

황해 남동부 흑산니질대 퇴적물의 분포, 지화학적 조성 및 퇴적물 기원지

하헌준^{1,2} · 전승수¹ · 장태수^{2,*}

¹전남대학교 지구환경과학부, 500-757, 광주광역시 북구 용봉로 77
²한국지질자원연구원 해저지질연구실, 305-350, 대전광역시 유성구 과학로 124

Distribution Pattern, Geochemical Composition, and Provenance of the Huksan Mud Belt Sediments in the Southeastern Yellow Sea

Hun Jun Ha^{1,2}, Seung Soo Chun¹, and Tae Soo Chang^{2,*}

¹Faculty of Earth Systems and Environmental Sciences, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

²Korea Institute of Geosciences & Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea

Abstract: In order to determine the provenance of the Huksan Mud Belt sediments in the southeastern Yellow Sea, the major and rare earth elements of the same sediments were analyzed. The surface sediments were sampled from top of piston-cores and box-cores taken at 51 sites within the Huksan Mud Belt. With the mean grain size of $5-6 \phi$, the sediments of the study area are mud-dominated. The spatial distribution patterns show that silt content is high in the northern Mud Belt, whereas clay content increases as it moves toward the southern Mud Belt. Interestingly, the geochemical compositions both of major and rare earth elements have resulted in differences of sediment provenance. Among the major elements, plots of Fe/Al vs. Mg/Al ratios, Al_2O_3 vs. MgO ratios, and Al_2O_3 vs. K_2O reveal that the Huksan Mud Belt sediments are dominated by the Korean river-derived sediments. However, the characteristics of rare earth elements infer sediments originating from the Chinese rivers. This discrepancy between the above provenances is attributed to the different contributory factors in the content of chemical elements. Considering strong correlation between major elements with grain sizes, the contents of the major elements are thought to be influenced by the grain size. However, there is a weak correlation between rare earth elements and grain sizes. The behaviour of rare earth elements may be controlled by heavy minerals, rather than grain sizes. Further study requires to solve the discrepancy arose from the difference in applied chemical tracers.

Keywords: Huksan Mud Belt, provenance, major element, rare earth element, Yellow Sea

요약: 대부분 니질 퇴적물로 구성된 황해 남동부 흑산니질대 퇴적물의 기원지를 밝히기 위해 퇴적물 시료에 대해 주 성분 원소와 희토류 원소(REE)를 분석하였다. 표층 퇴적물 시료는 흑산니질대 내 51지점에서 피스톤식과 박스형 시료 채취기로 획득하였다. 흑산니질대의 표층퇴적물은 니 퇴적물이 우세하게 나타나며, 평균입도는 $5-6 \phi$ 이다. 공간적으로 북쪽지역은 실트함량이 높고, 남쪽지역으로 갈수록 점토함량이 증가한다. 흥미롭게도 주성분 원소와 희토류 원소 함량 특성은 퇴적물 기원 해석에 있어 다른 결과를 가져왔다. Fe/Al과 Mg/Al 함량 비, Al_2O_3 와 MgO 함량 비, Al_2O_3 와 K_2O

*Corresponding author: tschang@kigam.re.kr

Tel: +82-42-868-3197

Fax: +82-42-868-3417

를 각각 도시한 결과, 흑산니질대 퇴적물은 한국 기원의 퇴적물이 우세한 것으로 나타났다. 하지만 회토류 원소의 특성은 중국 기원의 퇴적물이 우세함을 반영한다. 이러한 기원 불일치는 각 원소의 함량 조절요인이 다르기 때문이다. 주성분 원소는 입도와 높은 상관관계를 고려할 때 입도에 따라 그 함량이 영향을 받는 것으로 해석된다. 반면에 회토류 원소는 입도와는 상관관계가 낮으며, 중광물 함량에 의해 조절되는 것으로 사료된다. 이와 같이, 각기 다른 추적자에 따른 기원의 불일치를 해결하기 위해 추가적인 연구가 필요하다.

주요어: 흑산니질대, 기원지, 주성분 원소, 회토류 원소, 황해

서 론

황해는 한반도와 중국 사이에 위치하며, 평균 수심이 약 55 m인 전형적인 연해(epicontinental sea)이다. 특히 중국 대륙의 황하강과 양쯔강, 한반도의 한강, 금강, 및 영산강 등을 통해 전 세계 하천 퇴적물의 약 10%에 달하는 많은 양의 세립 퇴적물이 유입되어 여러 유형의 니질 퇴적층을 형성하고 있다 (Milliman and Meade, 1983; Alexander et al., 1991). 이 중 한반도 서남해 연안을 따라 남-북 방향으로 길게 신장된 흑산니질대(HMB)는 20-50 km의 폭과 약 200 km의 길이를 나타내며, 니질 퇴적물의 최대 층후는 약 50 m이다(Fig. 1a). 강에서 유출된 퇴적물이 전진퇴적하며 형성되는 삼각주(delta)와는 달리, 흑산니질대 퇴적체는 연안에서 분리되어 대륙붕 지형을 따라 독립적으로 발달하는 특징을 갖고 있다 (Jin and Chough, 1998).

이러한 규모의 흑산니질대를 구성하는 니질 퇴적물의 기원은 지난 20여 년 동안 퇴적학적, 지화학적, 광물학적으로 많은 연구가 진행되었지만 여전히 논란이 되고 있다(Alexander et al., 1991; Park et al., 2000; Lee and Chu, 2001; Lim et al., 2007a). Lim et al. (2007b)의 연구결과에 의하면, 한국과 중국 기원 퇴적물의 주성분 원소 중에서 암석 조성 차이로 철, 마그네슘, 칼슘의 함량이 뚜렷이 구분되었으며, 이들 함량비를 이용하여 흑산니질대 퇴적물이 한국과 중국의 혼합 기원으로 해석하였다. 흑산니질대와 인접한 제주도 해역에서도 니질 퇴적물의 지화학적 특성에 따른 기원지 해석이 보고되었다(Lim, 2003; Youn and Kim, 2008). 퇴적물 내 회토류 원소(REE) 또한 기원지 해석에 있어 중요한 지시자로 사용되어 왔다(Klaver and van Weering, 1993; Vital et al., 1999). 한국과 중국 기원 퇴적물의 회토류 원소 분석 결과, 한국 기원의 퇴적물은 중회토류원소(Heavy Rare Earth Element, HREE)보다 경회토류원소(Light

Rare Earth Element, LREE)에 부화된 형태를 보이는 반면에, 중국 기원의 퇴적물은 한국 기원 퇴적물보다 경회토류가 덜 부화되고, 특징적으로 Eu에 크게 부화된 형태를 보이는 것으로 밝혀졌다(Yang et al., 2002, 2004; Jung et al., 2006; Song and Choi, 2009; Xu et al., 2009).

한국과 중국 기원의 퇴적물은 또한 점토광물 함량에 따라 뚜렷하게 구분된다. 특히 중국 기원의 퇴적물은 한국 기원에 비하여 스멕타이트(smectite) 함량이 높고, 일라이트(illite) 함량이 낮은 특징을 가진다(Chough and Kim, 1981; Khim, 1988; Cho et al., 2012). 흑산니질대 니질 퇴적물의 경우, 일라이트 함량이 상대적으로 높은 특징을 보이므로 한국 기원으로 해석하였다(Khim, 1988; Moon et al., 2009; Cho et al., 2012). 반면, Wei et al. (2000)는 점토광물학적 연구를 통해 흑산니질대 북부 지역은 한국 기원, 남부는 한국과 중국 기원이 혼합된 퇴적물이라고 주장하였다.

Lee and Chu(2001)의 연구는 퇴적물의 입도변화와 수리역학 조사 결과를 바탕으로, 거대한 흑산니질대를 형성하는 니질 퇴적물은 금강, 만경강과 동진강으로부터 유출된 퇴적물이 겨울철 몬순계절풍의 영향으로 남북방향으로 흐르는 조류와 더불어 연안류(Korean Coastal Current, KCC)를 따라 남하하여 형성된 것으로 해석하였다. 또한, 중국 퇴적물을 싣고 서남해로 북상하는 고온 고염의 황해 난류(Yellow Sea Warm Current, YSWC)는 이 지역에 발달한 강한 조석 전선대(tidal front)의 존재로 그 영향이 미약할 것이라고 주장하였다. 추가적으로 탄성과 탐사 자료와 시추코어분석 결과를 제시하였다(Jin and Chough, 1998; Lee and Chu, 2001).

이와 같이, 흑산니질대의 기원은 한국 기원(Jin and Chough, 1998; Park and Khim, 1992; Lee and Chu, 2001; Chough et al., 2002; Moon et al., 2009; Cho et al., 2012), 한국과 중국의 혼합 기원

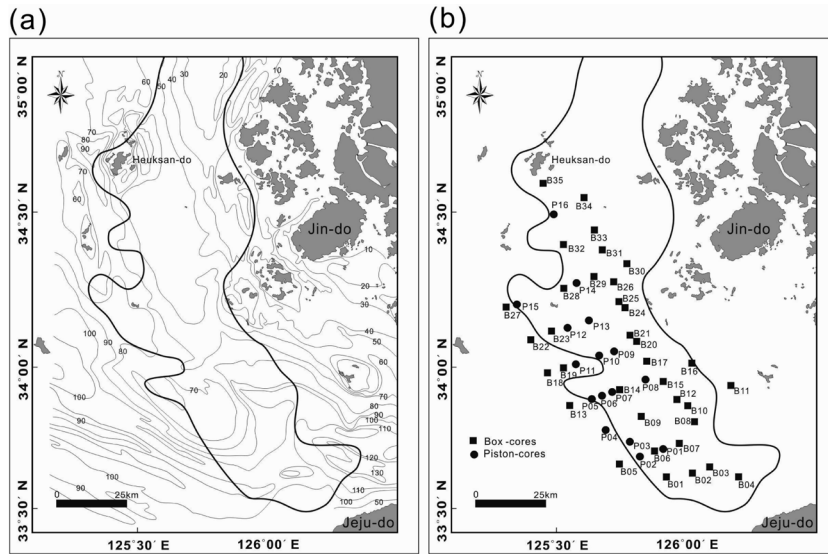


Fig. 1. (a) Locality map of the Huksan Mud Belt, along the southwestern coast of Korea. Solid line extracted from Lee and Chu (2001), (b) location of piston-cores (dots), and box-cores (squares) in the Huksan Mud Belt.

(Alexander et al., 1991; Park et al., 2000; Kong et al., 2006; Lim et al., 2007a)으로 해석이 나뉘어져 논쟁 중이다(Yang et al., 2003). 이처럼 서로 다른 기원 해석은 각 분석마다 다른 시료, 분석 방법의 차이, 입도에 의한 보정 효과 등을 제시하지 못한 것에 유래한다(Yang et al., 2003).

따라서, 이 연구는 분석 시료와 분석 항목의 차이에서 기인하는 영향을 최소화하고자 흑산니질대의 니질 퇴적물에서 동일한 시료를 대상으로 각각 주성분 원소와 희토류 원소를 분석하여, 니질 퇴적물의 기원에 대해 토의하였다. 특히, 주성분 원소와 희토류 원소 분석에 따른 기원지 해석의 불일치에 대하여 논하였다. 마지막으로, 단일 니질대 내에서 공간적으로 지화학적 특성의 차이가 나타나는지를 밝혔다.

연구방법 및 재료

흑산니질대 내 표층퇴적물은 2012년 3-4월에 걸쳐 피스톤식 주상시료 채취기와 박스형 시료채취기로 획득하였다. 각 시료의 표층에서 총 51점의 퇴적물 시료를 얻었다(Fig. 1b). 퇴적물의 입도분석은 Carver (1971)의 표준입도분석 절차에 따라 따라붓기를 실시하여 염분을 제거하고 6%의 과산화수소수를 첨가, 유기물을 제거한 후 약 60°C의 중탕기에서 1-2시간 가열하여 남아있는 과산화수소수를 제거하였다. 이

후 10%의 염산을 첨가하여 탄산염을 제거한 후 3회 따라붓기를 하여 남아있는 염산을 제거하였다. 전처리된 시료는 4 φ (0.0625 mm)체를 이용하여 습식 체질을 한 후, 조절된 퇴적물은 로탭 진탕기(Ro-Tap Sieve Shaker)를 사용하여, 세립질 퇴적물은 2% 확산제(Sodium Hexametaphosphate)를 첨가한 후 자동입도분석기(Sedigraph 5100)를 사용하여 0.25 φ 간격으로 분석하였다. 표층퇴적물의 조직 변수값은 Folk (1968)이 제안한 방법을 적용하여 평균 입도와 분급도를 계산하였다(Table 1).

표층퇴적물의 주성분 원소 및 희토류 원소 정량 분석을 위해 퇴적물 동결 건조 후 분말화하고 산처리하여 원소별로 화학분석을 실시하였다. 주성분 원소 분석은 한국지질자원연구원이 보유한 XRF (Shimadzu MXF-2400)을 사용하였고, 분석값의 LOI (Loss on ignition)는 제거 후 전체 100%로 환산한 결과값을 연구에 사용하였다. 희토류 원소는 한국지질자원연구원이 보유한 ICP-MS (Elan DRC-II)로 분석하였다.

연구결과

표층퇴적물의 공간분포

퇴적물 입도 분석 결과, 연구지역의 표층퇴적물은 주로 점토와 실트로 구성된 니 퇴적물이 우세하게 나타나며, 지역적으로 모래가 포함된 니질사 퇴적물

Table 1. Composition and textural parameters of surface sediments in the Huksan Mud Belt

Sample No.	Composition (%)				Textural Parameters (phi)		Sediment Type by Folk (1968)
	Gravel	Sand	Silt	Clay	Mean	Sorting	
P01	0.00	20.96	24.83	54.21	5.83	2.41	Sandy Mud
P02	0.00	19.90	9.98	70.12	5.54	2.56	Sandy Mud
P03	0.00	96.16	1.56	2.27	2.57	0.75	Sand
P04	0.00	3.50	5.02	91.48	7.94	1.76	Clay
P05	0.07	54.51	11.09	34.33	4.58	2.60	Muddy Sand
P06	0.00	16.79	41.49	41.72	5.65	2.10	Sandy Mud
P07	0.00	3.22	44.74	52.04	6.72	1.36	Mud
P08	0.00	1.83	82.47	15.71	7.29	0.92	Mud
P09	0.00	11.87	47.06	41.07	6.01	1.58	Sandy Mud
P10	0.00	4.72	48.45	46.83	7.69	1.04	Mud
P11	0.00	1.04	49.78	49.18	7.28	1.24	Mud
P12	13.14	75.05	6.64	5.17	1.36	2.40	Muddy Sand
P13	0.00	0.71	45.76	53.53	6.80	1.31	Mud
P14	0.00	0.34	54.27	45.39	6.48	1.34	Mud
P15	0.00	7.67	32.44	59.88	6.63	1.67	Mud
P16	0.00	1.33	37.89	60.78	7.76	1.12	Mud
B01	0.00	2.60	29.89	67.52	7.32	1.45	Clay
B02	0.00	0.71	32.30	66.99	7.41	1.27	Clay
B03	0.00	0.00	9.04	90.96	8.29	1.25	Clay
B04	0.00	0.00	12.05	87.95	8.22	1.23	Clay
B05	0.00	51.43	5.65	42.92	3.86	2.37	Muddy Sand
B06	0.00	27.24	46.83	25.93	6.15	2.26	Sandy Mud
B07	0.00	20.84	10.44	68.72	5.62	2.79	Sandy Clay
B08	0.00	0.00	82.77	17.23	7.13	0.93	Silt
B09	0.00	50.35	21.09	28.57	4.73	3.10	Muddy Sand
B10	0.00	0.00	58.96	41.04	7.25	1.29	Mud
B11	0.11	70.86	3.97	25.06	2.85	2.25	Muddy Sand
B12	0.00	7.43	48.24	44.32	6.71	1.66	Mud
B13	0.00	27.63	5.32	67.05	5.58	3.27	Sandy Clay
B14	0.29	86.04	7.87	5.80	2.18	2.09	Muddy Sand
B15	0.00	11.48	22.40	66.12	7.57	1.68	Sandy Clay
B16	3.26	64.77	15.77	16.20	3.32	2.87	Muddy Sand
B17	0.00	12.99	57.80	29.21	6.78	1.54	Sandy Mud
B18	0.00	0.00	60.75	39.25	6.79	1.30	Mud
B19	0.00	24.17	35.52	40.31	6.41	2.48	Sandy Mud
B20	0.00	0.00	66.77	33.23	7.44	0.89	Silt
B21	1.67	91.02	3.61	3.69	1.96	1.39	Sand
B22	0.00	12.82	29.06	58.12	7.42	1.54	Sandy Mud
B23	0.00	7.22	10.58	82.20	7.43	1.93	Clay
B24	0.00	0.00	53.55	46.45	7.11	1.35	Mud
B25	0.00	0.00	91.30	8.70	6.98	0.91	Silt
B26	0.00	0.00	62.36	37.64	6.93	1.41	Mud
B27	0.00	0.00	52.28	47.72	7.09	1.30	Mud
B28	0.00	0.00	48.83	51.17	6.80	1.33	Mud
B29	0.00	0.00	85.73	14.27	6.96	1.00	Silt
B30	0.00	0.00	47.48	52.52	6.86	1.29	Mud
B31	0.00	0.00	50.65	49.35	6.60	1.38	Mud
B32	0.00	0.00	58.34	41.66	6.77	1.39	Mud
B33	0.00	0.00	45.98	54.02	6.88	1.31	Mud
B34	0.00	4.84	65.55	29.60	6.16	1.43	Silt
B35	0.00	35.53	38.82	25.65	5.07	2.43	Sandy Mud

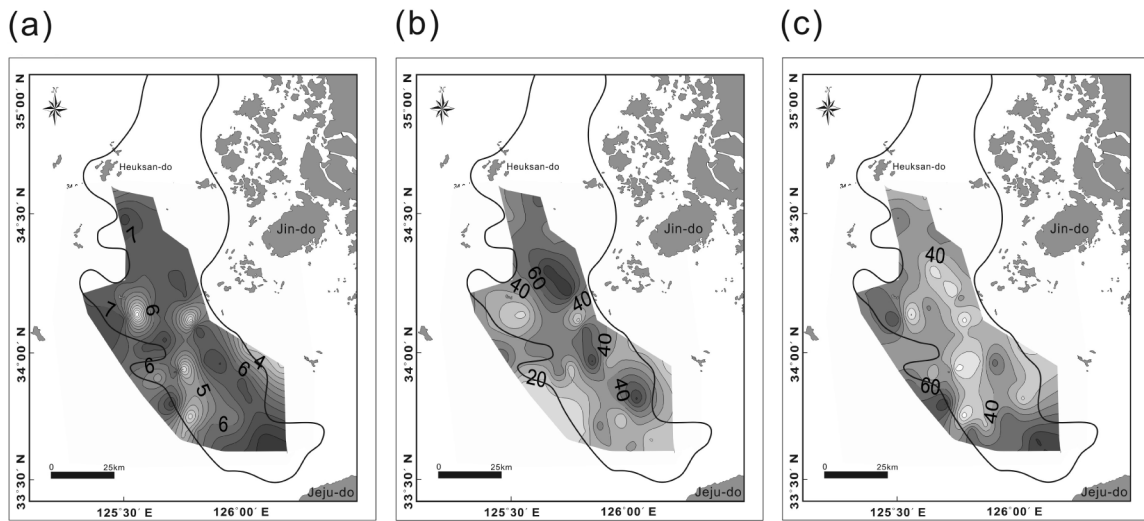


Fig. 2. Spatial distribution patterns of the mean grain size in phi (a), silt content (%) (b), and clay content (%) (c) in the Huksan Mud Belt.

이 분포한다(Fig. 2a). 니 퇴적물의 평균 입도(Mz)는 6-7 ϕ 범위이며, 니질사 퇴적물은 2-4 ϕ 값을 보이며, 이는 세립사 내지는 중립사에 해당한다(Table 1).

표층퇴적물의 공간분포 양상은 흑산니질대 내 전반적으로 니 퇴적물이 광범위하게 분포하지만, 니질대의 북쪽 지역은 입도가 비교적 균질한 니 퇴적물이, 남동쪽 지역은 니질대 경계로 갈수록 입도가 세립해지는 경향을 나타낸다(Fig. 2a). 이러한 입도의 변화는 북쪽에서 남하하는 유수의 흐름이 남쪽으로 갈수록 점진적으로 약해짐을 의미한다. 니질대의 중앙부는 남동-북서 방향의 폭풍 또는 쿠로시오 해류에 의해 침식이 발생하는 지역으로써(Lee and Chu, 2001; Park et al., 2000), 패각을 포함하는 모래 퇴적물이 부분적으로 패치(patch) 형태로 산출된다. 따라서 이 지역은 하천에서 유입된 퇴적물이 아닌, 강한 흐름에 의해 니질대의 니 퇴적물이 침식되고, 인접한 해침모래사주(transgression sand ridge)의 모래퇴적물이 재동되어 퇴적된 것이다(Jin and Chough., 1998; Chough et al., 2002). 흑산니질대 니 퇴적물의 점토와 실트의 함량을 살펴보면, 전반적으로 니질대 중앙부에서 남쪽 경계로 갈수록 점토의 함량은 증가하고, 반면에 실트 함량은 감소하는 경향이 나타난다(Fig. 2b, c).

주성분 원소의 특성

흑산니질대에서 채취된 총 51개의 시료 중, 니 퇴적물의 지화학적 특성만을 조사하기 위해 5 ϕ 이상의

평균 입도를 가진 총 42개의 시료를 대상으로 주성분 원소를 분석하였다. 흑산니질대 퇴적물의 주성분 원소의 함량은 Al_2O_3 14.4-17.88% (평균 16.33%), Fe_2O_3 4.91-6.95% (평균 6.1%), CaO 1.18-6.97% (평균 2.93%), MgO 1.82-3.04% (평균 2.31%), K_2O 3.15-3.62% (평균 3.37%), Na_2O 2.54-4.16% (평균 3.2%), TiO_2 0.72-0.88% (평균 0.82%), MnO 0.07-0.15% (평균 0.1%), P_2O_5 0.09-0.19% (평균 0.13%) 등으로 나타났다(Table 2). 일반적으로 퇴적물에서 원소의 함량은 퇴적물의 입도(grain size)에 영향을 받으므로(Calvert, 1976), 입도보정 효과를 보이는 알루미늄(Al_2O_3)과 다른 주성분 원소들의 함량 관계를 도출하여 입도와 관련성을 확인하였다. 그 결과, Fe_2O_3 , MgO , K_2O 원소에서 뚜렷한 양의 상관관계가 나타났다(Fig. 3). 그 이외의 주성분 원소는 상관관계를 보이지 않았다.

주성분 원소 함량 특성에 따른 흑산니질대 퇴적물의 기원지를 추정하기 위해 Lim et al. (2007b)에서 제시한 입도보정을 통한 Fe/Al 과 Mg/Al 함량 비, Al_2O_3 와 MgO 함량 비를 각각 도시하였다(Fig. 4). 일반적인 Fe/Al 과 Mg/Al 함량 비를 도시한 경우, 흑산니질대 퇴적물은 한국과 중국 기원의 퇴적물 사이에 위치하지만 명확히 구분되지 않는다(Fig 4a). 그러나 Lim et al. (2007b)에 의해 새롭게 제시된 입도보정 방법에 의한 Fe/Al 과 Mg/Al 함량 비를 도시한 결과, 연구지역의 퇴적물은 한국과 중국 기원의 퇴적물

Table 2. Major elements (%) of surface sediments in the Huksan Mud Belt

Sample No.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅
P01	64.757	16.214	5.740	3.907	2.219	3.444	2.781	0.728	0.077	0.132
P02	61.747	16.772	6.306	5.193	2.563	3.620	2.821	0.753	0.079	0.146
P04	64.791	16.209	6.190	3.641	2.185	3.343	2.615	0.817	0.088	0.121
P06	66.014	16.699	6.262	1.816	2.120	3.359	2.664	0.859	0.087	0.120
P07	64.427	17.158	6.951	1.975	2.339	3.432	2.626	0.872	0.099	0.121
P08	64.681	16.955	6.573	2.015	2.378	3.468	2.840	0.859	0.099	0.132
P09	66.765	15.820	5.780	2.404	2.141	3.299	2.764	0.808	0.098	0.120
P10	67.069	16.606	6.099	1.185	2.047	3.308	2.608	0.862	0.097	0.119
P11	65.761	17.059	6.697	1.309	2.149	3.338	2.541	0.884	0.131	0.131
P13	64.931	16.929	6.296	2.058	2.389	3.467	2.873	0.837	0.099	0.121
P14	67.894	15.641	5.535	1.766	2.047	3.250	2.860	0.802	0.087	0.119
P15	64.631	16.812	6.374	2.397	2.364	3.468	2.916	0.817	0.088	0.133
P16	67.117	16.085	5.740	1.762	2.065	3.286	2.897	0.832	0.086	0.130
B01	58.057	17.326	6.702	6.890	2.945	3.522	3.463	0.813	0.106	0.177
B02	58.379	17.621	6.864	5.562	2.994	3.515	3.905	0.828	0.154	0.178
B03	59.422	17.632	6.794	4.848	2.890	3.531	3.776	0.827	0.117	0.163
B04	57.862	17.881	6.884	5.929	3.041	3.595	3.666	0.837	0.130	0.177
B06	63.818	16.112	5.874	3.946	2.368	3.473	3.416	0.744	0.090	0.158
B07	64.009	16.285	6.000	3.466	2.378	3.477	3.398	0.774	0.079	0.135
B08	63.083	16.984	6.480	2.948	2.511	3.531	3.363	0.841	0.090	0.168
B10	63.229	16.786	6.486	2.738	2.502	3.445	3.725	0.842	0.101	0.146
B12	64.396	16.102	6.003	2.884	2.368	3.377	3.826	0.808	0.090	0.146
B13	67.564	14.872	5.515	3.009	1.981	3.228	2.889	0.722	0.098	0.120
B15	65.589	15.784	5.787	3.166	2.233	3.332	3.132	0.766	0.089	0.122
B17	65.267	15.860	6.025	3.057	2.248	3.323	3.145	0.853	0.100	0.122
B18	65.294	16.004	5.970	3.492	2.104	3.227	2.875	0.815	0.099	0.121
B19	66.297	15.161	5.610	4.051	1.910	3.217	2.712	0.823	0.099	0.121
B20	66.721	15.841	5.827	2.001	2.143	3.291	3.138	0.820	0.098	0.120
B22	63.133	15.224	5.651	6.973	2.012	3.165	2.792	0.757	0.102	0.192
B23	66.148	16.466	6.186	1.894	2.058	3.284	2.912	0.832	0.099	0.120
B24	64.906	16.727	6.449	1.695	2.443	3.422	3.279	0.847	0.110	0.121
B25	66.364	15.987	5.868	2.065	2.196	3.333	3.125	0.820	0.109	0.131
B26	64.784	16.455	6.139	1.961	2.384	3.387	3.844	0.836	0.089	0.123
B27	63.353	17.060	6.386	1.929	2.595	3.385	4.163	0.869	0.124	0.135
B28	63.936	16.767	6.425	1.992	2.507	3.436	3.850	0.851	0.101	0.134
B29	66.656	15.888	5.881	2.030	2.172	3.314	3.039	0.823	0.088	0.110
B30	64.090	16.607	6.169	2.090	2.449	3.427	4.090	0.843	0.101	0.135
B31	66.094	15.989	5.825	2.136	2.202	3.315	3.392	0.837	0.088	0.121
B32	65.552	16.063	5.876	2.422	2.244	3.310	3.521	0.800	0.089	0.122
B33	65.333	16.233	5.989	1.911	2.333	3.333	3.822	0.822	0.089	0.133
B34	69.782	14.645	4.910	1.770	1.824	3.151	2.979	0.766	0.076	0.097
B35	68.427	14.409	5.093	2.723	1.907	3.208	3.285	0.728	0.099	0.121

사이에 위치하지만, 상대적으로 한국 기원의 퇴적물에 근접한 영역에 나타난다(Fig. 4b). Al₂O₃와 MgO 함량 비를 도시한 자료에서는 Fe/Al과 Mg/Al 함량 비와 마찬가지로 한국과 중국 기원의 퇴적물 사이에 위치하며, 상대적으로 한국 기원에 근접한다(Fig. 4c). Al₂O₃와 K₂O 함량 비를 도시한 자료에서는 중국 기원의 퇴적물을 황하강과 양쯔강 기원의 퇴적물로 분

류하였을 때 양쯔강과 한국 기원의 퇴적물이 만나는 곳에 도시되었다(Fig. 4d).

흑산니질대에서 주성분 원소의 공간분포 양상을 확인하기 위해 흑산니질대 중심퇴적체를 따라 북쪽에 위치한 7개의 시료(P16, B30, B31, B32, B33, B34, B35), 남쪽에 위치한 퇴적체 주변부에서 4개의 시료(B01, B02, B03, B04), 동쪽에 위치한 6개의 시료

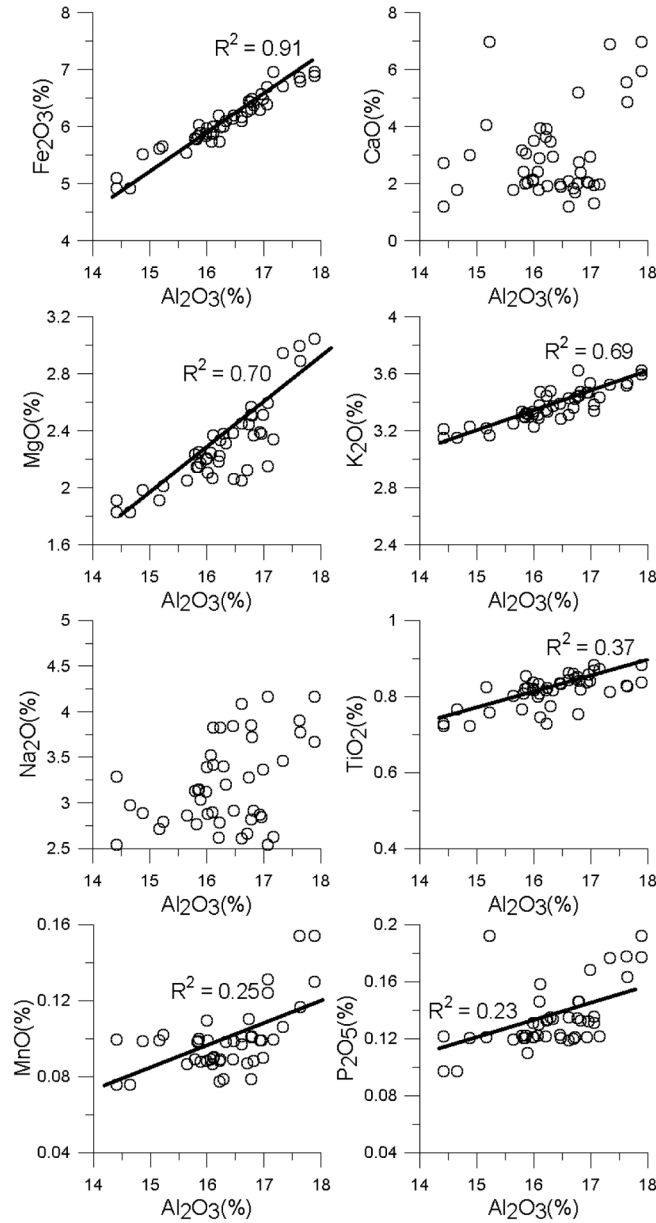


Fig. 3. Correlations between Al₂O₃ (%) and major elements contents (%) in the Huksan Mud Belt sediments.

(P08, P09, B12, B15, B17, B20), 그리고 서쪽에 위치한 6개의 시료(P06, P07, B13, B18, B19, B22)를 각각 선택하여 그룹화하였다(Fig. 1b). Fig. 5는 위에서 선택한 시료를 Fe/Al과 Mg/Al 함량 비, Al₂O₃와 MgO 함량 비로 각각 도시한 것이다. 흑산니질대 북쪽과 남쪽 시료를 비교한 결과, 남쪽 시료는 중국 기원에 가까운 함량 비를 보이며, 북쪽 시료는 한국 기원에 가까운 함량 비를 보인다(Fig. 5a, c). 그에 반

해 동쪽과 서쪽 시료는 Fe/Al과 Mg/Al, Al₂O₃와 MgO 함량 비 모두 비슷한 값을 나타낸다(Fig. 5b, d).

희토류 원소의 특성

흑산니질대 퇴적물의 희토류 원소 분석은 주성분 원소 분석과 마찬가지로 동일한 42개의 시료에 대해 분석하였다(Table 3). 희토류 원소의 농도는 La 31.9-66.7 ppm (평균 38.05 ppm), Ce 61.5-143 ppm (평균

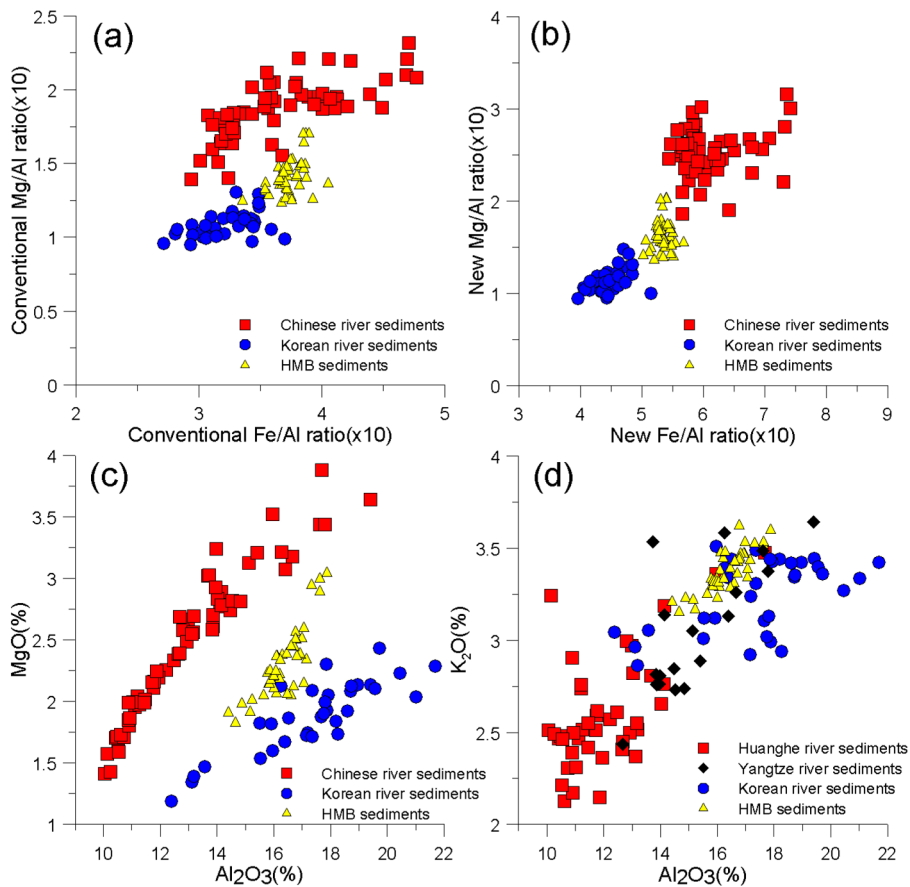


Fig. 4. Comparison of discrimination plots between conventional Al-normalizing ratio (a) and newly calculated Al-normalizing ratio (b) adapted from Lim et al. (2007b). Pair diagrams of Al_2O_3 (%) and MgO (c), and K_2O (d) of the Huksan Mud Belt (HMB) sediments. Data of Korean and Chinese river sediments from Lim et al. (2007b).

76.95 ppm), Pr 7.55-15.3 ppm (평균 8.96 ppm), Nd 27.2-47.4 ppm (평균 31.64 ppm), Sm 5.23-8.37 ppm (평균 5.9 ppm), Eu 1.1-1.38 ppm (평균 1.19 ppm), Dy 3.89-5.29 ppm (평균 4.32 ppm), Ho 0.89-1.2 ppm (평균 0.98 ppm), Er 2.18-3.08 ppm (평균 2.44 ppm), Yb 2.1-2.99 ppm (평균 2.37 ppm), Lu 0.37-0.51 ppm (평균 0.41 ppm)이다. 흑산니질대 퇴적물의 총 희토류 원소 농도는 144.02-291.01 ppm (평균 173.22 ppm)을 보여 상부대륙지각(upper continental crust, UCC: 146 ppm)보다 높고, 시생대 후기 호주셰일(post-Archean average Australian shale, PAAS: 183 ppm) 보다 낮다(Taylor and McLennan, 1995). 희토류 원소의 농도는 입도와 중광물 함량의 영향을 받기 때문에 알려져 있으나(Zhang et al., 1998; Yang et al., 2002; Jung et al., 2006), 연구지역 퇴적물의 입도와

La, Yb의 농도 비의 상관관계는 미약하며, Th와 La의 농도 비에서는 뚜렷한 양의 상관관계가 나타난다(Fig. 6).

상부대륙지각(UCC)의 희토류 원소 농도로 정규화(normalized)된 흑산니질대 퇴적물의 평균 희토류 원소 분포 양상을 한국과 중국 강 퇴적물과 함께 도시하였다(Fig. 7). 흑산니질대 퇴적물의 경희토류원소(LREE)가 중희토류원소(HREE)보다 약간 부화(enriched)된 형태를 보이며, Eu에서 가장 큰 부화 값을 나타낸다.

한국 기원 퇴적물은 중국 기원 퇴적물의 희토류 원소 분포 양상과 분명히 구분된다(Jung et al., 2006; Xu et al., 2009). 두 기원의 퇴적물과 흑산니질대 퇴적물을 비교하면, 경희토류원소에 해당하는 La, Ce, Pr은 양쯔강 기원과 유사하게 도시되고, Nd,

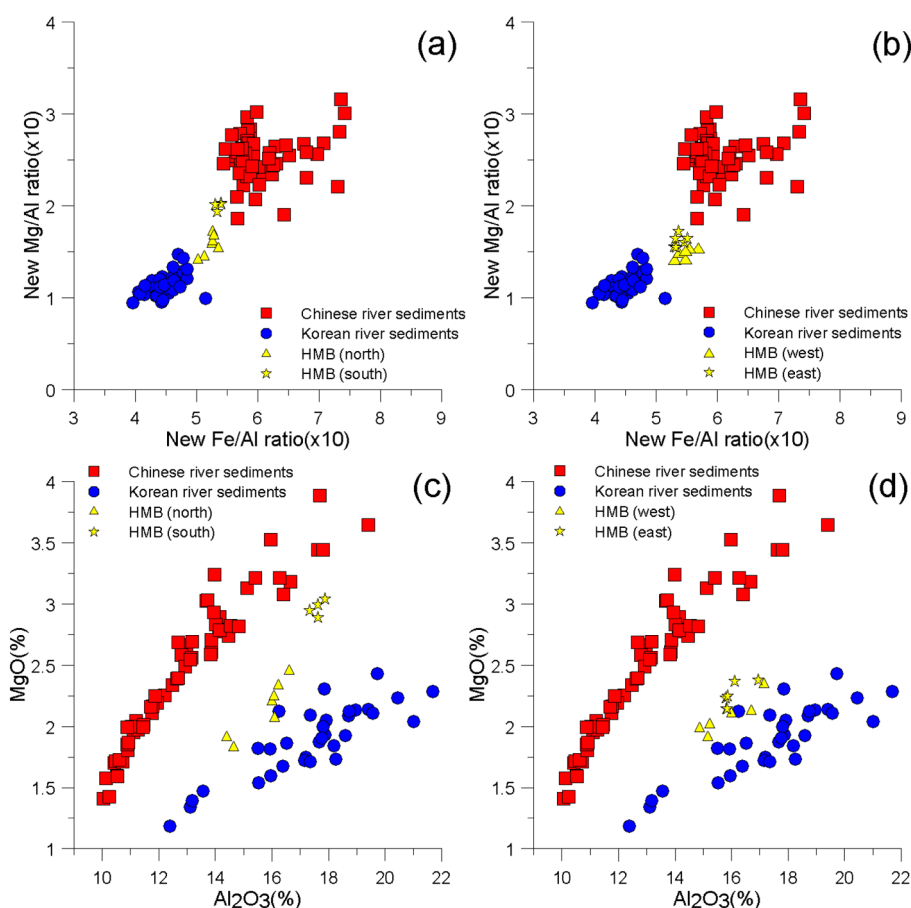


Fig. 5. Discrimination plot of Mg/Al against Fe/Al from the northern and southern Huksan Mud Belt (HMB) sediments (a), the western and eastern Mud Belt sediments (b). Pair diagrams between MgO (%) and Al₂O₃ (%) from the northern and southern Huksan Mud Belt sediments (c), the western and eastern Mud Belt sediments (d).

Sm, Eu는 황하 강을 제외한 한국과 중국 기원보다 낮은 값에 도시된다. 하지만 중희토류원소는 모두 비슷한 값을 나타낸다. 따라서 흑산니질대 퇴적물의 평균 희토류 원소 분포 양상은 한국과 중국 기원 중 중국 기원이 우세한 형태를 보이며 특히 양쯔강 기원과 유사하다(Fig. 7).

위의 주성분 원소 함량 분석과 마찬가지로 흑산니질대에서 공간적인 희토류 원소 분포 특성을 알아보았다. 흑산니질대 북쪽과 남쪽 퇴적물의 희토류 원소 분포 양상은 북쪽 퇴적물이 전체적으로 높은 부화된 값을 보이고, 중희토류원소에서 한국과 중국 기원 퇴적물보다 높은 분포양상이 나타난다(Fig. 8a). 또한 북쪽 퇴적물은 한국과 중국 기원의 중간형태, 남쪽은 중국 기원의 형태와 비슷한 분포양상을 띤다. 동쪽과 서쪽 퇴적물의 경우, 경희토류원소는 동쪽 퇴적물이

서쪽 퇴적물보다 높은 양상을 보이지만 중희토류원소는 유사한 양상을 보이며 동쪽 퇴적물은 한국 기원 퇴적물과 비슷한 분포형태를, 서쪽 퇴적물은 중국 기원 퇴적물과 비슷한 분포형태를 갖는다(Fig. 8b).

토 의

흑산니질대 퇴적물의 지화학적 특성

흑산니질대 퇴적물의 주성분 원소와 희토류 원소는 입도와 원소 함량의 상관성에서 차이를 보인다. 연구 지역 퇴적물 주성분 원소의 경우, Fe₂O₃, MgO, K₂O 원소들은 입도의 영향을 받고 있다(Fig. 3). 이는 한국과 중국 기원의 퇴적물과 마찬가지로 대부분의 지화학적 조성이 퇴적물의 입도, 특히 세립의 경우 알루미늄-규산염 광물의 영향을 받는 것으로 확인되었

Table 3. Rare earth elements (ppm) of surface sediments in the Huksan Mud Belt

Sample No.	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Dy	Ho	Er	Yb	Lu	REE	LREE	HREE
P01	33.6	67.7	7.89	28.1	5.36	1.11	3.95	0.89	2.26	2.15	0.38	153.39	143.76	9.63
P02	32.8	66.4	7.76	27.8	5.33	1.12	3.96	0.9	2.23	2.16	0.38	150.84	141.21	9.63
P04	35.5	72	8.43	29.8	5.7	1.15	4.13	0.92	2.3	2.22	0.38	162.53	152.58	9.95
P06	37.6	76.5	8.8	31.2	5.84	1.24	4.44	0.99	2.52	2.42	0.42	171.97	161.18	10.79
P07	36.8	76.1	8.75	31.2	5.83	1.24	4.42	0.97	2.48	2.38	0.41	170.58	159.92	10.66
P08	35.8	71.9	8.4	29.8	5.75	1.18	4.25	0.94	2.44	2.34	0.4	163.2	152.83	10.37
P09	66.7	143	15.3	47.4	6.88	1.38	4.27	0.93	2.39	2.37	0.39	291.01	280.66	10.35
P10	38.8	77.9	8.98	31.9	6.09	1.26	4.5	1.05	2.6	2.53	0.41	176.02	164.93	11.09
P11	36.7	75.9	8.75	31.1	5.92	1.24	4.49	1	2.58	2.47	0.42	170.57	159.61	10.96
P13	39.5	78.6	8.93	31.8	5.95	1.27	4.3	0.98	2.4	2.34	0.41	176.48	166.05	10.43
P14	36.9	73.7	8.51	30.3	5.66	1.22	4.04	0.96	2.34	2.19	0.39	166.21	156.29	9.92
P15	37.9	75.9	8.83	31.4	5.95	1.26	4.33	1	2.39	2.36	0.41	171.73	161.24	10.49
P16	38.5	77.9	9.02	32	6.01	1.24	4.42	1.04	2.51	2.47	0.42	175.53	164.67	10.86
B01	33.1	68.9	8	28.4	5.34	1.15	3.95	0.9	2.21	2.14	0.37	154.46	144.89	9.57
B02	31.9	61.5	7.55	27.2	5.23	1.13	3.89	0.89	2.18	2.18	0.37	144.02	134.51	9.51
B03	32.8	67.9	7.88	28.5	5.4	1.16	4.06	0.91	2.26	2.26	0.37	153.5	143.64	9.86
B04	32.4	62.2	7.6	27.6	5.29	1.14	3.97	0.92	2.24	2.24	0.37	145.97	136.23	9.74
B06	33.2	66.9	7.86	28.6	5.39	1.14	3.98	0.97	2.25	2.15	0.38	152.82	143.09	9.73
B07	34	63.1	8.03	28.6	5.42	1.16	3.95	0.9	2.22	2.18	0.38	149.94	140.31	9.63
B08	32.6	68.4	8.09	28.7	5.57	1.18	4.05	0.95	2.35	2.21	0.39	154.49	144.54	9.95
B10	36.3	73.2	8.54	30.5	5.82	1.2	4.25	0.98	2.45	2.36	0.41	166.01	155.56	10.45
B12	37.3	74.1	8.57	30.1	5.66	1.21	4.28	0.97	2.45	2.42	0.42	167.48	156.94	10.54
B13	35.1	71.7	8.39	30.1	5.73	1.17	4.02	0.89	2.2	2.1	0.37	161.77	152.19	9.58
B15	34.5	69.3	8.06	28.9	5.49	1.13	3.96	0.9	2.2	2.11	0.37	156.92	147.38	9.54
B17	53.8	97.9	12.2	42.4	7.52	1.23	4.83	1.07	2.62	2.55	0.44	226.56	215.05	11.51
B18	37.3	72.2	8.66	31.1	5.81	1.23	4.4	0.99	2.45	2.4	0.41	166.95	156.3	10.65
B19	35.5	71.4	8.39	30.1	5.66	1.19	4.34	1	2.48	2.51	0.43	163	152.24	10.76
B20	55.7	112	13.1	46.3	8.37	1.28	5.11	1.14	2.8	2.69	0.48	248.97	236.75	12.22
B22	33.9	68.5	7.9	28.5	5.44	1.15	4.21	0.97	2.38	2.3	0.41	155.66	145.39	10.27
B23	37.6	76.1	8.8	31.7	6	1.23	4.41	1	2.52	2.42	0.41	172.19	161.43	10.76
B24	35.6	71.9	8.38	30.1	5.7	1.19	4.27	0.96	2.42	2.33	0.41	163.26	152.87	10.39
B25	38.5	74.1	8.79	30.8	5.61	1.18	4.22	0.97	2.37	2.33	0.4	169.27	158.98	10.29
B26	45.2	94.6	10.7	35.8	6.12	1.24	4.2	0.95	2.41	2.35	0.4	203.97	193.66	10.31
B27	47.6	98.4	10.6	35.9	6.19	1.22	4.24	0.95	2.35	2.31	0.4	210.16	199.91	10.25
B28	40.9	77.6	9.62	33.9	6.3	1.2	4.63	1.06	2.62	2.47	0.43	180.73	169.52	11.21
B29	36.6	75.5	8.79	31.4	5.97	1.2	4.56	1.04	2.6	2.47	0.44	170.57	159.46	11.11
B30	33	68.1	8.02	28.3	5.48	1.14	4.19	0.96	2.4	2.3	0.41	154.3	144.04	10.26
B31	40.4	80.4	9.62	34.1	6.61	1.2	5.29	1.19	2.92	2.75	0.48	184.96	172.33	12.63
B32	36.5	79.2	8.99	32.1	6.21	1.17	5.19	1.2	3.08	2.74	0.48	176.86	164.17	12.69
B33	39.1	84.1	9.47	33.8	6.46	1.21	4.88	1.1	2.75	2.47	0.44	185.78	174.14	11.64
B34	36.3	73.7	8.36	29.9	5.59	1.13	4.13	0.96	2.36	2.38	0.42	165.23	154.98	10.25
B35	36.6	74.7	8.72	30.7	5.97	1.12	4.74	1.08	2.76	2.99	0.51	169.89	157.81	12.08
Mean	38.10	76.93	8.95	31.62	5.90	1.20	4.33	0.98	2.45	2.37	0.41	173.23	162.70	10.54
Min.	31.90	61.50	7.55	27.20	5.23	1.11	3.89	0.89	2.18	2.10	0.37	144.02	134.51	9.51
Max.	66.70	143.0	15.30	47.40	8.37	1.38	5.29	1.20	3.08	2.99	0.51	291.01	280.66	12.69

다(Cho et al., 1999; Youn et al., 2006). Na 및 Ca는 풍화작용에 의해 쉽게 제거되고(Nesbitt et al., 1980), 화학적 작용에 약하므로, 퇴적물 운반 중 그 함량이 조절되어 기원지의 추적자로 부적합 한 것으

로 보인다. 또한, Na은 해수의 염분에 의해, Ca는 화학적, 생물학적으로 형성되는 탄산염(carbonate)의 영향을 받는 것으로 알려졌다. 이와 같이, 주성분 원소 중 Fe₂O₃, MgO 원소는 선행 연구에서 퇴적물 기원

지를 밝히는 추적자로 사용되어 왔으며, 이 연구에서는 K₂O 원소를 추가로 기원지 구분에 활용하였다 (Fig. 4).

퇴적물 내 희토류 원소는 석영과 탄산염 광물에서 낮은 함량을 보이기 때문에 일반적으로 모래보다 점토와 실트 퇴적물에서 높은 함량을 보인다(McLennan, 1989). 한국과 중국 기원 퇴적물 또한 일반적으로 점토의 함량이 높을수록 희토류원소(REE) 함량이 증가하는 것으로 알려졌으나(Yang et al., 2002; Song and Choi, 2009; Xu et al., 2009), 본 연구지역 퇴적물의 경우 희토류 원소 함량과 입도와의 상관관계가 나타나지 않으므로, 다른 요인에 의해 함량이 조절되는 것으로 생각된다(Fig. 6). Jung et al. (2006)는 북동중국해 퇴적물 중 한국 기원 퇴적물의 희토류 원소 함량의 주요 제한인자를 Th와 La의 농도 비에서 강한 상관관계를 보이는 중광물인 모나자이트((Ce, La)PO₄)로 해석하였다. 흑산니질대 퇴적물 또한 Th와 La의 농도 비에서 강한 상관관계를 보이므로 중광물에 의해 희토류원소 함량이 조절되는 것으로 생각된다(Fig. 6).

흑산니질대 퇴적물의 기원지 해석

흑산니질대 퇴적물의 입도, 주성분 원소와 희토류 원소 함량 특성에 따른 기원지 추정 결과, 한국과 중국으로부터 퇴적물이 공급되어 형성된 혼합 복합체로 해석된다(Figs. 4, 7). 그러나 주성분 원소의 함량 특성은 한국 기원의 퇴적물이 우세한 반면, 희토류 원소는 중국 기원의 퇴적물이 우세하게 나타난다(Figs. 4, 7). 이러한 기원지 해석의 차이는 서로 다른 원소 함량 조절요인에 의한 것으로 생각된다. 주성분 원소는 한국과 중국 기원의 퇴적물과 마찬가지로 흑산니질대 퇴적물에서 입도와 양의 상관관계를 보이므로 동일한 함량 조절요인의 특징을 갖는다(Cho et al., 1999; Youn et al., 2006; Fig. 3). 반면 희토류 원소는 한국과 중국 기원의 퇴적물은 입도와 양의 상관관계를 보이지만(Yang et al., 2002; Song and Choi, 2009; Xu et al., 2009), 흑산니질대 퇴적물은 입도보다는 중광물에 의해 그 함량이 영향을 받는다(Fig. 6). Jung et al. (2006)는 희토류 원소 함량 주요조절인자로 중광물인 모나자이트를 제안하였다. 연구지역의 Th과 La의 농도비는 뚜렷한 상관관계가 나타나는 것으로 보아, 희토류 원소의 분포는 중광물이 영향을 미치는 것으로 생각된다. 이와 같이, 주성분 원소와

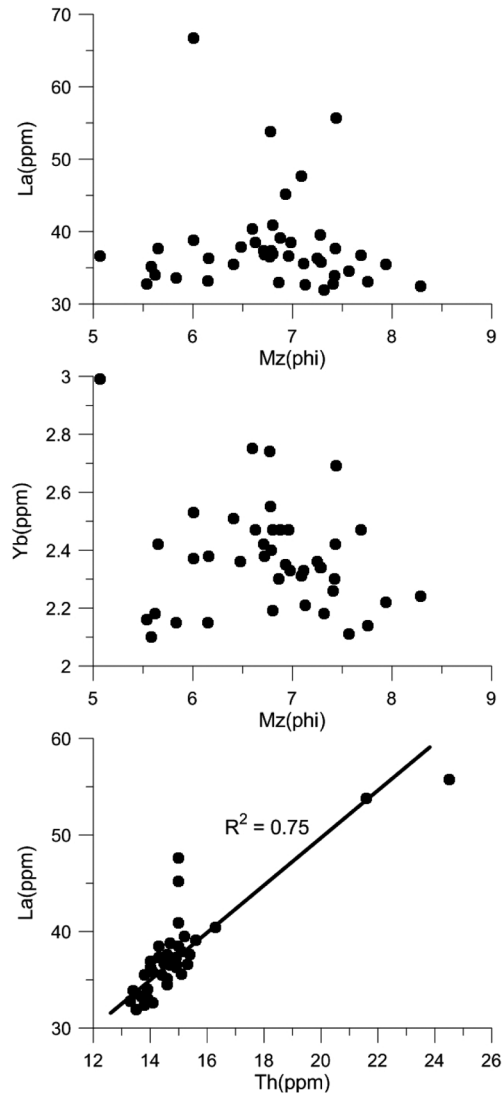


Fig. 6. Correlations between REE concentrations and grain sizes, and plot of La against Th in the Huksan Mud Belt sediments.

희토류 원소의 함량 특성은 퇴적물 기원지에 대한 서로 다른 결과를 낳는다. 하지만 이 연구의 결과는 퇴적물 기원지의 불일치에 대하여 주성분과 희토류 원소 중 어떤 것이 적합한 것인지 결정하기 어렵다. 이것을 해결하기 위해서는 물리적 풍화 및 화학적 작용에 비교적 영향을 받지 않는 중광물 함량에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

퇴적물 지화학 원소 함량의 공간분포 양상에 근거한 기원지 변화를 살펴보면, 주성분과 희토류 원소 함량 모두 북쪽지역의 시료에서는 한국 기원의 퇴적

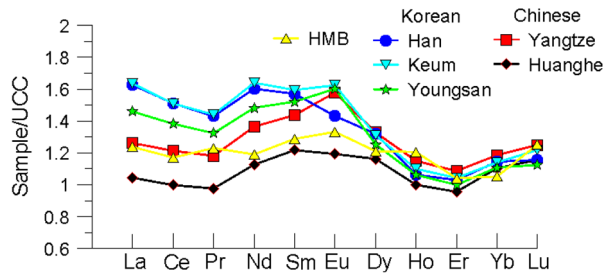


Fig. 7. UCC-normalized REE distribution patterns in the Huksan Mud Belt (HMB) sediments. Data of Korean and Chinese river sediments from Xu et al. (2009).

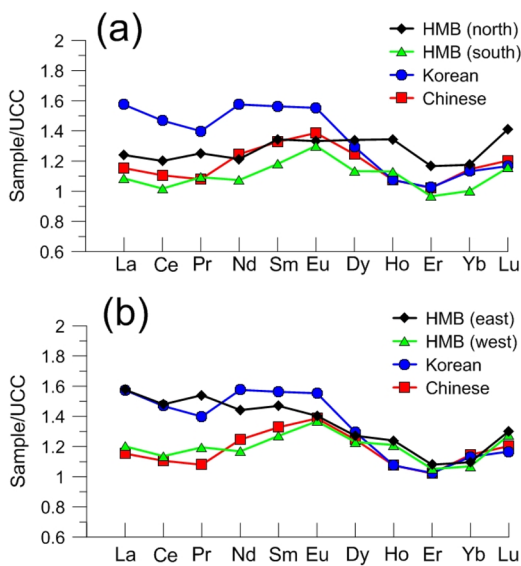


Fig. 8. Averaged UCC-normalized REE patterns of the Huksan Mud Belt sediments from the northern and southern areas (a), averaged REE patterns of data from the eastern and western areas of the Huksan Mud Belt (b).

물이 우세하고, 퇴적층의 말단부인 남쪽지역의 시료는 중국 기원의 퇴적물이 우세한 특징을 보인다(Figs. 5, 8). 표층퇴적물의 분포 양상은 북쪽에서 남쪽으로 갈수록 실트의 함량은 감소하고 점토의 함량은 증가하였다(Fig. 2b, c). 따라서 한국 기원은 실트 퇴적물이 우세한 반면, 중국 기원은 점토 퇴적물에서 우세하다. 이는 Lim et al. (2007b)가 흑산니질대 퇴적물 입도에 따라 그 기원을 다르게 평가한 결론과 일치한다.

결론

흑산니질대의 표층에서 획득한 51점의 퇴적물에

대하여 주성분 원소와 희토류 원소를 분석하였다. 이들의 함량 특성은 흑산니질대가 한국과 중국 기원의 퇴적물이 공급되어 형성된 혼합 복합체임을 시사한다. 공간적으로는 실트가 우세한 흑산니질대의 북쪽지역 퇴적물은 한국 기원이, 점토가 우세한 남쪽지역 퇴적물은 중국 기원이 각각 우세하다. 그러나 주성분과 희토류 원소 함량은 퇴적물 기원지 해석에 있어 상이한 결과를 낳았다. 주성분 원소는 한국 기원의 퇴적물이 우세한 특징을 보인 반면에, 희토류 원소 분포양상은 중국 기원의 퇴적물이 우세한 특징이 나타났다. 동일 시료 내에서 분석 원소에 따른 기원지의 불일치는 주성분과 희토류 원소의 함량 조절요인이 서로 다르기 때문으로 생각된다. 흑산니질대 주성분 원소의 경우, 입도와 높은 상관관계로 보아 그 함량은 입도에 강한 영향을 받는 것으로 나타난다. 희토류 원소는 입도와 뚜렷한 상관관계가 나타나지 않으며 중광물에 의해 조절되는 것으로 해석된다. 이러한 불일치를 해결하기 위해서 퇴적물 내 중광물에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

사사

이 연구는 한국지질자원연구원의 기본사업 과제 (GP2012-005)에 의해 지원되었습니다. 지화학분석에 도움을 준 엄인권 연구원과 지화학 자료 검증 및 해석에 조언을 해준 정종욱(경상대학교) 박사께 감사드립니다. 본 논문의 세심한 검토와 지적으로 도움을 주신 양우현 교수님, 최진용 교수님, 백영숙 박사님, 그리고 익명의 심사위원회 감사사를 드립니다.

References

Alexander, C.R., DeMaster, D.J., and Nittrouer, C.A., 1991,

- Sediment accumulation in a modern epicontinental-shelf setting: The Yellow Sea. *Marine Geology*, 98, 51-72.
- Calvert, S.E., 1976, The mineralogy and geochemistry of near-shore sediments. In Riley, J.P. and Chester, R. (ed.), Academic Press, London, 6, 187-280.
- Carver, R.E., 1971, *Procedures in Sedimentary Petrology*. Wiley-Interscience, New York, 652 p.
- Cho, H.G., Kim, S.O., and Yi, H.I., 2012, Clay mineral distribution and characteristics in the southeastern Yellow Sea mud deposits. *Journal of Mineralogical Society of Korea*, 25, 163-173. (in Korean)
- Cho, Y.G., Lee, C.B., and Choi, M.S., 1999, Geochemistry of surface sediments off the southern and western coasts of Korea. *Marine Geology*, 159, 111-129.
- Choi, J.Y., Lim, D.I., Park, C.H., Kim S.Y., Kang, S.R., and Jung, J.S., 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. *Journal of the Geological society of Korea*, 46, 497-509. (in Korean)
- Chough, S.K. and Kim, D.C., 1981, Dispersal of fine-grained sediments in the southeastern Yellow Sea: a steady-state model. *Journal of Sedimentary Petrology*, 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 sea deposits, central-eastern Yellow Sea. *Marine Geology*, 188, 317-331.
- Folk, R.L., 1968, *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill's, Austin, Texas, 170 p.
- Jin, J.H., and Chough, S.K., 1998, Partitioning of transgressive deposits in the southeastern Yellow Sea: a sequence stratigraphic interpretation. *Marine Geology*, 149, 79-92.
- Jung, H.S., Lim, D.I., Yang, S.Y., and Yoo, H.S., 2006, Constraints of REE distribution patterns in core sediments and their provenance, northern East China Sea. *Economic and Environmental Geology*, 39, 39-51. (in Korean)
- Khim, B.K., 1988, Sedimentological study of the muddy deposition in the Yellow Sea, Unpublished M.S. thesis, Seoul National University, Seoul, Korea, 106 p.
- Klaver, G. Th., and van Weering, T.C.E., 1993, Rare earth element fractionation by selective sediment dispersal in surface sediments: the Skagerrak. *Marine Geology*, 111, 345-359.
- Kong, G.S., Park, S.-C., Han, H.-C., and Chang, J.H., Mackensen, A., 2006, Late Quaternary paleoenvironmental changes in the southeastern Yellow Sea, Korea. *Quaternary International*, 144, 38-52.
- Lee, H.J., and Chu, Y.S., 2001, Origin of inner-shelf mud deposit in the southeastern Yellow Sea: Huksan Mud Belt. *Journal of Sedimentary Research*, 71, 144-154.
- Lim, D.I., 2003, Geochemical compositions of coastal sediments around Joju Island, South Sea of Korea: potential provenance of sediment. *Journal of Korean Earth Science Society*, 24, 337-345.
- Lim, D.I., Choi, J.Y., Jung, H.S., Rho, K.C., and Ahn, K.S., 2007a, Recent sediment accumulation and origin of shelf mud deposits in the Yellow and East China Seas. *Progress in Oceanography*, 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. *Journal of Korean Earth Science Society*, 28, 311-323. (in Korean)
- McLennan, S.M., 1989, Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes. *Mineralogical Society of America Reviews in Mineralogy*, 21, 169-200.
- Milliman, J.D. and Meade, R.H., 1983, World-wide delivery of river sediment to the oceans. *Journal of Geology*, 91, 1-21.
- Moon, D.H., Yi, H.I., Shin, K.H., Do, J.Y., and Cho, H.G., 2009, Mineral distribution of the southeastern Yellow Sea and South Sea of Korea using Quantitative XRD Analysis. *Journal of Mineralogical Society of Korea*, 22, 49-61. (in Korean)
- Nesbitt, H.W., Markovics G., and Prince, R.C., 1980, chemical processes affecting alkalis and alkaline earths during continental weathering. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44, 1659-1666.
- 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. *Marine Geology*, 170, 271-288.
- Park, Y.A., and Khim, B.K., 1992, Origin and dispersal of recent clay minerals in the Yellow Sea. *Marine Geology*, 104, 205-213.
- Song, Y.H., and Choi, M.S., 2009, REE geochemistry of fine-grained sediments from major rivers around the Yellow Sea. *Chemical Geology*, 266, 328-342.
- Taylor, S.R., and McLennan, S.M., 1995, The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews of Geophysics*, 33, 241-265.
- Vital, H., Statterger, K., and Garbe-Schonberg, C.D., 1999, Composition and trace-element geochemistry of detrital clay and heavy-mineral suites of the lowermost Amazon River: a provenance study. *Journal of Sedimentary Research*, 69, 563-575.
- 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: epicontinental 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.

- Xu, Z., Lim, D.I., and Choi, J.Y., 2009, Rare earth elements in bottom sediments of major rivers around the Yellow Sea: implications for sediment provenance. *Geo-Marine Letters*, 29, 291-300.
- Yang, S.Y., Jung, H.S., Choi, M.S., and Li, C.X., 2002, The rare earth element compositions of the Changjiang (Yangtze) and Huanghe (Yellow) river sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, 201, 407-419.
- Yang, S.Y., Jung, H.S., and Li, C.X., 2004, Two unique weathering regimes in the Changjiang and Huanghe drainage basins: geochemical evidence from river sediments. *Sedimentary Geology*, 164, 19-34.
- Yang, S.Y., Jung, H.S., Lim, D.I., 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.
- Youn, J.S., Byun, J.C., and Kim, Y.S., 2006, Geochemical characteristics of the outer-shelf muddy sediments in the East China Sea. *Journal of Korean Earth Science Society*, 27, 198-208. (in Korean)
- Youn, J.S., and Kim, T.J., 2008, Geochemical composition and provenance of surface sediments in the western part of Jeju Island, Korea. *Journal of Korean Earth Science Society*, 29, 328-340. (in Korean)
- Zhang, C.S., Wang, L.J., and Zhang, S., 1998, Geochemistry of rare earth elements in the mainstream of the Yangtze River, China. *Applied Geochemistry*, 13, 451-462.

2013년 4월 10일 접수
2013년 6월 4일 수정원고 접수
2013년 8월 1일 채택