

## 황해 남동 이질대 퇴적물의 점토광물분포 및 특성

### Clay Mineral Distribution and Characteristics in the Southeastern Yellow Sea Mud Deposits

조 현 구(Hyen Goo Cho)<sup>1,\*</sup> · 김 순 오(Soon-Oh Kim)<sup>1</sup> · 이 희 일(Hi-Il Yi)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>경상대학교 지구환경과학과 및 기초과학연구소

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

<sup>2</sup>한국해양연구원 해양환경특성연구사업단

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

요약 : 황해 남동 이질대 51정점(북부 25정점, 남부 25정점)에서 채취된 표층퇴적물과 황해로 유입되는 하천퇴적물 30정점에 대해서 반정량 X선회절분석법에 의하여 점토광물의 상대조성을 구하였으며 일라이트의 광물학적 특성에 대해서도 조사하였다. 점토광물 조성은 일라이트(61~75%), 녹니석(14~24%), 카올리나이트(9~14%), 스멕타이트(1~7%) 순으로 존재한다. 황해 남동 이질대의 북부 지역에서 카올리나이트 함량이 약간 높고, 스멕타이트 함량이 낮은 점을 제외하면, 북부와 남부 지역에서 점토광물 조성은 특별한 차이가 없다. 스멕타이트 함량은 일라이트 함량과 대체적으로 음의 상관관계를 가진다. 일라이트의 광물학적 특징들인 일라이트 결정도( $0.18 \sim 0.24 \Delta^2 \theta$ ) 역시 북부와 남부 사이에 차이가 없으며, 매우 좁은 범위 내에 속한다. 이번 연구 결과는 황해 남동 이질대의 북부와 남부 퇴적물은 점토광물조성과 일라이트 특성이 거의 유사함을 지시한다. 황해 남동 이질대 퇴적물은 중국의 황하퇴적물보다 한국의 하천퇴적물과 유사한 특성을 가지지만, 추후 양쯔강 퇴적물을 포함한 조사가 필요할 것으로 판단된다. 점토광물 조성으로부터 황해 남동 이질대 퇴적물은 한국 서해안으로 유입되는 하천으로부터 매우 많은 양이 유래한 것으로 판단된다. 황해 남동 이질대의 매우 많은 퇴적물 공급량과 높은 퇴적 속도는 퇴적물들의 침식과 재동에 의한 것으로 간주된다. 황해 남동 이질대 주변의 조류와 지역적인 해류가 이 지역의 침식과 퇴적 과정에 중요한 영향을 미친 것으로 판단된다.

주요어 : 점토광물조성, 반정량 X선회절분석, 표층 퇴적물, 황해 남동 이질대, 일라이트 결정도, 근원지

**ABSTRACT** : In this study, we determined the relative clay mineral composition of 51 surface sediments from SEYSM (Southeastern Yellow Sea Mud) (northern part 25, southern part 26) and 30 river sediments inflow to Yellow Sea using the semi-quantitative X-ray diffraction analyses. In addition to we analyzed illite characteristics of the same samples. The clay-mineral assemblage is composed of illite (61~75%), chlorite (14~24%), kaolinite (9~14%), and smectite (1~7%), in decreasing order. The average composition of each clay mineral is not different from northern part to southern part of SEYSM except a little higher kaolinite and lower smectite content in northern part. Smectite content generally has reverse relationship with illite content. Mineralogical characteristics of illite such as illite crystallinity

\* Corresponding author: +82-55-772-1474, E-mail: hgcho@gsnu.ac.kr

index also is not different between two areas and show very narrow range (0.18~0.24  $\Delta^2\theta$ ). Our results reveal that clay mineral composition and illite characteristics are nearly the same between northern and southern part of SEYSM. Characteristics of surface sediments in SEYSM is closer to Korean river sediments than Chinese Hanghe sediments, however it is necessary to investigate further study including Yangtze river sediments. This study conclude that most of surface sediments in SEYSM attribute to the supply of considerable amount of sediments from the nearby Korean rivers. The large sediment budget and high accumulation rate in the SEYSM can be explained by erosion and reworking of surface sediments in this area. Tidal and regional current system around SEYSM might contribute these erosional and depositional regimes.

**Key words** : clay mineral composition, semi-quantitative X-ray diffraction analysis, surface sediment, Southeastern Yellow Sea Mud, illite crystallinity, provenance

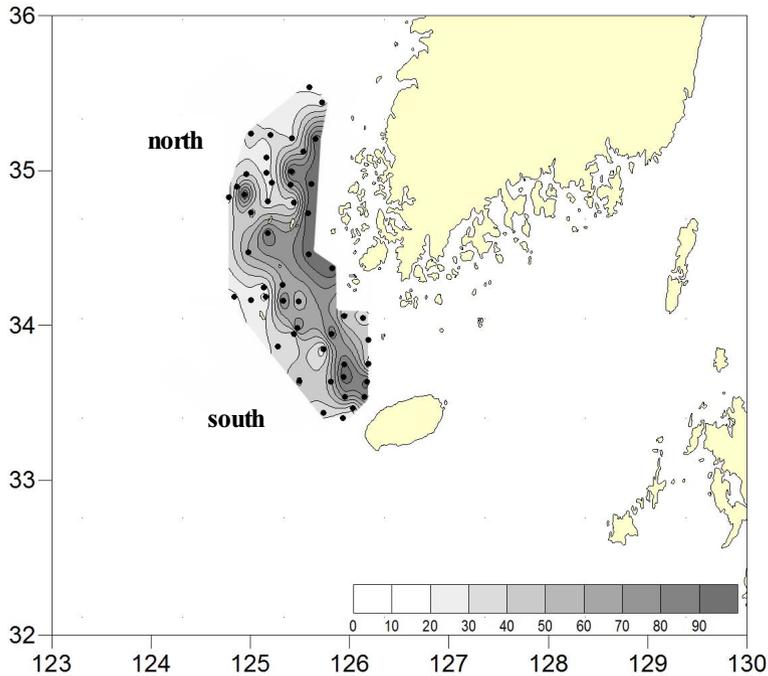
## 서 론

황해는 구조적으로 안정하고, 빙기가 끝난 후 해수면 아래로 잠긴 가장 큰 대륙붕 중의 하나에 속하는 전형적인 대륙 주변해이다. 황해는 평균 수심이 약 55 m 밖에 안 되는 얇고 넓은 해저면(sea-floor)을 가지고 있으며, 일반적으로 북쪽보다 남쪽 지역에서 수심이 깊고, 해저면의 기울기가 서쪽보다 동쪽에서 가파르다. 황해는 신생대 제4기 동안 현저한 고환경 변화를 겪었을 뿐만 아니라, 중국 대륙의 황하와 양쯔강 및 한반도 서남해안의 강들(압록강, 대동강, 한강, 금강, 영산강 등)을 통해 전 세계 하천 퇴적물 양의 약 10%에 상당하는 막대한 양의 육상기원 퇴적물이 유입되어 집적되고 있기 때문에 많은 연구자들의 관심을 끌고 있는 해역이다(Milliman and Meade, 1983; Schubel *et al.*, 1984). 황해의 지난 100년간의 연간 퇴적율(sediment accumulation rate)은 평균 1~5 mm에 달한다(Lim *et al.*, 2007a). 또한 황해는 높은 생물학적 생산력 때문에 매우 좋은 어장이 형성되어 있고(Wu *et al.*, 2001), 최근에는 중국의 산업화에 따른 많은 오염 물질이 해양생태계에 급격하게 영향을 주고 있기 때문에(Ma *et al.*, 2001) 더욱 많은 관심을 가지게 한다.

주변 하천으로 유입된 막대한 양의 퇴적물 중 세립퇴적물은 대부분 중국과 한국의 연안, 황해 중앙부, 그리고 제주도 남서쪽의 북동중국해 대륙붕에 집중적으로 퇴적되어 몇 개의 특징적인 이질대(muddy patch)를 형성하고 있는데(그림 1), 황해 중앙 이질대(Central Yellow Sea Mud, CYSM), 한국 서남해의 황해 남동 이질대(Southeastern Yellow Sea Mud patch, SEYSM), 그리고 제주도 남서쪽

의 제주 이질대(Southwestern Cheju Island Mud patch, SWCIM)가 대표적이다(Yang *et al.*, 2003; Moon *et al.*, 2009; Choi *et al.*, 2010). 일반적으로 대륙붕 이질 퇴적체는 강이 인접한 연안 해역에서부터 연장되어 발달하지만, 황해와 동중국해 대륙붕의 니질 퇴적대들은 연안에서 분리되어 수심이 깊은 해역에 독립적으로 발달하고 있음이 특징이다. 중국의 황하와 양쯔 강으로부터 막대한 양의 퇴적물이 유출되기 때문에 황해에 형성된 이들 이질대의 거의 전부, 심지어 한반도 서해안에 매우 인접한 이질대까지도 중국의 황하와 양쯔 강으로부터 대부분 유래하였다고 여겨지지만(Ren and Shi, 1986; Milliman *et al.*, 1985; Qin *et al.*, 1989; Alexander *et al.*, 1991; Park *et al.*, 2000), 중국의 하천 퇴적물이 한반도 서해안까지 공급되었다는 직접적이거나 논리적인 증거는 없다. 이에 반하여 일부 한국 과학자들은 황해 동부 해역에 존재하는 퇴적물들은 대부분 한국의 하천으로부터 공급되었다고 주장한다(Chough and Kim, 1981; Park and Khim, 1992; Lee and Chu, 2001).

황해 남동 이질대(SEYSM) 또는 흑산이질대(Hucksan Mudbelt Deposit; HSMD)는 20~50 km의 폭과 200 km 이상된 길이를 가지고 한국 남서해안을 따라 발달하고 있다. 황해 남동 이질대 퇴적물의 기원에 대해서는 크게 두 가지 견해가 공존하고 있다. 즉 한국의 주변 하천으로부터 기원했다는 이론과 한국의 하천 이외에 중국의 황하와 양쯔강 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, Park and Khim (1992), 문동혁 등(2009), 조현구



**Fig. 1.** Map showing grab sample locations and mud percentage around the Southeastern Yellow Sea Mud (SEYSM).

등(2011)은 광물학적 연구를 통하여 황해 남동 이질대 퇴적물의 한국의 금강과 영산강으로부터 유래하였다고 주장하였다. 한편 Schubel *et al.* (1984), Ren and Shi (1986), Alexander *et al.* (1991), Park *et al.* (2000)은 퇴적학적 연구, Cho *et al.* (1999), Lim *et al.* (2007b)은 지구화학적 연구, Zhao *et al.* (2001)은 지구화학적-광물학적 연구를 통하여 이 퇴적물의 기원이 한국과 중국 강의 혼합물이라고 제기하였다. Wei *et al.*, (2000)은 점토광물학적 연구를 통하여 황해 남동 이질대의 북부 지역은 금강과 영산강 기원, 남부는 한국과 중국 강 등의 여러 기원이 혼합된 ‘multi-origin’ 퇴적물이라고 주장하기도 하였다.

황해 남동 이질대 퇴적물의 기원을 밝히기 위하여 여러 측면에서의 연구가 진행되었지만, 아직도 두 결론 사이의 견해 차이는 여전하다. 그 이유는 연구자마다 다른 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;

Moon *et al.*, 2009; Cho *et al.*, 2011).

암석의 변질(풍화 등) 산물인 점토광물은 입자의 크기가 매우 작은 이질 퇴적물에서 가장 풍부하게 발견되는 광물 성분 중의 하나이며, 점토광물의 화학적 특성은 바다로 운반되는 동안 크게 변화하지 않고 기원지 암석의 특성을 그대로 유지하고 있으므로, 황해 대륙붕에서의 점토광물에 관한 연구는 이질대 퇴적물의 기원과 이동 경로뿐만 아니라 퇴적층의 형성과정 등의 중요한 실마리를 제공할 것으로 기대된다. 이 때문에 많은 한국과 중국의 학자들이 중국과 한반도 하천 퇴적물 및 황해 이질대 퇴적물에 대한 점토광물 연구를 통하여 황해 퇴적물의 기원지를 밝히려는 연구를 수행하였다(Chough and Kim, 1981; Liu *et al.*, 1987; Khim, 1988; Park and Khim, 1992; Lee and Chu, 2001).

지금까지 여러 연구자들에 의하여 조사된 바에 의하면 황해 퇴적물의 점토광물은 쇄설성 기원이며, 일라이트의 함량이 가장 많으며(일반적으로 60% 이상), 녹니석, 카올리나이트, 스�멕타이트가 포함되어 있다. 황해 퇴적물 내에 가장 많이 존재하는 점토광물인 일라이트의 특성을 규명하는 것도

**Table 1.** Relative Clay Mineral Composition and Illite Crystallinity of Southeastern Yellow Sea Mud Surface Sediments

#	Ill	Chl	Kao	Sm	IC	#	Il	Ch	Kao	Sm	IC
south						north					
G-6	68.9	18.1	10.8	2.2	0.21	G-109	64.6	18.2	11.6	5.7	0.21
G-7	66.4	19.2	11.1	3.3	0.20	11YS-125	68.1	18.8	11.5	1.7	0.22
G-8	66.5	17.0	11.9	4.6	0.20	11YS-126	70.1	15.6	11.3	3.0	0.20
G-9	66.1	18.9	12.3	2.7	0.20	11YS-127	66.4	18.5	11.2	3.8	0.20
G-12	64.7	16.8	13.3	5.2	0.23	11YS-129	63.9	19.4	12.2	4.4	0.19
G-33	66.2	20.0	10.0	3.7	0.22	11YS-132	66.5	18.8	11.1	3.5	0.20
G-34	66.3	21.3	9.0	3.5	0.21	11YS-137	61.9	18.7	13.6	5.8	0.20
G-35	74.8	14.5	9.2	1.4	0.21	11YS-142	63.5	19.2	14.2	3.1	0.22
G-37	67.3	17.0	11.3	4.4	0.22	11YS-145	64.6	18.8	12.5	4.1	0.21
G-39	64.4	20.2	12.0	3.4	0.20	11YS-147	64.0	20.8	12.6	2.6	0.21
G-54	65.5	16.7	11.5	6.3	0.21	11YS-148	68.2	17.3	11.1	3.4	0.20
G-87	64.0	17.4	11.4	7.2	0.21	11YS-150	66.4	18.2	11.3	4.1	0.20
G-88	66.7	19.2	10.3	3.8	0.20	11YS-159	64.4	18.8	12.8	4.0	0.19
G-95	67.8	20.1	9.7	2.4	0.21	11YS-161	64.4	18.0	13.4	4.2	0.20
G-97	66.1	18.3	13.3	2.3	0.23	11YS-162	62.4	19.9	13.2	4.5	0.21
G-106	63.1	19.7	11.8	5.3	0.21	11YS-163	62.6	18.6	13.7	5.0	0.22
G-113	65.7	20.6	9.4	4.2	0.20	11YS-185	67.5	14.3	11.7	6.4	0.24
G-114	66.6	20.8	9.9	2.6	0.21	11YS-190	66.6	18.3	11.9	3.2	0.22
G-115	66.5	20.4	10.4	2.7	0.19	11YS-193	64.4	20.0	12.9	2.7	0.21
11YS-105	64.1	19.9	11.7	4.4	0.19	11YS-195	65.5	18.4	12.3	3.8	0.22
11YS-111	66.0	18.2	11.2	4.6	0.20	11YS-197	63.2	19.3	12.5	5.0	0.22
11YS-123	61.1	19.6	13.1	6.3	0.21	11YS-199	64.1	19.2	11.9	4.7	0.20
11YS-169	67.1	16.3	11.2	5.4	0.20	11YS-202	60.7	23.7	11.7	3.9	0.20
11YS-170	63.2	17.0	13.3	6.5	0.21	01-D10	63.3	21.9	13.4	1.4	0.19
11YS-174	62.6	19.6	12.4	5.5	0.20	01-D11	66.5	18.4	13.7	1.3	0.20
01-F08	69.2	17.7	11.4	1.7	0.18						
avg	66.0	18.6	11.3	4.1	0.21	avg	65.0	18.8	12.4	3.8	0.21

\* Ill, illite; Chl, chlorite; Kao, kaolinite; Sm, smectite; IC, Illite Crystallinity

퇴적물의 기원지를 규명하는데 도움이 될 것이라는 판단 하에 일라이트의 특성을 연구하였다(Chamley, 1989; Ehrmann, 1998; Esquevin, 1969; Gingele *et al.*, 1998, 2001; Krumm and Buggisch, 1991; Liu *et al.*, 2007). 일라이트의 결정도를 나타내는 것 중 가장 많이 사용되는 것은 Kubler Index이다. Kubler Index는 (001) 회절선의 1/2 높이에서의 피

크폭을  $2\theta$  (CuK $\alpha$ ) 값으로 나타내며, “shape parameter” 또는 “acute index”라고도 한다(Kubler, 1966). 피크 폭이 좁아질수록 Kubler Index는 감소하는데, 그 이유는 이질 암석의 변성도가 증가할수록 일라이트 crystallite가 두꺼워지기 때문이다(Kubler, 1967; Abad, 2007).

이번 연구의 목적은 황해 남동 이질대 표층퇴적

물의 점토광물의 종류와 양을 반정량 X선회절분석법을 통하여 정확히 알아내는 것과 일라이트의 광물학적 특성을 결정 한 후, 이를 이용하여 퇴적물 내 점토광물과 일라이트의 특성 분포 양상을 파악하는 것이다. 또한 이를 바탕으로 하고, 황해 남동 이질대 남쪽 지역과 북쪽 지역 내에 분포하는 퇴적물의 특성이 차이가 나는지를 파악하고, 이와 더불어 퇴적물 근원지를 추정하는 것이다.

### 연구재료 및 방법

이번 연구에 사용된 시료는 한국해양연구원에서 운영하는 이어도호와 온누리호를 이용하여 2001년, 2010년, 2011년에 실시한 황해 주변 해역 탐사시 채취된 표층퇴적물 61개 시료이다(그림 1). 2001년 탐사에서 채취된 시료 중 3개, 2010년 탐사에서 20개, 2001년 탐사에서 28개 시료를 이용하였다. 시료 채취는 그랩 샘플러(grab sampler)를 이용하였으며 채취된 시료는 표층 5 cm 이내의 퇴적물이다. 해양 표층퇴적물의 기원지를 알아보기 위하여 황해로 유입되는 하천퇴적물 시료를 이용하였다. 황하, 한강, 금강, 영산강에서 각각 4개, 14개, 9개, 3개 등 모두 30개를 이용하였다.

유기물과 탄산염을 제거한 시료에 대하여 입도 분석을 실시하였다. 4φ체를 이용하여 습식체질(wet seiving)에 의해 조립질과 세립질 퇴적물로 분리한 후, 4φ 이하의 조립질 퇴적물은 0.5φ 간격으로 Rotab sieve shaker로 약 20분간 체질한 후 입도별 무게 백분율을 구하였다. 4φ 이상의 세립질 퇴적물은 전체를 대표할 수 있는 2 g을 취해 300 mL의 0.1% calgon 용액을 넣고 초음파분쇄기와 자기진동기로 시료를 균일하게 분산시킨 후, X선 자동 입도 분석기인 Sedigraph 5100으로 입도 분석을 실시하였다.

점토광물에 대한 반정량분석은 점토 크기로 분리된 시료를 정방위시편(preferred-oriented specimen)을 제작하여 X선 회절분석기를 이용하여 실시하였다. 10% 과산화수소수(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)를 이용하여 유기물을 제거한 시료를 ‘Stoke’s law’에 따라 2 μm 이하 입도를 가지는 부분을 분리한 후 원심분리기를 이용하여 농집하였다. 농집된 점토 부분 시료는 슬라이드 글라스 위에 얇게 입히는 ‘smear-on-glass slide’ 방법을 이용하여 정방위시편을 제작하였다. X선 회절분석은 경상대학교 지구환경과학과에서 보유하고 있는 Siemens/Brucker D5005 고분

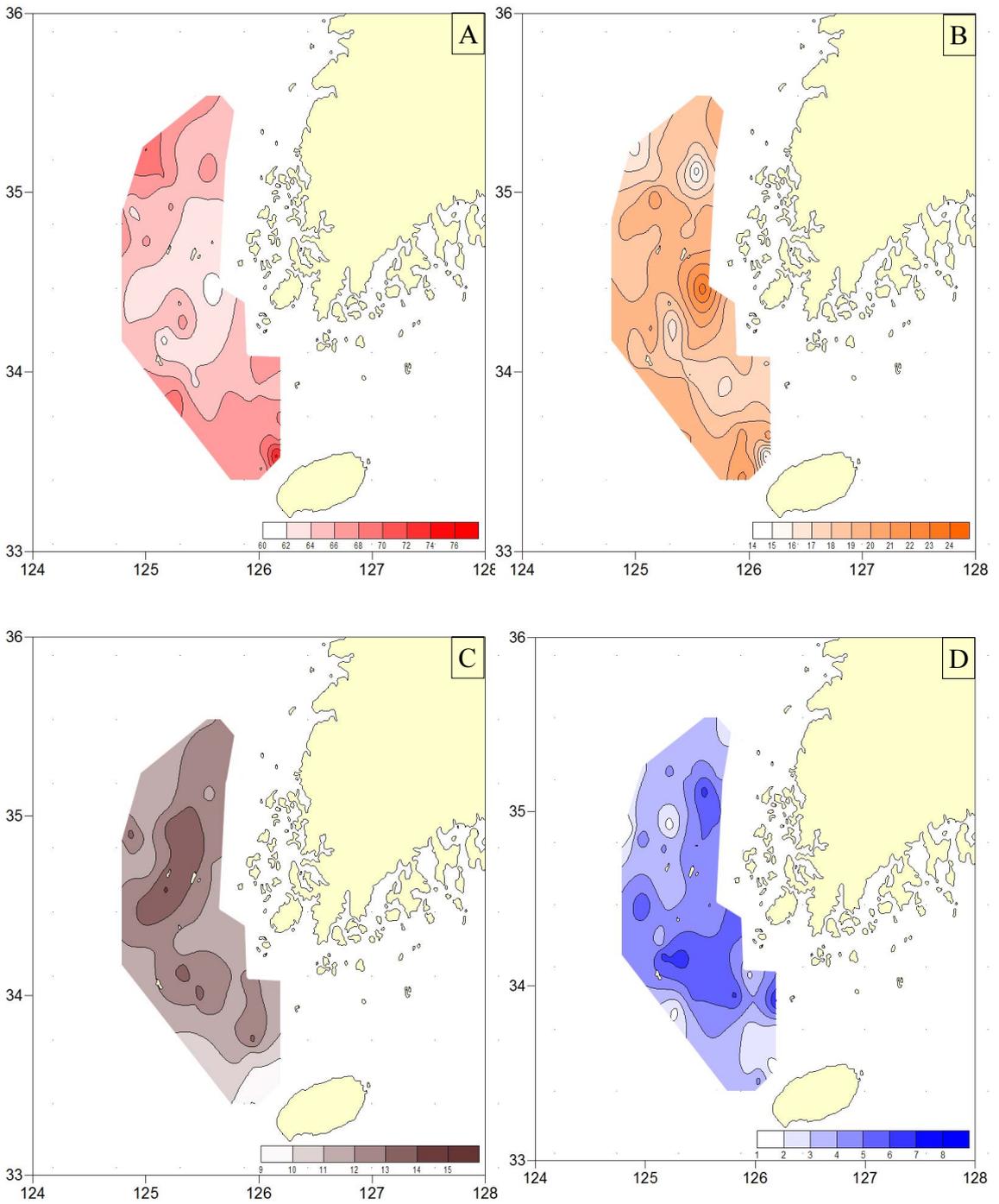
해능 X선 회절분석기를 이용하였으며, 흑연 단색화된 파장(CuKα = 1.5406 Å)을 사용하였다. 반정량분석을 위한 시료의 분석조건은 40 kv/45 mA, 3~30° 2-theta 구간에서 주사 간격 0.02°, 주사 시간 2초로 설정하여 스텝-스캔 방식으로 회절값을 기록하였으며, 슬릿은 1.0-0.6-1.0°를 이용하였다.

점토광물의 감정은 공기 중 건조 시료(air-dry)와 에틸레글리콜로 포화시킨 시료(ethylene glycolated)에 대하여 X선 회절분석을 실시하여 그 결과를 비교하여 결정하였다. 일라이트, 녹니석, 카올리나이트, 스�멕타이트 등 4가지 중요 점토광물의 상대적인 함량은 에틸레글리콜로 포화시킨 시료에서 각 광물의 특징적인 (001) 피크의 면적비를 이용하여 계산하였다. 각 광물의 (001) 피크 강도 차를 보정하기 위하여 계산된 면적에 가중치를 곱하였다(Biscaye, 1965; Park and Khim, 1992; Wei et al., 2000; Zhao et al., 2001). 녹니석과 카올리나이트의 상대적인 함량은 녹니석 (004) 피크와 카올리나이트 (002) 피크 면적비를 이용하여 계산하였다. 일라이트의 Kubler Index는 일라이트 (001) 피크의 최대반폭치(Full Width at Half Maximum, FWHM)을 이용하여 결정하였다. 각 피크 면적과 일라이트의 최대반폭치는 Eva 3.0 프로그램을 이용하여 계산하였다.

### 결과 및 토론

황해 남동 이질대 부근에서 채취된 51개 표층퇴적물 시료에 대하여 점토광물 반정량 X선 회절분석법에 의하여 일라이트, 녹니석, 카올리나이트, 스�멕타이트 등 4가지 중요 점토광물의 상대적인 함량을 결정하였다(표 1). 황해 남동 이질대를 남쪽 지역과 북쪽 지역으로 구분할 경우 북쪽 지역에 해당하는 시료가 25개, 남쪽 지역에 해당하는 시료가 26개가 된다.

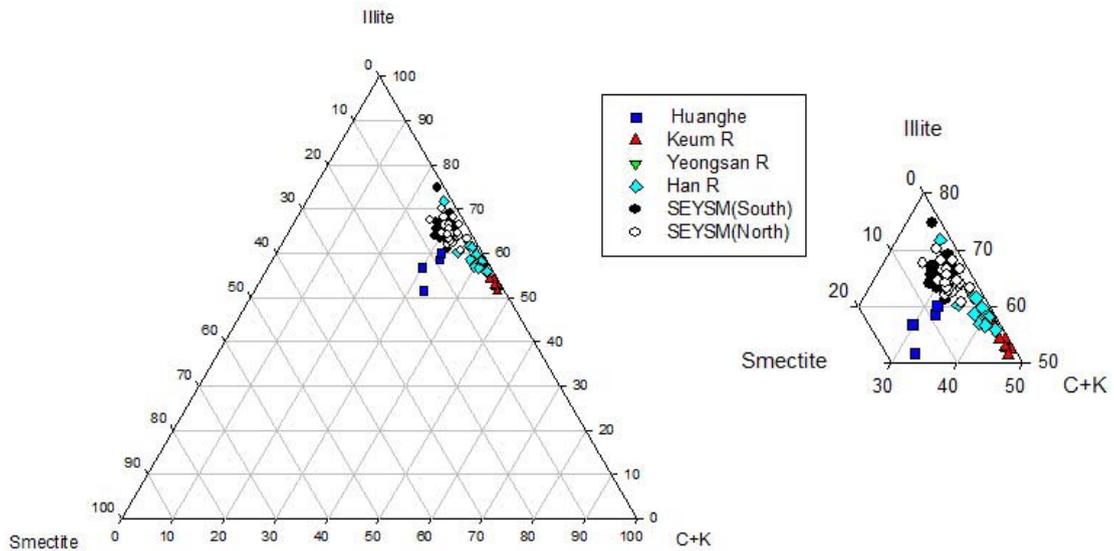
황해 남동 이질대 표층퇴적물의 점토 부분 내에 존재하는 점토광물은 항상 일라이트, 녹니석, 카올리나이트, 스�멕타이트 순으로 존재한다. 일라이트는 황해 남동 이질대 표층 퇴적물에 가장 많이 존재하는 점토광물로서 최소 60.7%에서 최대 74.8%까지 포함되어 있으며, 평균 65.5%를 차지하고 있다. 녹니석은 두 번째로 많은 점토광물로서, 최소 14.3%에서 최대 23.7%, 평균 18.7% 들어 있으며, 카올리나이트는 최소 9.0%에서 최대 14.2%, 평균 11.8%, 스�멕타이트는 최소 1.3%에서 최대 7.2%,



**Fig. 2.** Clay mineral distribution map in the Southeastern Yellow Sea Mud; A. Illite, B. Chlorite, C. Kaolinite, D. Smectite.

**Table 2.** Relative Clay Mineral Composition and Illite Crystallinity of River Sediments Around the Yellow Sea

River	Sample #	Illite	Chlorite	Kaolinite	Smectite	IC
Huanghe	4	56.7	17.7	14.1	11.5	0.19
Han R	14	58.8	21.5	16.6	2.1	0.21
Keum R	9	54.4	23.4	20.9	1.1	0.22
Yeongsan R	3	63.5	19.8	16.1	1.7	0.19



**Fig. 3.** The illite-smectite-(C + K) ternary diagram for river and SEYSM sediments. (C, chlorite; K, kaolinite).

평균 3.9%를 차지하고 있다.

반정량 X선 회절분석법에 의하여 구한 점토광물의 상대조성 자료를 이용하여 각 광물의 분포 양상을 그림 2에 표시하였다. 황해 표층 퇴적물 내에 가장 많이 존재하는 일라이트는 황해 남동 이질대의 북서단과 남단에서 비교적 높은 함량을 나타내며, 중앙부로 갈수록 감소하는 경향을 보인다(그림 2A). 녹니석은 두 번째 풍부한 광물인데, 황해 남동 이질대의 중앙부와 남단에서 함량이 높고, 북동쪽에서 함량이 낮다(그림 2B). 카올리나이트는 중앙부와 남단, 북동단에서 함량이 낮고 중앙부로 갈수록 높아지는 경향을 보이는데, 이러한 분포 양상은 대체로 녹니석의 분포 양상과 반대되는 경향을 가진다(그림 2C). 황해 남동 이질대에서 가장 양이 적은 �멕타이트는 중앙부와 북동단에서 비교적 높은 함량을 가지며, 남단과 북서단으로 갈수록 감

소하는 경향을 나타낸다(그림 2D). �멕타이트 함량은 일라이트 함량과 대체로 음의 상관관계를 가지는데, 이러한 사실은 광물 분포도에서도 확인이 된다. 즉, 황해 남동 이질대의 북서단과 남단에서 일라이트 함량이 높고, �멕타이트는 낮으며, 중앙부로 갈수록 일라이트 함량은 감소하지만, �멕타이트 함량은 증가하는 경향을 나타낸다.

일라이트 (001) 피크의 최대반폭치로 정의되는 Kubler Index는 Weaver Index (Weaver, 1960)에 비하여 단순하고 재현성이 좋기 때문에 일라이트 결정도를 측정할 때 가장 많이 이용된다. 피크 폭이 좁아질수록 Kubler Index는 감소하는데, 그 이유는 이질 암석의 변성도가 증가할수록 일라이트 crystallite가 두꺼워지기 때문이다. Kubler Index는 diagenesis-anchizone-epizone의 경계를 구분하기 위하여 도입되었다(Frey, 1987; Chamley, 1989;

Krumm and Buggisch, 1991; Ehrmann, 1998). Kubler Index를 사용하여 온도를 구분하는 기준은 대체로 속성작용과 anchizone (변성작용의 초기 또는 저도 변성작용)의 경계는  $0.42 \angle^2 \theta$ , anchizone/epizone 경계는  $0.25 \angle^2 \theta$ 로 설정한다 (Kubler, 1967; Abad, 2007). 황해 남동 이질대 해양퇴적물에서 측정된 일라이트의 Kubler Index는  $0.18 \sim 0.24 \angle^2 \theta$ 의 좁은 범위 내에서 위치에 따라 특별한 변화를 보여주지 않는다. 이 값을 온도 범위로 구분하면 모두 epizone에 해당된다. 즉 황해 남동 이질대에 존재하는 일라이트는 결정도에 있어 거의 모두 비슷한 특성을 가지고 있는 것으로 여겨진다.

이번에 연구된 시료는 황해 남동 이질대의 남쪽 지역 지역에서 26개, 북쪽 지역에서 25개 채취되었는데, 양쪽의 점토광물 함량은 거의 비슷하다. 일라이트 함량이 남쪽 지역은 66%, 북쪽 지역은 65%, 녹니석 함량은 남쪽 지역과 북쪽 지역에서 각각 18.6%와 18.8%로 거의 차이가 나지 않는다. 그러나 카올리나이트 함량은 남쪽 지역이 11.3%, 북쪽 지역이 12.4%로 북쪽 지역이 약간 높고, 스�멕타이트 함량은 남쪽 지역이 4.1%, 북쪽 지역이 3.8%로 남쪽 지역이 약간 높은 경향을 나타낸다. 일라이트의 Kubler Index 역시 양쪽에서 모두  $0.21 \angle^2 \theta$ 로 같다. 즉 점토광물 함량과 일라이트의 특성만을 가지고 고려할 때 황해 남동 이질대의 남쪽 지역과 북쪽 지역에 분포하는 해양퇴적물은 거의 차이가 없는 비슷한 특성을 가지고 있는 것으로 판단된다.

황해 남동 이질대 퇴적물의 기원지를 추정하기 위하여 주변 대륙에서 황해로 유입되는 하천퇴적물 30개 시료에 대하여 점토광물 반정량 X선 회절 분석법에 의하여 일라이트, 녹니석, 카올리나이트, 스�멕타이트 등 4가지 중요 점토광물의 상대적인 함량을 결정하였다(표 2). 하천퇴적물 내 점토광물 함량 역시 해양퇴적물 시료와 같이 일라이트, 녹니석, 카올리나이트, 스�멕타이트 순으로 존재하지만, 하천에 따라 함량 변화가 심하다. 황하퇴적물은 한국 하천퇴적물에 비하여 스�멕타이트 함량이 높은 특징을 가지며, 영산강 퇴적물은 다른 하천퇴적물에 비하여 일라이트 함량이 높다.

해양퇴적물과 하천퇴적물 내 점토광물 함량이 어떤 관계를 가지고 있는가를 알아보기 위하여 일라이트-스멕타이트-(녹니석+카올리나이트) 삼각다이어그램을 작성하였다(그림 3). 그림 3에서 보는

바와 같이 황해 남동 이질대 퇴적물의 점토광물 함량은 남쪽 지역과 북쪽 지역에서 거의 차이가 없으며, 중국의 황하퇴적물보다 한국의 하천퇴적물과 유사한 특성을 가지는 것을 알 수 있다. 이번 연구에서는 양쯔강 퇴적물 시료가 없어 직접적인 비교가 어려우므로 추후 양쯔강 퇴적물에 대한 조사가 필요할 것으로 판단된다. 그러나 황해 남동 이질대 퇴적물의 점토광물 함량 특성이 황해 남동 이질대 전 지역에서 거의 차이가 없다는 것은 확인할 수 있다.

황해와 북동중국해의 이질 퇴적물에 대한 전반적인 기원지 해석에 대해서는 연구자들마다 상이한 결과와 해석이 존재하는 것으로 사료된다. 이러한 원인은 크게 황해와 북동 중국해의 복잡한 해류 순환 시스템, 그리고 퇴적물의 주요 공급지로 판단되는 중국과 한국의 강 퇴적물에 대한 퇴적-지화학적 자료와 이해 부족 때문으로 사료된다(Lim *et al.*, 2007b). 황해 남동 이질대의 기원에 대해서 크게 두 가지 견해, 즉 한국 하천 기원과 한국과 중국 하천 혼합 기원으로 생각하는 것이 존재한다.

한국과 중국 하천 혼합 기원으로 생각하는 연구자들은 황해 남동 이질대의 매우 많은 퇴적물 공급량과 높은 퇴적 속도는 인접한 한국 하천들의 퇴적물 공급량이 그렇게 크지 않기 때문에 중국 하천으로부터 상당한 양이 공급되었다고 주장한다(Alexander *et al.*, 1991; Lim *et al.*, 2007a). 만일 이 주장이 옳다면 황해 남동 이질대의 북부 지역과 남부 지역 사이에 표층퇴적물의 특성이 달라져야 한다. 그러나 이번 연구에서는 점토광물 함량과 일라이트의 특성은 황해 남동 이질대 전체에서 거의 같은 양상을 보이므로 이런 주장과 반대된다고 판단된다. 즉 황해 남동 이질대 퇴적물은 거의 전부 한국 서해안으로 유입되는 하천으로부터 유래한 것으로 판단된다.

한국 하천으로부터 유출되는 퇴적물 공급량이 적은 데에도 불구하고 황해 남동 이질대에 많은 표층퇴적물이 축적된 이유는 황해 남동 이질대의 남부는 북부의 기반부가 침식되어 형성되었고, 남부 지역의 퇴적물들이 재동되어 북부로 상당한 양을 공급되었기 때문인 것으로 여겨진다(Park *et al.*, 2000; Chough *et al.*, 2004; Moon *et al.*, 2009). 이와 같은 견해는 황해와 북동중국해의 이질 퇴적물에 대한 기원지 해석에 유용한 지시자로 판단한 지화학적 원소를 이용하여 황해 남동 이질대의 기원지를 추정한 연구에서, 전체 퇴적물 중 실트 퇴

적물은 한국 기원이 우세한 것으로 추정된 연구 (Lim *et al.*, 2007b)의 결과와도 부합되는 것으로 여겨진다.

이번 연구에서 양쯔강 퇴적물 시료에 대한 연구가 빠져 있지만, 황해 해류 시스템을 고려할 경우 양쯔강 퇴적물이 황해 남동 이질대로 직접 이동될 수 없다는(Koshikawa *et al.*, 2007; Lim *et al.*, 2007a) 연구도 있기 때문에 결론에 큰 영향을 미치지 않는 것이라 하겠지만 추후 양쯔강 퇴적물을 조사하여 종합적인 결과를 도출할 필요는 있다고 판단된다.

## 결 론

황해 남동 이질대 표층 퇴적물 시료 51개와 황해로 유입되는 하천퇴적물 시료 30개에 대하여 반정량 X선회절분석법에 의하여 4가지 중요한 점토광물의 상대조성과 일라이트의 결정도를 연구한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 황해 남동 이질대 내 점토광물 함량은 일라이트, 녹니석, 카올리나이트, 스펙타이트 순으로 존재한다. 일라이트 함량과 스펙타이트 함량은 부의 상관관계를 가진다.

2) 황해 남동 이질대를 남쪽 지역과 북쪽 지역으로 구분할 경우, 카올리나이트 함량은 북쪽 지역이 약간 높고, 스펙타이트 함량은 남쪽 지역이 약간 높은 것을 제외하고는 거의 비슷하다. 일라이트의 Kubler Index 역시 양쪽에서 모두  $0.21 \angle^2 \theta$ 로 같다. 황해 남동 이질대의 남쪽 지역과 북쪽 지역에 분포하는 해양퇴적물은 거의 차이가 없는 비슷한 특성을 가지고 있다.

3) 황해 남동 이질대 퇴적물은 중국의 황하퇴적물보다 한국의 하천퇴적물과 유사한 특성을 가진다. 추후 양쯔강 퇴적물에 대한 조사가 필요할 것으로 판단된다.

4) 점토광물 조성으로부터 황해 남동 이질대 퇴적물은 거의 전부 한국 서해안으로 유입되는 하천으로부터 유래한 것으로 판단된다. 황해 남동 이질대에 한국 하천으로 유출되는 양보다 많은 표층퇴적물이 축적된 이유는 퇴적물들의 침식과 재동에 의한 것으로 여겨진다.

## 사 사

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업(과제번호 2011-0021964)

과 한국해양연구원의 ‘한국 관할해역 지질구조 및 해양지질조사’의 세부과제(과제명; 한국관할해역 광물특성연구)로 수행되었다. 연구비를 지원하여 준 한국연구재단과 한국해양연구원에 감사드린다. 부족한 원고를 꼼꼼하게 읽고 심사를 해주신 손병국 박사님과 익명의 심사위원에게도 감사를 드립니다.

## 참고문헌

- Abad, I. (2007) Physical meaning and applications of the illite Kübler index: measuring reaction progress in low-grade metamorphism. *Seminarios de la Sociedad Española de Mineralogía*, 3, 53-64.
- 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.
- 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.
- Chamley, H. (1989) *Clay Sedimentology*. Berlin: Springer, pp. 1-623.
- Cho, H.G., Kim, S.-O., Yi, H.-Y., and Shin, K.-H. (2011) Mineral Distribution in the Southeastern Yellow Sea Surface Sediments; KORDI Cruise Samples in 2010. *J. Miner. Soc. Korea*, 24(3), 205-216. (Korean with English abstract).
- 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.-Y., Lim, D.-I., Park, C.-H., and Kim, S.-Y. (2010) Characteristics of clay mineral compositions in river sediments around the Yellow Sea and its application to the provenance of the continental shelf mud deposit. *Jour. Geol. Soc. Korea*, 46(5), 497-509. (Korean with English abstract)
- 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.
- Chough, S.K., Lee, H.J., Chun, S.S., and Shinn Y.J. (2004) Depositional processes of late Quaternary sediments in the Yellow Sea: a review. *Geosciences Journal*, 8(2), 211-264.
- Ehrmann, W. (1998) Implications of late Eocene to early Miocene clay mineral assemblages in McMurdo

- Sound (Ross Sea, Antarctica) on paleoclimate and ice dynamics. *Palaeogeogr. Palaeocli. Palaeoecol.*, 139, 213-231.
- Esquevin, J. (1969) Influence de la composition chimique des illites sur cristallinité. *Bull. Centre Rech. RAUSNPA*, 3(1), 147-153.
- Frey, M. (1987) *Low Temperature Metamorphism*. Chapman & Hall, London, p. 351.
- Gingele, F.X., Müller, P.M., and Schneider, R.R. (1998) Orbital forcing of freshwater input in the Zaire Fan area—3—lay mineral evidence from the last 200 kyr. *Palaeogeogr. Palaeocli. Palaeoecol.*, 138, 17-26.
- Gingele, F.X., Deckker, P.D., and Hillenbrand, C.-D. (2001) Clay mineral distribution in surface sediments between Indonesia and NW Australia - source and transport by ocean currents. *Mar. Geol.*, 179, 135-146.
- 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. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 71, 26-36.
- Krumm, S. and Buggisch, W. (1991) Sample preparation effects on illite crystallinity measurements: grain size gradation and particle orientation. *J. Metam. Geol.*, 9, 671-677.
- Kubler, B., 1967, La cristallinité de l'illite et les zones tout fait supérieures du métamorphisme. In *Etages tectoniques*, Colloque de Neuchâtel 1966, Edition de la Baconnière, Neuchâtel, Switzerland. 105-121.
- 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: Huksan Mud Belt. *J. Sediment. Res.*, 71, 144-154.
- Lim, D.I., Choi, J.Y., Jang, H.S., Rho, K.C., and Ahn, K.S. (2007a) Recent sediment accumulation and origin of shelf mud deposits in the Yellow Sea and East China Seas. *Prog. Oceanogr.*, 73, 145-159.
- Lim, D.I., Shin, I.-H., and Jung, H.S. (2007b) Major Elemental Compositions of Korean and Chinese River Sediments: Potential Tracers for the Discrimination of Sediment Provenance in the Yellow Sea. *Jour. Korean Earth Science Society*, 28(3), 311-323. (Korean with English abstract)
- Liu, M.H., Wu, S.Y., and Wang, Y.J. (1987) The late Quaternary sedimentation in the Yellow Sea. Ocean Press, Beijing (in Chinese).
- Liu, Z., Colin, C., Huang, W., Chen, Z., Trentesaux, A., and Chen, J. (2007) Clay minerals in surface sediments of the Pearl River drainage basin and their contribution to the South China Sea. *Chin. Sci. Bull.*, 52(8), 1101-1111.
- Ma, M., Feng, Z., Guan, C., Ma, Y., Xu, H., and Li, H. (2001) DDT, PAH and PCB in sediments from the intertidal zone of the Bohai Sea and the Yellow Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 42, 132-136.
- Milliman, J.D. and Meade, R.H. (1983) World-wide delivery of river sediment to the oceans. *J. Geol.*, 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.
- Moon, D.H., Yi, H.-Y., Shin, K.-H. Do, J.Y., and Cho, H.G. (2009) Mineral distribution of southeastern Yellow Sea and South Sea of Korea using quantitative XRD analysis. *J. Miner. Soc. Korea*, 23(1), 49-61. (Korean with English abstract)
- Moon, D.H., Cho, H.G., and Yi H.-I. (2010) Illite crystallinity and intensity ratio in the marine surface sediments around the Korean Peninsula. 20th General Meeting of the International Mineralogical Association, 21-7 August, 2010, Budapest, Hungary, 636p.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Wu, Y., Zhang, J., Mi, T.Z., and Li, B. (2001) Occurrence of n-alkanes and polycyclic aromatic hydrocarbons in the core sediments of the Yellow Sea. Mar. Chem., 76, 1-15.
- 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 Sci. Rev., 63, 93-120.
- 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(2012년 9월 13일), 수정일(1차 : 2012년 9월 18일),  
게재확정일(2012년 9월 19일), 책임편집위원 : 손병국