

## 통계적 주성분분석법을 활용한 제주 남서 이질대 퇴적물의 기원지 연구

### Sediment Provenance of Southwestern Cheju Island Mud using Principal Component Analysis

이 윤 지(Yun Ji Lee)<sup>1</sup> · 조 현 구(Hyen Goo Cho)<sup>1\*</sup> · 김 순 오(Soon-Oh Kim)<sup>1</sup> ·  
안 성 진(Sung Jin Ahn)<sup>2</sup> · 최 현 수(Hunsoo Choi)<sup>3</sup>

<sup>1</sup>경상대학교 지구환경과학과 및 기초과학연구소  
(Department of Earth and Environmental Sciences and Research Institute of Natural Science,  
Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea)

<sup>2</sup>경상대학교 정보통계학과 및 기초과학연구소  
(Department of Information Statistics and Research Institute of Natural Science,  
Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea)

<sup>3</sup>한국지질자원연구원 석유해저연구본부  
(Petroleum and Marine Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources,  
Daejeon 305-350, Korea)

**요약** : 제주 남서 이질대에서 채취된 138개의 해양표층퇴적물 시료와 황하와 양쯔강 하천퇴적물 시료에 대하여 반정량 X선회절분석법에 의한 점토광물 상대조성을 바탕으로 주성분분석을 이용하여 퇴적물의 기원지를 연구하였다. 제1주성분과 제2주성분이 전체 자료의 90% 이상을 설명하기 때문에 두 주성분만을 가지고 R프로그램을 이용하여 주성분분석을 실시하였다. 제주 남서 이질대 내 각각의 점토광물의 분포양상은 매우 복잡하지만, 전체적인 분포양상을 고려할 때, 스�멕타이트와 카올리나이트는 서부지역에서 높은 함량을 보였고 일라이트와 녹니석은 동부지역에서 상대적으로 높은 값을 나타냈다. 제주 남서 이질대의 동부지역에서 보여주는 상대적으로 높은 일라이트와 녹니석 함량은 양쯔강 퇴적물과, 서부지역에서의 높은 스�멕타이트와 카올리나이트 함량은 황하 퇴적물과 더 유사한 양상을 나타낸다. 이러한 통계 처리 결과를 바탕으로 제주 남서 이질대의 동부지역은 양쯔강에서 유래하였고 서부지역은 황하로부터 기원했음을 추정할 수 있다. 추후 퇴적물 기원지 연구에 주성분분석이 유용하게 활용될 것으로 기대한다.

**주요어** : 제주 남서 이질대, 주성분분석, 반정량 X선회절분석, 황하물, 양쯔강, 점토광물조성

**ABSTRACT** : In this study, we tried to define the origin of fine-grained sediments in Southwestern Cheju Island Mud (SWCIM) using principal component analysis. We used relative clay mineral compositions using 138 marine surface sediments, 4 Huanghe sediments and 3 Changjiang river sediments by the semi-quantitative X-ray diffraction analysis. We made biplot diagram using R

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

program with principal component 1 and component 2 because they might contain more than 90% of all data. Although the distribution pattern of each clay minerals in SWCIM is so intricate, smectite and kaolinite contents are high in the west region, but illite and chlorite contents are rich in the east region. In the biplot, the east region of SWCIM distribute around Changjiang river, whereas west region of SWCIM disperse around Huanghe. Our results might reveal that west region of SWCIM is mainly originated by Huanghe, but east region of SWCIM by Changjiang River.

**Key words** : Southwest Cheju Island Mud, principal component analysis, semi-quantitative X-ray diffraction analysis, Huanghe, Changjiang River, clay mineral composition

## 서 론

주성분분석(principal component analysis, PCA)은 변수들에 대한 아무런 제약이 없는 자료 즉 유클리드 공간상의 자료에 대해서 원래의 변수들이 가지고 있는 변동성을 최대한 확보하는 적은 수의 서로 상관되어 있지 않은 새로운 변수(주성분)들을 생성하는 방법이다(Jolliffe, 2002). 주성분분석은 원래의 변수들에 대한 직교선형변환을 통해서 주성분들이라고 부르는 선형으로 상관되어 있지 않은 인공적 변수들을 유도하는 것이다. 이 변환은 첫 번째 주성분이 가능한 한 최대의 분산을 가지며 각 후속 주성분은 기존 주성분들과 직교해야 한다는 제약 하에서 가능한 한 최대의 분산을 가지도록 정의된다. 주성분들의 수는 원래의 변수들의 수보다 작거나 같다. 만일 처음 몇 개의 주성분들이 원래의 변수들이 가지고 있는 총 변동의 대부분을 설명한다면, 원래의 변수들 대신에 이 소수의 주성분들을 사용함으로써 차원의 축약을 기대할 수 있다. 또 처음 두 개나 세 개의 주성분들을 이용하여 주성분 행렬도(biplot)를 작성함으로써 관측대상이 어떤 위치에 있는지 시각적으로 파악할 수 있게 된다.

주성분분석은 카리 카루넨(Karhunen, K.)과 미셸 로브(Loève, M.)의 이름을 따서 이산 카루넨-로브 변환(Karhunen-Loève transform 또는 KLT), 또는 해롤드 호텔링(Hotelling, H.)의 이름을 따서 호텔링 변환이라 불리기도 한다. 주성분분석은 통계적 처리 방법의 하나로 농학, 생물학, 화학, 기상학, 환경과학, 경제학, 심리학 등 다양한 분야에서 유용하게 활용되고 있다(Borozan *et al.*, 2013; Ktali-kova *et al.*, 2013). 이 분석 방법은 주로 다수의 지표를 통합한 종합적인 지표를 작성하거나 관측하고자 하는 대상을 분류할 때, 또는 중회귀분석(multiple regression analysis) 및 판별분석(discriminant analysis)을 위한 자료를 다른 관점에서 보

고자 할 경우에 이용된다(Lee, 2003; Scheib *et al.*, 2009). 이번 연구에서는 제주 남서 이질대(Southwestern Cheju Island Mud, SWCIM) 퇴적물의 상대 점토광물 함량 분석 결과에 주성분분석을 적용하여 얻어진 처음 두 주성분들을 행렬도에 작성하여 시각적으로 관측점들과 성분들 간의 관계를 검토해 보고자 한다.

제주 남서 이질대는 동중국해의 북쪽 가장자리에 위치한 이질대로써, 황해 상에 위치한 황해 중앙 이질대(Central Yellow Sea Mud, CYSM), 황해 남동 이질대(Southeastern Yellow Sea Mud, SEYSM)와 더불어 중국(황하, 양쯔강)과 한국(한강, 금강, 영산강)의 하천으로부터 유입된 퇴적물 중 세립퇴적물이 대륙붕 내에 집중적으로 퇴적되어 형성된 이질대이다(Yang *et al.*, 2003; Choi *et al.*, 2005; Youn *et al.*, 2007). 제주도 남서쪽 부근에 발달한 제주 남서 이질대는 전체적으로 태풍 심볼과 유사한 원형을 이루며, 평균 수심은 60~90 m이다(Choi *et al.*, 2005). 제주 남서 이질대 세립 퇴적물의 이동과 기원지를 밝히기 위해 해류 연구뿐만 아니라 광물학, 지화학, 지구물리학, 퇴적학적인 다양한 방법의 시도가 있었다(Nino and Emery, 1961; Xu, 1983; Zhao *et al.*, 2001; Lim *et al.*, 2007).

현세 이후 황하와 양쯔강은 연간 약  $1.1 \times 10^9$ 톤과  $5.0 \times 10^8$ 톤의 퇴적물을 방출해왔다(Milliman and Meade, 1983; Milliman *et al.*, 1987). 양쯔강 퇴적물의 대부분이 장수연안류(Jiangsu coastal current)에 의해 동중국해를 통해 남쪽으로 운반되므로 양쯔강은 황해와 동중국해 북부 세립퇴적물의 주된 근원지가 아니라고 간주되어 왔다(Alexander *et al.*, 1991). 이런 이유 때문에 제주 남서 이질대는 황하 퇴적물로부터 유래한 동중국해에 분포하는 퇴적물로 오랫동안 여겨져 왔고(DeMaster *et al.*, 1985; Saito, 1998), 반시계방향의 사이클론 소용돌이에서 형성되었다고 사료되었다(Hu, 1984).

최근 일부 연구자들은 고해상도 지진과 단면(very high-resolution seismic profiles)과 지진 연구에 근거하여 양쯔강 퇴적물이 황하 퇴적물에 혼합되어 제주 남서 이질대로 공급되었을 가능성을 제시하였다(Yoo *et al.*, 2002; Choi *et al.*, 2005; Youn *et al.*, 2007). 심지어 Youn *et al.* (2006)은 지화학적 자료를 바탕으로 제주 남서 이질대가 양쯔강에서 유래하였다고까지 주장하였다.

현재까지 제주 남서 이질대의 기원지를 밝혀내기 위한 많은 연구들이 진행되었지만, 아직까지 일치된 견해는 존재하지 않는다. 암석 변질의 산물인 점토광물은 입자의 크기가 매우 작은 이질 퇴적물에서 가장 풍부하게 발견되는 광물성분 중의 하나로, 점토광물의 화학적 특성은 바다로 운반되는 동안 크게 변하지 않고 기원지 암석의 특성을 유지하고 있으므로 점토광물 연구는 황해와 동중국해의 해양퇴적물의 기원을 조사하는데 폭넓게 이용될 수 있다. 일부 연구에 의해 제주 남서 이질대 내 점토광물의 조성을 밝혀지기도 하였지만(Aoki *et al.*, 1983; Wang *et al.*, 1999; Youn *et al.*, 2007), 실험에 사용되는 시료의 수가 충분하지 않고 연구자들마다 분석방법에 차이가 나기 때문에 제주 남서 이질대 내 점토광물의 완전한 분포양상을 이해하기에는 어려움이 따른다. 최근 Cho *et al.* (2013)은 많은 수의 퇴적물 시료를 이용하여 점토광물 조성을 조사하였고, 이를 바탕으로 제주 남서 이질대를 동부와 서부로 구분하여 그 기원지가 다를 수 있다고 하였다.

그러나 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 해석해 보기 위해 주성분분석을 도입하여 연구를 수행해 보았다.

이번 연구에서는 주성분분석을 이용하여 제주 남서 이질대의 퇴적물 근원지를 추정하였다. 연구에 사용된 시료는 제주 남서 이질대 부근에서 채취된 138개의 해양퇴적물이며, 통계분석은 일라이트, 스펙타이트, 녹니석, 카올리나이트와 같은 네 가지 주요 점토광물의 반정량 분석을 통해 얻어진 결과를 바탕으로 시행하였다.

## 연구재료 및 방법

이번 연구에 사용된 시료는 2001년, 2007년, 2012년에 채취된 제주 남서 이질대 내 해양표층퇴적물 138개 시료이다. 이 시료에 대한 정확한 위치와 머드 함량은 Cho *et al.* (2013)의 그림 1에 제시되어 있다. 해양표층퇴적물의 기원지를 알아보기 위하여 황하와 양쯔강 퇴적물 각각 4개, 3개 모두 7개를 사용하였다. 점토광물 반정량분석을 위한 시료 처리와 분석 방법은 Cho *et al.* (2012)에 자세하게 설명되어 있다.

반정량분석을 통한 각 점토광물의 함량을 바탕으로 제주 남서 이질대의 기원지를 추정하는데 다차원적인 통계적 방법을 적용하였다. 주성분분석은 기본적인 다차원적 분석방법의 하나로 정보의 손실을 가능한 최소로 하여 다변량의 자료로부터 본질이 되는 소수의 변량을 합성하여 자료를 분석하는 것을 바탕으로 한다. 자료의 전망을 좋게 하는 변량을 합성하여 그것으로 자료 전체를 명쾌하게 설명하는 것이 주성분분석의 개념으로 그 합성변량이 제1주성분이다. 제1주성분만으로는 자료를 충분히 설명할 수 없는 경우, 즉 정보의 손실이 발생하여 기여율이 0에 보다 가까울 때에는 두 번째의 주성분(제2주성분), 제3주성분과 같은 새로운 주성분을 형성할 수 있다. 데이터 속에서 주성분 자체를 형성하는 것은 통계분석 소프트웨어를 통해 이루어지며, R프로그램을 이용하여 주성분분석을 진행하였다. 그런데 이번 연구의 자료는 비음이며 합이 1로 제약되는 구성비데이터(compositional data, compositions), 즉 심플렉스 공간(simplex space) 상의 자료이다. 이런 구성비데이터에 대해서는 유클리드 공간상의 데이터를 위해 고안된 데이터 분석(주성분분석을 포함하여)을 그대로 적용할 수 없다(Jung and Ahn, 2005). 따라서 애치슨 기하학(Aitchison geometry)을 이용하여 구성비데이터에 대한 주성분분석을 실시하였다(Aitchison and Greenacre, 2002). 구체적으로 R 언어의 compositions 패키지의 Rcomp 클래스의 princomp 함수를 사용하여 구성비데이터에 대한 주성분분석을 실시하고 행렬도를 작성하였다. rcomp 클래스의 princomp 함수는 입력 데이터에 대해 cpt (centered planar transformation) 변환을 실시한 후 이 변환데이터에 대해 주성분분석 절차를 적용시킨다. cpt 변환은 D-성분 심플렉스 상의 한 구성비 벡터를 등거리적으로(isometrically) 1차원의 유클리드 공간에 사상

**Table 1.** Summary of Principal Components Analysis for Southwest Cheju Mud

	Component 1	Component 2	Component 3
East of Southwest Cheju Mud			
Standard deviation	0.037	0.024	0.014
Proportion of Variance (%)	63.9	27.0	9.1
Cumulative Proportion (%)	63.9	90.9	100.0
West of Southwest Cheju Mud			
Standard deviation	0.040	0.018	0.014
Proportion of Variance (%)	75.2	15.3	9.5
Cumulative Proportion (%)	75.2	90.5	100.0

한다. 이 변환은 일대일이 아니며, 따라서 공분산 행렬은 항상 특이행렬(singular matrix)이다. `rcomp` 클래스의 `princomp` 함수에 의해 생성된 행·열도에 대한 해석은 일반적인 행·열도에 대한 해석과는 다른 면이 있다. 우리가 관심을 가져야 할 것은 화살표들 자체라기보다는 화살촉들 간의 연결선들(links) 또는 차이들이다. 이들은 화살표들이 나타내는 두 성분들 간의 차이들을 나타낸다.

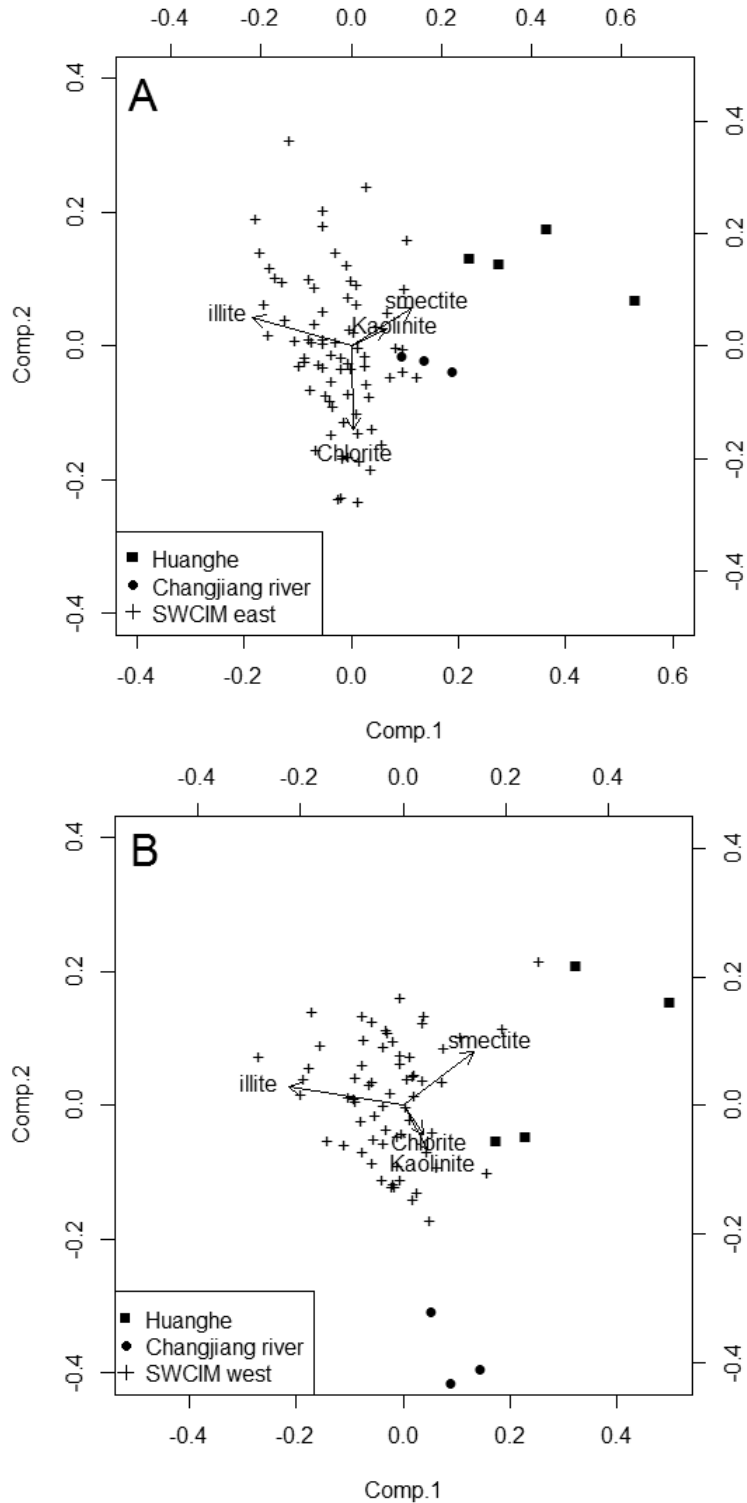
### 결과 및 토론

제주 서부 이질대 부근에서 채취된 138개의 표층퇴적물 시료를 점토광물 반정량 X선회절분석을 통하여 일라이트, 스�멕타이트, 녹니석, 카올리나이트의 4가지 주요 점토광물의 상대적인 함량을 결정한 결과, 제주 서부 이질대 표층퇴적물 내 존재하는 점토광물은 일라이트, 녹니석, 카올리나이트, 스�멕타이트 순으로 존재한다. 황하와 양쯔강의 표층퇴적물 역시 제주 서부 이질대와 같이 일라이트, 녹니석, 카올리나이트, 스�멕타이트 순으로 존재한다. 일반적으로 황하 퇴적물은 스�멕타이트의 함량이 특별히 높고 일라이트와 녹니석의 함량이 낮은 점에서 양쯔강 퇴적물과 구분된다.

제주 서부 이질대 내 각각의 점토광물의 분포양상은 매우 복잡하지만, 전체적인 분포양상을 고려할 때, 스�멕타이트는 제주 남서 이질대의 서쪽에서 높은 함량을 보이고 동쪽으로 갈수록 그 값이 감소하는 경향을 나타낸다. 이와 대조적으로, 일라이트는 스�멕타이트와 반대의 분포양상을 보인다. 일라

이트는 동쪽에서 높은 함량을 보이고 서쪽지역에서 상대적으로 낮은 함량을 보인다. 이와 같은 점토광물의 분포양상을 바탕으로 제주 남서 이질대를 서부지역과 동부지역으로 나눌 때, 서부지역은 스�멕타이트와 카올리나이트의 함량이 높게 나타나는 반면, 동부지역에서는 일라이트와 녹니석의 함량이 상대적으로 높은 값을 보였다. 해양퇴적물과 하천퇴적물의 점토광물 조성을 비교할 경우 제주 서부 이질대의 서부 지역은 황하 퇴적물, 동부지역은 양쯔강 퇴적물에 대비된다고 판단할 수 있다 (Cho *et al.*, 2013).

황하와 양쯔강 퇴적물의 점토광물 성분 차이는 주성분분석에 의한 성분도표에서 더 뚜렷하게 나타난다(그림 1). 성분도표는 산출된 주성분의 식을 시각화한 그림으로 제1주성분을 가로축으로 하고 제2주성분을 세로축으로 표시하여 각 변량의 계수를 좌표로 나타낸 것이다. 표 1은 제주 남서 이질대의 주성분분석 결과를 정리한 것으로 제주 남서 이질대의 동부 지역과 서부 지역에 대한 주성분분석 모두 관측오차와 측정오차 등으로 인하여 일부 정보가 손실되었으나 제1주성분과 제2주성분이 전체 데이터의 90% 이상을 설명하기 때문에 각 변량의 정보를 모두 포함하고 있다고 여겨진다. 제3주성분까지 활용할 경우, 정보의 손실이 거의 없어지지만 3차원 상에 표현된다는 점에서 더 효과적인 시각화를 위하여 제1주성분과 제2주성분만을 사용하였다. 또한 전체 변량의 수가 4가지로 많지 않았기 때문에 두 개의 주성분만으로 결과의 활용이 가능했다.



**Fig. 1.** Biplot of Principal Component Analysis for Southwest Cheju Island Mud (SWCIM). (A) East of SWCIM, (B) West of SWCIM.

그림 1A는 제주 남서 이질대 동부지역의 통계 처리 결과로서 4차원의 선형결합을 2차원으로 축약하여 표현한 것이다. 그림 1A에서 화살표로 표시된 것은 원래의 변수차원이며, 그 중심점은 평균점으로 일라이트, 녹니석, 카올리나이트, 스�멕타이트의 4가지 원소의 함량이 유사한 값을 가지는 부분이다. 또한 화살표의 길이는 변수의 변동성(표준편차)을 나타낸 것으로, 일라이트의 변동성이 가장 크다는 것을 볼 수 있다. 이것은 일라이트의 함량 값이 다양하게 분포함을 의미한다. 화살표의 방향을 통하여 일라이트와 녹니석이 서로 독립적인 양상을 보이고, 일라이트와 스�멕타이트, 카올리나이트는 상반된 성질을 가진다는 것을 알 수 있다. 반면 스�멕타이트와 카올리나이트는 유사한 성질을 나타낸다. 성분도표 상에서 황하 자료는 서로 비교적 가까이 있으며, 양쯔강 3개의 자료도 근접하여 위치하고 있다. 이는 같은 강시료끼리는 서로 유사한 성질을 가지고 있음을 나타낸다. 황하 퇴적물은 스�멕타이트 함량이 높게 나타나며, 제주 남서 이질대의 동부지역 해양퇴적물 시료와의 관련성이 적다. 이와 달리 양쯔강 퇴적물은 제주 남서 이질대의 동부지역 해양퇴적물과 좀 더 유사한 분포양상을 보인다.

반면 제주 남서 이질대의 서부지역의 통계 처리 결과를 보면 일라이트의 변동성이 가장 크고, 녹니석과 카올리나이트가 유사한 성질을 가짐을 볼 수 있다(그림 1B). 또한 제주 남서 이질대의 동부지역과 마찬가지로 황하와 양쯔강 퇴적물 시료들끼리는 비교적 근접해 있다. 황하 퇴적물은 스�멕타이트의 함량이 특히 높으며, 양쯔강 퇴적물은 녹니석과 카올리나이트가 비교적 높은 값을 나타낸다. 전체적으로 황하 퇴적물이 제주 남서 이질대의 서부지역 해양퇴적물과 더욱 근접한 분포를 보여준다(그림 1B).

주성분분석을 통하여 제주 남서 이질대의 서부지역 퇴적물은 황하에서 유래하였고, 동부지역은 양쯔강으로부터 왔다는 것을 보다 확실하게 추정할 수 있다. 또한, 이번 연구 결과는 일부 국내 연구자들이 제시한 제주 남서 이질대의 세립퇴적물이 다수의 기원지를 가진다는 것을 뒷받침한다(Yoo *et al.*, 2002; Choi *et al.*, 2005; Youn *et al.*, 2006; Cho *et al.*, 2013). 황하 퇴적물은 장수연안류 또는 황해연안류(Yellow Sea Coastal Current)에 의해 남쪽으로 분산되었고, 분지 규모(basin-size)의 반시계방향 와류(gyre)에 의하여 제주 남서 이질대의

서부지역에 퇴적되었을 것으로 추정된다(Milliman *et al.*, 1985; Zhao *et al.*, 1990). 이에 반해 양쯔강 퇴적물은 장수연안류에 의해 동중국해를 거쳐 남쪽으로 이동하였으나, 대만난류(Taiwan Warm Current)로 인해 더 이상 남쪽으로 이동하지 못하고 제주 남서 이질대의 동부지역에 퇴적되었다고 여겨진다(Keller *et al.*, 1985; Oh *et al.*, 2004; Choi *et al.*, 2005).

이번 연구를 통하여 주성분분석은 해양퇴적물의 근원지를 추정하는데 있어 기존 방법에 비하여 시각적으로 명확한 결론을 도출하게 할 수 있음을 알 수 있었다. 추후 다른 해양퇴적물의 주성분분석이 널리 활용될 것으로 판단된다.

## 결 론

제주 남서 이질대 해양표층퇴적물 시료 138개와 황하, 양쯔강 하천퇴적물 시료 7개를 이용하여 주성분분석을 적용하여 퇴적물 기원지 연구를 실시한 이번 연구 결과는 다음과 같다.

1) 점토광물 분포 양상을 고려하여 제주 남서 이질대를 동부지역과 서부지역으로 나눌 수 있다. 동부지역에서는 스�멕타이트와 카올리나이트가 비교적 높은 값을 보이고 서부지역에서는 일라이트와 녹니석의 함량이 상대적으로 높게 나타난다.

2) 황하 퇴적물에서는 특히 스�멕타이트의 함량이 높은 반면 양쯔강 퇴적물에서는 상대적으로 일라이트의 함량이 높다는 점에서 두 개의 강 퇴적물은 구분된다.

3) 제1주성분과 제2주성분이 전체 데이터의 90% 이상을 설명하므로 두 개의 주성분만을 이용하여 작성한 행렬도 내에 각 변량의 정보가 대부분 포함된다.

4) 주성분분석 결과 제주 남서 이질대의 동부지역은 양쯔강 퇴적물에, 서부지역은 황하 퇴적물과 더 유사한 양상을 나타낸다. 이것은 제주 남서 이질대의 동부지역은 양쯔강에서 유래하였고 서부지역은 황하로부터 기원했음을 지시한다.

## 사 사

이 논문은 2012년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(과제번호 2011-0021964)과 한국지질자원연구원의 ‘현생 이질퇴적층의 저류층 지질특성화 및 천부가스 현장분석 기술개

발'의 세부과제(과제명 시추코어 해저퇴적물의 광물조성 변화 연구)로 수행되었다. 연구비를 지원하여 준 한국연구재단과 한국지질자원연구원에 감사드린다. 점토광물 반정량분석에 많은 도움을 준 경상대학교 점토실험실의 김동호, 임지혜, 강문희 학생에게도 감사를 드린다. 부족한 원고에 대하여 세심한 평가를 해 주신 황진연 교수님과 손병국 박사님께도 감사를 드립니다.

## 참고문헌

- Aitchison, J. and M. Greenacre (2002) Biplots for compositional data. *Journal of the Royal Statistical Society, Series C (Applied Statistics)*, 51, 375-392.
- 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.
- Aoki, S., Oinuma, K., and Matsuike, K. (1983) Clay mineral composition in surface sediments and the concentration of suspended matter of the East China Sea. *Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea 2*, China Ocean Press, Beijing, 440-449.
- Borozan, A.B., Bordean, D.M., Boldura, O.B., Sasu, L., Cojocariu, L., Horablagă, 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.
- 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).
- Cho, H.G., Yi, H.-I., Lee, Y.J., and Kim, D.C. (2013) Clay Mineral Distribution in the Southwestern Cheju Island Mud. 13th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2013, Albena, Bulgaria, 16-22 June, 2013, Water Resources, Forest, Marine and Ocean Ecosystems, 815-822.
- Choi, D.-L., Lee, T.-H., Yoo, H.-S., Lim, D.-I., Huh, S., and Kim, K.-H. (2005) A Seismic Study on Muddy Sediment Deposits in the Northern Shelf of the East China Sea. *Economic Environmental Geology*, 38(6), 633-642 (in Korean with English abstract).
- DeMaster, D.J., Mckee, B.A., Nittrouer, C.A., Qian, J.G., and Cheng, G.D. (1985) Rates of sediment accumulation and particle reworking based on radiochemical measurements from continental shelf deposits in the East China Sea. *Continental Shelf Research*, 4, 143-158.
- Hu, D.X. (1984) Upwelling and sedimentation dynamics. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2, 12-19.
- Jolliffe, I.T. (2002). *Principal Component Analysis (2nd Ed.)* Springer Series in Statistics. New York, Springer, 478p.
- Jung, Y.S. and Ahn, S.J. (2005) Operations and Norms on the Simplex Space. *Journal of the Korean Data Analysis Society*, 7, 859-870 (in Korean with English abstract).
- Ktalikova, I.R., Andrejiova, M., and Badia, I.M. (2013) Analysis of soil contamination with heavy metals in Slovak republic by using multidimensional statistical method. 13th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2013, Albena, Bulgaria, 16-22 June, 2013, Water Resources, Forest, Marine and Ocean Ecosystems, 497-504.
- Keller G.H. and Yincan, Y. (1985) Geotechnical properties of surface and near-surface deposits in the East China Sea. *Continental Shelf Research*, 4, 159-174.
- 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. (2007) Recent sediment accumulation and origin of shelf mud deposits in the Yellow Sea and East China Seas. *Progress in Oceanography*, 73, 145-159.
- Milliman, J.D. and Meade, R.H. (1983) World-wide delivery of river sediment to the oceans. *The Journal of Geology*, 91, 1-21.
- Milliman, J.D., Shen, H.T., Yang, Z.S., and Meade, R.H. (1985) Transport and deposition of river sediment in the Changjiang estuary and adjacent continental shelf. *Continental Shelf Research*, 4, 37-46.
- Milliman, J.D., Qin, Y.S., Ren, M.E., and Saito, Y. (1987) Man's influence on the erosion and transport of sediment by Asian rivers: the Yellow River (Huanghe) example. *Journal of Geology*, 95, 751-762.
- 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.
- Oh, I.S. and Park, T. (2004) A numerical study on the dispersion of the Yangtze River water in the Yellow and East China Seas. *Journal of Korean Society of Oceanography*, 39, 119-134.
- Saito, Y. (1998) Sea level changes since the Last Glaciation.

- cial in the East China Sea. *Quaternary Research*, 37, 235-242.
- 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.
- Wang, Y., Zhu, D.K., You, K.Y., Pan, S.M., Zhu, X.D., Zou, X.Q., and Zhang, Y.Z. (1999) Evolution of radiative sand ridge field of the South Yellow Sea and its sedimentary characteristics. *Science in China, Series D*, 42, 97-112.
- Xu, D.Y. (1983) Mud sedimentation on the East China Sea shelf. *Proceedings of International Symposium on Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea*, April 12-16, 1983. China Ocean Press, Hangzhou, 506-516.
- Yang, S.Y., Jung, H.S., Lim, D.I., and Li, C.X. (2003) A review on the provenance discrimination of sediments in the Yellow Sea. *Earth Science Reviews*, 63, 93-120.
- Yoo, D.G., Lee, C.W., Kim, S.P., Jin, J.H., Kim, J.K., and Han, H.C. (2002) Late Quaternary transgressive and highstand systems tracts in the northern East China Sea mid-shelf. *Marine Geology*, 82, 1-16.
- Youn, J., Yang, S., and Park, Y.A. (2007) Clay minerals and geochemistry of the bottom sediments in the northwestern East China Sea. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 25, 235-246.
- Youn, J.-S., Byun, J.-C., and Kim, Y.-S. (2006) Geochemical Characteristics of the Outer-Shelf Muddy Sediments in the East China Sea. *Journal of Korean Earth Science Society*, 27, 198-208 (in Korean with English abstract).
- Zhao, Y.Y., Qin, Z.Y., Li, F.Y., and Chen, Y.W. (1990) On the source and genesis of the mud in the central area of the south Yellow Sea. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 8, 66-73.
- Zhao, Y.Y., Park, Y.A., Qin, Y.S., Choi, J.Y., Gao, S., Li, F.Y., Cheng, P., and Jiang, R.H. (2001) Material source for the Eastern Yellow Sea Mud: evidence of mineralogy and geochemistry from China-Korea joint investigation. *The Yellow Sea*, 7, 22-26.

---

접수일(2013년 9월 9일), 수정일(1차 : 2013년 9월 17일),  
 게재확정일(2013년 9월 17일), 책임편집위원 : 손병국