

# 울산 퇴적 점토의 화학적, 광물학적 특성

## Chemical and Mineralogical Properties on the Ulsan Marine Deposited Clay

민 덕 기 <sup>*1</sup>	Min, Tuk-Ki
황 광 모 <sup>*2</sup>	Hwang, Kwang-Mo
강 문 기 <sup>*3</sup>	Kang, Mun-Ki

### Abstract

This paper presents the physical, chemical and mineralogical properties of the Ulsan marine deposited soil. Various chemical and mineralogical analyses with the use of X-ray diffraction, X-ray fluorescence spectrometer, scanning electron microscope and energy dispersive X-ray spectrometer were performed. Also standard consolidation tests were performed for the undisturbed specimen sampled from the varying depth in the laboratory and then their results were compared with the previous analytical results. Quantitative analyses results for the clay mineral of the soil were revealed in the order of illite, kaolinite, chlorite and smectite. In chemical composition analysis results, the major parts were SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and some foraminifera and diatom were observed from scanning electron microscope. The strain characteristics of the soil obtained from standard consolidation tests were not changed with depth and they were coincided with the results of chemical and mineralogical analysis. Accordingly, it was estimated that the Ulsan marine soil was deposited at the same era.

### 요 지

울산지역에 널리 분포하고 있는 해성 퇴적토에 대하여 깊이별로 물리, 화학 그리고 광물학적 특성을 파악하였으며, 이 지역에서 채취된 시료에 대하여 깊이별로 표준압밀시험을 실시하였다. 본 논문을 위하여 울산 해성 퇴적토의 생성과정을 추정하고, X-선 회절분석, X-선 형광분석 및 에너지분산분광분석을 실시하여 깊이에 따른 변화를 비교하였다. 울산 해성 퇴적토의 점토광물에 대한 정량분석결과, 일라이트, 카올리나이트, 녹니석, 스멕타이트 순으로 많이 나타났으며, 화학성분 분석결과, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 그리고 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 대부분을 차지하는 것으로 나타났다. 주사전자현미경 관찰결과, 유공충과 규조류가 관찰되었다. 표준압밀시험 결과, 울산지역의 해성 퇴적 점토는 깊이에 따른 변형거동이 화학적, 광물학적 분석결과와 마찬가지로 깊이에 따른 변화를 보이지 않아 같은 시대에 퇴적된 것으로 판단된다.

**Keywords :** Mineralogical analysis, Marine deposited soil, Illite, Foraminifera, Diatom

### 1. 서론

바다를 인접하고 있는 국가에서는 해안개발은 물론 해성 퇴적토의 활용을 활발하게 추진하고 있다. 현재까지 국

내에서는 해안 연약지반에 관한 연구가 해양공학적인 측면과 지질학적 측면, 그리고 지반공학적인 측면에서 각각 분리하여 수행되어 온 것이 사실이다. 해안에 인접한 연약지반은 입도분포, 토립자의 형상, 점토광물의 종류, 유기물

\*1 정회원, 울산대학교 공과대학 토목환경공학부 교수  
 \*2 정회원, 울산대학교 대학원 토목환경공학과 박사과정  
 \*3 정회원, 한주엔지니어링(주) 대표이사

함유량, 퇴적환경 및 응력이력 등에 영향을 받아 그 토질특성이 다양하므로 퇴적도에 대한 특성은 종합적인 연구를 통하여 평가하여야 한다.

최근 연약한 점성토 지반에서 도로, 기초, 터널, 건축구조물 등을 축조해야 하는 토목기술자들에게는 퇴적층에 대한 공학적 특성뿐만 아니라, 광물학적 특성에 대한 지식이 필요하게 되었다. 점토는 입자크기가 작고 일반광물과 거동형태가 다르므로 20세기 초 Röntgen과 von Laue에 의해 발견된 X선과 X선 회절분석기법이 개발되어서야 점토광물에 대한 연구가 진행되었다. 각 점토광물구조에 대한 연구는 1932년 J. W. Gruner가 카올리나이트의 구조를 밝혀냈고, 1933년 Hofmann 등은 팽창구조를 나타내는 몬트모릴로나이트의 모델을 제안하였다. 1939년 Grim 등은 운모형 점토광물의 일반형으로 일라이트를 소개하였다(문희수, 1995).

국내의 퇴적물 특성에 대한 연구로는 박수철(1989)의 한국 연근해역 퇴적속도연구, 박용안 등(1989)의 황해 서남연근해역의 세립질 퇴적물의 동역학적 퇴적과정 및 지구화학적 특성, 박성재 등(1995)의 낙동강 하류지역과 대관만 해저지역의 토질특성 비교, 문지원 등(1997)의 영종도 비고화 퇴적물의 점토광물조성 및 기원에 관한 연구 및 김종대(1997)의 서부산 녹산공단 조성지 일대의 응용지질도 작성을 위한 연구 등이 수행되었다.

울산 해성 퇴적 점토 특성에 관한 연구는 민덕기 등(1999)에 의하여 수행된바 있으며, 지속적인 연구의 필요성을 가지고 있다. 본 연구를 통하여 울산점토에 관한 화학적, 광물학적 정보가 축적되면, 차후 해성 퇴적 점토의 지반공학적 특성 연구에 도움이 될 것으로 사료된다.

본 연구에서는 낙동강을 기점으로 포항까지의 우리나라 동남해안의 해성토의 퇴적환경과 퇴적과정을 기존의 자료를 통하여 고찰하였고, 비교적 미립의 퇴적토로 이루어진 울산지역 해성 퇴적토에 대한 퇴적환경 및 퇴적연대를 추정하고자 하였다. 또한, 이 지역 두 지점을 선정하여 2m 간격의 깊이로 채취된 시료에 대하여 흙의 물리적 특성, 화학적 구성 및 광물학적 특성에 대한 분석을 실시하였다. 깊이별로 주 광물조성과 점토광물의 동정을 파악하기 위하여 XRD(x-ray diffraction)분석을 실시하였으며, 대표적인 산화물 형태의 화학성분 분석을 위해 X-선 형광분석법(x-ray fluorescence spectrometer, XRF)을 수행하였다. 또한, 입자구조와 화학적 특성을 검토하기 위해서 주사전자현미경(scanning electron microscope, SEM)과 에너지 분산분광법(energy dispersive x-ray spectrometer, EDX)을

이용하여 분석하였다. 또한, 연약지반의 압축특성을 분석하기 위하여 이 지역의 지표 하 10m~26m에서 채취된 불교란시료에 대한 표준압밀시험을 실시하였으며, 깊이에 따른 연약지반의 거동에 관하여 고찰하였다.

## 2. 해수면의 변화

T. C. Kenney(1964)는 과거 20,000년 동안 발생한 해수면의 변동에 의한 직접, 간접적인 증거에 대하여 연구하였다. 직접적인 증거에는 해양화석의 시대와 위치, 그리고 해수면 변동으로 인한 퇴적 및 침식의 위치, 연대가 포함된다. 간접적인 증거로는 기후 및 온도변화의 시대 및 대륙빙하의 주요 활동시대가 포함되어 있다. 이들 자료로부터 해수면 변동곡선을 제시하였다. H. Asada 등(1994)의 연구에서 동해의 해수면 곡선은 -100m 이하에서부터 BP 20,000년~12,000년에 두 번의 해수면의 급상승과 하강을 거쳐 BP 6,000년에는 현재의 해수면보다 약 8m 높게 분포하였으며, 그 후 BP 5,000년에 이르러 현재의 해수면으로 하강하여 크게는 2m까지 수위가 상승, 하강하면서 안정된 상태를 이루고 있다고 보고하였다.

한반도 해안, 연안 그리고 대륙빙의 해수면 변동에 관한 연구는 Park(1969)의 해수면 변동곡선이 발표된 이래로 Park(1985) 등에 의해 발표되어왔다. Park은 방사능 탄소연령을 측정하여 해수면의 곡선을 제시하였고, 장진호(1996)는 한국 서해안에서 탄소연령측정에 의한 서해안 해수면의 변화를 제시하였다. 이 해수면 곡선자료에 의하면 지난 7,000년 전에 평균해수면은 현재의 해수면의 6.5m 아래에 위치하였으며, 해수면의 상승과 하강은 한반도와 아시아대륙의 빙하기와 밀접한 관계를 가지고 있다고 보고하였다. 국내 선사유적지에 대한 발굴조사 중 폐총에 대한 연구결과, 한반도의 서해안과 남해안은 지역에 따라 규모의 차이는 있지만 지난 5,000년 동안 침강과 융기를 반복하였다. 특히, 고김해만의 해수면 변동도에 따르면, 1세기에서 3세기에는 낙동강 하구역의 해수면이 현재보다 4m~5m 정도 높았다고 보고하였다(윤선, 장두곤, 1994). 울산과 인접한 동남해안의 경우, 중국해나 서해(황해)의 해수면 변화보다는 Asada 등(1994)의 연구에서 밝힌바와 같이 동해의 해수면 변화곡선과 유사하리라 본다. 따라서, 해수면이 현재보다 4m~8m 높을 경우 태화강을 기준으로 좌우에 있는 저지대는 해수면 아래에 위치하게 되어 각종 유기질 퇴적물이 쌓이게 된다.

### 3. 해성 퇴적토의 생성

일반적으로 해성 퇴적토의 특성은 해수의 밀도와 성분, 해류와 조류 등에 의한 해수의 이동, 해수면의 변화에 기인한다. 울산지역에 널리 분포하고 있는 퇴적토의 퇴적과정은 크게 두 가지로 나누어 설명되어질 수 있다. 그 하나는 낙동강에서 바다로 유입된 토사가 대마난류를 따라 동북 방향으로 이동하여 울산지역에 퇴적된 해저 퇴적토이며, 다른 하나는 태화강과 동천상류지역에서 유입하여 하천의 범람으로 인해 태화강 하구부근에 퇴적된 델타 퇴적토가 그것이다. 이러한 퇴적과정은 동해안의 해수면 변화와 밀접한 관계를 가지고 있다. 즉, 현재보다 높은 해수면 하에서 퇴적된 것으로 판단되는 하부 퇴적 점토는 지표 하 40m 깊이까지 분포하고 있으며, 비교적 얕은 굴착에서도 폐각과 해성 구조류의 분포를 확인할 수 있다. 또한, 태화강과 동천하류의 지표부근에서는 실트질 점토 및 일부 지역에서 세립의 실트질 모래가 퇴적되어 석영과 장석이 일차광물의 주를 이루고 있는 것으로 보아 상류지역에 널리 분포하고 있는 화강암 및 퇴적암의 풍화퇴적물에 기인한 것으로 판단된다. 본 연구에서는 하부 해성 퇴적층에 대한 물리, 화학적 및 광물학적 특성을 밝힌 것이다.

### 4. 연구방법

퇴적 점토의 물리, 화학적 특성 및 광물학적 특성을 규명하기 위하여 울산광역시 남구 삼산동일대의 두 지점에서 점토시료를 각각 2m 깊이 간격으로 총 15개의 시료를 채취하였다. 대표시료에 대하여 물리적 성질에 관한 시험을 실시하고, 이들 시료에 대하여 X-선 회절분석을 통하여 주 광물조성과 점토광물조성을 조사하였으며, XRF 및 EDX의 기기분석을 이용하여 화학적 조성에 대한 분석을 실시하였다.

#### 4.1 시료 채취

시료의 채취는 울산광역시 남구 삼산동에 위치하는 울산역 앞과 삼산공구상가 인근 2개소에서 이루어졌다. 시료의 구경은 BX( $\phi 59\text{mm}$ )로 하였으며, 시료채취 위치는 그림 1에 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 이 지역은 태화강 및 울산항과 인접하고 있으며, 비교적 저지대에 해당된다.



그림 1. 시료채취 위치도

#### 4.2 X-선 회절분석 및 정량분석

X-선 회절(x-ray diffraction, XRD)분석은 점토광물연구와 동정광학에 가장 유효한 실험법이다. X선 회절에는 많은 방법이 있지만, 점토광물은 일반적으로 분말법이 적용된다.

본 연구에서 X-선 회절분석은 Rigaku사제 Geiger flex 2301을 사용하여 수행하였으며,  $\text{CuK}\alpha$  선으로 Ni-filter를 사용하였다. 측정조건은 전압 30kv, 15mA, scan speed는  $2^\circ \sim 1^\circ 2\theta/\text{min}$ , 시정수 1sec, slit  $1^\circ$ (diverging slit)  $\sim 0.3\text{mm}$ (receiving slit)  $\sim 1^\circ$ (scatter slit)로 측정하였다. X-선 회절분석을 위한 전처리로 건조된 시료를 과산화수소수 처리에 의해 유기물을 분해 후 수중 침강법에 의해  $2\mu\text{m}$  이하의 점토분을 분리하여 정방위시편을 만들어 분석하였다. X-선 회절법에 의한 광물의 정량방법에 대해서 많은 연구가 있었으나, 시료에 따른 광물의 특성이 다양하므로 실제적으로 정확한 정량은 어려운 실정이며, 대부분의 점토광물의 정량화작업은 XRD pattern으로부터 직접 측정할 수 있는 반정량적인 방법을 많이 사용한다. 본 연구에서는 최대한 정확도를 높이기 위하여 내부표준물질을 이용한 방법으로 측정하였다. 내부표준물질로는 산화아연의 분말을 사용하였으며, 이는 해수의 영향을 받은 해양성 점토일 경우에 사용되는 반정량법에 해당되는 Biscaye(1965)의 방법을 선택한 것이다. X-선 회절강도에 미치는 흡수인자는 매우 복잡하며, 이러한 인자를 제거하고 미확인 광물이나 비정질 물질을 함유할 때도 이용이 가능하여 각 광물의 함량을 효과적으로 측정할 수 있는 Chung(1974)의 정량법(matrix flushing method)으로 정량하였다(문희수, 1995). 정량에 사용된 매체는 시료가 포함하고 있지 않은 순수한 물질을 선택하여 시료에 첨가한 것이다. 정량분석

에서 면적계산은 windows용 program인 photoshop을 이용하였다. 실험의 정밀성과 정확성을 위해 동일시료에 대해 2회 이상 측정하였다.

### 4.3 X선 형광분석법

특정 X선은 전자선을 대음극 물질에 충돌시킴으로써 발생하지만, 전자선 대신에 X선(1차 X선)을 주사시킴으로써 주사된 물질에서 특정 X선을 발생시킬 수가 있다. 이 특정 X선을 2차 X선 또는 형광 X선(fluorescent x-rays)이라 한다. 형광 X선을 이용하여 행하는 분석법을 X선 형광 분석법(x-ray fluorescence spectrometer, XRF)이라 하며, 형광 X선의 강도는 입사 X선의 강도에 비례하므로 X선원은 강력한 것일수록 좋다. 본 연구에서는 점토 퇴적물에 대한 산화물 형태의 분자구성을 분석하기 위하여 기초과학연구원 부산분소의 XRF(x-ray fluorescence spectrometer)를 이용하였다. 측정조건은 최대허용전압 60kV, 최대허용전류 125mA, 최대부하가 3.0kW로 정해져 있다.

### 4.4 주사전자현미경(SEM) 관찰

주사현미경(scanning electron microscope, SEM)은 시료 위를 주사된 상을 관찰함으로써 3차원적인 입체 상을 관찰할 수 있다. 또한 SEM은 각각의 camera system을 통하여 관찰 즉시 촬영을 할 수 있고, 이러한 주사전자현미경에 X선 검출기를 부착하여 전자빔이 시료표면에 부딪칠 때 발생하는 X-선을 검출기에 기록함으로써 화학조성을 정량화할 수 있다. 본 연구에서는 대표 시료에 주사전자현미경을 행하여 점토시료 입자의 모양을 관찰하고, 에너지 분산분석법(energy dispersive x-ray spectrometer, EDX)을 통해 화학성분 분석도 병행하였다. 본 연구에서 주사전자현미경 관찰은 기초과학연구원 부산분소의 Hitachi사

표 1. 해성 퇴적 점토의 물리적 성질

구 분	#200체 통과량 (%)	비중 Gs	함수비 ωn (%)	pH	유기물 함유량 (%)	염 분 함유량 (%)
S9m	95	2.67	55.25	8.48	10.01	0.25
S15m	97.5	2.61	57.78	8.41	10.00	0.34
St9m	98	2.66	64.30	8.59	11.42	0.26
St15m	99	2.62	74.92	9.09	10.99	0.29

제 Hitachi 4200을 사용하였으며, 3차원적인 입체 상과 유기물을 확인하기 위하여 배율은 ×3,000~×10,000로 하였다.

## 5. 토질특성 및 구성광물성분

### 5.1 물리적 특성

울산 삼산지역에서 채취된 대표적 시료에 대한 흙의 물리적 성질은 표 1과 같다. 본 연구에 사용된 점토의 #200체 통과량은 95%~99%로 나타났으며, 자연상태의 함수비는 깊이에 따라 55%~75%, pH는 8.48~9.09, 유기물함유량은 10%~11.4%, 염분함유량은 0.25%~0.34%로 나타났다.

### 5.2 주 구성광물

X선 회절분석결과, 본 연구에 사용된 시료의 대표적인 광물은 석영(quartz), 장석(feldspar), 각섬석(hornblende) 및 점토광물인 일라이트(illite), 카올리나이트(kaolinite) 및 방해석(calcite) 등으로 구성되어 있었다. 그림 2는 XRD 분석 결과를 나타낸 것이며, 깊이에 따라 주 구성광물의 차이가 없는 동일 층의 퇴적토인 것으로 나타났다.

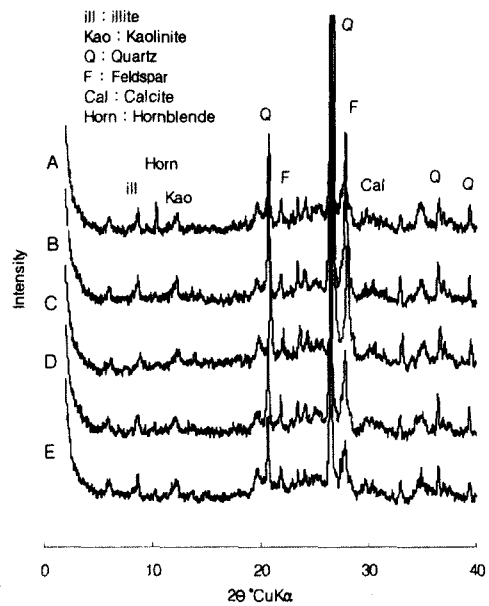


그림 2. S시료에 대한 X선 회절분석(A:S9m, B:S15m, C:St7m, D:St13m, E:St19m)

### 5.3 점토광물의 구성

점토광물의 검토를 위하여 원 시료에서 2 $\mu$ m 이하의 입자를 분리시킨 점토분에 대해 X-선 회절분석을 행하였다. 그리고 광물의 식별과 그 특성을 조사하기 위해 가열처리 및 약품처리를 행한 후 X-선 회절분석을 하였다. 그림 3에 보는바와 같이 울산공구상가 인근 시료(S시료)의 무처리 결과에 10Å, 5Å, 3.3Å은 일라이트의 동정을 보이며, 14Å은 에틸렌 글리콜 처리시 17Å로 팽창하는 스멕타이트의 특성과 14.2Å의 동정의 녹니석으로 나타났다. 무처리 결과의 7Å과 3.5Å은 녹니석과 카올리나이트의 동정으로 3.5Å의 반사가 CuK $\alpha$  24.9Å의 카올리나이트의 특성을 보였다. 550° 가열 시료에서는 7Å과 3.5Å이 사라지는 카올리나이트의 특성이며, 14Å의 반사는 녹니석 동정으로 나타났다. 무처리 시료에서 일라이트, 에틸렌 글리콜 처리시료의 스멕타이트와 녹니석, 550°가열시료에서는 카올리나이트와 녹니석의 특성을 확인할 수 있었다. 울산역 앞 시료(St시료)에서는 무처리 결과에서 일라이트와 녹니석, 에틸렌 글리콜 처리시료의 스멕타이트와 녹니석,

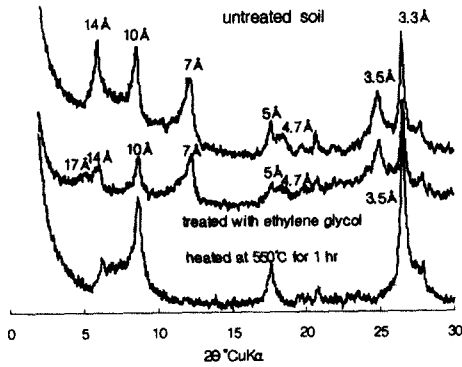


그림 3. S시료의 <2 $\mu$ m 이하 점토분의 XRD분석

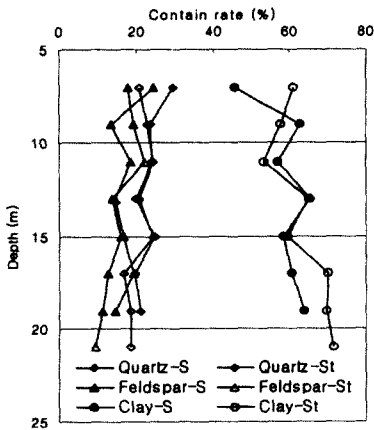


그림 4. 깊이에 따른 주요광물

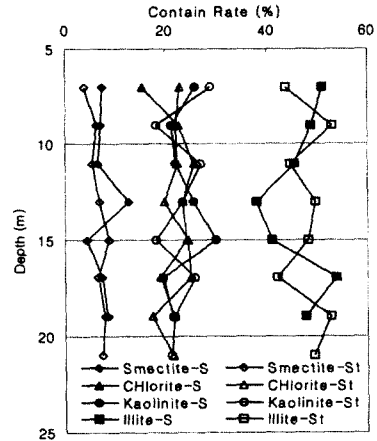


그림 5. 깊이에 따른 점토광물의 변화

550° 가열시료에서는 카올리나이트와 녹니석의 특성을 확인할 수 있었다. 이러한 결과에서 울산 퇴적토의 점토광물은 일라이트, 스멕타이트, 카올리나이트, 녹니석으로 구성되어 있음을 알 수 있었다.

그림 4는 깊이에 따른 주요광물의 변화를 나타낸 것이며, 깊이에 따라 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

### 5.4 점토광물의 정량분석 결과

점토시료의 점토광물에 대한 정량분석 결과, 일라이트는 38.1%~53.9%, 카올리나이트는 18.3%~30.1%, 녹니석은 15.5%~25.7%, 스멕타이트는 4.0%~12.7%로 나타났다. 그림 5는 깊이에 따른 점토광물의 변화를 나타내며, 깊이가 깊어짐에 따라 각 점토광물 함량의 변화는 크지 않는 것으로 나타났다. 이 결과로부터 본 지층은 동일 시대에 퇴적되어 형성된 것으로 판단된다.

## 6. 화학성분 및 입자구조

### 6.1 화학성분 분석결과

건조된 점토 시료에 대해 X-선 형광분석(x-ray fluorescence spectrometer, XRF)에 의해 화학성분을 분석하였으며, 그림 6은 깊이에 따른 화학성분의 변화를 나타낸 것이다. 그림 6에서 공구상가 인근의 시료(S시료)에서는 SiO<sub>2</sub>가 55.1%~62.3%로 가장 크게 나타났으며, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 13.8%~15.9%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 5.0%~5.9%로, SiO<sub>2</sub>와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 전체의 80%정도를 차지하였다. 그 외 Na<sub>2</sub>O가 2.2%~2.5%, K<sub>2</sub>O 2.2%~2.5%, MgO 1.8%~2.3%, CaO 1.1%~6.5%, MnO 0.06%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.01%~0.1%로 나타났다.

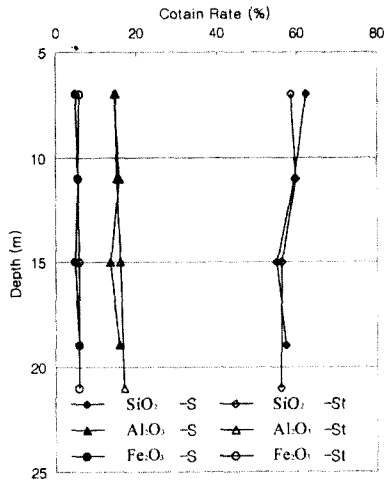


그림 6. 깊이에 따른 화학성분 변화

다. 울산역 인근의 시료(St시료)에서는 그림 6에서 보는 바와 같이  $\text{SiO}_2$ 가 56.2%~59.9%로 나타났고,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 는 15.1%~17.3%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 는 5.7%~6.0%로 나타났다.

## 6.2 입자구조

그림 7과 그림 8은 주사전자현미경(SEM)으로 대표시료의 입자구조를 관찰한 것이며, 건조된 S, St 대표시료의 표면 모습이다. 그림 7과 그림 8에서 보는바와 같이 시료는 동일 심도에서 채취하여 동일 배율(10,000배)로 하여 촬영한 것이다. 그림에서 나타난 것과 같이 점토는 판상 및 침상의 모양으로 이루어져 있는 것을 알 수 있으며, 석영과 장석의 결정들도 보이고 있다. 또한 일부 시료에서 정육면체의 소금결정과 유공충이 존재하는 것으로 나타났다. 일반적으로 해수에서 서식하는 규조류의 환선이  $10\ \mu\text{m}$  당 7~9개의 환선이 존재하므로 그림 9에 나타난 규조류는 생물학적으로 볼 때 본 대상지역이 해수면 아래에 위치할 때 서식했던 *Rhaphoneis*인 것으로 판단된다. 이와 같이 울산 퇴적 점토에는  $10\ \mu\text{m} \sim 20\ \mu\text{m}$  크기의 규조류가 다량 함유되어 있어 울산 퇴적 점토의 유기물 함유량과 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다.

## 6.3 구성원소

표 2는 S3-11의 3,000배에서 SEM과 EDX를 실시한 결과이다. SEM의 상이 뚜렷이 나타나지 않으나, 화학성분은 XRF에서 측정된 자료와 비교하여 거의 비슷한 양상을 보인다. 특히, Al의 값이 상당히 높게 나타나며, 이것은



그림 7. St 시료의 입자구조(St-3, -11m)



그림 8. S 시료의 입자구조(S-3, -11m)

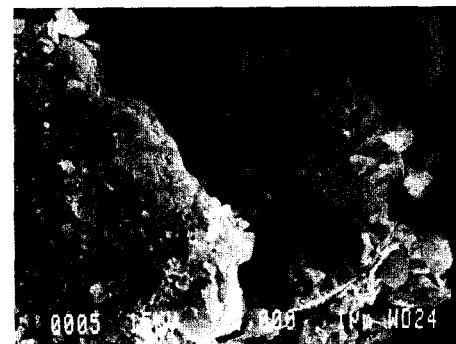


그림 9. 울산퇴적 점토와 유기물(G.L -6m)

EDX 측정시 점토라고 생각되는 부분을 주사하여 성분을 조사한 것에 기인한다. 표 2에서 보는바와 같이 삼산공구상가 인근 S3-11 시료의 EDX결과 O원소가 57.89%, Al이 10.29% 그리고 Si가 20.51%로 전체의 88.69%를 구성하고 있으며, 중량으로는 O가 40.25%, Al이 12.07% 그리고 Si가 25.02%로 전체의 77.34%를 구성하고 있는 것으로 나타났다.

## 7. 압축-변형거동 경향

일반적으로 같은 퇴적환경에서 퇴적된 점토는 동일한

표 2. S 3-11의 EDX 결과

Element	Weight %	K-Ratio	Cnts/s	Atomic %
O	40.25	0.1520	71.46	57.89
Na	2.05	0.0101	9.61	2.05
Mg	3.28	0.0208	20.99	3.10
Al	12.07	0.0853	86.71	10.29
Si	25.02	0.1824	175.98	20.51
Cl	1.56	0.0117	8.55	1.02
K	4.00	0.0329	19.27	2.36
Mn	0.00	0.0000	0.00	0.00
Fe	4.74	0.0399	7.94	1.95
Pt	7.02	0.0405	0.42	0.83
Total	99.99			

압축-변형특성을 가질 것이다. 따라서, 울산 공구상가(S 지점) 인근에서 지표 하 10m~24m에서 채취한 불교란 시료에 대하여 표준 압밀시험을 실시하고, 깊이에 따른 변형 거동을 정규화하여 그림 10에 나타내었다(민덕기, 황광모, 1999). 울산지역에서 채취된 불교란 시료의 압축-변형 거동(log(P/Pc)-ε)은 일부 특이한 지층을 제외한 퇴적토 전 깊이에 있어서 동일한 거동을 보이며, 이는 흙의 주 구성광물과 점토광물이 깊이에 따라 변화가 크지 않는 점과 일치하고 있다.

## 8. 결론

퇴적 점토가 10m~30m 두께로 분포하고 있는 울산광역시 남구 삼산동 일원에서 깊이별로 채취한 시료의 물리적, 화학적 그리고 광물학적 분석을 실시하였다. 또한, 깊이별로 압밀시험을 실시하였으며, 이 지역에 대한 기존의 자료를 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 삼산지역 퇴적토의 주 구성광물은 석영, 장석, 방해석, 점토광물 등으로 나타났으며, 점토광물은 45%~71%의 범위로 나타났다. 점토광물에 대한 정량분석 결과, 일라이트, 카올리나이트, 녹니석 그리고 스멕타이트 순으로 구성되어 있었다.
- (2) 퇴적토의 화학성분 분석결과 SiO<sub>2</sub>와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 그리고 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 전체의 80%정도를 차지하고 있었다.
- (3) 점토의 입자구조에 대한 분석결과, 입자구조는 판상 및 침상의 모양을 가지고 있으며, SEM관찰에서 유공층과 10μm 이상 크기의 구조류가 관찰되어 울산 퇴적 점토가 해수면 아래에서 형성되었음을 알 수 있었다. 아울러, 다량의 구조류는 울산 퇴적토의 유기물 함유량과 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다.

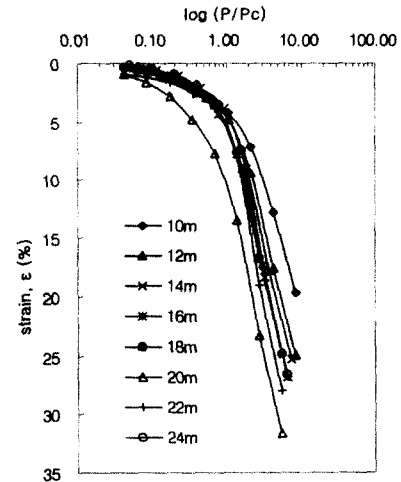


그림 10. 깊이에 따른 압축-변형거동

- (4) 깊이에 따른 정규화된 압축-변형거동이 동일한 거동을 보이며, 점토광물의 깊이에 대한 함량 및 해성 구조류의 함유에 변화가 없으므로 울산지역 퇴적 점토의 하부층은 동일한 환경에서 퇴적된 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 김종대, 오상훈, 박진근.(1997), "서부산 녹산공단조성지 일대의 용지질도 작성을 위한 지화학 및 지질공학적 연구", 한국자원공학회지 제 34권, 2호, pp.180~205.
2. 문지원, 문희수, 송윤구, 이규호.(1997), "영종도 비교화 퇴적물의 점토광물조성 및 기원에 관한 연구", 자연환경지질, 제30권, 6호, pp.530~550.
3. 문희수.(1995), "점토광물학", 민음사, pp.1~140.
4. 민덕기, 황광모.(1999), "점토의 이차 압축특성에 관한 연구, 울산의 '삼산'지역 해성 퇴적점토를 대상으로", University of Ulsan, Journal of Engineering Research, Vol. 30, No. 2, pp.45~57.
5. 민덕기, 황광모, 박근호.(1999), "생석회와 첨가제에 의한 해성 퇴적토의 강도개선", 한국지반공학회 학술발표회 논문집, pp.227~232.
6. 박성재, 정경환, Suwa fukuta.(1995), "낙동강 하류지역과 대관만 해저지형의 토질특성비교". 대한토목학회지 제 15권, 4호, pp.1055~1064.
7. 박수철.(1989), "한국연근해역 퇴적속도 연구", 한국과학재단 보고서, pp.50~52.
8. 박용안, 김경렬, 박수철, 김여상.(1989), "황해서남 연근해역의 세립질 퇴적물의 동역학적 퇴적과정 및 지구화학적 특성", 한국과학재단 보고서, pp.30~35.
9. 白水晴雄(1992), "점토광물학". 도서출판훈광, pp.54~77.
10. 윤선, 장두곤(1994), "부산의 지사와 경관", 부산라이프 신문사, pp.95~105.
11. 장진호, 박용안, 한상준(1996), "서해안곰소만 지역의 탄소연령측정", 한국해양학회지, 바다 1권 pp.59~73.
12. 최동림, 오재경, 이지원, 우한준.(1997), "한국 남동 내대륙붕해역의 홀로세 빨질 퇴적층의 고해상도 단상과 특성", The Journal of the Korea Society of Oceanograph, 「The Sea」, Vol. 2 No.1, pp.8~13.
13. 한영철, 유갑용(1999), "양산물금지구 피압수 특성에 관한 연구", 한

국지반공학회 학술발표회 논문집, pp.123~130.

14. Biscaye, P. E.(1965), "Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans", Geol. Soc. Am, Bull 76, pp.803-831.
15. Chung, F. H.(1974a), "Quatitative interpretation of X-ray differaction patterns of mixtures, I", Matrix flushing method for quantitative multicomponent analysis, J. Appl. Cryst., Vol. 7, pp.519-525.
16. Chung, F. H.(1974a), "Quatitative interpretation of X-ray differaction patterns of mixtures, II", Adiabatic principle of X-ray diffraction analysis of mixtures, J. Appl. Cryst., Vol. 7, pp.526-531.
17. H. Asada, T. Kishida, K. Suzuki and H. Hanzawa(1994), "In-situ Shear Strength of Aged Marine Clay", 海底地盤に關するシンポジウム'94 發表論文集, (社)土質工學會關西地部, pp. 93~98.
18. Borchardt, G. A.(1977), "Clay mineralogy and slope stability": Special Report 133, Calif. Division of Mines and Geology, 15p.
19. Grim, R. E., Bray, R. H., and Bradley, W. F.(1937), "The mica in argillaceous sediments": Amer. Minerals. 22, pp.813-829.
20. James, K. Mitchell(1993), "Fundamentals of Soil Behavior", 2th Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, pp.18~99
21. Park, Y. A.(1985), "Late Quaternary sedimentation on the continental shelf off the southeast coast of Korea a further evidence of relict sediments", J. Oceanol. Soc. Korea, 20, pp.55~61.
22. T. C. Kenney.(1964), "Sea Level Movements and the Geologi Histories of the Post-Glacial Marine Soils at Boston", Nicolet, Ottawa and Oslo, Geotechnique, Vol. 14, No. 2, pp.203~230.
23. Torrance, J. K.(1983), "Towards a general model of quick clay development": Sedimentology 30, pp.547-555.

(접수일자 2000. 7. 4)