

양산물금 점토의 광물학적 특성

Mineral Properties of Yangsan · Mulkum Clay

정하익¹⁾, Ha-Ik Chung, 이용수¹⁾, Yong-Soo Lee, 진규남²⁾, Kyu-Nam Jin, 진현식³⁾, Hyun-Sik Jin

- 1) 한국건설기술연구원 토목연구부 선임연구원, Senior Researcher, Civil Eng. Dept., KICT
- 2) 한국토지공사 연구개발처 주임연구원, Associate Researcher, Dep. of R & D, Korea Land Corporation
- 3) 한국건설기술연구원 토목연구부 연구원, Researcher, Civil Eng. Dept., KICT

SYNOPSIS : In this study, clay sampled from Yangsan · Mulkum site were used to analyze mineral properties. Mineral and chemical properties of clay were investigated through X-ray fluorescence spectrometer(XRF), X-Ray Diffraction(XRD), and Scanning Electron Microscope(SEM) analysis. The result of this test represents that Yangsan · Mulkum clay are composed of quartz, albite, anorthite, orthoclase and illite.

Key words : clay, soft ground, microstructure, XRF, XRD, SEM

1. 서론

우리나라의 주변해역은 서·남해의 대륙붕과 동해분지로 이루어져 있고, 그 생성시기 및 지형은 복잡 다양한 형태를 보이고 있다. 해안주변은 과거 수천 수백년동안을 거쳐 퇴적물이 쌓여 형성된 지형을 이루고 있으며, 각 지형에 쌓인 해저 퇴적물은 수년에 걸쳐 새로운 지층을 구성하고 있다. 해안 연약지반은 지질조건, 퇴적조건에 따라 입도분포, 토립자의 형상, 점토광물의 종류, 유기물의 함량 등에 다소 차이를 나타내고 있다. 그러므로, 연약지반을 구성하는 점토의 광물학적 특성을 파악하는 것은 연약지반의 성질을 분석하는데 필요하다. 따라서, 본 논문에서는 부산의 양산물금 점토에 대하여 광물학적 특성을 분석하였으며, 이를 위하여 XRF, XRD 및 SEM 등과 같은 일련의 시험을 실시하였다.

2. 광물학적 시험

2.1 시험재료

시험에 사용된 점토 시료는 양산물금지구의 점토로, 양산물금지역의 시험시공 구간에서 채취한 점토를 사용하였다. 시험재료에 대한 기본특성은 표 1과 같다. 표 1에 의하면, 양산물금점토의 시료에 대한 200번체 통과량은 91.42%, 소성지수는 18.14로 나타났으며, 흙의 분류는 CL로 나타났다.

표 1. 양산물금 점토의 기본특성

항 목	양산물금 점토
200번체 통과량, (%)	91.42
액성한계, LL(%)	32.7
소성한계, PL(%)	14.56
소성지수, PI	18.14
흙의 분류(통일분류법)	CL
비중, Gs	2.69

2.2 시료준비 및 분석방법

2.2.1 시료준비

대상 점토의 광물학적 특성을 살펴보기 위한 시료준비는 분석하기 전에 증류수를 이용하여 점토내의 염분을 제거하였으며, 시료에 포함된 유기물은 H_2O_2 를 이용하여 제거하였고, 패각편은 10% HCl을 이용하여 제거하였다. 이렇게 처리한 시험시료는 건조로에서 약 120°C로 건조시킨 후, 완전히 건조된 시료를 막자사발로 분쇄하여 200체(74 μ m)를 통과시켜 미립의 상태로 만들었다. 또한, 2 μ m이하의 점토시료는 #200체를 통과시킨 시료를 매스실린더를 이용하여 8시간 동안 자연 침강시켜서, 2 μ m 이하의 광물을 부유시킨 후 수면으로부터 10cm 깊이에서 혼탁액을 채취하여, 원심분리기를 이용하여 약 1시간 농집시켰다. 농집시킨 점토광물은 분석용 비드에 얇게 피복시켜서 건조로에 완전 건조시켜 사용하였다. 한편, 점토내의 동식물을 파악하기 위하여, SEM 분석시 유기물을 제거하지 않은 상태로 분석을 실시하였다.

2.2.2 분석방법

점토의 광물학적 특성은 분석대상 점토에 대하여, X-선 형광분석(XRF:X-Ray Fluorescence Spectrometer), X-선 회절분석(XRD:X-Ray Diffraction), 주사전자현미경분석(SEM:Scanning Electron Microscope) 등을 실시하였다.

점토광물의 화학적 구성성분을 분석하기 위하여 XRF를 실시하였다. XRF분석에 사용된 기기는 Philips사의 PW-1480 기기를 사용하여 분석하였고, 분석조건은 가속전압 40kV, 전류 30mA, 크롬(Cr)의 X-선 튜브를 사용하였고, 분석범위는 20~1KeV이다.

점토내 존재하는 광물의 종류와 상대적인 양을 조사하기 위하여 XRD분석을 실시하였다. X-선 회절 분석은 대상물질이 보통 시료의 5%정도 함유하고 있어야 감지할 수 있으므로, 소량 생성된 반응물들은 XRD분석으로 찾기 어려운 결점을 갖고 있다. XRD분석에 사용된 기기는 Philips의 PW-1710 장비를 이용하였고, 분석조건으로 가속전압은 40kV, 전류는 25mA, 구리(Cu) 타겟으로 분석하였고, 분석범위 2θ 는 $5^\circ \sim 90^\circ$, 분석속도는 $0.1^\circ / \text{sec}$ 로 실시하였다.

SEM은 광물 형태 및 광물 상호간의 형상을 조사하기 위해 실시하였다. 준비된 시료를 비드에 부착한 후 백금(Pt)로 코팅을 하여, 각 시료당 5.0K~20.0K사이를 주사전자현미경으로 관찰하였으며, SEM 분석조건은 가속전압 3KV, 배율은 5.0K~20.0K이다. 코팅은 백금을 사용하였고, SEM분석에 사용된 분석장비는 HITACHI의 S-4200을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 XRF 분석 결과

표 2는 양산물금지구의 연약지반 무처리 및 처리구간에 대한 XRF 분석 결과를 나타내고 있다. 표 2에 의하면 양산점토의 무처리 구간의 점토에 대한 XRF 분석결과, SiO₂ 66.03%, Al₂O₃ 17.45%, Fe₂O₃* 3.98%, K₂O 2.97%, MgO 1.64%, Na₂O 1.32%로 구성되어있다. 주요구성성분은 SiO₂, Al₂O₃로 전체적으로 약 83.4%를 차지하고 있다.

연약지반 처리구간에 대한 XRF 분석결과에 의하면, SiO₂ 54.84~61.78%, Al₂O₃ 16.00~18.44%, Fe₂O₃* 6.03~6.81%, K₂O 2.67~3.07%, MgO 1.76~2.45%, Na₂O 1.55~2.06%로 구성되어있다. 주요구성성분은 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃*로 전체 약 80%이상을 차지하고 있다. 전체적으로 석영(quartz, SiO₂)이 주를 이루고, 다음으로 정장석(orthoclase, KAlSi₃O₈), 알바이트(albite, NaAlSi₃O₈) 등이 함유되어있고, 일라이트(illite) 등의 점토광물이 함유되어 있는 것으로 판단된다.

또한, 깊이에 따른 화학성분의 함량을 살펴보면, SiO₂는 표층부근에서 큰 변화의 값을 나타내고 있으며, Al₂O₃, K₂O는 15m 범위인 중간지층에서 큰 값을 나타내고 있다. 또한 유기물은 심도 5~10m 사이에 큰 값을 나타내고 있다.

표 2. 양산물금 점토의 XRF 분석 결과

처리공법	깊이 (m)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ *	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	L.O.I.	Total
Pack Drain	2.15~2.75	61.73	16.33	6.11	0.77	0.10	1.68	2.01	2.92	1.76	0.09	6.87	100.35
	5.00~5.70	60.30	17.50	6.49	0.80	0.09	0.97	2.26	3.03	1.68	0.10	7.40	100.62
	13.6~14.3	57.18	18.44	6.81	0.79	0.10	1.36	2.45	3.11	1.60	0.13	8.06	100.01
	22.55~23.25	61.58	17.55	6.07	0.84	0.08	0.95	2.01	2.94	1.70	0.13	6.70	100.55
	26.30~27.00	60.81	16.88	6.67	0.81	0.11	0.99	1.88	2.73	1.57	0.12	8.32	100.90
Paper Drain	2.10~2.80	61.74	16.67	6.03	0.77	0.09	1.20	1.90	2.88	2.06	0.09	6.48	99.89
	7.50~8.20	54.84	17.13	6.85	0.75	0.10	1.71	2.39	2.81	1.55	0.13	8.83	97.10
	16.60~17.30	58.95	18.47	6.36	0.80	0.07	0.79	2.30	3.07	1.77	0.13	7.22	99.94
	22.60~23.30	60.14	17.36	6.48	0.79	0.08	0.93	2.00	2.79	1.79	0.11	7.45	99.93
	26.50~27.20	60.83	16.00	6.09	0.76	0.08	1.02	1.76	2.67	1.74	0.11	7.29	98.34
무 처리	-	66.03	17.45	3.98	0.84	0.04	0.83	1.64	2.97	1.32	0.03	4.81	99.97

1) Fe₂O₃* : Total Fe 2) L.O.I : Loss On Ignition

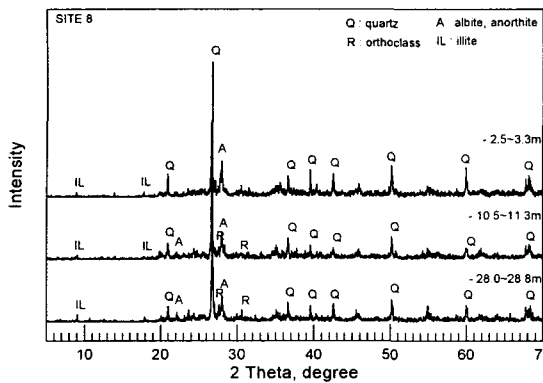
3.2 XRD 분석 결과

그림 2는 무처리 구간에 대한 XRD 분석결과이다. 그림 2(a)에서 석영, 알바이트, 아놀사이트, 정장석, 일라이트의 회절피크가 주로 나타났다. 이 중에서 석영이 가장 높은 회절피크를 나타냈고, 다음으로 알바이트, 아놀사이트와 정장석 등의 장석계열(feldspar group)의 회절피크가 나타났다. 전체적으로 살펴보면 석영이 가장 많이 함유하고 있으며, 다음으로 알바이트, 아놀사이트와 정장석 등 장석계열을 함유하고 있다. 깊이에 따른 양산물금점토의 특성 파악을 위하여 -3.0m, -10.5m, -27.6m에서 각각 시료를 채취하였다. 채취한 점토에 대한 2 μ m이하의 시료에 대한 XRD 분석결과를 그림 2(b)에 나타내었다. 그림에서 보듯이 석영, 일라이트, 알바이트, 아놀사이트 등이 나타나며, 특히, 2 μ m이하의 점토에서는 몬모릴로나이트가 보이는 것이 특이하다.

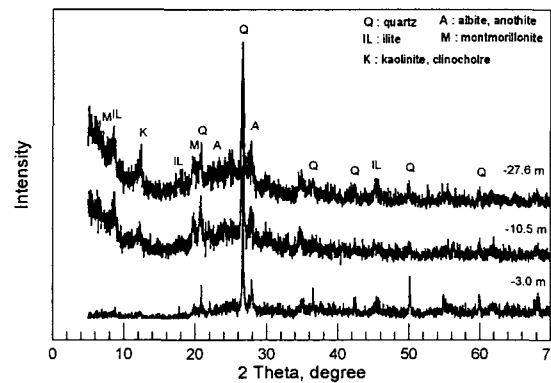
그림 3은 팩 드레인 및 페이퍼드레인 공법으로 처리된 구간의 점토에 대한 깊이별 XRD 분석 결과이다. 그림3(a)의 팩드레인 처리구간으로 석영(26.65° , 50.14° , 59.95°)과 사장석인 알바이트(27.96° ,

22.06° , 27.73°), 아놀타이트(27.86° , 28.04° , 21.98°), 정장석(27.51° , 26.91° , 29.76°), 일라이트(26.67° , 8.84° , 17.65° , 45.19°), 백운모(8.75° , 19.75° , 26.50° , 34.95°)의 회절피크가 나타나고 있다. 그림 3(b)은 페이퍼 드레인 처리구간으로, 석영과 함께 사장석인 알바이트, 아놀타이트와 정장석, 일라이트, 백운모의 회절피크가 나타나고 있다. 또한 전반적으로 장석의 피크가 많이 나타나는 것과 표층과 하부에서 정장석의 피크가 나타난 것이 특징이다.

이상의 결과를 살펴보면, 전체적으로 양산물금 점토는 석영, 알바이트, 일라이트, 아놀타이트 등으로 구성되어 있으며 특히, 점토광물중 일라이트가 가장 많이 함유하고 있고, 미량의 몬모릴나이트도 함유하고 있다. 이러한 결과는 깊이에 따라 새로운 광물이 나타나지 않은 것으로 보아 동일한 환경에서 퇴적된 것으로 이는 김상규외 2인(1999)의 결과와 유사한 것으로 나타났다.

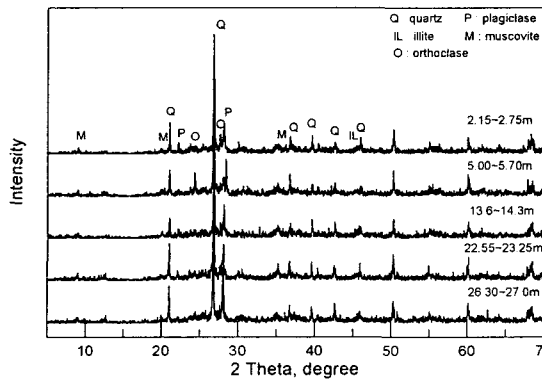


(a) 원시료에 대한 XRD 분석 결과

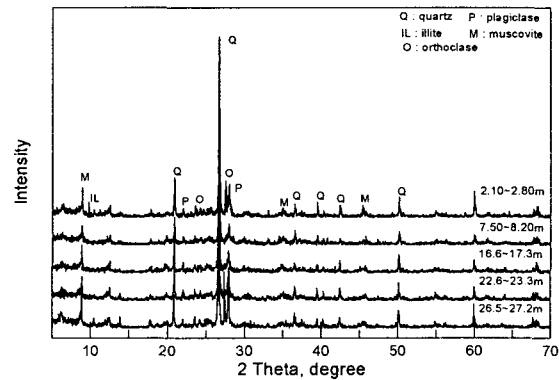


(b) 2µm이하의 양산물금 점토 XRD 분석 결과

그림 2. 무처리구간에서 깊이에 따른 XRD 결과



(a) 팩드레인 구간



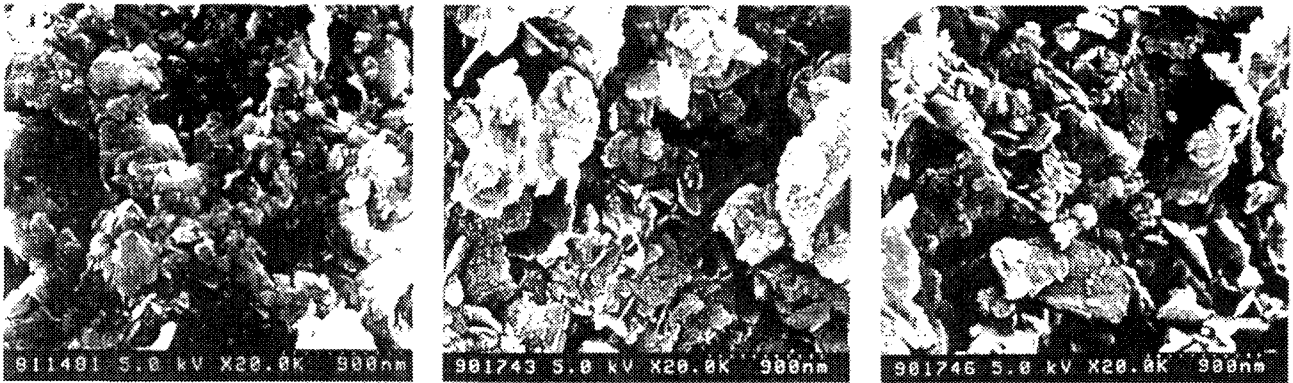
(b) 페이퍼 드레인 구간

그림 3. 연약지반 처리구간에서 깊이에 따른 XRD 분석 결과

3.3 SEM 분석 결과

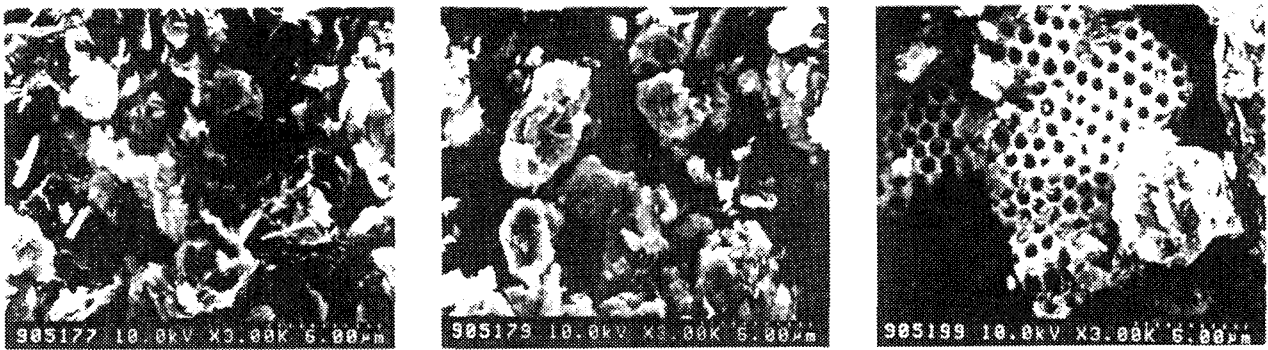
그림 4는 양산물금점토의 무처리 구간에 대한 SEM 결과이다. 이 그림에서 보면 양산물금점토는 석영 또는 장석류의 광물이 보이고 있으며, 점토의 형상은 얇은 판상임을 알 수 있다. 본 그림은 2µm이하의 양산물금 점토에 대한 20,000배의 SEM 결과로, 그림에서 보듯이 분석에 사용된 시료가 자연 침강한 시

료의 가장 윗부분임으로 입자의 대부분이 $2\mu\text{m}$ 이하인 것을 확인할 수 있다. 또한 입자의 대부분이 판상이며, 깊이에 따라 점토입자의 형상이 판상으로 구성되어 있고, 깊이 -3.0m 인 경우, 점토입자들이 서로 뭉쳐있는 형상이 잘 나타나고 있다. 이는 Collins와 McGown(1974)에서 설명한 점토입자들은 미세한 입자로 뭉치려는 경향이 있다는 사실과 유사하며 특히, 바닷속에서 형성된 점토층은 뭉치려는 성질이 크다는 연구결과와도 유사하다.



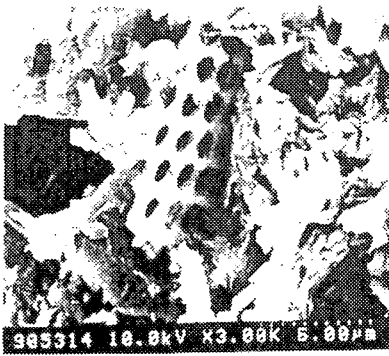
(a) 깊이 -3.0m (b) 깊이 -10.5m (c) 깊이 -27.6m
 그림 4. 무처리 구간에서의 깊이에 따른 양산물금 점토 SEM 결과(배율 20,000배)

그림 5는 팩드레인 공법으로 처리된 구간에서 유기물을 처리한 시료의 깊이에 따른 SEM 결과이다. 전체적으로 결정성이 좋지 않아 입자의 형상을 구별하기 어렵다. 그림에서 벌집모양의 물체는 방산층으로 추정되며 과산화수소수와 묽은 염산의 처리후에도 남아있는 것으로 보아 규질화된 방산층 연니(radiolarian)로 생각된다.



(a) 깊이 $2.15\sim 2.75\text{m}$ (b) 깊이 $13.6\sim 14.3\text{m}$ (e) 깊이 $26.3\sim 27.0\text{m}$
 그림 5. 유기물을 제거한 점토의 SEM 결과(팩드레인 구간)

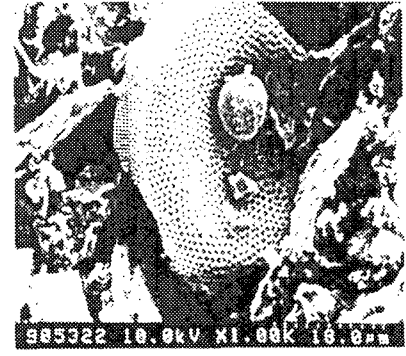
그림 6은 페이퍼 드레인 공법으로 처리된 구간의 점토에 대하여 유기물 처리전 SEM 결과를 나타내고 있다. 이는 본 양산물금지구의 점토내에 어떠한 유기물이 존재하는가를 파악하기 것이다. 그림 6에서 벌집모양의 물체는 방산층 연니(radiolarian)으로 추정되며, 또한 원형의 물체는 해산 규조류로 추정되는 생물체가 존재한다. 특히 심도가 20m 이상에서는 코콜리스 판으로 집합된 코코스피어(coccosphere)라고 생각되는 유공층이 보인다. 이는 심해의 원양성 환경에서 존재하는 유공층의 하나이다. 구형의 물체는 해양에 서식하는 부유성 생물의 패각으로 생각되는 원양성 석회질 우즈 퇴적물을 구성하는 생물이 보이고 있다. 이는 심해의 원양성 환경에서 폭 넓게 분포하는 생물체이다. 깊이 $23\sim 27\text{m}$ 사이에는 큰 모양의 pteropod라는 연체동물에 속하는 것이 보이는데 이는 신생대의 원양성 퇴적물 형성에 나타난다.



(a) 깊이 2.1~2.8m



(b) 깊이 16.6~17.3m



(c) 깊이 26.5~27.2m

그림 6. 유기물 처리전의 깊이에 따른 SEM 결과(페이퍼드레인 구간)

4. 결론

본 논문은 양산물금 점토에 대한 광물학적 특성을 분석하였다. 이를 위하여 XRF, XRD, SEM, TEM 등 일련의 시험을 실시하였다. 그 결과 정리하면 다음과 같다.

- 1) XRF 분석결과, 양산물금 점토는 주성분이 SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 로 이루어져 있으며, 주요 광물은 석영, 정장석, 알바이트, 일라이트 등으로 구성되어 있다.
- 2) XRD 분석결과, 양산물금점토는 석영, 알바이트, 아놀사이트, 정장석, 일라이트의 회절피크가 주로 나타났으며 특히, $2\mu\text{m}$ 이하의 양산물금점토에 대한 깊이에 따른 점토광물은 석영, 알바이트, 일라이트가 주를 이루고 미량의 몬모릴로나이트가 나타났다. 전체적으로 본 양산물금지역의 점토광물은 일라이트가 주를 이루고 있다.
- 3) SEM 분석결과, 양산물금점토는 석영 또는 장석류의 광물이 비교적 많이 포함된 점토의 형상을 나타내고 있으며, 깊이에 따른 $2\mu\text{m}$ 이하의 양산물금 점토에 대한 SEM 결과, 점토입자들이 서로 뭉쳐있는 형상을 보이고 있다. 또한 유기물의 처리전에 대한 SEM 결과에서는 벌집모양의 방산충 연니(radiolarian)가 보이고, 해산 규조류로 추정되는 생물체가 존재하는 것으로 나타났다. 특히 심도가 20m 이상에서는 코콜리스 판으로 집합된 코코스피어(coccosphere)라고 생각되는 유공충과 심해의 원양성 환경에서 존재하는 유공충, 구형의 해양에 서식하는 부유성 생물의 패각으로 생각되는 원양성 석회질 우즈 퇴적물 등이 나타났으며, 콘 모양의 pteropod라는 연체동물에 속하는 것이 나타났다.

참고문헌

1. 김상규, 임희대, 문성권(1999), "한국해안에 퇴적된 연약지반의 점토광물의 종류와 분포," 한국지반공학회지, 제14권, 제6호, pp.73~80.
2. 황진연, 이선갑, 이정우(1998), "부산지역 연약점토의 광물성분과 물성," '98 가을학술발표회 논문집, 한국지반공학회, pp.57~64.
3. 김상규(1991), 토질역학, 청문각
4. Collins, K., and McGown, A.(1974), "The Form and Function of Microfabric Features in a Variety of Natural Soils," Geotechnique, Vol. 24, No. 2, pp.223~254.