The Korean Journal of Quaternary Research
Vol. 16, No. 1, pp. 1~16 (2002)

황해 중앙부 해역 니질 퇴적물의 지화학적 특성 및 퇴적률

윤 정 수* · 김 여 상**

*제주대학교 해양과학대학 해양학과, **공주대학교 지구과학교육과

Rate of Sediment Accumulation and Geochemical Characteristics of Muddy Sediment in the Central Yellow Sea

Jeung-Su Youn[1] and Yeo-Sang Kim[2]

[1]Department of Oceanography, College of Ocean Sciences, Cheju National University
[2]Department of Earth Science, Kongju National University

요 약

황해 중앙부 해역에 분포하는 니토대의 공급지와 퇴적작용을 파악할 목적으로 이곳 니질 퇴적물에서 채취한 4개의 시료에서 분석한 화학조성과 기존의 황하, 양자강 및 한반도의 금강 퇴적물 등의 지화학적 자료와 비교하고 퇴적률을 추정하였다.

연구지역 표층 퇴적상의 분포는 사질 퇴적상이 분포하는 동쪽지역, 니토대가 분포하는 서쪽지역, 중앙부지역에 남북방향의 대상분포를 보이는 혼합 퇴적상으로 구분된다. 퇴적물내 탄산염 함량은 2.8~10.5%의 범위를 보이고 사질 퇴적물이 분포하는 동쪽보다 니질 퇴적물이 분포하는 서쪽으로 갈수록 점차 증가하는 경향을 보인다. Pb-210 동위원소를 이용한 연구지역 니질 퇴적물의 퇴적률은 0.21~0.68cm/yr 혹은 0.176 ~0.714 g/cm^2 · yr의 범위를 보였다. 황하와 가까운 산둥반도 동쪽 정점 CY96010에서 퇴적률은 0.68cm/yr 혹은 0.714g/cm^2 · yr의 높은 값을 보이고, 황해 중앙부 해역 정점 CY96008과 CY96002에서 퇴적률은 0.21~0.23cm/yr 혹은 0.176~0.220g/cm^2 · yr로 낮은 값을 보여 황하기원 퇴적물이 황해 중앙부 해역까지 이동되어 퇴적되고 있음을 의미한다. 황해 중앙부 해역 니질 퇴적물의 화학조성 중 Ca, Na, Sr, Ho, La, Tb 및 Ta원소함량과 Ca/Ti비는 양자강 퇴적물보다는 높고, 황하보다는 낮거나 이와 비슷한 함량변화 경향을 보였고, Fe, Ti, Ni, Co, Cr, Cu, Pb, Sc, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd 및 Dy 원소함량은 황하 퇴적물보다는 높고, 양자강보다는 낮으나 이와 비슷한 함량변화를 보였다. 반면, Mn, K 및 Sr 원소는 금강과 황해 동쪽의 퇴적물보다는 낮으나 이와 비슷한 함유량을 보였고, Zn, Rb, Cd, U, Cs 및 Li 원소는 비교지역보다 높은 함량치를 보였다. 따라서 황해 중앙부 해역에 분포하는 니질 퇴적물의 공급지는 황하 및 고황하기원 물질이고, 이외에 양자강과 금강으로부터 공급된 물질과 황해 난류수에 의해 운반된 생물기원 물질의 영향도 다소 있는 것으로 해석된다.

ABSTRACT

A total of 4 muddy sediment samples collected from the Central Yellow Sea were analyzed for

이 논문은 2000년도 두뇌한국 21 사업에 의하여 지원되었음.

chemical composition. The results are compared with the previously published Huanghe, Changjiang and Keum River geochemical data in order to understand provenance and sedimentation of fine-grained mud, and the sediment accumulation rates estimated. The sandy sediment facies is distributed in the eastern area, a patch of fine-grained mud exists in the western central prat, and the sandy mud and clay sedimentary facies show north to south zonal distribution in the central region. The content of calcium carbonate ranges from 2.8 to 10.5%, and its distributional trends to be more concentrated on the western muddy sediments near toward the China side rather than on the eastern sandy sediments.

The accumulation rates obtained using Pb-210 geochronologies for the muddy sediments in the Central Yellow Sea showed ranges from 0.21 to 0.68 cm/yr or 0.176 to 0.714 g/cm^2 · yr. The sedimentation rate from core CY96010 located in the eastern near side of Shandong Peninsula which is affected by the Huanghe River shows 0.68 cm/yr or 0.714 g/cm^2 · yr. The sediment cores CY96008 and CY96002 in the Central Yellow Sea, the estimated of sediment accumulation rates shows 0.21~0.23cm/yr or 0.176~0.220 g/cm^2 · yr respectively, which are much lower than above samples. These indicate that the muddy sediments in central area of the Yellow Sea may have received influence of the sediment discharge from the Huanghe River. The concentrations of Ca, Na, Sr, Ho, La, Tb, Ta and Ca/Ti ratio of the muddy sediments in the Central Yellow Sea are higher than those of the *Changjiang* sediments and lower than those of the Huanghe sediments. However, these element values showed similar concentration patterns than those of the Huanghe sediment. The element contents such as Fe, Ti, Ni, Co, Cr, Cu, Pb, Sc, Ce, Nd, Sm, Eu, Cd and Dy in the study area are higher than those of the Huanghe sediments and lower than the Changjiang River sediments, but these values showed close to resemblance content trends those of the Changjiang sediment. The concentration of Mn, K and Sr in sediments of the study area are similar to those of the Keum River and eastern Yellow Sea sediment. They are rich in Zn, Rb, Cd, U, Cs and Li than those of the other comparison regions.

Therefore, the terrigenous materials sources of the muddy sediment in the Central Yellow Sea comes mainly from Huanghe River in the past and present, and also have party derived from the Changjiang and Keum River, while the biological deposit in this area are carried by the Yellow Sea Warm Current.

서 론

황해는 한반도와 중국대륙으로 둘러싸여 있는 평균수심이 50m에 달하는 반폐쇄형의 천해수역으로 북쪽으로는 발해와 연결되며, 양자강 하구역의 귀동(Qidong)에서 제주도에 이르는 경계면을 따라 남쪽으로는 동중국해와 접해 있다. 해저지형은 편평한 서부수역과 경사가 급한 동부수역으로 구분이 뚜렷하며, 수심은 연안쪽에서 중심부로 갈수록 증가하여 중앙부에서 분지지형을 형성한다(Fig. 1).

황해의 대륙붕에는 중국의 황하강과 양자강으로부터 각각 약 1.1×10^9 ton/yr과 4.9×10^8 ton/yr에 달하는 육상기원 퇴적물이 공급되며, 또한 한반도의 여러 하천으로부터 약 50×10^6 ton/yr의 퇴적물이 공급된다(Schubel et al., 1984; 박 등, 1994). 중국의 주요 강들로부터 유입된 퇴적물의 대부분은 황해의 서부와 중앙부에 퇴적되며 황해 동측부분의 상대적으로 좁은 해역은 한반도의 크고 작은 강과 하천을 통해 유입된 퇴적물이 분포하는 것으로 보고되었다(Chough and Kim, 1981; Alexander et al., 1991).

연구지역 퇴적물의 이동과 확산에 영향을 미치는 것으로 예상되는 해류로서는 발해해협을 지나 산등반도 동쪽 해안선을 따라 남하하는 황해연안류, 흑조(Kurushio)에서 분기해 제주도 서쪽을 통과하여 황해로 유입되는 황해난류수, 고황하 삼각

주 해역에서 남동 및 북동진하는 장수연안류, 여름철 양자강 하구역에서 북동진하여 제주도 서쪽해역을 지나 황해 내부로 북상하는 양자강 희석수 및 한반도 서해안에서 형성된 연안수 등으로 보고되고 있다(Lie, 1986; Zhao et al., 1990).

황해 퇴적물에 대한 점토광물 및 지화학적 연구는 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 이동연구에서 금강 부유물 중 Fe, 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 니질 퇴적물에 대한 Pb-210동위원소를 이용한 퇴적률 측정과 화학조성 중 Ca, Sr, Ti, Rb, Fe, Zn 등 원소의 농도특성에 근거하여 이곳의 니토는 현재 황하강으로 부터 운반된 물질, 장수 북쪽지역의 고황하 삼각주 해안의 침식·운반된 물질 및 양자강 기원물질이 혼합된 복합기원 현생니토대(multi-source mordern mud)로 해석하였다.

Zhao and Yan(1992)은 황하, 양자강 및 중국해 대륙붕 지역에서 채취된 퇴적물에 대한 60여종의 화학분석치로 부터 근원지별 배경농도와 이들을 식별할 수 있는 지화학적 연구를 하였고, Kim 등(1999)은 황해 표층 퇴적물내 알칼리토류 원소의 지화학적 연구에서 황해 북동부 해역에 분포하는 잔류모래는 주로 한반도의 압록강으로 부터 공급된 것으로 해석하였다.

Yang and Milliman(1983)은 해역 퇴적물에서 황하와 양자강 기원 퇴적물의 구별에는 점토광물조성, 광물형상 및 화학조성의 특징에 의해 황해와 동중국해에 분포하는 퇴적물을 황하기원형과 양자기원형으로 구분하는 연구를 하였고, Park and Khim(1992)은 황해 퇴적물내 점토광물들 중 스멕타이트의 함량 정도에 근거해 황해 중앙부 해역에 분포하는 니질 퇴적물은 황하기원 퇴적물이고, 황해 남동부에 분포하는 니토대는 금강과 영산강 기원 퇴적물로 해석하였다. Zhao 등(2001)은 황해 동쪽에 분포하는 니토대에 대한 광물학적 및 지화학적 특징에 근거해 이의 공급지는 주로 한반도 서해의 강들로 부터 기원된 물질과 황해난류수에 의해 동중국해로 부터 공급된 부유퇴적물의 혼합된 퇴적물로 구성되어 있다고 보고하였다. 천 등(2000)은 황해 중심부에 분포하는 산화대층의 특성연구에서 황해 중앙부해역은 홀로세 동안에 퇴적물 공급이 거의 없었거나 아주 적게 공급된 퇴적전선(sedimention front) 지역으로 해석하였다. 이처럼 황해 중앙부해역은 중국 및 한반도의 육지에서 강과 대기를 통해 유입되는 물질과 해류에 의해서 운반된 물질로 혼합되어 이 지역의 복잡한 해황조건을 반영하므로 유입된 물질들의 근원지별로 지화학적 특성이 명확히 밝혀지지 못한 상태에 있다.

따라서 본 연구에서는 황해 중앙부 해역에서 채취한 13개 퇴적물시료에 대한 입도분석과 4개의 퇴적물 시료에 대한 주요 원소 및 미량원소를 분석하여 이들의 함량특성과 이미 연구 보고된 황하, 양자강 및 금강 등의 값과 비교 고찰하고, Pb-210 동위원소를 이용한 퇴적률 측정을 통해 황해 중앙부 해역에 분포하는 니질 퇴적물의 근원지 파악에 접근하고자 한다.

재료 및 방법

본 연구를 위한 시료채취는 제주대학교 실습선 아라호를 이용해서 1996년 8월에 동경 123° 30'~125° 00', 북위 35°~37° 사이에 위치한 황해 중앙부 해역에서 실시하였다. 해저퇴적물은 Van Veen Grab Sampler와 Gravity Corer를 사용하여 총 13개 정점에서 채취하였다(Fig. 1).

퇴적물 입도분석은 Ingram(1971)과 Galehouse (1971)의 방법에 따라 시료 40~50g를 취하여 희석법에 의하여 용해성 염분을 제거한 시료를 6% H_2O_2로 유기물을 제거하였다. 유기물이 제거된 시료에 10% HCl로 패각편을 제거한 후 0.0628 mm(230mesh)의 체를 사용하여 습식체질한 후

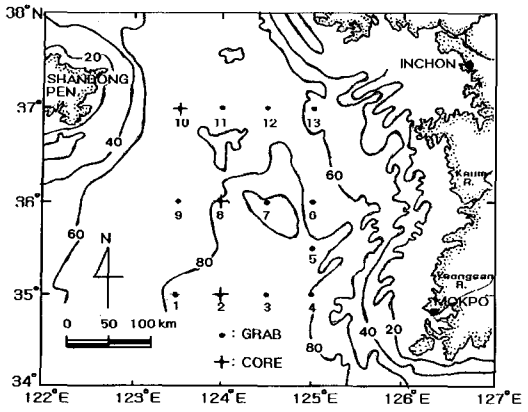

Fig. 1. Sampling sites and bathymetry in the Central Yellow Sea, contours are given in meters.

조립부와 세립부로 나누어 조립부는 1Ø간격으로 Ro-tap sieve shaker를 사용하여 건식체질한 후 입도별 중량백분율을 구하였다. 세립부는 확산제(sodium hexametaphosphate) 2g를 첨가하여 시료를 확산시킨 후 피펫방법에 의해 1Ø간격으로 분석한 후 입도별 중량백분율을 구하였다. 이 결과를 Folk and Ward(1957)의 공식에 의해 평균치, 분급도, 왜도, 첨도 등의 조직표준치를 계산하였고 Folk(1968)의 삼각도표에 의해 퇴적물 유형을 분류하였다.

퇴적물내의 원소총량 분석을 위한 시료는 먼저 100℃로 건조시킨 후 agate mortar를 이용하여 분마하였다. 이렇게 분마된 시료 2g을 teflon bomb 내에서 HF, $HClO_4$, HNO_3 혼합용액으로 반응시켜 규산염 광물격자를 파괴시킨 후 1M HNO_3용액으로 추출하여 20ml로 만들어 100배 희석하였다(Kitano and Hujiyoshi, 1980). 이 용액을 한국 기초과학연구원에 의뢰하여 42종 원소성분의 함량을 측정하였다. 동일시료에 대한 총탄소 및 유기탄소 함량은 CHN분석기(Leeo CHN-100)을 이용하여 분석하였고, 탄산염 함량은 총탄소와 총유기탄소의 함량 차이를 이용하여 계산하였다(Byers et al., 1978). 3개의 주상시료에 대한 Pb-210 동위원소 분석은 분말화 된 시료 6g을 활동도가 계산된 Po-208 tracer를 첨가한 후 HCl, $HClO_4$, HNO_3, HF로 가열 용해시켜, 이 시료를 1.5N HCl로 희석시켜 원심분리기로 상층용액을 분리시켰다. 이 상층용액에 존재하는 철산화물을 제거하기 위하여 acorbic acid로 처리한 후 $1cm^2$ 크기의 silver planchet를 넣어 80℃에서 1시간 30분 동안 가열하여 polonium 동위원소가 silver planchet 위로 흡착되게 하였다. 이 silver disk를 silicon barrier detector로 Alpha Particle Spectrometer(Northern Ns700)를 이용하여 96시간동안 counts하여 측정하였다(Nittrouer et al., 1979). Supported Pb-210활동도 양을 알기 위해 Ra-226를 측정하였는데, Ra-226활동도는 몇 개의 시료를 Rn-222 gas emanation 방법에 의해 결정하였다(Lucas, 1975).

결과 및 고찰

표층 퇴적상의 분포와 조성

연구지역 표층퇴적물의 유형은 모래(sand), 니토질모래(muddy sand + clayey sand), 사질니토(sandy mud + sandy clay)로 총 7개 유형의 분포를 보이나 크게 보아 사질 퇴적상과 니질 퇴적상 분포 지역으로 분류할 수 있다(Table 1).

모래는 연구지역 북동쪽 끝(st.13)에 분포하며 평균조성은 모래 90.36%, 실트 5.42%, 점토 4.22%이고 평균입도는 2.67Ø로 세립사에 해당하며 분급도는 1.74Ø로 다소 불량한 편이다. 니토질모래퇴적상은 연구지역 동쪽인 한반도 서해안에 남북방향으로 대상분포를 보이며 평균조성은 모래 75.28%, 실트 11.19%, 점토 13.53%이고 평균입도는 3.68Ø로 극세립사에 해당하며 분급도는 2.05Ø로 매우 불량한 편이다(Fig. 2). 상기의 사질퇴적물은 지난 최대빙하기(Last Glacial Maximum)의 해수면이 하강하였던 동안 집적된 잔류 퇴적물(relict sediment)로 보고되었다(Niino and Emery, 1961).

사질니토퇴적상은 산둥반도 동쪽에서 중앙부 지역으로 이어지는 분포형태를 보이며, 평균조성은 모래 26.21%, 실트 33.17%, 점토 40.57%이고,

Table 1. Sediment type, textural parameters and organic material content

Station	Sediment composition			Classification	Textural parameters				Organic matter	
	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)		Mean (ϕ)	Sorting (ϕ)	Skewness (ϕ)	Kurtosis (ϕ)	Org. C (%)	$CaCO_3$ (%)
1	3.12	31.65	65.23	C	7.97	2.01	−0.48	0.55	1.05	8.70
2	21.76	23.47	54.77	sC	7.19	2.93	−0.47	0.64	0.82	6.80
3	44.26	18.75	36.99	sC	6.07	2.88	0.39	0.54	0.67	5.60
4	67.08	14.56	18.36	mS	4.33	2.85	0.75	0.90	0.45	3.70
5	84.39	4.13	11.48	cS	2.85	1.72	0.62	3.60	0.44	3.70
6	85.08	6.78	8.14	mS	2.98	1.57	0.55	3.64	0.41	3.40
7	15.21	31.07	53.72	sM	7.30	2.53	−0.43	0.65	1.06	8.80
8	0.73	34.58	64.70	M	8.28	1.87	−0.41	0.74	1.26	9.10
9	1.63	32.54	65.89	M	9.25	1.89	0.19	0.85	1.30	10.50
10	12.75	57.29	29.96	sM	6.25	2.29	0.36	0.56	0.81	9.40
11	50.12	25.34	24.54	mS	5.37	2.88	0.67	0.71	0.47	6.70
12	89.71	5.15	5.14	mS	2.87	1.25	−0.46	3.44	0.34	3.90
13	90.36	5.42	4.22	S	2.67	1.73	1.84	1.85	0.30	2.80
Average	43.55	22.36	34.09		5.65	2.19	0.24	1.44	0.73	6.39

Notes: mS: muddy sand, cS: clayey sand, sM: sandy mud, sC: sandy clay, M: mud, C: clay, Org. C: organic carbon.

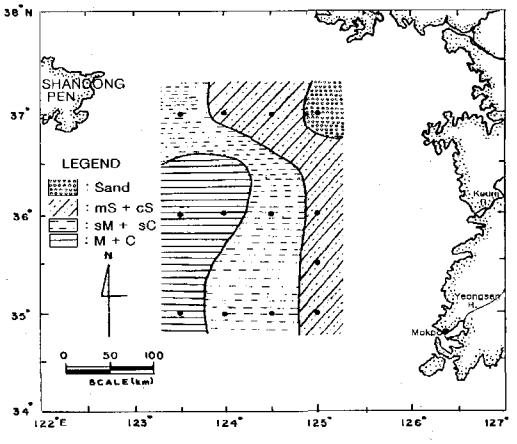

Fig. 2. Distribution of surface sediment type classification. Notes: mS: muddy sand, cS: clayey sand sM: sandy mud, sC: sandy clay, M: mud, C: clay.

평균입도는 6.50ø로 세립질실트에 해당하며 분급도는 2.70ø로 역시 불량한 편이다. 니토퇴적상은 연구지역 서부에 분포하며 이의 평균조성은 모래 1.83%, 실트 32.92%, 점토 65.27%이고, 평균입도는 8.50ø로 점토에 해당하며 분급도는 1.92ø로서 다소 불량한 편이다. 이 니토퇴적상은 황해 중앙부 해역에 분포하는 니토대(mud patch)로 주로 황하와 양자강을 통해 공급된 복합기원 현생퇴적물로 해석하였다(Zhao et al., 1990).

퇴적물내 탄산염과 유기탄소 함량 분포

퇴적물의 탄산염 함량은 2.80~10.5%의 범위를 보이고(Table 1), 니질 퇴적물내의 평균함량은 8.41%로 사질 퇴적물내의 평균함량 4.03% 보다 약 2배 이상 높다. 탄산염함량의 지역적 분포는 사질니토(sM + Cs) 및 니토(M + C)와 같은 니질 퇴적물의 분포하는 서쪽 중국측으로 가면서 높아지고, 모래와 니토질모래(mS+cS)와 같은 사질 퇴적물의 분포하는 동쪽의 한국측으로 향함에 따라 낮은 함유량을 보인다(Fig. 3). 이렇게 황해 외해역의 퇴적물에서 탄산염 함량이 세립퇴적물이 조립퇴적물보다 높은 함량을 나타나는 현상에 대해서는 이 등(1992)과 Niino and Emery(1961)는 황해 세립질 퇴적물에서 유공충각이 탄산염 물질

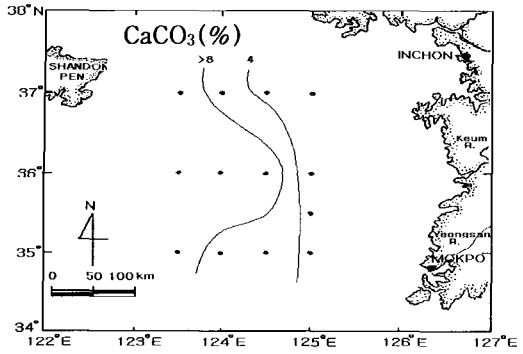

Fig. 3. Areal distribution of the $CaCO_3$ in surface sediments on the Central Yellow Sea.

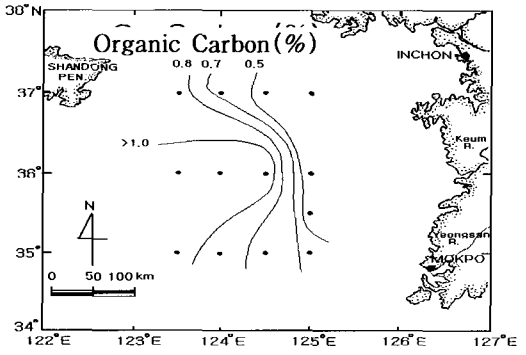

Fig. 4. Areal distribution of the organic carbon in surface sediments on the Central Yellow Sea.

의 중요한 구성성분임을 보고하였다. 그러나 황하 기원 퇴적물로 알려진 황해 서부에 분포에는 세립질퇴적물에는 황토층에서 기원한 다량의 탄산염광물을 함유하는 사질을 고려할 때 (Yang and Milliman, 1983; Milliman et al., 1985), 연구지역 니질퇴적물에서 나타난 높은 탄산염함량은 황하기원 물질의 영향도 배제할 수 없을 것이다.

표층퇴적물내 유기탄소 함량은 0.30~1.30%의 범위를 보이고(Table 1), 그 지역적 분포는 니질퇴적물의 분포하는 서부지역이 사질 퇴적물이 분포하는 동쪽지역보다 높은 유기탄소 함량을 보인다 (Fig. 4). 특히 연구지역 서쪽의 니토대 지역에서 유기탄소 함량이 1.0% 이상으로 타 지역보다 높은 함량분포를 보이는데, 이는 황해 중앙부 해역의 니토대(mud patch) 분포지역은 발해해협을 지나 산둥반도 동측해안을 따라 남하하는 황해연안류, 황해 난류수 및 겨울철에 강한 북서계절풍에 의해 재부유된 퇴적물을 퇴적시키는 와류가 발생하는 전선대 지역으로서 생물생산력이 활발한 지역이기 때문으로 해석된다.

세립질 퇴적물 내의 금속원소 함량 및 공급지

황해 중앙부 해역의 니질 퇴적물에서 얻어진 3개의 시료 및 황하 기원 퇴적물의 분포할 것으로 예상되는 산둥반도 동쪽시료(st. CY96010)에 대하여 42종의 지화학적 원소성분의 함량을 분석하였다(Table 2). 이들 원소들 중 황해 중앙부 해역에 분포하는 니질 퇴적물은 산둥반도 동쪽해역의 퇴적물에 비해 화학조성 중 Al, Fe, Mg, K, Ti, Ba, Rb, Ni, Co, V, Cr, Cu, Zn, Cd, Pb, Cs, Th, U, La, Sc, Li, Y, Nb, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Tb, Gd, Dy 및 Ta의 원소의 함량과 Sr/Ca, Ba/Sr 및 Th/U비가 높은 값을 보였다. 반면, 황하의 영향을 받는 산둥반도 동쪽해역의 퇴적물 시료에는 지화학적 원소성분들 중 Ca, Na, Mn, Sr, Zr, Yb, Ho, Er 및 Lu 원소함량이 풍부하고 Ca/Ti, Ca/K, Sr/Rb 및 Mn/Fe의 비가 높았다. 따라서 황해 중앙부 해역에 분포하는 니토대는 지화학적 원소성분의 함량특성에 근거해 볼 때 산둥반도 동쪽의 니질 퇴적물과는 다소 다른 특징을 보여 주고 있다. 이는 Zhao 등(1990)이 황하의 영향을 받는 황해지역 퇴적물에는 Ca, Sr원소 함량이 높고 Mn/Fe, Ca/Ti, Sr/Rb 및 Ca/K비가 높으나, 반면에 남황해 중앙부에 분포하는 니토대에는 Fe, Zn, Ti 및 Pb의 함량과 Sr/Ca비가 높다고 지적한 연구결과와도 잘 일치하였다. 황해 중앙부에 분포하는 니질 퇴적물의 공급지와 퇴적과정을 파악할 목적으로 이곳 니토대에서 얻어진 3개의 시료에서 분석된 화학조성과 기존의 황하, 양자강 및 한반도의 금강 퇴적물 등의 지화학적 자료와 비교해 보았다 (Table 2).

Table 2. Abundance elements in sediment from the Central Yellow Sea, together with those of other areas for comparison

Element \ Region		CYS[1]				OES[1]	HR[2]	CR[2]	HUR[3]	YR[3]	EYS[4]	KE[4]
		96001	96002	96008	Mean	96010						
Al	(%)	8.85	7.94	9.34	8.71	7.20	4.87	6.51	9.80	11.60	5.75	7.66
Fe		4.07	3.62	4.43	4.04	2.95	2.20	3.85	3.30	5.19	2.17	2.87
Ca		3.49	2.91	2.83	3.08	3.87	3.29	2.86	3.90	3.02	0.72	0.70
Mg		1.68	1.40	1.84	1.64	1.23	0.84	1.33	1.80	2.32	0.59	0.87
K		2.72	2.71	2.84	2.76	2.30	1.61	1.83	1.92	2.31	2.87	2.43
Na		1.61	1.81	2.25	1.89	2.18	1.63	0.91	2.23	1.48	0.77	0.79
Ti		0.40	0.38	0.47	0.42	0.34	0.36	0.55	0.39	0.54	0.25	0.34
Mn	(ppm)	499.81	350.41	420.13	423.45	470.56	500.0	810.0	430.0	770.0	360.0	660.0
Ba		361.86	368.44	339.10	356.47	305.37	540.0	512.0	678.0	690.0	648.0	623.0
Sr		169.94	170.20	160.05	166.73	200.04	220.0	150.0	186.0	128.0	178.0	169.0
Rb		139.44	128.65	151.05	139.71	103.22	70.0	100.0				
Zr		124.95	113.14	129.38	142.17	354.0	246.0	267.0	204.0			
Ni		46.58	35.94	36.81	39.78	26.03	20.0	33.0	25.8	40.4	17.0	34.0
Co		14.89	19.92	14.91	16.57	9.51	9.0	17.3	11.4	15.8	7.0	13.0
V		106.98	86.10	120.04	104.37	68.08	60.0	97.0	108.0	168.0	45.0	67.0
Cr		98.96	80.10	85.03	88.03	65.08	60.0	82.0	66.9	99.5	37.0	67.0
Cu		25.69	19.62	29.81	25.04	19.02	13.0	35.0	17.1	40.3	9.0	23.0
Zn		131.95	118.61	128.54	126.37	85.10	40.0	78.0	59.2	108.0	40.0	79.0
Cd		2.34	0.98	3.46	2.26	0.53	0.08	0.25				
Pb		36.99	31.44	37.51	35.31	28.53	15.0	27.0	29.2	49.9	22.0	
Th		14.19	14.12	14.70	14.34	11.31	13.0	12.4	19.9	20.4		
Cs		11.10	8.61	12.00	10.57	6.21	4.0	7.3				
U		3.30	4.53	3.82	3.88	2.50	2.1	2.6				
Li		73.97	95.11	103.03	90.70	59.07	23.0	43.0	30.8	48.6		
Sc		13.00	11.01	15.01	13.02	10.01	8.8	13.0	8.35	11.5		
La		37.69	37.35	38.91	37.98	31.94	37.0	40.0	28.6	35.0		
Pr		8.70	8.51	9.00	8.74	7.41			7.13	8.32		
Nd		32.29	31.14	34.11	32.51	28.33	30.0	34.0	26.9	32.3		
Sm		5.90	5.91	6.50	6.10	5.11	6.0	6.3	5.03	6.0		
Eu		1.23	1.20	1.21	1.21	1.08	1.2	1.4	1.04	1.28		
Gd		4.99	4.63	5.25	4.96	4.39			4.68	5.50		
Tb		0.78	0.70	0.80	0.76	0.67	0.89	0.87	0.75	0.85		
Dy		4.21	3.90	4.30	4.14	4.03			4.03	4.66		
Ce		75.47	75.29	78.32	76.36	62.28	72.0	78.0	54.4	64.1		
Nb		15.79	12.12	14.70	14.20	10.41	15.0	19.0	16.2	22.1		
Ho		0.82	0.72	0.83	0.79	0.82			0.87	0.97		
Er		2.52	1.86	2.46	2.28	2.38			2.35	2.55		
Ta		1.25	0.92	1.14	1.10	0.61	1.0	1.2				
Tm		0.33	0.28	0.34	0.32	0.32			0.37	0.38		

Table 2. Continued

Element \ Region	CYS[1]				OES[1]	HR[2]	CR[2]	HUR[3]	YR[3]	EYS[4]	KE[4]
	96001	96002	96008	Mean	96010						
Yb	0.98	1.09	1.49	1.19	1.49	3.2	2.8	2.23	2.24		
Lu	0.33	0.26	0.34	0.31	0.32	0.45	0.46	0.34	0.33		
Y	19.89	17.32	20.21	19.14	18.32	28.0	28.0	21.7	23.9		
Ca/Ti	8.73	7.66	6.02	7.47	11.38	9.14	5.20	10.00	5.60	2.88	2.06
Ca/K	1.28	1.07	1.00	1.12	1.68	2.04	1.56	2.03	1.31	0.25	0.29
Sr/Ca	0.0049	0.0059	0.0057	0.0055	0.0067	0.0052	0.0048	0.0042	0.0076	0.025	0.024
Sr/Rb	1.22	1.32	1.06	1.20	1.94	3.14	1.50				
Mn/Fe	0.012	0.010	0.009	0.010	0.016	0.023	0.021	0.013	0.015	0.017	0.023
Ba/Sr	2.13	2.17	2.12	2.14	1.53	2.46	3.41	3.65	5.39	3.64	3.69
Th/U	4.30	3.12	3.85	3.77	4.52	6.19	4.77				

[1]Central Yellow Sea, [1]Offshore of Eastern Shandong, [2]Huanghe and Changjiag River(Zhao and Yan, 1992): [3]Huanghe and Yangtze River(Yang, 1998); [4]Keum Estuary and Eastern Yellow Sea(조, 1994).

황하는 세계 제2위로 많은 양의 퇴적물을 운반하는 큰 강으로 중국의 서쪽에서 동쪽으로 흘러 발해로 흘러들어 가고 있다. 강의 총 길이는 5,460 km, 유역면적은 7.524×10^2 km^2로 1950년부터 1989년의 40년간 연평균 하천유량이 $4.0\times10^{10}km^3$, 부유퇴적물 운반량은 1.1×10^9ton에 달해 황해 퇴적작용에 큰 역할을 하고 있다(Saito and Yang, 1994). 황하는 과거 수 천년 동안 유로를 산둥반도를 중심으로 북쪽과 남쪽으로 변해왔다. 황하의 유로가 산둥반도 북쪽의 발해로 유입한 것은 1855년부터이고 현재 황하 하구에는 대규모의 삼각주가 형성되어 있고 운반된 토사에 의해 해안선은 최근 10년간 15km정도 바다로 뻗어 있다(Keller and Prior, 1985). 현재 황하 기원 퇴적물은 70~80%가 해안선에서 약 20km이내 지역에 퇴적되고, 10~15%가 발해만에 퇴적되며, 나머지 15~20%정도가 산둥반도 부근에서 남하하여 황해 중앙부해역과 동중국해까지 운반·퇴적되는 것으로 알려져 있다(Saito and Yang, 1994). 한편, 황하는 1128년부터 1855년 기간 동안에는 그 유로가 산둥반도 남쪽의 장수(Jiangsu)지역에 위치하였으며 직접 황해로 흘러 들어갔다. 황하의 유로가 1855년 발해역으로 이동한 이후 장수연안지역은 급격한 해안침식이 일어나 1,400km^2의 연안육지 지역이 소실되었고, 연평균 4.4×10^8ton정도의 퇴적물이 생산되는 것으로 보고되었다(Satio, 1998). 고황하기원 삼각주 퇴적물은 장수연안류 등에 의해 황해 중앙부 해역과 동중국해 외대륙붕의 니토대 분포지역까지 운반되고 있는 것으로 알려져 있다(Milliman et al., 1985). 황하에 의해 운반되는 퇴적물은 9할 정도가 중국 북부의 고원지대에서 기원한 세립질의 황토이며, 이 황토는 건조하고 한랭한 기후에서 수 천년동안 표백작용이 진행되어 왔기 때문에 Ca, Na 및 Sr원소가 높은 농도로 함유되어 있어 황해와 동중국해 퇴적물의 기원지를 밝히는데 지시자로 이용되고 있기도 하다(Yang and Milliman, 1983).

따라서, 황해 중앙부 해역의 니질 퇴적물내 지화학 원소 중 Ca, Na, Sr, Ho, La, Tb 및 Ta원소 함량과 Ca/Ti비가 양자강 퇴적물보다는 높고 황하 퇴적물보다는 낮으나 이와 비슷한 함량 변화 경향을 보였고(Table 2), Al에 대한 Ti의 상관관계에서도 양자강보다 황하와 더 유사한 관계를 보여(Fig. 5) 이는 황하 기원 퇴적물이 황해 중앙부 해역으로 운반되고 있음을 의미한다 하겠다. 화학성분 중 Th/ U비는 해역 퇴적물의 근원지를 추정하

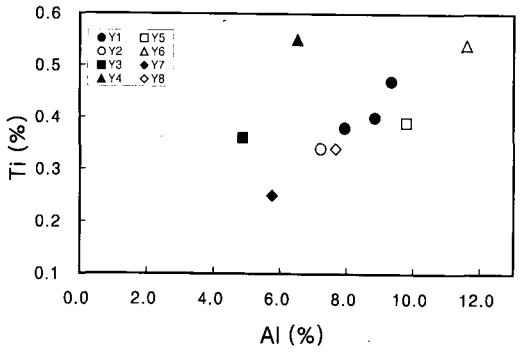

Fig. 5. The relationship between Ti and Al content diagram.
Notes : Y1 : Central Yellow Sea
Y2 : Offshore of Eastern Shandong
Y3 : Huanghe River,
Y4 : Changjing River,
Y5 : Huanghe River,
Y6 : Yangtze River,
Y7 : Eastern Yellow Sea,
Y8 : Keum Estuary

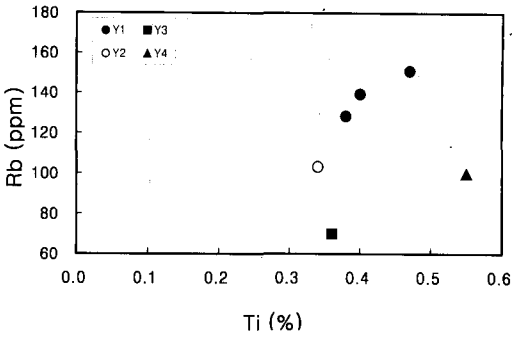

Fig. 6. The relationship between Rb and Ti content diagram.
Notes : Y1 : Central Yellow Sea,
Y2 : Offshore of Eastern Shandong
Y3 : Huanghe River,
Y4 : Changjing River

는데 지화학적 지시자로 이용되기도 한다(Chen et al., 1983). 즉 대륙기원 물질에는 Th/U비가 3~4 이상이나 원양성 퇴적물에는 이 비가 1이하로 매우 낮은 것으로 보고되었다. 따라서 황해 중앙부의 니질퇴적물에서 Th/U비가 3.1~4.3의 범위를 보여 본 해역퇴적물은 주로 대륙기원임을 의미한다(Table 2). 한편, 황하와 양자강 기원 퇴적물을 구별할 수 있는 지화학적 특징으로는 황하 퇴적물에는 Ca, Na, Sr, Zr 및 Hf원소가 높은 함량 특성을 보이나, 양자강 퇴적물에는 Al, Ti, Fe, Mn, Cu, Co, Ni, Pb, V, Cr, Hg, Li, Rb, Ag, Bi, Sc, Nb, Th 및 Ga원소 함량이 풍부한 것으로 보고되었다(Zhao and Yan, 1992; Yang, 1998). 따라서 황해 중앙부 해역 니질퇴적물의 화학조성을 이들의 자료와 비교해 보면, 이곳 니질 퇴적물은 Fe, Ti, Ni, Co, Cr, Cu, Pb, Sc, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd 및 Dy원소 함량은 황하강의 퇴적물보다는 높고, 양자강보다는 낮으나 이와 비슷한 함유량을 보여 이는 양자강 기원 퇴적물이 황해 중앙부까지 운반되어 퇴적되고 있음을 추론케 한다. 양자강 기원 퇴적물이 황해역으로 이동이 가능한 기작으로는 양자강으로부터 유출되는 부유퇴적물은 주로 하구역의 동쪽과 남동쪽의 동경 122°~123° 지역에 분포하는 수중삼각주 지역에 퇴적되고 소량만이 동중국해로 확산된다. 그러나 대만난류가 중국 동쪽 해안을 따라 북동방향으로 흐르는 계절에는 남풍계에 편승하여 양자강 기원 부유퇴적물은 표층프름(plume)으로 북동진하여 제주도 서쪽까지 이동되는 것으로 알려져 있다(Beardsley et al., 1983). 또한 Lie (1986)는 양자강 회석수는 홍수철에 북동진하여 제주도 서쪽 해역을 지나 황해 내부로 북상하는 것으로 보고하는 등 양자강 기원 물질이 황해 중앙부 해역까지 이동이 가능하다는 것이다.

한편, 황해 중앙부의 니질 퇴적물내에 화학조성 중 Mn, K 및 Sr원소는 금강과 황해 동쪽의 퇴적물보다는 낮으나 이와 유사한 함량치를 보였고, Zn, Rb, Cd, U, Cs 및 Li원소는 황하나 양자강에 비해 높은 함량치를 보여 이들 두 강 이외의 타기원물질 유입이 있을 가능성을 추론케 한다(Fig. 6). Kim 등(1999)은 황해 북동부 해역에 분포하는 사질 퇴적물에서 K, Rb원소 함량이 산둥반도 북쪽 및 고황하지역의 잔류사에 비해 높은 것은 한반도의 압록강으로부터 공급된 K-장석에서 기원된 것으로 해석하였다. 최 등(1995)은 금강 부유퇴적물 중

Mn, Zn, Cd 및 U원소의 함량은 황하와 양자강의 부유퇴적물에 비해 높은 값을 보임을 지적하였다. 따라서 한반도의 서해 강들로부터 황해 동쪽 해역으로 운반된 물질이 황해 중앙부까지 이동될 가능성이 있는 것이다. 그러나 황해 중앙부의 니질퇴적물에서 Mn, Rb, Zn, Cd, U, Cs 및 Li원소가 높게 생산되는 기작에 대하여는 앞으로 더 연구가 필요하다.

퇴적물 조성은 대륙기원 퇴적물과 해양기원 퇴적물로 대별된다. 생물생산의 증감으로 인하여 대륙기원 원소의 함량이 상대적으로 변하게 된다. 따라서 정확한 대륙기원 원소의 공급 여부나 기원지 차이 등을 밝히고자 할 때에는 생물기원에 의한 요소를 제거하여 대륙기원 원소에 의해서만 추론이 필요하다. 이러한 방법 중의 하나가 대표적인 대륙기원 원소이면서 보존성 원소인 Al로 다른 원소들을 나누어줌으로써 생물기원 원소에 의한 희석효과가 상쇄되는 것이다(Goldberg and Arrhenius, 1958; Moorby, 1983). 본 연구지역에서도 대륙기원 원소인 Al과 다른 원소의 비(element/Al)로써 퇴적물의 화학조성에 의한 공급지를 고찰하기로 한다(Table 3). 즉, 황해 중앙부 해역 니질 퇴적물의 element/Al비 값이 양자강보다는 높고, 황하 퇴적물보다는 낮으나 이와 비슷한 함량특성을 보이는 원소로는 Ca, Na, Sr, Ho, Y, Tm 및 Lu 원소들로 이는 앞서 언급한 황하 퇴적물의 총량분석 화학조성 중 Ca, Na, Sr 및 Ho 원소성분이 일치하여 황하 기원 물질이 황해 중앙부 해역으로 공급되고 있음을 의미한다. 황하 기원 부유퇴적물의 이동 기작으로는 발해해협에서 기원한 황해연안류는 산둥반도 동쪽 해안을 따라 하계에는 북위 32°까지, 동계에는 북위 30°, 동경 126°까지 남하하는 것으로 알려져 있다(Millman and Meade, 1983).

연구지역 퇴적물내 element/Al비 값이 황하보다는 높고 양자강 퇴적물보다는 낮으나 이와 비슷한 함량을 보이는 원소들로는 Fe, Ti, Mg, Mn, Ni, Co, Cu 및 Pb 원소들로 이도 앞서 언급한 양자강 퇴적물의 총량분석 화학조성 중 Fe, Ti, Ni, Co, Cu 및 Pb원소들과 잘 일치하여 양자강 기원 퇴적물이 동중국해에서 황해 중앙부 해역으로 물질수송이 있었음을 추론케 한다. 이는 Nohara 등(1995)이 언급한 황해 중앙부 해역 니토대에서 Sr 동위원소비 값이 황하보다는 양자강과 더 유사하여 양자강 기원 부유퇴적물이 황해 중앙부 해역까지 공급될 가능성을 지적한 연구결과와도 잘 일치하고 있다. 또한, 이들 비 값이 금강보다는 낮으나 이와 비슷한 함량을 보이는 원소로는 K 및 Cu이고, 황하나 양자강보다 높은 비값을 보이는 원소로는 Rb, Zn, Li, Cu, U 및 Dy들로, 이는 이들 두 강 이외의 타 기원 물질의 유입되고 있음을 시사한다(Table 3). 따라서, 황해 중앙부 해역에 분포하는 니질 퇴적물의 공급지는 주로 황하와 고황하 하구역의 침식된 물질이고, 이외에 양자강과 한반도 서해의 강들로부터 공급된 물질 및 황해난류수에 의해 운반된 생물기원 물질의 영향도 다소 있는 것으로 사료된다.

Pb-210동위원소에 의한 퇴적률 추정

황해 중앙부 해역에서 채취한 3개의 주상시료에 대한 Pb-210활동도 측정을 통해 연구지역 퇴적물의 퇴적률을 평가하였다. Pb-210방사성 동위원소는 반감기가 22.3년으로 비교적 짧아 시간규모가 100년 전후인 현생퇴적물의 퇴적속도 결정에 효과적으로 이용되고 있다(Krishnaswamy et al., 1971 : Koide et al., 1973). Pb-210은 U-238계열의 한 가족이며 Pb-210의 해양환경 내로의 flux는 대기권에서의 침강, 주변 강에 의한 유입과 해저퇴적물 내에서의 Ra-226의 붕괴에 의해 생성된 Pb-210의 이류작용(advection)등이 주 공급원이 되고 있으며, 이러한 Pb-210의 해수에 머무르는 시간은 1년 이내로 매우 짧은 것으로 알려져 있다(Benninger et al., 1975; Carpenter et al., 1981).

해수 내에 존재하는 Pb-210은 유기체에 의한 섭취나 점토광물, 유기물질 및 Fe-Mn산화물과 같은 입자들에 의해 흡착되어 퇴적물 내로 동시 침전된다(Nittrouer et al., 1979). 따라서 이러한 과정에 의해서 형성되는 해양퇴적물내의 Pb-210함량은 Ra-226의 붕괴에 의해 생성되는 Supported Pb-210량보다 항상 높게 나타나 이는 과거 100년

Table 3. Comparison of element to Al ratios(E/Al) from the sediment samples

Element \ Region	CYS[1]	OES[1]	HR[2]	CR[2]	HUR[3]	YR[3]	EYS[4]	KE[4]
Fe	0.46	0.41	0.45	0.59	0.34	0.46	0.38	0.38
Ca	0.37	0.54	0.68	0.44	0.40	0.26	0.13	0.09
Mg	0.19	0.17	0.17	0.20	0.18	0.20	0.10	0.11
K	0.32	0.32	0.33	0.28	0.20	0.20	0.50	0.32
Na	0.22	0.30	0.34	0.14	0.23	0.13	0.14	0.10
Ti	0.05	0.05	0.07	0.09	0.04	0.05	0.04	0.04
Mn	48.62	65.36	102.67	124.42	43.88	66.38	62.61	85.51
Ba	40.93	42.41	110.88	78.65	69.18	59.57	112.70	81.33
Sr	19.14	27.78	45.18	23.04	18.98	11.04	30.96	22.06
Rb	16.04	14.34	14.37	15.36				
Zr	14.85	19.75	72.69	37.79	27.25	17.59		
Ni	4.57	3.62	4.11	5.07	2.63	3.48	2.96	4.44
Co	1.90	1.32	1.85	2.61	1.16	1.36	1.22	1.70
V	11.98	9.46	12.32	14.90	11.02	14.48	7.83	8.75
Cr	10.11	9.04	12.32	12.60	6.83	8.58	6.44	8.75
Cu	2.88	2.64	2.67	5.38	1.75	3.47	1.57	3.00
Zn	14.51	11.82	8.21	11.98	6.04	9.31	6.96	10.31
Cd	0.26	0.07	0.02	0.04				
Pb	4.05	3.96	3.08	4.15	2.98	4.03	3.83	
Th	1.65	1.57	2.67	1.91	2.03	1.76		
Cs	1.21	0.86	0.82	1.12				
U	0.45	0.35	0.43	0.40				
Li	10.41	8.20	4.72	6.61	3.14	4.19		
Sc	1.50	1.39	1.81	2.00	0.85	0.99		
La	4.36	4.44	7.60	6.14	2.92	3.02		
Pr	1.00	1.03			0.73	0.72		
Nd	3.73	3.93	6.16	5.22	2.75	2.79		
Sm	0.70	0.71	1.23	0.97	0.51	0.52		
Eu	0.14	0.15	0.25	0.22	0.11	0.11		
Gd	0.57	0.61			0.48	0.47		
Tb	0.48	0.09			0.41	0.40		
Dy		0.06						
Ce	8.77	8.65	14.78	11.98	5.55	5.53		
Nb	1.63	1.45	3.08	2.92	1.65	1.91		
Ho	0.09	0.11			0.09	0.08		
Er	0.26	0.33			0.24	0.22		
Ta	0.13	0.15	0.21	0.18				
Tm	0.04	0.04			0.04	0.03		
Yb	0.14	0.21	0.66	0.43	0.23	0.19		
Lu	0.04	0.04	0.09	0.07	0.04	0.03		
Y	2.22	2.54	5.75	4.30	2.21	2.06		

[1]Central Yellow Sea, [1]Offshore of Eastern Shandong, [2]Huanghe and Changjiang River(Zhao and Yan, 1992), [3]Huanghe and Yangtze River(Yang, 1998); [4]Keum Estuary and Eastern Yellow Sea(조, 1994).

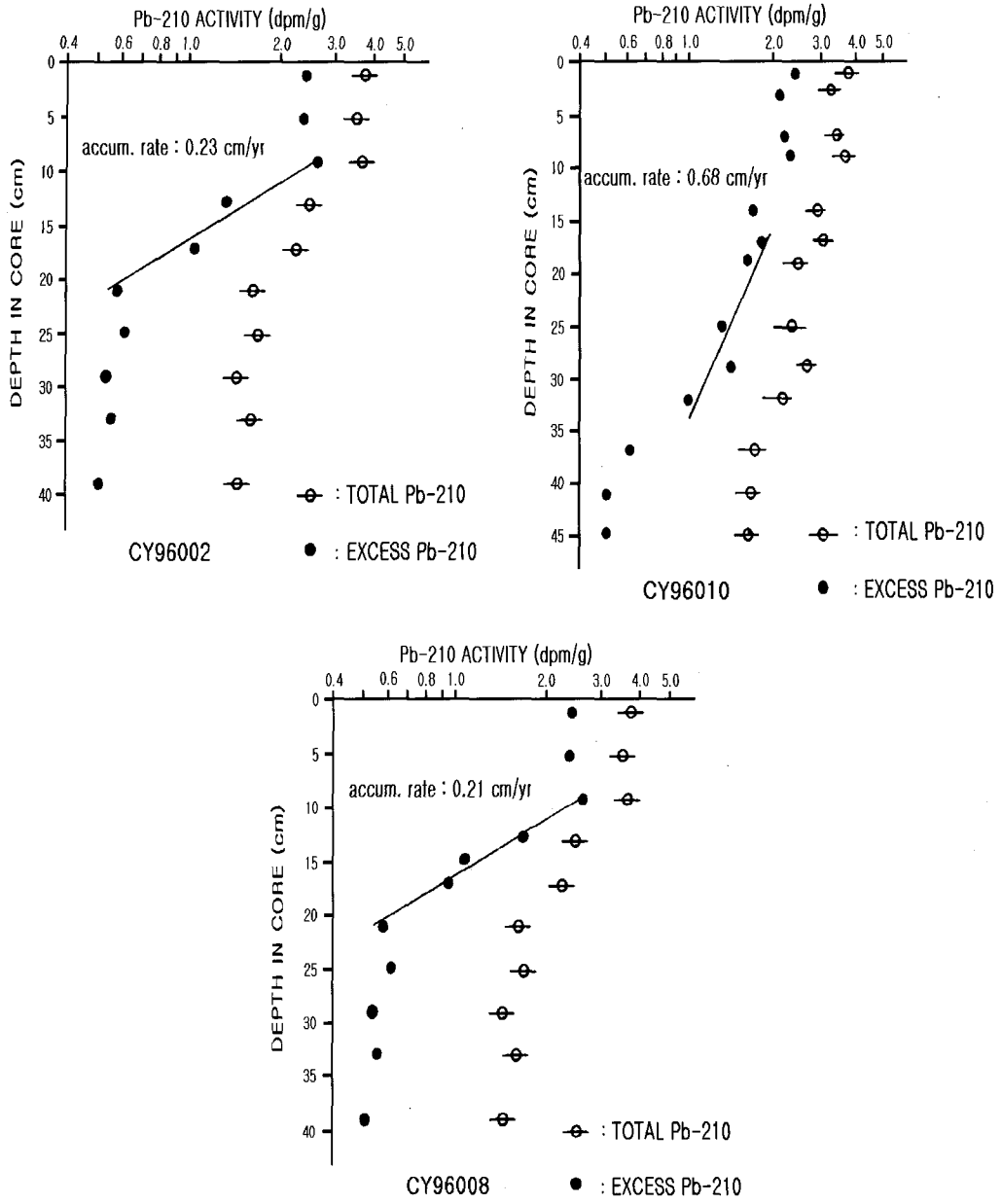

Fig. 7. A profile of Pb-210 activity from cores CY96010, CY96008 and CY96002 in the Central Yellow Sea.

전후에 퇴적된 퇴적물내의 초과량(excess) Pb-210 활동도 측정을 통하여 퇴적속도 결정에 효과적으로 이용되고 있다. Fig. 7은 연구지역에서 채취한 3개의 주상시료에서 깊이에 따른 Pb-210활동도를 나타낸 것이다. 이들 Pb-210profiles에서 물리적 및 생물체들이 작용에 의해 혼합되어 Pb-210활동도 값이 거의 균일한 표면혼합층 부분, 깊이에 따라 Pb-210 활동도 값이 대수함수적으로 감소하는 중간부분, 거의 일정하게 낮은 Pb-210활동도를 보이는 하부지역 등 3부분으로 구분된다. 따

라서 퇴적률 평가는 초과량 Pb-210활동도 분포가 대수함수적으로 감소하는 중간부분의 값들로부터 다음의 방정식을 이용하여 계산하였다(Nittrouer et al., 1979; Demaster et al., 1985).

$S = \lambda z/(\ln A_o/A_z)$

여기서 S : 퇴적률(cm/yr)

λ : Pb-210의 붕괴상수(0.031/yr)

Z : 퇴적물의 깊이(cm)

A_o : 표층에서 초과량 Pb-210활동도(dpm/g)

A_z : 깊이 Z에 초과량 Pb-210활동도(dpm/g)

Pb-210을 이용한 연구지역의 퇴적률은 0.21~0.68cm/yr로 지역에 따라 다르게 나타났다. 즉 황하강과 가까워지는 산둥반도 동쪽 정점 CY96010에서 퇴적률은 0.68cm/yr, 퇴적물의 flux되는 양은 0.714g/cm^2 · yr의 높은 값을 보였고, 황해 중앙부 해역의 정점 CY69008과 CY69002에서 퇴적률은 각각 0.21cm/yr, 0.23cm/yr이고, 퇴적물의 flux되는 양은 0.176g/cm^2 · yr 및 0.220g/cm^2 · yr으로 낮은 값을 보였다(Table 4).

이처럼 산둥반도 동쪽 지역(0.68cm/yr)에서가 황해 중앙부 지역(0.21cm/yr)보다 높은 퇴적률을 보이는 것은 황하 기원 퇴적물의 일부가 산둥반도 동쪽 해안을 돌아 황해 중앙부까지 이동되어 퇴적되고 있음을 의미한다. 이는 Alexander 등(1991)과 Saito and Yang(1994)가 지적한 황하강에 의해 운반되는 부유퇴적물 중 약 7.6×10^8 ton/yr는 하구 삼각주 지역에 퇴적되고, 1.3×10^8 ton/yr는 발해만 내에 퇴적되며, 나머지 1.6×10^8 ton/yr정도가 산둥반도를 돌아 황해 남부까지 운반되고 있다는 연구결과와도 일치한다. 한편, 황해 중앙부의 니토대지역 정점 CY96008에서 퇴적률이 0.21cm/yr로 이보다 더 남쪽에 위치한 정점 CY96002에서 0.23cm/yr로 고위도의 황해 중앙부보다 더 높은 퇴적률을 보이는 것은 남쪽으로부터의 퇴적물 공급이 있음을 의미한다.

결 론

연구지역 표층퇴적물의 유형은 모래, 니토질모래, 사질니토, 니토로 총 7개의 유형분포를 보이나 크게 보아 사질퇴적상이 분포하는 동쪽지역과 니질 퇴적상이 분포하는 서쪽지역으로 구분된다. 퇴적물 내 유기탄소 함량은 0.3~ 1.3%로 다양한 값을 보이며, 퇴적물의 평균입도가 감소함에 따라 그 함량이 증가하였고, 서쪽 중앙부의 니토대 분포지역에서 최대 함유량을 보였다. 탄산염은 2.8~10.5%의 범위를 보이고 서쪽 중국측이 한반도쪽보다 높은 함유량을 보였다. 황해 중앙부에 분포하는 니질 퇴적물은 황하의 영향을 받은 산둥반도 동쪽의 해역(정점 CY96010)에 비해 Sr/Ca, Ba/Sr 및 Th/ U 비 값이 높은 반면에, 산둥반도 동쪽의 시료에서는 Ca/Ti, Ca/K, Sr/Rb 및 Mn/Fe 비 값이 높아 이들은 다른 지화학적 특징을 보여 주었다. 황해 중앙부의 니질 퇴적물에서 Th/U 비 값이 3.1~4.3 범위를 보여 대륙기원 물질이 유입되고

Table 4. Pb-210 dating results from the core samples in the Central Yellow Sea

Sample Station	Location		Number of Linear Segments (n)	Linear Range (cm)	Water content (% dry wt.)	Bulk density (g/cm^3)	Initial specific activity of excess Pb-210 (dpm/g)	Intercept	Slope	Correlation coefficient	Sediment rate (cm/yr)	Sediment material flux (g/cm^2 · yr)	Pb-210 sedimentation flux (dpm/cm^2 · yr)
	Lat. (N)	Long. (E)											
CY 96002	35°00′	124°00′	10	34	39.05	1.57	2.257	2.407	-0.061	0.894	0.23	0.220	0.497
CY 96008	36°00′	124°00′	10	40	44.37	1.51	2.380	2.270	-0.076	0.891	0.21	0.176	0.419
CY 96010	37°00′	123°30′	13	46	35.16	1.62	2.418	2.460	-0.046	0.973	0.68	0.714	1.727

있음을 지시하고 있다.

황해 중앙부 해역 니질 퇴적물의 element/Al 비 값 중 Ca, Na, Sr, Ho, Y, Tm 및 Lu 원소들은 양자강보다는 높고, 황하퇴적물보다는 낮으나 이와 비슷한 함량특성을 보였고, 반면 Fe, Ti, Mg, Mn, Ni, Co, Cu 및 Pb 원소들은 황하보다는 높고, 양자강 퇴적물보다는 낮으나 이와 유사한 비 값을 보였다. 연구지역 니질 퇴적물의 element/Al 비 값이 금강보다는 낮으나 이와 비슷한 함유량을 보이는 원소는 K, Cu 이고, 황하나 양자강보다 높은 비 값을 보이는 원소로는 Rb, Zn, Li, Dy 및 U 들로 이들 두 강 이외의 타 기원 물질의 유입되고 있음을 의미한다.

연구지역 니질퇴적물 분포지의 퇴적률은 산둥반도 동쪽 해역에서 0.68cm/yr의 높은 값을 보이고, 황해 중앙부 해역은 0.21~0.23cm/yr로 낮은 값을 보여 황하 기원 퇴적물이 산둥반도를 돌아 황해 중앙부까지 이동되어 퇴적되고 있음을 의미한다. 또한 황해 중앙부 니토대의 퇴적률은 0.21cm/yr로 이보다 저위도에 위치하는 정점 CY96002에서 0.23cm/ yr로 다소 높은 퇴적률을 보이는데 이는 남쪽으로부터 황해 중앙부로의 퇴적물 공급이 있음을 시사한다.

사 사

이 연구를 수행함에 있어서 시료채취에 많은 배려를 해주신 제주대학교 아라호 직원 여러분과 실험에 도움을 준 해양학과 지질해양학 연구실 학생들에게 감사를 드립니다.

참고문헌

박용안, 최진용, 이창복, 김대철, 최광원. 1994. 한국서해 중부해역 대륙붕 퇴적물의 분포와 퇴적작용, 한국해양학회지, 29(4), 357-365.

이창복, 정희수, 정갑식. 1992. 황해 남동해역 표층퇴적물 중 수종 금속원속의 분포특성에 관한연구. 한국해양학회지, 27(1), 55-65.

조영길. 1994. 한반도 주변해역 퇴적물중 금속원소의 분포와 기원에 관한 연구. 이학박사 학위논문, 서울대학교, 61p.

천종화, 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 부유물 중 미량금속의 함량과 이동. 한국해양학회지, 30(5), 371-381.

Alexander, C. R., DeMaster, D. J. and Nittrouer, C. A. 1991. Sediment accumulation in a modern epicontinental-shelf setting : the Yellow sea. *Mar. Geol.*, 98, 51-72.

Beardsley, R. C., Limeburner, R., Hu, D., Le, K., Cannon, G. A. and Pashinski, D. J. 1983. Structure of the Changjiang plume in the East China Sea. Proceedings of International Symposium on Sedimentation on the Continental Shelf, with Special Reference to the East China Sea, China Ocean Press, Beijing, p.265-284.

Benninger, L. K., Lewis, D. M. and Turekian, K. K. 1975. The use of natural Pb-210 as a heavy metal tracer in the river-estuarine system. In : Marine Chemistry in the Coastal Environment ACS Sym. Series No. 18, p.202-210.

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, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 45, 1155-1172.

Chen, Y., Wang, X. and Wu, M. 1983. Geochemistry and material source of sediments in the East China Sea. Proceeding of International Symposium on Sedimentation on the Continental Shelf, with Special Reference to the East China Sea, China Ocean Press, Beijing, p.763-772.

Chough, S. K. and Kim, D. C. 1981. Dispersal of fine-grained sediments in the southeastern Yellow Sea : a steady-state model. *Jour. Sed. Petrol.*, 51, 721-758.

Demaster, D. J., Mckee, B. A., Nittrourer, C. A., Qian, J. and Cheng, G., 1985. Rates of sediment accumulation and particle reworking based on radiochemical measurment from continental shelf deposit in the East China Sea. *Cont. Shelf Res.*, 4(1), 143-158.

Folk, R. L. and Ward, W. C. 1957. Brazor river bar : a study in the significance of grain size parameters. *Jour. Sed. Pet.*, 27, 3-27.

Folk, R. L. 1968, Petrology of Sedimentary Rocks. Hamphill's, 170p.

Galehouse, J. S. 1971. Sedimentation analysis. In: Procedures in Sedimentary Petrology edited by Carver, R. E., Wiley - Interscience, p.69-94.

Goldberg, E. D. and Arrhenius, G. O. S. 1958. Chemistry of Pacific pelagic sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 13, 153-212.

Ingram, R. L. 1971. Sieve analysis. In: Procedures in Sedimentary Petrology edited by Carver, R. E., Wiley Interscience, p.49-68.

Keller, G. H. and Prior, D. B. 1986. Sediment dynamics of the Huanghe(Yellow River) delta and neiboring Gulf of Bohai, Peoples Republic of China : project overview. *Geo-Mar. Lett.*, 6, 63-66.

Kim, G. B., Yang, H. S. and Church, T. M. 1999. Geochemistry of alkaline earth elements(Mg, Ca, Sr, Ba) in the surface sediments of the Yellow Sea. *Chemical Geology*, 153, 1-10.

Kitano, Y., Sakata, M. and Matsumoto, E. 1980. Partitioning of heavy metals into mineral and organic fractions in a sediment core from Tokyo Bay. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 44, 1279-1285.

Koide, M., Soutar, A. and Goldberg, E. D. 1972. Marine geology with Pb-210. *Earth and Planetary Sci. Letter*, 14, 442-446.

Krishnaswamy, S., Lal, D., Martin, J. M. and Meybeek, M. 1971. Geochronology of lake sediments. *Earth and Planetary Sci. Letter*, 11, 407-414.

Lie, H. J. 1986. Summertime hydrographic features in the southeastern Huanghe. *Prog. Oceanog.*, 17, 229-242.

Lucas, H. F. 1975. Improved low-level alpha scintillation counter for radon. *Rev. Sic. Inster.*, 28, 680-683.

Milliman, J. D., Beardsley, R. C., Yang, Z. S. and Limeburner, R. 1985. Modern Huanghe-derived muds on the outer shelf of the East China Sea: identification and potential transport mechanisms Cont. *Shelf Res.*, 4(2), 175-188.

Milliman, J. D. and Meade, R. H. 1983. World-wind delivery of river sediment to the ocean. *Jour. Geol.*, 91, 1-21.

Moorby, S. A. 1983. The geochemistry of transitional sediments recorved from the Galspagos hydrothermal mounds field during DSDP Leg 70: implication for mound formation. *Earth and Planetary Sci. Letter*, 62, 367-376.

Niino, H. and Emery, K. O. 1961. Sedimenta of shallow portions of the East China Sea and South China Sea, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 72,

731-762.

Nittrouer, C. A., Sternberg, R. W., Carpenter, R. and Bennett, J. J. 1979. The use of Pb-210 geochronology as a sedimentological tool: application to the Washington continental shelf. *Mar. Geol.*, 31, 279-316.

Nohara, M., Kodama, Y., Dokiya, Y. and Ohyma, J. 1995. Origin of sediments from the Yellow Sea and the East China Sea : evidence from Sr isotope ratios. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 101(9), 739-742.

Park, Y. A. and Khim, B. K. 1992. Origin and dispersal of recent clay mineral in the Yellow Sea. *Mar. Geol.*, 104, 205-213.

Saito, Y. and Yang, Z. 1994. The Huanghe River : its water discharge, sediment discharge, and sediment budget. *J. Sed. Soc. Japan*, 40, 7-17.

Saito, Y. 1998. Sedimentary environment and budget in the East China Sea. *Bull. Coast. Ocean. Japan*, 36(1), 43-58.

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., and Kim(Eds), S. W., Marine geology and physical processes of the Yellow Sea, p.286-308.

Yang, S. 1998. Determinating of tracing of the Changjiang and the Huanghe sediments and provenance discrimination of Subei tidal sand body. The 4th International Symposium on the Marine Science of the Yellow Sea, Institute of Oceanology Qingdao, China, p.88-89.

Yang, Z. and Milliman, J. D. 1983. Fine-grained sediment of Changjiang and Huanghe River and sediment sources of East China Sea. Proceedings of International Symposium on Sedimentation on the Continental Shelf, with Special Reference to the East China Sea, China Ocean Press, Beijing, p.405-415.

Zhao, Y. Y., Qin, Z. Y., Li, F. G. and Chen, Y. W. 1990. On the source and genesis of the mud in the central area of the south Yellow Sea, China. *Jour. Oceanol. 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, 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. *The Yellow Sea*, 7(1), 22-26.

(Accepted : 2002. 6. 10)