

한국 해안에 퇴적된 연약지반의 점토광물의 종류와 분포

Clay Minerals and Their Distribution in the Soft Ground
Deposited along the Coastline

김 상 규*¹

Kim, Sang-Kyu

임 희 대*²

Lim, Heui-Dae

문 성 권*³

Moon, Sung-Kwon

Abstract

In order to identify clay minerals in the soft ground, which has been deposited along the coastline of the Korean peninsula, 14 samples have been taken at different locations and then X-ray diffraction analysis is carried out for them. It is known from the analysis that the various kinds of clay minerals mixed with different portions exist in the soft ground, but halloysite is not traced in any samples. It is featured regionally that kaolinite and illite are found in the western coast and the southern coast. Montmorillonite exists only in the western coast. This feature of regional occurrences can be explained with the help of geology of the region. Activities determined from physical properties of the soils do not coincid with those of clay minerals identified from X-ray diffraction analysis.

요 지

한국연안에 퇴적된 연약지반에 존재하는 점토광물을 식별하기 위해 여러 위치에서 14개의 시료를 채취하고 X-ray 회절분석을 수행하였다. 연약지반에는 여러 가지 점토광물이 혼합된 상태로 존재하고 halloysite는 존재하지 않는다는 것을 이 분석으로부터 알게 되었다. 지역적인 분포특징을 보면, 서해안과 남해안에서는 kaolinite와 illite가 발견되었으며, montmorillonite는 서해안에서만 존재하였다. 이러한 특징은 그 지역의 지질과 관련시켜 설명될 수 있다. 흙의 물리적 시험으로부터 얻은 활성도는 X-ray 회절분석으로부터 결정된 점토광물의 활성도와 일치성을 보이지 않는다.

Keywords : X-ray diffraction, Clay mineral, Soft clay, Activity, Geology

*1 정회원, 동부산대학 교수

*2 정회원, 충남대학교 공과대학 토목공학과 교수

*3 정회원, 충남대학교 공과대학 토목공학과 박사과정

1. 서론

점토광물에 대해서는 지질학, 요업공학 등 다른 분야에서 깊이 연구되었으나, 점토광물의 종류와 분포가 연약지반의 공학적 성질에 크게 의존하게 된다는 사실을 알게 된 이후 지반공학분야에서도 이에 대해 깊은 관심을 가지기 시작하였다.

이에 대한 본격적인 연구는 1950년대초에 시작되었다. Samuel(1950)은 점토광물이 포함된 지반의 압축성과 압밀특성을 연구하였으며, Lambe(1951)은 점토광물의 종류와 점토광물에 흡착된 이온에 따라 Atterberg한계가 현저히 달라진다는 사실을 밝혔다. Skempton(1953)은 점토입자($<2\mu\text{m}$)의 함유율에 따라 소성지수의 차이가 나타나는데 착안하여 활성도(activity)를 정의하고 이로부터 점토광물을 개략적으로 추정하는 방법을 제시하였다. Mesri(1975)는 Mexico 점토의 큰 압축성의 원인이 montmorillonite의 존재 때문임을 밝혔으며, Eberl(1984)은 암반의 풍화로부터 점토광물이 어떻게 형성되는가에 대해 자세히 기술하였다.

연약지반에 존재하는 점토광물의 종류는 연약지반의 공학적 성질에 현저한 영향을 끼치고 있다. 우리나라에서는 김상규(1977)와 김사한(1987)이 Skempton이 제안한 활성도를 구하여 몇가지 해성점토에 대해 점토광물의 종류를 추정하여 보았으나, 실제 점토광물의 존재와는 비교하지 못하였다. 또한 정두영과 이병석(1990)은 염분의 함량에 따라 해성점토의 성질에 끼치는 영향을 연구한 바 있으나, 현재까지 우리나라의 연약지반에 대한 점토광물의 연구는 다른 분야에 비해 많이 뒤떨어져 있는 실정이다.

본 연구에서는 전국 해안에 걸쳐서 14개의 위치를 선정하여 시료를 채취하고 이들에 대한 점토광물의 분석을 실시하였다. 분석방법은 가장 보편적으로 사용되는 X-ray 회절분석이 적용되었다. 채취된 시료에 대한 물리적 및 공학적 성질과 점토광물을 비교하고, 그 상관성에

대해서도 기술하였다.

2. X-ray회절에 의한 분석의 원리

점토광물의 분석을 위한 방법으로는 전자현미경을 이용하는 방법, 시료를 가열해서 비활성 물질과의 열의 차이로 판별하는 방법(differential thermal analysis, DTA), X-ray 회절법 등이 있다. 이 중에서 X-ray 회절법은 세립토 점토광물의 판별과 결정구조 연구에 가장 폭넓게 적용하는 방법이므로 본 연구에서도 이 방법을 적용하였다.

X-ray는 전자기 스펙트럼의 여러 파형중의 하나로 파장이 $0.001-100\text{\AA}$ 의 범위에 있다. 고전압으로 가속된 입자가 표적물질 원자의 안쪽 궤도에 있는 전자를 때리면 그 전자를 밀어내게 되므로 바깥쪽 궤도의 전자가 떨어져서 그 공간을 메우게 된다. 이 때 그 궤도가 가지고 있는 에너지를 방출한다. 이러한 현상은 여러 개의 전자궤도에서 발생할 수 있으므로 각 궤도에서의 에너지 방출량과 파장이 측정될 수 있다. 가속된 입자가 표적물질의 전자를 때리지 않고 원자핵에 가까이 있는 강렬한 전자장에 이르러 감쇠한다면, 그 에너지의 감소는 열과 X-ray 양자로 변환된다. 이와 같은 전압의 감소로 인한 영향과 표적물질의 전자이탈로 인한 영향을 합치면 그림 1과 같은 파장과 방사 에너지 강도와의 관계가 얻어진다.

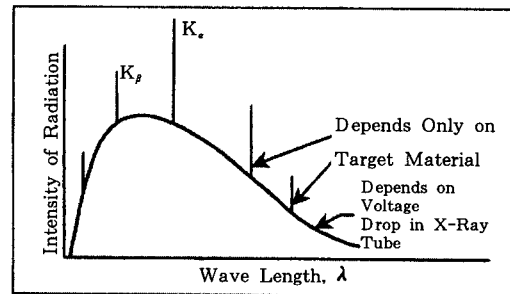


그림 1. 파장과 X-ray 강도와의 관계(Mitchell, 1976)

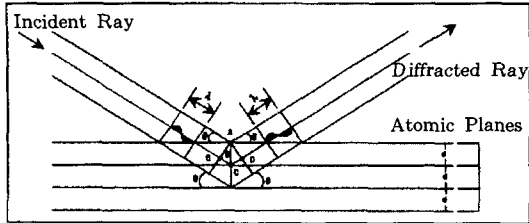


그림 2. Bragg의 법칙에 의한 X-ray 회절법의 대칭조건 (Mitchell, 1976)

이와 같은 원리를 이용하여 각 파장에 따른 X-ray가 발생된다. 실제로는 필라멘트로부터 표적물질까지 약 50,000볼트의 전압 강하로 전자가 흐르게 되는 튜브를 사용하여 X-ray가 생성되도록 한다. Cristal monochrometer를 사용하면 여러 전자궤도에서 발생하는 X-ray중 단지 한 개의 파장만을 선택할 수 있다.(보통 $K\alpha$ 를 선택) 표적물질로는 Molydenum, Chromium, 구리 등을 이용하는데, 이중 구리 튜브(copper tube)가 점토광물의 식별을 위해 가장 많이 이용된다. 이를 이용하면 1.54Å의 한 개의 파장만을 생성할 수 있다.

이와 같이 발생된 X-ray의 입사광선이 동일 간격의 원자면을 가진 물질의 격자에 부딪치면 입력한 방사선은 굴절된다. 그림 2는 거리가 d인 평행한 원자면에 파장 λ 인 평행한 광선이 θ 의 각도로 결정체에 부딪친 후 반사되는 광선을 보여준다. 이 그림에서 만일 C에서 반사된 파가 A에서 반사된 파를 증강시키려고 한다면 A와 C를 통과하는 두 파의 경로차이는 파장 $n\lambda$ 가 되어야 한다. 따라서

$$BC + CD = n\lambda \quad (1)$$

입사각과 반사각은 대칭이므로 윗식은

$$n\lambda = 2d \sin\theta \quad (2)$$

로 쓸 수 있다. 이 식을 Bragg의 법칙이라고 한다. 이 법칙을 이용하여 X-ray 회절에 의한 광물의 격자간격 d를 구할 수 있다. 3차원으로

보면, 굴절이 발생하는 각도에 따라 원자면의 간격은 다르게 되므로 두개의 광물이 모든 입사각에서 동일한 격자 간격을 가지는 경우는 없다. 따라서 이 방법은 광물의 식별에 아주 적절하다고 할 수 있다.

분석을 위한 시료는 가루로 만들어 평행한 X-ray의 빔을 쏘게 된다. 그러면, 여러 가지 방향에서 회절된 빔이 강도를 달리하여 필름에 기록된다. 피크가 나타난 θ 의 값을 식 (2)에 넣어 계산하면 점토광물의 격자간격 d를 결정할 수 있다. λ 값은 이미 구리 튜브에서 결정되었고 정수 n값을 달리하여 시험하면 d의 평균값을 얻을 수 있다.

모든 광물은 θ 의 변화에 따른 고유한 d값을 가지고 있으므로 이것을 시험에서 얻은 필름과 비교하면, 광물을 식별할 수 있다. ASTM에서는 이미 여러가지 광물에 대하여 가장 큰 강도를 기준으로 d의 값을 이미 결정하였다. 더 자세한 내용은 Mitchell(1976)의 책에 잘 수록되어 있다.

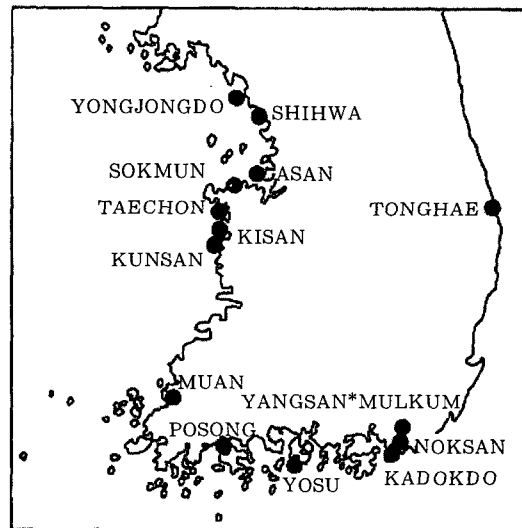


그림 3. 우리나라 해안을 따라 채취한 시료의 위치

3. 시험 및 결과

3.1 시료의 물리적 및 압축특성

우리나라의 해안을 따라 영종도 등 14개 지역을 선정하여 시료를 채취하고 토질시험 및

광물분석을 실시하였다. 시료를 채취한 위치는 그림 3에 나타나 있다. 점토광물의 깊이별 변화를 알아보기 위해 양산·물금지역에 대해서는 깊이별로 시료를 채취하였다.

각 조사지역에서 채취한 시료의 물리적 및 압축특성은 표 1에 요약되어 있다.

표 1. 채취시료에 대한 실내시험 결과

Location		Depth (m)	Physical Properties							Mechanical Properties		
			USCS	w (%)	Gs	<75 μ m	<2 μ m	LL (%)	PI (%)	e	Cc	γ_d
Inchon Bay	Yongjongdo	1.0-1.8	CL	36.1	2.70	-	-	27.5	7.1	0.970	0.17	1.370
	Shihwa	7.2-8.0	CL	36.7	2.70	87.4	14.0	36.6	12.9	1.024	0.31	1.330
Asan Bay	Asan	3.5-4.3	CL-ML	42.6	2.69	92.1	18.0	26.0	7.0	1.153	0.26	1.250
Kum River Estuary	Teachon	4.0-4.7	ML	-	2.65	75.4	5.0	24.4	2.6	-	-	-
	Kunsan	3.7-4.5	CL	34.1	2.64	81.4	10.0	26.7	9.54	0.979	0.25	-
	Kisan	7.0-7.7	CL	39.6	2.69	99.0	17.0	44.9	23.2	1.103	0.35	-
Yongsan River Estuary	Muan	1.6-2.4	CL	25.0	2.69	81.0	-	28.5	9.2	0.653	0.13	1.578
Posong Bay	Posong	7.0-7.7	CL	15.5	2.67	51.6	14.0	31.6	11.6	-	-	1.595
Kwangyang Bay	Yosu	4.0-4.7	SL	25.8	2.72	48.3	8.7	27.7	9.2	-	-	1.502
Nakdong River Estuary	Noksan	12.0-12.8	CH	61.3	2.62	98.0	28.4	57.2	32.1	1.704	0.65	1.022
	Yangsan · Mulkum	18.0-18.8	CL	54.3	2.68	99.4	18.1	39.3	20.8	1.478	0.57	1.082
The East Coast	Tonghae	10.5-11.0	CL	30.7	2.64	91.9	27.0	45.3	19.9	0.859	0.25	1.420

3.2 점토광물 분석

앞서 2장에서 설명한 원리와 방법에 따라 광물 분석시험을 수행하였다. 점토광물 분석에 이용된 X-ray 회절분석기는 Gigaku XRD System이며, 구리 튜브를 이용하였고 주사속도는 2 θ /min, 분석조건은 30KV, 15mA, CuK α 파장을 이용하였다. 전체 주사각(2 θ)는 3-55 $^\circ$ 까지 변화시켜 실온에서 분석하였다.

방향성이 양호한 시료를 얻기위하여 현탁액을 3개의 슬라이드(48 \times 28mm)위에 스포이드로 얇게 피복시켰으며, 3개의 슬라이드를 준비하여 각각 상온건조(air dry), 에틸렌글리콜 처리 및 열처리(heat treat)를 하였다. Montmorillonite의 존재는 시료를 에틸렌글리콜 처리를

하여, d값이 15 \AA 에서 17 \AA 으로 증가하고 다시 열처리하였을 때 10 \AA 으로의 감소하는 것을 관찰함으로써 확인하였다. Kaolinite의 경우에는 air dry를 통해 약 7 \AA 에서 나타난 peak가 550 $^\circ$ C의 열처리 후 없어진다. 이외의 다른 광물들은 air dry 상태에서 식별이 가능하였다.

주요 점토광물에 대한 X-ray 회절상의 특성을 보면 다음과 같다. Kaolinite는 양이온 교환능력(cation exchange capacity, CEC)이 낮으며, X-ray 회절분석에서는 격자간격 7 \AA 과 3.57 \AA 등에서 일련의 피크를 보인다. Illite는 10 \AA , 5 \AA , 3.3 \AA 에서 일련의 피크를 보이며, 해양성 기원의 퇴적물에서는 삼팔면체(trioctahedral type), 육성기원의 퇴적물에서는 육팔면체(dioctahedral type)의 구조를 가지는

것으로 알려져 있다.(Terzaghi and Peck, 1996) Montmorillonite, chlorite, vermiculite의 회절분석에서는 Miller 지수 (001)에서 14 Å의 간격을 가진다. 이와 같은 격자간격은 모든 광물에 대해 자료로 집성되어 차트로 만들어져 있다. 그림 4는 영종도 점토에 대해 촬영한 X-ray 스펙트럼을 예로 제시한 것인데, 표준 차트와 비교하여 식별된 결과도 함께 나타나 있다. 표 2는 14개의 시료에 대한 광물분석 결과를 요약한 것이다. 특별히 양산·물금지역에서는 여러 깊이에서 시료를 채취하여 광물분석을 하였는데, 그 결과는 표 3에 요약되어 있다.

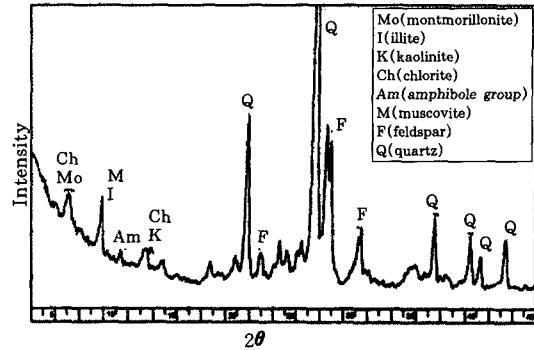


그림 4. 영종도 점토에 대한 광물분석 결과

표 2. 14개 시료에 대한 X-ray 분석결과의 요약

Location		Clay Minerals						Non-Clay Minerals		
		kaolinite	illite	montmorillonite	halloysite	chlorite	amphibole group	muscovite	feldspar	quartz
Inchon Bay	Yongjongdo	○	○	○	×	○	○	○	○	○
	Shihwa	○	○	○	×	○	○	○	○	○
Asan Bay	Asan	○	○	○	×	○	×	○	○	○
	Sokmun	○	○	○	×	○	○	○	○	○
Kum River Estuary	Teachon	○	○	×	×	○	○	○	○	○
	Kunsan	○	○	○	×	○	○	○	○	○
	Kisan	○	○	×	×	○	×	○	○	○
Yongsan River Estuary	Muan	○	○	×	×	○	○	○	○	○
Posong Bay	Posong	○	○	×	×	○	×	○	○	○
Kwangyang Bay	Yosu	○	○	×	×	○	×	○	○	○
Nakdong River Estuary	Noksan	○	○	×	×	○	○	○	○	○
	Yangsan · Mulkum	○	○	×	×	○	○	○	○	○
	Kadokdo	○	○	×	×	○	○	○	○	○
The East Coast	Tonghae	○	○	×	×	○	×	○	○	○

○ : Existence × : No trace

표 3. 양산·물금지역의 깊이별 광물분석 결과

Depth	Kaolinite	Illite	Montmorillonite	Depth	Kaolinite	Illite	Montmorillonite
3.0~3.3m	○	○	×	10.1~10.8m	○	○	×
6.0~6.3m	○	○	×	13.0~13.3m	○	○	×
8.0~8.7m	○	○	×	13.3~14.0m	○	○	×
9.5~9.8m	○	○	×	18.5~18.8m	○	○	×

4. 논 의

4.1 점토광물의 지역적 분포

점토광물 및 비점토광물의 지역적인 분포는 표 2에 요약하였다. 이 표로부터 알 수 있는 바와 같이 우리나라 해안에는 점토광물중 halloysite는 존재하지 않고, montmorillonite는 서해안의 아산만과 시화지구 및 군산에서만 존재하는 것으로 밝혀졌다. 이 점토광물이 서해안에서만 존재한다는 사실은 중국대륙이나 황해에 있는 기반암의 풍화 및 퇴적환경과 관련이 있는 것으로 보인다. 비점토광물인 석영, 장석 및 백운석은 모든 연약지반에 우세하게 분포되어 있다.

점토광물의 분포 특성을 지역적으로 보면, 인천만과 아산만 연안에서는 kaolinite, illite, 및 montmorillonite, chlorite 등이 다양하게 섞여 있다. 반면, 영산만, 포송만, 광양만, 낙동강 하구 등 남해안 일대는 montmorillonite는 존재하지 않고 kaolinite, illite 그리고 chlorite가 혼합되어 분포한다.

깊이별 점토광물의 분포를 알아보기 위해, 양산·물금지구에서는 시료를 3.0m에서 18.8m의 각각 다른 깊이에서 8개의 시료를 채취하여 광물분석시험을 하였다. 그 결과는 표 3에 나타나 있다. 이 표로부터 깊이별 분석결과는 동일하다는 것을 알게 되었다. 따라서 이로 미루어 보아 10m 깊이 정도의 퇴적층은 동일한 환경에서 퇴적된 것으로 판단할 수 있다.

4.2 점토광물과 활성도와의 관련

흙속에 점토광물이 포함되어 있으면 그 광물의 종류에 따라 흙의 압축특성이 달라진다. Montmorillonite는 다른 점토광물보다 팽윤성이 커서 동일한 점토광물의 함유율에 비해 압축성이 크다. 더욱이 물속에서 흡착이온으로 Na를 가지고 있으면 Ca에 비해 액성한계가 월등히 높다. Illite와 kaolinite는 이에 비해 팽윤성이 훨씬 낮다. 이러한 특성을 활성도로 나

타내면 점토지반에 포함된 점토광물을 대략적으로 판별할 수 있다.(Skempton, 1953)

그림 5는 본 연구의 대상지역인 서해안, 동해안, 남해안에서 채취한 시료의 점토함유율과 소성지수의 관계를 Skempton(1953)이 제안한 활성도에 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 많은 시료가 illite에 근접한 활성도를 보이고 있으나 sodium montmorillonite의 활성도를 나타내는 시료는 찾아볼 수 없다. 이는 본 X-ray 회절분석이 정성분석이며 분석에 사용한 시료가 Skempton의 활성도에 있는 순수 점토광물이 아니라 여러 가지 점토광물이 혼합된 것이므로 sodium montmorillonite가 미량으로 존재할 경우 상대적으로 양이 많은 점토광물이 활성도를 지배하기 때문인 것으로 판단된다.

Kaolinite와 illite가 주로 분포되어 있는 남해안의 점토에 대해서는 활성도로 추정된 점토광물과 다소 일치성이 있는 것으로 보이거나 서해안의 점토에 대해서는 분산성이 대단히 크다는 것을 알 수 있다. 이미 조사되었던 우리나라 연약지반의 활성도(김상규, 1977; 김사한, 1987)와 비교해 보아도 일치성을 거의 찾을 수 없다. 아마도 이것은 특별히 우세한 한가지 점토광물이 존재하는 것이 아니고 여러가지 점토광물이 혼재하기 때문인 것으로 보인다.

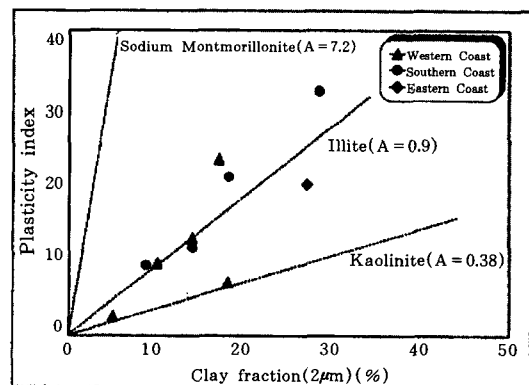


그림 5. 우리나라 해안삼면의 활성도 비교

4.3 지질특성과의 관련

인천만, 아산만, 및 금강하구에서 나타난 kaolinite는 문헌에 의하면, 주로 장석의 풍화 산물로서 잔적토에 있는 가장 흔한 점토광물중의 하나이며, 장석과 더불어 백류석과 같은 모암으로부터도 형성될 수 있다고 한다.(Grim, 1968) 이 광물은 다른 점토광물에 비하여 해수로의 이동초기에 많은 양이 퇴적되는데, 이것은 담수와 함께 유입된 kaolinite가 해수중에 있는 각종 양이온을 흡착하게 됨으로서 입자의 크기가 증가하여 침강속도가 빨라지기 때문이다. Keller(1970)는 kaolinite가 산성 및 담수환경에서 생성되어 해양환경에 오면 용해작용과 응집작용을 함께 받으면서 퇴적한다고 주장하였다.

서해안의 지질을 보면, 변성퇴적암류, 변성암류, 화강 편마암, 편마암 등이 기반암으로 분포하고 그 상부에는 기반암의 풍화대층이 불규칙하게 나타나고 있다. 이러한 암석들은 석영, 장석, 운모류 등으로 구성되므로 이 중 장석이 kaolinite를 생성하는데 기여를 했을 것으로 믿어진다.

남해안과 서해안에서 나타난 illite는 혈암(세일)이나 사암의 풍화산물로 알려져 있다. 또한 견고한 점토와 후빙기의 해안, 호상 연약점토, 및 실트질 퇴적층에서 가장 흔히 발견된다.(Grim, 1968) 남해안 지역은 변성암류, 신라층군의 퇴적암류, 화산암류가 주로 기반암으로 분포한다. 화산암류는 그 구성물질과 조직에 따라 암산암류와 유문암으로 대별된다. 이와 같은 지질과의 관련을 생각해 보면 남해안에서 illite가 생성되는 것은 당연한 것으로 보인다.

Montmorillonite는 혈암과 화산재로부터 생성되는 2차광물이다. 이것은 잔적토에서 흔히 볼 수 있으며, 화산활동이 있었던 지역의 주위에서 다소 한정적으로 발견된다.(Grim, 1968) 이 광물은 서해안에서만 발견되었는데, 위에서 언급한 서해안의 지질과 비교해볼 때 생성근원

과의 관련을 찾기 힘들다. 따라서 이 광물은 중국대륙이나 황해의 지질의 영향을 받은 것으로 추정할 수 있을 것으로 보인다.

5. 결 론

우리나라 연안에 분포하고 있는 여러 연약지반의 점토광물을 X-ray 회절법으로 식별하고 각 점토광물의 지역적 분포특성을 알아보았다. 아울러, 각 점토에 대한 물리적 및 압축특성을 시험하여 점토광물과의 관련성을 알아보았다. 여기서 얻어진 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 우리나라 해안을 따라 존재하는 점토광물은 kaolinite, illite, chlorite, amphibole group 등이고, montmorillonite는 영종도, 시화, 아산, 석문에서만 존재하고 있으며 이번 조사에서는 어느 위치에서도 halloysite는 발견되지 않았다.
- 2) 지역별로 보면, 서해안과 남해안에서는 kaolinite와 illite가 우세하다. 이러한 점토광물의 지역적 분포의 차이는 점토광물이 생성되는 지질의 분포와 관련시켜 볼 때, 지질특성과 일치성을 보이는 것으로 판단된다. 그러나 서해안에서 montmorillonite가 발견된 것은 그 지역의 지질적 특성과 관계가 없는 것으로 보인다.
- 3) 조사지역에 대한 점토광물의 대표성을 판단하기 위해 양산·물금지역에 대해서 약 20m의 깊이에 걸쳐서 여러개의 시료를 채취하여 시험한 결과, 전 깊이에 걸쳐서 동일한 점토광물이라는 것을 알게 되었다. 이로부터 점토지반의 퇴적층은 상당한 깊이까지 동일한 환경에서 퇴적된 것으로 판단된다.

감사의 말

이 논문은 한국과학재단의 지원(과제번호 95-0600-09-02-3)을 받아 수행되었다.

참 고 문 헌

1. 김상규, (1977), 토질역학, 동명사, 서울
2. 김상규, (1992), "매립, 준설 및 인공섬 축조에 관련되는 토질공학적 문제", 한국지반공학회, '92 가을 국제학술발표회.
3. 김사한, (1987), "한국해성점토의 분포 및 공학적 특성에 관한 연구", 동국대학교 대학원 석사논문.
4. 정두영, 이병석, (1990), "해성점토의 물리, 화학적 특성에 미치는 염분의 영향", 토목학회지, 학술발표회개요집, pp. 415-420.
5. 한국건설기술연구원, (1994), "국내 해안 연약지반의 공학적 특성 평가".
6. Eberl, D. D. (1984), Clay mineral formation and transformation in rocks and soils, Philosophical Transactions of the Royal Society of London, A311, pp. 241- 257.
7. Grim, R. E. (1968), Clay Mineralogy, 2nd, ed. New York, McGraw-Hill, pp. 596.
8. Karl Terzaghi & Ralph B. Peck, (1996), Gholamreza Mesri Soil Mechanics in Engineering Practice, 3rd ed, John Wiley & Sons, pp. 3-17.
9. Keller, W. D., (1970), Environmental aspects of clay minerals, Jour. Sedimentary Petrology, V.40, No.3, pp. 788-813.
10. Lambe, T. W., (1951), Soil Testing for Engineers, John Wiley and Sons, New York.
11. Lee Dae-Sung, (1987), Geological Society of Korea, Geology of Korea, Kyohaksa, Seoul. pp. 389-422.
12. Mesri, G., A. Rokhsar, and B.F. Bohor, (1975), "Composition and compressibility of typical samples of Mexico City clay," Geot., 25, No. 3, pp. 527-556.
13. Mitchell, J. K. (1976), Fundamentals of Soil Behavior, pp. 84-99, John Wiley and Sons, New York.
14. Ralph E. Grim, (1953), Clay Mineralogy, pp. 317-367.
15. Samuels, S. G., (1950), The Effect of Base Exchange on the Engineering Properties of Soils, Bld. Research Sta. G. Britain, Note C176.
16. Skempton, A. W., (1953), "Soil Mechanics in Relation to Geology," Proc. of Yorkshire Geological Soc., Vol. 29, pp. 33, 1953

(접수일자 1998. 7. 20)