

제 1 차 년 도
최 종 보 고 서

KR-93(T)-5

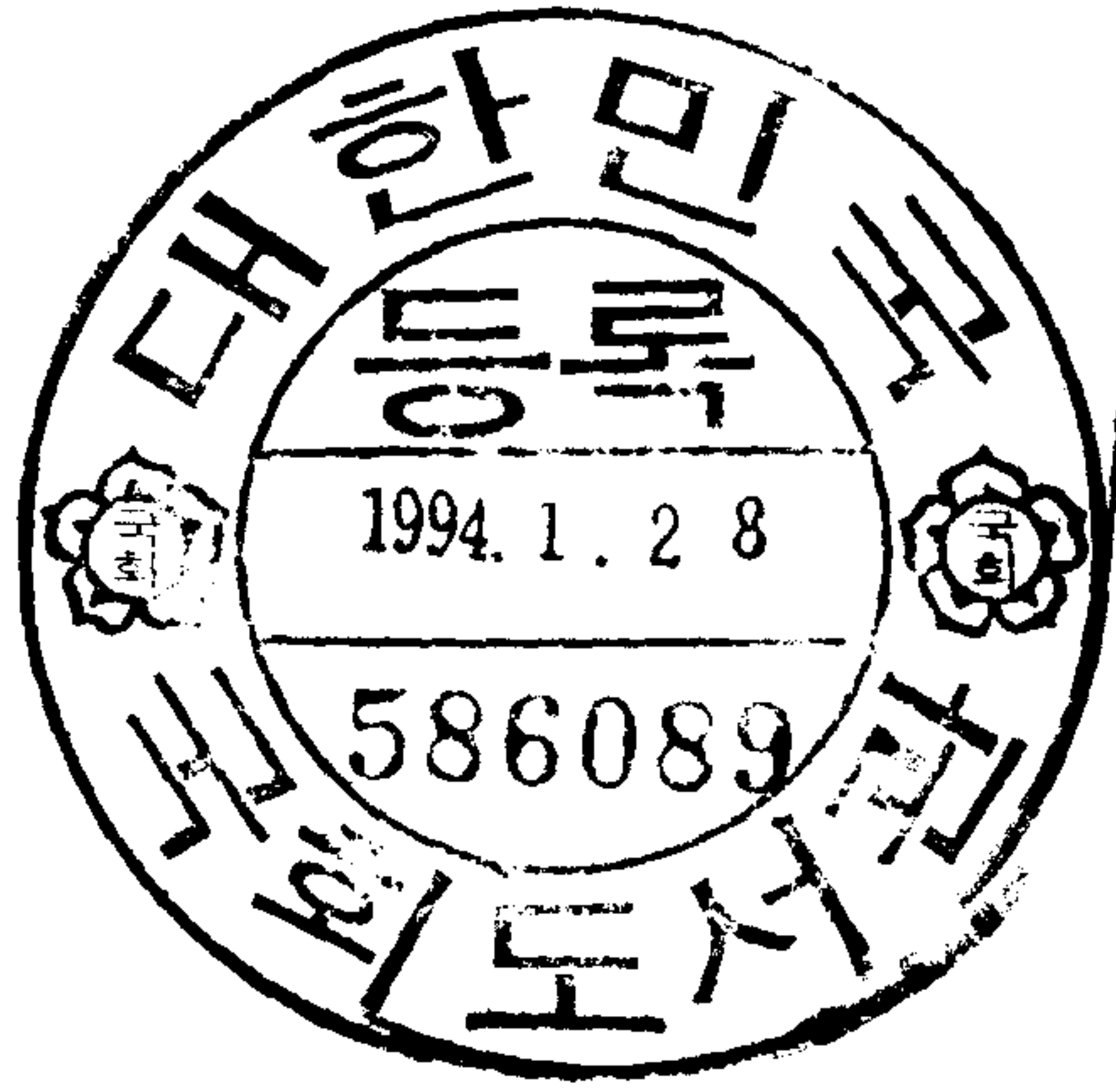
점토물질의 오염물질이동 차단능력 및 개선연구(I)

Capability of Clayey Materials for Providing
a Hydraulic Barrier to Pollutants, with
Special Emphasis on its Improvement
(Part I)

연 구 기 관

재단법인 한국자원연구소

과 학 기 술 처



제 출 문

과학기술처장관 귀하

본 보고서를 “점토물질의 오염물질 이동 차단능력 및 개선연구” 과제의 최종
보고서로 제출합니다.

1993년 10월

주관연구기관명 : 한국자원연구소

총괄연구책임자 : 한 대 석

연 구 원 : 김 원 영

민 충 기

이 성 특

김 형 찬

S U M M A R Y

Hazardous wastes, when improperly disposed of, pollute the environment, creating such problems as the contamination of soil, groundwater, and surface water. Secure landfills, which are known to be the most-used method to dispose of hazardous wastes, can prevent hazardous wastes from escaping into the environment. For such prevention, the landfills must be lined with an impermeable material, such as a clay.

Bentonites were collected from Kyongjukun and Yongilkun, whilst kaolines from Hadongkun and Sanchongkun. All the collected samples were tested for their Atterberg limits, specific gravity, free swell, pH, CEC, chemical composition, and mineralogy. The liquid limit and free swell of bentonites varied from 72.8 to 403.0% and from 30 to 240%, respectively; the liquid limit of non-expansive kaolines from 38.2 to 60.8%.

Bentonites are mainly composed of Ca-montmorillonite, comprising more than one of the following minor minerals, plagioclase, quartz, opal-CT, cristobalite, muscovite, mordenite, illite, and calcite. Kaolines are composed of kaolinite and halloysite.

Based on the test results, bentonites having more than 80%

liquid limit and 90% free swell together with kaolines possessing 41 to 60% liquid limit and 17 to 34% plasticity index were determined to use for the 2nd year study on liner material.

In addition to the bentonites and kaolines, a sand sample collected from Murungri was tested for its gradation, etc., being classified as SP according to the Unified Soil Classification System. This sand also was determined to mix with bentonites and to utilize for the 2nd year study.

A clayey sand collected from the waste of Sangrari bentonite mine was tested for its physical and engineering properties, chemistry, and mineralogy, its hydraulic conductivity being 2.3×10^{-9} m/s. The test results revealed that the soil can be utilized as an impermeable material for the control of subsurface contamination.

요 약 문

I. 제 목

점토물질의 오염물질 이동 차단능력 및 개선연구

II. 연구개발의 목적 및 중요성

오늘날 우리나라의 산업폐기물은 산업의 발전과 더불어 그 양이 증가하였을뿐 아니라 종류도 선진국화 되었다. 이 산업폐기물 중 특히 유해폐기물은 적절히 처분되지 않았을 때 환경을 오염시키는 근원이 되는데, EPA(Environmental Protection Agency)자료에 의하면 선진국인 미국에서만 하더라도 750,000개소에서 나오는 유해폐기물의 90%정도가 부적절한 방법에 의해 처분되어 환경문제를 야기시키고 있다고 한다.

안전매립(secure landfills)은 유해폐기물을 적정하게 처분하여 환경오염을 방지하는 방법중 가장 흔히 사용되는 방법인데, 이 방법은 점토물질과 같은 불투수성물질로 이루어진 방벽(barrier) 또는 라이너(liner)를 꼭 필요로 한다.

본 연구는 우리나라에 부존하는 점토물질을 이용하여 상기한 안전매립에 필요한 가장 이상적인 물질을 연구함으로써 자연환경과 생태계의 파괴를 방지하고자 한다.

III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구는 3년간 단계적으로 그들 고유의 내용 및 범위를 설정하였는데, 1차년도는 다음과 같다.

1. 유해폐기물과 관련한 기존자료의 수집과 분석
2. 경북 경주군 및 영일군 일대에 부존하는 점토물질과 경남 하동군 및 산청군 일대에 부존하는 고령토를 대상으로 물리적, 화학적 및 광물학적 특성(액성 및 소성한계, 비중, free swell, pH, C.E.C., 화학성분, 광물조성) 규명
3. 2차년도 모델연구를 위한 자연토의 물리적 및 공학적 특성 규명
4. 경주군 양남면 상라리 bentonite 광산의 waste인 점토질 모래의 활용여부에 관한 시험

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1. 경주군 일대에 부존하는 점토물질(bentonite)의 대부분은 74.8~403.0%에 해당하는 액성한계와 50~240%의 free swell을 갖는 팽윤성 물질이다. 이 점토물질은 8.0~10.5의 pH, 59.6~96.8meq/100gr의 C.E.C.를 갖고 있으며 주로 Ca-montmorillonite로 구성되어 있다. 이 점토물질은 2차년도에 오염확산방지를 위한 방벽물질연구에 활용된다.
2. 경남 하동군 및 산청군 일대의 고령토는 bentonite와는 달리 모두 비팽윤성 물질로 판명되었으나 점토광물인 kaolinite와 halloysite가 혼합되어 있으므로 이들 중 소성지수가 비교적 높은 치(20~35%)의 고령토를 대상으로 2차년도의 방벽물질연구에 역시 활용할 계획이다.
3. 통일분류법상 SP로 분류된 모래(충남 공주군 무룡리 금강유역에 발달한 퇴적층)는 2차년도의 연구를 위하여 이상의 점토물질과 혼합하여 사용하는 물질중의 하나로 선정하였다.

4. 경주군 양남면 상라리의 점토질 모래는 27%의 fines를 갖고 있는데, 이 fines중 절반은 clay fraction으로 주로 Ca-montmorillinite로 구성되어 있다. 이러한 점토광물의 함유로 말미암아 본 물질은 그 건조밀도가 1.795 g/cm^3 일 때 투수계수가 $2.3 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ 인 것으로 측정되어 불투수성 물질로 분류된다. 따라서 본 물질은 유해폐기물 또는 일반 쓰레기 처분 시설의 라이너 물질 또는 피복물질로 활용할 수 있는 가능성이 높은 물질이다.

여백

C O N T E N T S

Chapter 1. Introduction -----	1
Chapter 2. Subsurface pollution and its control -----	3
Section 1. Pollution -----	3
Section 2. Control -----	7
Chapter 3. Generation and disposal of hazardous wastes in the Republic of Korea -----	9
Section 1. Generation -----	9
Section 2. Disposal -----	10
Chapter 4. Clay minerals -----	11
Section 1. Characteristics of clay minerals -----	11
Section 2. Bentonite -----	16
Chapter 5. Sampling -----	17
Chapter 6. Laboratory Investigation -----	22
Section 1. Sample preparation and kinds of test -----	22
Section 2. Test results -----	23
2-1. Bentonite -----	23
2-1-1. Dusanri area -----	23
2-1-2. Jukjonri area -----	27
2-1-3. Sangrari area -----	39

2-1-4. Hyodongri area -----	49
2-1-5. Sudongri area -----	54
2-1-6. Hwansuri area -----	58
2-1-7. Kumkwangri area -----	58
2-2. Kaolin -----	58
2-2-1. Hadongkun area -----	58
2-2-2. Sanchongkun area -----	63
2-3. Bentonite from U.S.A. -----	68
2-4. Sand from Murungri -----	71
2-5. Clayey sand from Sangrari -----	73
2-5-1. Physical and engineering properties -----	73
2-5-2. Mineralogy and petrography -----	75
2-5-3. Chemistry -----	75
Chapter 7. Discussion -----	77
Chapter 8. Conclusion -----	80
References -----	82

목 차

제1장 서론 -----	1
제2장 지층의 오염과 방지 -----	3
제1절 지층의 오염 -----	3
제2절 오염방지 -----	7
제3장 우리나라의 특정폐기물의 발생 및 처리 현황 -----	9
제1절 특정폐기물의 발생 -----	9
제2절 특정폐기물의 처리현황 -----	10
제4장 점토광물 -----	11
제1절 점토광물의 특성 -----	11
제2절 Bentonite -----	16
제5장 시료채취 -----	17
제6장 실내연구 -----	22
제1절 시료준비 및 시험종류 -----	22
제2절 시험결과 -----	23
2-1. Bentonite -----	23
2-1-1. 두산리 일대 -----	23
2-1-2. 죽전리 일대 -----	27
2-1-3. 상라리 일대 -----	39

2-1-4. 효동리 일대 -----	49
2-1-5. 서동리일대 -----	54
2-1-6. 환서리 일대 -----	58
2-1-7. 금광리 일대 -----	58
2-2. 고흥토 -----	58
2-2-1. 하동군 일대 -----	58
2-2-2. 산청군 일대 -----	63
2-3. 미국산 Bentonite -----	68
2-4. 무릉리 모래 -----	71
2-5. 상라리 점토질 모래 -----	73
2-5-1. 물리 및 공학적 특성 -----	73
2-5-2. 광물 및 암석학적 특성 -----	75
2-5-3. 화학적특성 -----	75
제7장 토의 -----	77
제8장 결론 -----	80
참고문헌 -----	82

LIST OF FIGURES

1. Ways in which industrial wastes are disposed of. (From USGS
Circular 875) ----- 4
2. Ways that uncontrolled dumping of chemical waste may pollute
soil or groundwater.(From Environmental Geology, Charles
E.Merrill Publishing Co.,1982) ----- 5
3. Waste-disposal site where the refuse is buried above the water
table over a fractured rock aquifer. (After W.J.Schneider,
U.S.Geological Survey Circular 601F,1970) ----- 5
4. Solid-waste-disposal site where the waste is buried above the
water table in permeable material in which leachate can migrate
down to fractured rock. (After W.J.Schneider, U.S.Geological Survey
Circular 601F, 1970).----- 6
5. Pollutants entrained directly in ground water. (From USGS
Circular 601F) ----- 6
6. Idealized diagram of the secure landfill for hazardous
chemical waste.(From Environmental Geology, Charles E. Merrill
Publishing Co., 1982) ----- 8
7. Diagram of smectite structure (a) and schematic diagram of
montmorillonite(b) ----- 14
8. Structural diagram and schematic diagram of kaolinite group

minerals. (From Grim, 1963; Mitchell, 1976) -----	15
9. Bentonite sampling site for Nos. K-6 and K-7, Yangbukmyon, Kyongjukun -----	19
10. Bentonite sampling site for Nos. K-13, K-14 and K-15, Yangnammyon Kyongjukun -----	19
11. Kaolin deposit at Yangkuri, Hadongkun -----	20
12. Kaolin deposit at Chongryongri, Hadongkun -----	20
13. Sand deposit along the Kumkang River near Murungri, Kongjukun -----	21
14. X-ray diffraction patterns for sample Nos. K-1, K-2 and K-3 -----	25
15. Scanning electron micrograph of sample No. K-1 showing montmorillonite aggregates (Mo) and plagioclase (Pl) -----	26
16. EDAX pattern of the plagioclase in Figure 15 -----	26
17. Scanning electron micrograph of sample No. K-1 showing globular montmorillonite aggregates -----	28
18. EDAX pattern of the Ca-montmorillonite in Figure 17 -----	28
19. Scanning electron micrograph of sample No. K-2 showing montmorillonite aggregates (Mo) and a crystal of plagioclase (Pl) -----	29
20. EDAX pattern of the plagioclase in Figure 19 -----	29
21. Scanning electron micrograph of sample No. K-2 showing boxwork of montmorillonite aggregates (lower left) -----	30
22. EDAX pattern of the Ca-montmorillonite in Figure 21 -----	30

23. Scanning electron micrograph of sample No. K-2 showing curled habit of montmorillonite aggregates -----	31
24. EDAX pattern of the Ca-montmorillonite in Figure 23 -----	31
25. Scanning electron micrograph of sample No. K-3 showing calcite(Ca) and montmorillonite aggregates(Mo) -----	32
26. EDAX pattern of the calcite in Figure 25 -----	32
27. X-ray diffraction patterns for sample Nos. K-4 and K-5 -----	36
28. Subhedral montmorillonite aggregates of sample No. K-4 -----	37
29. EDAX pattern of the Ca-montmorillonite in Figure 28. -----	37
30. Scanning electron micrograph of sample No. K-5 showing plagioclase(Pl) and montmorillonite aggregates(Mo) -----	38
31. EDAX pattern of the plagioclase in Figure 30 -----	38
32. X-ray diffraction patterns for sample Nos. K-6 and K-7 -----	40
33. Scanning electron micrograph of sample No. K-6 showing subhedral montmorillonite aggregates -----	41
34. EDAX pattern of the Ca-montmorillonite in Figure 33 -----	41
35. A typical montmorillonite texture, sample No. K-7 -----	42
36. EDAX pattern of the Ca-montmorillonite in Figure 35 -----	42
37. X-ray diffraction patterns for sample Nos. K-8 and K-9 -----	43
38. X-ray diffraction patterns for sample Nos. K-10,K-11 and K-12 ----	44
39. Scanning electron micrograph showing subhedral lamellae of montmorillonite, sample No. k-10 -----	45
40. Scanning electron micrograph showing monomineral montmorill-	

onite, sample No.K-11 -----	46
41. EDAX pattern of the Ca-montmorillonite in Figure 40 -----	46
42. Scanning electron micrograph showing plagioclase(P1) and montmorillonite aggregates, sample No. K-12 -----	47
43. EDAX pattern of the plagioclase in Figure 42 -----	47
44. Scanning electron micrograph of the montmorillonite in Figure 42 -----	48
45. EDAX pattern of the Ca-montmorillonite in Figure 44 -----	48
46. X-ray diffraction patterns for sample Nos. K-13, K-14 and K-15 -----	68
47. Scanning electron micrograph showing montmorillonite aggre- gates, sample No. K-13 -----	51
48. EDAX pattern of the Ca-montmorillonite in Figure 47 -----	51
49. Montmorillonite flakes(Mo) perched on a grain of plagioclase (P1), sample No. K-14 -----	52
50. EDAX pattern of the plagioclase in Figure 49 -----	52
51. Scanning electron micrograph showing a flake of muscovite(Mu) and montmorillonite aggregates(Mo), sample No. K-15 -----	53
52. EDAX pattern of the muscovite in Figure 51 -----	53
53. Scanning electron micrograph showing foliated aggregates of montmorillonite, sample No. K-15 -----	54
54. X-ray diffraction pattern for sample No. K-16 -----	55
55. Scanning electron micrograph showing steps of montmorillonite	

aggregates, sample No. K-16 -----	56
56. EDAX pattern of the Ca-montmorillonite in Figure 55 -----	56
57. Scanning electron micrograph showing mordenite fibers and montmorillonite aggregates, sample No. K-16 -----	57
58. EDAX pattern of the mordenite in Figure 57 -----	57
59. X-ray diffraction patterns for sample Nos. H-1, H-2 and H-8 -----	60
60. X-ray diffraction patterns for sample Nos. H-9 and S-1 -----	79
61. Scanning electron micrograph showing vermicular kaolinite stacks, sample No. H-1 -----	62
62. EDAX pattern of the kaolinite in Figure 61 -----	62
63. Scanning electron micrograph showing vermicular kaolinite stacks with tiny halloysite tubes, sample No. H-2 -----	64
64. Scanning electron micrograph of halloysite tubes, sample No. H-8 -----	64
65. Scanning electron micrograph showing tubular halloysite and vermicular kaolinite, sample No. H-9 -----	65
66. Scanning electron micrograph showing halloysite tubes, sample No. S-1 -----	66
67. EDAX pattern of the halloysite in Figure 66 -----	66
68. Scanning electron micrograph showing vermicular kaolinite stacks with tiny needle-like halloysite, sample No. S-1 -----	67
69. EDAX pattern of the kaolinite in Figure 68 -----	67
70. X-ray diffraction patterns for bentonites(samples U-1 and U-2)	

from U.S.A. -----	70
71. Grain-size distribution curve for a sand sample from Murungri, kongjukun -----	72
72. Grain-size distribution curve for a clayey material from Sangrari, Kyongjukun -----	74
73. Moisture-dry density relationship for a clayey material from Sangrari, Kyongjugun -----	75
74. Micrograph of tuff fragment in a clayey material from Sangrari, Crossed nicols -----	76
75. Micrograph of rhyolite fragment in a clayey material from Sangrari, Crossed nicols -----	76
76. Relationship between the liquid limit and the plasticity index for Korean bentonites and kaolines -----	78

LIST OF TABLES

1. Scope of the 3-year-studies and contents-----	2
2. Category and generation of the special industrial wastes in 1991 ---	9
3. Amount and percent of the special industrial wastes treated by various methods in 1991 -----	10
4. Clay mineral characteristics -----	12
5. Clay mineral characteristics -----	13
6. Location of bentonite samples -----	17
7. Location of kaolin samples -----	18
8. Physical properties of bentonites from kyongjukun and Yongilkun ---	24
9. pH and C.E.C. for bentonites from Kyongjukun and Yongilkun -----	33
10. Chemical composition of bentonites from Kyongjukun and Yongilkun --	34
11. Physical properties of kaolins from Hadongkun and Sanchongkun ----	59
12. pH and C.E.C. for kaolins from Hadongkun and Sanchongkun -----	65
13. Chemical composition of kaolins from Hadongkun and Sanchongkun ----	68
14. Physical properties of bentonites from U.S.A. -----	69
15. pH and C.E.C. for bentonites from U.S.A. -----	71
16. Chemical composition of bentonites from U.S.A. -----	71
17. Classification of soil according to permeability (Terzaghi and Peck, 1948) -----	73

제 1 장 서 론

오늘날 환경오염의 문제가 되어 있는 각종 폐기물은 인류가 이 지구상에 나타난 이후 부터 그 종류가 단순했겠지만 발생되어 왔으며 세월이 경과함에 따라 그 종류도 다양해지고 양도 증가 되었을 뿐 아니라 적합한 매립지 확보도 어려운 상태에 이르게 되었다.

1988년 6월 선진국의 수뇌들이 Canada의 Toronto에 모여 환경문제를 처음으로 선언문 속에 포함시켰는바, 이는 환경문제가 국제평화문제, 세계경제문제와 더불어 인류가 이 지구상에서 영존하기 위하여 꼭 해결하지 않으면 안되는 중요과제임을 뜻하고 있다.

우리나라는 1970년대에 들어서 전통적 농경사회에서 공업중심적 산업사회로 전환됨에 따른 도시화 및 생활수준의 향상에 의한 소비활동의 증가는 생활하수, 쓰레기, 분뇨등 오염물 배출량의 증가를 초래하게 되었다. 또한 각종 산업의 발달에 따른 산업폐기물의 종류도 다양해졌을 뿐 아니라 그 양도 증가추세에 있다.

일단 파괴된 환경의 원상복구는 거의 불가능하며 그 환경을 어느 정도 치료하는 데에도 막대한 비용과 시간이 소요된다.

환경오염에는 대기오염, 수질오염 및 지층오염(토질, 암석 및 지하수오염)으로 나눌 수 있다. 적절치 못한 방법으로 처분된 각종 산업폐기물(특히 유해폐기물)은 지층을 오염시키고 궁극적으로 생물체에 큰 위험이 될 뿐아니라 생태계를 파괴하는 무서운 적일 수 밖에 없다.

따라서 환경보전을 위해서는 폐기물을 적절하고 안전한 방법으로 처분하는

길 밖에 없으므로 오염방지와 관련된 본 연구는 필수적이다.

본 연구의 주 목적은 국내에 부존하는 점토물질을 다음 장에서 언급할 방벽 (barrier) 또는 라이너(liner)로 최적한 물질로 연구하여 유해폐기물에 의한 지층의 오염을 방지하고자 하는 데 있다. 본 연구는 3개년에 걸쳐 단계적으로 목표를 설정하여 수행하기로 되어 있는데, 연 차별 연구목표및 내용은 Table 1 과 같다.

Table 1. Scope of the 3-year-studies and contents.

구분 년도	연구 개발 목표	연구개발내용 및 범위
1차년도 (1992)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 오염물질 이동차단용 후보 점토물질 선정 2. 자연토중 오염확산 모델연구 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 기존자료 수집 및 분석 2. 야외조사 및 시료채취 3. 국내부존 점토물질의 물리적 및 화학적 특성과 광물조성 규명 4. 모델연구를 위한 자연토의 물리적 및 공학적 특성 규명
2차년도 (1993)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 후보점토물질의 특성규명 2. 오염방지에 최적한 혼합물질의 비례선정 3. 모델시험에 의하여 혼합물질의 오염확산 차단능력 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 후보점토물질의 지질공학적 및 응용광물학적 특성시험 2. 후보점토물질에 함유된 불순물 제거 처리 3. 타물질(sand, fly ash, 시멘트 등)의 특성시험 4. 후보점토물질과 타물질의 혼합비례에 따른 특성시험 5. 후보점토물질의 특성개선 연구시작
3차년도 (1994)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 후보점토물질의 특성개선 연구 2. 오염물질 이동차단에 최적한 물질개발 3. 오염방지 대책 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 개선된 점토와 타물질의 혼합에 따른 특성시험 2. 혼합물(개선점토+타물질)의 오염차단 능력 시험 3. 활용방안

제 2 장 지층의 오염과 방지

제 1 절 지층의 오염

지질적 안전조건을 고려하지 않고 유해폐기물을 처분했을 때 다음과 같은 여러가지 환경문제, 즉 1)토양의 오염, 2)지하수의 오염, 3)강과 호수와 같은 지표수의 오염, 4)동식물의 증독등을 야기시킨다. Figure 1은 유해성 산업폐기물이 여러방법으로 부적절히 처분되어 지층이 오염되는 것을 잘 보여주고 있다.

유해 폐기물을 단순 투기 했을 때 구성물질이 다른 지층에 발생하는 오염의 확산경로에 대하여 좀 더 상세히 몇 예를 들면 Figures 2,3,4 and 5와 같다. Figure 2는 유해화학폐기물이 부적당한 방법으로 매립되어 오염이 확산되는 경로를 보여준다. Figure 3의 경우는 지층이 sand-silt층(그 하부에 대수층이 존재)과 균열된 암석층으로 이루어져 있는데, 폐기물을 수위보다 윗 부분에 처분했을 경우 폐기물에서 나오는 침출수(leachate)는 하부로 이동하는 과정에서 자연적으로 여과되어 그 오염정도가 부분적으로나마 저하되기 때문에 지하수의 극심한 오염 가능성은 적은 편이다. 반면에 폐기물을 Figure 3과 같은 지질조건을 갖은 지역에 단순폐기 했을 경우 침출수는 투수계수가 큰 토층을 오염시키면서 쉽게 석회암층에 도달할 수 있기 때문에 지하수의 오염이 심각하게 된다. Figure 5의 경우도 지하수의 심각한 오염을 초래하는 예로 오염물질이 직접 지하수와 접촉되어 있으므로 오염이 쉽게 확산된다.

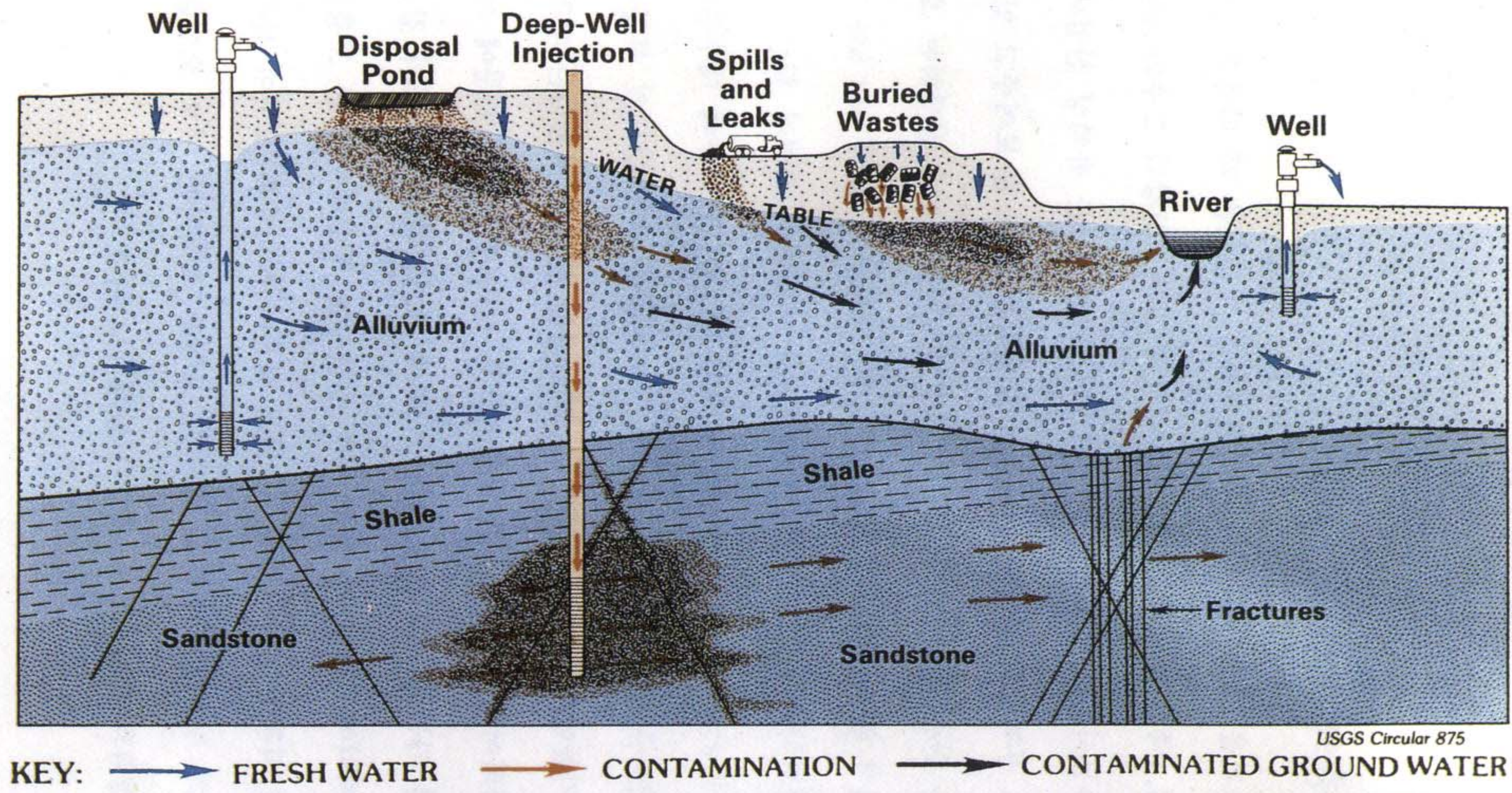


Figure 1. Ways in which industrial wastes are disposed of. (From USGS Circular 875).

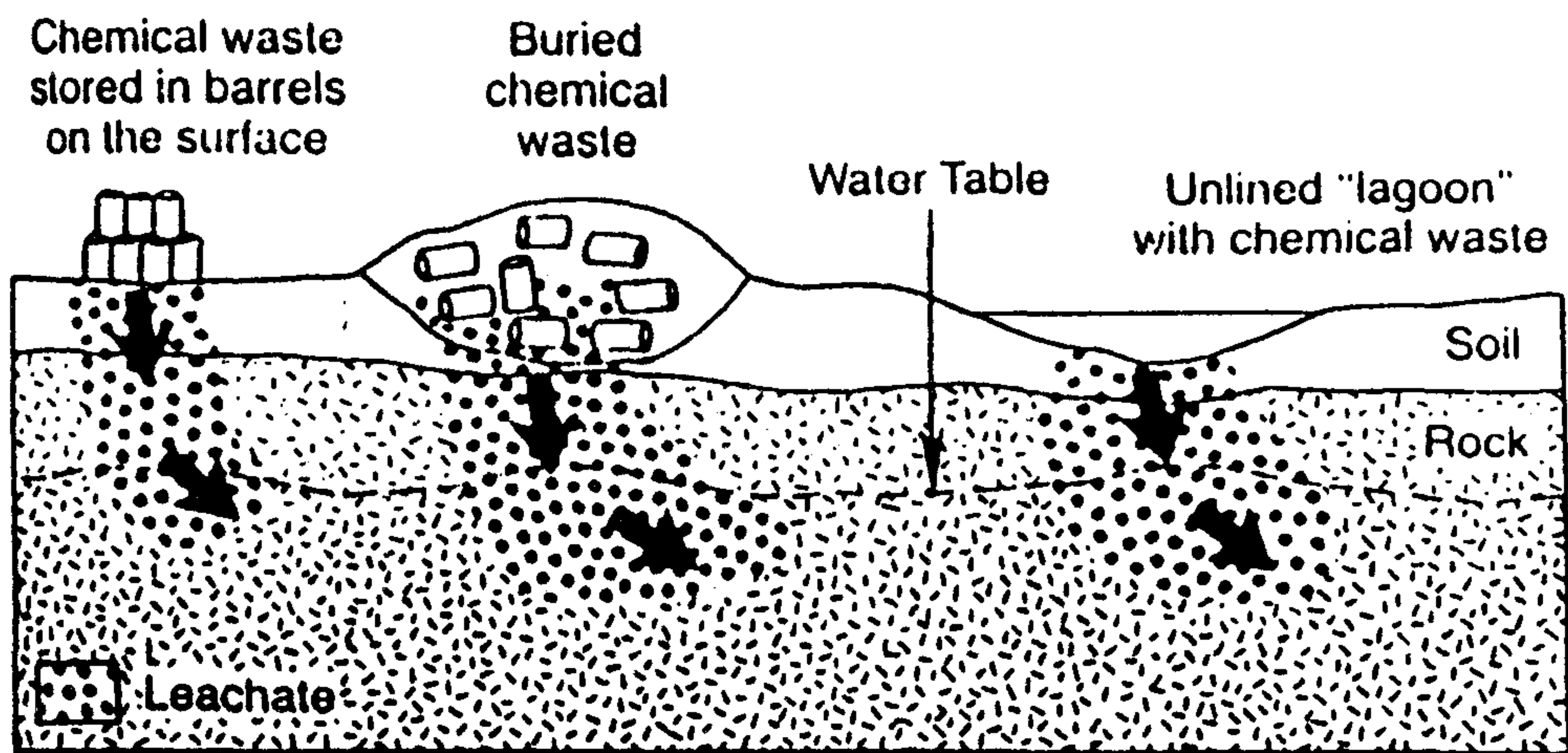


Figure 2. Ways that uncontrolled dumping of chemical waste may pollute soil or groundwater.(From Environmental Geology, Charles E.Merrill Puvlishing Co.,1982).

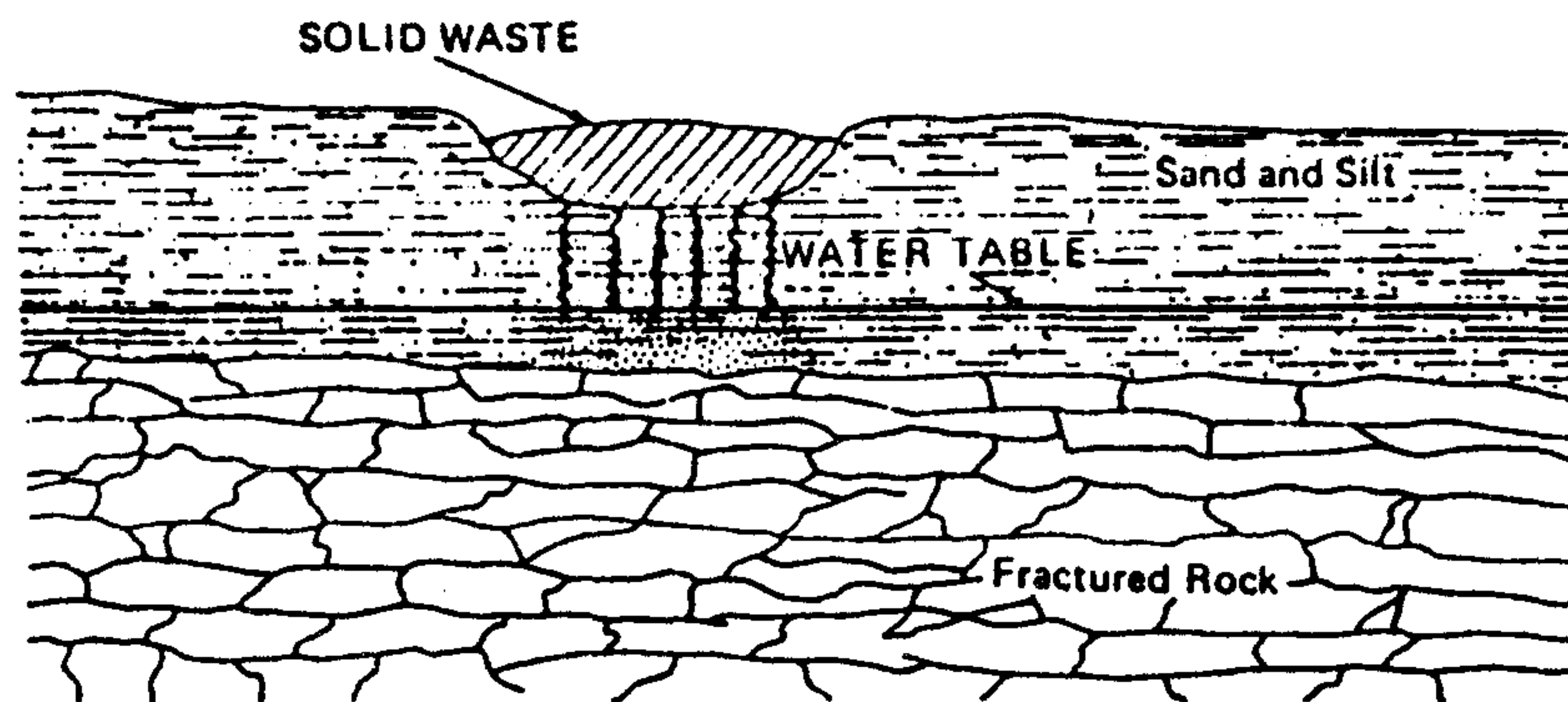


Figure 3. Waste-disposal site where the refuse is buried above the water table over a fractrued rock aquifer. (After W. J. Schneider, U. S. Geological Survey Corcular 601F, 1970).

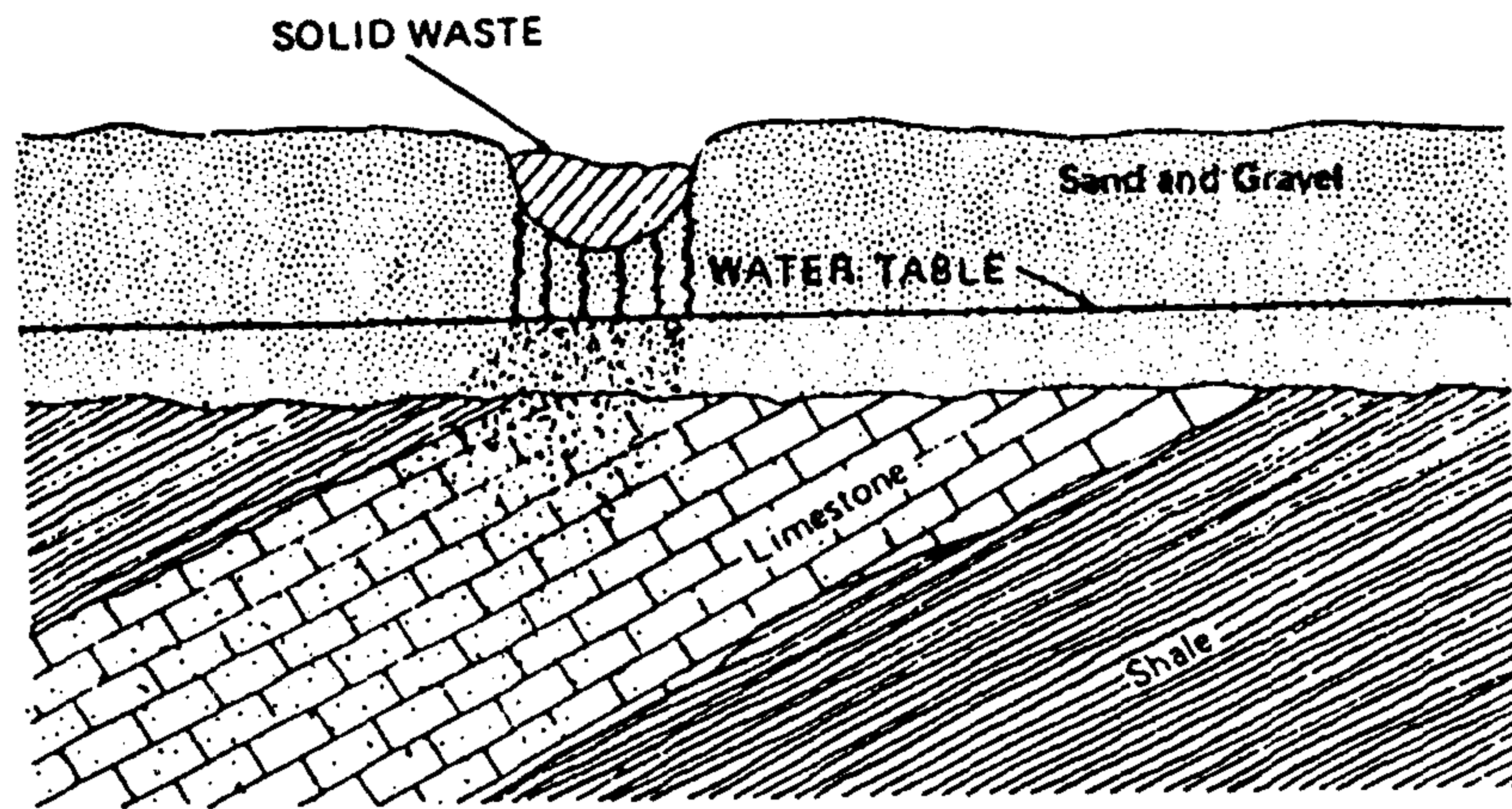


Figure 4. Solid-waste-disposal site where the waste is buried above the water table in permeable material in which leachate can migrate down to fractured rock. (After W.J. Schneider, U.S. Geological Survey Circular 601F, 1970).

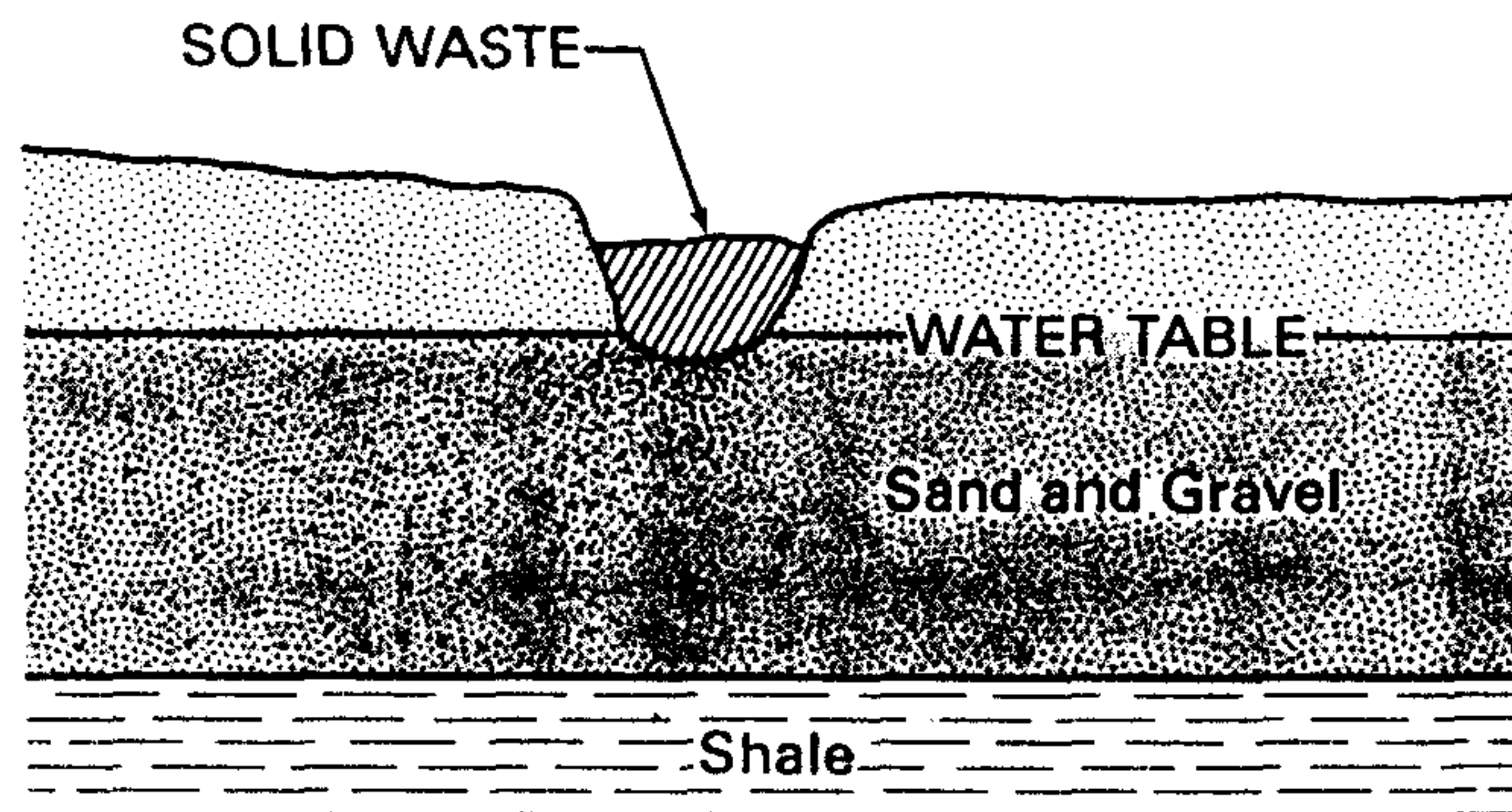


Figure 5. Pollutants entrained directly in ground water. (From USGS Circular 601F).

제 2 절 오 염 방 지

환경오염을 방지하기 위해서는 오염을 야기하는 주범중의 하나인 유해폐기물을 어떠한 방법으로 없애느냐 하는 것이다. 그 근본적 개념은 가급적 적은 양을 발생케 하는 것이겠지만 경우에 따라 그럴 수 없는게 통상적이기 때문에 그와 못지 않게 중요한 것은 가능한 많은 양을 재활용하고 용적과 유독성을 줄이며 어쩔수 없이 남는 폐기물은 안전하게 매립하는 수 밖에 없다. 다음은 상기와 관련한 더 상세한 대책이다.

- 1) Process Modification (가공처리의 변경)
- 2) Resource Recovery and Recycling(자원 회수 및 재생)
- 3) In-House Volume / Toxicity Reduction (자체적으로 용적과 유독성을 감소)
- 4) Waste Fixation (시멘트와 같은 물질에 접합 혹은 부착시킴)
- 5) Incineration (소각)
- 6) Solar Evaporation / Land Treatment (침전지에서 액체폐기물을 증발시킨 후 잔재물을 토양과 혼합)
- 7) Chemical Treatment (화학적 처리후 매립)
- 8) Deep- Well Injection (액체 폐기물의 심정 주입)
- 9) Secure Landfills (안전 매립)

상기한 것중 안전매립은 가장 흔히 사용하는 궁극적 처분방법인데, 처분장은 수 많은 종류의 폐기물을 수용할 수 있을 뿐 아니라 소각, 화학적 처리등의 잔재물 까지도 받아들일 수 있다. 이와 같은 안전매립은 유해폐기물에 의한 환경오염을 방지하는 데에 꼭 필요한 존재인데, 안전 매립이란 오염물질을 함유

한 침출수가 지층으로 확산되지 못하도록 조절하는 시설을 설치하여 폐기물을 처리하는 것을 말한다. Figure 6는 안전매립방법을 보여주는 도면인데 폐기물 처분시설의 한 중요부분은 침출수의 이동을 저지하기 위해 설치되는 불투수성 점토물질 라이너 (liner) 이다.

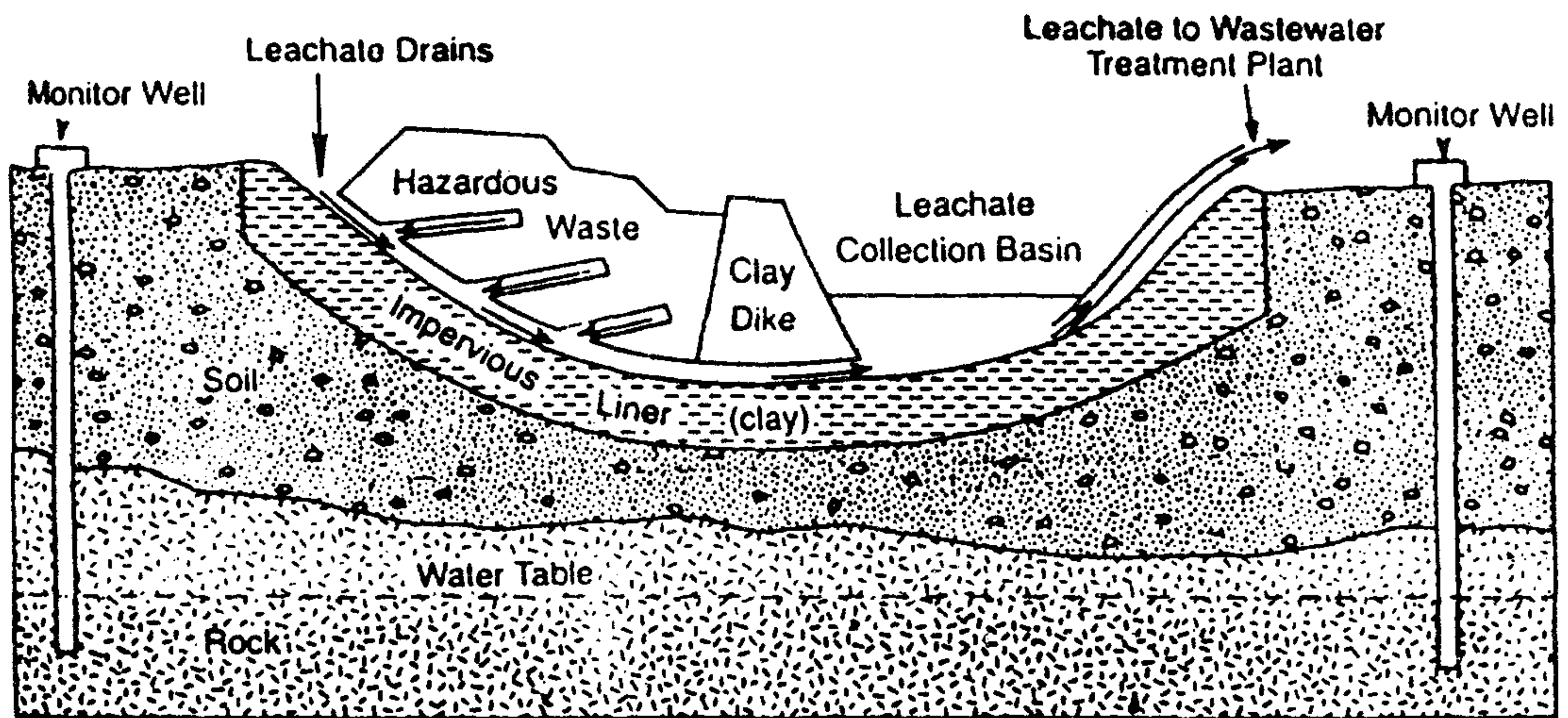


Figure 6. Idealized diagram of the secure landfill for hazardous chemical waste.(From Environmental Geology, Charles E. Merrill Publishing Co., 1982).

제 3 장 우리나라의 특정폐기물의 발생 및 처리현황

제 1 절 특정폐기물의 발생 현황

여기서 말하는 특정 폐기물은 유해폐기물에 해당하는 것으로 말할 수 있는 것으로서 1992년말 현재 20,427개 배출업소가 존재하는 것으로 집계되었다. Table 2 에서 보는 바와 같이 1991년에 총 683만톤에 달하는 특정폐기물이 발생되었는데, 이 중 오니, 폐석고, 폐석회, 폐산, 폐알카리등이 대부분을 차지한다.

Table 2. Category and generation of the special industrial wastes in 1991.

(unit : ton/year)

구 분	발 생 량	구 분	발 생 량
폐 산	315,532	폐 내 화 물	2,435
폐 알 카 리	190,186	소 각 잔 재 물	1,935
폐 유	202,212	안 정 화 물	16,437
폐 유 기 용 제	51,588	폐 축 매	1,812
폐합성 고분자화합물	483,092	폐 흡 착 제	721
폐 석 면	7,219	폐 농 약	354
광 재	71,866	P C B	8
분 진	38,284	오 니	3,309,673
폐 주 물 사	9,882	폐 석 고	1,765,555
동물성잔재물	175,140	폐 석 회	189,183
총 계	6,833,144		

제 2 절 특정폐기물의 처리 현황

1991년 발생한 약 6억8천3백3십톤 폐기물의 처리 현황은 재활용된 것이 39.3%, 소각이 9.2%, 매립이 34.2%, 기타 방법에 의한 것이 17.3%이다 (Table 3).

최근 처리 비용의 상승, 매립시설의 부족, 환경규제강화등으로 자체 처리시설의 설치 추진이 활발해져 소각시설의 경우 1991년말 현재, 229기에 불과했으나 1992년도에는 설치승인을 받은 것이 290기에 달했다고 한다. 그러나 폐기물을 소각하더라도 잔재물이 있으므로 이 잔재물도 결국 다른 폐기물과 함께 매립을 하게 마련이다.

현재 가동중인 유해 폐기물 공공처리시설로는 경기도 화성과 경남 울주군 온산면에 각각 1일 60톤및 100톤 규모의 처리장이 있을 뿐이다.

Table 3. Amount and percent of the special industrial wastes treated by various methods in 1991.

(unit : ton/year)

처 리 현 황	방 법				
	재 활 용	소 각	매 립	기 타	보 관
처 리 량	6,682,769	629,757	2,337,669	442,998	739,921
백 분 율	39.3%	9.2%	34.2%	6.5%	10.8%

제 4 장 점토광물

점토광물은 주로 Al, Mg 및 Fe로 구성된 함수 규산염(Hydrous silicate)이다. 이 점토광물은 토양에 소량 함유되어 있을 때에도 그 토양의 공학적 거동에 큰 영향을 주기 때문에 점토광물의 일반적 특성에 대한 고찰은 본 연구에 필요하다. 따라서 다음절에서 점토광물의 특성등에 대해 간단히 기술하고자 한다.


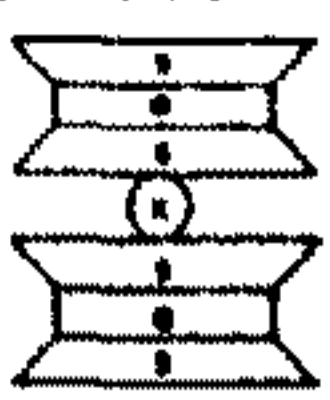
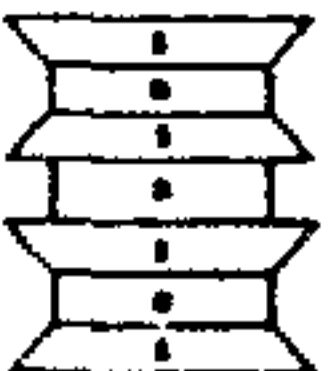
제 1 절 점토광물의 특성

모든 점토광물은 점토광물군(clay mineral groups)에 속해 있는데, 그 군은 kaolinite minerals, illite minerals, smectite minerals 및 chlorite minerals 로 대별된다. Kaolinite군은 kaolinite와 halloysite, illite군은 illite와 vermiculite, smectite군은 montmorillonite와 saponite, chlorite군은 chlorite 로 이루어 진다. Tables 4 and 5는 상기한 점토광물의 여러특성을 총괄한 것이다.

상기한 광물 중 본 연구에 주로 취급되는 광물은 montmorillonite, kaolinite 및 halloysite인데, 이들에 대한 특성을 간단히 기술하면 다음과 같다.

Figure 7은 smectite structure diagram과 montmorillonite의 schematic diagram 인데, smectites 중 montmorillonite만이 흔히 토양에 함유되어 있다. 비교적 높은 C.E.C.(cation exchange capacity)와 팽윤성을 갖고 있는 montmorillonite는 Na-montmorillonite와 Ca-montmorillonite로 나누어 지는

Table 4. Clay mineral characteristics.

Type	Subgroup and schematic ^b	Mineral	Ideal formula/unit cell ^c	Cations octahedral/tetrahedral
1:1		Kaolinite	$(OH)_8 Si_4 Al_4 O_{10}$	Al_4/Si_4
		Halloysite (dehydrated) (hydrated)	$(OH)_8 Si_4 Al_4 O_{10}$ $(OH)_8 Si_4 Al_4 O_{10} \cdot 4H_2O$	Al_4/Si_4
2:1		Illite	$(K_1 H_2 O)_2 (Si)_8 (Al, Mg, Fe)_{4,6} O_{20} (OH)_4$	$(Al, Mg, Fe)_{4-6} / (Al, Si)_8$
		Vermiculite	$(OH)_4 (Mg, Ca)_x (Si_{8-x} Al_x) (Mg, Fe)_6 O_{20} \cdot yH_2O$ $x = 1-1.4, y = 8$	$(Mg, Fe)_6 / (Si, Al)_8$
		Smectite Montmorillonite	$(OH)_4 Si_8 (Al_{3.34} Mg_{.66}) O_{20} \cdot nH_2O^d$ ↓ Na.66	$Al_{3.34} Mg_{.66} / Si_8$
2:1:1		Chlorite	$(OH)_4 (SiAl)_8 (Mg, Fe)_6 O_{20} (2:1 \text{ layer})$ $(MgAl)_6 (OH)_{12} (\text{interlayer})$	$(Mg, Fe)_6 (2:1 \text{ layer}) / (Si, Al)_8$ $(Mg, Al)_6 \text{ interlayer}$

See notes at end of Table 5.

Table 5. Clay mineral characteristics.

Mineral	Isomorphous substitution	Interlayer bond	Basal spacing	CEC ^e (meq/100g)	Specific surface (m ² /g)	Liquid limit (%)	Plastic limit (%)	Shrinkage limit (%)	Activity plasticity index % < 2 μ m
Kaolinite	Little	O-OH Hydrogen-strong	7.2Å	3-15	10-20	30-110	25-40	25-29	0.5
Halloysite (dehydrated) (hydrated)	Little	O-OH Hydrogen-strong	7.2Å 10.1Å	5-10 5-40	35-70	35-55 50-70	30-45 47-60		0.1-0.5
Illite	Si always replaced by some Al. Balanced by K between layers	K ions-strong	10Å	10-40	65-100	60-120	35-60	15-17	0.5-1
Vermiculite	Al for Si; net charge of 1 to 1.4/unit cell	Weak	10.5-14Å	100-150	40-80 primary 870 secondary				
Montmorillonite	Mg for Al; net charge always = 0.66-/unit cell	O-O; Very weak expanding lattice	9.6Å-complete separation	80-150	50-120 primary 700-840 secondary	100-900	50-100	8.5-15	1-7
Chlorite	Al for Si (2:1/layer) Al for Mg (interlayer)	O-OH Hydrogen-strong	14Å	10-40		44-47	36-40		

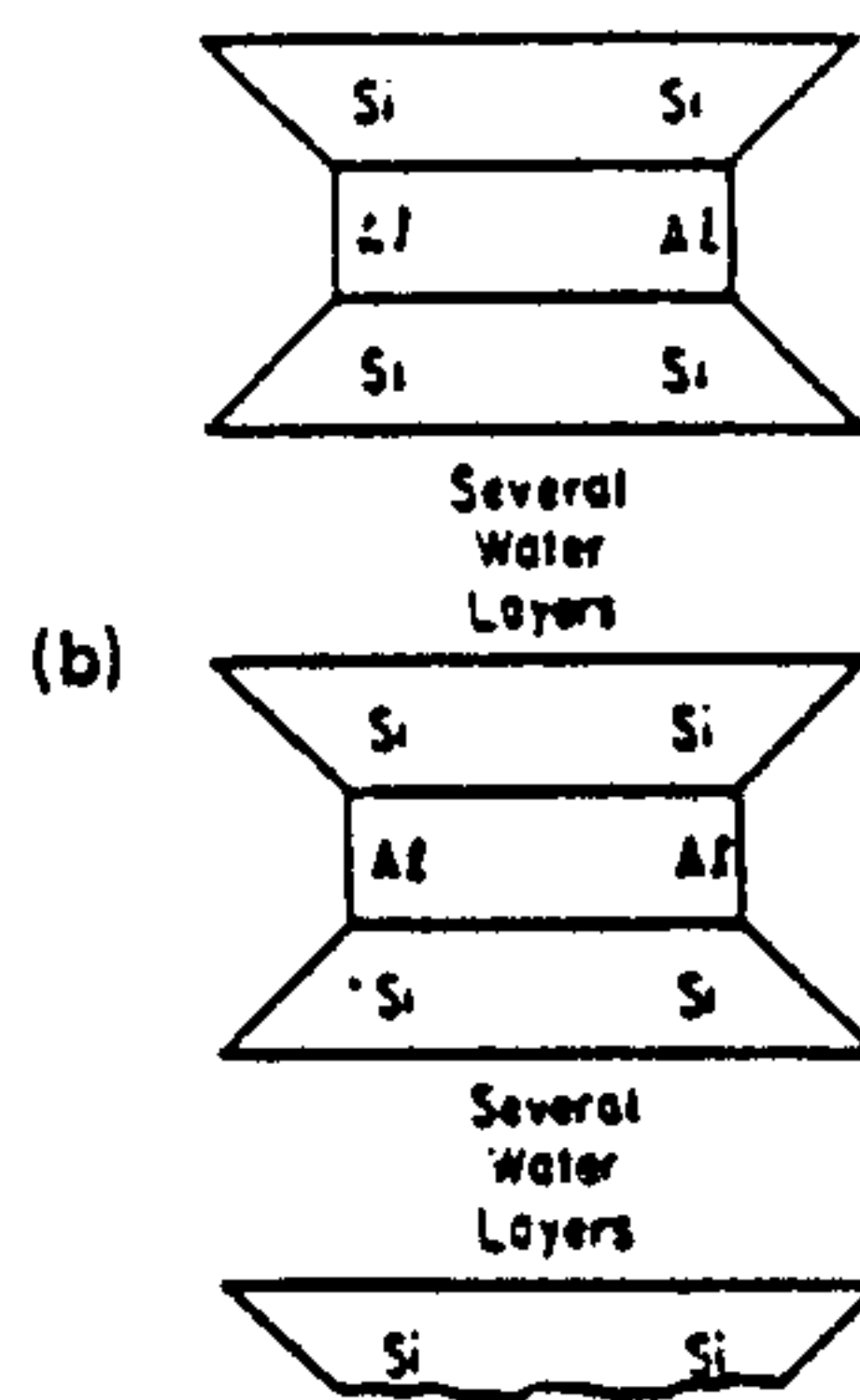
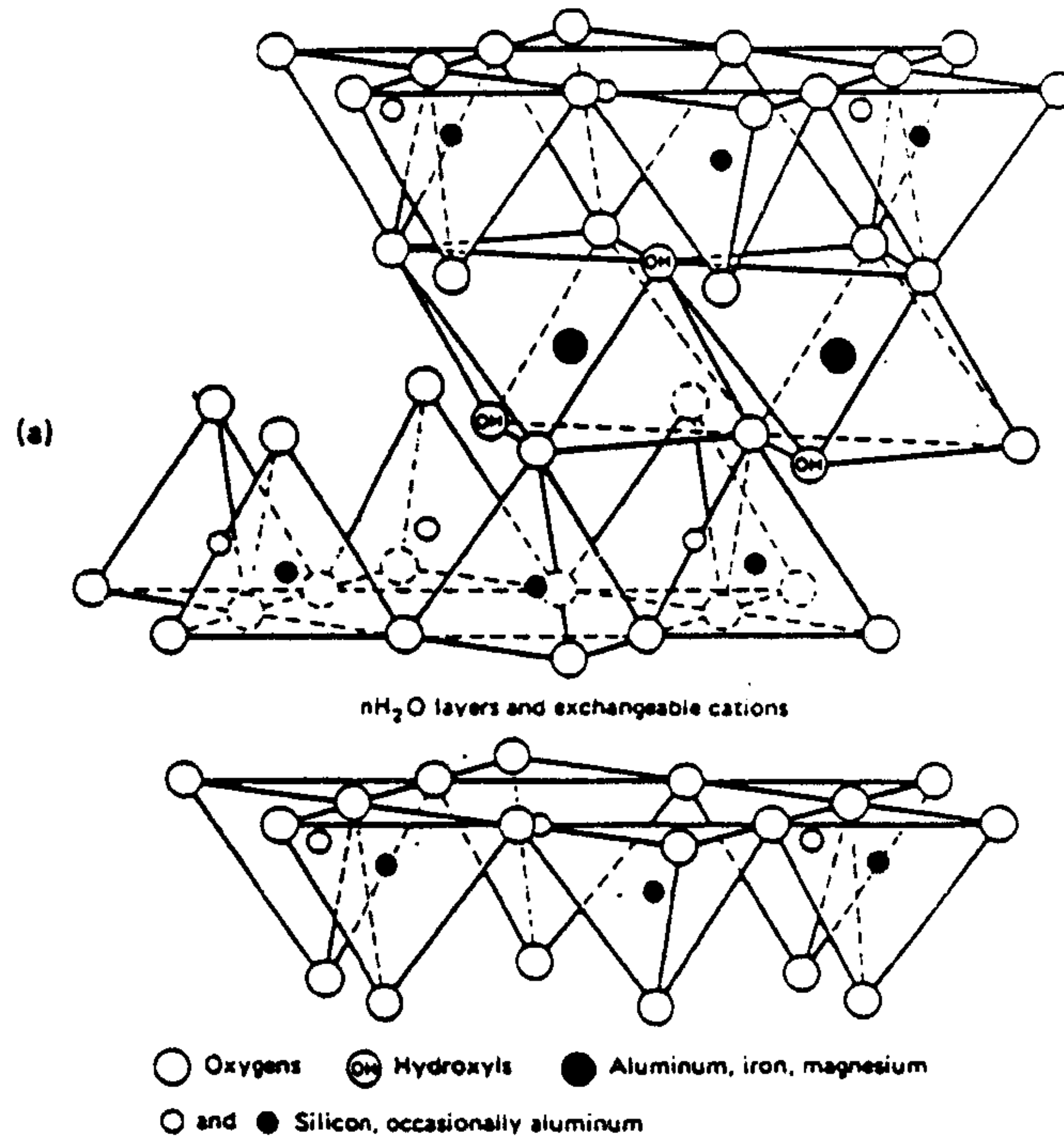
^aAfter Mitchell (1976).

^bS indicates silica tetrahedral sheet.
^cG indicates gibbsite octahedral sheet.
^dB indicates brucite octahedral sheet.
^eK indicates potassium ions.
^fO indicates water layer.

^cTwo formula units required per unit cell.

^dArrow indicates source of charge deficiency. Equivalent Na listed as balancing cation.

^eCation exchange capacity.



(a) Diagram of smectite structure.
 (b) Schematic diagram of montmorillonite.

Figure 7. Diagram of smectite structure (a), and schematic diagram of montmorillonite(b).

데, 전자는 후자에 비해 액성한계와 팽윤성이 월등히 높다.

Figure 8은 kaolinite group minerals의 structure diagram과 schematic diagram인데, 비팽윤성이며 비교적 낮은 C.E.C.를 갖고 있다.

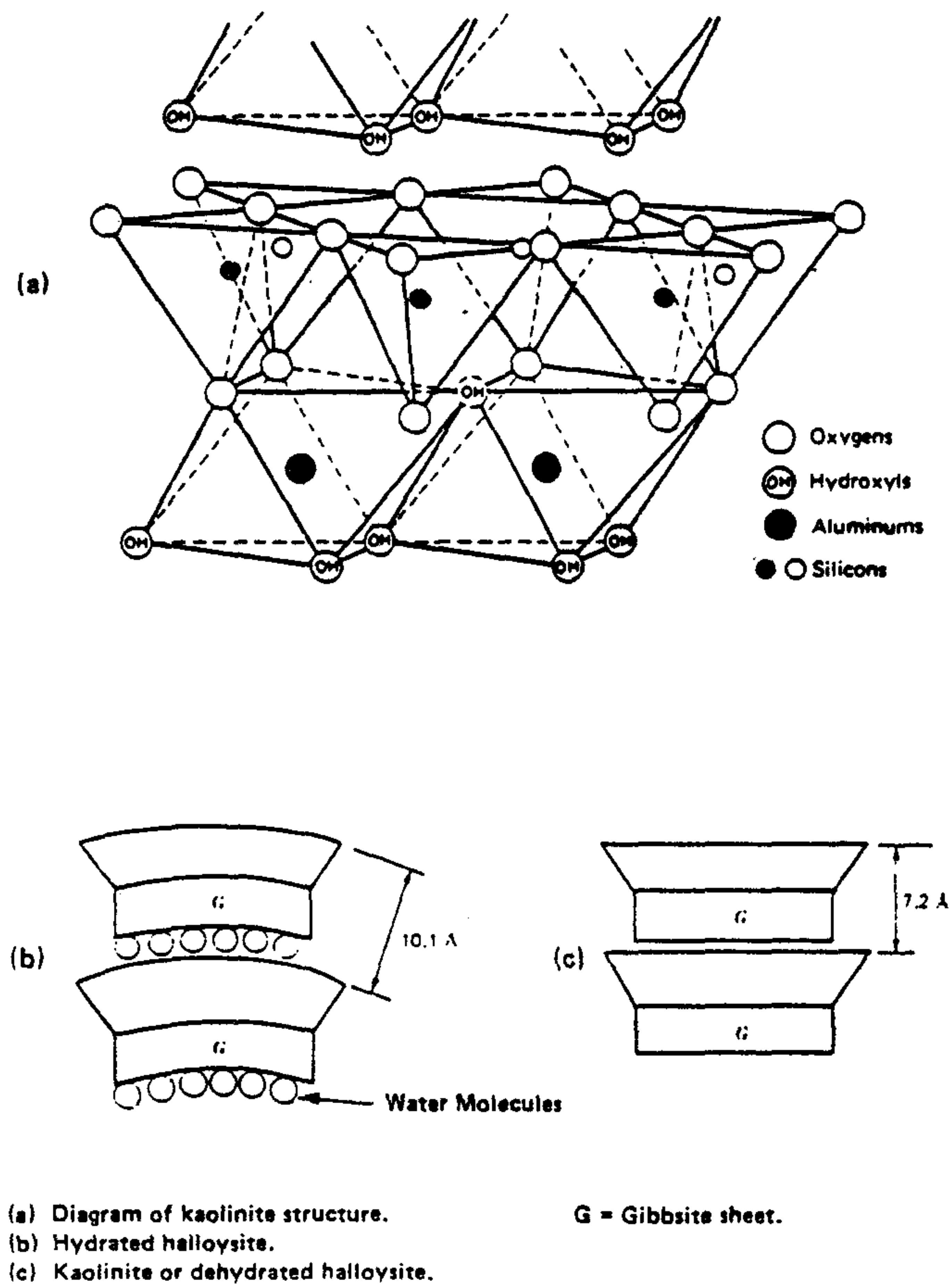


Figure 8. Structural diagram and schematic diagram of kaolinite group minerals. (From Grim, 1963; Mitchell, 1976).

제 2 절 Bentonite

Bentonite는 점토광물이 아니다. 이는 점토광물인 montmorillonite로 주로 구성되어 있는 암석(또는 clay deposit)이다. montmorillonite의 팽윤성과 분산성은 bentonite의 투수성을 낮게하는 요인이 된다. 고로 다른물질에 적은 양의 bentonite를 첨가 하더라도 투수성을 낮추는 효력을 발생하게 되는 것으로 알려져 있다. 앞절에서 언급했듯이 Ca-montmorillonite를 함유하고 있는 bentonite는 Na-montmorillonite 를 함유하고 있는 bentonite보다 팽윤성이 적고 투수성이 높다.

제 5 장 시료 채취

본 연구를 위한 시료채취의 대상지역은 제3기의 화산암류 분포지역인 경주군과 영일군 일대와 선 캄브리아기에 해당하는 anorthosite 분포지역인 하동군과 산청군 일대다. 점토물질로서 전자에서는 bentonite를, 후자에서는 고령토를 채취하였는데, 채취번호와 위치는 Tables 6 and 7 과 같다.

Table 6. Location of bentonite samples.

시 료 번 호	채 취 위 치
K - 1	경북 경주군 양북면 두산리 산 57
K - 2	경북 경주군 양북면 두산리 산 57
K - 3	경북 경주군 양북면 두산리 산 57
K - 4	경북 경주군 양북면 죽전리 전 385
K - 5	경북 경주군 양북면 죽전리 전 385
K - 6	경북 경주군 양북면 죽전리 산 214
K - 7	경북 경주군 양북면 죽전리 산 214
K - 8	경북 경주군 양북면 인동리 소재 태광화학(주)공장
K - 9	경북 경주군 양북면 인동리 소재 태광화학(주)공장
K - 10	경북 경주군 양남면 상라리 산 250
K - 11	경북 경주군 양남면 상라리 산 250
K - 12	경북 경주군 양북면 상라리 산 250
K - 13	경북 경주군 양남면 효동리 산 194
K - 14	경북 경주군 양남면 효동리 산 194
K - 15	경북 경주군 양남면 효동리 산 194
K - 16	경북 경주군 양남면 서동리
K - 17	경북 경주군 양남면 환서리 산 205
Y - 1	경북 영일군 동해면 금광리
Y - 2	경북 영일군 동해면 금광리

Table 7. Location of kaolin samples.

시료번호	채취위치
H - 1	경남 하동군 옥종면 양구리 산 42
H - 2	경남 하동군 옥종면 양구리 산 42
H - 3	경남 하동군 옥종면 양구리 산 42
H - 4	경남 하동군 옥종면 양구리 산 42
H - 5	경남 하동군 옥종면 양구리 산 42
H - 6	경남 하동군 옥종면 양구리 산 42
H - 7	경남 하동군 옥종면 양구리 산 42
H - 8	경남 하동군 옥종면 청룡리 산 138
H - 9	경남 하동군 옥종면 청룡리 산 138
H - 10	경남 하동군 북천면 하정리 산 138
H - 11	경남 하동군 옥종면 정수리 산 60-1
S - 1	경남 산청군 금서면 향양리 산 183-1
S - 2	경남 산청군 금서면 향양리 산 183-1

Table 6 에서 보는 bentonite시료 중 몇 개의 시료채취 지점을 사진으로 소개하면, Figure 9는 경북 경주군 양북면 죽전리 산 214에 소재하는 bentonite 광상으로 여기서 시료번호 K-6과 K-7를 채취하였다. Figure 10는 경북 경주군 양북면 효동리 산 194에 소재하는 bentonite 광상으로 여기서는 3개의 시료 (K-13, K-14 및 K-15)를 채취하였다.

Figures 11 and 12는 각각 경남 하동군 옥종면 양구리 산 42와 청룡리 산 138에 소재하는 고령토 광상인데, 전자에서는 시료번호 H-1 to H-7를, 후자에서는 시료번호 H-8 와 H-9를 채취하였다.

Bentonite와 고령토 시료를 채취한 것 외에 앞으로 점토물질과 혼합하여 물리적 및 공학적 시험을 수행할 목적을 위한 물질 중의 하나로 충남 공주군 무룡리 금강유역에서 하천모래(Figure 13)를 채취하였다. 또한 경북 경주군 양남



Figure 9. Bentonite sampling site for Nos. K-6 and K-7, Yangbukmyon, Kyongjukun.



Figure 10. Bentonite sampling site for Nos. K-13, K-14 and K-15, Yangnammyon Kyongjukun.



Figure 11. Kaolin deposit at Yangkuri, Hadongkun.



Figure 12. Kaolin deposit at Chongryongri, Hadongkun.

면 상라리 산 250의 bentonite 광산의 mine waste(점토질 모래)를 채취하였다.



Figure 13. Sand deposit along the Kumkang River near Murungri, Kongjukun.

제 6 장 실내 연구

제 1 절 시료 준비 및 시험종류

모든 bentonite 및 고령토 시료는 65℃에서 건조시킨 후 NO.40(0.425mm)체를 통과하도록 분쇄하였다. 준비된 시험 시료는 시험의 종류에 따라 다시 노건조시켰다. 경주군 야남면 상라리에서 채취한 점토질 모래는 montmorillonite가 얼마간 함유되어 있다고 보아 역시 65℃에서 노건조시켰으며 충남 공주군 무룡리에서 채취한 하천 모래는 100℃에서 건조시켰다.

모든 bentonite 및 고령토 시료에 대해서는 물리적 특성을 파악하기 위하여 에트버그한계, free swell 및 비중시험을 실시하였으나 광물학적 특성을 파악하기 위한 X-ray 회절분석, SEM촬영 및 EDAX는 대부분의 bentonite 시료와 5개의 고령토 시료에만 실시하였다. 화학적 특성을 규명하기 위한 wet method의 화학 분석, C.E.C.(cation exchange capacity) 및 pH측정은 모든 bentonite 시료에 실시하였으나, 고령토 시료에 대해서는 pH만 모든 시료에 실시하고 화학 분석과 C.E.C.는 5개 시료에만 실시하였다.

점토질 모래에 대해서는 에트버그한계시험, 입도 분석, 비중시험, 실내 다짐 시험, 투수시험, X-ray 회절분석, SEM촬영, EDAX, 화학분석 및 pH 측정을 하였으며 모래시료에 대해서는 비중 및 입도분포 시험을 수행하였다.

본 절에서 다른 시험방법은 제외하고 free swell test (Gibbs and Holtz, 1965)에 대해 설명해 보면 다음과 같다. 먼저 No.40체를 통과하고 완전 건조된 시료를 cylinder의 10ml 눈금까지 느슨하게 채운다. 다음, 이 시료를 50ml까지 물로 채워진 cylinder에 조금씩 부어 넣는다. 마지막으로, 증가된 체적을 읽은

후 다음의 식, $\text{free swell} = (V-10)/10 \times 100\%$ 에서 팽윤값을 얻게 된다. 팽윤값이 50%이하인 토양은 팽창성이 별로 없는 물질인 반면 100%이상인 것은 팽창성이 큰 물질로 간주된다.

제 2 절 시험 결과

2-1. Bentonite

2-1-1. 두산리 일대

◦ 물리적 특성

경북 경주군 양북면 두산리 산 57에 부존하는 bentonites(시료 K-1 to K-3)는 갈-황녹색과 황녹색을 띠고 있는데, 액성한계와 소성한계가 85.1 to 90.5% 및 31.5 to 49.9%이며 free swell과 비중은 각각 110 to 130%와 2.26 to 2.38인 것으로 측정되었다. 본 물리적 특성에 대한 모든 결과는 Table 8에 기재되어 있다.

◦ 광물학적 특성

본 bentonites의 X-ray 회절분석결과(Figure 14)에 의하면 3개 시료 모두 montmorillonite를 주 광물로 함유하고 있으며, 부 광물로서 feldspars(plagioclase)와 quartz를 소량 함유하고 있다. 시료번호 K-3는 이상 외에 SEM과 EDAX에 의해 calcite를 극소량 함유하고 있는 것으로 판명되었다. Figure 15는 K-1 시료의 SEM 사진인데, SEM 사진이 보여주는 광물은 montmorillonite와 장석이다. EDAX에 의해 본 montmorillonite는 Ca-montmorillonite, 장석은 plagioclase(Figure 16)로 밝혀졌다. Figure 17은 역시 K-1

Table 8. Physical properties of bentonites from kyongjukun and Yongilkun.

Sample No.	Atterberg limits (%)			Free swell (%)	Specific gravity	Color
	LL	PL	PI			
K - 1	88.2	49.9	38.3	130	2.38	Yellowish green
K - 2	90.5	31.5	59.0	125	2.26	Brownish to yellowish green
K - 3	85.1	41.4	43.7	110	2.28	Yellowish green
K - 4	74.8	53.6	21.2	115	2.23	Grayish green
K - 5	104.0	36.9	67.1	50	2.37	Grayish green
K - 6	338.0	44.9	293.1	170	2.19	Yellowish green
K - 7	403.0	40.2	362.8	240	2.25	Yellowish green
K - 8	182.0	63.6	118.4	160	2.28	Yellowish green
K - 9	334.0	44.4	289.6	180	2.34	Yellowish green
K - 10	79.6	57.9	21.7	110	2.19	Yellowish green
K - 11	80.9	42.6	38.3	70	2.20	Yellowish green
K - 12	84.9	52.6	32.3	90	2.26	Grayish green
K - 13	93.8	47.5	46.3	150	2.10	Grayish green
K - 14	91.2	48.6	42.6	165	2.30	Yellowish green
K - 15	85.4	41.7	43.7	155	2.47	Brownish red
K - 16	113.5	46.2	67.3	120	2.15	Yellowish green
K - 17	73.5	46.8	26.7	40	2.50	Grayish green
Y - 1	72.8	55.9	16.9	30	2.49	Pale brown
Y - 2	105.0	60.1	44.9	70	2.56	Grayish green

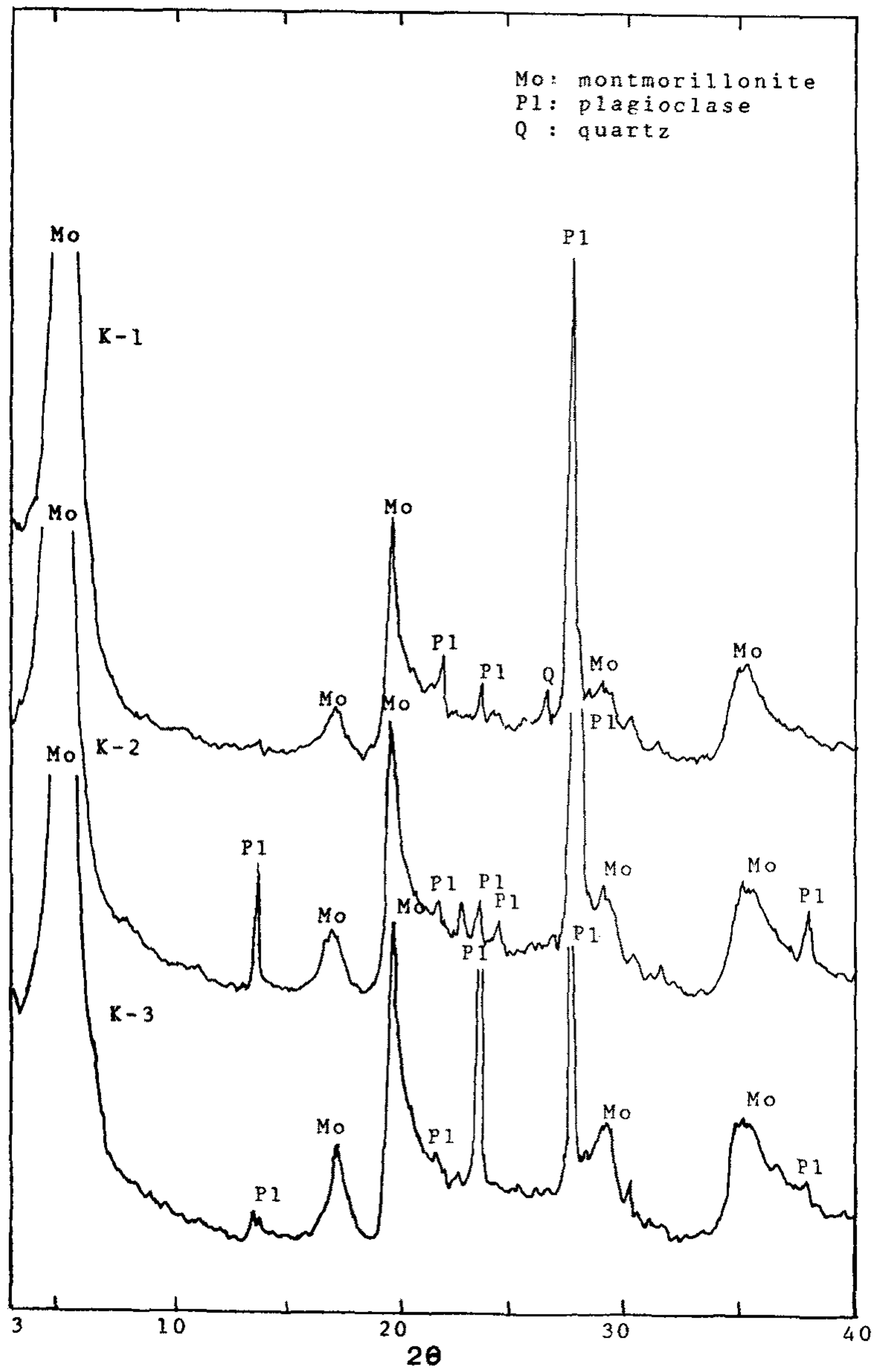


Figure 14. X-ray diffraction patterns for sample Nos. K-1, K-2 and K-3

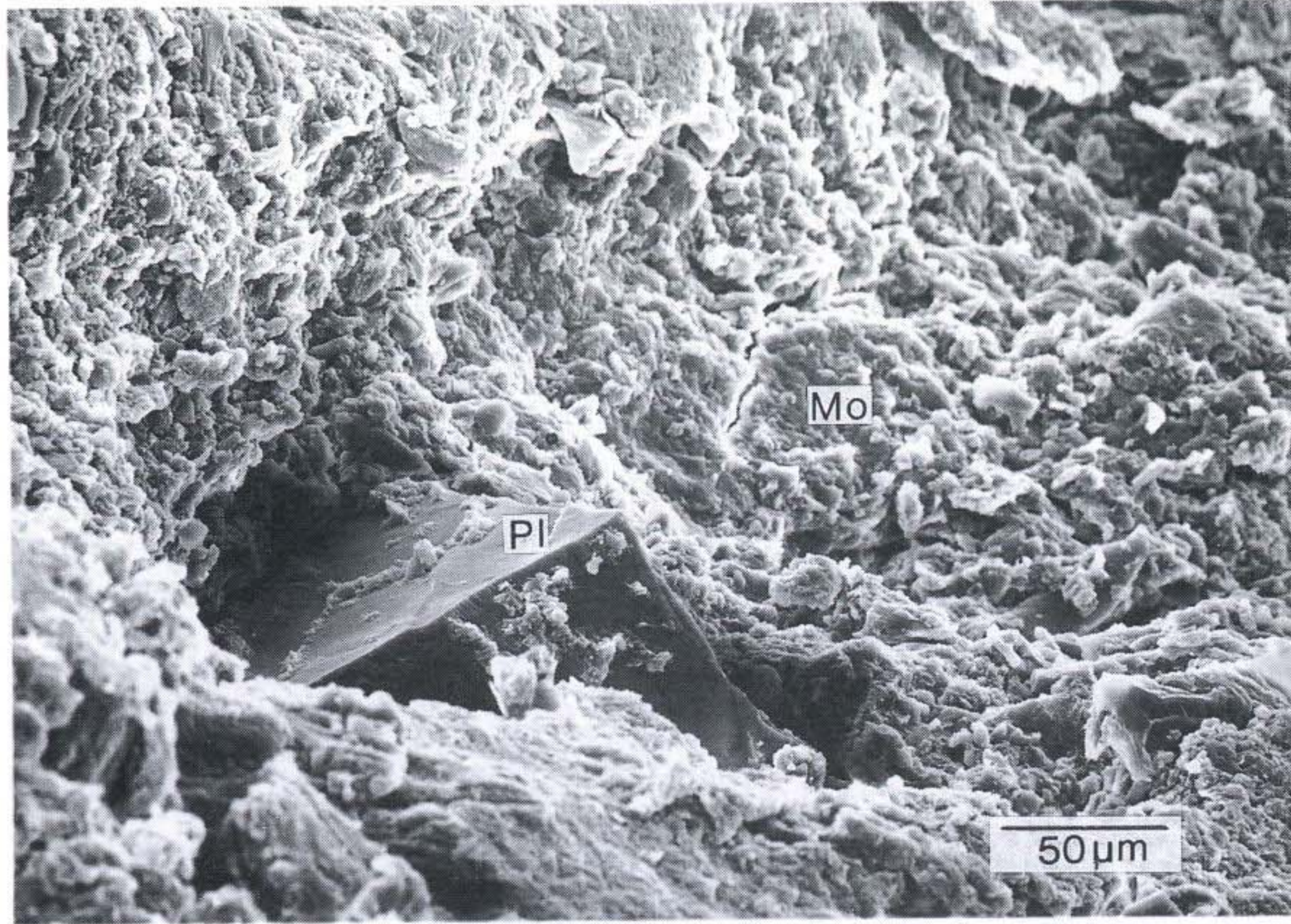


Figure 15. Scanning electron micrograph of sample No. K-1 showing montmorillonite aggregates (Mo) and plagioclase (Pl).

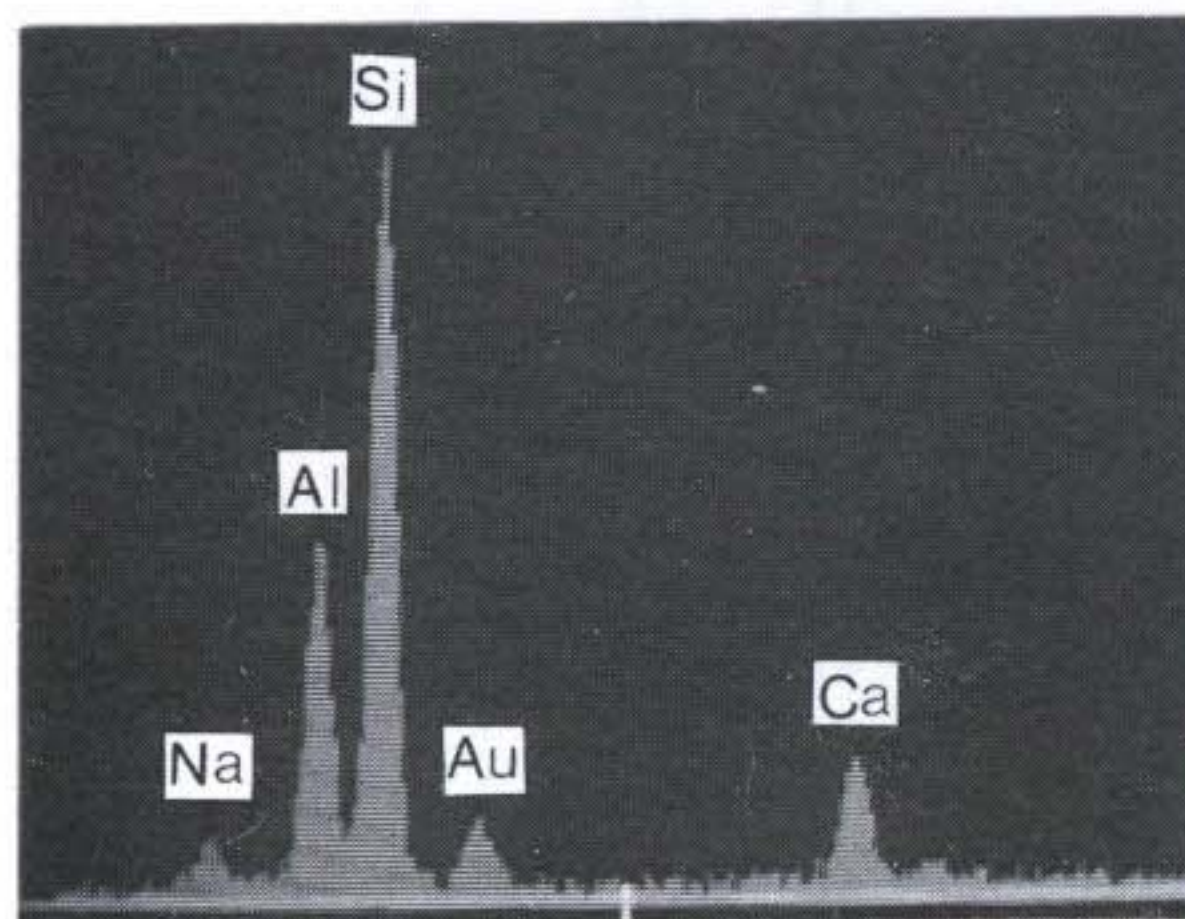


Figure 16. EDAX pattern of the plagioclase in Figure 15.

시료의 SEM 사진인데, 이 사진에서 montmorillonite는 globular shape를 하고 있는 것이 특징이다. EDAX pattern(Figure 18)에 의하면 이 montmorillonite는 Ca-montmorillonite이다. Figure 19는 시료번호 K-2의 montmorillonite aggregates와 plagioclase를 보여주는 SEM인데, plagioclase의 EDAX pattern은 Figure 20에서 보는 바와 같다. Figure 21은 Figure 19의 montmorillonite를 확대한 SEM인데, Figure 17의 montmorillonite와는 다르게 부분적으로 boxwork texture를 갖는 montmorillonite로 발달되어 있다. 역시 Ca-montmorillonite(Figure 22)이다. Figure 23은 시료번호 K-3의 SEM이다. 이 사진에서 montmorillonite는 curled habit를 보여주며 EDAX(Figure 24)에 의해 역시 Ca-montmorillonite로 밝혀졌다. Figure 25는 calcite와 montmorillonite aggregates를 보여주는 SEM이며 Figure 26은 calcite의 EDAX pattern이다.

◦ 화학적 특성

두산리 일대의 bentonites(시료번호 K-1 to K-3)의 pH와 C.E.C.는 Table 9에서 보는 바와 같이 각각 8.1 to 8.5와 731.1 to 81.1 meq/100gr이다. 본 bentonites시료에 대한 화학성분 시험결과는 Table 10에서 보는 바와 같은데, 화학성분은 SiO₂와 Al₂O₃가 대부분으로 전자는 58.26 to 59.50%, 후자는 20.94 to 21.01%나 된다.

2-1-2 죽전리 일대

먼저 물리적 특성을 기술하기전 시료의 내용에 대하여 잠시 설명을 하고자 한다.

경북 경주군 양북면 죽전리 일대에 부존하는 bentonite광상의 현장에서 채취한 시료는 죽전리 전 385에서 채취한 2개 시료 (시료번호 K-4 to K-5)와 죽전리 산 214에서 채취한 2개 시료 (시료번호 K-6 to K-7)이다. 시료번호 K-8과

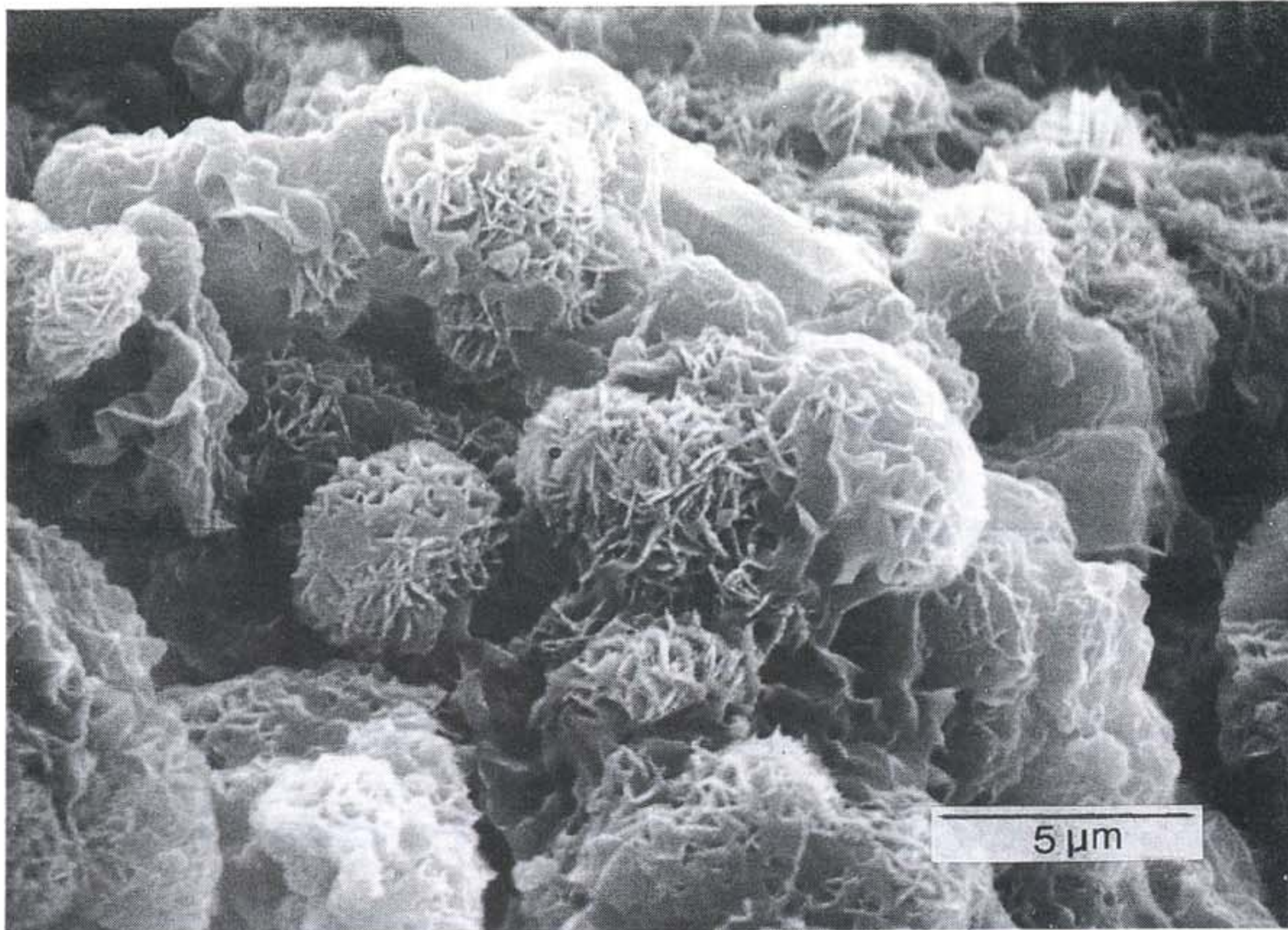


Figure 17. Scanning electron micrograph of sample No. K-1 showing globular montmorillonite aggregates.

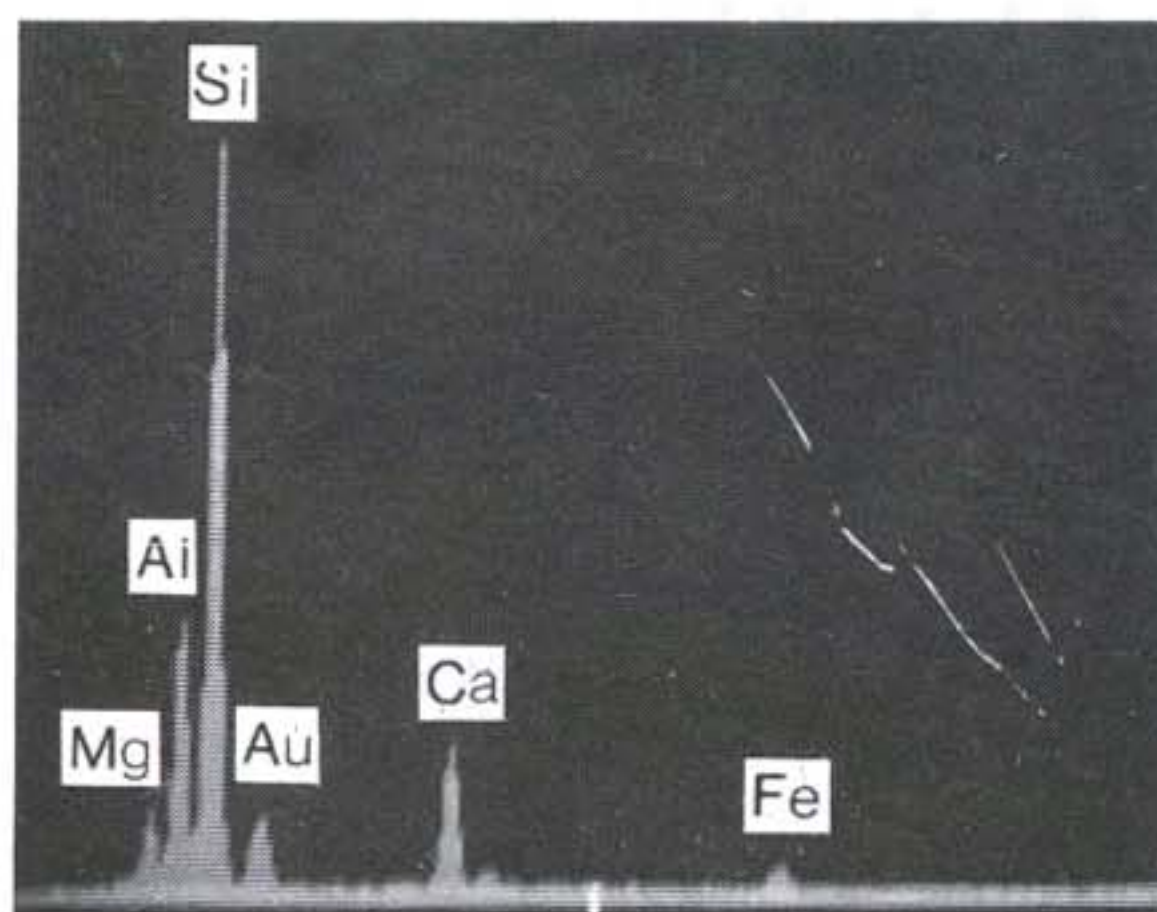


Figure 18. EDAX pattern of the Ca-montmorillonite in Figure 17.

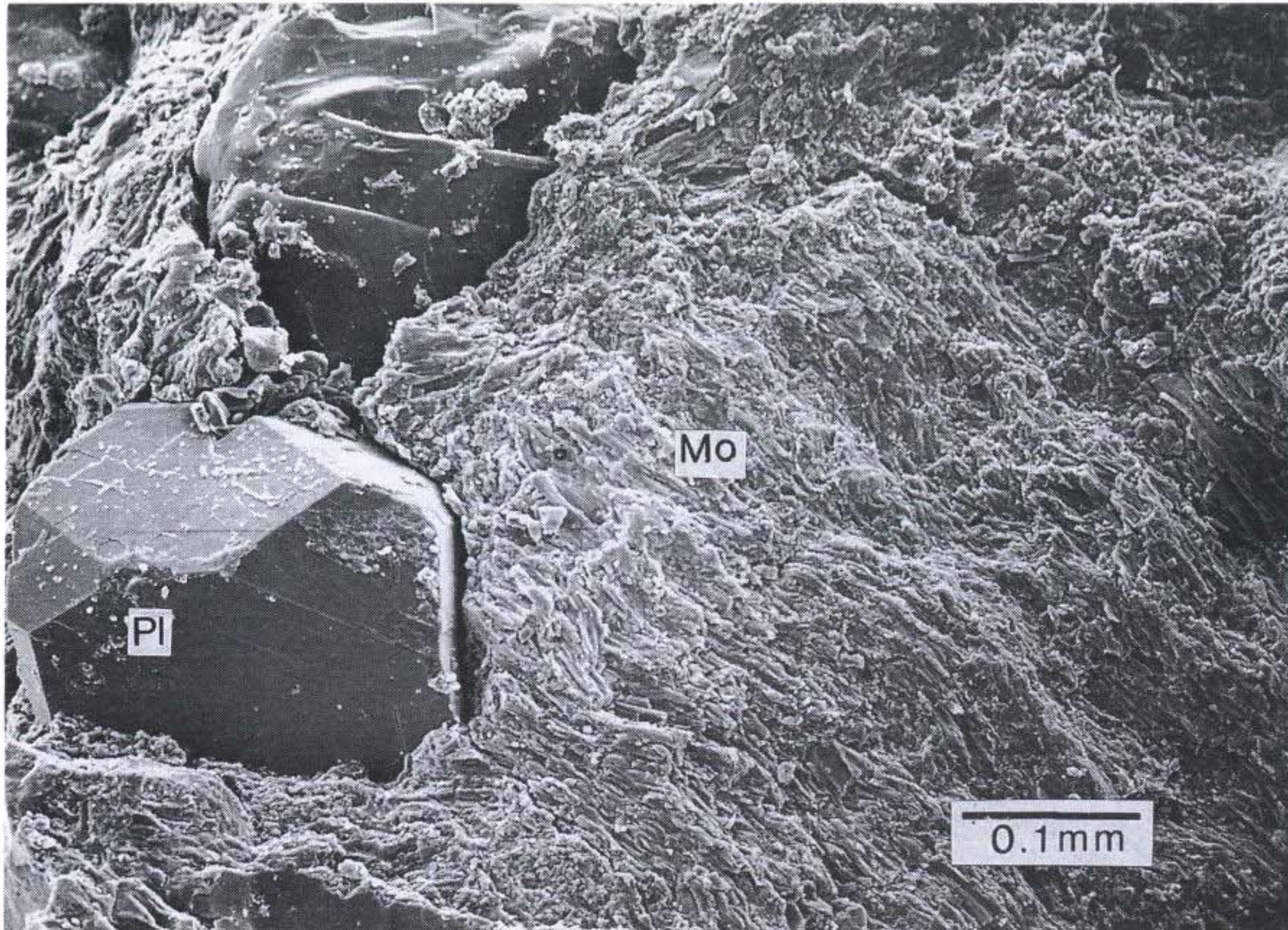


Figure 19. Scanning electron micrograph of sample No. K-2 showing montmorillonite aggregates(Mo) and a crystal of plagioclase(Pl).

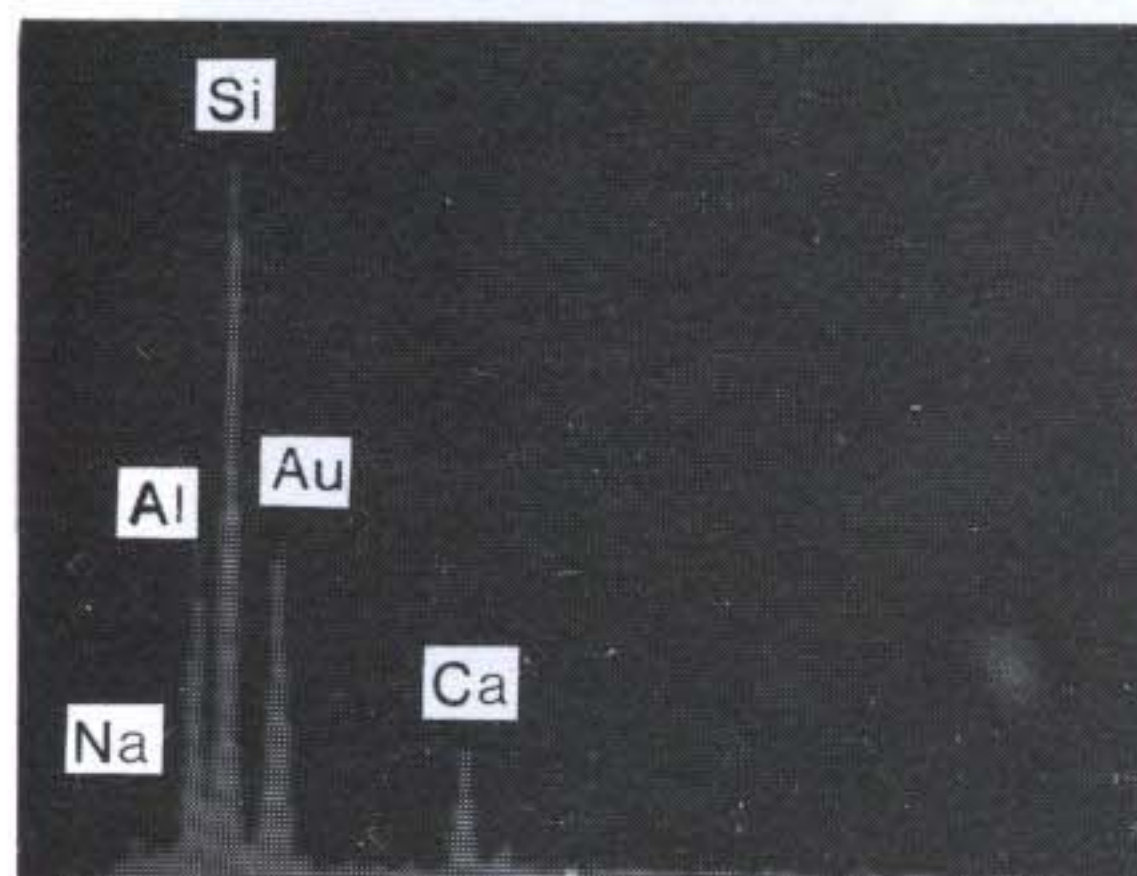


Figure 20. EDAX pattern of the plagioclase in Figure 19.

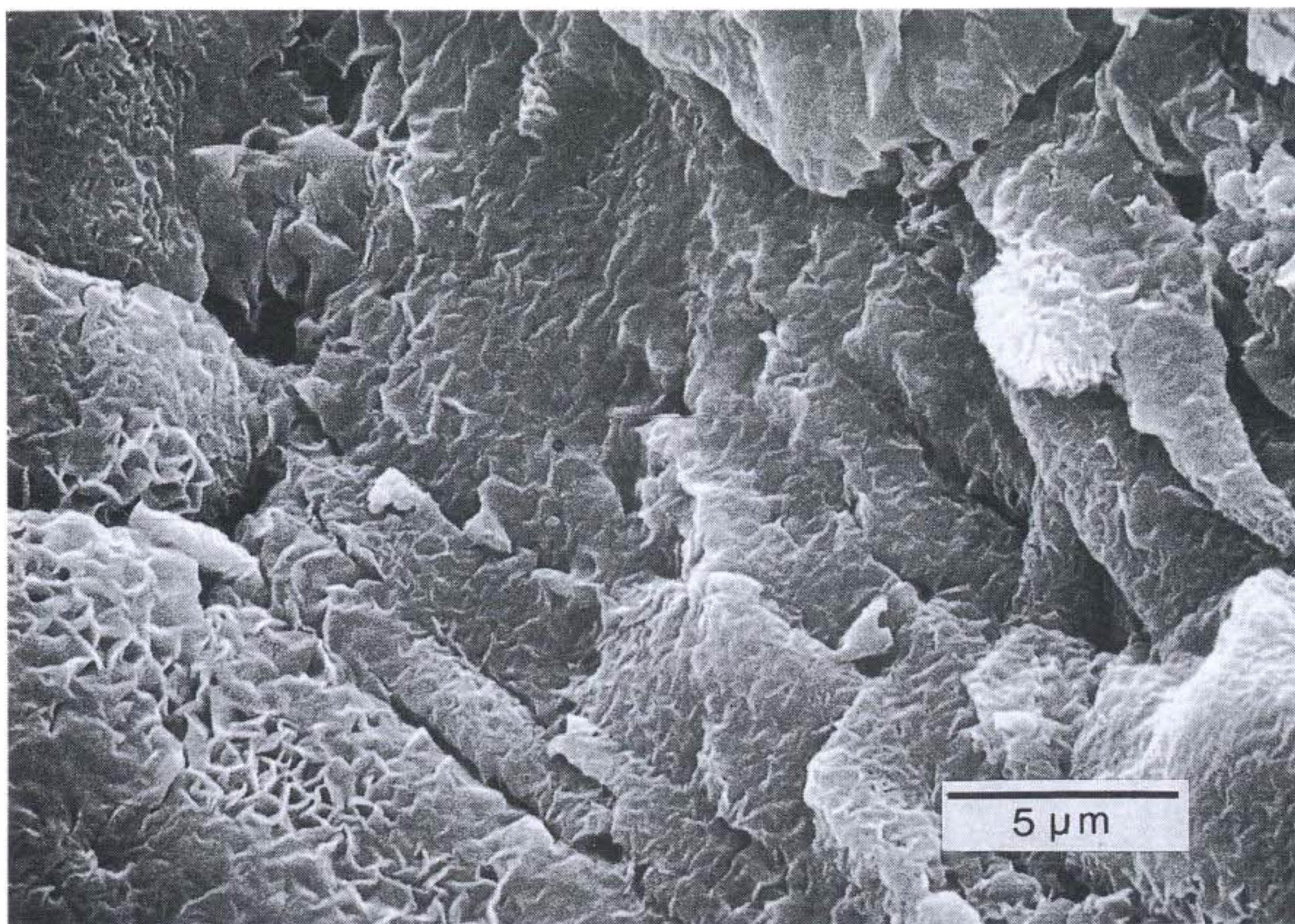


Figure 21. Scanning electron micrograph of sample No. K-2 showing boxwork of montmorillonite aggregates(lower left).

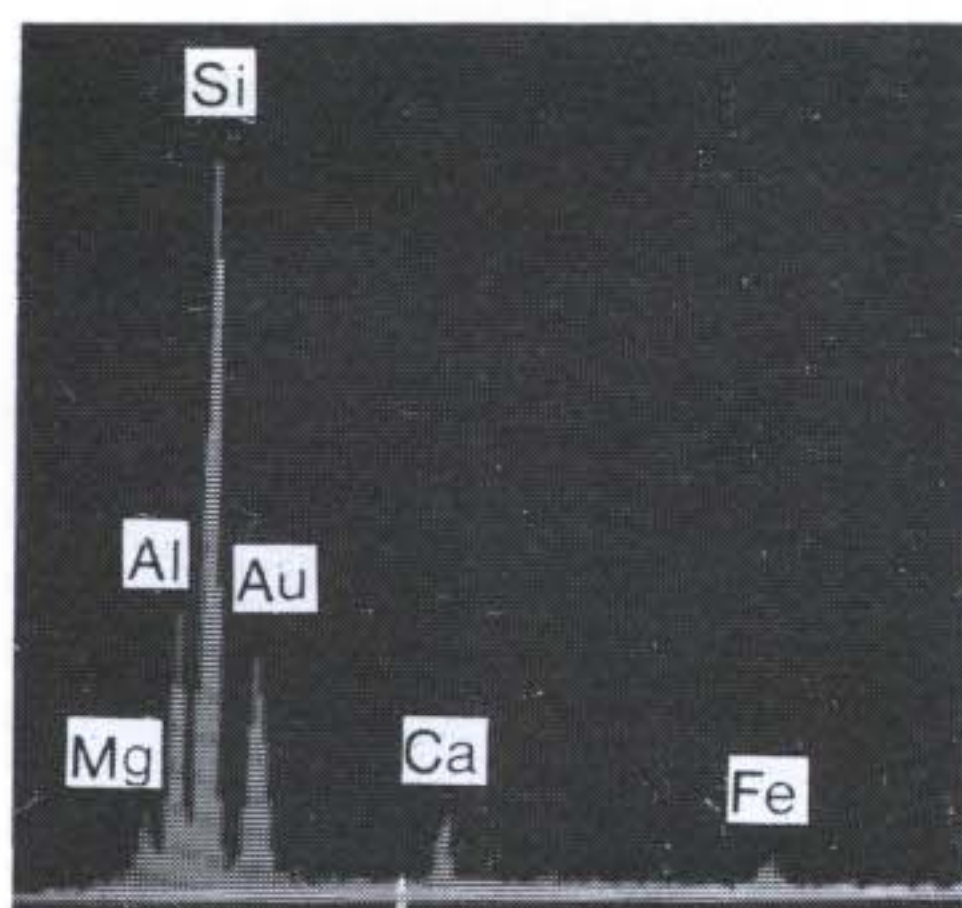


Figure 22. EDAX pattern of the Ca-montmorillonite in Figure 21.

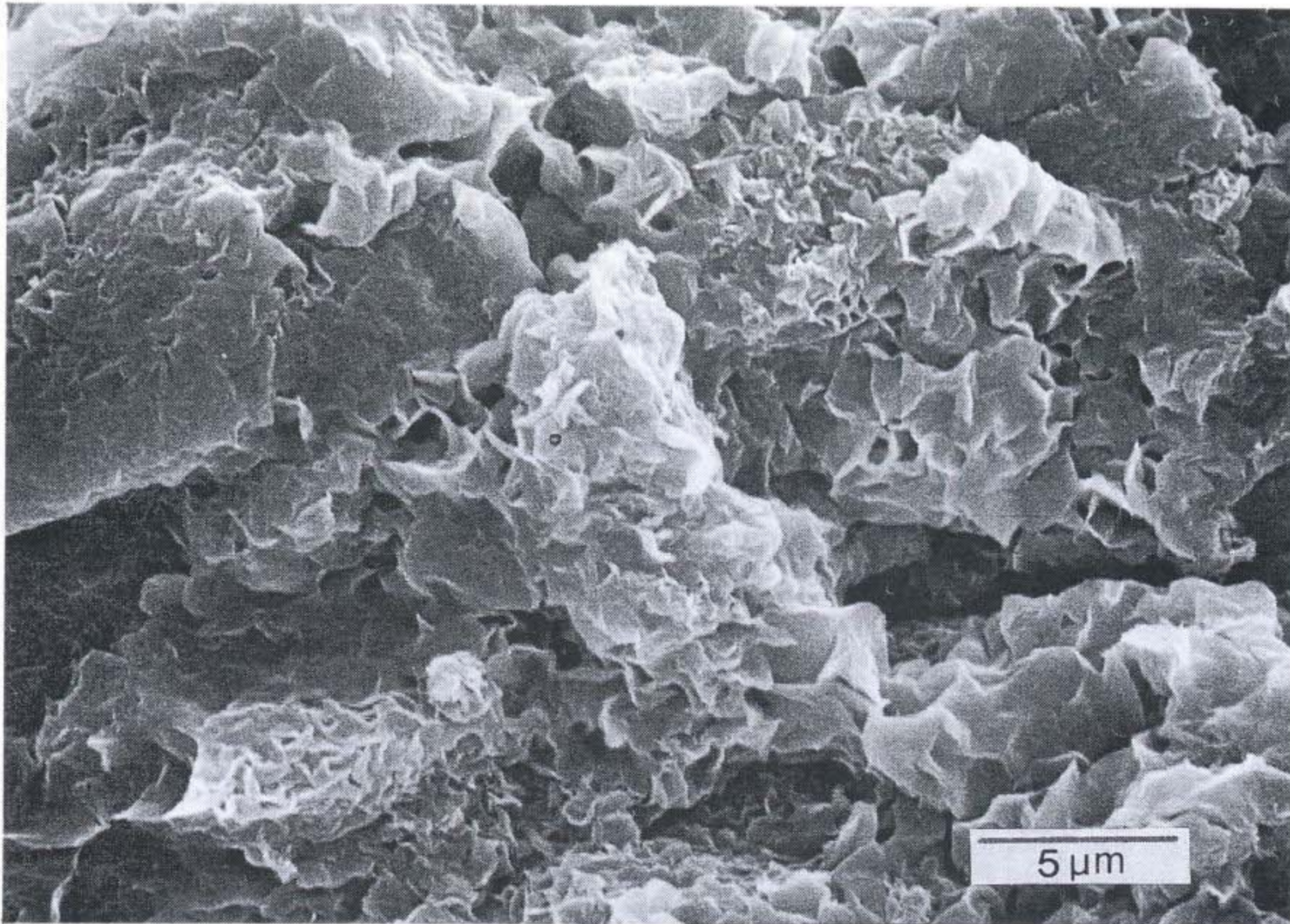


Figure 23. Scanning electron micrograph of sample No. K-2 showing curled habit of montmorillonite aggregates.

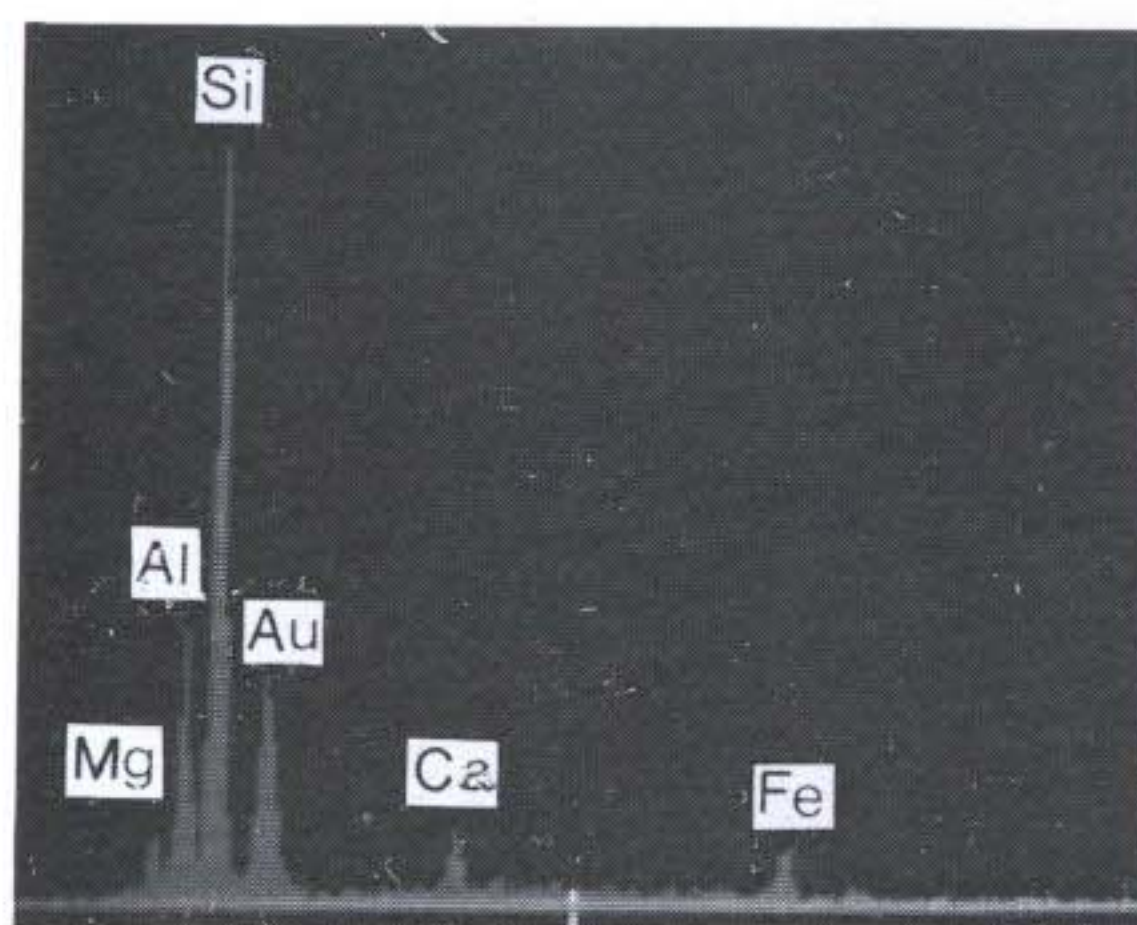


Figure 24. EDAX pattern of the Ca-montmorillonite in Figure 23.

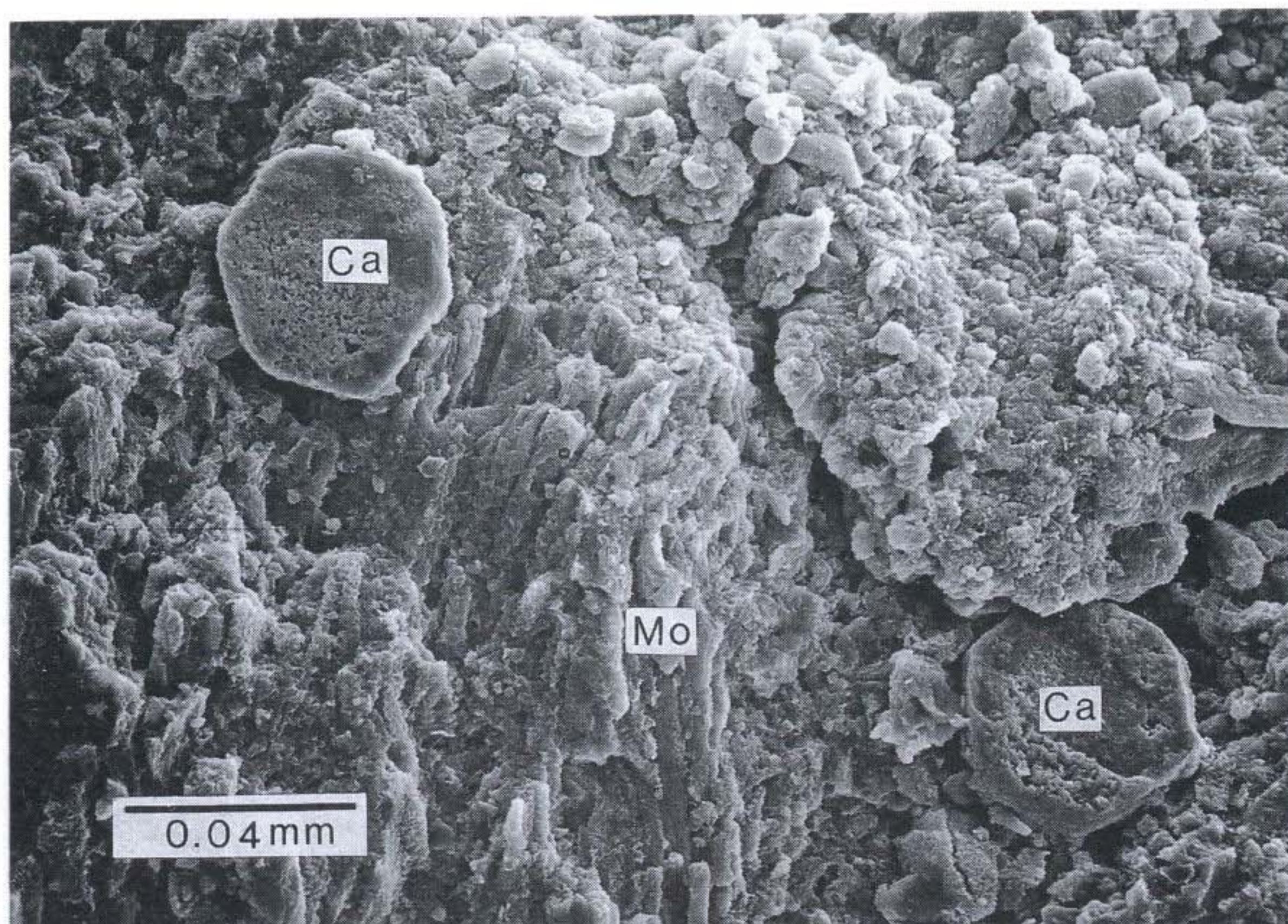


Figure 25. Scanning electron micrograph of sample No. K-3 showing calcite(Ca) and montmorillonite aggregates(Mo).

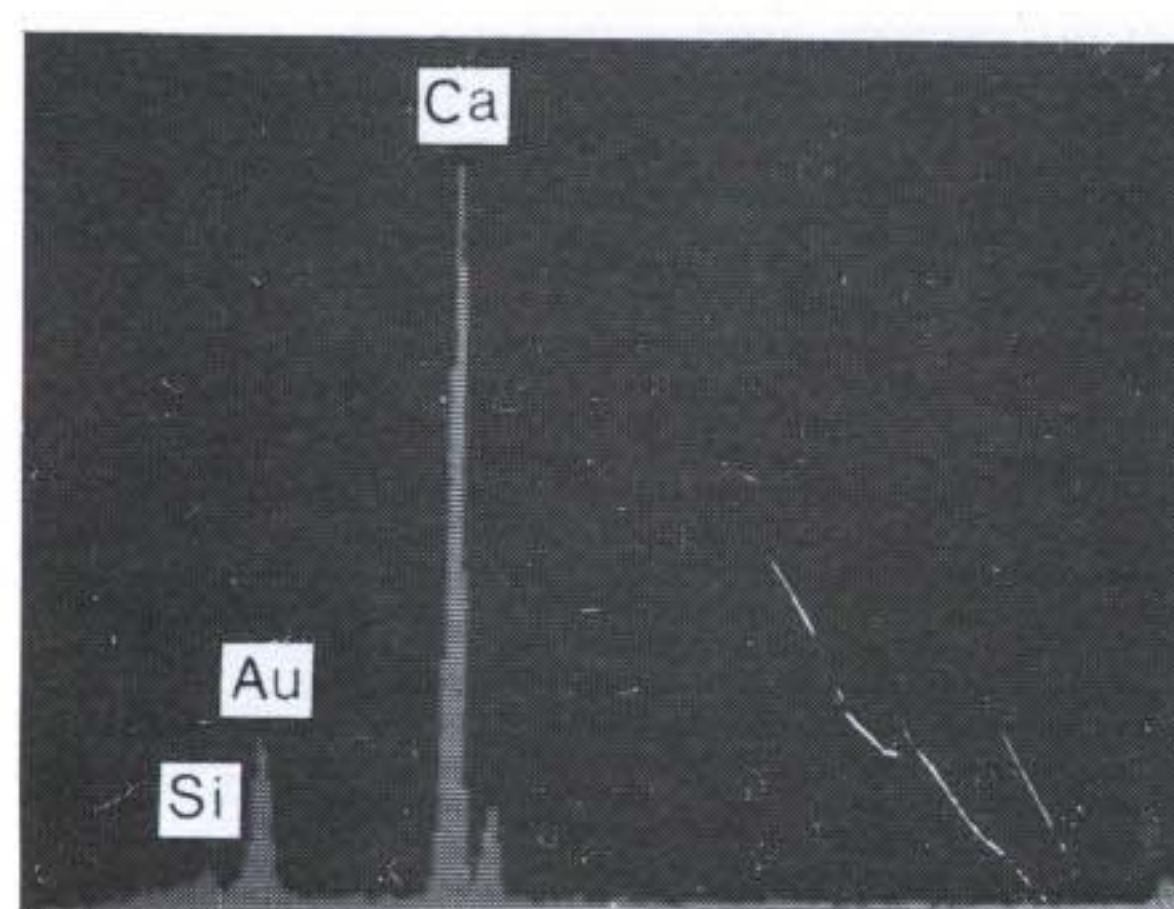


Figure 26. EDAX pattern of the calcite in Figure 25.

Table 9. pH and C.E.C. for bentonites from Kyongjukun and Yongilkun

Sample No.	pH	C.E.C. (meq/100gr)
K - 1	8.3	75.4
K - 2	8.5	81.1
K - 3	8.1	73.1
K - 4	8.5	76.9
K - 5	8.7	63.7
K - 6	9.1	81.0
K - 7	9.0	84.8
K - 8	10.5	71.3
K - 9	10.2	78.4
K - 10	8.7	84.1
K - 11	8.5	86.1
K - 12	8.7	59.6
K - 13	8.4	93.0
K - 14	8.1	96.8
K - 15	8.0	95.9
K - 16	8.8	80.0
K - 17	7.9	81.9
Y - 1	5.4	40.4
Y - 2	8.1	59.6

Table 10. Chemical composition of bentonites from kyongjukun and Yongilkun

Sample No.	Chemical constituent (%)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
K - 1	59.50	20.96	2.64	3.71	3.29	0.40	1.68
K - 2	59.32	21.01	2.49	3.93	2.58	0.20	1.50
K - 3	58.26	20.94	2.50	4.15	2.15	0.34	1.98
K - 4	66.24	16.95	1.45	1.91	2.64	0.98	1.98
K - 5	70.60	14.90	1.36	1.71	1.85	0.79	1.96
K - 6	58.62	19.82	4.32	2.47	3.38	0.35	2.04
K - 7	58.72	19.96	4.24	2.53	3.29	0.38	2.14
K - 8	61.28	18.66	2.60	2.84	2.74	0.47	5.12
K - 9	62.24	18.78	2.92	2.19	2.97	0.58	4.15
K - 10	62.16	18.73	1.65	2.53	3.67	0.46	0.90
K - 11	62.96	18.40	1.54	2.69	3.66	0.39	0.98
K - 12	68.40	16.24	1.26	2.16	2.66	0.67	1.48
K - 13	55.48	20.27	2.35	3.03	4.66	0.28	1.12
K - 14	58.06	20.44	2.56	3.14	4.88	0.25	0.11
K - 15	58.26	20.28	3.34	3.59	4.31	0.24	0.90
K - 16	66.28	15.68	2.82	1.80	2.74	0.26	1.05
K - 17	54.04	19.63	6.15	3.70	3.78	0.97	1.29
Y - 1	61.60	22.28	2.92	1.57	0.87	1.65	2.03
Y - 2	57.92	20.04	7.10	3.09	1.95	0.71	1.24

K-9는 양북면 인동리에 소재하고 있는 bentonite분말 생산공장에서 채취한 것인데, 본 원광은 죽전리 산 214일대에서 나오는 bentonite다. 시료번호 K-8시료는 하급질과 고급질의 bentonite가 혼합된 것이며, 시료번호 K-9는 전자를 화학약품 으로 activate시킨 것이라고 한다.

◦ 물리적 특성

회녹색을 띠고 있는 경북 양북면 죽전리 전 385의 bentonites(시료번호 K-4, K-5)는 74.8 to 85.1%의 액성한계, 36.9 to 53.6%의 소성한계, 110 to 115%의 free swell 및 2.23 to 2.37의 비중을 갖고 있다. 죽전리 전 385의 맞은 편에는 죽전리 산 214의 bentonite광상이 소재하는데, 이 곳에서 점성이 꽤 높다고 생각되는 bentonites(K-6 및 K-7)를 채취하였다. 이 들에 대한 액성한계는 야외 감정에서 생각했던 바와 같이 아주 높게 나왔으며 free swell값도 높은 것(170 to 240%)으로 측정되었다. 비중은 2.23 to 2.37이다. 분말공장에서 채취한 시료들(K-8 과 K-9)의 액성한계, 소성한계 및 free swell값은 K-6 및 K-8보다 낮은 값(Table 8)을 갖고 있는데, K-9이 activate된 시료임을 감안할 때 K-6 및 K-7의 채취 지점의 bentonites가 얼마나 고급질인 가를 알 수 있다. 시료 K-8 과 K-9의 비중은 각각 2.28 과 2.34이다.

◦ 광물학적 특성

Figure 27은 시료번호 K-4 및 K-5의 X-ray회절분석 결과인데, K-4의 광물조성은 단순하여 montmorillonite를 주 광물로, plagioclase 및 quartz를 부 광물로 함유하고 있다. 반면에 K-5는 복잡하여 montmorillonite를 주 광물로, plagioclase, quartz, opal-CT, mordenite 및 illite를 부 광물로 함유하고 있다. Figures 28 and 29는 시료번호 K-4의 SEM과 EDAX인데, Ca-montmorillonite는 subhedral flakes로 발달되어 있다. Figure 30의 SEM(시료번호K-5)에 나타

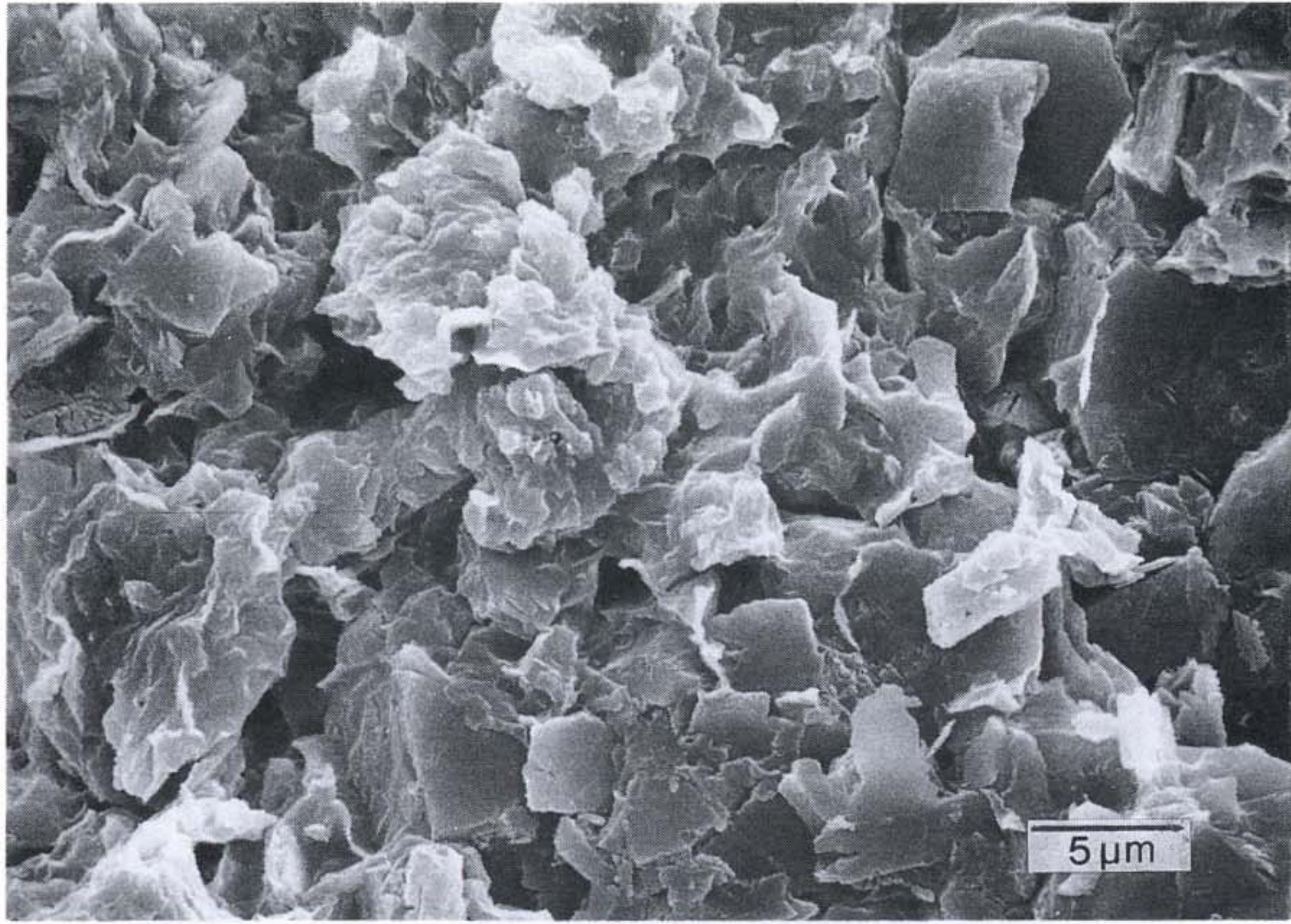


Figure 28. Subhedral montmorillonite aggregates of sample No. K-4.

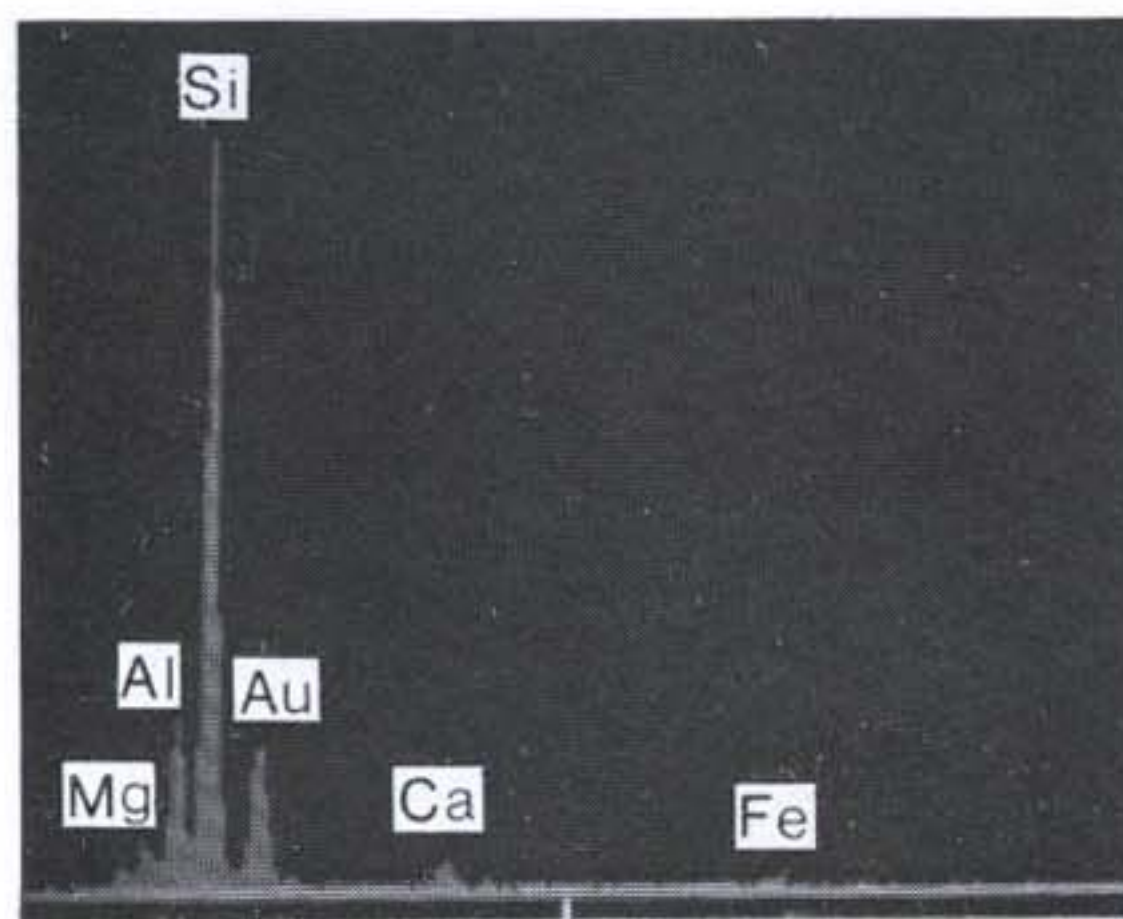


Figure 29. EDAX pattern of the Ca-montmorillonite in Figure 28.

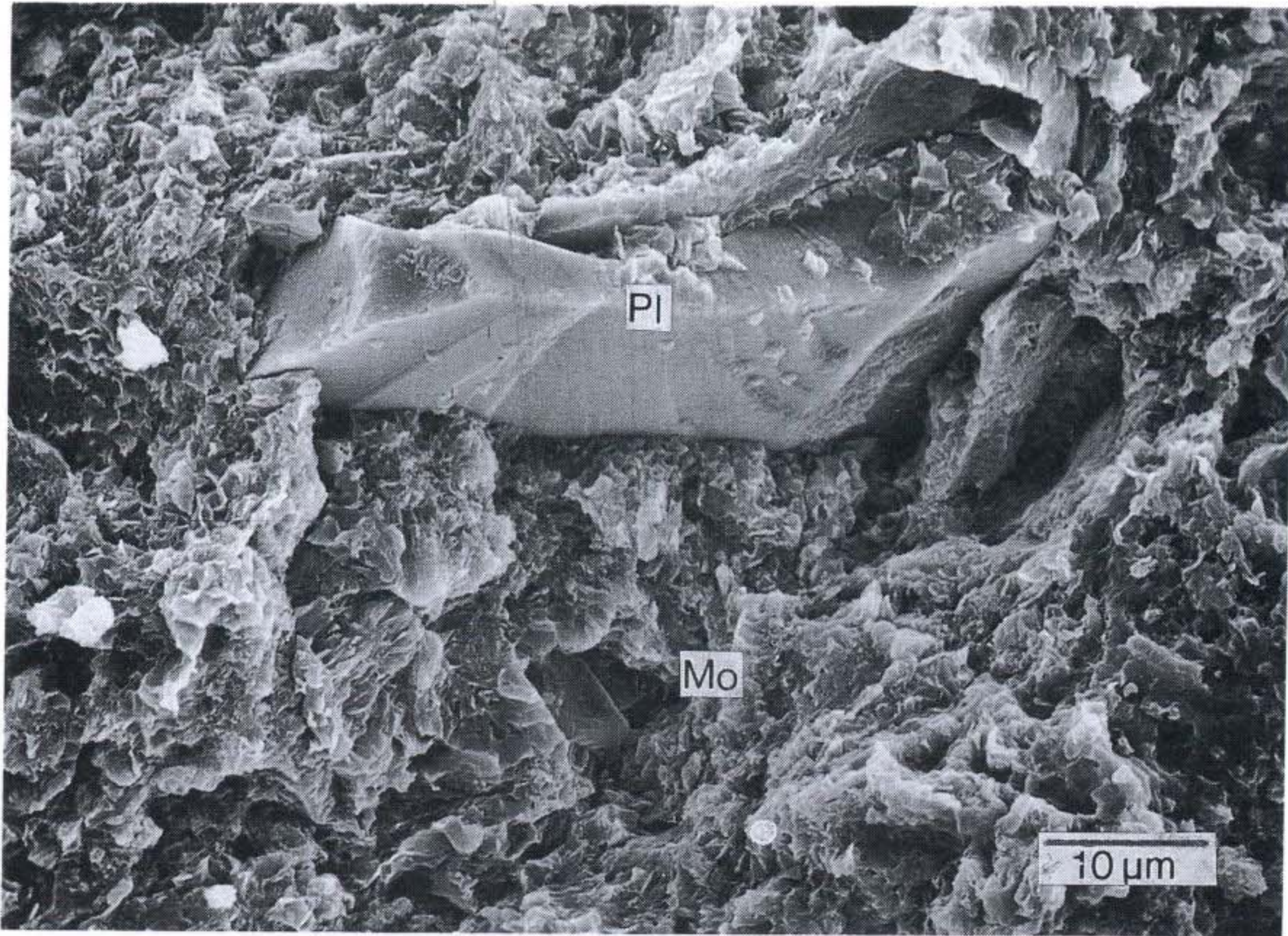


Figure 30. Scanning electron micrograph of sample No.5 showing plagioclase(Pl) and montmorillonite aggregates(Mo).

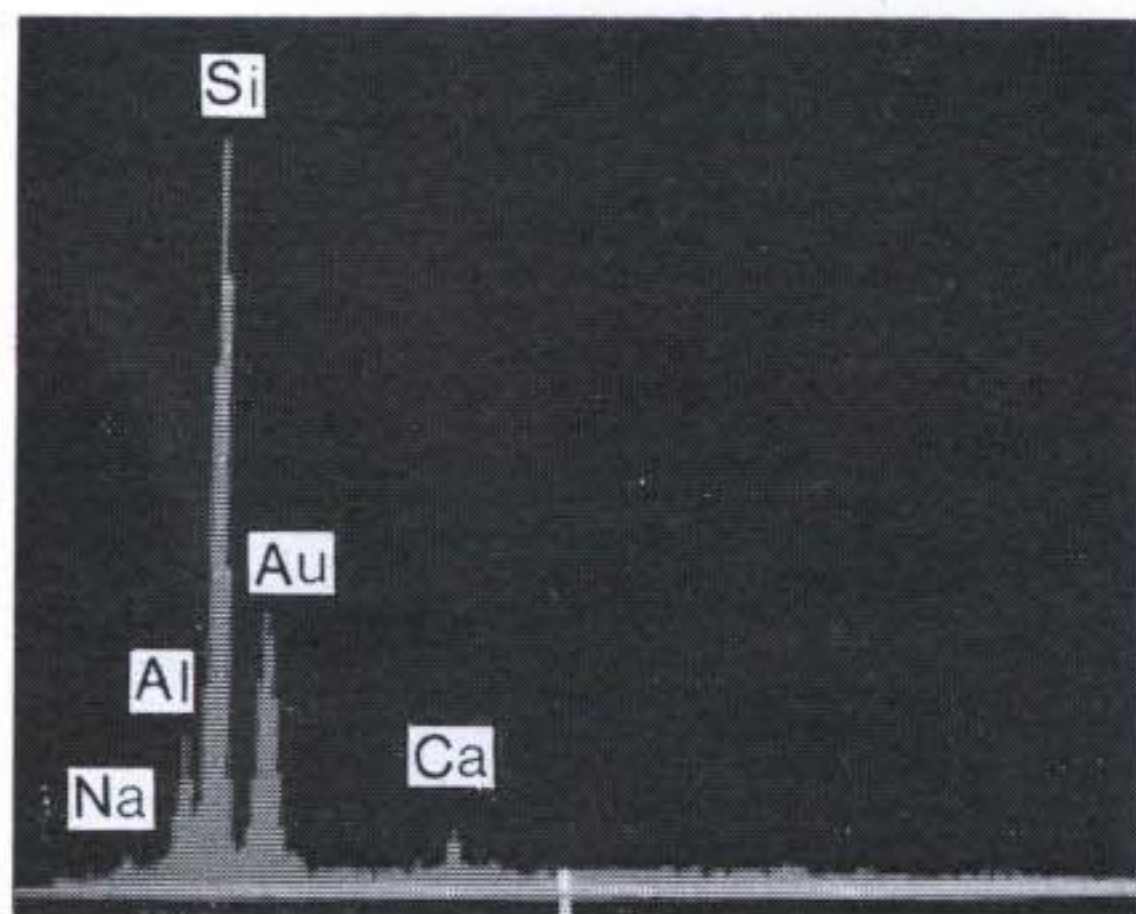


Figure 31. EDAX pattern of the plagioclase in Figure 30.

난 장석은 EDAX(Figure 31)에 의해 plagioclase로 규명되었다.

Figure 32는 시료번호 k-6 및 k-7의 X-ray 회절분석결과인데, k-7이 illite를 극소량 함유하고 있는 것 외에는 2개 시료가 모두 같은 광물, 즉 주 광물인 montmorillonite와 부 광물인 plagioclase 및 quartz로 구성되어 있다. Figure 33의 SEM에 나타난 montmorillonite는 EDAX(Figure 34)에 의해 Ca-montmorillonite로, Figure 35의 SEM에서 보는 montmorillonite도 EDAX(Figure 36)에 의해 역시 Ca-montmorillonite로 규명되었다.

Figure 37의 X-ray patterns는 시료번호 K-8과 K-9의 것으로서 이들의 광물 조성은 같다. 주 광물은 montmorillonite이며 부 광물은 plagioclase, quartz, opal-CT 및 illite이다.

◦ 화학적 특성

죽전리 일대의 bentonites(시료번호 K-8과 K-7, 인동리 공장의 분말시료 K-8과 K-9)의 pH와 C.E.C.는 각각 8.5 to 10.5와 63.7 to 84.8 meq/100gr이다 (Table 9). 본 bentonites에 대한 화학분석시험결과 (Table 10)에 의하면 화학 성분은 SiO₂와 Al₂O₃가 대부분으로 전자는 58.62 to 70.60%, 후자는 14.90 to 19.96%이다.

2-1-3 상라리 일대

◦ 물리적 특성

경북 경주군 양남면 상라리 산 250일대에 부존하는 bentonites는 황녹색 내지 회녹색을 띠고 있으며, 이 광장에서 채취한 시료(K-10 to K-12)는 79.6 to 84.9%의 액성한계와 42.6 to 57.9%의 소성한계를 갖고 있다. 이들의 free swell과 비중은 각각 70 to 110%와 2.19 to 2.26인 것으로 측정되었다(Table 8).



Figure 33. Scanning electron micrograph of sample No. K-6 showing subhedral montmorillonite aggregates.

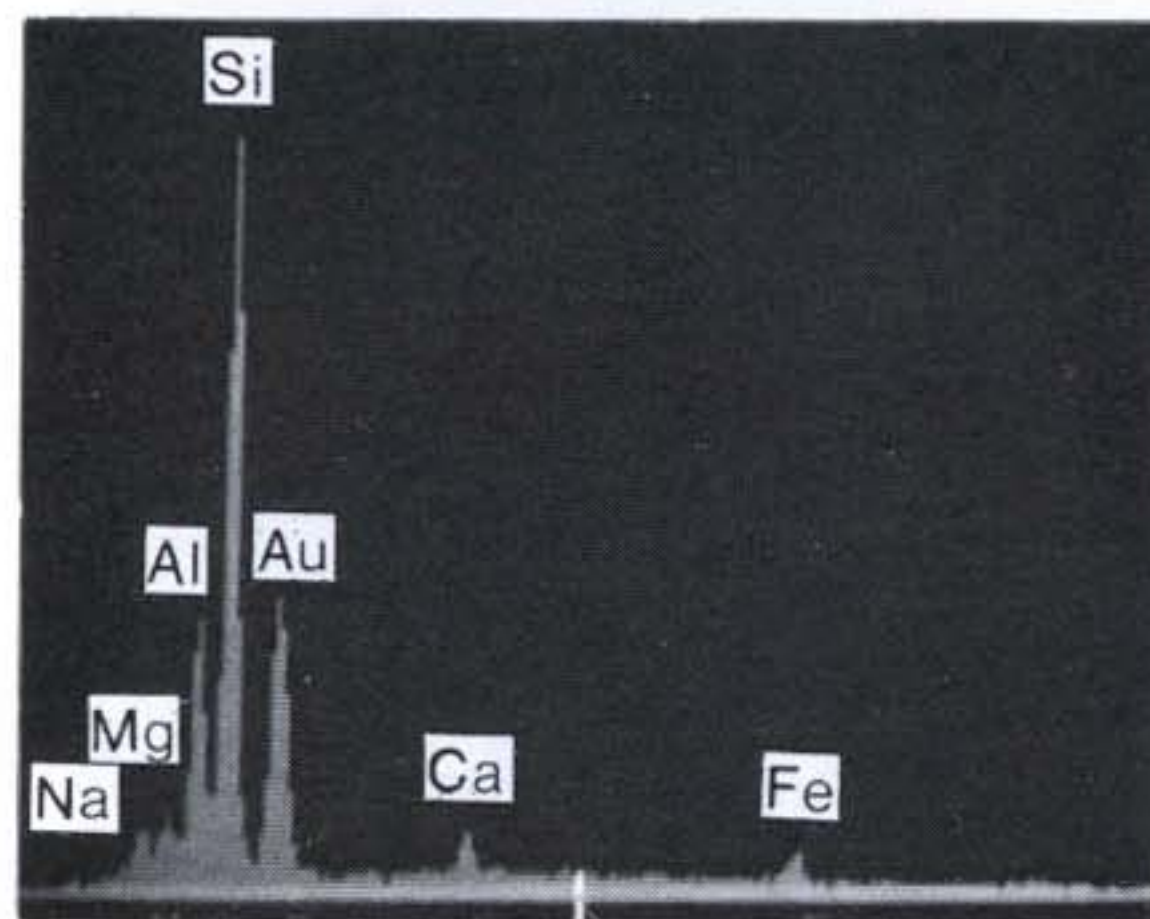


Figure 34. EDAX pattern of the Ca-montmorillonite in Figure 33.

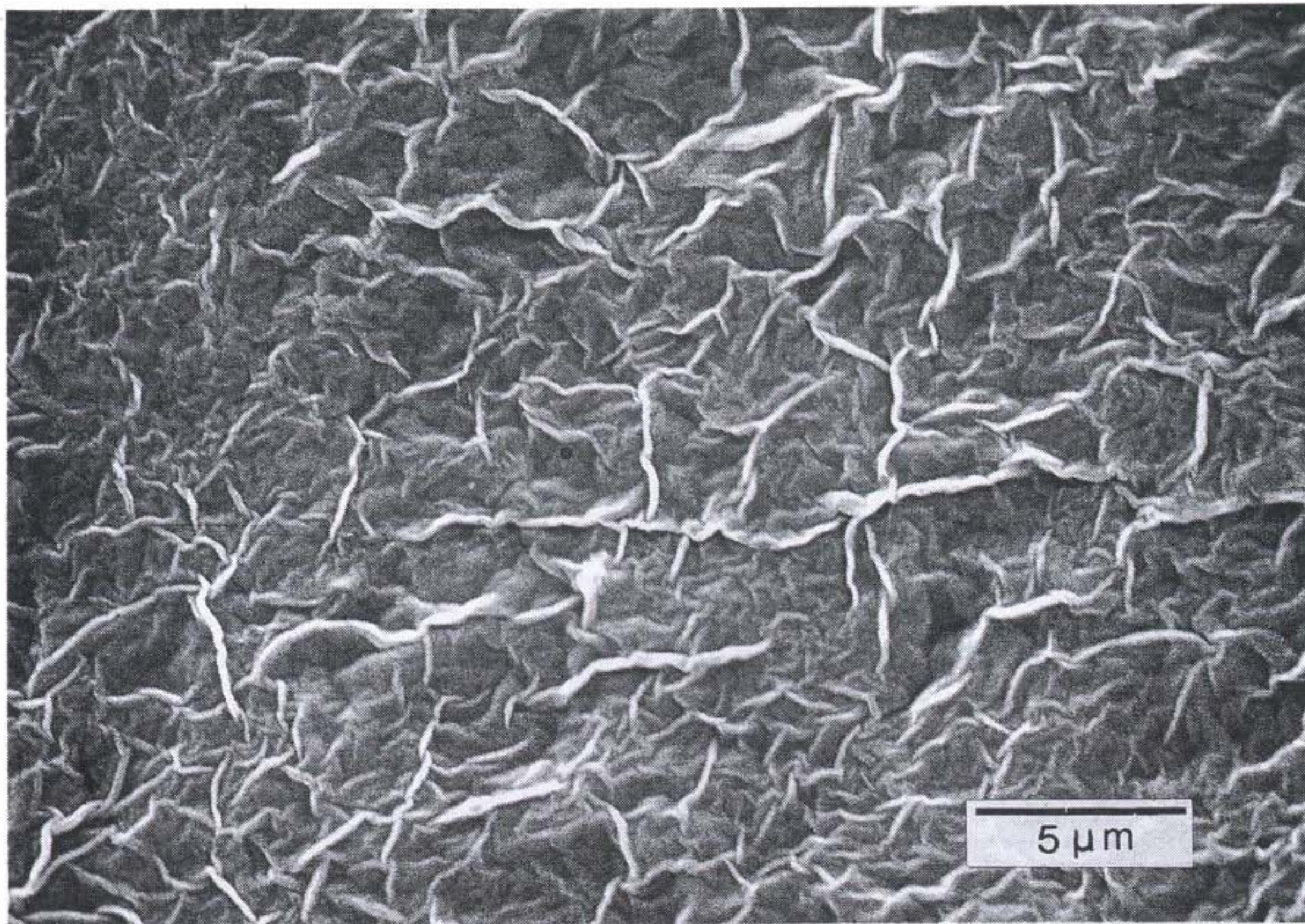


Figure 35. A typical montmorillonite texture, sample No. K-7.

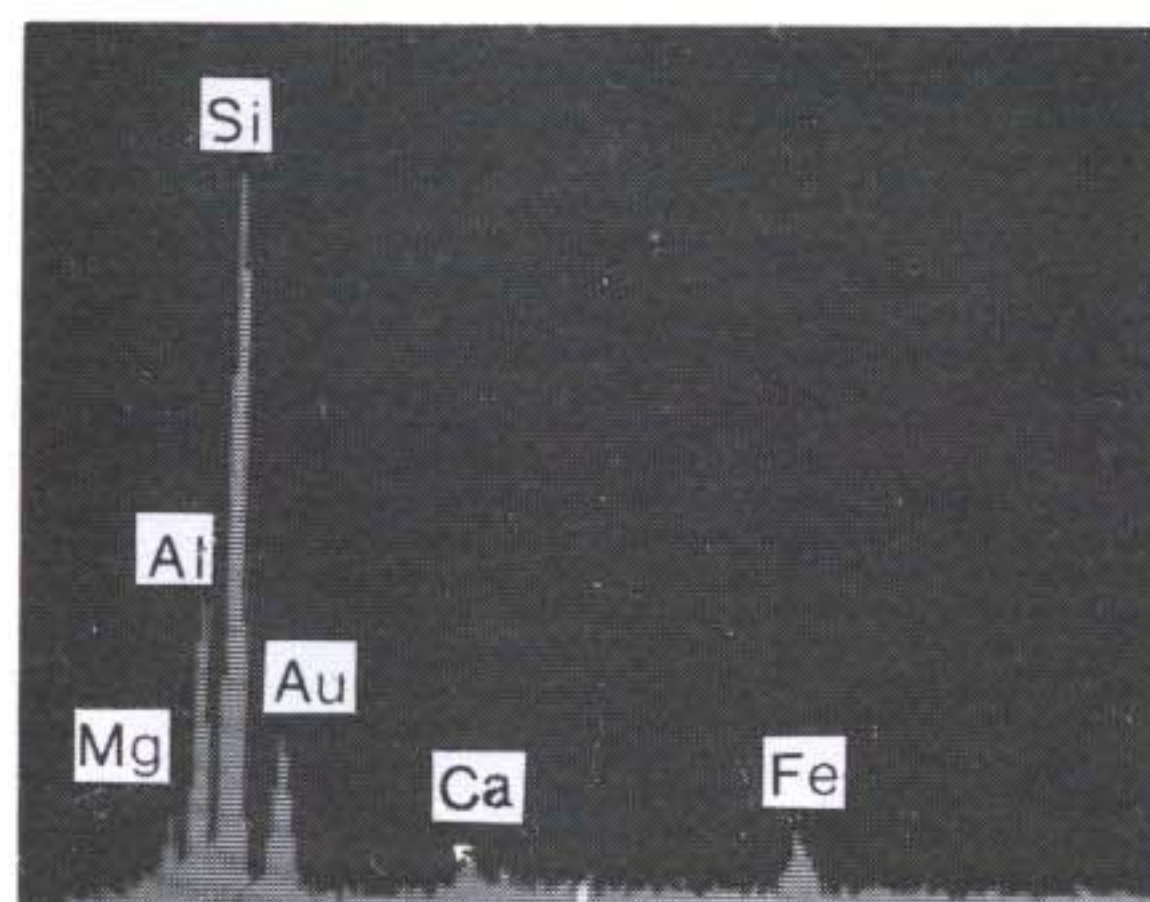


Figure 36. EDAX pattern of the Ca-montmorillonite in Figure 35.

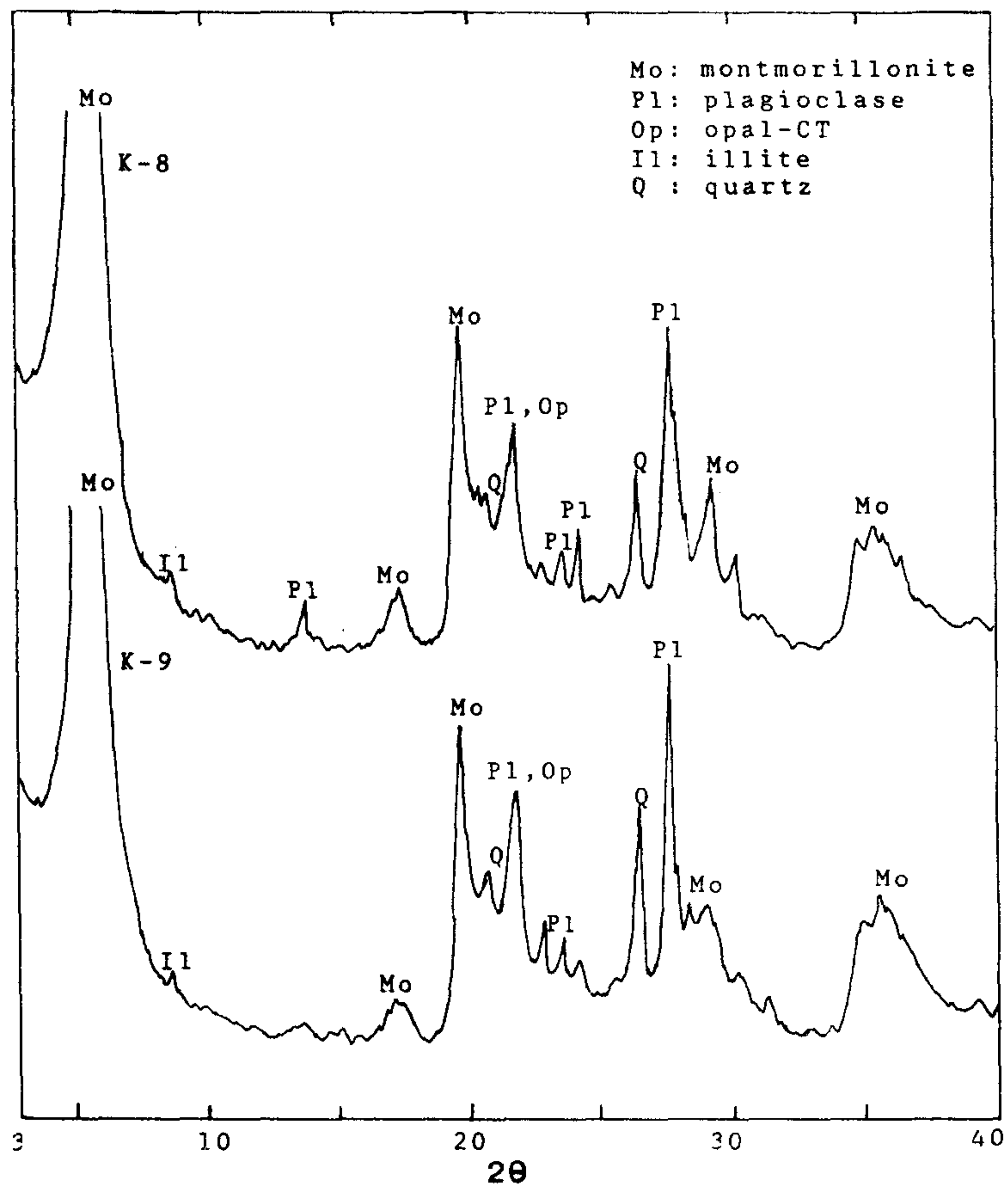


Figure 37. X-ray diffraction patterns for sample Nos. K-8 and K-9

○ 광물학적 특성

시료번호 K-10, K-11 및 K-12의 X-ray회절분석결과는 Figure 38에서 보는 바와 같다. 3개 시료가 공통으로 함유하고 있는 광물은 주 광물인 montmorillonite와 부 광물인 plagioclase이다. 이 광물외에 시료 K-10는 quartz를, 시료 K-12는 quartz와 mordenite를 부 광물로 소량 함유하고 있다.

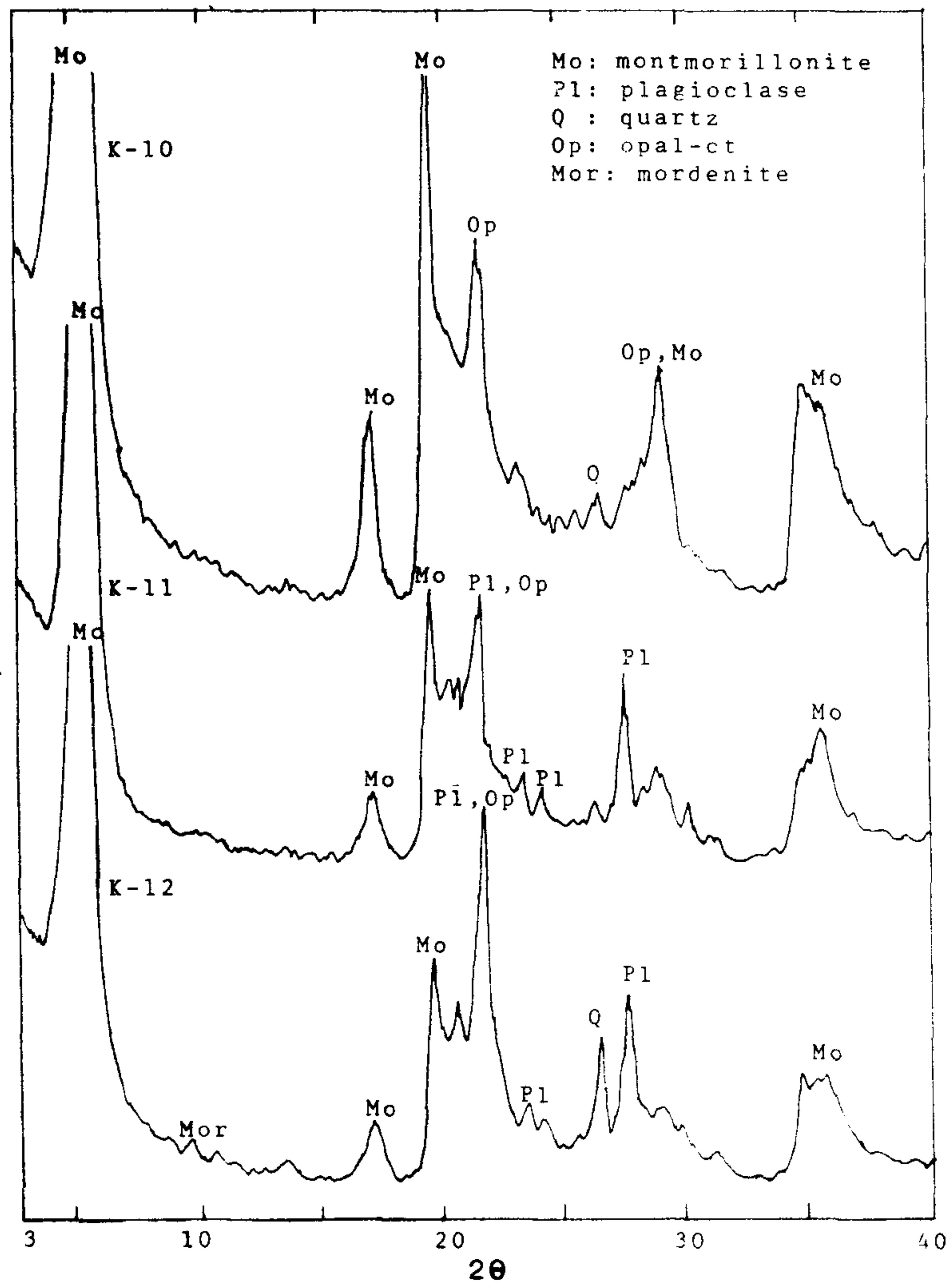


Figure 38. X-ray diffraction patterns for sample Nos. K-10, K-11 and K-12

Figure 39는 시료번호 K-10의 SEM인데, 본 사진에서 montmorillonite의 한 texture (subhedral lamellae)를 볼 수 있다.

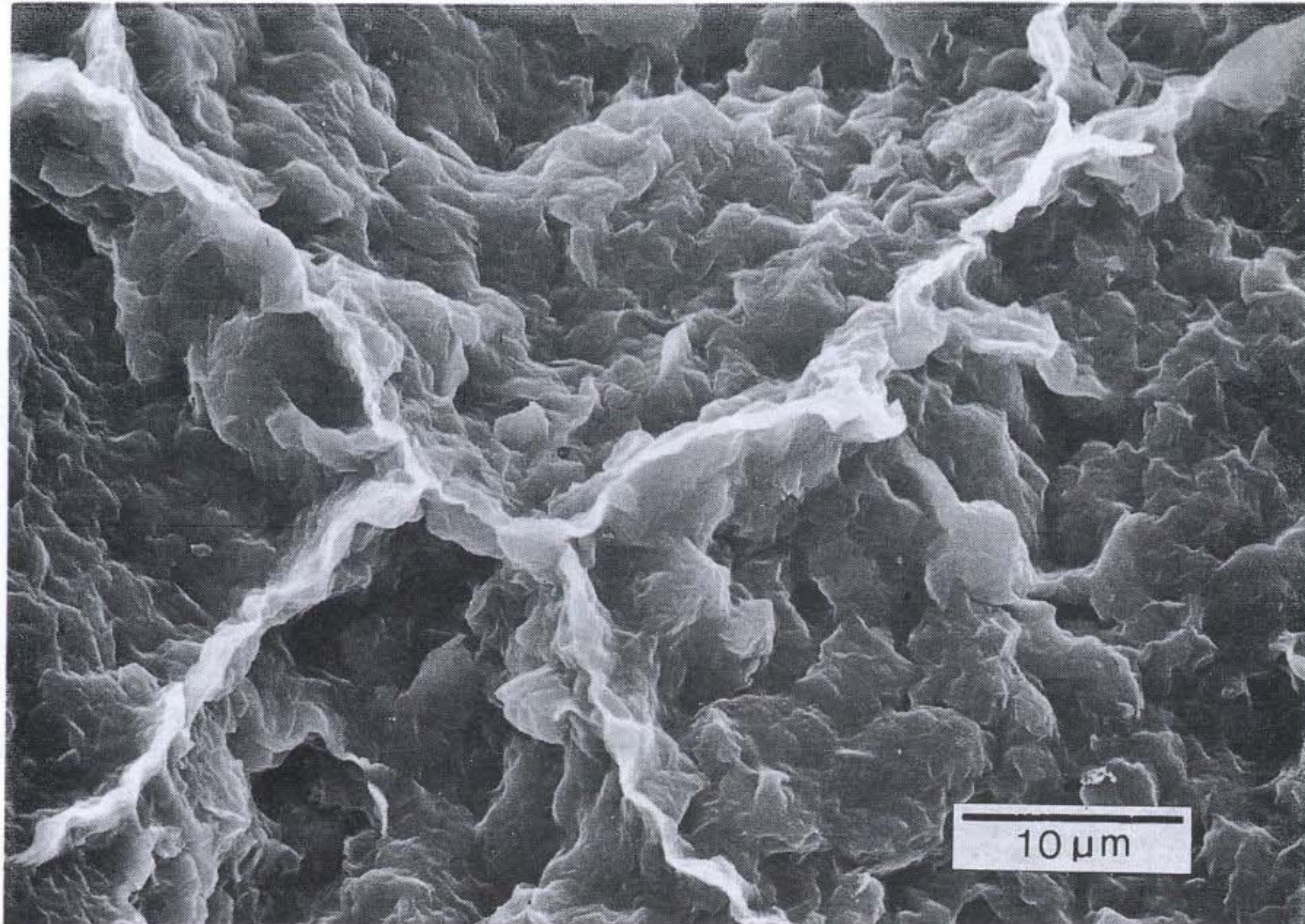


Figure 39. Scanning electron micrograph showing subhedral lamellae of montmorillonite, sample No. k-10.

시료번호 K-11의 SEM인 Figure 40은 montmorillonite의 한 대표적 texture를 보여 주고 있으며 EDAX(Figure 41)에 의해 본 광물은 Ca-montmorillonite이다.

Figure 42(시료번호 K-12의 SEM)는 장석과 montmorillonite를 보여 주는데, 본 장석은 EDAX(Figure 43)에 의해 plagioclase로 밝혀졌다. Figure 44는 Figure 42의 montmorillonite를 확대한 SEM이며 EDAX(Figure 45)에 의하면 본 montmorillonite도 Ca-montmorillonite이다.

◦ 화학적 특성

Figure 9에서 보는 바와 같이 상라리 일대에서 채취한 bentonites(시료번호 K-10 to K-12)의 pH와 C.E.C.는 각각 8.5 to 8.7과 59.6 to 86.1 meq/100gr이

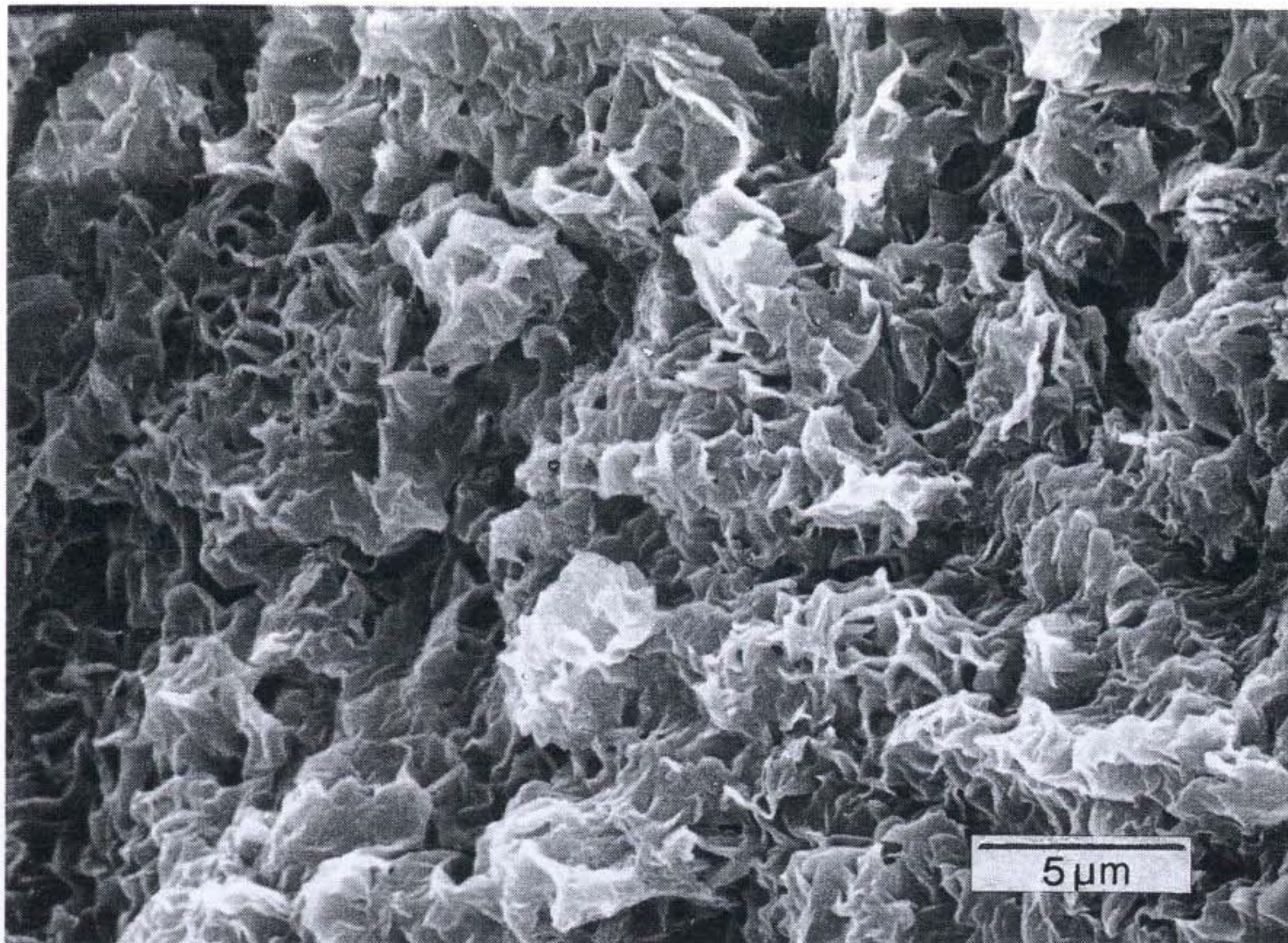


Figure 40. Scanning electron micrograph showing monomineral montmorillonite, sample No.K-11.

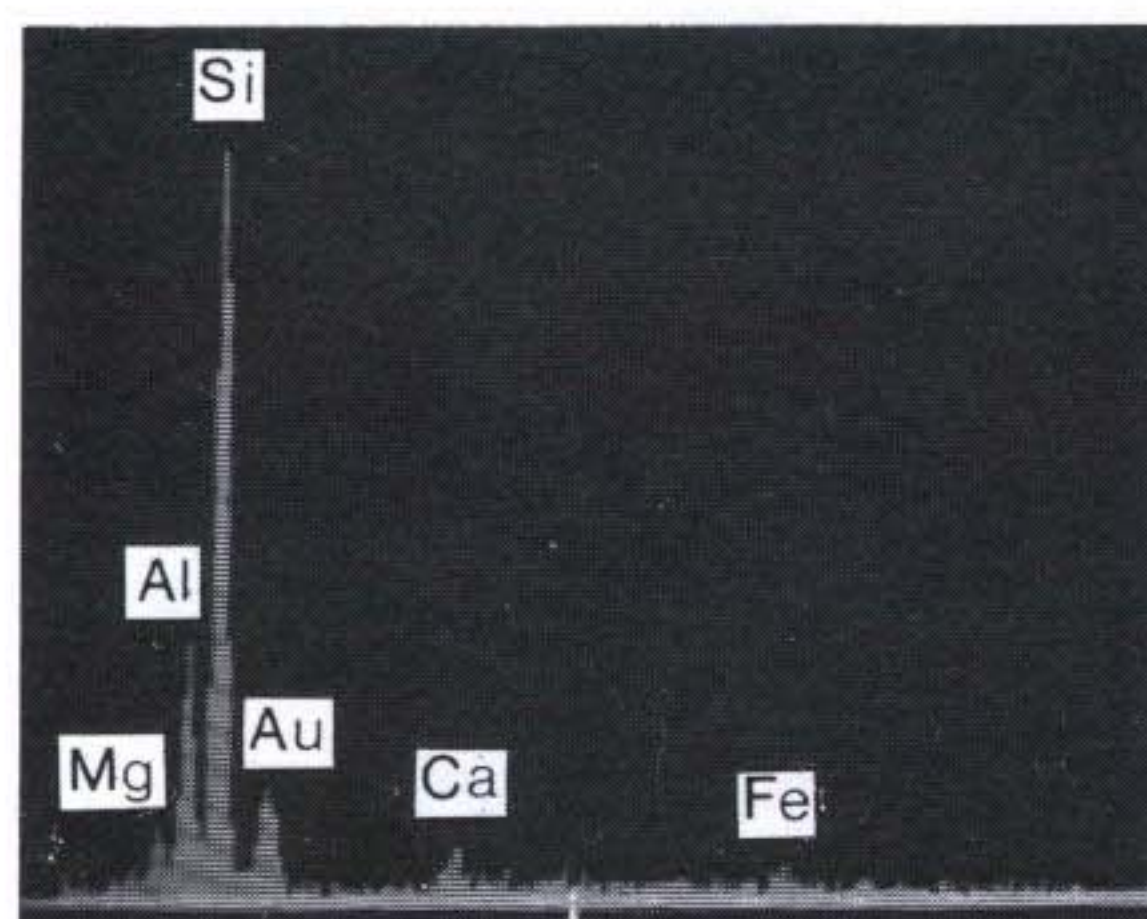


Figure 41. EDAX pattern of the Ca-montmorillonite in Figure 40.

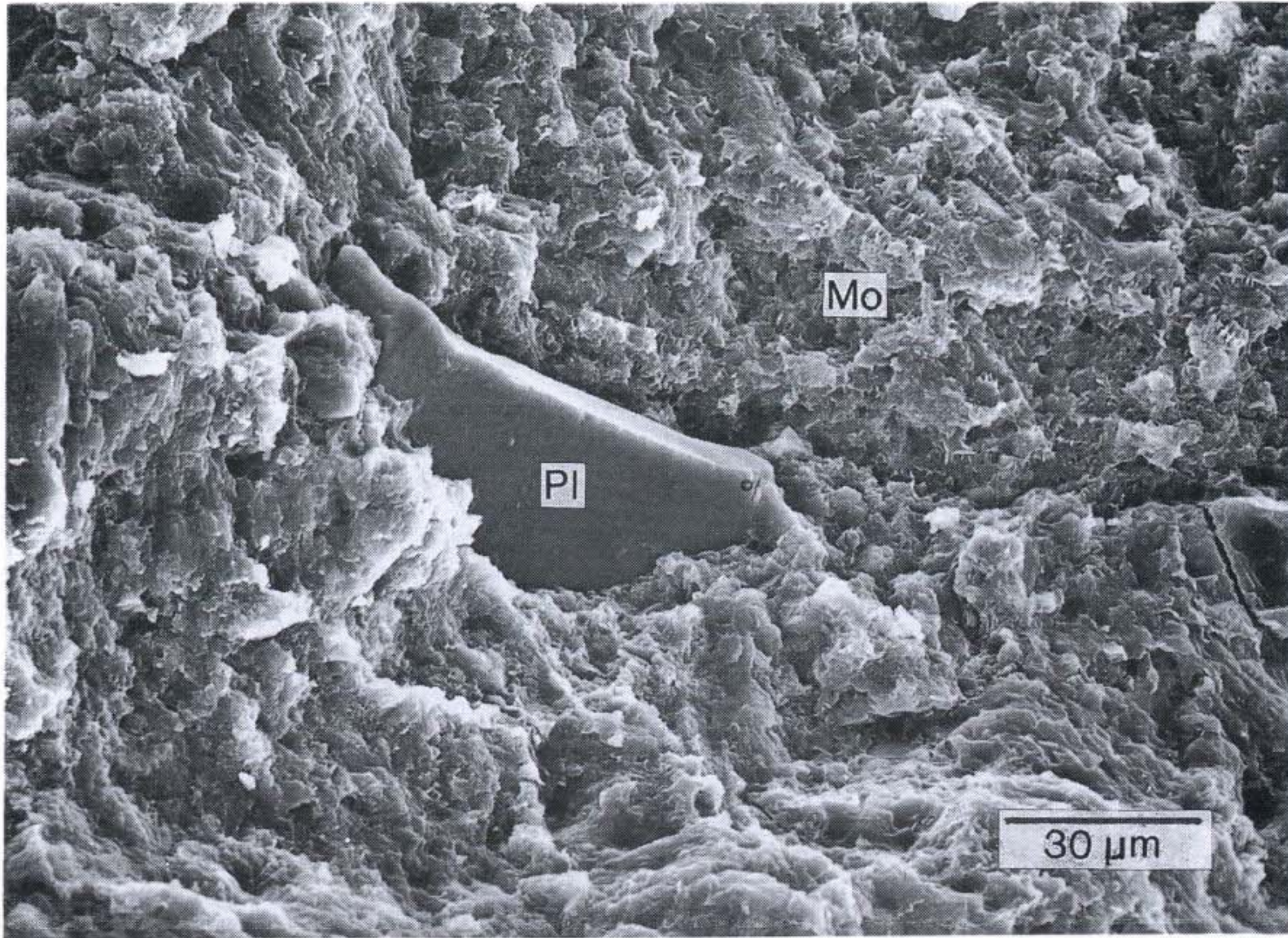


Figure 42. Scanning electron micrograph showing plagioclase(Pl) and montmorillonite aggregates, sample No. K-12.

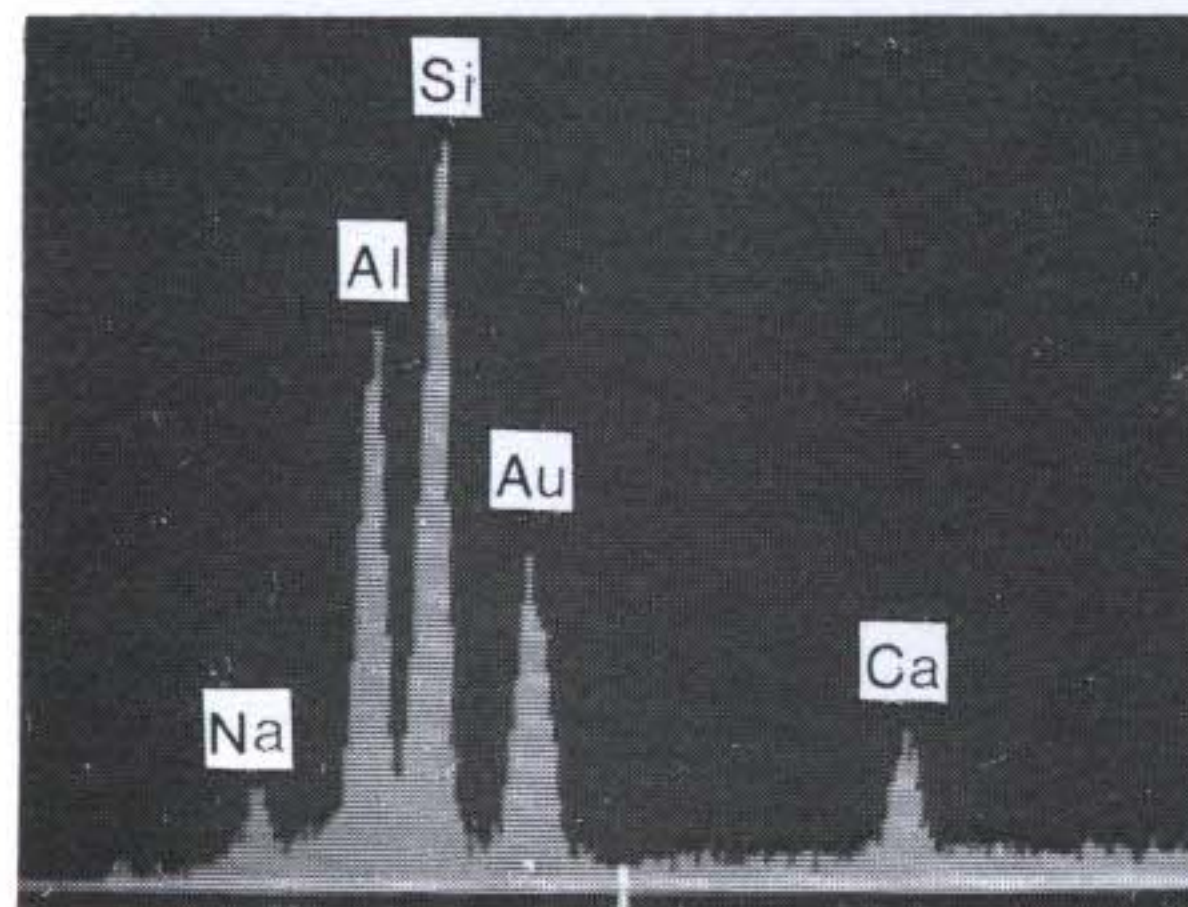


Figure 43. EDAX pattern of the plagioclase in Figure 42.

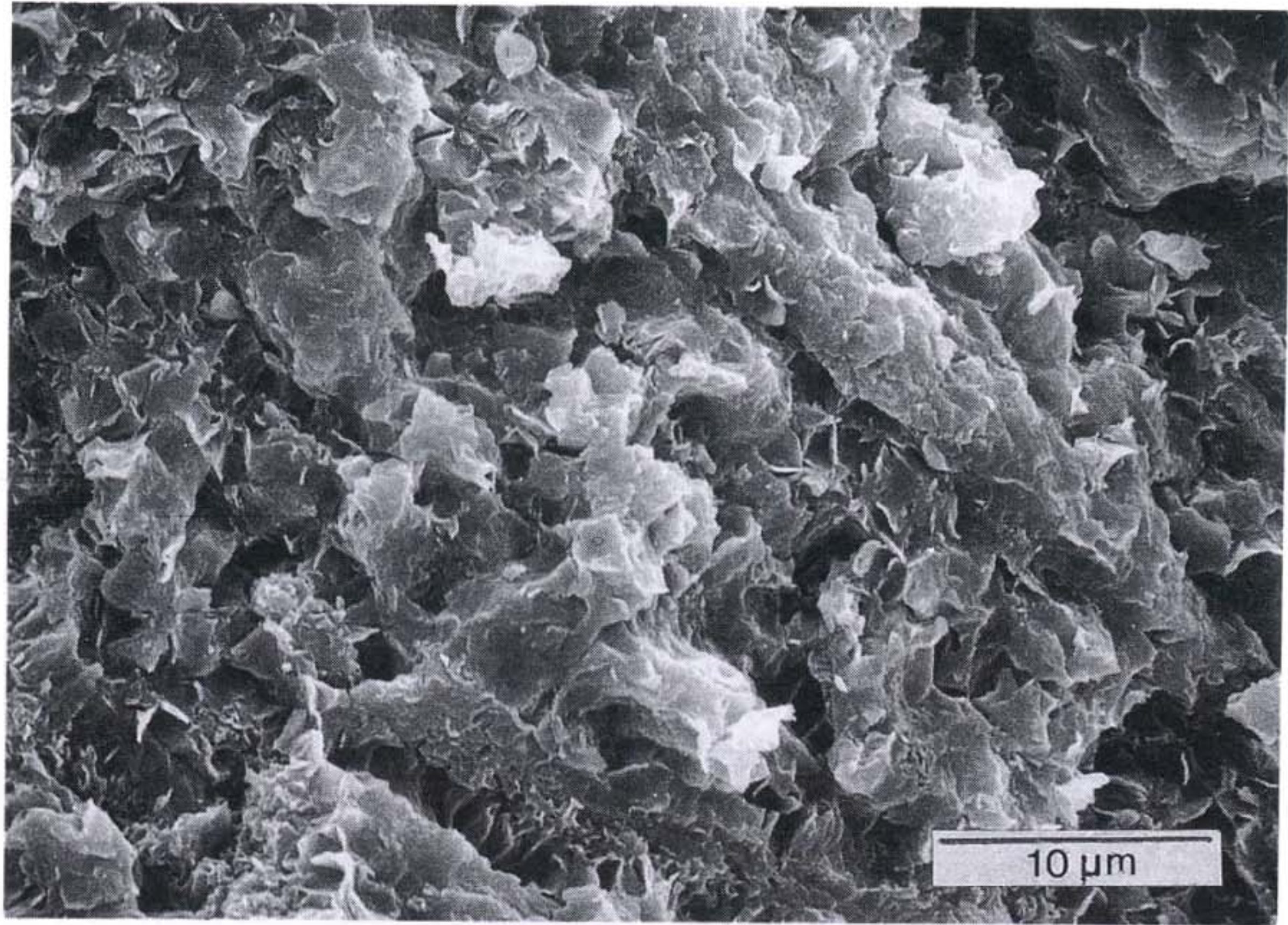


Figure 44. Scanning electron micrograph of the montmorillonite in Figure 42.

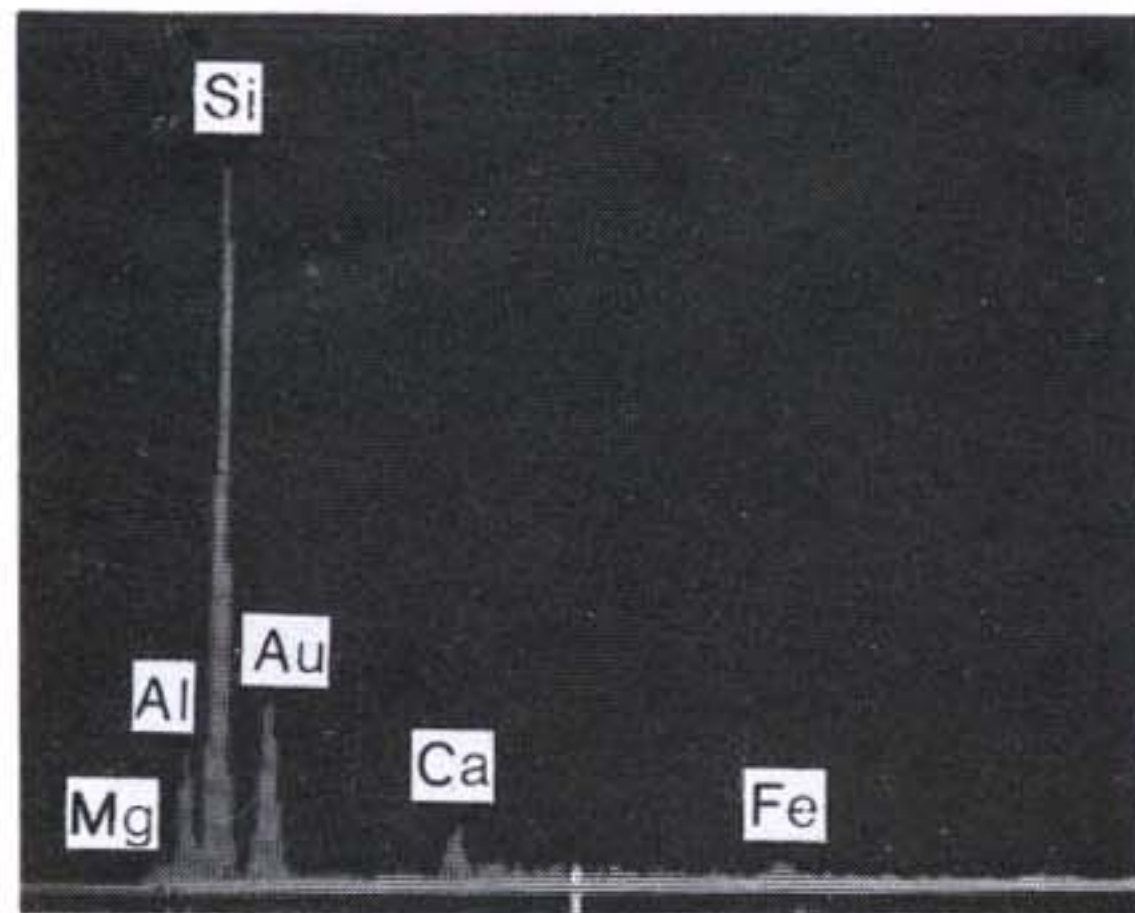


Figure 45. EDAX pattern of the Ca-montmorillonite in Figure 44.

며 화학성분은 SiO_2 가 62.16 to 68.40%, Al_2O_3 가 16.24 to 20.27%로 분석되었다.

2-1-4 효동리 일대

◦ 물리적 특성

K-13, K-14 및 K-15 시료는 양남면 효동리 산 194에서 채취한 bentonites로서 이들의 빛깔은 각각 회녹색, 황녹색 및 갈적색이다. 본 bentonites의 액성한계와 소성한계는 각각 85.4 to 93.8% 및 41.7 to 48.6%이며 free swell값은 150 to 165%이다. 비중은 2.10 to 2.47인 것으로 측정되었다.

◦ 광물학적 특성

Figure 46는 시료번호 K-13, K-14 및 K-15의 X-ray회절분석의 결과인데, 3개 시료 모두 montmorillonite를 주 광물과 함유하고 있으며 부 광물로서 plagioclase를 부 광물로 함유하고 있다. K-14와 K-15는 muscovite를 소량 함유하고 있다. Figure 47는 시료번호 K-13의 SEM으로서 본 사진이 보여주는 광물은 montmorillonite이며, 이 점토광물은 EDAX(Figure 48)에 의해 Ca-montmorillonite로 확인되었다.

Figure 49는 시료번호 K-14의 SEM인데, 본 사진은 장석과 montmorillonite로 이루어져 있다. EDAX(Figure 50)에 의해 본 장석은 plagioclase로 밝혀졌다. Figure 51는 시료번호 K-15의 SEM인데, 본 사진은 muscovite와 montmorillonite로 이루어져 있다. 본 muscovite는 EDAX(Figure 52)에 의해 확인되었다. Figure 53는 경주군 일대의 montmorillonite 중 대표적 하나로 이 사진에서 montmorillonite는 foliated aggregates로 발달되어 있음을 알 수 있다.

◦ 화학적 특성

3개 시료 (K-13, K-14 및 K-15)에 대한 pH와 C.E.C.는 Table 9에서 보는 바와 같이 각각 8.1 to 8.4와 93.0 to 96.8 meq/100gr이며 이들 시료의 주 화학

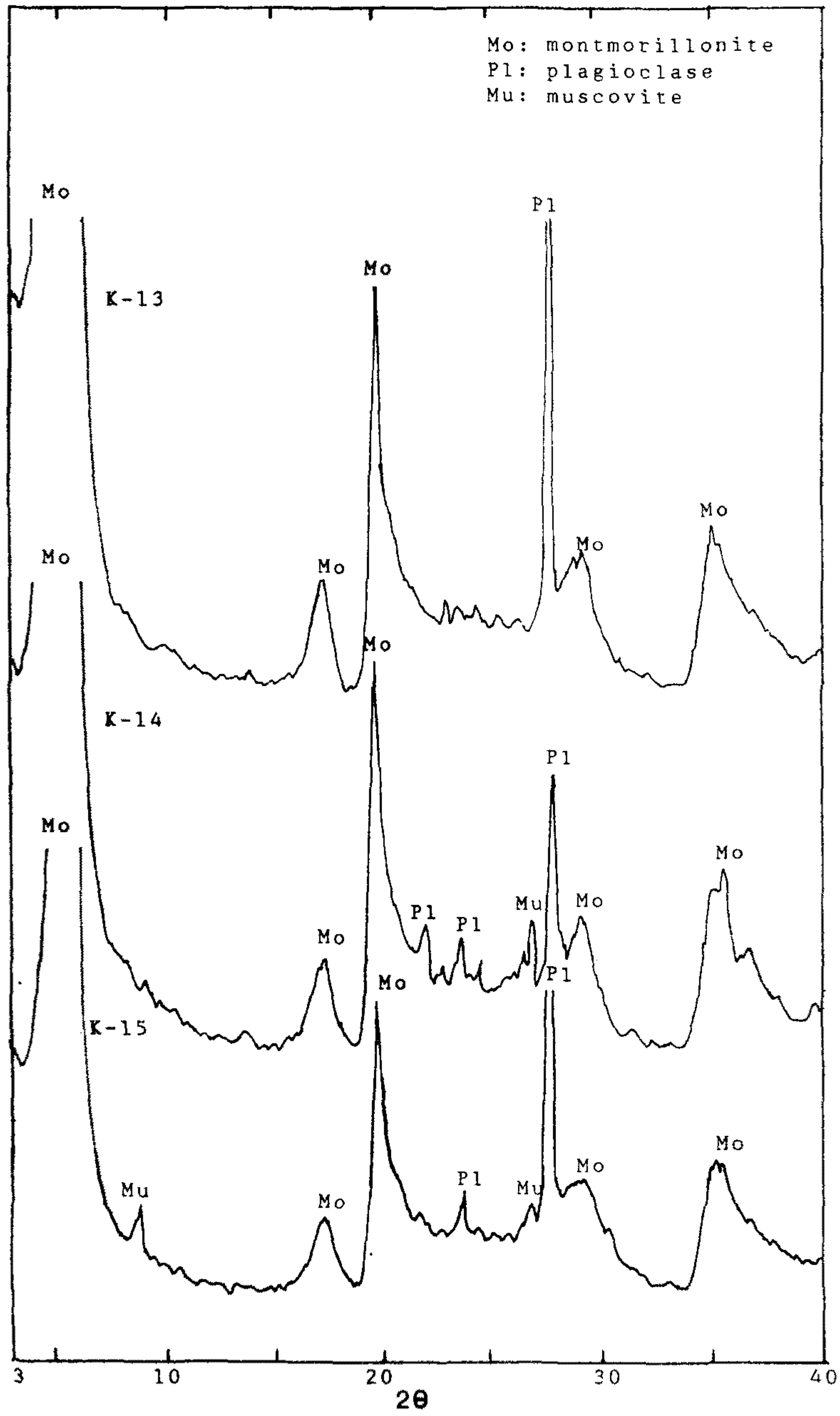


Figure 46. X-ray diffraction patterns for sample Nos. K-13, K-14 and K-15

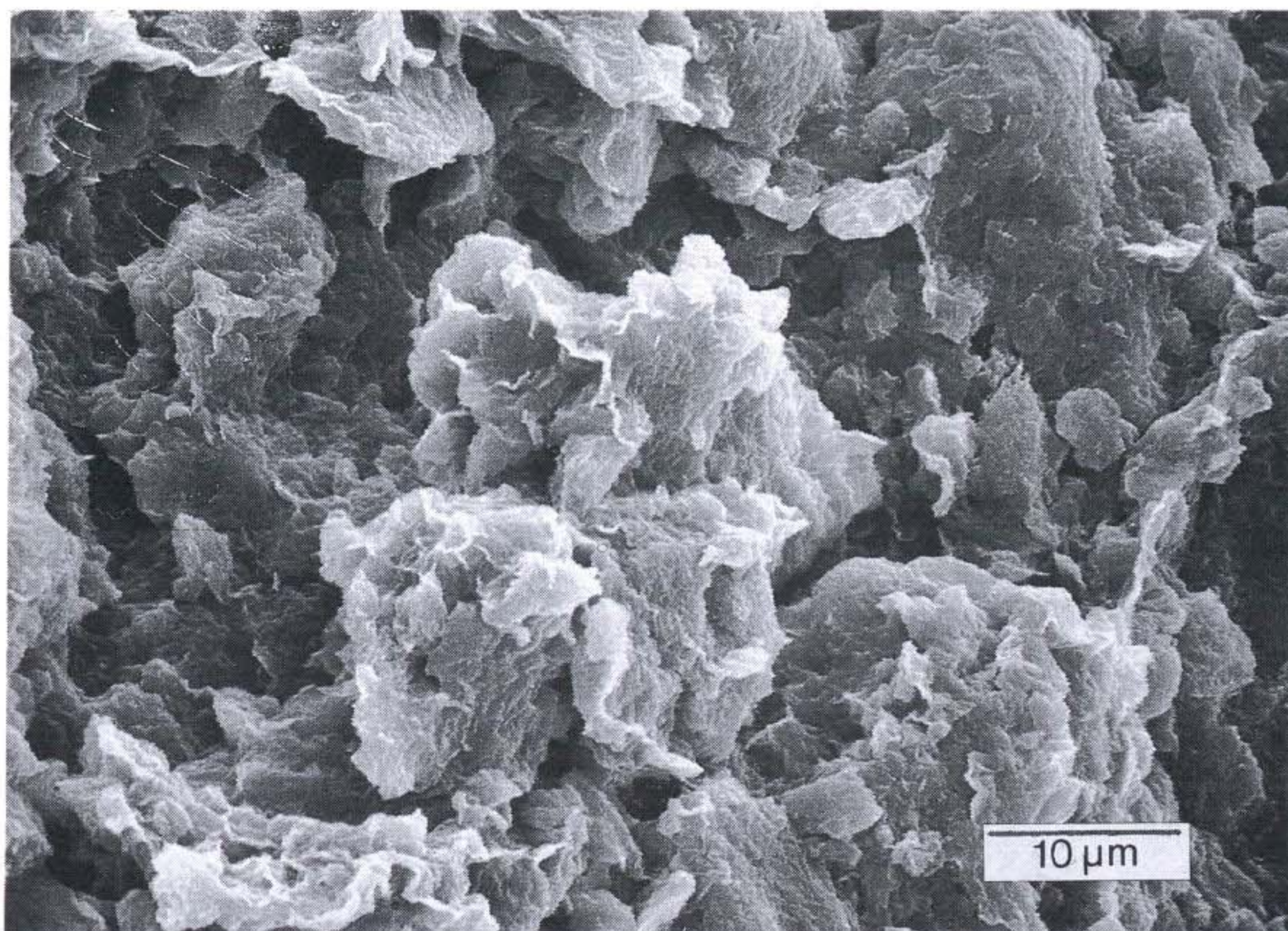


Figure 47. Scanning electron micrograph showing montmorillonite aggregates, sample No. K-13.

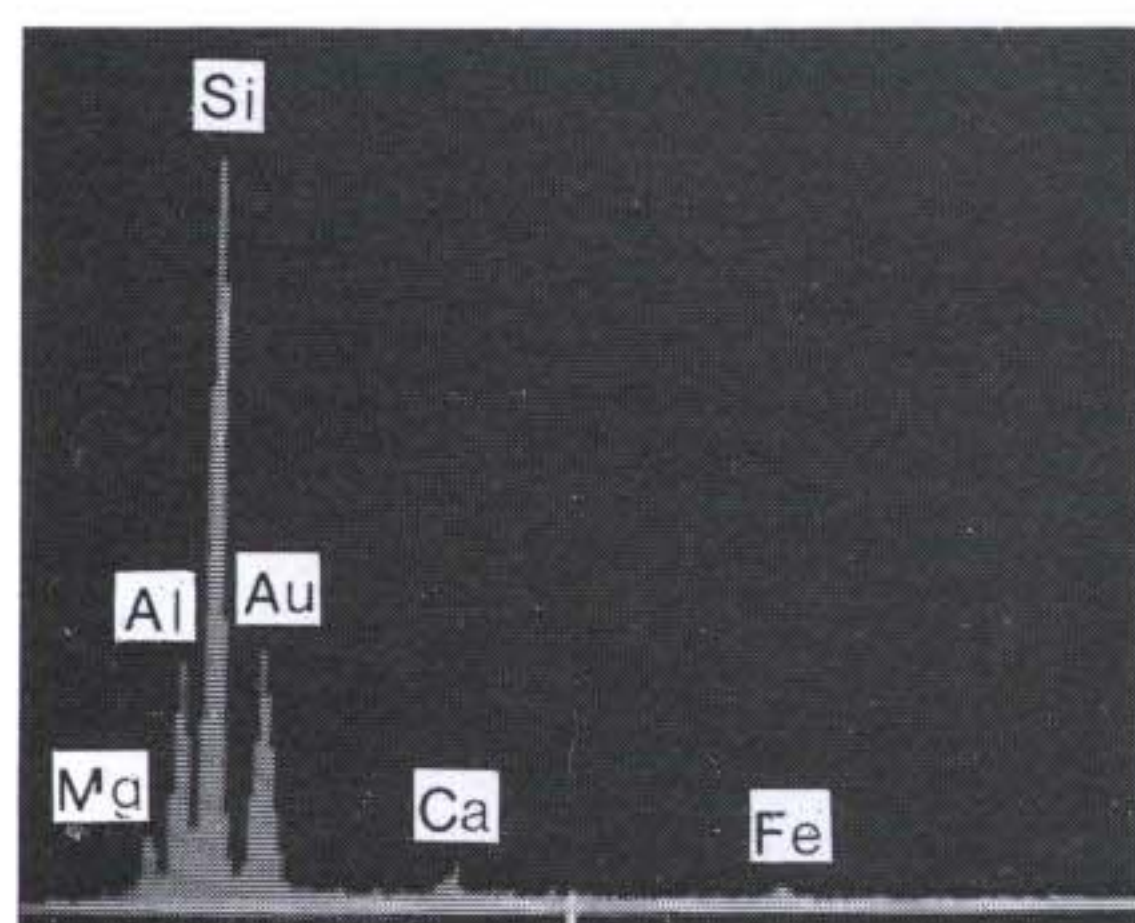


Figure 48. EDAX pattern of the Ca-montmorillonite in Figure 47.

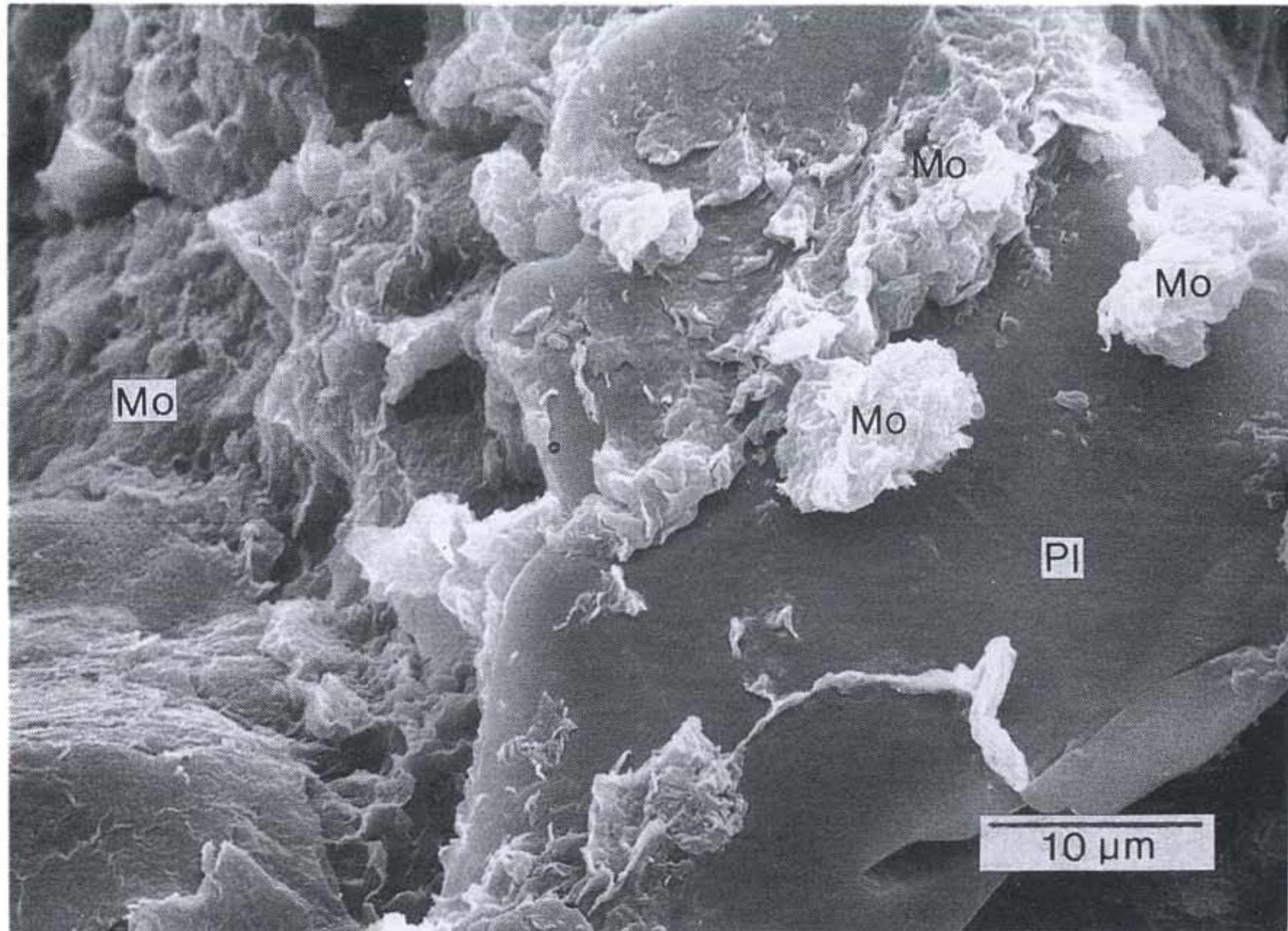


Figure 49. Montmotillonite flakes(Mo) perched on a grain of plagioclase (Pl), sample No. K-14.

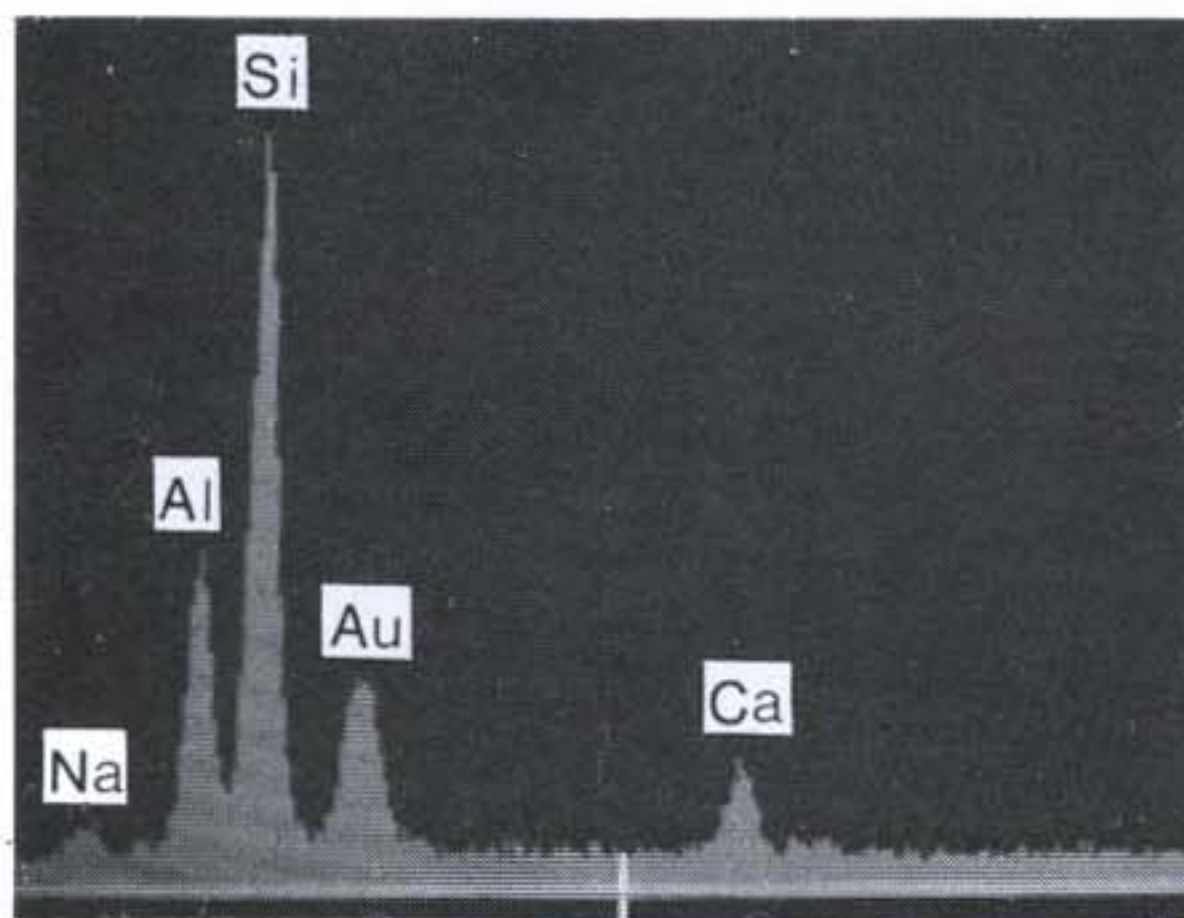


Figure 50. EDAX pattern of the plagioclase in Figure 49.

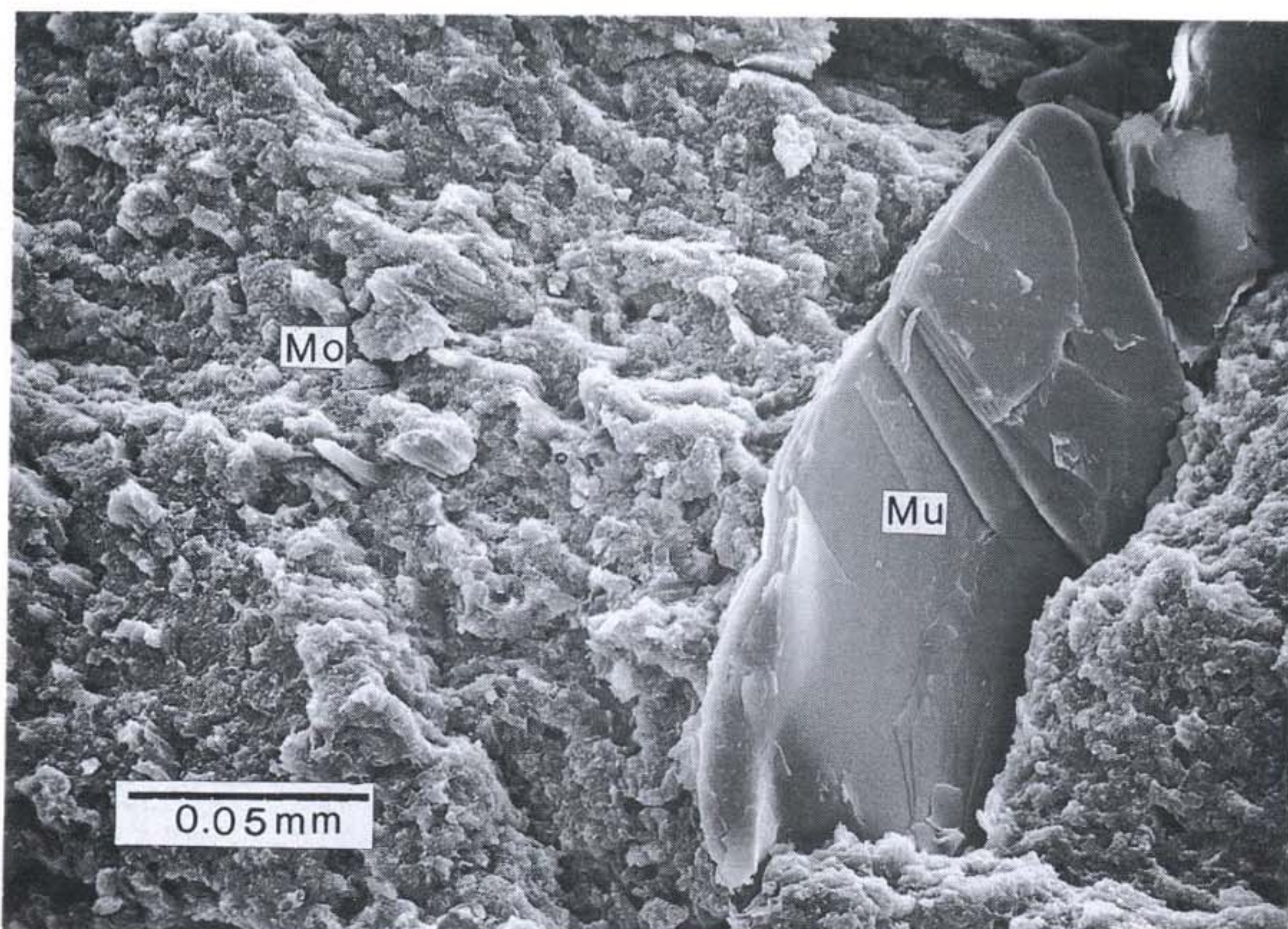


Figure 51. Scanning electron micrograph showing a flake of muscovite(Mu) and montmorillonite aggregates(Mo), sample No. K-15.

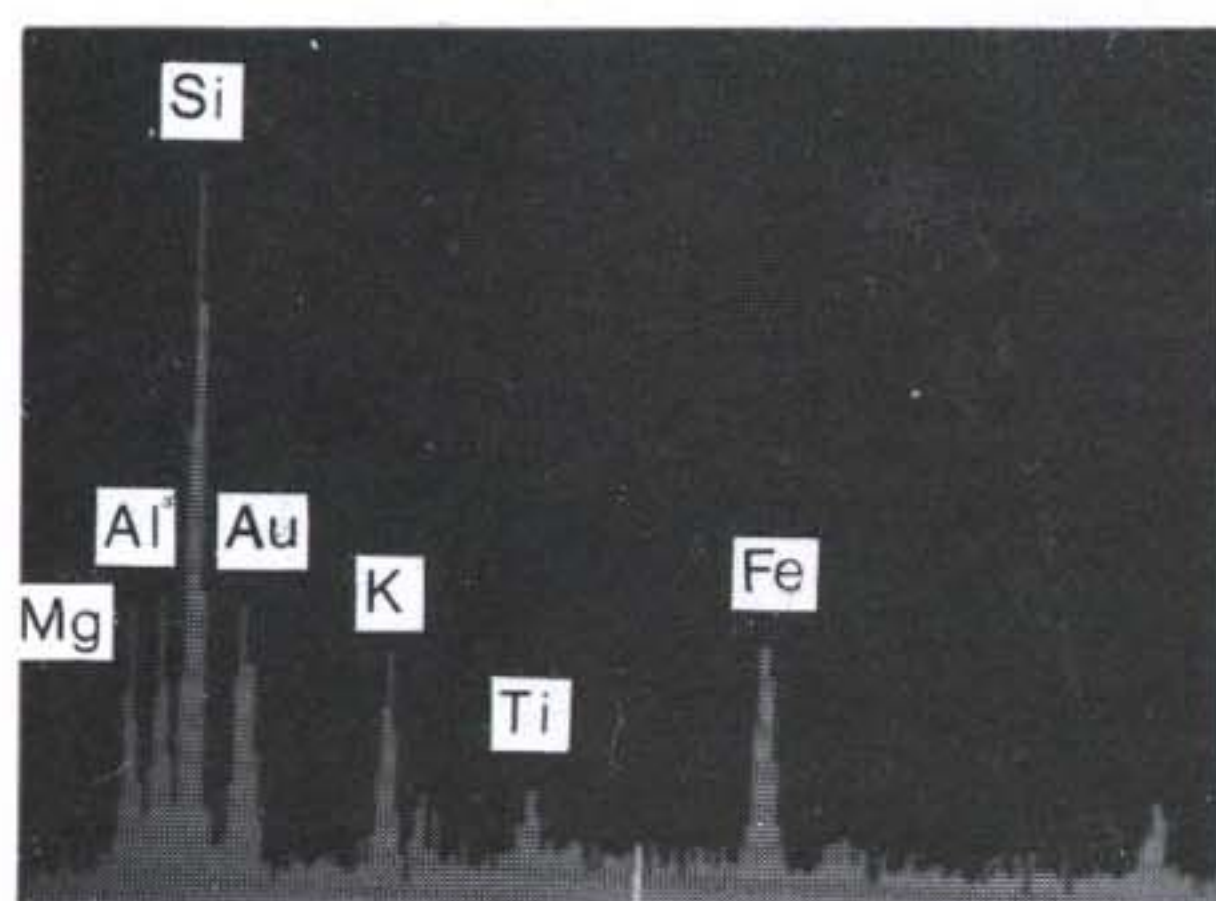


Figure 52. EDAX pattern of the muscovite in Figure 51.

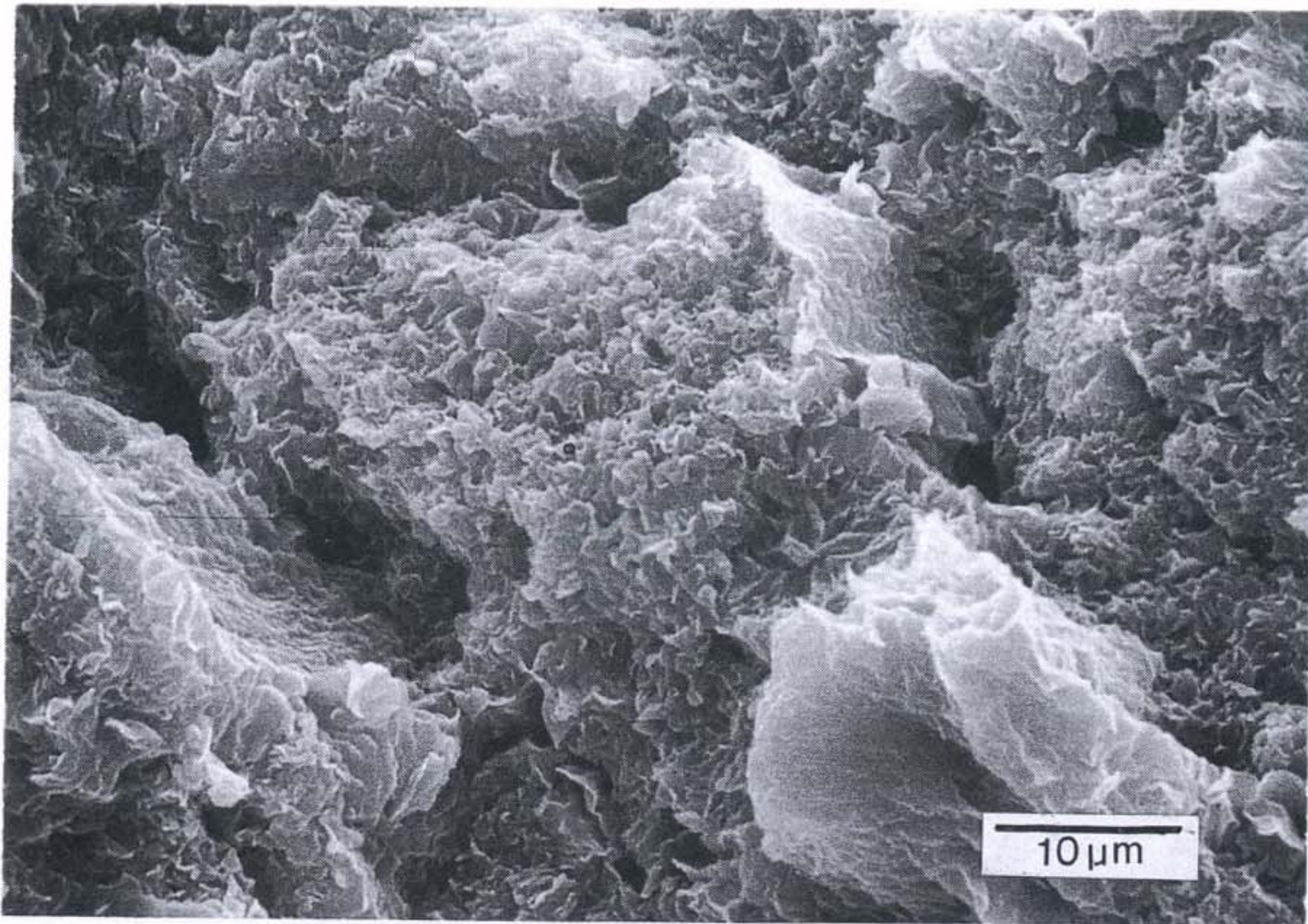


Figure 53. Scanning electron micrograph showing foliated aggregates of montmorillonite, sample No. K-15.

성분인 SiO_2 와 Al_2O_3 는 Table 10에서 보는 바와 같이 각각 55.48 to 58.26%와 20.27 to 20.48%로서 3개 시료가 거의 비슷한 조성비를 갖고 있다.

2-1-5 서동리 일대

◦ 물리적 특성

황녹색을 띠고 있는 서동리 bentonite(K-16)는 113.5%의 액성한계와 46.2%의 소성한계를 갖고 있다. Free swell값과 비중치는 각각 120% 및 2.15인 것으로 측정되었다.

◦ 광물학적 특성

서동리 bentonite(K-16)의 X-ray diffraction patterns(Figure 54)에 의하면 본 bentonite를 구성하고 있는 광물은 주 광물인 montmorillonite를 위시하여 부 광물인 plagioclase, cristobalite, quartz 및 mordenite이다.

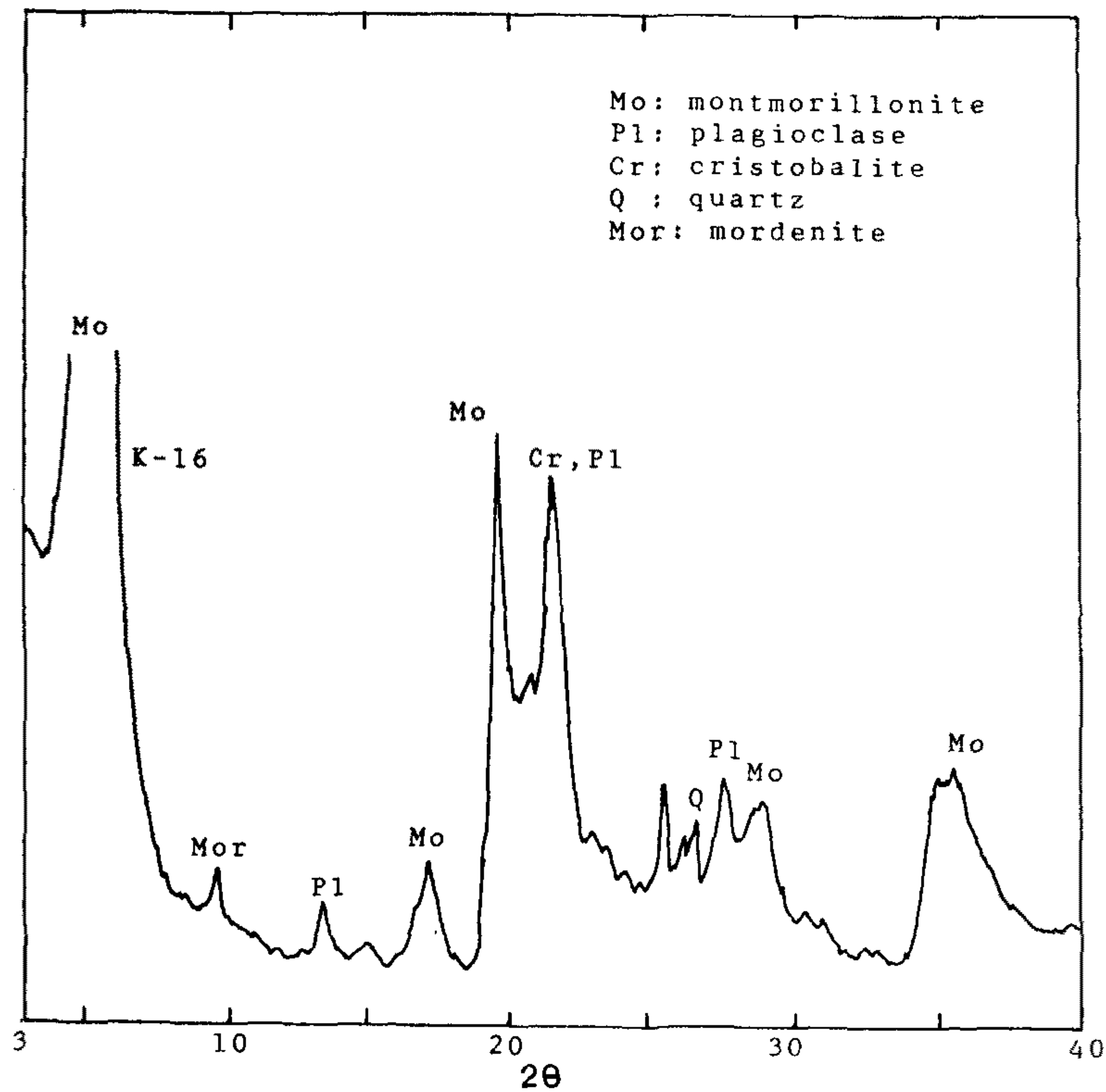


Figure 54. X-ray diffraction pattern for sample No. K-16.

Figure 55는 특수한 조직을 갖고 있는 montmorillonite의 SEM인데, Figure 56의 EDAX에서 보는 것처럼 본 montmorillonite는 Ca-montmorillonite임을 알았다. Figure 57도 역시 서동리 시료(K-16)의 SEM인데, 이 사진은 montmorillonite와 mordenite fibers로 이루어져 있다. 본 mordenite는 EDAX(Figure 58)에 의해 확인되었다.

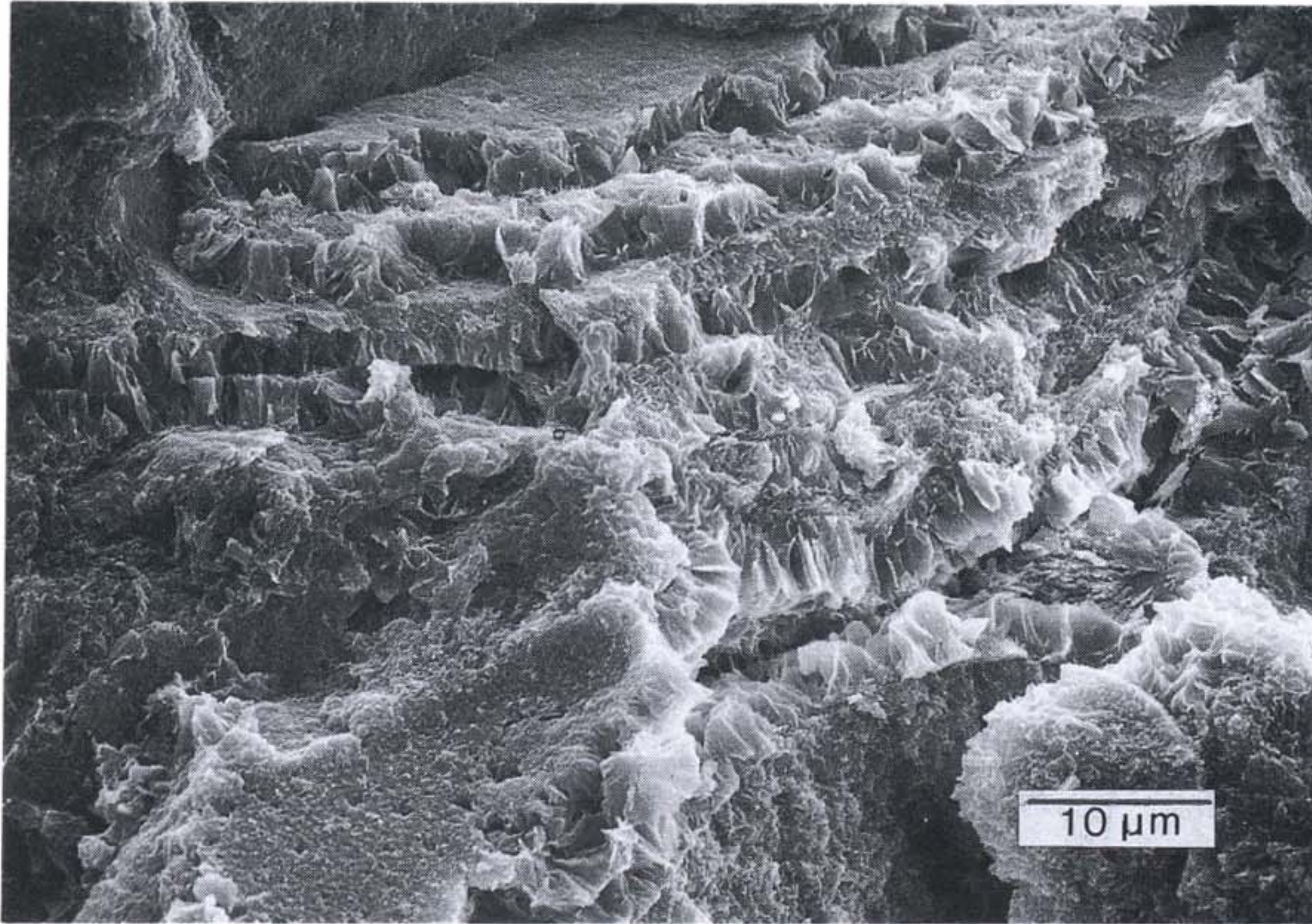


Figure 55. Scanning electron micrograph showing steps of montmorillonite aggregates, sample No. K-16.

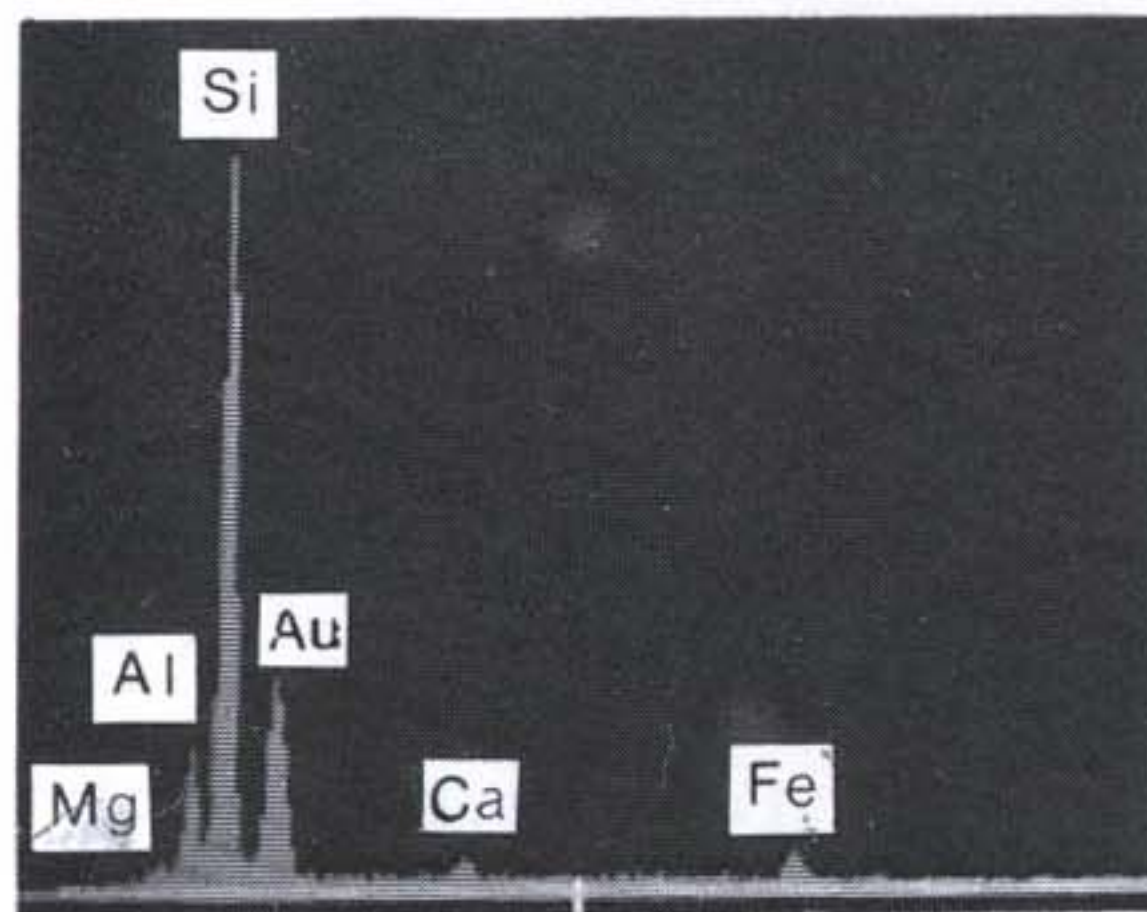


Figure 56. EDAX pattern of the Ca-montmorillonite in Figure 55.

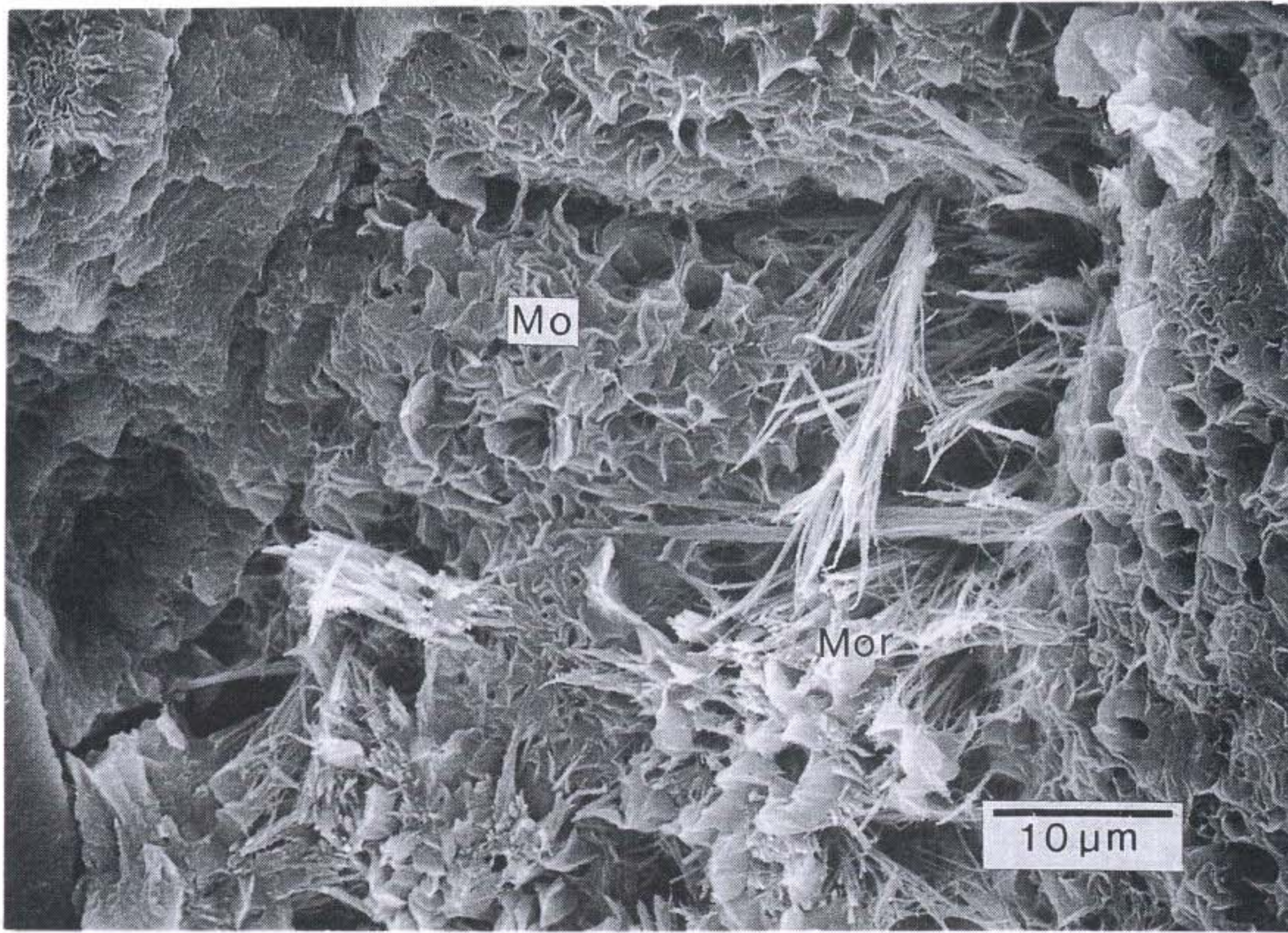


Figure 57. Scanning electron micrograph showing mordenite fibers and montmorillonite aggregates, sample No. K-16.

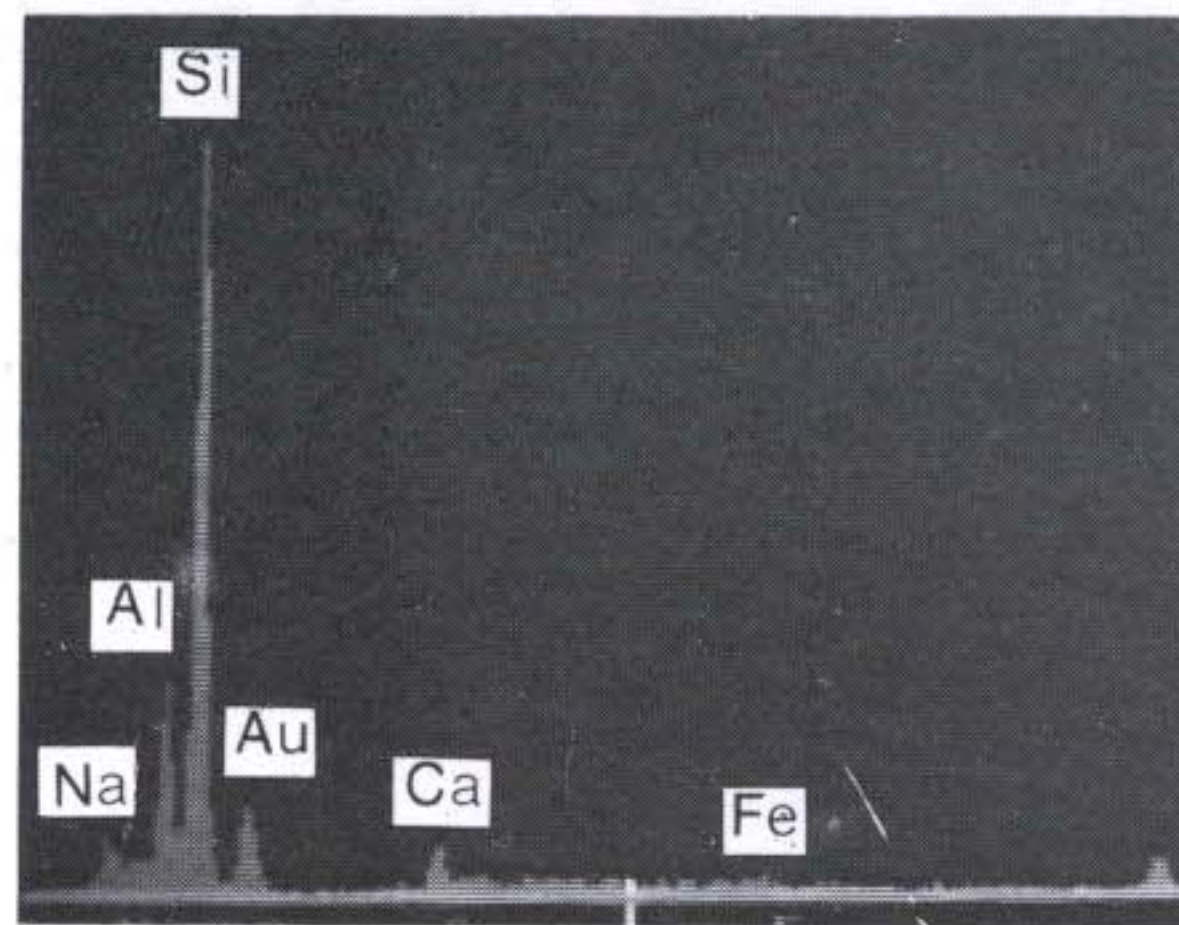


Figure 58. EDAX pattern of the mordenite in Figure 57.

◦ 화학적 특성

서동리 bentonite(K-16)의 pH와 C.E.C.는 각각 8.8과 80 meq/100gr(Table 9)이며 화학성분은 Table 10에서 보는 바와 같이 SiO₂가 66.28%, Al₂O₃가 15.68%이다.

2-1-6 환서리 일대

환서리 시료 K-17에 대해서는 광물학적 특성을 알기 위한 시험은 실시하지 않았다. 본 bentonite는 회녹색을 띠고 있으며 73.5%의 액성한계와 46.8%의 소성한계를 갖고 있다. 본 bentonite의 free swell과 비중은 각각 40%와 2.50이다(Table 8). pH와 C.E.C.는 각각 7.9와 81.0 meq/100gr인것으로 측정되었다.(Table 9). 화학성분은 SiO₂가 54.04%, Al₂O₃가 19.63%로 분석되었다(Figure 10).

2-1-7 금광리 일대

경북 영일군 동해면 금광리 일대에서 채취한 Y-1 및 Y-2 시료에 대해서도 광물학적 특성을 알기위한 시험은 실시하지 않았다. 담갈색과 회녹색을 띠고있는 본 bentonites의 액성한계와 소성한계는 각각 72.8 to 100.5% 와 55.9 to 60.1%이며 free swell과 비중은 각각 30 to 70%와 2.49 to 2.56으로 측정되었다(Table 8). 이들의 pH와 C.E.C.는 각각 5.4 to 8.1과 40.4 to 59.6 meq/100gr(Table 9)이며 화학성분 중 SiO₂는 57.92 to 61.60%, Al₂O₃는 20.04 to 22.28%(Table 10)이다.

2-2 고령토

2-2-1 하동군 일대

하동군 일대에서는 11개 지점에서 시료를 채취하였는데, 물리적 시험은 전 시료에 대해 실시하였으나 X-ray분석, SEM, EDAX 및 화학분석은 선별한 4개 시료에 대해서만 실시하였다.

◦ 물리적 특성

Table 11에서 보는 바와 같이 모든 고령토의 액성한계는 41.0 to 60.8%이며

소성한계는 nonplastic인 H-2 및 H-10을 제외한 고령토 시료에서 24.0 to 35.1%에 해당하는 것으로 밝혀졌다. 빗깔은 Table 11에서 보는 바와 같고 비중은 2.43 to 2.66인 것으로 측정되었다. Free swell 시험에 의하면 모든 고령토 시료는 비팽윤성 물질이다.

Table 11. Physical properties of kaolins from Hadongkun and Sanchongkun

Sample No.	Atterberg limits (%)			Specific gravity (%)	Color
	LL	PL	PI		
H - 1	51.5	35.1	16.4	2.57	White
H - 2	41.8	NP		2.49	White
H - 3	48.3	33.3	15.0	2.55	Pinkish and brownish white
H - 4	49.6	31.6	18.0	2.56	Yellowish brown
H - 5	47.3	25.0	22.3	2.62	Brownish red
H - 6	60.8	26.9	33.9	2.58	Brownish red
H - 7	58.9	29.4	29.5	2.66	Reddish brown
H - 8	41.0	24.0	17.0	2.53	White and brown
H - 9	45.5	33.3	12.2	2.57	White and reddish brown
H - 10	48.2	NP		2.43	Greenish white
H - 11	51.0	35.0	16.0	2.61	Reddish and yellowish brown
S - 1	38.2	NP		2.62	White and brown
S - 2	45.0	19.9	25.1	2.55	White and pale green

○ 광물학적 특성

4개 시료 (H-1, H-2, H-8 및 H-9)에 대한 X-ray회절분석 결과는 Figures 59 and 60에서 보는 바와 같다. 모든 시료는 Kaolinite와 hallogsite가 혼합되어 있으며 H-2시료는 극소량의 illite를 함유하고 있다.

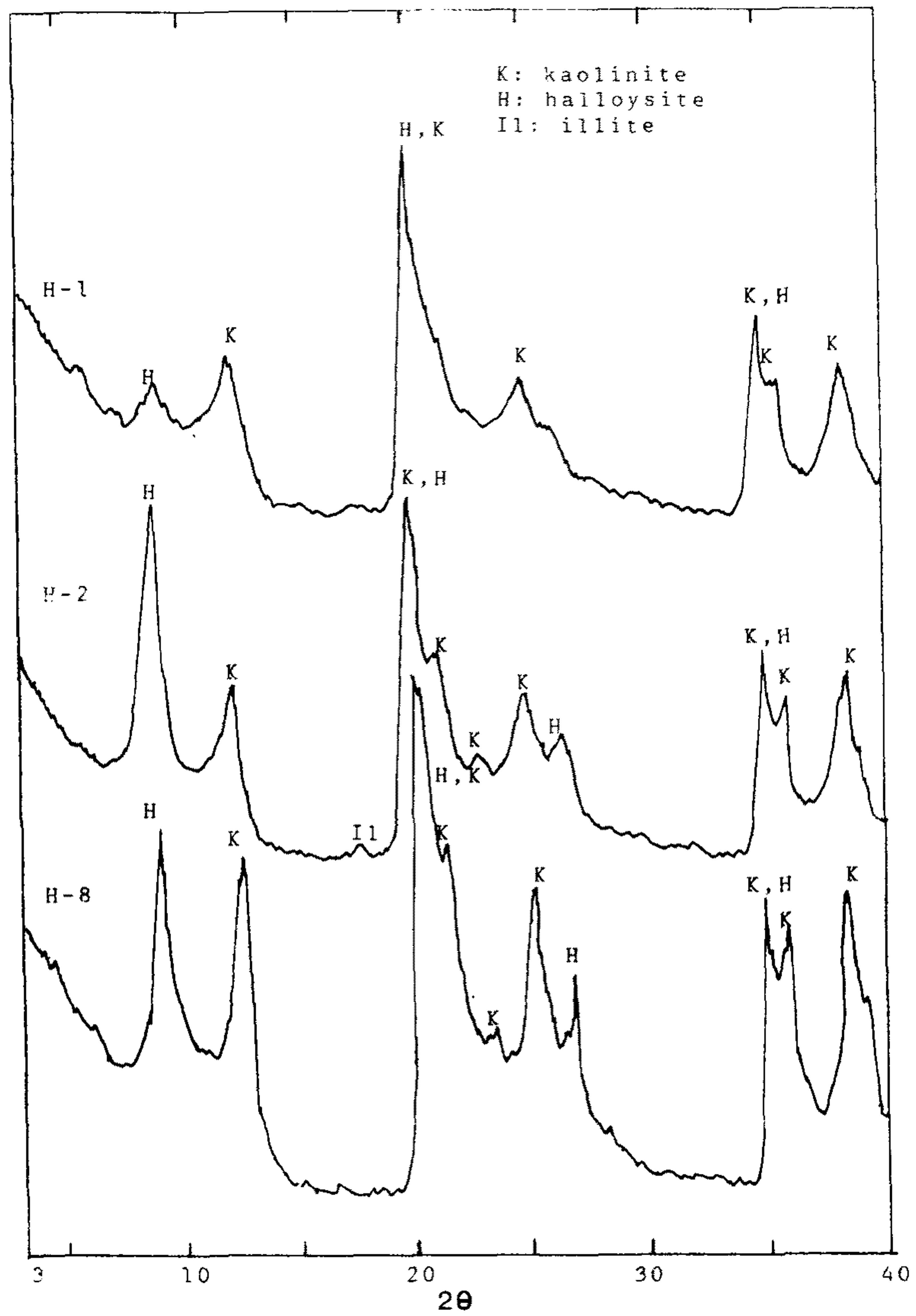


Figure 59. X-ray diffraction patterns for sample Nos. H-1, H-2 and H-8

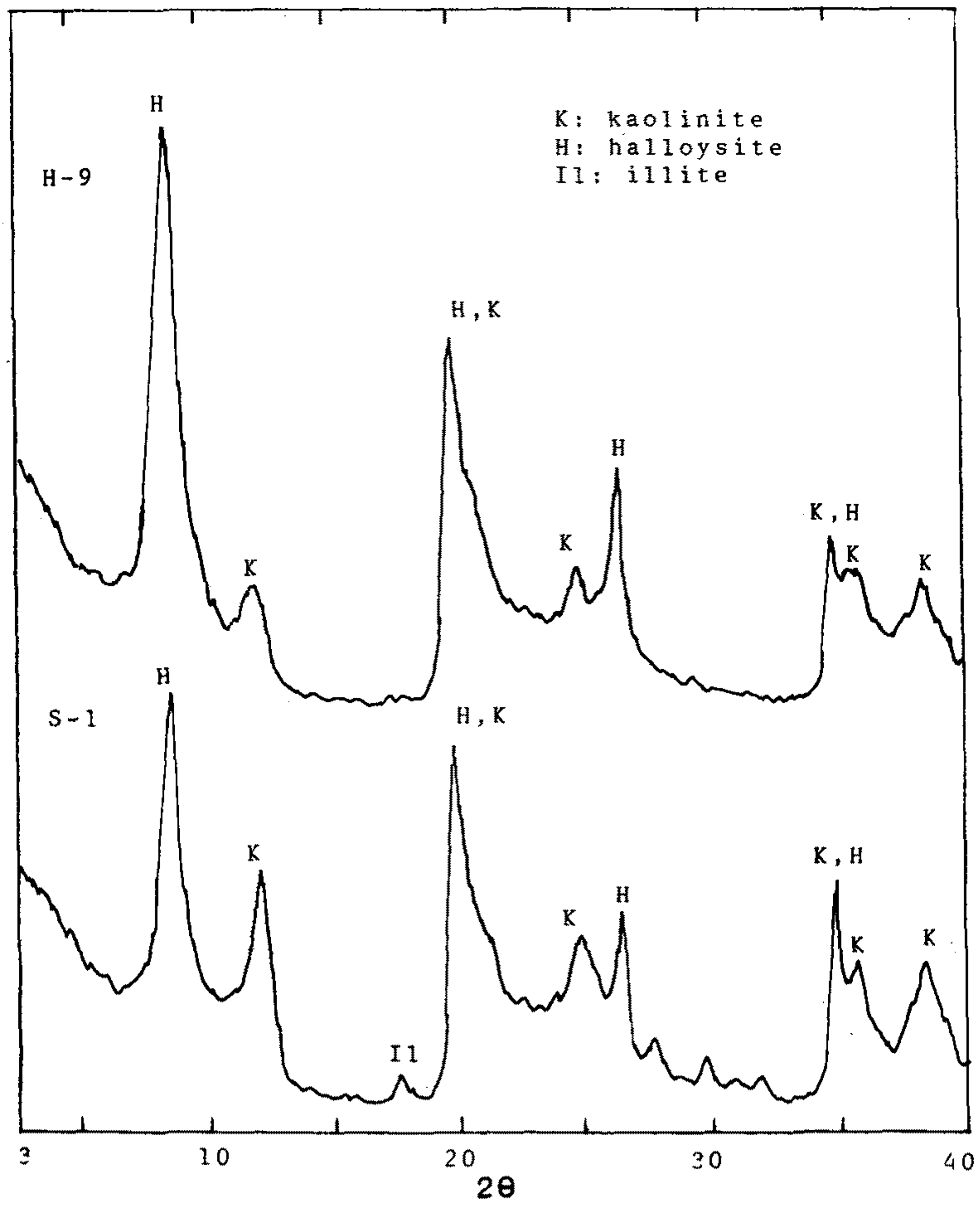


Figure 60. X-ray diffraction patterns for sample Nos. H-9 and S-1.

Figure 61은 시료번호 H-1의 SEM인데, 이 사진에서 대표적 vermicular kaolinite stacks를 볼 수 있다. Figure 62는 Figure 61의 kaolinite의 EDAX

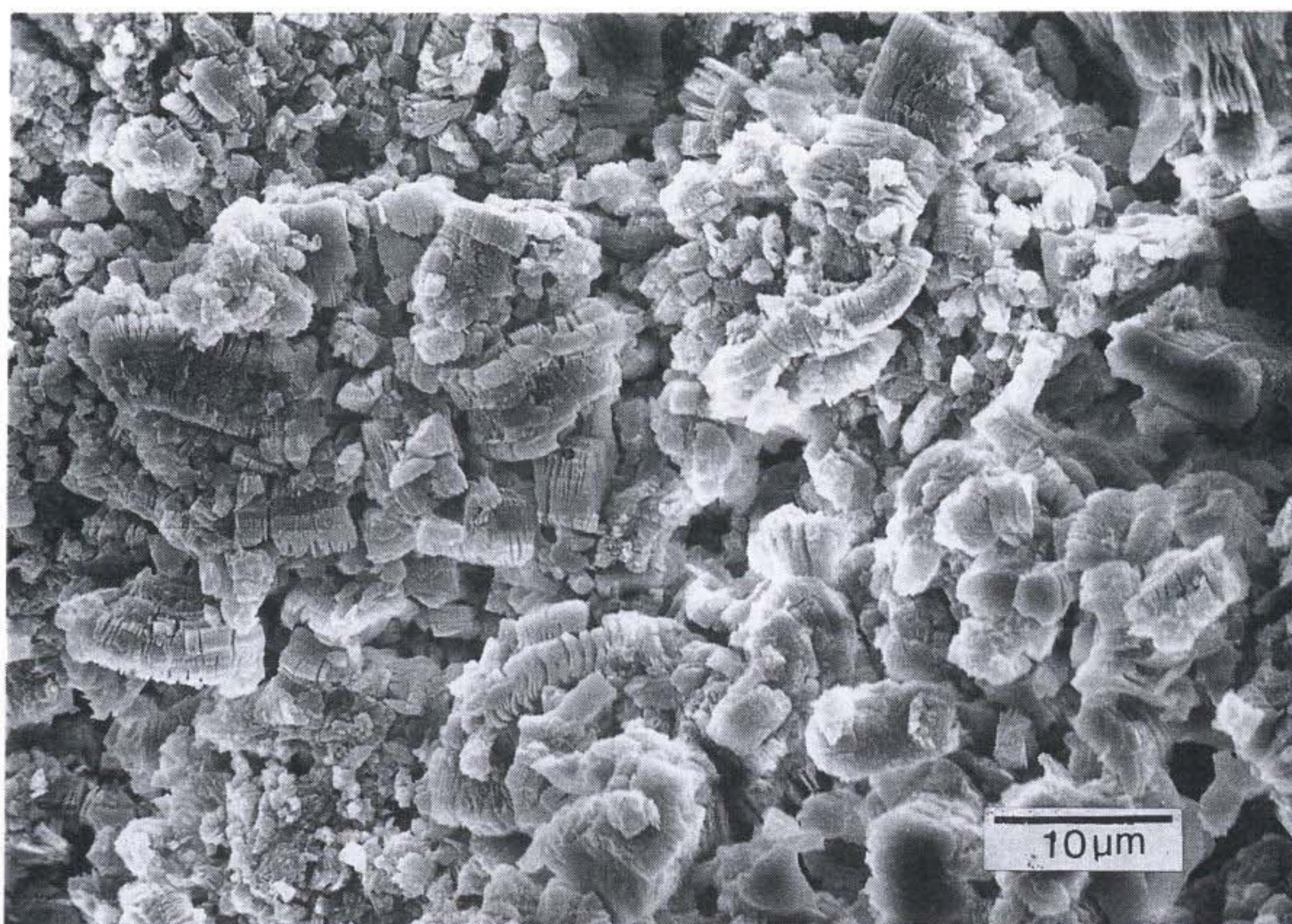


Figure 61. Scanning electron micrograph showing vermicular kaolinite stacks, sample No. H-1.

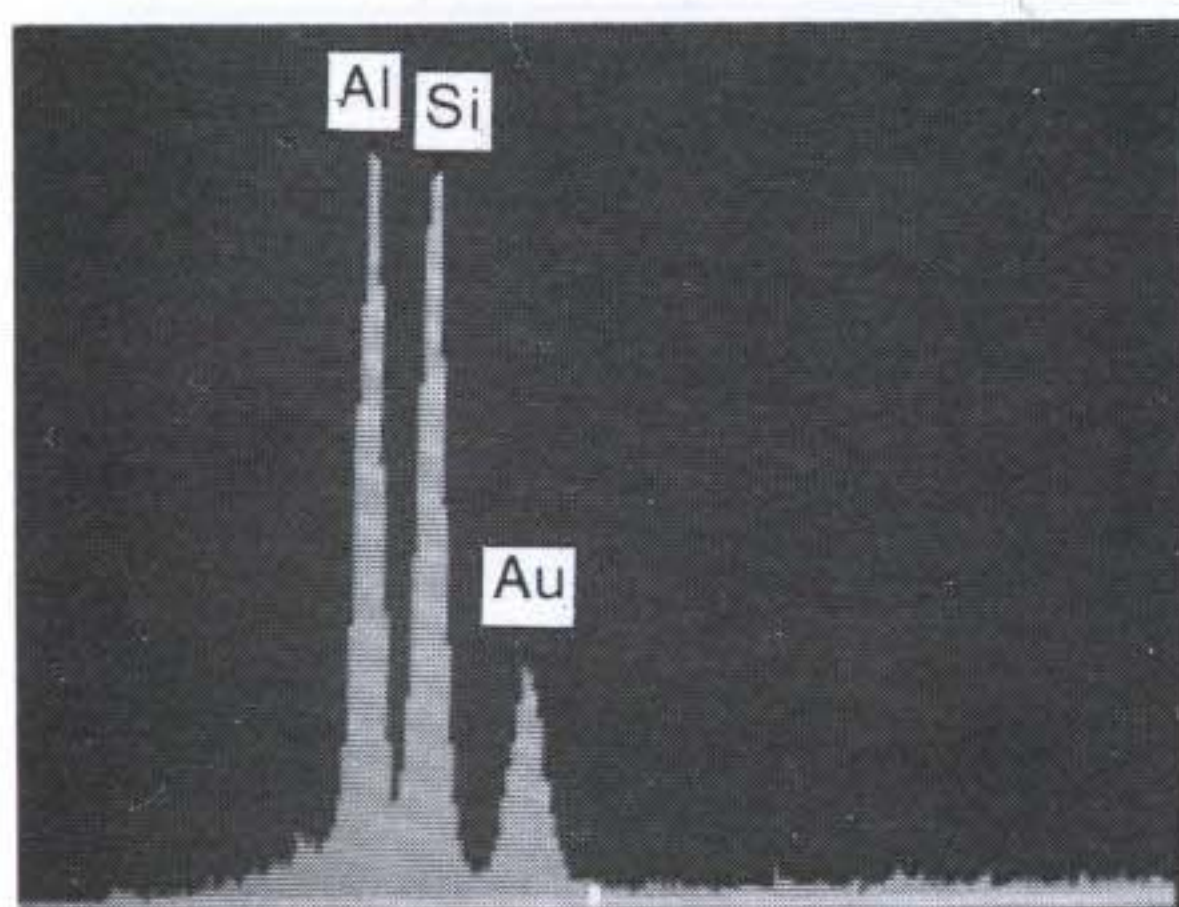


Figure 62. EDAX pattern of the kaolinite in Figure 61.

pattern 이다. Figure 63은 시료번호 H-2의 SEM으로 kaolinite와 halloysite로 이루어져 있다. Figures 64 및 65는 각각 H-8과 H-9의 SEM이다.

◦ 화학적 특성

11개 시료 모두에 실시한 pH측정에 의하면 측정치의 범위는 5.0 to 7.4이며 4개시료(H-1, H-2, H-8 및 H-9)에 대한 C.E.C.의 범위는 16.8 to 22.9 meq/100gr이다(Table 12). 고령토의 화학성분은 주로 SiO_2 와 Al_2O_3 로 구성되어 있는데, 4개시료에 대한 범위는 Table 13에서 보는 바와 같이 SiO_2 가 42.96 to 44.02%, Al_2O_3 가 39.88 to 41.63%로서 거의 1:1의 비율이다.

2-2-2 산청군 일대

산청군 일대에서는 2개 지점에서 시료를 채취하였다. 물리적 시험은 2개 시료 모두에 실시하였으며 pH, C.E.C. 및 화학성분분석은 1개 시료에만 실시하였다.

◦ 물리적 특성

Figure 11에서 보는 바와 같이 2개시료(S-1 및 S-2)의 액성한계는 S-1이 38.2 %, S-2가 45.0%이며 소성한계는 S-1이 NP, S-2가 19.9%이다. 비중은 S-1이 2.62, S-2가 2.55인 것으로 측정되었다. 2개시료 모두 비팽윤성이다.

◦ 광물학적 특성

시료번호 S-1에 대한 X-ray회절분석 결과는 Figure 60에서 보는 바와 같은데, 본 고령토는 halloysite가 kaolinite보다 더 많이 함유되어있는 것으로 보인다. Figure 66은 S-1시료의 SEM인데, 본 사진은 대표적 halloysite tube를 보여준다. Figure 67은 Figure 66의 halloysite의 EDAX pattern 이다. Figure 68은 역시 S-1 시료의 SEM인데, specimen 중 kaolinite가 우세한 부분이다. 본 kaolinite의 EDAX 는 Figure 69에서 보는 바와 같다.

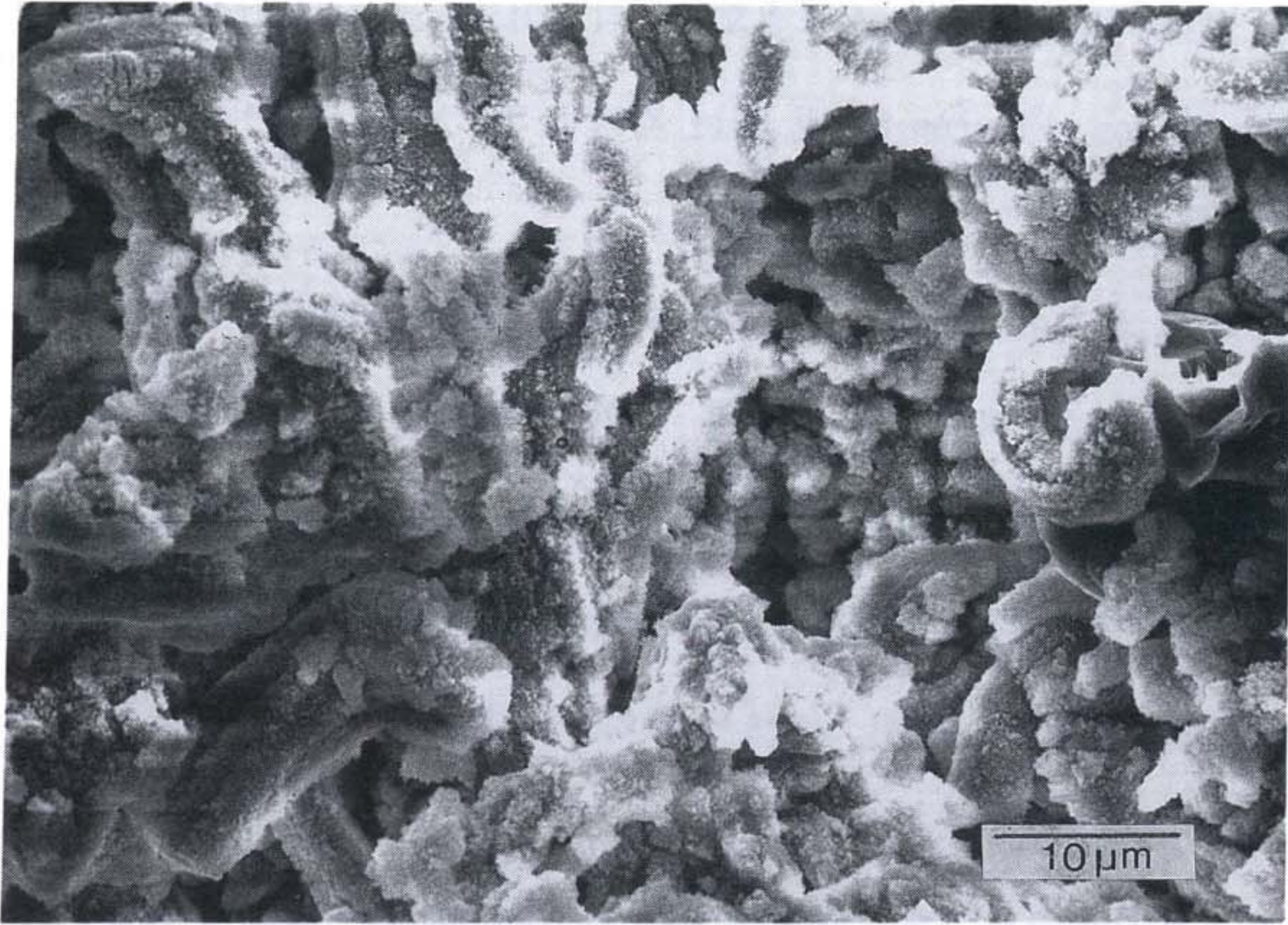


Figure 63. Scanning electron micrograph showing vermicular kaolinite stacks with tiny halloysite tubes, sample No. H-2.

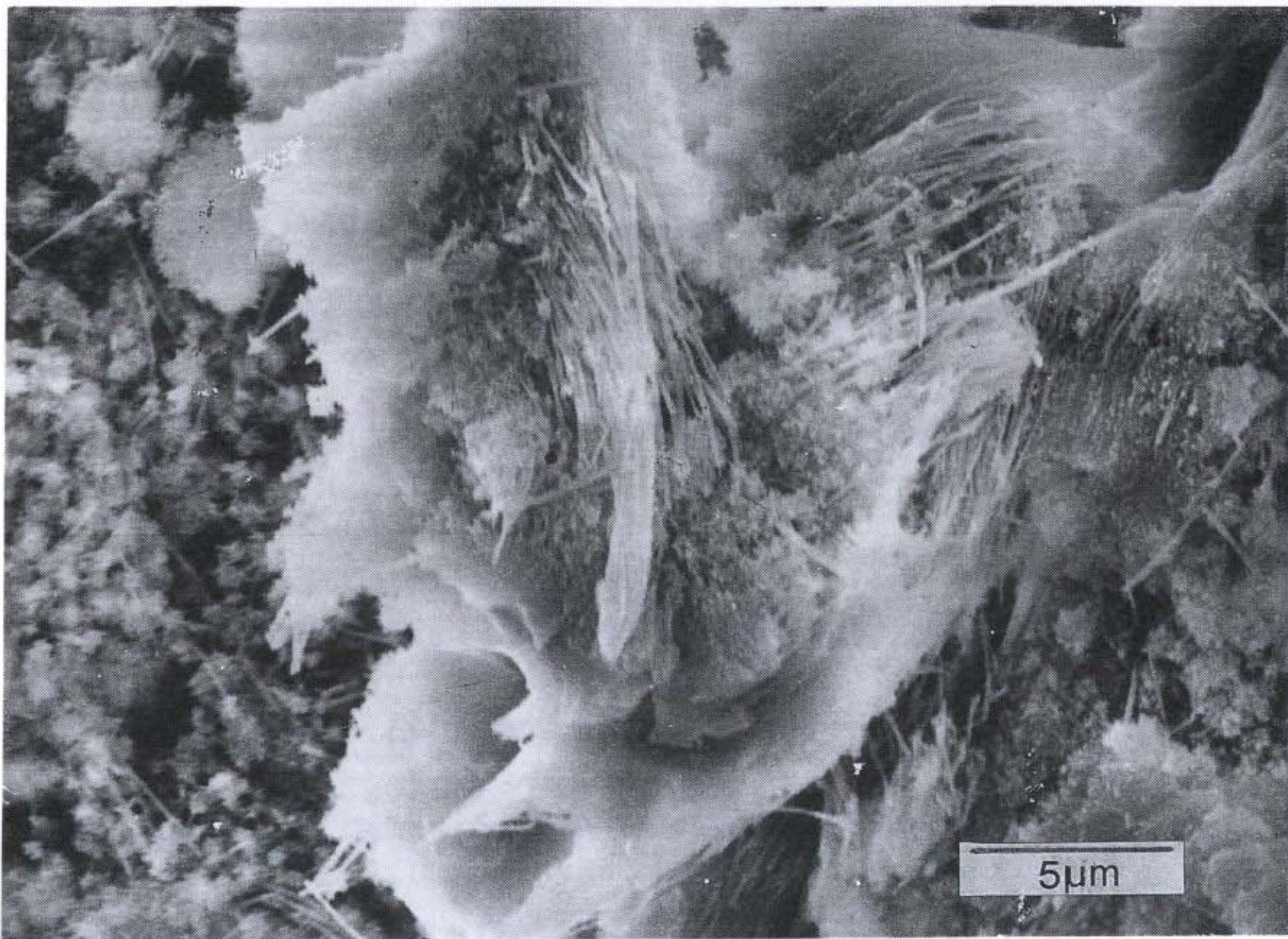


Figure 64. Scanning electron micrograph of halloysite tubes, sample No. H-8.

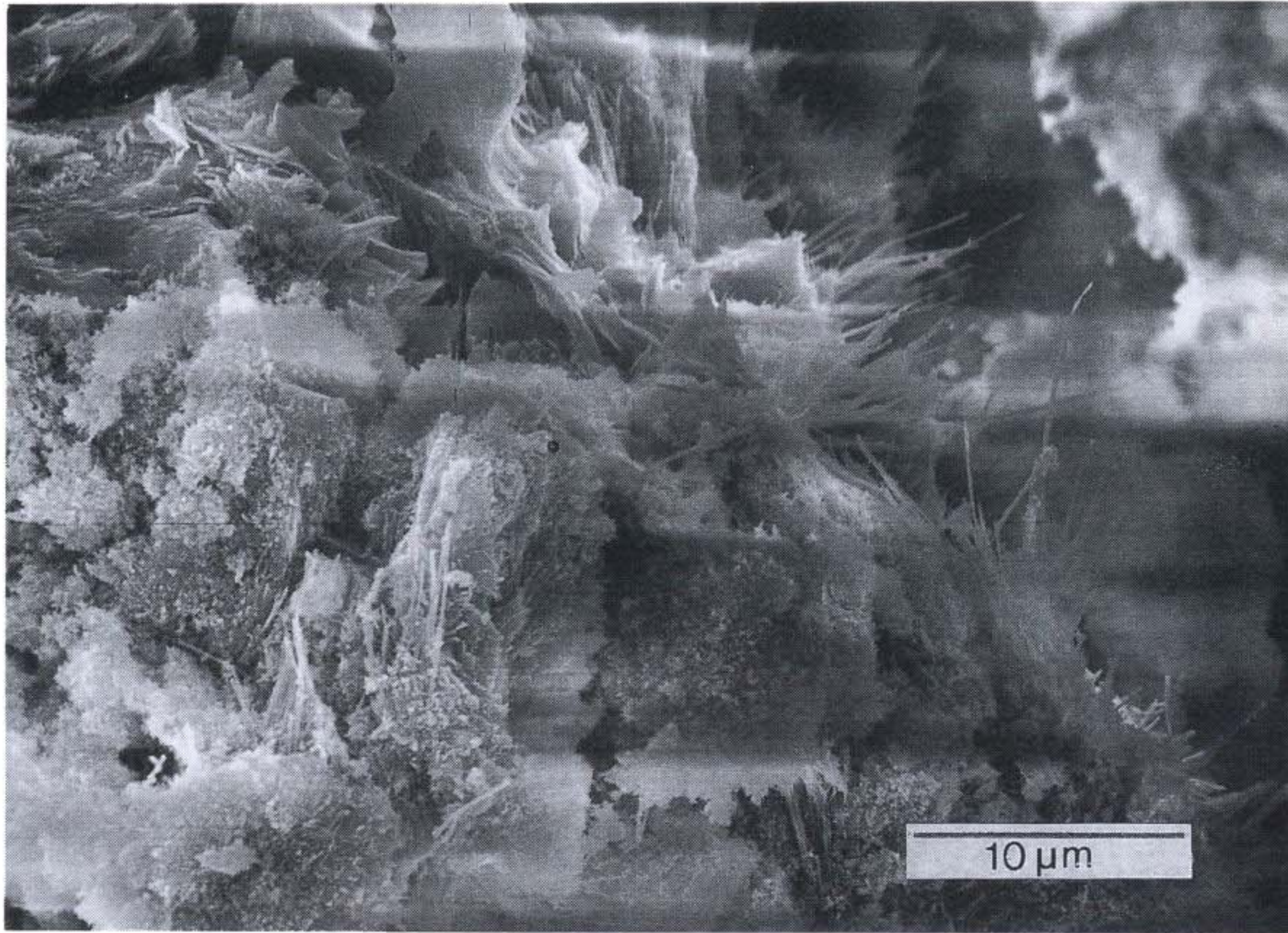


Figure 65. Scanning electron micrograph showing tubular halloysite and vermicular kaolinite, sample No. H-9.

Table 12. pH and C.E.C. for kaolins from Hadongkun and Sanchongkun.

Sample No.	pH	C.E.C (meq/100gr)
H - 1	6.4	22.9
H - 2	7.4	16.8
H - 3	5.4	-
H - 4	5.4	-
H - 5	5.0	-
H - 6	6.3	-
H - 7	5.0	-
H - 8	6.1	17.3
H - 9	6.6	20.4
H - 10	6.9	-
H - 11	6.5	-
S - 1	6.5	14.3
S - 2	5.3	-

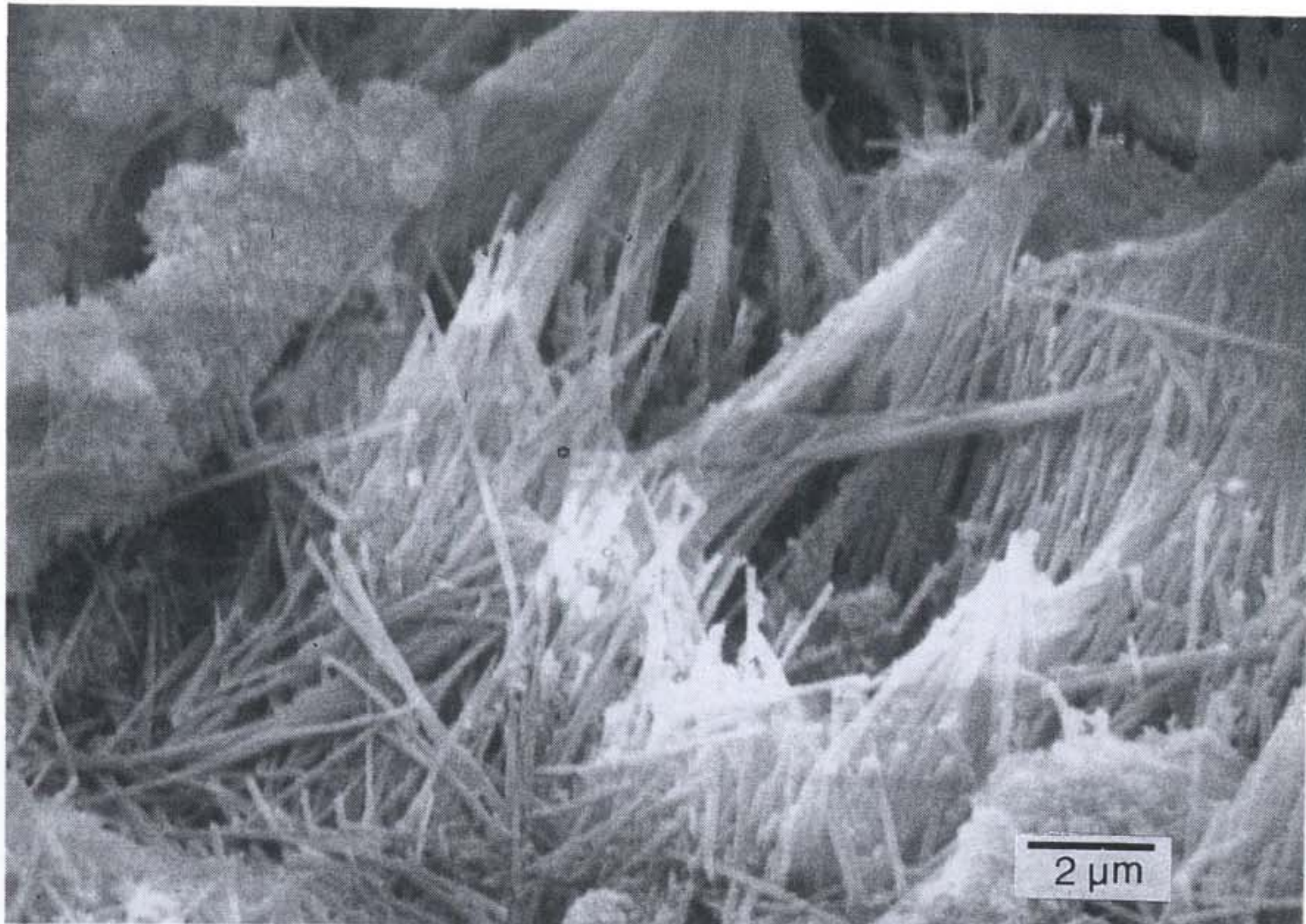


Figure 66. Scanning electron micrograph showing halloysite tubes, sample No. S-1.

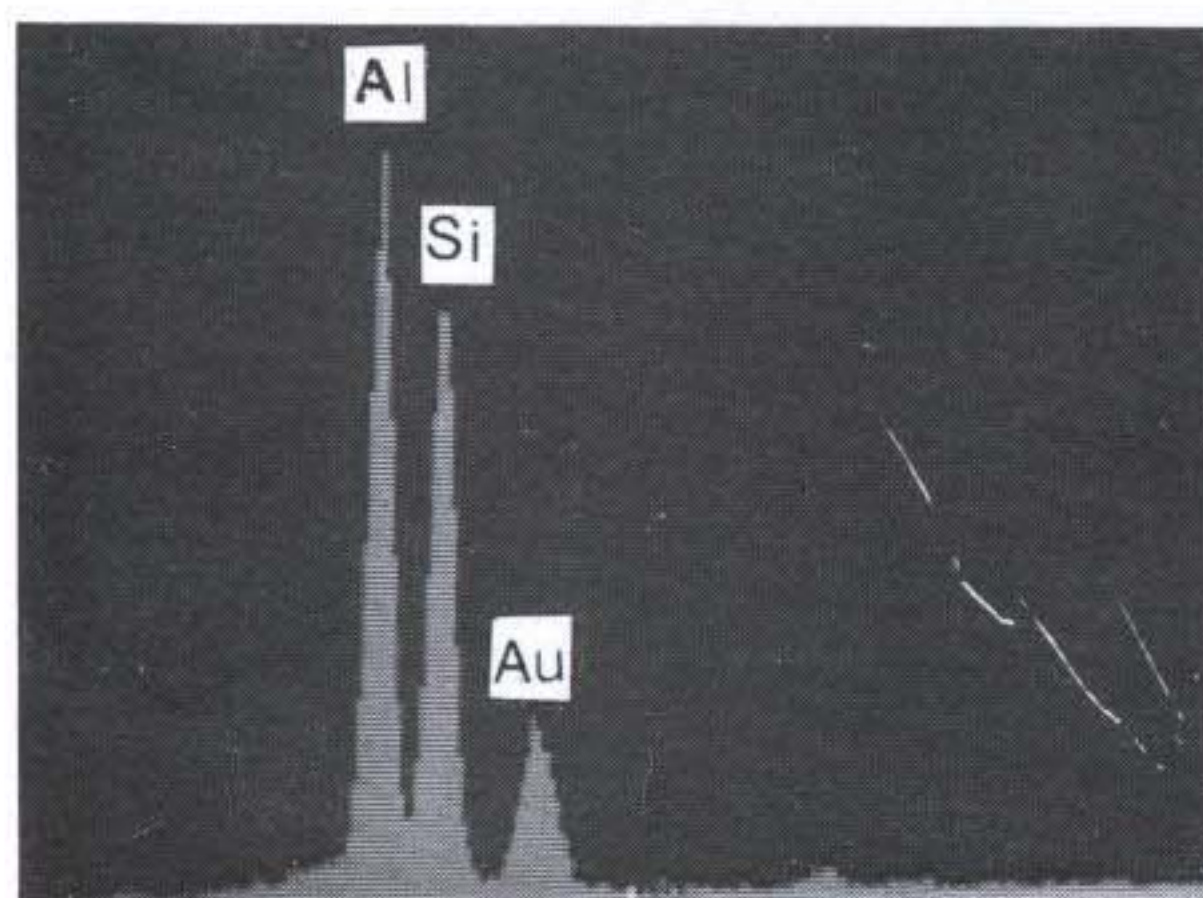


Figure 67. EDAX pattern of the halloysite in Figure 66.

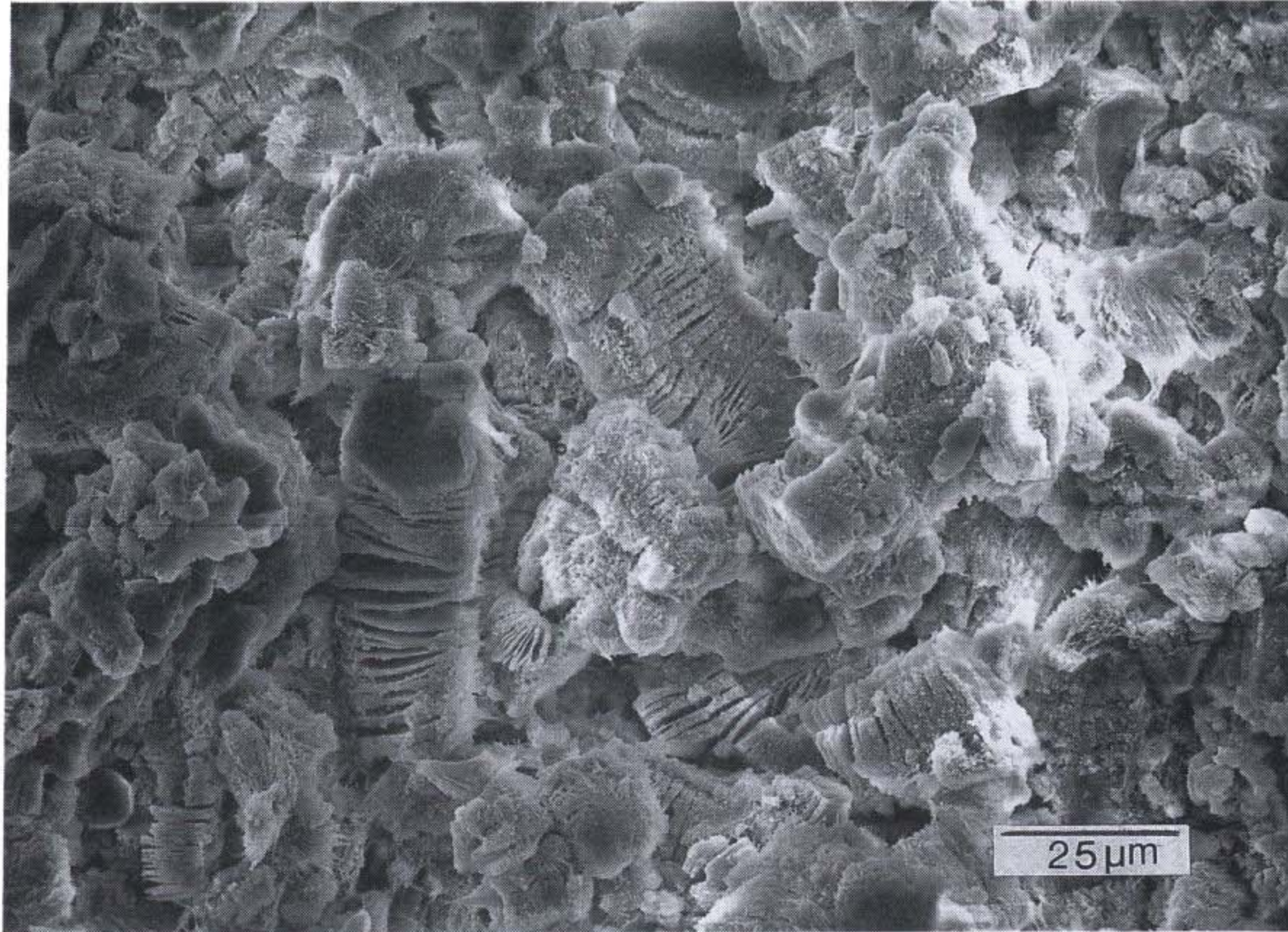


Figure 68. Scanning electron micrograph showing vermicular kaolinite stacks with tiny needle-like halloysite, sample No. S-1.

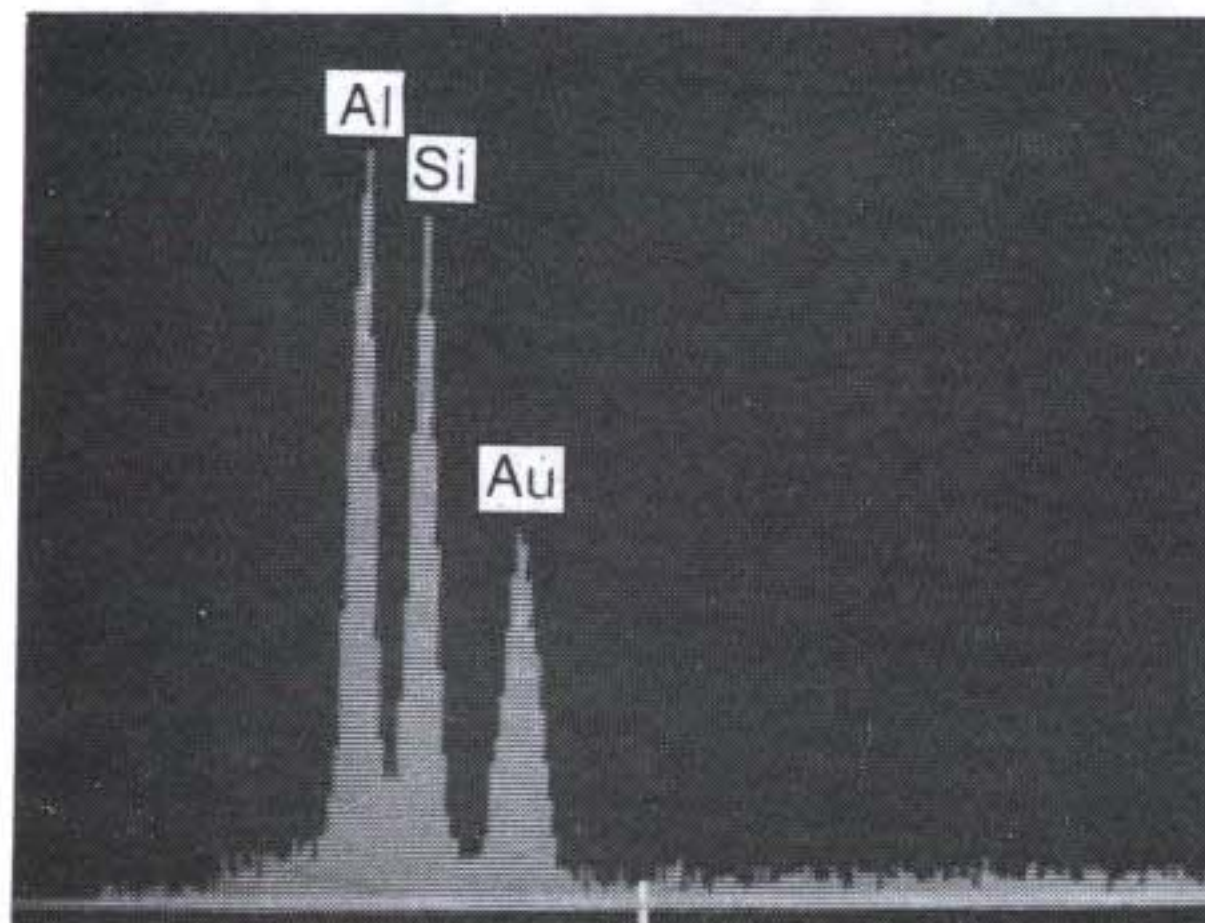


Figure 69. EDAX pattern of the kaolinite in Figure 68.

○ 화학적 특성

산청군 일대의 1개 시료(S-1)에 대한 pH와 C.E.C. 및 화학성분분석시험은 각각 Table 12과 13에서 보는 바와 같다. pH는 6.5이며 C.E.C.는 14.3 meq/100gr인 것으로 측정되었다. 화학성분은 SiO₂와 Al₂O₃가 대부분으로 이들을 합한 양이 전체량의 83%이상을 차지하고 있다. CaO성분은 거의 없는 것으로 분석되었다.

Table 13. Chemical composition of kaolins from Hadongkun and Sanchongkun.

Sample No.	Chemical constituent (%)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
H - 1	42.96	41.02	0.56	tr.	0.22	0.20	0.29
H - 2	44.02	40.82	0.36	tr.	0.26	0.72	0.34
H - 8	43.30	41.63	0.31	tr.	0.25	0.75	0.20
H - 9	44.00	39.88	1.58	tr.	0.17	0.21	0.21
S - 1	43.06	40.40	1.82	tr.	0.10	0.18	0.18

2-3 미국산 bentonite

국내에 부존하는 bentonite와 비교해 보기 위하여 미국 Cook County, Wyoming의 Na-bentonite(sample No. U-1)와 Apache County, Arizona의 Ca-bentonite(sample No. U-2)를 입수하여 이들에 대해 에트버그 한계시험, 비중측정, free swell시험, X-ray회절분석, pH측정, C.E.C.시험 및 화학성분분석을 실시하였다.

시료번호 U-1의 액성한계와 소성한계는 각각 521.8%와 97.6%, 시료번호 U-2의 액성한계와 소성한계는 102.3%와 51.9%로 나왔으며 free swell과 비중은 전자가 400%이상과 2.60으로, 후자가 40%와 2.58로 측정되었다(Table 14). 시험 결과에서 알 수 있듯이 Na-bentonite가 Ca-bentonite보다 액성한계 및 소성지수와 free swell값이 훨씬 높다. 빛깔은 U-1이 담녹색, U-2가 담갈색이다.

X-ray회절분석결과(Figure 70)에 의하면 U-1시료는 주 광물인 Na-montmorillonite와 부 광물인 quartz와 calcite로 구성되어 있는 반면에 U-2시료는 Ca-montmorillonite로 이루어져 있으나 극소량의 quartz를 함유하고 있다.

본 2개 시료의 pH와 C.E.C.는 U-1이 각각 8.9와 77.4 meq/100gr, U-2가 각각 7.6 및 114.1 meq/100gr로 측정되었다(Table 15). 화학성분은 U-1시료가 60.96%의 SiO₂와 21.38%의 Al₂O₃, U-2시료가 57.82%의 SiO₂와 19.71%의 Al₂O₃로 이루어져 있다(Table 16).

Table 14. Physical properties of bentonites from U.S.A.

Sample No.	Atterberg limits (%)			Free swell (%)	Specific gravity	Color
	LL	PL	PI			
U - 1	521.8	97.6	424.2	>400	2.60	Pale green
U - 2	102.3	51.9	50.4	40	2.58	Pale brown

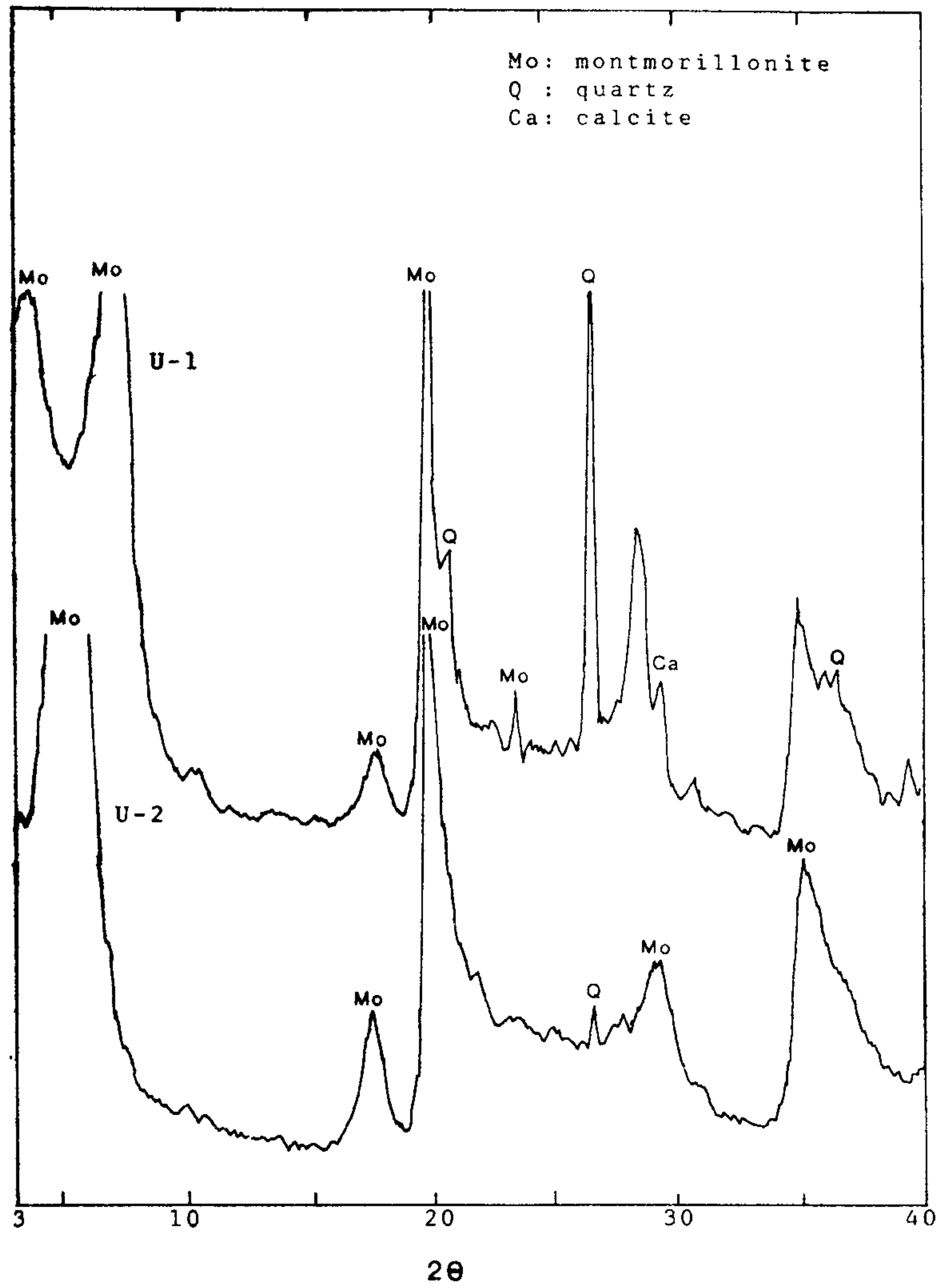


Figure 70. X-ray diffraction patterns for bentonites (samples U-1 and U-2) from U.S.A.

Table 15. pH and C.E.C. for bentonites from U.S.A.

Sample No.	pH	C. E. C. (meq/100gr)
U - 1	8.9	77.4
U - 2	7.6	114.1

Table 16. Chemical composition of bentonites from U.S.A.

Sample No.	Chemical constituent (%)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
U - 1	60.96	21.38	3.80	1.66	2.51	0.56	1.52
U - 2	57.82	19.71	1.51	2.92	5.94	0.20	0.18

2-4. 무릉리 모래

본 모래는 2차년도에 수행할 모델 연구를 위한 물질중의 하나이다. 입도분석결과 (Figure 71)에 의하면 본 모래는 medium sand로 구성되어 있으며 통일분류법 (Unified Soil Classification System)상 SP로 분류된다. 본 모래의 비중은 2.63이며 Harzen의 공식 ($k = (D_{10})^2 / 100 \text{ m/s}$)에 따라 투수계수를 산출해보면 본 모래의 투수계수는 $6 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ 이다. Terzaghi and Peck의 투수성 분류 (Table 17)에 의하면 본 모래는 medium 정도에 속하는 투수성을 지닌 물질로 분류된다.

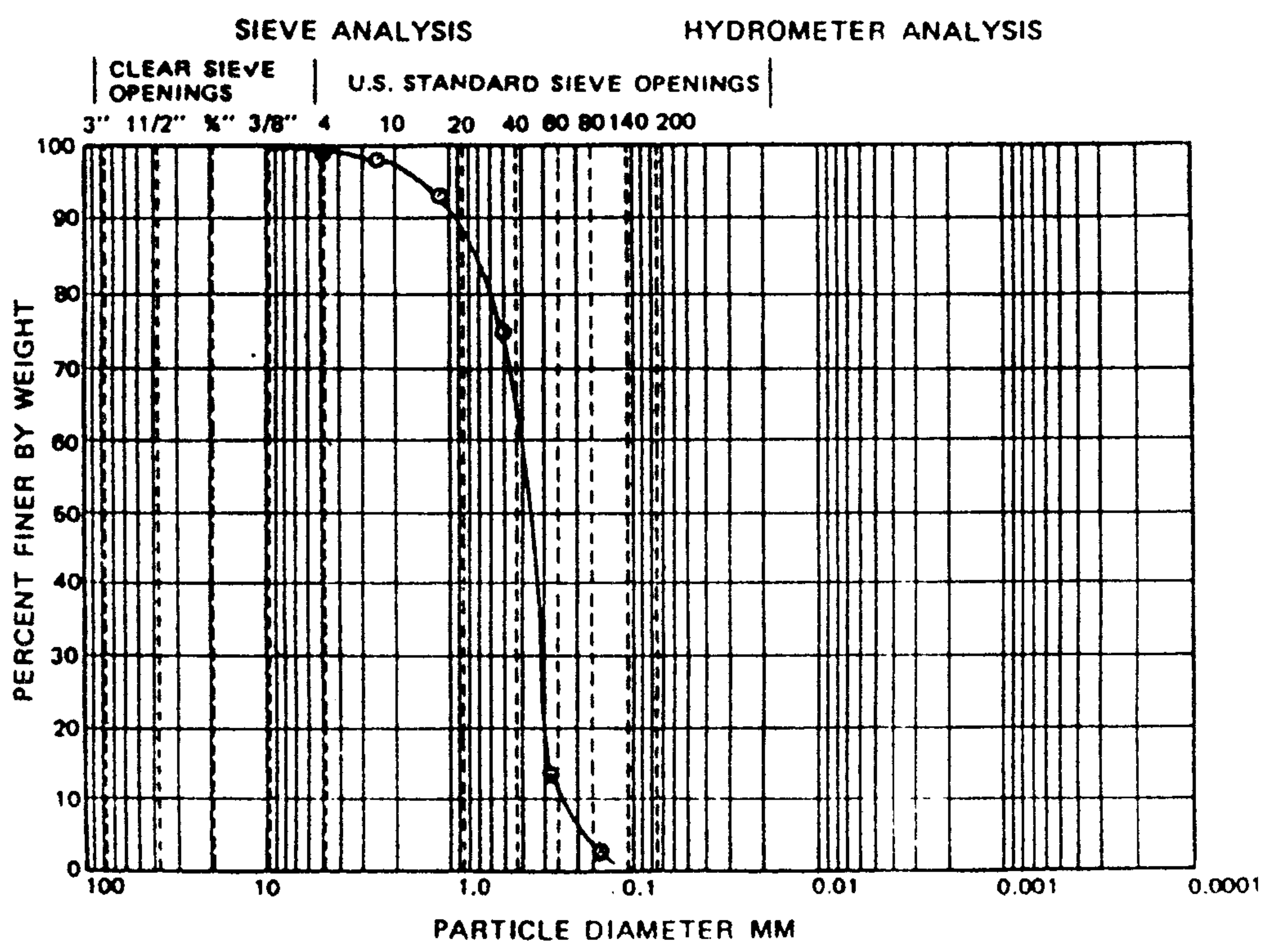


Figure 71. Grain-size distribution curve for a sand sample from Murungri, kongjukun

Table 17. Classification of soil according to permeability (Terzaghi and Peck, 1948).

Degree of permeability	Range of Coefficient of Permeability, m/s
High	Greater than 10^{-3}
Medium	10^{-3} - 10^{-5}
Low	10^{-5} - 10^{-7}
Very Low	10^{-7} - 10^{-9}
Practically impermeable	Less than 10^{-9}

2-5. 상라리 점토질 모래

본 점토질 모래는 경북 경주군 양남면 상라리 산 250의 bentonite 광산의 waste로서 이 물질이 본 연구와 관련되는 물질인 것으로 판단되어 채취하였다.

본 물질은 실내에서 여러시험을 수행하였는데, 시험종류로는 입도분석을 비롯하여 액성 및 소성한계, 비중시험, pH측정, 화학성분분석, X-ray회절분석, 현미경 감정, 다짐시험 및 투수시험 등이다.

2-5-1 물리 및 공학적 특성

본 물질에 대한 입도분포시험은 체분석과 비중계시험을 병행하여 실시하였는데, 그 결과는 Figure 72와 같다. 본 물질은 21%의 gravel-size입자, 52%에 해당하는 sand-size 입자와 27%의 fines (silt and clay)로 구성되어 있다. 본

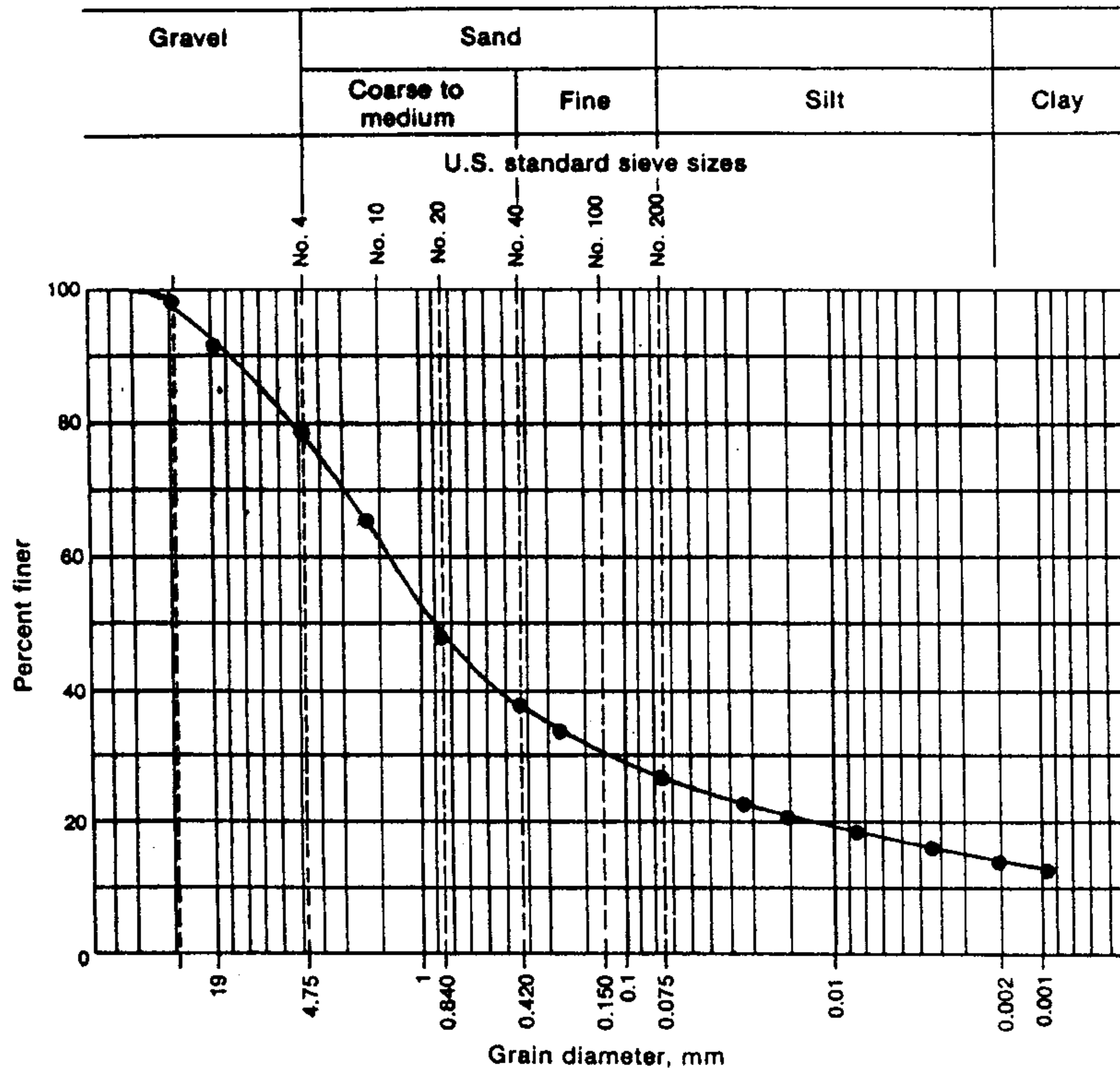


Figure 72. Grain-size distribution curve for a clayey material from , Sangrari, Kyongjukun.

물질의 비중은 2.71이다. 본 물질중 No 40 체를 통과한 시료에 대하여는 에트 버그한계와 free swell 시험을 실시하였는데, 액성한계는 63.0%, 소성한계는 29.4%로 나왔으며 free swell은 105%로 측정되었다.

ASTM D608-70 Method C 에 의거하여 실시한 다짐시험 결과 (Figure 73)에 의하면 본 물질은 최적함수비가 15.6%, 최대건조밀도가 1.798 g/cm³ 인 다짐특성을 갖고있다. Compaction mold를 사용하여 건조밀도가 1.795 g/cm³ 로 다져진 시료에 하여 변수위 투수시험을 한 결과, 온도 20°C 에서 k= 2.3 × 10⁻⁹ m/s 으 로 나왔다.

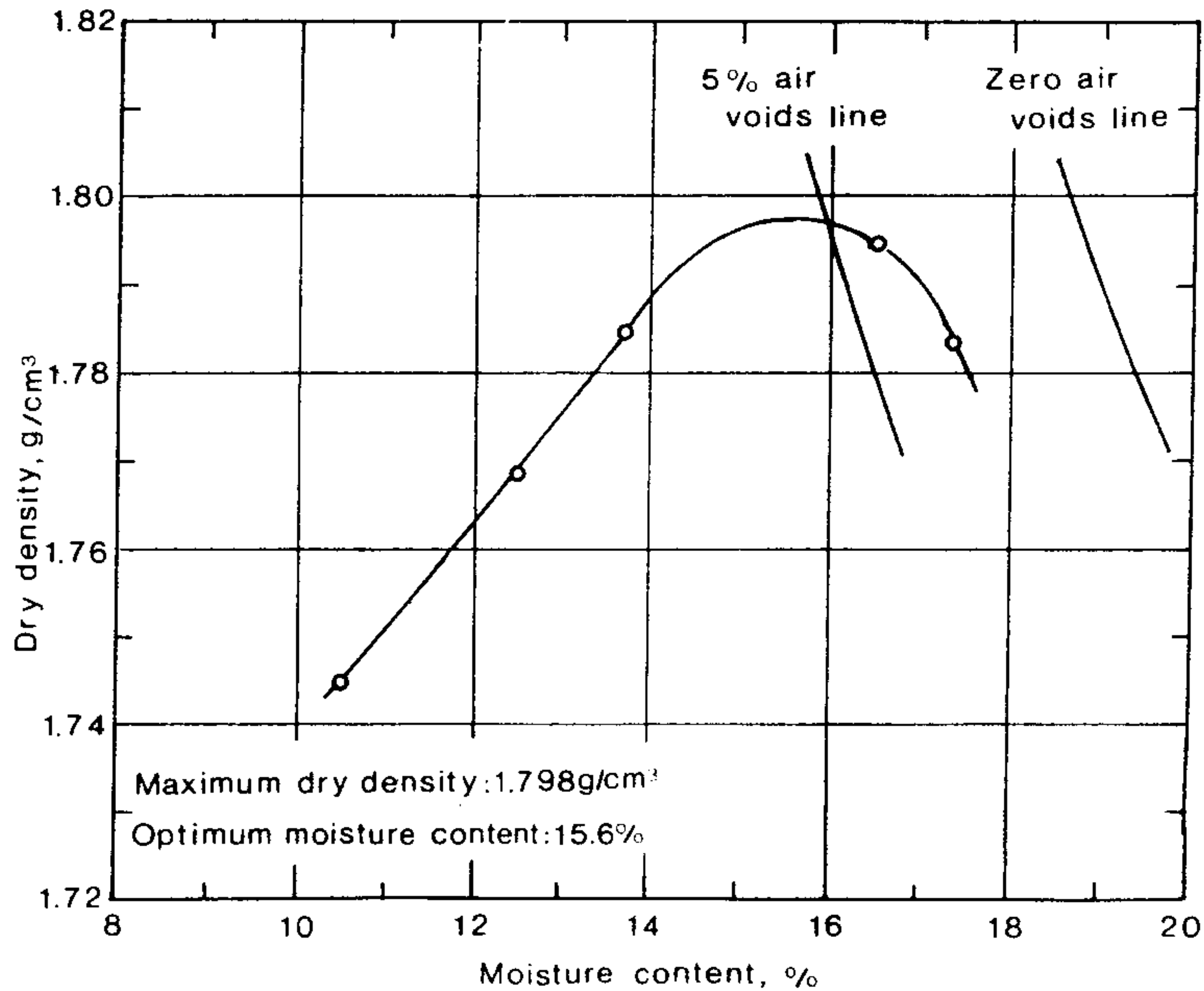


Figure 73. Moisture-dry density relationship for a clayey material from Sangrari, Kyongjugun

2-5-2 광물 및 암석학적 특성

No 40체를 통과한 분말에 대한 X-ray회절분석결과에 의하면 본 분말은 montmorillonite 를 주 광물로, plagioclase 와 quartz 를 부 광물로 함유하고 있으며 미량의 illite도 함유되어 있는 것으로 나타났다.

Gravel-size에 해당하는 입자에 대해서는 박편을 제작하여 편광현미경관찰을 하였는데, 본 gravel-size 입자의 대부분은 shale, tuff, rhyolite, feldspar porphyry 등으로 구성되어 있음을 알았다. Figures 74 and 75 는 상기한 암석 중 tuff 와 rhyolite의 현미경 사진이다.

2-5-3 화학적 특성

No 40체를 통과한 분말에 대해서는 pH측정과 화학성분 분석을 실시하였다. pH는 8.8로 나왔으며 화학성분은 주로 SiO₂ 와 Al₂O₃ 로서 SiO₂ 가 60.7%, Al₂O₃ 가 18.4%로 분석되었다.

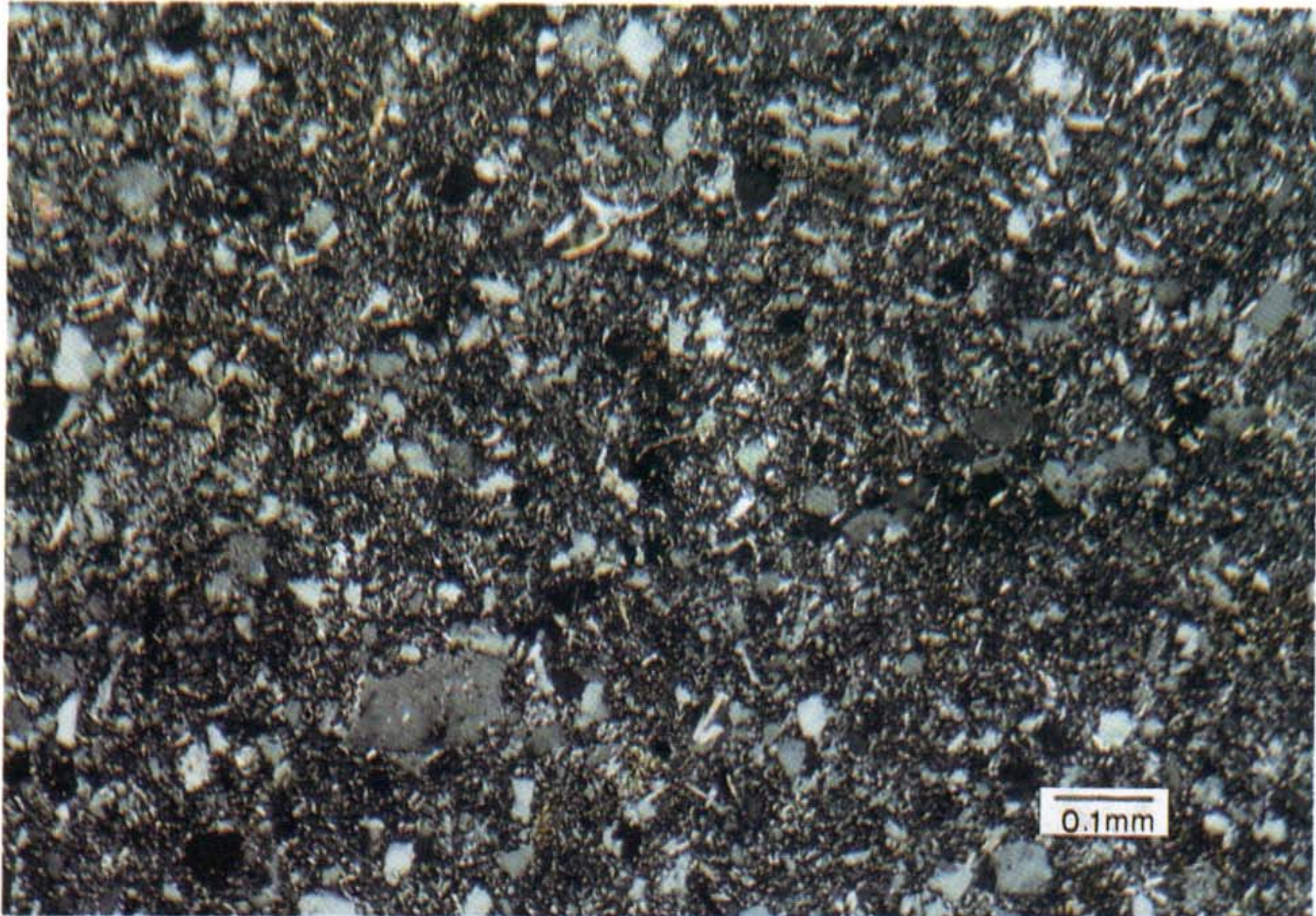


Figure 74. Micrograph of tuff fragment in a clayey material from Sangrari. Crossed nicols.



Figure 75. Micrograph of rhyolite fragment in a clayey material from Sangrari. Crossed nicols.

제 7 장 토 의

경북 경주군 양북면 두산리 및 죽전리 일대와 경북 경주군 양남면 상라리, 효동리 및 서동리 일대에 부존하는 bentonites 는 액성한계가 74.8 to 403.0%로서 위치에 따라 차이가 있지만 80 to 120%의 것이 보편적이며 free swell 값은 50 to 240% 이지만 100 to 170%의 것이 대부분이다. 이러한 물성을 고려했을 때 상기한 일대에서 채취한 모든 시료는 팽윤성 물질이다. 경북 경주군 양남면 환서리와 영일군 동해면 금광리 일대에 분포하는 bentonites 는 상기한 일대에 분포하는 bentonites에 비해 팽윤성이 적은데, 이들의 액성한계는 72.8 to 105.0% 이며 free swell 치는 30 to 70% 이다. 이상의 bentonites 중 팽윤성이 가장 큰 것은 경주군 양북면 죽전리 산 214에 소재하는 광산의 bentonites 로서 액성한계가 338 to 403%정도로 높으며 free swell치도 170 to 240%나 된다. 본 bentonites 는 그 광산에서 채굴되는 bentonites 중 팽윤성이 높은 편에 속하는 것들로서 황녹색을 띠고 있으며 불순물 (적은 암석편)이 거의 없는 고급질이다. 이 광산의 여러곳에서 채굴된 bentonites 의 혼합물(공장 제품)은 팽윤성이 조금 떨어지는 바, 이 물질의 액성한계와 free swell 값은 각각 182.0% 와 160%이다. 상기한 bentonites 에 반하여 채취한 모든 고령토는 free swell이 거의 zero이기 때문에 비팽윤성물질이며 액성한계는 38.2 to 60.8% 이다.

Figure 76은 경주군과 영일군 일대에서 채취한 모든 bentonites와 하동군과 산청군 일대에서 채취한 모든 고령토의 액성한계와 소성지수를 이용하여 만든 관계도이다. 이 관계도에서 "A" line 상부의 bentonites (①과②) 와 kaolines

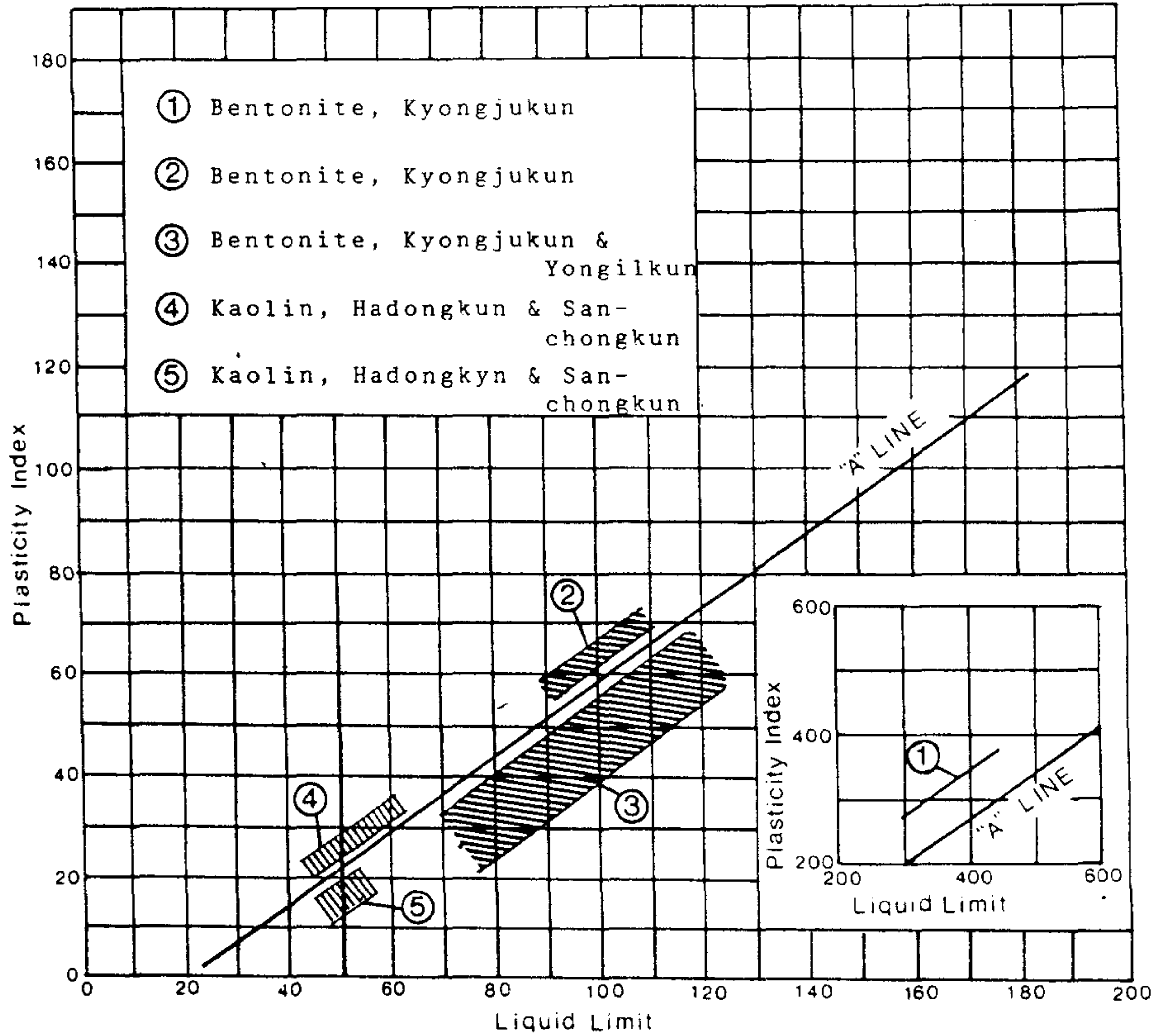


Figure 76. Relationship between the liquid limit and the plasticity index for Korean bentonites and kaolines.

(④)는 각각 그 하부의 bentonites(③)와 kaolines(⑤)보다 투수성이 낮다.

채취한 모든 bentonites의 주 구성광물인 montmorillonite는 X-ray 회절분석과 SEM 및 EDAX 에 의해 Ca-montmorillonite 로 규명되었다. 본 Bentonites는 plagioclase, opal-CT, illite, calcite, cristobalite 및 muscovite중 1개 이상을 부 광물로 함유하고 있다. 그러나 이러한 불순물은 bentonites 의 팽윤성과 투수성에 큰 영향을 주지 않는 것으로 사료된다.

경주군 일대에 부존하는 bentonites 의 pH는 7.9 to 10.5 이기 때문에 알카

리성이며 양이온 교환능력(cation exchange capacity) 은 대부분 70 to 97 meq/100g 인데, 이 범위는 montmorillonite 의 C.E.C. 가 보통 80 to 150 meq/100g (Table 5)인 것을 감안해 보면 조금 낮지만 그 차이는 bentonites 에 함유되어 있는 다른 광물 (plagioclase, quartz 등)에 기인한 것으로 사료된다. 모든 bentonites는 화학성분상 주로 SiO_2 와 Al_2O_3 로 이루어져 있는데, 이들의 총합은 76 to 86% 이며 $\text{Si}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 조성비는 2.75 to 4.74로 시료에 따라 차이가 있다.

X-ray 회절분석, SEM 및 EDAX에 의하면 채취한 모든 고령토는 kaolinite를 많이 함유하고 있는 것도 있지만 보통 kaolinite와 halloysite로 구성되어 있다. 시료에 따라 illite를 소량 함유하기도 한다.

하동군 및 산청군일대에 부존하는 고령토의 pH는 대부분 5.3 to 6.9로 산성이며 선별된 시료에 대해 실시한 자료에 의하면 C.E.C.는 14.3 to 22.9 meq/100gr 로서 Table 5의 kaolinite와 halloysite의 C.E.C.를 참고 했을 때 높은 C.E.C.를 갖는 고령토는 10.1Å 의 halloysite 를 함유하고 있기 때문인 것 같다.

제 8 장 결 론

1. 국내에 부존하는 bentonite 는 모두 Calcium-bentonite로서 일반적으로 75 to 403%의 액성한계와 70 to 170%의 free swell값을 갖고 있다. 이러한 bentonite 중 팽윤성이 비교적 높은 bentonite (액성한계 80% 이상, free swell 90% 이상)를 2,3차 년도에 수행할 방벽 또는 라이너 물질 연구를 위한 점토물질의 한 종류로 선정하였다.

2. Bentonite에 많이 함유되어 있는 montmorillonite는 투수성이 매우 낮아 장점이 있지만 대신 어떤 종류의 화학물질에는 약하기 때문에 이 물질에 접촉 되었을 때에는 이온 교환에 의해 그 특성이 변화되어 투수성이 높아지는 경향이 있다고 한다. 반면에 고령토는 bentonite 보다 투수성이 높지만 화학물질과 접촉했을때 큰 변화를 하지 않기 때문에 라이너물질 연구를 위한 제2의 점토물질로 선정하였다. 하동군 일대에 분포하는 고령토는 kaolinite와 halloysite로 구성되어 있으며 41 to 60%의 액성한계와 17 to 34%의 소성지수를 갖고 있다.

3. 점토물질과 혼합하여 사용할 물질중의 하나로 선택한 것은 충남 공주군 무룡리의 금강유역의 하천모래인데, 본 모래는 통일분류법상 SP에 속하는 물질로 분류되었다.

4. 경북 경주군 양남면 상라리 산 250에 소재하는 bentonite광산의 waste인 점토질 모래는 통일분류법상 SC로 분류된다. 본 물질은 27%의 fines(silt와 clay)로 구성되어 있는데, 이 fines는 Ca-montmorillonite를 주 점토광물로 함유하고 있다. 이 fines의 절반은 clay fraction 에 해당한다.

본 점토질 모래는 Ca-montmorillonite의 함유로 말미암아 투수성이 아주 낮
은데, 건조밀도가 1.795g/cm^3 일 때 투수계수는 $k_{20}=2.3\times 10^{-9}\text{m/s}$ 이다.이상과 다
른 시험자료에 의하면 본 물질은 물이나 오염물질의 이동을 막는 능력이 큰 물
질로 판단된다.

참 고 문 헌

- 한대석, 윤상규(1990). 지층의 오염방지를 위한 환경지질연구, 한국동력자원연구소 과기처 연구보고서 KR-90-(B)-7, pp.1-64.
- 환경처(1992). 환경백서
- American Institute of Professional Geologists(1985).
Hazardous Waste, 2nd Edition, pp.1-24.
Mountain West Printing and Publishing, Ltd., Denver.
- American Society for Testing and Materials(1980).
Annual Book of ASTM Standards, Part 19.
- Bowles, J.E.(1973). Engineering Properties of Soil and Their Measurement,
2nd Edition. McGraw-Hill, New York.
- British Standards Institution(1975). Methods of Test for Soil for Civil
Engineering Purposes, BS 1377:1975.
- Goldman, L.T.et al (1988). Design, Construction, and Evaluation of Clay
Liners for Waste Mansgenent Facilities. Risk Reduction Eng. Lab.,
U.S.Environmental Protection Agency, cincinnati.
- Grim, R.E. and N.Guven(1978). Bentonites, Development in Sedimentology 24,
pp.1-12. Elsevier, Amsterdam.
- Head, K.H.(1980). Manual of Soil Laboratory Testing vol.1. Pentech Press,
London.
- Keller, E.A. (1982). Environmental Geology, 3rd Editon, pp.271-281.

Charles E. Merrill Publishing Co., Columbus.

Mitchell, J.K. (1986). Hazardous Waste Containment, Geological Society

Engineering Geology Special Publication No. 3, pp. 145-157.

Noh, Jin Hwan (1985). Mineralogy and Genesis of Zeolites and Smectites from

Tertiary Tuffaceous Rocks in Yeongil Area, Ph.D. Dissertation,

pp. 78-92. Dept. of Geol. Sciences, Seoul National University.

Terzaghi, K. and R.W. Peck (1948). Soil Mechanics in Engineering Practice,

Wiley, New York.