



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)



이학 석사학위논문

제주도 한경면 고산리 선사시대 유적지 토양의 광물학적 특성

전남대학교 대학원

지 질 환 경 과 학 과

조 영 진

2016년 8월



이학 석사학위논문

제주도 한경면 고산리 선사시대 유적지 토양의 광물학적 특성

전남대학교 대학원

지 질 환 경 과 학 과

조 영 진

2016년 8월



제주도 한경면 고산리 선사시대 유적지 토양의 광물학적 특성

이 논문을 이학 석사학위 논문으로 제출함

전남대학교 대학원

지 질 환 경 과 학 과

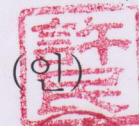
조 영 진

지도교수 노 열

조영진의 이학 석사 학위논문을 인준함

심사위원장

허 민



심사위원

박 재 봉



심사위원

노 열



2016년 8월



목 차

목 차	i
LIST OF FIGURES	iii
LIST OF TABLES	vii
초 록	viii
1. 서 언	1
2. 연구 지역	4
가. 연구지역의 지질	4
나. 연구지역의 토양	6
다. 연구지역의 기후	9
라. 야외조사 및 시료채취	10
3. 연구 방법	13
가. 토양 · 물리화학적 특성	13
1) 토양의 색	13
2) 입도 분석	13
가) 건조 및 균일화	14
나) 유기물 제거 및 중탕 처리	14
다) 시료 분산	14
라) 모래 분리	15
마) 점토 분리	15
바) 모래/미사/점토의 건조 및 무게 측정	15
3) pH	16
4) ICP-AES	16
나. 광물학적 특성	17
1) X-선회절분석	17
가) 모래, 미사의 XRD 분석	17



나) 점토의 XRD 분석	17
2) 주사전자현미경분석 및 에너지분산분광분석	19
3) 투과전자현미경분석 및 에너지분산분광분석	20
 4. 연구 결과 및 토의	22
가. 토양 · 물리화학적 특성	22
1) 토양의 색	22
2) pH	25
3) ICP-AES	28
4) 입도분포 및 특성	31
나. 광물학적 특성	33
1) 토양의 X-선회절분석 및 SEM/TEM-EDS	33
가) 입도 분리된 모래	33
나) 입도 분리된 미사	39
다) 입도 분리된 점토	44
라) 화학적 전처리를 실시한 점토	46
 5. 결론	63
 참고문헌	65
 영문초록	70



LIST OF FIGURES

Fig. 1. Geographical map around the sampling site (modified from Naver map) ·	5
Fig. 2. Geological map around Gosanri (modified from Korea Institute Of Energy and Resources, 2000)	5
Fig. 3. Map showing soil texture of the Gosanri from Rural Development Administration, 2016	7
Fig. 4. Map showing soil series of the Gosanri from Rural Development Administration, 2016	8
Fig. 5. Satellite map showing the sampling site (GS-1, GS-2) from Naver	11
Fig. 6. Soil horizons of the sampling site (GS-1)	11
Fig. 7. Soil profile of GS-1 at Gosanri	12
Fig. 8. Soil profile of GS-2 at Gosanri	12
Fig. 9. Flow chart of the procedure used to prepare samples for physico-chemical properties of soils and mineralogical examination	21
Fig. 10. The pH variation of GS-1 soil profile	26
Fig. 11. The pH variation of GS-2 soil profile	27
Fig. 12. Concentrations of Fe and Al in GS-1 soil profile	29
Fig. 13. Concentrations of Fe and Al in GS-2 soil profile	30



Fig. 14. Predominant soil texture plotted on soil texture triangle (USDA, 2016) of GS-1 and GS-2 soil profile	32
Fig. 15. X-ray diffraction patterns of sand fraction in GS-1 soil profile	35
Fig. 16. X-ray diffraction patterns of sand fraction in GS-2 soil profile	36
Fig. 17. SEM-EDS analyses of 1-5 sand fraction in GS-1 samples : (A) olivine, (B) pyroxene, (C) plagioclase, (D) quartz	37
Fig. 18. SEM-EDS analyses of 2-4 sand fraction in GS-2 samples : (A) olivine, (B) pyroxene, (C) plagioclase, (D) quartz	38
Fig. 19. X-ray diffraction patterns of silt fraction in GS-1 soil profile	40
Fig. 20. X-ray diffraction patterns of silt fraction in GS-2 soil profile	41
Fig. 21. SEM-EDS analyses of 1-5 silt fraction in GS-1 samples : (A) olivine, (B) pyroxene, (C) plagioclase, (D) quartz	42
Fig. 22. SEM-EDS analyses of 2-4 silt fraction in GS-2 samples : (A) olivine, (B) pyroxene, (C) plagioclase, (D) quartz	43
Fig. 23. X-ray diffraction patterns of 1-1 clay in GS-1 soil profile : (A) untreated, (A') CBD treated, and (A'') acid ammonium oxalate treated [K-sat, K saturated; K-sat 300°C and 500°C, heated at 300°C and 550°C for 18 hours after K saturation; Mg-sat, Mg saturated; gly, glycerol treated after Mg saturation]	47
Fig. 24. X-ray diffraction patterns of 1-2 clay in GS-1 soil profile : (B) untreated, (B') CBD treated, (B'') acid ammonium oxalate treated [K-sat, K saturated; K-sat 300°C and 500°C heated at 300°C, and 550°C for 18 hours after K saturation; Mg-sat, Mg saturated; gly, glycerol treated after Mg saturation]	48



Fig. 25. X-ray diffraction patterns of 1-3 clay in GS-1 soil profile : (C) untreated, (C') CBD treated, (C'') acid ammonium oxalate treated [K-sat, K saturated; K-sat 300°C and 500°C, heated at 300°C and 550°C for 18 hours after K saturation; Mg-sat, Mg saturated; gly, glycerol treated after Mg saturation] 49

Fig. 26. X-ray diffraction patterns of 1-4 clay in GS-1 soil profile : (D) untreated, (D') CBD treated, (D'') acid ammonium oxalate treated [K-sat, K saturated; K-sat 300°C and 500°C, heated at 300°C and 550°C for 18 hours after K saturation; Mg-sat, Mg saturated; gly, glycerol treated after Mg saturation] 50

Fig. 27. X-ray diffraction patterns of 1-5 clay in GS-1 soil profile : (E) untreated, (E') CBD treated, (E'') acid ammonium oxalate treated [K-sat, K saturated; K-sat 300°C and 500°C, heated at 300°C and 550°C for 18 hours after K saturation; Mg-sat, Mg saturated; gly, glycerol treated after Mg saturation] 51

Fig. 28. X-ray diffraction patterns of 1-6 clay in GS-1 soil profile : (F) untreated, (F') CBD treated, (F'') acid ammonium oxalate treated [K-sat, K saturated; K-sat 300°C and 500°C, heated at 300°C and 550°C for 18 hours after K saturation; Mg-sat, Mg saturated; gly, glycerol treated after Mg saturation] 52

Fig. 29. X-ray diffraction patterns of 2-1 clay in GS-2 soil profile : (A) untreated, (A') CBD treated, (A'') acid ammonium oxalate treated [K-sat, K saturated; K-sat 300°C and 500°C, heated at 300°C and 550°C for 18 hours after K saturation; Mg-sat, Mg saturated; gly, glycerol treated after Mg saturation] 53

Fig. 30. X-ray diffraction patterns of 2-2 clay in GS-2 soil profile : (B) untreated, (B') CBD treated, (B'') acid ammonium oxalate treated [K-sat, K saturated; K-sat 300°C and 500°C, heated at 300°C and 550°C for 18 hours after K saturation; Mg-sat, Mg saturated; gly, glycerol treated after Mg saturation] 54

Fig. 31. X-ray diffraction patterns of 2-3 clay in GS-2 soil profile : (C) untreated, (C') CBD treated, (C'') acid ammonium oxalate treated [K-sat, K



saturated; K-sat 300°C and 500°C, heated at 300°C and 550°C for 18 hours after K saturation; Mg-sat, Mg saturated; gly, glycerol treated after Mg saturation] 55

Fig. 32. X-ray diffraction patterns of 2-4 clay in GS-2 soil profile : (D) untreated, (D') CBD treated, (D'') acid ammonium oxalate treated - K-sat, K saturated; K-sat 300°C and 500°C, heated at 300°C and 550°C for 18 hours after K saturation; Mg-sat, Mg saturated; gly, glycerol treated after Mg saturation] 56

Fig. 33. X-ray diffraction patterns of 2-5 clay in GS-2 soil profile : (E) untreated, (E') CBD treated, (E'') acid ammonium oxalate treated [K-sat, K saturated; K-sat 300°C and 500°C, heated at 300°C and 550°C for 18 hours after K saturation; Mg-sat, Mg saturated; gly, glycerol treated after Mg saturation] 57

Fig. 34. X-ray diffraction patterns of 2-6 clay in GS-2 soil profile : (F) untreated, (F') CBD treated, (F'') acid ammonium oxalate treated [K-sat, K saturated; K-sat 300°C and 500°C, heated at 300°C and 550°C for 18 hours after K saturation; Mg-sat, Mg saturated; gly, glycerol treated after Mg saturation] 58

Fig. 35. X-ray diffraction patterns of 2-7 clay in GS-2 soil profile : (G) untreated, (G') CBD treated, (G'') acid ammonium oxalate treated [K-sat, K saturated; K-sat 300°C and 500°C, heated at 300°C and 550°C for 18 hours after K saturation; Mg-sat, Mg saturated; gly, glycerol treated after Mg saturation] 59

Fig. 36. TEM-EDS and SAED analyses of clay fraction (A-C) and 1-6 clay fraction (D) GS-1 soil profile : (A, B) aluminum silicate, (C) allophane, (D) imogolite 60

Fig. 37. TEM-EDS and SAED analyses of chemically treated 1-2 clay fraction in GS-1 soil profile : CBD treated (A, B) and ammonium oxalate treated (C, D) · 61

Fig. 38. TEM-EDS and SAED analyses of chemically treated 2-2 clay fraction in GS-2 soil profile : CBD treated (A, B) and ammonium oxalate treated (C, D) · 62



LIST OF TABLES

Table 1. Soil taxonomy of Korea	1
Table 2. Mean annual climatic factors of Jeju Island	9
Table 3. The d-spacings for the common layer silicates as a function of saturating cation and heat treatment	21
Table 4. Soil color of soil samples obtained from GS-1 soil profile	23
Table 5. Soil color of soil samples obtained from GS-1 soil profile	24



제주도 한경면 고산리 선사시대 유적지 토양의 광물학적 특성

조 영 진

전남대학교대학원 지질환경과학과

(지도교수 : 노 열)

(국문초록)

제주도의 토양은 화산 분화로 분출되는 크고 작은 암석인 화산 쇄설물을 모재로 발달하였다. 일반적으로 화산 쇄설물은 굳기가 강하지 않고 풍화의 진행이 빠르며 결과적으로 비정질 물질을 형성한다. 제주 고산리 선사시대 유적지는 화산 쇄설층 기원의 토양이며 고고학적 지층 파악 및 대비를 위해 토층을 구성하는 광물의 특성 파악이 필요한 실정이다. 이에 본 연구는 화산쇄설층을 기원으로 하는 토양의 물리화학적 특성과 토양 깊이에 따른 입도별 광물학적 특성 연구 및 점토광물의 광물학적 특성을 알아보았다.

시료채취는 GS-1, GS-2 두 곳을 선정하였으며, 각각 경작층인 A_p 층을 제외한 집적층인 B 층을 대상으로 12 개, 7 개를 채취하여 연구를 실시하였다. 물리·화학적 특성 연구로 토양의 색, ICP-AES 및 pH를 측정하였으며 토성 확인을 위해 입도분석을 실시하였다. 입도분리를 통해 얻은 모래, 미사, 점토는 광물 조성 확인을 위해 X-선회절분석(XRD)을 통해 확인하였다. 광물의 형태와 화학조성은 주사전자현미경분석(SEM-EDS) 및 투과전자현미경분석(TEM-EDS)을 통해 확인하였다.

GS-1, GS-2 토양색은 대체로 dark yellowish brown, very dark brown으로 확인하였다. GS-1 pH(H_2O)는 6.05~7.02, pH($CaCl_2$)는 5.95~7로 약산성에서 중성의 범위를 띠고 있었으며, GS-2 pH(H_2O)는 6.34~6.66, pH($CaCl_2$)는



6.34~6.68로 약산성의 범위를 띠고 있었다. 두 지역 모두 심도가 깊어질수록 pH는 증가하는 경향을 보인다. 또한 심도가 깊어지면서 Fe와 Al의 농도가 증가하는 경향을 나타냈다. 토양 입도분석 결과 GS-1, GS-2 토양은 미사질 양토(silt loam)와 양질토(loam)로 이루어져 있었다. XRD 분석 결과 두 지역의 모래와 미사의 주 구성 광물은 감람석, 휘석, 장석, 운모 및 석영이다. 점토 입도에서는 녹니석, 일라이트, 카올리나이트 및 석영이 산출되었으며, 알로판과 이모골라이트가 산출되었다. 점토 광물의 화학적 처리를 통해 GS-1은 심도가 깊어짐에 따라 점토입자가 Fe와 Al의 피막 양상이 강하게 나타나며 GS-2는 얇은 심도에서 그 양상이 나타나는 것을 확인할 수 있었다. SEM-EDS 및 TEM-EDS 분석을 통해, 토양을 구성하는 광물들의 형태와 화학조성을 확인하고 점토의 피막을 확인할 수 있었다.

따라서 본 연구 지역은 화산쇄설물을 모재로 하여 형성된 토양이 1차 광물로 감람석, 휘석, 장석, 운모 및 석영이 형성되었고 풍화되면서 2차 광물로 녹니석, 고령석, 일라이트 등의 층산규산염광물들이 형성되었을 것으로 사료된다. 그리고 이 연구를 통해 고고학적 층서와 토양층의 대비를 위한 기초자료로 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

1. 서언

제주도는 제 3기말 플라이오세부터 제 4기에 걸쳐 수 십 회의 화산활동에 의해 처음으로 육지가 형성된 이 후 오랜 시간에 걸쳐 한라산이 형성되고 다음으로 주위 기생화산이 형성된 동서 약 74 km, 남북 약 32 km의 타원형 화산섬으로 중앙이 해발 1,950 m 인 한라산을 중심으로 원추형을 이루는 섬이다(최순학, 1992). 제주도 토양의 주 모재는 현무암이고 일부 조면암 및 조면암질 안산암에서 유래되었다(송관철 외, 2009). 한라산의 화산폭발이 수차례에 걸쳐 이루어져 화산회 퇴적양상 및 생성 연대가 각각 다르고, 해발고도가 높은 한라산의 영향으로 기온, 강우, 식생 등이 매우 달라 화산회나 현무암에서 유래된 토양일지라도 토양 특성이 매우 다양하게 나타나고 있다(Song, 1991). 현재 우리나라에서 발견된 토양은 7개의 목, 14개의 아목, 391개의 토양통이 있다(이덕배 외, 2014)(Table 1).

Table 1. Soil taxonomy of Korea

Order (7)	Suborder (14)	Soil series (391)
Inceptisols	Aquepts	77
	Udepts	133
Entisols	Aquepts	14
	Fluvents	13
	Orthents	18
	Psamments	20
Ultisols	Udults	28
Alfisols	Aqualfs	7
	Udalfs	37
Andisols	Udands	39
	Vitrands	1
Mollisols	Udolls	2
Histosols	Saprist	1
	Hemists	1

제주도는 우리나라 면적의 1.8%를 차지하는데 불과하지만 제주도에 분포하는



토양통은 63개이며 우리나라 토양통 391개 중 16%가 분포되어 있어 좁은 면적이지만 매우 다양한 토양들이 분포하고 있다.

토양은 주위 환경조건에 따라 가장 안정된 형태를 향하여 계속해서 변화하게 된다. 토양생성과정에는 여러 인자들이 작용하는데, 특히 기후, 생물, 모재, 지형 및 시간이 토양 생성 과정에 관여하는 주된 인자이다. 이렇게 암석의 풍화작용과 토양의 생성작용은 주어진 환경조건에 대응하여 가장 안정된 형태로 존재하기 위하여 끊임없이 변해가는 과정이다(Song et al., 2005). 단순한 지질학적 퇴적 과정을 거친 토양모재는 풍화작용을 더욱 받게 되고, 더불어 토양 생성에 관여하는 여러 인자의 작용을 통해 토양으로 만들어진다. 모재인자는 토양의 단면특성을 결정하는 기본인자이며, 모재의 광물학적특성에 따라 토양의 발달속도도 크게 달라진다. 즉, 토양생성과정을 통하여 모재입자 크기의 감소, 광물의 변화와 재조합, 유기물의 첨가, 점토의 생성, 층위의 발달 등이 이루어진다(김계훈 외, 2006). 화산회토의 점토광물은 토양 생성단계, 층위, 화산모재의 조성, pH, 토양 수분권, 화산회 집적 두께, 유기물 집적 등과 같은 인자에 의해 조성되며(송관철, 1997), 특히 화산 퇴적물의 풍화에 의한 점토광물의 생성 및 변환은 Al-, Fe-유기복합체 형태의 유기물 집적에 크게 영향 받는다(Wada, 1985; Mizota and Van reeuwijk, 1989). 일반적으로 화산 쇄설물은 굳기가 강하지 않고 풍화의 진행이 빠르며 결과적으로 비정질 물질을 형성한다. 제주도는 이런 비정질 물질을 포함하는 Andisols이 전체 토양의 80%에 달한다(문희수 외, 2002). Andisols은 교질 부분이 allophane, imogolite, ferrihydrite 등과 같은 short-order-range 광물이거나 Al-유기복합체가 대부분인 토양이며, 유기물 함량이 매우 높고 인산 고정력이 큰 반면에 용적밀도가 매우 낮으며 풍화속도가 빠른 화산분출쇄설물을 주 모재로 하여 생성 발달된다. 화산지대인 제주도의 산방통만 비풍화 화산분출물의 함량이 높은 Vitrandis이고, 그 외의 Andisols은 udic 토양수분상을 보유하는 Udands이다(Soil Survey Staff, 1999; 이덕배 외, 2014). 모재 외에 토양형성에 영향을 미치는 또 다른 요인은 기후이다. 기후 인자로는 기온, 강수량, 증발량, 습도, 계절 등이 있으며, 이 중 특히 화산 쇄설물의 토양화를 좌우하는 것은 기온과 강수량이다(Shoji et al., 1993). 제주도의 연평균 강수량은 2,139 mm로 분석되었다. 제주의 남부는 연평균 강수량은 2,572 mm 인데 반해 서부는 1,455



mm에 불과하다. 이러한 강수량의 지역적 차이로 인해 서북부 해안지역에는 제주도 토양의 대부분을 차지하는 Andisols과 같은 화산회토의 성질과 다른 특성을 갖는 토양이 발달해있다(Song and Yoo, 1994; Shin and Tavernier, 1988).

제주 고산리는 선사시대 유적지로서 오랜 시간 토양이 퇴적되어 논밭으로 활용되다 최근 신석기시대의 다양한 유물이 확인되어 발굴조사가 진행되고 있다. 선사시대 유적지를 구성하고 있는 토양의 고고학적 지층을 파악하고 각 층의 지질학적 층서와의 대비를 위한 자료가 미비 할 뿐만 아니라 제주도 토양에 대한 기존의 연구는 주로 토양학적 및 농화학적인 관점에서 수행되어 왔다(Lee et al., 1983; Song and Yoo, 1994; Yoo and Song, 1984). 따라서 토양의 형성 과정을 이해하고 토양층을 구성하는 광물의 특성 파악이 필요한 실정이다.

본 연구는 제주시 한경면 고산리 선사시대 유적지를 구성하고 있는 화산쇄설층 기원의 토양층을 대상으로 선정하였다. 화산쇄설층을 기원으로 하는 토양의 물리화학적 특성과 입도별 광물학적 특성 연구 및 토양 깊이에 따른 점토광물의 광물학적 특성을 알아보고자 하였다.

2. 연구지역

가. 연구지역의 지질

연구지역인 제주시 한경면 고산리 선사시대 유적지는 해안지역으로 비교적 완만하며 화산 폭발에 의해 형성된 스코리아(scoria)가 재 이동되어 표면을 피복하고 있어 용암류 외에 돌부스러기가 집적된 양상을 보이고 있으며, 동쪽으로 고산마을이 자리 잡고 있고 북동쪽으로 당산봉(해발 148 m), 남쪽으로 수월봉(해발 75 m)이 위치하고 있다(Fig. 1). 연구 지역의 지질은 당산봉응회암을 함유한 니질의 고산층과 갈철석이 층상으로 침전되어 있으며, 당산봉 일대에서 수월봉 일대에 이르기까지 비교적 넓은 지역에 걸쳐 발견되고 있다(Park et al., 1998). 수월봉 일대의 고산층은 하부에 광해악 현무암과 상부 응회암층 사이에 니질 퇴적층으로 분포하여 약 23,000년 이전에 형성되었을 것으로 보고되었다(Cheong et al., 2007). 또한 송악산 응회암층은 응회암-분석-조면현무암-분석구의 순서로 이루어져 있으며, 광해악 현무암은 서남부지역을 광범위하게 피복하고 있고 용암대지 형태로 발달하고 있다(Fig. 2). 당산봉과 수월봉은 수성화산활동에 의해 생성된 수중폭발 화산체로서 물이 용암과 접촉하여 갑작스런 온도상승으로 기화하면서 용암이 쇄설물로 변하게 된다. 수월봉 응회암층은 당산봉 분석구 북쪽 약 400 m에서부터 시작하여 남쪽으로 연장되며 용암대지 상위에만 존재하고 응회구, 분석구와 현무암 용암 상부에는 존재하지 않는다. 이 응회암층은 남서쪽 해안에서 최고 78 m이지만 이곳으로부터 멀어질수록 점점 얇아지며, 이의 북동쪽에서는 1 m 이하로 얇아지고 북쪽에서는 20 cm 이하로 얇아진다. 이 층은 갈회색을 띄고 대부분 화산회로 구성되며 고결되지 않고 느슨한 반고결 상태이다(하대호, 2001). 또한 수많은 거대연흔이 나타나며 두껍거나 얇은 층리 또는 저각도 사층리를 보이는 화산력 응회암과 응회암으로 구성되어 있다. 이들은 주로 기공이 없거나 소량의 기공을 포함한 본질의 화산력과 등형의 현무암질 유리질 화산회로 구성되어 있다(제주세계지질공원, 2016).



Fig. 1. Geographical map around the sampling site (modified from Naver map)

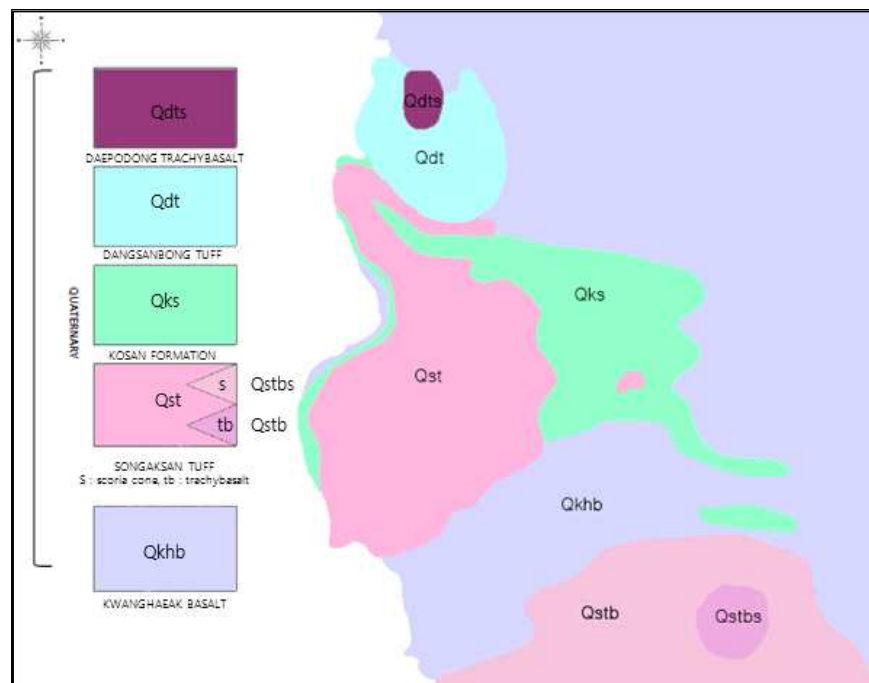


Fig. 2. Geological map around the Gosanri (modified from Korea Institute Of Energy and Resources, 2000)

나. 연구지역의 토양

화산분출에 의하여 생성된 제주도 토양의 경우 화산 분화로 분출되는 크고 작은 암석인 화산 쇄설물을 모재로 발달하였다. 그리고 전형적인 화산회토인 Andisols이 주로 생성 발달되었다. 제주도에 분포하는 토양은 토양색 구분에 의해 크게 농암갈색토, 흑색토, 갈색삼림토, 암갈색토로 4가지 유형으로 구분할 수 있다. 앞의 세 유형은 주로 화산재에 의해 형성된 화산회토라 할 수 있고 암갈색토는 현무암이 풍화하여 만들어진 비화산회토로 분류된다. 조사지역 고산리 일대의 토양은 현무암을 기반으로 하고 있고 화산회토로 되어 있으며, 표토는 미사질 양토와 사양토로 형성되어 있다(Fig. 3). 연구 지역의 토양은 주로 산방통(Sanbang Series)과 인성통(Inseong Series)이 주를 이루고 있으며, 서부 해안면에 넓게 분포되어 있고 경사는 대체로 30% 미만이다(Fig. 4). 산방통은 사질 응회암질 역암을 모재로 하며 구릉지 및 급경사지에 분포하고 있는 화산회토로서 medial, amorphic, thermic family of Lithic Hapludands로 분류된다. 표토는 농암갈색의 바위가 있는 사양토이다. 인성통은 사질 응회암에 화산회가 퇴적된 토양이며 용암류 평탄지에 분포하고 있는 화산회토로서 medial, amorphic, thermic family of Typic Hapludands로 분류된다. 표토는 농암갈색의 실트질식양토이다(류순호, 2000).

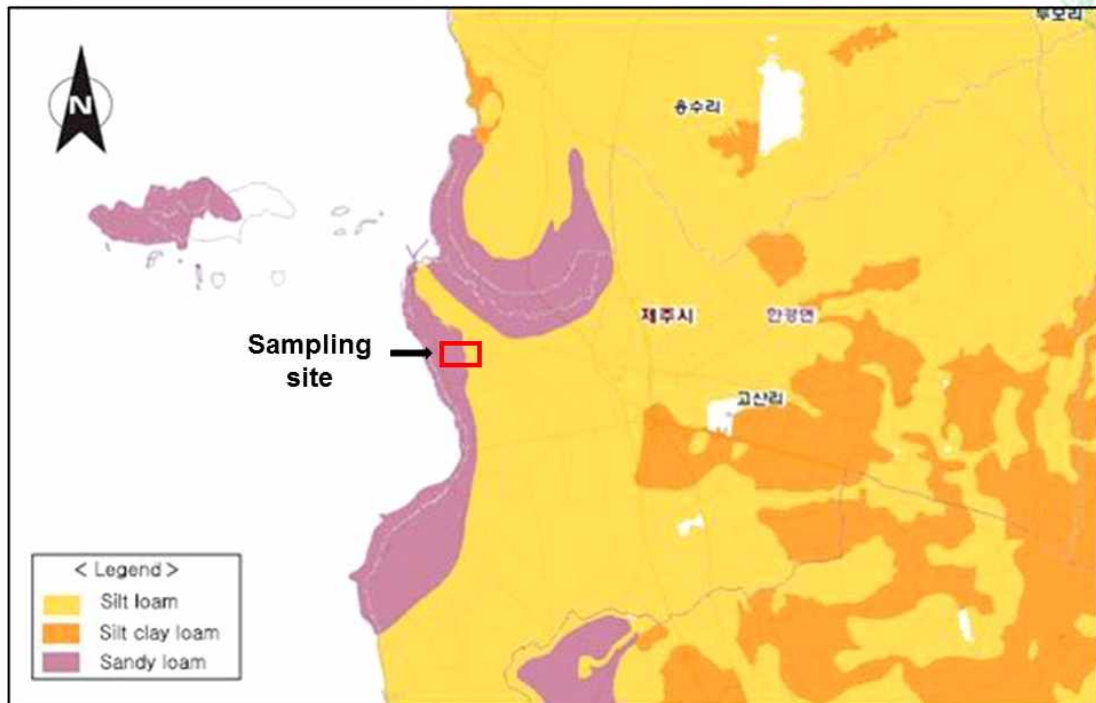


Fig. 3. Map showing soil texture of the Gosanri from Rural Development Administration, 2016

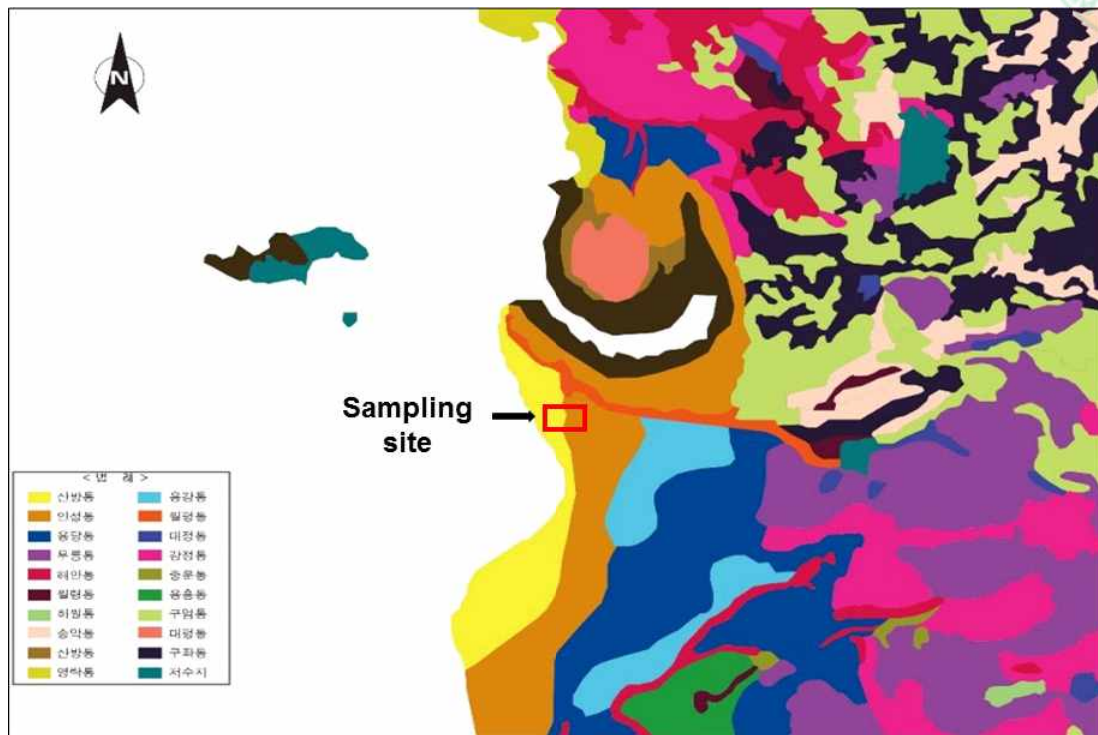


Fig. 4. Map showing soil series of the Gosanri from Rural Development Administration, 2016

다. 연구지역의 기후

제주도지역의 연평균 강수량은 약 2,139 mm이며(박원배, 2011), 지역에 따라 강우량에 많은 차이를 보인다(Table 2). 가장 많은 강수량을 보이는 곳은 서귀포 지역으로 연평균 1,850.8 mm이고, 가장 적은 강수량을 보이는 곳은 고산지역으로 연평균 1,094.7 mm이다(기상청, 2015).

Table 2. Mean annual climatic factors of Jeju Island (2015)

Location	Precipitation (mm)	Mean humidity (%)	Temperature (℃)
Jeju	1,456.9	73.3	15.5
Gosan	1,094.7	76.5	15.5
Seogwipo	1,850.8	70.7	16.2
Seongsan	1,840.9	75.3	15.2

라. 야외조사 및 시료채취

연구지역의 시료는 GS-1, GS-2 두 곳에서 채취하였다(Fig. 5). 채취된 토양 시료는 농촌진흥청 농업기술연구소의 토양 분류기준에 의해 각각 인성토와 산방토로 나타났다(농촌진흥청, 2016). 연구지역 전체적인 층위는 5개 층으로 나뉜다. A_p (1 층)은 경작층으로 사질성분이 높고 식물뿌리에 의한 교란이 확인되었다. B1(2 층)은 흑색 사질토로 사질성분이 많으며 부드러운 입자로 이루어져 있으며 3층보다 밝은 색조를 보인다. B2(3 층)은 흑색사질점토로 2층보다 어두운 색조를 보이며 화산쇄설물인 스코리아(scoria)가 포함되어 있다. B3(4 층)은 암갈색사질점토로 점성이 보다 높고 화산쇄설물이 포함되어 있다. B4(5 층)는 지형적 영향으로 굴곡져 융기된 화산쇄설물 층이다(Fig. 6). 토양 시료 채취는 경작층인 A_p 층을 제외한 그 하부로 선정하였다. GS-1에서는 A_p 층을 제외하고 수직방향으로 19 cm에서 80 cm까지 5 cm 간격으로 12 개를 채취하였다(Fig. 7). GS-2에서도 A_p 층을 제외하고 23 cm에서 60 cm까지 5 cm 간격으로 7개를 채취하였다(Fig. 8).

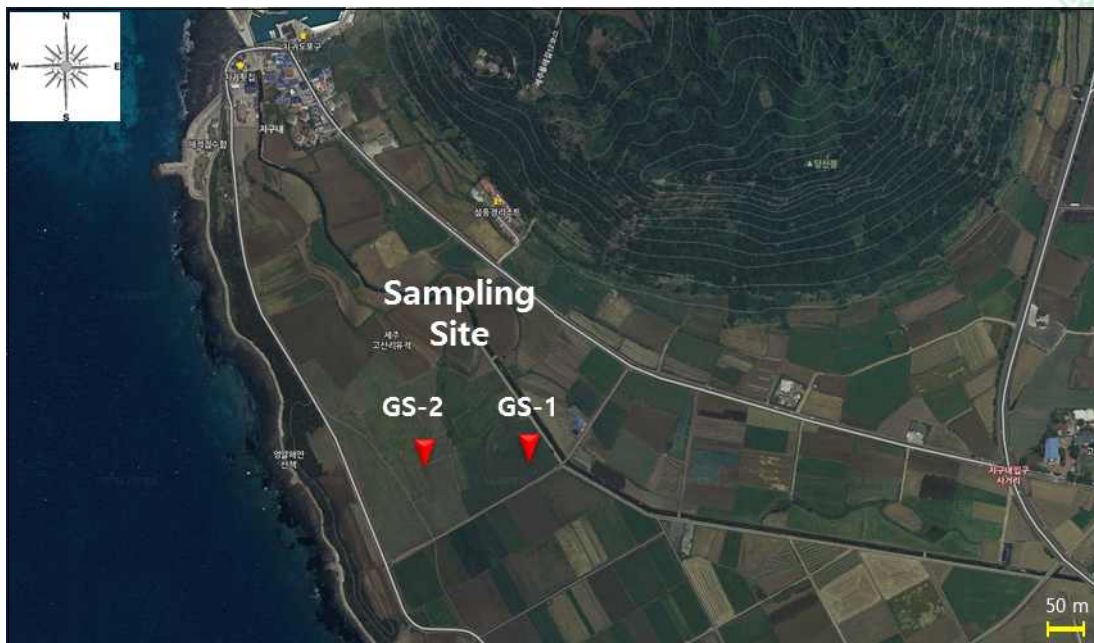


Fig. 5. Satellite map showing the sampling site (GS-1, GS-2) from Naver

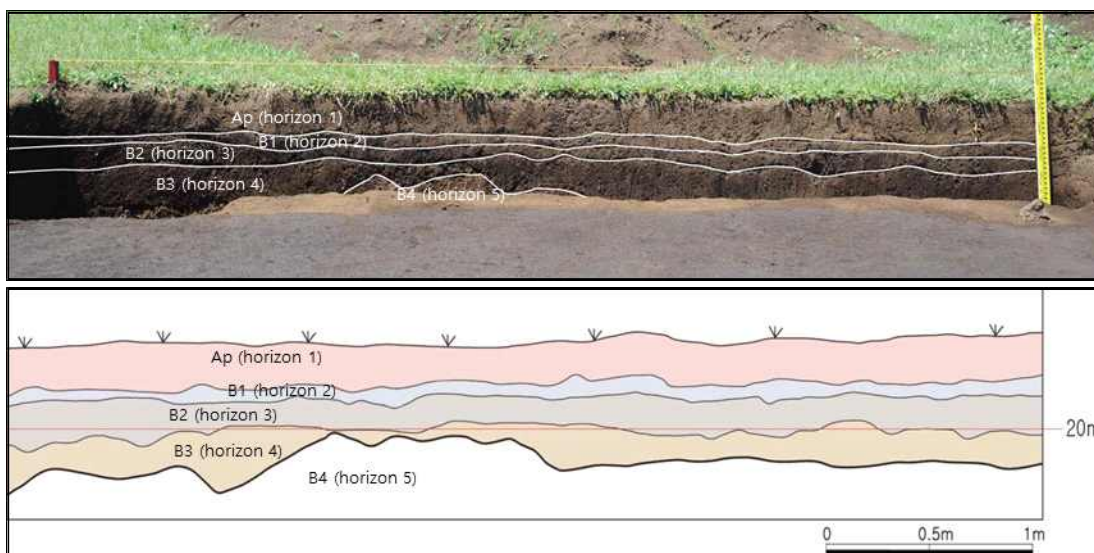


Fig. 6. Soil profile of the sampling site (GS-1)

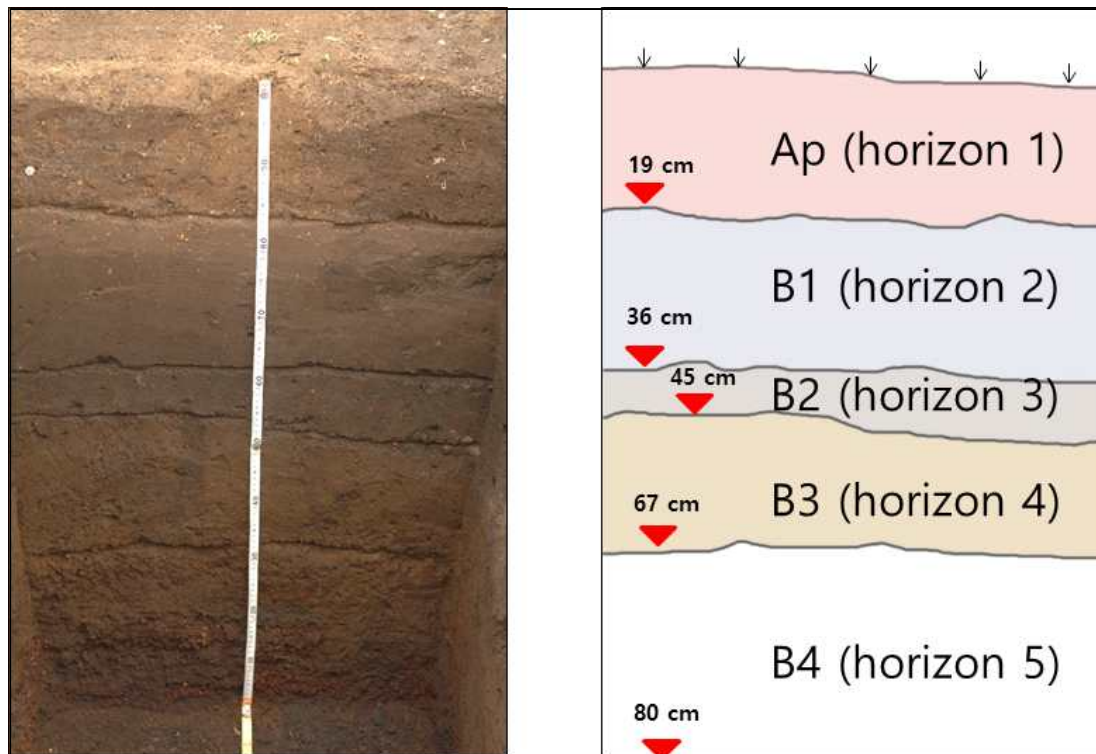


Fig. 7. Soil profile of GS-1 at Gosanri

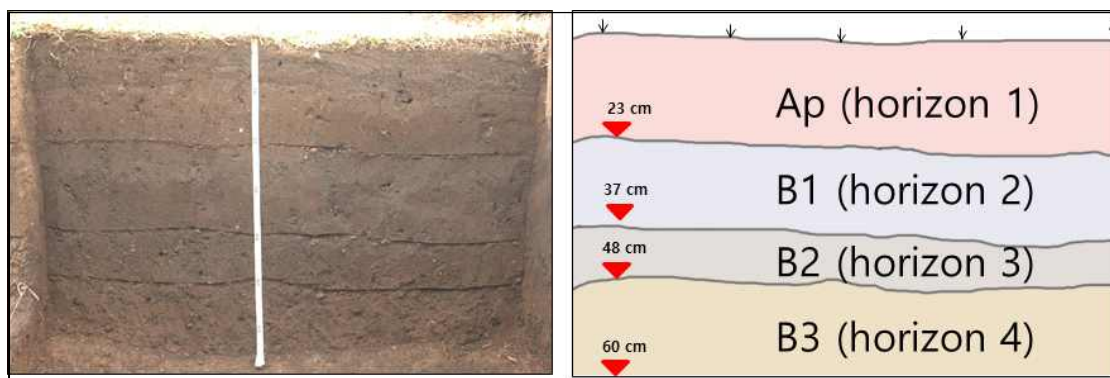


Fig. 8. Soil profile of GS-2 at Gosanri

3. 연구방법

가. 토양 · 물리화학적 특성

1) 토양의 색

토양은 다양한 색깔을 띠고 있으며, 이러한 색깔 차이는 토양을 구성하고 있는 광물성분과 수분함량에 따라 달라진다. 대부분의 경우 토양의 색깔은 토양의 발달과정에서 변하게 되며, 토양의 생성연대와 배수상태의 규명 및 토양의 층위별 유기물 함량과 분포를 예측하는데 사용할 수 있다. 토양의 색 기재에 쓰인 Munsell 토색첩(Munsell color chart)은 색상(hue: H), 명도(value: V), 채도(chroma: C)를 적용하여 색상, 명도, 채도 순으로 표기한다. 색상은 색깔의 속성을 나타내며, 4단계로 구분한다. 명도는 색깔의 밝기 정도를 나타내며, 순수한 검은색에서 순수한 백색까지 7단계로 구분한다. 채도는 색깔의 선명도를 나타내며, 회색에 가까울수록 낮은 값을 가지고 6단계로 구분한다(Torrent and Barron, 1993).

채취한 시료는 Munsell 토색첩을 사용하여 상온에서의 건조 전과 후의 색을 기재하였다.

2) 입도 분석

연구지역 토양의 토성을 확인하기 위해 입도분석을 실시하였다. 입도분석(particle size analysis)은 토양의 기원, 형태, 분류 연구에 이용되는 기본적인 연구방법으로서 체질, 침전 등을 통해 토양시료 내 입자들의 크기 분포를 결정할 수 있고, 토양 입도는 크게 모래, 미사, 점토로 분리할 수 있다(Kilmer and Alexander, 1949; Gee et al., 2002). 입도 분류 기준은 USDA(2016)를 따랐으며, 입도분석은 습식체분석(wet sieving method)과 스톡스의 법칙(Stokes's law)에 기초한 피펫법(pipette method)을 이용하였다. 측정된 모래, 미사, 점토의 무게를 토양시료 전체 무게에 대한 백분율로 각각 계산한 다음, 입도 분석 결



과를 미국 농무성(U.S Department of Agriculture, USDA)의 토성삼각도에 토 시하였다.

가) 건조 및 균질화

현장에서 시료 채취 시 자갈(직경 2 mm이상)의 분리가 이루어진 시료는 실내에서 자연건조 하였다. 마른 토양은 광물 입자의 산출 형태가 변형되지 않도록 주의하며 가볍게 분쇄한 후 2 mm 체(KS 규격)를 이용하여 통과시켰다. 2 mm 체를 통과한 시료는 60℃에서 건조하였다.

나) 유기물 제거 및 중탕 처리

건조된 토양시료 10 g을 200 ml 삼각플라스크에 증류수 25 ml와 함께 넣었다. 유기물이 다량 함유된 경우 토양 입자를 응집시켜 분산을 방해하므로 과산화수소(H_2O_2)를 이용하여 유기물 제거를 실시하였다. 과산화수소를 한꺼번에 많이 주입할 경우 광물입자가 유실될 수 있으므로 시료 용액에 10 ml 주입 한 후 반응이 약해지면 다시 10 ml를 첨가하는 식으로 반응이 완료될 때까지 반복하였다. 유기물 제거가 완료되면 용액 내 과산화수소를 기화시키기 위해 항온조에서 1시간 동안 90℃를 유지하면서 중탕 처리하였다. 항온조 이용 시 균일한 중량을 위해 삼각플라스크 내부 용액과 항온조 내 증류수 높이를 동일하게 하였다. 항온조는 LSB-045S(Lab Tech, USA) 모델을 이용하였다. 중탕 처리 후 입자 사이의 층간수가 빠져 나가는 것을 방지하기 위해 약 95℃에서 24시간 이상 건조하였다.

다) 시료 분산

건조한 시료는 화학적 및 물리적 분산처리를 실시하여 입도분석에 용이하도록 하였다. 건조한 시료에 증류수 100 ml와 분산제인 sodium-hexametaphosphate[0.05 M sodium-hexametaphosphate와 0.07 M



sodium-carbonate의 혼합액, $\text{Na}_6(\text{HOP}_3)_6$] 10 ml를 첨가하고 삼각플라스크 입구를 파라필름으로 밀봉한 다음, 120 rpm으로 24시간 동안 흔들어 분산처리 하였다.

라) 모래 분리

입도 범위 2 mm ~ 63 μm 인 모래는 습식체분석을 통해 분리하였다. 분산처리 한 용액은 63 μm 표준체(KS/ASTM mesh No.230)를 통과시켜 모래를 분리하였는데, 이 때 용액이 체를 흘러넘치지 않도록 주의하였다. 또 체를 통과시킨 증류수가 맑은 색이 될 때까지 씻어내어 분리된 모래에 미사와 점토가 포함되지 않도록 하였다.

마) 점토 분리

입도 2 μm 이하인 점토를 미사로부터 분리하기 위해 스톡스 법칙을 이용하였다. 먼저, 모래가 분리된 액체는 1000 ml 메스실린더에 담고 증류수를 주입하여 1000 ml의 용액을 만들었다. 용액을 고루 섞어 준 후, 흔들리지 않도록 안정된 실험대 위에 세워 두고, 7시간 40분 후에 고무호스를 이용하여 상청액을 9.5 cm 지점까지 뽑아냈다. 이러한 과정을 9.5 cm가 되는 지점의 상청액이 맑아질 때까지 반복하여 점토를 분리하였다.

바) 모래/미사/점토의 건조 및 무게 측정

모래와 미사, 점토의 무게를 측정하기 위해 비커 무게를 측정한 다음, 분리된 모래, 미사, 점토를 각각 비커에 담아 약 95℃에서 건조시켰다. 건조된 시료는 비커에서 분리 시 소량 유실될 가능성이 있으므로 비커에 담긴 채로 무게를 측정한 다음, 각각 미리 측정해 둔 비커의 무게를 빼서 건조된 모래, 미사, 점토의 무게를 구하였다. 점토 용액의 양은 한 번에 건조하기에는 너무 많기 때문에 메스실린더를 이용하여 전체 점토 용액의 양을 각각 측정하고 그 중 25 ml 씩만



건조하여 점토의 무게를 구한 후, 전체 1000 ml 중 25 ml를 취했기 때문에 40을 곱해 주었다.

3) pH

토양이 나타내는 산성 또는 알칼리성의 정도를 보통 pH로 나타낸다. 토양의 pH는 무기성분의 용해도에 큰 영향을 끼친다. 연구 지역 토양의 pH는 증류수, 0.01 M CaCl_2 를 이용하여 측정하였다.

토양 시료를 실내에서 자연 건조하여 2 mm 체로 걸러냈다. pH를 측정하기 위해 HM-31P(DKK-TOA, Japan)를 이용하여 pH=4 와 pH=7의 지시액을 이용하여 보정하였고, 시료 10 g과 증류수 10 ml(1:1)를 50 ml 코니컬튜브에 넣어 30 분간 교반한 다음 pH를 측정하였다. 또한 토양수의 유사한 지화화학적 조건과 이온농도를 만들어주기 위해 0.01 M의 CaCl_2 를 넣고 잘 섞어준 후 30 분 뒤에 다시 한 번 측정하였다.

4) ICP-AES

토양 내 광물이 풍화되면 Fe와 Al이 용출되어 토양 입자 표면에 집적된다. 용출되는 원소의 거동을 알아보고 결정질, 비정질 Fe와 Al의 양을 알아보기 위해 화학분석을 실시하였다.

점토광물의 결정질과 비정질 Fe와 Al의 농도분석을 위하여 ICP-AES를 이용하였다. 비정질에 결합된 Fe와 Al 농도를 확인하기 위해 acid ammonium oxalate와 반응시켰으며, 결정질의 Fe와 Al의 경우 CBD [sodium citrate ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), 1 M sodium bicarbonate (NaHCO_3), sodium dithionite ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$)]와 반응시켜 상청액을 이용하여 농도 분석을 실시하였다.

다. 광물학적 특성

1) X-선회절분석

연구 지역의 토양 구성광물을 확인하기 위해 X-선회절분석을 실시하였다. X-선회절분석(X-ray diffraction, XRD)은 X-선이 고체의 결정격자에 반사될 때 결정격자 층의 간격에 따라 간섭이 발생하는 성질을 이용하여 결정의 구조를 분석하는 기술로서 파장이 일정한 특정 X-선을 이용한다. X-선 회절은 결정 원자들이 갖고 있는 균일한 간격에 의해서 입사 X-선파가 간섭무늬를 일으키는 원인이 되는 현상으로, Bragg 식($n\lambda = 2d \cdot \sin\theta$)을 이용하여 결정 내 회절면 사이의 간격(d)을 구함으로써 광물의 동정이 가능하다.

분석에 이용된 기기는 X'Pert PRO Multi Purpose X-Ray Diffractometer이고 CuK α 선과 Ni-filter를 이용하였다. 가속 전압은 40 kV, 전류는 30 mA, scan speed는 0.13 $^{\circ}/s$, step size는 0.026 $^{\circ}$ 2 Theta의 조건에서 분석하였다.

가) 모래, 미사의 XRD 분석

모래와 미사의 광물을 동정하기 위하여 시료를 60 $^{\circ}\text{C}$ 에서 24시간 이상 충분히 건조시킨 후, 아게이트 막자사발을 이용하여 균질하게 분쇄시킨 다음, 75 μm 표준체(KS mesh No.200)를 통과한 분말 시료를 분석하였다.

나) 점토의 XRD 분석

점토의 광물을 동정하기 위하여 시료를 90 $^{\circ}\text{C}$ 에서 건조한 후 분말 상태로 분석하였다. 또한 층간에 어떤 이온이나 물질이 들어가느냐에 따라 d-spacing 값이 달라지기 때문에 K로 치환시킨 후 상온, 300 $^{\circ}\text{C}$, 550 $^{\circ}\text{C}$ 에서 열처리를 하면 온도에 따라 d-spacing 값의 변화를 보여 고령석과 녹니석을 구분하고, 질석이나 스멕타이트 같은 팽창성 광물들은 층간에 glycerol 같은 유기물질이 들어갈 때 팽창이 일어나기 때문에 Mg로 치환 시킨 후 glycerol 처리하였다(Table 3). 화학

적 처리를 하지 않은 원시료 외에 화학적 처리를 통해 비정질 및 결정질 Fe와 Al 산화물 제거를 실시한 점토를 대상으로 XRD 분석을 실시하였다.

먼저 15 ml 원뿔 튜브(conical tube)에 점토 10 ml와 KCl, MgCl_2 5 ml를 각각 첨가하였다. 잘 흔들어 준 후 2000 rpm에 8분 동안 원심분리하였다. 1번의 원심분리를 끝낸 각각의 튜브는 상청액을 따라내고 conical tube의 15 ml선까지 증류수를 채우고 섞어 준 후, 2000 rpm에 10분 동안 원심분리하였다. 그리고 상청액을 따라내고 conical tube의 15 ml선까지 증류수를 채우고 섞은 후, 2000 rpm에 30분 동안 원심분리하였다. 이 과정을 두 번 반복하였다. K^+ -sat, Mg^{2+} -sat 시킨 시료를 정방위법으로 준비하였다. 점토광물과 같은 층상규산염광물들의 시료들을 준비할 때 시료를 준비하는 방법에 따라 회절결과는 큰 차이가 있게 되기 때문에 결정분말의 선호적인 배열이 일어나도록 정방위법을 이용하였다(문희수, 1995). Filter-membrane peel technique에 따라 점토광물의 (001) 면이 필터에 평행하게 잔류시켜 정방위 시료를 만든 후, 슬라이드 글라스에 점토광물을 부착시켰다(Drever, 1973). 사용한 필터종류는 GS, 필터의 공극크기는 $0.22 \mu\text{m}$ 이다. 점토피막을 형성하는 비정질의 Fe와 Al 산화물을 처리하기 위해 pH 3.0인 acid ammonium oxalate를 100 ml 첨가하고 호일로 빛이 들어오지 않게 한다. 이는 oxalate가 빛의 작용으로 분해되어 철을 침전시키기 때문이다. 그 다음 잔여물을 2시간 동안 섞어준 후, XRD 분석을 하였다(Schwertmann, 1964; McKeague and Day, 1966; Kellogg soil survey laboratory methods manual, 2014).

점토피막 결정질의 Fe와 Al 산화물을 처리하기 위해 CBD 처리를 실시하였다. 건조 된 시료에 0.3 M sodium citrate ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)와 1 M sodium bicarbonate(NaHCO_3)의 혼합용액(pH 3)을 첨가한다. 그리고 1 g의 고체 sodium dithionite($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$)를 첨가하여 5분간 잘 저어준다. 그 후 sodium dithionite를 1 g을 더 넣고 5분간 저어준다. 이때 FeS의 형성을 막기 위해 물 증탕으로 80°C 로 가열하였다. 이런 과정을 2회 반복 실시한 후, XRD 분석을 실시하였다(Jackson, 1975).

2) 주사전자현미경분석 및 에너지분산분광분석

연구지역의 토양 입도(모래, 미사)의 형태 및 화학조성을 비교하기 위하여 주사전자현미경분석(scanning electron microscopy, SEM) 및 에너지분산분광분석(energy dispersive x-ray spectroscopy, EDS)을 실시하였다. 주사전자현미경 분석은 전자선이 시료면 위를 주사할 때 시료에서 발생하는 신호 중 발생 확률이 가장 많은 이차전자나 반사전자를 검출해서 시료의 표면 정보를 얻을 수 있다. 에너지분산분광분석은 전자총에서 5~30 kV로 가속된 전자빔을 연마된 시료 표면에 조사하면 시료 표면에서 특성 X-선이 발생되는데, 이를 에너지분산분광기로 검지하면 구성원소의 조성을 확인할 수 있다. 분석에 이용한 기기는 S-4700(Hitachi, Japan)이고, 가속 전압은 20 kV의 조건에서 분석하였다.

모래와 미사의 구성 광물의 외형, 결정 구조, 화학조성을 관찰하기 위해 시료를 건조하여 그 상태로 스테브(stub) 위에 고정시켜 Pt 코팅을 한 후 분석하였다.



3) 투과전자현미경분석 및 에너지분산분광분석

연구지역의 점토시료의 형태 및 화학조성을 비교하기 위하여 투과전자현미경 분석 및 에너지분산분광분석을 실시하였다. 투과전자현미경분석(transmission electron microscopy, TEM)은 고에너지를 갖는 전자선이 전자 렌즈계를 거쳐 시료를 통과, 형광판에 상을 맺게 하여 시료의 밀도, 두께 차이에 의한 명암상을 얻을 수 있다. 또한 전자선을 회절시켜 원소 내부의 정보도 얻을 수 있다. 에너지분산분광기(energy dispersive x-ray spectroscope, EDS)는 전자총에서 5~30 kV로 가속된 전자빔을 연마된 시료 표면에 조사하면 시료 표면에서 특성 X-선이 발생되는데, 이를 에너지분산분광기로 검지하면 구성원소의 조성을 확인할 수 있는 기기로서 TEM에 장착되어 있다. 분석에 이용된 기기는 Tecnai F20(Phillips, Netherlands)이고, 가속전압은 200 kV 조건에서 분석하였다.

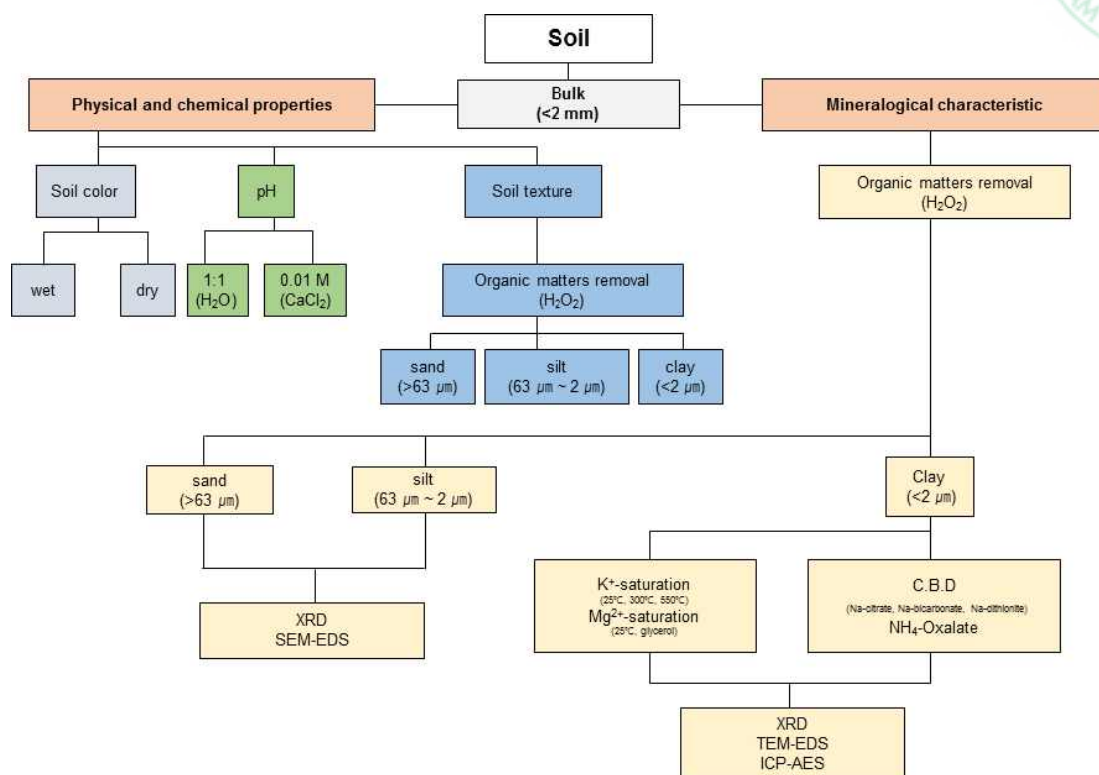


Fig. 9. Flow chart of the procedure used to prepare samples for physico-chemical properties of soils and mineralogical examination

Table 3. The d-spacings for the common layer silicates as a function of saturating cation and heat treatment (Essington, 2004)

Treatment	Clay minerals (d-spacing, nm)				
	Kaolinite	Illite	Smectite	Vermiculite	Chlorite
K ⁺ -25°C	0.71	1.0	1.2~1.3	1.0	1.4
K ⁺ -300°C	0.71	1.0	1.0	1.0	1.4
K ⁺ -550°C	absent	1.0	1.0	1.0	1.4
Mg ²⁺	0.71	1.0	1.4	1.4	1.4
Mg ²⁺ -gly	0.71	1.0	1.8	1.4	1.4

4. 연구 결과 및 토의

가. 토양 · 물리화학적 특성

1) 토양의 색

토양색에 영향을 끼치는 요인은 수분함량, 유기물함량, 토양에 존재하는 철과 망간이온의 산화환원상태 등이다. 제주도의 화산회토와 같이 유기물함량이 10%를 넘는 토양은 거의 흑색에 가까운 색을 띤다(김계훈 외, 2006). 일반적으로 지표면에서 유기물을 다량 함유한 것일수록 검은 색을 띠고, 풍화작용이 덜 진행된 약간 깊은 부분에서는 황색에 가까운 색을 띠는 경향이 있다(황진연, 2000). GS-1 토양을 조사한 결과, 수분을 함유하고 있는 건조 전 색상이 10YR과 7.5YR로 구성되어 있으며 명도는 2~3의 밝기, 채도는 1~3을 나타내며 대체적으로 very dark brown에 해당한다. 건조 후 색상이 10YR과 7.5YR, 명도 3~6, 채도 3~6으로 대체적으로 dark yellowish brown 해당한다(Table 4). GS-2 토양을 조사한 결과, 수분을 함유하고 있는 건조 전 색상이 10YR과 7.5YR로 구성되어 있으며 명도는 2~3의 밝기, 채도는 2~4를 나타내며 대체적으로 very dark brown에 해당한다. 건조 후 색상이 10YR, 명도는 4, 채도는 2~6으로 대체적으로 dark yellowish brown에 해당한다(Table 5).

GS-1 토양은 심도가 깊어질수록 명도와 채도가 조금씩 증가하는 경향이 보이는 반면, GS-2 토양은 심도에 관계없이 명도와 채도가 유사한 경향을 보였다. 이는 GS-1은 산화철이 깊은 심도까지 분포된 반면, GS-2는 비교적 상부 토양까지 주로 분포된 것으로 사료된다.

두 지역 모두 대체적으로 very dark brown과 dark yellowish brown이 주로 나타나며, 과습상태와 건조상태를 반복하여 용해되어 있던 철이 산화되었다가 침전되어 다른 광물 입자 표면에 갈색의 피막을 형성한 것으로 사료된다. 이는 토양에 유기물이 변한 부식(humus)과 산화철이 많이 분포하고 있을 것으로 사료된다.

Table 4. Soil color of soil samples obtained from GS-1 soil profile

Sample	Depth (cm)	Soil horizon	Color			
			wet		dry	
1-1	19~21	B1 (horiozon 2)	10YR 2/2	very dark brown	10YR 4/4	dark yellowish brown
1-2	24~26		10YR 2/2	very dark brown	10YR 4/4	dark yellowish brown
1-3	29~31		10YR 2/2	very dark brown	10YR 4/3	brown
1-4	34~36		7.5YR 3/1	very dark gray	10YR 3/4	dark yellowish brown
1-5	40~42	B2 (horizon 3)	10YR 2/2	very dark brown	10YR 3/4	dark yellowish brown
1-6	43~45		10YR 2/2	very dark brown	10YR 3/4	dark yellowish brown
1-7	50~52	B3 (horizon 4)	7.5YR 3/2	dark brown	7.5YR 4/4	brown
1-8	55~57		7.5YR 3/2	dark brown	7.5YR 4/6	strong brown
1-9	60~62		7.5YR 3/2	dark brown	7.5YR 4/6	strong brown
1-10	65~67		10YR 3/1	very dark gray	10YR 5/6	yellowish brown
1-11	72~74	B4 (horizon 5)	10YR 3/3	dark brown	10YR 6/6	brownish yellow
1-12	78~80		10YR 3/3	dark brown	10YR 6/6	brownish yellow



Table 5. Soil color of soil samples obtained from GS-2 soil profile

Sample	Depth (cm)	Soil horizon	Color			
			wet		dry	
2-1	23~25	B1 (horizon 2)	10YR 2/2	very dark brown	10YR 4/4	dark yellowish brown
2-2	29~31		10YR 2/2	very dark brown	10YR 4/4	dark yellowish brown
2-3	35~37		10YR 2/2	very dark brown	10YR 4/4	dark yellowish brown
2-4	41~43	B2 (horizon 3)	10YR 2/2	very dark brown	10YR 4/4	dark yellowish brown
2-5	46~48		10YR 2/2	very dark brown	10YR 4/3	brown
2-6	54~56	B3 (horizon 4)	10YR 2/2	very dark brown	10YR 4/3	brown
2-7	58~60		10YR 3/4	dark yellowish brown	10YR 4/6	dark yellowish brown

2) pH

대표적인 인성토의 pH는 5.6~6.0의 약산성이며, 산방토의 pH는 6.6~7.3으로 중성을 띠고 있다(류순호, 2000). 인성토에 속하는 GS-1 토양의 pH(H₂O)를 측정한 결과, 6.05~7.02로 약산성에서 중성을 띠고 있었다. 토양수의 유사한 지화학적 조건과 이온농도를 만들어준 후 pH(CaCl₂)를 측정한 결과, 5.95~7을 띠고 있었으며 약산성에서 중성을 띠고 있었다. 산방토에 속하는 GS-2 토양의 pH(H₂O)를 측정한 결과, 6.34~6.66으로 약산성을 띠고 있었다. 토양수의 유사한 지화학적 조건과 이온농도를 적정한 후 pH(CaCl₂)를 측정한 결과, 6.34~6.68를 띠고 있었으며 약산성을 띠고 있었다(Fig. 10, 11).

화산분출쇄설물은 유기물 공급이 많은 온난 습윤 기후에서 화산쇄설물 풍화의 결과 생성되는 Al 또는 Fe와 유기물이 결합하여 Al(Fe)-유기복합체 생성이 촉진된다(Dahlgren et al., 1991; shoji et al., 1993). 연구지역의 경우 비가 많이 오고 기온이 높은 기후조건에서는 염기와 규산의 용탈이 강하게 일어나며 토양의 pH가 수산화알루미늄과 수산화철의 등전점인 중성에 가까워 이들 수산화물들은 불용성이 되어 침전될 수 있음을 시사한다. 또한 우리나라에서 제주도 지역은 상대적으로 강수량이 많고 습한 기후를 가지고 있어서 상부 토양의 염기가 용탈되어 하부 토양에 집적되고 그로 인해 상부에서 하부로 갈수록 pH가 점차 증가하는 경향을 나타난 것으로 사료된다.

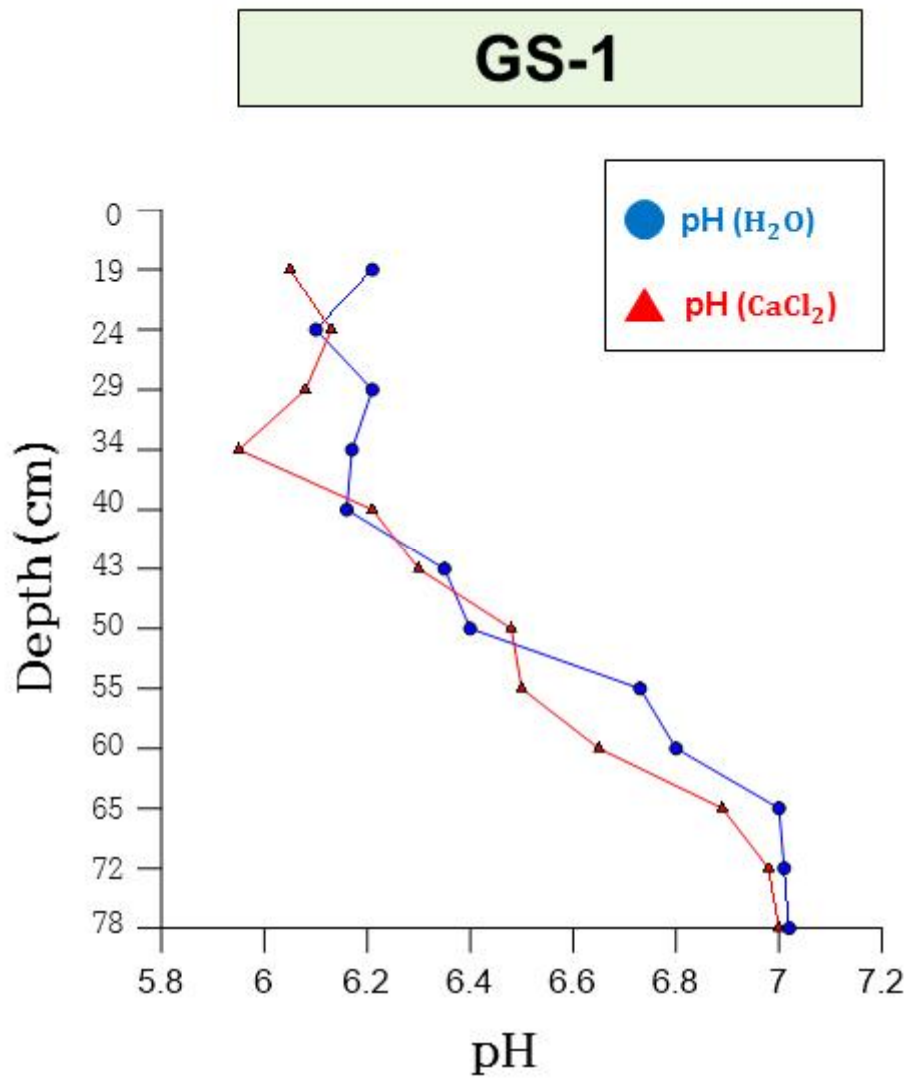


Fig. 10. The pH variation of GS-1 soil profile

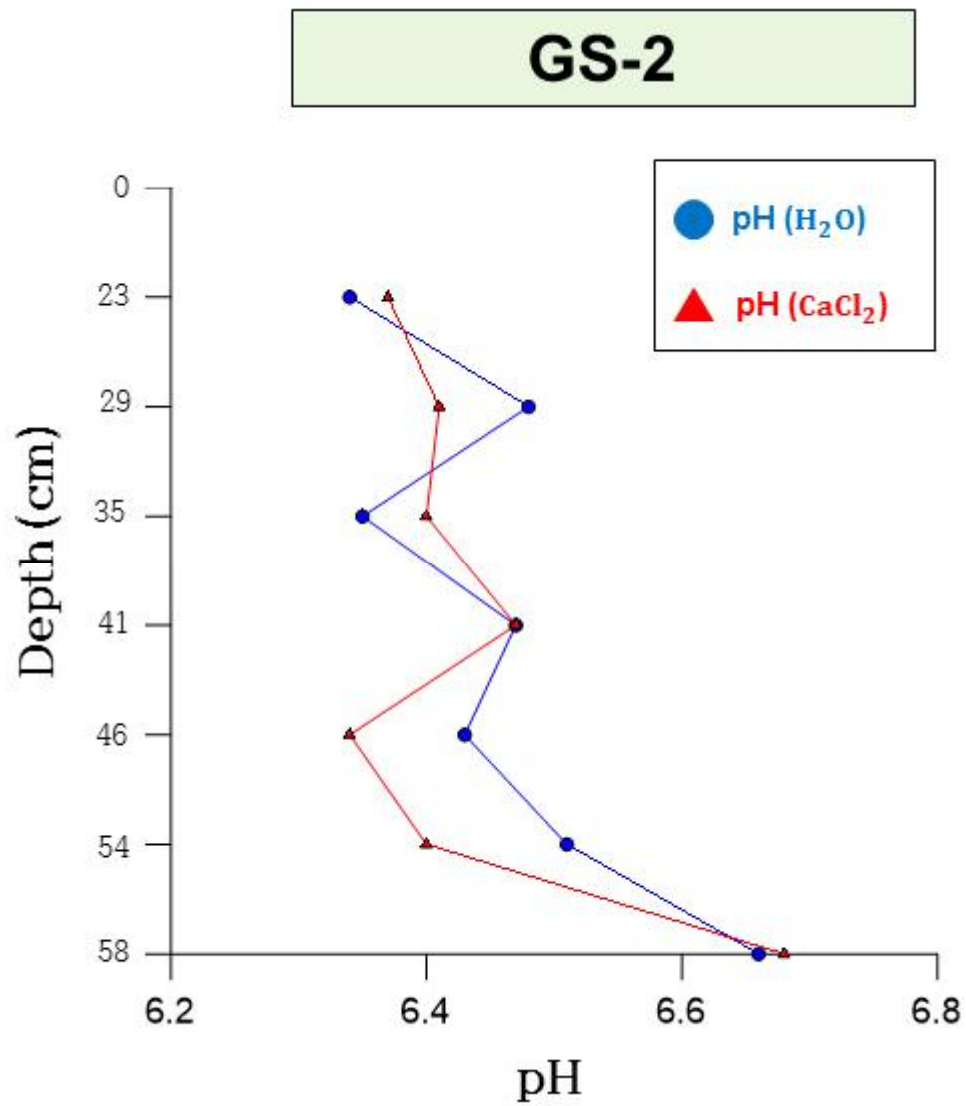


Fig. 11. The pH variation of GS-2 soil profile

3) ICP-AES

상청액의 ICP-AES 분석 결과, Fe와 Al의 농도 변화는 일정한 경향을 나타내고 있다(Fig. 12, 13). Al의 농도 변화는 깊이가 깊어질수록 증가하는 경향을 나타내고 있고 특히, B1과 B2에 해당하는 심도에서 비정질 Al의 농도가 확연히 증가하는 것이 나타난다. 이는 상부 토양에서 1차 광물이 풍화가 진행됨에 따라 Fe와 Al이 용출되고 하부로 내려가면서 집적된 것으로 사료된다. 또한 B1과 B2에 해당하는 심도에서 비정질의 Fe와 Al이 많이 집적되어 비정질 광물을 형성할 수 있음을 시사한다.

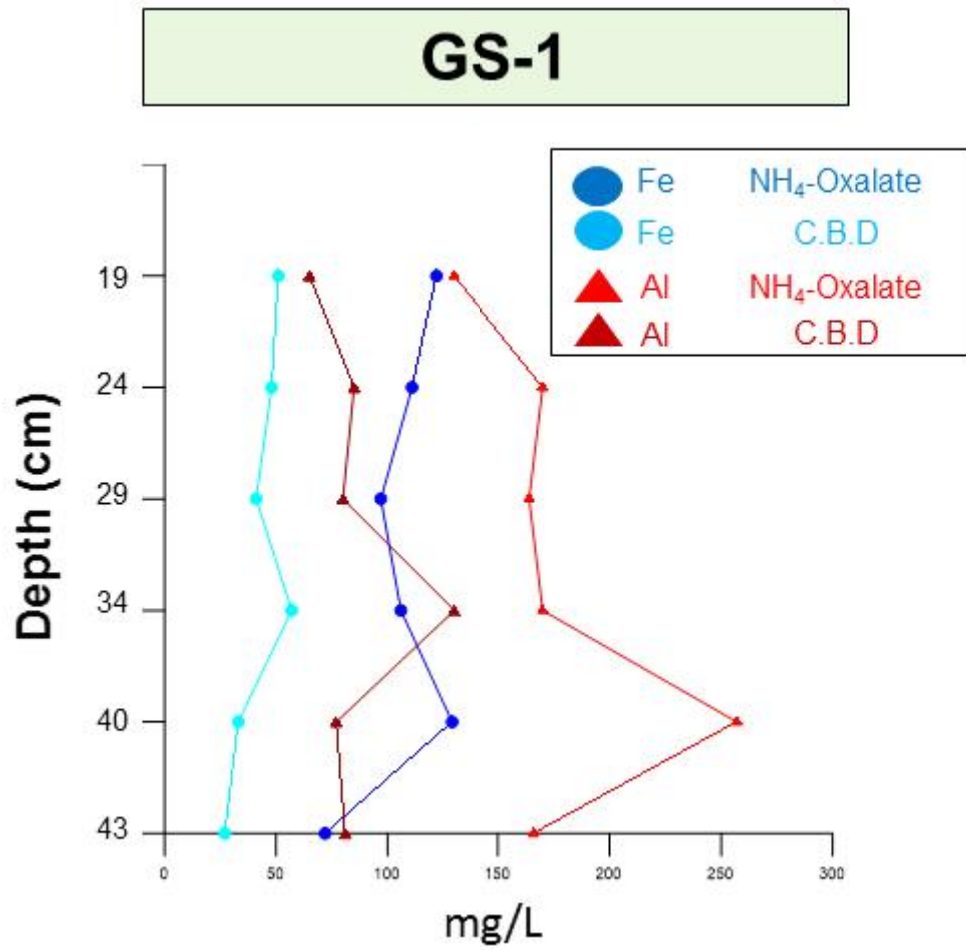


Fig. 12. Concentrations of Fe and Al in GS-1 soil profile

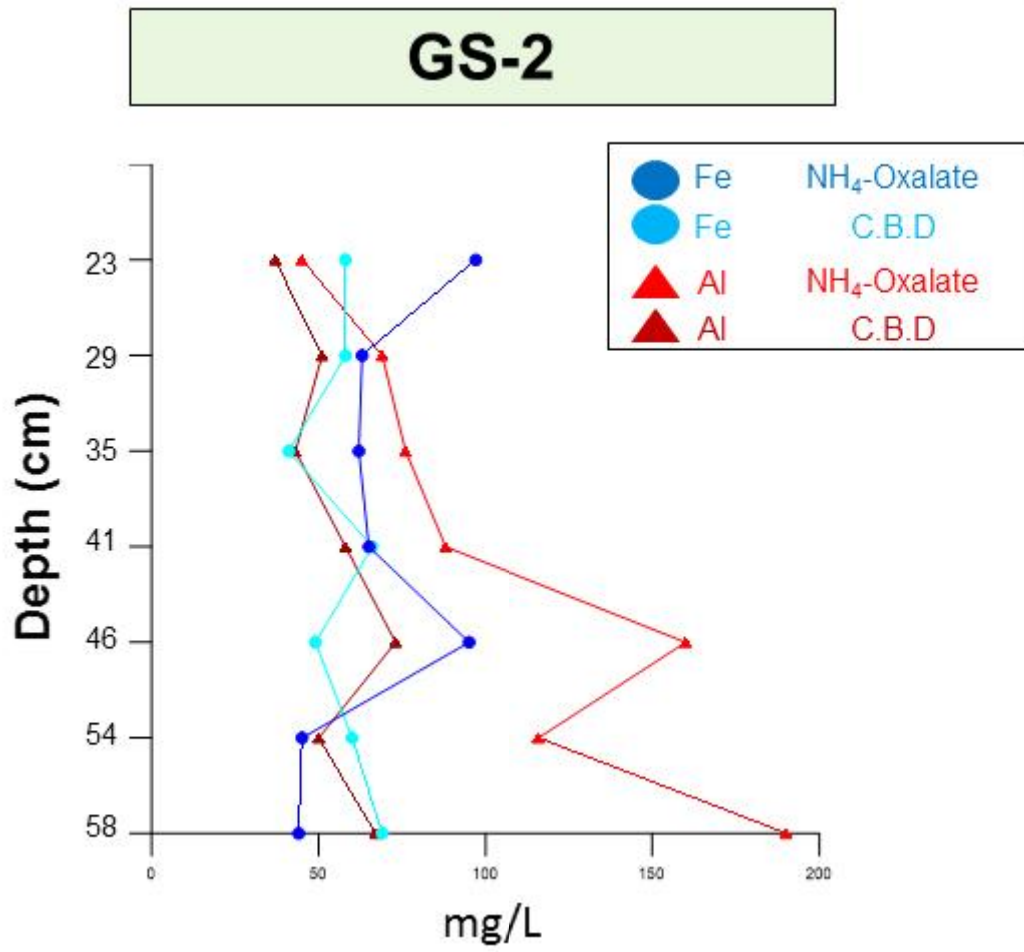


Fig. 13. Concentrations of Fe and Al in GS-2 soil profile

4) 입도분포 및 토성

연구 지역 토양의 토성을 알아보기 위하여 입도분석을 실시하였다. 분리된 모래(sand)의 크기는 $63\ \mu\text{m} \sim 2\ \text{mm}$ 이고, 미사(silt)의 크기는 $63\ \mu\text{m} \sim 2\ \mu\text{m}$ 이며, 점토(clay)의 크기는 $2\ \mu\text{m}$ 이하였다. GS-1의 입도분석 결과 무게백분율이 모래가 16~29%, 미사가 61~78%, 점토가 1~15%였으며 이를 통해 GS-1의 대부분은 미사가 차지함을 알 수 있었다(Table 6). GS-2의 입도분석 결과 무게백분율이 모래가 17~40%, 미사가 43~72%, 점토가 11~17%였으며 GS-2 또한 미사가 대부분을 차지하였다. GS-1과 GS-2의 각 층의 토성을 알아보기 위해 무게백분율을 바탕으로 미국 농무성법에 의거해 토성삼각도에 도시하였다. 그 결과 GS-1의 모든 층(B1, B2, B3, B4)은 미사질양토(silt loam)로 나타났지만, 심도가 깊어지면서 점토의 함량은 줄어들고 B4 층에서는 그 양이 큰 폭으로 줄어들었다. 이는 모재가 감람석, 휘석과 같은 비교적 풍화에 약한 광물들로 구성된 화산쇄설암으로 구성된 토양이 심도가 깊어지면서 풍화의 영향을 덜 받았을 것으로 사료된다.

GS-2의 B1, B2 토양은 미사질양토(silt loam), B3 토양은 양질토(loam)로 나타났지만, 심도가 깊어지면서 모래의 함량은 늘어나고 미사의 함량은 줄어들었다(Fig. 14). 이는 심도가 깊어질수록 풍화의 영향을 덜 받았을 것으로 사료된다. 그리고 연구지역 토성은 농촌진흥청의 토양환경정보시스템(흙토람)에서 게시한 표토의 특성과 대체로 일치하였다.

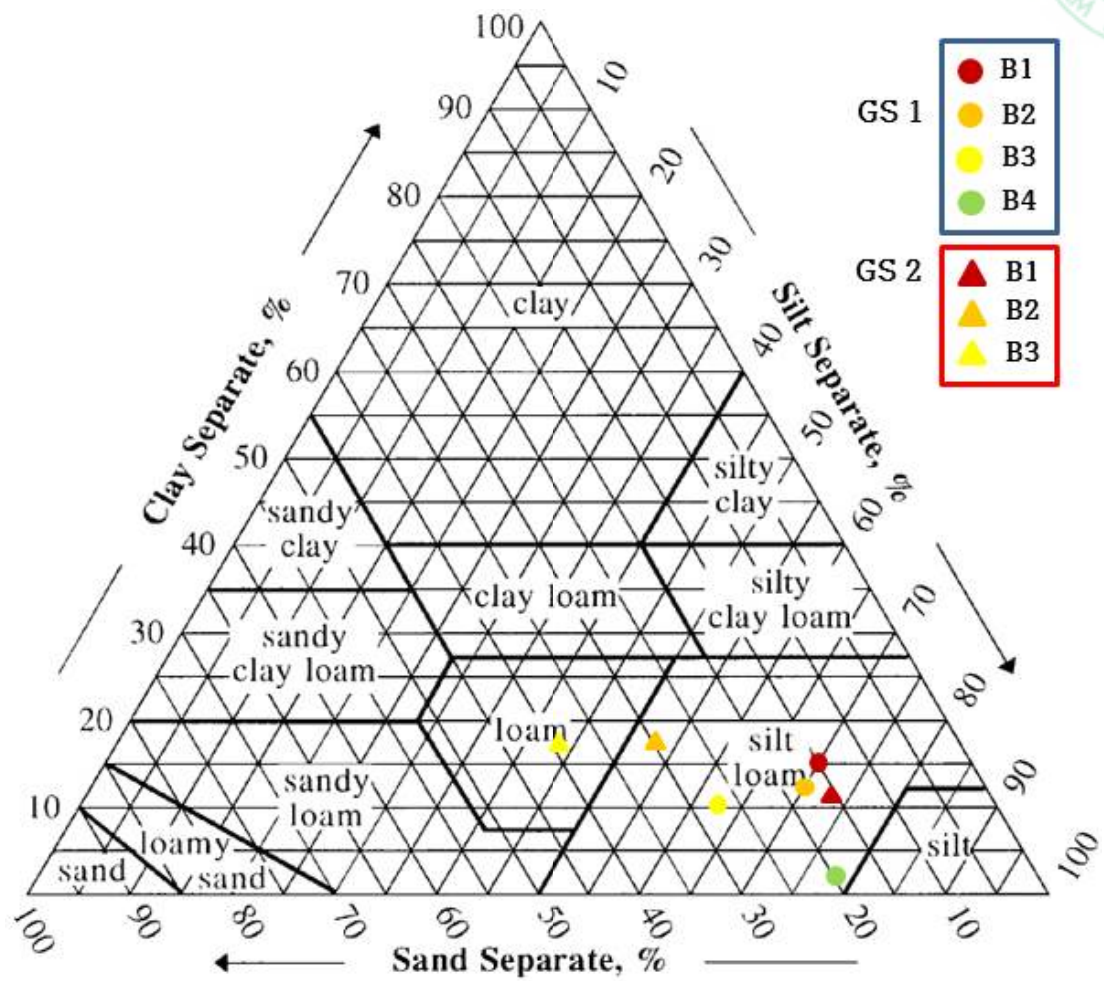


Fig. 14. Predominant soil texture plotted on soil texture triangle (USDA, 2016) of GS-1 and GS-2 soil profile

나. 광물학적 특성

1) 토양의 X-선회절분석 및 SEM/TEM-EDS

유기물을 제거한 연구지역 토양 내 주요 구성광물을 동정하고자 모래, 미사, 점토로 나눠서 X-선회절분석을 실시하였다. 입도 분석을 통해 분리된 모래의 형태적 특성과 화학조성을 알아보기 위해 SEM-EDS 분석을 하였다.

가) 입도 분리된 모래

입도분리된 GS-1, GS-2 토양의 모래를 X-선회절분석한 결과 주 구성광물은 감람석(olivine), 휘석(pyroxene), 사장석(plagioclase), 석영(quartz)으로 나타났으며, 장석은 사장석계열($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$)이 주로 나타났다(Fig. 17-C, 18-C). X-선회절분석 결과 심도에 따른 구성 광물은 유사하며 심도가 깊어지면서 대체로 석영, 감람석, 장석 피크 강도가 감소하는 것을 보이며 휘석은 증가하는 것을 보였다(Fig. 15, 16). 모래의 X-선회절분석 결과를 바탕으로 광물의 형태적 특성과 화학적 조성을 알아보기 위해 각 층의 대표 시료를 SEM-EDS로 분석하였다. 제주도는 현무암지대가 넓게 분포되어 있고, 화산을 일으킨 용암은 감람석을 포함한 현무암질 용암이다(황상구, 1998). 따라서 화산 쇄설물 내에 다량의 석영의 존재를 기대할 수 없다. 그러나 연구 토양에서 석영이 우세하게 나타나며, 그 양은 깊이가 깊어짐에 따라 감소한다. 풍화에 강한 석영이 표토에 공급되었을 가능성을 지시한다. 최근의 연구들은 일본과 한국의 화산 쇄설성 기원의 토양에서 나타나는 석영이 중국에서 불어오는 황사에서 기원했을 가능성을 지시한다(Mizota and Inoue, 1998; Inoue and Narse, 1991). 하지만 모래 입자 크기의 석영이 황사에 의해 공급되었을 가능성은 매우 낮은 것으로 사료되며, 연구 지역 부근의 토양하부에서 해빈사가 인위적으로 충진 되었을 가능성도 제기할 수 있다. 해빈사를 충진 하던 중 유출되어 연구지역에 석영이 공급되었을 가능성을 시사한다. 석영 외에도 나타나는 장석의 분포는 대상 토양에 외부 물질이 공급되었을 가능성을 지시한다. 화산 쇄설물에 포함된 장석은 풍화에 약하며 화산



유리질 물질과 함께 초기에 대부분의 풍화를 받기 때문이다(Eswaran, 1972).

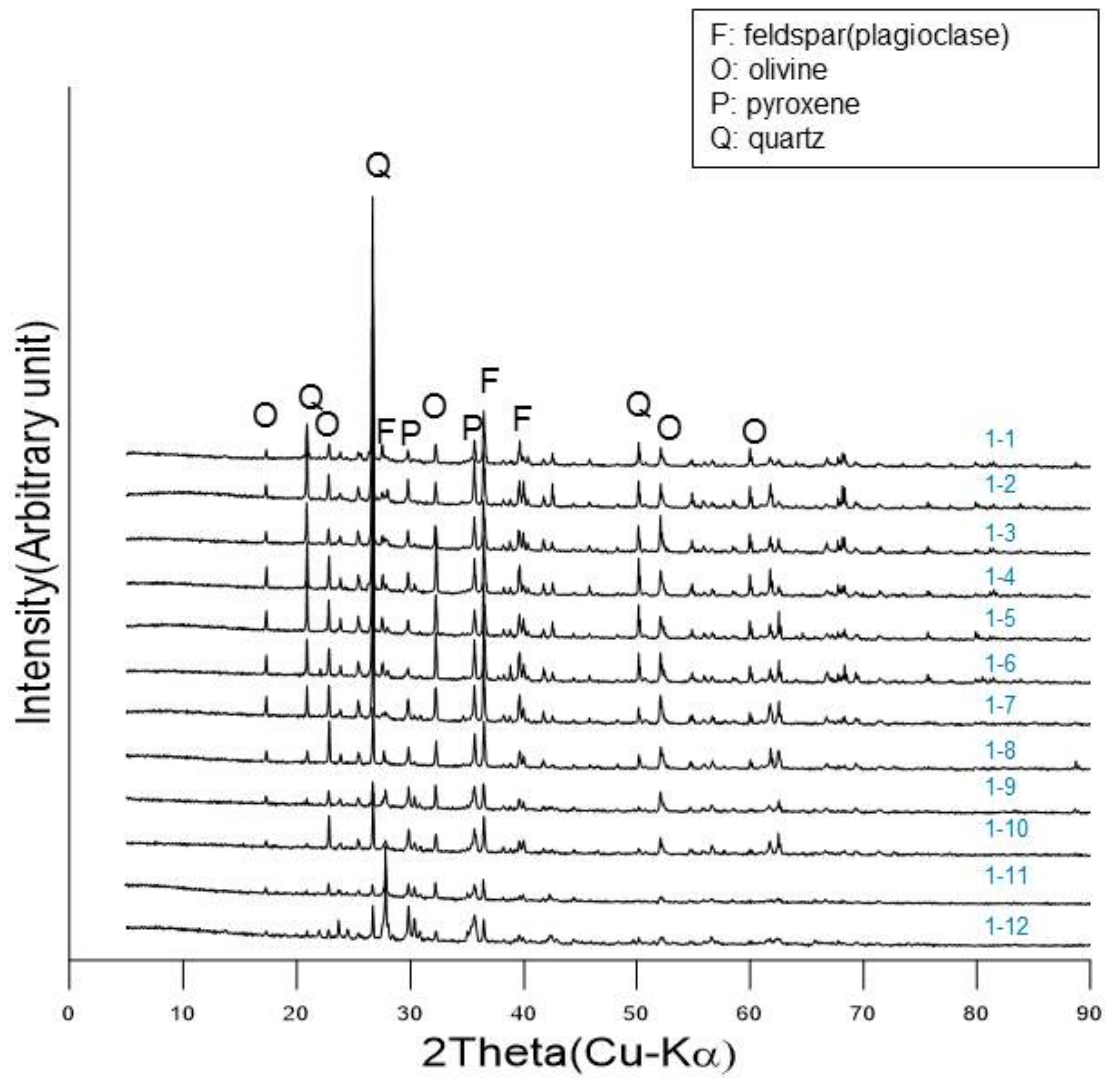


Fig 15. X-ray diffraction patterns of sand fraction in GS-1 soil profile

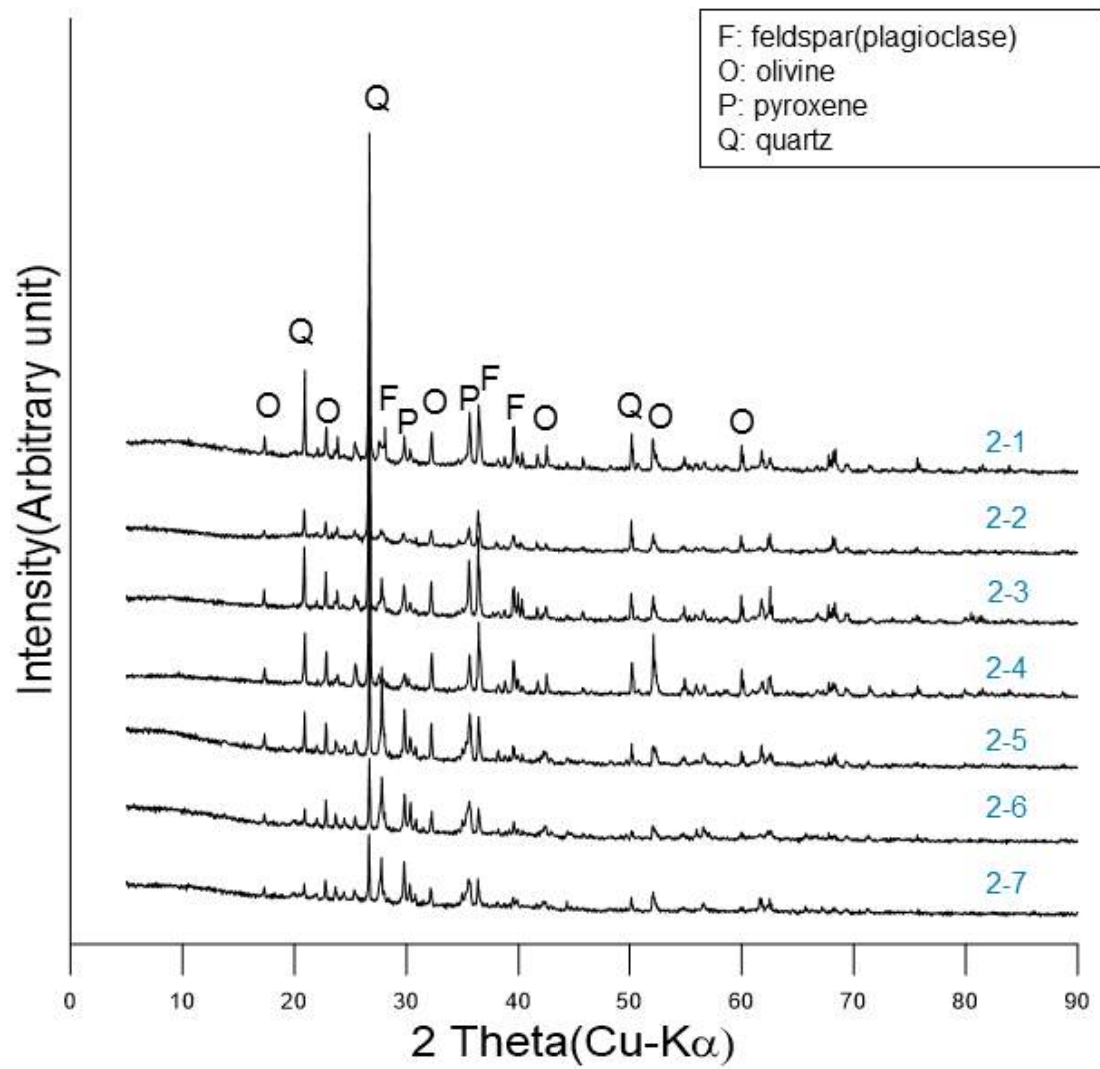


Fig. 16. X-ray diffraction patterns of sand fraction in GS-2 soil profile

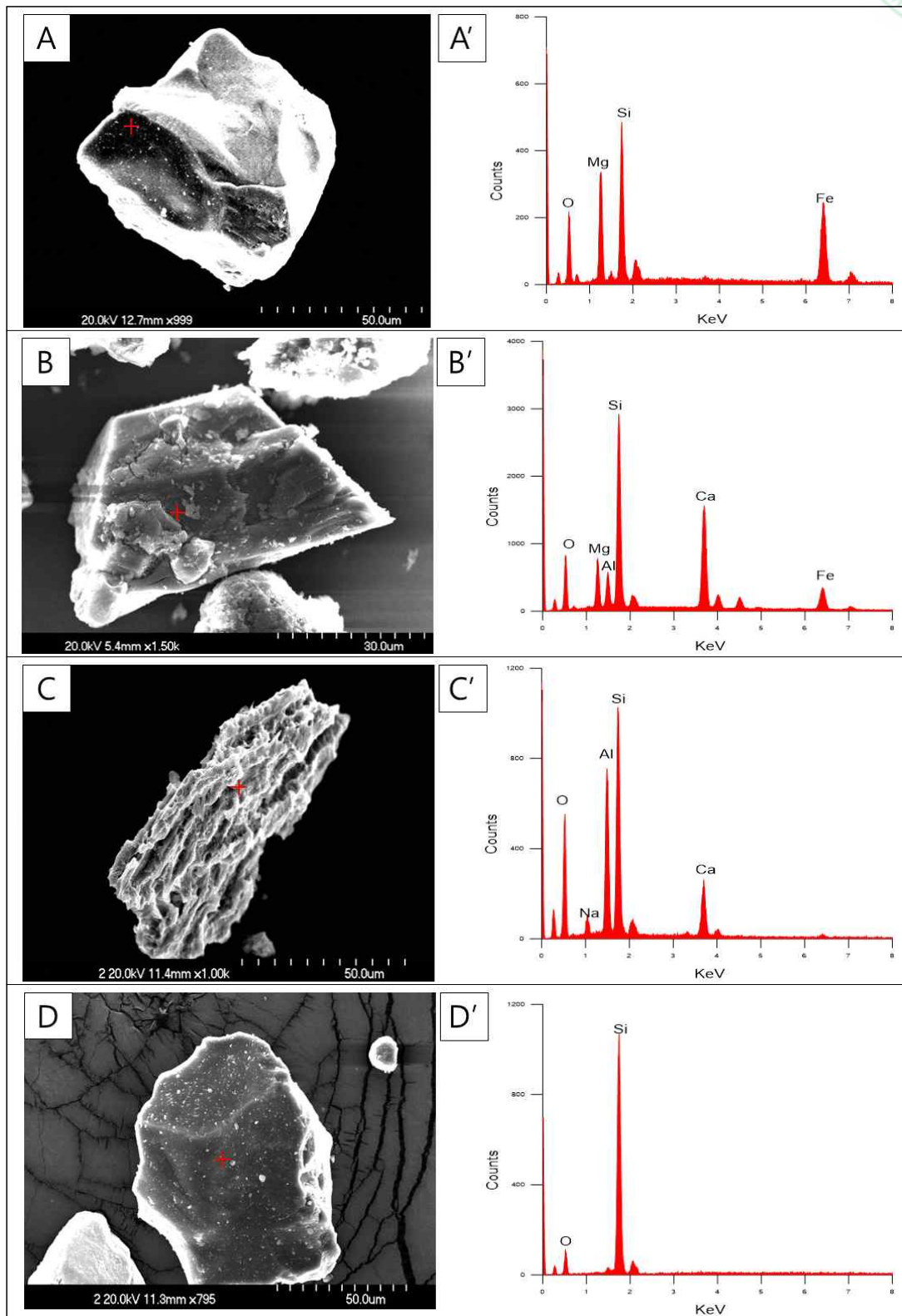


Fig. 17. SEM-EDS analyses of 1-5 sand fraction in GS-1 soil profile : (A) olivine, (B) pyroxene, (C) plagioclase, (D) quartz

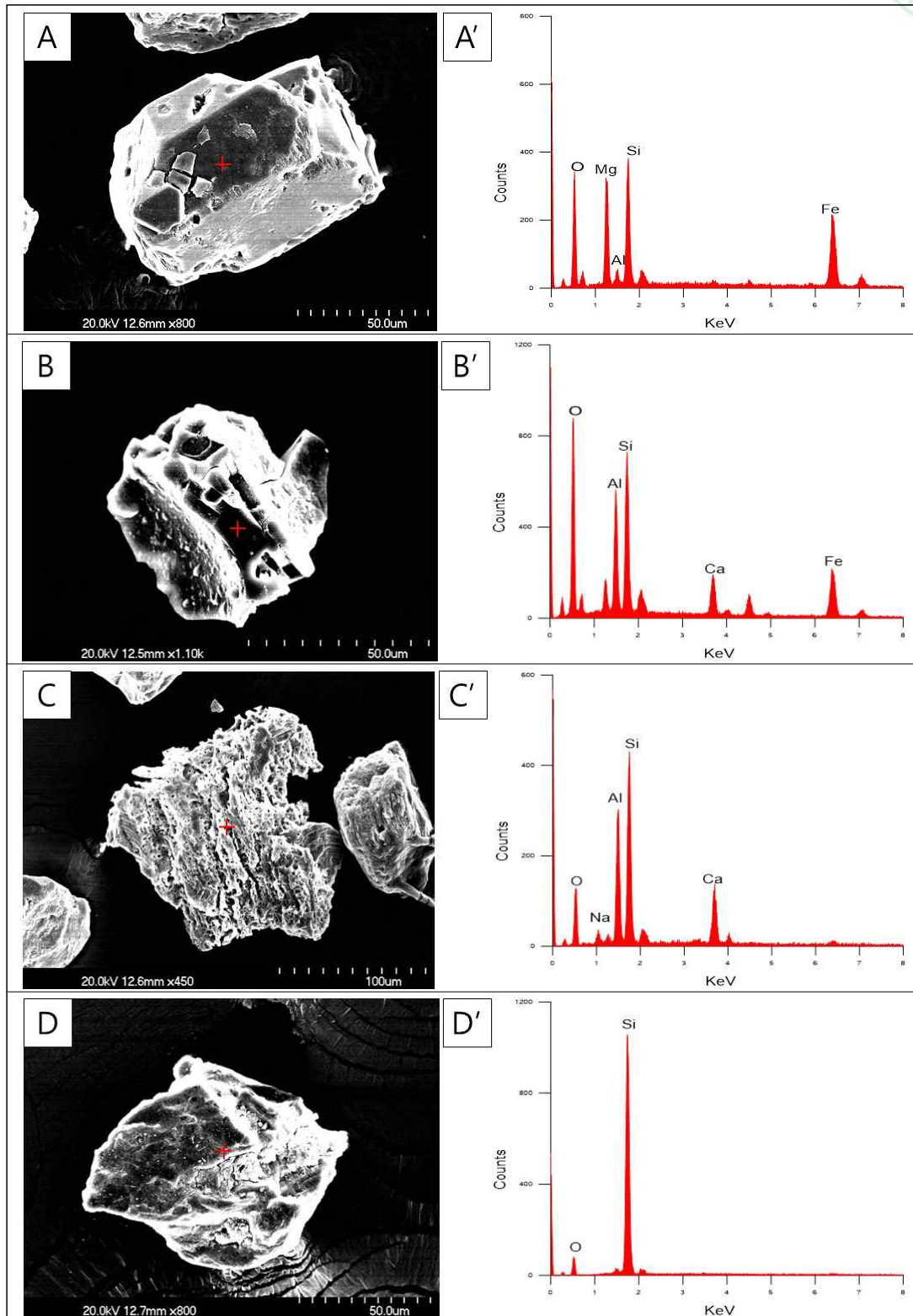


Fig. 18. SEM-EDS analyses of 2-4 sand fraction in GS-2 soil profile : (A) olivine, (B) pyroxene, (C) plagioclase, (D) quartz

나) 입도 분리된 미사

입도분리 된 GS-1, GS-2 미사의 X-선회절분석 결과, 미사의 주 구성광물은 모래와 비슷한 석영(quartz), 감람석(olivine), 휘석(pyroxene), 사장석(plagioclase), 그리고 모래에서는 나타나지 않았던 운모(mica)가 나타났다. X-선회절분석 결과, 모래와 마찬가지로 구성 광물의 종류는 유사하며 심도가 깊어지면서 석영, 감람석, 장석의 피크 강도가 감소하는 것을 보이며 휘석은 증가하는 것을 보였다(Fig. 19, 20). 미사의 X-선회절분석 결과를 바탕으로 각 층의 대표 시료를 SEM-EDS 분석하였다. 연구지역 토양에서 A_p 층을 제외한 모든 심도에 해당하는 B1, B2, B3, B4층 모래의 주 구성 광물은 감람석, 휘석, 장석, 석영 등으로 모든 층에서 비슷하게 나타났다. 장석은 사장석 계열($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$)이 주로 나타나고, 운모는 흑운모(biotite)의 형태로 나타났다(Fig. 19, 20, 21-C, 22-C).

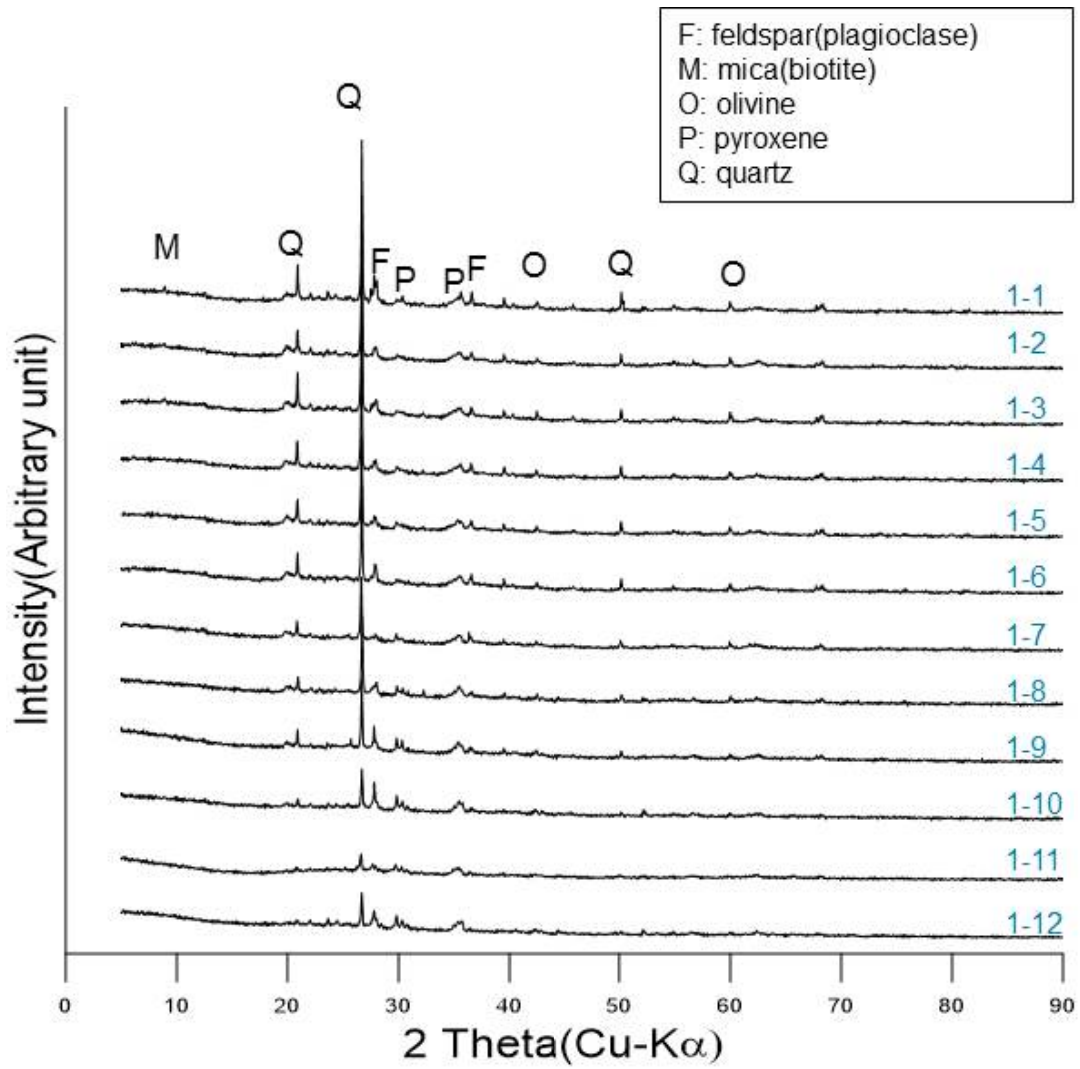


Fig. 19. X-ray diffraction patterns of silt fraction in GS-1 soil profile

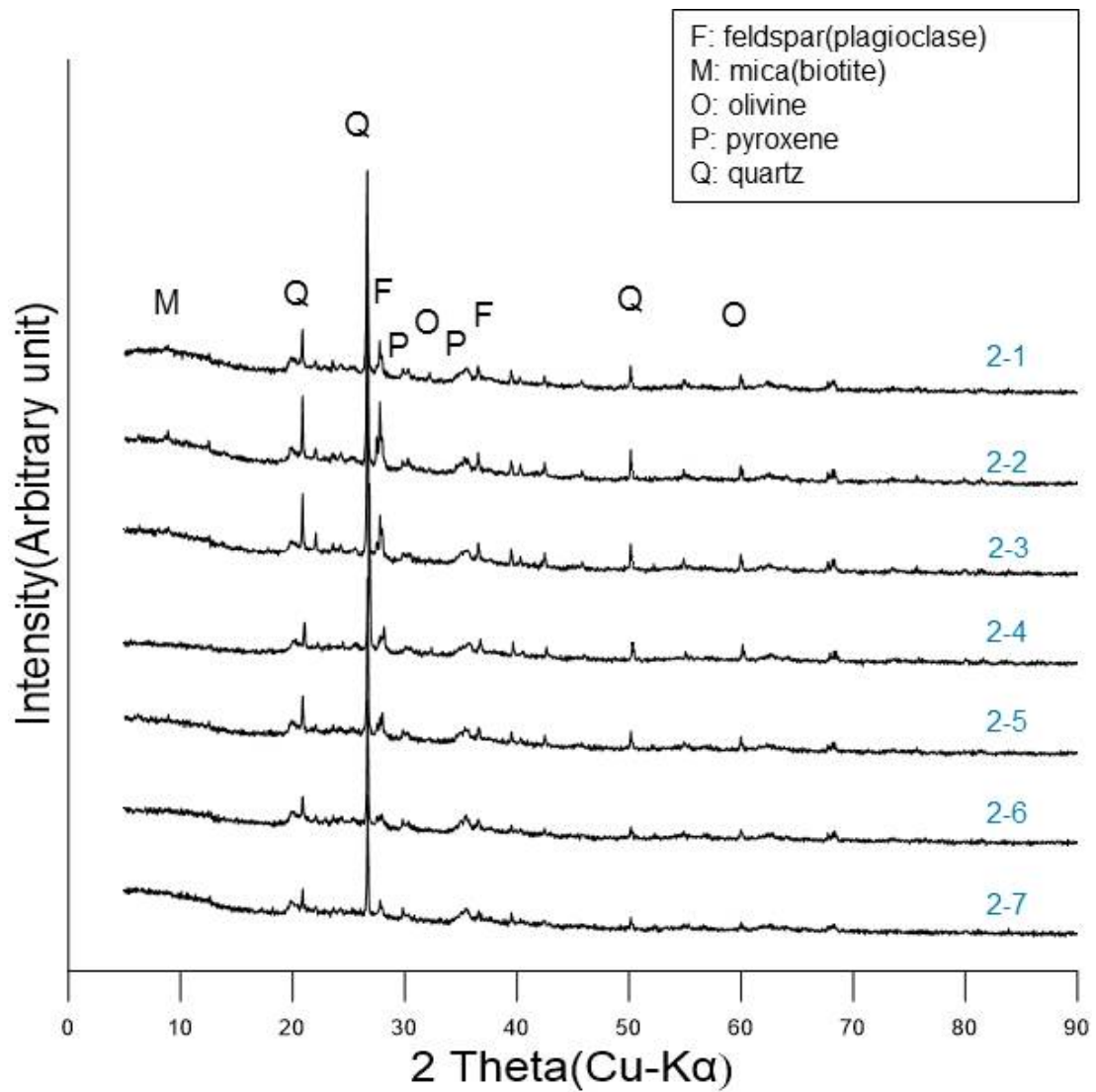


Fig. 20. X-ray diffraction patterns of silt fraction in GS-2 soil profile

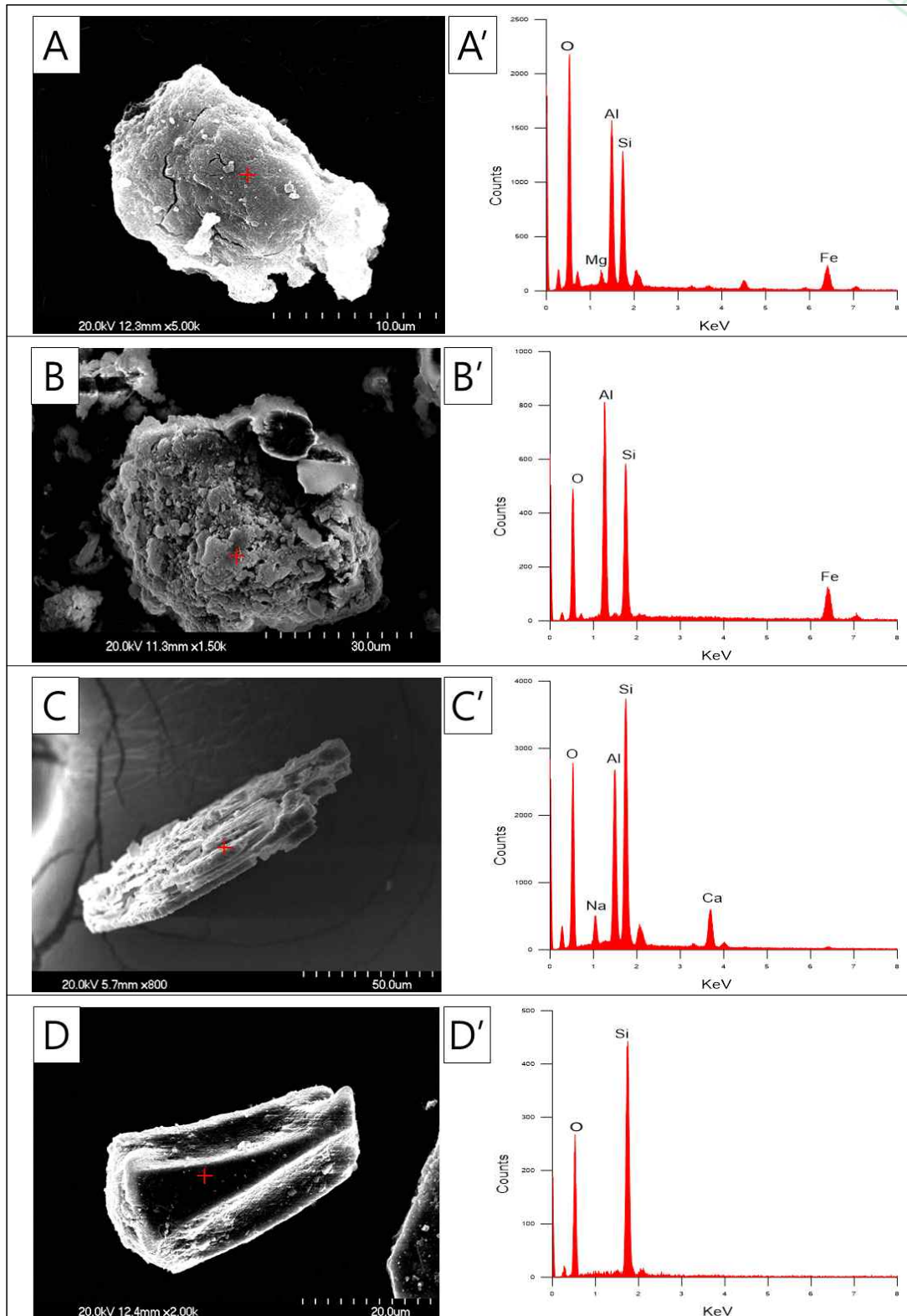


Fig. 21. SEM-EDS analyses of 1-5 silt fraction in GS-1 soil profile : (A) olivine, (B) pyroxene, (C) plagioclase, (D) quartz

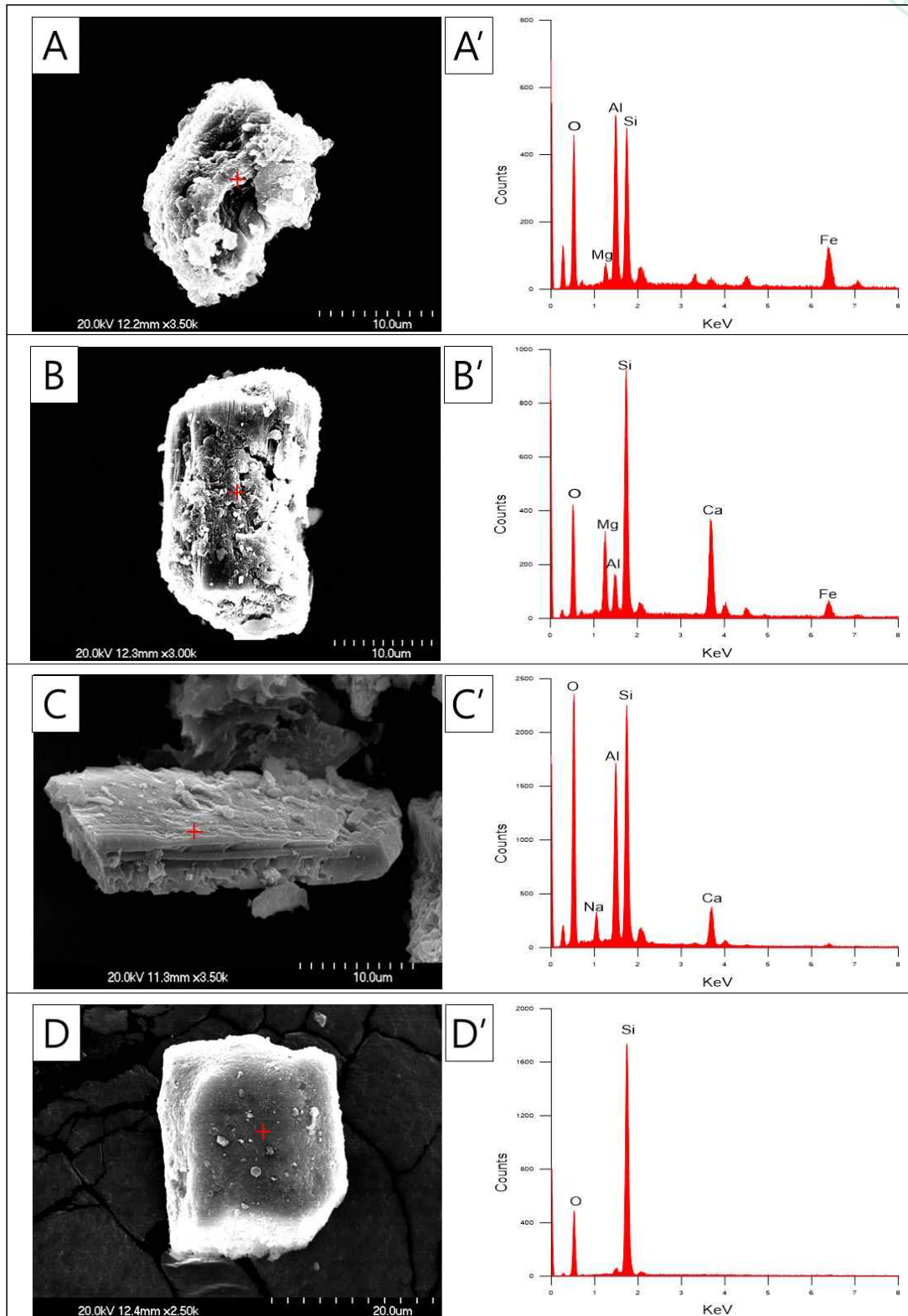


Fig. 22. SEM-EDS analyses of 2-4 silt fraction in GS-2 soil profile : (A) olivine, (B) pyroxene, (C) plagioclase, (D) quartz

다) 입도 분리된 점토

입도 분석을 통해 분리되어 화학적 전처리를 하지 않은 GS-1, GS-2의 점토 광물의 조성을 알아보기 위해 X-선회절분석을 하였고, 광물의 형태적 특성과 화학적 조성을 확인하기 위해 TEM-EDS 분석을 하였다. 또한 점토는 층간에 어떤 이온이나 물질이 들어가느냐에 따라 d-spacing 값이 달라지기 때문에 K로 치환시킨 후 25℃, 300℃, 550℃에서 처리한 것과 Mg 치환과 glycerol 처리한 후 X-선회절분석을 실시하였다. 분석 결과 GS-1, GS-2 점토의 주 구성광물은 녹니석(chlorite), 일라이트(illite), 고령석(kaolinite), 석영(quartz)으로 나타났다(Fig. 23~35). 그리고 K⁺와 Mg²⁺로 치환시킨 후 열처리하여 X-선회절분석한 결과, 분석한 시료 모두에서 2-Theta(θ)가 12° 인 지점에 해당하는 7 Å 피크 값이 550℃에서 사라지는데 K⁺-sat/550℃처리에서 카올리나이트가 메타카올리나이트(metakaolinite)로 상전이 되기 때문이다. 이렇게 피크가 사라지는 것을 통해 고령석을 확인 할 수 있었다. 일라이트도 마찬가지로 전 시료에서 K⁺-sat/25℃, 300℃, 550℃, Mg²⁺-sat/25℃, glycerol 처리한 후, 2-Theta(θ)가 8.9° 인 지점에 해당하는 9.9 Å의 피크로 나타났다. 또한 2-Theta(θ)가 6° 인 지점에 해당하는 14 Å의 피크가 K⁺-sat/25℃, 300℃, 550℃, Mg²⁺-sat/25℃, glycerol 처리했을 때 변하지 않았고 550℃로 열처리했을 때는 300℃에서 보다 14 Å의 피크 강도가 더욱 강하게 나타나는 것으로 보아 녹니석임을 알 수 있었다(Fig. 23~35). 풍화 정도가 높은 토양의 경우 녹니석의 함유량이 높고 일라이트가 다른 시료들에 비하여 상대적으로 높은 편이다(권선영과 문희수, 1989). X-선회절분석 결과를 바탕으로 TEM-EDS 분석을 하였다. 대부분의 점토입자는 일정한 원형의 형태를 가지고 있었고 주로 Fe, Al, Si, O로 이루어져있다. 그리고 이 입자들은 전부 비정질의 성질을 가지고 있었다(Fig. 36-A, B). 화산회토에서 화산재에 포함된 비정질 물질의 상전리로 형성되는 알로판(allophane)은 35~50 Å의 속이 빈 구 모양을 띠고 있으며 비정질의 특성을 띠고 있었다(Fig. 36-C). 이모골라이트(imogolite)는 원통 모양의 형태를 띠고 있으며 다발로 나타났고, 비정질의 특성을 띠고 있었다(Fig. 36-D). 점토광물은 주로 비정질의 형태를 띠고 있었으며 주로 Fe와 Al 성분이 함유되어 있었다. 또한



화산쇄설물의 풍화로 생성되고 비정질 물질이 결정화 되는 단계인 알로판과 이
모골라이트가 산출되었다.

라) 화학적 전처리를 실시한 점토

입도 분석을 통해 분리된 GS-1, GS-2 점토를 화학적 처리를 통해 점토를 피막하고 있는 결정질과 비정질의 Fe와 Al을 제거하기 위해 CBD, acid ammonium oxalate 처리를 하였다. 그 후 점토광물 조성을 알아보기 위해 X-선 회절분석을 하였고 광물의 형태와 화학조성을 알아보기 위해 TEM-EDS 분석을 하였다. GS-1의 피크 강도는 심도가 깊어질수록 증가하는 형태를 나타낸다. 그리고 acid ammonium oxalate 처리를 통해 제거되는 비정질의 Fe와 Al이 CBD로 처리를 통해 제거될 수 있는 결정질의 Fe와 Al보다 우세한 것으로 사료된다. 이는 GS-1은 심도가 깊어질수록 Fe와 Al의 집적량이 증가하며, Fe와 Al로 피막된 점토입자가 화학 처리를 통해 점토피막이 제거되면서 피크 강도가 증가된 것임을 지시한다. 그리고 GS-2는 GS-1과 동일한 층에 해당하는 심도에서 비슷한 양상을 보였다(Fig. 23~28, 29~35). X-선회절분석 결과를 바탕으로 CBD 및 acid ammonium oxalate 처리된 시료에 대해 TEM-EDS 분석을 하였다. 대부분의 점토입자는 일정한 원형의 형태를 가지고 있고 Fe, Al, Si, O로 이루어져 있었다(Fig. 36-A, B). 또한 일정한 원형의 형태를 가지고 있었던 입자들이 CBD 및 acid ammonium oxalate 처리를 하면서 불규칙한 원형의 형태를 띠고 있었다(Fig. 37, 38). 원 시료에서는 결정성이 약하여 비정질의 특성을 띠고 있었지만, CBD와 acid ammonium oxalate 처리를 한 후에는 비정질과 결정질이 함께 공존하고 있는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 37, 38). 따라서 상부 토양에서 용탈된 Fe와 Al이 점토입자 표면에 피막 되어 있었을 것으로 사료된다.

1-1

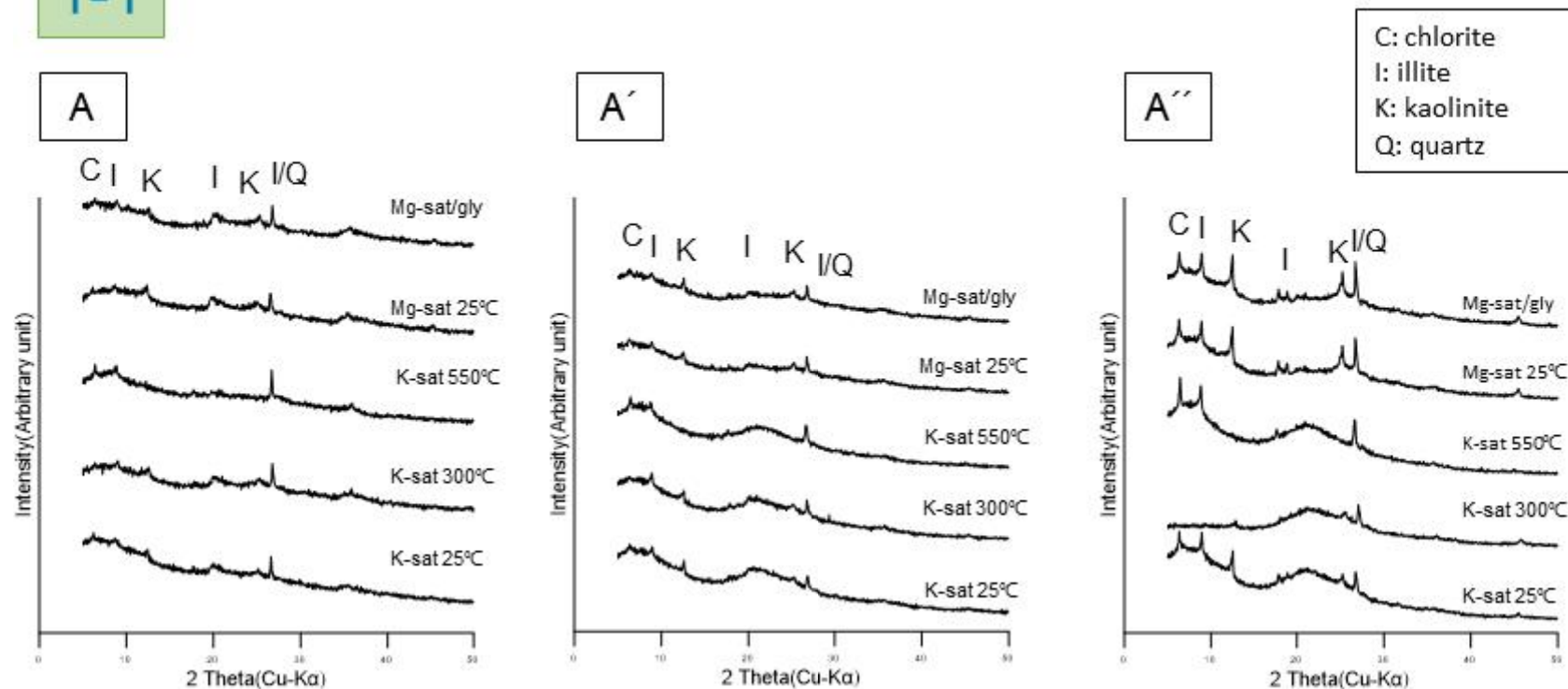


Fig. 23. X-ray diffraction patterns of 1-1 clay in GS-1 soil profile : (A) untreated, (A') CBD treated, and (A'') acid ammonium oxalate treated [K-sat, K saturated; K-sat 300°C and 550°C, heated at 300°C and 550°C for 18 hours after K saturation; Mg-sat, Mg saturated; gly, glycerol treated after Mg saturation]

1-2

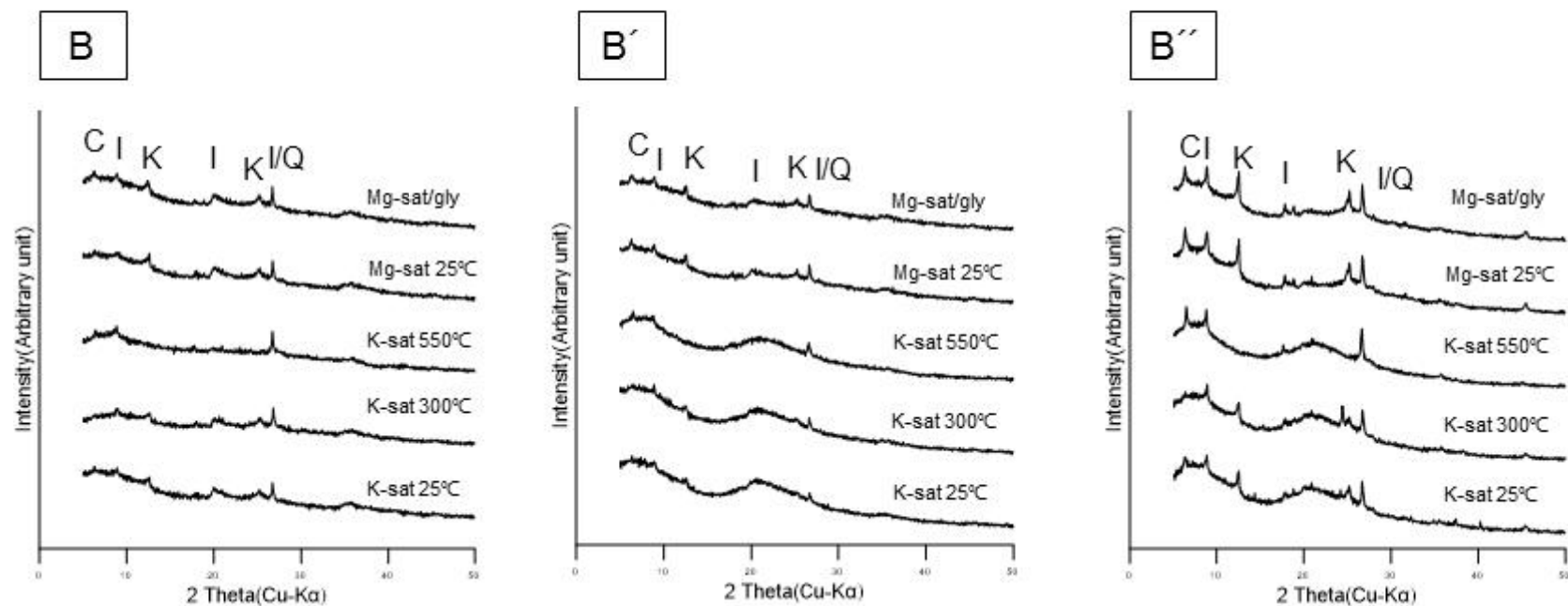


Fig. 24. X-ray diffraction patterns of 1-2 clay in GS-1 soil profile : (B) untreated, (B') CBD treated, (B'') acid ammonium oxalate treated [K-sat, K saturated; K-sat 300°C and 500°C heated at 300°C, and 550°C for 18 hours after K saturation; Mg-sat, Mg saturated; gly, glycerol treated after Mg saturation]

1-3

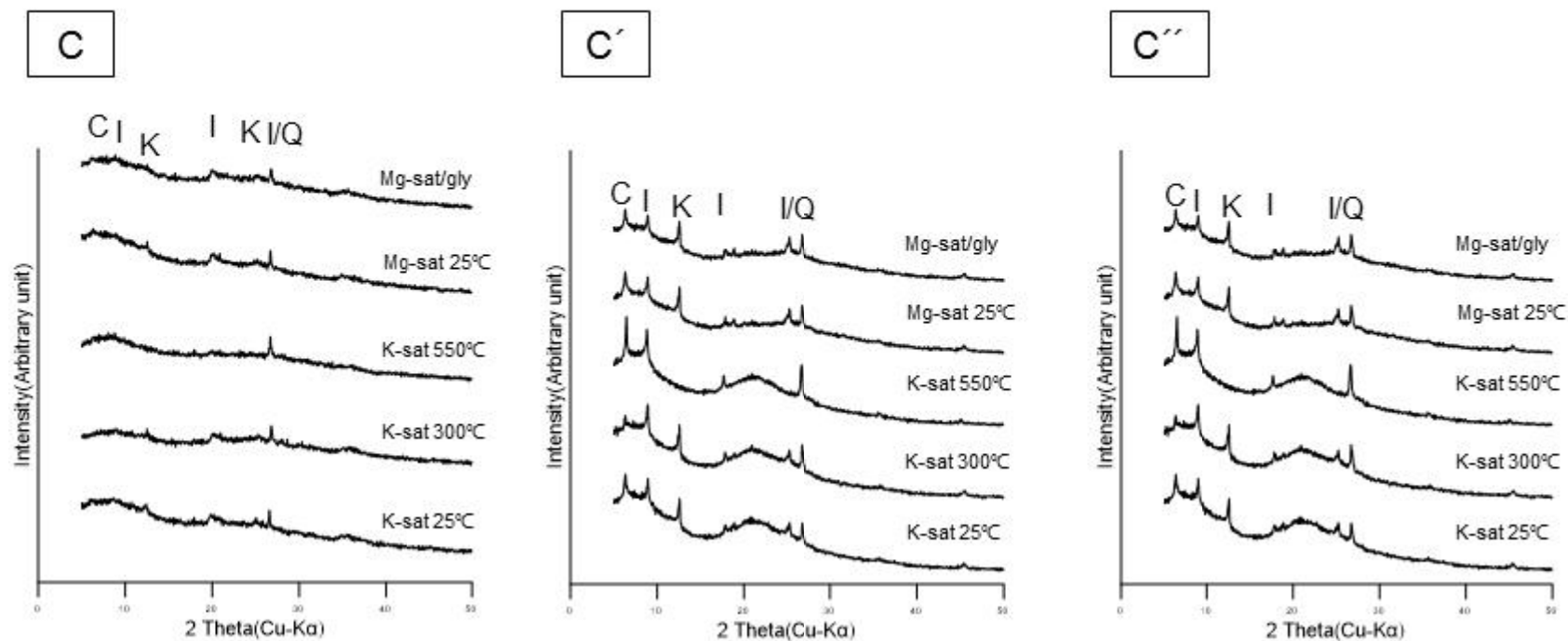


Fig. 25. X-ray diffraction patterns of 1-3 clay in GS-1 soil profile : (C) untreated, (C') CBD treated, (C'') acid ammonium oxalate treated [K-sat, K saturated; K-sat 300°C and 550°C, heated at 300°C and 550°C for 18 hours after K saturation; Mg-sat, Mg saturated; gly, glycerol treated after Mg saturation]

1-4

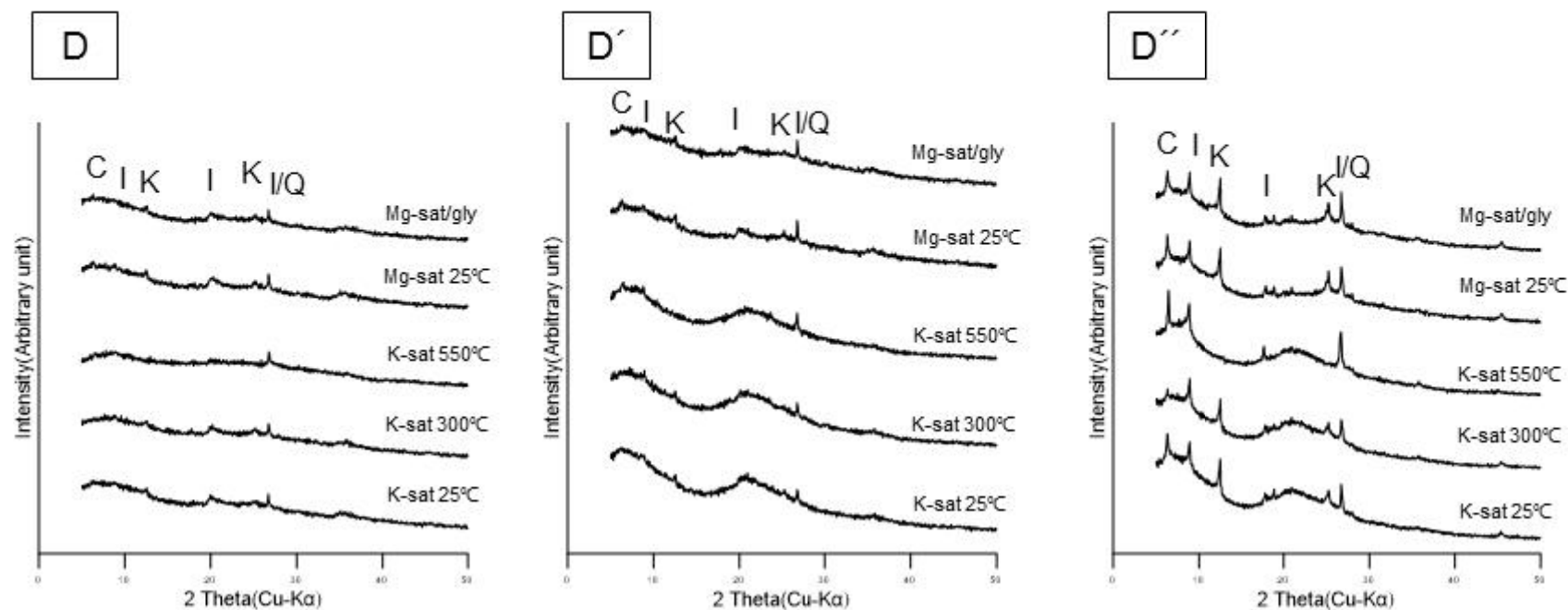


Fig. 26. X-ray diffraction patterns of 1-4 clay in GS-1 soil profile : (D) untreated, (D') CBD treated, (D'') acid ammonium oxalate treated [K-sat, K saturated; K-sat 300°C and 500°C, heated at 300°C and 550°C for 18 hours after K saturation; Mg-sat, Mg saturated; gly, glycerol treated after Mg saturation]

1-5

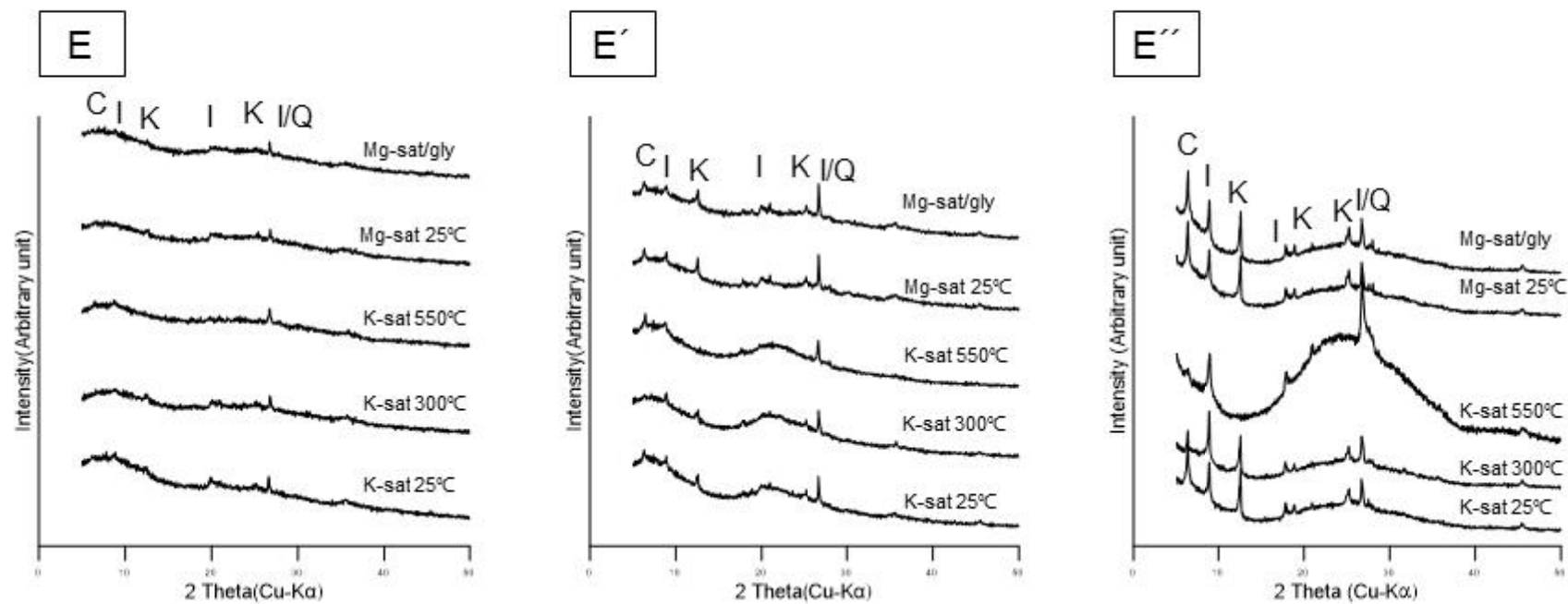


Fig. 27. X-ray diffraction patterns of 1-5 clay in GS-1 soil profile : (E) untreated, (E') CBD treated, (E'') acid ammonium oxalate treated [K-sat, K saturated; K-sat 300°C and 550°C, heated at 300°C and 550°C for 18 hours after K saturation; Mg-sat, Mg saturated; gly, glycerol treated after Mg saturation]

1-6

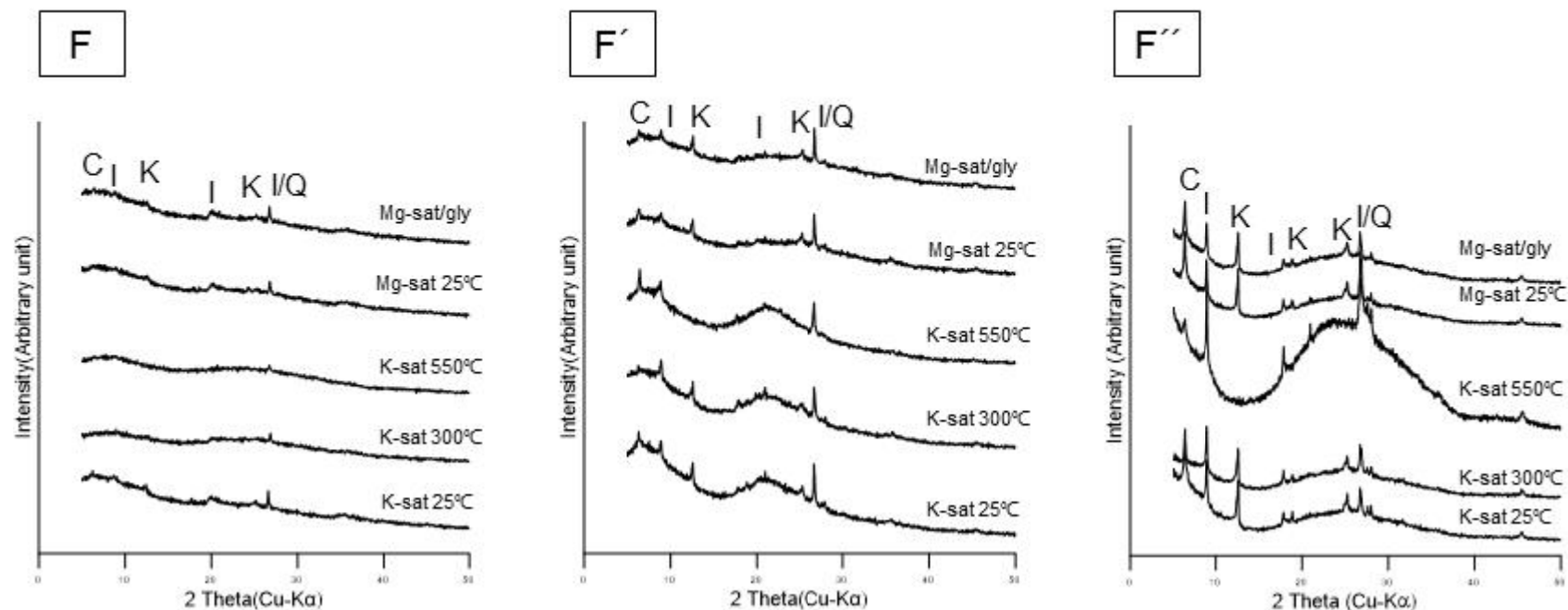


Fig. 28. X-ray diffraction patterns of 1-6 clay in GS-1 soil profile : (F) untreated, (F') CBD treated, (F'') acid ammonium oxalate treated [K-sat, K saturated; K-sat 300°C and 500°C, heated at 300°C and 550°C for 18 hours after K saturation; Mg-sat, Mg saturated; gly, glycerol treated after Mg saturation]

2-1

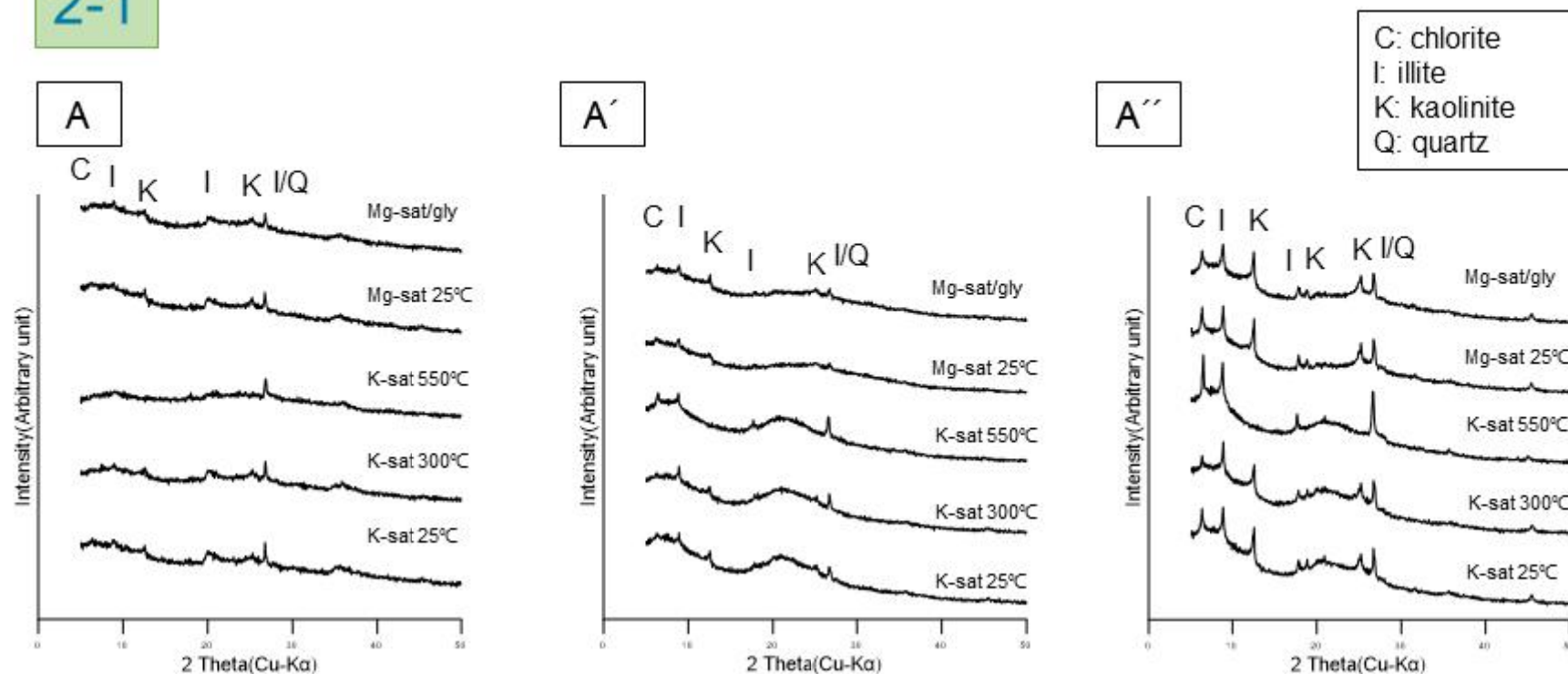


Fig. 29. X-ray diffraction patterns of 2-1 clay in GS-2 soil profile : (A) untreated, (A') CBD treated, (A'') acid ammonium oxalate treated [K-sat, K saturated; K-sat 300°C and 500°C, heated at 300°C and 550°C for 18 hours after K saturation; Mg-sat, Mg saturated; gly, glycerol treated after Mg saturation]

2-2

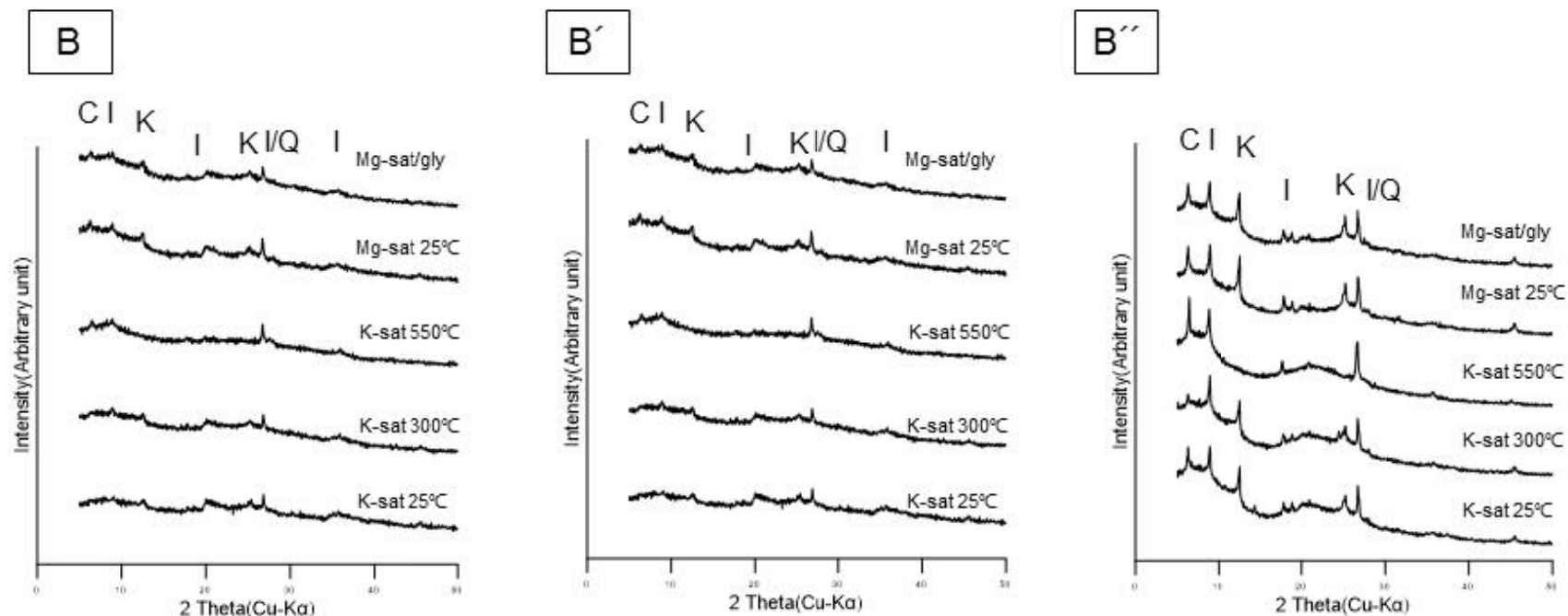


Fig. 30. X-ray diffraction patterns of 2-2 clay in GS-2 soil profile : (B) untreated, (B') CBD treated, (B'') acid ammonium oxalate treated [K-sat, K saturated; K-sat 300°C and 500°C, heated at 300°C and 550°C for 18 hours after K saturation; Mg-sat, Mg saturated; gly, glycerol treated after Mg saturation]

2-3

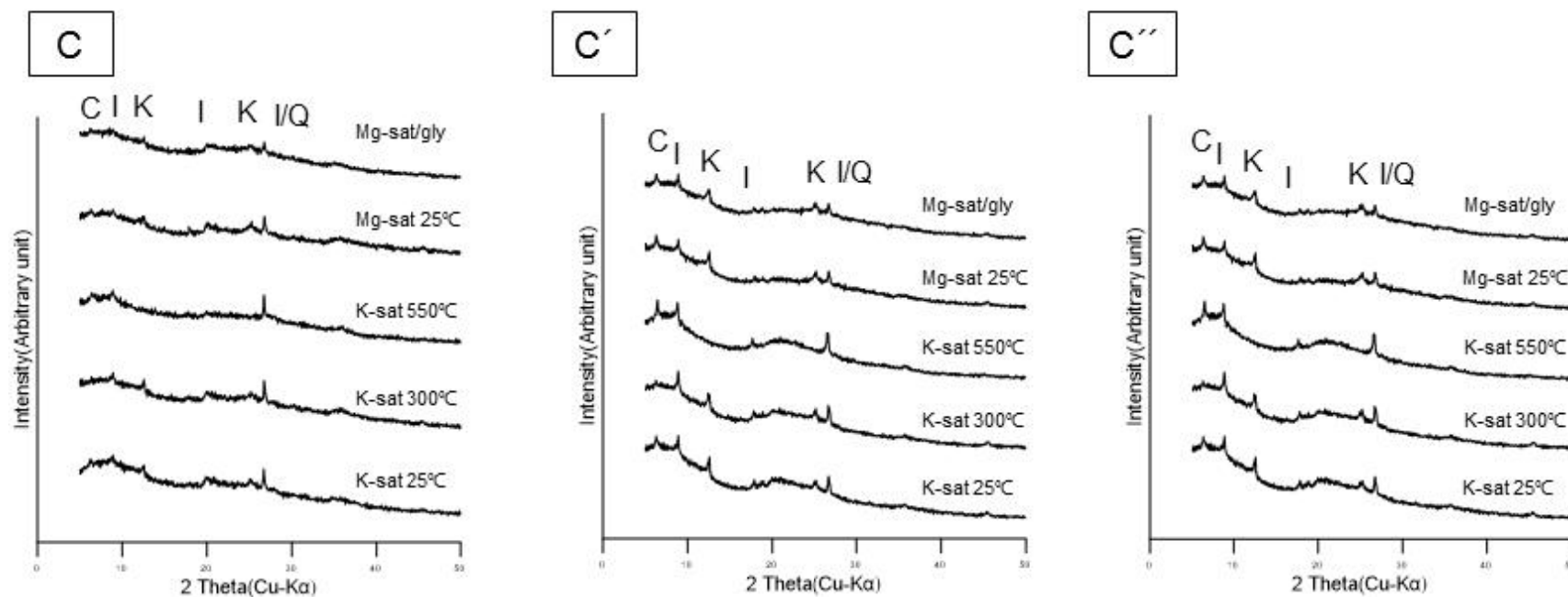


Fig. 31. X-ray diffraction patterns of 2-3 clay in GS-2 soil profile : (C) untreated, (C') CBD treated, (C'') acid ammonium oxalate treated [K-sat, K saturated; K-sat 300°C and 500°C, heated at 300°C and 550°C for 18 hours after K saturation; Mg-sat, Mg saturated; gly, glycerol treated after Mg saturation]

2-4

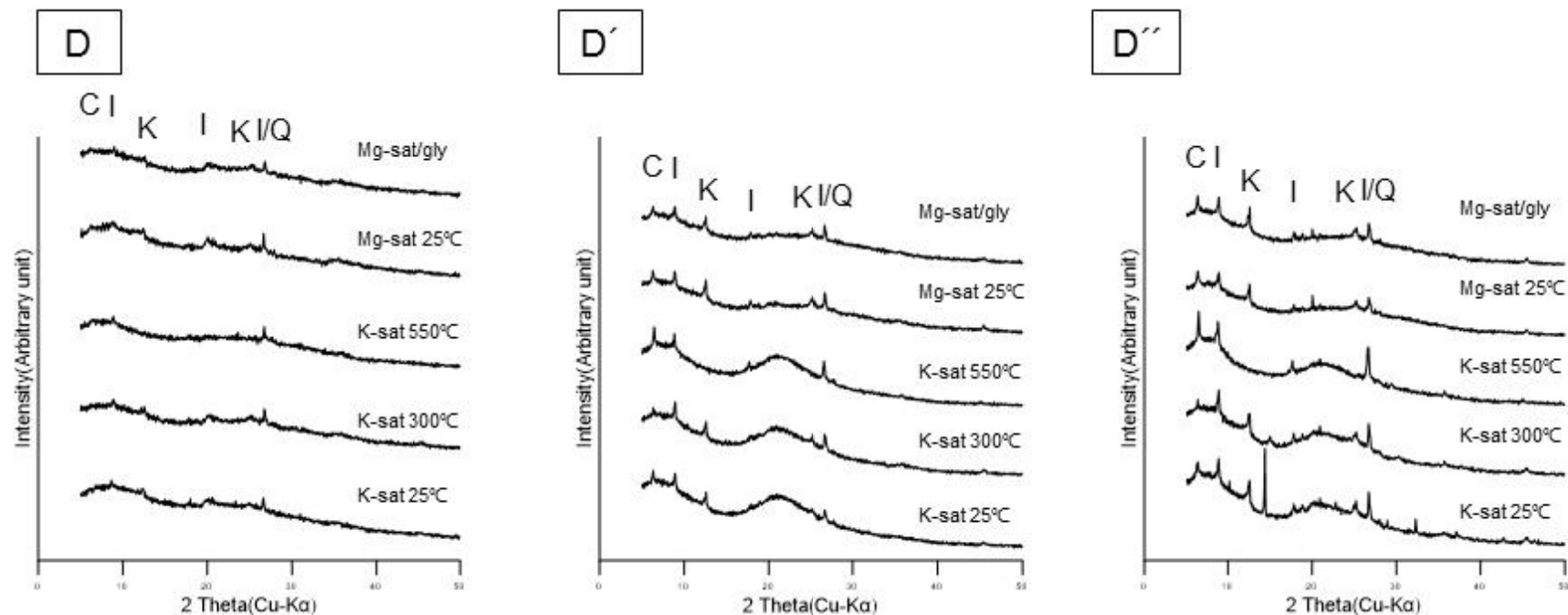


Fig. 32. X-ray diffraction patterns of 2-4 clay in GS-2 soil profile : (D) untreated, (D') CBD treated, (D'') acid ammonium oxalate treated - K-sat, K saturated; K-sat 300°C and 500°C, heated at 300°C and 550°C for 18 hours after K saturation; Mg-sat, Mg saturated; gly, glycerol treated after Mg saturation]

2-5

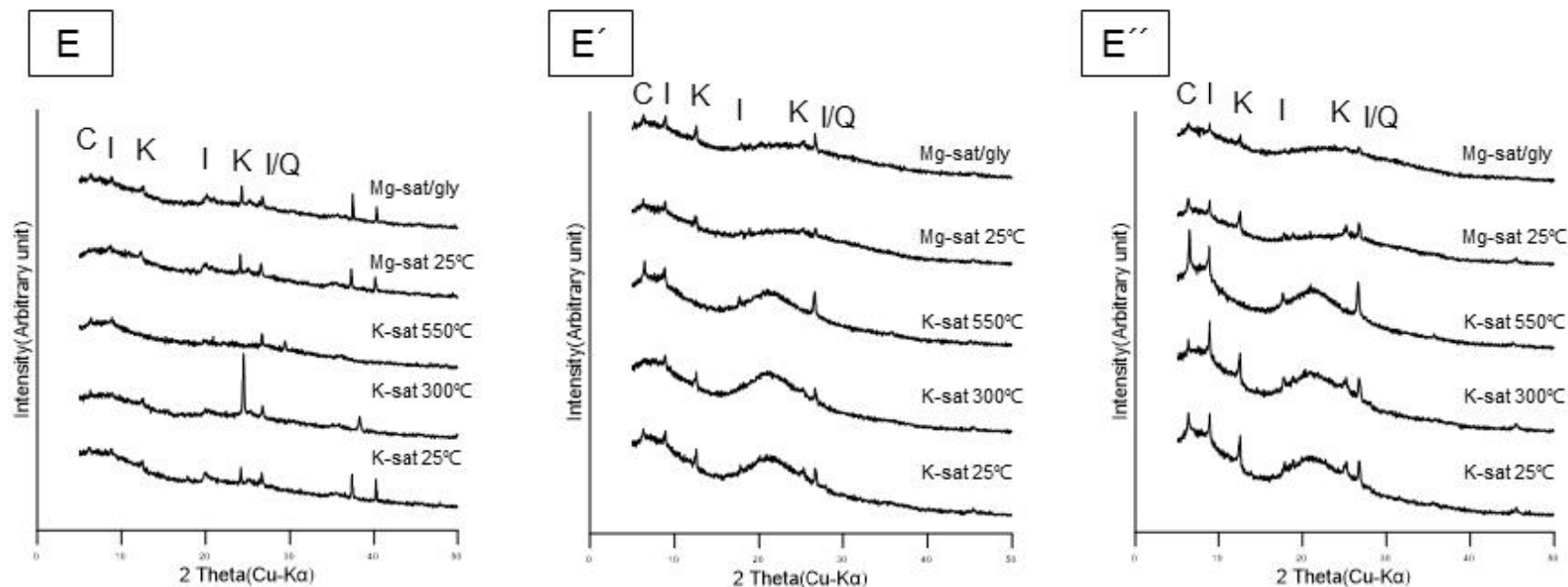


Fig. 33. X-ray diffraction patterns of 2-5 clay in GS-2 soil profile : (E) untreated, (E') CBD treated, (E'') acid ammonium oxalate treated [K-sat, K saturated; K-sat 300°C and 500°C, heated at 300°C and 550°C for 18 hours after K saturation; Mg-sat, Mg saturated; gly, glycerol treated after Mg saturation]

2-6

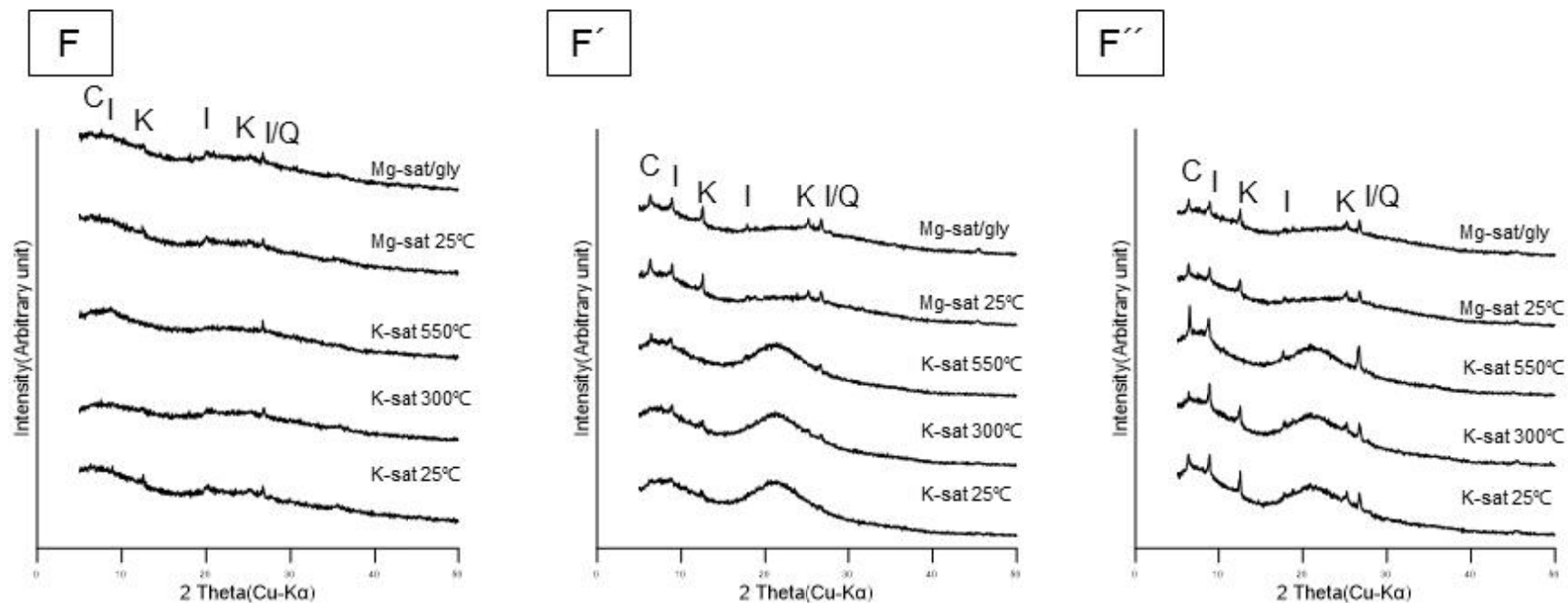


Fig. 34. X-ray diffraction patterns of 2-6 clay in GS-2 soil profile : (F) untreated, (F') CBD treated, (F'') acid ammonium oxalate treated [K-sat, K saturated; K-sat 300°C and 500°C, heated at 300°C and 550°C for 18 hours after K saturation; Mg-sat, Mg saturated; gly, glycerol treated after Mg saturation]

2-7

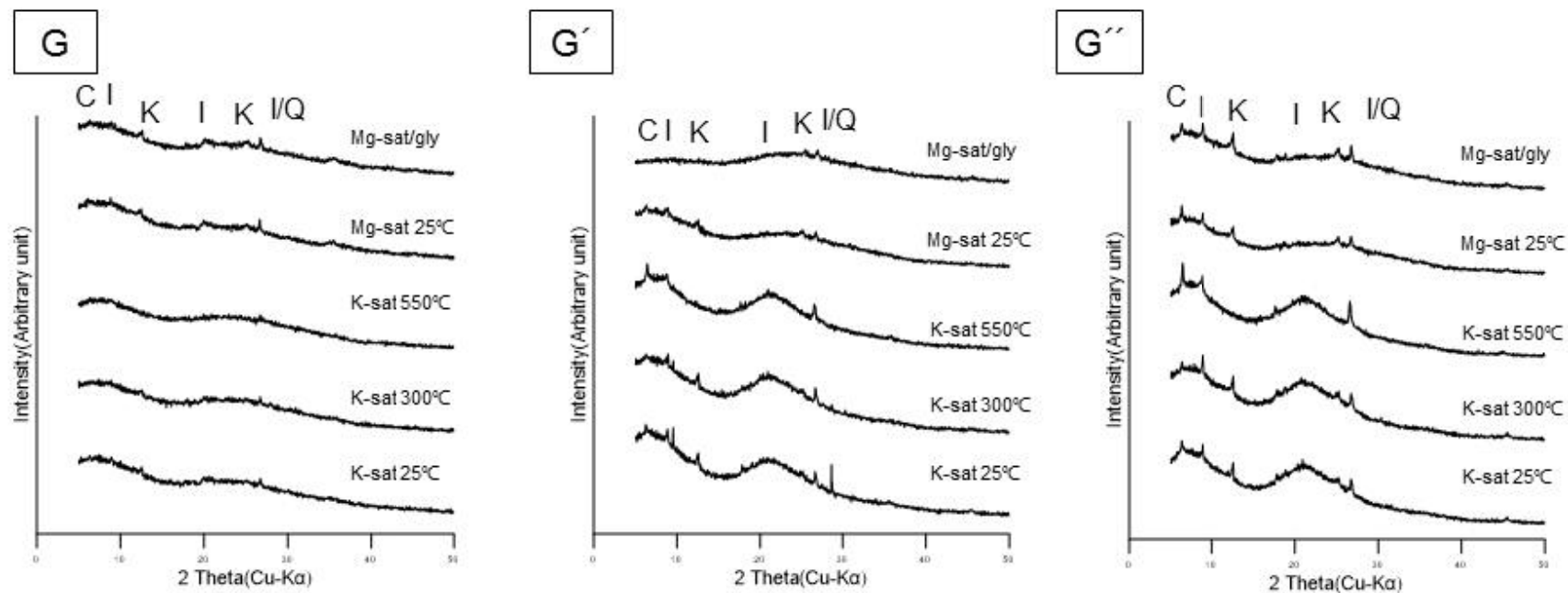


Fig. 35. X-ray diffraction patterns of 2-7 clay in GS-2 soil profile : (G) untreated, (G') CBD treated, (G'') acid ammonium oxalate treated [K-sat, K saturated; K-sat 300°C and 500°C, heated at 300°C and 550°C for 18 hours after K saturation; Mg-sat, Mg saturated; gly, glycerol treated after Mg saturation]

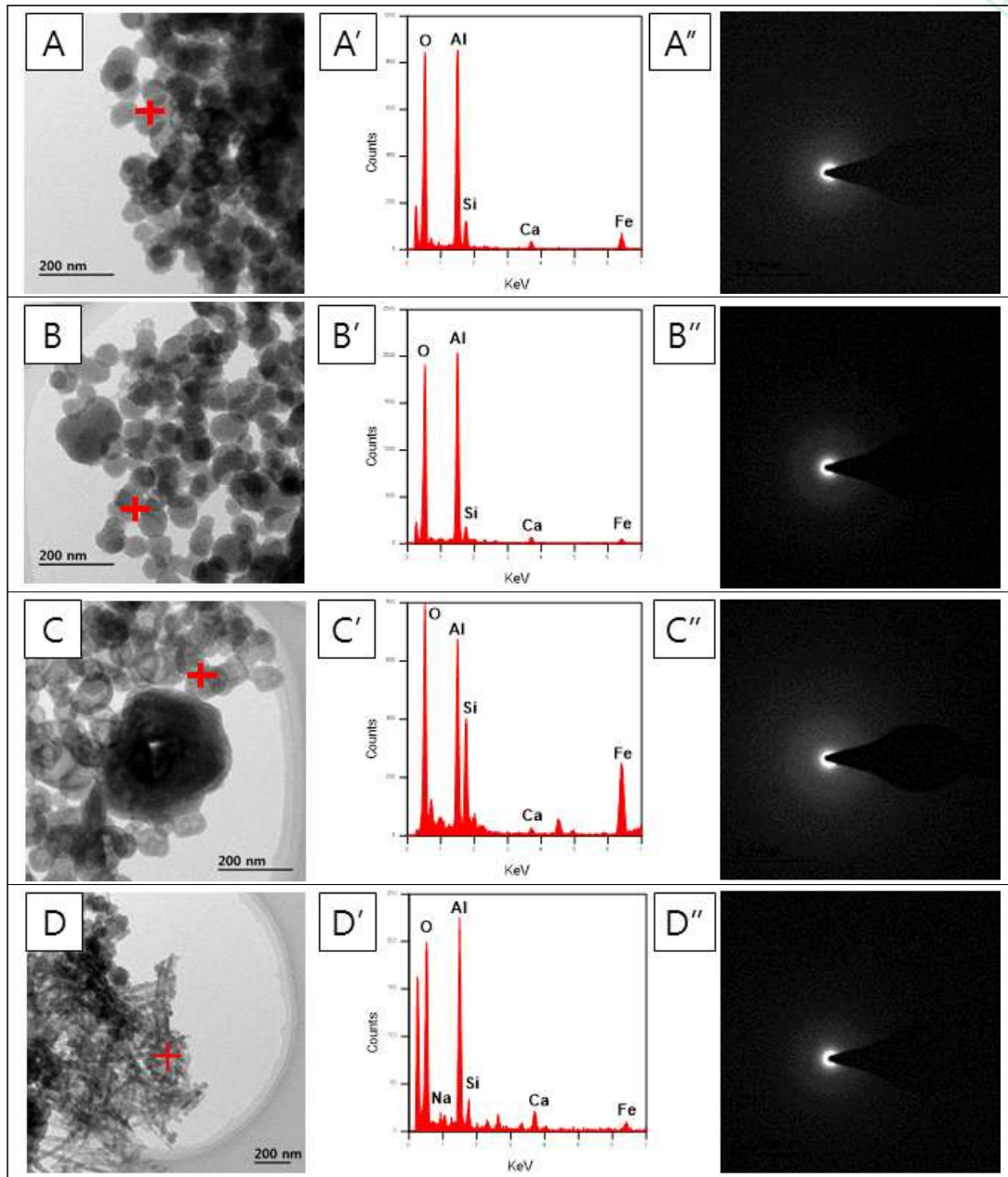


Fig. 36. TEM-EDS and SAED analyses of clay fraction (A-C) and 1-6 clay fraction (D) GS-1 soil profile : (A, B) aluminum silicate, (C) allophane, (D) imogolite

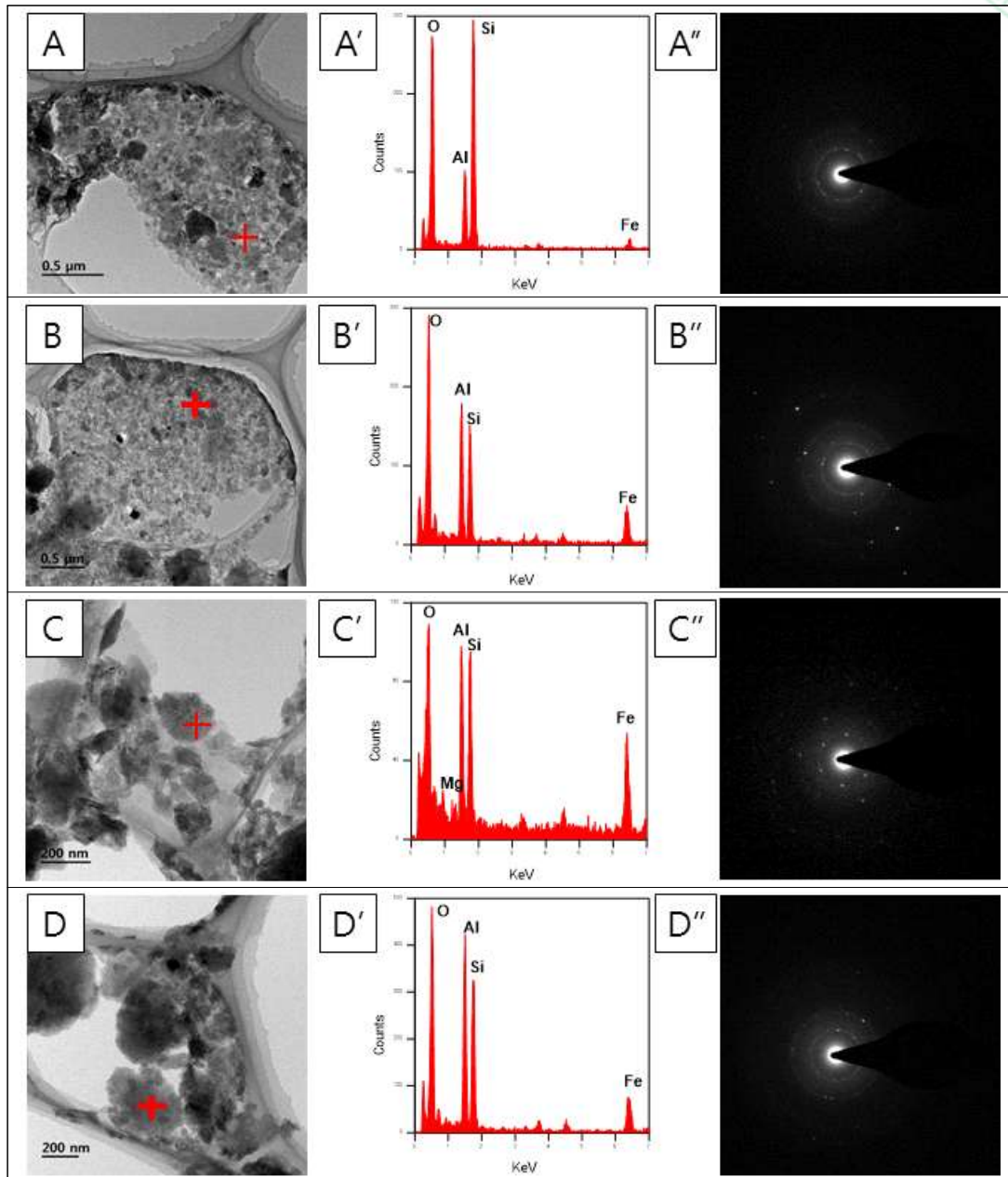


Fig. 37. TEM-EDS and SAED analyses of chemically treated 1-2 clay fraction in GS-1 soil profile : CBD treated (A, B) and ammonium oxalate treated (C, D)

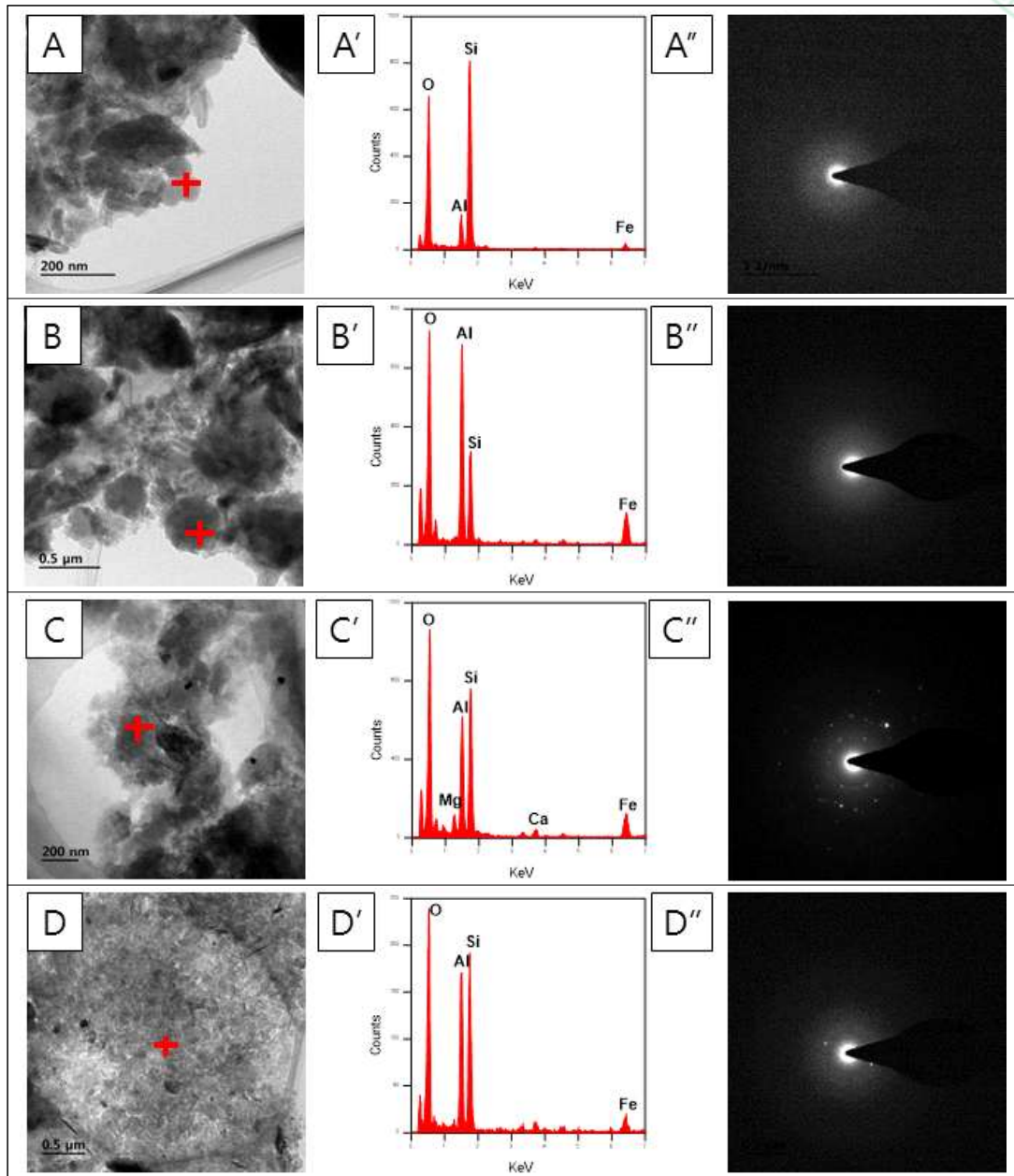


Fig. 38. TEM-EDS and SAED analyses of chemically treated 2-2 clay fraction in GS-2 soil profile : CBD treated (A, B) and ammonium oxalate treated (C, D)

5. 결론

본 연구에서는 제주시 한경면 고산리 선사시대 유적지 토양의 물리화학적 특성 및 광물학적 특성을 알아보았다. 연구 지역의 토양의 색상이 10YR과 7.5YR로 대체로 dark yellowish brown와 dark brown으로 나타났다. 이는 연구 지역의 토양에 유기물 함량이 많고, 과습 상태와 건조 상태의 반복과 1차 광물 풍화에 의해 용탈된 Fe가 침전되어 광물 입자 표면에 피막을 형성한 것으로 사료된다. 화산 쇄설물을 모재로 하여 발달한 제주시 한경면 고산리 유적지 토양의 입도를 분석한 결과, GS-1의 무게백분율은 모래 16~40%, 미사 43~78%, 점토 1~17%의 범위를 나타내고 있었고 심도가 깊어지면서 점토 함량이 줄어드는 것으로 나타났다. GS-2의 무게백분율은 모래 17~40%, 미사 43~72%, 점토 11~17%의 범위를 나타내고 있었고 심도가 깊어지면서 모래의 함량은 증가하며 미사의 함량은 줄어드는 것으로 나타났다. 이를 통해 연구 지역은 대부분 모래와 미사가 존재함을 알 수 있었고, 심도가 깊어질수록 풍화의 영향은 덜 받은 것으로 나타났다. 그리고 GS-1의 토성은 미사질 양토(silt loam)였으며, GS-2의 토성은 미사질 양토(silt loam)와 양질토(loam)로 나타나 기존의 토성 분류와 일치하였다. GS-1과 GS-2 토양에서는 심도가 깊어질수록 비정질의 Fe, Al의 농도가 증가하는 것을 확인할 수 있었으며, B1과 B2층에 해당하는 심도에서 큰 폭의 농도 증가가 나타났다. 이는 상부 토양에서 광물이 풍화되어 비정질의 Fe와 Al이 하부토양에 집적되어 비정질 광물을 형성 될 조건이 생성되었을 것으로 사료된다. GS-1 토양 pH(H₂O)는 6.05~7.02, pH(CaCl₂) 5.95~7, GS-2 토양 pH(H₂O)는 6.34~6.66, pH(CaCl₂) 6.34~6.68로 약산성과 중성에 가까운 값을 나타내며 pH는 심도가 깊어질수록 증가한다. 이는 연구지역의 기후조건에 의한 염기이온의 침출이 발생하여 결과적으로 영향을 더욱 많이 받는 표토에 Fe, Al 유기물 복합체와 Si의 농도를 감소시켜 비정질 물질인 알로판과 이모골라이트가 생성되었을 것으로 사료된다. 연구 지역 토양 내 모래의 주 구성 광물은 감람석, 휘석, 장석 그리고 석영으로 이루어져 있었고, 미사의 주 구성광물은 감람석, 휘석, 장석, 석영 그리고 주로 상부 토층에서 확인된 운모로 이루어져 있다. 모래와 미사에서의 XRD 피크의 강도를 반영한 석영의 함량은 심도가 깊어지면서 점차

적으로 감소하는 경향이 나타났다. 점토의 주 구성 광물은 감람석이나 휘석이 풍화되어 생성되며 풍화 정도가 높은 토양에 존재하는 녹니석, 운모와 장석이 풍화되어 생성된 일라이트와 고령석, 그리고 석영으로 이루어져 있다. 또한 GS-1에서 심토보다 풍화의 영향을 많이 받는 B1, B2층에서 화산재에 포함된 비정질의 물질이 상전이 되어 형성되는 알로판(allophane)과 이모골라이트(imogolite)가 산출되었다. 연구 지역의 토양에서 석영이 우세하게 나타나지만 현무암 지대인 연구지역에서 많은 양을 기대하기 어렵다. 이는 석영이 외부 기원 물질의 영향을 받았을 가능성이 있을 것으로 사료된다.

본 연구를 통해 제주시 한경면 고산리 선사시대 유적지 토양은 화산쇄설물을 모재로 하여 형성된 토양이 1차 광물로 감람석, 휘석, 장석, 운모 그리고 석영이 풍화되면서 2차 광물로 녹니석, 일라이트 그리고 고령석 등의 층산 규산염광물들이 형성된 것으로 사료된다. 또한 토층 상부는 세립질의 입도, 지화학적 특성 및 운모의 검출 등의 특징으로부터 하부 토층과 뚜렷한 차이를 보인다. 따라서 이러한 토양의 광물학적 특성으로 토양 형성 과정을 이해하고 인간 활동과 고고학적 층서의 관련성 및 대비를 위한 기초자료로 이용될 수 있을 것으로 사료된다.



참고문헌

권선영, 문희수, 1989, 제주도 일원에 분포되는 근원암의 차이에 따른 점토광물 조성. 자연과학연구소학술논문집, 22, 61-68.

기상청, 2015, 국내기후자료, available online at http://www.kma.go.kr/weather/climate/average_regional05.jsp

김계훈, 김길용, 김정규, 사동민, 서장선, 손보균, 양재의, 엄기철, 이상은, 정광용, 정덕영, 정연태, 정종배, 현해남, 2006, 토양학. 향문사, 454pp.

농촌진흥청, 2016, 토양환경지도, available online at <http://soil.rda.go.kr/soil/soilmap/characteristic.jsp>

류순호, 2000, 토양사전. 서울대학교출판부, 596pp.

문희수, 송윤구, 유장한, 이규호, 하대호, 2002, 제주도 Non-Andic 토양의 광물학적 진화. 자원환경지질학회지, 35, 491-508.

문희수, 1995, 점토광물학. 민음사, 636pp.

박원배, 2011, 제주지역 저류지의 활용방안 연구. 제주발전연구원, 29-30.

송관철, 1997, 제주도 토양에서 Allophane의 분포와 생성조건. 광물과 산업, 10(2), 14-23.

송관철, 현병근, 문경환, 전승중, 임한철, 2009, 제주도 토양인 용홍통의 분류 및 생성. 한국토양비료학회지, 42(6), 478-485.



이덕배, 현병근, 장용선, 김유학, 하상건, 김석철, 홍석영, 이춘수, 박무언, 2014, 토양비료 연구 최근 50년 이야기. 농촌진흥청 국립농업과학원 토양비료과, 27-28.

제주세계지질공원, 2016, 제주 화산섬의 형성과정, available online at <http://geopark.jeu.go.kr/index.php?mid=KR010104>

최순학, 1992, 제주도와 OAHU도의 지질구조 및 수자원의 특성. 지질공학회지, 2(1), 70-91.

하대호, 2001, 제주도 당산봉 토양의 광물학적 진화. 연세대학교 대학원, 59pp.

황상구, 1998, 제주도 당산봉 화산의 형성과정. 암석학회지, 7, 1-14.

황진연, 장명익, 김준식, 조원모, 안병석, 강수원, 2000, 우리 나라 황토(풍화토)의 구성광물 및 화학성분. 한국광물학회지, 13(3), 147-163.

Cheong, C. S., Choi, J. H., Sohn, Y. K., Kim, J.C. and Jeong, G. Y., 2007, Optical dating of hydromagmatic volcanoes on the southern coast of Jeju island, Korea. Quaternary geochronology, 2, 266-271.

Dahlgren, R. A., Ugolini, F. C., Shoji, S., Ito, T. and Sletten, R. S., 1991, Soil-forming processes in alic melanudand under Japanese pampas grass and oak. Soil science society of America, 55, 1049-1056.

Drever, J. I., 1973, The preparation of oriented clay mineral specimens for X-ray diffraction analysis by a filter-membrane peel technique. American mineralogist, 58, 553-554.



Essington M, E., 2004, Soil and water chemistry. CRC press, 534pp.

Eswaran, H., 1972, Morphology of allophane, imogolite and halloysite. Clay minerals, 281-285.

Gee, G. W., Or, D., Dane, J. H. and Topp, G. C., 2002, Methods of soil analysis - Particle size analysis. SSSA book series 5 - Part 4, 255-293.

Inoue, K. and Naruse, T., 1991, Accumulation of asian long-range eolian dust in Japan and Korea from the late pleistocene to the holocene. Geomorphological hazards and processes, 25-42.

Jackson, M. L., 1975, Soil chemical analysis advanced course. University of wisconsin, 895pp.

Kellogg soil survey laboratory methods manual,, 2014. USDA, 1001pp.

Kilmer, V. J. and Alexander, L. T., 1949, Methods of making mechanical analysis of soils. Canadian journal of soils science, 68, 15-24.

Lee, S. K., Cha, K. S. and Kim, I. T., 1983, Studies on the physico-chemical properties and characterization of soil organic matter in Jeju volcanic ash soil. Journal of Korea society of soil science and fertilizer, 16(1), 20-27.

McKeague, J. A. and Day, J. H., 1966, Dithionite and oxalate extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. Canadian journal of soils science, 46, 13-22.



Mizota, C. and Inoue, K., 1988, Eolian dust contribution to soil development on volcanic ashes in Japan. Japanese committee for the 9th international soil classification workshop for the soil management support services, 547-559.

Mizota, C. and Van reeuwijk, L. P., 1989, Clay mineralogy and chemistry of soils formed in volcanic material in diverse climatic regions. International soil reference and information centre, 183pp.

Park, K. H., Lee, B. J., Cho, D. L., Kim, J. C., Lee, S. R., Choi, H. I., Hwang, J. H., Song, G. Y., Choi, B. Y., Cho, B. U. and Kim, Y. B., 1998, Geologic report of the Jeju-aewol sheet (1:50,000). Korea institute geology, mining and materials, Taejon, 290pp.

Schwertmann, U., 1964, Differenzierung der eisenoxide des eodens durch photochemische extraktion mit Saurer ammoniumoxalatlösung. Z, Pflanzenernahr, Bodenkde, 105, 194-202.

Shin, J. S. and Travernier, R., 1988, Composition and genesis of volcanic ash soils in Jeju island II. Journal of mineralogical society of Korea, 1(1), 40-47.

Shoji, S., Dahlgren, R. and Nanzyo, M., 1993, Genesis of volcanic ash soils. Developments in soil science, 21, 288pp.

Soil survey staff, 1999, Soil taxonomy. USDA, 886pp.

Song, K. C. and Yoo, S. H., 1994, Andic properties of major soils in Cheju island III Condition for formation of allophane. Journal of Korea society of soil science and fertilizer, 27(3), 149-157.



Song, K. C., 1991, Andic properties of major soils in Cheju island. Journal of Korea society of soil science and fertilizer, 24(2), 86-94.

Song, K. C., Jeong, S. J., Hyun, B. K., Son, Y. K. and Kwak, H. K., 2005, Characteristics and classification system in Korean soils. In achievement and development plan of soil survey in Korea, 35-107.

Torrent, J. and Barron, V., 1993, Laboratory measurement of soil color: Theory and practice. Soil science society of America, 21-33.

USDA, 2016, soil texture, available online at http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054167

Yoo, S. H. and Song, K. C., 1984, Chemical characteristics of soils in Cheju Island I. Variations in chemical characteristics with altitude. Journal of Korea society of soil science and fertilizer, 17(2), 167-172.

Wada, K., 1985, The distinctive properties of Andisols. Advances in soil science, 2, 173-229.



Mineralogical Characterization of Prehistoric Site Soils, Gosan, Jeju Island, Korea

Cho, Young Jin

Department of Geological and Environmental Sciences,
Graduate school, Chonnam National University
(Supervised by Professor Roh, Yul)

(Abstract)

Jeju soils developed on parent rocks, small and large rocks of pyroclastic materials originated from the volcano eruption. Generally, pyroclastics consist of volcanic materials which are mostly soft amorphous materials resulted from fast weathering process. Gosan-ri, Jeju, an early neolithic prehistoric site originated from pyroclastic genesis has raised to elucidate soil characteristics and its physicochemical and mineralogical characteristics by soil profile and archaeological strata in this areas due to historical, geological, and archaeological importance. The objectives of this study were to identify both physicochemical properties and mineralogical characteristics of the soil by soil profile in this area.

Soil sampling areas were selected for two sites; GS-1 and GS-2 and sampled for 12 and 7 respectively by the target layer of the B horizon except A_p which is leached horizon. To study physicochemical characteristics of soils, soil color classification, ICP-AES and pH measurement were conducted and to identify soil texture particle size analysis was applied. Mineralogical and chemical characteristics of the



soil fraction from particle size separation were identified by SEM, TEM, EDS and XRD analyses.

The color of the soils of GS-1 and GS-2 appeared as dark yellowish brown and very dark brown respectively. The pH (H₂O) of soils ranged 6.05~7.02 for GS-1 and 6.34~6.66 for GS-2. And the pH (CaCl₂) ranged 5.95~7 for GS-1 and 6.34~6.68 for GS-2. Both sites of the pH values tended to increase with depth. The concentration of amorphous Fe and Al in both sites tended to increase with depth. Particle size separation analysis showed that soils of GS-1 and GS-2 dominated as silt loam and loam in soil texture. The results of XRD analysis showed that major minerals in sand and silt were composed of olivine, augite, feldspar, quartz and mica. Major minerals of clay were composed of chlorite, illite, kaolinite, quartz, allophane, and imogolite. Through chemical treatment of the clay by depth, the stronger Fe corrosion on outer layer of clay the deeper for GS-1 and inverse tendency for GS-2, the stronger Fe corrosion the shallower. SEM/ TEM-EDS analyses showed that most clay minerals were regular round shape and amorphous.

Accordingly characteristics of the soils in the study areas were composed of olivine, pyroxene, feldspar, quartz as primary minerals, and assumed to transform to chlorite, illite, kaolinite in phyllosilicate minerals as secondary minerals. Also Fe-/Al-oxides were formed as secondary minerals in the less weathering zone. The results of the study might provide base understanding of soil characteristics related to archaeological strata in this area.