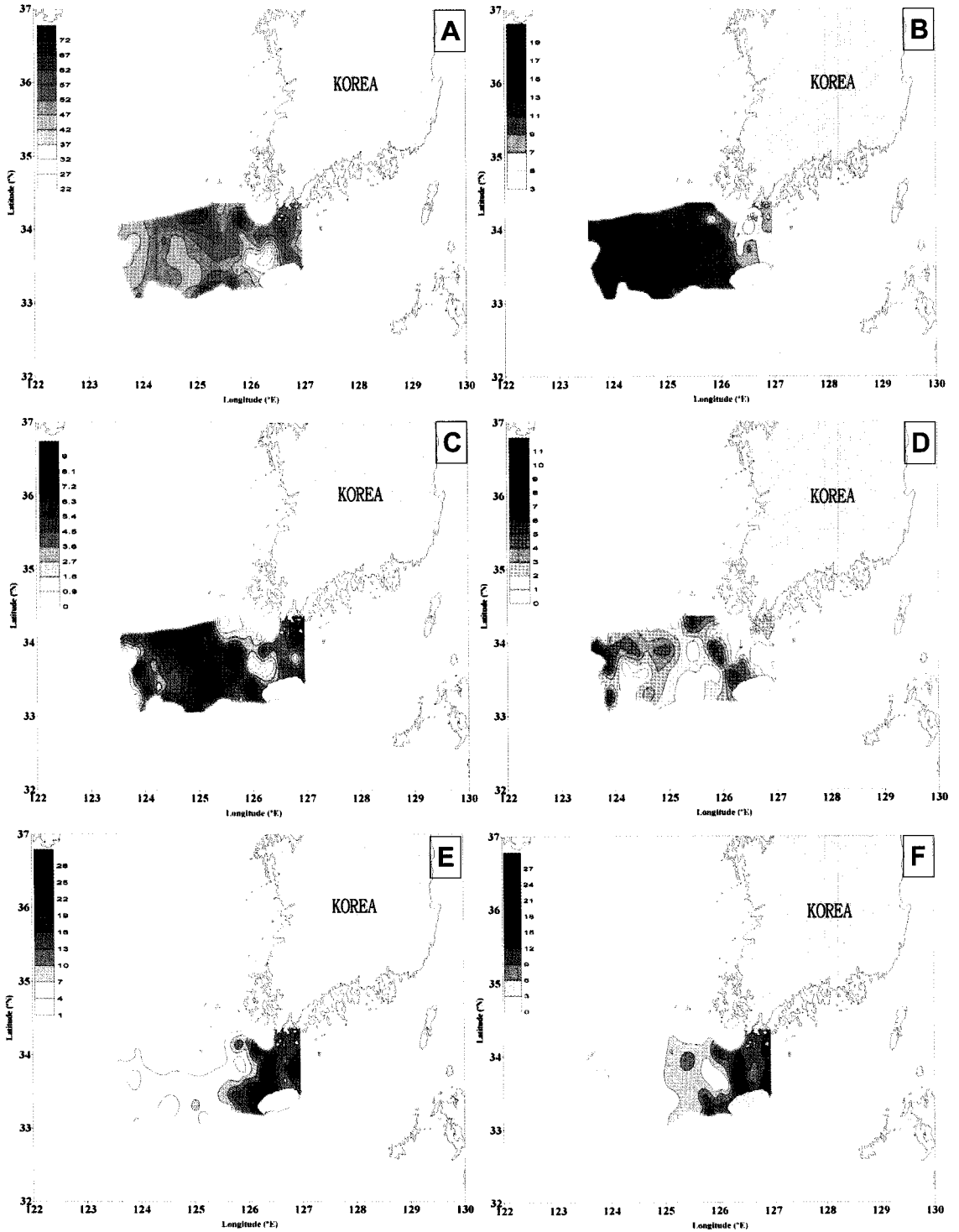


Fig. 2. Mineral distribution map in the southeastern Yellow Sea. (A) Quartz, (B) Plagioclase, (C) Alkali feldspar, (D) Amphibole, (E) Calcite, (F) Aragonite.

Table 2. Difference of average mineral composition and relative clay mineral composition between mud zone 1 and zone 2 in the study area

| Zone | Qtz | Pl | Ksp | Amp | Ill | Chl | Kao |
|------|-------|-------|------|------|-------|------|------|
| 1 | 45.75 | 15.39 | 3.95 | 3.25 | 13.52 | 6.60 | 1.25 |
| 2 | 40.39 | 12.48 | 2.63 | 3.32 | 13.96 | 5.92 | 1.03 |

| relative clay mineral composition | | | |
|-----------------------------------|--------|----------|-----------|
| | Illite | Chlorite | Kaolinite |
| 1 | 61.6 | 32.0 | 6.4 |
| 2 | 65.2 | 29.6 | 5.2 |

* Abbreviations are same as in the Table 1.

립질 해양 생물 껍질에 기인한 것이므로 퇴적물 기원을 밝히는데 이용하기는 어려운 것으로 밝혀졌다(Yang *et al.*, 2003). 본 연구 지역의 동쪽에 존재하는 높은 탄산염광물 함량 역시 다량의 해양 생물 껍질이 포함된 것으로 여겨진다. 비슷한 지역에서 연구한 결과, *Glocigerina falconensis* Blow, *Globorotaloides* sp. A. 및 *Globorotalia scitula*와 같은 부유성 유공충들과 *Elphidium advenum*, *Rosalina viladeboana* d'Orbigy, *Rotalinoides annectens* 등 저서성 유공충들이 다수 존재하고 있음을 알 수 있다(문동혁 등, 2009). 이번 연구에서도 탄산염광물 함량 중 생물 기원과 무기물 기원을 구별할 수가 없기 때문에 탄산염광물은 근원지 연구

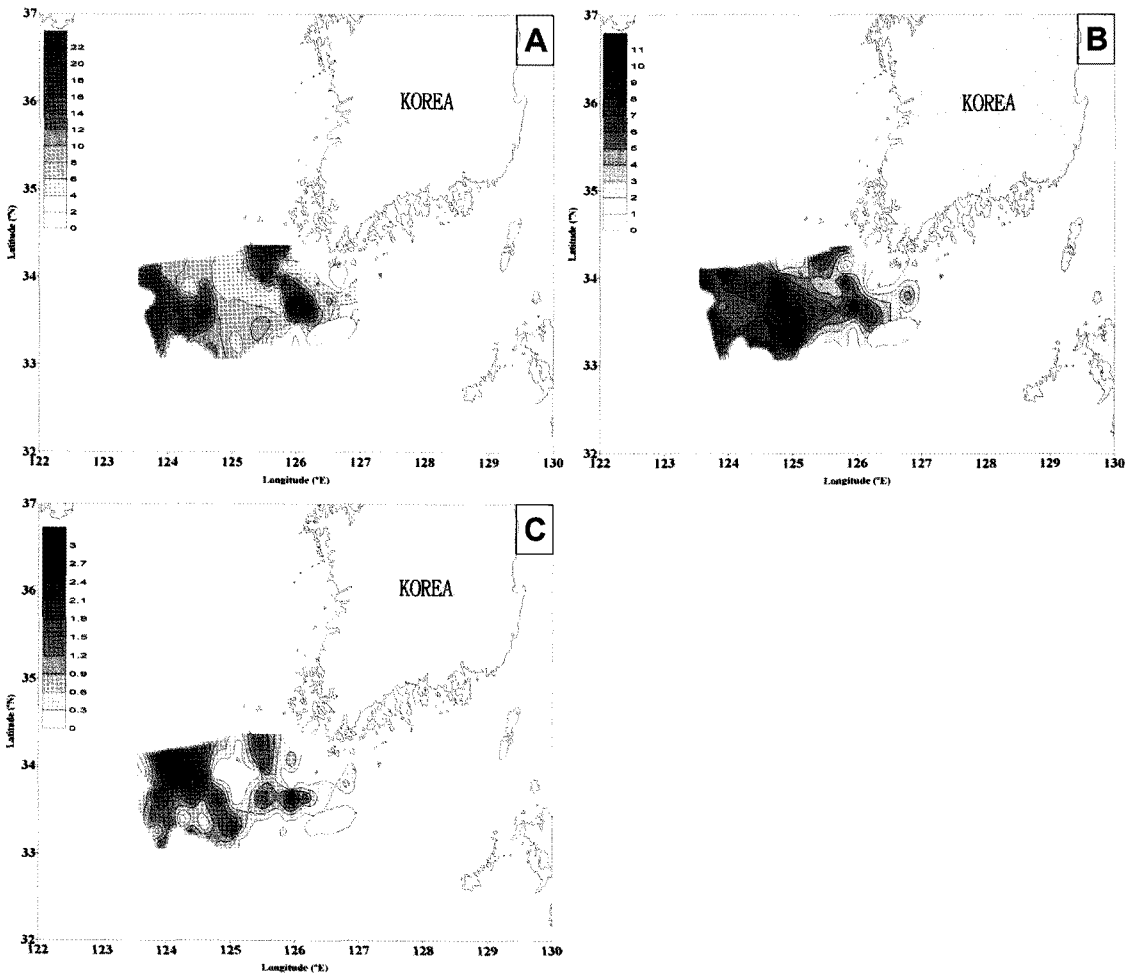


Fig. 3. Clay mineral distribution map in the southeastern Yellow Sea. (A) Illite, (B) Chlorite, (C) Kaolin mineral.

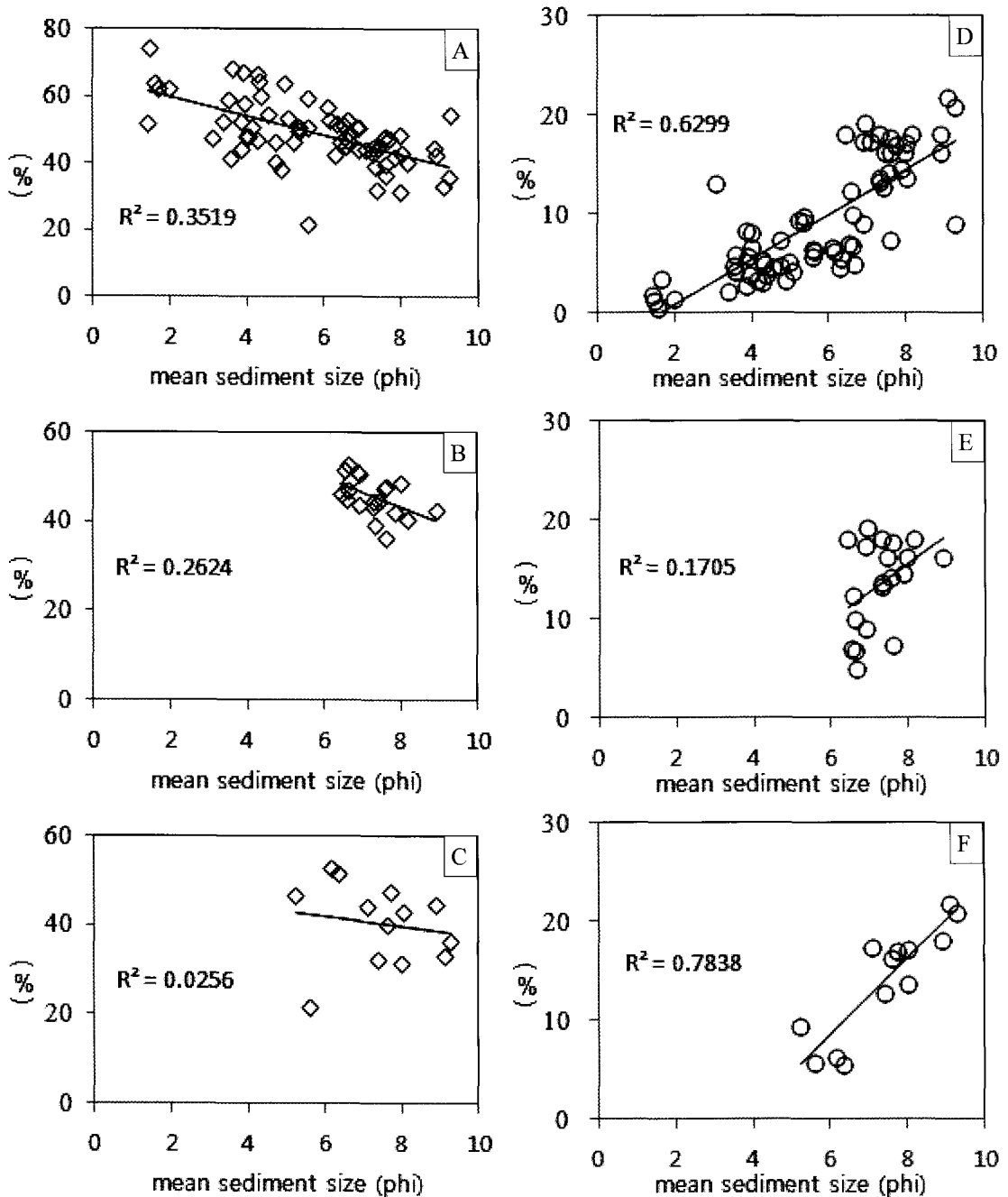


Fig. 4. Correlation diagram between grain size and mineral content. (A) quartz in all samples, (B) quartz in zone 1, (C) quartz in zone 1, (D) illite in all samples, (E) illite in zone 2, (F) illite in zone 2.

에 이용할 수 없다고 판단하였다.

황해에서 많은 연구자들이 관심을 가지고 연구하는 과제 중의 하나가 황해와 인접 해역에 분포하

는 니질대의 근원지이다. 조사 지역의 퇴적물 입도 분포를 보면, 세립질 퇴적물이 동쪽과 서쪽에 하나씩 분포하는 것을 알 수 있다(그림 1B). 서쪽에 존

제하는 세립질 퇴적물은 황해 중앙 니질대의 남단에 해당되며, 동쪽에 분포하는 세립질 퇴적물은 황해 남동 니질대의 일부임을 알 수 있다(그림 1A). 서쪽 니질대를 zone 1, 동쪽 니질대를 zone 2로 구분하여 광물 함량을 비교하여 보았다(표 2). Zone 1에는 20개, zone 2에는 13개 시료가 포함된다. 일반적으로 퇴적물의 근원지 추적에는 일라이트, 녹니석, 카올리나이트, 스�멕타이트 등 4개 점토광물의 상대적인 함량비가 이용된다. 이번 연구에서 스�멕타이트의 함량이 너무 적어 분석되지 못하였지만, 나머지 3개 점토광물의 상대적인 비를 계산하였다(표 2).

석영, 사장석, 알카리장석 함량은 zone 1에서 높고, 점토광물 총량은 두 지역에서 비슷하지만, 상대적인 함량은 일라이트가 zone 2, 녹니석과 카올리나이트가 zone 1에서 높다. 이와 같이 두 니질대의 전체적인 광물 조성은 점토광물들의 상대적인 조성은 상당히 차이가 남을 알 수 있다. 이와 같은 차이는 여러 원인에 의하여 일어날 수 있지만 세립질 퇴적물의 근원지가 다른 것도 하나일 가능성이 매우 크다(Yang *et al.*, 2003).

퇴적물 내에 가장 많이 포함된 석영과 가장 많은 점토광물인 일라이트의 입도에 따른 광물 함량의 차이를 그림 4에 나타내었다. 전체 시료에서 석영은 입도 증가에 따라 그 양이 같이 증가하고, 일라이트는 감소하는 경향을 비교적 뚜렷하게 나타낸다. zone 1의 경우 석영은 입도 크기에 따른 효과가 비교적 명확하게 나타나지만, 일라이트는 그 상관관계를 알기가 쉽지 않다. 그러나 zone 2의 경우 zone 1과 반대되는 상관관계를 나타낸다. 즉, 석영은 입도와 상관관계가 명확하지 않으며, 일라이트는 매우 확실한 상관관계를 나타낸다. 그림 4에서 보는 바와 같이 니질대 zone 1과 zone 2는 입도에 따른 광물 함량의 효과가 매우 상이함을 알 수 있다.

황해 남동부 한반도 서해안을 따라 남북 방향으로 길게 대상으로 분포하는 흑산니질대는 황해와 그 주변 해역에 분포하는 다른 세립질보다 높은 일라이트 함량을 가진다. 그 이유는 한반도에 광범위하게 분포하는 화성암과 변성암류에서 기인한 운모질 물질 때문에 중국 쪽에서보다 한반도 쪽에서 높은 일라이트 함량을 보이기 때문에, 이 세립질 퇴적물은 주로 한반도 서해안의 금강과 영산강으로부터 운반된다(Aoki *et al.*, 1974; Khim, 1988; Park and Khim, 1992). 황해 해류 시스템을 고려

할 경우 양쯔강 퇴적물이 흑산니질대로 직접 이동될 수 없고(Koshikawa *et al.*, 2007; Lim *et al.*, 2007), 흑산니질대에 해당하는 zone 2는 zone 1에 비하여 상대적으로 높은 일라이트 함량을 가지므로, 흑산니질대 세립질 퇴적물은 비교적 가까운 곳에 위치한 역시 금강과 영산강으로부터 운반되었을 가능성이 큰 것으로 판단된다.

결 론

한국해양연구원의 2010년 황해 남동부 탐사에서 채취한 표층 퇴적물 시료 67개에 대하여 X선회절 분석법에 의하여 광물조성을 연구한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 황해 남동부 표층 퇴적물 시료는 주로 석영, 사장석, 알카리장석과 같은 조암광물, 일라이트, 녹니석, 카올리나이트와 같은 점토광물 및 방해석과 아라고나이트 등 탄산염광물로 구성되어 있다.

2) 주구성광물 중 석영은 평균 49.1%, 사장석은 평균 13.0%, 알카리장석은 평균 9.3%를 차지하고 있다. 점토광물 중 일라이트는 평균 9.4%, 녹니석은 평균 4.6%, 카올리나이트는 평균 0.8%, 방해석은 평균 7.6%, 아라고나이트는 4.5% 포함되어 있다.

3) 석영과 알카리장석은 조립질 퇴적물, 각섬석과 점토광물들은 세립질 퇴적물에 농집되는 경향을 나타낸다.

4) 황해 중앙 니질대의 남단에 해당되는 zone 1은 황해 남동 니질대의 일부인 zone 2에 비하여 석영, 사장석, 알카리장석, 녹니석 및 카올리나이트 함량은 높고, 일라이트 함량은 낮다. Zone 1의 경우 석영, zone 2의 경우 일라이트가 입도 크기에 따른 효과가 비교적 명확하게 나타난다. 이와 같은 차이는 두 세립질 퇴적물의 근원지가 다를 가능성을 강하게 시사한다. 흑산니질대는 주로 한반도 서해안의 금강과 영산강으로부터 운반되었을 것으로 여겨진다.

사 사

이번 연구는 한국해양연구원의 동북아해 퇴적물 기원 연구 및 모니터링의 세부과제(과제명: 동북아해 퇴적물 내 일라이트의 특성연구)로 수행되었다. 연구비를 지원하여 준 한국해양연구원에 감사드린다.

참고문헌

- 문동혁, 이희일, 신경훈, 도진영, 조현구 (2009) 정량X선 회절분석법을 이용한 황해 남동부, 한국남해 및 제주도 남단 표층퇴적물의 광물분포 연구. 한국광물학회지, 22, 49-61.
- 조현구 (2007) 황해퇴적물 이동현상 및 퇴적환경연구에 관한 연구과제(세부과제 “황해퇴적물 시료의 광물 정량분석을 통한 근원지 연구”) 보고, 한국해양연구원.
- 최진용, 임동일, 박찬홍, 김소영, 강소라, 정희수 (2010) 황해 주변 강 하구 퇴적물의 점토광물 함량 특성과 대륙붕 니질대 퇴적물의 기원. 지질학회지, 46, 497-509.
- Alexander, C.R., DeMaster, D.J., and Nittrouer, C.A. (1991) Sediment accumulation in a modern epicontinental shelf setting: the Yellow Sea. *Mar. Geol.*, 98, 51-72.
- Aoki, S., Oinuma, K., and Sudo, T. (1974) the distribution of clay minerals in the recent sediments of the Japan Sea. *Deep-Sea Res.*, 21, 299-310.
- Biscaye, P.E. (1965) Mineralogy and sedimentation of clay minerals in recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 76, 803-832.
- Cho, Y.G., Lee, C.B., and Choi, M.S. (1999) Geochemistry of surface sediments off the southern and western coasts of Korea. *Mar. Geol.*, 159, 111-129.
- Choi, J.H. (1981) Recent clay minerals in the Kunsan Estuary and the adjacent continental shelf. MS thesis, Seoul National University, Seoul, Korea.
- Chough, S.K. and Kim, D.C. (1981) Dispersal of fine-grained sediments in the southeastern Yellow Sea: a steady-state model. *J. Sedi. Petrol.*, 51, 721-728.
- Chough, S.K., Kim, J.W., Lee, S.H., Shinn, Y.J., Jin, J.H., Suh, M.C., and Lee, J.S. (2002) High-resolution acoustic characteristics of epicontinental epicontinental sea deposits, central-eastern Yellow Sea. *Mar. Geol.*, 188, 317-331.
- Eberl, D.D. (2003) User guide to RockJock- A program for determining quantitative mineralogy from X-ray diffraction data. U.S.Geol.Surv. Open-File Report, OF 03-78, 40p.
- Eberl, D.D. (2004) Quantitative mineralogy of the Yukon River system: Changes with reach and season, and determining sediment provenance. *Amer. Miner.*, 89, 1784-1794.
- Folk, R.L. (1970) *Petrology of Sedimentary Rocks*. Univ. of Texas Press, 170p.
- Jin, J.H. and Chough, S.K. (1998) Partitioning of transgressive deposits in the southeastern Yellow Sea: a sequence stratigraphic interpretation. *Mar. Geol.*, 149, 79-92.
- Khim, B.K. (1988) Sedimentological study of the muddy deposits in the Yellow Sea. MS thesis, Seoul National University, Seoul, Korea.
- Koshikawa, M.K., Takamatsu, T., Takada, J., Zhu, M., Xu, B., Chen, Z., Murakami, S., Xu, K., and Watanabe, M. (2007) Distributions of dissolved and particulate elements in the Yangtze estuary in 1997-2002: Background data before the closure of the Three Gorges Dam. *Coastal and Shelf Science*, 71, 26-36.
- Lee, C.B., Jun, H.S., and Jeong, K.S. (1992) Distribution of some metallic elements in surface sediments of the southeastern Yellow Sea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 27, 55-65.
- Lee, H.J. and Chough, S.K. (1989) Sediment distribution, dispersal and budget in the Yellow Sea. *Mar. Geol.*, 87, 195-205.
- Lee, H.J. and Chu, Y.S. (2001) Origin of inner-shelf mud deposit in the southeastern Yellow Sea: Huk-san Mud Belt. *Journal of Sedimentary Research*, 71, 144-154.
- Liu, M.H., Wu, S.Y., and Wang, Y.J. (1987) The late Quaternary sedimentation in the Yellow Sea. Ocean Press, Beijing (in Chinese).
- Lim, D.I., Choi, J.Y., Jang, H.S., Rho, K.C., and Ahn, K.S. (2007) Recent sediment accumulation and origin of shelf mud deposits in the Yellow Sea and East China Seas. *Progress in Oceanography*, 73, 145-159.
- Milliman, J.D. and Meade, R.H. (1983) World-wide delivery of river sediment to the oceans. *The Journal of Geology*, 91, 1-21.
- Milliman, J.D., Shen, H.T., Yang, Z.S., and Meade, R.H. (1985) Transport and deposition of river sediment in the Changjiang estuary and adjacent continental shelf. *Cont. Shelf Res.*, 4, 37-46.
- Milliman, J.D., Qin, Y.S., Ren, M.E., and Saito, Y. (1987) Man's influence on the erosion and transport of sediment by Asian rivers: the Yellow River (Huanghe) example. *J. Geol.*, 95, 751-762.
- Park, S.C., Lee, H.H., Han, H.S., Lee, G.H., Kim, D.C., and Yoo, D.G. (2000) Evolution of late Quaternary mud deposits and recent sediment budget in the southeastern Yellow Sea. *Mar. Geol.*, 170, 271-288.
- Park, Y.A. and Khim, B.K. (1992) Origin and dispersal of recent clay minerals in the Yellow Sea. *Mar. Geol.*, 104, 205-213.
- Qin, Y.S. and Li, F. (1983) Study of influence of sediment loads discharged from the Huanghe River on sedimentation in the Bohai sea and the Huanghe sea. *Sedimentation on the Continental Shelf: With*

- Special Reference to the East China Sea 2. China Ocean Press, Qingdao, 83-92.
- Ren, M.E. and Shi, Y.L. (1986) Sediment discharge of the Yellow River (China) and its effect on the sedimentation of the Bohai and the Yellow Sea. *Cont. Shelf Res.*, 6, 785-810.
- Rietveld, H.M. (1969) A profile refinement method for Nuclear and Magnetic structure. *Journal of Applied Crystallography*, 2, 65-71.
- Schubel, J.R., Shen, H.T., and Park, M.J. (1984) A comparison of some characteristic sedimentation processes of estuaries entering the Yellow Sea. In: Park, Y.A., Pilkey, O.H., Kim, S.W. (Eds.), *Marine Geology and Physical Processes of the Yellow Sea*, 286-308.
- Srodon, J. (2002) Quantitative mineralogy of sedimentary rocks which emphasis on clays and with applications to K-Ar dating. *Miner. Mag.*, 66, 677-687.
- Taylor, J.C. (1991) Computer program for standardless quantitative analysis of minerals using the full powder diffraction profile. *Powder Diffraction*, 6, 2-9.
- Vogt, C., Lauterjung, J., and Fischer, R.X. (2002) Investigation of the clay fraction of the clay minerals society reference clays. *Clay and Clay Minerals*, 50, 388-400.
- Wei, J.W., Shi, X.F., Xin, C.Y., and Chen, Z.H. (2000) Distribution patterns of clay minerals in the Yellow Sea and their significance. *Yellow Sea: epicontinent shelf in Asia. Proceedings of First Korea - China Symposium on Sedimentary Processes and Depositional Environments*, Ansan, Korea, April 6-9, 2000. Seoul, Korea, 179-186.
- Yang, Z.S. (1988) Clay mineral assemblages and chemical characters in Changjiang, Huanghe and Zhujiang sediments, and its relation with the climate environment in the source areas. *Oceanol. Limnol. Sin.*, 19, 336-346 (in Chinese).
- Yang, S.Y., Jung, H.S., Lim, D.I., and Li, C.X. (2003) A review on the provenance discrimination of sediments in the Yellow Sea. *Earth Science Reviews*, 63, 93-120.
- Yi, Hi-il, Chun, J.H., Shin I.C, and Shin, D.H. (2004) The Records of origin and transport offromthe past to the present in the Yellow Sea. *Journal of the Korean Society of Oceanography*, 39, 96-106.
- Zhao, Y.Y., Park, Y.A., Qin, Y.S., Choi, J.Y, Gao, S., Li, F.Y., Cheng, P., and Jiang, R.H. (2001) Material source for the Eastern Yellow Sea Mud: evidence of mineralogy and geochemistry from China-Korea joint investigation. *The Yellow Sea*, 7, 22-26.
-
- 접수일(2011년 8월 26일), 수정일(1차 : 2011년 9월 11일), 게재확정일(2011년 9월 22일)