

주성분분석법을 활용한 황해 남동 이질대 퇴적물의 기원지 연구

Sediment Provenance of Southeastern Yellow Sea Mud Using Principal Component Analysis

조 현 구(Hyen Goo Cho)^{1*} · 김 순 오(Soon-Oh Kim)¹ · 이 윤 지(Yun Ji Lee)¹ ·
안 성 진(Sung Jin Ahn)² · 이 희 일(Hi Il Yi)³

¹경상대학교 지구환경과학과 및 기초과학연구소

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

²경상대학교 정보통계학과 및 기초과학연구소

(Department of Information and Statistics and Research Institute of Natural Science,
Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea)

³한국해양과학기술원 해양환경보전연구부

(Marine Environment and Conservation Research Division, Korea Institute of Ocean Science and Technology)

요약 : 황해 남동 이질대에서 채취된 51개의 표층퇴적물 시료와 황해로 유입되는 한국과 중국의 하천 퇴적물 시료 33개에 대해서 반정량 X선회절분석법을 통한 점토광물의 상대적인 함량을 토대로 주성분분석을 도입하여 해양표층퇴적물의 기원지를 연구하였다. 전체 자료의 98% 이상을 반영하는 제1주성분과 제2주성분을 이용하여 R 프로그램을 통해 주성분분석을 수행하였다. 황해 남동 이질대 퇴적물의 점토광물 함량은 남부 지역과 북부 지역에서 거의 차이가 나지 않으며, 성분도표상에서의 해양퇴적물 분포는 중국의 황하, 양쯔강 퇴적물보다 한국의 하천퇴적물과 더욱 근접한 양상을 보였다. 이러한 통계적 분석 결과를 바탕으로 황해 남동 이질대는 거의 모두가 한국 하천퇴적물로부터 유래했다는 것을 추정할 수 있다. 또한, 황해 남동 이질대에 한국 하천에서 유출되는 양보다 더 많은 퇴적물이 축적된 이유로는 퇴적물의 침식과 재동에 의한 것으로 판단된다. 주성분분석은 한반도 주변 해역 퇴적물의 기원지 연구에 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

주요어 : 황해 남동 이질대, 주성분분석, 반정량 X선회절분석, 점토광물조성, 기원지

ABSTRACT : In this study, we tried to determine the origin of fine-grained sediments in Southeastern Yellow Sea Mud patch (SEYSM) using principal component analysis coupled with semi-quantitative X-ray diffraction analysis for 4 major clay minerals. We used 51 marine surface sediments from SEYSM and 33 surface sediments of rivers flowing into the Yellow Sea. We made biplot diagram using R program with principal component 1 and component 2 because the two components might contain about 98% of all data. The content of each clay mineral in the south and north regions of

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

SEYSM are almost similar. In the biplot, SEYSM sediments distribute close to Korean rivers sediments than Huanghe and Changjiang sediments. Based on these results, we suggest that SEYSM is originated from the Korean rivers sediments. The higher accumulation rate in the SEYSM compared to the sediment discharge from neighboring Korean rivers can be explained by erosion and reworking of surface sediments in this area. The principal component analysis can be used for the provenance research of marine sediments around the Korean Peninsula.

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

서 론

황해는 중국 대륙의 황하와 양쯔강 및 한반도 서해안의 강들(압록강, 대동강, 한강, 금강, 영산강 등)을 통해 전세계 하천퇴적물 양의 약 10%에 달하는 막대한 양의 육상기원 퇴적물이 유입되어 집적되는 곳으로, 몇 개의 특징적인 이질대(muddy patch)를 형성하고 있는데, 황해 중앙 이질대(Central Yellow Sea Mud Deposits, CYSM), 제주 남서 이질대(Southwestern Cheju Island Mud Deposits, SWCIM), 그리고 황해 남동 이질대(Southeastern Yellow Sea Mud Deposits, SEYSM) 등이 대표적이다.

황해 남동 이질대는 흑산 이질대(Hucksan Mud Deposits, HSM)라고도 하는데, 한반도 남서해안을 따라 폭이 20~50 km, 길이가 200 km 이상으로 발달한다. 황해 남동 이질대의 기원에 대해 한국의 주변 하천으로부터 유래했다는 것과 한국의 하천 이외에 중국의 황하, 양쯔강 등 다수 하천의 혼합물이라는 이론 등 크게 두 가지 관점이 존재한다. 한국의 많은 과학자들은 퇴적학적 연구, 지구물리학적 연구, 광물학적 연구 등을 통하여 황해 남동 이질대 퇴적물이 한국의 금강과 영산강으로부터 기원했다고 주장한다(Chough and Kim, 1981; Jin and Chough, 1998; Lee and Chough, 1989; Park and Khim, 1992; Lee and Chu, 2001; Chough *et al.*, 2002; Moon *et al.*, 2009; Cho *et al.*, 2011). 이에 반해 중국의 많은 과학자들과 한국의 일부 과학자들은 퇴적학적 연구, 지화학적 연구, 지화학적·광물학적 연구 등을 통하여 이 퇴적물의 기원이 한국과 중국 강의 혼합물이라고 주장한다(Schubel *et al.*, 1984; Ren and Shi, 1986; Alexander *et al.*, 1991; Park *et al.*, 2000). 점토광물학적 연구를 수행한 Wei *et al.* (2000)은 황해 남동 이질대의 북부 지역은 금강과 영산강 기원, 남부 지역은 한국과 중국 강 등의 여러 하천퇴적물이 혼합된 것이라

고 주장하기도 한다. 지금까지 황해 남동 이질대 퇴적물의 기원지를 밝히기 위하여 다양한 방법의 연구들이 진행되었지만, 아직도 두 가지 이론 사이의 견해 차이는 지속되고 있다.

많은 한국과 중국의 연구자들이 점토광물 분석을 통하여 황해 퇴적물의 기원지를 밝히려는 연구를 수행하고 있다. 하지만 현재의 분석방법으로는 점토광물에 대한 자료가 모두 활용되지 못하고 있으며, 2차원적이고 단편적인 일부 결과로 결론을 도출하게 된다. 따라서 이를 바탕으로 한 기원지 해석에는 한계가 존재할 수밖에 없다.

기존 방법들은 대부분 하나 또는 두 개의 점토광물 자료를 이용하여 기원지를 해석하였기 때문에 기원지 해석에 있어 많은 제약이 있을 수밖에 없다. 만일 점토광물 네 개를 동시에 이용하여 기원지를 해석할 수 있다면 보다 종합적으로 자료를 해석할 수 있을 것으로 여겨진다. 2차원적인 연구 방법으로는 기원지 해석에 제약이 많을 수 있지만 좀 더 다각적인 방법에서 실험 결과를 해석하기 위해 주성분분석을 도입하여 연구를 수행해 보았다.

주성분분석(principal component analysis, PCA)은 기본적으로 고차원의 다변량 자료를 저차원상에 표현하고자 하는 목표를 가진 기법으로서(Jolliffe, 2002), 농학, 생물학, 화학, 기상학, 환경과학, 경제학, 심리학 등 다양한 분야에서 유용하게 활용되고 있다(Boroza *et al.*, 2013; Ktalikova *et al.*, 2013). 이 목표를 달성하기 위해서 주성분분석에서는 원래의 변수들의 선형 결합들을 통해 새로운 변수들 즉 주성분들(principal components)을 생성한다. 첫 번째 주성분은 가능한 최대의 분산을 가지도록, 따라서 다변량 자료의 변동성에 대해 가장 큰 설명력을 가지도록 유도된다. 두 번째 주성분은 첫 번째 주성분과 직교해야 한다는 제약 하에서, 잔여 변동성 가운데 가능한 최대의 분산을 가지도록 유도된다. 다른 주성분들도 이런 방식으로 유도된다. 관측들에 대해 이렇게 유도된 새로운 변

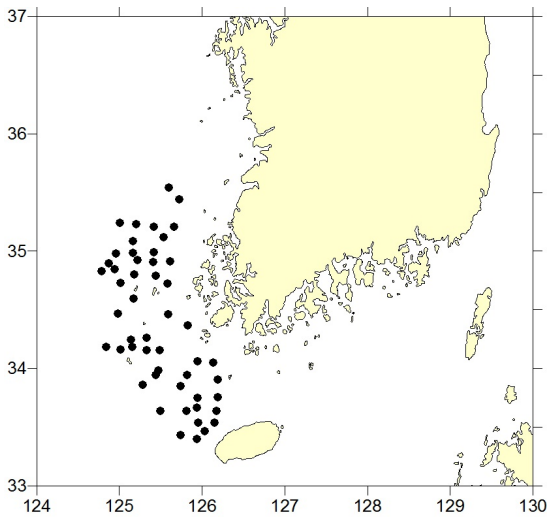


Fig. 1. Location map of grab samples around Southeast Yellow Sea Mud.

수들의 값들은 주성분 점수들(principal scores)이라고 불린다. 주성분 점수들은 원래의 변수공간상의 관측들을 주성분공간으로 투영(projection)시킨 것이라고 기하학적으로 이해될 수 있다.

주성분들의 수는 원래의 변수들의 개수를 초과할 수 없다. 만일 처음 몇 개의 주성분들이 원래의 변수들이 가지고 있는 변동성의 대부분을 설명한다면, 원래의 변수들 대신에 이 소수의 주성분들을 선택함으로써 차원의 축약을 기대할 수 있다. 선택된 주성분들은 원래의 변수들의 정규성(normality)을 검정하는데 사용될 수 있다. 그리고 회귀분석(regression analysis)이나 판별분석(discriminant analysis)에서는 다공선성(multicollinearity) 문제를 해결하는 한 수단으로 주성분들을 독립변수들로 사용하기도 한다(Lee, 2003; Scheib *et al.*, 2009). 또 처음 두 개나 세 개의 주성분들을 이용하여 주성분 행·열도(biplot)를 작성함으로써 관측대상이 어떤 위치에 있는지 시각적으로 파악할 수 있다(Gabriel, 1971).

이번 연구에서는 점토광물 네 가지의 정보를 동시에 반영한 다각적인 방법을 위해 주성분분석을 활용하여 황해 남동 이질대의 근원지를 추정하였다. 황해 남동 이질대 부근에서 채취된 51개 시료의 점토광물 반정량 분석을 통해 얻어진 결과를 바탕으로 주성분분석을 수행하여 성분들 사이의 관계를 통해 시각적으로 황해 남동 이질대의 기원지

를 유추해 보고자 한다.

연구 재료 및 방법

이번 연구에는 황해 남동 이질대에서 채취된 51개의 해양표층퇴적물 시료를 이용하였다(Fig. 1). 시료 채취는 2001년, 2010년, 2011년에 각각 3개, 20개, 28개를 한국해양과학기술원 소속의 이어도호와 온누리호를 통하여 수행되었다. 서론에서도 살펴본 바와 같이 황해 퇴적물의 대부분이 한반도의 서해안과 중국 대륙의 동해안으로 유입되는 하천으로부터 공급되기 때문에 황해 남동 이질대의 표층퇴적물 기원지를 규명하기 위하여 황해로 유입되는 하천퇴적물 시료를 사용하였다. 사용된 하천 퇴적물 시료는 중국 대륙의 황하와 양쯔강에서 4개와 3개, 한반도 서남해안의 한강, 금강, 영산강에서 각각 14개, 9개, 3개로 모두 33개의 시료를 이용하였다. 이들 시료의 처리 과정과 점토광물에 대한 반정량분석 방법은 Cho *et al.* (2012)에 상세하게 기술되어 있다.

점토광물 반정량 X선 회절분석법에 의하여 결정된 주요 점토광물의 함량을 바탕으로 다변량분석 다차원적인 통계적 방법 중의 하나인 주성분분석법을 적용하여 황해 남동 이질대 퇴적물의 근원지를 추정하였다. 다변량분석이란 변수를 개별적으로 분석하는 것이 아니라 서로의 상관관계를 고려하여 여러 변수를 동시에 분석하는 것으로 변수들 간의 상관관계를 활용하여 데이터의 차원을 축약하는 주성분분석과 개체 유사성(거리)을 이용하여 개체를 분류하는 군집분석이 대표적이다. 주성분분석은 다변량의 자료로부터 정보의 손실을 가능한 최소로 하여 본질이 되는 소수의 변량을 합성하고 자료를 분석하는 것을 바탕으로 한다. 전체 변량에서 공분산행렬(변동)을 가장 잘 반영하는 변량을 합성하며, 그 합성변량이 제1주성분이 된다. 주성분은 원변수의 선형결합으로 나타나며 주성분의 원변수 총변동을 설명하는 정도, 즉 주성분 기여율이 0에 보다 근접할 경우에는 두 번째(제2주성분), 세 번째(제3주성분)와 같은 새로운 주성분을 생성할 수 있다. 이렇게 형성되는 주성분은 원변수의 개수만큼 존재하는데 이들 간의 상관계수는 0으로 서로 관련성이 없다. 또한 자료를 분석하는 데에 있어서는 원변수의 변동을 설명하는 비율이 누적 80% 이상인 주성분만을 이용한다. 다변량 자료 속에서 통계분석 소프트웨어를 통하여 주성분을 형성하고,

Table 1. Summary of principal components analysis for Southeast Yellow Sea Mud

	component 1	component 2	component 3
North of Southeast Yellow Sea Mud			
Standard deviation	0.068	0.016	0.008
Proportion of Variance (%)	93.7	5.1	1.2
Cumulative Proportion (%)	93.7	98.8	100.0
South of Southeast Yellow Sea Mud			
Standard deviation	0.069	0.019	0.009
Proportion of Variance (%)	91.3	7.2	1.5
Cumulative Proportion (%)	91.3	98.5	100.0

R 프로그램을 이용하여 주성분분석을 실시하였다.

R 언어의 *compositions* 패키지의 *acomp* 클래스의 *princomp* 함수를 사용하여 구성비 데이터 (compositional data)에 대한 주성분분석을 실시하고 행 · 열도를 작성하였다(Aitchison and Greenacre, 2002). *acomp* 클래스의 *princomp* 함수는 군집분석을 위한 *ClusterFinder 1* 함수에서와 같이, 입력 데이터에 대하여 *clr*(centered logratio transformation) 변환을 실시한 후 이 변환데이터에 대해 주성분분석 절차를 적용한다. *clr* 변환은 D-성분(D-part) 심플렉스 상의 한 구성비 벡터를 등거리적으로 (isometrically) D 차원의 유클리드 벡터 부분공간에 사상한다. 그런데 이 변환은 일대일이 아니며, 따라서 공분산 행렬은 항상 특이행렬(singular matrix)이다.

결 과

황해 퇴적물의 주요 공급원으로 여겨지는 중국 대륙의 황하와 양쯔강 및 한반도(한강, 금강, 영산강)의 주요 강들 그리고 한반도 서남해 연안에 발달하고 있는 황해 남동 이질대에서 총 51개의 표층퇴적물 시료를 채취하여 점토광물 반정량 X선회절분석을 실시하였다.

표층퇴적물 내 존재하는 일라이트, 스멕타이트, 녹니석, 카올리나이트 등 4가지 중요 점토광물의 상대적인 함량은 모두 일라이트, 녹니석, 카올리나이트, 스멕타이트 순서로 존재한다. 점토광물의 상대적인 함량에 대한 자세한 결과는 Cho *et al.* (2012)의 Table 1에 자세하게 제시되어 있다. 이번

연구에 사용된 시료를 그 위치에 따라 남부 지역과 북부 지역으로 나눌 경우 남부 지역과 북부 지역에 해당하는 시료의 수는 각각 26개, 25개로 분리된다. 황해 남동 이질대 내 4가지 주요 점토광물의 전반적인 분포 양상은 일라이트가 북서쪽과 남쪽에서 상대적으로 높은 함량을 보이는 것과 대조적으로 스멕타이트는 중앙부와 북동쪽에서 높은 함량을 가지고, 북서쪽과 남쪽으로 갈수록 그 값이 감소하는 경향을 보인다. 녹니석은 황해 남동 이질대의 중앙부에서 함량이 높고, 카올리나이트는 중앙부와 남쪽에서 낮은 함량을 보인다. 이러한 분포 양상은 스멕타이트와 일라이트, 녹니석과 카올리나이트가 각각 서로 반대되는 경향을 가진다는 것을 나타낸다(Cho *et al.*, 2012)의 Fig. 2에 자세하게 표시되어 있음). 이와 같은 해양퇴적물의 점토광물 분포양상을 바탕으로 황해 남동 이질대 퇴적물의 점토광물 함량은 남부지역과 북부지역이 거의 차이가 나지 않다는 것을 알 수 있다.

하천에 따라 점토광물의 함량은 차이가 크지만, 중국 하천퇴적물(특히 황하)은 한국 하천퇴적물에 비하여 스멕타이트의 함량이 높은 반면 한국 하천퇴적물에서는 일라이트와 녹니석의 함량이 상대적으로 높은 값을 나타낸다. 다른 퇴적물과 비교할 때, 영산강 퇴적물의 일라이트 함량이 높다. 또한, 해양퇴적물과 하천퇴적물의 점토광물 조성을 비교할 때 황해 남동 이질대는 중국의 하천퇴적물보다 한국의 하천퇴적물과 더 유사한 측면을 가진다고 판단할 수 있다(Cho *et al.*, 2012).

이러한 중국과 한국 하천퇴적물의 점토광물 성분차이 및 한국 하천퇴적물과 황해 남동 이질대 사

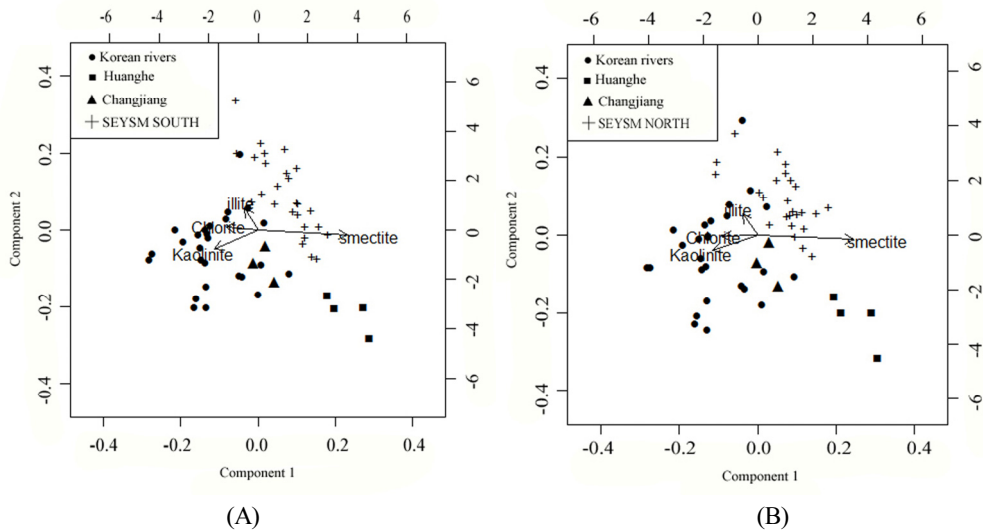


Fig. 2. Biplot of Principal Component Analysis for Southeast Yellow Sea Mud (SEYSM), compared with the sediments of Korean rivers, Hwanghe, and Changjiang. (A) North of SEYSM (B) South of SEYSM.

이의 관련성은 주성분분석을 통한 성분도표 상에서 더 명확하게 드러난다(Fig. 2). Table 1은 황해 남동 이질대 남부지역과 북부지역의 분석결과로 제1주성분부터 제3주성분까지 각 주성분별 표준편차와 분산비율 및 누적비율을 수치로 나타낸 것이다. 황해 남동 이질대의 기원지를 분석하는데 제1주성분과 제2주성분만을 사용하여 주성분분석을 수행하였다(Fig. 2A, 1B). 많은 주성분을 활용할수록 원변수의 정보를 효과적으로 반영할 수 있지만 3개 이상의 주성분을 사용하게 되는 경우 2차원의 그림으로는 표현할 수 없기 때문에 시각화하는데 어려움이 따른다. 또한, 이번 주성분분석에서는 여러 가지 오차를 고려하더라도 제1주성분과 제2주성분이 원변수의 정보를 약 99%까지 반영하고, 원변수도 4가지로 많지 않기 때문에 두 개의 주성분만으로 충분히 타당한 결과를 해석할 수 있었다.

Fig. 2A는 황해 남동 이질대 북부지역의 통계처리 결과로 4차원의 선형결합을 2차원으로 축약하여 나타낸 것이다. 화살표로 표시된 것은 원래의 4가지 변수차원이며, 그 중심점은 일라이트, 녹니석, 카올리나이트, 스멕타이트 각각의 원소의 함량이 유사한 값을 가지는 평균점이다. 또한 화살표의 길이는 변수의 변동성(표준편차)을 나타낸 것으로, 스멕타이트의 변동성이 가장 큰 것을 볼 수 있다.

이것은 스멕타이트의 함량 값이 다양하게 분포함을 의미한다. 화살표의 방향은 변수차원들 사이

의 관계를 지시하는데, 일라이트와 카올리나이트, 녹니석, 특히 카올리나이트와 녹니석이 유사한 성질을 나타낸다. 이와 달리 스멕타이트와 나머지 변수들은 서로 독립적인 양상을 보인다. 성분도표 상에서 4개의 황해 자료는 근접하여 위치하며, 다른 원소들에 비하여 특히 스멕타이트의 함량이 높게 나타난다. 양쯔강 3개의 자료도 가까이 위치하며, 한국 강(한강, 영산강, 금강)의 경우에도 각각 비교적 근접하여 분포한다. 또한 한국 강들은 황해에 비해 스멕타이트의 함량이 낮으며, 일라이트와 녹니석, 카올리나이트의 함량이 높은 값을 보인다. 이는 같은 강시료끼리는 서로 유사한 성질을 가지고 있음을 나타낸다. 2차원 성분도표를 바탕으로 황해 남동 이질대의 북부 지역 해양퇴적물은 황해, 양쯔강 퇴적물과는 관련성이 적고 한국 강 퇴적물과 더 비슷한 분포양상을 보인다.

황해 남동 이질대 남부지역의 통계 처리 결과를 보면 해양퇴적물의 전체적인 분포양상이 북부지역과 매우 유사함을 볼 수 있다. 또한 황해 남동 이질대 남부지역의 해양퇴적물은 북부지역과 마찬가지로 황해, 양쯔강에 비해 한국 강과 더 높은 관련성을 보여준다(Fig. 2B).

주성분분석을 통해 황해 남동 이질대는 남부 지역과 북부 지역 퇴적물이 거의 구분되지 않으며, 황해, 양쯔강 퇴적물보다 한국의 하천퇴적물과 더 유사한 것을 추정할 수 있다.

토 론

황해 남동 이질대의 기원에 대해서 크게 두 가지 견해 즉, 한국 하천 기원과 한국과 중국 하천 혼합 기원으로 생각하는 것이 존재한다. 한국과 중국 하천 혼합 기원으로 생각하는 연구자들은 황해 남동 이질대의 매우 많은 퇴적물 공급량과 높은 퇴적 속도는 인접한 한국 하천들의 퇴적물 공급량이 그렇게 크지 않기 때문에 중국 하천으로부터 상당한 양이 공급되었다고 주장한다(Alexander *et al.*, 1991; Lim *et al.*, 2007b). 황해와 동중국해에서 최근 100년 동안 대륙붕 이질 퇴적층의 축적 속도는 황해 남동 이질대를 제외하고는 대체적으로 강으로부터 멀어짐에 따라 감소한다. 황해 남동 이질대 내에서 퇴적물의 축적 속도는 연간 2-5 mm로써 퇴적률은 연간 $4 \sim 15 \times 10^7$ tons에 해당하지만, 한국 강으로부터의 유출량은 연간 $6 \sim 20 \times 10^6$ tons 밖에 되지 않기 때문에 외해로부터의 퇴적물 공급원이 필요한 것으로 여겨진다(Alexander *et al.*, 1991; Lim *et al.*, 2007b). 부유물 분포 양상으로부터 동중국해 대륙붕과 한국 해안 사이에 세립질 퇴적물의 이동과 교환이 존재할 가능성이 높는데, 특히 겨울철 한국 해안의 많은 퇴적물은 중국강으로부터 황해 온난수(Yellow Sea Warm Current)에 의해 공급될 가능성이 매우 높다(Lim *et al.*, 2007).

만일 황해 남동 이질대의 퇴적물의 일부가 중국 강으로부터 왔다면 이 퇴적물은 대부분 황해 남동 이질대의 남부 지역에 쌓일 가능성이 매우 높다. 이에 따라 황해 남동 이질대의 북부 지역과 남부 지역 사이에 표층퇴적물의 특성이 달라져야 한다. 그러나 기존 연구에서 북부 지역과 남부 지역 사이의 점토광물 특성이 다르다고 보고한 것은 거의 없고(Wei *et al.*, 2000), 대부분 점토광물 특성 차이가 없다(Park and Khim, 1992; Cheng, 2000; Moon *et al.*, 2009). 이번 연구의 결과 역시 점토광물 함량과 분포 특성은 황해 남동 이질대 전체에서 거의 같은 양상을 보이므로 황해 남동 이질대 퇴적물의 일부가 중국강에 의하여 공급되었다는 주장과는 반대된다.

황해 남동 이질대를 덮고 있는 부유물 기둥(plume)에 대하여 퇴적학적인 자료 및 인공위성 영상과 결합된 수리지리학적(hydrographic) 측정 자료를 바탕으로 연구한 결과는 이들이 한국의 서해안으로부터 기원한 것을 확실하게 보여주며, 부

유물 기둥은 늦가을에 시작되는 겨울철의 문순성 바람(winter monsoon winds)에 의하여 강화된다(Lee and Chu, 2001). 또한 대부분의 점토광물, 지화학, 등온선 분포 연구 결과 역시 황해 남동 이질대 퇴적물이 한국의 서해안 특히, 금강으로부터 유래하고 있음을 지시한다(Lee and Chu, 2001; Chough *et al.*, 2004). 이와 같은 견해는 황해와 북동중국해의 이질 퇴적물에 대한 기원지 해석에 유용한 지시자로 판단한 지화학적 원소를 이용하여 황해 남동 이질대의 기원지를 추정한 연구에서, 전체 퇴적물 중 실트 퇴적물은 한국 기원이 우세한 것으로 추정된 연구(Lim *et al.*, 2007b)의 결과와도 부합되는 것으로 여겨진다. 본 연구 결과도 황해 남동 이질대 퇴적물이 거의 전부 한국 서해안으로 유입되는 하천으로부터 유래한 것으로 생각한 많은 연구 결과와 매우 일치한다고 판단된다.

한반도 주변의 황해와 북동중국해의 이질 퇴적물 기원지 해석을 전반적으로 이해하기 위해서는 이 해역에서 일어나는 복잡한 해류순환 시스템과 퇴적물의 주요 공급지로 판단되는 중국과 한국의 강 퇴적물에 대한 퇴적-지화학적 자료를 제대로 이해해야만 가능하다(Lim *et al.*, 2007a, 2007; Moon *et al.*, 2009; Cho *et al.*, 2012). 고해상도 단성과 탐사 자료와 퇴적물 시료에 대한 연구를 통하여 황해 남동 이질대남부지역의 현재 퇴적속도는 거의 0에 가깝고, 북부지역의 퇴적률은 연간 3.0×10^7 tons으로써 한국 강으로부터 유입되는 퇴적물의 양보다 10배 이상 많다고 밝혀졌다. 남부지역의 퇴적속도가 0에 가까운 데에도 불구하고 두꺼운 퇴적물이 쌓여있는 이유는 북부지역에 존재하는 퇴적층의 침식에 의하여 남부로 이동한 때문으로 해석하였다. 북부지역에 축적된 퇴적물의 양이 한국 강으로부터 유입되는 퇴적물의 양보다 10배 이상 많은 이유는 남부지역에 쌓여있는 두꺼운 퇴적층이 해류에 의하여 재동(reworking)되어 한국 강으로부터 유입된 퇴적물과 합쳐진 덕분으로 해석한다(Park *et al.*, 2000). 이런 원인에 의하여 황해 남동 이질대에 퇴적된 퇴적물의 특성은 북부지역과 남부지역에서 큰 차이가 없는 것으로 판단되며, 황해 남동부 지역에서의 조류와 지역적인 해류 특성에 의하여 발생한 것으로 간주된다(Park *et al.*, 2000; Chough *et al.*, 2004).

결 론

황해 남동 이질대 해양표층퇴적물 시료 51개와 중국(황하, 양쯔강) 하천퇴적물 시료 7개, 한국(한강, 금강, 영산강) 하천퇴적물 시료 26개의 점토광물 반정량 X선 회절분석법에 의한 결과를 바탕으로 주성분분석을 실시하여, 황해 남동 이질대의 퇴적물 기원지 연구에 대한 결과는 다음과 같다.

(1) 황해 남동 이질대의 남부 지역과 북부 지역 퇴적물의 점토광물 함량 특성이 거의 차이가 나지 않는다.

(2) 원변수의 정보를 98% 이상 반영하는 제1주성분과 제2주성분을 이용하여 행렬도를 작성하여, 주성분분석을 실시한 결과는 황해 남동 이질대 퇴적물이 한국 서해안으로 유입되는 하천으로부터 유래했음을 지시한다.

(3) 황해 남동 이질대의 현재 퇴적속도에 비하여 두꺼운 퇴적물이 쌓여있는 이유는 해류에 의하여 재동되어 한국 강으로부터 유입된 퇴적물과 합쳐진 덕분으로 해석된다.

(4) 주요 점토광물의 함량을 바탕으로 해양퇴적물의 기원지를 추정하는데 있어 주성분분석은 4가지 변수의 정보를 모두 반영하는 다차원적인 분석방법으로써 좀 더 명확한 결과를 도출하는 것을 가능하게 한다. 앞으로도 주성분분석은 퇴적물의 기원지를 유추하는데 기존의 분석방법보다 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

사 사

이 논문은 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(과제번호 2011-0021964)과 한국해양과학기술원 기관역량사업 일환으로 “해양환경변화 적응대책 마련을 위한 해양 geoframework(지질형태구조) 기반 연안지형 진화 연구”(PE99276) 지원으로 수행되었다. 연구비를 지원하여 준 한국연구재단과 한국해양과학기술원에 감사드린다. 점토광물 반정량분석에 많은 도움을 준 경상대학교 점토실험실의 임지혜, 강문희, 광경운, 이준석 학생에게도 감사사를 드린다. 부족한 원고를 세세하게 읽고 좋은 지적을 하여 주신 조형래 교수와 익명의 심사위원께도 감사드린다.

참고문헌

Alexander, C.R., DeMaster, D.J. & Nittrouer, C.A. (1991) Sediment accumulation in a modern epi-

continental-shelf setting: the Yellow Sea. *Marine Geology*, 98, 51-72.

Borozan, A.B., Bordean, D.M., Boldura, O.B., Sasu, L., Cojocariu, L., Horablaga, M., and Cojocariu, A. (2013) Actinobacteria- Source of information on soil quality. 13th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2013, Albena, Bulgaria, 16-22 June, 2013, Water Resources, Forest, Marine and Ocean Ecosystems, 489-496.

Cheng, P. (2000) Characteristics and transport mechanism of fine-grained sediments in the North Yellow Sea. PhD thesis, Institute of Oceanography, Chinese Academy of Science (in Chinese).

Cho, H.G., Kim, S.O., Yi, H.Y., and Shin, K.-H. (2011) Mineral Distribution in the Southeastern Yellow Sea Surface Sediments; KORDI Cruise Samples in 2010. *Journal of Mineralogical Society of Korea*, 24(3), 205-216 (Korean with English abstract).

Cho, H.G., Kim, S.O., and Yi, H.I. (2012) Clay mineral distribution and characteristics in the Southeastern Yellow Sea Mud Deposits. *Journal of Mineralogical Society of Korea*, 25(3), 163-173 (in Korean with English abstract).

Chough, S.K. and Kim, D.C. (1981) Dispersal of fine-grained sediments in the southeastern Yellow Sea: a steady-state model. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51, 721-728.

Chough, S.K., Kim, J.W., Lee, S.H., Shinn, Y.J., Jin, J.H., Suh, M.C., and Lee, J.S. (2002) High-resolution acoustic characteristics of epicontinental epicontinental sea deposits, central-eastern Yellow Sea. *Marine Geology*, 188, 317-331.

Chough, S.K., Lee, H.J., Chun, S.S., and Shinn Y.J. (2004) Depositional processes of late Quaternary sediments in the Yellow Sea: a review. *Geosciences Journal*, 8(2), 211-264.

Gabriel, K.R. (1971) The Biplot Graphical Display of Matrices with Applications to Principal Component Analysis. *Biometrika*, 58(3), 453-467.

Jin, J.H. and Chough, S.K. (1998) Partitioning of transgressive deposits in the southeastern Yellow Sea: a sequence stratigraphic interpretation. *Marine Geology*, 149, 79-92.

Jolliffe, I.T. (2002) *Principal Component Analysis* (2nd Ed.) Springer Series in Statistics. New York, Springer, 478p.

Ktalikova, I.R., Andrejiova, M., and Badia, I.M. (2013) Analysis of soil contamination with heavy metals in Slovak republic by using multidimensional stat-

- istical method. 13th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2013, Albena, Bulgaria, 16-22 June, 2013, Water Resources, Forest, Marine and Ocean Ecosystems, 497-504.
- Lee, H.J. and Chough, S.K. (1989) Sediment distribution, dispersal and budget in the Yellow Sea. *Marine Geology*, 87, 195-205.
- Lee, H.J. and Chu, Y.S. (2001) Origin of inner-shelf mud deposit in the southeastern Yellow Sea: Huksan Mud Belt. *Journal of Sedimentary Research*, 71, 144-154.
- Lee, J.R. (2003) Early and Middle Pleistocene lithostratigraphy and palaeoenvironments in northern East Anglia, UK. Unpublished PhD Thesis, University of London.
- Lim, D.I., Choi, J.Y., Jang, H.S., Rho, K.C. and Ahn, K.S. (2007a) Recent sediment accumulation and origin of shelf mud deposits in the Yellow Sea and East China Seas. *Progress in Oceanography*, 73, 145-159.
- Lim, D.I., Shin, I.H., and Jung, H.S. (2007b) Major Elemental Compositions of Korean and Chinese River Sediments: Potential Tracers for the Discrimination of Sediment Provenance in the Yellow Sea. *Jour. Korean Earth Science Society*, 28(3), 311-323 (Korean with English abstract).
- Moon, D.H., Yi, H.Y., Shin, K.H. Do, J.Y., and Cho, H.G. (2009) Mineral distribution of southeastern Yellow Sea and South Sea of Korea using quantitative XRD analysis. *J. Miner. Soc. Korea*, 23(1), 49-61 (Korean with English abstract).
- Niino, H. and Emery, K.O. (1961) Sediments of the shallow portions of East China Sea and South China Sea. *Geological Society of American Bulletin*, 72, 731-762.
- Park, Y.A. and Khim, B.K. (1992) Origin and dispersal of recent clay minerals in the Yellow Sea. *Marine Geology*, 104, 205-213.
- Ren, M.E. and Shi, Y.L. (1986) Sediment discharge of the Yellow River (China) and its effect on the sedimentation of the Bohai and the Yellow Sea. *Continental Shelf Research*, 6, 785-810.
- Scheib, A.J., Breward, N., Le, J.R. and Lister T.R. (2009) A preliminary geochemical investigation of glacial till deposits in England using principal component analysis of G-BASE soil data. *British Geological Survey, BGS Internal Report Series, IR/08/027*.
- Schubel, J.R., Shen, H T., and Park, M J. (1984) A comparison of some characteristic sedimentation processes of estuaries entering the Yellow Sea. In: Park, Y.A., Pilkey, O.H., Kim, S.W. (Eds.), *Marine Geology and Physical Processes of the Yellow Sea*, 286-308.
- Wei, J.W., Shi, X.F., Xin, C.Y., and Chen, Z.H. (2000) Distribution patterns of clay minerals in the Yellow Sea and their significance. *Yellow Sea: epicontinent shelf in Asia. Proceedings of First Korea-China Symposium on Sedimentary Processes and Depositional Environments*, Ansan, Korea, April 6-9, 2000. Seoul, Korea, 179-186.

접수일(2014년 6월 27일), 수정일(1차 : 2014년 8월 23일),
 게재확정일(2014년 9월 3일), 책임편집위원 : 김강주