부산점토의 특성 : 녹산지역 점토 퇴적물의 광물조성과 토질

The Properties of Pusan Clay : Soil and Mineralogy of Clay Sediments in Noksan Area, Nakdong River Estuary

이선갑[1], Sonkap Lee, 김성욱[2], Sung-Wook Kim, 황진연[3], Jim-Yun Hwang, 정성교[4], Seong-Gyo Chung

[1, 2] 지반정보연구소, Institute of Ground Information Co., Ltd.
[3] 부산대학교 자연과학대학 지질학과 교수, Professor, Dept. of Geology, Busan National Univ.
[4] 동아대학교 공과대학 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Dong-A Univ

SYNOPSIS : The foundation of Noksan area is composed of consolidified sediments including clay mineral, quartz, plagioclase and calcite. The mineral compositions vary dependent on the depth. That is, at the depth of 0-15 meters quartz and plagioclase are more abundant than clay mineral, at the depth of 17-39 meters clay minerals and calcite are more than quartz and plagioclase, at the depth deeper than 40 meters, the amounts of quartz and plagioclase increase slightly and that of clay minerals decrease. Clay minerals of the clayey sediments include illite, smectite, kaolinite and chlorite. At the depth 17-39 meters smectite is abundant and kaolinite is little relatively. The pH of suspension is various between 3-9 and decrease to 3-5 at the depth deeper than 40 meters. The result of soil test of clay sediments, water content shows that liquid limit, plastic limit, particle size, unconfined compressive strength varies depending on the depth. The variation of mineralogical, geochemical, engineering properties of soil with the depth are probably due the differing sediments of different sedimentary environment. That is, these variations are considered to be correlated with the sedimentary environment change resulting from the change from continental environment to ocean environment due to the transgression of the interglacial period after the regression the latest glacial period.

Key words : Noksan industrial complex, clay mineral, geochemical, engineering, sedimentary environment.

1. 서 론

연구지역은 낙동강 하구에 해당하며 녹산국가공단을 조성하기 위한 건설공사가 시행되었던 지역이다. 지층은 상부로부터 최대 70여m까지 쇄설성의 미고결 퇴적물이 분포하며, 퇴적물 중 점토의 구성비가 대단히 높아 연약지반에 해당한다 (그림 1).

지구조운동, 빙하의 성장과 쇠퇴, 기후변화 등은 지속적인 해수면의 변화를 초래하며, 지구의 마지막 빙하최성기 (L.G.M: Last Glacial Maximum)인 15,000~18,000년 B.P.경의 해수면은 현재보다 120m 이상 낮았으며, 10,000년 B.P.에서 현재까지 30m이상 상승한 것으로 알려져 있다. 유럽과 북아메리카의 경우 대륙빙하가 소실된 시기는 약 10,000~9,000년 B.P.경으로 순수 하성퇴적층은 해발 -30m 부근에서 나타난다 (Oldale et al, 1980; Fairbanks, 1989). 반면, 우리나라와 일본의 경우 하성퇴적층은 약 -60m에 나타나는데, 이것은 비빙하기 지역에서 최후빙기 동안 최성기 해저수면 (-80m~-150m)에 대응하여 형성된 침식곡이 해수면 상승과 더불어 하천퇴적물에 의해 이적되는 과정을 통하여 충적층이 형성되었기

때문인 것으로 알려져 있다 (조화룡, 1987).

낙동강 하구 퇴적층은 육지로부터 공급되는 담수의 영향과 함께 지난 수 천년에 걸쳐 상승한 해수의 영향을 동시에 기록된 지층으로 이러한 지층에 대한 광물학적, 지화학적인 연구는 퇴적환경의 변화를 이해하는 자료로 활용되며, 한편으로 미고결 퇴적층에서 관찰되는 상이한 공학적 특성을 해석하는 중요한 정보를 제공할 수 있다.

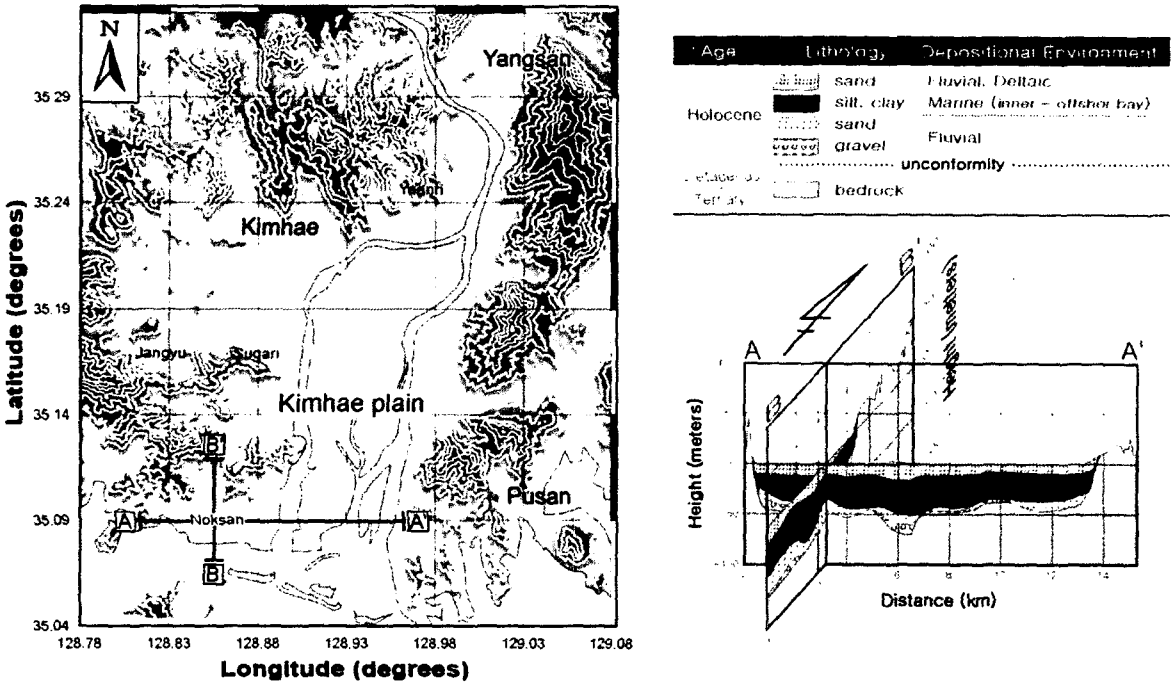


그림 1. 연구지역의 위치

2. 연구방법

점토 퇴적물에 대한 광물학, 지구화학 및 토질 공학적인 분석을 위해 녹산국가공단조성지역에서 실시된 2개의 시추코아 (Sp-23, Sp-39)에서 2m 간격으로 29개의 시료를 채취하였다 (그림 2, 그림 3). 녹산지역과 낙동강 조간대의 다른 지역 퇴적물과 대비하기 위해 3개의 시추코아에서 5개의 시료를 채취하여 별도의 실험을 실시하였다. 획득한 모든 시료를 대상으로 주구성광물을 규명하기 위해 X-선 회절분석을 실시하였으며, 일정 간격으로 현탁액의 pH와 염류량 측정 및 지화학 분석을 병행하였다. 토질시험은 비중, 입도, 함수비, 연경도, 압밀지수, 압축강도 등 일반적인 실험을 실시하였다. 이와 같이 수행된 실험결과의 상관성 분석은 지구통계학적인 방법을 이용하여 분석하였다.

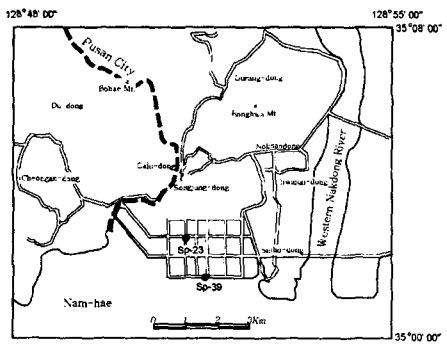


그림 2. 시추지점의 위치

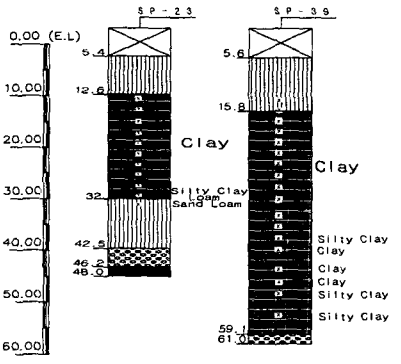
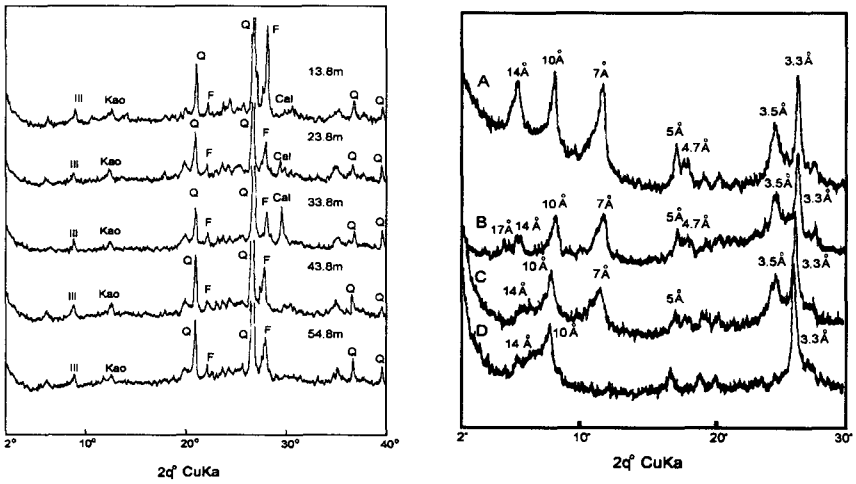


그림 3. Sp-23과 Sp-39 시추공의 주상도

3. 연구결과

녹산국가공단지역 조간대의 점토 퇴적물에 대한 X-선 회절분석 결과, 분말시료에서는 결정광물로 석영과 장석 및 방해석으로 구성되며, 점토광물은 일라이트와 카올린으로 구성된다. 또한 정방위시료에 대한 점토광물의 동정에서는 일라이트, 카올린, 녹니석, 스멕타이트로 구성됨을 알 수 있다 (그림 4).



Ill : 일라이트, Kao : 카올린, Q : 석영, F : 장석, Cal : 방해석

그림 4. 점토 퇴적물의 X-선회절분석 결과

녹산국가공단지역 조간대의 점토 퇴적물 광물조성은 표 1과 같다. 이 중 점토광물은 일라이트 33~65%, 카올리나이트 15~36%, 녹니석 7~31%, 스멕타이트 0.3~19%의 범위로 함유되어 있다. 심도별 점토 시료로부터 추출한 현탁액의 pH는 3~9의 범위로 분포한다 (그림 5).

표 1. 점토퇴적물의 광물조성

구성광물	점토광물	석영	장석	방해석
구성비	48~76%	12~28%	7~25%	3% 이하

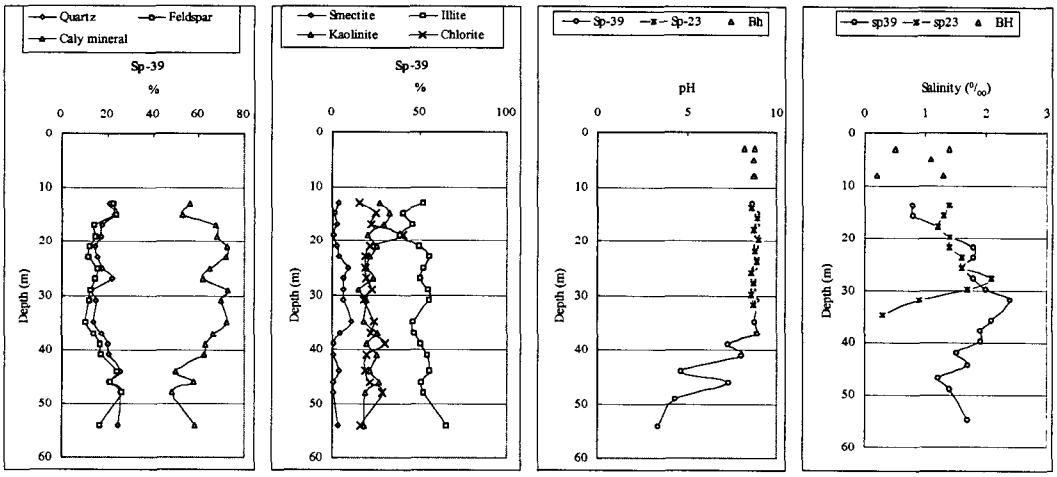


그림 5. 점토 퇴적물의 광물정량분석과 pH

광물조성과 화학시험 자료에 의한 점토퇴적물은 특성은 심도 39m를 경계로 상이하게 나타난다 (그림 5). 점토광물의 함량은 석영, 장석의 함량과 부의 관계를 보이는데, 지표하부 39m를 경계로 상부지층에서 석영과 장석의 함량이 적은 반면 하부지층은 심도에 비례하여 증가하는 경향을 보인다. 심도 39m를 경계로 상부지층에서 점토광물의 조성은 스멕타이트의 함량이 많은 반면 카올리나이트의 함량은 적게 나타난다. pH는 상부지층에서 8이상의 염기성을 지시하며 39m부터 지층의 심도가 증가할수록 감소한다. 광물시험과 화학시험 결과 특이하게 지표면하 약 39m 부근에서 상부와는 상이한 특징을 나타난다.

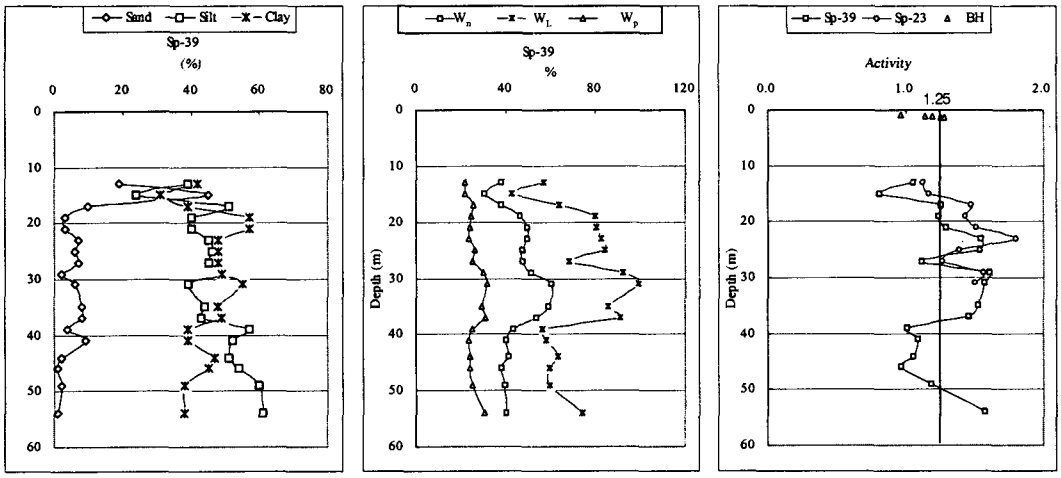


그림 6. 점토 퇴적물의 입도, 함수비, 액·소성시험 및 활성도

상, 하부 지층의 경계는 공학적 특성에서 더욱 명확한데, 입도의 분포는 상부 15m 구간은 사질토에 해당하며, 17~37m 구간은 점토가 우세한 실트질 점토, 39m 이하의 지층은 점토의 함량이 감소하는 반면 실트가 증가하는 실트질 점토에 해당한다.

소성한계 및 액성한계도 유사한 경향을 나타내는데, 17~37m 구간에서 높게 나타나며, 깊은 심도의 점토에서는 낮게 나타난다. 함수비는 17~37m 구간에서 상, 하부 지층에 비해 높은 수분 함량을 보인다. 연경도와 함수비를 고려할 때 17~37m 구간은 소성이 높은 성분으로 구성되어 있음을 알 수 있다. 점토 함량에 대한 소성지수의 선형관계를 지시하는 활성도는 카오리나이트를 주성분으로 하는 점토의 경우 0.75이하, 일라이트를 주성분으로 하는 점토는 0.75~1.25, 스멕타이트를 주성분으로 하는 점토는 1.25이상인 것이 일반적이다 (Skempton, 1953). 김해평야의 활성도는 0.97~1.28 범위에 해당하며 녹산지역 점토퇴적층의 활성도는 0.81~1.8 범위에 분포한다. Sp-39 지점에서 17~37m 구간 중 27m 시료를 제외한 다른 부분은 1.25 이상의 값을 나타내고 있다 (그림 6).

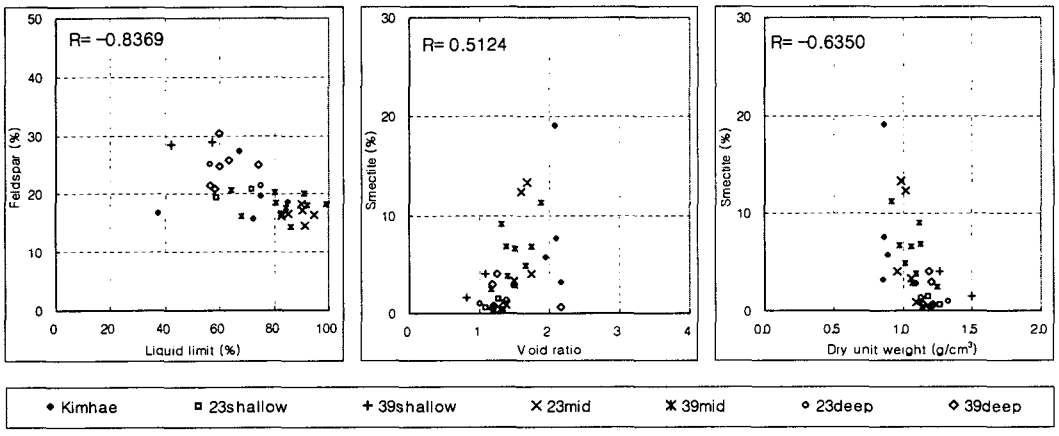


그림 7. 광물정량분석과 토질시험 자료의 상관분석

토질시험의 자료들은 지질과 퇴적환경 변화에 수반된 광물조성과 지구화학적인 특성이 조합된 복합적인 결과이므로 시험의 결과를 단순화하고 각 요소간의 배타적인 해석을 위해 단순인자들의 상관분석, 요인분석을 실시하였으며 이를 바탕으로 회귀분석을 실시하였다.

회귀분석에서 액성한계는 장석과 부의 관계를 가진다. 채취된 시료 중 17~37m 구간의 시료들은 액성한계가 80% 이상인 영역에 분포한다. 건조단위중량은 스멕타이트의 함량과는 부의 관계를 가지는 반면 장석의 함량과는 정의 관계를 가진다. 특히 함수능이 큰 스멕타이트는 건조된 후 건조단위중량은 작아지게 되며, 이에 비해 함수능이 작은 장석이 많이 포함된 토양은 변화 폭이 작게 나타난다. 간극비는 팽윤성이 좋은 스멕타이트와 정의 관계를 나타낸다 (그림 7).

4. 고찰 및 결론

토질의 특성은 퇴적물을 구성하는 광물, 입도, 공극수 등 여러 요인이 관계되며, 이 중 점토질 퇴적물은 미립의 점토광물이 다량 포함되어 있어 점토광물의 조성과 특성은 토질특성을 구분하는 중요한 요소가 된다. 일반적으로 점토광물은 광물학적 특성이 매우 다양하며, 퇴적환경은 점토광물조성과 함량에 영향을 준다. 따라서 점토광물에 대한 심도 있는 이해는 토질 공학적 특성을 근본적으로 이해하는 수단이 될 수 있다.

이 연구는 녹산국가공단조성 분포하는 조간대 퇴적층에서 심도별로 시료를 채취하고 각 시료의 광물조성과 화학적 특성을 분석하여 공학적인 토질특성과 대비하기 위해 실시되었다. 광물감정과 지화학적인 특성의 상이성을 근거로 할 때, 퇴적층의 형성은 상부 (지표면~15m), 중부 (15~39m), 하부 (39m 이하)구간으로 구분된다. 심도에 따라 서로 다른 광물조성은 퇴적 당시 환경의 변화와 속성작용과 같이 퇴적 후 지층형성과정의 차이에 기인되는 것으로 되는 것으로 낙동강 하구 조간대 퇴적층이 형성되는 동안 퇴적환경의 변화가 수반되었음을 알 수 있다.

한국 동남해 지역 조간대 퇴적층의 퇴적속도는 약 0.2~0.7cm/년 정도이며 (박수철, 1989; 1993), 해수면 변동은 약 6,000년 전에 지금의 해수면에 도달한 것으로 알려져 있다 (조화룡, 1987). 중부 지층의 하한에 해당하는 심도 39m의 자료를 동남해 퇴적층의 평균 퇴적속도인 0.45cm/년으로 계산하면 퇴적연대는 8600년 전후에 되며, 세계적인 분포를 보여주는 해발 -30m 부근의 순수 하성퇴적층 (Oldale et al., 1980; Fairbridge, 1989)에 대한 자료를 근거로 하면 중부 지층의 하한은 해침환경으로 전환되는 경계에 해당한다. 퇴적환경에 대한 선행연구와 연구자료를 종합하면 심도 40m를 전후로 하여 퇴적환경에 급격한 변화가 있었으며, 하부 구간 (39m 이하)의 지층은 해침 이전 하성퇴적층으로 판단되며, 중부 구간 (15~39m)의 지층은 해침 기간동안 형성된 퇴적층에 해당한다. 상기의 평균 퇴적속도를 이용하여 계산되는 심도 15m 구간의 퇴적시기는 3,300년 전후로 약 3,000~4,000년 전 사이에 해퇴와 해침이 반복되었던 것으로 알려진 연구 (조화룡, 1987)와 부합하며, 한편 일본의 해수면 변동의 시기와도 일치한다 (Tooly et al., 1987). 즉 .상부구간 (지표면~15m)의 지층은 비교적 짧은 기간 동안 해퇴와 해침이 반복되어 염수와 담수의 영향이 공존하는 퇴적환경의 형성된 것으로 이해될 수 있다.

한반도 근해 해저퇴적물에서 조사된 점토광물함량 (박수철, 1989; 1993; Park et al., 1990; 문지원, 1997; Khim, 1988; 박용안 등, 1992; 박정기 등, 1991; Windom, 1976).과 이 연구의 결과를 비교하면 동남해 일원의 자료로 유사하다. 서해안과 원양퇴적층에 비해 스멕타이트의 함량은 적은 반면, 카올린과 녹니석은 높은 함량을 지시한다. 카올린과 녹니석의 높은 구성비는 지층 구성물이 낙동강에서 유입된 쇄설성 퇴적물로 이루어졌음을 의미하며. 남동부 해저 분포상태와 Landsat 자료를 이용한 조류의 이동을 관찰한 연구 (박수철, 1989)에서 낙동강 연안 퇴적물은 낙동강으로부터 유래된 1차적 쇄설성 기원으로 해석한 연구결과와 부합한다.

통계학적 상관분석에서 광물조성과 토질공학적 특성 사이에는 여러 부분에서 상관관계가 있으며, 특히 장석, 스멕타이트 및 방해석의 함량이 토질공학적 특성과 비교적 양호한 상관관계를 보여준다.

5. 참고문헌

1. 문지원, 문희수, 송윤구, 이규호(1997), "영종도 미고화 퇴적물의 점토광물 조성 및 기원에 관한 연구", 자원환경지질, 제 30권, 6호, pp.531-541.
2. 박수철(1989), "한국 연근해역 퇴적속도 연구", 한국과학재단, pp.52.
3. 박용안, 조성권, 박수철, 이창복(1992), "천해저(한국주변)의 광물자원과 심해저(태평양) 광물 자원에 관한 지질학적, 지화학적 및 탄성파 층서 연구", 한국과학재단, pp.377.
4. 박정기, 오재경(1991), "한강하구 및 경기만에서의 점토광물에 대한 연구", 한국해양학회지, 제 26권, 4호, pp.313-323.
5. 조화룡(1987), "한국의 충적평야", 교학연구사, pp.9-14, 31-39, 69-75, 102-105.
6. Fairbridge, R.G.(1989), "A 17,000-year glaci-eustatic sea-level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation", Nature, v. 342, pp.637-642.
7. Khim, B.K.(1988), "Sedimentalogical study of the muddy deposits in the Yellow Sea", M.S. thesis, Seoul National University, pp.106.
8. Oldale, R.N. and O'Hara, C.J.(1980), "New radiocarbon dates from the inner continental shelf off southeastern Massachusets and a local sea-level curve for the past 12,000 years", Geology, v. 8, pp.102-106.
9. Park, Y.A. and Khim, B.K.(1990), "Clay minerals of the recent fine-grained sediments on the Korean continental shelves", Continental Shelf Research, v. 10, pp.1179-1191.
10. Skempton, A.W.(1953), "Activity of clay", Proc. 3rd Int. Conf. Soil Mech. v. 1. pp.195-200.
11. Windom H.L.(1976), "Lithogenous material in marine sediments", Chemical oceanography, Academic press, pp.103-135.