

## 황해 표층퇴적물의 점토광물 분포; 절대광물조성과 상대광물조성

### Clay Mineral Distribution in the Yellow Sea Surface Sediments: Absolute Mineral Composition and Relative Mineral Composition

문 동 혁(Dong Hyeok Moon)<sup>1</sup> · 이 희 일(Hi-Il Yi)<sup>2</sup> · 신 동 혁(Dong-Hyeok Shin)<sup>2</sup> ·  
신 경 훈(Kyung-Hoon Shin)<sup>3</sup> · 조 현 구(Hyen Goo Cho)<sup>1,\*</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)

<sup>3</sup>한양대학교 해양환경과학전공

(Dept of Environmental Marine Sciences, Hanyang University)

요약 : 해양퇴적물 전체 시료 내에 존재하는 각 점토광물의 함량비(절대광물조성)와 점토광물들만을 100%로 환산했을 때 각 점토광물의 함량비(상대광물조성)를 구한 후, 지도에 도시하여 그 분포 양상을 비교하여 보았다. 시료는 한국해양연구원의 2001년 황해 2차 탐사에서 채취된 86개 표층 퇴적물 시료를 사용하였으며, 정량X선회절분석법을 이용하여 광물조성을 구하였다. 황해 표층 퇴적물은 주구성광물(석영 평균 44.7%, 사장석 15.9%, 알카리장석 13.9%, 각섬석 2.8%), 점토광물(일라이트 15.3%, 녹니석 2.6%, 카올리나이트 1%), 탄산염광물(방해석 1.7%, 아라고나이트 0.6%) 등으로 구성되어 있다. 점토광물들은 대체로 황해의 가장자리에 적은 분포를 보이고 산동반도 남동쪽에서 제주도 남서쪽을 연결하는 해역에서 높았으며, 세립질 퇴적물의 분포와 거의 일치하는 경향을 나타낸다. 점토광물들의 함을 100으로 가정하고 구한 점토광물의 평균 상대광물조성은 일라이트, 녹니석, 카올리나이트가 각각 80.3%, 14.9%, 4.8%이다. 점토광물들의 상대광물조성을 이용하여 나타낸 분포 양상은 절대광물조성을 이용하여 구한 그것과 많은 차이를 보이며, 점토광물을 많이 포함하고 있는 세립질 퇴적물의 분포경향과도 정의 상관관계를 보이지 않는다. 그러므로 점토광물들만을 대상으로 상대광물조성을 구하여 퇴적물 근원지 해석 등에 이용할 때에는 상당히 신중을 기할 필요가 있는 것으로 판단된다.

주요어 : 황해, 표층 퇴적물, 정량X선회절분석법, 점토광물, 절대광물조성, 상대광물조성

**ABSTRACT** : We studied the difference between the clay mineral content in the bulk marine sediments (absolute clay mineral composition) and clay mineral content only in total clay minerals (relative clay mineral composition) of the Yellow Sea marine sediments, and correlated the relationship between their distribution patterns. We used 86 Yellow Sea Surface sediments collected at the second cruise in 2001 of KORDI, and determined the absolute mineral composition using the quantitative X-ray diffraction analysis. Yellow Sea surface sediments consist of primary rock forming minerals including quartz (average 44.7%), plagioclase (15.9%), alkali feldspar (10.0%), hornblende (2.8%) together with clay minerals (illite 15.3%, chlorite 2.6% and kaolinite 1%) and carbonates (calcite 1.7%, aragonite 0.6%).

\*교신저자: hgcho@gsnu.ac.kr

Absolute clay mineral contents are very high in the region extending from the southeast of Sandong Peninsula to the southwest of Jeju Island. In contrast, it is very low along the margin of the Yellow Sea. Such distribution patterns of absolute clay mineral content are very similar to those of fine-grained sediments in the study area. The average relative clay mineral composition of illite, chlorite, and kaolinite is respectively 80.3%, 14.9% and 4.8%. The distribution pattern of relative mineral composition shows very different phenomenon when compared with those of absolute mineral composition, and also do not exhibit any positive relationship with that of fine-grained sediments in which clay mineral composition is abundant. Therefore, we suggest that the relative clay mineral compositions and their distribution patterns must be used very carefully when interpreting the origin of sediment provenance.

**Key words**: Yellow Sea, surface sediment, clay mineral, Quantitative X-ray diffraction analysis, absolute mineral composition, relative mineral composition

## 서 론

해양퇴적물 내에 존재하는 점토광물의 종류와 분포 양상은 퇴적물의 기원을 규명하고, 운반과 집적 과정을 해석하는데 매우 유용한 방법이기 때문에 많이 연구되고 있다(Griffin *et al.*, 1968; Rateev *et al.*, 1968, 1969; Windom, 1976; Aoki, 1976; Karlin, 1980; Hume and Nelson, 1986; Yin *et al.*, 1987). 특히 Biscaye (1965)는 대서양과 주변 해역의 최근 심해저퇴적물에 대한 점토광물 분포도를 작성하였는데, 그는 각 점토광물이 가지는 고유한 X선 회절 피크선의 면적비로부터 점토광물의 함량비를 구하였다. 이후 그의 방법은 많은 해양학자들에 의하여 이용되었는데, 황해 퇴적물의 점토광물조성을 연구한 기존의 연구들(Park *et al.*, 1986; Park and Khim, 1992; Khim and Park, 1992; 최진용과 김석운, 1998)도 거의 대부분 이러한 방법에 의하여 이루어졌다. 그러나 최근 컴퓨터에 의하여 X선회절분석기가 정밀하게 조절됨에 따라 매우 양질의 자료를 얻을 수 있고, 또한 이 자료를 이용하여 시료 내에 포함된 모든 광물 조성(절대광물조성)을 정확하게 알게 해주는 각종 컴퓨터 프로그램들이 개발되어 있지만(Siroquant (Taylor, 1991), QUAX (Vogt *et al.*, 2002), RockJock (Eberl, 2003; 2004)), 황해 퇴적물의 광물조성에 이러한 프로그램을 이용한 연구는 극히 일부에 불과하다(문동혁 등, 2007).

해양퇴적물의 점토광물 조성은 퇴적물 공급지의 광물조성과 매우 밀접한 관계를 가지고 있기 때문에 그 분포 양상이 많이 연구되어 왔다. 앞에서 지적했다시피 해양퇴적물 내 점토광물 조성을 구하는 기존의 방법은 점토광물 함량을 100%

로 가정하여 그 내에 존재하는 각 점토광물의 함량비를 구하고(상대광물조성) 이를 바탕으로 지도에 그 분포 양상을 도시하여 근원지를 해석하는 방법을 사용하였다. 그러나 과학 기술의 발달에 힘입어 해양퇴적물 내에 존재하는 모든 광물 조성을 구할 수 있게 되었다. 이렇게 모든 광물 조성을 구하는 결과를 이용하여 각 점토광물의 분포양상을 도시하였을 때, 기존 점토광물의 양이 100%라고 가정하였을 때의 분포 양상과 결과가 같을 지를 검토하여 보았다.

이번 연구에서는 문동혁 등(2007)의 연구에서 사용된 시료 중 중복된 정점의 시료를 제외하고, 거의 같은 시료와 연구 방법을 선택하였다. 단 그 이후 새로 존재한다고 밝혀진 아라고나이트와 각섬석을 존재 광물에 추가하여, 황해표층퇴적물의 정확한 전체광물조성을 결정하였다. 그리고 획득된 광물 정량분석결과 중 점토광물만을 100%로 환산하여, 점토광물의 상대적인 함량을 구하는 방법(Biscaye, 1965)으로 이루어진 선행 연구들과 간접적인 비교를 시도하였다.

## 연구 재료 및 방법

이번 연구에 사용된 황해 퇴적물 시료는 한국 해양연구원에서 2001년 실시한 2차 황해 탐사에서 채취한 것이다(문동혁 등, 2007 중 그림 1). 시료는 그랩 샘플러(grab sampler)를 이용하여 채취하였으며(Yi *et al.*, 2004), 문동혁 등(2007)에서 사용한 89개 시료 중 정점의 위·경도가 중복되는 시료 3개를 제외하고, 모두 86개 시료를 사용하였다.

모든 시료는 특별한 전처리 과정을 거치지 않

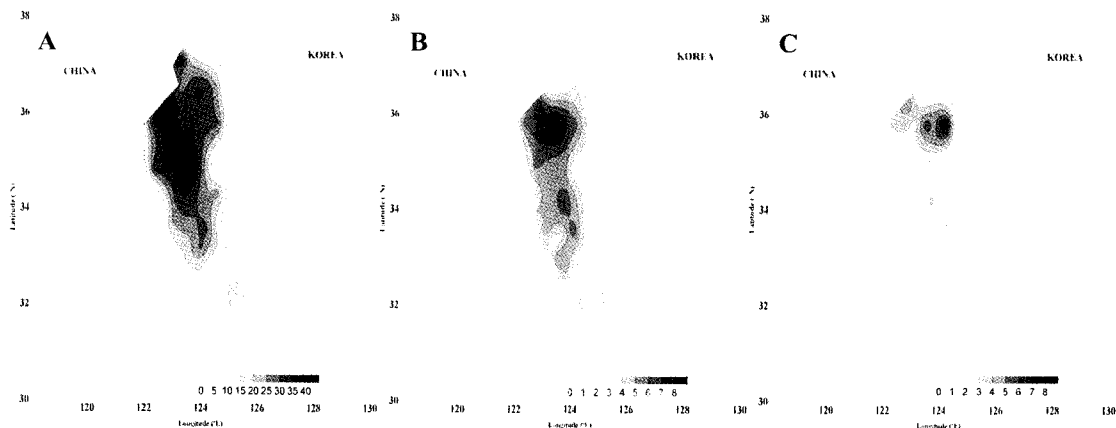


Fig. 1. Clay mineral distribution map in the Yellow Sea. A. Illite, B. Chlorite, C. Kaolinite.

고 분말 상태로 분쇄하여, 가능한 방향성을 가지지 않도록 X선 홀더에 장착한 후, 고분해능 X선 회절분석기를 이용하여 X선 회절 자료를 얻은 후, Siroquant v. 3.0 프로그램을 이용하여 정량분석하였다. X선 회절 분석은 경상대학교 지구환경과학과에서 보유하고 있는 Siemens/Bruker D5005 고분해능 X선 회절분석기를 이용하였으며, 흑연 단색화장치(grap-hite monochromator)를 부착하여 단색화된 파장( $CuK\alpha = 1.5406 \text{ \AA}$ )을 사용하였다. 분석 조건은 40 kV/35 mA,  $3 \sim 90^\circ 2\theta$  구간에서 주사 간격  $0.02^\circ$ , 주사 시간 5초로 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 구한 86개 황해 표층 퇴적물 시료의 광물 조성은 주로 석영, 사장석, 알카리장석과 같은 주구성광물, 일라이트, 녹니석, 카올리나이트와 같은 점토광물로 구성되어 있으며, 방해석과 아라고나이트 등의 탄산염광물과 각섬석 그리고 암염이 소량 포함되어 있다. 이들 중 각섬석과 아라고나이트는 문동혁 등(2007)의 연구에서 발견하지 못했던 광물로서, 정량분석 시 이들 두 광물의 자료를 연산에 참여시킨 결과, 문동혁 등(2007)의 정량분석 결과에 비해 특히 점토광물 함량에서 많은 차이를 보였다. 하지만 정량분석의 신뢰도를 나타내는 수치인  $\chi^2$ 은 평균 5를 상회하는 수준에서 평균 3 정도로 낮아져 이번 연구에 사용한 정량분석 결과

가 보다 정확하다고 판단된다. 이들 중 대표적인 시료의 분석결과를 표 1에 나타내었다.

석영은 황해 표층 퇴적물에 가장 많이 존재하는 광물로서 최소 24.3%에서 최대 65.1%까지 포함되어 있으며, 평균 44.7%를 차지하고 있다. 사장석은 두 번째로 많은 광물로서 최소 9.3%에서 최대 23%, 평균 15.9% 들어있으며, 알카리장석은 최소 4.3%에서 최대 28.2%, 평균 13.9%를 차지하고 있다.

일라이트는 황해 표층 퇴적물 내에 가장 많은 점토광물로서, 최소 0.5%에서 최대 40.5%까지 포함되어 있으며, 평균 15.3%를 차지하고 있다. 녹니석은 두 번째로 많은 점토광물로서 최소 0%에서 최대 7.9%, 평균 2.6% 들어있다. 카올리나이트는 0~5.6%, 평균 1% 존재한다. 일라이트, 녹니석 및 카올리나이트를 합한 점토광물의 총량은 1.5% 내지 45.9%이며, 평균 18.8%이다. 이들 점토광물의 분포 양상은 그림 1에 나타나 있다. 황해 표층 퇴적물 내 가장 많은 점토광물인 일라이트는 산동반도 남동쪽 해역 퇴적물에서 40% 이상의 높은 함량을 나타내고 있다. 또한 석영의 함량이 낮게 나타나는 산동반도 남동쪽과 제주도 남서쪽 부근으로 연결되는 북서-남동 방향을 따라 연장되는 해역에서 매우 높은 함량을 나타낸다. 이에 반해 황해의 가장자리 특히 동쪽과 서쪽 가장자리를 따라서는 매우 낮은 함량을 보인다(그림 1A). 녹니석과 카올리나이트의 분포는 일라이트의 그것과 최대 함량을 보이는 지점에서 약간의 차이가 있지만 전체적으로 매우 흡사하다(그림 1B, C). 이러한 경향은 연구지역 내 세립질

**Table 1.** Representative mineral composition (wt%), relative clay mineral composition (%), and grain size of the Yellow Sea surface sediments

#	Mineral composition (wt%)								
	Qtz	Pl	Ksp	Hbl	Ill	Chl	Kao	Cal	Arg
A01	57.6	12.2	13.9	1.2	12.8	0.3	0	-	1.3
A04	66.1	12.3	14.6	1.2	3.7	-	0.3	-	1.1
B09	61.8	13.7	16.3	1.8	4.2	-	0.5	-	0.7
B10	65.1	11.2	14.9	1.2	5.8	-	0.1	-	1.1
C05	29.8	13.4	9.7	4.0	27.0	5.2	8.0	0.9	-
C07	26.4	12.0	9.6	6.3	27.3	7.9	5.6	0.5	-
C14	50.2	17.8	26.7	2.7	0.5	0.6	0.4	0.2	-
D06	31.4	11.6	5.1	3.2	40.5	4.1	1.3	1.2	0.1
D09	44.9	14.7	31.5	3.4	2.0	1.9	0	-	-

#	Relative clay mineral %			Size analysis		
	Ill	Chl	Kao	Sand	Silt	Clay
A01	97.7	2.3	-	92.8	7.2	
A04	92.5	-	7.5	98.7	1.3	
B09	89.4	-	10.6	98.6	1.4	
B10	98.3	-	1.7	98.8	1.3	
C05	67.2	12.9	19.9		32.3	67.7
C07	66.9	19.4	13.7		29.6	70.4
C14	33.3	40.0	26.7	81.8	7.2	11.0
D06	88.2	8.9	2.8		34.8	65.2
D09	51.3	48.7	0	81.1	9.5	9.4

Qtz; quartz, Pl; plagioclase, Ksp; alkali feldspar, Hbl; hornblende, Ill; illite, Chl; chlorite, Kao; kaolinite, Cal; calcite, Arg; aragonite

퇴적물인 점토, 또는 실트의 분포양상과 거의 정확히 일치한다(문동혁 등, 2007 중 그림 3C와 D).

황해 퇴적물의 광물조성을 연구한 기존의 연구 (Park *et al.*, 1986; Park and Khim, 1992; Khim and Park, 1992; 최진용과 김석운, 1998)는 전부 Biscaye의 방법에 의하여 점토광물만의 상대적인 조성만을 연구하였기 때문에 그 결과를 본 연구의 결과와 비교하는 것이 쉽지 않다. 그러나 점토광물 중 일라이트가 월등히 많이 존재하는 데에는 본 연구의 결과와도 정확히 일치한다.

본 연구의 정량분석 결과 중에서 점토광물의 함량만을 고려하여 각 시료 내 점토광물만의 상대적인 양을 구한 결과를 보면(표 1), 일라이트가 48.6% 내지 97.7%로 평균 80.3%의 비율을 보였

고, 녹니석은 0%에서 48.7%, 평균 14.9%를 차지하며, 카올리나이트는 0%에서 26.7%, 평균 4.8%를 차지하였다. 이렇게 구한 점토광물들의 상대적인 비율을 그림 2에 나타내었다. 일라이트의 경우, 황해전역에 걸쳐 고른 분포를 보이지만, 상대적으로 연구지역 북동쪽과 남동쪽을 잇는 한반도 주변 해역에서 다른 점토광물에 비해 많이 분포함을 알 수 있다(그림 2A). 녹니석은 일라이트와 달리 연구지역 북동쪽 해역에서 상대적으로 적은 분포를 보이고 연구지역의 서쪽과 동쪽 해역에서 상대적으로 많은 분포를 보인다(그림 2B). 카올리나이트는 연구지역 남쪽 해역과 중앙 해역에서 상대적으로 가장 적은 분포를 보이고, 연구지역 북서쪽과 한반도 연안 해역에서 많은

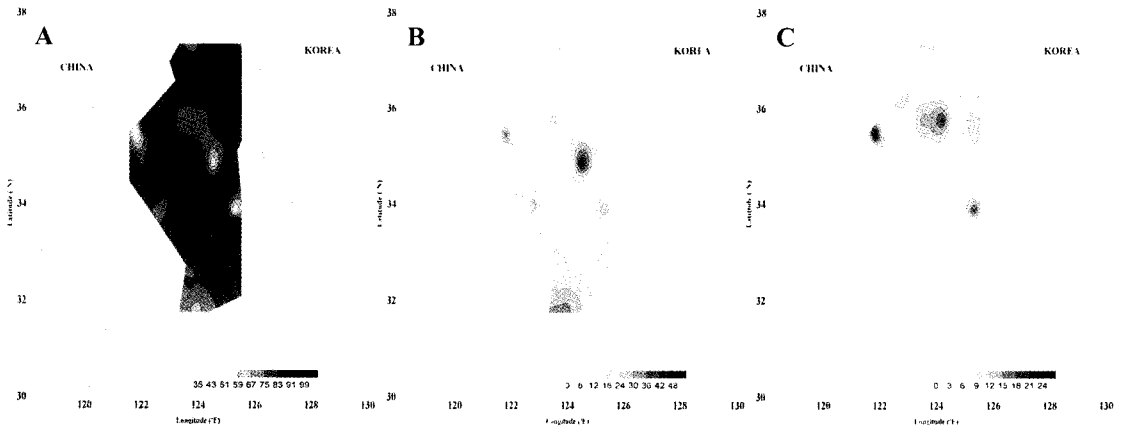


Fig. 2. Relative Clay mineral distribution map in the Yellow Sea. A. Illite, B. Chlorite, C. Kaolinite.

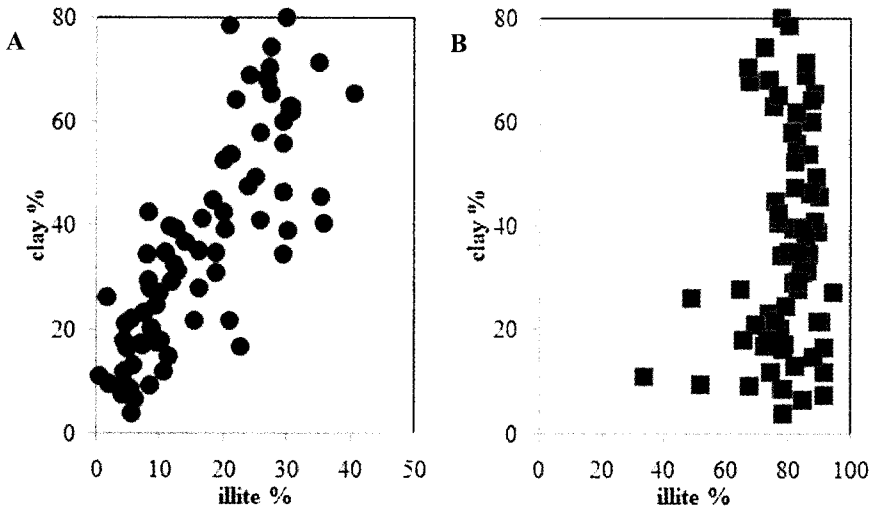


Fig. 3. Correlation between grain size and illite content. A. illite content in the bulk samples, B. relative illite content in clay minerals.

분포를 보인다(그림 2C).

이상의 결과를 통해 상대광물조성을 이용하여 그린 각 점토광물의 분포(그림 3)는 지역별로 서로 다른 경향을 나타내며, 전체광물 중의 점토광물의 분포와 일치하지 않음을 알 수 있다(그림 2). 이러한 경향은 연구지역 내 점토 크기의 입자와 비교하면 쉽게 알 수 있다. 일라이트의 절대광물조성은 점토 입자와 매우 밀접한 관계를 보여주지만(그림 3A), 일라이트의 상대광물조성은 점토 입자와 특별한 상관관계를 보여주지 못한다(그림 3B).

이를 통해 각 점토광물의 상대광물조성은 지역

별 성분차이를 파악하는 것, 예를 들어 연구지역 북동쪽 해역에서는 일라이트가 다른 점토광물에 비해 많이 존재할 것이라는 해석에는 적합하지만 황해 표층퇴적물 내 점토광물의 분포를 파악하기 위한 방법으로는 신중을 기해야 할 것으로 판단된다. 그러므로 황해 표층퇴적물 중 점토광물의 분포를 파악하기 위해서는 절대광물조성을 이용하는 방법이 실제 광물의 분포를 파악하는 합리적인 방법인 것으로 판단된다.

이번 연구에서는 황해 표층 퇴적물 전 시료(bulk sample)에 대한 광물조성을 연구하였고, 이들 중 점토광물의 상대조성은 단순히 점토광물들

만을 100%로 환산하여 얻은 결과이므로 이러한 결과를 직접적으로 선행연구들과 비교하는 것은 무리가 있다. 하지만 선행연구들이 점토광물의 상대적인 양과 분포를 이용하여 수행되었다는 점에서 간접적으로 연구방법에 대한 비교는 가능하리라 생각된다.

실제 점토부분의 광물조성과 분포를 파악하기 위해서는 추후 점토 부분만을 따로 분리하여 이에 대해 본 연구에서 실시한 정량X선 회절분석법을 이용하여 광물조성을 연구하는 것이 매우 필요하다고 생각된다. 그러한 연구 결과와 이번 연구의 결과를 비교하고 분석하여야만 보다 정확한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

## 결 론

한국해양연구원의 2001년 2차 황해 탐사에서 채취한 표층 퇴적물 시료 86개에 대하여 정량X선 회절분석법에 의하여 절대광물조성을 구하고, 이를 바탕으로 상대광물조성을 구한 후 각각의 분포 양상을 연구한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 황해 표층 퇴적물 시료는 주로 석영, 사장석, 알카리장석, 각섬석과 같은 주구성광물 및 일라이트, 녹니석, 카올리나이트와 같은 점토광물로 구성되어 있으며, 방해석과 아라고나이트 등의 탄산염광물과 암염이 소량 포함되어 있다.

2) 점토광물들의 분포는 산동반도 남동쪽과 제주도 남서쪽 부근으로 연결되는 북서-남동 방향을 따라 연장되는 해역에서 매우 높은 함량을 나타내지만, 황해의 가장자리 특히 동쪽과 서쪽 가장자리를 따라서는 매우 낮은 함량을 보인다.

3) 점토광물들의 상대광물조성과 분포는 지역별 성분차이 파악에는 적합하지만, 점토입자의 분포와 상관관계를 보이지 않으므로, 황해표층퇴적물의 점토광물분포 연구에 상대광물조성을 적용하는 것은 신중하게 생각해야 할 것으로 판단된다.

## 사 사

이번 연구는 국토해양부 국가연구개발사업(과제명; 해양영토관리 정보시스템 구축을 위한 퇴적물 기원연구 및 모니터링)으로 수행되었다. 연구비를 지원하여 준 국토해양부에 감사드린다. 부족한 원고를 자세하게 읽어주시고 꼼꼼하게 심사하여 주신 충남대학교 김원

사 교수님과 부산대학교 황진연 교수님께도 감사드립니다.

## 참고문헌

- 문동혁, 이희일, 신동혁, 신경훈, 김순오, 조현구 (2007) 황해 표층 퇴적물의 X선 광물정량분석; 2001년 황해 2차 탐사 시료. 한국광물학회지, 20, 203-212.
- 최진용, 김석운 (1998) 한반도 주변해역 점토광물의 함량과 분포. Jour. Korean Earth Science Society, 19, 524-532.
- Aoki, S. (1976) Clay mineral distribution in sediments of the gulf of thailand and the south china sea. Journal of the Oceanographical Society of Japan, 32, 169-174.
- 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.
- 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.
- Griffin, J.J., Windom, H., and Goldberg, E.D. (1968) The distribution of clay minerals in the world oceans. Deep-Sea Res., 15, 433-469.
- Hume, T.M. and Nelson, C.S. (1986) Distribution and origin of clay minerals and surficial shelf sediments, Western North Island, New Zealand. Mar. Geol., 69, 289-308.
- Karlin R. (1980) Sediment sources and clay mineral distributions off the oregon coast. J. Sediment. Petrol., 50, 543-560.
- Khim, B.K. and Park, Y.A. (1992) Smectite as a possible-indicative clay mineral in the Yellow Sea. Geo-Marine Letters, 12, 228-231.
- Park, Y.A., Kim, S.C., and Choi, J.Y. (1986) The distribution and transportation of fine-grained sediments on the inner continental shelf off the Kueem River estuary, Korea. Continental Shelf Research, 5, 499-519.
- Park, Y.A. and Khim, B.K. (1992) Origin and dispersal of recent clay minerals in the Yellow Sea. Marine Geology, 104, 205-213.
- Rateev, M.A., Gorbunova, Z.N., Lisitzin, A.P., and Nosov, G.I. (1968) Climatic zonality of the argilla-

- ceous minerals in the world ocean sediments. *Okeanol., Akad. Nauk S.S.S.R.*, 18, 283-311.
- Rateev, M.A., Gorbunova, Z.N., Lisitzin, A.P., and Nosov, G.I. (1969) The distribution of clay minerals in the oceans. *Sedimentology*, 13, 21-43.
- 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.
- Windom, H.L. (1976) Lithogenous Material in Marine Sediments. Academic Press, New York, London 5, 103-135.
- 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.
- Yin, J., Okada, H., and Labeyrie, L. (1987) Clay mineralogy of slope sediments around the japanese islands. *Geosci. Rep. Shizuoka Univ.*, 13, 41-65.
- 
- 접수일(2008년 8월 29일), 수정일(1차 : 2008년 9월 9일, 2차 : 2008년 9월 10일), 게재확정일(2008년 9월 10일)