

부산 녹산-기덕도 지역에 분포하는 점토퇴적물의 광물조성과 공학적 특성에 대한 비교연구

이선갑*, 황진연**, 정성교***, 김성욱*, 김국락*

*지반정보연구소, 611-828 부산시 부산진구 양정2동 333-6

**부산대학교 지질학과, 609-735 부산시 금정구 장전동 산30

***동아대학교 토목공학과, 604-714 부산시 사하구 하단2동 840

groundinfo@chollian.net

<요약문>

Estuary of Nakdong river area is composed of unconsolidated sediments including clays that are deposited varying from 40 to 70m thick. The purpose of research is the knowledge of the correlation between engineering properties and mineralogy of clay sediments. The correlation analysis carry out multiple regression that have independent variables (Engineering properties) and dependent variables (mineralogy, geochemistry). Engineering properties of clay are correlated with the mineral compositions and geochemical characteristics.

The result of the analysis is $W_n = -0.6 \text{ Feldspar} + 1.1 \text{ pH} + 0.01 \text{ TDS} + 27.5$, $I_p = 0.36 \text{ Clay} + 1.44 \text{ Vermiculite} + 0.94 \text{ clay mineral} - 22.88$, $P_L = 0.005 \text{ TDS} - 0.31 \text{ Feldspar} + 22.43$, $e_o = 0.02 \text{ Vermiculite} - 0.01 \text{ Quartz} + \text{TDS} + 0.93$, $E_{50} = 1.94 \text{ Vermiculite} - 0.96 \text{ Kaolinite} - 0.53 \text{ silt} + 49.64$, $SR = -0.25 \text{ Kaolinite} + 1.5 \text{ pH} - 2.3 \text{ Conductivity}$, $CC = 0.03 \text{ pH} + \text{TDS} - 0.2$, $LL = 0.5 \text{ Clay} + 1.3 \text{ Vermiculite} + 5.5 \text{ Conductivity} + 0.8 \text{ Caly mineral} - 20.4$

key word : unconsolidated sediments , mineralogy, engineering properties, multiple regression

1. 서론

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

낙동강 하구 퇴적층은 육지로부터 공급되는 담수의 영향과 함께 지난 수 천년에 걸쳐 상승한 해수의 영향 (조화룡, 1987)을 동시에 기록된 지층으로 이러한 지층에 대한 광물학적, 지화학적인 연구는 퇴적 환경의 변화를 이해하는 자료로 활용되며, 한편으로 미고결 퇴적층에서 관찰되는 상이한 공학적 특성을 해석하는 중요한 정보를 제공할 수 있다.

해양퇴적물에 대한 연구는 주로 토질공학적인 연구로 많이 진행되고 있으나, 부분 침하 등 연약점토층의 문제점에 대한 근본적인 연구가 이루어져야 할 것으로 인식되어 왔다. 해양퇴적물의 광물학적이고

지화학적인 요소와 결부된 연구가 활발히 이루어지고 있다 (이선갑 등, 2003, Ohtsubo et al, 1995).

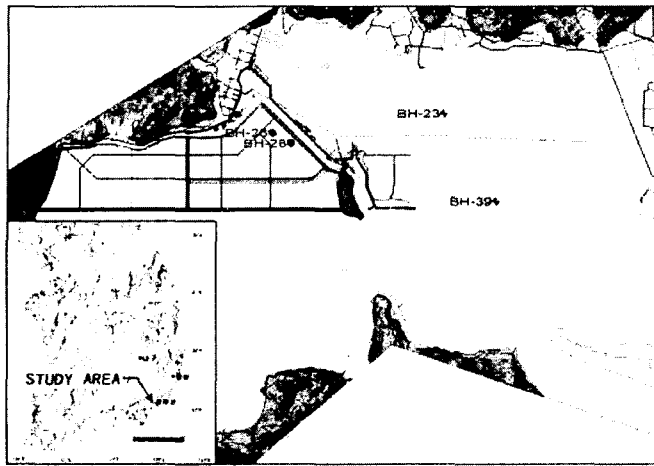


그림 1. 연구지역의 위치

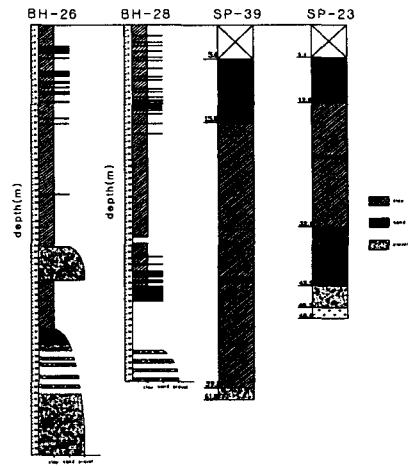


그림 2. 시추지점의 주상도

2. 연구방법

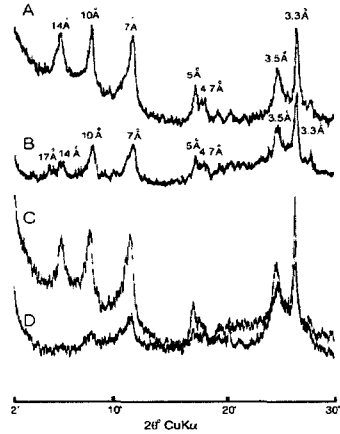
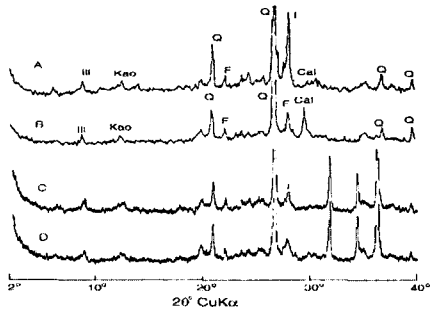
녹산국가공단 조성지역 (Sp-23, Sp-39)과 부산 신항 배후부지 (BH-26, BH-28) 조성지역에서 각각 2개의 시추코어를 획득하였으며, 시추코어로부터 2m 간격으로 점토퇴적물의 시료를 채취하였다 (그림 2).

각각의 시료는 전처리하여 광물학, 지구화학 및 토질 공학적인 분석을 실시하였다. 주구성광물과 점토 광물 함량을 알아보기 위해 X-선 회절분석을 실시하였으며, 지화학적 특징을 알아보기 위해 현탁액의 pH와 염류량 측정, 시추코어에 대한 전기비저항과 대자율 측정, 유기물 함량 측정 등을 실시하였다. 토질시험은 비중, 입도, 함수비, 연경도, 압밀지수, 압축강도 등 물성 및 역학시험을 실시하였다. 이와 같이 수행된 실험 결과의 상관성 분석은 지구통계학적인 방법을 이용하여 분석하였다.

3. 연구결과

낙동강 하구 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, 질석으로 구성됨을 알 수 있다 (그림 3). 낙동강 하구 조간대의 점토 퇴적물 광물조성은 표 1과 같다. 이 중 녹산국가조상단지의 점토광물은 일라이트 17~40%, 카올리나이트 7~27%, 녹니석 3~27%, 질석 0.1~20%의 범위로 함유되어 있으며, 부산신항 배후부지 조성지역의 점토광물은 일라이트 13~45%, 카올리나이트 5~21%, 녹니석 3~24%, 질석 0.5~12%의 범위로 함유한다. pH는 녹산 지역은 3~9의 범위로, 부산신항 배후부지는 6~9의 범위로 분포한다 (그림 4). 염도는 녹산에서는 0.8~2.4‰, 부산신항에서는 0.4~2.6‰의 범위를 보였으며, 유기물 함량은 1~11%의 함량을 보였다.

광물조성과 지화학분석 자료에 의한 조간대 퇴적물의 특성은 심도 30m 상하로 변화가 인지되고 있다. 점토광물의 함량과 pH, 염도는 30m 이하에서 하부로 갈수록 감소되어가고, kaolinite는 심도가 증가함에 따라 차차 감소하는 특성을 나타낸다 (그림 4).



a) bulk sample a) oriented sample
 III : 일라이트, Kao : 카올린, Q : 석영, F : 장석, Cal : 방해석

a) A:Sp-39, 13.8m, B:Sp-39, 31.8m, C:BH-26, 13.5m, D:BH-26, 31.5m

b) A:Sp-39, 13.8m non treated, B:Sp-39, 13.8m treated ethelen-glicol,

C:BH-26, 13.5m non treated, D:BH-26, 13.5m treated ethelen-glicol

그림 3. 점토 퇴적물의 X-선회절분석 결과

표 1. 점토퇴적물의 광물조성

조사지역	구성광물	점토광물	석영	장석	방해석
녹산국가공단	구성비	48~76%	12~28%	7~25%	3% 이하
부산신항 배후부지		18~80%	12~51%	3~40%	6% 이하

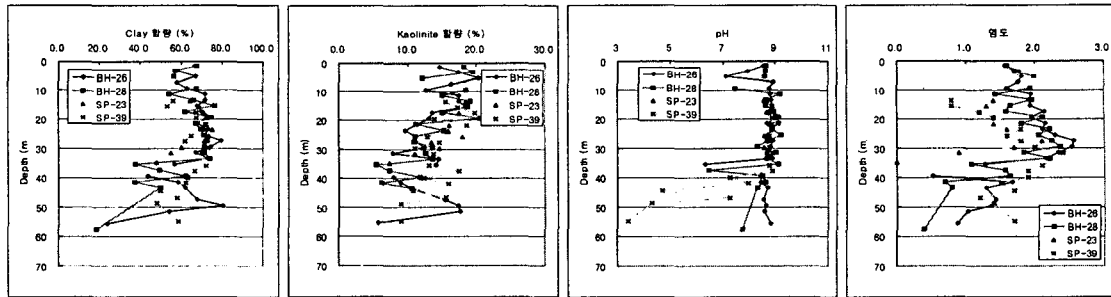


그림 4. 점토 퇴적물의 광물분석과 화학적 특성

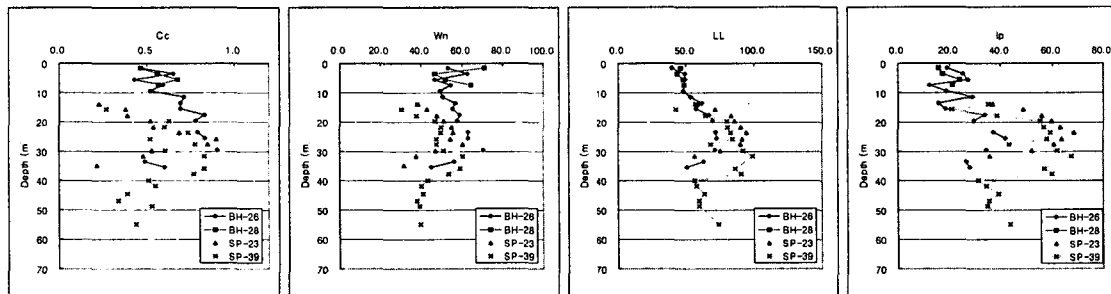


그림 5. 점토 퇴적물의 압축지수, 함수비, 액성한계 및 소성지수

심도별 시료의 토질시험치는 점토층에 해당하는 10-40m에서 높은 값을 보이며, 30m를 정점으로 상승하다가 감소하는 특성을 나타낸다.(그림 5). 이러한 지질함수와 토질함수간의 관계는 유사한 심도별 변화를 보이며, 두 함수간의 상관관계를 좀더 자세히 살펴보기 위해 다중회귀분석을 실시하였다.

표 2. 다중회귀분석을 통한 통계분석 결과

종속합수	독립합수	F-value
습윤단위증량(γ_t)	0.009 Quartz - 0.06 conductivity + 1.67	31.16
자연함수비(W_n)	-0.6 Feldspar + 1.1 pH + 0.01 TDS + 27.50	59.73
간극비(ϵ_s)	-0.01 Quartz + 0.02 Smectite + TDS + 0.93	41.81
압축지수(C_c)	0.03 pH + TDS - 0.2	44.68
소성지수(I_p)	0.36 Clay mineral +1.44 Smectite +0.94 Clay -22.88	71.60
액성한계(L_L)	0.5 Clay mineral + 1.3 Smectite + 5.5 conductivity +0.8 Clay -20.48	59.95

다중회귀분석 결과 표 2와 같은 식을 산출하였으며, 관계식은 Ohtsubo et al. (1995)에 의한 Ariake 만의 해양퇴적물에 대한 결과와 비교하여 액성한계가 유사하게 나타났다. 토질정수값들은 광물들과 좋은 상관관계를 나타내며, 입도분포, 총용존 고형물질 (TDS) 등의 값들과도 상관관계를 보이고 있음을 알 수 있다.

4. 토의 및 결론

광물감정과 지화학적인 특성의 상이성을 근거로 할 때, 낙동강하구 조간대 퇴적층의 형성은 상부 (지표면~15m), 중부 (15~39m), 하부 (39m 이하)구간으로 구분된다. 이러한 결과는 낙동강 하구 점토퇴적층을 대상으로 연구된 선행연구 (김성욱 외, 2003; 정성교 외, 2001; Chung et al., 2003) 결과와 일치되는 결과를 보여준다. 심도에 따라 서로 다른 광물조성은 퇴적 당시 환경의 변화와 속성작용과 같이 퇴적 후 지층형성과정의 차이에 기인되는 것으로 되는 것으로 조간대 퇴적층이 형성되는 동안 퇴적환경의 변화가 지속되었음을 지시한다. 물리적, 공학적 특성 및 미화석의 동정에서 심도 40m를 전후로 하여 급격한 퇴적환경의 변화가 있었던 것으로 추정되며, 하부 구간 (39m 이하)과 중부 구간 (15~39m)의 지층은 각각 해침 이전에 형성된 하성퇴적층과 해침 기간동안 형성된 퇴적층에 해당한다. 상부 구간 (지표면~15m)의 지층은 비교적 짧은 기간 동안 해퇴와 해침이 반복되어 염수와 담수의 영향이 공존하는 퇴적환경의 형성된 것으로 이해되며, 약 3,000~4,000년 전 사이에 해퇴와 해침이 반복되었던 것으로 알려진 연구 (조화룡, 1987)결과 및 일본의 해수면 변동의 시기 (Tooly et al., 1987)와 일치한다.

낙동강하구 점토퇴적물의 광물조성은 한반도 근해 해저퇴적물의 점토광물함량 (박수철, 1989; 1993; 문지원, 1997; Khim, 1988; 박용안 등, 1992; 박정기 등, 1991) 중 동남해 일원의 자료로 유사하며, 카올린과 녹니석의 높은 구성비는 점토층의 구성물이 낙동강에서 유입된 쇄설성 퇴적물로 이루어졌음을 의미한다.

통계학적 상관분석에서 광물조성과 토질공학적 특성 사이에는 여러 부분에서 상관관계가 있으며, 특히 장석, 스멕타이트의 함량이 토질공학적 특성과 비교적 양호한 상관관계를 보여준다. 또한 입도분포 특성, TDS 등의 특성과의 관계가 깊은 것으로 나타난다. 이러한 분석은 철산화물 및 교환성양이온과 같은 화학성분의 특성과 비표면적 특성 및 동위원소를 통한 연대분석 등 보다 심도 깊은 연구가 더 진행되어야 할 것이다. 이러한 연구는 지질환경의 변화와 지질공학적인 특성을 더욱 상세히 밝혀 줄 것이라 생각된다.

4. 참고문헌

1. 문지원, 문희수, 송윤구, 이규호(1997), "영종도 미고화 퇴적물의 점토광물 조성 및 기원에 관한 연

- 구”, 자원환경지질, 제 30권, 6호, pp.531-541.
2. 박수철(1989), "한국 연근해역 퇴적속도 연구", 한국과학재단, pp.52.
 3. 박용안, 조성권, 박수철, 이창복(1992), "천혜저(한국주변)의 광물자원과 심해저(태평양) 광물 자원에 관한 지질학적, 지화학적 및 탄성과 층서 연구", 한국과학재단, pp.377.
 4. 박정기, 오재경(1991), "한강하구 및 경기만에서의 점토광물에 대한 연구", 한국해양학회지, 제 26권, 4호, pp.313-323.
 5. 이선갑, 김성욱, 황진연, 정성교(2003), "낙산구가공단지역 점토 퇴적물의 광물조성과 토질공학적 특성" 한국지구과학회 2003년도 춘계학술발표회 논문집, p. 45-50.
 6. 정성교, 박정민, 김규중, 백승훈 (2001), "부산점토의 지반공학적 특성", 2001년도 ISSMGE ATC-7 SYMPOSIUM, p. 27-41
 7. 조화룡(1987), "한국의 층적평야", 교학연구사, pp.9-14, 31-39, 69-75, 102-105.
 8. Khim, B.K.(1988), "Sedimentological study of the muddy deposits in the Yellow Sea", M.S. thesis, Seoul National University, pp.106.
 9. Ohtsubo, M., Egashira, K. and Kashima, K., 1995, Depositional and post-depositiona geochemistry and its correlation with the geotechnical promerties of marine clays in Ariaka Bay, Japan, Geotechnique, Vol. 45, No. 3, p.509-423.