

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비를 이용한 동중국해 대륙붕 퇴적물의 기원 연구

윤정수¹ · 임동일^{2*} · 변종철³ · 정희수²

¹제주대학교 해양과학대학 해양학과

²한국해양연구원 해저환경자원연구본부

³제주대학교 자연과학대학 화학과

Discrimination of Sediment Provenance Using $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Ratios in the East China Sea

JEUNG-SU YOUN¹, DHONG-IL LIM^{2*}, JONG-CHEOL BYUN³ AND HOI-SOO JUNG²

¹College of Ocean Science, Cheju National University, Jeju-do 690-756, Korea

²Korea Ocean Research & Development Institute, Ansan, Seoul 425-600, Korea

³College of Natural Science, Cheju National University, Jeju-do 690-756, Korea

동중국해 대륙붕 니질 퇴적물의 기원을 밝히기 위해 퇴적물 중 주성분 원소들의 함량과 스트론튬 동위원소 비를 분석하였으며, 그 결과를 황하 및 양쯔 강 기원으로 추정되는 퇴적물의 자료와 비교·연구 하였다. 연구해역 퇴적물은 평균입도 4~7 Φ 범위의 니질 퇴적상으로 구성되며, 탄산염 함량은 3.9~11.5%(평균 7.6%) 범위이다. 연구해역에서 대부분의 원소들의 함량과 공간 변화는 퇴적물의 입도와 해양 기원 물질 등 다양한 요인에 의해 조절되며, 그 결과 퇴적물의 근원지에 따른 원소들의 함량 차이를 구분하는 것은 어려운 것으로 판단된다. 니질(63 μm 이하) 퇴적물 부분만을 대상으로 탄산염을 제거한 후, 스트론튬 동위원소를 분석한 결과 연구해역 퇴적물의 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비는 0.71445~0.72184(평균 0.71747) 범위였으며, 양쯔 강 기원으로 해석되는 퇴적물의 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비는 0.71197~0.71720 범위로, 0.72126~0.72498 범위의 값을 갖는 황하 강 기원으로 추정되는 퇴적물(산둥반도 주변 해역 및 황해 중앙 니질 퇴적물)보다 뚜렷이 낮다. 따라서 스트론튬 동위원소의 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비는 황하 강과 양쯔 강 기원의 퇴적물을 구분해 주는 유용한 지화학적 지시자로 제시될 수 있다. 또한, 연구해역의 니질 퇴적물은 기존의 연구결과와 달리 양쯔 강 기원이 우세한 것으로 해석되며, 최근 황해와 동중국해에서 보고된 퇴적물 이동 패턴과 물리·화학적 특성 자료는 이러한 해석을 뒷받침한다.

To discriminate the provenance of shelf sediments in the East China Sea, textural and elemental compositions along with strontium isotopic ratio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) were analyzed and compared with the sediments originated from Chinese rivers. The sediments in the study area are composed of fine-grained mud with a mean grain size of 47 Φ and their CaCO_3 contents range from 3.9 to 11.5% (average 7.6%). In the study area, the content of most metallic elements are strongly constrained by sediment grain size (quartz dilution effect) and that of biogenic material and, thereby, their spatial distribution seems not enough for understanding sediment provenance in the study area. The muddy sediments of the Yangtze river have much lower $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio (0.71197~0.71720) than the Yellow Sea shelf muddy sediments which are supposed to be originated from the Huanghe river (0.72126~0.72498), suggesting the distribution pattern of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios as a new tracer to discriminate the provenance of shelf sediments in the study area. Different source rock compositions and weathering processes between both drainage basins may account for the differences in $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio. Although the ratios show wide range, from 0.71445 to 0.72184 with an average 0.71747 in the study area, they are close to the values of the Yangtze river sediments, suggesting that the sediments were mainly originated from the Yangtze river. The previous studies on the dispersal pattern of modern sediments and the physico-chemical properties of seawater in the Yellow and East China seas support the possibility that the fine-grained Yangtze river sediments can reach to the East China Sea shelf as well as to the southeastern Yellow Sea.

Keywords: Elemental Compositions, Provenance, Strontium Isotopic Ratio, East China Sea

*Corresponding author: oceanlim@kordi.re.kr

서론

황해와 동중국해에 발달하고 있는 넓은 대륙붕은 황하 강과 양쯔 강을 비롯하여 주변의 크고 작은 여러 강들에서 공급된 많은 양의 물질이 쌓이는 거대한 퇴적분지로서, 환경보전과 자원개발을 위해 관심이 집중되는 지역이다. 그러나 지금까지 이들 대륙붕 퇴적물의 기원과 확산 경로 등 여러 해양학적 현상들이 수없이 연구되어 왔지만, 아직까지 명확히 이해되지 못하고 있다(Yang *et al.*, 2003). 특히 황해와 동중국해 대륙붕에 발달하고 있는 여러 개의 니질 퇴적체(mud deposits or mud patches)에 대한 기원을 설명할 수 있는 유용한 지화학적 지시자(tracer)는 아직까지 제시되지 못하고 있다. 예를 들어, 황해와 동중국해에서의 해수 순환 양상, 퇴적을, 점토광물 함량, 그리고 방해석(calcite)의 존재 등에 근거하여, 본 연구해역인 동중국해의 니질 퇴적물이 황하 강에서 공급된 것으로 추정되었지만(Nittrouer *et al.*, 1984; DeMaster *et al.*, 1985; Milliman *et al.*, 1985a; Alexander *et al.*, 1991), 최근의 몇몇 연구들에서는 이들 니질 퇴적물의 주요 기원이 양쯔 강 또는 양쯔 강과 고히강 기원의 혼합 퇴적물로 보고되고 있다(Yoo *et al.*, 2002; Lim, 2003; Liu *et al.*, 2003). 황해와 동중국해 대륙붕에서 양쯔 강 기원 물질의 확산 범위와 그 경로는 여전히 논란의

대상이다.

중국의 양쯔 강과 제주도-일본 구주 및 류큐열도-대만을 연결하는 선 안쪽에 위치한 동중국해는 서태평양과 황해를 연결하는 수심 200 m 이하의 넓은 대륙붕과 좁은 대륙사면으로 이루어져 있으며(Qin *et al.*, 1996; Liu *et al.*, 2000), 제 4기 후기 빙하기-간빙기에 일어난 전 지구적인 해수면 변동에 따라 대륙붕해역은 육상과 천해역 환경이 반복된 지역이다(Li *et al.*, 1999; Liu *et al.*, 2000). 동중국해의 내대륙붕 해역은, 50 m 등수심선을 기준할 때, 양쯔 강 하구역 동쪽에 위치하며 이곳에는 수중삼각주가 넓게 분포한다. 외대륙붕에 해당하는 중앙부는 50~100 m 정도의 수심을 보이며, 이곳에도 여러 수중 사주가 분포하고 있다(Zhu and Wang, 1988). 연구지역을 포함한 동중국해의 세립질 퇴적물의 이동과 확산에 영향을 미치는 것으로 예상되는 주요 해류로는 발해해협을 지나 산둥반도 동쪽 해안선을 따라 남하하는 황해연안류, 고히강 삼각주 해역에서 남동 및 북동진하는 장수연안류, 양쯔 강 하구역에서 북동진하여 제주도 서쪽해역을 지나 남황해 내부로 북상하는 양쯔 강 희석수, 그리고 쿠로시오 해류에서 분기해 제주도 서쪽을 통과하여 황해로 유입되는 황해 난류수 등이 있다(Lie, 1986, 2003).

본 연구에서는 제주도 남쪽 동중국해 대륙붕 해역에 발달하고

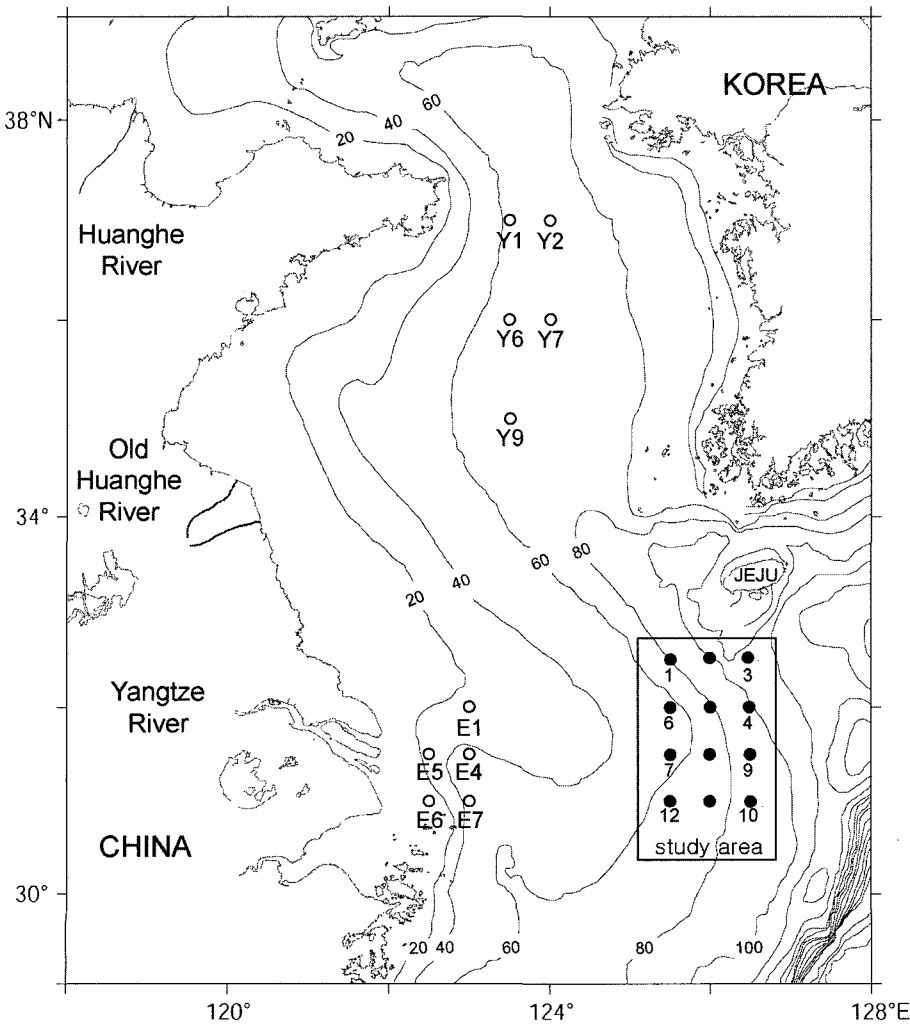


Fig. 1. Sampling stations in the Yellow and East China seas. Open circles represent stations at which the surface sediment strontium isotopic composition was measured. Depth contours are in meters.

있는 니질 퇴적물 중 주성분 원소들의 함량 및 스트론튬 동위원소 비를 분석하였으며, 분석 결과들을 황하 강 및 양쯔 강 자료와 비교하여 니질 퇴적물의 근원지를 해석하였다.

연구방법

본 연구를 위해 제주도 남쪽 동중국해 외대륙붕(동경 125°30'~126°30', 북위 31°00'~32°30') 해역의 12개 정점에서 표층 퇴적물 시료를 채취하였다(Fig. 1). 퇴적물의 입도 분석은 Ingram(1971)과 Galehouse(1971)의 방법에 따라 유기물과 탄산염을 제거한 후 4 Φ(63 μm)체를 사용하여 조립질과 세립질로 분리하였다. 조립질 퇴적물은 건식 체질 방법으로, 그리고 세립질 퇴적물은 피펫 방법으로 입도별 중량 백분율을 1 Φ 간격으로 구하여 Folk and Ward(1957)가 제시한 도표 계산법에 따라 입도 조직 상수를 계산하였다. 퇴적물의 총 탄소 함량과 무기탄소 함량은 한국기초과학연구원의 CHN-분석기(CE Instrument; Flash-1120)를 이용하여 측정하였다. 유기탄소 함량은 총 탄소의 함량에서 무기탄소 함량을 뺀 값으로 하였으며, 탄산염 함량은 총 탄소와 유기탄소의 함량 차이를 이용하여 계산하였다.

퇴적물의 원소함량 분석을 위해 먼저 테플론용기에 분말화된 퇴적물 시료 2 g과 불산-과염소산-질산 혼합용액으로 반응시킨 후 1 M 질산 용액으로 추출하였다(Kitano and Hujiyoshi, 1980). 전처리된 용액 시료 중 원소 농도는 한국기초과학연구원의 유도결합 플라즈마 질량분석기(ICP-MS)를 이용하여 정량되었다. 또한 스트론튬 동위원소(⁸⁷Sr/⁸⁶Sr) 비율 측정을 연구해역에서 뿐만 아니라 산둥반도 주변 해역(Shandong Peninsula Mud Wedge, SPMW: 정점 Y1과 Y2), 황해 중앙부 해역(Central Yellow Sea Sediment, CYSS: 정점 Y6, Y7, Y9), 양쯔 강 하구의 연안역에도 퇴적물 시료(Yangtze river's submerged delta sediment, YRSDS: 정점 E1-E7)를 채취하였다(Fig. 1). 입도에 따른 광물 조성 차이의 영향을 최

소화 하기 위해 습식 체질하여 4 Φ(63 μm)보다 세립한 니질(실트+점토) 입자만을 사용하였으며(Tuken *et al.*, 2002), 탄산염 기원(주로 생물 기원)의 스트론튬을 제거하기 위해 1 N 염산으로 전처리한 후 분석하였다(Asahara *et al.*, 1995 and Eisenhauer *et al.*, 1999). 전처리된 시료들은 한국기초과학연구원의 TIMS를 이용하여 스트론튬 동위원소 비율을 측정하였으며, 분석 기간 중 반복 측정된 표준시료 NBS987의 동위원소비는 0.710244±19이었다.

결과 및 토의

퇴적물 조직 및 탄산염 함량

연구해역의 표층 퇴적물은 니질 퇴적상(muddy facies)과 사질니 퇴적상(sandy mud facies)으로 구성되며, 평균입도 4~7 Φ 범위의 니질 퇴적물이 우세하다. 모래의 함량은 니질 퇴적상에서 5% 미만으로 낮고, 사질니 퇴적상에서 평균 30% 정도이다. 실트와 점토 함량은 니질 및 사질니 퇴적상에서 각각 25~40%(평균 32%)와 38~60%(평균 46%) 범위이다(Table 1). 그러나 정점 1은 모래 함량이 50% 이상인 사질 퇴적물(평균입도 4.1 Φ)로 구성되며, 상대적으로 많은 양의 패각편을 함유하고 있다. 탄산염(CaCO₃) 함량은 3.9~11.5%(평균 7.6%) 범위이며, 사질 함량이 높은 정점 1에서 3.9%로 가장 낮고, 사질니 퇴적상에서 평균 7.3%, 그리고 세립한 니질 퇴적상에서 평균 9.7%로, 퇴적물의 입자가 세립할수록 탄산염 함량이 증가하는 특징을 보인다(Table 1).

퇴적물의 지화학적 성분 및 스트론튬 안정동위원소 비율 특성과 퇴적물 기원

연구해역 퇴적물의 주성분 및 미량 원소들의 평균 함량과 범위를 Table 1에 제시하였다. 주성분 원소들의 함량은 알루미늄 5.3~8.9%(평균 7.2%), 철 2.1~4.5%(평균 3.5%), 칼륨 1.9~2.8%(평균 2.3%), 칼슘 3.9~9.3%(평균 5.9%), 마그네슘 0.9~1.9%(평균

Table 1. Mean grain size, organic carbon, calcium carbonate and elemental composition of bulk sediments from the study area.

Station	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Mz (phi)	Org.C (%)	CaC ₃ (%)	Al (%)	Fe (%)	Ca (%)	K (%)	Na (%)	Mg (%)	Ti (%)	Mn (ppm)	Ba (ppm)	Sr (ppm)	V (ppm)	Li (ppm)	Th (ppm)	La (ppm)
1	50	33	17	4.1	0.30	3.9	5.3	2.1	3.9	2.1	1.6	0.9	0.37	340	430	190	57	50	8.7	26.4
2	23	37	40	5.5	0.43	9.1	7.0	3.1	7.0	2.3	1.8	1.3	0.23	600	414	310	81	70	12.7	37.1
3	36	26	38	5.4	0.56	7.3	5.6	2.5	9.3	1.9	1.8	1.2	0.28	500	320	380	66	59	10.2	31.7
4	23	31	46	6.0	0.50	4.5	6.5	2.9	7.7	2.1	1.9	1.3	0.31	430	383	330	77	68	13.3	37.6
5	3	39	58	7.0	0.58	8.7	8.8	4.2	5.2	2.8	2.0	1.8	0.41	650	429	200	112	93	15.4	42.0
6	18	29	53	6.3	0.44	6.0	8.2	4.0	4.6	2.6	1.8	1.7	0.38	560	422	175	104	82	13.9	38.8
7	35	25	40	5.6	0.42	5.6	7.2	4.5	4.2	2.3	1.9	1.5	0.41	700	426	190	96	70	13.0	42.5
8	2	39	60	7.6	0.61	9.0	8.9	4.3	5.2	2.6	1.8	1.9	0.40	670	428	210	112	93	14.7	39.0
9	5	40	56	7.0	0.64	11.5	7.9	3.7	6.8	2.4	2.3	1.7	0.37	770	398	280	98	84	13.2	37.2
10	28	29	42	5.8	0.55	10.7	7.0	3.2	6.3	2.3	2.0	1.5	0.33	500	393	270	84	74	11.2	31.5
11	34	28	38	5.6	0.54	6.7	7.3	3.5	5.5	2.3	2.0	1.5	0.37	620	399	200	90	74	11.9	33.9
12	27	33	40	5.9	0.43	8.3	7.0	3.4	4.8	2.1	1.8	1.5	0.36	570	386	219	88	69	12.8	35.0
Average	24	32	44	6.0	0.50	7.6	7.2	3.5	5.9	2.3	1.9	1.5	0.35	576	402	246	89	74	12.6	36.1
HRS ¹	-	-	-	-	-	-	5.8	2.7	4.3	2	1.6	1.2	0.35	508	678	286	108	31	13.0	28.6
YRS ¹	-	-	-	-	-	-	8.1	4.7	3.3	2.2	0.8	1.7	0.61	1005	691	128	168	49	12.4	35.0
UCC ²	-	-	-	-	-	-	8.1	3.5	3	2.8	2.9	1.3	0.3	620	550	350	60	20	10.7	30.0

Mz: Mean grain size, Org. C: Organic Carbon

¹Huanghe and Yangtze sediments (from Zhao and Yan, 1992; Yang, 1998), ²Average upper continental crust (Taylor and McLennan, 1981)

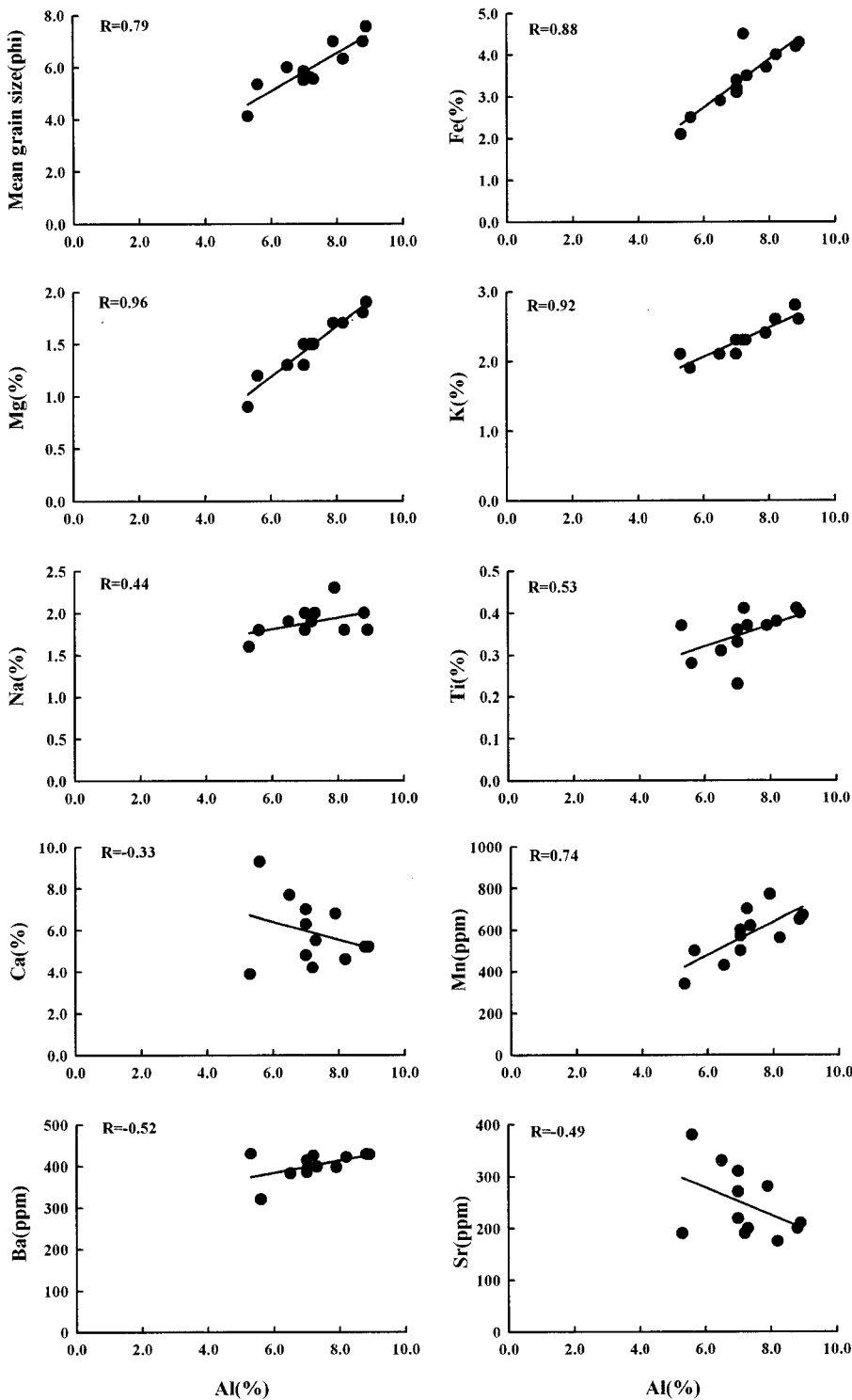


Fig. 2. Relationships between the contents of Al and other some metallic elements.

1.5%), 티타늄 0.23~0.31%(평균 0.40%), 스트론튬 175~380 ppm(평균 246 ppm), 망간 340~770 ppm(평균 575 ppm), 바륨 320~430 ppm(평균 402 ppm), 토륨 8.7~15.4 ppm(평균 12.6 ppm), 우라늄 1.5~2.9 ppm(평균 2.4 ppm) 범위이다. 대부분의 원소들은 Al 함량과 양호한 상관관계($r=0.53\sim0.96$)를 보여 이들 원소의 함량 변화가 크게 퇴적물의 입도(quartz dilution effect)에 의해 조절되고 있음을 보여준다(Fig. 2).

연구해역 퇴적물의 지화학적 함량 특성을 이해하기 위하여 상부대륙지각세일(Upper Continental Crust, UCC)의 평균 함량으로 표준화한 각 원소들의 함량을 퇴적물 주요 공급원으로 판단되는 황하 강과 양쯔 강 퇴적물의 함량과 비교·분석 하였다(Fig. 3). UCC의 평균 함량과 비교할 때, 황하 강 퇴적물은 Ca과 Ti를 제외한 대부분의 원소들에서 낮았으며, 대조적으로 양쯔 강 퇴적물은 Fe, Mn, Ti, Ca 및 Mg 함량에서 상대적으로 높게 나타났다. 연구해역

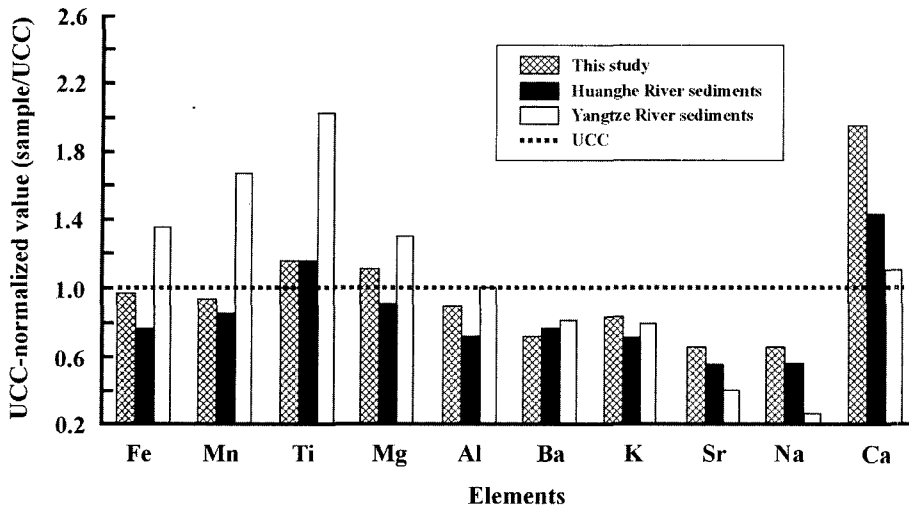


Fig. 3. Comparison of UCC (Upper Continental Crust)-normalized elemental compositions between the sediments from East China Sea shelf (study area) and Chinese rivers (from Zhao and Yan, 1992; Yang, 1998).

의 퇴적물은 Ti, Mg, Ca를 제외한 대부분의 원소들에서 UCC의 평균 함량보다 낮고, 황하 강과 양쯔 강 퇴적물 사이의 함량을 갖는다(Fig. 3). 이러한 특성은 단순히 연구해역의 퇴적물이 황하 강과 양쯔 강 기원의 혼합 퇴적물로 해석될 수 있으나, 일반적으로 평균 함량 사이의 단순 비교는 입도의 영향 등이 고려되지 않았기 때문에 잘못된 결론을 도출할 수 있다. 한편, 황하 강은 양쯔 강 퇴적물 보다 높은 함량을 보이는 K, Ca, Sr 및 Na 원소들은 해양 자체에서 공급되는 해양생물과 해수 기원 물질 등의 다양한 요인에 의해 조절되는 것으로 해석된다. 결과적으로 연구해역에서 대부분의 원소들의 함량 변화가 퇴적물의 입도 효과 그리고 해양생물 및 해수 기원 등의 부가적인 첨가효과로 인하여 변화하기 때문에 퇴적물의 근원지에 따른 함량 차이를 구분하는 것은 매우 어려운 것으로 판단된다. 더욱이 입도 효과를 보정하기 위해 널리 사용되고 있는 Al 함량으로 표준화한 값 또한 퇴적물 근원지 연구에 있어서 잘못된 결과를 도출할 수도 있는 것으로 보고되고 있다(Lim *et al.*, 2004).

최근에는 이러한 지화학적 자료의 제한적 사용 때문에 퇴적물과 토양의 기원 연구에 납 또는 스트론튬과 같은 안정동위원소 활용 방법이 널리 이용되고 있다(Douglas *et al.*, 1995; Caprio *et al.*, 1998). 본 연구에서도 제주도 남쪽 동중국해의 대륙붕에 분포하고 있는 니질 퇴적물의 기원을 파악하기 위해 채취된 퇴적물과 함께 황해의 산둥반도 해역(SPMW)과 황해 중앙부에 분포하는 니질 퇴적물(CYSS) 그리고 양쯔 강 하구역에 분포하는 니질 퇴적물(YRSDS)을 대상으로 스트론튬 동위원소 분석을 실시하였다(Fig. 1). Dasch(1969)의 연구에 따르면 탄산염 물질이 제거된 퇴적물에서도 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비 또한 퇴적물 입도가 감소함에 따라 증가하는 경향을 보인다. 따라서 이러한 입도(광물 조성)에 따른 영향을 최소화하기 위하여 본 연구에서는 $63\ \mu\text{m}$ 이하의 니질(실트+점토) 퇴적물 부분만을 대상으로 탄산염을 제거한 후, 스트론튬 동위원소 분석을 실시하였다. 분석 결과에 의하면, 연구해역인 동중국해 대륙붕 퇴적물의 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비는 0.7145~0.7218(평균 0.7175)로 큰 변화폭을 갖는다(Table 2). 한편, 산둥반도 주변 해역과 황해 중앙부 해역 퇴적물의 경우 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비는 0.72126~0.72498(평균 0.72282)의 범위이며, 이는 양쯔 강 하구역 퇴적물의 0.71197~0.71720(평

균 0.71485) 범위보다 뚜렷이 높다(Table 2). 더욱이 기존의 연구 결과(Milliman *et al.*, 1987; Lee and Chough, 1989; Park and Khim, 1990; Martin *et al.*, 1993; Saito, 1998; Cho *et al.*, 1999; Kim *et al.*, 1999; Shi *et al.*, 2004)에 근거하여, 산둥반도 주변 정점 Y1과 Y2 퇴적물을 황하 강 기원으로, 그리고 양쯔 강에서 가장 근접한 정점 E5와 E6의 삼각주 퇴적물을 양쯔 강 기원으로 설정할 경우, 황하 강 기원을 대표하는 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비는 0.72331로, 양쯔 강 기원 퇴적물의 0.71672와 뚜렷이 구분된다(Fig. 4). 이러한 결과는 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비가 황해와 동중국해 주변 대륙붕에서 황하 강과 양쯔 강 기원 퇴적물을 구분하는데 매우 유용한 지화학적 지시자로 사용될 수 있음을 시사한다. 또한 연구해역인 동중국해 니질 퇴적물은 황하 강 기원 퇴적물보다는 양쯔 강 퇴적물과 비슷한 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비율을 갖는다(Fig. 4). 이는 동중국해 대륙붕의 니질 퇴적물의 주요 근원지가 황하 강 보다는 양쯔 강임을 시사한다.

이러한 해석은 황해와 주변 대륙붕에 분포하는 니질 퇴적물이 주로 황하 강에서 운반된 것으로 해석된 기존의 연구 결과(Saito, 1998; Alexander *et al.*, 1991; DeMaster *et al.*, 1985; Milliman *et al.*, 1985a)와 상반되는 새로운 결과이다. 특히, Milliman *et al.*, (1985a)은 동중국해 퇴적물 내 점토광물들 중 스�멕타이트의 함량이 높고, 방해석의 피크정도에 근거해 동중국해 대륙붕 해역에 분포하는 니질 퇴적물을 황하 강 기원으로 해석하였다. 그러나 본 연구에서 제시된 스트론튬 동위원소 비율의 특성은 이들 니질 퇴적물이 주로 양쯔 강에서 운반·퇴적된 것임을 나타낸다. 최근 발표된 지화학 및 대자율에 연구 결과 또한 동중국해 퇴적물이 양쯔 강에서도 공급될 수 있음을 시사하였다(Lin *et al.*, 2002; Lim, 2003; Liu *et al.*, 2003). 더욱이 Yoo *et al.*(2002)와 Qin *et al.*(1996)의 연구 등도 양쯔 강 기원 퇴적물이 동중국해의 외대륙붕까지 이동 가능함을 제시하고 있다. 또한, 여름 홍수기 동안에는 양쯔 강 희석수가 북동진하여 제주도 서쪽해역을 지나 황해와 남해까지 북상하는 등 양쯔 강 기원 물질(부유물질, 영양염 등)이 연구해역으로 이동하는 것도 보고되고 있다(Beardsley *et al.*, 1983; Milliman *et al.*, 1985b; Lie, 1986, 2003; Ahn *et al.*, 2004). 결론적으로 본 연구에서 제시된 스트론튬 동위원소 자료들은 동중국해 대륙붕해역에 분포하는 니질(실트+점토) 퇴적물의 주요 기원지가 황하 강

Table 2. Strontium isotopic ratios of the carbonate-free fine fraction (less than 63 μm) in surface sediments from the study area, SPMW, CYSS and YRSDS.

Station No.	Latitude(N)	Longitude(E)	Sediment type	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}\pm 2\sigma$
East China Sea Shelf Sediment (This Study)				
1	32°30'	125°30'	zS	0.716214±11
5	32°00'	126°00'	M	0.718056±10
6	32°00'	125°30'	sM	0.715498±10
7	31°30'	125°30'	sM	0.719238±11
9	31°30'	126°30'	M	0.721842±11
11	31°00'	126°00'	sM	0.714451±12
12	31°00'	125°30'	sM	0.716957±11
Shandong Peninsula Mud Wedge (SPMW)				
Y1	37°00'	123°30'	sM	0.724979±11
Y2	37°00'	124°00'	mS	0.721631±11
Central Yellow Sea Sediment (CYSS)				
Y6	36°00'	124°30'	sM	0.723710±13
Y7	36°00'	124°00'	M	0.722522±9
Y9	35°00'	123°30'	C	0.721258±11
Yangtze River's Submerged Delta Sediment (YRSDS)				
E1	32°00'	123°00'	zS	0.711966±10
E4	31°30'	123°00'	mS	0.712518±10
E5	31°30'	122°30'	M	0.717200±10
E6	31°00'	122°30'	M	0.716240±10
E7	31°00'	123°00'	Z	0.716309±13

M: mud, zS: silty sand, sM: sandy mud, mS: muddy sand, C: clay, Z: silt

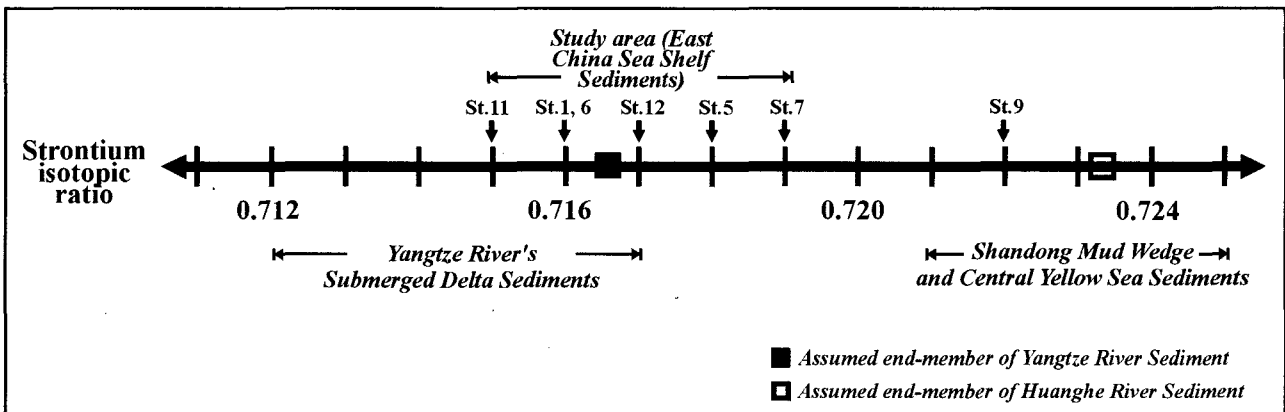


Fig. 4. Ranges of strontium isotopic ratios in carbonate-free fraction (1N HCl residual fraction) finer than the grain size of 4 phi from the Yangtze river's submerged delta, the central Yellow Sea and the East China Sea. Note that the sediments originated from Yangtze and Huanghe rivers are characterized by distinct different ranges in strontium isotopic ratios.

보다는 양쯔 강입을 지지하며, 이는 기존의 연구 결과와 상반되는 새로운 결과이다.

결론

동중국해 대륙붕에 발달하고 있는 니질 퇴적물의 주성분 원소 및 스트론튬 동위원소 분석을 통한 퇴적물 기원에 대한 본 연구 결과는 다음과 같다.

(1) 동중국해 대륙붕에 분포하고 있는 퇴적물의 주성분 원소의 함량과 공간 변화를 조절하는 일차적 요인은 퇴적물의 입도 (quartz dilution effect)이며, 따라서 이들 원소들의 공간 분포 특

성에 의한 퇴적물의 근원지를 구분하는 것은 사실상 어려운 것으로 판단된다.

(2) 황하 강과 양쯔 강 기원 퇴적물에서 뚜렷이 구분되는 스트론튬 동위원소($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) 비의 특성은 황해 및 동중국해 대륙붕에서 퇴적물의 근원지를 파악하는데 매우 유용한 지시자로 제시된다.

(3) 스트론튬 동위원소 분석 결과에 의하면, 연구해역의 니질 퇴적물의 주요 기원지는 양쯔 강으로 해석되며, 이는 기존의 연구 결과와 상반되는 새로운 결과이다. 향후 좀더 많은 스트론튬 분석 자료(특히, 황하 강과 양쯔 강 퇴적물에 대한 직접적인 스트론튬 동위원소 자료)는 이러한 결과를 뒷받침할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 “한국과학재단의 특정기초연구비(과제번호: R01-2002-000-00021-0)” 그리고 “배타적경제해역(EEZ)해양자원조사(PM20300)” 사업에 의해 지원되었습니다. 본 논문을 세밀히 검토해 주시고, 많은 조언을 주신 김부근 교수님과 익명의 심사위원님께 감사드립니다. 시료채취와 분석을 도와주신 제주대학교 아라호 직원 여러분과 해양학과 지질해양학 연구실 학생들에게 감사드립니다.

참고문헌

- Ahn, Y.-H., P. Shanmugam and S. Gallegos, 2004. Evolution of suspended sediment patterns in the East China and Yellow Seas. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, **39**: 26–34.
- Asahara, Y., T. Tanaka, H. Kamioka and A. Nishimura, 1995. Asian continental nature of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios in north central Pacific sediments. *Ear. Planet. Sci. Lett.*, **133**: 105–116.
- Alexander, C.X., D.J. DeMaster and C.A. Nittrouer, 1991. Sediment accumulation in a modern epicontinental-shelf setting in the Yellow Sea. *Mar. Geol.*, **98**: 51–72.
- Beardsley, R.C., R. Limeburner, D. Hu, K. Le, G.A. Cannon and D.J. Pashinski, 1983. Structure of the Changjiang plume in the East China Sea. *Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea*, Vol. 2, China Ocean Press, 265–284.
- Capo, R.C., B.W. Stewart and O.A. Chadwick, 1998. Strontium isotopes as tracers of ecosystem processes: theory and methods. *Geoderma*, **82**: 197–225.
- Cho, Y.G., C.B. Lee and M.S. Choi, 1999. Geochemistry of surface sediments off the southern and western coast of Korea. *Mar. Geol.*, **159**: 111–129.
- Dasch, E. J., 1969. Sr isotope in weathering profiles, deep-sea sediments and sedimentary rocks. *Geochim. et Cosmo. Acta*, **33**: 1521–1552.
- DeMaster, D.J., B.A. Mckee, C.A. Nittrouer, J. Qian and G. Cheng, 1985. Rates of sediment accumulation and particle reworking based on radiochemical measurement from continental shelf deposit in the East China Sea. *Cont. Shelf Res.*, **4**: 143–158.
- Douglas, G.B., C.M. Gray, B.T. Hart and R. Beckett, 1995. A strontium isotopic investigation of the origin of suspended particulate matter (SPM) in the Murray-Darling River system, Australia. *Geochim. et Cosmo. Acta*, **59**: 3799–3815.
- Eisenhauer, A., H. Meyer, V. Rachold, T. Tutken, B. Wiegand, B.T. Hansen, R.F. Spielhagen, F. Lindemann and H. Kassens, 1999. *Chem. Geol.*, **158**: 173–188.
- Folk, R.L. and W.C. Ward, 1957. Brazor river bar: a study in the significance of grain size parameters, *J. Sed. Petrol.*, **27**: 3–27.
- Galehouse, J.S. 1971. Sedimentation analysis. In: *Procedures in Sedimentary Petrology* edited by Carver, R. E., Wiley-Interscience, 69–94p.
- Ingram, R.L., 1971. Sieve analysis. In: *Procedure in Sedimentary Petrology*: edited by Carrer, R. E., Wiley Interscience, 49–68p.
- Kim, G.B. H.S. Yang and T.M. Church, 1999. Geochemistry of alkaline earth elements (Mg, Ca, Sr, Ba) in the surface sediments of the Yellow Sea. *Ghem. Geol.*, **153**: 1–10.
- Kitano, Y. and R. Hujiyoshi, 1980. Selective chemical leaching of cadmium, copper, and manganese and iron in marine sediments. *Geochem. J.*, **14**: 113–122.
- Lee, H.J. and S.K. Chough, 1989. Sediment distribution, dispersal and budget in the Yellow Sea. *Mar. Geol.*, **87**: 195–205.
- 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. *J. Korean. Soc. Oceanogr.*, **34**: 151–166.
- Lie, H.J., 1986. Summertime hydrographic features in the southeastern Huanghe. *Prog. Oceanogr.*, **28**: 680–683.
- Lie, H.J., 2003. Structure and eastward extension of the Changjiang River plume in the East China Sea. *J. Geophys. Res.*, **108**(C3): 22-1-22-14.
- Lim, D.I., 2003. Geochemical compositions of coastal sediments around Jeju Island, South Sea of Korea: potential provenance of sediment. *J. Korean Ear. Sci. Soc.*, **24**: 337–345.
- Lim, D.I., H.S. Jung and J.Y. Choi, 2004. Geochemical difference between Chinese and Korean river sediments and new approach on the sediment provenance in the Yellow Sea. *Proceedings of the Spring Meeting, 2004 of the Korean Society of Oceanography*, 382–383.
- Lin, S., I.-J. Hsieh, K.-M. Huang and C.-H. Wang, 2002. Influence of the Yangtz River and grain size on the spatial variations of heavy metals and organic carbon in the East China Sea continental shelf sediments. *Ghem. Geol.*, **182**: 377–394.
- Liu, J., R. Zhu and G. Li, 2003. Rock magnetic properties of the fine-grained sediment on the outer shelf of the East China Sea: implication for provenance. *Mar. Geol.*, **193**: 195–206.
- 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.
- Martin, J.M., J. Zhang, M.C. Shi and Q. Zhou, 1983. Actual flux of the Huanghe (Yellow River) sediment to the western Pacific Ocean. *Neth. J. Sea Res.*, **31**: 243–254.
- Milliman, J.D., R.C. Beardsley, Z.S. Yang and R. Limeburner, 1985a. Modern Huanghe-derived muds on the outer shelf of the East China Sea: identification and potential transport mechanisms. *Cont. Shelf Res.*, **4**: 175–188.
- Milliman, J.D., H.T. Shen, Z.S. Yang and R.H. Meade, 1985b. Transport and deposition of river sediment in the Changjiang estuary and adjacent continental shelf. *Cont. Shelf Res.*, **4**: 37–45.
- Milliman, J.D., Y.S. Qin, M.E. Ren and Y. Saito, 1987. Man's influence on the erosion and transport of sediment by Asian rivers: the Yellow River (Huanghe) example. *J. Geol.*, **95**: 751–762.
- Niino, H. and K.O. Emery, 1961. Sediments of shallow portion of East China Sea and South China Sea. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **72**: 731–762.
- Nittrouer, C.A., D.J. DeMaster and B.A. McKee, 1984. Fine-scale stratigraphy in proximal and distal deposits of sediment dispersal systems in the East China Sea. *Mar. Geol.*, **61**: 13–24.
- Park, Y.A. and B.K. Khim, 1990. Clay minerals of the recent fine-

- grined sediments on the Korean continental shelves. *Cont. Shelf Res.*, **10**: 1179–1191.
- 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, 357p.
- Saito, Y., 1998. Sedimentary environment and budget in the East China Sea. *Bull. Coas. Oceanogr. Japan*, **36**: 43–58.
- Shi, S., Z. Chen, Z. Cheng, D. Cai, W. Bu, K. Wang, J. Wei and H. I. Yi, 2004. Transportation and deposition of modern sediments in the southern Yellow Sea. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, **39**: 57–71.
- Tutken, T., A. Eisenhauer, B. Wiegand and B.T. Hansen, 2002. Glacial-interglacial cycles in Sr and Nd isotope composition of Arctic marine sediments triggered by the Svalbard/Barents Sea ice sheet. *Mar. Geol.*, **182**: 351–372.
- Yang, S.Y., H.S. Jung, D.I. Lim and C.X. Li, 2003. A review on the provenance discrimination of sediments in the Yellow Sea. *Earth-Sci. Rev.*, **1289**: 1–28.
- Yoo, D.G., C.W. Lee, S.P. Kim, J.H. Jin, J.K. Kim and H.C. Han, 2002. Late Quaternary transgressive and highstand systems tracks in the northern East China Sea mid-shelf. *Mar. Geol.*, **187**: 313–328.
- Zhu, E. and Q. Wang, 1988. Sedimentation on the north shelf of the East China Sea. *Mar. Geol.*, **81**: 123–136.

2004년 10월 8일 원고접수

2004년 12월 15일 수정본 채택

담당편집위원: 이동섭