

碩士學位論文

황해 중앙부해역 퇴적물의 지화학적 특성연구



濟州大學校 大學院

제주대학교 중앙도서관
海洋學科
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

李 皓 準

1999年 12月

황해 중앙부해역 퇴적물의 지구화학적 특성연구

指導教授 尹正守

李 皓 準

이 論文을 海洋學 碩士學位 論文으로 提出함

1999年 12月



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

李 皓 準의 海洋學 碩士學位 論文을 認定함

審査委員長 _____

委 員 _____

委 員 _____

濟州大學校 大學院

1999年 12月

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF SURFACE SEDIMENTS IN THE CENTRAL YELLOW SEA

Ho-Joon Lee

(Supervised by Professor Jung-soo Youn)

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF
SCIENCE**



DEPARTMENT OF OCEANOGRAPHY

GRADUATE SCHOOL

CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

December, 1999

List of Figures and table

Fig. 1. Bathymetry of the Yellow Sea	3
Fig. 2. Mud patches and upwelling areas	5
Fig. 3. Schematic representation of coastal current	6
Fig. 4. Station map	8
Fig. 5. Distribution of surface sediment type classification	10
Fig. 6. Areal distribution of the sorting of surface sediments on the Central Yellow Sea.	12
Fig. 7. Areal distribution of the mean grain size of surface sediments on the Central Yellow Sea.	13
Fig. 8. Areal distribution of CaCO ₃ concentration surface sediments on the study area	14
Fig. 9. Areal distribution of Organic Carbon concentration in surface sediments on the study area	15
Fig. 10. Areal distribution of Al and Ni, concentration in surface sediments on the study area	18
Fig. 11. Areal distribution of Cu and Zn concentration in surface sediments on the study area	19
Fig. 12. Areal distribution of Cr and Ca concentration in surface sediments on the study area	20
Fig. 13. Relationships between the metal content and meas size.	21
Fig. 14. Areal distribution of Mg and Fe concentration in surface sediments on the study area	26
Fig. 15. Areal distribution of Pb and Mn concentration in surface sediments on the study area	28
Fig. 16. Areal distribution of Co and Na concentration in surface sediments on the study area	29
Fig. 17. Areal distribution of K concentration in surface sediments on the study area	31
Fig. 18. A profile of Pb-210 activity from core CY96001 in the study area	35

Fig. 19. A profile of Pb-210 activity from core CY96008 in the study area	36
Fig. 20. A profile of Pb-210 activity from core CY96010 in the study area	37
Fig. 21. The transportation of trend of the Yellow Sea materials	39
Fig. 22. Histogram of Cs-137 activity in the Central Yellow Sea.	41
Table 1. Annual water and suspended sediment discharge for river on the Yellow sea(From Schubel 1984)	4



Abstract

This study concerns on the studies of distribution pattern and geochemical characteristics of surface sediments, and sedimentation rate for defining sedimentary environment on the Central Yellow Sea. In the studied area, the sediments were subdivided into seven textural classes, namely sand, muddy sand, clayey sand, sandy mud, mud, sandy clay, and so on. The sand facies are distributed in the northeastern tip region, whereas the sandy mud and sandy clay which is the fine sediments are distributed in the central area. The coarse sediments that is the muddy sand and clayey sand are north to south zonal distribution in the eastern part near the Korean peninsula side. The content of organic carbon which ranges from 0.30% to 1.30% in the sediment increased with the decrease of grain size, and that is the dominantly high concentration in the western part of mud patch region. The content calcium carbonate contents show ranges from 2.8% to 10.5%, and also commonly high concentration in western central part near the China side.

The total concentration of Al, Zn, Cu, Ni, and Cr increase western and northwestern part near toward the Shandong Peninsula and decrease eastern and southeastern part far away from the Haunghe River. This distribution pattern are well coincidence with grain size distribution. However, the patterns of Co, Pb, Mn do not follow such on overall distribution. For example, the high concentration of Co region is southern part of study area which area dominants coarse and fine-grained mixed sediments.

The use of Pb-210 geochronologies estimate to sedimentation rate shows range from 0.21 to 0.68cm/yr in the studied region. This suggests a maximum accumulation rate in the study region which given ignoring the mixing effect. The sedimentation rate in core CY96010 situated the eastern part of near the Shandong peninsula shows 0.68cm/yr, indicating that the terrigenous materials from the Huanghe river were supplied to this environment. However, the sedimentation rate for the core CY96008 and CY96001 which are situated in the central Yellow Sea mud patch region shows range from 0.21 to 0.23cm/yr, its

indicating that the decreased gradually sediment accumulation rates with the increase of distance from the source area.



목 차

List of Figures and Table	i
Abstract	iii
I. 서 론	1
II. 지역개관	2
III 재료 및 방법	7
1. 시료채취	7
2. 입도 분석	7
3. 화학원소 측정	7
4. 퇴적속도 측정	9
IV. 결 과 및 고 찰	9
1. 표층 퇴적물의 분포특성	9
2. 지화학적 연구	16
2-1. Al, Zn, Cu, Ni, Cr	17
2-2. Mg, Fe, Ca	24
2-3. Co, Pb, Mn,	27
2-4. Na, K	30
3. 퇴적속도	33
3-1. Pb-210 동위원소 연구	33
3-2. Cs-137 동위원소 연구	40
V. 결 론	42
참고문헌	44
Appendix	51

I. 서론

황해는 빙하의 발달과 후퇴에 따른 해수면의 빙하운동에 의하여 형성된 총면적이 약 400,000km²이고 평균수심이 약 38m인(chen, 1983) 대표적인 천해성 바다(epicontinental sea)로 북쪽에 보하이(Bohai)만과 연결되어 있고 삼면이 육지에 의해 둘러싸여 있으며 단지 남쪽 부분만이 외해인 동중국해와 연결되어 있다.

황해의 퇴적물은 대부분 중국의 황하강과 양자강 그리고 주위의 크고 작은 강들을 통해 유입되고 황해를 둘러싸고 있는 주위의 육지에 근원을 두고 있다(Niino, 1961; Chough, 1981; Lee and Chough, 1989; Alexander et al, 1991). Milliman and Meade(1983)는 연간 약 16억톤의 세립질 퇴적물이 황해로 유입되고 있는 것으로 보고하였고, 중국의 주요 강들로부터 유입된 퇴적물의 대부분은 황해의 서부와 중앙부에 퇴적되며 황해 동측부분의 상대적으로 좁은 해역은 한반도의 크고 작은 강과 하천들을 통해 한반도 주변 해역에 분포 퇴적되는 것으로 보고하였다(Chough and Kim, 1981; Klein et al, 1982). 그러나 한반도에 근원을 둔 퇴적물은 중국의 황하강이나 양자강에 비해 상대적으로 적은양이 황해로 유입되고 있지만 황해 동부해역의 높은 퇴적율을 고려할 때 한반도측의 세립질 퇴적물의 근원은 불확실한 것으로 보고되었다(Shepard, 1932; Emergy, 1961).

황해 퇴적물의 지질학적 특성과 한반도 서해 중부해역 대륙붕 퇴적물의 분포와 퇴적작용, 광물성분등 퇴적물의 지질학적, 물리학적 특성의 연구가 수행되어 많은 성과를 거두어 왔다. 특히 황해 동부해역과 남해 대륙붕 해역은 상대적인 황해 퇴적물의 근원지로서 가장 중요한 황하와 양자강 및 주변의 크고 작은 강들의 부유퇴적물의 화학성분과 이들을 식별할 수 있는 지화학적 연구가 근래에 들어 비교적 활발히 연구되어 왔다(서등, 1995; 최등, 1995; 조등, 1994; 김등, 1994; Lee and Chough, 1989; Alexander et al, 1991; Chen et al, 1983; Li et al, 1981; Yang and Milliman, 1983; Milliman et al, 1983).

황해퇴적물에 대한 지화학적 연구로서는 황해 동남해역의 표층퇴적물 중 금속원소의 분포특성에 관한 연구(이외, 1992), 황해 남부해역 표층 퇴적물의 C, N 및 중금속 함량(Yang et al, 1998), 남해 대륙붕 표층퇴적물중 중금속 원소의 분포특성(조외, 1993), 고군산군도 연안 현생 퇴적물의 조직 및 지구 화학적 특성 연구(서외, 1995), 금강하구 퇴적물의 지구화학적연구(Lee, 1989)등의 지구화학적 연구가 발표되었다. 그러나 황해 중앙부 해역 표층퇴적물 및 주상시료를 조직적으로 채취하여

방사지화학적 연구를 통한 본역 퇴적물의 분포상과 세립질 퇴적물의 공급지 및 퇴적속도를 평가하는 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구는 황해 중앙부 해역에서 채취한 총 13개 퇴적물 시료에 대한 입도분석, 화학분석, 탄산염분석, 유기물 연구를 통하여 이 지역 표층 퇴적물의 분포특성과 공급지를 파악하고 주상시료에 대한 Pb-210과 Cs-137의 동위원소 연구를 통한 퇴적속도를 밝히는데 중점을 두었다.

II. 지역 개관

황해는 중국의 황하강, 한반도의 강들로부터 부유물질을 공급받아 황해해역과 한반도 남서해안에 세립 퇴적물을 발달시키고 있으며, 한반도와 중국대륙을 잇는 반폐쇄형의 대륙 천해수역으로 북쪽으로는 발해와 연결되며, 양자강 하구역의 청도에서 제주도에 이르는 경계면을 따라 남쪽으로는 동중국해와 접해있다(Zhao, 1983). 황해 북쪽에 위치한 산둥반도가 바다쪽으로 돌출함에 따라 황해 북쪽 수역은 폭이 매우 좁으며(약 211km) 이는 황해를 남북으로 분할한다. 따라서, 총면적 약 400,000km²에 이르는 황해는 북쪽으로는 매우 좁은 형태를 보이고 있는 반면, 남쪽으로는 매우 넓은 양상을 보인다(park and Han, 1985; Chen, 1983). 해안선은 산둥반도의 남쪽수역을 따라 곧은 편이며, 나머지 수역에선 복잡한 해안선 구조를 보인다. 황해의 평균 경사는 1' 21" 이며 해저지형은 편평한 서부수역과 경사가 급한 동부 수역으로 구분이 뚜렷하며, 수심은 연안쪽에서 중심부로 갈수록 증가하여 중앙부에서 분리형 지형형태를 지역을 보인다(평균수심 44m, 북쪽수역 38m, 남쪽수역 46m)(Fig. 1). 해저지형의 윤곽은 해안선과 일치하여 대규모 조석사퇴(tide sand ridges)가 양자강 하구와 해주만 사이, 그리고 압록강과 대동강 사이 수역에 존재하며, 큰 것은 길이가 200km에 이른다. 이들 조석 사퇴는 손가락 모양과 같아서 황해의 해저지형은 매우 복잡하며, 수심변화 또한 매우 크다(과학기술처, 1996). 황해로 유입되는 하천으로는 중국대륙을 배수하는 황하강 그리고 한반도의 압록강, 한강, 금강 및 영산강이 대표적이다(Zhao, 1983). 황하와 양쯔강이 운반하는 육성 부유퇴적물의 양은 연간 16억톤으로 세계하천 운반량의 25%를 차지하며, 따라서 황해는 세계에서 가장 많은 양의 퇴적물을 공급받는 천해환경이다(Milliman and Meade, 1983).

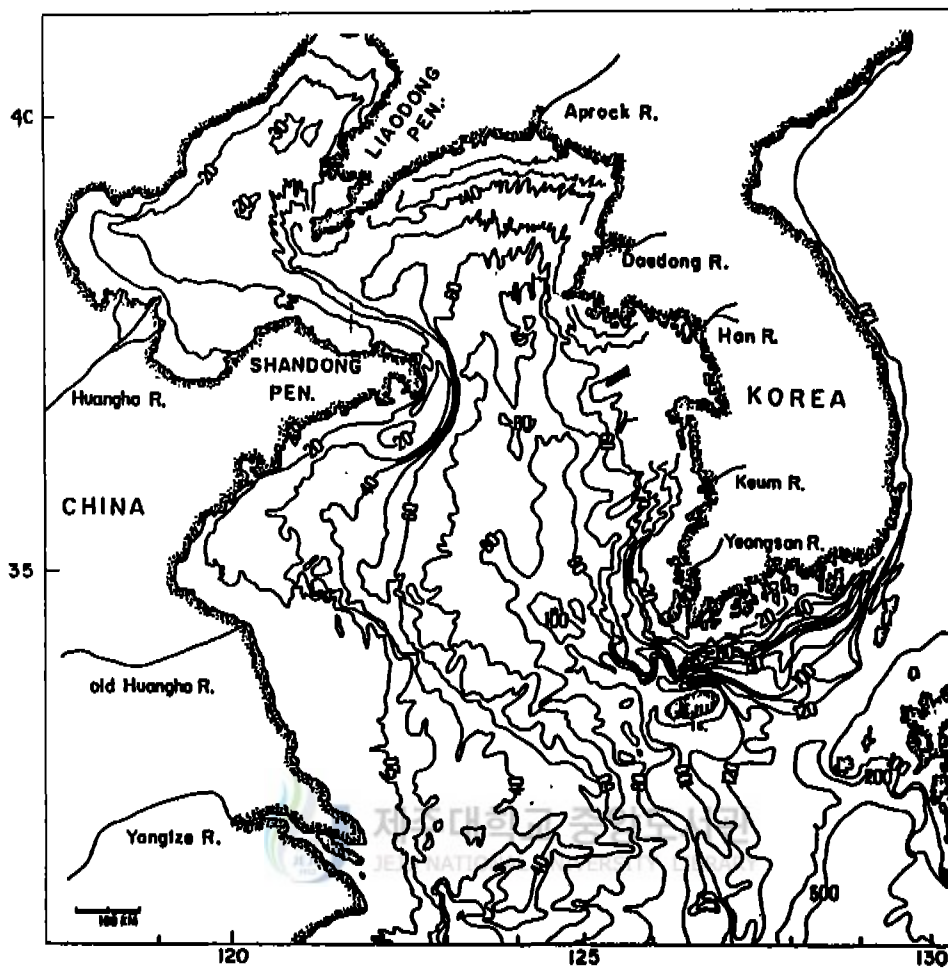


Fig. 1. Bathymetry of the Yellow Sea (Water depth in meters; After Khim, 1988)

황하로부터 공급되는 부유퇴적물의 양은 단일하천으로서는 세계에서 두 번째로 많은 연간 약 11억톤으로 황해 전체의 물질수급에 있어 가히 절대적인 영향을 미친다 (Yang, 1997). 황해로 유출된 황하강 퇴적물중 발해만을 벗어나 남쪽의 대륙붕 해역으로 이동되는 양은 전체 공급량의 9~15%에 해당되는 약 9,700만~1억6,200만톤 정도로 추정하고 있으며, 이는 황해의 동쪽으로 유입하는 한반도 하천 공급량의 약 30배에 달한다(Alexander et al., 1991). 이들 퇴적물의 이동은 주로 남하하는 황해 연안해류에 의해서 이루어지며, 제주도 남부해역에 이르기까지 그 이동이 지속되면서 황해대륙붕의 대부분을 피복하고 이로 인해 황해의 해저에는 황하기원으로 추정되는 현생 니질 퇴적층이 황해 중부해역과 제주도 남부해역까지 두껍게 발달되어 있으며(Hu, 1984)(Fig. 2), 특히 이들 니질 퇴적층은 대순환류가 형성되는 지역과 지리적으로 같은 위치에 있어 황해연안해류 뿐만 아니라 황해난류수에 의한 영향인 것으로 보고되고 있다(Zhu et al., 1990)

본 연구지역은 35~37° N, 123° 30' ~125° 00' E 에 위치하는 황해 중앙부 지역으로 황해로 퇴적물질을 공급하는 큰 강으로는 중국의 황하와 양자강, 한반도의 한강, 금강 및 영산강등이 있다. (Lee, 1989). 이들 강의 유출량과 운반하는 부유물질의 양은 Table 1과 같다.

Table 1. Annual water and suspended sediment discharge for river on the Yellow sea(From Schubel 1984)

River	Water(m ³)	Suspended sediment(tons)
Huanghe	4.43×10 ¹⁰	1.12×10 ⁹
Changjiang	9.24×10 ¹¹	4.86×10 ⁸
Amnok	3.47×10 ¹⁰	2.04×10 ⁸
Han	2.50×10 ¹⁰	-
Keum	5.00×10 ⁹	1.12×10 ⁸

한편, 연구지역에 퇴적물의 이동과 확산에 영향을 미치는 것으로 예상되는 해류로서는 Fig.3과 같이 북적도 해류에서 발원한 고온, 고염의 흑조(kurushio)이고 이로부터 분기한 황해난류수는 제주도 서방을 통과하여 황해로 유입되며, 보하이(Bohai)만으로 부터 시작된 황해 연안류는 40~50m의 등심선을 따라 하계에는 32° N까지, 동계에는 30° N, 126° E 까지 남하한다(Milliman et al. 1983; Butenko et

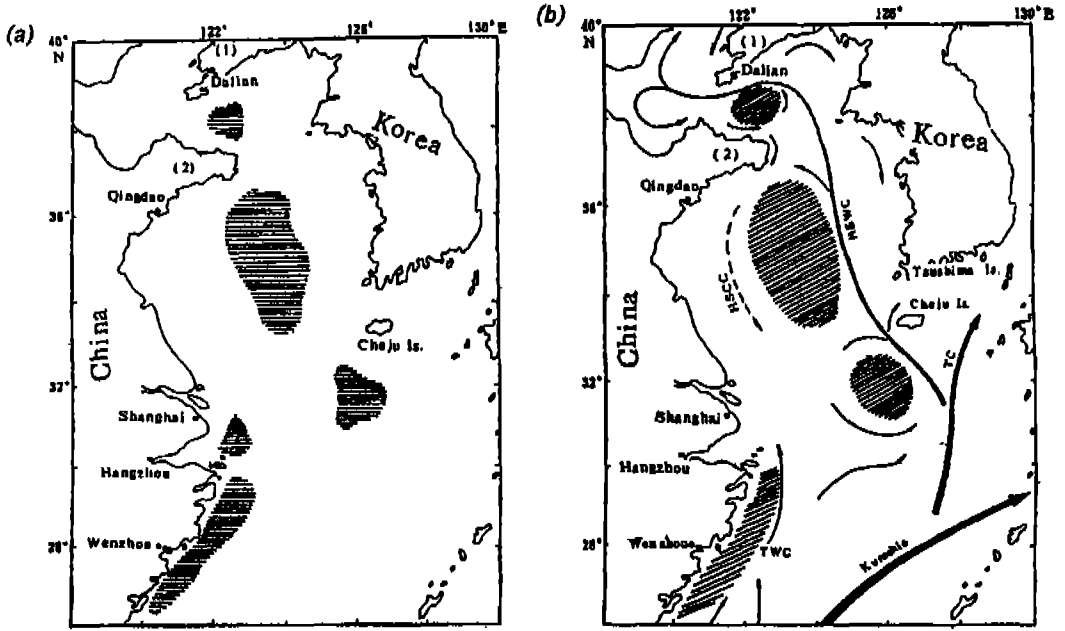


Fig. 2. Mud patches and upwelling area(Hu, 1984)



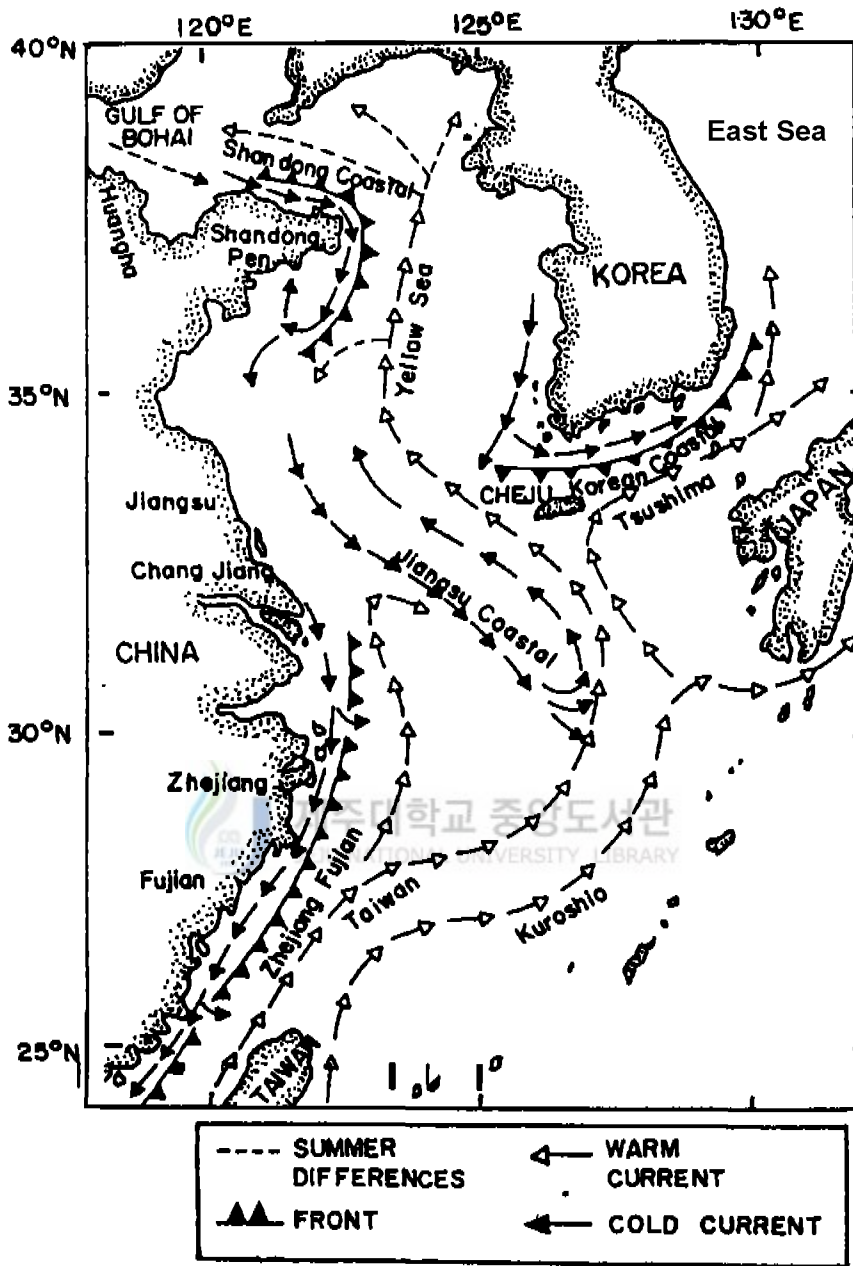


Fig. 3. Schematic representation of coastal current (Wells and Huh, 1984)

al, 1983). 또한 중국대륙 하천수의 유입에 의하여 형성된 저온, 저염의 중국대륙 연안수와 겨울철 대륙혼합에 의해 생성되는 황해저층냉수, 한반도 서해안에서 형성된 서남해안 연안수 등도 연구해역에 영향을 미치는 주요한 수괴들이다(윤, 1989; 방과 김, 1989).

III. 재료 및 방법

1. 시료채취

해상조사는 제주대학교 실습선인 아라호를 이용하여 1996년 8월27일부터 9월6일까지 북위 35° ~37° , 동경 123° 30' ~125° 00' 에 위치한 황해중앙부 해역에서 실시하였다(Fig. 4). 표층퇴적물은 Van Veen Grab Sampler를 사용하여 총 13개 정점에서 시료를 채취하였고, Gravity corer로 3개의 정점에서 주상시료를 채취하였다.

2. 입도분석

퇴적물 입도 분석은 Ingram(1971) 과 Galehouse(1971)의 방법에 따라 시료 40-50g를 취하여 회석법에 의하여 용해성 염분을 제거하여 시료를 6% H₂O₂로 유기물을 제거하였다. 유기물이 제거된 시료에 10% HCl로 패각편을 제거한 후에 0.0625mm(230mech)의 체를 사용하여 습식체질한 후 조립부와 세립부로 나누어 조립부는 1Ø 간격으로 Ro-tap sieve shaker를 사용하여 건식 체질한 후 입도별 중량 백분율을 구하였다. 세립부는 환산제 Calgon(sodium hexametaphosphate) 2g를 첨가하여 시료를 환산시킨 후 피펫방법에 의해 1Ø간격으로 분석한 후 입도별 중량 백분율을 구하였다. 이 결과를 Folk and Ward(1957)의 도식법에 따라 평균치, 분급, 왜도, 첨도 등의 조직표준치를 계산하였고 Folk(1968)의 삼각도표에 의해 퇴적물 유형을 분류하였다.

3. 화학원소 측정

중금속 농도는 혼합산 추출법을 이용하여 측정하였으며 (Kitano and Hujiyoshi, 1980), 잘 분마된 시료 약 2g를 정량 하여 테플론bomb(Teflon bomb)에 넣고, 진한 질

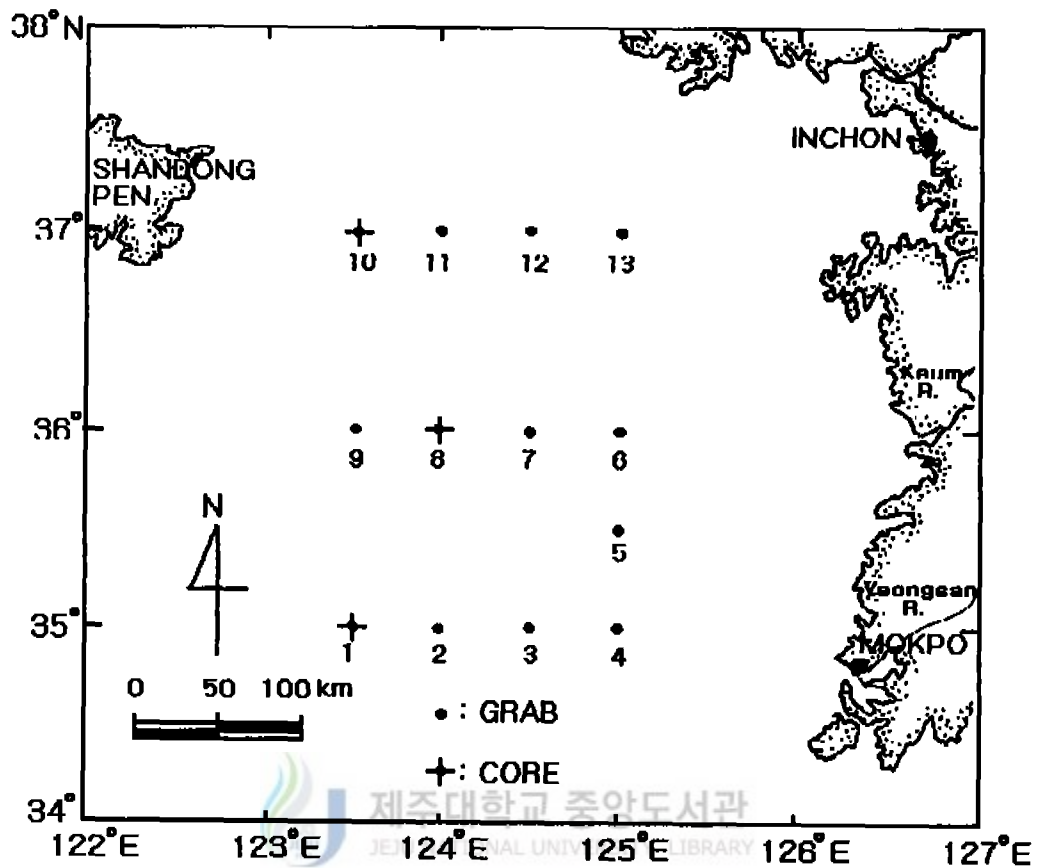


Fig. 4. Study area and sampling sites

산(HNO₃), 과염소산(HClO₄), 불산(HF)을 각각 3, 1, 1ml씩 첨가해서 밀봉한 채로 가열판위에 200℃를 유지하면서 약 6시간 동안 반응을 시킨 다음, 뚜껑을 개봉하여 산을 증발시켰다. 이 과정을 두 번 반복하여 잔류물을 완전히 용해시킨 후, 증발된 시료에 1M HNO₃을 7-8g 정도로 희석후 20-30분간 약 50℃로 가열 후에 20ml로 만들어 100배 희석하였다. 중금속 농도 측정은 금속의 13개 항목 (Al, Mg, Na, Mn, Cu, Cr, K, Co, Pb, Ca, Fe, Ni, Zn)에 대해 불꽃-원자흡광분석기(flame-AAS)를 이용하였으며, Cu, Ni, Cr, Pb는 100배 희석, Al, Co, Ca, Mn, Zn은 1000배 희석과 Fe, K, Mg, Na은 10000배로 희석하여 측정하였으며 Al은 아세틸렌 아산화질소불꽃을 이용했으며 다른 금속은 아세틸렌 air flame을 사용하여 분석하였다.

신뢰도를 높이기 위해 3번 측정하여 평균값으로 보정했으며 변화 폭이 큰 원소는 재 실험하여 측정하였다.

4. 퇴적속도 측정

황해 중앙부 해역에서 채취한 3개의 주상시료에 대하여 퇴적속도 측정을 위해 Pb-210과 Cs-137의 활동도(activities)를 측정하였다. 퇴적물의 함수량(Water content)은 2cm 두께로 분리된 시료를 60~70℃에서 건조시켜 측정하였고, Pb-210, Cs-137 활동도 및 supported Pb-210 활동도를 알기 위한 Ra-226 측정은 Nittrour et al(1979)의 방법과 동일하게 분말화된 시료 1kg을 플라스틱 박스안에 넣고 납으로 밀폐된 저온장치 내에서 Ge(li) Detector로 Gamma ray Spectrometer를 이용하여 24시간 동안 counts 하여 이들 동위원소들의 활동도를 측정하였다(Lucas, 1975; Benninger, 1978; Salmon and Creery, 1971).

IV. 결과 및 고찰

1. 표층퇴적물의 분포특성

연구지역 내에 분포하는 표층퇴적물의 유형과 그 입도특성은 appendix 1과 Fig.5에 나타나있다. 연구지역 표층 퇴적상의 유형은 sand(모래), muddy sand(니질사), clayey sand(점토질사), sandy mud(사질니토), mud(니토), sandy clay(사질점

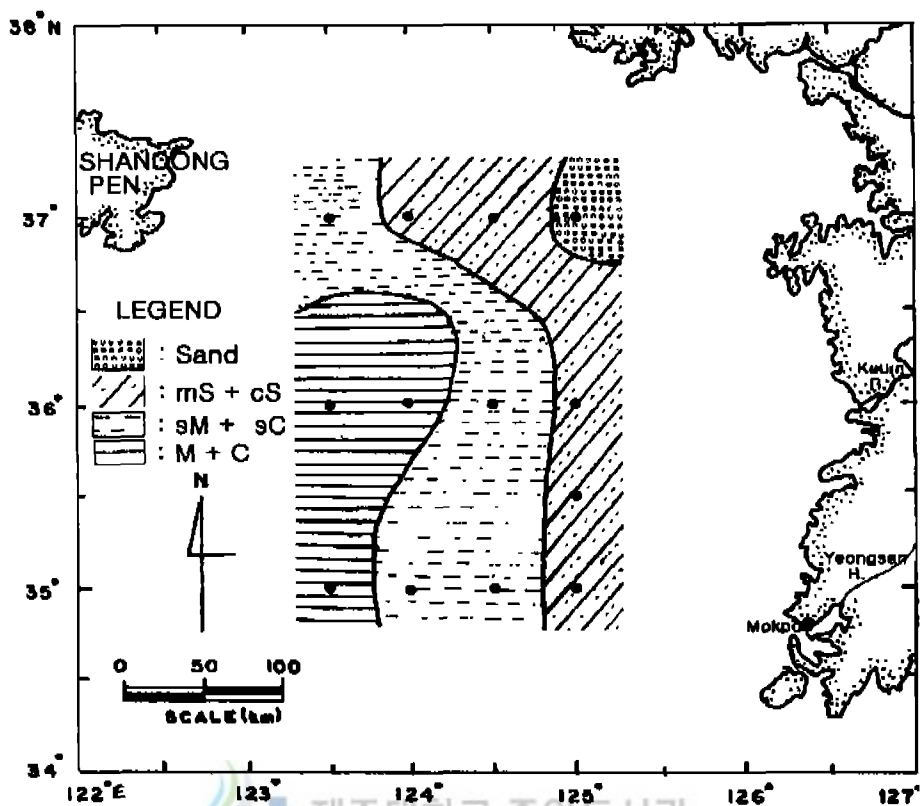


Fig. 5. Distribution of surface sediment type classification

Notes: mS: muddy sand, cS: clayey sand

sM: sandy mud, sC: sandy clay

M: mud, C: clay

토), clay(점토)등 7개의 유형으로 나누어지고, 크게 모래분포지역, 니질모래 분포지역, 사질니토분포지역 그리고 점토질 분포지역으로 분류된다. 모래 분포지역은 연구지역 북동끝쪽에 소규모로 분포하고 있으며 이의 조성은 모래 90.36%, 실트 5.42%, 점토 4.22%이고 평균입도는 2.67 ϕ 로 세립사에 해당하며 분급도는 1.73 ϕ 으로 다소 불량한 편이다(Fig. 6). 니질모래 퇴적상의 분포지역은 연구지역 동쪽과 북동쪽인 한반도 측에 남북방향으로 대상분포를 보이며 이의 평균조성은 모래 75.28%, 실트 11.19%, 점토 13.53%이고 평균입도는 3.68 ϕ 로 극세립 사에 해당하며 분급도는 2.05 ϕ 로 매우 불량한 편이다. 사질니토 분포지역은 사질니와 사질점토의 혼합퇴적상으로 연구지역 북서쪽에서 중앙부를 거쳐 남북으로 이어지는 띠의 형태로 분포하고 있다. 이 혼합퇴적상의 평균조성은 모래 26.21%, 실트 33.17%, 점토 40.57%이고 평균입도는 6.50 ϕ 로 세립질 실트에 해당하며 분급도는 2.70 ϕ 로 역시 불량한 편이다. 니토와 점토의 퇴적상을 가진 니질분포지역은 연구지역 서쪽인 중국측에 분포하며 이의 평균 조성은 모래 1.83%, 실트 32.92%, 점토 65.27%이고 평균입도는 8.50 ϕ 로 점토에 해당하며 분급도는 1.92 ϕ 로서 다소 불량한 편이다.

한편, 황하강으로부터 나온 퇴적물들은 보하이(Bohai) 만을 거쳐 산둥반도를 지나는 해류를 따라서 남황해역으로 부유 퇴적물들을 운반되는 것으로 보고되고 있다 (Milliman and Meade, 1983; Zhao, 1983). 연구지역 북서쪽역 즉, 산둥반도 남쪽 퇴적물들의 분포를 보면 정점 8과 9에서 다른 지역에 비하여 주로 니토(mud) 퇴적물들의 분포를 볼 수 있고 이 지역에서 동쪽으로 갈수록 점점 조립화 하는 경향을 보인다. 이와 같이 정점 8과 9에서의 아주 세립한 퇴적물들은 Fig. 5에서 보여지는 황해역 니토대 분포(mud path)지역에 해당된다. 이 황해중앙부의 니토대(mud patch) 분포지역은 Hu(1984)와 Alexander et al (1991)에 따르면 황해 서부를 흐르는 황하강, 황해난류수 및 겨울철에 강한 북서계절풍에 의한 재부유된 퇴적물을 퇴적시키는 와류(upwelling)가 발생하는 전선대 지역으로서 퇴적물 근원은 복합적인 형태로 구성되어 있음을 보고하였다. 이 니토대 분포지역에서 동쪽인 한반도 연안으로 향함에 따라 퇴적물 유형이 조립화 되며 퇴적물내 모래함량이 증가하는데 이는 평균입도의 분포도에서 확연히 나타난다(Fig. 7). 이러한 경향을 보이는 것은 황하강기원 퇴적물이 배출지로부터 멀어지면서 회석효과에 의한 근원지로부터 멀어진 곳에서의 퇴적이 미미하기 때문인 것으로 보여진다. (Yang and Milliman, 1983).

본 연구해역에서의 탄산염(Fig. 8)과 유기탄소(Fig. 9)의 분포를 살펴보면 탄산염

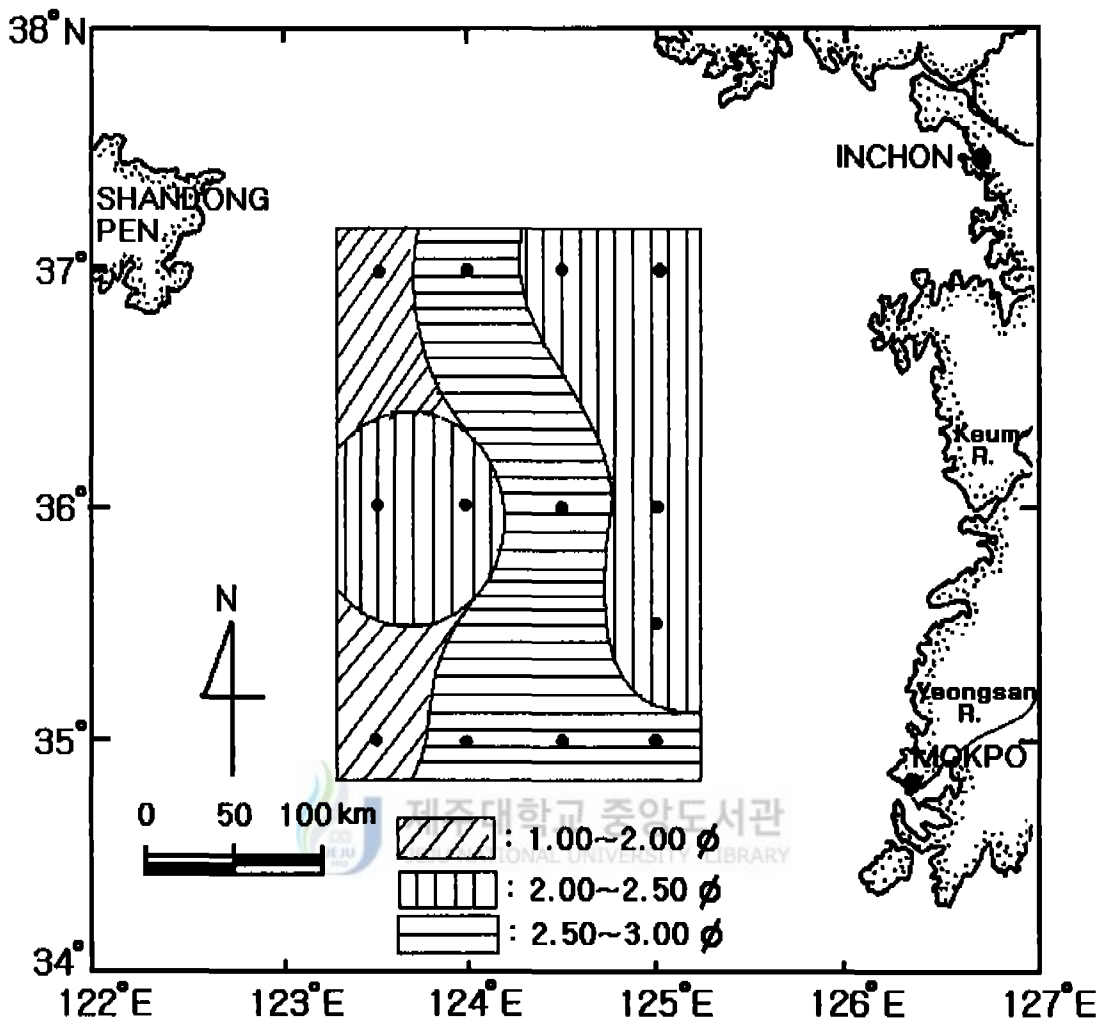


Fig. 6. Areal distribution of the sorting of surface sediments on the Central Yellow Sea.

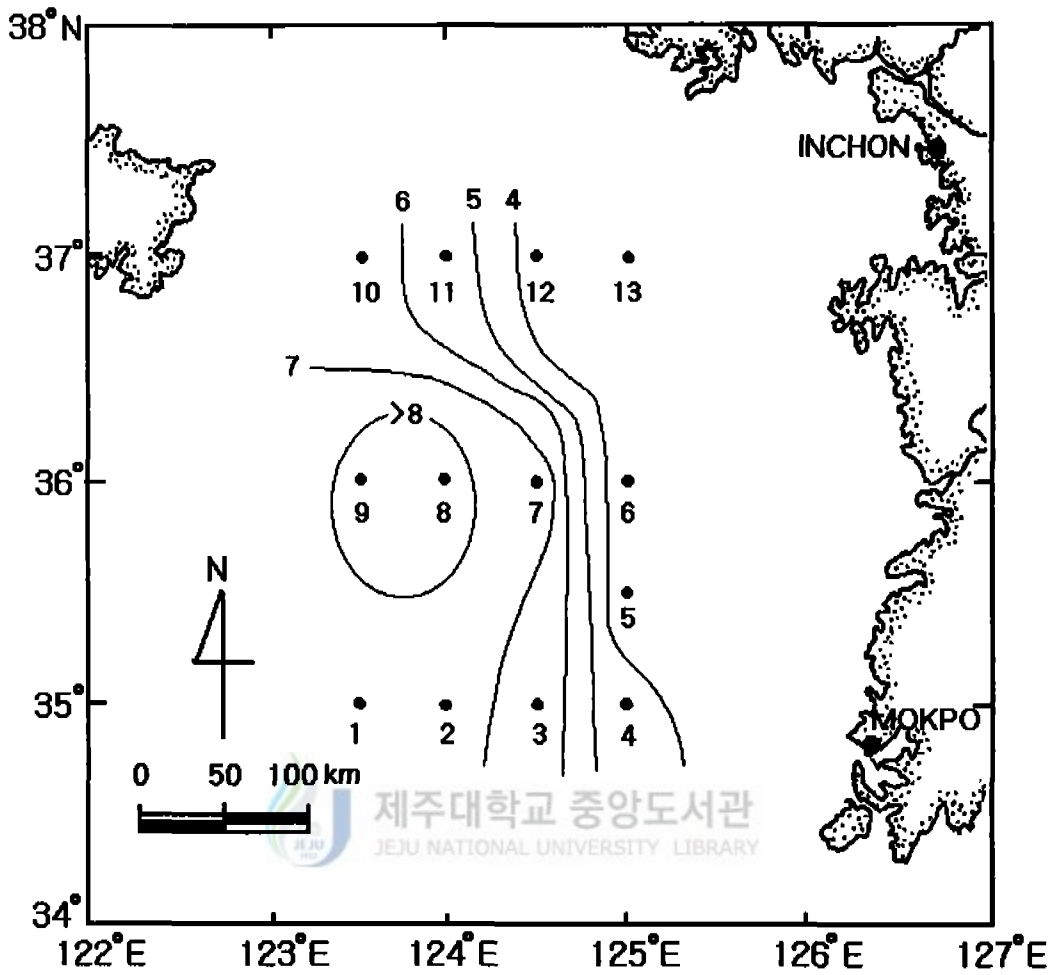


Fig. 7. Areal distribution of the mean grain size in surface sediments on the Central Yellow Sea.

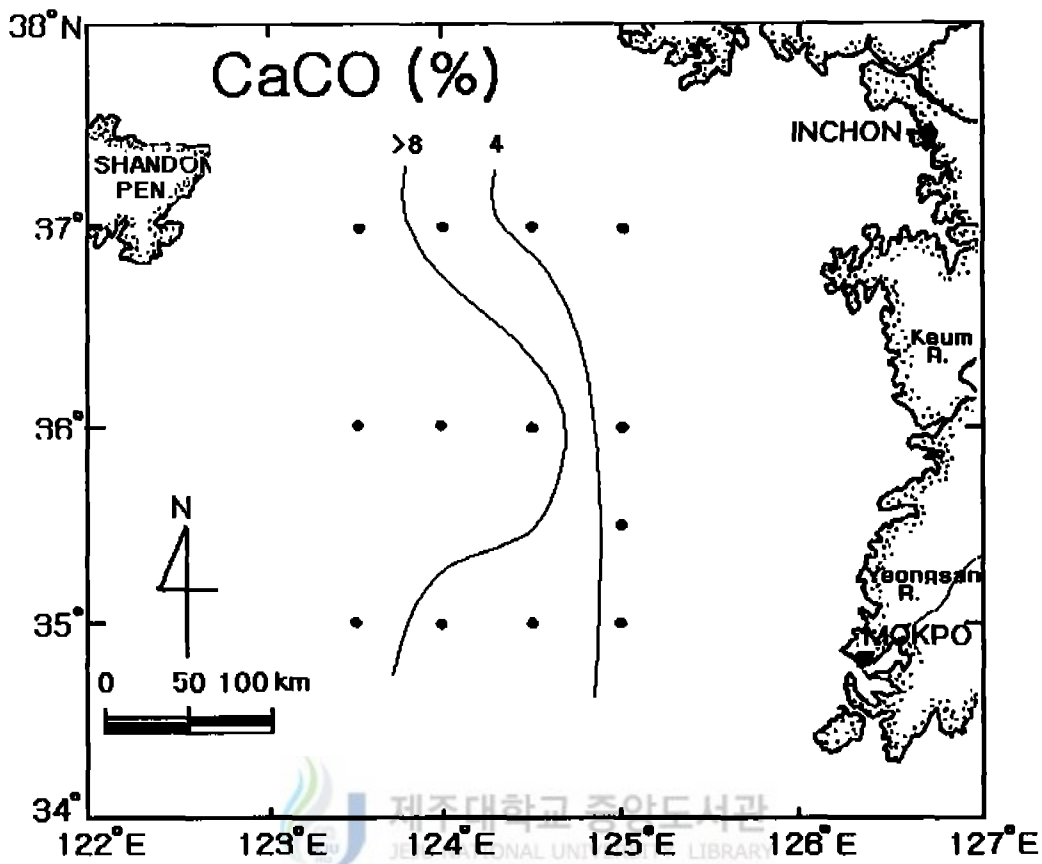


Fig. 8. Areal distribution of the CaCO₃ in surface sediments on the Central Yellow Sea.

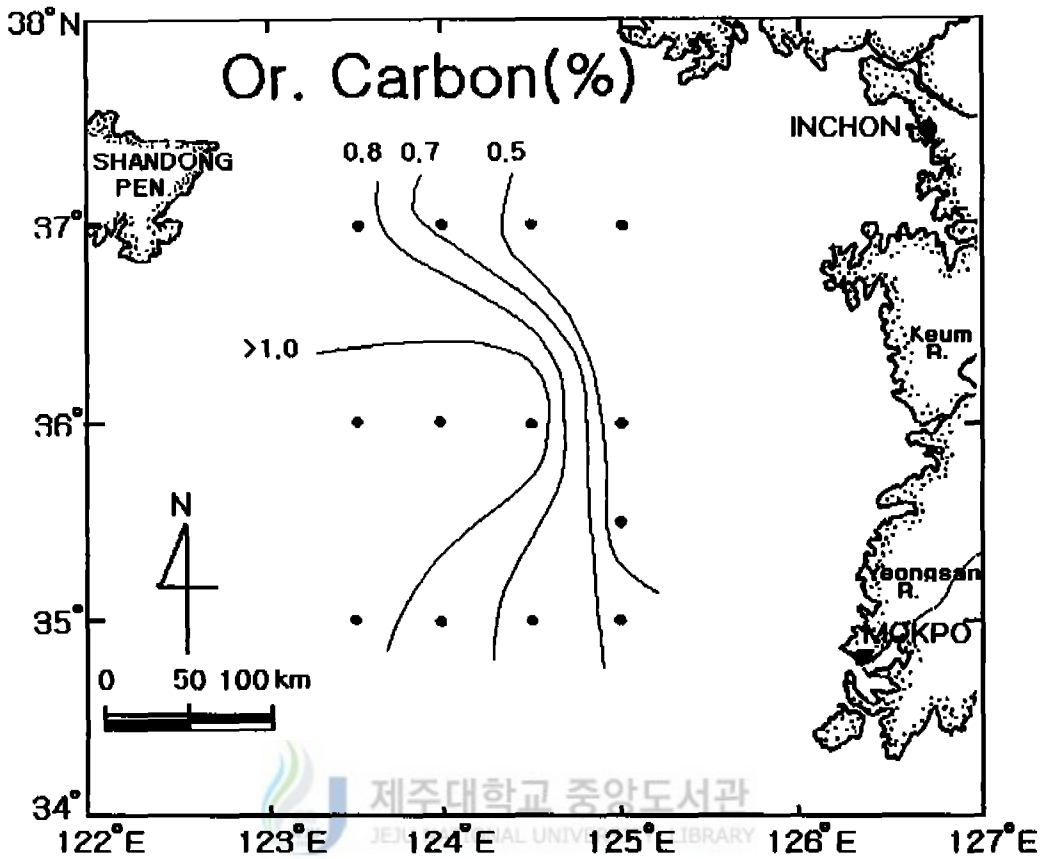


Fig. 9. Areal distribution of the organic carbon in surface sediments on the Central Yellow Sea.

은 2.8%~10.5%(평균 6.39%)이고 유기탄소는 0.30%~1.30%(평균 0.72%)의 함량변화를 보인다. 연구지역 퇴적물의 탄산염(CaCO_3)함량의 지역적 분포는 Fig. 8과 appendix 2에서 보는 바와같이 퇴적물 입도와 별 관계없이 산동반도와 근접한 조사지역 서측(st. 1, 8, 9)인 니토대 분포지역의 8%보다 큰값을 보이며 기타지역의 0.98%보다 약 1.8배 높은 함량분포를 보이고 동쪽에서 서쪽으로 향함에 따라 그 함량치가 점차 감소하는 경향을 보인다. 이는 황하기원 퇴적물에는 높은 Ca, Na 함량치를 보이는 기존의 연구결과와도 일치하며(Yang et al, 1983), 황하기원 퇴적물이 근원지로부터 멀어짐에 따라 회석에 의한 그 영향이 미미하기 때문인 것으로 보인다. 한편 연구지역 유기탄소 함량의 지역적 분포는 Fig. 9와 appendix 2에서 보는 바와같이 퇴적물 입도에 영향을 받아 니토대가 분포하는 연구지역 서측(st. 1, 8, 9)에서 1.20%로 기타지역의 0.58%보다 약 2.1배 정도의 높은 함유량을 보인다. 이는 본 연구해역에서는 퇴적물의 세립질 유형이 조립질 유형의 퇴적물 보다 유기물 축적이 높음을 의미한다. 또한 산동반도와 근접한 조사지역 동쪽(st. 10)에서 서쪽으로 향함에 따라 퇴적물 입도가 조립해 지고 수심이 증가하는 동쪽으로 향함에 따라 유기 탄소 함량이 감소하는 경향을 보이는데, 이는 근래에 산동반도 주변지역이 도시화의 발달에 따른 각종 공장들이 배치됨에 따른 각종 생활하수가 방출되기 때문인 것으로 해석된다.

2. 지화학적 연구

해양으로 유입되는 육성기원 물질은 육상에서 풍화와 침식에 의한 산물들로 주로 하천을 통하여 부유물 형태로 바다로 나오게 된다. 특히 미량 금속원소의 이동과 퇴적은 여러 퇴적물 부분과의 결합에 의해 이루어지기 때문에 이동매체가 환경에 대해 반응하는 고유특성에 따라서 이들 원소에 수반되는 변화가 다양하게 나타난다(Gibbs, 1977). 특히, 해양 퇴적물내 금속원소의 함량은 퇴적환경요인 즉, 퇴적물의 입도, 퇴적물의 광물조성, 그리고 인간활동에 의한 영향등에 의해서 그 함량과 분포가 달라지게 된다(Forstner and Salomons, 1980; Katz and Kaplan, 1981).

본 연구해역 표층퇴적물 13개 시료에 대하여 13종의 지화학적성분(Cu, Cr, Ni, Pb, Co, Mn, Zn, Ca, Fe, Mg, Na, K, Al)의 함량을 측정된 결과 Appendix 2와 같고 이들 원소들의 함량과 공간 분포는 다음과 같다.

2-1. Al, Zn, Cu, Ni, Cr

연구지역 표층퇴적물에서의 비슷한 지역적 분포양상을 보이는 금속원소를 보면 Al, Ni, Cu, Zn, Cr이 있다(Fig. 10, 11, 12). 이 원소들의 함량과 평균값을 보면 다음과 같다. Al은 5.25~9.50%(평균 7.47%), Ni은 20.90~54.00ppm(평균 34.25ppm), Cu는 3.78~16.50ppm(평균 9.63ppm), Zn은 31.77~68.16ppm(평균 50.61ppm), Cr는 20~72.69ppm(평균 41.24ppm)의 함량분포를 보인다. 이들 원소중 Al과 Ni원소의 함유량을 제외하고는 남해 대륙붕해역과 금강하구역의 타 환경에서 보고된 값과 비교할 때 낮은 값을 보였으며(조외, 1994), 황해 전 해역 퇴적물에 금속원소 함량과 비교할 때 본 연구 지역은 전반적으로 높은 값을 보였다(조등, 1993).

이들 금속원소와 퇴적물의 평균 입도와의 상관관계를 살펴보면 Al($r=0.73$), Ni($r=0.68$), Cu($r=0.96$), Zn($r=0.83$), Cr($r=0.85$)은 매우 양호한 정의 직선 상관관계를 보이며, 일반적으로 퇴적물 입도가 세립화 함에 따라 퇴적물내 상기 금속원소의 함유량이 증가하는 관련성을 보여준다(Fig. 13).

Al은 지각물질중에 가장 폭넓게 분포하는 원소들 가운데 하나로 풍화 또는 이동중에 거의 함량의 변화가 없으며 풍화산물인 점토광물의 주 구성원소로 알려져 있다. 육지의 하천으로부터 이동되는 Al은 전체이동량의 99% 이상이 고상의 형태로 이루어지며, 액상의 이동량이 매우 적은 전형적인 원소에 속한다(Martin and Meybeck, 1979). Al원소의 공간적인 분포는 Fig. 10에서 보는 바와 같이 연구지역 북서쪽 즉 황하강 배수구역에 가까운 산동반도 남동쪽 가까이에서 9.0%이상의 높은 값을 보이고 동쪽으로 향함에 따라 점차 감소하는 경향을 보여주고 있다. 또한 퇴적물 유형에 따른 Al원소의 함량은 니토내 퇴적물에서 8.64%, 사질니토 퇴적상에서 8.66%, 니질모래 퇴적상에서 6.25%, 모래 퇴적상에서 5.25%로 Al원소는 퇴적물의 입도가 이들 금속원소 함량을 조절하는 주요 원인으로 작용함을 지시해 주고 있다(appendix 2, fig. 10). 한편, Zn의 지역적인 분포는 Fig. 10과 같이 Al 분포경향과 유사하고 연구지역 서쪽에서 높은 값을 보이고 동쪽으로 향함에 따라 그 함유량이 감소하는 경향을 보인다. 퇴적물 유형에 따른 Zn의 함유량은 서쪽의 니토대에서 66.27ppm, 사질니토 퇴적상에서 52.83ppm, 니질모래 퇴적상에서 36.95ppm, 모래 퇴적상에서 33.0ppm으로 이 역시 Zn원소는 퇴적물의 입도가 이들 금속원소 함량을 조절하는 주요 원인으로 작용함을 지시해 주고 있다(appendix 2, fig. 10).

Cu는 오염형 중금속 원소로서 규산염 광물 가운데 감람석, 휘석, 각섬석, 흑운모

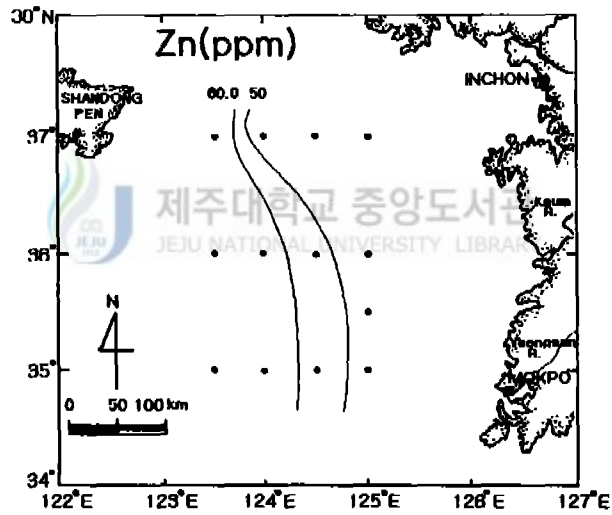
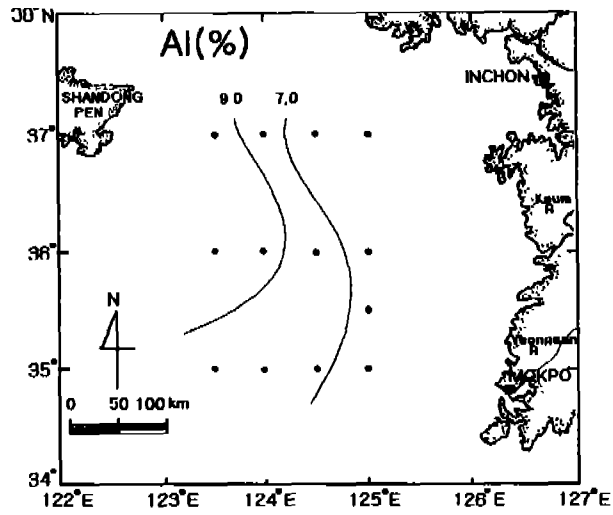


Fig. 10. Areal distribution of Al and Zn in surface sediments on the Central Yellow Sea.

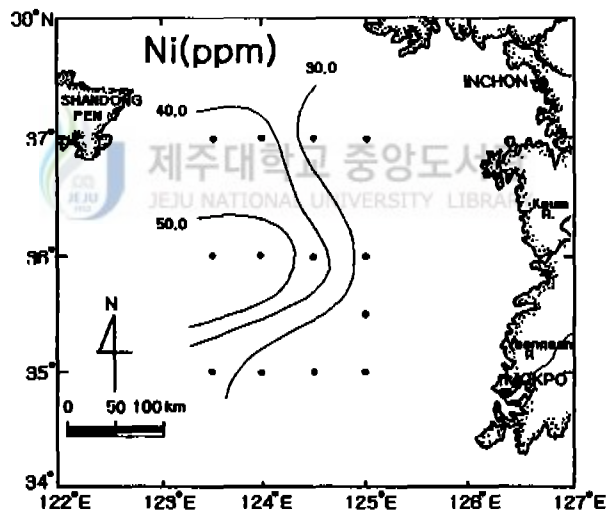
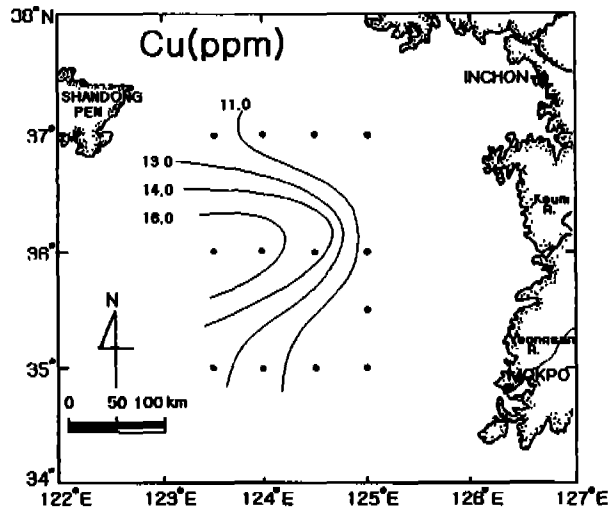


Fig. 11. Areal distribution of Cu and Ni in surface sediments on the Central Yellow Sea.

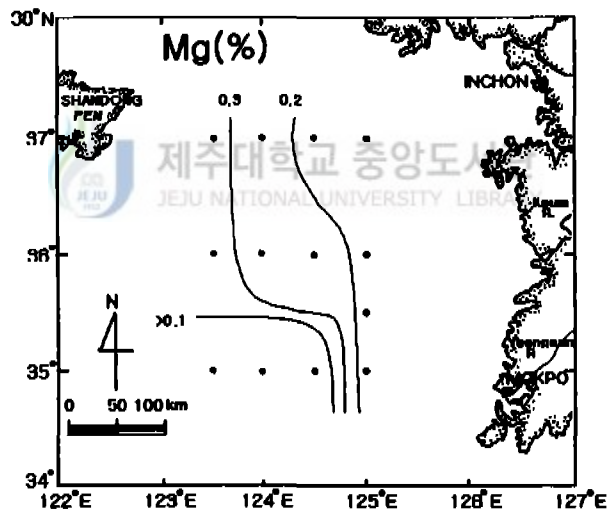
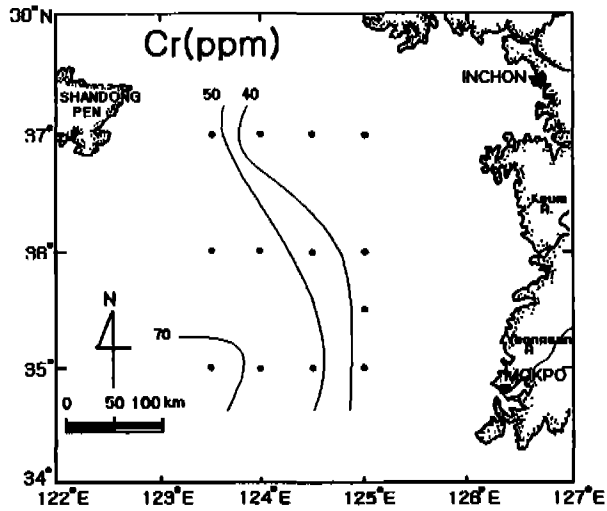


Fig. 12. Areal distribution of Cr and Mg in surface sediments on the Central Yellow Sea.

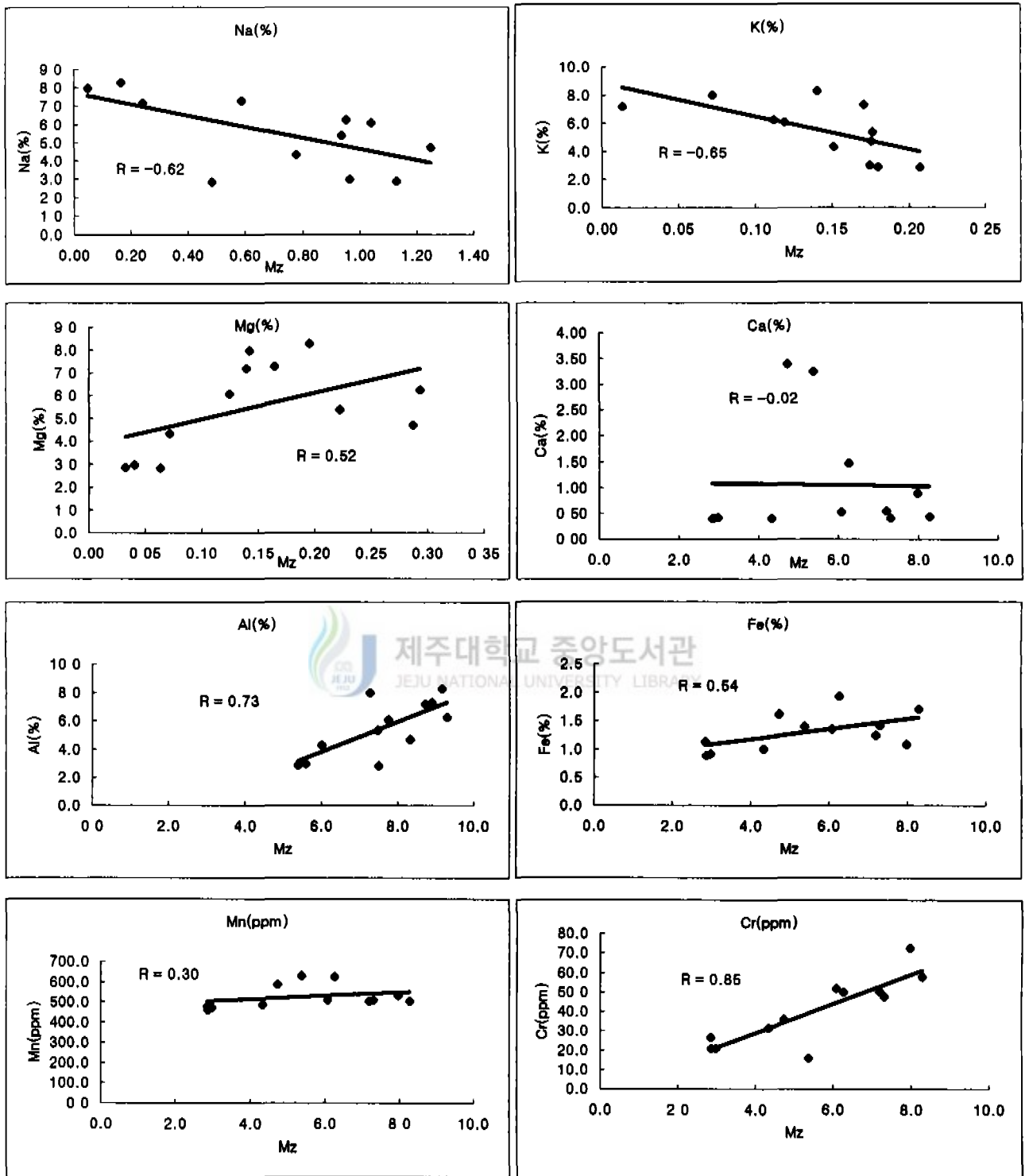
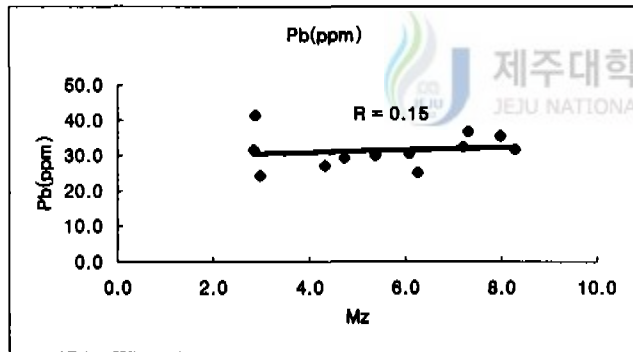
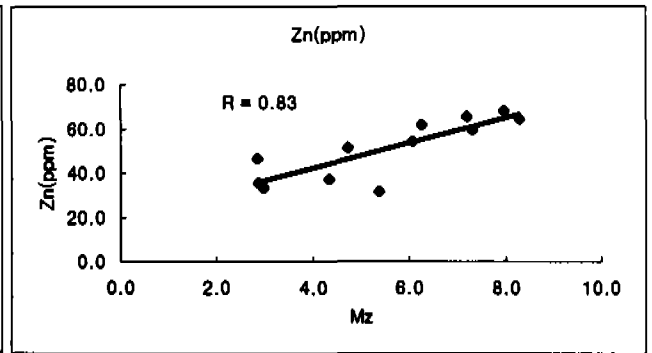
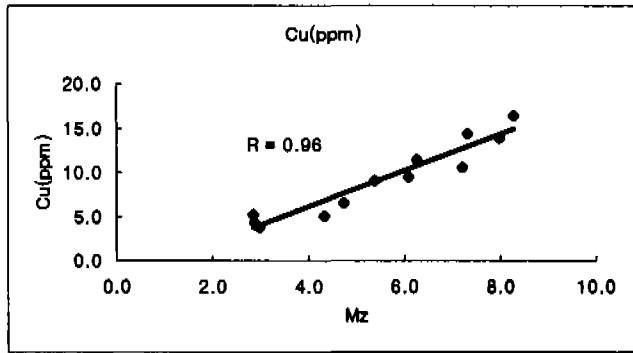
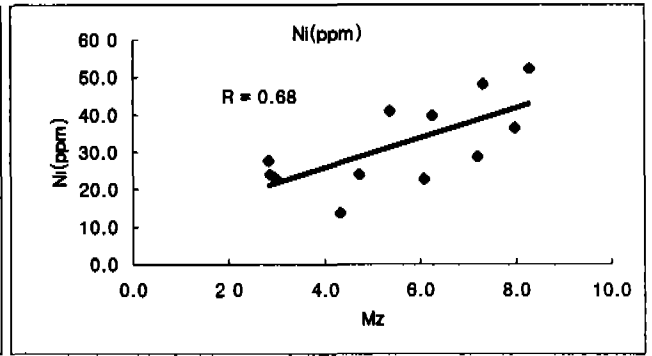
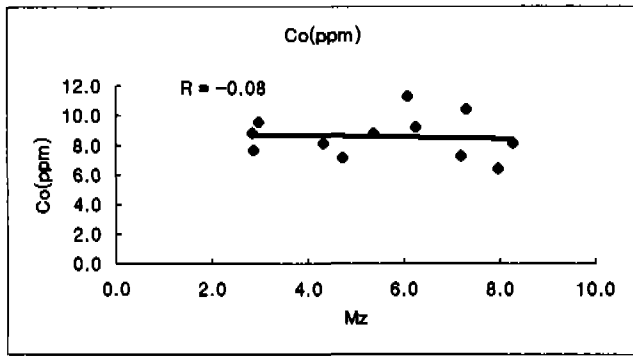


Fig. 13. Relationships between the metal content and mean size.(units in phi)



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Fig. 13. continued

등에서 함량이 높은 것으로 알려져 있다. 하천으로부터 공급되는 Cu는 전체 이동량의 50~90%가 고상으로서 세립퇴적물의 분포양상과 비슷하며 이 원소는 강한 입도의존성을 갖는 것으로 보고 되고 있다(Martin and Meybeck, 1979). Cu원소의 공간적인 분포는 Fig. 11에서 보는 바와 같이 연구지역 서쪽 즉 산동반도 남쪽해역에서 13.0ppm 이상의 높은 값을 보이고 동쪽인 한반도 측으로 향함에 따라 점차 감소하는 경향을 보여주고 있다. 또한 퇴적물 유형에 따른 Cu원소의 함량은 중앙부 니토대 퇴적물에서 15.59ppm, 사질니토 퇴적상에서 11.59ppm, 니질모래 퇴적상에서 5.52ppm, 모래 퇴적상에서 4.35ppm으로 Cu원소 역시 퇴적물의 입도가 이들 금속원소 함량을 조절하는 주요 원인으로 작용함을 지시해 주고 있고(appendix 2, fig. 11), Ni의 지역적인 분포는 Fig. 11과 같이 Cu의 분포경향과 유사하고 연구지역 서쪽에서 높은 값을 보이고 동쪽으로 향함에 따라 그 함유량이 감소하는 경향을 보인다. 퇴적물 유형에 따른 Ni의 함유량은 서쪽의 니토대에서 47.58ppm, 사질니토 퇴적상에서 35.5ppm, 니질모래 퇴적상에서 27.92ppm, 모래 퇴적상에서 20.9ppm으로 이 역시 Ni원소는 퇴적물의 입도가 이들 금속원소 함량을 조절하는 주요 원인으로 작용함을 지시해 주고 있다(appendix 2, fig. 11).

Cr은 iron group에 속하는 전이 금속원소로서, 하천을 통한 이 원소의 이동은 전체의 90% 이상이 고상의 형태로 이루어지고(Martin and Meybeck, 1979), 이 원소는 오염에 매우 민감한 원소이다(Martin and Meybeck, 1979). Cr원소의 공간적인 분포는 Fig. 12에서 보는 바와 같이 연구지역 남서쪽 즉 산동반도 남서쪽 끝해역에서 72.69ppm의 높은 값을 보이고 전반적으로 서쪽에서 동쪽으로 향함에 따라 점차 감소하는 경향을 보여주고 있다. 퇴적물 유형에 따른 Cr원소의 함량은 니토대 퇴적물에서 63.21ppm, 사질니토 퇴적상에서 50.09ppm, 니질모래 퇴적상에서 25.23ppm, 모래 퇴적상에서 20.0ppm으로 Cr원소도 퇴적물의 입도가 이들 금속원소 함량을 조절하는 주요 원인으로 작용함을 지시해 주고 있고(appendix 2, fig. 12),

이처럼 연구지역내 퇴적물에서 Al, Cu, Ni, Zn, Cr은 함유량의 입도 의존적 함량 변화를 보일뿐만 아니라 산동반도 주변 지역에서는 입도와 미미한 관계를 보여 연안역에서 높고 동쪽 외해역으로 감에 따라 그 함유량이 점차 감소하는 경향은 최근 산동반도 주변 연안역의 공장 시설들이 증가됨에 따른 배수구역에서 발생하는 오염원의 영향 및 유입원소에 기인되는 침수역의 지질등에 기인되는 것으로 사료된다(Zhang et al, 1988). 또한, 이러한 분포경향은 황하강으로부터 유출되는 퇴적물들이

보하이(Bohai) 만을 거쳐 산둥반도를 지나 남하하는 해류를 따라서 남황해역으로 부유 운반되는 것으로 보고된 기존의 연구결과와 이들 원소들의 공간적인 분포경향은 일치하고 있다(Milliman and Meade, 1983; Zhao and Yu, 1983). 특히, 연구지역 중앙부 니토대(mud patch)지역이 상기 금속원소들이 함량이 기타지역보다 높은 값을 보이고 이 지역이 Hu(1984)의 연구에서 보여준 황하강 및 주변 강들에 의해 유입된 부유 퇴적물들의 퇴적이 진행되는 와류(upwelling)가 발생하는 전선대 해역으로서 복합기원 세립질 퇴적물이 집적되는 지역과 일치하고 있다(Zhao, 1990).

2-2 Mg, Fe, Ca

Mg, Fe, Ca의 함량과 평균값을 보면 다음과 같다(appendix 2). Ca는 0.40~1.48%(평균 0.62%), Mg는 0.03%~0.32%(평균 0.15%), Fe는 0.89~1.94%(평균 1.29%)의 함량분포를 보인다. 이 원소들의 함유량은 남해 대륙붕해역과 금강하구역 그리고 황해 전 해역 퇴적물에 금속원소 함량과 비교할 때 본 연구 지역은 전반적으로 낮은 값을 보였다(조동, 1993, 조외, 1994).

이들 원소들과 퇴적물의 평균 입도와의 상관관계를 살펴보면 Ca($r=-0.02$), Mg($r=0.52$), Fe($r=0.54$)로서 Ca를 제외하고는 다소 양호한 정도의 상관관계를 보인다(Fig. 13).

이 두 원소의 공간적인 분포를 살펴보면 다음과 같다. Mg는 Fig. 12에서 보는 바와 같이 산둥반도 남동쪽 가까이에서 0.32%로 높은 값을 보이며 연구지역 남쪽인 st. 1, 2, 3에서 각각 0.143%, 0.140%, 0.125%의 적은 값을 보이고 또한 동쪽으로 함함에 따라 감소하는 경향이 있다. 퇴적물 유형에 따른 Mg원소의 함량은 니토내 퇴적물에서 0.50%, 사질니토 퇴적상에서 0.08%, 니질모래 퇴적상에서 0.117%, 모래퇴적상에서 0.18%로 Mg원소는 퇴적물의 입도가 이 원소의 함량을 일부 조절하는 원인임을 시사해 주고 있다(appendix 2, fig, 12). 즉, Mg원소는 해양 퇴적물의 주요 점토광물인 스멕타이트에서 비교적 높은 함량을 보이는 주성분원소로서 퇴적물중의 Mg 함량은 퇴적물의 세립질 성분과 관련성을 보인다는 결과와 일치한다(Krauskopf, 1956). 한편, Fe의 지역적 분포는 산둥반도 남동쪽(st. 9, 10) 가까이에서 1.94%로 높은 값을 보이며 Mg와 유사하게 연구지역 동쪽으로 갈수록 감소하기는 하나 연구지역 남쪽지역인 st. 3에서 1.36%의 값이 보인다. 퇴적물 유형에 따른 Fe원소의 함량은 니토내 퇴적물에서 1.51%, 사질니토 퇴적상에서 1.49%, 니질모래 퇴적상에서

1.07%, 모래 퇴적상에서 0.95%으로서 Fe원소는 퇴적물의 입도가 이 금속원소의 함량을 조절하는 주요원인임을 지시해 주고 있다(appendix 2, fig. 14). 이처럼 Fe 원소가 산동반도와 가까운 지역에서 높은 함유량을 보이는 것은 최근 산동반도 주변 연안역의 급격한 도시와의 집중에 따른 각종 생활하수등의 유입에 의한 퇴적물내 Fe 함유량이 증가하는 현상일 것으로 해석된다.

Ca는 점토광물에서 그 함량이 낮은 것으로 알려져 있다(Goldberg, et. al. 1958). Ca의 분포에 영향을 미치는 탄산염 물질은 거의 대부분이 생물기원의 패각으로 구성된다(Choi, 1989). Ca의 공간적인 분포는 Fig. 14에서 보는 것과 같이 연구지역 북서쪽 지역 즉, 황하강 배수구역에 가까운 산동반도 남동쪽 가까이에 있는 st. 10, 11에서 1.3%이상의 높은 값을 보여주고 있고 또한 연구지역 남서쪽 끝인 st. 1에서 0.89%의 비교적 높은 값을 보이고 있다. 즉, 연구지역 서측인 중국쪽이 동쪽지역의 한반도측 보다 높은 함량치를 보여주고 있다. 퇴적물 유형에 따른 Ca원소의 함량은 니토내 퇴적물에서 0.595%, 사질니토 퇴적상에서 0.746%, 니질모래 퇴적상에서 0.581%, 모래퇴적상에서 5.25%으로 나타나며 퇴적물의 평균입도와와의 상관관계가 $r=-0.02$ 로서 부의 상관관계를 보여 퇴적물의 입도분포 상태와 일치하며, 니질퇴적상 보다 사질퇴적물에서 대체로 높은 함량치를 보여주고 있다.

황하기원 퇴적물의 두드러진 특징은 그 근원지가 중국 북부의 한냉·건조하고 표액작용(leaching)이 활발한 황토(loess)가 운반 퇴적된 것이므로 Ca 함유량이 높고 방해석과 녹니석이 풍부하다는 것이다(Qin et al., 1983; Yang et al., 1983; Milliman et al., 1983). 따라서 퇴적물 입도에 별 관계없이 중국 산동반도와 가까운 연구지역 서쪽과 남서쪽 끝 지역에서 Ca 함유량이 높고 동쪽으로 향함에 따라 점차 감소하는 것은 황하강 기원 부유퇴적물이 본 연구 일부지역까지 flux 되고 있음을 시사해 주고 있다. 즉, 황하기원 부유퇴적물의 이동기작(mechanism)으로서는 보하이만(Bohai)으로부터 시작된 황해 연안류는 40~50m의 등수심선을 따라 하계에는 32° N까지, 동계에는 30° N, 126° E 까지 남하하고(Milliman et al. 1983; Butenko et al, 1983), 겨울철 폭풍우 기간동안 황해역에서 재부유된 세립질 퇴적물이 강수 연안류와 같은 독특한 순환 패턴에 의해 황하기원 부유 퇴적물이 연구지역까지 이동·퇴적이 가능하다는 것이다(Milliman et al., 1983).

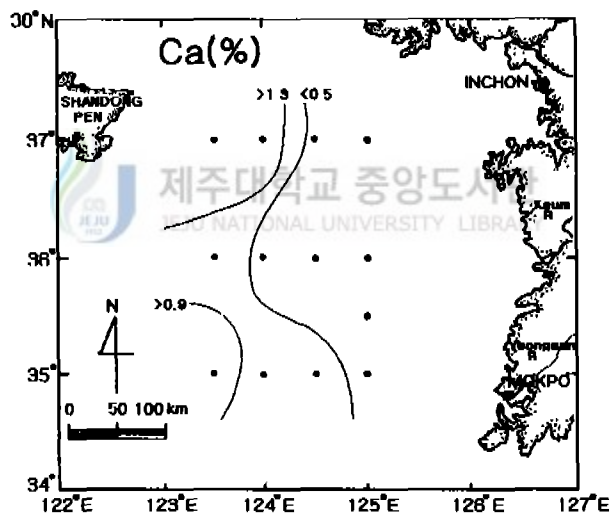
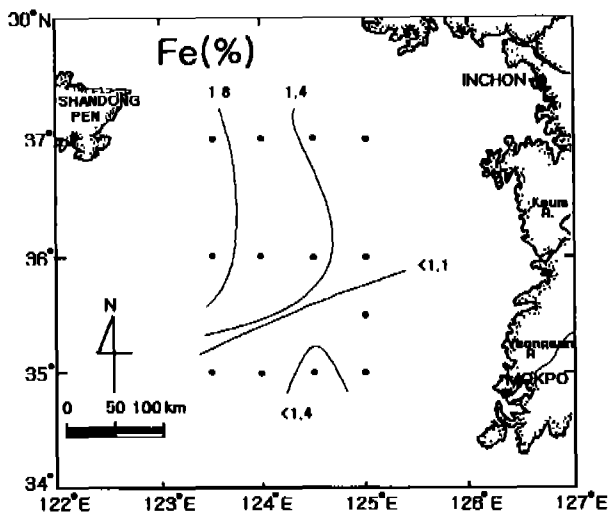


Fig. 14. Areal distribution of Fe and Ca in surface sediments on the Central Yellow Sea.

2-3 Co, Pb, Mn

Co, Pb, Mn의 함량과 평균값을 보면 다음과 같다(appendix 2). Co는 6.43~1.30ppm(평균 8.59ppm), Pb는 24.40~42.1ppm(평균 32.43ppm), Mn은 450~631.04ppm(평균 515.71ppm)을 보인다. 이들 원소중 Pb는 경기만의 값과 거의 비슷한 값을 보였으며 다른 지역인 황해 전지역의 평균값과 금강하구의 값보다는 낮은 값을 보였고, Mn은 황해전지역 평균값보다는 적은 값을 그리고 금강하구나 경기만에서의 값보다는 높은 값을 보이고 있었으며 Co경우는 위의 지역에서 보다 적은 값을 보이고 있었다(조등, 1993; 조외, 1994).

이들 원소들과 입도와의 상관관계를 보면 Pb($r=0.15$), Mn($r=0.30$), Co($r=-0.08$)으로서 높지 않은 상관관계를 보이고 있다(fig. 13).

Co는 iron group에 속하는 전이 금속원소로서, 하천을 통한 이 원소의 이동은 전체의 90%이상 이 고상의 형태로 이루어진다(Martin and Meybeck, 1979). 그림 Fig. 15에서 보는 것과 같이 이 원소의 공간적인 분포는 연구지역 남동쪽 지역인 st. 3에서 11.30ppm으로 최대값을 보이며 주위의 핵(core)이 남쪽에서 북쪽으로 형성하고 있으며 서쪽으로 향함에 따라 점차 감소하는 경향을 보이고 있다. 또한 퇴적물 유형에 따른 Co원소의 함량은 니토대 퇴적상에서 7.59ppm, 사질니토 퇴적상에서 9.56ppm, 니질모래 퇴적상에서 8.60ppm, 모래퇴적상에서 7.68으로 Co 원소는 퇴적물의 입도가 이 원소의 함량을 조절하는 원인이 아님을 알 수 있다(appendix 2, fig. 15).

Pb원소의 공간적인 분포는 Fig. 15에서 보는 바와 같이 인천 서쪽지역의 모래분포지역인 st. 13에서 42.1ppm으로 최대의 함량을 보이고 연구지역 남서쪽으로 옹수룩 표층퇴적물에서의 함량이 적어지는 모습을 보인다. 퇴적물 유형에 따른 Pb원소의 함량은 니토대 퇴적물에서 33.2ppm, 사질니토 퇴적상에서 31.32ppm, 니질모래 퇴적상에서 30.92ppm, 모래 퇴적상에서 42.1ppm으로 Pb 원소는 퇴적물의 입도가 이 원소의 함량을 조절한다가 보다는 다른 외적이 Pb 원소의 함량을 조절하는 것으로 보여진다(appendix 2, fig. 15).

Mn은 자생기원의 원소임을 여러연구에서 제시된바가 있고(Zhang et al. 1988) 또한 Mn의 경우 해양환경에서 캡슐과 치환됨으로서 탄산염 물질내에 자생적으로 축적될 수 있다(Kitano et al., 1980; Pedersen and Proce, 1982, Zhang et al., 1988). 이 원소의 공간적인 분포는 Fig. 16에서 보는 바와 같이 연구지역 서쪽 즉 산동반

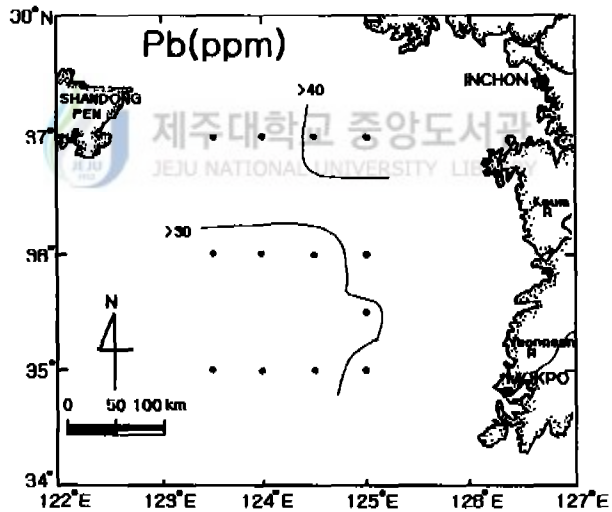
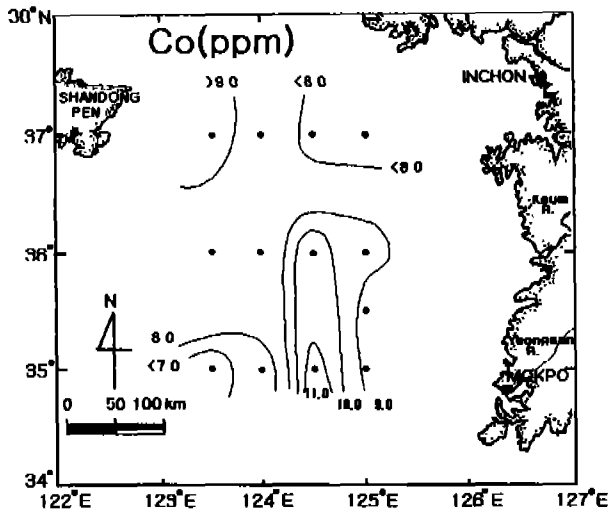


Fig. 15. Areal distribution of Co and Pb in surface sediments on the Central Yellow Sea.

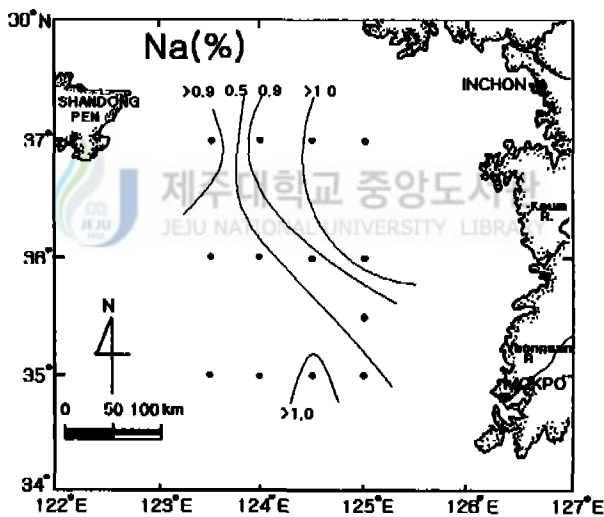
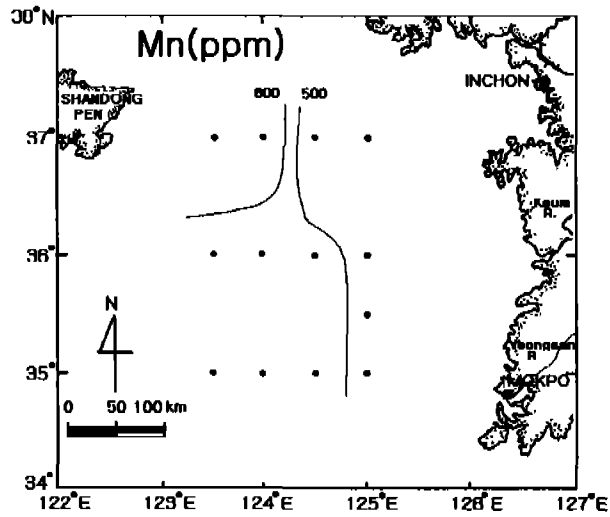


Fig. 16. Areal distribution of Mn and Na in surface sediments on the Central Yellow Sea.

도 남쪽해역에서 가까이에서 631.04ppm의 높은 값을 보이고 동쪽으로 향함에 따라 점차 감소하는 경향을 보여주고 있다. 퇴적물 유형에 따른 Mn원소의 함량은 니토내 퇴적물에서 522.13ppm, 사질니토 퇴적상에서 538.39ppm, 니질모래 퇴적상에서 506.85ppm, 모래 퇴적상에서 450.00ppm으로 Mn원소는 퇴적물의 입도가 이들 금속원소 함량을 조절하는 주요 원인으로 작용하기엔 다소 무리가 있다.

즉, 이와같이 연구지역의 Pb와 Co원소의 함유량이 타 원소와는 달리 퇴적물의 입도와와의 관계가 미약할 뿐만 아니라 황하강 영향권에 있는 북서쪽보다 한반도 쪽인 동쪽 및 남동쪽에 높은 요인은 납은 Pb는 하천 퇴적물의 유입만이 아니라 대기로의 유입이 있는 원소(Nriagu, 1978; 이등, 1992)로서 최근의 산동반도 주변 연안역에 공장 시설들이 증가되고 이에 따른 대기로의 오염물질 배출이 늘어남에 따른 영향을 받아 Fig. 15와 같은 공간적인 분포를 보인 것으로 사료된다. Co와 Mn이 보여주는 연구지역에서의 공간적 분포는 퇴적물 입도와 뚜렷한 관련성을 보이지 않는다. 이 원소들은 타 원소와의 치환작용에서 비롯된 특정 지화학 물질내 존재가능성의 차이가 금속의 분포에 영향을 미치는 중요한 요인을 될 수 있고(조등, 1994), 해양환경에서의 Mn 및 Co는 Ca와 치환됨으로서 탄산염 물질내에 자생적으로 축적될 수 있으며(Kitano et al., 1980; Pedersen and Price, 1982, Zhang et al., 1980) 이렇게 될 때 이들 금속의 함량은 퇴적물내 탄산염 물질의 존재에 따라 영향을 받을 수 있다고 볼 수 있다. 따라서 이들 금속이 연구지역에서의 세립퇴적물이 분포지역과 탄산염 함량이 높고 조립한 퇴적물 간에 분포의 뚜렷한 지역적 차이를 나타내지 않은 현상은 입도의 영향과 아울러 회석에 반하는 탄산염 성분의 또 다른 지화학적 특성에 따른 것으로 해석되며 Mn의 경우는 황하강으로부터 기인된 부유퇴적물의 높은 flux의 영향도 복합적으로 작용한 것으로 보인다.

2-4. Na, K

Na는 0.05~1.13%(평균 0.65%), K은 0.01~0.21%(평균 0.13%)의 함량분포를 보인다. 이들 원소의 함유량과 남해, 황해 전 해역 퇴적물에 금속원소 함량과 비교할 때 본 연구지역에서의 함량은 낮게 나타났다(Martin and Whitfield, 1983).

이들 금속원소와 퇴적물의 평균 입도와의 상관관계를 보면 Na($r=-0.62$), K($r=-0.65$)로서 음의 상관관계를 보이고 있다(Fig. 13).

Na의 공간적인 분포는 연구지역 북동쪽에 위치한 지역인 인천 서쪽지역에서

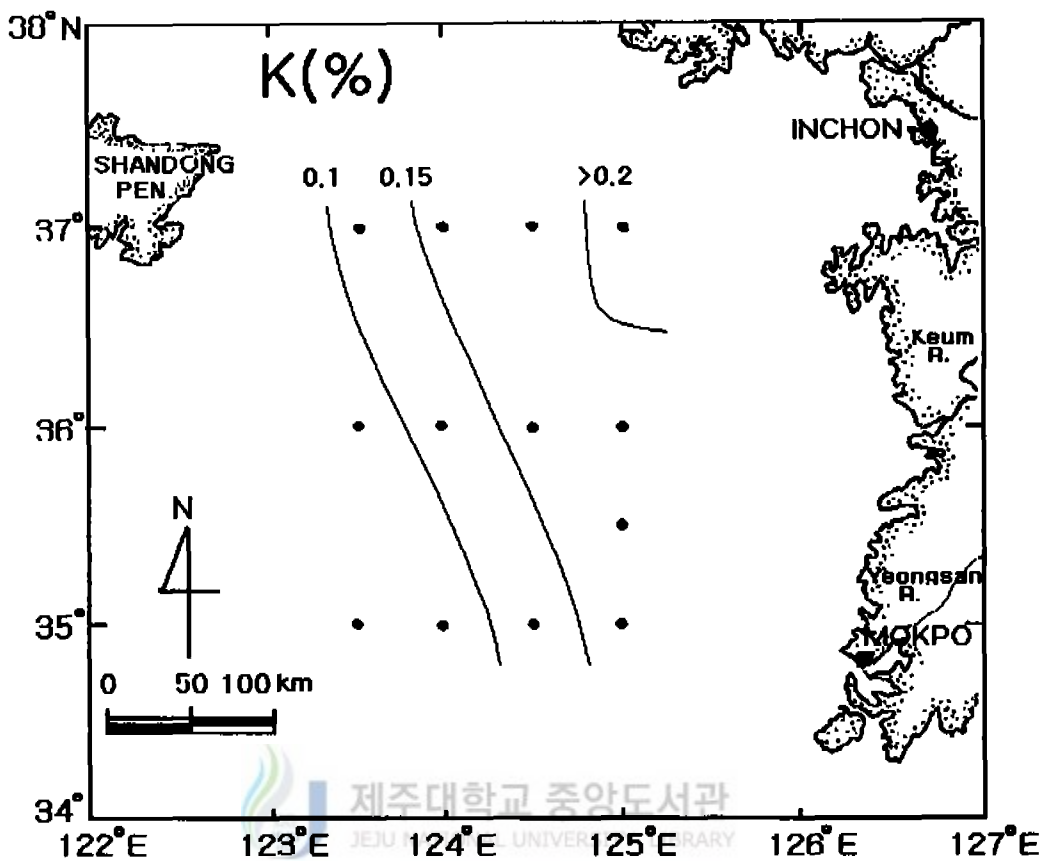


Fig. 17. Areal distribution of K in surface sediments on the Central Yellow Sea.

1.13%의 높은 값을 보이고 있으며 서쪽으로 향함에 따라서 값이 감소하는 경향을 보이고 있다. 또한 퇴적물 유형에 따른 Na원소의 함량은 니토대 퇴적상에서 0.11%, 사질니토 퇴적상에서 0.70%, 니질모래 퇴적상에서 0.86%, 모래퇴적상에서 1.01%로 퇴적물의 입도가 조립해짐에 따라서 이 원소의 함량이 증가하는 모습을 보이고 있다. 이는 Gibbs(1973)와 Bohlen(1979)등이 지적한 Na원소는 비교적 조립한 퇴적물에서 풍부한 원소로 알려진 연구결과와 잘 일치하고 있다. 또한 산동반도 동쪽 st. 10에서 Na함량이 1.0%이상의 높은 값을 보인다(fig. 16).

K의 공간적인 분포는 연구지역 북동쪽끝 지역에 위치한 지점인 st. 13에서 0.21%의 높은 값을 보이고 있으며 서쪽으로 향함에 따라서 값이 적어지는 공간적인 분포를 보이고 있다. 퇴적물 유형에 따른 K원소의 함량은 니토대 퇴적상에서 0.1%, 사질니토 퇴적상에서 0.10%, 니질모래 퇴적상에서 0.18%, 모래퇴적상에서 0.21%로 퇴적물의 입도가 조립해짐에 따라서 이 원소의 함량이 증가하는 경향을 보인다. 이는 그림 Fig. 13과 같이 퇴적물 입도에 따른 K원소의 사이에는 음의 상관관계($R=-0.65$)를 보여주고 있어서 이 또한 니질 퇴적물보다 사질 퇴적물에서가 대체로 높은 함유량을 보여주고 있음을 알 수 있다(fig. 17).

제주화산도는 제3기말 프라이오세에서부터 제4기에 이르는 동안의 화산활동에 의해 형성된 화산섬으로서 주로 알카리 용암류와 화산쇄설물등이 분포하며, 이들 화산 암류의 광물조성에는 사장석이 많고 그 외 소량의 자철석, 새니딘, 흑운모, 이딩사이트, 정장석 등이다(원 1976). 제주도 연안 퇴적물중 Na-Ca 장석의 함량은 9-18%, K-장석 1-4%보다 높게 나타나나 제주도 연안에서 거리가 멀어질수록 이와는 상반된 함량치를 보인다(고, 1986).

K는 Na와 더불어 비교적 장석이 풍부한 조립질 퇴적물에서 조절되는 원소로서 (Gibbs, 1977; Bowen, 1979) Na 원소는 주로 하천을 통해 액상으로 육상쇄설물과 같이 이동되는 양이 전체의 50~90%라고 하였다(Martin and Meybeck, 1979). 이런 K와 Na원소는 황해의 복잡한 해류중의 하나인 황해난류수에 영향을 받고 Na원소는 연구지역에서의 공간적인 분포양상은 황하강에서의 높은 flux 값으로 두 원소가 Fig. 16과 17같은 공간적인 분포양상을 보이는 것으로 사료된다.

3. 퇴적속도

황해 중앙부에서 채취한 코어시료중 3개 시료에 대하여 Pb-210의 활동도 함량 측정을 통해 연구해역 퇴적물의 퇴적속도와 Pb-210 flux 양을 평가하였고, 또한 대기권 핵실험에서 생성되는 인공 방사성 핵종인 Cs-137을 이용하여 이를 검증하였다.

해양학자나 지질학자들은 연대측정 및 여러 자연현상의 추적자로서 방사능 동위원소를 사용해 왔다. 그 예로 C-14(반감기, 5730년)이나 Th-230(반감기, 75,440년)은 수만년에서 수십만년동안 장주기의 퇴적속도를 알려주어 고 해양학을 연구하는데 있어서 절대연령을 제공하였다. 그러나, 20세기에 들어서 가속화된 공업화로부터 야기된 중금속 오염의 역사를 알기 위해서는 최근 50-100년 동안의 퇴적속도를 알아야 한다. Pb-210(반감기, 22.3년)과 Cs-137(반감기, 30.2년) 같은 비교적 짧은 반감기를 갖는 동위원소는 시간규모가 100년 전후인 현생퇴적물의 퇴적속도 결정에 효과적으로 이용되고 있다(Nittrouer et al. 1979; Benninger, 1978).

3-1. Pb-210 동위원소 연구

황해 중앙부에서 채취한 3개의 코어시료에 대한 Pb-210 활동도 함량측정을 통해 연구해역 퇴적물의 퇴적속도를 알아보았다. Pb-210을 분석할 때 과거에는 Pb-210의 딸핵종인 Po-210이 방출하는 α -입자를 측정하였으나, 그 화학적 전처리 과정이 복잡하고 시간이 걸리므로, 본 연구에서는 화학적 전처리 과정이 필요 없이 Pb-210이 방출하는 γ -선을 측정하여 퇴적속도를 구하였다(Carpenter et al., 1981). 해양 퇴적물에서 Pb-210은 모핵종 Ra-226에서 붕괴되어져 나오는 양보다 더 많은 Pb-210을 가지고 있으며 이를 초과 Pb-210(excess Pb-210)이라 한다. 이러한 초과 Pb-210의 공급원으로는 대기로부터의 공급, 강물에 의한 유입, 해수 내에서 용존 Pb-210의 부유물질로의 흡착 후 퇴적층 의해 퇴적물 내로 유입되는 것으로 알려져 있다(Carpenter et al., 1981; Benninger, 1978). 이러한 초과 Pb-210은 주상시료내에서 시간에 따라 지수함수적으로 감소하게 된다(Carpenter et al., 1985). 대기권에 존재하는 Pb-210은 강수과정등에 의하여 지표면으로 낙하하며, 대기권에 Pb-210의 거주하는 시간은 비나 눈이 내리는 며칠 또는 몇 주일 정도이므로 퇴적물내의 Pb-210의 측정은 현생 퇴적물의 지질연대 측조에 유용하게 이용되고 있다(Kirshnaswamy et al. 1971; Koide et al. 1973). 퇴적물내 있는 Pb-210은 원래 존

재하는 것, 대기중에 낙하한 것 및 강으로부터 유입된 것등으로 구분되며, 퇴적속도를 결정하기 위해서는 퇴적물내 과잉량(Excess Pb-210)을 알아야 한다. 과잉량 Pb-210 활동도는 총 Pb-210 활동도로부터 ^{226}Ra -supported Pb-210 활동도 양을 감하므로써 결정된다(Benninger, 1978).

조사지역의 3개의 core 샘플에서 확인된 총 Pb-210 활동도 값은 정점 CY99010에서 3.725 dpm/g을 보였고, 최저값은 CY96001에서 1.118dpm/g을 보였다. 과잉량 Pb-210의 활동도 값은 정점 CY96001에서 2.488dpm/g로 최대치를 보였고 정점 CY96008에서 0.503dpm/g로 최소치를 보였다. Fig.18, Fig.19와 Fig.20은 연구지역에서 채취한 3개의 주상시료에서 얻은 Pb-210의 활동도를 보여준다. 여기서 흰색 동그라미는 Pb-210의 활동도 값이고, 검정색 동그라미는 과잉량 Pb-210의 활동도를 나타낸다. 퇴적속도는 깊이에 따라 과잉량 Pb-210 활동도를 대수로 환산한 값이 희귀 직선상의 경사치로부터 계산되었다. 코어시료의 1번과 8번에서는 깊이 21cm 그리고 정점 10번에서는 깊이 41cm가 지남에 따라 Pb-210의 활동도 값이 거의 일정하게 낮음이 확인되어 이러한 부분은 퇴적속도 계산에서 제외되었다.

초과 Pb-210의 양은 시간뿐만 아니라 물리적인 혼합과 생물교란 작용에 의해 또한 영향을 받을 수도 있다. 정상 상태라는 가정하에 이러한 요인을 고려하면 다음과 같은 식을 쓸 수 있다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - A \cdot \frac{\partial C}{\partial z} - \lambda C = 0 \quad \text{-----}(1)$$

이 식을 풀면 다음과 같다.

$$C_z = C^0 \cdot \exp\left(A - \frac{\sqrt{A^2 + 4\lambda D}}{2D}\right)z \quad \text{-----}(2)$$

- Cz : 깊이 z에서의 초과 Pb-210 활동도(dpm/g),
- C⁰ : 표층에서의 초과 Pb-210 활동도(dpm/g)
- t : 시간(yr), z: 깊이(cm), D: 혼합정도(cm²/yr)
- A: 퇴적속도(cm/yr), λ :붕괴상수(1/yr)

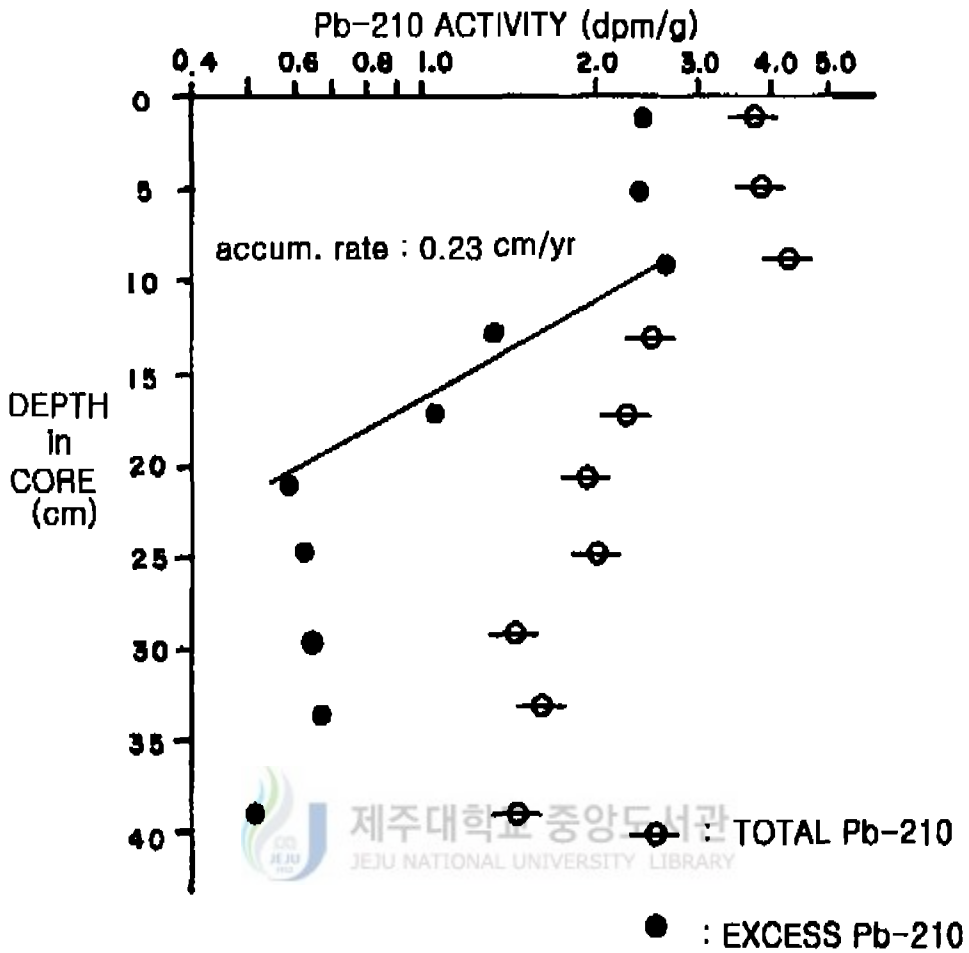


Fig. 18. A profile of Pb-210 activity from core CY96001 in the study area

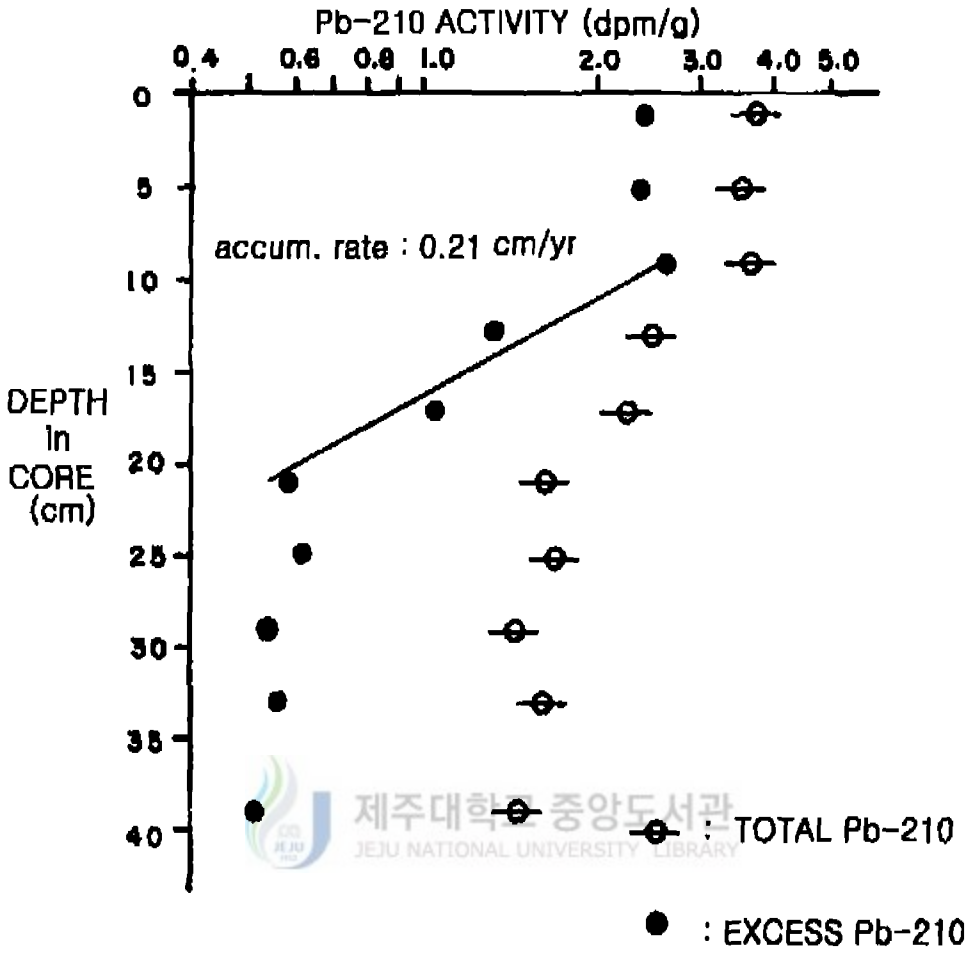


Fig. 19. A profile of Pb-210 activity from core CY96008 in the study area

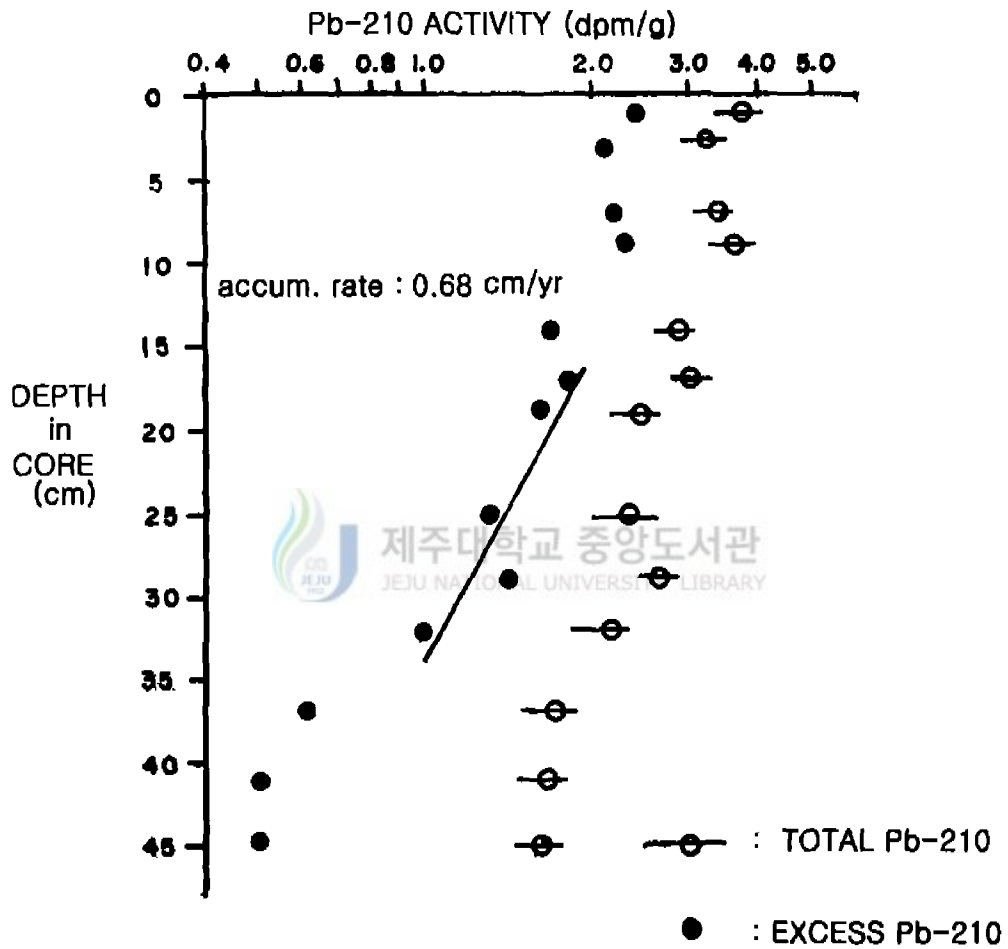


Fig. 20. A profile of Pb-210 activity from core CY96010 in the study area

심해에서와 같이 혼합이 강하고 퇴적속도가 느릴 경우 ($A \ll \lambda D$), A 항목을 무시하여

$$D = \lambda \cdot \left(\frac{z}{\ln \frac{C_0}{C_z}} \right)^2 \text{ -----(3)}$$

로 혼합계수를 구할 수 있다. 또한, 퇴적속도가 빠르고 혼합이 매우 약할 경우 ($A^2 \gg \lambda D$), D 항목을 무시하여

$$A = \frac{\lambda z}{\ln \frac{C_0}{C_z}} \text{ -----(4)}$$

로 퇴적속도를 구할 수 있다. 만약, 물리적 생물적 교란에 의한 혼합이 있음에도 불구하고 혼합항목(D)을 무시했을 때에는 상기공식에 의한 값인 최대 퇴적속도가 나오게 된다.

Fig 18, 19 및 20은 조사지역 3개 주상시료들의 깊이에 따른 Pb-210 활동도를 나타낸 것이다. 이들 자료에서 3부분으로 구분되는데, 즉 물리적 및 생물체들의 제작용에 혼합되어 Pb-210 활동도 값이 거의 균일한 값을 보이는 표면 혼합층 부분, 깊이에 따라 Pb-210 활동도 값이 대수 함수적으로 감소하는 깊이 9~21cm 및 17~33cm의 중간부분, 거의 일정하게 낮은 Pb-210 활동도를 보이는 하부지역으로 구분된다. 따라서 퇴적속도는 과잉량 Pb-210의 활동도 값이 깊이에 따라 대수 함수적으로 감소하는 중간부분에서 공식(4)를 이용하여 계산하였다. Pb-210을 이용한 연구지역의 퇴적속도는 0.21~0.68cm/yr로 지역에 따라 다르게 나타났다. 즉 황하강 하구역과 비교적 가까운 조사지역 북서쪽 끝인 산동반도 동쪽지역(CY96010)에서 퇴적속도는 0.68cm로 최대의 퇴적율을 보였고, 황하강 배출지역과 멀어지는 황해 중앙부해역(CY96008)과 남쪽(CY96001)으로 향함에 따라 퇴적속도는 0.21~0.23cm/yr로 낮은 퇴적율을 보여주었다. 이는 Fig.21에서 보는바와 같이 보하이(Bohai) 만으로부터 시작되어서 황해 동부로 흐르다가 산동반도 부근에서 남쪽 및 남서쪽으로 방향을 바꾸어 수심 40~50m를 따라 여름철에는 32°N 까지 겨울철은 30°N, 126°E 까지 남하하는 황해 연안류와 장수 북쪽 연안의 황하기원 고삼각주 퇴적층의 황해에서의 4m이상의 조파와 2knot 이상의 조류 및 겨울철 폭풍우 기간동안 침식, 재부유된 혼탁류(turbidity plume)가 남동쪽 및 동쪽으로의 흐름, 황해난류수의 제주도

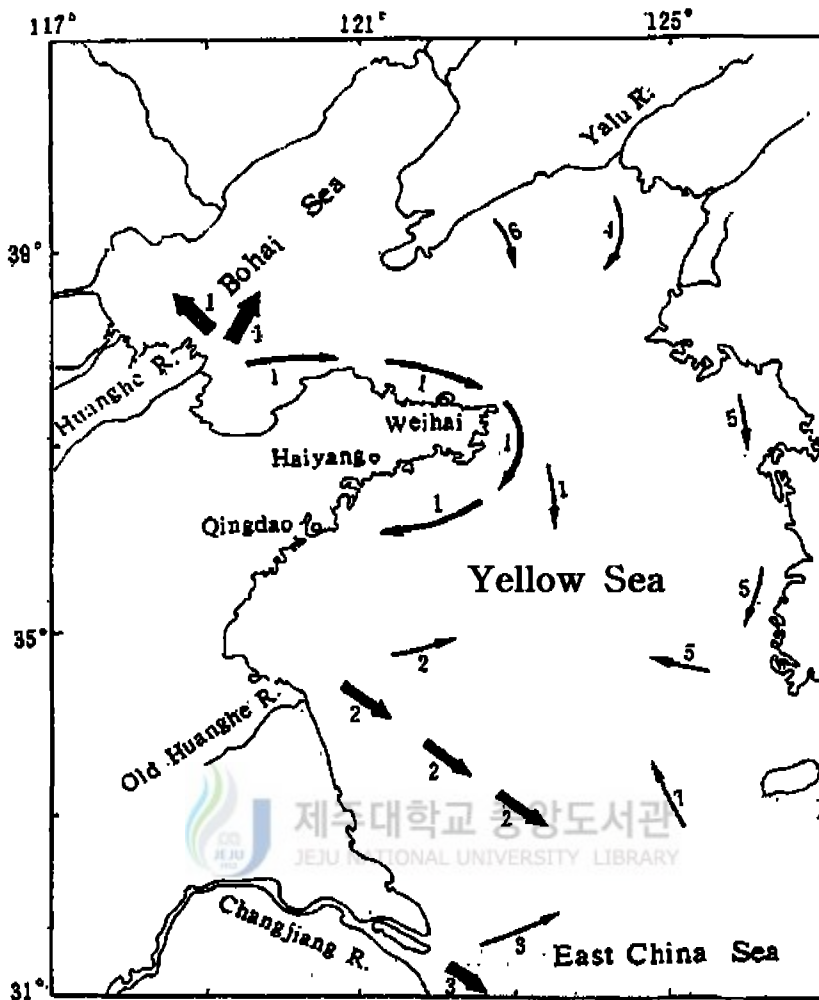


Fig. 21. The transportation of trend of the Yellow Sea materials (Zhao et al., 1990)

1. Materials from the Huanghe River; 2. Materials from the old Huanghe River in northern Jiangsu;
3. Materials from the Changjiang River; 4. Materials from the Yalu River;
5. Materials from the east coast of the Yellow Sea; 6. Materials from the north coast of the Yellow Sea;
7. Materials from the open sea.

서방을 통과하여 황해로의 유입 및 한반도 강들에 의해 서해안으로부터 흘러나온 부유퇴적물들이 복합적으로 만나는 전선대 지역이라 이들 복합적인 부유퇴적물들의 퇴적이 진행되고 있는 지역임을 의미한다(Alexandr et al, 1991; Zhao yiang et al, 1992).

3-2. Cs-137 동위원소 연구

대기권 핵실험 등에 의해 1952년경부터 자연환경으로 소개되고 있는 인공방사선 핵종인 Cs-137도 100년 전후 시간규모를 갖는 퇴적물의 퇴적속도와 물리-화학적 재과정을 평가하는데 좋은 정보를 제공해 주는 것으로 알려졌다(Ritch et al, 1973). 대기권에 존재하는 Cs-137도 강수과정 등에 의해 해양환경으로 침강되며 해수내의 부유물질이나 유기체에 흡착되어 퇴적물내로 침전된다. 따라서 Cs-137을 이용한 지질연대를 설정하는데 있어서 퇴적물내의 Cs-137 활동도 값이 최대피크를 나타내는 부분이 대기권에서 최초로 낙하한 1963-1964년 기간동안에 퇴적된 퇴적물임을 가정해야 한다(Demaster et al., 1985). 조사지역 3개의 주상시료에서 측정된 Cs-137 활동도 값은 Fig.22와 같다. 이들 값에서 Cs-137 활동도가 최대의 피크를 나타내는 부분은 CY96001에서는 8~10cm 깊이에서 0.352dpm/g, CY96008에서는 8~10cm 깊이에서 0.511dpm/g, CY96010은 18~20cm 깊이에서 0.386dpm/g의 값을 보였다. 본 역 3개의 주상시료로부터 측정된 Cs-137 활동도 값이 최대 피크를 나타내는 곳으로부터 계산된 퇴적속도는 CY96001과 CY96008에서는 0.25~0.31cm/yr 범위를 보이고 CY96010에서는 0.56~1.6cm/yr로 동일시료에서의 Pb-210에 의한 값인 CY96001: 0.23cm/yr, CY96008: 0.21cm/yr, CY96010: 0.68cm/yr과는 약간의 차이를 보이는데 이는 시료채취시 표층부분이 소실되었거나, 퇴적층 내에서 생물체의 활동과 속성작용 등에 의한 수직 혼합작용, 이들 두 방사선 핵종이 대기권에서 해양환경으로의 침강과 해수에서 퇴적물내로 흡착·침전하는 성질과 기간의 차이, 또는 동위원소 분석에서 수반되는 오차등(Koide et al., 1973; Robbins et al., 1975)으로 실제보다 다소 과장된 속도임을 의미한다.

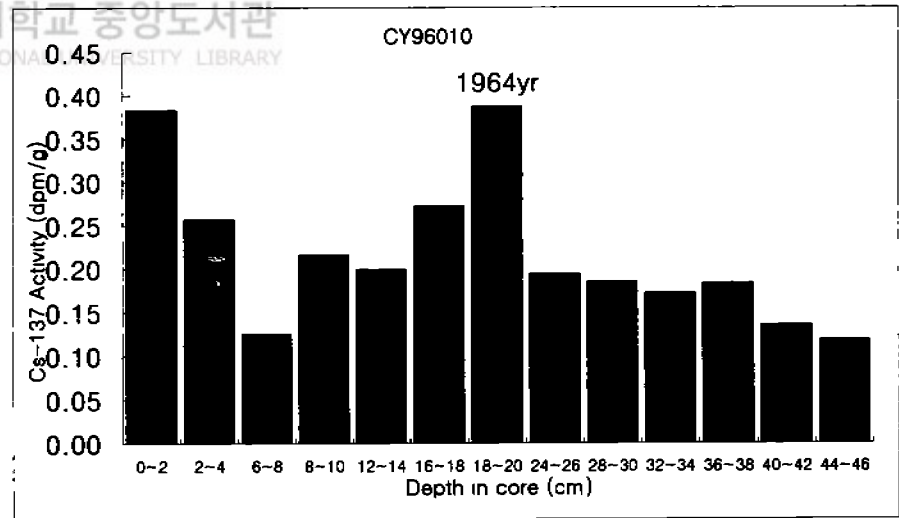
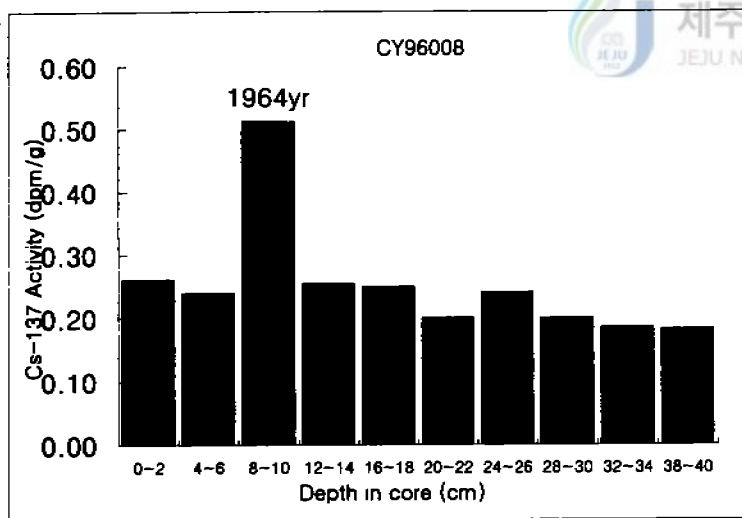
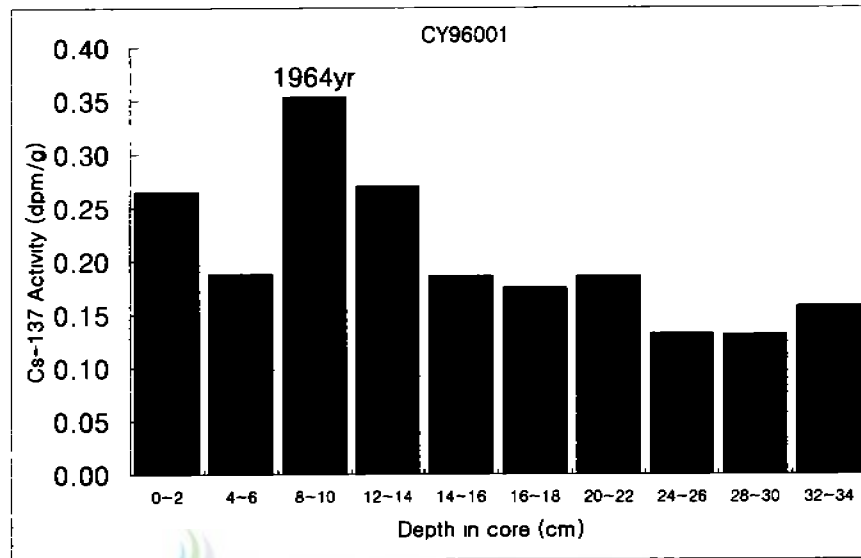


Fig.22. Histogram of Cs-137 activity in the Cental Yellow Sea

V. 결론

1. 연구지역 표층 퇴적상의 유형은 sand(모래), muddy sand(니질사), clayey sand(점토질사), sandy mud(사질니토), mud(니토), sandy clay(사질점토), clay(점토)등 7개의 유형으로 나누어지고, 크게 모래분포지역, 니질모래 분포지역, 사질니토분포 지역 그리고 점토질 분포지역으로 분류된다. 모래 분포지역은 연구지역 북동끝쪽에 소규모로 분포하고 있으며 이의 조성은 모래 90.36%, 실트 5.42%, 점토 4.22%이고 평균입도는 2.67 ϕ 로 세립사에 해당하며 분급도는 1.73 ϕ 로 다소 불량한 편이다. 니질모래 퇴적상의 분포지역은 연구지역 동쪽과 북동쪽인 한반도 축에 남북방향으로 대상분포를 보이며 이의 평균조성은 모래 67.42%, 실트 9.98%, 점토 10.02%이고 평균입도는 3.87 ϕ 로 극세립 사에 해당하며 분급도는 2.21 ϕ 로 매우 불량한 편이다. 사질니토 분포지역은 사질니와 사질점토의 혼합퇴적상으로 연구지역 북서쪽에서 중앙부를 거쳐 남북으로 이어지는 띠의 형태로 분포하고 있다. 이 혼합퇴적상의 평균 조성은 모래 22.38%, 실트 24.20%, 점토 49.22%이고 평균입도는 6.67 ϕ 로 세립질 실트에 해당하며 분급도는 2.65 ϕ 로 역시 불량한 편이다. 니토와 점토의 퇴적상을 가진 니질분포지역은 연구지역 서쪽인 중국측에 분포하며 이의 평균 조성은 모래 2.10%, 실트 32.65%, 점토 65.10%이고 평균입도는 8.5 ϕ 로 점토에 해당하며 분급도는 1.91 ϕ 로서 다소 불량한 편이다.

2. 연구해역에서의 탄산염과 유기탄소의 분포를 살펴보면 탄산염은 2.80%~10.50%(평균 6.39%)이고 유기탄소는 0.30%~1.30%(평균 0.72%)의 함량변화를 보인다. 연구지역 퇴적물의 탄산염(CaCO_3)함량의 지역적 분포는 퇴적물 입도와 별 관계없이 산동반도와 근접한 조사지역 서측의 니토대 분포지역의 8%보다 큰값을 보이며 기타지역 보다 약 1.8배 높은 함량분포를 보이고 동쪽에서 서쪽으로 향함에 따라 그 함량치가 점차 감소하는 경향을 보인다. 한편 연구지역 유기탄소 함량의 지역적 분포는 퇴적물 입도에 영향을 받아 니토대가 분포하는 연구지역 서쪽에서가 동쪽지역 보다 약 2.1배 정도의 높은 함유량을 보인다.

3. 황해중앙부 표층퇴적물에서의 원소들의 함량은 Al은 5.25~9.50%(평균 7.47%), Ni은 20.90~54.00ppm(평균 34.25ppm), Cu는 3.78~16.50ppm(평균 9.63ppm), Zn은

31.77~68.16ppm(평균 50.61ppm), Cr는 20~72.69ppm(평균 41.24ppm), Ca는 0.40~1.48%(평균 0.62%), Mg는 0.03%~0.32%(평균 0.15%), Fe는 0.89~1.94%(평균 1.29%), Co는 6.43~1.30ppm(평균 8.59ppm), Pb는 24.40~42.1ppm(평균 32.43ppm), Mn은 450~631.04ppm(평균 515.71ppm), Na는 0.05~1.13%(평균 0.65%), K은 0.01~0.21%(평균 0.13%)의 공간적인 함량분포를 보이고 있다. 이 중 Al, Ni, Cu, Zn, Cr는 니질퇴적물이 분포하는 연구지역 서쪽지역에서 높은 함유량을 보이며 입도의 존적 함량변화와 집수역의 지질, 오염원에 영향을 받고, Ca, Fe, Mg, Mn, Na, Co, Pb, Na, K등은 복합적인 영향을 받은 분포양상을 보이고 있다.

4. 연구지역에서의 동위원소를 이용한 퇴적속도를 보면 Pb-210을 이용한 연구지역의 퇴적속도는 0.21~0.68cm/yr로 지역에 따라 다르게 나타났다. 즉, 황하강 하구역과 비교적 가까운 조사지역 북서쪽 끝인 산동반도 남동쪽 지역(CY96010)에서 퇴적속도는 0.68cm로 최대의 퇴적율을 보였고, 황하강 배출지역과 멀어지는 황해 중앙부해역(CY96008)과 남쪽(CY96001)으로 향함에 따라 퇴적속도는 0.21~0.23cm/yr로 낮은 퇴적율을 보여주었다. Cs-137을 이용한 퇴적속도를 보면 CY96001과 CY96008에서는 0.25~0.31cm/yr 범위를 보이고 CY96010에서는 0.56~1.6cm/yr로 동일시료에서의 Pb-210에 의한 값인 CY96001: 0.23cm/yr, CY96008: 0.21cm/yr, CY96010: 0.68cm/yr과는 약간의 차이를 보였다.

참고문헌

- 고기원, 1986, 제주남방해역 표층퇴적물의 특성 및 퇴적환경, 석사학위 논문, p.49-50
- 과학기술처, 1996 황해의 해양자원 개발 연구, 제 3차년도 최종보고서, 연구기간 인하대학교
- 김기범, 1994. 서해안 남양만 북부 조간대퇴적층의 지구화학적 특성연구. 석사학위 논문, 14-17.
- 박용안, 이창복, 조영길, 최진용, 박상윤, 1994. 한국 남해대륙붕 해저 퇴적물 분포특성과 현세초기의 해수면. 한국지질학회지, 3:1-15.
- 방약찬, 김태희, 1989. 동지나해 해수분포의 계절변화와 해수순환, 제주대학교 논문집, 28, p.61~73.
- 서만식, 박영석, 김진, 1995. 고군산 군도 연안 현생퇴적물의 조직 및 지구 화학적 특성에 관한연구. 한국지구과학회지, vol. 16, No. 5, p.398-407
- 원종관, 1976. 제주도의 형성과정과 화산활동에 관한 연구. 건국대학교 박사학위 논문
- 윤정수, 정덕상, 1993. 제주도 주변 대륙붕 퇴적물에 대한 대자율 연구, 한국지구과학회지, 14(1), p. 10-24.
- 윤정수, 김성복, 고기원, 1989. 제주도 서남해역의 해저퇴적물 특성. 한국해양학회지, 24(3), p. 132-147.
- 이창복, 정희수, 정갑식, 1992, 황해 남동해역 표층퇴적물중 수중 금속원소의 분포특성에 관한 연구. 한국해양학회지, 27(1), 55-65
- 조영길, 이창복, 박용안, 김대철, 강효진, 1993. 황해 동부대륙붕과 한반도 서해안 표층퇴적물의 지구화학적 특성. 한국지질학회지, 7: 69-92.
- 조영길, 이창복, 최만식, 1994. 남해 대륙붕 표층퇴적물 중 중금속 원소의 분포특성. 한국해양학회지, Vol. 29, No. 4, p.338-356
- 최만식, 이창복, 조영길, 1995, 금강 부유물중 미량 금속의 함량과 이동, 한국해양학회지, vol. 30, No. 5, p.371-381
- Alexander, C.R., C.A. Nitteruer, D.J. DeMaster, 1991. Sediment accumulation in a modern epicontinental-shelf setting: The Yellow Sea. Mar. Geol. 98:51-72.
- Benninger, L. K., 1978. Pb-210 balance in Long Island Sound. Geochim. Cosmochim. Acta, v. 42, pp. 1165-1174.
- Bloemendal, J., Oldfield, F. and Thomson, R., 1979, Magnetic measurements used to assess sediment influx at Llyn Goddiondvon, Nature, 28, 50-53.
- Bowen, H.J.M., 1979. Environmental Chemistry of the Elements. Academic Press, London, 333pp.

- Butenko, J., Y.-C. Ye and J. D. Milliman(1983) Morphology, sediments and late Quaternary history of the East China Sea. In: Proceedings of the International Symposium on the Sedimentation on the Continental Shelf, with Special Reference to the East China Sea, Vol. 2, L. Yurn, editor, China Ocean Press, pp. 725-751.
- Calvert, S.E., 1976. The mineralogy and geochemistry of near-shore sediments. In: Chemical Oceanography edited by Riley, J.P. and R. Chester, Academic Press, London, 6:187-280.
- Carpenter, R., J. T. Bennett and M.L. Peterson, 1981. Pb-210 activities in and fluxes to sediments of the Washington continental Slope and Shelf. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v.45, p. 1155-1172
- Carpenter, R., J. T. Bennett and J. T. Bennett, 1985. Pb-210 derived sediment accumulation and mixing ration for the greater Puget Sound region . *Marine Geology*, v.64, p. 291-312
- Camplin, W.C., Mitchell, N.T., Leonard, D.R., and Jeefries, D.F., 1986. Radioactivity in surface and coastal waters of the British Isles, Monitoring of fallout from Chernobly Reaactor Accident. Lowestoft, United Kingdom No, 15, p.1-49.
- Chester, R., Hughes, M. J. 1969. The trace element geochemistry of a North Pacific pelagic clay core; *Deep Sea Research*, 16; 619-654.
- Chen Yijian, Peng Gui, and Jiao Wengiang, 1983. Radiocarbon dates from the East China Sea and their geological implications, *Quaternary Research* 24, p.197-203.
- Chough, S.K., Kim, D.C. 1981. The geochemistry of deep-sea sediments In: J.P. Riley and R. Chester (editors), *Chemical Oceanography*, Vol. 6. Academic Press, pp. 281-390.
- Choi, J.Y., 1982. Origin and distribution of the bottom sediments in the Keum Estuary and adjacent continental shelf, Korea. S.N.U. M.S. Thesis.
- Choi, J.Y., 1989. Depositional environments of the coarse-grained sediments on the continental shelf of Korean Seas. Ph.D. Thesis, S.N.U., p.331
- Davis, J. J., 1963. Caesium and its relation to potassium in ecology, p. 539-559. In V. Schultz and A.W. Klenents, Jr[eds], *radioecology* Reinhold.
- Demaster, Mckee, B.A., Nittrouer, C.A., Qian, J.C. and Chen, G.D., 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, p.143-158
- Duane, D. B., 1964. Significance of skewness in recent sediments. *Western*

- Pamlico Sound, North Carolina. *Jour, Sed. Pet.* 34:864-874.
- Durgaprasada Rao, N.V.N. , Poornachandra Rao, M., 1973. Trace element distribution in the continental shelf sediments off the east coast of India. *Mar. geol.*, 15; M43-M48
- Emery, K. O. Hayashi, Y., Hilde, T. W. C., Kobayshi, K., J. H., Meng, C. Y., Niion, H., Wegemen, J. H., Wang, C. S., and Yang, S. J., 1961. Geological structure and some water characteristics of the East China Sea and Yellow Sea. U.N. ECHF-CCOP. *Tech. Bull.* V.2, p. 3~34.
- 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 - 26.
- Folk, R. L., 1968, *Petrology of sedimentary rocks.* Hamphill' s, Austin, Texas, 170.
- Folk, R. L., 1968, *Petrology of sedimentary rocks.* Hamphill, Austin, Tex. 182p.
- Förstner, U. and W. Salmons, 1980. Trace metal analysis on polluted sediments. Part I: Assessment of sources and intensities, *Environ. Sci. Technol. Lett.*, 1: 494-517.
- Galehouse, J. S., 1971. Sedimentation analysis. in carver, R.E. ed., *Procedures in sedimentary petrology:* 69-94.
- Gibbs, R. J., 1977. Transport phase of trace metal transport in rivers. *Science*, 180:71-73.
- Goldberg, E.D and G.O.S. Arrhenius, 1958. Chemistry of Pacific pelagic sediments *Geochemica et Cosmochemica Acta*, 13.153-143(in Japanese).
- Holeman, A.J. and Elrick, 1968. The sediment surface area, grin size and composition in the Yellow Sea. *Appi. Geochem*, 2: 437-451.
- Horowitz, A.J., 1991. A primer on sediment-trace element chemistry. Lewis Publishers, 2nd ed., 136 pp.
- Hu, D. 1984 Upwelling and sedimentation I. The role pf upwelling in sedimentation in the Yellow Sea and East Sea. *Chinese journal of oceanology adn limnology*, 2(1), 12-9
- Ingram, R. L., 1971. Sieve analysis. 49-67, in Carver, R. E., ed., *Procedure in sedimentary petrology:* New York Wiley interscience Pub. 653pp.
- Jenne, E.A., 1968. Controls on Mn, Fe, Co, Ni, Cu, and Zn concentrations in soils and water: The significance role of hydrous Mn and Fe oxids. In: Gould, R.F. ed., *Trace Inorganics in Water, Advances in Chemistry Series*, pp. 337-387.
- Johns, W. D., and R. E. Grim, 1973 Clay mineral composition of recent sediments from the Mississippi delta, *Journ. of Sedimentary Petrology*,

- vol. 28, pp. 186-199. Seaward change of montmorillonite to illite and chlorite in delta sediments.
- Katz, A. and I.R. Kaplan, 1981. Heavy metals behavior in coastal sediments of southern California: A critical review and synthesis. *Mar. Chem.*, 10:281-299.
- Kitano, Y., M. Sakata and E. Matsumoto, 1980. Partitioning of heavy metals into mineral and organic fractions in a sediment core from Tokyo Bay. *Geochim Cosmochim. Acta*, 44: 1279-1285.
- Klein, S., Calvert, S.E., 1982. The mineralogy and geochemistry of near-shore sediments. In: *Chemical Oceanography* edited by Riley, J.P. and R. Chester, Academic Press, London, 6:187-280.
- Krauskopf, K.B., 1956. Factors controlling the concentrations of thirteen rare metals in sea water. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 9:1.
- Krishnaswamy, S., Lal, D., Martin, J.M. 1971. Geochronology of lake sediments. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 11, p. 407-141.
- Koide, M., Bruland, K.W. and Goldberg, E.D., 1973. Th-228/Th-232 and Pb-210 geochronologies in marine and lake sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 37, p. 1171-1187.
- Lee, D.S., Chough, S.K., 1989. The geochemistry of deep-sea sediments In: J.P. Riley and R. Chester (editors), *Chemical Oceanography*, Vol. 6. Academic Press, pp. 281-390.
- Li, D.S., 1981. Geologic evolution of petroliferous basins on the continental shelf of China. *AAPG Bull.*, 68, pp. 993-1003.
- Lucas, H.F., 1975 Improved low level alpha scintillation counter for radon, *Rev. Sic. Instr.*, 28, p680-683
- Martin, J.M. and M. Meybeck, 1979. Elemental mass balance of material carried by major world rivers. *Mar. Chem.*, 7:173-206
- Milliman, and Meade, R.H., 1983. World-wind delivery of river sediment to the ocean. *J. Geol.*, 91, p.1-21.
- Milliman, J.D., and M. Meybeck, 1983. Modern Huanghe-derived muds on the outer shelf of the East China sea: identification and potential transport mechanisms *Cont. Shelf Res.*, 4:175-188.
- Niino, H., Emery, K.O., 1961. Sediments of shallow portion of 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.T., 1979. The use of Pb-210 geochronology as a sedimentological tool : application to the Washington Continental Shelf, *Marine Geology.*, 31, p. 279-316.

- Nriagu, J.o., 1978. The biogeochemistry of lead in the environment. Elsevier, Amsterdam.
- Park, B. K. and S. J. Han. 1985. The distribution of clay minerals in the recent sediments of the Korea Strait. *Sed. Geol.* 41, 173-184.
- Park, Y.A. and Khim, B.K., 1990. Clay minerals of the recent fine-grained sediments on the Korean continental shelves. *Conti. Shelf Res.*, 10 : 1179-1191.
- Park, Y. A., and Kim, S. C. ,1992. Origin and dispersal of recent clay mineral in the Yellow Sea Korea. *Marine geology*, 104(1992) 205-210
- Passega, R., 1957, Texture as characteristic of clastic deposition. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.*, 41:1952-1984
- Qin, Y.M., and Li, J.D., 1983 Modern Huanghe-derived muds on the outer shelf of the East China sea: identification and potential transport mechanisms *Cont. Shelf Res.*, 4:175-188.
- Radhakrishnamurty, C., Liktite, S. D. Amin, B. S. and Simayajolu, B. K. K, 1968, Magnetic susceptibility stratigraph in ocean sediment core, *Earth Planet, Sic. Lett.*, 4, 464-468.
- Ritchie, J.C., McHenry, J.R. and Gill. A.C. 1973. Dating recent reservoir sediments, *Limnol. Oceanogr.*, 18, p.254-263.
- Robbins, J.A. and Edgington, D.N., 1975. Determination fo recent sedimentation rates in Lake Michigan using Pb-210 and Cs-137. *Geochimica Cosmoch. Acta*, 39, p.285-304
- Salmon, L. and Creery, M.G., 1971. Nuclear techiques in environmental chractoristic sedomentation precesses of estuaties the Yellow Sea, In: proceeding of Korea-U.S. Seminar and Workshop on Marine Geology and Physical Prosessed of the Yellow Sea, Seoul Korea, p.286-308
- Salomons, W. and U. Förstner, 1984. *Metals in the Hydrocycle*. Springer Verlag, Berlin, 349pp.
- Schubel, J.R., Shen, H.T., Park, M.J., 1984. A comparisom of some characteristic sedimenttation precess of estuaries entering the Wellow Sea. In *Preceedings of Koreea-U.S. seminar and Workshop, Marine geology and physical processes of the Yellow sea*, p.286-308
- Shepard, J., 1932. Conitental shelf sedimentation. In: Burke, C.A. and C.L.E. Drake ads., *The geology of continental margin*. Berlin and N.Y.: Springer-Verlag, pp. 117-113.
- Thompson, R. and Morton, D. J., 1979, Magnetic susceptibility and particle-size

- distribution in recent sediments of the Loch Lomond drainage basin, Scotland, *J.Sediment. Petro.*, 49, 801-812.
- Thompson, R., Bloemondal, J., Dearing, J. A., Oldfield, F., Rummery, T. A., Stober, J. C. and Turner, G. M., 1980, Environmental applications of magnetic measurements. *Science*, 207, 481-486.
- Torgerson T. and M. E. Longmore, 1984. Cs-137 Diffusion in the Highly Organic Sediment of Hidden Lake, Fraser Island, Queensland. *Australian J. Mar. Fresh water Res.*, v.35, p. 537-548
- Thompson, Oldfield, F., 1987. Environmental magnetic ALLEN & UNWIN, London, p 124~152.
- Turekian, K.K. and K.H. Wedepohl, 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 72:175-192.
- Vonder Haar. S. P. and Johnson, W. H., 1973, Mean magnetic susceptibility: A useful parameter for stratigraphic studies of glacial till, *Jour. Sediment. Petrol.*, 43, 1148-1151.
- Wang, A., Lou, M., Li, W., 1983. Submarine sediments and depositional process for west of south Haunghai Sea. P.686-695 In *Acta Oceanologica Sinica*. ed. Sedimentation and sedimentation rate of the continental shelf with special reference to the East China Sea.
- Wedepohl, K.H., Rlush, D., 1984. *Handbook of Geochemistry*. Springer-Verlag, Berlin.
- Yang Z.S., 1998. Sediments distribution of Changjiang and Huangho Rivers and sediment sources of the East China Sea. *Chin. J.Ocean. Limn.*, Vol. 6, L. Yurn, editor, China Ocean Press, pp. 436-446.
- Yang Z.S. and J.D.Milliman. 1983. Fine-grained sediments of Changjiang and Huangho Rivers and sediment sources of the East China Sea. In: *Proceedings of the International Symposium on Sedimentation on the Continental Shelf, with Special Reference to the East China Sea*, Vol. 1, L. Yurn, editor, China Ocean Press, pp. 436-446.
- Yang, Z.S., Sun, X.G., and Chen, Z. G., 1997. Sediment Discharge of the Yellow River to the seas: its past, present and Human Impact on it. *proceeding of the international symposium*
- Zhao, Y., 1983. Geochemistry of some elements in sediments of the East China Sea. *Chin. J.Ocean. Limn.*, 1(2); 210-222.
- Zhao, Y., Qin, Z., Li, F., 1990. On the source and genesis of the mud in the central area of the south yellow sea. *Chin. J. Oceanol. Limnol.*, vol. 8 No.1 p. 66-73

- Zhao, Y. and Yan ming-gai, 1992. Abundance of chemical elements in sediments from the huanghe river, the changjiang river and the continental shelf of China. Chinese science bulletin vol. 37 no. 23 ; 210-222.
- Zhu, E., W, Gao and H. Wang, 1990. Dynamic sedimentary subdivision of the East China Sea continental shelf. In: Proc. 1st Conf. on Asia Marine Geology, Shanghi, Sept. 7-10, 1988. China Ocean Press, Beijing, 351-365,



Appendix 1. Weight percentage of sediment composition and textural parameters.

station	SAND %	SILT %	CLAY %	sediment type	Mz	sorting	skewness	kurtosis
CY96001	3.12	31.65	65.23	C	7.97	2.01	-0.48	0.55
CY96002	21.76	23.47	54.77	sC	7.19	2.93	-0.47	0.64
CY96003	44.26	18.75	36.99	sC	6.07	2.88	0.39	0.54
CY96004	67.08	14.56	18.36	mS	4.33	2.85	0.75	0.90
CY96005	84.39	4.13	11.48	cS	2.85	1.72	0.62	3.60
CY96006	85.08	6.78	8.14	mS	2.98	1.57	0.55	3.64
CY96007	15.21	31.07	53.72	sM	7.30	2.53	-0.43	0.65
CY96008	0.73	34.58	64.70	M	8.28	1.87	-0.41	0.74
CY96009	1.63	32.54	65.89	M	9.25	1.89	0.19	0.85
CY96010	12.75	57.29	29.96	sM	6.25	2.29	0.36	0.56
CY96011	50.12	25.34	24.54	mS	5.37	2.88	0.67	0.71
CY96012	89.71	5.14	5.14	mS	2.87	1.25	-0.46	3.44
CY96013	90.36	5.42	4.22	S	2.67	1.73	1.84	11.85



Appendix 1. Continued

CY96001	SAND %	SILT %	CLAY %
0~4	21.76	23.47	54.77
4~6	21.66	35.17	43.17
6~10	18.92	36.35	44.73
10~14	20.74	42.27	36.99
14~18	26.57	44.80	28.62
18~22	26.76	35.21	38.03
22~26	32.23	33.10	34.67
26~30	32.24	41.63	26.14
30~34	32.37	40.29	27.34
34~38	39.75	36.54	23.70
38~42	30.35	49.04	20.61
42~46	32.44	45.56	22.00
46~50	20.96	34.36	44.67
50~54	14.66	43.44	41.89
54~58	16.96	39.22	43.83
58~62	29.95	62.80	7.25
62~67	28.21	46.15	25.64
ave.	26.27	40.55	33.18
min.	14.66	23.47	7.25
max	39.75	62.80	54.77

CY96008	SAND %	SILT %	CLAY %
0~4	0.73	34.58	64.70
8~10	0.11	39.96	59.93
10~14	0.11	29.85	70.03
14~18	0.11	45.40	54.48
18~22	0.05	35.03	64.91
22~26	0.17	59.90	39.93
26~30	7.23	33.02	59.75
30~34	0.46	36.87	62.67
34~38	0.28	24.01	75.72
38~40	0.11	27.24	72.64
40~44	0.34	23.71	75.95
44~48	0.32	25.29	74.39
ave.	0.84	34.57	64.59
min	0.05	23.71	39.93
max	7.23	59.90	75.95

CY96010	SAND %	SILT %	CLAY %
0~4	12.75	57.29	29.96
4~6	13.20	61.83	24.97
6~10	18.38	56.62	25.00
10~14	17.53	60.48	21.99
14~18	9.76	59.12	31.12
18~22	9.34	67.48	23.18
22~26	6.78	49.31	43.91
26~30	12.48	57.49	30.03
30~34	11.82	55.49	32.69
34~38	17.79	56.25	25.96
38~42	7.88	63.03	29.09
42~46	8.76	66.62	24.62
ave.	12.21	59.25	28.54
min	6.78	49.31	21.99
max	18.38	67.48	43.91

Appendix 2. Concentration of heavy metals, Or.C and CaCO₃ in sediments

station	Mz	Or. C(%)	CaCO ₃ (%)	Cu	Cr	Ni	Pb	Co	Mn	Zn	Ca	Fe	Mg	Na	K	Al						
											(ppm)						(%)					
CY96001	7.97	1.05	8.70	13.90	72.69	36.49	35.7	6.43	534.19	68.16	0.895	1.09	0.143	0.05	0.07	7.26						
CY96002	7.19	0.82	6.80	11.05	50.55	28.85	32.6	7.29	504.86	65.67	0.553	1.25	0.140	0.24	0.01	8.71						
CY96003	6.07	0.67	5.60	9.51	52.02	22.87	30.6	11.30	511.24	54.32	0.536	1.36	0.125	1.04	0.12	7.75						
CY96004	4.33	0.45	3.70	5.10	31.67	23.74	27.2	8.14	487.86	37.40	0.413	1.01	0.072	0.78	0.15	5.99						
CY96005	2.85	0.44	3.70	5.27	26.72	27.80	31.7	8.83	480.46	46.64	0.408	1.13	0.064	0.48	0.20	6.84						
CY96006	2.98	0.41	3.40	3.78	20.97	23.12	24.4	9.59	474.29	33.32	0.421	0.92	0.041	0.96	0.17	5.58						
CY96007	7.30	1.06	8.80	14.40	47.72	48.18	36.9	10.45	510.91	59.58	0.417	1.42	0.220	0.59	0.17	8.90						
CY96008	8.28	1.26	9.10	16.38	57.94	52.24	31.9	8.14	507.20	64.56	0.440	1.71	0.216	0.17	0.14	9.16						
CY96009	9.25	1.30	10.50	16.50	59.00	54.00	32.0	8.20	525.00	66.10	0.450	1.75	0.310	0.12	0.09	9.50						
CY96010	6.25	0.81	9.40	11.42	50.09	42.10	25.2	9.22	626.58	61.84	1.480	1.94	0.320	0.95	0.11	9.29						
CY96011	5.37	0.47	6.70	9.05	25.84	41.03	29.9	8.79	631.04	31.77	1.254	1.41	0.222	0.94	0.18	7.46						
CY96012	2.87	0.34	3.90	4.41	20.96	23.94	41.4	7.66	460.60	35.64	0.416	0.89	0.190	1.13	0.18	5.37						
CY96013	2.67	0.30	2.80	4.35	20.00	20.90	42.1	7.68	450.00	33.00	0.405	0.95	0.180	1.01	0.21	5.25						
range	2.67-9.25	0.30-1.30	2.8-10.5	3.78-16.50	20-72.69	20.90-54	24.4-42.1	6.43-11.30	450-631	33-68	0.405-1.48	0.89-1.94	0.041-0.320	0.05-1.13	0.01-0.21	5.25-9.50						
ave	5.64	0.72	6.39	9.63	41.24	34.25	32.43	8.59	515.71	50.61	0.62	1.29	0.14	0.65	0.14	7.47						

Appendix. 3 The average chemical composition of sediments and range of each geographic unit.

	Al (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	Ca (%)	Fe (%)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Cr (ppm)	Co (ppm)	Pb (ppm)	Ni (ppm)	Zn (ppm)	Corg (%)	CaCO ₃ (%)
Yellow Sea ¹	5.75	0.59	0.77	2.87	0.72	2.17	360	9	37	7		17	40	0.3	0.8
South Sea ¹	5.24	1.04	0.83	2.04	8.10	2.55	420	11	53	12		25	61	0.5	18.9
Yangtze River ²	6.51	1.33	0.91	1.83	2.86	3.85	810	35	82	17	27	33	78		
China Shelf Sea ³	3.48	0.71	1.25	1.49	3.77	2.00		7.98	38.17	6.90	20.29	13.67	38.50		

¹ 1. Martin and Whitfield (1983) 2. Zhao Yi-Yang et al., (1992) 3. Yiyang Zhao and Yue Li (1996)

감사의 글

이 논문이 나오기까지 보살핌으로 저에게 많은 도움을 주신 분들께 깊은 감사를 드립니다. 먼저 매우 바쁜 와중에도 부족한 저의 논문을 끊임없이 지도해 주시고 인내와 가르침으로서 저를 인도해주신 윤정수 교수님께 깊은 감사의 마음을 전합니다. 그리고 논문에 대한 지도를 해 주신 고유봉, 방익찬, 최영찬, 이준백 교수님들께 감사를 드립니다.

지난 여름 매우 바쁜 와중에도 귀중한 시간을 내주며 실험을 해 준 고윤영 선배님과 후배들에게 이 기쁨을 나누면서 정말 너무 고마운 마음을 어떻게 표현해야 할지 모르겠습니다.

바쁜 업무중에서도 저에게 귀중한 시간을 배려해 주시어 이 논문을 완성하도록 많은 도움을 주신 기상청 관측실의 이천우 실장님, 최치영 과장님, 우덕모 서기관님, 권태순 사무관님, 박재명 사무관님, 송석은 주임님, 박종서 주임님, 홍성표 주임님, 홍종남씨께 그리고, 항상 제 주위에서 논문에 대한 염려를 해주시고 많은 도움을 주신 이찬구 사무관님께 깊은 감사의 마음을 드립니다.

제 곁에 항상 있어주면서 매우 큰 힘과 도움이 되어준 저의 소중한 사람인 용년에게 그리고 항상 따스하게 저를 맞이해 주신 용년의 아버님과 어머님에게 기쁜 마음으로 고맙다고 전해드리고 싶습니다. 그리고 무엇보다도 지금의 이 논문이 나오기까지 항상 많이 걱정하시고 염려해주신 부모님과 동생에게 이 논문을 내면서 느끼는 기쁨을 함께 누리고 싶습니다.