



저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#) 

博士學位論文

보하이만, 황해 남동해역 및
동중국해 양자강 하구역 니질 퇴적물의
지화학적 조성과 기원지 연구

濟州大學校 大學院

海洋學科

朴 相 運

2013年 02月

보하이만, 황해 남동해역 및 동중국해 양자강 하구역 니질 퇴적물의 지화학적 조성과 기원지 연구

指導教授 尹正守

朴相運

이 論文을 理學 博士學位 論文으로 提出함

2013年 02月

朴相運의 理學 博士學位 論文을 認准함

審査委員長

李 峻 佰

委 員

方 益 燦

委 員

崔 永 贊

委 員

徐 榮 教

委 員

尹 正 守

濟州大學校 大學院

2013年 02月



Geochemical composition and provenance of
muddy sediments in the Gulf of Bohai Sea,
Southeastern Yellow Sea and Changjiang River
estuary of East China Sea

Sang-Woon Park
(Supervised by professor Jeung-su Youn)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree of
Doctor of Science

2013. 02.

This thesis has been examined and approved.

이진백
.....
Thesis director, Joon-Baek Lee, Prof. of Earth and Marine Sciences

방익환
.....
Thesis director, Ig-Chan Pang, Prof. of Earth and Marine Sciences

최영환
.....
Thesis director, Young-Chan Choi, Prof. of Earth and Marine Sciences

서영근
.....
Thesis director, Young-Kyo Seo, Dr. of Marine Geology

윤정수
.....
Thesis director, Jeungsu Youn, Prof. of Earth and Marine Sciences

February. 2013.

Department of Oceanography
GRADUATE SCHOOL
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

List of Figures	ii
List of Tables	iv
Summary	v
I. 서 론	1
II. 재료 및 연구방법	
1. 시료 채취	6
2. 시료 분석	7
III. 결과 및 고찰	
1. 퇴적물의 입도조성과 유기물 함량	8
2. ^{210}Pb 동위원소에 의한 퇴적속도 추정	15
3. 퇴적물 내 지화학적 특성에 의한 기원지 추정	18
3-1. 주성분 원소 및 미량원소	18
3-2. 희토류 원소	39
IV. 결 론	53
참고문헌	55
Appendix	62
감사의 글	87

List of Figures

Fig. 1. Study area, sampling sites and bathymetry in the Bohai Sea, Yellow and East China Seas. contours in meters.	6
Fig. 2. Total organic carbon contents vs. C/N ratios of Gulf of Bohai Sea, southeastern Yellow Sea and Changjiang River's submerged delta sediments.	14
Fig. 3. Depth profiles of ^{210}Pb activity from cores BS200702 in the Gulf of Bohai Sea.	17
Fig. 4. Comparison of the geochemical indices of $(\text{Al}+\text{Fe})/(\text{Ca}+\text{Mg}+\text{K})$, $(\text{Ca}-\text{Fe})/\text{Al}$ and $(\text{Ca}-\text{Mg})/\text{K}$	19
Fig. 5. Discrimination plots of Sc/Al vs Cr/Th , Th/Sc vs Nb/Co , Ti/Nb vs Th/Sc and Th/Sc vs Zr/Sc	38
Fig. 6. Correlation between REE and sediment grain size.	41
Fig. 7. Chondrite normalized REE diagram of the Huanghe, Changjiang and Keum River's sediment.	42
Fig. 8. Chondrite normalized REE diagram of the Gulf of Bohai Sea Sediments (GBSS).	44

Fig. 9. The Upper Continental Crust (UCC) normalized diagram of the Gulf of Bohai Sea Sediments (GBSS).	45
Fig. 10. Chondrite normalized REE diagram of the Southeastern Yellow Sea Sediments (SEYSS).	47
Fig. 11. The Upper Continental Crust (UCC) normalized diagram of the Southeastern Yellow Sea Sediments (SEYSS).	48
Fig. 12. Chondrite normalized REE diagram of the Changjiang River's Submerged Delta Sediments (CRSDS).	51
Fig. 13. The Upper Continental Crust (UCC) normalized diagram of the Changjiang River's Submerged Delta Sediments (CRSDS).	52

List of Tables

Table 1. Sediment composition organic material content of the sediments in the Gulf of Bohai, Yellow and East China Seas.	9
Table 2. Elements concentration of the Gulf of Bohai, Yellow and East China Seas sediments in comparison to Huanghe (HURS), Changjiang (CHRS), Keum Rivers sediments and UCC, PAAS and NASC.	21

Summary

Geochemical composition and provenance of muddy sediments in the Gulf of Bohai Sea, Southeastern Yellow Sea and Changjiang River estuary of East China Sea

Major, trace and rare earth element (REE) chemistry of the muddy sediments, situated in the Yellow and northern East China Seas, have been investigated. Calcium carbonate and total organic carbon of the Gulf of Bohai Sea sediments are more enriched in the southwestern muddy sediments than in the muddy sand facies northeastern part. The sedimentation rate calculated by Pb^{210} geochronology in the Gulf of Bohai Sea muddy sediments shows 0.65cm/yr. suggesting that the Huanghe River suspended sediments were supplied to the Bohai Sea.

The C/N ratios in the study area varies between 7.2 to 14.46 and the large amount of the organic matter have been supplied from the terrigenous. The discrimination diagrams including Sc/Al, Cr/Th, Nb/Co, Th/Sc, Ti/Nb and Zr/Sc were thus used as provenance indicators to identify the sediment origins of the study area. Based on the discriminated diagrams distinctly that the sediments in the Gulf of Bohai Sea are mostly derived from the Huanghe River and the Changjiang River's submerged delta sediments came from Changjiang River, whereas the southeastern Yellow Sea muddy sediments originated from Korean and Chinese rivers. The most of study area sediments show very similar chondrite-normalized REE pattern having enriched LREE ($La_{(N)}/Sm_{(N)} > 3.8$) and obvious negative Eu anomaly, typical of average shales. The UCC-normalized pattern of the Bohai Sea sediments depleted REE forms with notable negative anomaly both of Eu and Tm

is similar to that of the Huanghe sediment. The REE patterns of the Changjiang River's submerged delta sediments are more linear and display convex shapes with enrichment of middle REE, which indicate they are derived from Changjiang River. In contrast, REE patterns for southeastern Yellow Sea mud showed similar to REE patterns both of the Keum and Huanghe Rivers sediment.

I. 서론

본 연구해역은 황해 보하이만 지역과 황해 남동부 그리고 동중국해 북부가 포함되는 대륙붕지역으로 주변 육지로부터 다양하게 퇴적물을 공급받고 있는 지역이다.

황해는 한반도와 중국대륙으로부터 둘러싸여 있는 평균 수심이 50m에 달하는 반 폐쇄형의 천해수역으로 북쪽으로는 보하이만과 연결되며, 양자강 하구역의 귀동(Qidong)에서 제주도 에 이르는 경계면을 따라 남쪽으로는 동중국해와 접해있다. 해저지형은 편평한 서부수역과 경사가 급한 동부수역으로 구분이 뚜렷하며, 수심은 연안쪽에서 중심부로 갈수록 증가하여 중앙부에서 분지지형을 형성한다.

황해 대륙붕에는 중국의 황하강과 양자강으로부터 각각 $1.2 \times 10^9 \text{ton/yr}$, $4.9 \times 10^8 \text{ton/yr}$ 에 달하는 육상기원 퇴적물이 공급되며, 또한 한반도의 여러 강으로부터 $1 \sim 4 \times 10^7 \text{ton/yr}$ 의 퇴적물이 공급된다(Schubel et al., 1984; Wang et al., 1986). 중국의 주요 강들로부터 유입된 퇴적물 대부분은 황해의 서부와 중앙부에 퇴적되며, 황해 동쪽부분의 상대적으로 좁은 해역은 한반도의 크고 작은 강을 통해 유입된 퇴적물이 분포하는 것으로 보고 되었다(Chough and Kim 1981; Alexander et al., 1991).

보하이만 해역(Gulf of Bohai Sea)은 3면이 육지로 둘러싸여있고 동쪽으로 열려 있으며 보하이 해협을 통해 황해와 연결되어 있다. 총면적은 약 $78 \times 10^3 \text{km}^2$ 이고, 평균 수심이 약 20m로 매우 얇은 편이며 해협 북쪽에서 최대수심이 약 70m를 보인다(Wang et al., 1986). 황하강 유로가 1855년에 산둥반도 북쪽지역으로 변경됨에 따라 환허강(Luanhe River)과 하이리강(Haihe River)은 보하이 만으로 흘러 들어갔고, 약 $24.1 \times 10^6 \text{ton/yr}$ 정도의 육상퇴적물이 보하이만으로 유입되고 있으며 그 외 북한 국경과 접하는 압록강으로 부터는 약 $4.8 \times 10^6 \text{ton/yr}$ 정도의 퇴적물이 공급되고 있다(Wang et al., 1986).

중국의 양자강과 제주도, 일본의 규슈 및 류구열도, 대만을 연결하는 선 안쪽에 위치하는 북동중국해는 서태평양과 황해를 연결하는 수심 200m 이하의 넓은 대륙붕과 좁은 대륙사면 지역으로 이루어져 있으며(Qin et al., 1996; Liu et al., 2000),

제4기 후기 빙하기-간빙기에 일어난 전 지구적인 해수면 변동에 따라 대륙붕 해역은 육상과 천해역 환경이 반복된 지역이다(Li et al., 1999).

황하강은 세계에서 인도의 Ganges / Brahmaputra 강 다음으로 많은 양의 퇴적물을 방출하는 큰 강으로 중국의 서쪽에서 동쪽으로 흘러 보하이해로 흘러 들어 가고 있다. 강의 총 길이는 5,460km, 유역면적은 $7,524 \times 10^2 \text{km}^2$ 이며 1950년부터 1989년의 약 40년간 연평균 하천유량이 $4.0 \times 10^{10} \text{m}^3$, 부유 퇴적물 운반량은 $1.2 \times 10^9 \text{ton}$ 에 달해 황해지역의 퇴적작용에 큰 역할을 하고 있다(Saito and Yang, 1994). 황하는 과거 수 천년 동안 유로를 산둥반도를 중심으로 북쪽과 남쪽으로 변해왔다. 황하의 유로가 산둥반도 북쪽의 보하이해로 유입된 것은 1855년부터이고, 현재 황하 하구에는 대규모의 삼각주가 형성되어 있으며, 운반된 토사에 의해 해안선은 최근 10년간 15km 정도 바다로 뺏어 있다(Keller and Prior, 1986). 현재 황하강 기원 퇴적물은 70~80%가 해안선에서 약 20km 이내 지역에 주로 퇴적되고, 10~15%가 보하이만에 퇴적되며, 나머지 15~20% 정도가 산둥반도 동쪽부근에서 남하하여 황해 중앙부해역과 동중국해까지 운반·퇴적되는 것으로 알려져 있다(Saito and Yang, 1994). 한편, 황하는 1128년부터 1855년 기간 동안에는 그 유로가 산둥반도 남쪽의 장수(Jangsu)지역에 위치하였으며 직접 황해로 흘러 들어갔다. 황하의 유로가 1855년 보하이해역으로 이동한 이후 장수 연안지역은 급격한 해안침식이 일어나 $1,400 \text{km}^2$ 의 연안육지 지역이 소실되었고, 연평균 $4.4 \times 10^8 \text{ton}$ 정도의 퇴적물이 생산되는 것으로 보고되었다(Satio, 1998). (고)황하기원 삼각주 퇴적물은 장수연안류 등에 의해 황해 중앙부해역과 동중국해 외대륙붕의 니토대분포지역(SWJIM)까지 운반되고 있는 것으로 알려져 있다(Milliman et al., 1985).

조사지역 남서쪽에 위치하는 양자강은 길이가 약 6,300km, 유역면적 $1.94 \times 10^6 \text{km}^2$ 인 중국대륙에서 가장 큰 강으로서 히말라야 고원지대에서 발원하여 중국에서 인구가 가장 많은 지역을 관류하여 동중국해로 흘러가며, 동중국해 대륙붕지역 퇴적물은 대부분 양자강에 그 근원을 두고 있다. 연간 담수와 퇴적물 유출량은 각각 $9.24 \times 10^{11} \text{m}^3$, $4.86 \times 10^8 \text{ton}$ 정도이고 이들 담수와 부유퇴적물 유출량은 계절적으로 심한 편차를 보이며 전체 배출량의 약 70% 정도가 주로 홍수기간인 5월에서 10월 사이에 이루어지고 있다(Schubel et al., 1984; Milliman and

Meade, 1983).

중국의 북동지방의 천산산맥과 백두산지역에서 발원하여 동쪽지역으로 관류하여 보하이만으로 흘러들어가는 환허강과 압록강은 총길이가 각각 870km, 859km이고 유역면적은 44,900km², 64,000km²이며, 연간 담수 유출량은 38.9×10⁸m³/yr, 27.8×10⁹m³/yr이고, 퇴적물 운반량은 24.1×10⁶ton/yr, 4.8×10⁶ton/yr로 많은 양의 퇴적물을 주변해역으로 배출시켜 보하이만 연안에는 크고 작은 삼각주가 잘 발달되어 있으며, 이들 퇴적물은 해안역과 주변 대륙붕지역의 해저지형 진화에 큰 영향을 주고 있다(Wang et al., 1986; Milliman and Meade, 1983).

황해와 동중국해 퇴적물에 대한 지화학적 및 고환경변화의 연구로는 이 등(1992)은 황해 남동해역 표층퇴적물내 금속원소들의 공간적 분포와 원소비를 이용하여 세립질 퇴적물의 기원을 구분하는 방법이 시도되었다. 최 등(1995)은 금강 부유 퇴적물의 함량과 이동 연구에서 금강 부유물 중 Re, Co, Cr, Cu 및 Ni의 함량은 중국의 황하와 양자강의 금속함량과 비슷한 반면, Mn, Zn, Cd, Pb 및 U 함량은 이들보다 상당히 높게 나타남을 보고하였다. Zhao 등(1990)은 남황해 중앙부에서 분포하는 니질퇴적물에 대한 ²¹⁰Pb 동위원소를 이용한 퇴적물 측정과 화학조성 중 Ca, Sr, Ti, Rb, Fe, Zn 등 원소의 농도 특성에 근거하여 이곳의 니질 퇴적물은 현재 황하강으로 부터 운반된 물질과 장수 북쪽지역의 (고)황하 삼각주 해안의 침식·운반된 물질과 양자강 기원 물질이 혼합된 복합기원 현생 니토대(multi-source modern mud)로 해석하였다.

Zhao and Yan(1992)은 황하, 양자강 및 동중국해 대륙붕지역에서 채취된 퇴적물에 대한 60여종의 화학분석 값으로부터 근원지별 배경 농도와 이들을 식별할 수 있는 지화학적 연구를 하였고, Kim et al.(1999)은 황해 표층퇴적물내 알칼리토류 원소의 지화학적 연구에서 황해 북동부 해역에 분포하는 잔류모래는 주로 한반도의 압록강으로부터 공급된 것으로 해석하였다.

Yang and Milliman(1983)은 해역 퇴적물에서 황하와 양자강 기원 퇴적물의 구별에는 점토광물 조성, 광물형상 및 화학조성의 특징에 의해 황해와 동중국해에 분포하는 퇴적물을 황하 기원형과 양자 기원형으로 구분하는 연구를 하였고, Park and Khim(1992)은 황해 퇴적물내 점토광물들 중 스멕타이트의 함량 정도에 근거해 황해 중앙부해역에 분포하는 니질 퇴적물은 황하강기원 퇴적물이고, 황해

남동부에 분포하는 니토대는 금강과 영산강 기원 퇴적물로 해석하였다. Zhao et al. (2001)은 황해 남동쪽에 분포하는 니토대(SEYSM)에 대한 광물학적 및 지화학적 특징에 근거해 이의 공급지는 주로 한반도 서해의 강들로부터 기원된 물질과 황해 난류수에 의해 동중국해로부터 공급된 부유퇴적물의 혼합된 퇴적물로 구성되어 있다고 보고하였다. Yang and Youn(2007)은 황해지역 니질퇴적물에 대한 퇴적률과 지화학적 특징에 근거해 남황해 중앙부에 분포하는 니질퇴적물은 주로 황하강으로부터 공급된 퇴적물로 구성되어 있고, 동쪽의 사질퇴적물은 후빙기 해침 기간에 한반도 강들로부터 기원 되었다고 해석하였고, 천 등(2000)은 황해 중앙부에 분포하는 산화대층의 특성 연구에서 황해 중앙부해역은 홀로세 동안에 퇴적물 공급이 거의 없었거나 아주 적게 공급된 퇴적전선(sedimentation front) 지역으로 해석하였다.

DeMaster et al.,(1985)는 동중국해 대륙붕지역에 분포하는 니토대에서 동위원소를 이용한 퇴적속도 및 퇴적물 수지(budget)를 평가하는 연구를 하였고, 임 등(2007)은 황해 니질퇴적물에 대한 Fe/Al, Mg/Al비와 Sr 동위원소비 연구를 통해 한국 서남해에 분포하는 니질퇴적물(SEYSM)은 한국과 중국의 강 퇴적물이 혼합된 복합기원으로 해석하였다.

윤 등(2005; 2006) 및 Youn and Kim(2011)은 퇴적물의 화학조성 특징과 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비를 이용한 동중국해 대륙붕 퇴적물의 기원지를 밝히는 연구에서 양자강 기원 부유퇴적물의 동중국해 외대륙붕역에 분포하고 있는 니토대지역(SWJIM)까지 공급될 가능성을 지적하였고, 윤과 김(2008)은 퇴적물의 지화학적 연구에서 제주도 서부해역은 황하와 양자강에서 운반된 복합기원 퇴적물이 집적되는 지역으로 해석하였다.

Yang et al.,(2003)은 황해와 북동중국해 퇴적물의 기원지 연구와 관련된 국내외 기존 논문을 분석한 결과 기존 연구에서 제시된 여러 추적자들이 서로 일치하지 않아서 황해 전 해역에는 적용할 수 없음을 지적하였다. 이러한 원인은 크게 황해와 북동중국해 지역은 중국과 한반도 주변의 육지에서 강과 대기를 통해 유입되는 물질과 이지역의 복잡한 해류순환 시스템에 의해 혼합되어 있고, 또한 황해와 북동중국해 해역의 퇴적물 기원지 연구에 적용할 수 있는 광물 및 지화학적 추적자가 개발되지 못했기 때문 등으로 보여진다.

따라서 본 연구에서는 황해 북부 보하이만에 분포하는 퇴적물(Gulf of Bohai

Sea Sediment ; GBSS), 황해 남동쪽에 분포하는 니질 퇴적체(Southeastern Yellow Sea Mud ; SEYSM), 양자강하구 수중삼각주에 형성된 니질 퇴적체(Changjiang River's Submerged Delta Sediment ; CRSDS)에서 채취된 퇴적물 시료에 대한 입도분석과 ^{210}Pb 동위원소 연구를 통해 보하이만에 분포하는 니질 퇴적물의 퇴적속도를 밝히고, 퇴적물 내 주성분 및 미량원소, 희토류 원소 분석 연구를 통해 보하이만과 황해 남동부해역, 그리고 양자강 하구역 수중 삼각주 지역에 분포하는 니질 퇴적체의 기원지 해석에 유용한 지화학적 지시자를 제시하고자 한다.

II. 재료 및 연구방법

1. 시료 채취

본 연구를 위한 시료 채취는 제주대학교 실습선 아라호를 이용하여 2000년부터 2006년까지 6여년에 걸쳐 황해 북부 보하이만 해역, 한국 서남부의 니토대 분포지역 및 양자강하구 수중삼각주의 니토대 분포지역에서 이루어졌다(Fig. 1). 해저퇴적물의 시료채취는 채니기(van Veen grab sampler)와 중력시추기(gravity corer)를 이용하여 총 10개 정점에서 시료를 채취하였다.

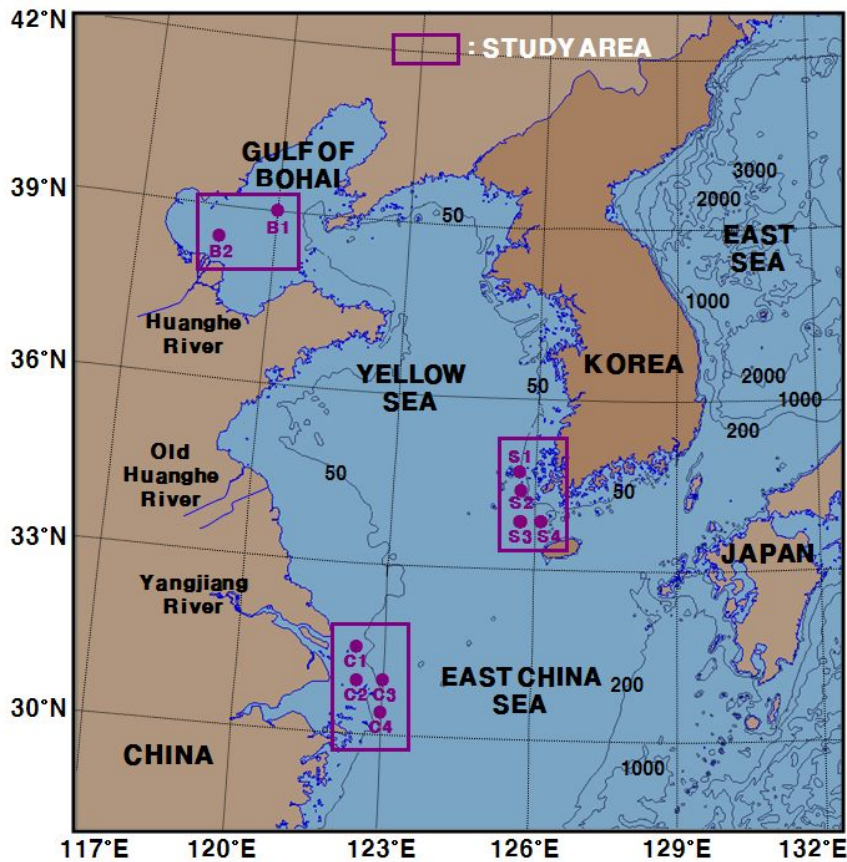


Fig. 1. Study area, sampling sites and bathymetry in the Gulf of Bohai, Yellow Sea and East China Sea. Contours in meters.

2. 시료 분석

퇴적물 입도 분석은 Ingram(1971)과 Galehouse(1971)의 방법에 따라 시료 40~50g을 취하여 희석법에 의하여 용해성 염분을 제거한 시료를 6% H₂O₂로 유기물을 제거하였다. 유기물이 제거된 시료에 10% HCl로 패각편을 제거한 후에 4 ϕ (0.0623mm)의 체를 사용하여 습식 체질 후 조립부와 세립부로 나누어 조립부는 1 ϕ 간격으로 요동기(Ro-tap sieve shaker)를 사용하여 건식 체질한 후 입도별 중량 백분율을 구하였다. 세립부는 확산제 Calgon (sodium hexametaphosphate) 2g을 첨가하여 시료를 확산시킨 후 피펫 방법에 의해 1 ϕ 간격으로 분석한 후 입도별 중량 백분율을 구하였다. 이 결과를 Folk and Ward(1957)의 공식에 의해 퇴적물 조성과 평균치 등의 조직표준치를 계산하였고, Folk(1968)의 삼각도표에 의해 퇴적물 유형을 분류하였다. 채취된 1개의 주상시료에 대한 ²¹⁰Pb 분석은 분말한 퇴적물 시료를 플라스틱 계측병에 담아 밀봉한 후, ²²⁶Ra, ²¹⁴Pb 그리고 ²¹⁴Bi 사이의 평형이 이루어지도록 3주 이상 보관하였다. 사용된 감선 계측기는 저준위 방사능 시료를 측정하기에 적합한 WIGe 검색기(Well Type Intrinsic Germanium Detector, CANBERRA Model GCW 2021)로 약 24~36시간 동안 계수(counting) 하였다. ²¹⁰Pb는 46.5keV에서 측정하였으며, ²²⁶Ra과 평형에 도달해 있는 딸 핵종들인 ²¹⁴Pb(295keV, 351.9keV)와 ²¹⁴Bi(609.3keV)를 이용하여 ²²⁶Ra의 방사능을 Kim and Burnett(1983)의 방법에 따라 계산하였다.

퇴적물내의 원소 총량 분석을 위한 시료는 먼저 100℃로 건조시킨 후 막자사발(agate mortar)에서 분쇄하였다. 분말화된 퇴적물 시료 0.2g을 Teflon bomb 내에서 불산(HF), 과염소산(HClO₄), 질산(HNO₃) 혼합용액으로 반응시켜 규산염 광물격자를 파괴시킨 후 1M HNO₃ 용액으로 추출하여 20ml로 만들어 100배 희석하였다(Kitano and Hujiyoshi, 1980). 이 용액을 한국기초과학연구원(XRF와 ICPMS)에 의뢰하여 42종 원소성분의 함량을 측정하였다. 동일시료에 대한 총탄소 및 유기탄소함량은 CHN 분석기(Leco CHN-100)을 이용하여 분석하였고, 탄산염함량은 총탄소(Total Carbon : TC)와 총유기탄소(Total Organic Carbon : TOC)의 함량 차이를 이용하여 계산하였다(Byers et al., 1978).

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 퇴적물의 입도조성과 유기물 함량

보하이만 지역에서 채취한 퇴적물의 유형은 니질모래(mS), 사질점토(sC) 및 사질니토(sM)로 구성되어 있다(Table 1). 니질모래 퇴적상(mS)은 중국의 라오똥만과 인접한 북동쪽에 분포하며(Fig. 1), 평균조성은 모래 70.8%, 실트 13.2%, 점토 16.1%이고, 평균입도는 4.71 ϕ 로 극조립질 실트에 해당한다. 사질니토 퇴적상(sC+sM)은 황하강 하구역인 보하이만 남서쪽에 위치하여 평균 조성은 모래 37.6%, 실트 24.9%, 점토 37.5%이고, 평균입도는 6.25 ϕ 로 중립질 실트에 해당한다.

황해 남동부 니토대에서 채취한 퇴적물 유형은 니토(M), 실트(Z) 및 사질점토(sC)의 3유형으로 구성되어 있다(Table 1). 니토 퇴적상(M)의 평균조성은 모래 1.0%, 실트 46.2%, 점토 52.8%이고, 평균입도는 7.87 ϕ 로 세립질 실트로 구성되어 있다. 사질점토 퇴적상(sC)은 모래 22.7%, 실트 2.9%, 점토 74.4%이고, 평균 입도는 6.8 ϕ 로 중립질 실트에 해당한다. 실트 퇴적상(Z)은 모래 2.2%, 실트 69.8%, 점토 28.0%이고, 평균입도는 6.6 ϕ 로 중립질 실트이다.

양자강 하구역 수중삼각주의 니토대에서 채취한 퇴적물 유형은 니토(M), 사질니토(sM+sC) 및 실트(Z)로 구성되어 있다(Table 1). 니토 퇴적상(M)의 평균조성은 모래 4.1%, 실트 47.0%, 점토 48.9%이고 평균입도는 6.77 ϕ 로 중립질 실트에 해당한다. 사질니토 퇴적상(sM+sC)의 평균조성은 모래 31.5%, 실트 30.4%, 점토 38.2%이고, 평균입도는 6.13 ϕ 로 중립질 실트이다. 실트 퇴적상(Z)은 모래 4.4%, 실트 64.2%, 점토 31.4%이고, 평균입도는 7.12 ϕ 로 세립질 실트에 해당한다.

보하이만 지역 퇴적물의 탄산염(CaCO_3) 함량은 2.5~5.75%(평균 4.05%)의 범위를 보이고, 이중 황하강 하구역의 니질 퇴적상내(St.B₂)의 CaCO_3 평균 함량은 4.94%로 동쪽지역의 니질모래 퇴적상내(St.B₁)의 평균 함량 3.15% 보다 약 1.6배 이상 높다(Table 1). 이처럼 보하이만 해역에서 황하강의 영향을 직접 받는 세립질 퇴적물이 일반적인 경향과 상이하게 조립질 퇴적물에서 보다 탄산염 함량이

Table 1. Sediment composition and organic material content of the sediments in the Gulf of Bohai, Yellow and East China Seas.

1. Gulf of Bohai Sea sediments

Core No.	Sample depth (cm)	Size analysis(%)			Sediment type	Organic matter(%)				Mz (Φ)
		Sand	Silt	Clay		TOC	TN	CaCO ₃	C/N (atomic)	
B1	(0~1)	76.7	10.8	12.6	mS	0.49	0.13	3.51	7.20	4.1
	(13~14)	63.7	17.2	19.2	mS	0.29	0.09	3.83	8.28	5.12
	(23~24)	68.3	12.7	19.0	mS	0.18	0.04	2.50	10.00	5.07
	(35~36)	74.5	12.2	13.4	mS	0.11	0.08	2.75	12.96	4.55
	Av.	70.8	13.2	16.1		0.27	0.09	3.15	9.61	4.71
B2	(0~1)	22.9	25.0	52.1	sC	0.86	0.01	5.58	8.34	7.08
	(13~14)	40.5	20.9	38.6	sC	0.70	0.03	3.50	11.40	6.25
	(29~30)	49.3	28.9	21.7	sM	0.42	0.04	5.75	12.10	5.43
	Av.	37.6	24.9	37.5		0.66	0.03	4.94	10.60	6.25
Total Av.		54.2	19.1	26.8	mS	0.47	0.06	4.05	10.11	5.48

NOTE. mS : muddy sand, sC :sandy clay, sM : sandy mud

2. Southeastern Yellow Sea sediments

Core No.	Sample depth (cm)	Size analysis(%)			Sediment type	Organic matter(%)				Mz (Φ)
		Sand	Silt	Clay		TOC	TN	CaCO ₃	C/N (atomic)	
S1	(0~1)	2.2	69.8	28.0	Z	0.57	0.04	3.17	12.97	6.60
S2	(0~1)	0.8	50.3	48.9	M	0.75	0.09	2.83	9.72	7.97
S3	(0~1)	1.2	42.2	56.6	M	0.71	0.06	1.75	13.80	7.77
S4	(0~1)	22.7	2.9	74.4	sC	0.59	0.07	2.50	9.84	6.80
Av.		6.72	41.30	52.0		0.66	0.07	2.56	11.58	7.29

NOTE. Z : silt, M : mud, sC : sandy clay

3. Changjiang River's submerged delta sediments

Core No.	Sample depth (cm)	Size analysis(%)			Sediment type	Organic matter(%)				Mz (Φ)
		Sand	Silt	Clay		TOC	TN	CaCO ₃	C/N (atomic)	
C1	(0~1)	4.4	64.2	31.4	Z	0.54	0.06	6.43	10.23	7.12
C2	(0~1)	3.7	54.9	41.4	M	0.73	0.08	6.24	10.78	6.67
	(9~10)	1.5	53.2	45.3	M	0.77	0.09	5.76	10.07	6.43
	(13~14)	0.7	48.1	51.2	M	0.84	0.08	6.33	12.18	6.72
	(23~24)	0.5	46.2	53.4	M	0.70	0.09	5.64	9.10	6.84
	(35~36)	1.8	59.4	38.8	M	0.83	0.07	5.88	12.25	6.38
	Av.	1.6	52.4	46.0		0.77	0.08	5.97	10.88	6.61
C3	(0~1)	9.4	38.2	52.5	M	0.76	0.09	5.42	9.41	6.45
	(9~10)	22.2	32.5	45.4	sM	0.75	0.09	3.53	10.32	5.80
	(13~14)	9.8	38.4	51.8	M	0.72	0.10	4.58	8.57	6.08
	(23~24)	4.4	42.1	53.6	M	0.66	0.09	3.14	8.21	6.70
	(35~36)	37.5	27.1	35.4	sM	0.69	0.08	4.93	10.55	5.35
	(55~56)	5.5	42.1	52.4	M	0.64	0.10	5.13	7.68	6.42
Av.	14.8	36.7	48.5		0.70	0.09	4.46	9.12	6.13	
C4	(0~1)	24.0	36.4	39.7	sM	0.78	0.08	7.65	11.21	6.73
	(13~14)	25.5	27.0	47.6	sC	0.95	0.09	6.27	12.74	6.96
	(29~30)	51.1	25.8	23.1	mS	0.98	0.09	8.28	12.86	5.60
	(39~40)	48.1	28.9	23.1	sM	0.97	0.08	5.83	14.46	5.79
	Av.	37.2	29.52	33.4		0.92	0.09	7.01	12.82	6.27
Total Av.		15.6	41.5	42.9		0.78	0.09	5.69	10.66	6.38

NOTE. Z : silt, M : mud, sM : sandy mud, sC : sandy clay mS : muddy sand

높게 나타나는 현상에 대해서 Niino and Emery(1961)는 황해 세립질 퇴적물에서 유공충각이 탄산염 물질의 중요한 성분임을 보고하였다. 그러나, 황하강 기원의 세립질 퇴적물은 주로 중국 북부의 황토층에서 기원한 다량의 탄산염 광물을 함유하고 있음을 고려할 때(Milliman et al., 1985), 황하강 하구역에 분포하는 니질퇴적물은 주로 황하강을 통해 운반·퇴적되고 있음을 의미한다.

황해 남동부의 니질퇴적물(SEYSS)의 탄산염함량은 1.75~3.17%(평균 2.56%)의 범위를 보이고, 전술한 황하강의 영향을 직접 받고 있는 보하이만 지역보다 상당히 낮은 함량치를 보였다(Table 1). 따라서 황해남동부 해역은 기원암내에 탄산염 물질 함량이 낮거나 혹은 수괴 내에서 생물 생산력이 활발하지 않음을 의미할 수도 있다. 양자강 수중삼각주 니질퇴적물의 탄산염 함량은 3.14~8.28%(평균 5.69%)의 범위로 연구지역에서 가장 높은 함량치를 보였다. 퇴적물내 탄산염 함량을 조절하는 요인으로는 수괴 내에서 생물 생산력에 의한 공급, 패각편 등 저서생물의 골격부가 퇴적된 후 파쇄·용해작용 및 강을 통한 육상으로부터 유입 등으로 알려져 있다(Zhao et al., 1990). 따라서 양자강 하구 수중 삼각주의 니질 퇴적물에서 높은 탄산염함량이 나타나는 현상은 이곳이 다량의 담수와 해수가 만나는 양자강 하구역 이라서 높은 생물 생산력과 관련이 있는 것으로 추정된다.

해수중의 유기물 근원은 주로 해양 자체 내에서 이루어지는 생물학적 활동에 의한 것이며, 육상으로부터의 공급은 미미한 것으로 알려져 있다(Hedges and Parker, 1976). 해수 내 용존 형태의 유기물은 주로 점토입자에 흡착되어 입자 형태로 퇴적물에 침전되어 퇴적물 일부를 형성하는 것으로 보고되고 있으며(Biggs, 1967), 퇴적물내로 유입·흡착하는 유기물의 양은 주로 해양에서의 생물 생산력, 퇴적물의 입도, 해수의 물리적 조건 등에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Bordovsky, 1965).

보하이만 퇴적물내 유기탄소 함량은 0.11~0.86%(평균 0.47%)의 범위를 보이고, 니질 퇴적상이 분포하는 황하강 하구역 퇴적물에서 유기탄소 함량은 평균 0.66%로 높은 함량치를 보였으며, 북동쪽의 사질 퇴적물에서는 평균 0.27%로 낮은 함량치를 보였다(Table 1). 니질모래 퇴적상보다 사질점토 퇴적물에서 높은 유기탄소 함량을 보이는 것은 퇴적물의 조립질보다 세립질에서 표면적이 증가하여 흡착력이 크기 때문인 것으로 알려진 결과 및 퇴적물내 유기탄소 함량은 점토질이 풍부한 퇴적물

에서가 높은 함유량을 보인다는 기존의 연구 결과와도 일치하고 있다(Sawlan and Marray, 1983; Bordovsky, 1965).

황해 남동부 니질퇴적물의 유기탄소 함량은 0.57~0.75%(평균 0.66%)의 범위를 보였고, 양자강하구 수중삼각주 니질퇴적물의 유기탄소 함량은 0.54~0.98%(평균 0.78%)로 조사지역중 가장 높은 함유량을 보였다(Table 1). 다른 지역에 비해 양자강 하구역에서 높은 유기탄소 함량치를 보이는 것은 이지역에서의 많은 담수 유출과 해수와의 활발한 혼합작용으로 인한 높은 생물 생산력과 관련이 있을 것으로 사료된다.

해저 퇴적물에 유기탄소를 축적시키는 기작은 주로 표층에서의 생물생산, 유기탄소의 보존 증가 또는 대륙으로부터의 유기물 공급에 의해 조절된다. 유기물의 특성을 지시하는 총유기탄소(TOC)에 대한 총질소(TN)의 비(C/N ratio)는 여러 형태의 유기물의 기원을 밝히는데 이용되어 왔다. 즉 해양생물의 기초생산에 의해 형성된 유기물은 C/N비가 10이하를 보이나, 반면에 주변육지에서 공급된 유기물인 경우 C/N비는 10이상을 보이는 것으로 보고 되었다(Muller, 1977; Muller and Suess, 1979; Stein, 1990). 이런 해양성 및 육성기원의 구분 방법은 해조류(algae)에는 셀룰로오스(cellulose)가 적고, 육성기원의 관속식물(vascular plants)에는 그 양이 많은데서 기여한다. 또한 해양성기원의 유기물은 육성기원 유기물에 비해 질소를 함유하는 단백질(nitrogenous protein)이 상대적으로 풍부하기 때문이다(Stevenson and Cheng, 1972; 박 등, 2005).

따라서 연구지역 퇴적물의 총 유기탄소와 C/N비의 관계는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 보하이만 지역은 총 7개의 시료 중 4개의 시료에서 C/N비가 10이상의 값을 보였고, 황해 남동해역의 니질퇴적물은 4개의 시료 중 2개의 시료에서, 그리고 양자강 하구역 수중삼각주 니질퇴적물에서는 총 16개의 시료 중 11개의 시료에서 C/N비가 10이상의 값을 보였다. 이는 연구지역 주변에 분포하는 육지의 육성기원 유기물질의 일부가 이들 니질퇴적체 분포지역으로 유입되고 있음을 의미한다.

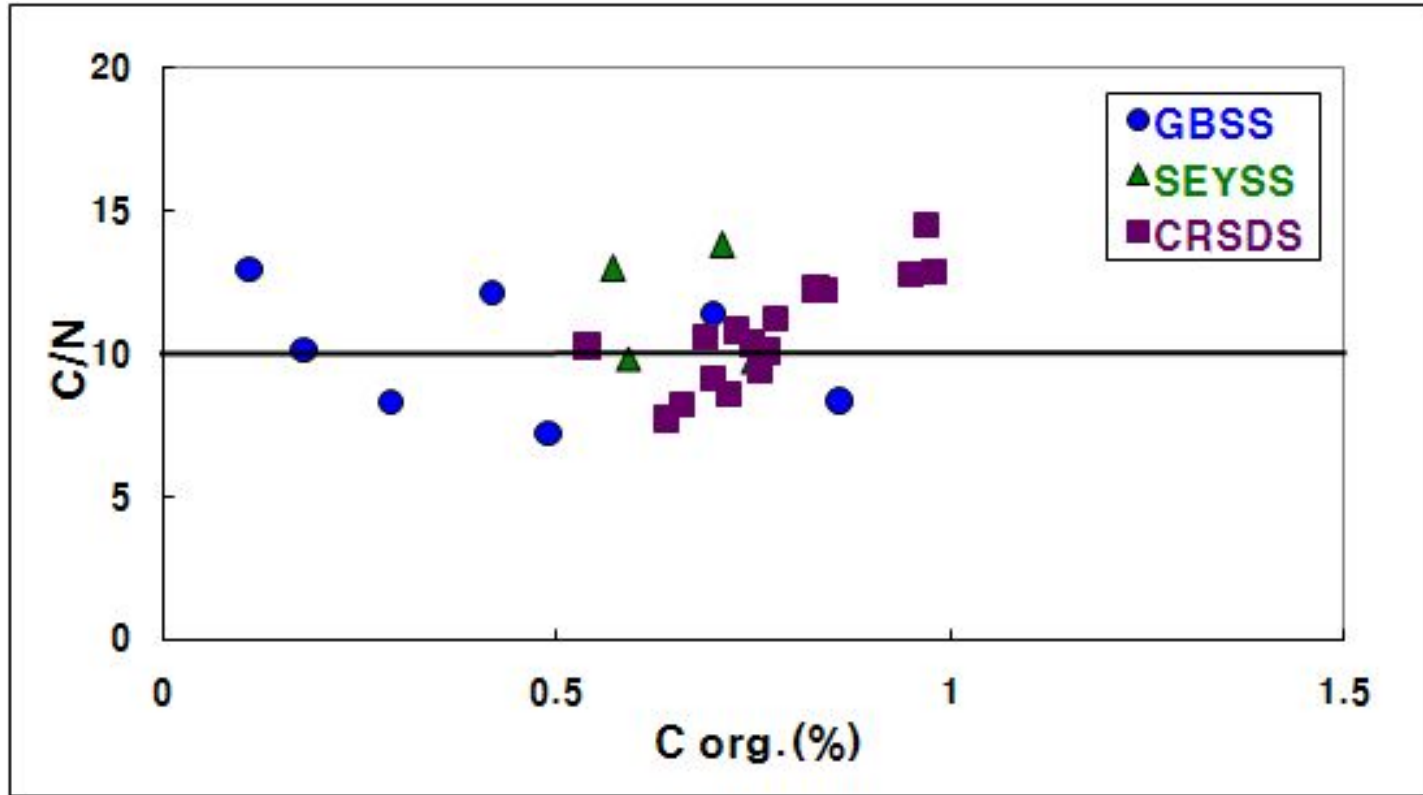


Fig. 2. Total organic carbon contents vs C/N ratios of Gulf of Bohai Sea, Southeastern Yellow Sea and Changjiang River's submerged delta sediments.

2. ^{210}Pb 동위원소에 의한 퇴적속도 추정

호수와 해양지역에서 ^{210}Pb , ^{234}Th 과 같은 비교적 짧은 반감기(22.3yr와 24days)를 갖는 동위원소 연구를 통한 지질연대 측정은 현생퇴적물의 퇴적속도 결정과 퇴적에 영향을 주는 제 과정을 통찰할 수 있는 유용한 도구의 역할을 하는 것으로 밝혀졌다(Krishnaswamy et al., 1971; Koide et al., 1972; Pennington et al., 1976; Ritchie et al., 1973). ^{210}Pb 이 해양환경내로의 유출입(flux)은 대기권에서의 침강, 주변 강을 통한 유입과 해저퇴적물 내에서의 ^{226}Ra 의 자연 붕괴에 의한 이류작용(advection)등이 주요 공급원이 되고 있으며(Carpenter et al., 1981), 이러한 ^{210}Pb 이 해수내에 머무르는 시간은 1년 이내로 매우 짧은 것으로 알려졌다(Koide et al., 1972). 해수 내에 존재하는 ^{210}Pb 은 유기체에 의한 섭취나 점토광물, 유기물질 및 Fe-Mn 산화물과 같은 입자들에 의해 흡착되어 이들과 함께 퇴적물내로 동시에 침전된다(Carpenter et al., 1981; Nittrouer et al., 1979). 따라서 이러한 과정에 의해서 형성되는 해양 퇴적물내의 ^{210}Pb 의 함량은 ^{226}Ra 의 붕괴에 의해 유지되는 Supported ^{210}Pb 양보다 항상 높게 나타나, 이는 과거 100년 전후에 퇴적된 퇴적층내의 초과량(excess) ^{210}Pb 활동도 측정을 통하여 해양이나 호수 퇴적물 등의 퇴적속도 결정에 효과적으로 이용되고 있다(Nittrouer et al., 1979).

따라서 보하이만 지역 중 황하강 하구역 니토대 분포지에서 채취한 주상시료에 대하여 퇴적속도를 측정하는 연구를 수행하였다. Fig. 3은 보하이만 중에서 황하강 하구 니질퇴적물 분포지역에서 채취한 BS200702 주상시료에서 측정된 깊이에 따른 총(total) ^{210}Pb 활동도와 초과량(excess) ^{210}Pb 활동도를 나타낸 것이다.

제시된 ^{210}Pb 동위원소의 활동도 단면도에서 보는 바와 같이 물리적 기작 및 저서 생물들의 재 작용에 의해 혼합작용이 일어나 초과량 ^{210}Pb 활동도 값이 거의 균일한 표면 혼합층 부분(0~13cm), 깊이에 따라 ^{210}Pb 활동도 값이 대수함수적으로 감소하는 중간부분(15~23cm), 거의 일정하게 낮은 ^{210}Pb 활동도를 보이는 하부 지역(21~33cm) 등 3부분으로 구분된다. 따라서 퇴적속도 평가는 초과량 ^{210}Pb 활동도 분포가 대수함수적으로 감소하는 중간부분의 값들로부터 다음의 방정식을 이용하여 계산하였다(Nittrouer et al., 1979; DeMaster et al., 1985).

$$S = \frac{\lambda Z}{(\ln A_0/A_Z)}$$

여기서 S : 퇴적물 (cm/yr)

λ : ^{210}Pb 의 붕괴상수 (0.031/yr)

Z : 퇴적물의 깊이 (cm)

A_0 : 표층에서 초과량 ^{210}Pb 활동도 (dpm/g)

A_Z : 깊이 Z에 초과량 ^{210}Pb 활동도 (dpm/g)

상기 공식을 이용하여 보하이만 지역중 황하강 하구역 니토대 분포지역 (BS200702)서 계산된 퇴적속도는 0.65cm/yr의 값을 보였다. 따라서 황하강 기원 현생 부유퇴적물이 황하강 유로를 따라 하구역의 니토대 분포지역까지 이동되어 퇴적되고 있음을 의미한다. 이는 앞서 말한 유기탄소와 C/N비의 연구결과와도 잘 일치하였다.

Saito and Yang(1994)의 연구에 의하면 황하강 유로가 1855년 이후 산동반도 북쪽 보하이해 지역으로 변경된 이후에는 현재 황하강 기원 퇴적물은 70~80%가 해안선에서 약 20km 이내 지역에 주로 퇴적되고, 10~15%가 보하이해 지역에 퇴적되며, 나머지 15~20% 정도가 산동반도 동쪽 부근에서 남하하여 황해 중앙부해역과 동중국해 까지 이동 퇴적되는 것으로 보고하였다.

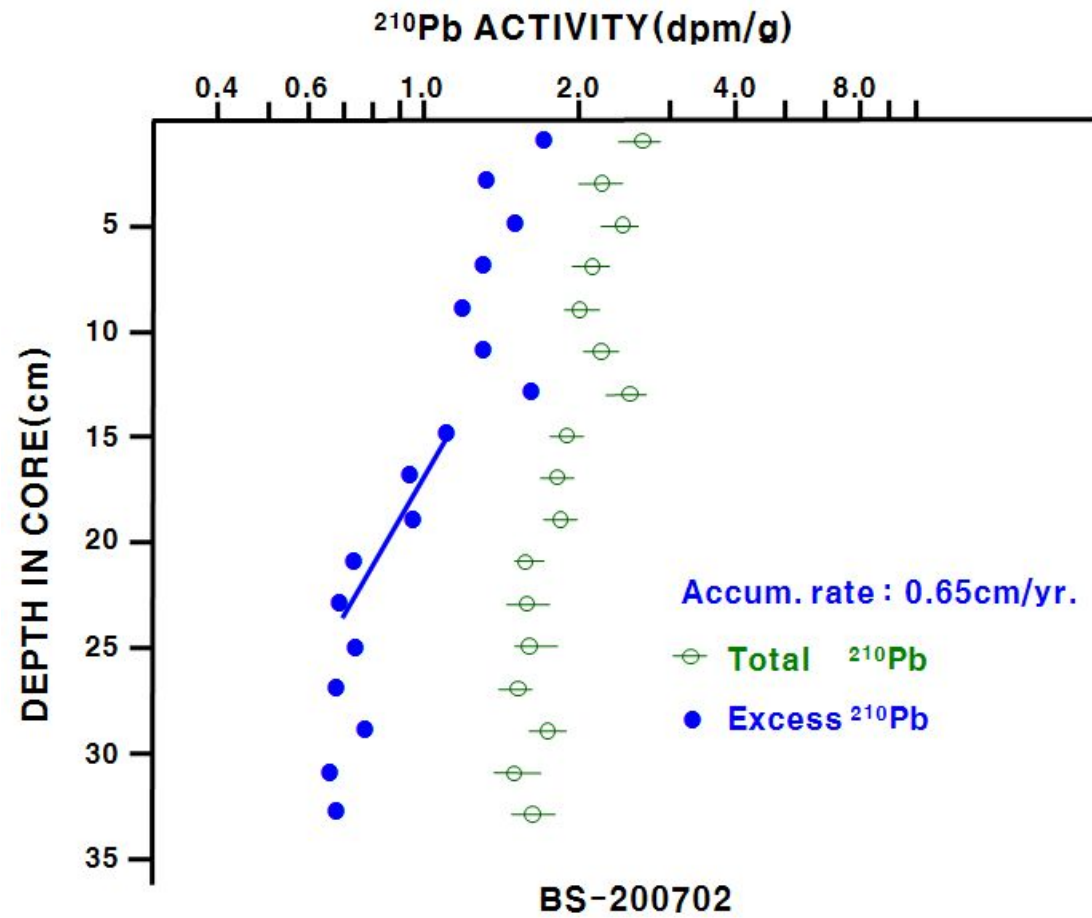


Fig. 3. Depth profiles of ^{210}Pb activity from cores BS200702 in the Gulf of Bohai Sea.

3. 퇴적물내 지화학적 특성에 의한 기원지 추정

3-1. 주성분 원소 및 미량원소

연구지역 27개 퇴적물 시료에서 측정된 금속원의 평균값은 보하이만 퇴적물 시료에서 Al : 6.0%, Fe : 2.8%, Ca : 2.6%, Mg : 1.2%, K : 1.5%, Na : 1.4%, Ti : 0.27%, Mn : 486.4ppm, Ba : 462.4ppm, Sr : 184.7ppm 등 이었고, 황해 남동해역 니질퇴적물에서는 Al : 6.7%, Fe : 3.2%, Ca : 3.2%, Mg : 1.2%, K : 2.3%, Na : 1.96%, Ti : 0.38%, Mn : 521ppm, Ba : 398.5ppm, Sr : 209.4ppm 등 이었고, 양자강 하구 수중삼각지 니질 퇴적물은 Al : 7.1%, Fe : 4.1%, Ca : 2.9%, Mg : 1.6%, K : 2.3%, Na : 1.5%, Ti : 0.51%, Mn : 710.1ppm, Ba : 512.8ppm, Sr : 146.8ppm 등으로 나타났으며(Table 2), 전반적으로 양자강 하구 수중삼각주 퇴적물에서 높은 금속원소 함유량을 보였다. 따라서 연구지역에서 채취한 27개의 퇴적물 시료에서 분석한 주성분원소 조성과 기존의 황하와 양자강 퇴적물의 지화학적 자료를 비교하여 연구지역 퇴적물의 기원지를 파악하였다. 기존의 연구에 의하면 양자강 퇴적물은 황하나 한국의 강(금강) 퇴적물보다 Mg, Ti, Fe 및 Mn 함량이 높고, 황하 퇴적물은 Ca, Na 및 Sr 원소가 풍부하며, 한국의 강 퇴적물은 Al, K 및 Ba 함량이 높다고 보고하였다(Yang et al., 2004). 이를 바탕으로 지화학적으로 기원지별 강 퇴적물을 구분하기 위하여 이들 각 강들에서 상대적으로 풍부한 원소들을 근거로 3개의 구분지수를 유도하였다.

첫째 지수는 $(Al+Fe) / (Ca+Mg+K)$ 으로써 이는 3개의 강 퇴적물의 모든 조성적 특징을 반영하는 환경적으로 고정된 원소 대 비고정된 원소의 비이다. 둘째 지수는 $(Ca-Fe) / Al$ 으로 이는 각 강에서 정량적으로 풍부한 원소로부터 유도된 것이다. 셋째 지수는 $(Ca-Mg) / K$ 으로 이는 각 근원 강 퇴적물을 반영하고 있는 상징적인 알카리와 알카리토류 원소로부터 유도된 것이다.

본 연구에서 이들 구분지수들을 적용해 본 결과 연구지역 퇴적물은 Fig. 4에서 보는바와 같이 양자강 하구역의 수중삼각주 퇴적물은 몇몇 시료를 제외하고는 주로 양자강 퇴적물의 평균치 주위에 밀집 분포하는 경향을 보였고, 보하이만 지역의 퇴적물 시료들은 황하강 퇴적물 평균치 주위에 분포하는 시료와 독립된 지역에 따로

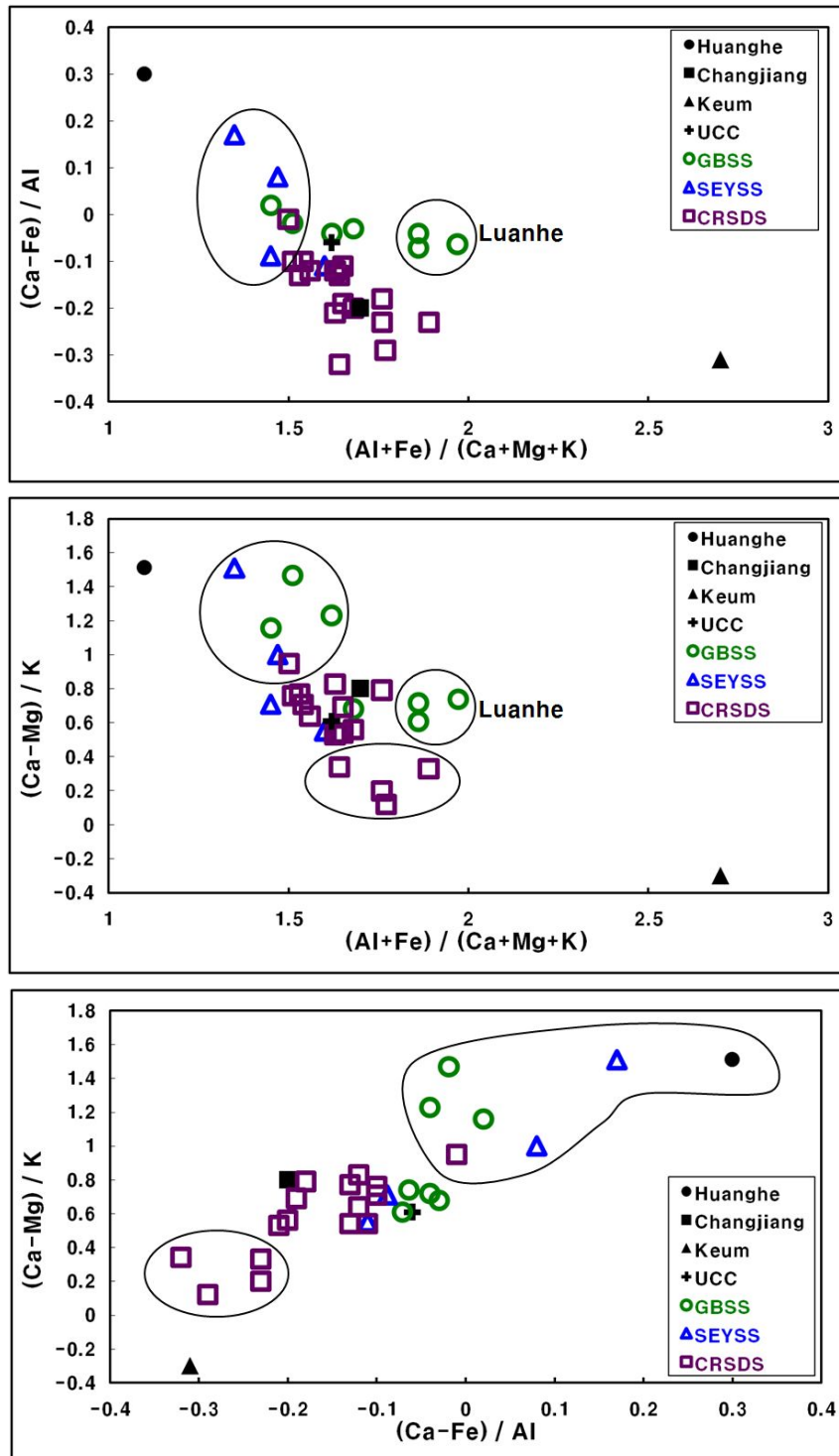


Fig. 4. Comparison of the geochemical indices of $(Al+Fe)/(Ca+Mg+K)$, $(Ca-Fe)/Al$ and $(Ca-Mg)/K$.

The value of UCC (by Taylor and McLennan, 1985) and the river sediments (Changjiang, Huanghe and Keum) data are from Yang et al.,(2004)

분포하는 시료로 구분되었다. 따라서 보하이만 해역은 황하강을 통해 운반된 퇴적물 이외에 전술한 중국의 북동지방에 위치하는 환허강과 압록강 기원 퇴적물도 분포하고 있음을 의미한다.

반면 황해 남동해안에 분포하는 니질퇴적물 시료는 한국의 금강 퇴적물 시료와는 멀리 떨어진 지역에 분포할 뿐만 아니라 기원지로서의 뚜렷한 위치를 나타내지 않았으며, 주로 중국의 황하와 양자강 퇴적물 평균치 사이에 분포하는 패턴을 보여, 이들 주 원소 성분들의 구분지수를 이용하여 황해 남동해역 니질퇴적물의 기원지를 해석할 수가 없었다. 이는 아마도 Ca, Mg과 같은 알카리토류 원소들은 육상에서 공급된 쇄설성 물질 외에 해양생물과 해수기원 물질 등의 요인에 의해서도 그 함량이 조절되기 때문일 것이다(Moorby, 1983).

해양퇴적물은 일반적으로 주변 암석의 풍화에 의해 형성된 토양으로부터 다양한 운반 기작과 퇴적작용을 거친 후 쌓인 것이다. 따라서 해양에 분포하는 쇄설성 퇴적물의 기원지를 판단하기 위해서는 다양한 지질현상을 이해하여야 하나 우선 해양퇴적물과 주변 강 퇴적물의 광물조성과 화학조성을 서로 비교하면 일차적인 정보를 얻을 수 있을 것이다. 특히 퇴적물 내 화학조성 중 Th, Sc, Zr, Hf, Y, Nb, Cr, Co 및 REE와 같은 육성기원의 미량원소와 희토류 성분들은 퇴적물의 풍화작용이나 운반과정에 따른 분급과 속성작용 등에도 크게 변하지 않는 특성을 보여 퇴적물의 기원지 연구 및 지구조 환경(tectonic setting)을 밝히는데 유용하게 이용되고 있다(Culler et al., 1987; Bhatia and Taylor, 1981; Bhatia and Crook, 1986; McLennan et al., 1980, 1993).

따라서 연구지역에서 채취한 퇴적물 시료와 기존 자료와 비교하기 위해 황하 및 양자강 퇴적물, 후기 시생대 호주 퇴적암의 평균 조성(Post-Archaean average Australian Sedimentary Rock; PAAS), 상부대륙지각(Upper Continental Crust : UCC)과 북미지역 셰일조성(North American Shale Composition; NASC)의 지화학적 원소 성분의 평균 함량을 Table 2에 제시하였다.

보하이만 퇴적물 내 화학조성을 UCC와 PASS의 평균값(McLennan, 1989; Taylor and McLennan, 1985)과 비교할 때, Ca, Na, Pb을 제외한 나머지 대부분 원소들은 본 연구지역에서 고갈되는 특징을 보이는데, 이는 황하강 퇴적물의 기원지는 한랭하고 건조한 기후의 지역이라서 화학적 풍화작용이 활발하지 못한 것과도 관련이 있을 것으로 사료된다.

Table 2. Elements concentration of the Gulf of Bohai, Yellow and East China Seas sediments in comparison to Huanghe (HURS), Changjiang (CHRS), Keum Rivers sediments UCC, PAAS and NASC (unit : * in wt.% and $\mu\text{g/g}$ for the other elements).

1. Gulf of Bohai Sea sediments

Sample No. Elementy	B1					B2				Total Av.
	①(0~1)	②(13~14)	③(23~24)	④(35~36)	Av.	①(0~1)	②(13~14)	③(29~30)	Av.	
Al*	6.35	6.21	5.47	5.82	5.96	6.16	6.09	5.78	6.01	5.98
Fe*	2.54	2.42	2.19	2.18	2.33	3.45	3.29	3.55	3.43	2.80
Ca*	2.09	2.02	2.03	1.96	2.02	3.46	3.06	3.44	3.32	2.58
Mg*	1.15	1.03	0.98	0.96	1.03	1.51	1.24	1.3	1.4	1.17
K*	1.54	1.34	1.54	1.39	1.45	1.68	1.48	1.46	1.54	1.49
Na*	1.56	1.46	1.47	1.45	1.49	1.24	1.3	1.36	1.30	1.41
Ti*	0.27	0.25	0.24	0.23	0.25	0.33	0.29	0.26	0.29	0.27
Mn	437	389	345	332	375.8	612	630	660	634.0	486.4
Ba	414	420	413	423	417.5	443	510	614	522.3	462.4
Sr	172	172	175	178	174.3	183	197	216	198.7	184.7
Rb	81.5	77.9	70.9	65.2	73.88	98.3	82.7	91.2	90.7	81.1
Zr	157.3	141.7	156.6	139.7	148.8	138.4	136.8	139.6	138.3	144.3
Hf	5.19	4.23	4.12	4.47	4.50	4.66	3.67	4.08	4.14	4.35
Ni	23.0	23.7	20.5	20.2	21.9	33.1	32.3	35.2	33.5	26.9

Table 2. Continued

1. Gulf of Bohai Sea sediments (continued)

Sample No. Elementy	B1					B2				Total Av.
	①(0~1)	②(13~14)	③(23~24)	④(35~36)	Av.	①(0~1)	②(13~14)	③(29~30)	Av.	
Co	7.92	7.84	7.6	6.92	7.57	7.0	7.56	6.68	7.08	7.36
V	54.6	54.1	49.0	46.7	51.1	75.4	72.8	80.4	76.2	61.9
Cr	51.8	48.3	41.4	45.6	46.77	50.3	52.7	49.5	50.8	48.5
Cu	19.3	16.0	13.1	11.9	15.07	25.4	23.6	30.4	26.5	20.0
Zn	55.4	49.5	45.6	43.7	48.6	86.8	69.6	66.9	74.4	59.6
Cd	0.1	<0.01	0.01	0.4	0.13	0.37	0.03	0.21	0.20	0.16
Pb	18.3	16.9	15.4	14.6	16.3	24.2	30.2	32.2	28.9	21.67
Th	11.75	11.5	10.9	10.6	11.2	10.58	10.9	10.9	10.8	11.0
Cs	5.3	4.81	4.27	3.99	4.59	7.86	6.9	6.24	7.00	5.62
U	1.9	1.79	1.75	1.82	1.81	1.96	1.82	1.95	1.91	1.86
Li	30.7	27.9	25.6	23.1	26.82	40.4	35.1	30.7	35.4	30.5
Sc	8.84	8.7	7.76	7.85	8.29	8.4	8.2	8.5	8.4	8.32
Nb	9.35	9.02	9.12	8.26	8.94	9.42	8.69	7.88	8.66	8.82
Y	16.3	15.4	15.0	14.6	15.32	17.9	17.4	18.5	17.9	16.4
La	24.1	26.4	25.5	24.6	25.2	30.3	27.9	27.0	28.4	26.5

Table 2. Continued

1. Gulf of Bohai Sea sediments (continued)

Sample No. Elementy	B1					B2				Total Av.
	①(0~1)	②(13~14)	③(23~24)	④(35~36)	Av.	①(0~1)	②(13~14)	③(29~30)	Av.	
Ce	46.1	48.6	48.1	46.7	47.4	55.0	52.5	53.8	53.8	50.1
Pr	5.9	6.1	6.3	5.8	6.03	6.5	6.2	6.1	6.3	6.1
Nd	21.8	23.14	22.62	22.1	22.41	24.7	23.9	22.9	23.8	23.0
Sm	4.1	4.3	4.4	3.9	4.17	4.7	4.4	4.3	4.5	4.4
Eu	0.77	0.81	0.85	0.78	0.80	0.9	0.86	0.85	0.87	0.83
Gd	4.1	4.0	3.8	3.61	3.88	4.33	4.18	4.3	4.27	4.05
Tb	0.5	0.51	0.52	0.48	0.50	0.56	0.52	0.51	0.53	0.51
Dy	2.94	3.2	3.26	2.7	3.02	3.4	3.26	3.19	3.28	3.14
Ho	0.55	0.56	0.58	0.54	0.56	0.68	0.6	0.63	0.64	0.59
Er	1.71	1.73	1.69	1.66	1.70	1.89	1.83	1.78	1.83	1.76
Tm	0.2	0.21	0.21	0.19	0.20	0.25	0.23	0.22	0.23	0.22
Yb	1.59	1.67	1.72	1.58	1.64	1.67	1.64	1.63	1.65	1.64
Lu	0.23	0.24	0.25	0.23	0.24	0.24	0.21	0.2	0.22	0.23
Σ REE	114.6	121.4	119.8	114.9	117.7	135.1	128.3	127.5	130.3	123.1
Σ LREE	102.0	108.5	106.9	103.1	105.1	121.2	114.9	114.1	116.7	110.1

Table 2. Continued

1. Gulf of Bohai Sea sediments (continued)

Sample No. Elementy	B1					B2				Total Av.
	①(0~1)	②(13~14)	③(23~24)	④(35~36)	Av.	①(0~1)	②(13~14)	③(29~30)	Av.	
Σ HREE	11.8	12.1	12.03	11.0	11.7	13.02	12.5	12.5	12.7	12.1
LREE/HREE	8.64	8.97	8.89	9.37	8.97	9.31	9.2	9.13	9.21	9.07
Eu/Eu*	0.574	0.59	0.624	0.63	0.60	0.61	0.61	0.62	0.61	0.61
Ce/Ce*	0.9	0.88	0.88	0.903	0.89	0.89	0.91	0.96	0.92	0.90
(La/Yb) _N	10.2	10.7	10.0	10.6	10.4	12.2	11.4	11.2	11.6	10.9
(La/Sm) _N	3.66	3.84	3.61	3.94	3.76	4.01	3.95	3.93	3.96	3.85
(Gd/Yb) _N	2.06	1.93	1.78	1.86	1.91	2.09	2.05	2.14	2.09	1.99
(Ce/Yb) _N	7.5	7.55	7.26	7.73	7.51	8.55	8.29	8.62	8.49	7.93
(Ce/Sm) _N	2.37	2.72	2.37	2.88	2.59	2.81	2.86	3.01	2.89	2.72
(La/Lu) _N	10.7	11.3	10.4	10.9	10.82	13.0	13.7	13.8	13.5	12.0
(La/Yb) _{UCC}	1.11	1.16	1.09	1.14	1.13	1.33	1.24	1.22	1.26	1.18
(Gd/Yb) _{UCC}	1.5	1.38	1.28	1.32	1.37	1.5	1.47	1.53	1.50	1.43
(La/Sm) _{UCC}	0.88	0.92	0.88	0.94	0.91	0.97	0.95	0.94	0.95	0.93

Table 2. Continued

2. Southeastern Yellow Sea sediments

Sample No. Elementy	S1	S2	S3	S4	Av.
Al*	7.2	7.5	5.94	6.1	6.68
Fe*	2.82	3.7	3.4	2.7	3.15
Ca*	3.4	2.9	2.88	3.75	3.23
Mg*	1.05	1.41	1.23	0.89	1.15
K*	2.37	2.7	2.32	1.9	2.32
Na*	2.04	2.31	1.62	1.87	1.96
Ti*	0.38	0.43	0.36	0.34	0.38
Mn	501	586	574	423	521.0
Ba	397	370	414	413	398.5
Sr	170.4	195	221.5	250.5	209.4
Rb	87.9	150.9	81.5	81.72	100.5
Zr	143.2	140.3	111.7	119.4	128.7
Hf	4.25	3.5	3.67	4.11	3.88
Ni	28.96	35.7	45.3	22.1	33.0
Co	10.7	11.3	8.5	8.8	9.82
V	72.2	78.5	61.1	57.4	67.3
Cr	62.7	70.5	61.2	58.7	63.27
Cu	12.63	20.9	14.9	11.4	15.0
Zn	81.7	120.3	80.1	101.6	95.92
Cd	0.11	0.2	0.11	0.13	0.14

Table 2. Continued

2. Southeastern Yellow Sea sediments (continued)

Sample No. Elementy	S1	S2	S3	S4	Av.
Pb	40.5	31.1	31.4	27.0	32.5
Th	12.0	13.3	11.1	11.5	12.0
Cs	7.02	7.7	5.81	5.03	6.39
U	2.37	2.3	2.33	1.94	2.23
Li	40.1	58.0	41.1	43.5	45.67
Sc	9.1	10.6	9.01	9.4	9.53
Nb	13.6	14.3	10.6	9.7	12.1
Y	22.5	17.8	19.54	16.0	19.0
La	35.4	39.0	37.5	26.7	34.7
Ce	71.0	80.6	76.8	52.5	70.2
Pr	8.9	9.23	9.4	6.4	8.48
Nd	29.64	32.76	30.42	23.4	29.06
Sm	5.4	5.9	5.6	4.5	5.35
Eu	1.02	1.08	1.06	0.86	1.00
Gd	4.6	5.0	4.94	4.03	4.64
Tb	0.68	0.71	0.69	0.59	0.67
Dy	3.5	4.03	3.92	3.34	3.70
Ho	0.74	0.82	0.72	0.64	0.73
Er	2.07	2.16	2.19	1.89	2.08
Tm	0.27	0.31	0.28	0.25	0.28

Table 2. Continued

2. Southeastern Yellow Sea sediments (continued)

Sample No. Elementy	S1	S2	S3	S4	Av.
Yb	2.0	2.02	1.98	1.91	1.98
Lu	0.27	0.3	0.28	0.25	0.28
Σ REE	165.5	183.9	175.7	127.3	163.1
Σ LREE	150.3	167.5	159.7	113.5	147.8
Σ HREE	14.13	15.35	15.0	12.9	14.35
LREE/HREE	10.64	10.91	10.65	8.9	10.28
Eu/Eu*	0.61	0.6	0.61	0.609	0.61
Ce/Ce*	0.93	0.98	0.95	0.93	0.95
(La/Yb) _N	12.0	13.0	12.84	9.5	11.8
(La/Sm) _N	4.09	4.13	4.19	3.7	4.03
(Gd/Yb) _N	1.85	2.0	2.01	1.71	1.89
(Ce/Yb) _N	9.25	10.37	10.13	7.2	9.24
(Ce/Sm) _N	3.16	3.29	3.31	2.81	3.14
(La/Lu) _N	13.5	13.3	13.7	10.94	12.86
(La/Yb) _{UCC}	1.3	1.41	1.39	1.02	1.28
(Gd/Yb) _{UCC}	1.33	1.43	1.44	1.22	1.36
(La/Sm) _{UCC}	0.98	0.99	1.01	0.89	0.97

Table 2. Continued

3. Changjiang River's submerged delta sediments

Sample No. Elementy	C1		C2				Av.
	①(0~1)	①(0~1)	②(9~10)	③(13~14)	④(23~24)	⑤(35~36)	
Al*	7.1	7.3	7.6	7.1	7.0	7.2	7.24
Fe*	3.61	4.0	4.6	4.5	4.1	4.0	4.24
Ca*	3.54	3.1	3.1	3.0	3.4	3.3	3.18
Mg*	1.45	1.64	1.76	1.72	1.74	1.67	1.71
K*	2.2	2.3	2.4	2.4	2.2	2.3	2.32
Na*	1.5	1.43	1.53	1.51	1.66	1.53	1.53
Ti*	0.53	0.54	0.52	0.51	0.5	0.49	0.51
Mn	651	868	936	931	834	843	882.4
Ba	399.4	514	558	582	551	504	541.8
Sr	160	140	143	136	156	149	144.8
Rb	90.5	119.7	121.1	123.9	116.8	118.0	119.9
Zr	121.2	133.4	123.8	131.0	130.7	133.0	130.4
Hf	3.8	3.1	3.2	3.0	3.3	2.8	3.1
Ni	26.8	36.5	40.8	38.5	33.4	36.2	37.1
Co	12.4	14.2	15.2	15.0	13.6	14.1	14.4
V	97.1	91.5	99.3	103.1	90.4	91.8	95.22
Cr	70.2	73.9	66.2	70.4	62.9	70.3	68.7
Cu	22.0	34.9	38.8	40.3	31.7	34.1	36.0
Zn	86.1	103.7	120.7	112.1	102.4	102.2	108.2
Cd	0.15	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3

Table 2. Continued

3. Changjiang River's submerged delta sediments (continued)

Sample No. Elementy	C1		C2				Av.
	①(0~1)	①(0~1)	②(9~10)	③(13~14)	④(23~24)	⑤(35~36)	
Pb	36.4	27.4	32.6	31.9	26.9	26.8	29.1
Th	13.0	14.5	13.8	13.3	13.1	12.8	13.5
Cs	6.51	7.7	8.9	8.6	7.2	7.8	8.04
U	2.81	2.5	2.6	2.6	2.5	2.7	2.58
Li	58.1	45.1	50.7	53.3	54.8	45.0	49.8
Sc	12.01	12.7	11.9	11.3	10.8	11.01	11.5
Nb	12.6	15.0	14.5	14.9	14.1	14.4	14.6
Y	22.0	20.6	21.8	20.9	20.4	19.7	20.7
La	36.9	37.8	38.1	39.3	39.6	38.7	38.7
Ce	71.7	76.8	77.0	78.1	78.7	77.9	77.7
Pr	8.17	8.8	8.69	8.81	8.85	8.54	8.74
Nd	30.4	32.8	32.24	32.76	33.28	32.7	32.8
Sm	5.58	5.94	5.81	6.03	6.12	5.58	5.90
Eu	1.14	1.22	1.2	1.24	1.26	1.24	1.23
Gd	5.17	5.4	5.32	5.34	5.54	5.31	5.38
Tb	0.78	0.81	0.8	0.83	0.82	0.78	0.81
Dy	4.31	4.48	4.45	4.69	4.67	4.42	4.54
Ho	0.85	0.86	0.82	0.84	0.87	0.81	0.84
Er	2.52	2.62	2.5	2.53	2.63	2.49	2.55
Tm	0.33	0.36	0.35	0.36	0.35	0.34	0.35

Table 2. Continued

3. Changjiang River's submerged delta sediments (continued)

Sample No. Elementy	C1	C2					Av.
	①(0~1)	①(0~1)	②(9~10)	③(13~14)	④(23~24)	⑤(35~36)	
Yb	2.42	2.46	2.34	2.43	2.55	2.35	2.43
Lu	0.32	0.34	0.33	0.32	0.35	0.32	0.33
Σ REE	170.6	180.7	179.9	183.6	185.6	181.5	182.3
Σ LREE	152.8	162.1	161.8	165.0	166.6	163.4	163.8
Σ HREE	16.7	17.33	16.91	17.34	17.78	16.82	17.24
LREE/HREE	9.15	9.35	9.57	9.52	9.37	9.72	9.51
Eu/Eu*	0.64	0.654	0.651	0.66	0.653	0.69	0.66
Ce/Ce*	0.95	0.97	0.972	0.963	0.964	0.981	0.97
(La/Yb) _N	10.3	10.4	11.0	10.9	10.5	11.1	10.8
(La/Sm) _N	4.12	4.01	4.1	4.07	4.04	4.32	4.11
(Gd/Yb) _N	1.73	1.78	1.82	1.77	1.76	1.83	1.79
(Ce/Yb) _N	7.7	8.16	8.53	8.39	8.04	8.64	8.35
(Ce/Sm) _N	3.09	3.14	3.18	3.12	3.09	3.36	3.18
(La/Lu) _N	11.9	11.4	11.8	12.6	11.6	12.5	12.0
(La/Yb) _{UCC}	1.12	1.13	1.2	1.18	1.14	1.21	1.17
(Gd/Yb) _{UCC}	1.24	1.27	1.32	1.27	1.26	1.31	1.29
(La/Sm) _{UCC}	1.0	0.95	0.99	0.98	0.97	1.04	0.99

Table 2. Continued

3. Changjiang River's submerged delta sediments (continued)

Elementy	C3							C4					Total Av. C1+C2+C3+C4
	①(0~1)	②(9~10)	③(13~14)	④(23~24)	⑤(35~36)	⑥(55~56)	Av.	①(0~1)	②(13~14)	③(29~30)	④(39~40)	Av.	
Al*	7.2	7.5	6.6	7.9	7.1	6.9	7.2	6.2	6.7	5.8	6.3	6.3	7.0
Fe*	3.7	4.1	4.4	4.3	3.5	4.1	4.0	3.74	4.2	3.6	3.63	3.79	4.01
Ca*	2.8	2.4	2.3	2.5	2.7	2.1	2.5	2.63	2.96	2.84	2.88	2.83	2.85
Mg*	1.55	1.75	1.92	2.02	1.51	1.82	1.76	1.17	1.46	1.29	1.28	1.30	1.61
K*	2.3	2.0	2.5	2.4	2.2	2.3	2.3	1.85	2.18	2.02	1.94	2.00	2.22
Na*	1.56	1.55	1.64	1.56	1.65	1.48	1.57	1.24	1.31	1.32	1.28	1.29	1.48
Ti*	0.4	0.44	0.45	0.47	0.42	0.44	0.44	0.42	0.43	0.4	0.42	0.42	0.46
Mn	652	672	698	717	609	697	674.2	502	422	373	421	429.5	676.6
Ba	611	610	637	606	545	565	595.7	412	426	423	419	420.0	522.7
Sr	155	147	135	128	120	122	134.5	175	158	163	160	164.0	146.7
Rb	112.9	116.5	123.0	127.6	109	115.2	117.4	96.1	116	97.1	94.6	101.0	112.4
Zr	121.7	130.3	129.2	132.2	153.1	139.7	134.4	127.7	133.7	120.6	133.6	128.9	130.9
Hf	2.9	2.8	3.2	3.0	3.4	2.8	3.0	3.93	3.87	4.16	3.75	3.93	3.31
Ni	32.4	34.9	36.8	37.0	32.8	38.7	35.4	23.2	26.1	22.2	22.5	23.5	32.43
Co	11.5	10.8	11.5	12.4	11.7	12.2	11.7	10.4	11.0	10.7	11.5	10.9	12.4
V	79.1	84.4	90.1	91.4	73.3	85.5	84.0	77.0	87.9	73.8	79.5	79.6	87.2
Cr	62.4	68.8	62.3	62.4	66.9	68.3	65.2	60.3	61.5	56.4	58.4	59.2	65.1
Cu	22.5	26.5	30.2	30.9	22.1	28.9	26.9	10.9	14.5	10.6	9.86	11.47	25.55
Zn	91.4	99.8	110.1	110.9	90.2	112.8	102.5	101.7	77.3	69.2	65.1	78.3	97.23
Cd	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.15	0.27	0.32	0.29	0.31	0.30	0.22

Table 2. Continued

3. Changjiang River's submerged delta sediments (continued)

Sample No. Elementy	C3							C4					Total Av. C1+C2+C3+C4
	①(0~1)	②(9~10)	③(13~14)	④(23~24)	⑤(35~36)	⑥(55~56)	Av.	①(0~1)	②(13~14)	③(29~30)	④(39~40)	Av.	
Pb	22.9	24.9	26.7	26.3	22.5	25.7	24.8	18.7	22.8	18.0	18.5	19.5	25.6
Th	13.0	13.3	12.1	13.2	12.4	12.9	12.8	11.7	11.5	10.8	11.7	11.4	12.7
Cs	6.6	5.9	8.7	8.9	6.4	8.1	7.4	5.42	7.73	5.37	5.52	6.01	7.21
U	2.5	2.6	2.6	2.4	2.2	2.3	2.4	2.72	2.58	2.67	2.71	2.67	2.56
Li	43.2	48.4	52.7	54.8	40.6	51.9	48.6	35.7	42.3	37.7	38.9	38.7	47.1
Sc	11.4	12.3	10.5	11.5	11.6	11.0	11.4	10.3	10.7	9.7	10.2	10.2	11.2
Nb	11.7	11.5	12.9	13.1	11.9	12.7	12.3	10.6	11.6	11.2	12.4	11.5	12.8
Y	17.5	18.5	20.6	21.1	16.9	19.3	18.98	22.4	20.6	18.6	20.1	20.4	20.1
La	37.5	37.2	38.4	38.1	34.6	37.5	37.2	36.9	37.8	34.1	34.8	35.9	37.3
Ce	77.4	75.0	77.1	76.8	67.2	74.9	74.7	70.1	69.8	67.8	67.2	68.7	74.0
Pr	8.6	8.44	8.71	8.8	7.9	8.5	8.49	8.4	7.8	7.3	7.74	7.81	8.38
Nd	32.0	31.5	32.5	33.0	29.6	31.5	31.7	31.2	30.7	28.8	29.64	30.09	31.54
Sm	5.72	5.58	5.9	5.94	5.45	5.76	5.72	5.67	5.45	5.14	5.18	5.36	5.68
Eu	1.19	1.19	1.22	1.21	1.17	1.18	1.19	1.16	1.14	1.09	1.06	1.11	1.18
Gd	5.24	5.20	5.4	5.32	5.0	5.09	5.21	5.12	5.0	4.82	4.71	4.91	5.19
Tb	0.77	0.74	0.78	0.76	0.74	0.75	0.76	0.76	0.78	0.70	0.69	0.73	0.77
Dy	4.45	4.3	4.48	4.55	4.24	4.48	4.42	4.43	4.41	3.97	3.88	4.17	4.39
Ho	0.87	0.84	0.81	0.8	0.84	0.78	0.82	0.79	0.75	0.8	0.78	0.78	0.82
Er	2.48	2.4	2.58	2.53	2.52	2.6	2.52	2.32	2.3	2.36	2.21	2.30	2.47
Tm	0.34	0.33	0.35	0.35	0.34	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.31	0.32	0.34

Table 2. Continued

3. Changjiang River's submerged delta sediments (continued)

Elementy	C3							C4					Total Av. C1+C2+C3+C4
	①(0~1)	②(9~10)	③(13~14)	④(23~24)	⑤(35~36)	⑥(55~56)	Av.	①(0~1)	②(13~14)	③(29~30)	④(39~40)	Av.	
Yb	2.49	2.36	2.34	2.37	2.38	2.23	2.36	2.31	2.2	2.28	2.16	2.24	2.35
Lu	0.34	0.31	0.32	0.32	0.34	0.3	0.32	0.33	0.32	0.32	0.3	0.32	0.32
Σ REE	179.4	175.4	180.9	180.8	162.4	176.0	175.8	169.9	168.8	160.1	160.7	164.9	174.8
Σ LREE	161.2	157.7	162.6	162.7	144.8	158.2	157.9	152.3	151.6	143.3	144.6	148.0	156.9
Σ HREE	16.98	16.48	17.06	17.0	16.4	16.58	16.8	16.39	16.08	15.56	15.04	15.8	16.65
LREE/HREE	9.49	9.57	9.53	9.57	8.83	9.54	9.4	9.29	9.43	9.21	9.61	9.38	9.42
Eu/Eu*	0.66	0.67	0.65	0.65	0.68	0.66	0.66	0.65	0.66	0.66	0.65	0.66	0.66
Ce/Ce*	0.99	0.97	0.97	0.97	0.93	0.96	0.96	0.92	0.92	0.97	0.94	0.94	0.96
(La/Yb) _N	10.14	10.7	11.04	10.84	9.84	11.4	10.66	10.84	11.61	10.13	10.94	10.88	10.73
(La/Sm) _N	4.1	4.2	4.1	4.01	4.0	4.1	4.1	4.1	4.33	4.14	4.2	4.19	4.12
(Gd/Yb) _N	1.7	1.8	1.9	1.81	1.7	1.84	1.79	1.8	1.83	1.71	1.8	1.78	1.79
(Ce/Yb) _N	8.1	8.31	8.54	8.42	7.4	8.8	8.26	8.0	8.3	7.8	8.14	8.06	8.20
(Ce/Sm) _N	3.3	3.23	3.15	3.11	3.0	3.13	3.15	3.0	3.1	3.2	3.13	3.11	3.15
(La/Lu) _N	11.3	12.3	12.4	12.3	10.4	12.8	11.92	11.5	12.2	11.0	11.9	11.7	11.9
(La/Yb) _{UCC}	1.11	1.16	1.21	1.18	1.07	1.24	1.16	1.17	1.26	1.1	1.18	1.18	1.17
(Gd/Yb) _{UCC}	1.22	1.28	1.34	1.3	1.22	1.33	1.28	1.29	1.32	1.22	1.27	1.27	1.28
(La/Sm) _{UCC}	0.98	1.0	0.98	0.96	0.95	0.98	0.97	0.98	1.04	1.0	1.01	1.01	0.99

Table 2. Continued

Sample No. Elementy	Huanghe	Changjiang	Keum	UCC	PAAS	NASC	GBSS	SEYSS	CRSDS
Al*	5.6	7.1	7.4	8.0	10	8.95	5.98	6.7	7.0
Fe*	2.5	4.3	3.1	3.5	5.1	3.5	2.8	3.2	4.1
Ca*	4.0	3.2	0.6	3.0	0.9	2.43	2.58	3.23	2.9
Mg*	1.2	1.6	0.9	1.3	1.3	1.7	1.17	1.15	1.62
K*	1.9	2.1	2.4	2.8	3.1	0.75	1.49	2.32	2.24
Na*	1.7	0.9	1.5	2.9	0.9	2.89	1.41	1.96	1.5
Ti*	0.36	0.57	0.39	0.41	0.6	0.47	0.27	0.38	0.51
Mn	498	958	586	620	858	468	486.4	521	710.1
Ba	453	454	492	550	650	636	462.4	398.5	521.8
Sr	207	146	149	350	200	142	184.7	209.4	146.8
Rb	81.7	113.0	132.0	112.0	160	125	81.1	100.5	112.9
Zr	143	138	141	190	210	200	144.3	128.7	130.6
Hf	4.47	4.26	—	—	—	6.3	4.35	3.9	3.3
Ni	21.6	40.3	26.0	20.0	55	58	26.9	33.0	33.2
Co	9.29	16.8	15.0	10.0	—	—	7.36	9.83	12.8
V	58.2	104.0	64.2	60.0	150	130	61.9	67.3	88.9
Cr	46.9	73.7	44.5	35.0	110	125	48.5	63.3	65.9
Cu	16.9	48.5	27.0	25.0	50	—	20.0	15.0	27.2
Zn	42.0	106.0	73.5	71.0	85	—	59.6	95.9	98.7
Cd	—	—	—	—	—	—	0.16	0.14	0.23

Table 2. Continued

Sample No. Elementy	Huanghe	Changjiang	Keum	UCC	PAAS	NASC	GBSS	SEYSS	CRSDS
Pb	18.2	39.5	36.7	20.2	20	–	21.7	32.5	26.5
Th	10.4	13.4	16.1	10.7	14.6	12	11.02	12.0	12.9
Cs	4.0	10.4	–	3.7	–	–	5.62	6.4	7.33
U	2.1	2.6	–	2.8	3.1	2.66	1.86	2.24	2.58
Li	26.1	44.9	45.1	–	–	–	30.5	45.7	47.9
Sc	7.77	11.9	9.0	6.3	–	6.3	8.32	9.53	11.27
Nb	11.2	17.0	16.3	25.0	19	13	8.82	12.1	13.2
Y	19.2	23.8	20.0	22.0	27	35	16.4	19.0	20.3
La	31	39.5	43.3	30	38	31.1	26.8	34.7	37.0
Ce	61.8	78.7	83.8	64	80	67	50.6	70.23	72.7
Pr	7.15	8.87	9.62	7.1	8.83	–	6.2	8.5	8.3
Nd	26.9	33.6	33.8	26	32	30.4	23.1	29.1	31.1
Sm	5.02	6.37	6.23	4.5	5.6	5.98	4.4	5.35	5.61
Eu	0.97	1.3	1.15	0.9	1.0	1.25	0.84	1.01	1.16
Gd	4.92	5.98	5.21	3.8	4.7	5.5	4.1	4.64	5.13
Tb	0.65	0.82	0.72	0.64	0.77	0.85	0.52	0.67	0.76
Dy	3.9	4.74	4.0	3.5	4.4	5.54	3.2	3.7	4.34
Ho	0.72	0.89	0.76	0.8	1.0	–	0.6	0.73	0.82
Er	2.29	2.71	2.25	2.3	2.9	3.28	1.77	2.08	2.45
Tm	0.3	0.35	0.31	0.33	0.41	–	0.22	0.28	0.33

Table 2. Continued

Sample No. Elementy	Huanghe	Changjiang	Keum	UCC	PAAS	NASC	GBSS	SEYSS	CRSDS
Yb	2.16	2.48	1.97	2.2	2.8	3.11	1.67	1.98	2.34
Lu	0.3	0.35	0.31	0.32	0.4	0.46	0.23	0.28	0.32
Σ REE	148.1	186.7	193.3	146.4	183.1	154.5	124.1	163.2	172.4
Σ LREE	131.9	167	178.6	131.6	164.5	134.51	111.0	147.8	154.7
Σ HREE	15.2	18.3	15.5	13.9	17.5	18.73	12.3	14.36	16.51
LREE/HREE	8.7	9.2	11.4	9.5	9.41	7.2	9.1	10.3	9.38
Eu/Eu*	0.6	0.64	0.61	0.65	0.65	0.67	0.61	0.61	0.65
Ce/Ce*	0.97	0.99	0.94	1.07	1.07	1.04	0.91	0.95	0.94
(La/Yb) _N	9.61	10.63	11.81	9.21	9.17	6.75	11.0	11.9	10.7
(La/Sm) _N	3.81	3.83	4.33	4.2	4.3	3.3	3.84	4.04	4.12
(Gd/Yb) _N	1.73	1.92	2.13	1.4	1.4	1.44	2.01	1.9	1.8
(Ce/Yb) _N	7.45	8.26	11.05	7.58	7.4	5.9	8.0	9.24	8.11
(Ce/Sm) _N	2.97	3.87	3.23	3.42	3.45	2.7	2.8	3.16	3.12
(La/Lu) _N	10.7	11.7	11.4	9.7	9.84	8.35	12.0	12.9	11.9
(La/Yb) _{UCC}	1.0	1.21	1.6	—	1.0	1.6	1.2	1.3	1.16
(Gd/Yb) _{UCC}	1.34	1.41	1.56	—	0.98	1.03	1.44	1.36	1.27
(La/Sm) _{UCC}	0.92	0.93	1.03	—	1.02	1.68	0.92	0.98	1.0

황해 남동부의 니질퇴적물은 Ca, Zn 및 Pb 원소를 제외한 나머지 대부분의 원소들이 고갈되었고, 양자강 하구역 수중 삼각주 니질퇴적물은 Fe, Ca, Mg, Mn, Zn 및 Pb 원소를 제외한 나머지 원소들이 고갈되는 특징을 보였다.

양자강 하구 수중 삼각주 니질 퇴적물에서는 Fe, Mn, Zn 및 Pb 원소와 같은 중금속 원소들이 상부대륙지각의 세일값 보다 높은 함유량을 보이는 것은 최근 양자강 하구역 주변지역의 공업 및 도시화의 확대에 따라 중금속을 함유한 각종 생활하수의 다량 방출에 의한 영향도 있을 것이다.

연구지역의 퇴적물의 화학조성을 이용하여 중국의 황하와 양자강 및 한국의 금강 기원 퇴적물을 구별할 수 있는 지화학적 특징으로는 Table 2에서 보는바와 같이 황하강 퇴적물에는 양자강 퇴적물에 비해 Ca, Na, Sr 및 Zr 원소가 높은 함량 특성을 보이며, 한국의 금강은 중국의 황하와 양자강 보다 K, Rb, Th 원소가 높은 함량을 보였고, 반면에 양자강 퇴적물에는 대부분 전이원소 함량이 풍부한 것으로 보고 되었다(Zhao and Yan, 1992; Yang et al., 2003). 그러나 Ca, Na 및 Sr과 같은 알칼리토류 원소들은 강과 해양환경에서 불안정하고 해양자체에서 공급되는 해양생물과 해수기원 물질 등의 요인에 의해서도 그 함량이 조절되므로 대륙기원 원소의 함량이 상대적으로 변하게 된다.

따라서 대륙기원 원소의 공급 여부나 기원지 차이 등을 밝히고자 할 때에는 해양기원에 의한 요소를 제거하여 대륙기원 원소에 의해서만 고찰이 필요하다(Moorby, 1983). 이러한 방법 중의 하나가 대륙기원 원소이면서 보존성 원소인 Al, Ti 및 Sc 등으로 표준화함으로써 입도의 영향을 최소화 할 뿐만 아니라 해양 퇴적물의 공급지 추정이 가능하다고 보고 되었다(Ergin et al., 1996).

본 연구에서는 잔류퇴적물에 높은 함량을 보이며, 퇴적물의 운반과정에서 비교적 보존적 거동을 보이는 Sc/Al, Ti/Nb, Cr/Th, Nb/Co, Th/Sc 및 Zr/Sc 비를 이용하여 연구지역에 분포하는 퇴적물의 기원지를 추정해 보았다. Fig. 5에서 보는바와 같이 상기 원소들의 비 값을 이용한 상관도표에서 중국의 황하와 양자강 및 한국의 금강 퇴적물에서 뚜렷한 차이를 보여, 따라서 이들 비 값을 이용하여 연구지역에 분포하고 있는 퇴적물의 기원지 추정에 지시자로 이용될 수 있음을 시사한다. 즉 Fig. 5의 Cr/Th 대 Sc/Al, Nb/Co 대 Th/Sc, Th/Sc 대 Ti/Nb 및 Zr/Sc 대 Th/Sc의 상관도표에서 연구지역의 퇴적물은 크게 세 유형으로 구분된다.

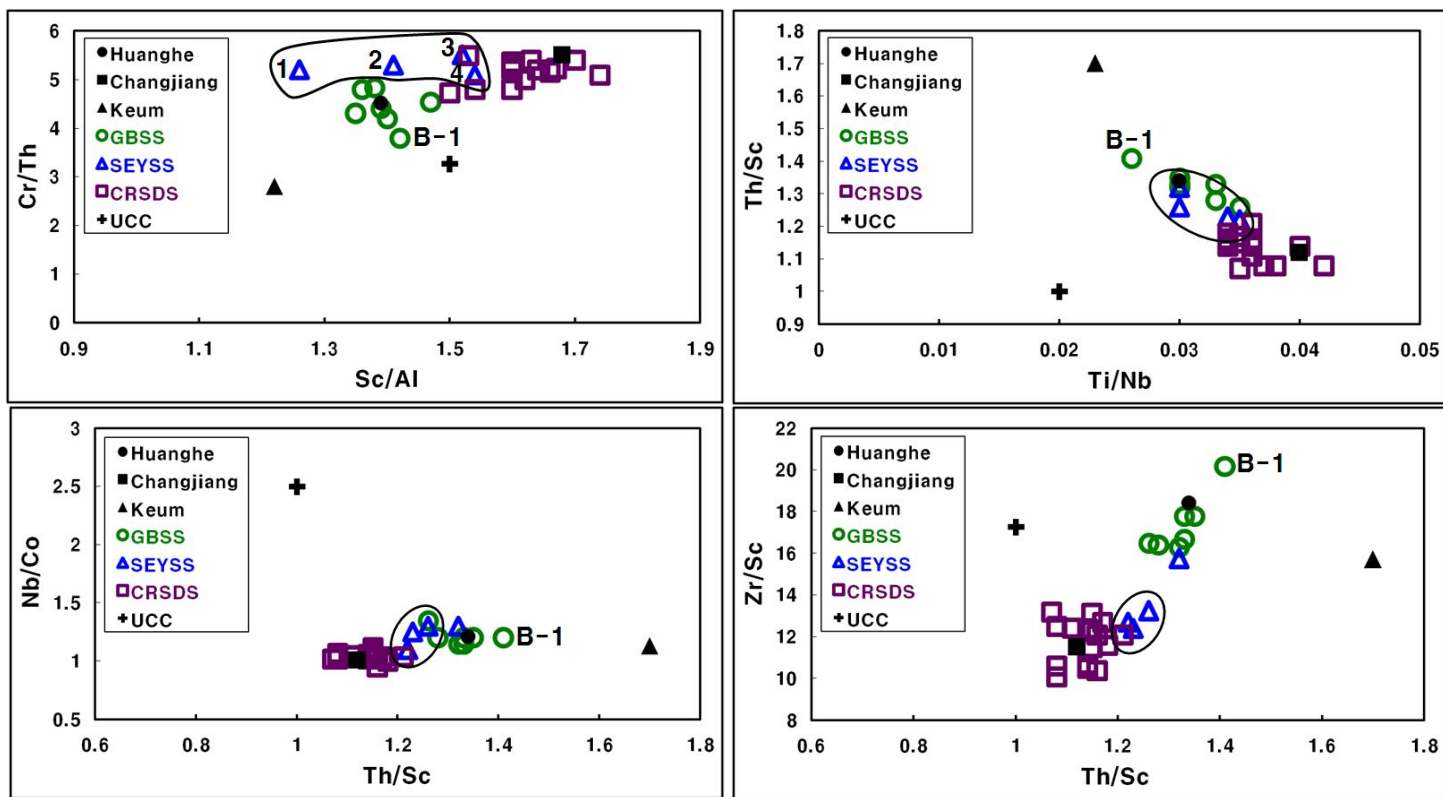


Fig. 5. Discrimination plots of Sc/Al vs Cr/Th, Th/Sc vs Nb/Co, Ti/Nb vs Th/Sc and Th/Sc vs Zr/Sc. Huanghe, Changjiang and Keum Rivers sediment (Yang et al., 2004), UCC : Average upper continental crust (Taylor and McLennan, 1985).

Note. GBSS : Gulf of Bohai Sea Sediment, SEYSS : Southeastern Yellow Sea Sediment, CRSDS : Changjiang River's Submerged Delta Sediment

보하이만 지역에 분포하는 퇴적물은 B1 시료를 제외하고는 대부분이 황하강 퇴적물 평균치시료 주위에 밀집 분포하는 경향을 보여 보하이만 해역은 주로 황하강의 영향을 받고 있음을 의미한다.

또한 양자강 하구역 수중삼각주 지역에 분포하는 대부분의 퇴적물 시료들은 상기 원소들의 상관도표에서 양자강 퇴적물 평균치 주위에 밀집 분포하는 패턴을 보였다(Fig. 5). 따라서 퇴적물의 운반과 퇴적과정에서 용해성이 낮고 비교적 보존적 거동을 보여 기원지의 특징을 잘 반영하는 Al, Sc, Co, Nb, Th 및 Zr 같은 미량 원소 비를 이용하여 황해와 북동중국해에 분포하는 퇴적물의 황하와 양자강 기원 퇴적물을 구분하는 지화학적 추적자로 이용할 수 있었다(McLennan et al., 1980; Rollinson, 1993).

반면 황해 남동해역에 분포하는 니질퇴적물(SEYSS)은 기원지로서의 어느 특정한 지역을 명백히 보여주지 않았다. 즉 한국의 금강퇴적물의 평균치와는 멀리 떨어진 위치에 주로 분포하나, 중국의 황하와 양자강 퇴적물의 평균치 사이의 중간 지역에 밀집 분포하는 패턴을 보이거나 특히 양자강 보다는 주로 황하강 퇴적물의 평균치 지역에 더 가까이 분포하는 경향을 보였다. 따라서 황해 남동해역에 분포하는 니질 퇴적물은 한국의 강 기원 퇴적물과 그 외 중국의 황하강 기원 퇴적물도 다소 섞여있을 가능성을 시사한다.

3-2. 희토류원소

희토류원소(REE)는 외적요인 즉 변성작용, 변질작용 및 풍화작용의 영향을 다른 원소와 비교해 볼 때 비교적 덜 받는 특성을 보이고, 특히 지구환경에서 발생된 모든 환경에서 규칙성을 가지고 거동하는 특성을 보이는 것으로 알려져 있다(Taylor and McLennan, 1985; McLennan, 1989). 희토류원소의 존재는 특히 운석이나 상부대륙지각세일(Upper Continental Crust; UCC)로 규격화한 분포 양상에서도 변화하지 않기 때문에 이를 이용하면 퇴적물의 기원지 혹은 근원암을 추적하는데 매우 유용하게 이용되고 있다(Piper, 1985; McLennan, 1989; Holser, 1997; Sholkovitz and Szymezak, 2000; Yang et al., 2002). 또한 암석이

심하게 풍화를 받아 토양화 된 후에도 희토류원소의 분포도가 변화되지 않음을 보고한 바 있다(Lee et al., 1994; Yang et al., 2002). Cullers et al.(1979, 1987, 1988)와 Li et al.(2009)은 퇴적물의 입도, 광물조성이 희토류 원소의 함량에는 영향을 주지만 운석이나 UCC로 규격화한 분포도에는 큰 영향을 주지 않는 것으로 보고 되었다. 연구지역 퇴적물의 희토류원소의 조성은 Table 2에 기재하였다. 표에서 보는바와 같이 희토류원소의 함유량은 114.6~185.6ppm(평균 153.2ppm)의 넓은 범위를 보였고, NASC 평균값과 유사한 함량치를 보였다.

퇴적물 입도조성과 REE와의 관계는 Fig. 6에 제시하였다. 그림에서 보는바와 같이 경희토류 원소(Light Rare Earth Element; LREE)는 퇴적물 내 점토함량과 정(+)의 상관성($R^2=0.58$)을 보였고, 중희토류 원소(Heavy Rare Earth Element ; HREE)도 정(+)의 상관관계($R^2=0.56$)을 보이는데 이는 희토류 원소는 퇴적물내 점토광물 함량에 의해 지배를 받고 있음을 의미한다. 반면에 모래함량이 증가함에 따라 LREE와 HREE는 상대적으로 뚜렷이 감소하는 부의 상관관계($R^2= -0.86$ 과 -0.78)를 보였다. 따라서 연구지역 퇴적물 내 희토류원소의 함량은 기원지 외에 점토광물 함량과 퇴적물의 입도에 의해서도 지배를 받고 있음을 의미한다.

연구지역 퇴적물시료와 기 보고된 황하 및 양자강 퇴적물의 희토류원소의 평균값을 이용하여 이들 시료들에 대하여 희토류원소(REEs)의 분포도를 작성하였다(Fig. 7). 토양이나 퇴적물의 화학조성 중 REE 분포 패턴을 이용하면 근원암이 염기성암에서 기원된 것인지 혹은 규산질암에서 유래된 것인가를 평가하는데도 유용하게 이용된다. 즉 기원암이 염기성암일 경우 일반적으로 가벼운 희토류원소와 무거운 희토류원소비(LREE/HREE)가 낮고, Eu의 부(-) 이상도 미미한 반면에, 기원암이 규산질암일 경우는 보다 높은 LREE/HREE 비를 보이고, Eu의 부(-)이상도 두드러진 특징을 보인다고 보고되었다(Culler et al., 1979, 1987). 따라서 본 연구지역의 퇴적물 시료와 중국의 황하, 양자강 및 한국의 금강 퇴적물의 희토류원소의 평균값을 운석으로 규격화한 REE 분포 패턴을 나타내었다(Fig. 7).

Fig. 7에서 보는바와 같이 황하와 양자강 및 금강 퇴적물인 경우 LREE ($La_{(N)}/Sm_{(N)} > 3.8$)는 상당히 부화되어 있고, HREE(Gd~Ln)는 전반적으로 고갈된 편이며, Eu의 부(-) 이상도 두드러진 특징을 보이는데 이는 상부대륙지각세일(UCC)의 희토류원소 분포 경향과 매우 유사하였다(Fig. 7).

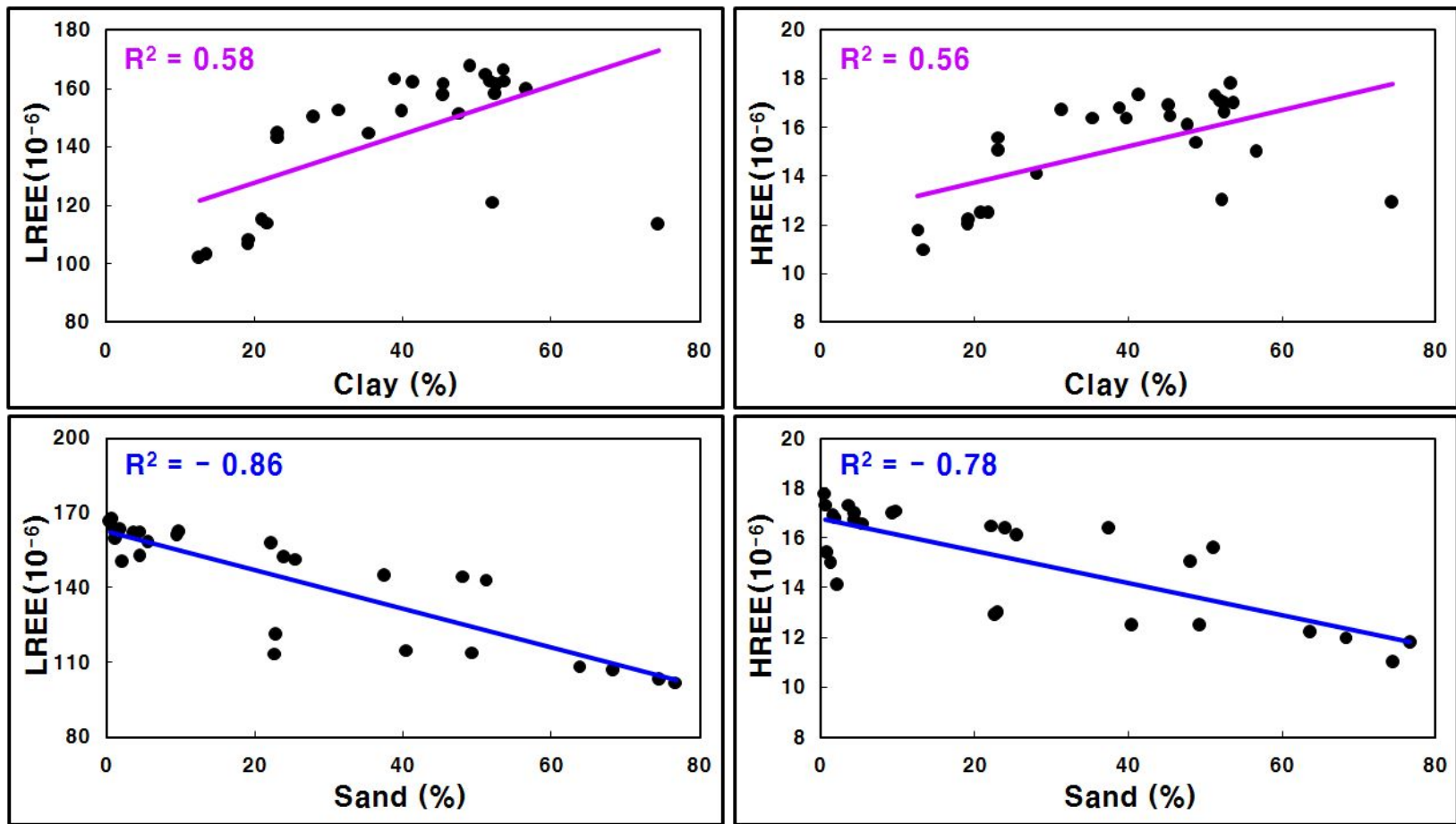


Fig. 6. Correlation between REE and sediment grain size.

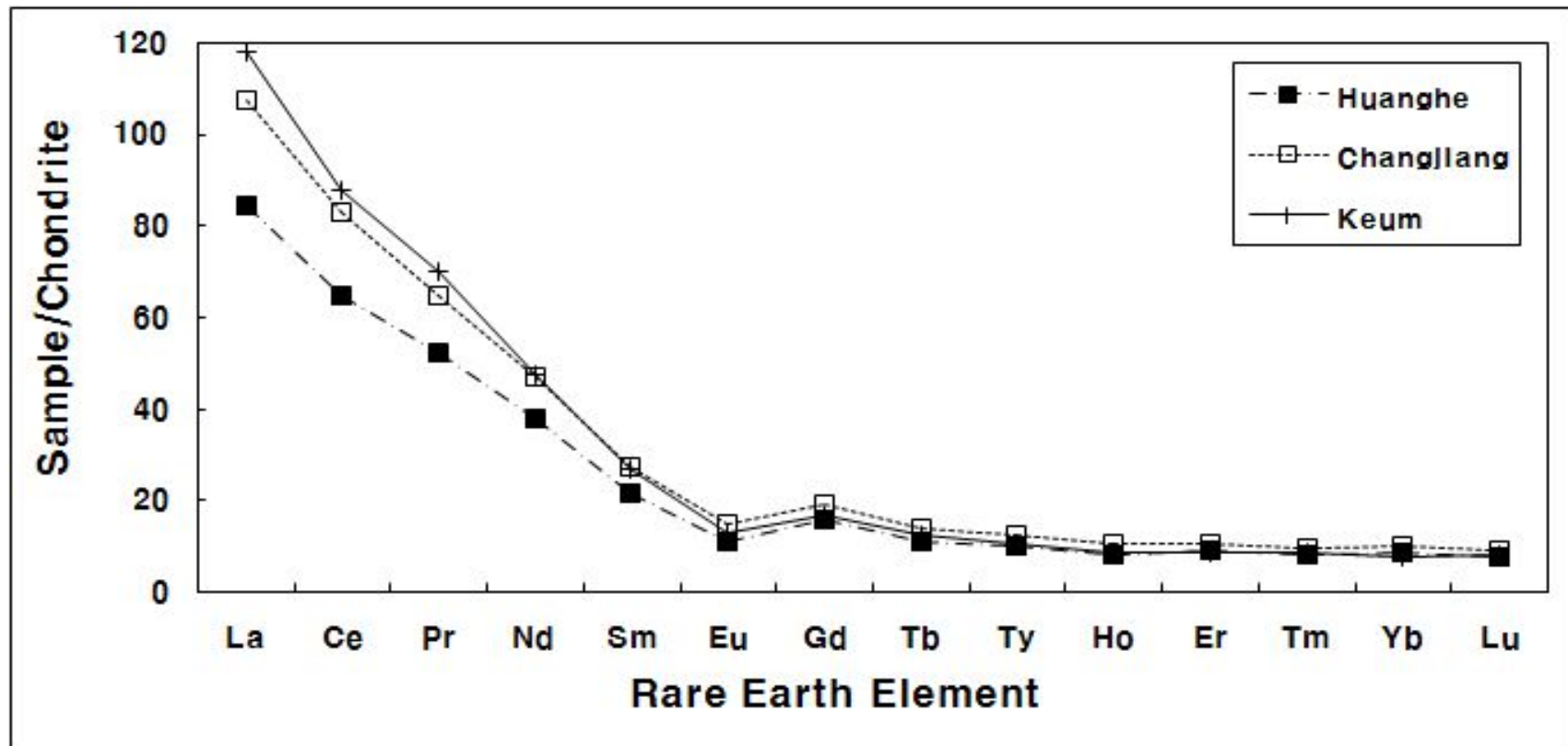


Fig. 7. Chondrite normalized REE diagram of the Huanghe, Changjiang and Keum River's sediments.

Fig. 8은 보하이만 퇴적물의 희토류원소 조성을 Taylor and McLennan(1985)가 제시한 운석값으로 규격화한 희토류원소의 분포도이다. 그림에서 보는바와 같이 연구지역 퇴적물도 LREE($La_{(N)}/Sm_{(N)} > 3.6$)가 상당히 부화되어 있고, HREE는 고갈되어 평평한 패턴을 보이고, Eu의 부(-) 이상도 뚜렷하여 이는 황하, 양자강 및 금강 퇴적물의 희토류원소 분포패턴과 매우 유사하여 이또한 전형적인 상부대륙지각 shale의 운석으로 표준화한 희토류원소의 분포패턴을 보였다. REE 패턴이 부분적인 차이를 보이는 것은 퇴적물 시료들의 광물조성과 입도차이에서 오는 결과로 사료된다.

보하이만 퇴적물의 희토류원소 함량은 114.6~135.1%(평균 123.1%)의 범위를 보이고 중국의 황하와 양자강 및 한국의 금강 퇴적물 보다 낮은 함량치를 보이는데, 이는 화학분석 과정에서 중광물의 불완전한 용해나 혹은 퇴적물의 입도 차이 및 기원암내에 낮은 희토류원소 함량 등과 관련이 있을 것으로 사료된다. 그러나 Eu/Eu^* 와 $Ca_{(N)}/Sm_{(N)}$ 비는 각각 0.57~0.63(평균 0.61)과 2.37~3.01(평균 2.72)의 범위를 보여 양자강 퇴적물의 평균치(0.64와 3.87)보다 낮고 황하강 퇴적물의 평균치(0.6과 2.97)와 더 유사한 함량치를 보였다(Table 2).

Fig. 9는 보하이만 퇴적물, 중국의 황하와 양자강 퇴적물, 그리고 한국의 금강 퇴적물을 Taylor and McLennan(1985)가 제시한 상부대륙지각세일(Upper Continental Crust ; UCC)의 평균값으로 규격화한 REE분포도이다. 그림에서 보는바와 같이 양자강 퇴적물이 중국의 황하강과 한국의 금강 퇴적물보다 높은 희토류원소 함량과 전반적으로 위로 볼록한 REE 분포형태와 높은 Eu 정(+) 이상을 보이고, 또한 중희토류 원소(MREE; Sm~Ty)도 더 부화되어 있다.

반면 황하강 퇴적물은 상대적으로 낮은 희토류원소 농도를 보이고, Eu와 Tm의 작은 부(-) 이상을 보이며 특히 REE도 양자강과 한국의 금강 퇴적물에 비해 더욱 고갈된 패턴을 보인다. 이처럼 중국의 황하와 양자강 및 한국의 금강 퇴적물사이에서 현저히 다른 REE 분포패턴을 보이는 것은 이들 강 유역 지역은 지질, 생성연대, 근원암의 조성 및 풍화작용 강도 등이 서로 다르기 때문인 것으로 보고되었다(Yang et al., 2002).

UCC로 규격화한 보하이만 퇴적물의 희토류원소의 분포패턴은 Fig. 9에서 보는 바와 같이 낮은 REE 농도를 가지며, Eu와 Tm도 공통적으로 황하강 퇴적물과 유사하게 현저한 부(-)의 이상을 보여 전형적인 황하 퇴적물을 UCC로 표준화한

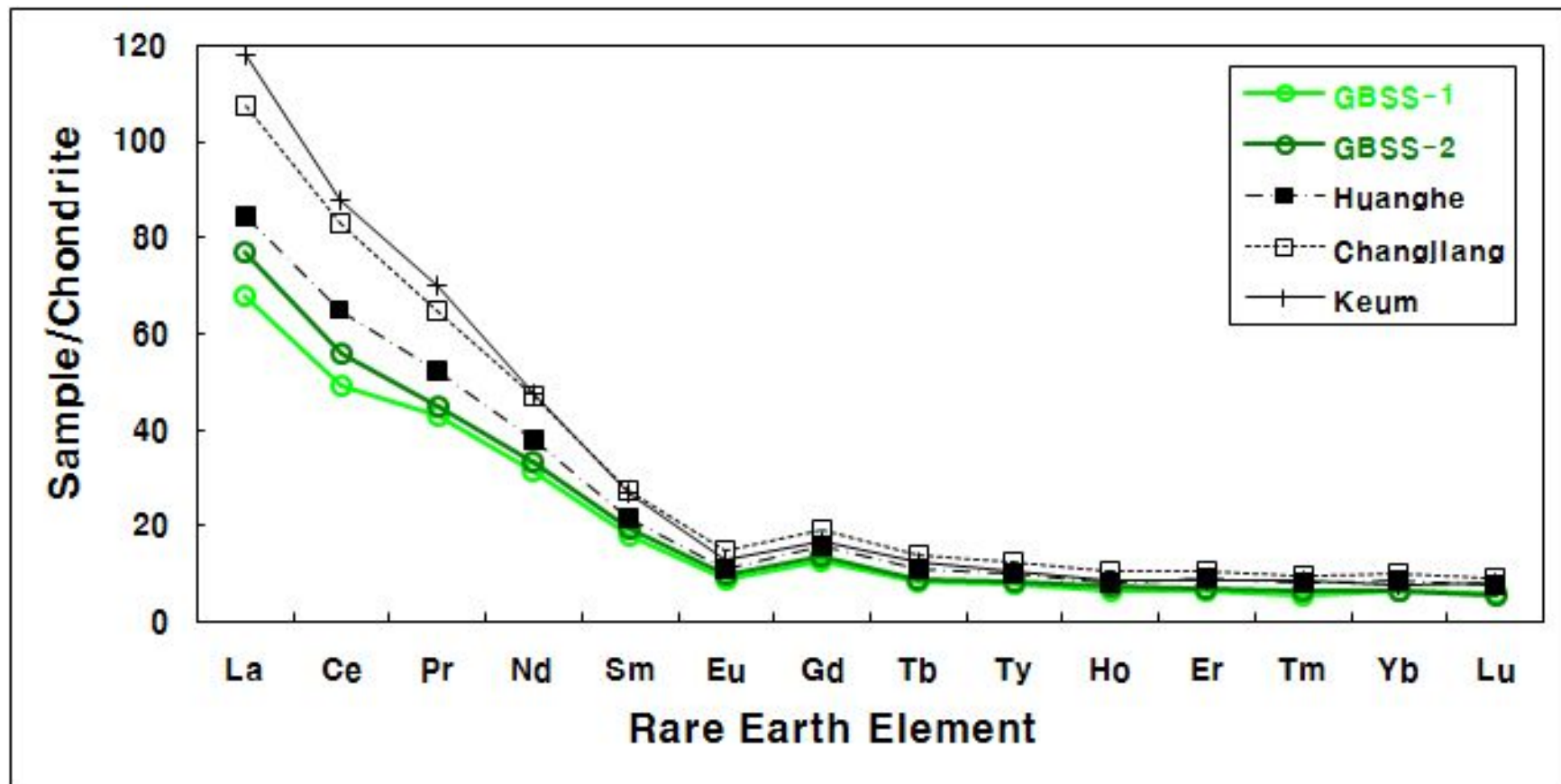


Fig. 8. Chondrite normalized REE diagram of the Gulf of Bohai Sea Sediments (GBSS).

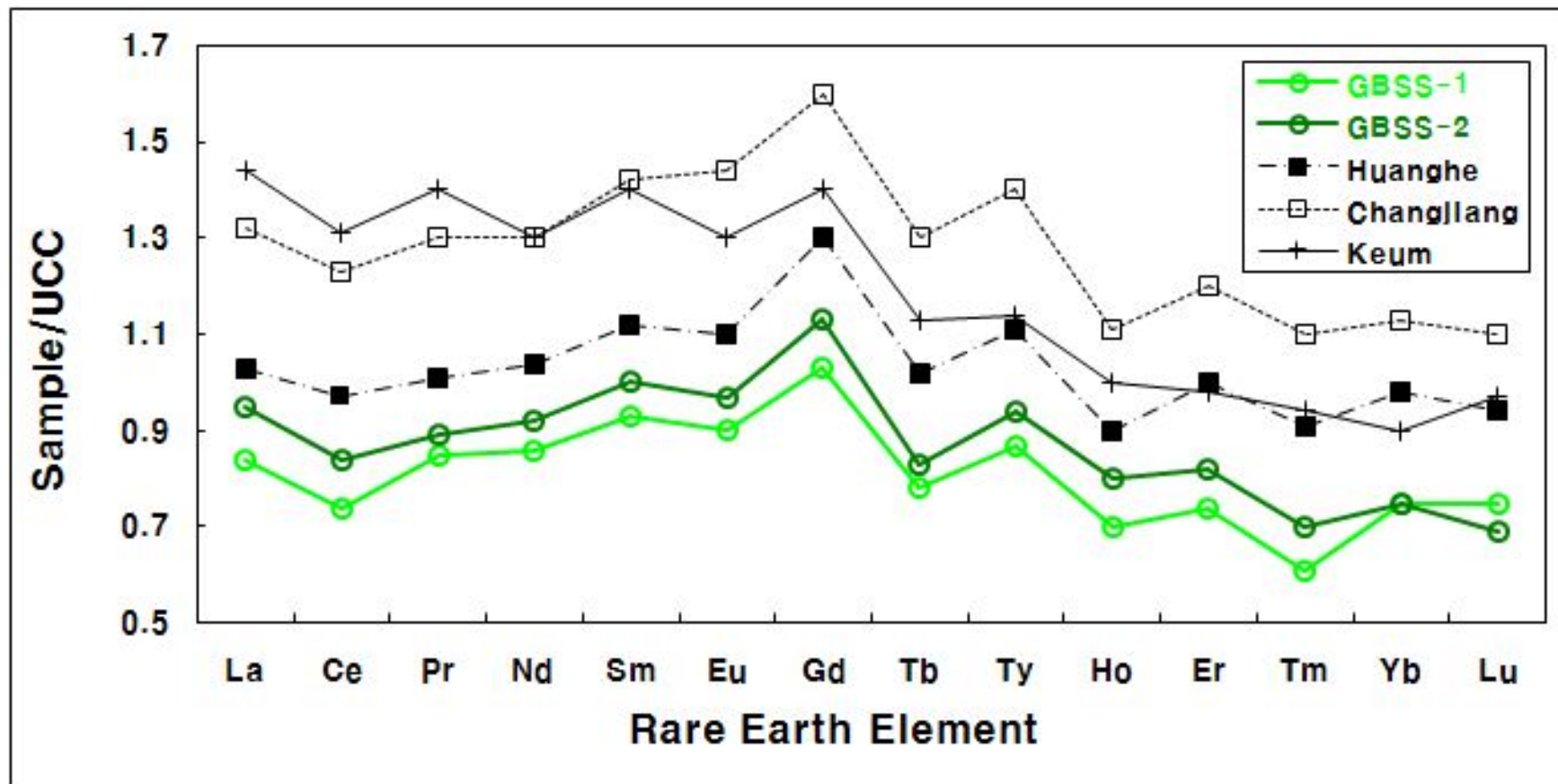


Fig. 9. The Upper Continental Crust (UCC) normalized diagram of the Gulf of Bohai Sea Sediments (GBSS).

희토류원소 패턴과 유사하였다. 또한 $(La/Yb)_{UCC}$ 와 $(La/Sm)_{UCC}$ 각각 1.09~1.33 (평균 1.18)와 0.88~0.97(평균 0.93)의 범위를 보여 양자강 퇴적물의 평균치 (1.21와 0.93)보다 낮고, 황하퇴적물의 평균치(1.0와 0.92)와 더 유사한 함량치를 보였다(Table 2). 따라서 연구지역 퇴적물을 UCC 규격화한 REE 패턴을 이용하여 퇴적물의 기원지를 밝히는데 추적자로 이용될 수 있음을 의미한다.

황해 남동부의 니질퇴적물의 희토류 함량은 127.3~183.9%(평균 163.1%)로 황하강 퇴적물(148.1%) 보다는 높고, 양자강퇴적물(186.7%) 보다는 낮은 함량치를 보였다(Table 2). Fig. 10은 황해 남동부에 니질퇴적물 시료와 중국의 황하와 양자강, 한국의 금강 퇴적물의 희토류원소 조성을 Taylor and McLennan (1985)가 제시한 운석으로 규격화한 REE 분포도이다. 그림에서 보는 바와같이 LREE가 매우 부화되어 있고($La_{(N)}/Sm_{(N)} > 4$), HREE가 고갈된 편평한 형태를 보이고 두드러진 Eu의 부(-) 이상을 보이는데 이 또한 상부대륙지각세일을 운석으로 표준화한 전형적인 희토류 원소 분포 패턴을 보였다(Culler et al., 1979). REE 분포의 패턴이 시료마다 차이를 보이는 것은 퇴적물 시료들의 입도차이에서 오는 결과로 보여진다. 그러나 그림에서 보는 바와같이 연구지역 퇴적물의 REE 패턴이 강기원 퇴적물의 REE와 너무 가까이 인접한 분포 패턴을 보여 운석으로 규격화한 REE 패턴을 이용하여 황해 남동해역 니질 퇴적물의 기원지를 구분할 수가 없었다. 그러나 황해 남동해역 니질 퇴적물의 LREE/HREE 비는 8.9~10.91(평균 10.3)의 범위로 황하나 양자강 퇴적물(8.7과 9.2)의 평균치 보다 금강 퇴적물의 평균치 (11.4)와 유사한 함유량을 보였다.

$(La/Yb)_N$ 비는 9.5~13.0(평균 11.8)로 중국의 황하나 양자강 퇴적물의 평균값 (9.61과 10.63)보다 금강 퇴적물의 평균값(11.81)과 더 유사한 값을 보였다. 또한 Eu/Eu^* 비도 0.6~0.61(평균 0.61)로 양자강퇴적물(0.64) 보다는 황하강과 금강 퇴적물의 평균값(0.6~0.61)과 더 유사하였다.

Fig. 11은 황해 남동부해역 니질퇴적물 시료와 중국의 황하와 양자강퇴적물, 그리고 한국의 금강 퇴적물 시료를 UCC로 규격화한 희토류원소 분포도이다. 그림에서 보는바와 같이 시료 SEYSS-4를 제외하고 나머지 시료들은 LREE(La~Sm)가 중국의 황하나 양자강 퇴적물에 비해 상당히 부화되어 있고, HREE는 고갈된 형태를 보였다. 또한 Ce와 Eu도 중국의 황하강 퇴적물과 한국의 금강 퇴적물 시료와 유사

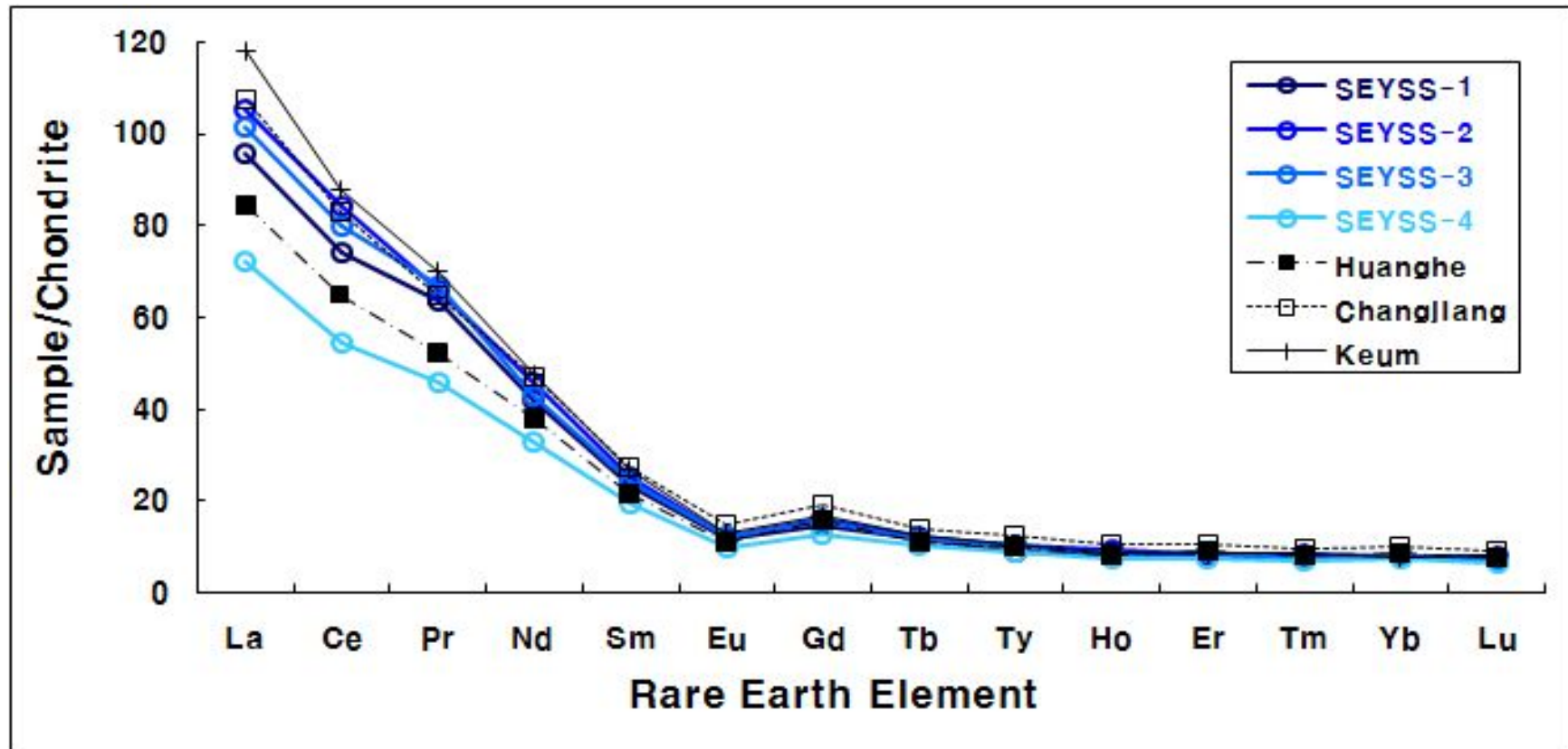


Fig. 10. Chondrite normalized REE diagram of the Southeastern Yellow Sea Sediments (SEYSS).

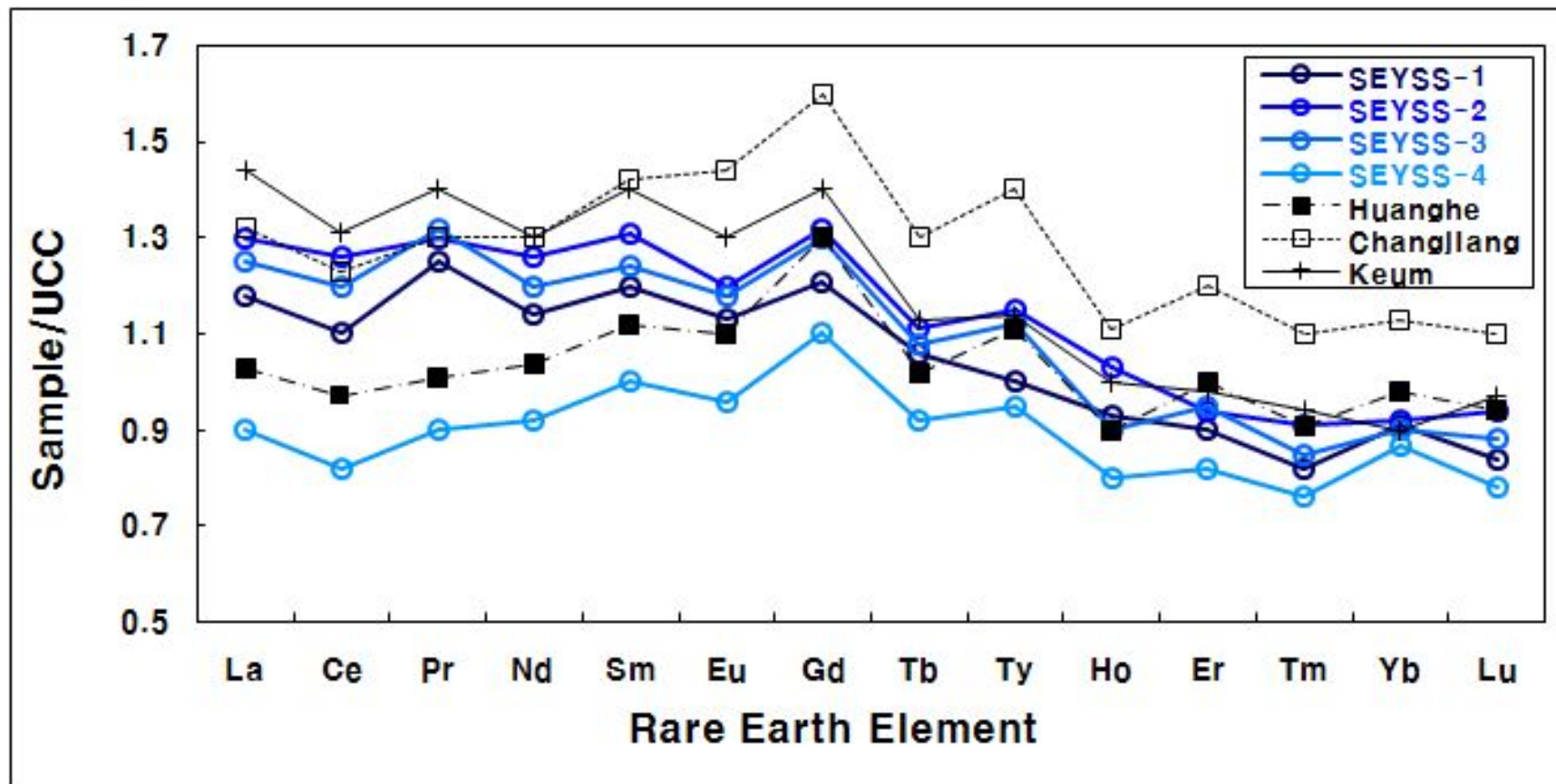


Fig. 11. The Upper Continental Crust (UCC) normalized diagram of the Southeastern Yellow Sea Sediments (SEYSS).

하게 두드러진 부(-)의 이상을 보였다. 그러나 REE분포 패턴이 시료마다 다소 차이를 보이는데 이는 퇴적물내 점토광물 조성과 입도차이와 같은 성분 차이와 기원지가 다른 물질이 혼재된 때문인 것으로 보여진다. 또한 $(Gd/Yb)_{UCC}$ 비는 1.22~1.44(평균 1.36)의 범위로 양자강 퇴적물의 평균치(1.41) 보다는 황하강 퇴적물의 평균치(1.34)와 유사한 값을 보였다. 따라서 황해 남동해안에 분포하는 니질 퇴적물은 한국 기원의 강 퇴적물(금강)과 중국의 황하강 기원 퇴적물이 혼합되어 있을 가능성을 시사하고 있다. 황하강 기원 퇴적물이 한국 서남해안지역까지 이동이 가능한 기작으로는 1855년 이후 황하강 유로가 산둥반도 북쪽의 보하이 해로 유입된 이후, 황하강 기원 퇴적물의 약 70~80%는 해안선에서 바다로 약 20km이내 지역에 퇴적되고 10~15% 정도는 보하이만 지역에 퇴적되며, 나머지 15~20%가 산둥반도 부근에서 남하하여 남황해 중앙부 지역과 북동중국해까지 운반 퇴적되는 것으로 알려졌다(Saito and Yang, 1994). 즉, 보하이만에서 발원하여 수심 40~50m 등수심선을 따라 여름철에는 북위 32° 00' 까지 동계에는 북위 30° 00', 동경 126° 00' 까지 남하하는 황해 연안류 등에 의해 황하강 기원 부유 퇴적물이 한국서남해역의 니질 퇴적물 분포지역(SEYSS)까지 이동이 가능하다는 것이다(Milliman et al., 1985).

양자강 하구역 수중삼각주 니질퇴적물의 희토류원소 함량은 160.1~185.6% (평균 172.4%)로 보하이만 퇴적물과 황해 남동해안에 분포하는 니질퇴적물 보다 현저히 높은 함유량을 보였다(Table 2). 이는 주로 기원암의 성분 차이에서 오는 결과나 혹은 양자강 유역은 온난 습윤한 기후환경이라서 화학적 풍화작용이 활발히 진행됨에 따라 이곳 강 유역에 분포하는 퇴적물에는 높은 희토류원소가 함유되어 있는 것과도 관련이 있을 것으로 보여진다.

Fig. 12는 양자강 수중삼각주 니질퇴적물의 운석으로 규격화한 희토류원소 분포도이다. 그림에서와 같이 LREE(La~Sm)가 매우 부화되어 있고($La_{(N)}/Sm_{(N)} > 4.1$), HREE도 고갈된 편평한 형태를 보이며, 두드러진 Eu의 부(-)이상을 보여 이 또한 세일의 REE패턴과 유사하였다. 그러나 그림에서 보는 바와 같이 양자강 수중 삼각주 니질퇴적물의 REE와 중국의 황하와 양자강퇴적물 및 한국의 금강 퇴적물의 REE 패턴 사이에 너무 가까이에 밀집된 분포를 하는 관계로 이 역시 운석으로 규격화한 REE 분포패턴을 이용하여 양자강 하구역 수중삼각주 지역에 분포

하는 니질 퇴적물의 기원지를 밝힐 수가 없었다. 그러나 양자강 하구역 수중삼각주 니질 퇴적물의 LREE/HREE비는 8.83~9.72(평균 9.38)의 범위를 보여 황하나 금강 퇴적물의 평균값(8.7과 11.4)보다 양자강 퇴적물의 평균값(9.2)와 더 유사하였다. 또한 Eu/Eu^* 와 $(La/Yb)_N$ 비가 각각 0.64~0.69(평균 0.65)과 10.14~11.61(평균 10.7)의 값을 보여 황하강 퇴적물(0.6과 9.61)과 한국의 금강퇴적물의 값 보다 (0.61과 11.81) 양자강 퇴적물의 평균값(0.64와 10.63)과 더 유사한 함량치를 보였다(Table 2).

Fig. 13은 양자강 수중삼각주 니질퇴적물의 REE를 UCC로 규격화한 희토류 원소 분포도이다. 그림에서 보는바와 같이 REE패턴이 황하강과 보하이만 퇴적물 보다 더욱 분화된 패턴(fractionation pattern)을 보이는데, 이는 근원암내의 이들 원소 함량이 높거나 혹은 화학적 풍화작용이 이들 지역보다 더욱 활발히 진행된 것과 관련이 있을 것으로 보아진다. 특히 MREE(Sm~Ty)가 양자강 퇴적물의 평균값과 유사하게 더욱 부화되어 위로 볼록한 형태(Convex shape)를 보이고, Sm과 Eu도 양자강 퇴적물과 유사하게 두드러진 정(+)의 이상을 보였고, 또한 $(La/Yb)_{UCC}$ 도 1.07~1.26(평균 1.16)의 범위로 중국의 황하강 퇴적물(1.0)과 한국의 금강 퇴적물(1.6)보다 양자강 퇴적물의 평균값(1.21)과 더 유사하였다. 따라서 양자강 하구역 수중 삼각주 지역에 분포하는 니질퇴적물은 주로 양자강으로부터 운반된 퇴적물임을 의미한다. 이는 양자강으로부터 유출되는 부유퇴적물은 주로 하구역의 동쪽과 남 동쪽의 동경 $122^{\circ} \sim 123^{\circ}$ 지역에 분포하는 수중삼각주지역(CRSDS)에 퇴적되고 소량만이 동중국해 외해지역으로 확산되는 것으로 보고된 기존의 연구 결과와 잘 일치한다(Milliman et al., 1985).

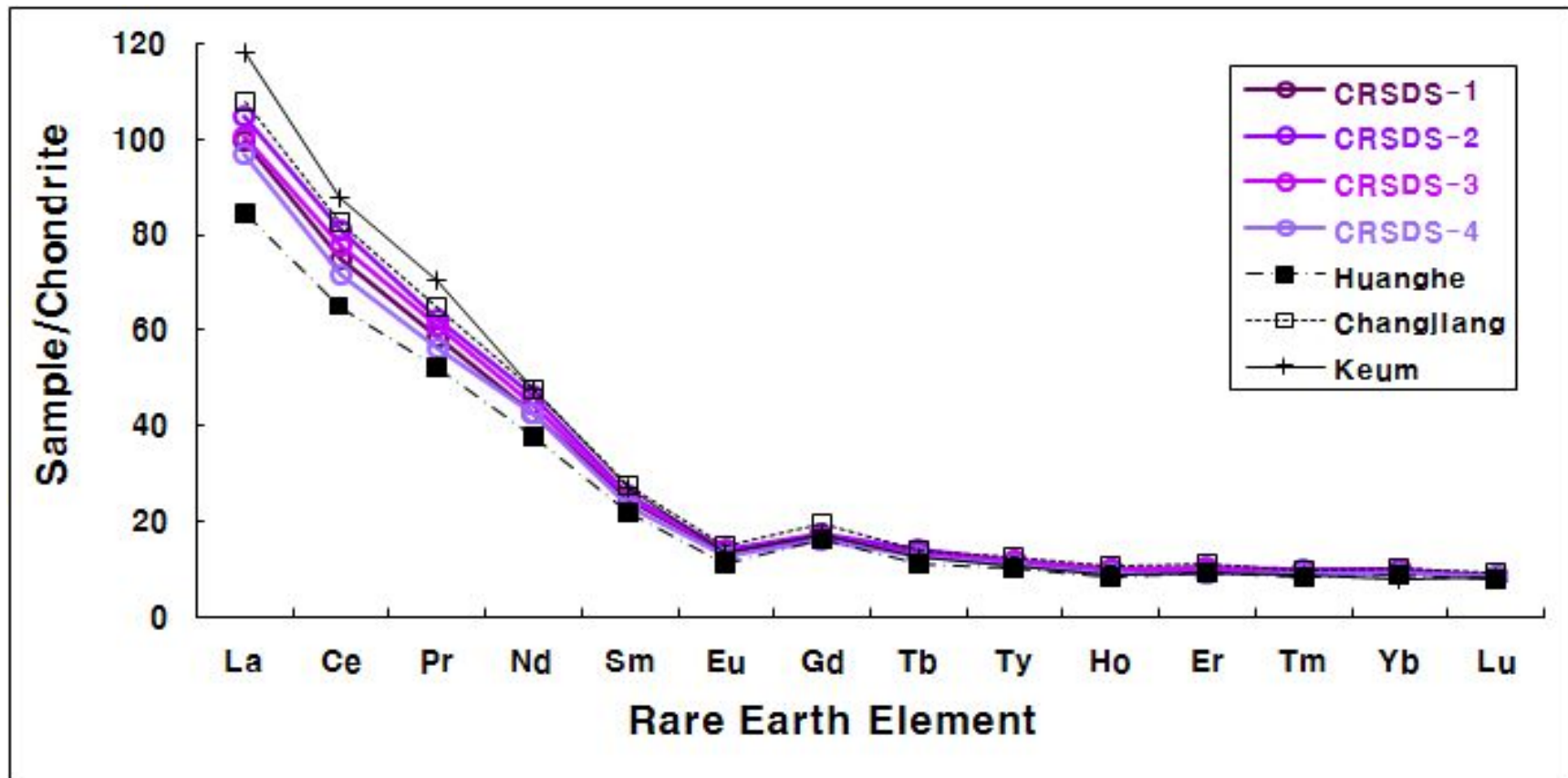


Fig. 12. Chondrite normalized REE diagram of the Changjiang River's Submerged Delta Sediments (CRSDS).

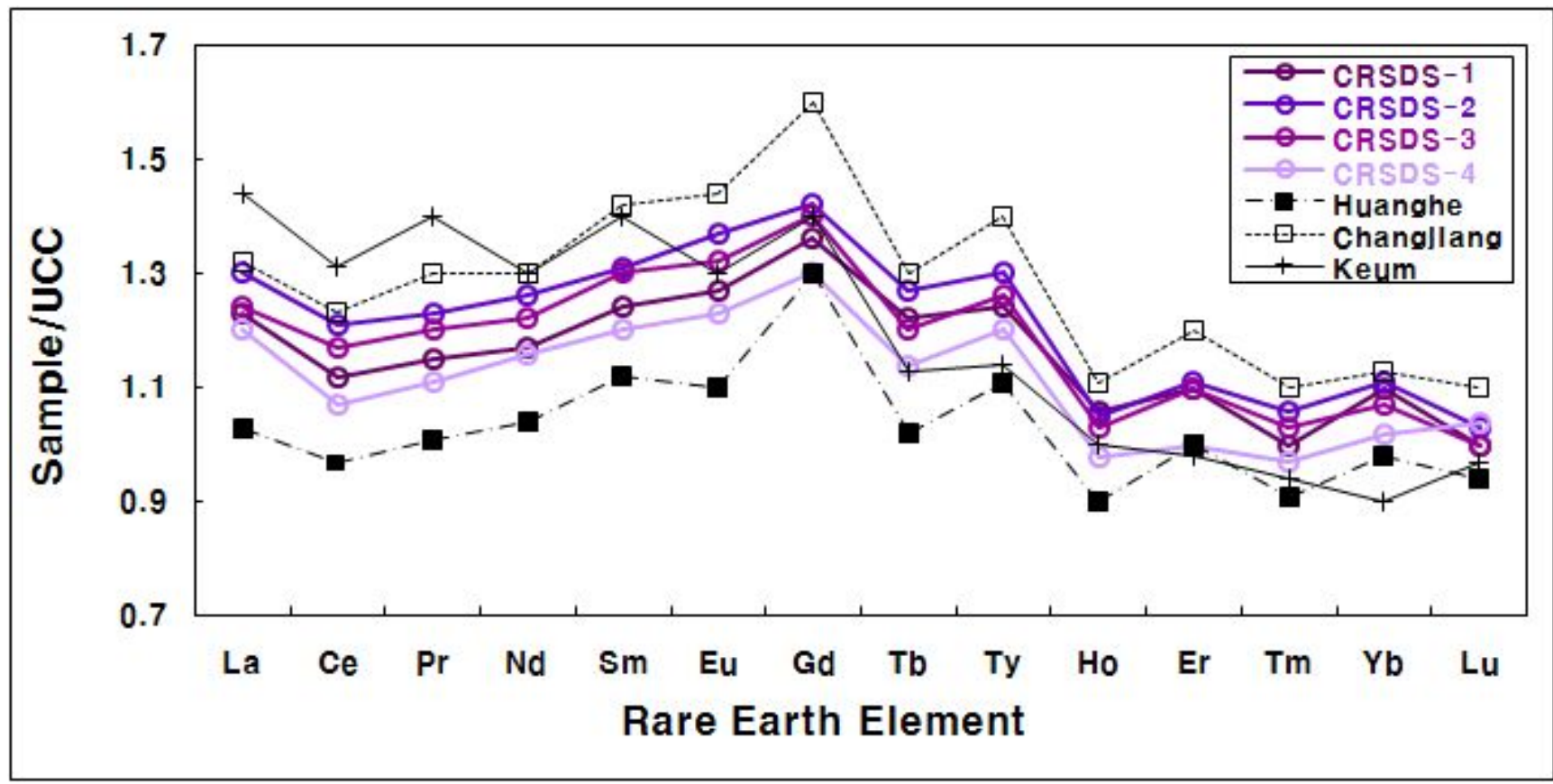


Fig. 13. The Upper Continental Crust (UCC) normalized diagram of the Changjiang River's Submerged Delta Sediments (CRSDS).

IV. 결 론

보하이만 해역, 황해 남동부 연안역과 양자강하구역의 수중삼각주 지역에 분포하는 니질퇴적체에 대한 입도분석, ^{210}Pb 동위원소를 이용한 퇴적속도, 주성분 및 미량 원소, 희토류원소 조성을 이용한 기원지를 밝히는 연구 결과는 다음과 같다.

1. 보하이만 해역의 북동쪽은 니질모래 퇴적상이 분포하고, 황하강 하구역인 남서쪽은 사질니토 퇴적상이 분포한다. 니질모래 퇴적상의 평균조성은 모래 70.8%, 실트 13.2%, 점토 16.1%로 구성되어 있고, 사질니토 퇴적물은 모래 37.6%, 실트 24.9%, 점토 37.5%로 구성되어 있다.
2. 황해 남동부 니토대 분포지역은 니토와 실트 퇴적물이 분포하며, 니토 퇴적상의 평균조성은 모래 1.0%, 실트 46.4%, 점토 52.8%이고, 실트 퇴적상은 모래 2.2%, 실트 69.9%, 점토 28.0%로 구성되어 있다.
3. 양자강 하구역 수중삼각주의 니질 퇴적체는 주로 니토와 사질니토 퇴적상이 분포한다. 니토퇴적상은 모래 4.1%, 실트 47.0%, 점토 48.9%이고, 사질니토 퇴적물은 모래 31.5%, 실트 30.4%, 점토 38.2%로 구성되어 있다.
4. 보하이만해역 퇴적물의 탄산염 함량과 유기탄소 함량은 각각 4.05%, 0.47%이며, 황하강의 영향을 직접 받는 남서쪽지역은 북동쪽지역보다 높은 함량치를 보였다. 황해 남동해역 니질퇴 적체 지역은 각각 평균 2.56%와 0.60%를 보였고, 양자강 하구역 수중삼각주 니질 퇴적체 지역은 각각 5.69%, 0.78%로 가장 높은 함유량을 보이는데, 이는 양자강 하구역에서의 높은 생물 생산력과 관련이 있음을 의미한다.
5. 퇴적물 C/N비는 보하이만 퇴적물은 평균 10.11를 보이고, 황해 남동해역 퇴적물은 평균 11.58이며, 양자강하구 수중삼각주 니질 퇴적물은 평균 10.66으로 퇴적물 시료내에 해양 기원 유기물보다 육성기원 유기물이 상대적으로 많이 포함되어 있음을 의미한다.
6. 보하이만 남서쪽인 황하강 하구역 니질 퇴적물 분포지역에서 측정된 퇴적속도는 0.65cm/yr를 보이는데 이는 황하강 기원 부유퇴적물이 하구역 니질퇴적체 분포지역으로 이동·퇴적되고 있음을 의미한다.

7. 연구지역 퇴적물의 화학조성 중 $(Al+Fe)/(Ca+Mg+K)$, $(Ca-Fe)/Al$ 및 $(Ca-Mg)/K$ 3개의 지화학적 구분지수의 적용 결과 양자강 하구역 수중 삼각주 지역의 니질 퇴적물은 주로 양자강 퇴적물 평균치 주위에 밀집 분포하였고, 보하이만 지역의 니질 퇴적물은 황하강 퇴적물 평균치 주위에 밀집 분포하는 시료와 기타 독립된 지역에 분포하는 시료로 구분되었으며, 황해 남동연안 니질 퇴적물은 기원지로서의 어느 특정 지역을 나타내지 않았다.
8. 퇴적물의 운반과정에서 비교적 보존적 거동을 보이고 기원암의 특성을 잘 반영하는 Sc/Al , Cr/Th , Nb/Co , Th/Sc , Ti/Nb 및 Zr/Sc 의 원소비는 연구지역 퇴적물의 근원지 추정에 지시자로 이용될 수 있었다. 상기 원소들을 이용한 상관도에서 보하이만지역 퇴적물은 주로 황하강 퇴적물 주위에 밀집 분포하였고, 양자강 하구역 수중삼각주 지역의 니질퇴적물은 양자강 퇴적물 주위에 밀집된 분포를 보였다. 반면 황해 남동 연안역에 분포하는 니질 퇴적물은 한국의 금강 퇴적물과 중국의 황하강 퇴적물과 혼합되어 있음을 보였다.
9. 보하이만 퇴적물의 REE 함량은 평균 124.1%로 중국의 황하와 양자강 및 한국의 금강 퇴적물보다 낮은 함량치를 보였으나, Eu/Eu^* 와 $La_{(N)}/Sm_{(N)}$ 비는 각각 0.61과 2.8로 양자강과 금강 퇴적물 보다 황하강 퇴적물과 유사한 함량을 보였다. UCC로 규격화한 REE 패턴은 전반적으로 REE가 고갈되고 Eu 와 Tm 의 현저한 부(-) 이상을 보여 전형적인 황해 퇴적물과 유사한 REE 패턴을 보였다.
10. 황해 남동해 니질퇴적물의 REE 함량은 평균 163.2%로 한국의 금강 퇴적물 보다는 낮은 함량을 보이나 Eu/Eu^* 비는 양자강보다는 황하강과 한국의 금강 퇴적물과 더 유사하였다. UCC도 표준화한 REE는 LREE가 상당히 부화된 패턴을 보이고 Ce 과 Eu 도 황하강과 금강 퇴적물과 유사하게 두드러진 부(-) 이상을 보여 중국의 황하기원 퇴적물과 한국의 금강기원 퇴적물이 혼합되어 있음을 시사하였다.
11. 양자강 하구역 수중삼각주지역 니질퇴적물의 REE 함량은 평균 172.4%로 가장 높은 함유량을 보였고, Eu/Eu^* 와 $(La/Yb)_N$ 비도 각각 0.65와 10.7로 황하강 보다는 양자강 퇴적물과 더 유사한 함유량을 보였다. UCC로 표준화한 REE는 양자강 퇴적물과 유사하게 MREE가 상당히 부화된 위로 볼록한 패턴을 보여 이곳 퇴적물은 주로 양자강에서 운반된 퇴적물임을 의미 하였다.

참 고 문 헌

- 박명호, 김지훈, 서광수, 2005. 제주도 동부지역 제 4 기 신양리층의 지화학적 특성 연구. 지질학회지, 41(1) : 19-33.
- 이창복, 정희수, 정갑식, 1992. 황해 남동해역 표층퇴적물 중 수중 금속원소의 분포 특성에 관한 연구. 한국해양학회지, 27 : 55-65.
- 임동일, 신인현, 정희수, 2007. 한국과 중국의 강 퇴적물의 주성분 원소 함량 특성 ; 황해 니질퇴적물의 기원지 연구를 위한 잠재적 추적자. 한국지구과학회지, 28 : 311-323.
- 윤정수, 임동일, 변종철, 정희수, 2005. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비를 이용한 동중국해역 대륙붕 퇴적물의 기원 연구. 한국해양학회지, 10 : 92-99.
- 윤정수, 변종철, 김여상, 2006. 동중국해 외대륙붕해역 니질퇴적물의 지화학적 특성. 한국지구과학회지, 27(2) : 198-208.
- 윤정수, 김태정, 2008. 제주도 서부해역 표층퇴적물의 지화학적 조성과 기원 연구. 한국지구과학회지, 29(4) : 328-340.
- 천중화, 허식, 한상준, 신동혁. 이희일, 김성렬, 2000. 황해 중심부 해역에서 저해수면 시기에 형성된 후기 플라이스토세 산화대층의 특성 및 고해양학적 중요성. 지질학회지, 36(4) : 517-528.
- 최만식, 이창복, 조영길, 1995. 금강 부유퇴적물 중 미량금속의 함량과 이동, 한국 해양학회지, 30 : 371-381.
- 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.
- Bhatia, M. R. and Crook, K. A. W., 1986. Trace element characteristics of graywacks and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. Contribution of Mineralogy and Petrology, 92 : 181-193.
- Bhatia, M. R. and Taylor, S. R., 1981. Trace-element geochemistry and

- sedimentary province : a study from the Tasman Geosyncline, Australia. *Chemical Geology*, 33 : 115–125.
- Biggs, R. B., 1967. The sediments of Chesapeake Bay in Lauff, ed., *Estuaries*; Washington, D. C. Am. Assoc. Adv. Sci. Publ., 83 : 239–260.
- Bordovsky, O. K., 1965. Sources of organic matter in marine basins. *Marine Geology*, 3 : 5–32.
- Byers, S. C., Mills, E. L. and Stewart, P. I., 1978. A comparison of method for determining organic carbon in marine sediments with suggestion for a standard method. *Hydrobiology*, 58 : 43–47.
- Carpenter, R., Bennett, J. J. and Peterson, M. L., 1981. Pb-210 activities in and fluxes to sediments of the Washington continental slope and shelf. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 45 : 1155–1172.
- Chough, S. K. and Kim, D. C., 1981. Dispersal of fine-grained sediments in the southeastern Yellow Sea : a steady-state model. *Journal Sediment Petrology*, 51 : 721–758.
- Cullers, R. L., Chaudhuri, Cl, Kibane, N. and Koch, R., 1979. REE in size fractions and sedimentary rocks of Pennsylvanian–Permian age from the mid-continent of the USA. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 43 : 1285–1301.
- Cullers, R. L., Barrett, T., Carlson, R. and Robinson, B., 1987. REE mineralogic changes in Holocene soil and stream sediment, *Chemical Geology*, 63 : 275–297.
- Cullers, R. L., Basu, A. and Suttner, L. J., 1988. Geochemical signature of provenance in sand-material in soils and stream sediments near the Tobacco Root Batholith, Montana, U.S.A, *Chemical Geology*, 70 : 335–348.
- DeMaster, D. J., Mckee, B. A., Nittourer, C. A., Qian, J. and Cheng. G., 1985. Rates of sediment accumulation and particle reworking based on radiochemical measurement from continental shelf deposit in the East

- China. *Continental Shelf Research*, 4, 143–158.
- Ergin, M., Kazan, B. and Ediger, V., 1996. Source and depositional controls on heavy metal distribution in marine sediments of the Gulf of Iskenderun, Eastern Mediterranean. *Marine Geology*, 133 : 223–239.
- Folk, R. L. and Ward, W. C., 1957. Brazor river bar : a study in the significance of grain size parameters, *Journal Sediment Petrology*, 27 : 3–27.
- Folk, R. L., 1968. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hamphill's, PP.170.
- Galehouse, J. S., 1971. Sedimentation analysis. In : *Procedures in Sedimentary Petrology* edited by Carver, R. E., Wiley–Interscience : 69–94.
- Hedges, J. I. and Parker, P. L., 1976. Land–derived organic matter in surface sediments from the Gulf of Mexico, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 40 : 1019–1029.
- Holser, W. T., 1997. Evaluation of the applicate of rare earth element to Paleoceanography, Palaeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 132 : 309–323.
- Ingram, R. L., 1971. Sieve analysis. In : *Procedure in Sedimentary Petrology* : edited by Carrer, R. E., Wiley Interscience : 49–68.
- Keller, G. H. and Prior, D. B., 1986. Sediment dynamics of the Huanghe (Yellow River) delta and neighboring Gulf of Bohai, Peoples Republic of China : project overview. *Geo–Marine Letter*, 6 : 63–66.
- Kim, K. H. and Burnett, W. C., 1983. Gamma–ray spectrometric determination of uranium series nuclides in marine phosphorites. *Anal. Chem.*, 55 : 1976–1980.
- Kim, G. B., Yang, H. S. and Church, T. M., 1999. Geochemistry of alkaline earth elements (Mg, Sr, Ba) in the surface sediments of the Yellow Sea, *Chemical Geology*, 153 : 1–10.
- Koide, M., Soutar, A. and Goldberg, E. D., 1972. Marine geology with Pb–210. *Earth and Planetary Science Letter*, 14 : 442–446.
- Krishnaswamy, S., Lal, D., Martin, J. M. and Meybeek, M. 1971. *Geochronology*

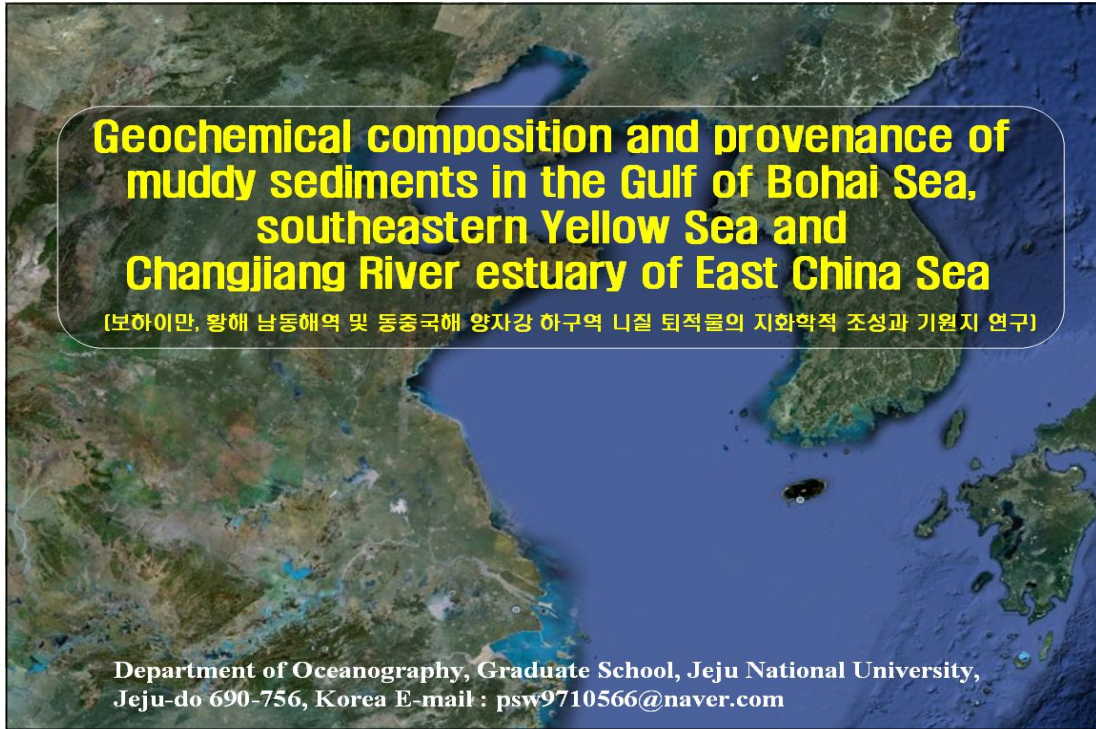
- of lake sediments. *Earth and Planetary Science Letter*, 11 : 407–414.
- Lee, S. G., Masuda, A. and Kim., 1994. An early proterozoic leucogranitic gneiss with the REE tetrad phenomenon. *Chemical Geology*, 114 : 59–67.
- Li, B., B. K. Park and D. Kim., 1999. Paleooceanographic records from the Northern shelf of the East China Sea since the Last Glacial Maximum. *Journal Korean. Soc. Ocean.*, 34 : 151–166.
- Li, C., Kang, S., Zhang, Q. and Wang, F., 2009. Rare earth elements in the surface sediments of the Yarlung Tsangpo (upper Brahmaputra River) sediments. *Southern Tibetan Plateau. Quaternary International*, 208 : 151–159.
- Liu, Z. X., S. Beme, Y. Saito, G. Lericolasis and T. Marsset, 2000. Quaternary seismic stratigraphy and paleoenvironments on the continental shelf of the East China Sea. *J. Asian Ear. Sci.*, 18 : 441–452.
- McLennan, S. M., Nance, W. B. and Taylor, W. B., 1980. Rare earth element thorium correlation in sedimentary rocks and the composition of continental crust. *Geochemical Cosmochimica Acta*, 44 : 1833–1839.
- McLennan, S. M., 1989. Rare earth elements in sedimentary rocks : influence of provenance and sedimentary processes. *Review Mineralogy*, 21 : 170–199.
- McLennan, S. M., Hemming, S., McDaniel, D. K. and Hanson, G. N., 1993. Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics, In : Johnsson, M. J., Basu, A. (eds), *Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments*. Geological Society America Special Paper, 284 : 21–40.
- Milliman, J. D. and Meade, R. H., 1983. World–wind delivery of river sediment to the ocean. *Jour. Geol.*, 91 : 1–21.
- Milliman, J. D., Beardslay, R. C., Yang, Z. S. and Limebruner, R., 1985. Modern Huanghe Rivered mud on the outer shelf of the East China Sea : identification and potential transport mechanisms. *Continental Shelf Research*, 4 : 175–188.

- Moorby, S. A., 1983. The geochemistry of transitional sediments recovered from the Galapagos hydrothermal mounds field during DSDP Leg 70 implication for mound formation. *Earth and Planetary Science Letter*, 62 : 367–376.
- Muller, P. J., 1977. C/N ratio in Pacific deep-sea sediments : effect of inorganic ammonium and organic nitrogen compounds sorbed by clays. *Geochemical Cosmochimica Acta*, 41 : 765–776.
- Muller, P. J. and E. Suess, 1979. Productivity, sedimentation rate and sedimentary organic carbon in the ocean. Organic carbon preservation. *Deep-Sea Res.*, 26 : 1347–1362.
- Niino, H. and Emery, K. O., 1961. Sediments of shallow portion of East China Sea and South China Sea. *Geological Society of America Bulletin*, 72 : 731–762.
- Nittrouer, C. a., Sternberg. R. W., Carpenter, R. and Bennett, J. J., 1979. The use of Pb-210 geochronology as a sediment logical tool : application to the Washington continental shelf. *Marine Geology*, 31 : 279–316.
- Park, Y. A. and Khim, B. K., 1992. Origin and dispersal of recent clay mineral in the Yellow Sea. *Marine Geology*, 104 : 205–213.
- Pennington, W., Canbray, R. S., Eakins, J. D. and Harkness, D. D., 1976. Radionuclide dating of the recent sediments of Blehan Tarm. *Freshwater Boil*, 6 : 317–331.
- Piper, D. Z., 1985. Rare earth elements in the sedimentary cycle : a summery. *Chemical Geology*, 14 : 285–304.
- Qin, Y., Y. Zhao, L. Chen. and S. Zhao, 1996. *Geology of the East China Sea, A Series of Solid Earth Science Research in China*. Science Press, Beijing, 357pp.
- Ritchie, J. C., Mchenrn, J. R. and Gill, A. C., 1973. Dating recent reservoir sediments. *Limnol. Oceanogr.*, 18 : 254–263.
- Rollinson, H. R., 1993. Using geochemical data ; evaluation, presentation

- in terrestriation, Longoman, 352pp.
- Saito, Y. and Yang, Z., 1994. The Huanghe River : its water discharge, sediments discharge and sediment budget, *Journal of the Geological Society*, 40 : 7-17.
- Saito, Y., 1998. Sedimentary environment and budget in the East China Sea. *Bull. Coast. Ocean. Japan*, 36 (1) : 43-58.
- Sawlan, J. J. and Marray, J. W., 1983. Trace metal remobilization in the interstitial waters of red clay and hemipelagic marine sediments. *Earth and Planetary. Science Letter*, 64 : 213-230.
- Schubel, J. R., Shen, H. T. and Park, M. J. 1984. A comparison of some characteristic sedimentation process of estuaries entering the Yellow Sea. *Proceedings of Korea-U.S. Seminar and Workshop, Marine Geology and Physical Processes of the Yellow Sea*, 286-308.
- Sholkovitz, E. R. and Szymezak, R., 2000. The estuary chemistry of rare earth elements : comparison of the Amazon, Fly, Sepik and the Gulf of Papua system. *Earth and Planetary Science Letters*, 179 : 299-309.
- Stein, R., 1990. Organic carbon content/sedimentation rate relationship and its paleoenvironmental significance for marine sediment. *Geo-Mar. Let.*, 10 : 37-44.
- Stevenson, F. J. and Cheng, C. N., 1972. Organic geochemistry of the Argentine Basin sediments : Carbon-nitrogen relationships and Quaternary correlations, *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 36 : 653-671.
- Taylor s. R. and McLennan, S. K., 1985. *The continental crust : its composition and evolution*. Blackwell, Oxford, 312pp.
- Wang. Z., Lou, M. and Li, W., 1983. On submarine sediments and depositional process of west of south Huanghe Sea. *Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea*. China Ocean Press, Vol. 2, Beijing, China: 686-695.
- Wang. Y., Ren, M. E. and Zhu, D., 1986. Sediment supply to the continental

- shelf by the major rivers of China. *Journal of the Geological Society*, London, 143 : 935–944.
- Yang, Z. S. and Milliman, J. D., 1983. Fine grained sediments of Changjiang and Huanghe Rivers and sediment sources of the East China Sea. *Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea*, Vol. 2, China Ocean Press, Beijing, China: 436–446.
- Yang, S. Y., Li, C. X., Jung, H. S. and Lee, H. J., 2002. Discrimination of elemental compositions between the Changjiang and Huanghe sediments and identification of sediment source in northern Jiangsu coast plain, China. *Marine Geology*, 186 : 229–241.
- Yang, S. Y., Jung, H. S. and Lim, D. I., 2003. A review on provenance discrimination of the Yellow Sea sediments, *Earth Science Reviews*, 63 : 93–120.
- Yang, S. Y., Lim, D. I., Jung, H. S. and Oh, B. C., 2004. Geochemical composition and provenance discrimination of coastal sediments around Chju Island in the southeastern Yellow Sea. *Marine Geology*, 206 : 41–53.
- Yang, S. and Youn, J. S., 2007. Geochemical compositions and provenance discrimination of the central south Yellow Sea sediments. *Marine Geology*, 243 : 229–241.
- Youn, J. S. and Kim, T. J., 2011. Geochemical composition and provenance of muddy shelf deposits in the East China Sea. *Quaternary International*, 230 : 3–12.
- Zhao, Y. Y., Qing, Z. Y. and Li, F., 1990. On the source and genesis of the mud in the central area of the south Yellow Sea. *Chim. Jour. Ocean. Limnol.* 8(1) : 66–73.
- Zhao, Y. Y. and Yan, M. C., 1992. Abundance of chemical elements in sediments from the Huanghe River, the Changjiang River and the continental shelf of China. *Chinese Science Bulletin*, 37(23) : 1991–1994.
- Zhao, Y. Y., Park, Y. A., Qin, J. Y., Gao, S., Li, Y. Y., Cheng, P. and Jiag, R. H., 2001. Material source for the Eastern Yellow Sea Mud : evidence of mineralogy and geochemistry from China–Korea. *Yellow Sea*, 7 : 22–26.

Appendix



연 구 해 역

보하이만 해역

- 3면이 육지로 둘러 쌓여 있음
- 육상퇴적물 약 2,900만톤/년 유입
 - 황해강 · 하이리강 : 2,400만톤/년
 - 압록강 : 480만톤/년

황 해

- 육상퇴적물 약 17억톤/년 유입
 - 황하 : 12억톤/년, 양자 : 4억 9천만톤/년
 - 한반도 여러 강 : 1~4천만톤/년
- 중국 주요 강 퇴적물 → 대부분 황해 서부 / 중앙부 퇴적
- 한반도 강 퇴적물 → 황해 동쪽 퇴적

북 동중국 해역

- 수심 200m 이하 넓은 대륙붕

: STUDY AREA

Map labels: GULF OF BOHAI, Huanghe River, Old Huanghe River, Yangjiang River, CHINA, YELLOW SEA, EAST CHINA SEA, KOREA, JAPAN, EAST SEA.

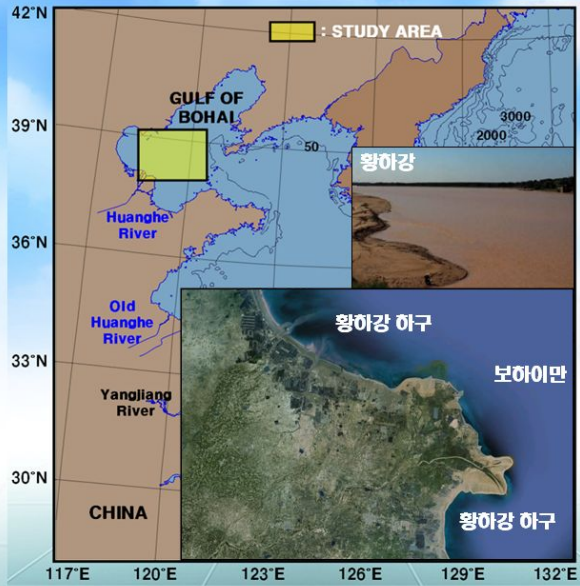
주변 육지로부터 다양하게 퇴적물 공급

연구해역과 인접한 강 (1/3)



황 하 강

- 길이 5,460km, 유역면적 : 75만km²
- 세계 3번째로 많은양의 퇴적물 방출
 - 연간 평균 12억톤
- [고] 황하강 기원 삼각주 퇴적물
 - 1128~1855년 직접 황해 유입(장수지역)
 - 1855년 보하이 해역으로 유로 이동 후 장수지역 급격한 해안 침식 발생
 - 황해 중앙부 및 동중국해 외대륙붕 니토대 분포지역까지 퇴적물 운반
- 황하강 기원 퇴적물
 - 1855년 이후 보하이해로 유로 변경
 - 70~80% : 해안선 약 20km이내 퇴적
 - 10~15% : 보하이만 퇴적
 - 15~20% : 황해 중앙부, 동중국해 퇴적



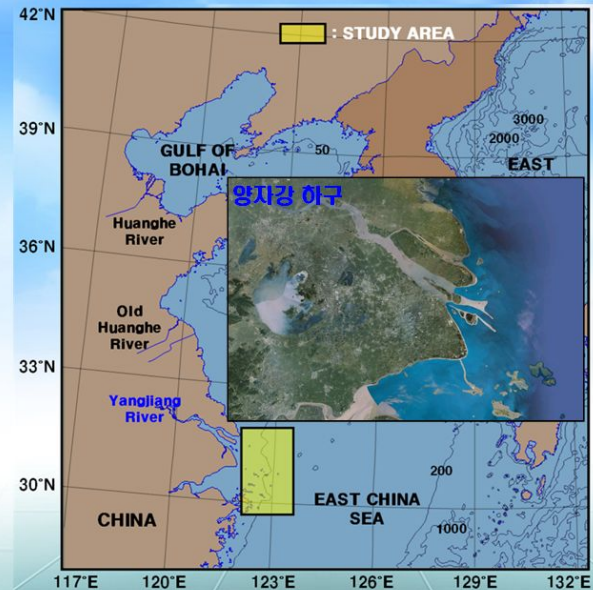
황해와 북동중국해지역 퇴적작용 큰 역할

연구해역과 인접한 강 (2/3)



양 자 강

- 중국에서 가장 큰 강
 - 길이 6,300km, 유역면적 : 194만km²
- 중국에서 인구가 가장 많은 지역 관류하여 동중국해로 흐름
- 연간 퇴적물 4억 8,600만톤 방출
 - 홍수기간(5월 ~ 10월) 약 70% 방출



동중국해 대륙붕지역의 퇴적물은 주로 양자강 기원 퇴적물 임

연구해역과 인접한 강 (3/3)



란허강 / 아루강

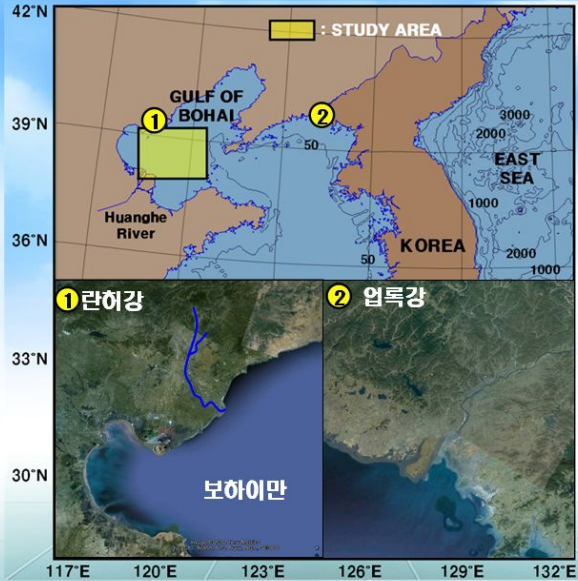
란허강

- 중국 북동지방 천산산맥 발원
- 길이 : 870km, 유역면적 : 44,900km²
- 연간 퇴적물 배출량 : 2,400만톤

압록강

- 백두산지역 발원
- 길이 : 859km, 유역면적 : 64,000km²
- 연간 퇴적물 배출량 : 480만톤

보하이만 연안 크고 작은 삼각주 형성



보하이만 일대 해저지형 진화에 큰 영향

황해·동중국해 퇴적물에 대한 지화학·고환경변화 연구 동향 (1/3)



이 등
(1992)

황해 남동해역 표층퇴적물 내 금속원소들의 공간적 분포와 원소비 이용 세립질 퇴적물 기원 구분 방법 시도

최 등
(1995)

금강 퇴적물의 함량과 이동 연구에서 Re, Co, Cr, Cu 및 Ni의 함량은 황하와 양자강과 비슷 반면, Mn, Zn, Cd, Pb 및 U 함량은 상당히 높게 나타남 보고

Zhao 등
(1990)

남황해 중앙부에 분포하는 니질퇴적물에 대한 ²¹⁰Pb 동위원소를 이용 퇴적물 측정과 Ca, Sr, Ti, Rb, Fe, Zn 등 원소의 농도 특성에 근거 황하강, (고)황하강, 양자강 기원 물질이 혼합된 복합기원 현생 니토대로 해석

Zhao & Yan
(1992)

황하, 양자강 및 동중국해 대륙붕 퇴적물에 대한 60여종의 화학분석 값으로 근원지 별 배경 농도와 이들을 식별할 수 있는 지화학적 연구

Kim 등
(1999)

황해 표층퇴적물내 알칼리토류 원소의 지화학적 연구에서 황해 북동부해역 분포하는 잔류모래는 주로 한반도의 압록강으로부터 공급된 것으로 해석

황해 · 동중국해 퇴적물에 대한 지화학 · 고환경변화 연구 동향 (2/3)



Milliman 등(1983)

점토광물 조성, 광물형상, 화학조성 특징에 의해 황해와 동중국해에 분포하는 퇴적물을 황하 기원형과 양자 기원형으로 구분하는 연구

Park & Khim (1992)

황해 퇴적물내 점토광물들 중 스펙타이트의 함량 정도에 근거해 황해 중앙부해역 분포 니질 퇴적물은 황하강기원 퇴적물, 황해 남동부에 분포하는 니토대는 금강과 영산강기원 퇴적물로 해석

Zhao 등 (2001)

황해 남동쪽 분포하는 니토대(SEYSM)에 대한 광물학적 및 지화학적 특징에 근거 공급지는 주로 한반도 서해의 강들로부터 기원된 물질과 황해난류수에 의해 동중국해로부터 공급된 부유퇴적물이 혼합된 퇴적물로 구성 보고

DeMaster 등(1985)

동중국해 대륙붕지역 분포하는 니토대에서 동위원소를 이용한 퇴적속도 및 퇴적물 수지(budget)를 평가하는 연구

황해 · 동중국해 퇴적물에 대한 지화학 · 고환경변화 연구 동향 (3/3)



임 등 (2007)

황해 니질퇴적물 Fe/Al, Mg/Al비와 Sr-동위원소비 연구를 통해 한국 서남해 분포 니질퇴적물(SEYSM)은 韓 · 中 강 퇴적물이 혼합된 복합기원으로 해석

윤 등 (2005, 2006, 2011)

퇴적물 화학조성 특징과 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비 이용 동중국해 대륙붕 퇴적물 기원지를 밝히는 연구에서 양자강 기원 부유퇴적물의 동중국해 외대륙붕역에 분포하고 있는 니토대지역(SWJIM)까지 공급될 가능성 지적

윤과 김 (2008)

퇴적물의 지화학적 연구에서 제주도 서부해역은 황하와 양자강에서 운반된 복합기원 퇴적물이 집적되는 지역으로 해석

Yang 등 (2003)

황해와 북동중국해 퇴적물 기원지 연구와 관련된 국내외 기존 논문 분석결과 기존 연구에서 제시된 추적자들의 불일치로 황해 전해역에 적용할수 없음 지적

원인 : ① 중국과 한반도 주변 육지에서 강과 대기를 통해 유입되는 물질과 이지역의 복잡한 해류순환 시스템에 의해 혼합
② 황해와 북동중국해 해역의 퇴적물 기원지 연구에 적용할 수 있는 광물 및 지화학적 추적자가 개발되지 못했기 때문

연구 주제



- ① 황해 북부 보하이만 분포 니질 퇴적체(GBSS)
- ② 황해 남동쪽 분포 니질 퇴적체(SEYSM)
- ③ 양자강하구 수중삼각주에 형성된 니질 퇴적체(CRSDS)



입도
특성

^{210}Pb 동위원소 연구

보하이만 분포 니질 퇴적물 퇴적속도를 밝힘

퇴적물 내 주성분,
미량원소, 희토류
원소 분석

보하이만, 황해 남동부 해역, 양자강 하구역
수중 삼각주 지역 분포 니질퇴적물
기원지 해석에 유용한 지화학적 지시자 제시

시료 채취

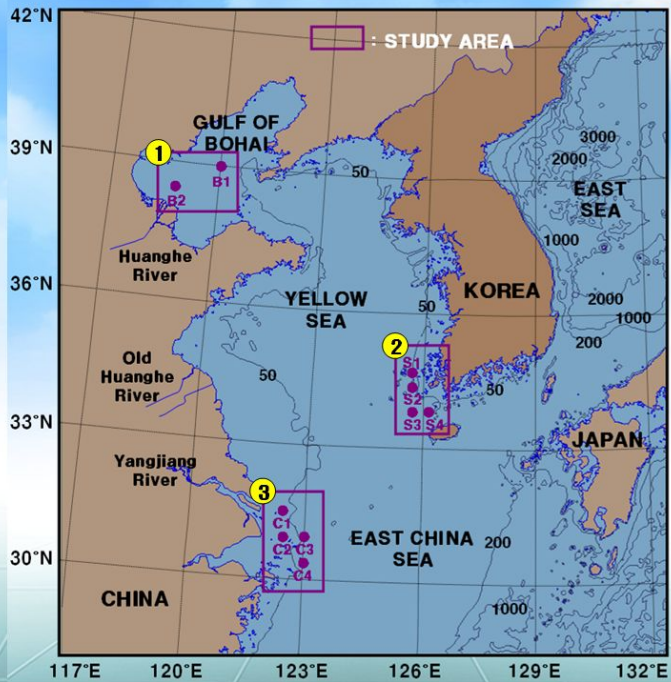


해역

- ① 황해 북부 보하이만 해역 (B-1 ~ B-2)
- ② 한국 서남부 니토대 분포지역 (S-1 ~ S-4)
- ③ 양자강 하구 수중삼각주 니토대 분포지역 (C-1 ~ C-4)

지점 / 장비

- 총 10개 지점
- 채취 장비
 - Van Veen Grab Sampler
 - Gravity Corer



시료 분석



퇴적물 입도분석

- 조립부 : 1φ 간격 Ro-tap sieve shaker 사용 건식 체질 후 입도별 중량 백분을 산출
- 세립부 : 피펫 방법에 의해 1φ 간격으로 분석 후 입도별 중량 백분을 산출
- Folk & Word 공식 의거 조직표준치 계산, Folk 삼각도표에 의해 퇴적물 유형 분류

²¹⁰Pb 퇴적속도 분석(한국기초과학연구원)

- 저준위 방사능 시료를 측정하기 적합한 WIGe 검색기로 약 24~36시간 동안 계수
- ²¹⁰Pb는 46.5keV에서 측정, ²¹⁴Pb와 ²¹⁴Bi 이용 ²²⁶Ra의 방사능 계산(Kim & Burnett 방법)

총 탄소 및 유기탄소 함량 분석

- CHN 분석기 이용 분석, 탄산염 함량은 총탄소와 총유기탄소 함량 차이 이용 계산

퇴적물내 원소 총량 분석

- 한국기초과학연구원(XRF와 ICPMS)에 의뢰하여 42종 원소성분 함량 측정

연구지역 퇴적물 입도조성 (1/3)



보하이만 지역 퇴적물 유형

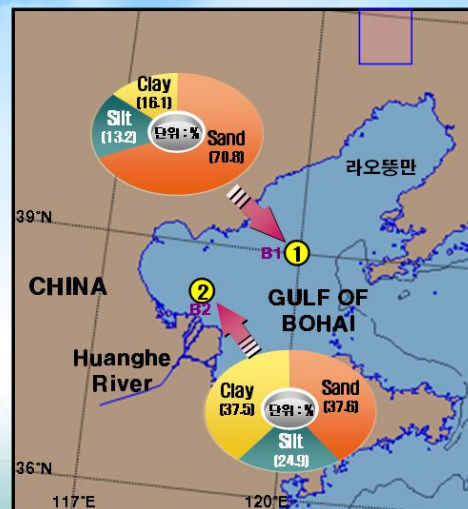
- 니질모래, 사질니토로 구성

① 니질모래 퇴적상(mS)

- 중국의 라오둥만과 인접한 북동쪽 분포
- 평균 조성 : 모래 70.8%, 실트 13.2%, 점토 16.1%
- 평균 입도 : 4.71φ (극조립질 실트)

② 사질니토 퇴적상(sC+sM)

- 황하강 하구역인 보하이만 남서쪽 위치
- 평균 조성 : 모래 37.6%, 실트 24.9%, 점토 37.5%
- 평균 입도 : 6.25φ (중립질 실트)



니질모래 퇴적상(극조립질 실트), 사질니토 퇴적상(중립질 실트)으로 구성

연구지역 퇴적물 입도조성 (2/3)



황해 남동부 니토대 퇴적물 유형

● 니토, 사질점토, 실트로 구성

① 니토 퇴적상(M)

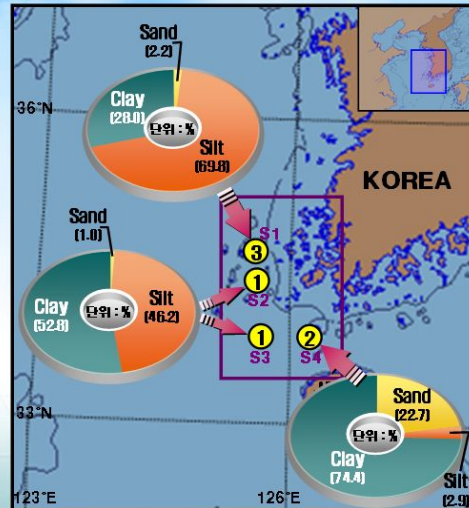
- 평균 조성 : 모래 1.0%, 실트 46.2%, 점토 52.8%
- 평균 입도 : 7.87 ϕ (세립질 실트)

② 사질점토 퇴적상(SC)

- 평균 조성 : 모래 22.7%, 실트 2.9%, 점토 74.4%
- 평균 입도 : 6.8 ϕ (중립질 실트)

③ 실트 퇴적상(Z)

- 평균 조성 : 모래 2.2%, 실트 69.8%, 점토 28.0%
- 평균 입도 : 6.6 ϕ (중립질 실트)



니토(세립질 실트), 사질점토(중립질 실트), 실트(중립질 실트) 퇴적상으로 구성

연구지역 퇴적물 입도조성 (3/3)



양자강 하구역 수중삼각주 니토대 퇴적물 유형

● 니토, 사질니토, 실트로 구성

① 니토 퇴적상(M)

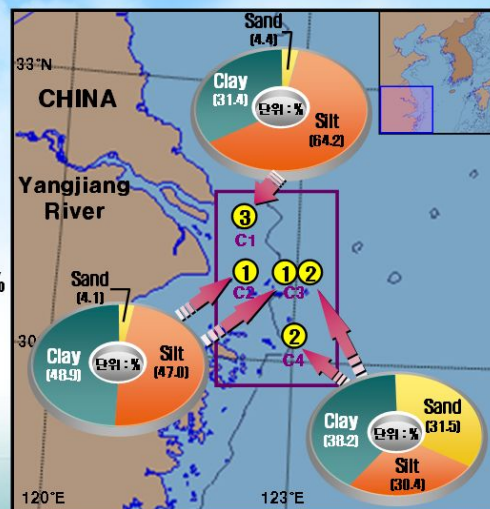
- 평균 조성 : 모래 4.1%, 실트 47.0%, 점토 48.9%
- 평균 입도 : 6.77 ϕ (중립질 실트)

② 사질니토 퇴적상(sM+sC)

- 평균 조성 : 모래 31.5%, 실트 30.4%, 점토 38.2%
- 평균 입도 : 6.13 ϕ (중립질 실트)

③ 실트 퇴적상(Z)

- 평균 조성 : 모래 4.4%, 실트 64.2%, 점토 31.4%
- 평균 입도 : 7.12 ϕ (세립질 실트)



니토(중립질 실트), 사질니토(중립질 실트), 실트(세립질 실트) 퇴적상으로 구성

연구지역 퇴적물 유기물 함량 (1/6)



보하이만 퇴적물 탄산염 함량 특성

- 탄산염 함량 : 2.5 ~ 5.75% (평균 4.05%)
- St.B1 보다 St.B2가 1.6배 이상 높음
 - St.B1 : 니질모래 퇴적상, St.B2 : 니질 퇴적상
- ➔ 황하강 영향 직접 받는 세립질 퇴적물이 일반적 경향과 상이하게 조립질 퇴적물 보다 탄산염 함량이 높게 나타남

기 존 연 구

- Niino and Emery (1961)
황해 세립질 퇴적물에서 유공충각이 탄산염 물질의 중요한 성분임
- Milliman et al. (1985)
황하강 기원 세립질 퇴적물은 주로 중국 북부의 황토층에서 기원한 다량의 탄산염 광물을 함유함



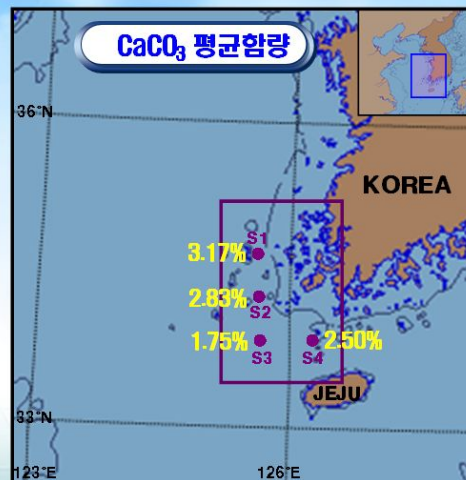
현생 황하강 하구역 분포 니질퇴적물(B2)은 주로 황하강을 통해 운반 · 퇴적

연구지역 퇴적물 유기물 함량 (2/6)



황해 남동부 니질 퇴적물 탄산염 함량 특성

- 탄산염 함량 : 1.75 ~ 3.17% (평균 2.56%)
- 황하강 영향 직접받고 있는 보하이만 지역보다 상당히 낮은 함량치를 보임
 - 보하이만 평균 함량 : 2.5~5.75% (평균 4.05%)



기원암내 탄산염 함량 낮거나, 수괴 내 생물 생산력이 황하강 하구역 보다 활발하지 않음 의미

연구지역 퇴적물 유기물 함량 (3/6)

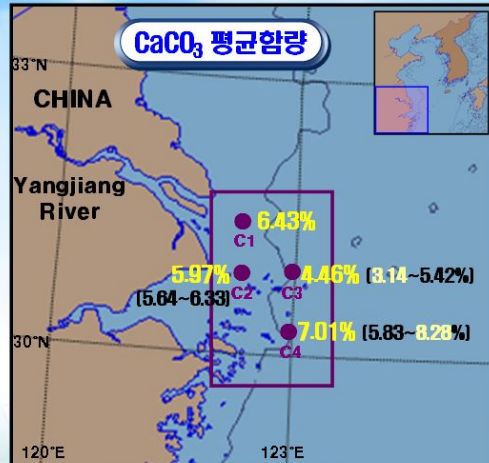


양자강 수중삼각주 니질 퇴적물 탄산염 함량 특성

- 탄산염 함량 : 3.14 ~ 8.28% (평균 5.69%)
- 연구지역 중 가장 높은 함량치를 보임
 - 보하이만 평균 함량 : 2.5~5.75% (평균 4.05%)
 - 황해 동남부 평균 함량 : 1.75 ~ 3.17% (평균 2.56%)

기 존 연 구

- Zhao et al. (1990)
 - 퇴적물내 탄산염 함량을 조절하는 요인으로는 수괴 내에서 생물 생산력에 의한 공급, 패각편 등 저서생물의 골격부가 퇴적된 후 파쇄·용해작용 및 강을 통한 육상으로부터 유입 등 임



양자강하구역은 막대한 양의 담수 유출로 해수·담수가 만나 높은 생물 생산력에 의해 높은 탄산염 함량 추정

연구지역 퇴적물 유기물 함량 (4/6)



보하이만 퇴적물 유기탄소 함량 특성

- 유기탄소 함량 : 0.11 ~ 0.86% (평균 0.47%)
- 황하강 하구역 니질 퇴적상(St.B2)에서 높은 함량, 니질모래 퇴적상(St.B1)에서 낮은 함량치를 보임
 - St.B1 : 평균 0.27%, St.B2 : 평균 0.66%

기 존 연 구

- Sawlan and Marray(1983)
 - 니질모래 퇴적상보다 사질점토 퇴적물에서 높은 유기탄소 함량을 보이는 것은 조립질보다 세립질에서 표면적이 증가하여 흡착력이 크기 때문임
- Bordovsky(1965)
 - 퇴적물내 유기탄소 함량은 점토질이 풍부한 퇴적물에서 높은 함유량을 보임



기존 연구결과와 일치

연구지역 퇴적물 유기물 함량 (5/6)

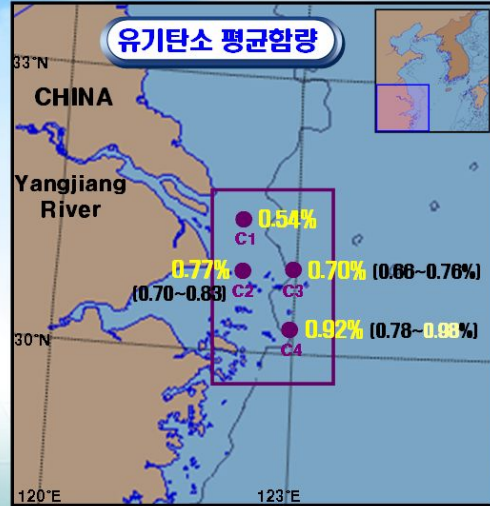


양자강하구 수중삼각주 니질 퇴적물 유기탄소 함량 특성

- 유기탄소 함량 : 0.54 ~ 0.98% (평균 0.78%)
- 연구지역 중 가장 높은 함유량을 보임
 - 보하이만 평균 함량 : 0.11 ~ 0.86% (평균 0.47%)
 - 황해 동남부 평균 함량 : 0.57 ~ 0.75% (평균 0.66%)

기 존 연 구

- Bordovsky(1965)
 - 퇴적물내로 유입 · 흡착하는 유기물의 양은 주로 해양에서의 생물 생산력, 퇴적물의 입도, 해수의 물리적 조건 등에 의해 영향을 받음



많은 담수유출과 해수와의 활발한 혼합작용으로 높은 생물 생산력에 기인

연구지역 퇴적물 유기물 함량 (6/6)



연구지역 퇴적물 총 유기탄소와 C/N비 특성

- 총 유기탄소와 C/N 비가 10이상 현황
 - 보하이만 지역 : 7개 중 4개(57%)
 - 황해 남동해역 : 4개 중 2개(50%)
 - 양자강하구 수중삼각주 : 16개 중 11개(69%)

기 존 연 구

- Muller(1977), Muller & Suess(1979), Stein(1990)
 - 해양생물의 기초생산에 의해 형성된 유기물은 C/N비가 10이하를 보이거나, 주변육지에서 공급된 유기물인 경우 C/N비는 10이상을 보임
- Stevenson and Cheng(1972), 박 등(2005)
 - 해양성기원 유기물은 육성기원 유기물에 비해 질소 함유 단백질이 상대적으로 풍부

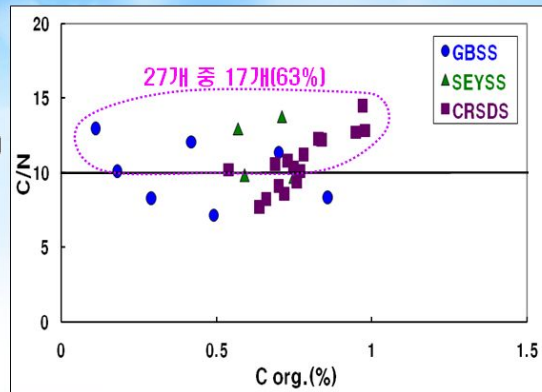


Fig. Total organic carbon contents vs C/N ratios of Gulf of Bohai Sea, Southeastern Yellow Sea and Changjiang River's submerged delta sediments.

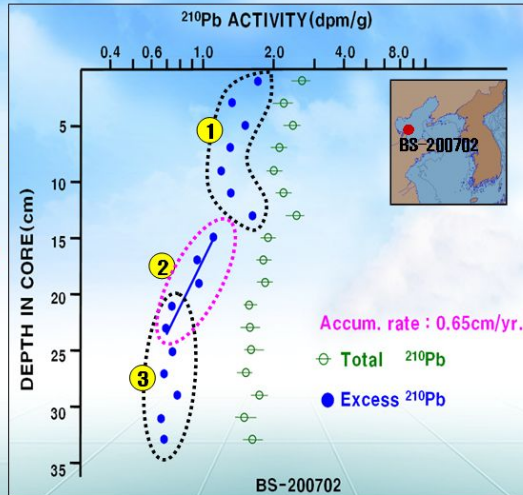
육성기원 유기물질이 연구지역 니질퇴적체 분포지역으로 유입되고 있음

210Pb 동위원소에 의한 퇴적속도 추정



보하이만 황하강 하구역 니토대 퇴적속도

- 210Pb 동위원소 활동도 단면도(3부분 구분)
 - 0~13cm : 거의 균일한 표면 혼합층
 - 물리적 기작 / 저서생물 제 작용에 의해 혼합작용이 활발한 지역임
 - 15~23cm : 깊이에 따라 대수함수적으로 감소
 - 21~33cm : 거의 일정하게 낮음
- 깊이 15~23cm에서 퇴적속도: 0.65cm/yr



기 존 연 구

- Saito and Yang(1994)
 - 현재 황하강 기원 퇴적물은 70~80%가 해안선 약 20km 이내 지역에 주로 퇴적, 10~15%가 보하이해 지역에 퇴적됨

황하강기원 현생 부유퇴적물, 황하강 따라 하구역 니토대 분포지역 이동 퇴적
(前述한 유기탄소와 C/N비 연구결과와 잘 일치)

주성분 원소 이용 연구해역 퇴적물 기원지 해석 (1/2)



주성분 원소 특성

- 연구지역 퇴적물 중 양자강 하구 수중삼각주에서 높은 금속원 함유량 식별

구분	Al (%)	Fe (%)	Ca (%)	Mg (%)	K (%)	Na (%)	Ti (%)	Mn (ppm)	Ba (ppm)	Sr (ppm)
GBSS	6.0	2.8	2.6	1.2	1.5	1.4	0.27	486.4	462.4	184.7
SEYSS	6.7	3.2	3.2	1.2	2.3	1.96	0.38	521	398.5	209.4
CRSDS	7.1	4.1	2.9	1.6	2.3	1.5	0.51	710.1	512.8	146.8

• GBSS : Gulf of Bohai Sea Sediment, SEYSS : Southeastern Yellow Sea Sediment, CRSDS : Changjiang River's Submerged Delta Sediment

- 연구지역 27개 퇴적물 시료에서 분석한 주성분 원소 조성과 기존 황하와 양자강 퇴적물의 지화학적 자료 비교 → 연구지역 퇴적물 기원지 파악

기 존 연 구

- Yang et al.(2004)
 - 양자강 퇴적물은 황하나 한국의 강(금강) 퇴적물보다 Mg, Ti, Fe 및 Mn 함량이 높고, 황하 퇴적물은 Ca, Na 및 Sr 원소가 풍부하며, 한국의 강 퇴적물은 Al, K 및 Ba 함량이 높음

江別 상대적 풍부한 원소 근거 3개 구분지수 유도로 연구지역 퇴적물의 기원지 파악
(① (Al+Fe) / (Ca+Mg+K), ② (Ca-Fe) / Al, ③ (Ca-Mg) / K)

- ① (Al+Fe) / (Ca+Mg+K) : 3개의 강 퇴적물의 모든 조성적 특징을 반영하는 환경적으로 고정된 원소 대 비고정된 원소의 비
- ② (Ca-Fe) / Al : 각 강에서 정량적으로 풍부한 원소로부터 유도
- ③ (Ca-Mg) / K : 각 근원 강 퇴적물을 반영하고 있는 상징적인 알카리과 알카리토류 원소로부터 유도



주성분 원소 이용 연구해역 퇴적물 기원지 해석 (2/2)



연구해역 퇴적물 기원지 해석

CRSDS(양자강 하구 수중삼각주 퇴적물)

- 주로 양자강 퇴적물 평균치 주위 밀집 분포 (일부 시료 제외)

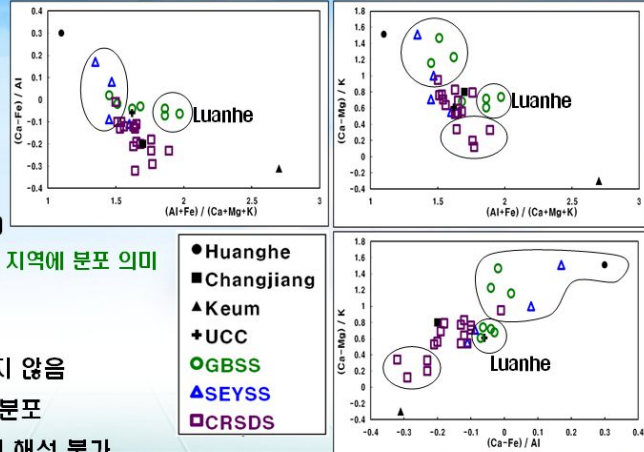
GBSS(보하이만 니질 퇴적물)

- 황하강 퇴적물 평균치 주위 분포와 독립된 지역 분포 시료 구분(St. B-1)
- * 란허/아루강 기원 퇴적물도 보하이만 지역에 분포 의미

SEYSS(황해 남동해안 니질 퇴적물)

- 기원지로서 뚜렷한 위치를 나타내지 않음
- 황하 · 양자강 퇴적물 평균치 사이 분포
- 주 원소 성분 구분지수 이용 기원지 해석 불가

· Ca, Mg와 같은 알칼리토류원소는 육상 공급 쇄설성 물질 외 해양생물, 해수기원 물질 등 요인 의해 함량조절 추정(Moorby, 1983)



CRSDS · GBSS 기원지 해석 가능, SEYSS 해석 불가

퇴적물 내 지화학적 특성에 의한 기원지 추정 (1/6)



지화학적 원소 성분 이용 퇴적물 기원지 해석

- 해양퇴적물과 주변 강 퇴적물의 광물조성과 화학조성 상호 비교시 기원지 판단 가능

기 존 연 구

- Culler et al.(1987), Bhatia & Taylor(1981), Bhatia & Crook(1986), McLennan et al.(1980, 1993)

토양이나 퇴적물 내 화학조성 중 Th, Sc, Zr, Hf, Y, Nb, Cr, Co 등과 같은 미량원소와 희토류 원소(REE) 들은 퇴적물의 기원지에서 풍화작용, 운반과정에 따른 분급과 속성작용 등에도 크게 변하지 않는 특성을 보여 퇴적물의 기원지 연구 및 지구조 환경을 해석하는데 유용하게 이용됨

- 연구지역 퇴적물 시료와 기존 황하강, 양자강, PASS, UCC, NASC 지화학적 원소 비교

· PASS : Post-Archaean average Australian Sedimentary Rock(후기 시생대 호주 퇴적암),
UCC : Upper Continental Crust(상부대륙지각), NASC : North American Shale Composition(북미지역 셰일조성)

퇴적물 내 지화학적 특성에 의한 기원지 추정 (2/6)



지화학적 원소 성분 이용 연구해역 퇴적물 기원지 해석 (1/3)

- 보하이만 니질 퇴적물(GBSS)
 - UCC / PAAS의 평균값과 비교시 Ca, Na, Pb를 제외한 나머지 대부분 원소들은 고갈되는 특징

· unit : $\mu\text{g/g}$, in wt.%

Elementy	Huang-he	Chang-jiang	Keum	UCC	PAAS	NASC	GBSS	SEYSS	CRSDS	Elementy	Huang-he	Chang-jiang	Keum	UCC	PAAS	NASC	GBSS	SEYSS	CRSDS
Al	5.6	7.1	7.4	8.0	10	8.95	5.98	6.7	7.0	Th	10.4	13.4	16.1	10.7	14.6	12	11.02	12.0	12.9
Fe	2.5	4.3	3.1	3.5	5.1	3.5	2.8	3.2	4.1	Cs	4.0	10.4	-	3.7	-	-	5.62	6.4	7.33
Ca	4.0	3.2	0.6	3.0	0.9	2.43	2.58	3.23	2.9	U	2.1	2.6	-	2.8	3.1	2.66	1.86	2.24	2.58
Mg	1.2	1.6	0.9	1.3	1.3	1.7	1.17	1.15	1.62	Li	26.1	44.9	45.1	-	-	-	30.5	45.7	47.9
K	1.9	2.1	2.4	2.8	3.1	0.75	1.49	2.32	2.24	Sc	7.77	11.9	9.0	6.3	-	6.3	8.32	9.53	11.27
Na	1.7	0.9	1.5	2.9	0.9	2.89	1.41	1.96	1.5	Nb	11.2	17.0	16.3	25.0	19	13	8.82	12.1	13.2
Ti	0.36	0.57	0.39	0.41	0.6	0.47	0.27	0.38	0.51	Y	19.2	23.8	20.0	22.0	27	35	16.4	19.0	20.3
Mn	498	958	586	620	858	468	486.4	521	710.1	La	31	39.5	43.3	30	38	31.1	26.8	34.7	37.0
Ba	453	454	492	550	650	636	462.4	398.5	521.8	Ce	61.8	78.7	83.8	64	80	67	50.6	70.23	72.7
Sr	207	146	149	350	200	142	184.7	209.4	146.8	Pr	7.15	8.87	9.62	7.1	8.83	-	6.2	8.5	8.3
Rb	81.7	113.0	132.0	112.0	160	125	81.1	100.5	112.9	Nd	26.9	33.6	33.8	26	32	30.4	23.1	29.1	31.1
Zr	143	138	141	190	210	200	144.3	128.7	130.6	Sm	5.02	6.37	6.23	4.5	5.6	5.98	4.4	5.35	5.61
Hf	4.47	4.26	-	-	-	6.3	4.35	3.9	3.3	Eu	0.97	1.3	1.15	0.9	1.0	1.25	0.84	1.01	1.16
Ni	21.6	40.3	26.0	20.0	55	58	26.9	33.0	33.2	Gd	4.92	5.98	5.21	3.8	4.7	5.5	4.1	4.64	5.13
Co	9.29	16.8	15.0	10.0	-	-	7.36	9.83	12.8	Tb	0.65	0.82	0.72	0.64	0.77	0.85	0.52	0.67	0.76
V	58.2	104.0	64.2	60.0	150	130	61.9	67.3	88.9	Dy	3.9	4.74	4.0	3.5	4.4	5.54	3.2	3.7	4.34
Cr	46.9	73.7	44.5	35.0	110	125	48.5	63.3	65.9	Ho	0.72	0.89	0.76	0.8	1.0	-	0.6	0.73	0.82
Cu	16.9	48.5	27.0	25.0	50	-	20.0	15.0	27.2	Er	2.29	2.71	2.25	2.3	2.9	3.28	1.77	2.08	2.45
Zn	42.0	106.0	73.5	71.0	85	-	59.6	95.9	98.7	Tm	0.3	0.35	0.31	0.33	0.41	-	0.22	0.28	0.33
Cd	-	-	-	-	-	-	0.16	0.14	0.23	Yb	2.16	2.48	1.97	2.2	2.8	3.11	1.67	1.98	2.34
Pb	18.2	39.5	36.7	20.2	20	-	21.7	32.5	26.5	Lu	0.3	0.35	0.31	0.32	0.4	0.46	0.23	0.28	0.32

이유: 황하강 기원지, 한랭 건조한 기후로 화학적 풍화작용 활발 못한 것과 관련

퇴적물 내 지화학적 특성에 의한 기원지 추정 (3/6)



지화학적 원소 성분 이용 연구해역 퇴적물 기원지 해석 (2/3)

- 황해 남동부 니질 퇴적물(SEYSS)
 - UCC / PAAS의 평균값과 비교시 Ca, Zn, Pb를 제외한 나머지 대부분 원소들이 고갈되는 특징

· unit : $\mu\text{g/g}$, in wt.%

Elementy	Huang-he	Chang-jiang	Keum	UCC	PAAS	NASC	GBSS	SEYSS	CRSDS	Elementy	Huang-he	Chang-jiang	Keum	UCC	PAAS	NASC	GBSS	SEYSS	CRSDS
Al	5.6	7.1	7.4	8.0	10	8.95	5.98	6.7	7.0	Th	10.4	13.4	16.1	10.7	14.6	12	11.02	12.0	12.9
Fe	2.5	4.3	3.1	3.5	5.1	3.5	2.8	3.2	4.1	Cs	4.0	10.4	-	3.7	-	-	5.62	6.4	7.33
Ca	4.0	3.2	0.6	3.0	0.9	2.43	2.58	3.23	2.9	U	2.1	2.6	-	2.8	3.1	2.66	1.86	2.24	2.58
Mg	1.2	1.6	0.9	1.3	1.3	1.7	1.17	1.15	1.62	Li	26.1	44.9	45.1	-	-	-	30.5	45.7	47.9
K	1.9	2.1	2.4	2.8	3.1	0.75	1.49	2.32	2.24	Sc	7.77	11.9	9.0	6.3	-	6.3	8.32	9.53	11.27
Na	1.7	0.9	1.5	2.9	0.9	2.89	1.41	1.96	1.5	Nb	11.2	17.0	16.3	25.0	19	13	8.82	12.1	13.2
Ti	0.36	0.57	0.39	0.41	0.6	0.47	0.27	0.38	0.51	Y	19.2	23.8	20.0	22.0	27	35	16.4	19.0	20.3
Mn	498	958	586	620	858	468	486.4	521	710.1	La	31	39.5	43.3	30	38	31.1	26.8	34.7	37.0
Ba	453	454	492	550	650	636	462.4	398.5	521.8	Ce	61.8	78.7	83.8	64	80	67	50.6	70.23	72.7
Sr	207	146	149	350	200	142	184.7	209.4	146.8	Pr	7.15	8.87	9.62	7.1	8.83	-	6.2	8.5	8.3
Rb	81.7	113.0	132.0	112.0	160	125	81.1	100.5	112.9	Nd	26.9	33.6	33.8	26	32	30.4	23.1	29.1	31.1
Zr	143	138	141	190	210	200	144.3	128.7	130.6	Sm	5.02	6.37	6.23	4.5	5.6	5.98	4.4	5.35	5.61
Hf	4.47	4.26	-	-	-	6.3	4.35	3.9	3.3	Eu	0.97	1.3	1.15	0.9	1.0	1.25	0.84	1.01	1.16
Ni	21.6	40.3	26.0	20.0	55	58	26.9	33.0	33.2	Gd	4.92	5.98	5.21	3.8	4.7	5.5	4.1	4.64	5.13
Co	9.29	16.8	15.0	10.0	-	-	7.36	9.83	12.8	Tb	0.65	0.82	0.72	0.64	0.77	0.85	0.52	0.67	0.76
V	58.2	104.0	64.2	60.0	150	130	61.9	67.3	88.9	Dy	3.9	4.74	4.0	3.5	4.4	5.54	3.2	3.7	4.34
Cr	46.9	73.7	44.5	35.0	110	125	48.5	63.3	65.9	Ho	0.72	0.89	0.76	0.8	1.0	-	0.6	0.73	0.82
Cu	16.9	48.5	27.0	25.0	50	-	20.0	15.0	27.2	Er	2.29	2.71	2.25	2.3	2.9	3.28	1.77	2.08	2.45
Zn	42.0	106.0	73.5	71.0	85	-	59.6	95.9	98.7	Tm	0.3	0.35	0.31	0.33	0.41	-	0.22	0.28	0.33
Cd	-	-	-	-	-	-	0.16	0.14	0.23	Yb	2.16	2.48	1.97	2.2	2.8	3.11	1.67	1.98	2.34
Pb	18.2	39.5	36.7	20.2	20	-	21.7	32.5	26.5	Lu	0.3	0.35	0.31	0.32	0.4	0.46	0.23	0.28	0.32

퇴적물 내 지화학적 특성에 의한 기원지 추정 (4/6)



지화학적 원소 성분 이용 연구해역 퇴적물 기원지 해석 (3/3)

- 양자강 하구 수중삼각주 니질 퇴적물(CRSDS)
 - UCC / PAAS의 평균값과 비교시 Fe, Ca, Mg, Mn, Zn, Pb를 제외한 나머지 원소들이 고갈되는 특징
 - Fe, Mn, Zn, Pb 원소와 같은 중금속 원소들이 UCC 보다 높은 함유량 보임

unit : $\mu\text{g/g}$, in wt.%

Elementy	Huanghe	Changjiang	Keum	UCC	PAAS	NASC	GBSS	SEYSS	CRSDS	Elementy	Huanghe	Changjiang	Keum	UCC	PAAS	NASC	GBSS	SEYSS	CRSDS
Al	5.6	7.1	7.4	8.0	10	8.95	5.98	6.7	7.0	Th	10.4	13.4	16.1	10.7	14.6	12	11.02	12.0	12.9
Fe	2.5	4.3	3.1	3.5	5.1	3.5	2.8	3.2	4.1	Cs	4.0	10.4	-	3.7	-	-	5.62	6.4	7.33
Ca	4.0	3.2	0.6	3.0	0.9	2.43	2.58	3.23	2.9	U	2.1	2.6	-	2.8	3.1	2.66	1.86	2.24	2.58
Mg	1.2	1.6	0.9	1.3	1.3	1.7	1.17	1.15	1.62	Li	26.1	44.9	45.1	-	-	-	30.5	45.7	47.9
K	1.9	2.1	2.4	2.8	3.1	0.75	1.49	2.32	2.24	Sc	7.77	11.9	9.0	6.3	-	6.3	8.32	9.53	11.27
Na	1.7	0.9	1.5	2.9	0.9	2.89	1.41	1.96	1.5	Nb	11.2	17.0	16.3	25.0	19	13	8.82	12.1	13.2
Ti	0.36	0.57	0.39	0.41	0.6	0.47	0.27	0.38	0.51	Y	19.2	23.8	20.0	22.0	27	35	16.4	19.0	20.3
Mn	498	958	586	620	858	468	486.4	521	710.1	La	31	39.5	43.3	30	38	31.1	26.8	34.7	37.0
Ba	453	454	492	550	650	636	482.4	398.5	521.8	Ce	61.8	78.7	83.8	64	80	67	50.6	70.23	72.7
Sr	207	146	149	350	200	142	184.7	209.4	146.8	Pr	7.15	8.87	9.62	7.1	8.83	-	6.2	8.5	8.3
Rb	81.7	113.0	132.0	112.0	160	125	81.1	100.5	112.9	Nd	26.9	33.6	33.8	26	32	30.4	23.1	29.1	31.1
Zr	143	138	141	190	210	200	144.3	128.7	130.6	Sm	5.02	6.37	6.23	4.5	5.6	5.98	4.4	5.35	5.61
Hf	4.47	4.26	-	-	-	6.3	4.35	3.9	3.3	Eu	0.97	1.3	1.15	0.9	1.0	1.25	0.84	1.01	1.16
Ni	21.6	40.3	26.0	20.0	55	58	26.9	33.0	33.2	Gd	4.92	5.98	5.21	3.8	4.7	5.5	4.1	4.64	5.13
Co	9.29	16.8	15.0	10.0	-	-	7.36	9.83	12.8	Tb	0.65	0.82	0.72	0.64	0.77	0.85	0.52	0.67	0.76
V	58.2	104.0	64.2	60.0	150	130	61.9	67.3	88.9	Dy	3.9	4.74	4.0	3.5	4.4	5.54	3.2	3.7	4.34
Cr	46.9	73.7	44.5	35.0	110	125	48.5	63.3	65.9	Ho	0.72	0.89	0.76	0.8	1.0	-	0.6	0.73	0.82
Cu	16.9	48.5	27.0	25.0	50	-	20.0	15.0	27.2	Er	2.29	2.71	2.25	2.3	2.9	3.28	1.77	2.08	2.45
Zn	42.0	106.0	73.5	71.0	85	-	59.6	95.9	98.7	Tm	0.3	0.35	0.31	0.33	0.41	-	0.22	0.28	0.33
Cd	-	-	-	-	-	-	0.16	0.14	0.23	Yb	2.16	2.43	1.97	2.2	2.8	3.11	1.67	1.98	2.34
Pb	18.2	39.5	36.7	20.2	20	-	21.7	32.5	26.5	Lu	0.3	0.35	0.31	0.32	0.4	0.46	0.23	0.28	0.32

양자강 하구 주변지역 공업·도시화 확대로 중금속을 다량 함유한 생활폐수의 다량 방출 영향

퇴적물 내 지화학적 특성에 의한 기원지 추정 (5/6)



Sc/Al, Cr/Th, Nb/Co, Th/Sc, Ti/Nb, Zr/Sc의 원소비 이용 퇴적물 기원지 추정 (1/2)

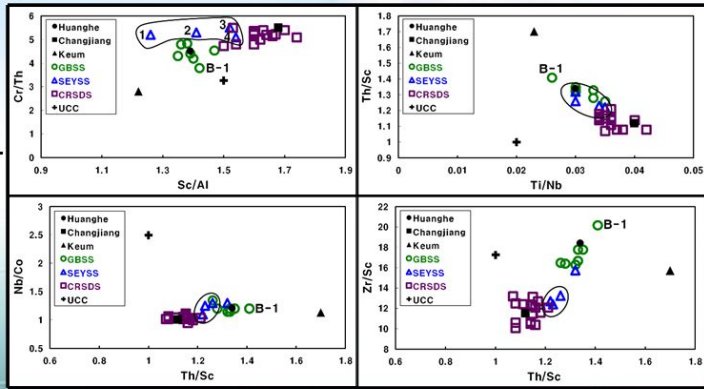
* 잔류퇴적물에 높은 함량을 보이며, 퇴적물의 운반과정에서 비교적 보존적 거동을 보임

기 존 연 구

- Ergin 등(1996)
 - 대륙기원 원소이면서 보존성 원소인 Al, Ti 및 Sc 등으로 표준화시 입도의 영향을 최소화 뿐만 아니라 해양퇴적물의 공급지 추정이 가능

연구지역 퇴적물은 크게 세 유형으로 구분

- 보하이만 지역 분포 퇴적물
 - B-1 제외, 대부분 황하 퇴적물 평균치 시료 주위에 밀집 분포
 - 황하강 영향 받고 있음 의미.
 - B-1 퇴적물은 환허강 or 야루강 기원 퇴적물로 보임
- 양자강 하구 수중삼각주 지역 분포 퇴적물
 - 대부분 양자 퇴적물 평균치 주위에 밀집 분포 패턴

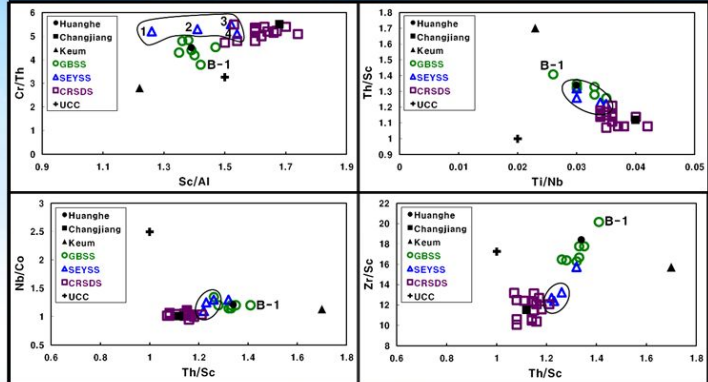


퇴적물 내 지화학적 특성에 의한 기원지 추정 (6/6)



Sc/Al, Cr/Th, Nb/Co, Th/Sc, Ti/Nb, Zr/Sc의 원소비 이용 퇴적물 기원지 추정 (2/2)

- 황해 남동해역 분포 퇴적물
- 기원지로서 어느 특정 지역을 명백히 보여주지 않음
- 금강퇴적물의 평균치와는 멀리 떨어진 위치에 주로 분포
- 황하와 양자강 퇴적물의 평균치 사이의 중간지역에 밀집 분포 패턴 (황하강 평균치에 더 가까이 분포)



⇒ 한국의 강 기원 퇴적물과 중국의 황하강 기원 퇴적물도 다소 섞여있을 가능성 시사

대륙기원 원소이며 퇴적물의 운반과정에서 보존적 거동을 보이는 Sc/Al, Cr/Th, Nb/Co, Th/Sc, Ti/Nb, Zr/Sc의 비는 연구지역 분포 퇴적물의 기원지 추정 지시자로 이용 가능

희토류 원소 이용 연구해역 퇴적물 기원지 해석 (1/15)



희토류 원소 특징

기 존 연 구

- McLennan (1989), Lee et al.(1994), Yang et al.(2002)
암석이 심하게 풍화를 받아 토양화 된 후에도 희토류 원소의 분포도가 변화되지 않음
- Piper(1985), McLennan(1989), Holser(1997), Sholkovitz & Szymezak(2000), Yang et al.(2002)
희토류 원소 존재는 특히 운석이나 상부대륙지각세일(UCC)로 규격화한 분포양상에서도 변화하지 않기 때문에 이를 이용하면 퇴적물의 기원지 혹은 근원암을 추적하는데 매우 유용하게 이용 됨.

연구지역 퇴적물 희토류 원소 함유량

· Unit : ppm

Huanghe	Changjiang	Keum	UCC	PAAS	NASC	GBSS	SEYSS	CRSDS
148.1	186.7	193.3	146.4	183.1	154.5	124.1 (114.6~135.1)	163.2 (127.3~183.9)	172.4 (170.6~185.6)

- 연구지역 전체 REE 함량치: 114.6~185.6ppm(평균 153.2ppm)로 넓은 범위를 보임
- NASC(북미지역 세일 조성) 평균값과 함량치 유사

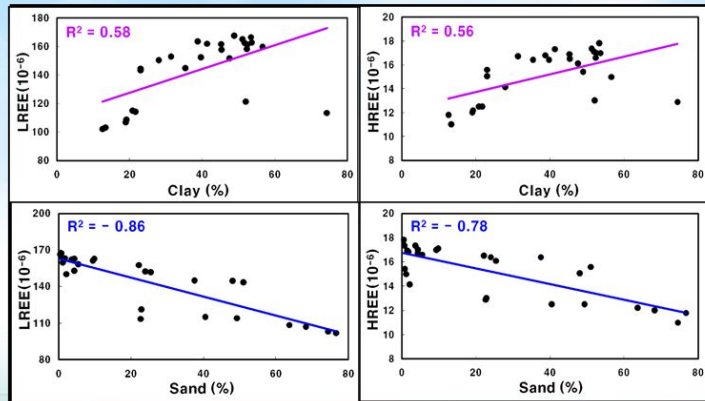




퇴적물 입도조성과 희토류원소 함량과 관계

연구지역 퇴적물 입도조성과 희토류 원소와 상관 관계

- 점토함량(세립질 퇴적물)과 경희토류 · 중희토류 원소 : 정(+)의 상관관계를 보임
 * ($R^2 = 0.58$ / $R^2 = 0.56$)



- 모래함량(조립질 퇴적물)과 경희토류 · 중희토류 원소 : 뚜렷이 감소하는 부(-)의 상관관계를 보임
 * ($R^2 = -0.86$ / $R^2 = -0.78$)

연구지역 퇴적물 내 희토류 원소의 함량은 기원지 외에 점토광물 함량, 퇴적물 입도에도 지배를 받음

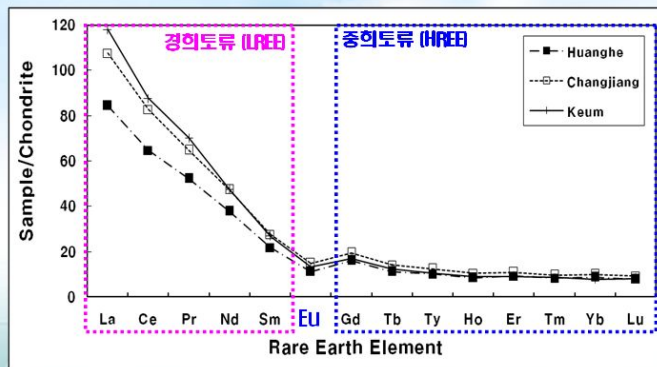


기 보고된 지역 퇴적물의 희토류 원소 분포 특성

- 황하 · 양자 · 금강 퇴적물의 희토류 원소를 운석으로 규격화한 분포 패턴
 * 퇴적물 화학조성 중 REE 분포 패턴을 이용하면 근원암이 염기성암 기원 인지 규산질암 기원 인지 평가 유용
- 황하 · 양자 · 금강 퇴적물인 경우 LREE(La-Sm)는 상당히 부(-)화, HREE는 전반적 고갈된 편
- Eu의 부(-) 이상도 두드러짐

기 존 연 구

- Culler et al.(1979, 1987)
 - 기원암이 염기성암일 경우 가벼운 희토류원소와 무거운 희토류원소 비가 낮고, Eu의 부(-) 이상이 미미
 - 기원암이 규산질암(산성암)일 경우 보다 높은 LREE/HREE비를 보이고, Eu의 부(-)이상도 두드러진 특징을 보임



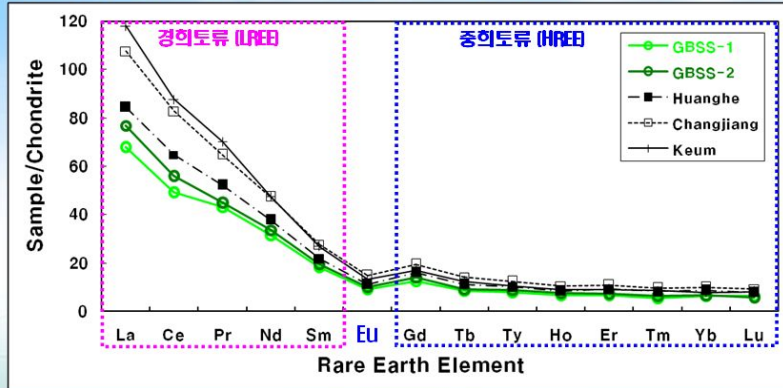
UCC(상부대륙지각세일)의 희토류 원소 분포 경향과 매우 유사





보하이만 지역 퇴적물의 희토류 원소 조성 특성 (1/4)

- 보하이만 퇴적물의 희토류 원소 조성을 운석값으로 규격화 분포 패턴
 - LREE(La_N/Sm_N) > 3.6)가 상당히 부(-)화, HREE(Gd -Lu)는 고갈되어 평평한 패턴 보임
 - Eu의 부(-) 이상도 뚜렷, 황하·양자·금강 퇴적물의 희토류 원소 분포 패턴과 매우 유사



전형적인 UCC패턴과 강 퇴적물들의 REE 분포 경향과 유사 - 同지역 퇴적물들은 주로 강을 통해서 운반된 것으로 판단-



보하이만 지역 퇴적물의 희토류 원소 조성 특성 (2/4)

- 보하이만 퇴적물의 희토류 원소 함량 특성

· Unit : μg/g, in wt.%

Elementy	B - 1					B - 2				Total Av.	Huanghe	Changjiang	Keum
	① (0-1)	② (13-14)	③ (23-24)	④ (35-36)	Av.	① (0-1)	② (13-14)	③ (29-30)	Av.				
Σ REE	114.6	121.4	119.8	114.9	117.7	135.1	126.3	127.5	130.3	123.1	148.1	186.7	193.3
Eu/Eu _N	0.574	0.59	0.624	0.63	0.60	0.61	0.61	0.62	0.61	0.61	0.6	0.64	0.61
(Ce/Sm) _N	2.37	2.72	2.37	2.68	2.59	2.81	2.66	3.01	2.89	2.72	2.97	3.87	3.23

- 희토류원소 함량 : 114.6~135.1%(평균 123.1%)로 황하·양자·금강 퇴적물 보다 낮은 함량치
 - ↳ 화학분석 과정에서 중광물의 불완전한 용해 혹은 퇴적물의 입도 차이, 기원암내 낮은 희토류 원소 함량 등과 관련이 있는 것으로 사료됨
- Eu/Eu_N와 (Ce/Sm)_N 비 : 각각 0.57~0.63(평균 0.61)과 2.37~3.01(평균 2.72)의 범위
 - ↳ 양자강 퇴적물 평균치(0.64/3.87)보다 낮고 황하강 퇴적물의 평균치(0.6/2.97)와 더 유사함

희토류 원소 이용 연구해역 퇴적물 기원지 해석 (6/15)



보하이만 지역 퇴적물의 희토류 원소 조성 특성 (3/4)

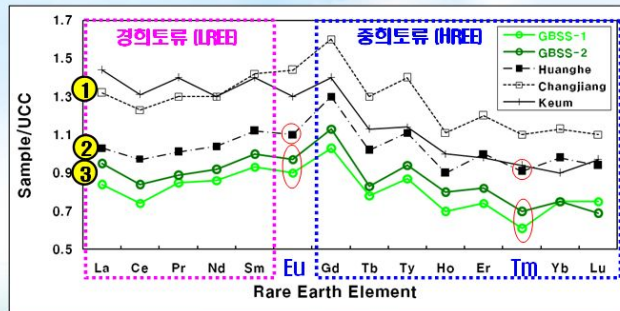
보하이만 · 황하 · 양자 · 금강 퇴적물의 UCC 평균값으로 규격화한 REE 분포 패턴 (1/2)

1 양자강 퇴적물

- 황하강과 금강 퇴적물보다 높은 희토류 원소 함량, 위로 볼록한 REE 분포형태
- 높은 Eu 정(+) 이상
- 중희토류 원소도 더 부화

2 황하강 퇴적물

- 상대적 낮은 희토류원소 농도
- Eu와 Tm의 작은 부(-) 이상
- REE도 양자강과 금강에 비해 더욱 고갈된 패턴



3 보하이만 퇴적물

- 낮은 REE 농도 및 Eu와 Tm도 공통적으로 황하강 퇴적물과 유사하게 현저한 부(-)의 이상을 보임

GBSS는 전형적인 황하 퇴적물을 UCC로 표준화한 희토류원소 분포 경향과 유사

희토류 원소 이용 연구해역 퇴적물 기원지 해석 (7/15)



보하이만 지역 퇴적물의 희토류 원소 조성 특성 (4/4)

보하이만 · 황하 · 양자 · 금강 퇴적물의 UCC 평균값으로 규격화한 REE 분포 패턴 (2/2)

· Unit : $\mu\text{g/g}$

Elementy	B - 1				Av.	B - 2				Total Av.	Huanghe	Changjiang	Keum
	① (0~1)	② (13~14)	③ (23~24)	④ (35~36)		① (0~1)	② (13~14)	③ (29~30)	Av.				
$(\text{La}/\text{Yb})_{\text{UCC}}$	1.11	1.16	1.09	1.14	1.13	1.33	1.24	1.22	1.26	1.16	1.0	1.21	1.6
$(\text{La}/\text{Sm})_{\text{UCC}}$	0.86	0.92	0.86	0.94	0.91	0.97	0.95	0.94	0.95	0.93	0.92	0.93	1.03

- $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{UCC}}$ 와 $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{UCC}}$ 각각 1.09~1.33(평균 1.18)와 0.88~0.97(평균 0.93)의 범위
- 양자강 퇴적물의 평균치(1.21 / 0.93)보다 낮음
- 황하강 퇴적물의 평균치(1.0 / 0.92)와 더 유사한 함량치

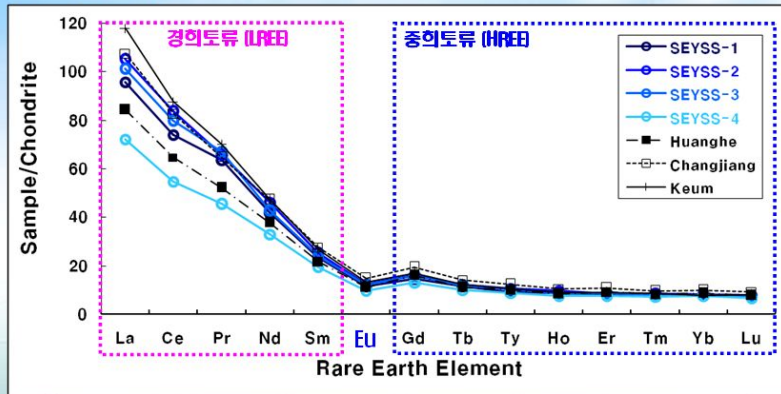
UCC로 규격화한 희토류원소 패턴, 퇴적물 기원지 추적자로 이용 가능





황해 남동부 해역 퇴적물의 희토류 원소 조성 특성 (1/4)

- 황해 남동부 니질 퇴적물의 희토류 원소 조성을 운석값으로 규격화 분포 패턴
 - LREE(La_(M)/Sm_(M)) > 4)가 매우 부(-)화, HREE는 고갈되어 평평한 패턴
 - Eu의 부(-) 이상도 뚜렷



SEYSS도 운석으로 표준화한 전형적인 REE 분포 패턴을 보임



황해 남동부 해역 퇴적물의 희토류 원소 조성 특성 (2/4)

- 황해 남동부 해역 니질 퇴적물의 희토류 원소 함량 특성

· unit : *μ*g.g⁻¹ in wt.%

Elementy	S-1	S-2	S-3	S-4	Av.	Huanghe	Yangjiang	Keum
Σ REE	165.5	183.9	175.7	127.3	163.1	148.1	186.7	193.3
LREE/HREE	10.64	10.91	10.65	8.9	10.28	8.7	9.2	11.4
Eu/Eu*	0.61	0.6	0.61	0.609	0.61	0.6	0.64	0.61
(La/Yb) _N	12.0	13.0	12.84	9.5	11.8	9.61	10.63	11.81

희토류원소 함량

127.3~183.9%(평균 163.1%)로 황하강 퇴적물(148.1%) 보다는 높고, 양자강퇴적물(186.7%) 보다는 낮은 함량치

LREE/HREE 비

8.9~10.91(평균 10.3)로 황하 / 양자강 퇴적물(8.7/9.2)의 평균치 보다 금강 퇴적물의 평균치(11.4)와 유사

Eu/Eu* 비

0.6~0.61(평균 0.61)로 양자강퇴적물(0.64) 보다 황하강과 금강 퇴적물의 평균값(0.6~0.61)과 더 유사

(La/Yb)_N 비

9.5~13.0(평균 11.8)로 황하나 양자강 퇴적물의 평균값(9.61과 10.63)보다 금강 퇴적물의 평균값(11.81)과 더 유사

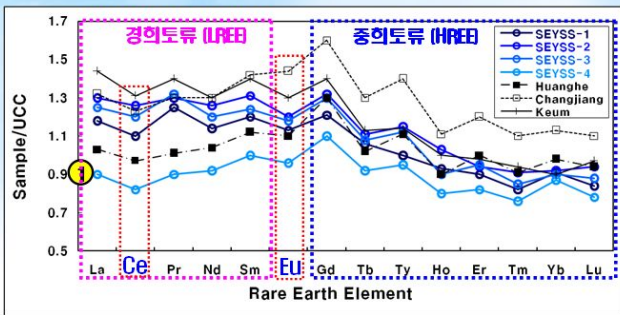


황해 남동부 해역 퇴적물의 희토류 원소 조성 특성 (3/4)

● 황해 남동부 · 황하 · 양자 · 금강 퇴적물의 UCC 평균값으로 규격화한 REE 분포(1/2)

① 시료 SEYSS-4 제외

- LREE(La~Sm)는 황하강 / 양자강 퇴적물에 비해 상당히 부화되고,
- HREE 는 고갈된 형태를 보임
- Ce · Eu : 양자강 퇴적물 보다는 황하 · 금강 퇴적물과 유사하게 두드러진 부(-)의 이상을 보임



- REE분포 패턴이 시료마다 다소 차이를 보임
 - ↳ 퇴적물내 점토광물 조성, 입도차이와 같은 성분 차이, 기원지가 다른 물질이 혼재 때문 등 사료

황해 남동부 해역 퇴적물의 희토류 원소 조성 특성 (4/4)

● 황해 남동부 · 황하 · 양자 · 금강 퇴적물의 UCC 평균값으로 규격화한 REE 분포(2/2) · unit : μg/g

Elementy	S-1	S-2	S-3	S-4	Av.	Huanghe	Yangjiang	Keum
(Gd/Yb) _{UCC}	1.33	1.43	1.44	1.22	1.36	1.34	1.41	1.56

● (Gd/Yb)_{UCC} 비 : 1.22~1.44(평균 1.36)의 범위로 양자강 퇴적물의 평균치(1.41) 보다 황하강 퇴적물의 평균치(1.34)와 유사한 값을 보임

기 존 연 구

- Saito and Yang(1984)
황하강 기원 퇴적물이 한국 서남해안지역 이동 가능 기작 : 1855년 이후 황하강 유로가 산둥반도 북쪽 보하이해 유입 이후, 약 70~80%는 해안선에서 바다로 약 20km이내, 10~15% 정도는 보하이만 지역, 나머지 15~20%가 산둥반도 부근에서 남하하여 남황해 중앙부 지역과 북동중국해까지 운반 퇴적
- Milliman et al.(1985)
보하이만에서 발원하여 수심 40~50m 등수심선을 따라 여름철에는 북위 32° 00' 까지 동계에는 북위 30° 00' , 동경 126° 00' 까지 남하하는 황해 연안류 등에 의해 황하강 기원 부유 퇴적물이 한국서남해역의 니질퇴적물 분포지역(SEYSS)까지 이동이 가능성 지적함.

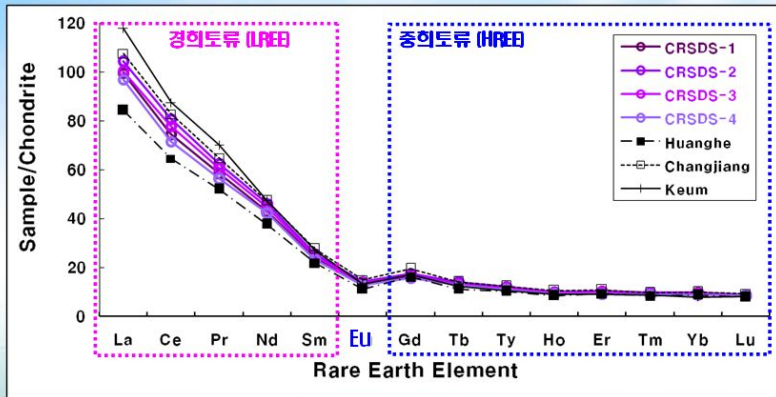
SEYSS 지역은 한국 기원의 강 퇴적물(금강)과 중국의 황하강 기원 퇴적물 혼합 가능성 시사

희토류 원소 이용 연구해역 퇴적물 기원지 해석 (12/15)



양자강 하구 수중삼각주 퇴적물의 희토류 원소 조성 특성 (1/4)

- 양자강 하구 수중삼각주 퇴적물의 희토류 원소 조성을 운석값으로 규격화 분포 패턴
- LREE(La~Sm)가 매우 부화되어 있고, HREE도 고갈된 편평한 형태, 두드러진 Eu의 부(-)이상
- 그러나 황하·양자강·금강 퇴적물의 REE 패턴 사이 너무 가까이 밀집된 분포



CRSDS을 운석으로 표준화한 희토류 원소 분포를 이용하여
동지역의 니질퇴적물의 기원지 규명 불가

희토류 원소 이용 연구해역 퇴적물 기원지 해석 (13/15)



양자강 하구 수중삼각주 퇴적물의 희토류 원소 조성 특성 (2/4)

- 양자강 하구 수중삼각주 니질 퇴적물의 희토류 원소 함량 특성

Elementy	C1	C2		C3		C4		Huanghe	Chang-jiang	Keum
		Range	Av.	Range	Av.	Range	Av.			
Σ REE	170.6	179.9~185.6	182.3	175.4~180.9	175.6	160.1~169.9	174.6	148.1	186.7	193.3
LREE/HREE	9.15	9.35~9.72	9.51	8.83~9.57	9.4	9.21~9.61	9.42	6.7	9.2	11.4
Eu/Eu*	0.64	0.651~0.69	0.66	0.65~0.66	0.66	0.65~0.66	0.66	0.6	0.64	0.61
(La/Yb) _n	10.3	10.4~11.1	0.97	9.84~11.4	10.66	10.13~11.61	10.73	9.61	10.63	11.81

· Unit : μg/g, in wt.%

희토류원소 함량	160.1~185.6%(평균 172.4%)로 보하이만 퇴적물과 황해 남동해안 니질퇴적물 보다 현저히 높은 함유량 보임(이유: 기반암내 REE함량이 높거나, 양자강 유역분지는 온난, 습윤 기후로 화학적 풍화작용 활발)
LREE/HREE 비	8.83~9.72(평균 9.38) 범위로 황하나 금강 퇴적물의 평균값(8.7과 11.4) 보다 양자강 퇴적물의 평균값(9.2)와 더 유사
Eu/Eu* 비	0.64~0.69(평균 0.65) 범위로 황하강 퇴적물(0.6)과 금강 퇴적물값 보다(0.61) 양자강 퇴적물의 평균값(0.64)과 더 유사한 함량치
(La/Yb) _n 비	10.14~11.61(평균 10.7)의 범위로 황하강 퇴적물(9.61)과 금강 퇴적물값 보다(11.81) 양자강 퇴적물 평균값(10.63)과 더 유사한 함량치

희토류 원소 이용 연구해역 퇴적물 기원지 해석 (14/15)

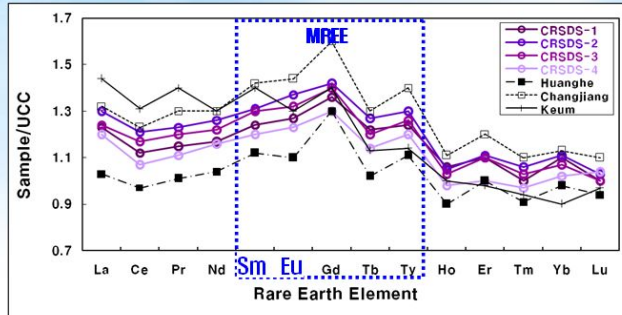


양자강 하구 수중삼각주 퇴적물의 희토류 원소 조성 특성 (3/4)

- 양자강 하구 · 황하 · 양자 · 금강 퇴적물의 UCC 평균값으로 규격화한 REE 분포(1/2)

- REE 패턴이 황하강과 보하이만 퇴적물보다 더욱 분화된 패턴임

↳ 근원암내 이들 원소 함량이 높거나 혹은 화학적 풍화가 이들 지역보다 더욱 활발히 진행된 것과 관련 판단



- 특히 MREE(Sm~Ty)가 양자강 퇴적물 평균값과 유사하게 더욱 부화되어 위로 볼록한 형태
- Sm과 Eu도 양자강 퇴적물과 유사하게 두드러진 정(+)의 이상을 보임

희토류 원소 이용 연구해역 퇴적물 기원지 해석 (15/15)



양자강 하구 수중삼각주 퇴적물의 희토류 원소 조성 특성 (4/4)

- 양자강 하구 · 황하 · 양자 · 금강 퇴적물의 UCC 평균값으로 규격화한 REE 분포(2/2) Unit: $\mu g/g$

Elementy	C1	C2		C3		C4		Huanghe	Chang-jiang	Keum
		Range	Av.	Range	Av.	Range	Av.			
$(La/Yb)_{UCC}$	1.12	1.13~1.21	1.17	1.07~1.24	1.16	1.1~1.26	1.17	1.0	1.21	1.6

- $(La/Yb)_{UCC}$: 1.07~1.26(평균 1.16)의 범위로 황하강 퇴적물(1.0)과 금강 퇴적물(1.6)보다 양자강 퇴적물의 평균값(1.21)과 더 유사

기 존 연 구

- Milliman et al.(1985)

양자강으로부터 유출되는 부유퇴적물은 주로 하구역의 동쪽과 남동쪽의 동경 122° ~ 123° 지역에 분포하는 수중 삼각주지역(CRSDS)에 주로 퇴적되고, 소량만이 동중국해 외해지역으로 확산됨

同 지역 분포 니질 퇴적물은 주로 양자강으로부터 운반된 퇴적물 의미



결 론 (1/5)



연구결과

보하이만 해역, 황해 남동부 연안역, 양자강하구역 수중삼각주 지역 분포
 니질퇴적체에 대한 입도분석, ^{210}Pb 동위원소를 이용한 퇴적속도, 주성분 및
 미량원소, 희토류원소 조성을 밝히는 연구 결과는 다음과 같음

연구해역 퇴적물 입도 특성

① 보하이만 해역

- 북동쪽은 니질모래 퇴적상 분포, 황하강 하구역인 남서쪽은 사질니토 퇴적상 분포
- 니질모래 : 모래 70.8%, 실트 13.2%, 점토 16.1% / 사질니토 : 모래 37.6%, 실트 24.9%, 점토 37.5%

② 황해 남동부 니토대 분포지역

- 니토와 실트 퇴적상 분포
- 니토:모래 1.0%, 실트 46.4%, 점토 52.8%/실트:모래 2.2%, 실트 69.9%, 점토 28.0%



③ 양자강 하구역 수중삼각주 니질 퇴적체

- 니토와 사질니토 퇴적상 분포
- 니토 : 모래 4.1%, 실트 47.0%, 점토 48.9% / 사질니토 : 모래 31.5%, 실트 30.4%, 점토 38.2%

결 론 (2/5)



연구해역 퇴적물 탄산염 함량과 유기탄소 함량 특성

① 보하이만 해역

- 탄산염 함량 4.05%, 유기탄소 함량 0.47%이며, 황하강의 영향을 직접 받는 남서쪽지역이 북동쪽지역보다 높은 함량치를 보임

② 황해 남동부 니토대 분포지역 : 탄산염 함량 2.56%, 유기탄소 함량 0.60%

③ 양자강 하구역 수중삼각주 니질퇴적체

- 탄산염 함량 5.69%, 유기탄소 함량 0.78%로 가장 높은 함유량을 보임
- ⇒ 양자강 하구역에서의 높은 생물 생산력과 관련 판단

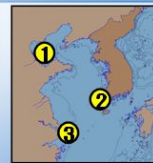
연구해역 퇴적물 C/N비 특성

① 보하이만 퇴적물 : 평균 10.11

② 황해 남동해역 퇴적물 : 평균 11.58

③ 양자강하구 수중삼각주 니질 퇴적물 : 평균 10.66

- ⇒ 평균 10 이상으로 퇴적물 시료내에 해양기원 유기물보다 육성기원 유기물이 상대적으로 많이 포함되어 있음



결 론 (3/5)



보하이만 남서쪽 황하강 하구역 니질퇴적물 퇴적속도

- 퇴적속도 : 0.65cm/yr
- ⇒ 황하강 기원 퇴적물이 하구역 니질 퇴적체 분포지역으로 이동·퇴적 의미



(Al+Fe)/(Ca+Mg+K), (Ca-Fe)/Al, (Ca-Mg)/K 3개의 지화학적 구분 지수 적용 결과

* 지화학적으로 기원지별 강 퇴적물 구분을 위해 각 강들에서 상대적으로 풍부한 원소 근거로 유도한 구분지수

- ① 보하이만 해역
 - 황하강 퇴적물 평균치 주위 밀집 분포 시료와 기타 독립된 지역 분포 시료로 구분
- ② 황해 남동부 니토대 분포지역
 - 기원지로서의 어느 특정 지역을 나타내지 않음
- ③ 양자강 하구역 수중삼각주 니질 퇴적체
 - 주로 양자강 퇴적물 평균치 주위에 밀집 분포

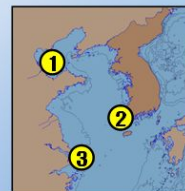


결 론 (4/5)



연구지역 퇴적물 근원지 추정 지시자로 이용될 수 있는 원소

- 근원지 추정 지시자 : Sc/Al, Cr/Th, Nb/Co, Th/Sc, Ti/Nb, Zr/Sc의 원소비
- * 퇴적물의 운반과정에서 비교적 보존적 거동을 보이고 기원암의 특성 잘 반영
- 상기 원소들을 이용한 상관도
- ① 보하이만 해역 퇴적물
 - 주로 황하강 퇴적물 주위에 밀집 분포
- ② 황해 남동부 니토대 분포지역 퇴적물
 - 한국의 금강 퇴적물과 중국의 황하강 퇴적물이 혼합
- ③ 양자강 하구역 수중삼각주 니질 퇴적물
 - 양자강 퇴적물 주위에 밀집된 분포





연구지역 퇴적물의 희토류 원소 함량 조성 특성

① 보하이만 해역 퇴적물

- REE 함량 : 평균 124.1%로 황하·양자강·금강 퇴적물 보다 낮은 함량
- Eu/Eu^* 와 $La_{(N)}/Sm_{(N)}$ 비 : 양자강과 금강 퇴적물 보다 황하강 퇴적물과 유사한 함량
- UCC로 규격화한 REE 패턴 : 전반적으로 REE가 고갈, Eu와 Tm의 현저한 부(-) 이상
↳ 전형적인 황하 퇴적물과 유사한 REE 패턴



② 황해 남동부 니토대 분포지역 퇴적물

- REE 함량 : 평균 163.2%로 금강 퇴적물 보다 낮은 함량
- Eu/Eu^* 비 : 양자강보다는 황하강과 금강 퇴적물과 더 유사한 함량
- UCC도 표준화한 REE 패턴 : LREE가 상당히 부화, Ce과 Eu도 황하강과 금강 퇴적물과 유사하게 두드러진 부(-) 이상 ↳ 황하기원 퇴적물과 금강기원 퇴적물 혼합 시사

③ 양자강 하구역 수중삼각주 니질 퇴적물

- REE 함량 : 평균 172.4%로 연구해역 중 가장 높은 함유량
- Eu/Eu^* 와 $(La/Yb)_N$ 비 : 황하강 보다 양자강 퇴적물과 더 유사한 함량
- UCC로 표준화한 REE는 패턴 : 양자강 퇴적물과 유사하게 MREE가 상당히 부화된 위로 볼록한 패턴 ↳ 주로 양자강에서 운반된 퇴적물임

감사의 글

1987년 고등학교 1학년때 해양학도를 꿈꾸며 전국에 단 8개밖에 없었던 해양학과 개설 대학교에 편지를 보냈습니다. 8개 대학교 중 유일하게 해양학의 비전을 담은 답장을 해주시면서 저를 학문의 길로 불러들여 대학 1학년부터 석사, 박사과정 동안 연구에 매진할 수 있도록 아낌없는 격려와 지도 편달을 해주신 윤정수 교수님과 사모님께 고개 숙여 깊은 감사를 드립니다.

또한 학부시절부터 논문이 완성되기 전까지 많은 가르침을 주신 최영찬, 방익찬, 이준백, 윤석훈 교수님과 지금은 퇴임하신 고유봉 교수님께도 감사의 마음을 전합니다. 논문 심사를 맡아주시고, 소중한 충고와 조언을 해주셨던 서영교 박사님과 학위과정을 무난하게 이수할 수 있도록 지원해 주신 김태정 조교선생님, 일일이 거론하지는 못했지만 따뜻한 말을 아낌없이 주신 저를 아는 많은 분들께도 감사의 마음을 전합니다.

힘든 생활에도 내색하지 않으시면서 사랑과 정성으로 염려해 주신 어머니님과 장인어른, 큰형과 형수님, 작은형, 처형과 처남, 처제 특히 어려운 여건 속에서도 항상 옆에서 따뜻한 격려와 함께 긴 여정을 묵묵히 동행해 준 나의 아내 방연씨와 아들 인환, 딸 지연이에게 고마움을 전하며 이 논문을 바칩니다.