

한강하구 및 경기만에서의 점토광물에 대한 연구

박정기 · 오재경
인하대학교 해양학과

A Study on the Clay Minerals in the Han River Estuary and the Kyōnggi Bay Areas

CHEONG-KEE PARK AND JAE-KYUNG OH

Department of Oceanography, Inha University, Incheon 402-751, Korea

한강 및 경기만 일부 해역에서 저층퇴적물과 부유퇴적물내 점토광물의 분포 특성을 알아보기 위하여 X-선 회절분석(XRD)을 실시하였다.

분석결과, 한강 하류부를 이루고 있는 주 구성광물은 일라이트(57.1%), 고령석(22.9%), 녹니석(19.6%)이며, 하구와 경기만 일부해역에서 나타나는 점토광물은 일라이트, 녹니석, 고령석과 스멕타이트가 각각 67.2, 16.5, 15.5%와 1.3%로 나타났다

하천, 하구환경과 만환경에 따라 함량차이가 뚜렷히 나타나는데 일라이트의 경우 외해역으로 가면서 점차 증가하는 양상을 보였으며, 또한 피크비(Peak-intensity ratio) 분석결과, 한강 및 하구상부에서 나타나는 일라이트는 북팔면체이며, 외해역에서 나타나는 일라이트는 하천을 통해 운반된 것이 아닌 것으로 보이는 삼팔면체의 특징을 보이는 일라이트가 나타났으며, 그 중간지역에서는 두 형태가 혼합된 일라이트가 분포하는 것으로 나타났다.

고령석은 외해로 가면서 23%에서 11%로 감소하는 경향을 보이며, 녹니석은 외해로 가면서 19%에서 14%로 고령석과 유사한 경향을 보였다. 스멕타이트는 3% 미만의 소량으로 나타났다.

일라이트, 고령석과 녹니석은 주로 하천에 의해 운반되는 하구의 수리적 특성에 의해 재분포된 것이며, 스멕타이트는 황해나 중국에서 운반 퇴적된 것으로사료된다. 이와같이 운반된 점토광물의 공간적 분포를 결정하는 주요 요인은 하구순환특성에 의해 좌우되는 것으로 보인다.

Fine-grained sediments of the Han River and adjacent Kyōnggi Bay have been studied using the powder x-ray diffractometer in order to study the distributional characteristics of clay minerals in the bottom and suspended sediments.

The result of the XRD analyse shows that the major clay minerals in the lower Han River are composed of illite (57.1%), kaolinite (22.9%), and chlorite (19.6%) and that those of the Han River Estuary are composed of illite (67.2%), chlorite (16.5%), kaolinite (15.5%), and smectite (1.3%).

The variation of mineral content shows distinct distributional characteristics depending on sedimentary environments. The illite content increases gradually approaching the Kyōnggi Bay and kaolinite content decreases toward the sea within the range between 11% and 23%. The trend of chlorite is similar to that of kaolinite, the amount of which ranges between 14% and 19%. Smectite content is lower than 3%. Analysis of illite using peak-intensity ratio (001/002) indicates that two types of illites occur in the study area. Dioctahedral-type appears to be an indicator of the riverine sediments, and trioctahedral-type illite occurs as an indicator of the marine sediments. The illites distributed between the Kyōnggi Bay and the Han River are mixtures of dioctahedral- and trioctahedral-types.

This study indicates that the distribution of illite, kaolinite, and chlorite has been influenced mainly by the supply from the Han River and redistributed by estuarine circulation, such as tidal circulation and seasonal variation of river discharge. However, smectite is apparently supplied from other sources such as Yellow Sea or China.

This study suggests that estuarine mixing system and seasonal variations of river discharge are the major factors controlling the distribution pattern of clay minerals in the study area.

서론

해양환경에서 점토광물의 기원은 Si(사면체)와 Al(팔면체) 화합물간에 상호작용으로 인해 해양에서 자생으로 형성되는 것과 육상암석의 일차적인 풍화로 형성된 것이 화학적 변화를 받지 않고 침식되어 해양으로 운반, 퇴적된 것으로 구분할 수 있다. 따라서 이와 같은 광물학적 특징에 따라 점토광물은 모암과 토양의 광물학적 성질과 운반경로에 따라 퇴적 분포특성을 갖는다. 암석학적으로는 모암의 성인, 종류 등에 따라 주 구성광물의 특성을 결정하게 된다. 따라서 현생퇴적물내 세립질 퇴적물의 퇴적환경을 이해하는 데 있어서 점토광물(Clay mineral)에 대한 연구는 매우 중요한 의미를 지닌다. 이는 현생퇴적물내 점토광물이 일차적으로 암석의 물리, 화학적인 풍화에 의한 쇄설물질로서 세립질 퇴적물의 기원과 분포상을 반영하며(Hathaway, 1972), 또한 세립질 퇴적물의 기원과 분포양상을 통해서 퇴적물의 이동경로와 이동방향 등 퇴적기작(Depositional mechanism)과 퇴적환경을 이해하는데 중요한 역할을 하기 때문이다(Biscaye, 1965 ;

Naidu *et al.*, 1982 ; Gibbs, 1977 ; Park and Han, 1984).

특히, 담수와 해수가 만나는 전이적 환경이라 할 수 있는 하구퇴적환경에서 점토광물의 퇴적양상에 대한 연구는 복잡한 수괴의 혼합양상(Bowden, 1967 ; Dyer, 1973)과 하천의 유량 등에 의한 세립질 퇴적물의 운반 및 퇴적이 주로 영향을 받는데 이는 일차적으로 담수 유입량의 계절에 따른 변화(Meade, 1969)로 인한 하천의 퇴적물 운송능력의 변화(Strahler, 1975)와 조석작용에 의한 수괴의 혼합양상, 지형적인 특성 등에 의해 좌우된다.

이와 같은 에너지조건이 하구를 하나의 여과체로서 그 여과효율(Filtering efficiency)에 의해 세립질 퇴적물의 집적, 유출이 좌우됨으로 퇴적양상과 분포를 결정하게 된다(Schubel, 1984).

본 연구의 목적은 경기만 퇴적환경에 가장 큰 영향을 미치는 한강 및 한강하구와 경기만 일부해역에서 점토광물의 기원, 분포 및 이동양상을 파악하고, 퇴적기작과 운반 및 분포를 좌우하는 요인을 규명함에 있다.

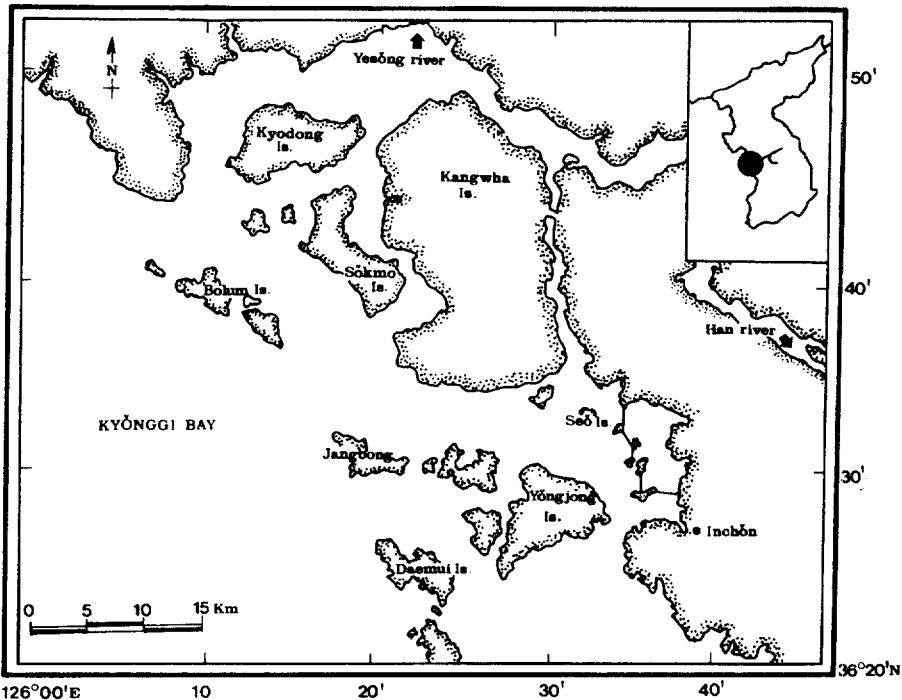


Fig. 1. Map showing the studied area.

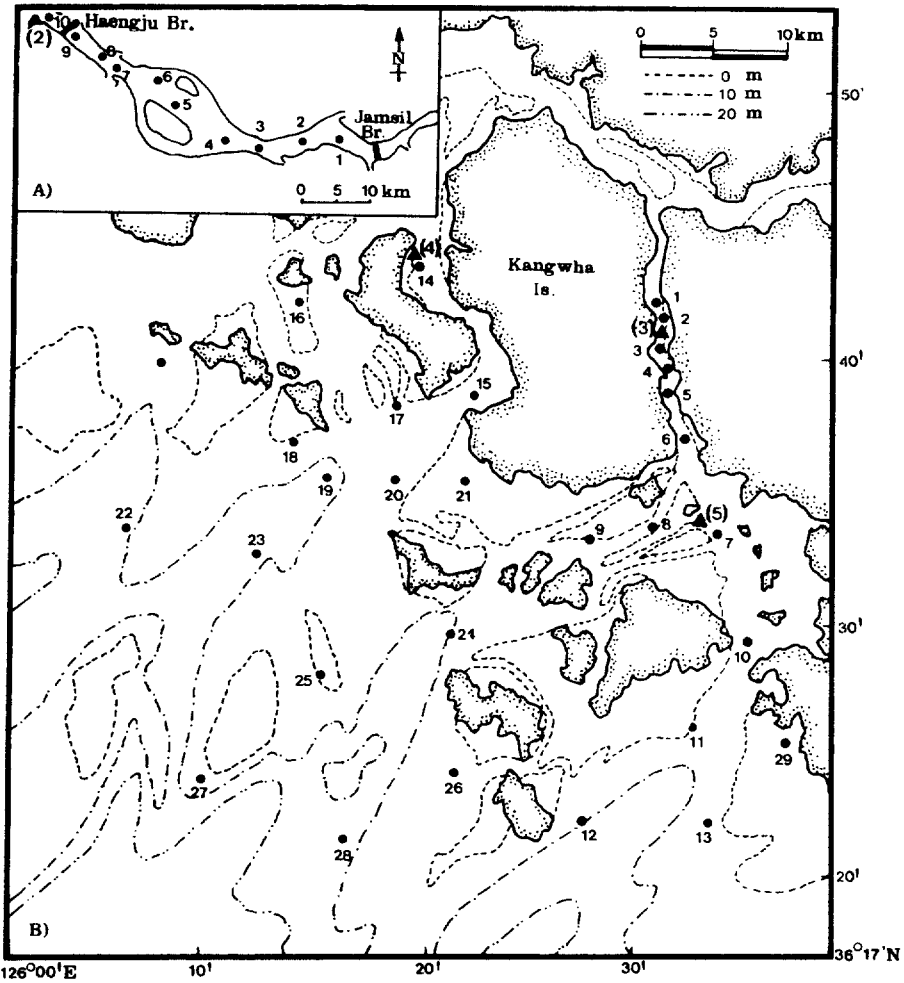


Fig. 2. Map showing the sampling locations and bathymetric chart A) Han River. B) Kyonggi Bay: (●) denotes bottom sediment sampling locations, and (▲) denotes mooring stations.

연구지역

본 연구지역은 북위 37° 30'~37° 40', 동경 126° 45'~127° 00'내에 위치하는 잠실수중보와 경기도 김포군에 위치하는 신곡수중보를 연하는 약 30 km 구간의 한강 하류부와 북위 37° 10'~37° 45', 동경 126° 00'~127° 00'에 위치하는 한강하구 및 경기만 일부해역이다(Fig. 1).

한강하구와 경기만의 퇴적환경은 경기만 집수역인 한강, 임진강과 예성강을 통해 유입되는 담수와 황해로부터 유입되는 해수가 만나는 반폐쇄성 연안수역으로서 Davies(1973)와 Pritchard(1967)에 의한 하구분류에 따르면 인천항에서 대조시 최대조차가

8m에 이르는 대조차만(Macrotidal bay)이며, 하천을 통해 유입되는 담수의 계절적 변화와 경기만으로부터 진입하는 조석의 강도 및 지형적 요인에 의해 특징지어지는 수괴혼합 정도에 따라 Partially-mixed estuary 또는 Well-mixed estuary 형태에 가까운 하구특성을 보인다(오, 1985 ; 김, 1990).

연구방법

시료채취는 1989년 8월과 동년 9월에 총 40개 지점에 대해 저층퇴적물 시료를 채취하였으며, 한강 하류부 1개 지점(St. 2)과 각 수로를 중심으로 3개 지점(St. 3, 4, 5)에서 조석주기에 따른 수리자료 및

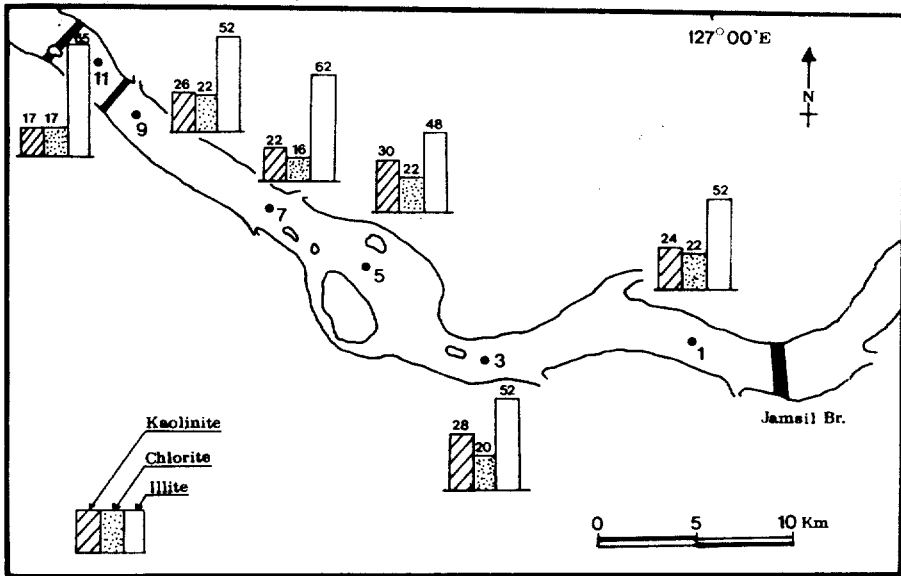


Fig. 3. Relative amounts of clay mineral in the Han River bottom sediments (unit: %).

부유퇴적물시료를 획득하였다(Fig. 2).

채취한 저층퇴적물과 부유퇴적물은 시료내 점토 광물 함량분석을 위해 3개의 원형 유리판을 준비하여 Gibbs(1965)에 의한 무처리 정상시료, Hathaway(1956)에 의한 열처리시료와 Brunton(1955)에 의해 Ethylene Glycol 처리한 시료를 Philips Norelco PW1710 X-선 회절분석기(40 Kv, 25 mA)로 Nickel-filtered Radiation을 사용하여 주사속도 1.8° 2θ/min으로 3° 2θ~35° 2θ까지 주사한 자료상에 나타난 스�멕타이트, 고령석, 녹니석, 일라이트 광물의 상대함량을 구하여 분석하였다.

결과 및 토의

1. 일라이트(Illite)

10, 5, 3.3 Å 등에서 일련의 피크를 보이는 일라이트는 전조사지역에 걸쳐 48~88.3%의 함량범위를 보였으며, 한강 하저퇴적물에서는 평균 57.1%, 하구역에서는 평균 69.3%의 함량을 보였다(Fig. 3, 4). 이러한 분포경향을 외해로 가면서 평균 71.1%로 증가하는 경향을 보였으며, 특히 석모, 장봉, 불음도를 잇는 해역내에서는 80% 이상의 높은 함량을 나타내었다. 이는 일라이트가 풍부한 외해 퇴적물이 퇴적됨으로 고품량의 일라이트에 의해 회석되어 상

대적으로 높게 나타나는 것으로 사료된다.

본 연구지역에서 나타난 일라이트의 함량은 전체적으로 외해로 가면서 점차 황해 중앙이토(Central Yellow Mud)내 일라이트함량(Khim, 1988)과 유사한 경향을 보였다(Table 1, 2). 특히 Park and Han (1984)에 의해 조사된 남부해역에서 57, 50% 함량을 보였다는 결과와 본 연구지역에서 조사된 자료와 비교시 상당히 낮은 함량을 보였는데, 이는 점토광물의 기원과 이동매체가 다르기 때문인 것으로 사료된다.

또한 Diffractogram상에 나타나는 10 Å(001)의 피크와 5 Å(002)의 피크비 분석결과도 매우 뚜렷한 양상을 보이는데, 일련의 피크 중에서 (001/002) 피크비는 한강유역에서는 1.6~1.8을 보인 반면에 조사지역 남서 외해역에서는 3.2 이상의 피크비를 보였다(Fig. 5, Table 1, 2). Bradley and Grim(1961)에 의하면, 해양성 기원의 퇴적물에서의 일라이트는 삼팔면체(Trioctahedral type)이며, 하천을 통해 운반된 퇴적물에서는 복팔면체(Dioctahedral type)라는 연구결과와 가로림만에서 조사된 Han(1982)의 연구결과에 비추어 볼 때 한강유역에서 나타나는 일라이트는 복팔면체의 일라이트이며 조사지역 남서부지역에서는 한강에서 나타나는 일라이트와는 그 기원이 전혀 다른 삼팔면체 특징을 보여주는 일라

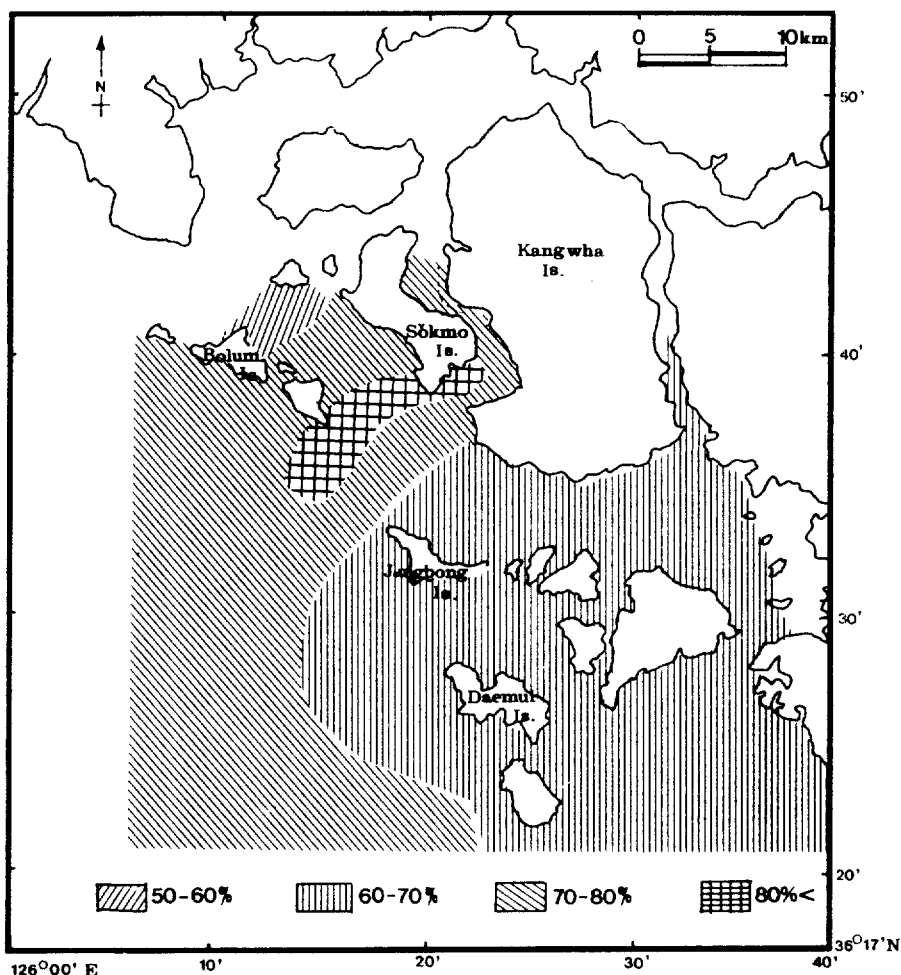


Fig. 4. Distribution pattern of illite abundance in the studied area.

Table 1. Relative amounts of clay mineral in the Han River bottom sediments (unit: %).

Station	Illite	Kaolinite	Chlorite	Smectite	K/C	I(001/002)
1	51.82	24.31	22.69	0.00	1.07	1.71
3	51.93	28.46	19.61	0.00	1.52	1.62
5	47.57	29.30	21.59	0.00	1.43	1.82
7	61.56	21.75	16.18	0.00	1.42	1.72
9	52.00	24.71	22.50	0.00	1.10	1.72
10	65.92	16.77	17.32	0.00	0.97	1.75
11	64.60	15.70	18.70	0.00	1.00	1.88
AVG.	56.48	23.00	19.80	0.00	1.22	1.75

K/C: Kaolinite peak/Chlorite peak ratio
 I (001/002): Illite 10 Å peak/5 Å peak ratio
 AVG: Average Concentration (%)

이트가 주를 이루고 있는 것으로 나타났다. 또한 피크비(Peak ratio)가 2에서 3 사이인 두 형태의

일라이트가 혼합된 형태로 나타나는 것으로 보이는 주로 황해로부터 유입되는 퇴적물의 영향도

Table 2. Relative amounts of clay mineral in the Han River Estuary and around the Kyōnggi Bay (unit: %).

Station	Illite	Kaolinite	Chlorite	Smectite	K/C	I(001/002)
1	68.94	15.81	14.50	0.00	0.90	1.78
2	66.88	17.10	15.99	0.00	1.07	1.69
3	71.23	15.77	13.58	0.00	1.13	1.87
4	67.03	17.20	15.81	0.00	1.09	1.91
5	65.44	18.50	16.01	0.00	1.26	2.19
6	62.41	17.50	17.48	2.63	1.00	1.86
7	59.13	18.30	22.53	0.00	0.81	1.69
8	61.18	17.40	21.43	0.00	0.81	1.70
9	58.93	18.80	22.24	0.00	0.85	1.80
10	61.51	17.50	21.02	0.00	0.83	1.98
11	67.15	17.50	15.38	0.00	1.14	1.67
12	66.86	14.00	19.14	0.00	0.73	2.20
13	60.85	17.88	20.36	0.00	0.88	1.81
15	74.92	9.30	13.13	2.70	0.69	2.50
16	57.24	18.04	24.71	0.00	0.73	1.35
17	81.59	6.40	12.05	0.00	0.53	2.19
19	76.97	8.40	13.67	0.95	0.62	2.75
20	88.28	4.40	7.35	0.00	0.59	2.78
21	73.07	10.50	16.37	0.00	0.65	2.15
22	64.14	14.00	18.46	3.37	0.76	1.90
23	72.16	12.70	15.12	0.00	0.84	1.91
24	56.75	17.60	20.26	5.35	0.87	1.42
25	68.32	14.30	17.43	0.00	0.81	3.43
26	72.48	13.20	14.83	2.27	0.66	3.43
27	66.70	9.70	17.87	2.95	0.74	3.50
28	92.44	2.65	3.96	1.03	0.65	3.26
29	57.43	20.00	23.00	0.00	0.83	1.98

K/C: Kaolinite/Chlorite Peak ratio

I (001/002): Illite 10 Å Peak/5 Å Peak ratio

크나 담수에 의해 유입된 육상 기원 퇴적물과 혼합된 결과로, 육상으로부터 유입된 퇴적물들이 조사지역 일대 세립질 퇴적물 분포에 큰 영향을 미치는 것으로 사료된다.

2. 고령석(Kaolinite)

7 Å, 3.57 Å 등에서 일련의 피크를 보이는 고령석은 전 조사지역에 걸쳐서 4~26%의 함량을 보였으며, 지역적으로는 한강 하저퇴적물내에서는 평균 22%(Fig. 3), 강화도 남단과 영종도 남부연안과 조간대에서는 평균 15%의 함량을 보여, 평균 11.1%의 경기만보다 높은 함량을 나타내었다. 고령석의 함량분포는 하천에서 하구와 만을 거쳐 외해로 갈수록 감소하는 경향을 보인다. 특히, 염분도 자료를 통해 (김, 1990) 담수의 영향이 미치는 한계지역으로 보이는 장봉도, 불음도, 용유도를 잇는 만입부에서 두

렷히 감소하는 경향을 보였다(Fig. 6).

3. 녹니석(Chlorite)

14.2, 7.1, 4.7, 3.53 Å에서 일련의 피크를 보인 녹니석(chlorite)은 전 조사지역에 걸쳐서 7.4~22.5%의 함량범위를 보였으며, 고령석의 분포양상과 유사한 경향을 보이거나 하구역에서 변화양상은 고령석보다 덜 뚜렷하게 나타났다. 한강유역과 하구역에서는 각각 19.6%, 15.1~19%로 환경변이에 따른 뚜렷한 차이를 보이지는 않았으나 외해역으로 가면서 13.9%의 함량을 보여 하천에서 멀어질수록 감소하는 경향을 보였다(Fig. 3, 7).

4. 스멕타이트(Smectite)

Diffractiongram상에서 17 Å와 9.8 Å 등의 피크가 단일결정으로 뚜렷히 나타나기보다는 주로 녹니석

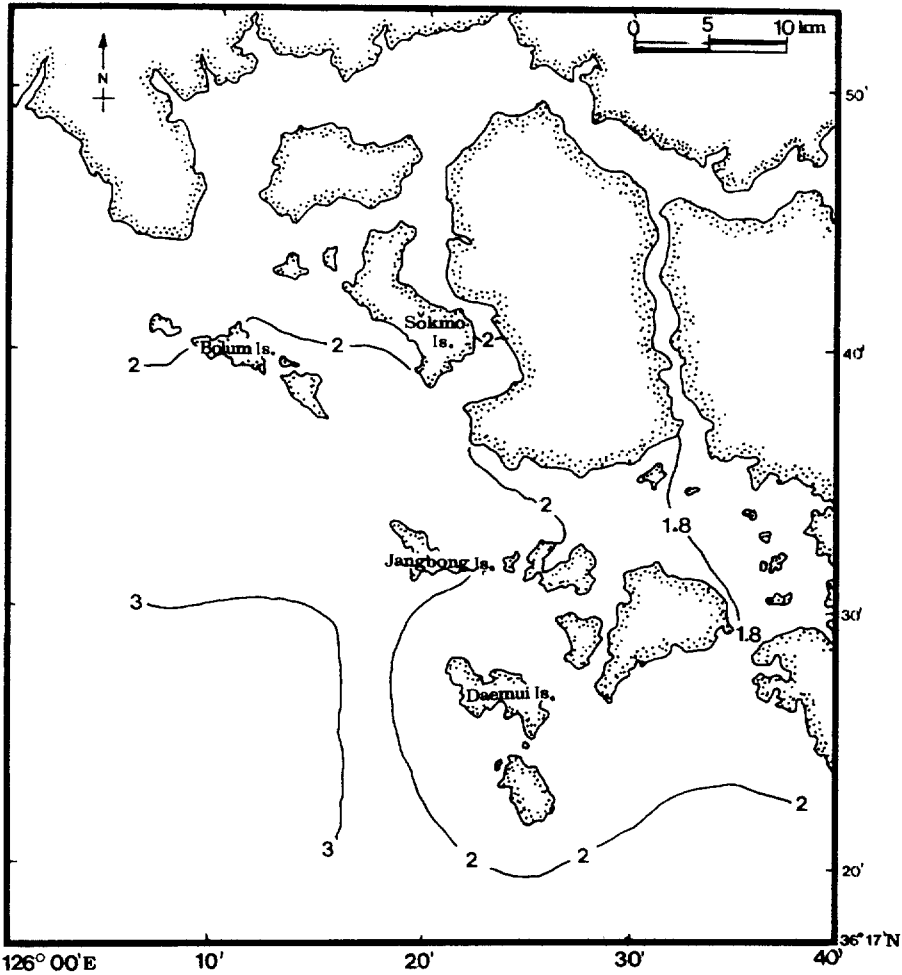


Fig. 5. Map showing the peak-intensity ratio of illite (001/002).

이나 일라이트와 혼합된 형태로 나타나는 해양환경 하의 스멕타이트의 함량분포는 한강 하상 퇴적물내에서는 나타나지 않으며, 대부분의 해역에서 2% 미만, 조사지역 서측 끝단에서는 3% 정도의 미량으로 나타났다.

황해를 이루는 세립질 퇴적물의 주 기원이라고 하는 황하강과 양자강을 통해 황해로 유입되는 점토광물 중 스멕타이트 함량이 각각 10~23%, 5% (Xie and Zhang, 1983; He, 1985)로 그 기원구분이 뚜렷하고 한반도에서 유입되는 주요 하천에서는 스멕타이트가 나타나지 않는다는 것과 하구와 만을 거쳐 외해로 갈수록 소량으로 나타나는 것으로 보아 경기만 해역에서 나타나는 스멕타이트는 광물의 변성작용에 의한 영향이거보다는 그 기원이 황해나

중국대륙으로부터 운반되어 퇴적되어진 것으로 사료된다(Table 2, 3).

5. 점토광물의 퇴적기작

하구역과 같은 연안환경에서 점토광물의 퇴적기작을 이루는 요인으로는 크게 광물의 화학적 변성에 의한 속성작용, 담수에 의해 운반된 광물이 해수와 만남으로 일어나는 이온치환작용, 염분도 변화에 따른 응집력 차이(Differential flocculation)와 밀도가 다른 두 수괴의 혼합특성에 따른 입자의 입도별 분급 퇴적현상 등으로 나누어 볼 수 있다.

그러나 하구환경 자체가 광물의 변성이 일어나기에는 환경 특성상 심해와는 달리 매우 불안정한 환경조건인 반면에 고령석의 경우는 이온 치환율이

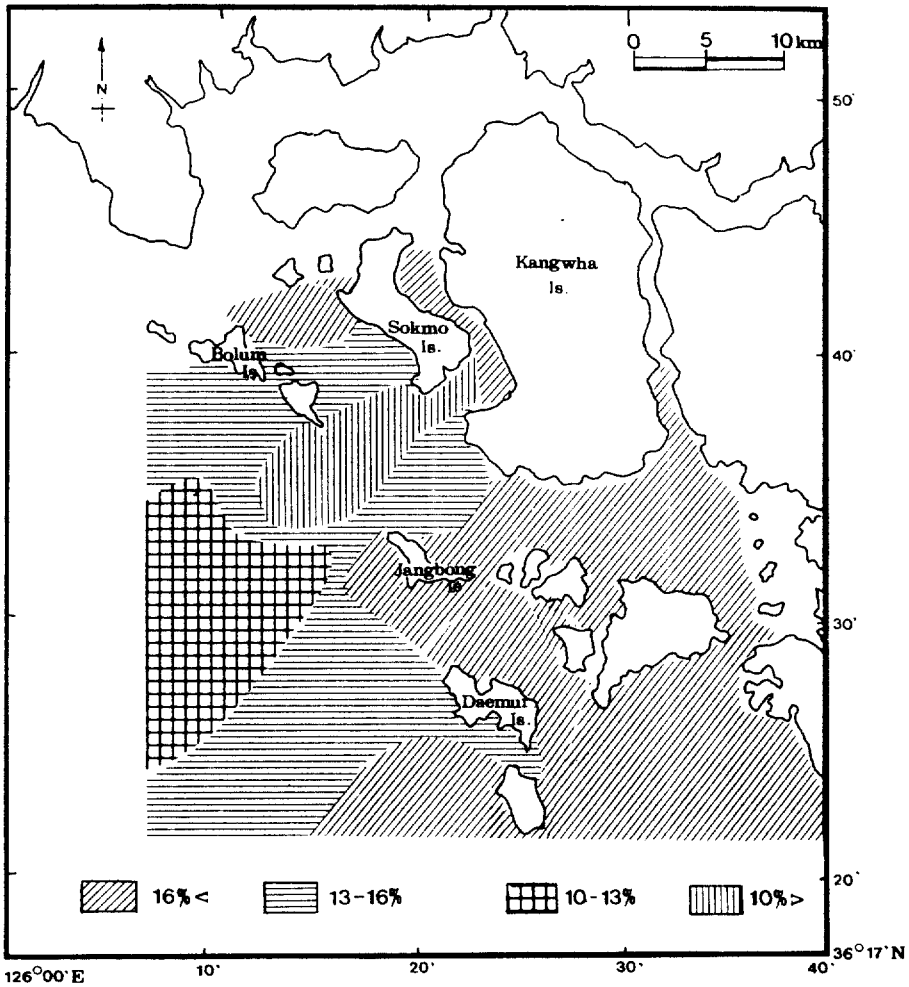


Fig. 6. Distribution pattern of kaolinite abundance in the studied area.

적은 매우 안정된 결정구조를 가지고 있으며, 녹니석이나 일라이트의 경우도 비교적 안정된 결정구조를 가지고(Drever, 1982) 있기 때문에 광물의 초기 속성작용은 받지 않는다는 결과(Berner, 1971)로 보아 광물의 속성작용에 의해 고령석과 녹니석이 생성되었을 가능성은 극히 희박하다고 할 수 있다.

Gibbs(1983)에 의하면 고령석과 일라이트는 염분도가 2‰에서 응집이 일어나 5‰ 이상이 되면 더 이상 응집이 일어나지 않는 응집한계 염분도가 존재함을 밝혔다. 이러한 응집한계 이상의 염분도에서는 주로 유속과 같은 해수의 역학적 요인에 의해 운반, 퇴적된다. 그 외 Amazon(Gibbs, 1983), James 하구(Feuillet and Fleischer, 1980)에서 점토광물의

분포 경향과 염분도 변화양상과의 일치는 Whitehouse *et al.*(1960)에 의해 제기된 차등응집(Preferential flocculation)의 영향도 크게 미치지만 하구에서의 수괴의 순환(Estuarine circulation)이 더 큰 요인으로 작용한다고 하였다(Meade, 1972; Feuillet and Fleisher, 1980).

본 연구에서 비록 군사적 제한성으로 인해 하구 상부지역에 대한 조사는 이루어지지 않았으나 한강 하구역에서의 점토광물의 공간적인 분포에 주로 영향을 미치는 것은 응집효과에 의한 퇴적가속과 조석의 비대칭 및 수괴의 혼합특성에 따른 선택적 분급퇴적(Selective size sorting)에 기인하는 것으로 보인다.

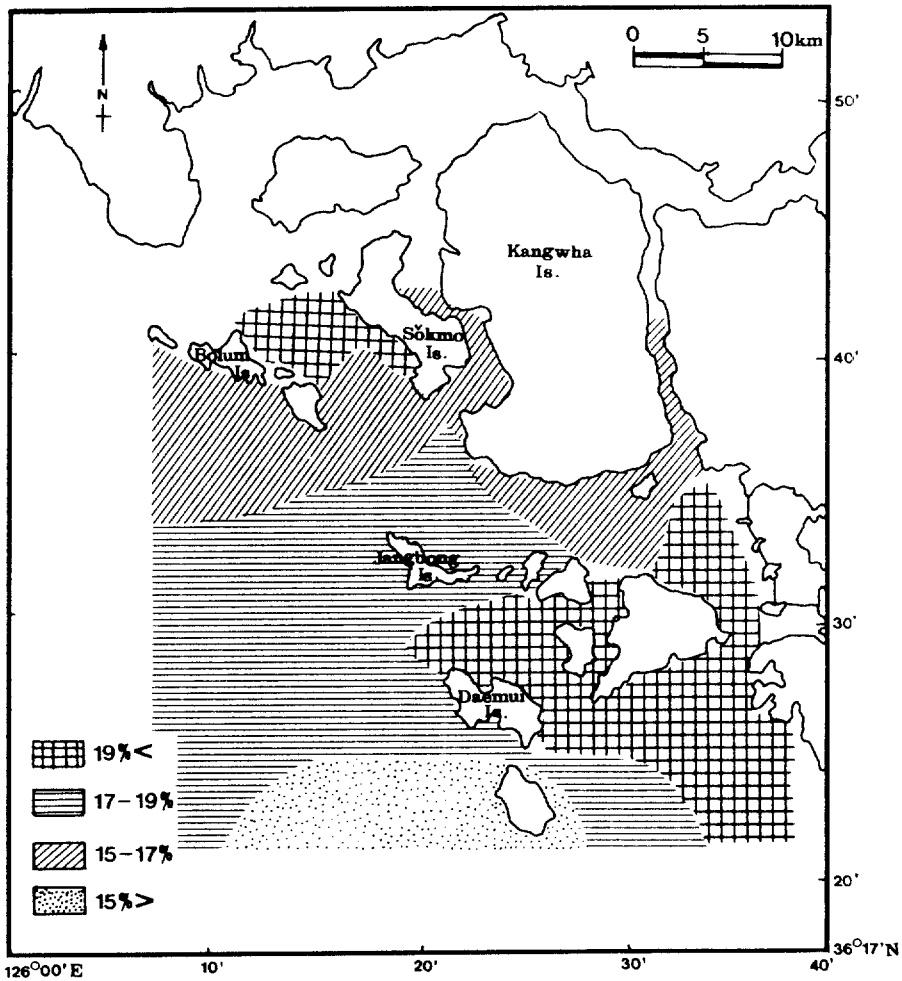


Fig. 7. Distribution pattern of chlorite abundance in the studied area.

결론

전 연구지역에 걸쳐서 주 구성광물은 일라이트이며, 그 외 고령석, 녹니석과 미량 또는, 다른 광물과 혼합된 형태의 스멕타이트가 본 연구지역 외해역에서 나타났다.

일라이트의 함량은 하천, 하구와 만을 거쳐 외해로 갈수록 점차 증가하는 양상을 보이며 일라이트의 (001) 피크와 (002) 피크비 분석결과 한강 및 하구 상부에서 나타나는 일라이트는 복팔면체(Dioctahedral type)이며, 연구지역 남서단에 분포하는 일라이트는 삼팔면체(Trioctahedral type) 특성을 보이는 것으로 나타났으며, 그 사이지역에서는 두 형태가 혼합된 일라이트가 넓게 분포하는 것으로 나타났다.

따라서 본 연구해역에서는 황해로부터 운반, 퇴적된 퇴적물의 영향도 크나 계절에 따른 담수유입에 의한 운반, 퇴적도 경기만 퇴적환경에 많은 영향을 미쳐 두 종류의 일라이트가 혼합되는 것으로 보인다.

스멕타이트의 경우 하천에서는 나타나지 않고, 만입부에서 외해역으로 가면서 점차 증가하는 양상을 보여 해양성 기원임을 보여준다.

고령석과 녹니석은 일라이트와 반대로 외해로 갈수록 점차 감소하는 경향을 보였다. 고령석은 한강 하구와 경기만의 경계해역에서 뚜렷한 함량 감소를 보였으며, 녹니석의 경우는 고령석보다는 감소하는 양상이 덜 뚜렷하게 나타나 전체적으로 하천환경으로 가면서 증가하는 양상을 보여 하천을 통해 유입, 퇴적된 육상 기원 퇴적물임을 보여준다(Fig. 8, Table

Table 3. Comparison of relative amounts of four major clay mineral in the Han River, the Han River Estuary, Yellow Sea and East China sea (unit: %).

		Han-River	Estuary	*Yellow Sea(East China Sea)	*Estuary	*Huanghe(Yangtze) River
Suspended sediment	K	22.14	16.54	●	5.24-10.7	8.4 (9.5)
	C	13.98	15.86	●	12.28-15.56	10.7 (14.5)
	I	63.59	66.77	●	70.23-77.26	72.8 (71.4)
	S	●	0.91	●	1.94-7.6	6.4 (5)
Bottom sediment	K	17-26	4-18.8	10 (0-15)	7.7 (10.8)	8.4 (25.6)
	C	16-22	7.4-22.5	12 (14-49)	8.3 (10.7)	9.2 (4)
	I	48-65	58.9-83.3	67 (49.74)	63.7 (72.3)	59 (68.4)
	S	●	0-3.37	13 (0-15)	(6.4)	(6)

Note: K: Kaolinite, C: Chlorite, I: Illite, and S: Smectite
 Asterisks (*): after Xu, 1983; Xie and Zhang, 1983; Khim, 1988)

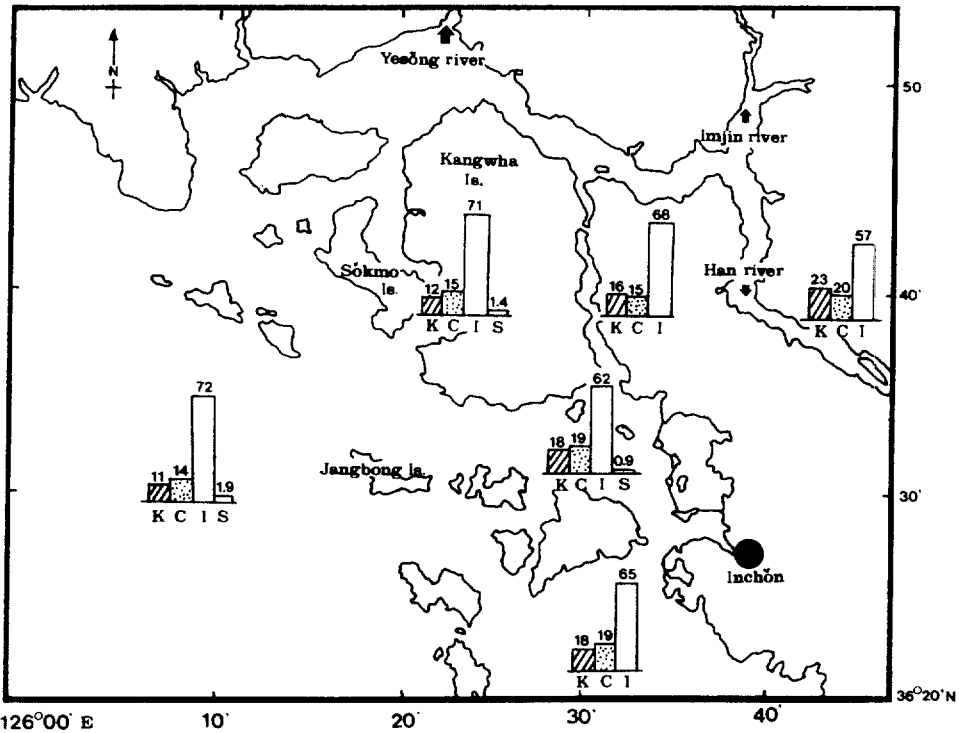


Fig. 8. Bargraph represents average clay mineral composition weighted percentage in each province (unit: %); K: Kaolinite, C: Chlorite, I: Illite, and S: Smectite.

Table 4. Average values and variation patterns of each clay mineral contents with environments.

	Han River	Han river Estuary	Kyonggi Bay
Kaolinite	22.90	15.53	11.10
Chlorite	19.60	16.50	13.90
Illite	57.10	67.17	72.10
Smectite	●	0.77	1.90

4).

세립질 퇴적물의 이동은 평수기에 지속적인 공급 보다는 주로 홍수기에 다량의 퇴적물이 유입되어(백, 1991), 조석, 파랑 및 기상 등의 요인에 의해 제한 퇴적되며, 기상과 계절에 따른 하천 담수량 변화 등에 의해 재분포하는 것으로 사료된다.

점토광물과 같은 미세립질 퇴적물의 공간적 분포 양상은 조석의 영향과 계절에 따른 담수유입량의 변화에 의해 담수와 해수의 수직적 혼합이 특성지어지는 하구순환의 영향을 크게 받으며, 이와같은 미세립질 퇴적물의 퇴적현상은 입자와 입자, 입자와 유기물간의 응집현상(Flocculation)에 의한 침강 가속화와 각 광물의 입도와 응집력에 따른 선택적 분급퇴적(Selective deposition)에 기인하는 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 1988년도 문교부 자유공모과제 학술연구조성비 및 한국과학재단의 연구비 지원하에 수행되었습니다. 본 논문을 심사하여 주신 한국해양연구소의 한상준 박사님과 안중호 박사님께 감사드립니다.

참고문헌

김영택, 1990. 한강하구 및 경기만에서의 물리학적 특성. 석사학위 논문, 인하대학교, 67pp.

박정기, 1990. 한강하구 및 경기만에서의 점토광물에 대한 연구. 석사학위 논문, 인하대학교, 59pp.

백정윤, 1991. 부유퇴적물 이동량에 따른 한강하구 염하수로의 퇴적작용에 관한 연구. 석사학위 논문, 인하대학교, 68pp.

오재경, 1985. 한강종합개발 이전의 한강하구에서 퇴적환경과 광물자원에 대한 연구. 한국과학기술재단 보고서.

Berner, R.A., 1971. Principles of Chemical Sedimentology. McGraw-Hill, New York, 240pp.

Biscaye, P.E., 1965. Mineralogy and sedimentation of recent deepseas and Oceans. *J. Geol. Soc. America Bull.* 76: 803-832.

Bowden, K.F., 1967. Circulation and diffusion. In: Estuaries, edited by G.H. Lauff, Am. Assoc. Adv. Sci. 15-36.

Bradley, W.F. and R.E. Grim, 1961. Mica clay minerals. In: X-ray identification and crystal structure of clay mineral, edited by G. Brown, Miner. Soc. London, 208-241.

Brunton, G.D., 1955. Vapour pressure glycolation of Oriented clay minerals. *J. Am. Mineralogist*, 40: 124-126.

Davies, J.L., 1973. Geographical variation in Coastal Development. Hafner, New York, 204pp.

Drever, J.I., 1982. The Geochemistry of Natural Waters. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 388pp.

Dyer, K.R., 1973. Estuaries. A physical introduction. Wiley, New York, 140pp.

Feuillet, J.P. and P. Fleisher, 1980. Estuarine Circulation. Controlling factor of Clay minerals Distribution in James River Estuary, Virginia. *J. Sed. Petrology*, 50:

0267-0279

Gibbs, R.J., 1965. Error due to segregation in Quantitative clay mineral X-ray diffraction mounting techniques. *J. Am. Mineralogist*, 50: 741-751.

Gibbs, R.J., 1977. Clay mineral Segregation in the Marine Environment. 47: 237-243.

Gibbs, R.J., 1983. Coagulation Rates of Clay minerals and Natural Sediments. *J. Sed. Petrology*, 53: 1193-1203.

Han, S.J., 1982. The Clay Mineralogy of Recent Sediment in Garolim Bay, Korea. *J. Geol. Soc. Korea*, 18: 215-220.

Hathaway, J.C., 1956. Procedure for clay mineral analyses used in the sedimentary petrology laboratory of the U.S. Geological Survey. *Clay Minerals Bull.* 15: 8-13.

Hathaway, J.C., 1972. Regional clay mineral facies in estuaries and continental margin of the United States east coast. In: Estuaries, edited by B.W. Nelson, Geol. Soc. American Mem, 293-316.

He, L.B., 1985. Clay minerals in the surface sediment of the Bohai Sea. *J. Acta Oceanol. Sin.* 4: 92-98.

Khim, B.K., 1988. Sedimentological study of the muddy deposits in Yellow Sea. M.S. Thesis, Seoul Nat'l Univ., 106pp.

Meade, R.H., 1969. Landward transport of bottom sediments in estuaries of the Atlantic Coastal plain. *J. Sed. Petrology*, 39: 222-234.

Meade, R.H., 1972. Transport and deposition of sediments in estuaries. In: Environment Framework of Coastal Plain Estuaries, edited by B.W. Nelson, Geol. Soc. Amer. Memoir 133, Boulder, Co. 91-120.

Naidu, A.S., J.S. Creager, and T.C. Mowatt, 1982. Sources and dispersal patterns of clay minerals in surface sediments from the continental-shelf areas off Alaska. *J. Geol. Soc. America Bull.* 94: 841-854.

Park, B.K. and S.J. Han, 1984. The Distribution of clay minerals in recent sediments of the Korea Strait. *J. Sedimentary Geology*, 41: 173-184.

Pritchard, D.W., 1967. Observation of circulation in coastal plain estuaries. In: Estuaries, edited by G.H. Lauff, Am. Assoc. Advancement Sci. Pub. Washington D.C., 37-44.

Strahler, A.N., 1975. Physical geography. John Wiley & Sons Inc, 643pp.

Schubel, J.R., 1984. The estuary as a filter: An introduction In: The estuary as a filter, edited by V.S. Kennedy, Academic press, 81-105pp.

Whitehouse, G., L.M. Jeffrey and J.D. Debbrecht, 1960. Differential settling tendencies of clay minerals in saline waters. *J. Clays and clay mineral*, 7: 839-861.

Xie, Q. and L. Zhang, 1983. Features and Transportation of Suspended Matter over the Continental Shelf of the Changiang Estuary In: Proceedings of the international symposium on Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea, China Ocean Press, Beijing, 370-381.

Received August 20, 1991

Accepted October 22, 1991