

## 울산 해성퇴적 점토의 건조에 따른 연경도와 입도분포의 변화

### Influence of Drying on the Atterberg Limit and Grain-Size Distribution of the Ulsan Marine Deposited Clay

민덕기<sup>1)</sup>, Tuk-Ki Min, 황광모<sup>2)</sup>, Kwang-Mo Hwang, 이신희<sup>3)</sup>, Hee-Shin Lee

<sup>1)</sup> 울산대학교 토목환경공학부 교수, Professor, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Univ. of Ulsan

<sup>2)</sup> 울산대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Univ. of Ulsan

<sup>3)</sup> 울산대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Univ. of Ulsan

**SYNOPSIS :** In this study, the Atterberg limit and grain-size analysis were carried for the purpose of investigating the influence on drying and organic matter of Ulsan marine deposited clay. The results revealed that Atterberg limit was decreased and grain-size distribution was variable on drying. The presence of organic matter also influenced on the physical properties of the soils.

The physical properties of marine deposited clay were variable on drying, so that we recommended grain-size analysis and Atterberg limit test were performed under the wet condition of the soils after sampling.

**Key words :** Atterberg limit, deposited clay, organic matter, grain-size distribution, drying

## 1. 서 론

흙의 물리적 성질을 파악하기 위한 실내시험에는 비중, 입도, Atterberg한계 시험 등이 있으며, 한국공업규격(KS)에 의하면 실내시험은 일반적으로 상온에서 자연건조한 시료를 대상으로 수행하도록 규정하고 있다. 몇몇 연구자들은 현장에서 채취한 습윤상태의 시료와 공기 중에서 건조한 시료의 물리적 성질은 다소 차이가 있음을 보고하였다. Lao 등[6]에 의하면 해성퇴적 점토를 자연건조와 로건조한 상태에서 Atterberg한계와 입도시험을 수행한 결과, 액성한계가 감소하고 입도 변화를 확인하였으며, 해성점토가 건조됨으로써 흙 입자의 경계에서의 모관 응력의 증가로 강한 van der Waals와 Coulombic bond의 발생 메커니즘을 제안하였다. Mitchell[5]은 흙의 건조로 인해 생긴 흙 입자의 집합은 함수비와 비표면적을 감소시키며, 이로 인해 액성한계가 감소한다고 하였으며, 유기물이 액성한계에 영향을 주는 것으로 보고하였다. 일반적으로 유기물은 광물표면에 강하게 흡착되어 있고, 이 흡착으로 인해 광물의 특성과 유기물 자체의 성질이 변화한다. 높은 함수상태에서 분해된 유기물은 팽창하는 거동을 하지만 흙을 건조시키는 동안 팽창을 멈추고, 건조에 의해서 Atterberg한계가 감소하게 된다.

본 연구에서는 울산지역 해성퇴적 점토를 대상으로 자연상태, 공기건조, 로건조된 경우에 대하여 입도 분석, 액소성한계 등의 시험을 수행하여 연경도와 입자의 크기 변화를 확인하였다. 또한 흙의 건조에 따른 물리적 성질에서 유기물의 영향을 파악하기 위하여 유기물을 제거 후 입도분석 및 액소성한계 시험

을 수행하고, X-선 회절(XRD)분석과 주사전자현미경(SEM)촬영 등을 통하여 비교·분석하였다.

## 2. 울산 해성퇴적 점토의 공학적 특성

### 2.1 물리화학특성

본 연구에서 사용한 흙은 GL. -7m 깊이에서 채취하였으며, 자연 함수비는 57%~65%의 높은 함수상태를 보이고 있다. 비중은 2.68~2.69, 유기물 함유량 7.3%~8.5%, 수소이온농도(pH) 6.66~8.55, 염소이온 농도 0.72%~0.82%의 물리·화학적 성질을 가지고 있다.

### 2.2 점토광물

울산 해성 퇴적 점토의 광물학적 검토를 위한 X-선 회절(XRD)분석 결과는 그림 1과 같다. XRD 분석결과, 본 시료토에서는 석영(quartz)과 장석(feldspar)이 주를 이루고 있으며, 녹니석(chlorite), 탄산염(carbonate), 운모(mica), 각섬석(hornblende), vermiculite 등이 존재하고 있다. 점토광물로는 illite와 kaolinite의 존재가 발견되었다.

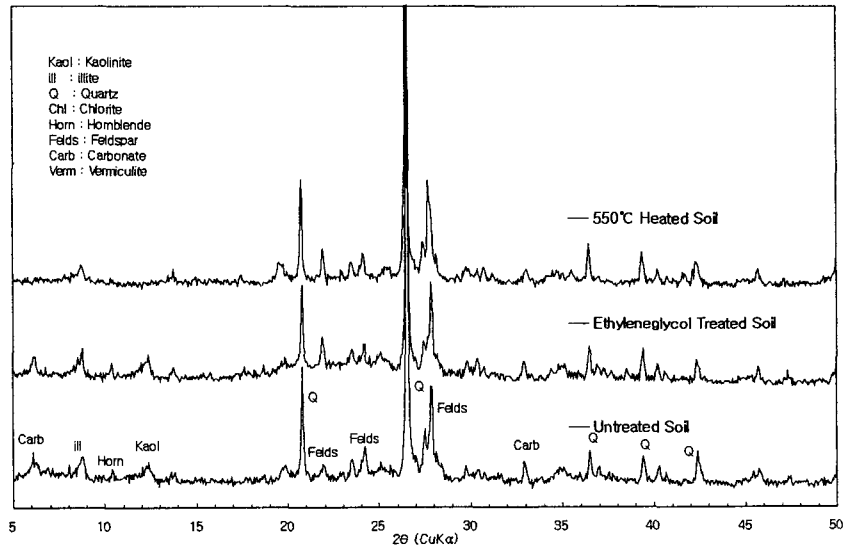


그림 1. 해성퇴적 점토의 X-선 회절분석 결과

## 3. 시험방법

울산 해성퇴적 점토의 물리적 성질의 변화와 유기물의 영향을 파악하기 위하여 현장에서 채취한 원 시료와 30% 과산화수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 수용액을 사용하여 유기물을 제거한 시료를 대상으로 연구를 수행하였다. 또 각각의 시료는 자연상태의 습윤시료, 공기 중에서 건조한 시료, 105±5℃의 건조로에서 건조한 시료로 나누어 비중, 입도, Atterberg한계, 유기물 함유량, 염화이온 농도, pH 시험 등의 실내시험을 수행하였다. 광물학적 특성을 고찰하고자 X-선 회절(XRD)분석을 실시하였고, 점토입자의 크기와 결합상태를 확인하기 위하여 주사전자현미경(SEM)촬영을 실시하였다.

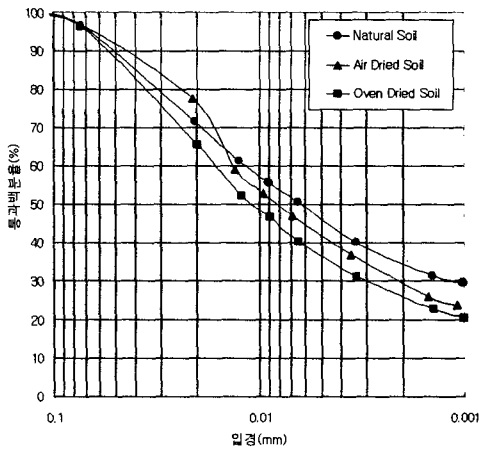
## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 입도분석

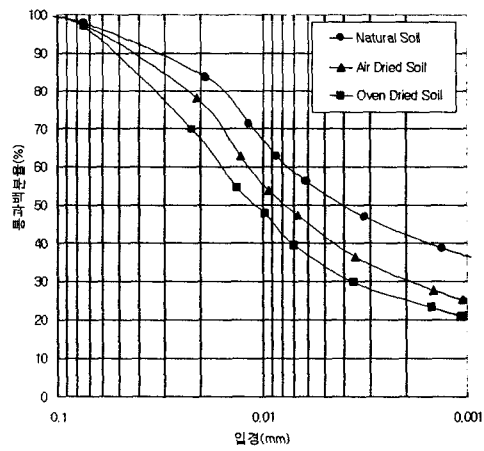
표 1과 그림 2에는 울산 해성퇴적 점토의 입도시험 결과를 정리하였다. 표 1에서와 같이 자연상태의 습윤시료를 자연건조와 건조로에서 건조할 경우 모래 크기 입자의 증가는 많지 않으나, 실트 크기 입자는 각각 7.3%, 12.2% 증가하고, 점토 크기 입자는 각각 14.4%, 25.9% 감소하였다. 흙의 입도에 대한 유기물의 영향을 확인하기 위하여 습윤시료와 유기물을 제거한 습윤시료를 비교한 결과, 유기물을 제거한 습윤시료에서 실트 크기 입자는 10.6% 감소하고, 점토 크기 입자는 19.4% 증가하였다. 유기물을 제거한 시료에 대하여 건조방법에 따른 입도분석 시험결과, 실트 크기 입자는 각각 17.1%, 26.0% 증가하였으며, 점토 크기 입자는 각각 24.7%, 38.6% 감소하는 것으로 나타나 유기물을 제거한 시료에서 입도의 변화가 더 크게 나타났다.

표 1. 해성퇴적 점토의 입도시험 결과

	untreated soil			organic removed soil		
	natural soil	air dried soil	oven dried soil	natural soil	air dried soil	oven dried soil
sand(%)	2.23	2.79	3.52	2.13	2.75	3.47
silt(%)	63.03	67.46	70.73	56.38	66.00	71.03
clay(%)	34.75	29.75	25.75	41.50	31.25	25.50



(a) Untreated Soil



(b) Organic Removed Soil

그림 2 건조방법에 따른 입도곡선

흙 속의 유기물이 광물표면에 흡착하면 입자의 크기를 변화시키고, 이에 따라 흙 입자 사이의 거리가 멀어지게 되어 표면장력이 줄어들므로 입자의 결합이 느슨하게 된다. 여기서 유기물을 제거할 경우, 흙의 건조에 따라 흙 입자 사이의 거리가 보다 가까워지게 되어 흙 입자는 더 강하게 결합하게 되고, 이는 건조시 입자크기의 변화를 가속시키는 것으로 사료된다.

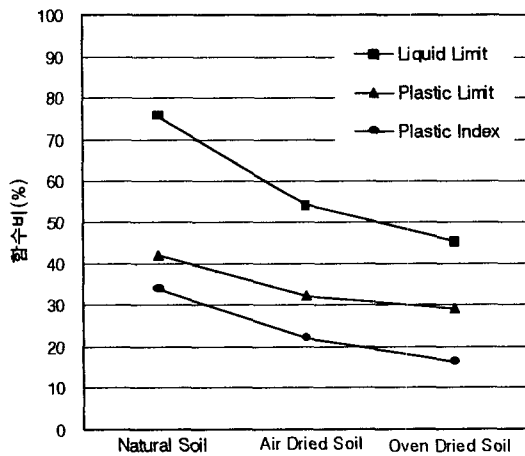
## 4.2 Atterberg한계

표 2와 그림 3에 Atterberg한계 시험결과를 정리하였다. 표 2와 그림 3에서 보는 바와 같이 자연상태의 습윤시료를 자연건조와 건조로에서 건조할 경우 액성한계는 각각 28.7%, 40.3%, 소성한계는 각각 23.7%, 31.1% , 소성지수는 각각 34.9%, 51.7% 감소하였다. 유기물을 제거한 시료에 대하여 습윤상태에 대한 자연건조 및 로건조에 따른 Atterberg한계 시험결과, 액성한계는 각각 9.4%, 14.3%, 소성한계는 각각 5.6%, 11.5%, 소성지수는 각각 15.8%, 19.0% 감소하는 것으로 나타나 Atterberg한계의 감소 경향이 원 시료에 비하여 현저히 줄었다. 습윤시료와 유기물을 제거한 습윤시료를 비교하면 유기물을 제거한 시료의 액성한계는 45.4%, 소성한계는 37.7%, 소성지수는 54.9% 감소하였다.

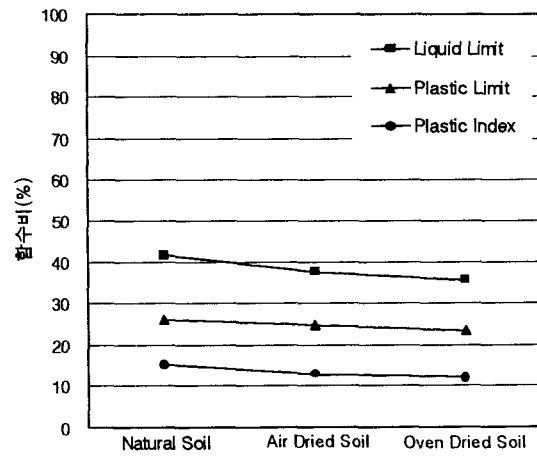
흙 속의 유기물은 광물표면에 흡착되어 흙 입자의 결합을 느슨하게 하며, 물과의 비표면적을 크게 하여 Atterberg한계를 증가시킨다.

표 2. 해성퇴적 점토의 Atterberg한계 시험결과

	untreated soil			organic removed soil		
	natural soil	air dried soil	oven dried soil	natural soil	air dried soil	oven dried soil
liquid Limit	75.82	54.07	45.28	41.40	37.52	35.50
plastic Limit	42.05	32.08	28.96	26.18	24.71	23.18
plastic index	33.77	21.99	16.32	15.22	12.81	12.32



(a) Untreated Soil

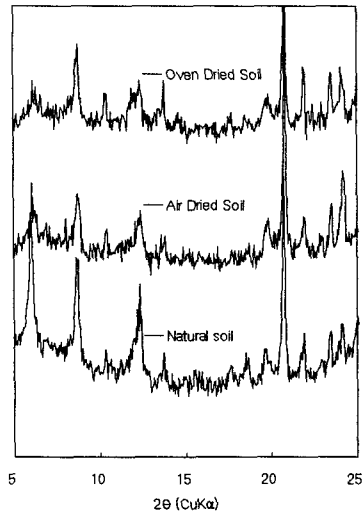


(b) Organic Removed Soil

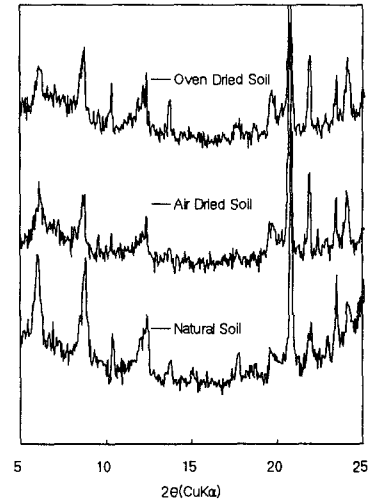
그림 3. Atterberg한계의 변화

## 4.3 X-선 회절분석

그림 4에는 무처리 시료와 유기물을 제거한 시료에 대해서 각각의 건조방법에 따른 X-선 회절분석 결과를 비교하여 나타내었다. 본 연구에서는 각 시료의 건조방법에 따라 광물화적인 변화는 나타나지 않는 것으로 보인다.



(a) Untreated Soil



(b) Organic Removed Soil

그림 4. 건조방법에 따른 X-선 회절분석결과의 비교

#### 4.4 주사전자현미경(SEM)촬영

그림 5에는 주사전자현미경(SEM) 촬영결과를 나타내었다. 무처리 시료와 유기물을 제거한 시료에 대하여 입자의 응집형태를 파악하기 위하여 비교적 저 배율인 1,000배의 배율로 촬영한 결과, 자연 건조한 시료와 비교하여 건조로에서 건조한 경우, 더 큰 형태로 응집되어 있음을 알 수 있다.



(a) Untreated Soil - Air Dry



(b) Untreated Soil - Oven Dry



(a) Organic Removed Soil - Air Dry



(b) Organic Removed Soil - Oven Dry

그림 5 건조방법에 따른 흙 입자의 변화

## 5. 결 론

본 연구는 울산 해성퇴적 점토의 물리적 변화와 유기물의 영향을 파악하기 위하여 원시료와 유기물을 제거한 시료를 대상으로 습윤상태, 자연건조와 로건조로 상태에서 입도분석 및 Atterberg한계 시험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 울산 해성퇴적 점토의 입도분석 결과, 건조방법에 따라 입도분포가 변화하였고, 유기물을 제거한 경우의 입도분포가 더 크게 변화되었다.
- 2) Atterberg한계 시험결과, 해성퇴적 점토의 건조에 따라 액성한계가 감소하는 것으로 나타났다. 흙 속의 유기물은 흙 입자의 결합을 느슨하게 하여 물과의 비표면적을 크게 하므로 Atterberg한계를 증가시킨다.
- 3) X-선 회절분석 결과, 흙의 건조방법과 유기물함유량의 변화에 따라 흙 입자의 물리적인 성질에는 영향을 주지만, 광물학적인 변화는 나타나지 않았다.
- 4) 전자주사현미경 촬영결과, 흙의 건조방법에 따라 응집된 입자의 크기의 변화를 확인할 수 있으며, 흙의 입도분포 변화와 관계가 있는 것으로 판단된다.

울산 해성퇴적 점토의 물리적 성질은 건조에 따라 큰 차이를 나타내고 있다. 자연상태 흙의 물리적 성질을 정확히 파악하기 위하여 입도, Atterberg한계 시험은 습윤상태에서 수행하는 것을 고려하여야 할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 강문기(1999), 삼산지역 퇴적점토의 광물조성 특성, 울산대학교 토목공학과, 석사학위 논문, pp.26~51.
2. 문희수(1996), 점토광물학, 민음사, 서울, pp.36~38, 85~94.
3. 박용만(1983), 해양지질학 및 퇴적학 실험, 집문당, 서울, pp.7~17.
4. Das, B. M.(1998), Principles of Geotechnical Engineering-Fourth Edition, PWS publishing Company, Boston, pp.141~146.
5. Mitchell, J. K.(1992), Fundamentals of Soil Behavior-Second Edition, John Wiley and Sons, New York, pp.84~99, pp.172~189.
6. Rao, S. M., Sridharan, A. and Chandrakaran, S.(1989), Influence of Drying on the Liquid Limit Behaviour of a Marine Clay-Technical Note, Geotechnique 39, No. 4, pp.715~719.
7. Rao, S. M., Sridharan, A. and Chandrakaran, S.(1989), Influence of Drying on the Liquid Limit Behaviour of a Marine Clay-Discussion, Geotechnique 40, No. 4, pp.673~676.
8. Sridharan, A. Rao, S. M., and Murthy, N. S.(1988), Liquid Limit of Kaolinitic Soil, Geotechnique 38, No. 2, pp.191~198.