



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](#)

이학박사 학위논문

제주도 탐라층 이질암의 광물성분과
근원지에 관한 연구

2016년 2월

부산대학교 대학원

지질학과 암석·광물·광상학 전공

현 원 학

이 학 박 사 학 위 논 문

제주도 탐라층 이질암의 광물성분과
근원지에 관한 연구

지 도 교 수 황 진 연

2016년 2월

부산대학교 대학원

지질학과 암석·광물·광상학 전공

현 원 학

현원학의 이학 박사 학위 논문을
인준함

2015 년 12 월 28 일

위원장 양 경 희 인

위 원 이 연 규 인

위 원 임 현 수 인

위 원 김 광 희 인

위 원 황 진 연 인

목 차

List of Figure	iii
List of Table	viii
 I. 서 언	 1
 II. 지질 개요	 5
1. 지형과 한라산의 정의	5
2. 지질 일반	7
3. 탐라층의 퇴적상	12
3-1. 저농도수류 퇴적상	13
3-2. 고농도수류 퇴적상	14
3-3. 암설류 퇴적상	15
3-4. 탐라층의 지질시대	17
 III. 탐라층의 분포 및 암상	 18
1. 탐라층의 분포 및 암상	18
2. 탐라층의 지역별 암상	20
2-1. 동부지역의 분포 및 암상	20
2-2. 중부지역의 분포 및 암상	27
2-3. 서부지역의 분포 및 암상	37
 IV. 탐라층 이질암의 구성광물	 41
1. 시료채취 및 분석방법	41
2. 분석 결과	42
2-1. 야외조사	42
2-2. 편광현미경 분석	44

2-3. X-선 회절 분석	45
2-4. X-선 정량 분석	83
2-5. 광물조합의 분포와 특성	91
2-6. 주사전자현미경(SEM/EDS) 관찰	98
 V. 근원지 고찰	 103
1. 근원지 고찰의 목적	103
2. 탐라층에서 규암과 맥석영과 같은 역의 산출	104
3. 탐라층 퇴적물의 근원지	105
4. 구조운동사	111
5. 탐라층 퇴적물의 구성광물과 그 근원지 고찰	115
 VI. 결 론	 118
 참고문헌	 121
 Abstract	 124

List of figures

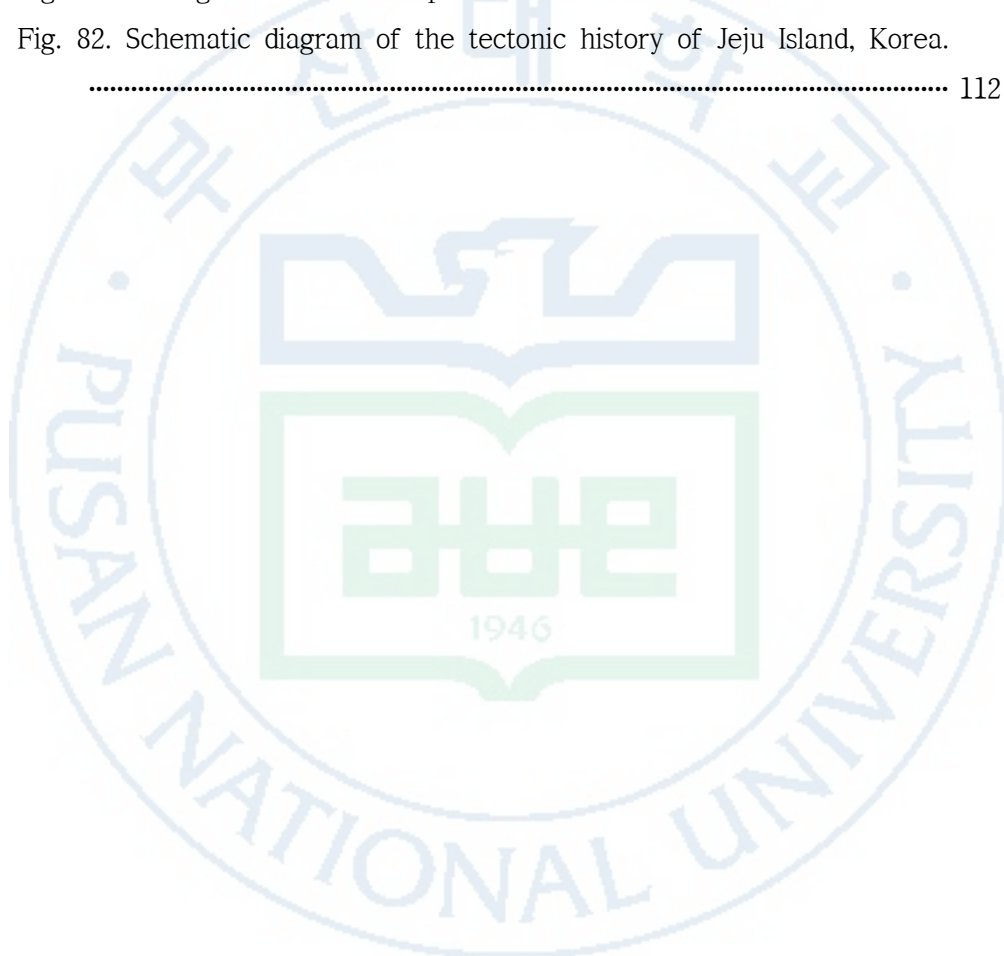
Fig. 1. Location of Jeju Island, Korea.	1
Fig. 2. Index map of Jeju Island, Korea.	5
Fig. 3. Regional geological map of Jeju Island.	10
Fig. 4. Photograph shows rounded-subrounded gravel conglomerate beds, Eosi-cheon, Oedo-dong.	13
Fig. 5. Photograph shows hyperconcentrated flow sandstone beds, Tosan-ri.	15
Fig. 6. Photograph shows conglomerate beds with subangular-rounded boulders, Seongpanak trail.	16
Fig. 7. Geological map showing the division of study area of Jeju island.	19
Fig. 8. Sampling sites in the eastern area.	21
Fig. 9. Gravelly sandy mudstone in Tosan-ri.	23
Fig. 10. Gravelly sandy mudstone in Gimnyeong-ri.	23
Fig. 11. Gravelly sandy mudstone and sandstone in Pyeongde-ri.	25
Fig. 12. Gravelly sandy mudstone and sandstone in Seongup-ri.	25
Fig. 13. Gravelly sandy mudstone, sandstone and conglomerate in Kyore-ri.	26
Fig. 14. Sampling sites in the central area.	28
Fig. 15. Gravelly sandy mudstone in Nohyoung-dong.	30
Fig. 16. Gravelly sandy mudstone in Gemimok.	30
Fig. 17. Gravelly sandy mudstone and sandstone in Sajebidongsan.	32
Fig. 18. Gravelly sandy mudstone and sandstone in Hancheon 4.	32
Fig. 19. Gravelly sandy mudstone, sandstone and conglomerate in Eosichen.	34

Fig. 20. Gravelly sandy mudstone, sandstone and conglomerate in Seohong -dong.	35
Fig. 21. Gravelly sandy mudstone, sandstone and conglomerate in Eorimok 2.	35
Fig. 22. Gravelly sandy mudstone, sandstone and conglomerate in Seondol 1.	36
Fig. 23. Gravelly sandy mudstone, sandstone and conglomerate in Muljangol -oreum.	36
Fig. 24. Sampling sites in the western area.	37
Fig. 25. Gravelly sandy mudstone and sandstone in Hanwon.	38
Fig. 26. Gravelly sandy mudstone and sandstone in Kosan-ri.	40
Fig. 27. Gravelly sandy mudstone and sandstone in Yongsu-ri.	40
Fig. 28. Gravelly sandy mudstone in Tosan-ri.	43
Fig. 29. Photomicrograph of a large quartz grain in the Tamna Formation.	44
Fig. 30. Distribution map of quartz in the Tamna Formation.	50
Fig. 31. Distribution map of clay minerals in the Tamma Formation.	56
Fig. 32. XRD pattern of E02 sample in Tosan-ri.	58
Fig. 33. XRD patterns of E02 sample in Tosan-ri after various treatment.	58
Fig. 34. XRD pattern of E04 sample in Hwabuk-dong.	59
Fig. 35. XRD patterns of E04 sample in Hwabuk-dong after various treatment.	59
Fig. 36. XRD pattern of E07 sample in Decheon-dong.	60
Fig. 37. XRD patterns of E07 sample in Decheon-dong after various treatment.	60
Fig. 38. XRD pattern of E08 sample in Gimnyeong-ri.	62
Fig. 39. XRD patterns of E08 sample in Gimnyeong-ri after various treatment.	62

Fig. 40. XRD pattern of E09 sample in Pyeongde-ri.	63
Fig. 41. XRD patterns of E09 sample in Pyeongde-ri after various treatment.	63
Fig. 42. XRD pattern of C01 sample in Eosichen.	64
Fig. 43. XRD patterns of C01 sample in Eosichen after various treatment.	64
Fig. 44. XRD pattern of C06 sample in Daepo-dong.	66
Fig. 45. XRD patterns of C06 sample in Daepo-dong after various treatment.	66
Fig. 46. XRD pattern of C09 sample in Tamragegok-valley.	67
Fig. 47. XRD patterns of C09 sample in Tamragegok-valley after various treatment.	67
Fig. 48. XRD pattern of C10 sample in Eorimok-2.	68
Fig. 49. XRD patterns of C10 sample in Eorimok-2 after various treatment.	68
Fig. 50. XRD pattern of C12 sample in Hangpaduri.	70
Fig. 51. XRD patterns of C12 sample in Hangpaduri after various treatment.	70
Fig. 52. XRD pattern of C17 sample in Ora-dong.	71
Fig. 53. XRD patterns of C17 sample in Ora-dong after various treatment.	71
Fig. 54. XRD pattern of C23 sample in Nohyeong-dong.	72
Fig. 55. XRD patterns of C23 sample in Nohyeong-dong after various treatment.	72
Fig. 56. XRD pattern of C35 sample in Hancheon-4.	74
Fig. 57. XRD patterns of C35 sample in Hancheon-4 after various treatment.	74
Fig. 58. XRD pattern of C37 sample in Dare-oreum.	75

Fig. 59. XRD patterns of C37 sample in Dare-oreum after various treatment.	75
Fig. 60. XRD pattern of C19 sample in Seondol-1.	76
Fig. 61. XRD patterns of C19 sample in Seondol-1 after various treatment.	76
Fig. 62. XRD pattern of W02 sample in Kosan-ri.	78
Fig. 63. XRD patterns of W02 sample in Kosan-ri after various treatment.	78
Fig. 64. XRD pattern of W03 sample in Sinpyoung-ri.	79
Fig. 65. XRD patterns of W03 sample in Sinpyoung-ri after various treatment.	79
Fig. 66. XRD pattern of W06 sample in Hwasun-ri.	80
Fig. 67. XRD patterns of W06 sample in Hwasun-ri after various treatment.	80
Fig. 68. XRD pattern of W09 sample in Sansimbong-oreum.	82
Fig. 69. XRD patterns of W09 sample in Sansimbong-oreum after various treatment.	82
Fig. 70. Relationship between the XRD intensity of quartz and intensity of 14 Å, 10 Å and 7 Å of clay minerals.	89
Fig. 71. Relationship between the XRD intensity of quartz and intensity of 14 Å, 10 Å and 7 Å of clay minerals.	90
Fig. 72. XRD patterns of the representative mineral assemblages.	93
Fig. 73. Distribution map of the mineral assemblages in the Tamna Formation.	94
Fig. 74. Distribution map of the clay mineral assemblages in the Tamna Formation.	97
Fig. 75. SEM images showing quartz and EDS analysis.	99
Fig. 76. XRD pattern of C33 sample in Seohong-dong.	101

Fig. 77. XRD patterns of C33 sample in Seohong-dong after various treatment.	101
Fig. 78. SEM images showing 10Å-halloysite and EDS analysis.	102
Fig. 79. Tectonic provinces of Korean peninsula.	106
Fig. 80. Paleocoastline and paleoriver channel.	107
Fig. 81. Geological structure map of West Area.	109
Fig. 82. Schematic diagram of the tectonic history of Jeju Island, Korea.	112



List of tables

Table 1. Geologic stratigraphy of Jeju Island, Korea	11
Table 2. Mineral compositions of the mudstone in the Tamna Formation	46
Table 3. Mineral compositions of the mudstone in the Tamna Formation	84
Table 4. The types of mineral assemblages	91
Table 5. The types of clay mineral assemblages	95



I. 서 언

제주도는 대한해협을 서남측 입구에 위치하는 섬으로(Fig. 1), 흔히 화산도라고 알려져 왔으며, 그 지질에 관한 연구는 일본인 지질학자 Haraguchi (1930, 1931)에 의하여 최초로 실시되었는데, Haraguchi (1931)는 제주도의 화산활동은 중앙선, 삼도선, 남해안선, 북해안선, 비양도-마라도선, 김령-토산리선 및 한라산-김령선을 따라 일어났다고 하였으며, 다음과 같이 3단계로 구분하였다.



Fig. 1. Location of Jeju Island, Korea.

- (1) 제주도의 최초의 화산활동은 제3기 후기에 조면암질 마그마의 분출로 시작하였으며, 많은 돔상의 화산체가 형성되었다. 이 조면암질 마그마의 화산활동이 있는 후 휴식기에 서귀포층이 천해에서 퇴적되었다.
- (2) 플라이스토세 초에 화산활동이 점차로 증가하였으며 조면-안산암질 용암들이 분출하였다. 이 화산활동 후 화산활동은 크게 쇠퇴하였다.
- (3) 그 후 다시 화산활동은 격렬하여졌으며, 제주도 전역에 분포하는 많은 분석구들을 형성하였다. 이 화산활동은 다량의 현무암질 마그마를 분출하였다.

농업진흥공사(ADC, 1971)는 1965년과 1966년에 건설부에 제출한 (주)한국 지하자원조사소의 제주도 지하수탐사를 위한 지질조사보고서(대표저자: 김옥준)를 기초로 하여 지질조사를 실시하였는데, (주)한국지하자원연구소는 그의 보고서에서 제주도의 화산암은 최하위의 표선리현무암의 용암들을 제외한 모든 용암들은 한라산 정상의 백록담을 형성한 분화구로부터 분출하였으며, 많은 곳에 산재하여 있는 분석구들은 제주도 화산활동의 최후기에 형성되었다고 설명하였다(Yoon, 1970).

(주) 한국지하자원연구소는 그 보고서에서 제주도의 용암류 명칭에 지명을 사용하였으나 농업진흥공사에서 그의 보고서(ADC, 1971)에서는 용암의 조직명을 사용하였다.

Won et al. (1993, 1995), Park et al. (1998, 2000a, 2000b)에 의하여 작성된 1:50,000축척의 제주도 지질도들에서는 용암들이 백록담 분화구에서뿐만 아니라 많은 분석구에서도 분출하였다고 하였다.

Brenna et al. (2012)은 제주도는 약 1.8 Ma에서 홀로세에 이르기까지 현무암질 화산활동이 일어난 화산지대의 드러난 일부라고 하였으며, Koh et al. (2013)은 제주도의 화산활동은 서귀포층을 기준으로 크게 퇴적동시기(약 1.88~0.5Ma)와 퇴적이후 화산활동기(0.5 Ma~홀로세)로 구분된다고 하였다. 즉 약 0.5 Ma를 전후로 하여 그 전의 수성화산활동과 산발적인 육상화산활동시기와 그 후 전면적인 육상화산활동시기로 정의할 수 있다고 하였으며, 이러한 연구 결과는 제주도는 하와이섬과 같은 해양화산도인 하나의 순상화산체

가 아니고 복합화산체론(윤선 외, 2009) 및 현무암질 화산지대론(Brenna et al., 2012)과 부분적으로 부합한다고 하였다.

이러한 조사가 진행되는 동안에, Yoon et al. (2002, 2003)은 제주도의 지표에는 해안에서 한라산 정상에 이르기까지 탐라층이라고 명명된 라하르(lahar) 기원의 하성 쇄설성 퇴적층이 넓게 분포하고 있는데, 이 탐라층에 수많은 암맥들이 관입하여 있으며, 한라산은 백록담조면암군을 형성한 마그마의 관입에 의하여 탐라층이 돔상으로 융기되어 형성된 돔상 융기산체라고 하였다. 이러한 연구 결과를 근거로 하여 Yoon et al. (2005, 2006, 2009)은 제주도의 지질을 새로운 관점에서 정립하였으며, 이를 정리하여 Yoon et al. 은 2014년에 제주도 구조운동사를 발표하였다.

Yoon et al. (2014)의 제주도 지질층서에서 하성층인 탐라층은 해안으로부터 한라산 정상에 이르기까지 제주도 전역에 걸쳐 분포하고 있다. 이 탐라층에서 Hyeon et al. (2005)은 규암과 맥석영의 역들의 산출을 보고하였는데, 역들의 크기는 세력(2~4 mm)들이 대부분이나 가장 큰 것들은 장경이 10~20 mm에 달하여 소력들인 것들도 있다. 현무암질과 조면암질 화산활동으로 이루어진 제주도에서는 이 역들은 현지성으로는 산출할 수가 없다. 그러므로 외지로부터 운반되어 온 것으로 해석할 수밖에 없다. 그리하여 Yoon et al. (2014)는 탐라층이 퇴적될 당시에는 전라남도 해남~강진지역에서 제주도에 이르는 사이에 넓은 육지가 존재하였으며 이 육지를 흘렀던 하천에 의하여 전라남도 해남~강진지역 육천대의 규암층과 맥석영으로부터 운반되었을 것이라고 하였다.

이러한 해석을 뒷받침하기 위하여 전역에 분포하는 탐라층을 대상으로 전체적인 구성광물을 조사하고자 하였다. 그 중에서도 모든 탐라층에서 산출되는 세립질인 이질암 부분을 대상으로 하여 연구하였다. 이러한 세립질인 이질암 부분은 멀리서 운반되어 온 미립물질들도 포함하고 있기 때문에 폭넓은 근원지를 추정하는데 유용한 자료가 될 수 있다. 이전의 육안적 관찰만으로 수행하였던 탐라층의 연구와는 달리 미립물질의 광물성분을 분석할 수 있는 X-선회절분석과 전자현미경(SEM/EDS) 등의 방법을 사용하여 이질암 부분에 대한 구성광물을 상세히 분석하였다. 이와 함께 제주도 전역의

탐라층에 대하여 퇴적상과 이질암의 산출상태를 조사하고, 구성광물의 성분, 특성, 조합, 분포 등을 검토하여, 그 구성광물들의 기원을 밝히며, 나아가 퇴적물의 근원지를 고찰하고자 연구하였다.



II. 지질 개요

1. 지형과 한라산의 정의

제주도는 평면도상에서 타원형으로 장축은 동북동~서남서 방향으로 길이 약 74 km, 단축은 북북서~남남동 방향으로 길이 약 32 km이며, 중심부에는 해발고도 1950 m의 한라산이 솟아있다(Fig. 2). 제주도의 지형은 해안에서 내륙의 중심부를 향하여 3부분으로 나눌 수 있다(Yoon et al., 2006). 해안에서 해발고도 200 m에 이르는 지대는 낮은 구릉들이 있는 평탄한 해안지대이며, 200 m에서 500 m에 이르는 지대는 완만한 사면을 이루는 중산간지대(mid-mountainous)이고, 500 m 부근에서부터는 사면이 급하여져서 한라산의 정상에 이른다. Yoon et al. (2005)은 한라산의 산체를 현재 산림청이 관리하고 있는 요존국유림(要存國有林)의 경계지역인 해발고도 약 500 m에서 1950 m에 이르는 제주도의 중심부라고 정의하였다.

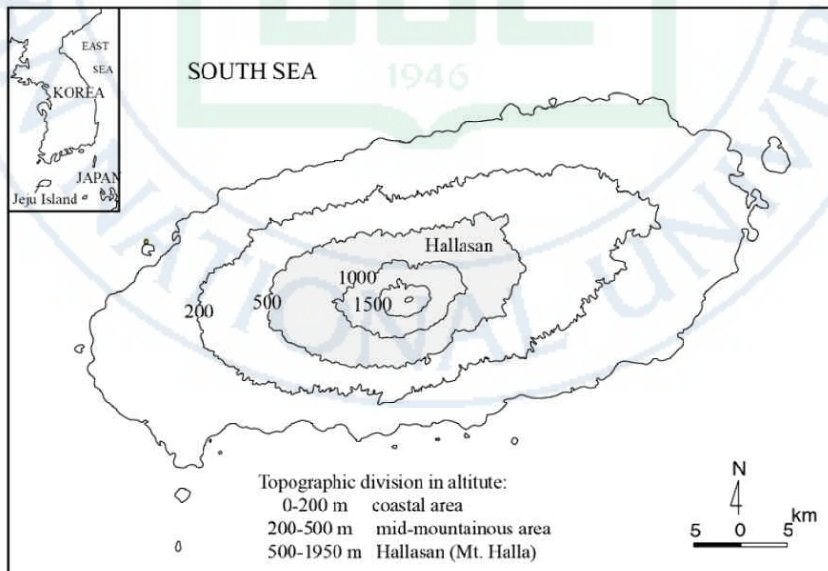


Fig. 2. Index map of Jeju Island, Korea.

한라산의 정상에는 백록담이라고 부르는 원형구의 지형이 있는데, 이 원형구는 분화구가 아니고 함몰구임이 밝혀졌다(Yoon et al., 2005). 한라산의 북사면과 남사면은 경사가 급한 반면, 동사면과 서사면은 비교적 완경사를 이루고 있다. 한라산에는 계곡의 발달이 이루어져 있지 않으나, 정상으로부터 북쪽으로 2개(탐라계곡과 어리목계곡)와 남쪽으로 1개(효돈천계곡)의 깊고 긴 계곡이 발달되어 있다. 이 계곡들은 폭우가 쏟아질 경우 물이 흐르며 폭우가 끝나면 1~2시간 정도 물이 흐른 후에는 물이 흐르지 않으며 그 후 평상시에는 물이 흐르지 않는 즉 유수가 없는 건곡으로 된다. 건곡은 유수가 지하로 스며들어 물이 흐르지 않는 하천이다.

제주도 전역에 걸쳐 약 350개의 분석구와 5개의 응회환 또는 응회구들이 분포하여 화산지대의 독특한 경관을 이루고 있다.

2. 지질 일반

제주도의 지질층서는 하위로부터 상위로 기반암, 고제주화산암, 서귀포층, 표선리현무암군, 탐라층, 현무암질 암맥복합체, 한라산현무암군, 백록담조면암군, 화산성 암설사태층, 신양리층 및 고해빈-내만사층으로 구분된다(Fig. 3). 이들 중에서 기반암과 고제주화산암은 해수면하에 분포하고 있으며, 특히 고제주화산암은 서귀포층에 들어있는 현무암질과 조면암질의 화산암력들에 의하여 그 존재를 알 수 있을 뿐이며 심부시추 자료에 의해서도 아직까지 그 활동지역과 분출규모에 관하여서는 알려진 바가 없다. 따라서 고제주화산활동이 제주도지역의 기반암 위에서 일어났었는가, 혹은 제주도지역의 인근지역 기반암 위에서 일어났었는가는 확언할 수가 없으므로 제주도 지질 단면도에 그 위치를 표시하지 못하였다. Table 1에 제주도 지질층서를 나타냈다.

서귀포층(Haraguchi, 1930; Yoon et al., 2004)은 지표에는 서귀포시 해안을 비롯하여 해안을 따라 점점이 소규모로 분포하고 있으나 지하에는 제주도 전역에 걸쳐 분포하고 있다. 연체동물화석 등 해양생물화석들이 산출하는 해성층이다.

표선리현무암군(Yoon et al., 1995)은 서귀포층을 부정합으로 피복하고 있는 현무암질의 파호에호에 용암들로 구성되어 있다. 본 용암들은 다공질이며, 침상의 장식과 직경 약 1 mm의 감람석 반정이 특징적이다. 침상의 장식 반정의 유무에 따라 함침상장식감람석현무암과 감람석현무암의 2종류로 구분할 수 있다. 이 용암들은 북부해안의 애월과 남부해안의 화순을 잇는 선과 북부해안의 일도와 남부해안의 위미를 잇는 선으로 둘러싸인 제주도 중부지역을 제외하고 동부지역과 서부지역에 넓게 분포하고 있다.

탐라층(Yoon et al., 2002, 2005)은 표선리현무암군을 부정합으로 피복하며, 역암, 함력 사질 이암, 사암, 사질 이암, 이암 등으로 구성되어 있다. 역들은 주로 현무암질과 조면암질이다. 본 층은 해안에서부터 한라산 정상부에 이르기까지 제주도 전역에 걸쳐 넓게 분포하고 있으며, 해안지역에서는 수 m

에서 수십 m의 비교적 얇은 층후를 나타내지만 한라산에 접근할수록 두꺼워져 정상 직하(해발고도 1500 m 부근)에서는 약 200 m 이상에 이른다.

현무암질 암맥복합체(Yoon et al., 2002, 2005)는 탐라층을 관입하고 있으며, 이들의 관입상은 크게 나누어, 저경사 내지 수평한 자세로 관입한 시트상의 단독암맥들과 다수의 암맥들로 구성되어 암맥군을 이루고 있는 것들로 구분할 수 있다. 암맥군을 이루고 있는 암맥들은 대부분 수직 내지 고경사의 자세를 취하고 있으며 두께는 0.5~1.5 m이다. 시트상 단독암맥들은 두께가 수 m 내지 10여 m이다.

한라산현무암군(Yoon et al., 2002, 2005)은 탐라층을 부정합으로 피복하며, 파호에호에 용암과 아아 용암의 산상을 나타내는 현무암과 조면현무암으로 구성되어 있다. 파호에호에 용암에 속하는 용암들은 한라산의 고지대에 분포하고 있으며, 아아 용암에 속하는 용암들은 중산간지대로부터 해안지대를 향하여 분포하고 있다. Song and Yoon (2002)은 아아 용암을 “곶자왓 용암”이라고 부르려 하였으나 그 후의 조사 결과 소위 “곶자왓” 지대에는 아아 용암 뿐만 아니라 파호에호에 용암도 분포하고 있음이 확인되어 “곶자왓 용암”이라는 명칭은 사용하지 않기로 하였다.

백록담조면암군(Yoon et al., 1995, 2005)은 한라산 정상 부근에 용암돔을 형성하고 있는 것을 비롯하여, 영실, 선작지와 남측 능선 등에 분포하고 있으며, 99계곡의 산체, 모슬포의 산방산체를 이루고 있는 조면암들도 이에 속하는 것으로 생각된다.

화산성 암설사태층은 분석구의 산체붕괴로 생성된 것들로서 제주도 북동부지역에 주로 분포하고 있다(Yoon et al., 2001).

신양리층(Kim, 1969)은 제주도 동단의 신양리와 성산 일출봉 사이의 해안에 분포하는데, 세력~소력 역암층과 조립사암의 호층으로 이루어진 내만성 퇴적층이며 연체동물화석의 방사성 동위원소 연령(^{14}C)은 $4780 \pm 60\text{y.B.P.}$ (Sameshima, et al., 1988)이다.

고해빈-내만사층(Yoon, et al., 2006)은 동북해안의 세화리 부근과 서북해안의 협재 부근에 분포하고 있는 패사층(Haraguchi, 1930)인데, 농업진흥공사의 제주도 지질도(ADC, 1971)에서 사구층으로 기재한 후 Won et al. (1993)과

Park et al. (2000)에 이르기까지 사구층으로 기재되어 왔다. 이 층은 그 연변은 사구의 요소를 가지고 있으나 중심부에는 패각층을 협재하여 내만의 퇴적층임을 보여준다. 방사성 동위원소 연령(^{14}C)은 약 3500y.B.P. (Woo and Kim, 2005)이다.



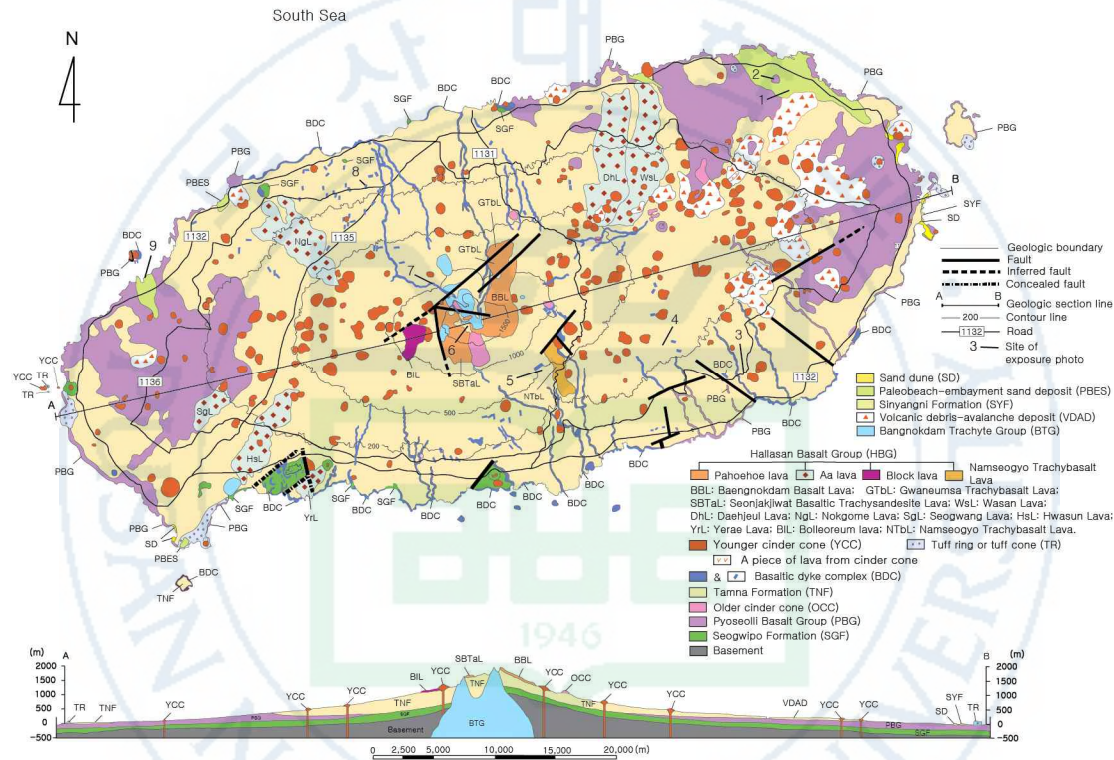


Fig. 3. Regional geological map of Jeju Island (Yoon et al., 2014).

Table 1. Geologic stratigraphy of Jeju Island, Korea (Yoon et al., 2014)

Age	Stratigraphic unit	Remark	Cinder cone	Tuff ring
Holocene	paleobeach-embayment and deposit	sandstones intercalated by marine shell beds		
	Sinyangni Formation	marine conglomerates and sandstones		
Early Pleistocene	Volcanic debris-avalanche deposits - stratigraphic relation unknown - Baengnokdam Trachyte Group	mixtures of heterogeneous debris blocks and clasts		
		lava domes and dykes		
	Hallasan Basalt Group	pahoehoe and aa lavas	younger cinder cone	tuff ring
	Basaltic dyke complex	solitary dykes and dyke swarms		
	Tamna Formation	fluvial beds consisting mainly of gravelly sediments		
	Pyoselli Basalt Group	pahoehoe lavas	older cinder cone	
	Seogwipo Formation	marine gravelly sandstones, sandstones and mudstones intercalated by haloclastites and tuff ring deposits in the upper part		
Late Pliocene	Paleo-Jeju Volcanics	basaltic & trachytic gravels in the Seogwipo Formation		
Paleocene	Basement	micrographic granites(Bulguksa Granite), volcanic sandstones and mudstones, welded tuffs, lapilli tuffs, biotite granites (Daebo Granite)		
Precambrian				

3. 탐라층의 퇴적상

탐라층(Tamna Formation: 윤선 외, 2002; Yoon et al., 2002)은 제주도의 동부지역과 서부지역에서는 표선리현무암군을 부정합으로 피복하고 있으며 중부지역에서는 서귀포층을 부정합으로 피복하고 있다. 라하르(lahar) 기원의 하성 쇄설성 퇴적층으로 역암, 함력 사암, 사암, 함력 이암, 사질 이암, 이암 등으로 구성되어 있으며, 역들은 현무암질과 조면암질이다. 본 층은 해안에서부터 한라산 정상부에 이르기까지 제주도 전역에 걸쳐 넓게 분포하고 있으며, 해안지역에서는 두께가 수 미터에서 수십 미터의 비교적 얇지만, 한라산체에 접근할수록 두꺼워져 200 m 이상에 이른다. 원종관 외(1993)의 토양층, 윤선 외(1995)의 탐라역암과 금덕층, 박기화 외(1998)의 일도동퇴적층, 거로교퇴적층, 서김녕리퇴적층, 교래교퇴적층, 탐라교퇴적층과 하성자갈층, 박기화 외(2000)의 굴전동역암, 법호천역암과 만세동역암, 박기화·조등룡·김정찬(2000)의 고산층, Yoon, et al. (2001)의 Seongeup epiclastic sediments가 본 층에 포함된다.

화산지대에서는 고농도수류와 암설류 등에 의하여 방대한 양의 쇄설성 퇴적물이 하천에 의하여 운반·퇴적되는데, 이러한 퇴적물을 라하르라고 널리 불려져 왔다. Smith and Lowe(1991)는 라하르의 운반과 퇴적작용을 (1) 저농도수류, (2) 고농도수류, (3) 암설류, (4) 암설사태로 구분하였다. 제주도의 라하르 퇴적물에는 이 4 종류의 퇴적물이 모두 분포하고 있는데, 이들 중 암설사태 퇴적물을 제외한 퇴적물을 총괄하여 탐라층으로 명명하였다. 이에 기초하여 탐라층의 퇴적상을 검토한다.

3-1. 저농도수류 퇴적상

저농도수류는 하상의 얇은 층을 제외하고는 전부 난류이며 와동이 퇴적물의 운반을 지지하는 근본 기구이다. 퇴적물의 충전도가 40 wt. % 이하에 해당한다. 퇴적은 근본적으로 밀집에 의하여 입자 하나씩 하나씩 일어난다. 수평층리와 사층리를 이루고 있는 사암층과 렌즈상 또는 판상의 역암층으로 구성되어 있다. 역암은 입자지지를 이루고 있으며, 역들 사이의 공간은 비어 있거나 역들이 퇴적된 후에 들어간 세립의 모래가 채우고 있다(Fig. 4).



Fig. 4. Photograph shows rounded-subrounded gravel conglomerate beds, Eosi-cheon, Oedo-dong.

구성퇴적층:

- (1) 입자지지 원력~아원력 역암층(clast-supported rounded-subrounded gravel conglomerate beds).
- (2) 수평층리 및 사층리 사암과 역암층(horizontally and crossly-bedded sandstone and conglomerate beds).
- (3) 이암층(mudstone beds).

3-2. 고농도수류 퇴적상

고농도수류는 저농도이고 충분하게 난류인 저농도수류와 점성이 있으며 대체적으로 난류가 아닌 암설류와의 중간적 성격을 갖는 수류로 생각되고 있다. 고농도수류는 부력 입자간의 상호작용(grain interaction) 및 약한 난류의 조합에 의하여 암설들이 지지되는 것으로 추정되는 수류이며, 퇴적물의 충전도가 40 wt에서 80 wt %에 해당한다. 고농도수류 퇴적층은 뜬짐과 밀짐의 빠른 퇴적에 의하여 만들어졌다고 해석되는 조직들을 갖고 있다(Fig. 5).

구성퇴적층:

(1) 고농도수류 역암: 분급이 불량하나 입자지지이며 흔히 정상점이분급을 보여준다. 일반적으로 기저에서 역점이층리를 이루고 있지 않다. 저농도수류 역암에 있는 특징적인 사암의 렌즈는 볼 수 없다. 또 저농도수류의 역암에서는 역들 사이의 공극은 비어 있거나 역들이 퇴적된 후에 침투해 들어간 세립의 모래가 채우고 있으나, 고농도수류의 역암에서는 중력과 대력들 사이의 공극을 분급이 불량한 조립의 모래와 소력들이 채우고 있다. 이 조립의 모래와 소력들은 중력과 대력들이 퇴적된 후에 그 사이의 공극에 침투해 들어간 것이라고 하기에는 너무 크다.

(2) 고농도수류 사암: 사층리가 없고 수평층리가 발달하는 것이 특징이다. 이 층리는 분급이 양호 내지 불량한 수 mm 내지 5 cm 두께의 조립 사층과

세립 사층의 호층으로 이루어져 있다(Fig 5). 이러한 사암의 입자들 크기의 평균값은 중립 내지 조립이다. 층리의 접촉면은 세립 입자들이 조립의 층들에도 많이 들어 있어서 정의하기가 어려우며, 층리는 명확하게 선으로 구분되는 층들의 호층에 의한 것이 아니고 조립의 입자들의 존재 여부에 의하여 정의 된다.

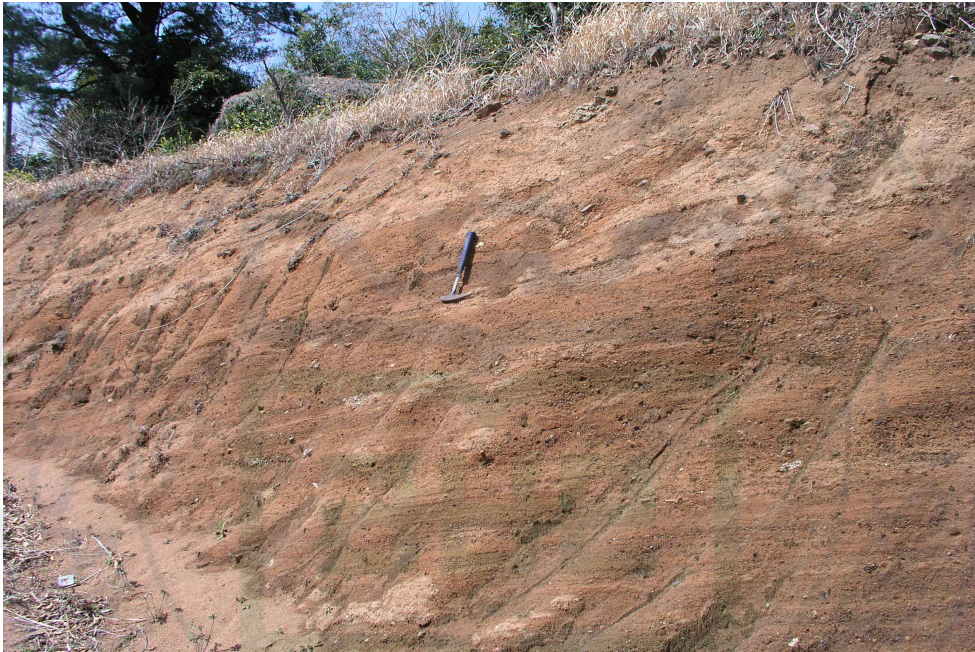


Fig. 5. Photograph shows hyperconcentrated flow sandstone beds, Tosan-ri.

3-3. 암설류 퇴적상

암설류는 퇴적물의 충전도가 80 wt % 이상인 고농도로서, 분급이 불량한 퇴적물과 물의 혼합체이다. 세립 입자(점토 크기)들은 모두 물에 떠 있는 상태에서 이질수나 점착성 함수니질 현탁류를 이루어 유동할 때 매우 큰 거력을 부양시켜 운반할 수 있다. 부력과 분산압이 또한 입자들을 부양시키는데 하나의 역할을 한다. 그러나 거력의 일부는 충분히 부양되지 않아 현탁류의

기저에서 구르거나 미끄러져 밑짐으로 운반된다. 이류는 뿔이 많으며 조립 입자들의 함량이 적은 암설류에 사용된 용어인데, 암설류와 동의어이다. 암설류 퇴적층은 무더기 퇴적에 의하여 만들어지는 조직들을 갖는다(Fig. 6). 분급이 극히 불량하며 층리가 없으며 역들은 기질지지이다. 입자 크기의 수직분포는 역점이에서 정상점으로 변하거나, 전층을 통하여 역점이층리이다.

구성퇴적층:

(1) 아각력~원력 대력~중력 역암층.

(2) 함력 사질 이암층.

위와 같은 암석들로 구성된 탐라층은 하성 퇴적층이다.



Fig. 6. Photograph shows conglomerate beds with subangular-rounded boulders, Seongpanak trail.

3-4. 탐라층의 지질시대

탐라층에서는 아직 화석이 발견 되지 않아 그 지질시대를 정확히 알 수가 없으나, 탐라층의 하위의 용암과 상위의 용암의 연령을 사용하여 추정할 수 있다. 탐라층 하위에 있는 표선리현무암군의 방사성 동위원소(K-Ar) 연령이 0.63 ± 0.13 Ma(제주도 남동부 해안지역의 시료, 윤상규 외, 1987), 0.60 ± 0.13 Ma(제주도 서부 해안지역의 시료, 윤상규 외, 1987)이고, 탐라층 상위에 있는 백록담현무암용암의 방사성 동위원소(K-Ar) 연령이 0.47 ± 0.07 Ma(玉生志郎, 1990)이므로, 탐라층의 연령은 약 50~60만년 전후이고 지질시대는 플라이스토세 중기이다.



III. 탐라층의 분포 및 암상

1. 탐라층의 분포 및 암상

제주도에 분포하는 탐라층은 해안지대에서 한라산 정상부 까지 넓게 분포하고 있으며 지표지질에서 가장 넓은 면적을 차지하고 있다. 탐라층은 한라산체를 제외하고 대부분 농경지로 이용되고 있으며 구성암석의 종류에 따라 이용형태가 지역별로 다양하게 나타나고 있다. 제주도 지질주상도자료집(2012, 제주특별자치도 수자원본부)에 따르면 표선리현무암군은 제주도의 동부지역과 서부지역에 분포하고 있으며 한라산체를 포함하는 중부지역에는 분포하고 있지 않은 것으로 나타났다. 이러한 사실은 제주도의 탐라층 분포에서 서로 다르게 나타난다. 동부지역과 서부지역의 탐라층은 두께가 수 십 미터에 이르지만 표선리현무암군이 분포하지 않는 중부지역의 한라산체에서는 수 백 미터의 두께를 갖고 있다. 또한 표선리현무암군의 분포여부에 따라 탐라층의 암상도 서로 다르게 나타난다. 표선리현무암군이 분포하는 동부지역과 서부지역은 함력사질이암과 사암이 주로 분포하며 중부지역은 함력사질이암, 사암, 역암이 넓게 분포하는 특징을 갖고 있다. 제주도에 분포하는 탐라층은 함력사질이암의 분포가 가장 넓은 편이며 사암은 분석구가 밀집한 곳에서 주로 분포하고 있고 역암은 한라산체를 포함하는 중부지역에 많이 분포하고 있다.

본 연구는 표선리현무암군의 분포 여부에 따라서 연구지역을 동부지역, 중부지역, 서부지역으로 구분하였다(Fig. 7). 또한 해발고도에 따라 해안지대, 중산간지대, 한라산체로 구분하여 설명하였다. 연구지역의 노두는 지역별로 대표적인 곳을 선정하였으며 면적이 넓은 중부지역에서는 노두의 개수를 많이 선정하였다. 연구지역의 암상은 함력사질이암으로 구성된 곳, 함력사질이암과 사암으로 구성된 곳, 함력사질이암, 사암, 역암으로 구성된 곳으로 구분하여 기재하였다.

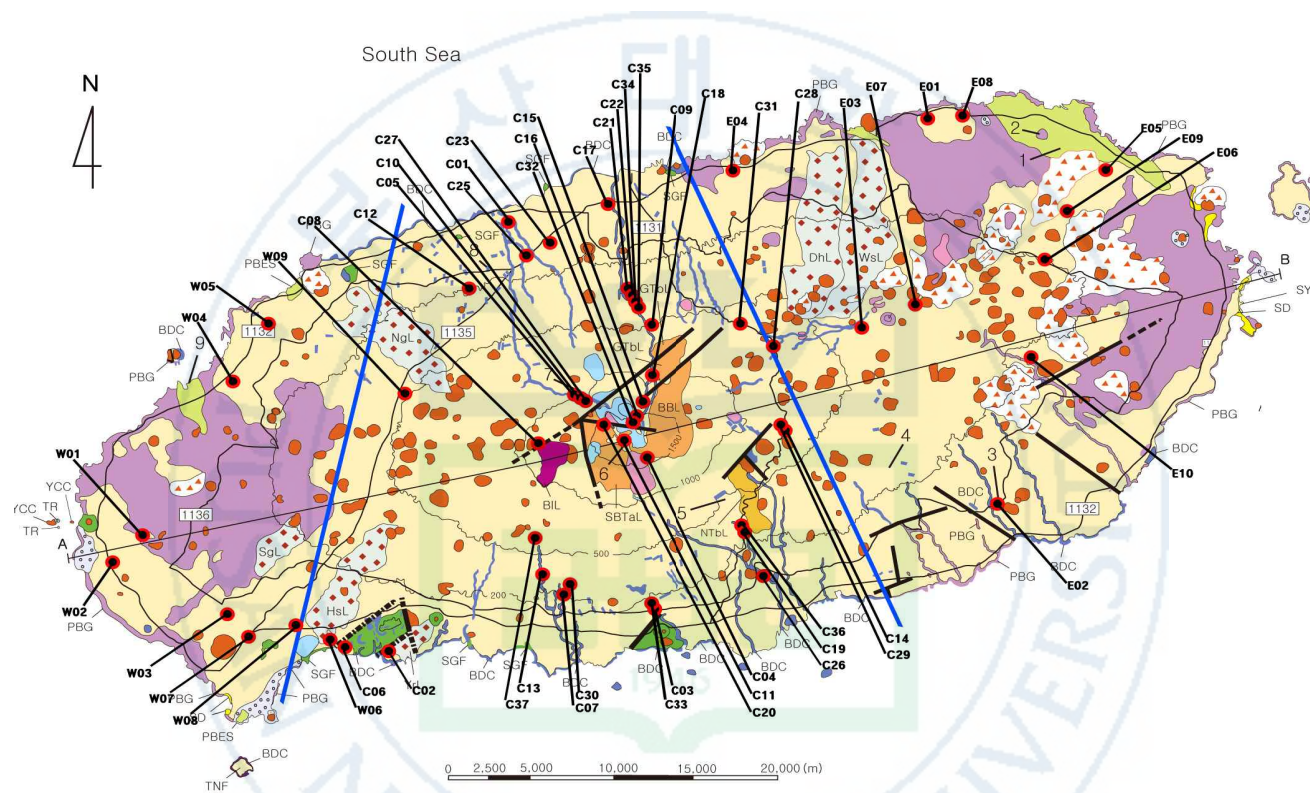


Fig. 7. Geological map showing the division of study area of Jeju island. Spots indicate sampling sites.

2. 탐라층의 지역별 암상

2-1. 동부지역의 분포 및 암상

동부지역은 표선리현무암군이 분포하고 있는 제주시 일도동에서 서귀포시 위미리를 잇는 경계선의 동쪽지역을 말한다(Fig. 8). 지표지질은 하위로부터 상위의 순서로 표선리현무암군, 탐라층, 신양리층, 고해빈내만사층으로 구분되며 분석구오름과 응회구오름이 분포하고 있다. 동부지역의 탐라층은 표선리현무암군을 피복하고 있으며 해안지대에서는 두께가 얇은 편이며 중산간지대에서는 두께가 두꺼워지는 경향을 보인다. 탐라층은 함력사질이암과 사암으로 구성된 형태를 보이는 곳이 많으며 역암은 중산간지대에서 일부 나타난다. 이지역의 사암은 분석구에서 채이동된 스코리아들이며 함력사질이암의 상부에서 주로 관찰된다.

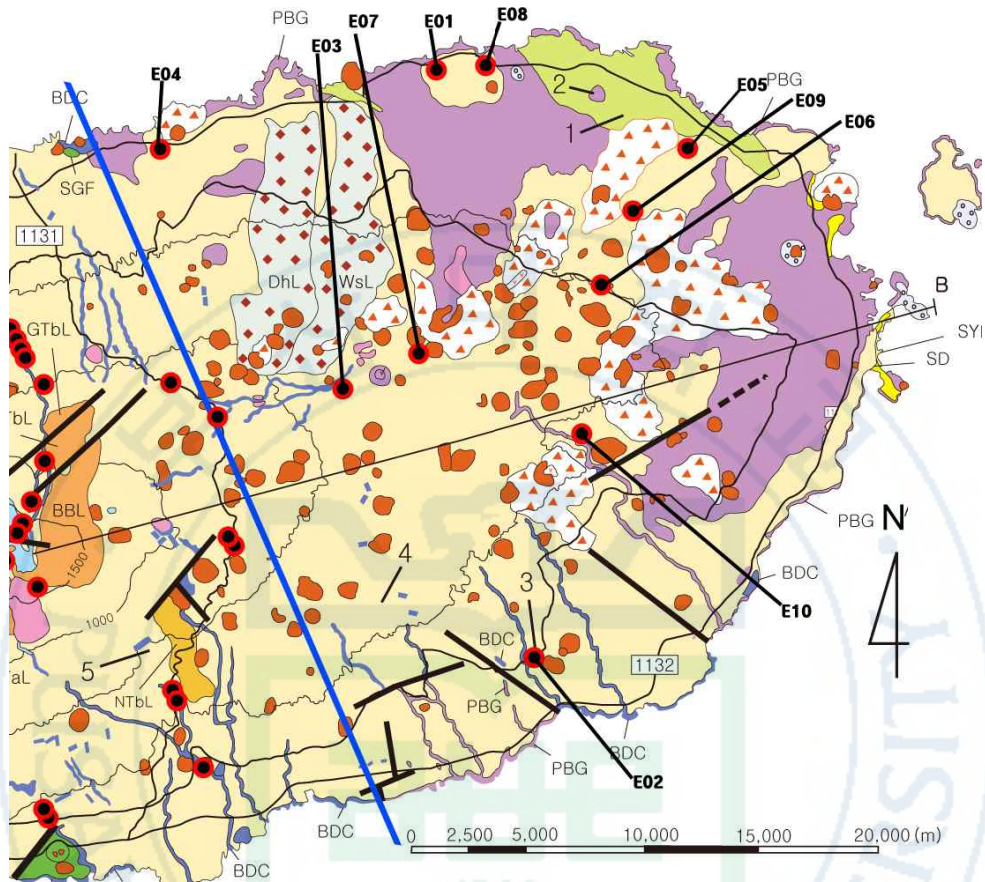


Fig. 8. Sampling sites in the eastern area.

2-1-1. 함력사질이암

동부지역의 함력사질이암은 가장 넓은 면적에 분포하고 있으며 해안지대인 동북리, 토산리, 한동리, 김녕리에 분포하고 있다. 이들은 대부분 농경지에 위치하고 있다. 이지역의 함력사질이암은 표선리현무암군을 얇게 피복하고 있으며 협재된 역들은 주로 현무암질이고 크기가 수 cm에서 수 십 cm이다. 또한 역들은 각력의 형태가 많은 편이며 가끔씩 아각력과 원력도 관찰된다. 두께는 50 cm에서 2 m 정도이며 층리는 조잡하고 분급은 불량하며 색은 갈색, 흑색을 띠고 있다. 농경지로 이용하는 상부는 검은색을 띠며 토양화가 진행되는 것을 알 수 있다.

토산리(E02) 노두는 마을 농경지에 위치하고 있으며 두께는 약 3 m 정도이고 동서방향으로 연장되고 있다. 노두의 북쪽 하천에서 현무암질 암맥이 분포하고 있다. 이곳의 암석은 함맥석영 사질 이암으로 색은 적갈색과 갈색을 띠고 있으며 현무암질 세력들이 산재하고 있다. 분급은 불량하며 층리가 조잡하게 발달하고 있다. 토산리 노두에서는 석영의 역들인 맥석영과 규암이 산출되며 역들의 크기는 보통 2~3 mm들이며 큰 것은 20 mm이다(Fig. 9).

한동리(E05) 노두는 마을 농경지에 위치하고 있으며 두께는 약 1m 정도이고 남북방향으로 연장되고 있다. 노두의 내륙방향으로 고해빈 내만사층이 남북방향으로 분포하고 있다. 이곳의 암석은 함력사질이암이며 층리는 불량한 편이며 색은 흑색과 갈색을 띠고 있다. 흑색을 띠는 부분은 주로 화산재의 퇴적물이며 갈색을 띠고 있는 하부는 하성쇄설물로 이루어졌다. 노두에서 관찰되는 역들의 크기는 수 mm에서 수 십 cm에 이르며 현무암질 각력들이다.

김녕리(E08) 노두는 마을 해안 농경지에 위치하고 있으며 두께는 약 1 m 정도이고 남북방향으로 연장되고 있다. 이곳의 암석은 함력사질이암이며 층리는 불량한 편이며 색은 갈색을 띠고 있다. 표선리현무암군의 상부에 얇게 피복하고 있으며 노두에서 관찰되는 역들의 크기는 수 mm에서 수 십 cm에 이르며 현무암질 각력들이다(Fig. 10).



Fig. 9. Gravelly sandy mudstone (G) in Tosan-ri. A rectangle indicates sampling site.



Fig. 10. Gravelly sandy mudstone (G) in Gimnyeong-ri. A rectangle indicates sampling site.

2-1-2. 함력사질이암, 사암

함력사질이암과 사암이 분포하는 지역은 평대리, 화북동, 송당리, 성읍리이며 주로 중산간지대에 위치하고 있다. 이 암석은 표선리현무암군을 피복하고 있으며 두께는 수 m 에 이른다. 동부지역의 중산간지대는 분석구들이 집중적으로 산재하고 있으며 이들 분석구는 시대를 달리하여 형성된 것으로 알려져 있는데 고기의 분석구들은 지진 등의 영향으로 암설사태층을 형성하거나 침식되면서 주변의 탐라층에 물질이 운반되었다. 따라서 이들 지역의 사암은 분석구에서 재이동된 스코리아성 물질들이며 적색 또는 검은색을 띤다. 층리는 잘 발달한 편이며 함력사질이암의 상부에 분포하는 특징을 나타낸다. 주로 상부에는 사암이 분포하고 하부에는 함력사질이암이 분포하는 특징을 보여주는데 이것은 함력사질이암이 퇴적 후 시간적으로 충분한 간격을 두고 상부의 사암이 퇴적된 것으로 해석된다.

평대리(E09)는 중산간지대의 마을 농경지에 위치하고 있으며 두께는 약 2m 정도이고 동서방향으로 연장되고 있다. 노두는 하부의 함력사질이암과 상부의 사암으로 구성되어 있으며 상부의 사암은 적색과 갈색 그리고 하부의 이암은 갈색을 띠고 있어서 경계가 뚜렷한 편이다. 상부의 사암은 층리가 잘 발달하고 있으나 하부의 함력사질이암은 층리가 불량하고 수 mm에서 수 cm에 이르는 현무암질 각력을 포함하고 있다(Fig. 11).

성읍리(E10)는 중산간지대의 마을 동북 측에 위치하고 있으며 두께는 약 3m 정도이고 남북방향으로 연장되고 있다. 노두의 서쪽에는 하천이 형성되어 있으며 역암들이 관찰되기도 한다. 이곳의 암석은 함력사질이암과 사암으로 구성하고 있으며 사암은 적색과 갈색 그리고 하부의 이암은 갈색과 적갈색을 띠고 있다. 상부의 사암은 스코리아가 많이 포함되어 있으며 층리가 잘 발달하고 있다. 하부의 함력사질이암은 층리가 불량하고 수 mm에서 수 cm에 이르는 현무암질 각력을 포함하고 있다 (Fig. 12).



Fig. 11. Gravelly sandy mudstone (G) and sandstone (Sd) in Pyeongde-ri. A rectangle indicates sampling site.



Fig. 12. Gravelly sandy mudstone (G) and sandstone (Sd) in Seongup-ri. A rectangle indicates sampling site.

2-1-3. 함력사질이암, 사암, 역암

함력사질이암, 사암, 역암이 분포하는 지역은 대천동, 교래리 등이며 중산간지대에 위치하고 있다. 동부지역에서 역암이 분포하는 곳은 드물게 나타나며 교래리, 성읍리의 주변지역에서 산출되는 경향을 보인다. 이들 암석은 표선리현무암을 피복하고 있으며 하부에서 새끼줄구조가 관찰되기도 한다. 이들 지역에서 관찰되는 역암은 원마도가 양호한 것들과 아각력의 형태를 띠는 것들이 나타나며 이들은 대부분 현무암질에 해당하며 조면암질은 관찰되지 않는다.

교래리(E09)는 마을 천미천에 위치하고 있으며 두께는 약 2m 정도이고 남북방향으로 연장되고 있다. 암석은 함력사질이암과 사암 그리고 역암으로 이루어져 있으며 이암의 색은 적색과 흑갈색을 띠고 있다. 상부의 역암은 각력암이며 분급이 불량하고 하부의 함력사질이암은 층리가 발달하지 않고 현무암질 각력을 포함하고 있다(Fig. 13).

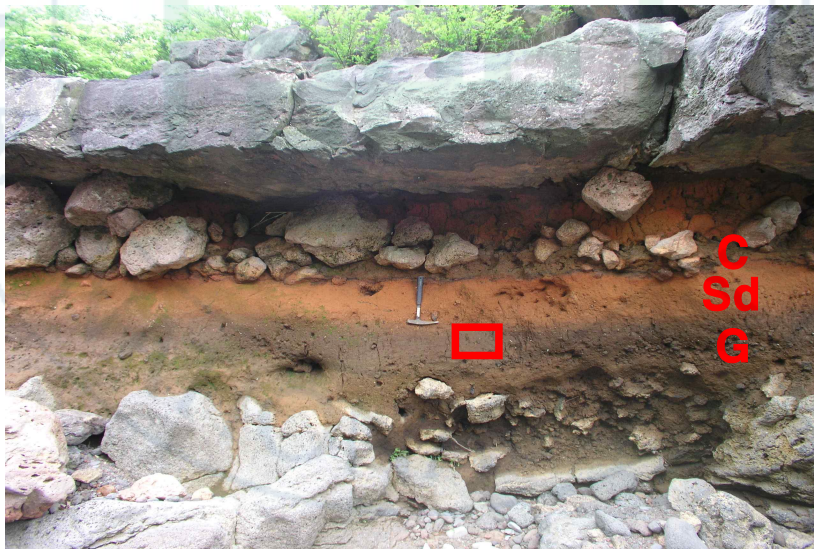


Fig. 13. Gravelly sandy mudstone (G), sandstone (Sd) and conglomerate (C) in Kyore-ri. A rectangle indicates sampling site.

2-2. 중부지역의 분포 및 암상

중부지역은 표선리현무암군이 분포하지 않은 한라산체의 남북지역을 말한다(Fig. 14). 제주시 일도동에서 서귀포시 위미리를 잇는 경계선의 서쪽지역과 애월읍에서 화순리를 잇는 경계선의 동쪽지역을 말한다. 지표지질은 하위로부터 상위의 순서로 서귀포층, 탐라층, 현무암질 암맥복합체, 한라산현무암군, 백록담조면암군으로 구분되며 분석구오름과 응회구오름이 분포하고 있다. 중부지역의 탐라층은 두께가 한라산에서는 수 백 미터에 달하며 해안지대에서는 수 십 미터에 달한다. 이곳에서는 역암이 많이 분포하고 있는 특징을 보이며 서귀포시 지역에서는 서귀포층과 부정합을 이루고 있다.

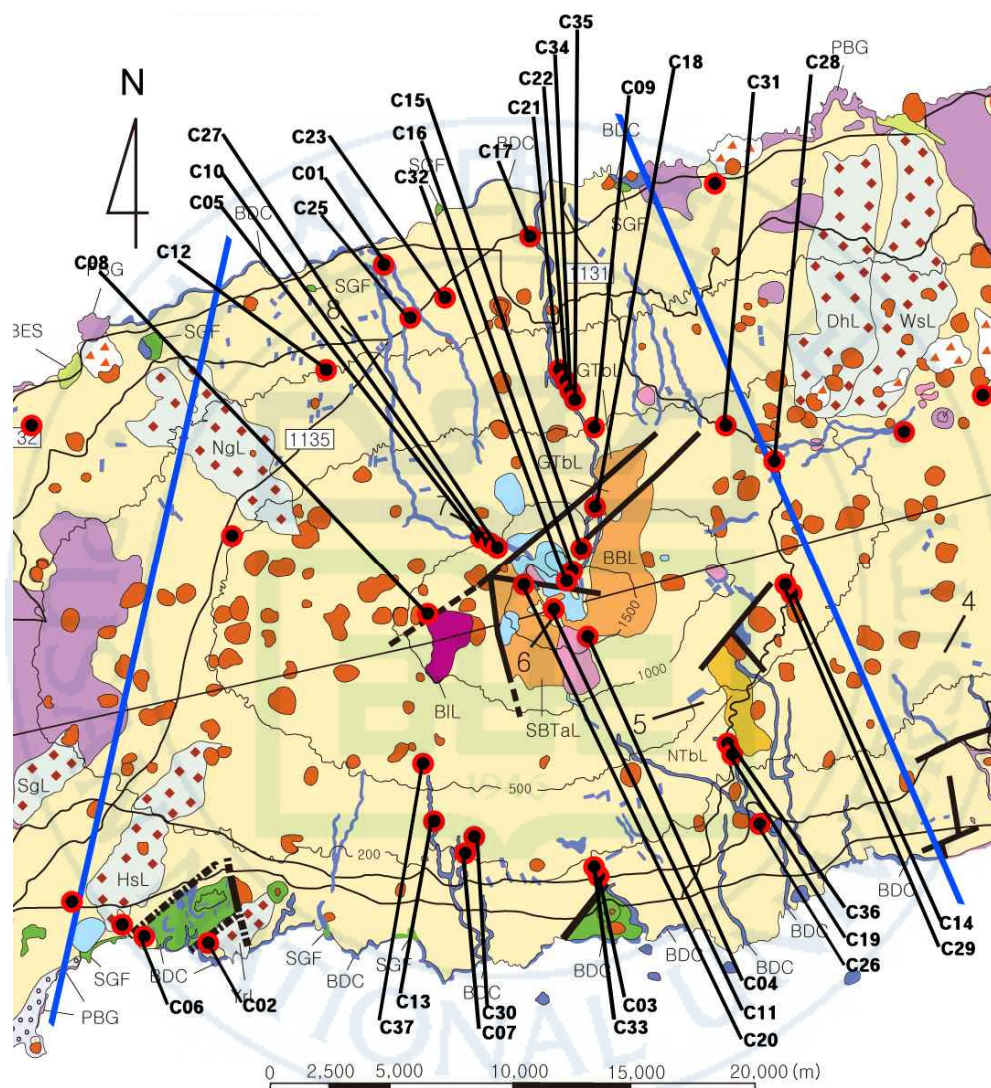


Fig. 14. Sampling sites in the central area.

2-2-1. 함력사질이암

중부지역의 함력사질이암은 노형동, 향파두리, 개미목 등 일부지역에 분포하고 있으며 현무암질 암맥복합체가 관입하고 있다. 함력사질이암은 지역에 따라서 두께가 서로 다르게 나타나며 해안지대에서 한라산체로 갈수록 두께가 두꺼워지는 경향을 보인다. 특히 한라산 탐라계곡에서는 암석의 두께가 수 백 미터에 달하며 정상에 이를수록 두께가 얇아진다. 이들 함력사질이암에 협재된 역들은 주로 현무암질과 조면암질이고 크기가 수 cm에서 수 십 cm 이다. 또한 역들은 각력의 형태가 많은 편이며 가끔씩 아각력과 원력도 관찰된다. 이들 암석들은 층리는 조잡한 편이며 분급은 불량하고 색은 갈색, 흑색을 띠고 있다.

노형동(C23) 노두는 해안지대의 마을 농경지에 위치하고 있으며 두께는 약 2m 정도이고 남북방향으로 연장되고 있다. 색은 적갈색과 갈색을 띠고 있으며 분급은 불량하며 층리가 조잡하게 발달하고 있다. 이곳에서는 세력 또는 소력의 석영의 역들이 분포하며 원마도가 양호한 것들과 아각력을 띠는 것들이 관찰되고 현무암질 세력들도 함께 산재하고 있다. (Fig. 15).

개미목(C18) 노두는 한라산 해발 1600m에 위치하고 있으며 두께는 약 20m 정도이고 남북방향으로 연장되고 있다. 노두의 동측에는 관음사 조면현무암이 탐라층을 피복하고 있으며 남북으로 분포하고 있다. 노두는 용진각의 북측계곡에 발달하고 있으며 층리는 불량한 편이고 색은 갈색을 띠고 있다. 협재된 역들의 크기는 수 mm에서 수 십 cm에 이르며 현무암질이다(Fig. 16).

향파두리((C12)노두는 애월읍 고성리 향파두리 계곡에 위치하고 있으며 두께는 약 2m 정도이고 남북방향으로 연장되고 있다. 노두의 주변에 위치한 하천의 양안에서 조면현무암질 암맥들을 관찰할 수 있다. 이곳의 암석은 층리는 불량한 편이며 색은 갈색과 적갈색을 띠고 있다. 암석에 협재된 역들의 크기는 수 mm에서 수 cm에 이르며 현무암질의 역들이다.



Fig. 15. Gravelly sandy mudstone (G) in Nohyoung-dong. A rectangle indicates sampling site.

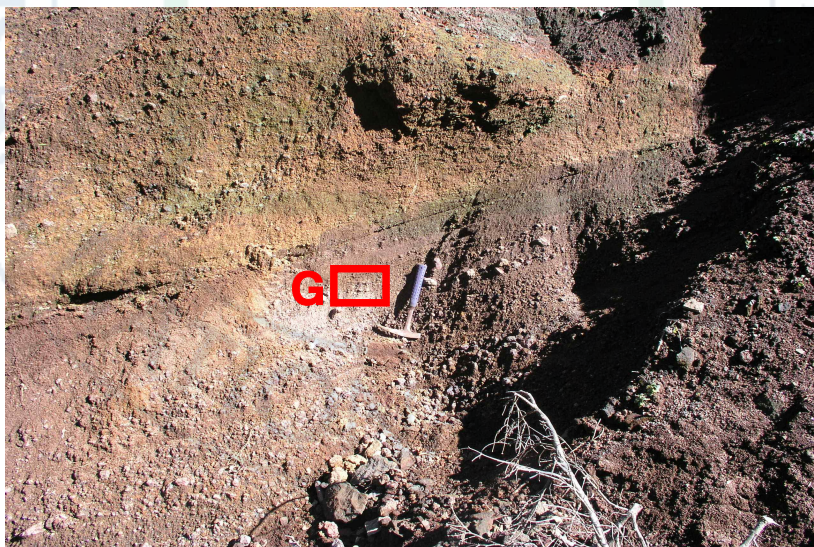


Fig. 16. Gravelly sandy mudstone (G) in Gemimok. A rectangle indicates sampling site.

2-2-2. 함력사질이암, 사암

함력사질이암과 사암이 분포하는 지역은 대평리, 도순리, 하원동, 1100고지, 동수교, 다래오름, 용진각 등이며 해안지대와 중산간지대 그리고 한라산 지대에 위치하고 있다. 사암은 화산쇄설물과 분석구에서 재이동된 스코리아 물질이다. 사암의 색은 적색 또는 검은색을 띤다. 층리는 잘 발달한 편이며 함력사질이암의 상부에 분포하는 특징을 나타낸다.

사제비동산(C05)은 한라산 해발 1400 m 사제비동산 서측에 위치하고 있으며 두께는 약 5m정도이며 남북으로 연장된다. 이곳의 암석은 선작지와 현무암질조면안산암 용암이 상부에 피복하고 있으며 현무암질 암맥도 분포하고 있다. 이곳의 암석은 함력사질이암과 사암으로 구성되며 두께가 약 3 m 정도이다. 사암은 분석구에서 재이동된 물질들이며 현무암질 역들을 포함하고 있다. 함력사질이암은 사암의 하부에 위치하고 있으며 색은 적색과 흑갈색을 띠고 있으며 층리는 발달한 편이다(Fig. 17).

용진각(C16)은 한라산 정상 백록담 하부인 해발 1700 m에 위치하고 있으며 두께는 약 11m 정도이며 남북으로 연장된다. 노두의 주변에는 백록담조면암군이 분포하고 있으며 깊은 협곡의 모습을 띠고 있다. 이곳의 암석은 함력사질이암과 사암으로 구성된다. 층리가 매우 발달한 편이며 색은 적색과 갈색을 띠고 있다.

한천 4(C35)는 탐라계곡 해발고도 약 400 m에 위치하고 있으며 두께는 약 3미터 정도이고 하천을 따라 남북으로 200 m정도 연장된다. 관음사조면현무암이 상부에서 피복하고 있다. 이곳의 암석은 함력사질이암과 사암으로 구성되며 하부에는 함력사질이암과 상부에는 사암이 분포하고 있다. 상부의 사암은 원마도가 양호한 역들을 포함하며 층리가 발달하고 있다. 하부의 함력사질이암은 두께가 1 m 정도이며 층리가 불량하고 색은 갈색을 띠고 있다(Fig. 18).



Fig. 17. Gravelly sandy mudstone (G) and sandstone (Sd) in Sajebidongsan. A rectangle indicates sampling site.

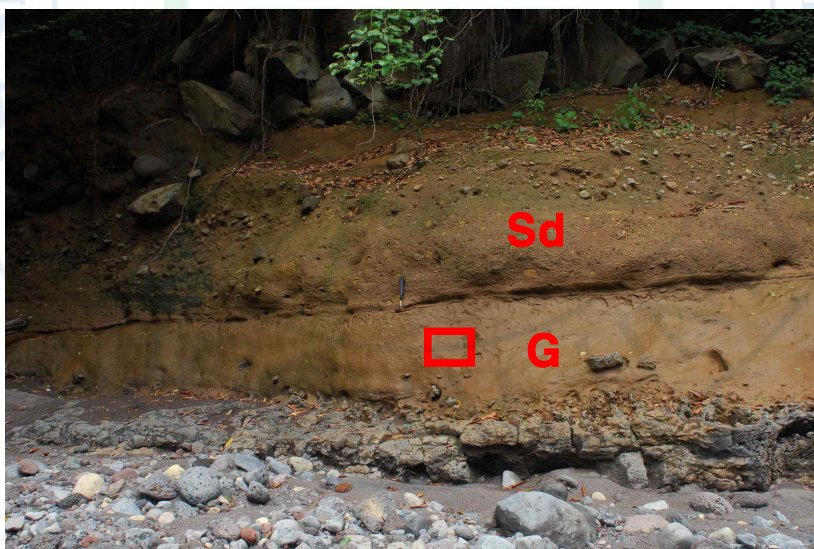


Fig. 18. Gravelly sandy mudstone (G) and sandstone (Sd) in Hancheon 4. A rectangle indicates sampling site.

2-2-3. 함력사질이암, 사암, 역암

함력사질이암, 사암, 역암이 분포하는 지역은 외도동, 어시천, 서흥동, 대포동, 사제비동산, 선돌 등이며 주로 하천지대에 위치하고 있다. 역암은 원마도가 양호한 것들과 아각력의 형태를 띠는 것들이 나타나며 이들은 현무암질과 조면암질에 해당한다.

어시천(C01)은 외도동해안에서 약2킬로미터 떨어진 어시천에 위치하고 있으며 두께는 약 5 m 정도이고 하천을 따라 남북으로 100 m 정도 연장된다. 암석은 역암, 사암, 함력사질이암으로 구성되며 상부에는 약 4 m 두께의 원마도가 양호한 중력~대력 역암이 분포하고 하부에는 사암과 함력사질이암이 분포하고 있다. 사암은 두께가 수 cm 이며 적색을 띠고 있고 층리가 발달한 편이다. 함력이질사암은 두께가 70 cm 정도이며 층리는 조잡한 편이고 색은 갈색과 암회색을 띠고 있다(Fig. 19).

서흥동(C03)은 서흥동 연외천에 위치하고 있으며 하천의 양안에 발달해 있고 하천을 따라 남북으로 50 m 정도 연장된다. 암석은 역암, 사암, 함력사질이암으로 구성되며 두께는 약 4 m 정도다. 함력사질이암은 적색 또는 갈색을 띠며 층리는 발달하고 있고 두께는 수 cm 정도이다(Fig. 20).

어리목2(C10)는 외도천 해발고도 약 900 m에 위치하고 있으며 하천을 따라 동서로 200 m 정도 연장된다. 암석은 역암, 사암, 함력사질이암으로 구성되며 두께는 약 10 m 정도이다. 상부에는 약 6 m 두께의 원마도가 양호한 중력~대력 역암이 분포하고 하부에는 두께 약 10 cm의 층리가 발달한 갈색을 띠는 이암과 적색을 띠는 사암이 분포한다(Fig. 21).

선돌(C19)은 해발고도 약 300 m의 선돌계곡의 남서교에 위치고 있으며 하천을 따라 동서로 50 m 정도 연장된다. 암석은 역암, 사암, 함력사질이암으로 구성되었으며 두께는 약 6 m 정도이고 상부에는 약 4 m 두께의 원마도가 양호한 중력~대력 역암이 분포한다. 하부에는 두께 약 10 cm의 층리가 발달한 갈색을 띠는 이암과 적갈색을 띠는 사암이 분포한다(Fig. 22).

물장울(C28)은 해발고도 약 700 m에 위치한 천미천에 위치하고 있으며 두께는 약 5 m 정도이고 하천을 따라 남북으로 50 m 정도 연장된다. 암석은 역암, 사암, 함력사질이암으로 구성되며 상부에는 원마도가 불량한 역암이

분포하며 하부에는 함력사질이암과 사암으로 구성된다. 하부의 이암은 갈색을 띠고 있고 두께가 1 m 정도이며 층리가 발달하지 않고 현무암질 각력을 포함하고 있다(Fig. 23).

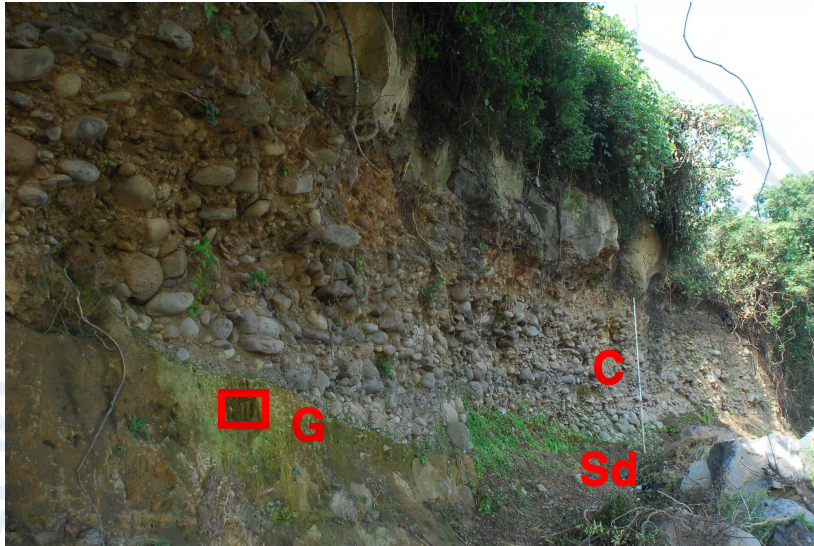


Fig. 19. Gravelly sandy mudstone (G), sandstone (Sd) and conglomerate (C) in Eosichen. A rectangle indicates sampling site.

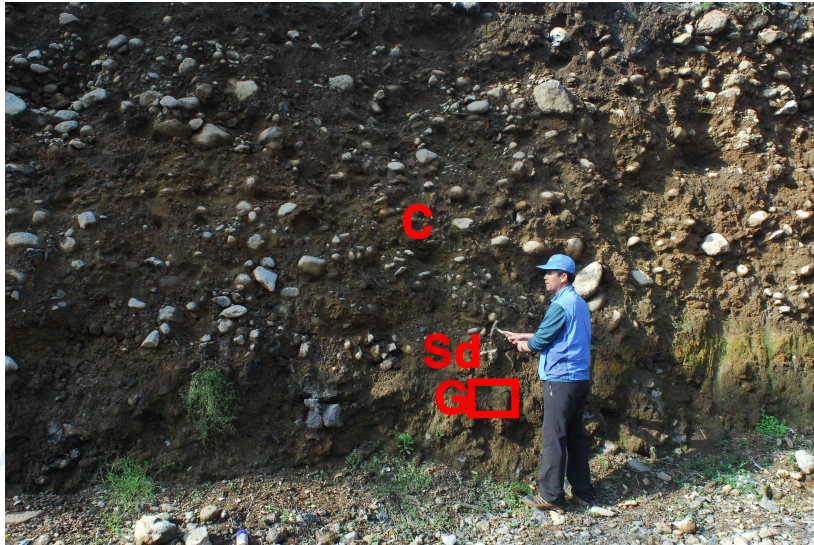


Fig. 20. Gravelly sandy mudstone (G), sandstone (Sd) and conglomerate (C) in Seohong-dong. A rectangle indicates sampling site.

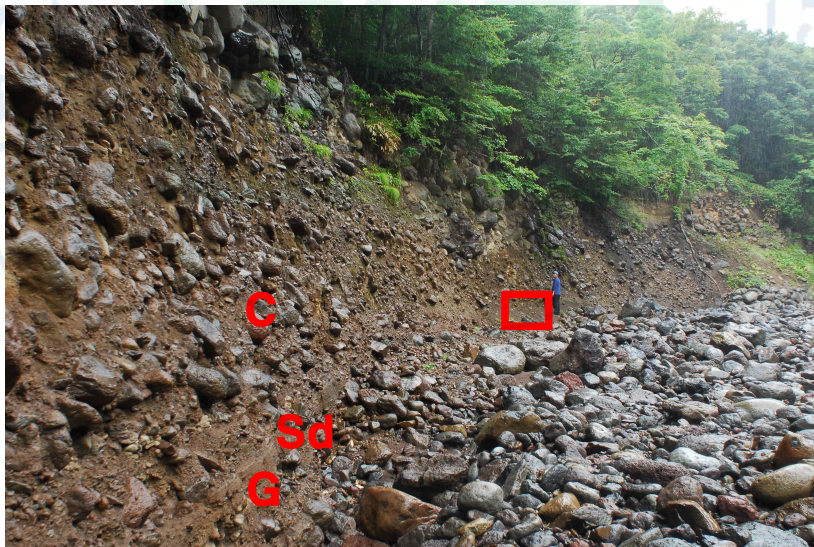


Fig. 21. Gravelly sandy mudstone (G), sandstone (Sd) and conglomerate (C) in Eorimok 2. A rectangle indicates sampling site.

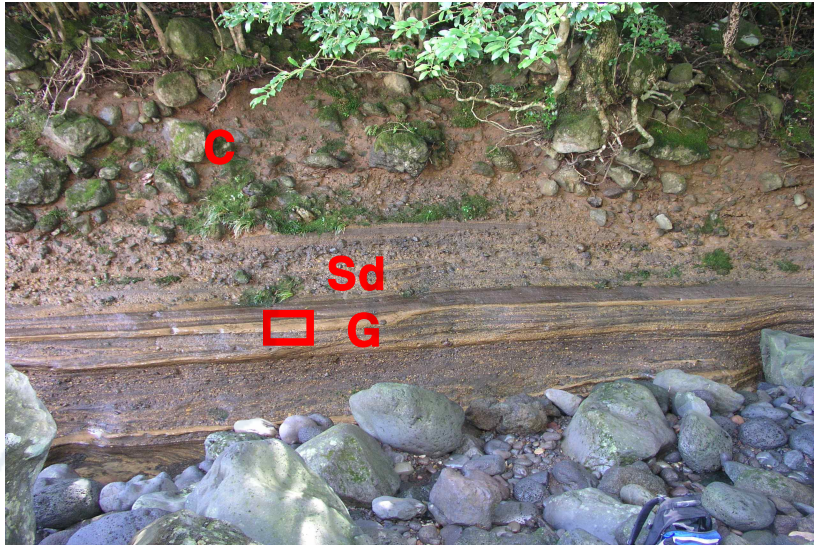


Fig. 22. Gravelly sandy mudstone (G), sandstone (Sd) and conglomerate (C) in Seondol 1. A rectangle indicates sampling site.



Fig. 23. Gravelly sandy mudstone (G), sandstone (Sd) and conglomerate (C) in Muljangol-oreum. A rectangle indicates sampling site.

2-3. 서부지역의 분포 및 암상

서부지역은 표선리현무암군이 분포하고 있는 제주시 애월읍에서 서귀포시 화순리를 잇는 경계선의 서쪽지역을 말한다(Fig. 24). 지표지질은 하위로부터 상위의 순서로 서귀포층, 표선리현무암군, 탐라층, 신양리층, 고해빈내만사층으로 구분되며 분석구오름과 응회구오름이 분포하고 있다. 서부지역의 탐라층은 두께가 비교적 얇은 편이며 주로 함력사질이암이 분포하고 있다. 역암은 거의 없는 편이며 분석구의 영향을 받지 않은 지역으로 완만한 경사를 이루고 있다. 이지역의 탐라층은 대부분 농경지로 이용되고 있으며 표선리현무암군을 얇게 피복하고 있다.

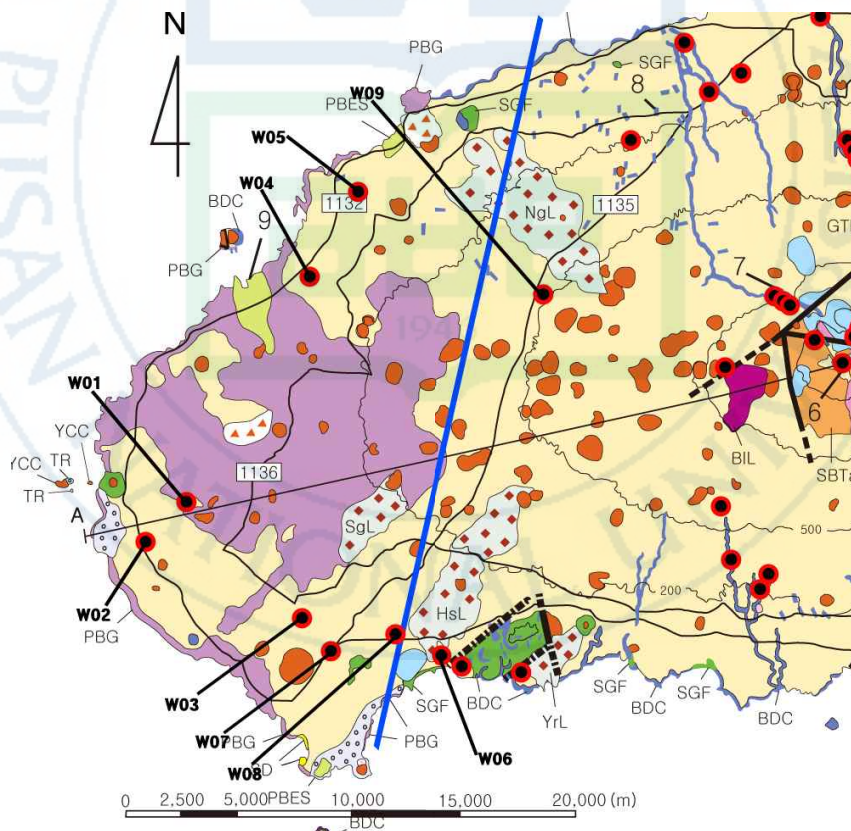


Fig. 24. Sampling sites in the western area.

2-3-1. 함력사질이암

한원리(W01)은 해안지대에 해당하는 한원리 농경지에 위치하고 있으며 두께는 약 70 cm 정도이며 남북으로 연장되고 있다(Fig 25). 함력사질이암으로 구성되며 적갈색을 띠고 있고 층리는 발달하지 않는다. 현무암질 역들을 포함하고 있으며 하부에 놓인 표선리현무암의 새끼줄구조가 관찰된다. 특히 한원리 지역의 탐라층은 표선리현무암을 얇게 피복하고 있으며 지형에 따라 두께가 달라지는 모습이 관찰되며 하부의 표선리현무암군의 원지형이 남아있어서 표선리현무암군의 풍화는 진행되지 않은 것으로 판단된다.



Fig. 25. Gravelly sandy mudstone (G) and sandstone (Sd) in Hanwon. A rectangle indicates sampling site.

2-3-2. 함력사질이암, 사암

산심봉(W09)은 유수암리 해발 300 m 중산간지대에 위치하고 있으며 두께는 약 2 m 정도이고 동서방향으로 연장되고 있다. 암석은 함력사질이암과 사암으로 구성되며 상부에는 적갈색을 띠며 층리가 발달한 사암이 분포하고 있으며 하부에는 흑색과 흑갈색을 띠는 함력사질이암이 분포하고 있다. 함력사질이암은 약 1 m 정도의 두께를 갖고 있으며 층리가 발달하지 않고 현무암질 역들을 포함하고 있다.

고산리(W02)는 고산리 해안 지대에 위치하고 있으며 두께는 약 5 m 정도이며 남북으로 연장된다. 구성암석은 함력사질이암과 사암으로 구성되며 이질암에 협재된 역들은 수십 cm에 달하는 것도 관찰되며 이들은 현무암질 역들이다(Fig. 26).

신평리(W03)는 해안지대에 해당하는 신평리 마을 농경지에 위치하고 있으며 두께는 약 3 m 정도이고 남북으로 연장된다. 암석은 함력사질이암과 사암으로 구성되고 층리는 조잡한 편이다. 사암은 갈색을 띠고 있으며 이암은 갈색과 암청색을 띠고 있다.

용수리(W10)는 해안지대에 해당하는 용수리 마을 농경지에 위치하고 있으며 두께는 약 2 m 정도이고 동서방향으로 연장되고 있다. 구성암석은 함력사질이암과 사암이며 상부는 적갈색을 띠며 층리가 발달한 사암이 분포하고 하부에는 갈색을 띠는 이암이 분포하고 있으며 현무암질 역들을 포함하고 있다(Fig. 27).



Fig. 26. Gravelly sandy mudstone (G) and sandstone (Sd) in Kosan-ri. A rectangle indicates sampling site.

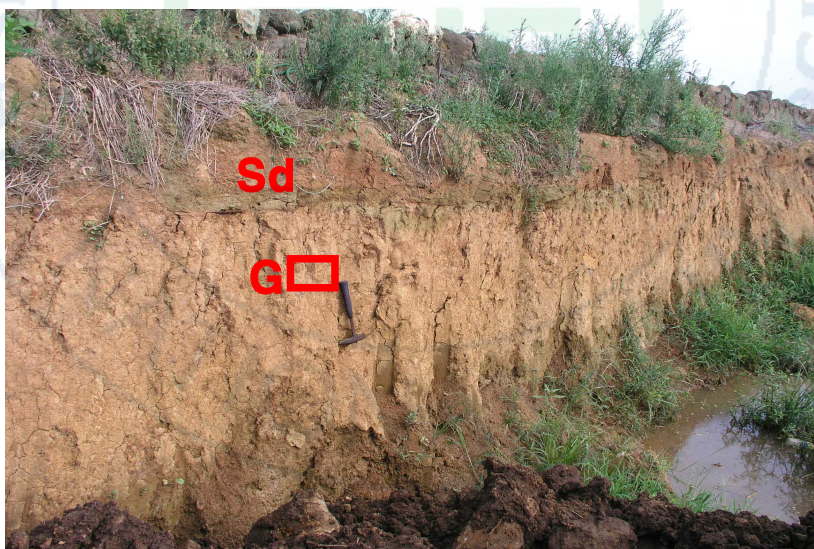


Fig. 27. Gravelly sandy mudstone (G) and sandstone (Sd) in Yongsu-ri. A rectangle indicates sampling site.

IV. 탐라층 이질암의 구성광물

1. 시료채취 및 분석방법

제주도에 분포하는 탐라층의 이질암에서 많은 시료를 중점적으로 채취하였으며, 광물성분의 비교를 위하여 이질암과 인접하는 지역에 분포하는 현무암, 조면암, 화산쇄설성 퇴적물 등도 같이 채취하였다. 채취된 시료에 대해서 우선적으로 육안 관찰을 실시하였으며, 시료에 포함된 세력 또는 소력의 역들은 제주도 화산암의 역들이 아닌 것으로 판단되는 경우에 정확한 감정을 위하여 박편을 제작하여 편광현미경을 관찰하였다.

이질암의 시료는 우선 모두 X-선 회절분석을 실시하여 구성광물의 성분을 분석하였다. 또한 일부 광물의 정확한 식별을 위하여 주사전자현미경(SEM/EDS)의 분석도 실시하였다. SEM 분석은 연구지역에서 산출되는 광물 중에 석영, 10 Å-할로이사이트 등의 특별한 경우를 대상으로 실시하였다.

X-선 회절분석은 Rigaku사제 Geigerflex 2301의 X-선분말회절장치를 사용하였으며, CuK α 선과 Ni-filter에 의한 X-선을 사용하였다. 측정조건은 전압 30 kV, 15 mA, scan speed $2^{\circ} 2\theta / \text{min}$, 시정수 1 sec, slit 1° (diverging slit) ~ 0.3 mm (receiving slit) ~ 1° (scatter slit)로 측정하였다.

점토광물을 포함한 시료에 대해서는 분말시료를 증류수에 분산시켜 원심분리를 이용한 수중침강법에 의해 2 μm 이하의 점토분으로 분리하여 정방위 시편을 제작하였다. 점토광물에 대한 정확한 감정을 실시하기 위하여 정방위 시편에 에틸렌글리콜처리와 가열처리 등을 행하여 점토광물의 팽창 및 수축정도에 대해 X-선 회절분석을 실시하였다.

2. 분석 결과

2-1. 야외조사

연구지역의 노두에서 우선 육안으로 구성광물을 관찰하였다. 노형동과 토산리의 노두에서 세력, 소력의 석영 역들을 확인하였으며 현무암질의 역들과 다르게 잘 구분되었다(Fig. 28). 노두에서 관찰되는 석영의 역들은 백색 또는 회백색을 띠며 크기는 수 mm에서 수 cm에 달하고 원마도는 양호한 것들이 많은 편이며 아각력의 형태를 띠는 것도 포함된다. 주로 1 - 3cm에 해당되는 것들이 주로 눈에 띈다. 그 외의 지역에서 관찰되는 역들은 세력 또는 소력이며 감람석, 휘석, 사장석 등을 주성분으로 하는 현무암질과 정장석을 갖고 있는 조면암질 역들로 이들은 제주도 기원의 화산암류에서 유래한 것으로 판단된다. 또한 화산쇄설물기원의 역들은 적색 혹은 흑색을 띠고 있으며 분석구에서 재 이동된 물질로 육안관찰을 통해 쉽게 구분할 수 있다.



Fig. 28. Gravelly sandy mudstone in Tosan-ri.

2-2. 편광현미경 분석

석영의 역을 포함하는 토산리와 노형동 노두에서 채취된 시료에 대해 크기, 색, 원마도의 형태별로 자세히 관찰하였다. 석영의 역들은 백색, 회백색, 담홍색 등을 띠며 세력에서 소력으로 협재되어 있으며, 원마도는 양호한 것과 아각력의 형태를 띠는 것들로 나타났다. 좀 더 정확한 암석의 감정을 위하여 육안관찰을 통해 석영의 역으로 판단된 역들을 박편을 제작하여 현미경분석을 하였다. 편광현미경에서 관찰되는 입상변정질 조직은 변성암에서 주로 나타나는 특징을 보이는데 시료의 편광현미경 사진에서 확인되었다. 석영의 입자가 거의 등차원적인 조직으로 이루어졌으며 석영 이외의 광물은 나타나지 않아서 시료의 석영 역들은 규암으로 판단되었다(Fig. 29).

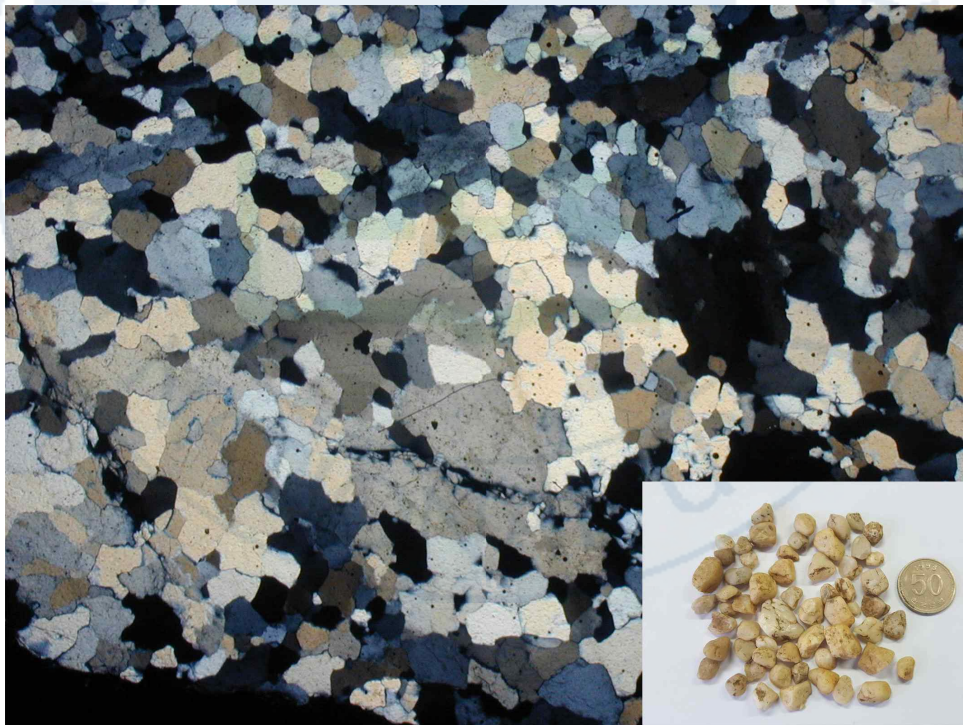


Fig. 29. Photomicrograph of a large quartz grain in the Tamna Formation.

2-3. X-선 회절 분석

X-선 회절분석은 우선 채취한 모든 시료를 건조시킨 후 그대로 분쇄하여 분말로 만든 전암시료에 대해 분석하였다. 그리고 수중침강법으로 2 μm 이하의 점토입자로 분리한 시료에 대해 정방위 시편을 제작하고 X-선 회절분석을 행하여 점토광물을 식별하였다. 이러한 X-선 회절분석의 결과, 탐라층의 이질암에 대한 구성광물의 성분은 Table 2에 나타난 것과 같다. X-선 회절분석의 결과, 탐라층의 이질암에는 석영, 사장석, 칼륨장석, 휘석, 적철석, 자철석, 운모, 감람석, 각섬석, 김사이트(gibbsite), 방해석, 아날심(analcime), 점토광물, 비정질물질 등의 다양한 광물들이 산출되었다. 점토광물을 자세히 분석한 결과, 일라이트(illite), 카올린나이트(kaolinite), 스멕타이트(smectite), 버미큘라이트(vermiculite), 녹니석, 10 Å-할로이사이트(halloysite) 등의 점토광물들이 산출되었다. 이러한 주요 구성광물에 대해 광물종류별과 대표적 산출지역별로 아래에 설명한다.

Table 2. Mineral compositions of the mudstone in the Tamna Formation.

Sample No.	Locality	mineral					clay mineral					others
		Qz	Fd	Py	Ma	He	Il	Sm	Ka	Ve	Ch	
E01	Dongbok-ri	++	+				++	+				
E02	Tosan-ri	++++					++		+++			
E03	Kyore-ri	+++	+	+			+					
E04	Hwabuk-dong		+++		+		++					
E05	Handong-ri	+			+	+						
E06	Songdang-ri		+	++	++							Fo
E07	Decheon-dong	+	++++	+	+				+			
E08	Gimnyeong-ri	++++	+		+		++		++	+	+	
E09	Pyeongde-ri	+++	+		+	+	++		++		+	
E10	Seongup-ri	++	++		+					+		
C01	Eosichen-river	+	+++				++		+	+		
C02	Depyoeng-ri	+	+									
C03	Seohong-dong1	+					++++					
C04	Bekrokdam		++				+	++				Am
C05	Sajebidongsan	+	++				+++					
C06	Daepo-dong	++	+				+	+	+			
C07	Dosun-ri	++							++		++	
C08	1100goji	+	+			+						

Keys: Qz: quartz, Fd: feldspar, Il: illite, Sm: smectite, Ka: kaolinite, Ha: halloysite, Ve: vermiculite, Ch: chlorite, Pl: Plagioclase, Mi: Mica, Am: Amphibole, He: Hematite, Al: Alunite, Ca: Calcite, Ma: Magnetite, Gi: Gibbsite, Ze: zeolite, Cr: Cristobalite, Si: Siderite, Fo: Forsterite, Py: pyroxene

Table 2. Continued

Sample No.	Locality	mineral					clay mineral					others
		Qz	Fd	Py	Ma	He	Il	Sm	Ka	Ve	Ch	
C09	Tamragegok-valley	+++	+						+	++		
C10	Eorimok2	++	+				+		+	+		
C11	Bulgeun-oreum		++			+						Al, Ca
C12	Hangpaduri	++++	+			+	+		++		++	
C13	Hawon	++	+				+		++		+	
C14	Dongsugyo1	++	+						+			Gi
C15	Yonggingak1-sand		+									
C16	Yonggingak2-mud		++++									
C17	Ora-dong		+									
C18	Gemimok	+	+		+				++		++	
C19	Seondoll	+	+			+	+++		+		+	Gi, Ha
C20	Witseoreum	+	++		+							Gi
C21	Hanchen-river1	+	+		+		+					Gi
C22	Hanchen-river2	+	++									
C23	Nohyeong-dong	+++++	+				++		++		++	
C25	Dopyoung		++		+	+	++		+			
C26	Hakrim-dong		++	++	+							
C28	Muljangol-oreum	++	+++				+		+			

Keys: Qz: quartz, Fd: feldspar, Il: illite, Sm: smectite, Ka: kaolinite, Ha: halloysite, Ve: vermiculite, Ch: chlorite, Pl: Plagioclase, Mi: Mica, Am: Amphibole, He: Hematite, Al: Alunite, Ca: Calcite, Ma: Magnetite, Gi: Gibbsite, Ze: zeolite, Cr: Cristobalite, Si: Siderite, Fo: Forsterite, Py: pyroxene

Table 2. Continued

Sample No.	Locality	mineral					clay mineral					others
		Qz	Fd	Py	Ma	He	Il	Sm	Ka	Ve	Ch	
C29	Dongsugyo2	+		+	+	+						
C30	Dosundawon	++						+	++		+	Gi
C31	Keumsanmokjang	+	+		+							Gi
C32	Yongjingak3		+									
C33	Seohong-dong2	+	+	+	+							Ha
C34	Hancheon-river3	+++	+				++					
C35	Hancheon-river4	++	+				++		+		+	
C36	Seondol2	++	+		+							
C37	Dare-oreum		+++		+	+						
W01	Hanwon	++	+				+	+	++	+		
W02	Kosan-ri	+++	++				++		++	+++		
W03	Sinpyoung-ri	+++	+				+	+++	++			
W04	Myoungwol-ri	+++	+				+		++		++	
W05	Sangde-ri	+++							+		+	
W06	Hwasun-ri	+		+		+		++++	+			Ca, Ze, Cr, Si, Fo
W07	Hamo-ri	++++	+				++		++	++		
W08	Deoksu-ri	+++	+				++		++		++	
W09	Sansimbong-oreum	+++	+				++	+	+		+	

Keys: Qz: quartz, Fd: feldspar, Il: illite, Sm: smectite, Ka: kaolinite, Ha: halloysite, Ve: vermiculite, Ch: chlorite, Pl: Plagioclase, Mi: Mica, Am: Amphibole, He: Hematite, Al: Alunite, Ca: Calcite, Ma: Magnetite, Gi: Gibbsite, Ze: zeolite, Cr: Cristobalite, Si: Siderite, Fo: Forsterite, Py: pyroxene

2-3-1. 석영

일부 시료를 제외하고는 대부분의 시료에서 석영이 두루 산출되었다. 시료에 따라 함량의 차이가 다양하게 나타났으나, 다른 광물에 비하여 비교적 많이 포함되고 있다. 이들 석영의 산출지점을 Fig. 30에 도시하여 나타냈다. 육안적으로 판별될 정도로 큰 석영들은 주로 중부지역에 분포하고 있다. 그리고 X-선회절분석에서 확인된 석영의 산출지점은 모든 지역에서 고루 분포한다. 그리고 고도별로는 해안지대에서 우세하게 중산간지대에서 보통으로 그리고 한라산체에서 소량 정도로 산출되는 특징을 나타냈다. 동부지역의 김녕리와 토산리, 중부지역의 노형동, 서부지역의 신평리와 고산리 등에서 우세하게 산출되었으며 중부지역의 한라산체에서도 한천-4와 탐라계곡에서는 보통의 정도로 산출되었으며 중산간지대와 중부지역의 남부지역에서 소량으로 나타났다. 석영이 포함되지 않는 시료들은 제주도의 중부지역에 주로 분포하며, 특히 중앙부인 한라산 지역에도 나타난다. 이처럼 석영이 포함되지 않는 시료에는 대신에 사장석이 많이 함유되든지 아니면 비정질이 많은 경우가 주를 이룬다. 이러한 점으로 볼 때 현무암질이나 유리질의 화산성물질이 많이 포함되었기 때문으로 생각된다. 예를 들어 분석구와 응회구에서 재이동된 화산쇄설물로 이루어진 탐라층의 이질암에서는 석영이 산출되지 않았고 반면에 장석과 비정질물질이 매우 우세하게 산출되었다.

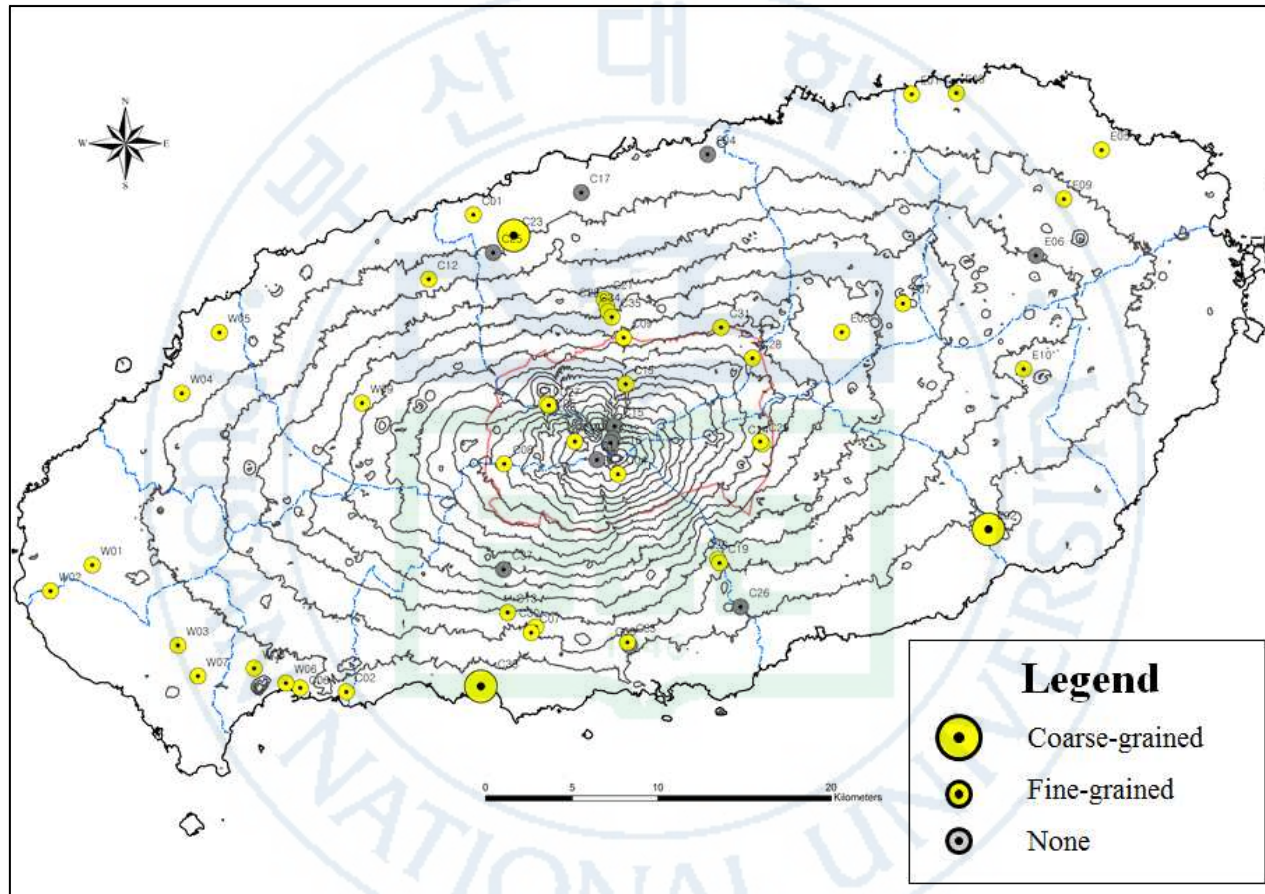


Fig. 30. Distribution map of quartz in the Tamna Formation.

2-3-2. 장석

장석은 연구지역의 거의 대부분 지역에서 산출되었으며 중부지역에서 우세하게 나타났으며 동부지역에서 보통으로 나타났고 서부지역에서 소량으로 나타났다. 고도별로는 해안지대에서 소량으로 나타났으며 중산간지대와 한라산체에서 우세하게 나타났고, 그리고 한라산체에서 소량 정도로 산출되는 특징을 나타냈다. 장석은 분석구가 밀집되어 있는 지역에서 우세하게 나타나는 경향을 보였으며 분석구가 분포하지 않은 서부지역에서는 소량으로 나타났다. 해안지대와 중산간지대에서는 사장석이 주를 이루었으며 조면암이 분포하고 있는 한라산에서는 칼륨장석이 산출되기도 하였다. 거의 모든 시료에서 장석으로 사장석과 칼륨장석이 혼합되어 나타났다. 대부분의 시료에서 사장석이 칼륨장석 보다 다소 많이 나타나는 경향을 보였다.

2-3-3. 휘석, 감람석, 각섬석

휘석은 동부와 중부의 일부 시료에 포함되어 나타났다. 감람석은 동부의 송당리 시료와 서부의 화선리 시료의 두 곳에서 소량 포함되어 나타났다. 각섬석은 중부의 백록담 시료에서 소량 포함되며, 이 시료에는 석영은 포함되지 않았다. 염기성 화산암류에 많이 포함되는 휘석, 감람석, 각섬석 등이 적은 이유는 이들 광물들이 비교적 풍화작용에 약한 광물이기 때문에 침식과 풍화작용을 받아 퇴적된 이질암에서 많이 함유되기 어려웠을 것으로 생각된다.

2-3-4. 산화철광물

산화철광물로는 적철석과 자철석이 주로 나타났다. 이들 광물들은 동부지역과 서부지역의 여러 시료에서 함유되어 나타났다. 그러나 서부지역 시료에서는 잘 나타나지 않았다.

2-3-5. 아날심

서부지역 해안지대에 위치한 화순리(W06)에서 불석(zeolite) 광물에 속하는 아날심이 산출되었다. 이 시료에는 장석이 거의 포함되지 않으며, 팽윤성 점토광물인 스멕타이트가 다량 포함되어 있다. 또한 이 시료에는 소량의 휘석, 감람석, 방해석, 시드라이트 등의 여러 광물들이 포함되어 있다. 이것으로 보아 속성작용과 함께 열수변질작용도 관여한 것으로 생각된다. 이곳 화순리의 서측에는 조면암으로 이루어진 산방산이 분포하고 있으며 산방산의 화산분출 시 형성된 화산재가 주변에 퇴적 후 열수와의 반응을 통해 변질되어 형성된 것으로 해석된다.

2-3-6. 기타 광물

이상에서 설명한 광물 이외에도 깁사이트, 명반석, 방해석, 시드라이트 등의 광물들도 일부 시료에서 소량 포함되어 있다. 깁사이트는 풍화작용이나 열수작용, 명반석은 열수작용, 방해석과 시드라이트는 속성작용이나 열수작용에 의해 형성될 수 있는 것으로 사료된다. 깁사이트와 명반석은 중부지역에서만 나타났다.

2-3-7. 점토광물

점토광물의 식별은 2 μm 이하의 점토입자로 분리한 시료에 대해 정방위 시편을 제작하여 X-선 회절분석을 행하였다. 이러한 X-선 회절분석은 무처리와 함께, 에틸렌글리콜(ethylene glycol) 처리, 550°C의 가열처리를 행한 후에 분석하여 그 결과를 검토하였다. 이러한 분석 결과, 점토광물로는 일라이트, 카올리나이트, 스멕타이트, 버미큘라이트, 녹니석, 10 Å-할로이사이트 등이 산출되는 것이 확인되었다.

이들 점토광물이 산출하는 시료의 지점별로 보면, 일라이트 28개 지점, 카올린나이트 28개 지점, 녹니석 14개 지점, 스멕타이트 8개 지점, 버미큘라이트 8개 지점, 10 Å-할로이사이트 2개 지점으로 나타났다(Fig. 31). 여기서 보듯이 일라이트와 카올린나이트가 가장 흔하게 나타났다. 반면에 드물게 10 Å-할로이사이트는 특징적으로 산출되었다. 이 광물에 대해서는 전자현미경 관찰을 포함하여 자세한 내용을 후술한다.

각 점토광물에 대하여 X-선 회절 특성과 산출상태 등에 대해 아래에 설명한다.

일라이트

일라이트는 10 Å의 회절선을 나타내며, 에틸렌글리콜 처리와 550°C의 1시간 가열처리에서도 거의 변화를 보이지 않는다. 일라이트는 연구지역의 28개 지점에서 산출되었으며 중부지역의 서흥동과 용진각, 선돌 등에서 우세하게 나타났고 동부지역의 김녕리, 교래리 그리고 서부지역의 덕수리, 산심봉 등에서 보통으로 나타났다. 일라이트는 중부지역의 한라산체에서 우세하게 나타났으며 동부와 서부지역은 보통정도인 특징을 보였다. 일라이트는 열수변질과 풍화작용으로 형성될 수 있는 것으로 흔히 산출하는 점토광물이다.

카올린나이트

카올린나이트는 7 Å의 회절선을 나타내며 에틸렌글리콜 처리시 거의 변화를 보이지 않는다. 550°C로 가열하면 탈수작용에 의한 결정구조의 파괴로

결정도가 아주 낮은 상태로 되며 온도가 높아짐에 따라 비정질이 되어 회절이 사라지는 특징을 갖고 있다. 카올린나이트는 연구지역의 28개 지점에서 산출되었으며 동부지역의 토산리에서 다소 우세하게 나타났고, 서부지역의 고산리, 신평리, 명월리, 하모리 지역 등에서 보통정도이고, 중부지역의 어리목, 탐라계곡, 한천-4 등에서 소량으로 나타났다. 동부와 서부지역은 우세와 보통이며 중부지역의 한라산체는 소량으로 나타나는 특징을 보였다.

녹니석

녹니석은 14\AA 의 회절선을 나타내고, 에칠렌글리콜 처리에 변화가 없으며, 550°C 로 가열하면 수산화물층의 탈수산화작용이 일어나서 회절형태의 약간의 변화를 가져올 수 있다. 연구지역의 14개 지점에서 산출되었으며, 중부지역의 노형동, 향파두리, 서부지역의 덕수리, 명월리 등에서 보통정도로 나타났으며 나머지 지역에서는 소량으로 나타났다. 녹니석은 석영이 우세하거나 보통인 지역에서 산출되는 특징을 보였다.

버미큘라이트

버미큘라이트는 14\AA 의 회절선을 나타내는 광물 중에 하나이며, 무처리와 에칠렌글리콜 처리시 거의 변화를 보이지 않는다. 550°C 의 1시간 가열처리에서는 14\AA 회절선이 조금 수축하여 $10\text{\AA}\sim 12\text{\AA}$ 의 회절선을 나타낸다. 버미큘라이트는 연구지역의 8개 지점에서 산출되었으며, 서부지역의 고산리에서 우세하게 나타났으며, 하모리, 중부지역의 탐라계곡 등에서 보통으로 나타났다. 버미큘라이트는 내륙의 풍화토에 주로 나타나는 것과 같이 암석의 풍화작용에 의해 주로 형성된다.

스멕타이트

스멕타이트는 주로 15\AA 의 저면간격을 갖고 있으며 무처리에서 15\AA 의 회절선을 나타내고, 에칠렌글리콜 처리시 약 17\AA 으로 이동하며, 550°C 로 가열처리에서 10\AA 으로 수축한다. 스멕타이트는 연구지역의 8개 지점에서 산출되었으며 서부지역의 화순리에서 다소 우세하였고, 중부 및 동부지역에서도

일부 산출하였다. 스펙타이트는 알칼리성이 높은 환경의 열수변질작용이나 풍화작용으로 생성될 수 있다.

10Å-할로이사이트

10Å-할로이사이트는 무처리에 10Å의 회절선을 나타내고, 에칠렌글리콜 처리시 11Å으로 약간 이동하였고, 550℃로 가열처리에서 회절선이 소멸되었다. 할로이사이트는 카올린군 광물로서 결정구조 및 화학식은 카올린나이트와 유사하나 층간에 물 분자가 존재하는 것이 다르다. 화학식은 $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 이다.

10Å-할로이사이트는 중부지역의 서흥동시료, 선돌시료, 어리목시료에서 산출되었다. 서흥동의 시료채취 노두는 역암이 주를 이루며, 사암과 이질암이 협재되어 있으며 이질암은 수 cm 정도이다. 암색은 표면에는 흑색을 띠고 있으나 내부는 짙은 갈색 또는 황색을 띠고 있다. 선돌시료 채취노두는 역암, 사암, 이질암으로 구성되며 이질암의 두께는 수 cm이고 색은 갈색을 띠고 있다. 어리목 시료채취노두는 역암이 주를 이루고 사암과 이질암이 협재되어 있으며 이질암의 두께는 수 cm이고 색은 갈색을 띠고 있다.

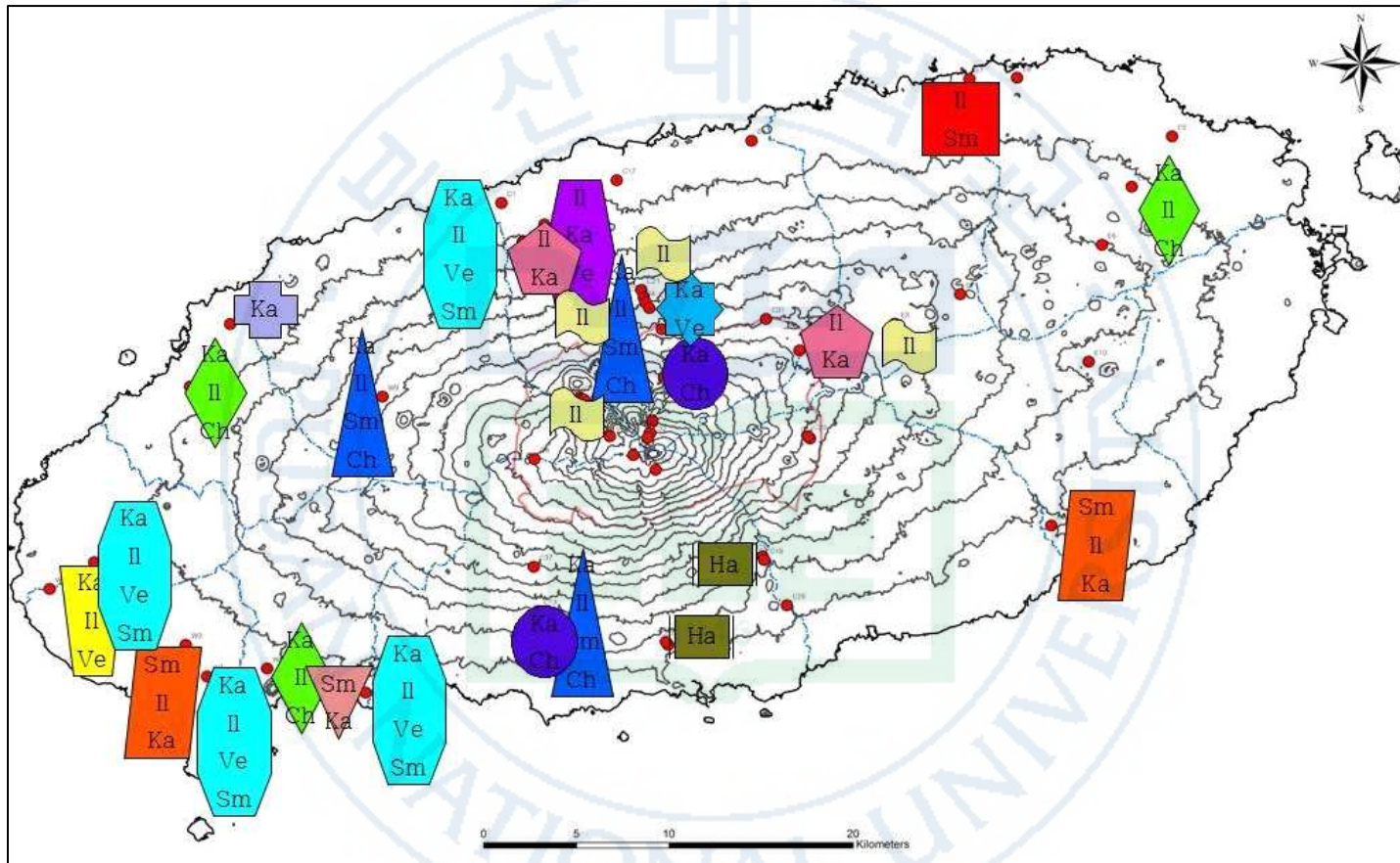


Fig. 31. Distribution map of clay minerals in the Tamma Formation.

2-3-8. 대표적 시료에 대한 광물 분석

토산리 함력사질이암 시료

동부지역의 해안지대에 위치하고 있는 토산리 시료(E02)를 X-선 회절분석을 통하여 나타난 결과는 Fig. 32, 33와 같다. 구성광물은 석영, 장석, 점토광물이며, 석영함량이 많고 장석은 아주 적은편이며 점토광물을 다량 포함하고 있는 것으로 나타났다. 장석은 주변지질에서 유래된 것으로 판단되며 거의 소량으로 산출된다는 것은 풍화가 상당히 진행되어 이미 점토광물로 변질되어 그 양이 적은 것으로 판단된다. 이곳에서 산출되는 점토광물은 일라이트와 카올리나이트이며 카올리나이트는 우세하고 일라이트는 보통으로 나타났다.

화북동 함력사질이암 시료

동부지역의 해안지대에 위치하고 있는 화북동 시료(E04)를 X-선 회절분석을 통하여 나타난 결과는 Fig. 34, 35와 같다. 구성광물은 장석, 점토광물, 비정질물질이며, 장석의 함량이 많은 편이며, 석영은 극소량 함유되고 있다. 장석함량이 많이 나타나는 것은 화북동 일대에 분포하고 있는 표선리현무암과 분석구에서 다량의 장석이 공급된 것으로 판단된다. 또한 비정질 물질을 포함하고 있는데 이들은 화산활동의 결과로 형성된 화산쇄설물의 유리질 물질들로 생각된다. 이곳에서 산출되는 점토광물은 주로 결정도가 낮은 일라이트인 것으로 나타났다.

대천동 함력사질이암 시료

동부지역의 중산간지대에 위치하고 있는 대천동 시료(E07)를 X-선 회절분석을 통하여 나타난 결과는 Fig. 36, 37와 같다. 구성광물은 주로 석영, 장석, 비정질물질이며, 석영은 소량이고 장석은 많은 편이다. 장석은 주변의 지질에서 유래된 것으로 판단되며 비정질물질도 화산활동의 결과로 만들어진 화산쇄설물의 유리질 물질로 생각된다. 점토입자들도 비정질물질이 많으며 소량의 카올린나이트가 포함된다.

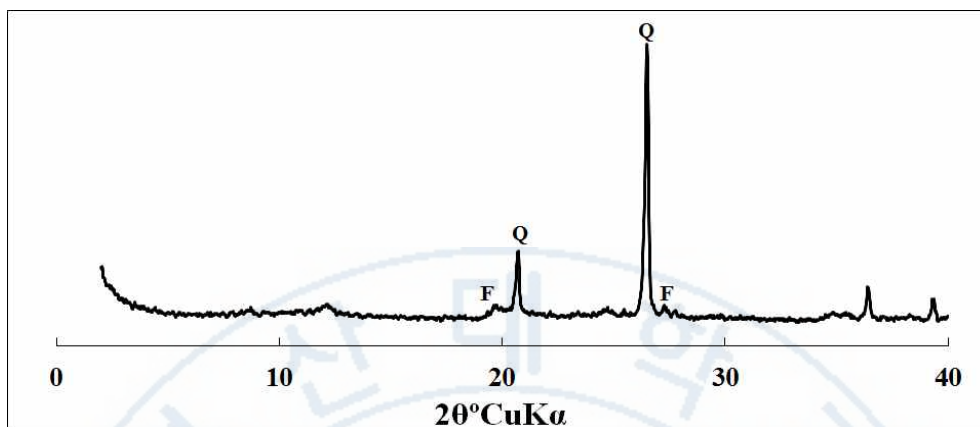


Fig. 32. XRD pattern of E02 sample in Tosan-ri. Q: quartz, F: feldspar.

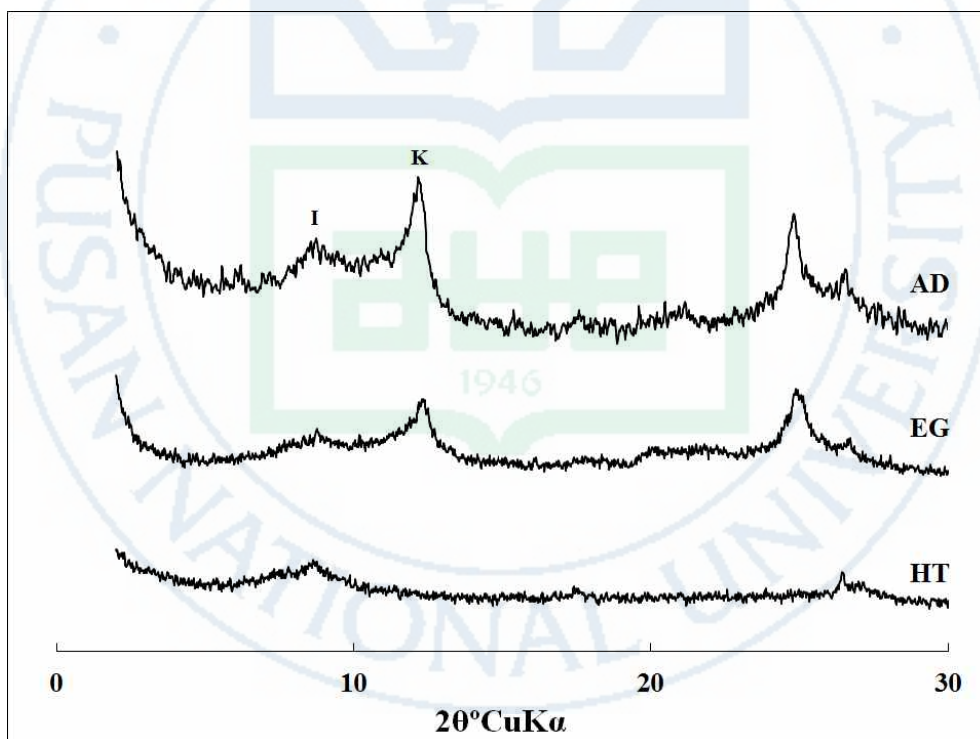


Fig. 33. XRD patterns of E02 sample in Tosan-ri after various treatment. AD: untreated, EG: treated with ethylene glycol, HT: heated at 550°C for 1 hour. K: kaolinite, I: illite.

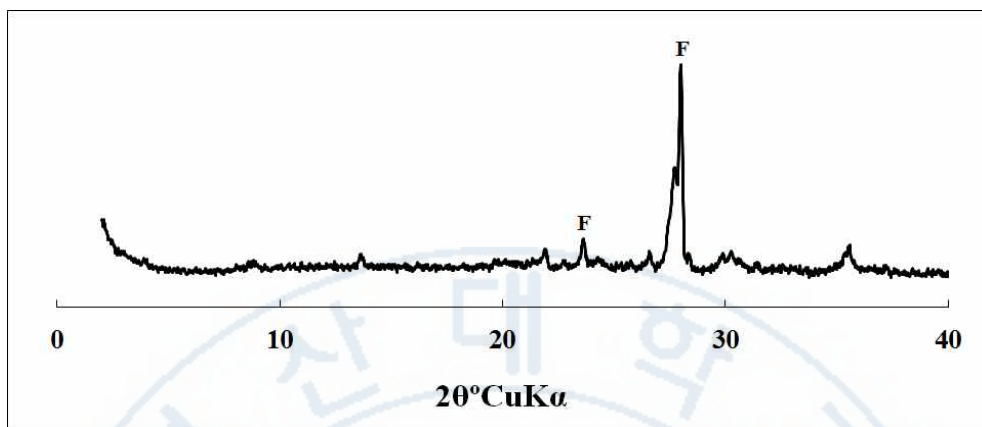


Fig. 34. XRD pattern of E04 sample in Hwabuk-dong. Q: quartz, F: feldspar.

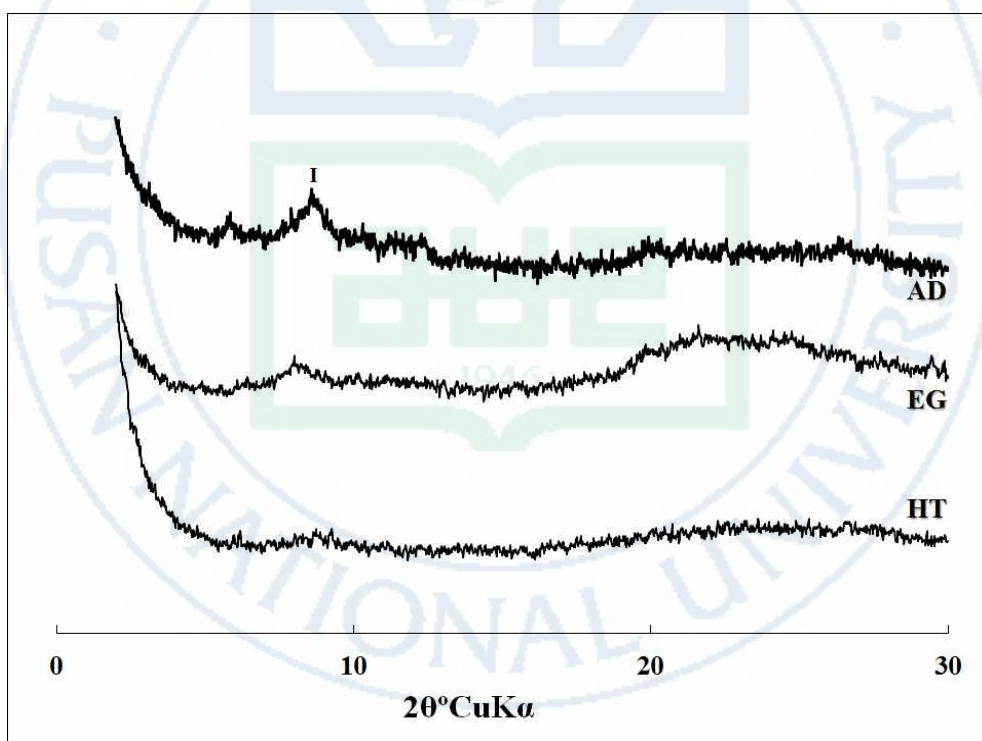


Fig. 35. XRD patterns of E04 sample in Hwabuk-dong after various treatment.

AD: untreated, EG: treated with ethylene glycol, HT: heated at 550°C for 1 hour. I: illite.

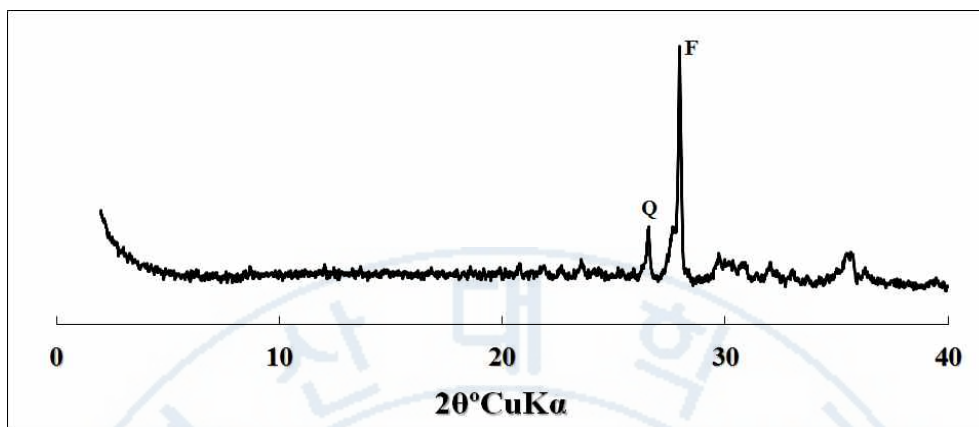


Fig. 36. XRD pattern of E07 sample in Decheon-dong. Q: quartz, F: feldspar.

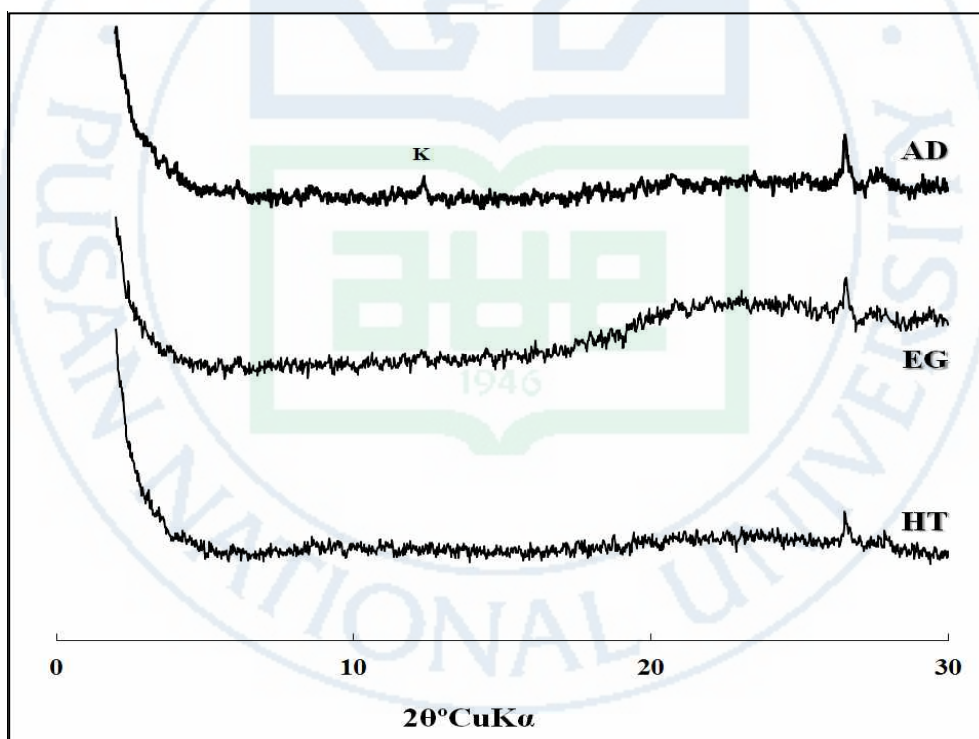


Fig. 37. XRD patterns of E07 sample in Decheon-dong after various treatment.

AD: untreated, EG: treated with ethylene glycol, HT: heated at 550°C for 1 hour. K: kaolinite.

김녕리 함력사질이암 시료

동부지역의 해안지대에 위치하고 있는 김녕리 시료(E08)를 X-선 회절분석을 통하여 나타난 결과는 Fig. 38, 39과 같다. 구성광물은 석영, 장석, 점토광물이며 석영이 우세하고 장석은 적은편이며, 점토광물을 다량 포함하고 있는 것으로 나타났다. 장석이 소량으로 산출된다는 것은 풍화가 상당히 진행되어 이미 점토광물로 변질되어 그 양이 적은 것으로 판단된다. 이곳에서 산출되는 점토광물은 일라이트, 카올린나이트, 버미큘라이트, 녹니석이며 일라이트와 카올린나이트는 보통이고 버미큘라이트와 녹니석은 소량으로 나타났다.

평대리 함력사질이암 시료

동부지역의 중산간지대에 위치하고 있는 평대리 시료(E09)를 X-선 회절분석을 통하여 나타난 결과는 Fig. 40, 41과 같다. 구성광물은 석영, 장석, 점토광물이며 석영이 우세하고 장석은 적은편이며 점토광물을 포함하고 있는 것으로 나타났다. 이곳에서 산출되는 점토광물은 일라이트, 카올린나이트, 녹니석 등이며, 일라이트와 카올린나이트는 보통이고 녹니석은 소량으로 나타났다.

어시천 함력사질이암 시료

중부지역의 해안지대에 위치하고 있는 어시천 시료(C01)를 X-선 회절분석을 통하여 나타난 결과는 Fig. 42, 43과 같다. 구성광물은 석영, 장석, 점토광물이며 석영은 소량이고 장석은 우세하다. 점토광물의 회절선은 낮고 폭넓은 형태를 보이며, 550℃ 가열처리에서 10 Å의 회절선이 크게 나타나는 것으로 보아 결정도가 낮은 스멕타이트와 그 혼합층광물도 포함되는 것으로 생각된다. 일라이트와 함께, 소량의 카올린나이트와 버미큘라이트가 포함되어 나타났다.

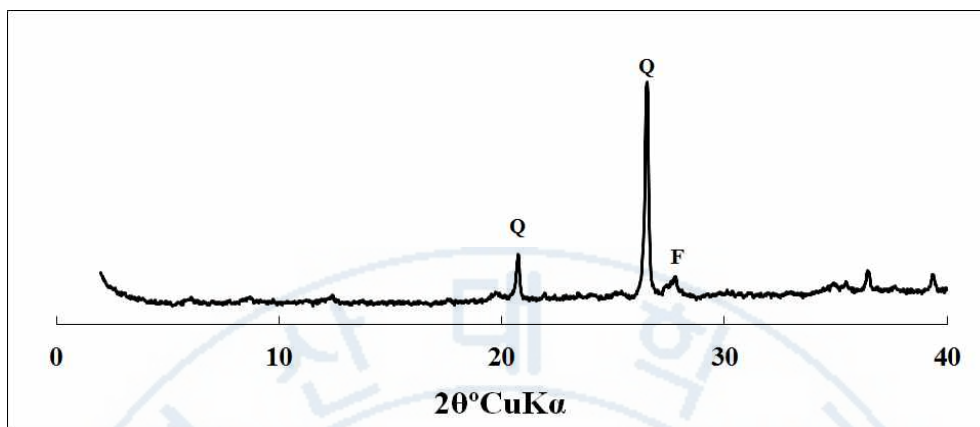


Fig. 38. XRD pattern of E08 sample in Gimnyeong-ri. Q: quartz, F: feldspar.

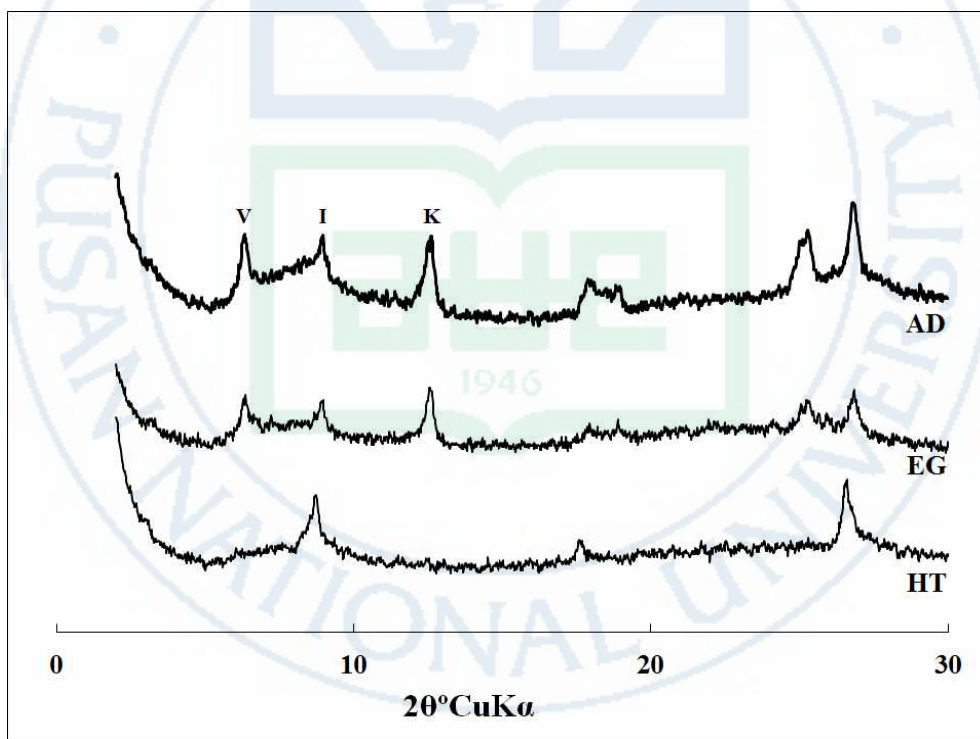


Fig. 39. XRD patterns of E08 sample in Gimnyeong-ri after various treatment.

AD: untreated, EG: treated with ethylene glycol, HT: heated at 550°C for 1 hour. V: vermiculite, I: illite, K: kaolinite.

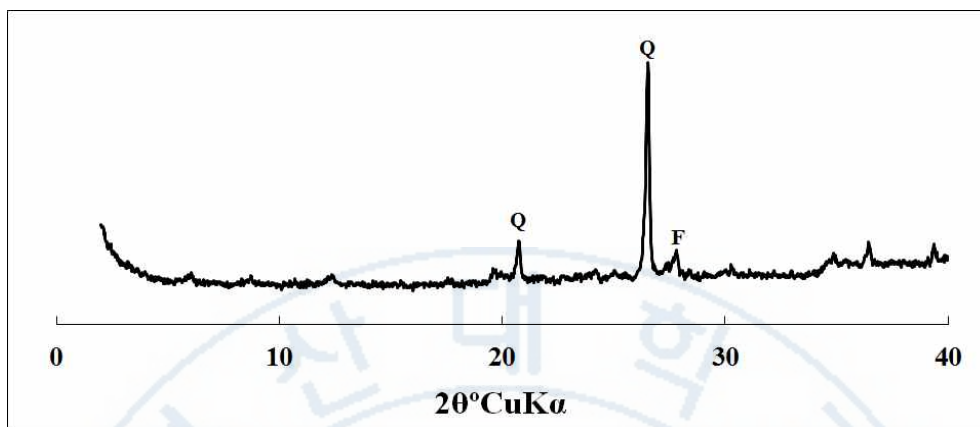


Fig. 40. XRD pattern of E09 sample in Pyeongde-ri. Q: quartz, F: feldspar.

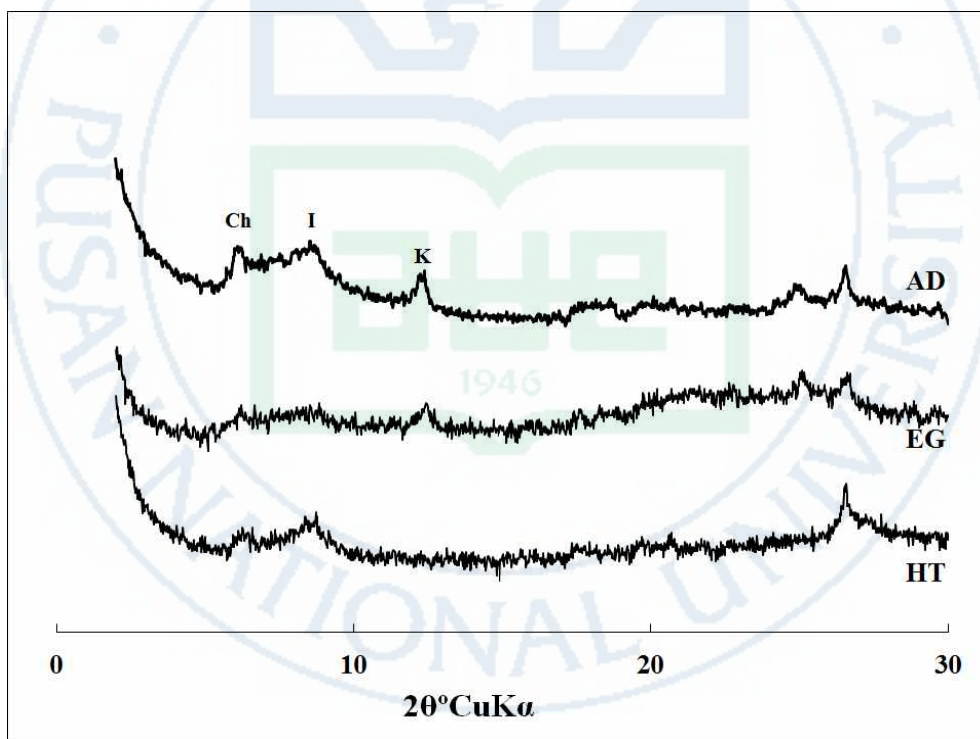


Fig. 41. XRD patterns of E09 sample in Pyeongde-ri after various treatment.
AD: untreated, EG: treated with ethylene glycol, HT: heated at 550°C for 1 hour. Ch: chlorite, I: illite, K: kaolinite.

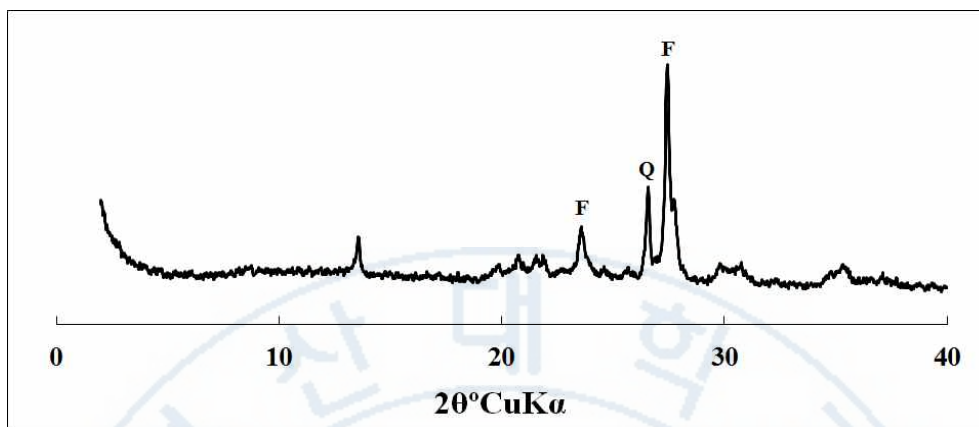


Fig. 42. XRD pattern of C01 sample in Eosichen. Q: quartz, F: feldspar.

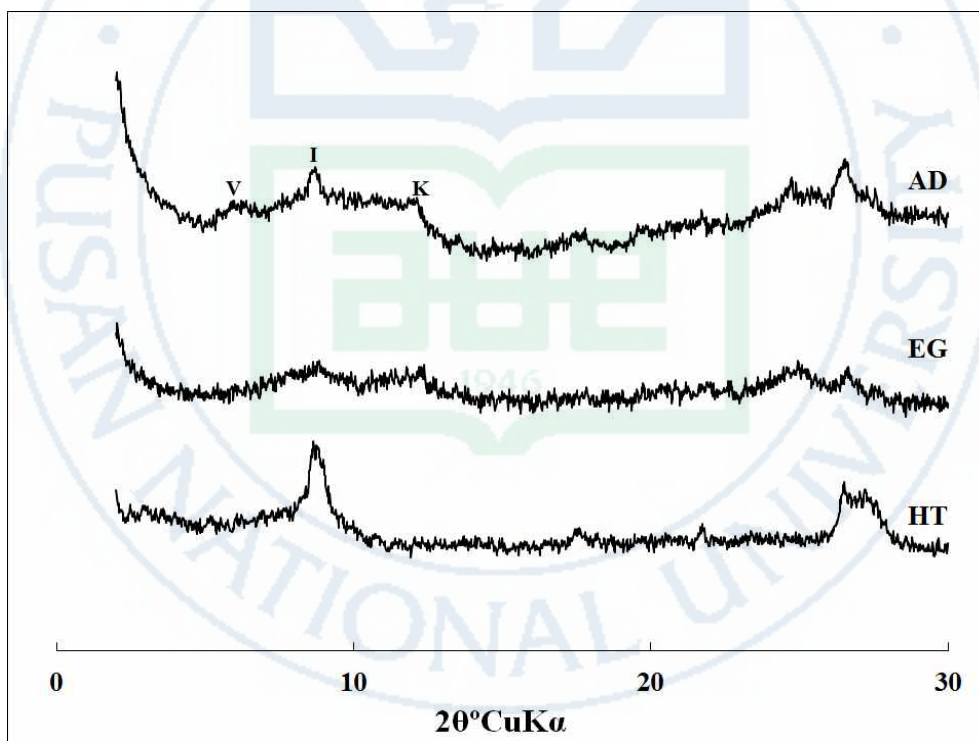


Fig. 43. XRD patterns of C01 sample in Eosichen after various treatment. AD: untreated, EG: treated with ethylene glycol, HT: heated at 550°C for 1 hour. V: vermiculite, I: illite, K: kaolinite.

대포동 함력사질이암 시료

중부지역의 해안지대에 위치하고 있는 대포동 시료(C06)를 X-선 회절분석을 통하여 나타난 결과는 Fig. 44, 45과 같다. 구성광물은 석영, 장석, 점토광물이며, 석영이 많으며 장석은 적은편인 것으로 나타났다. 점토광물의 회절선은 매우 낮고 폭넓은 형태를 보여 비정질 내지 결정도가 낮은 점토광물로 구성되어 있는 것으로 생각된다. 에칠렌글리콜 처리에 약간 고각도로 이동하는 회절선으로 보아 스멕타이트가 포함하는 것으로 보인다. 그 외에 소량의 일라이트와 카올린나이트가 포함된다.

탐라계곡 함력사질이암 시료

중부지역 한라산 해발고도 1600m에 위치하고 있는 탐라계곡 시료(C09)를 X-선 회절분석을 통하여 나타난 결과는 Fig. 46, 47와 같다. 구성광물은 석영, 장석, 점토광물이며, 석영함량이 많고 장석은 소량 포함된다. 에칠렌글리콜 처리에 팽윤하는 스멕타이트가 상당량 포함되며, 그 외에 카올린나이트와 일라이트가 소량 포함된다.

어리목-2 함력사질이암 시료

중부지역의 한라산에 위치하고 있는 어리목2 시료(C10)을 X-선 회절분석을 통하여 나타난 결과는 Fig. 48, 49과 같다. 구성광물은 주로 석영, 장석, 점토광물이며, 석영은 많고 장석은 소량으로 나타났다. 이곳에서 산출되는 점토광물은 일라이트, 카올린나이트, 버미큘라이트 등이며 모두 소량으로 나타났다.

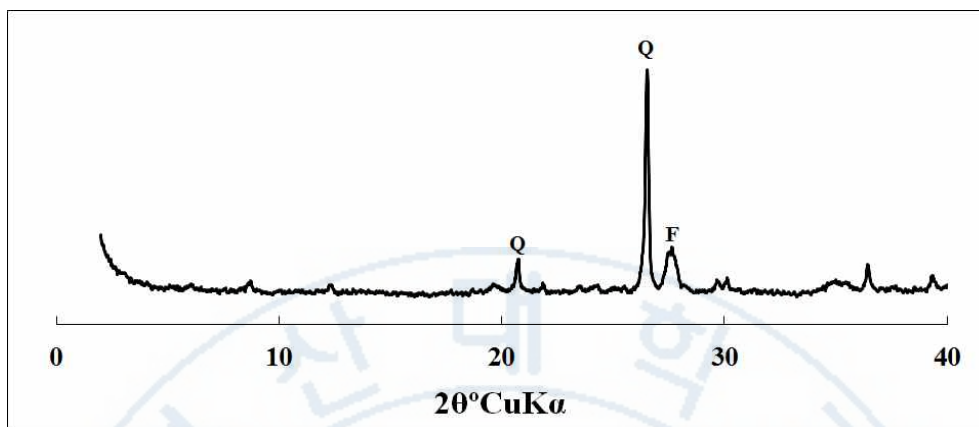


Fig. 44. XRD pattern of C06 sample in Daepo-dong. Q: quartz, F: feldspar.

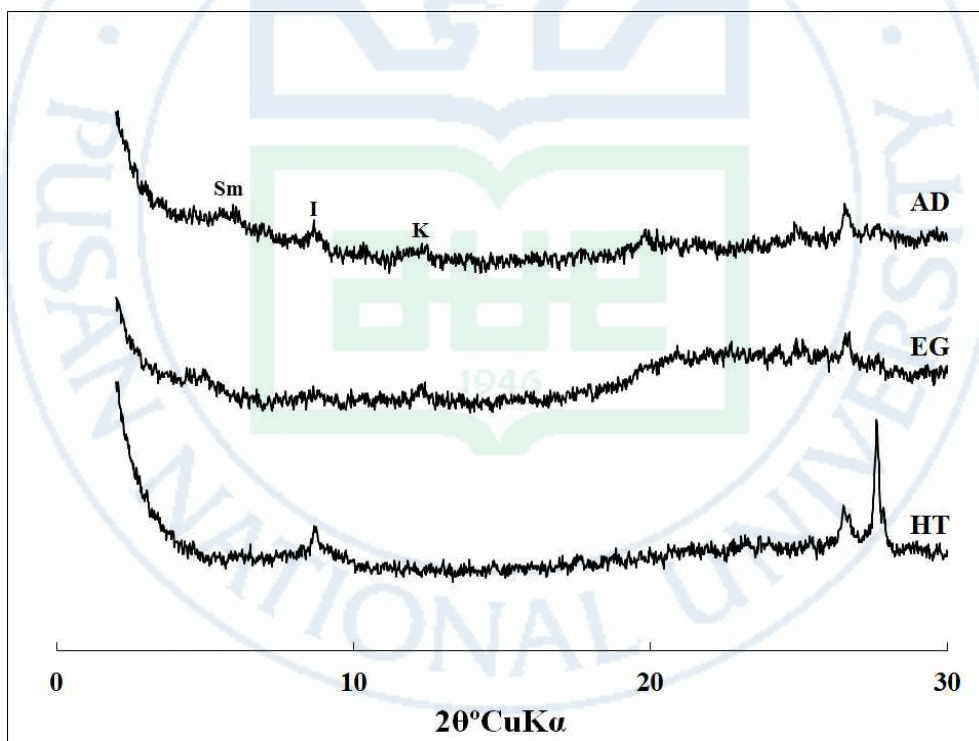


Fig. 45. XRD patterns of C06 sample in Daepo-dong after various treatment.

AD: untreated, EG: treated with ethylene glycol, HT: heated at 550°C for 1 hour. Sm: smectite, I: illite, K: kaolinite.

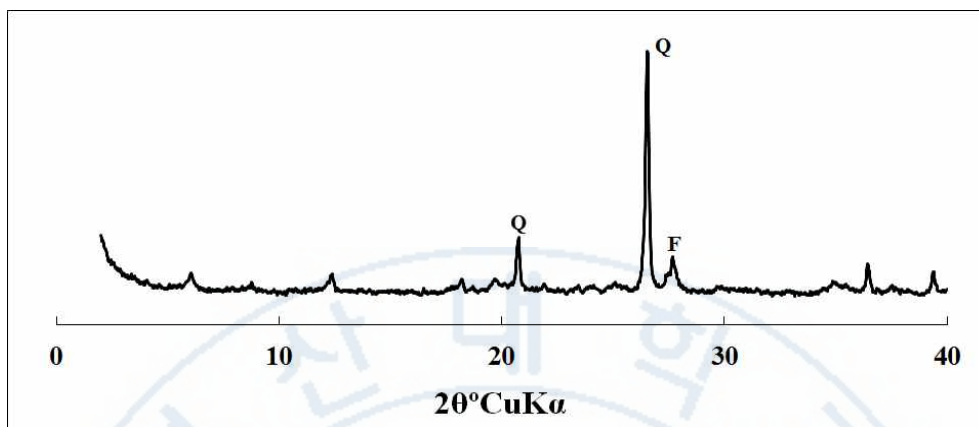


Fig. 46. XRD pattern of C09 sample in Tamragegok-valley.

Q: quartz, F: feldspar.

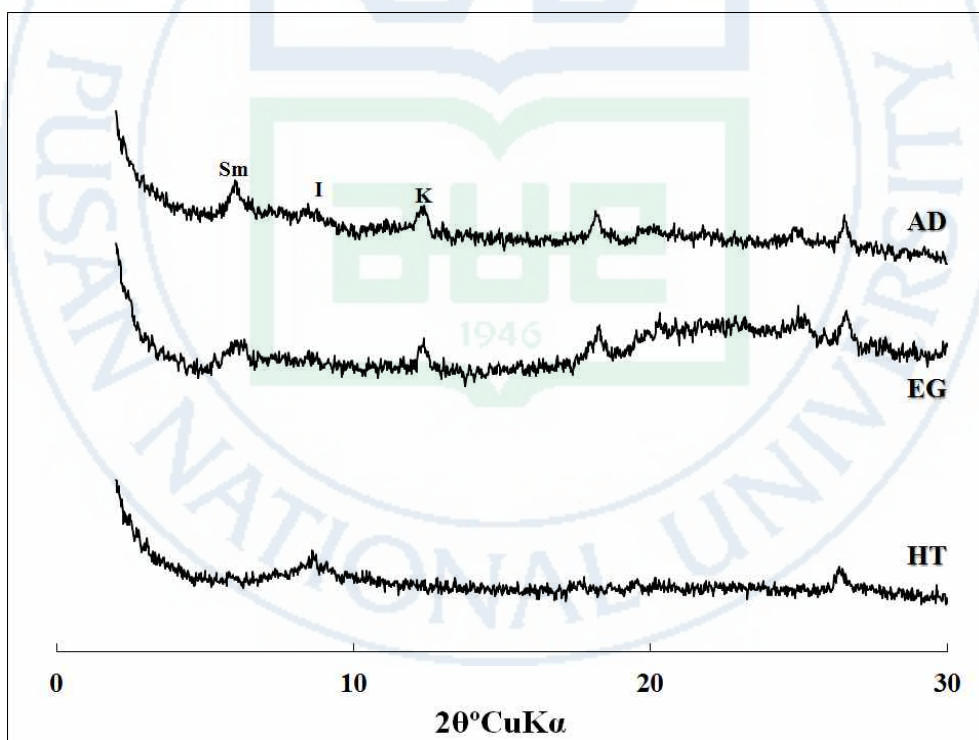


Fig. 47. XRD patterns of C09 sample in Tamragegok-valley after various treatment. AD: untreated, EG: treated with ethylene glycol, HT: heated at 550°C for 1 hour. Sm: smectite, I: illite, K: kaolinite.

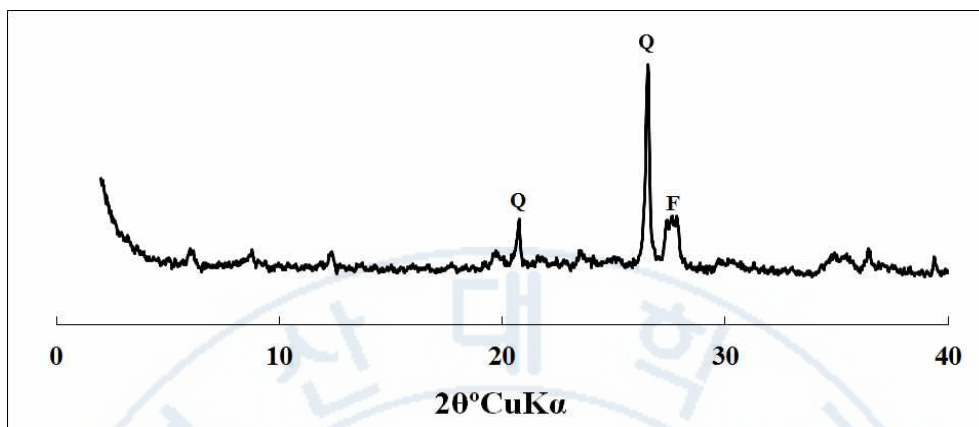


Fig. 48. XRD pattern of C10 sample in Eorimok-2. Q: quartz, F: feldspar.

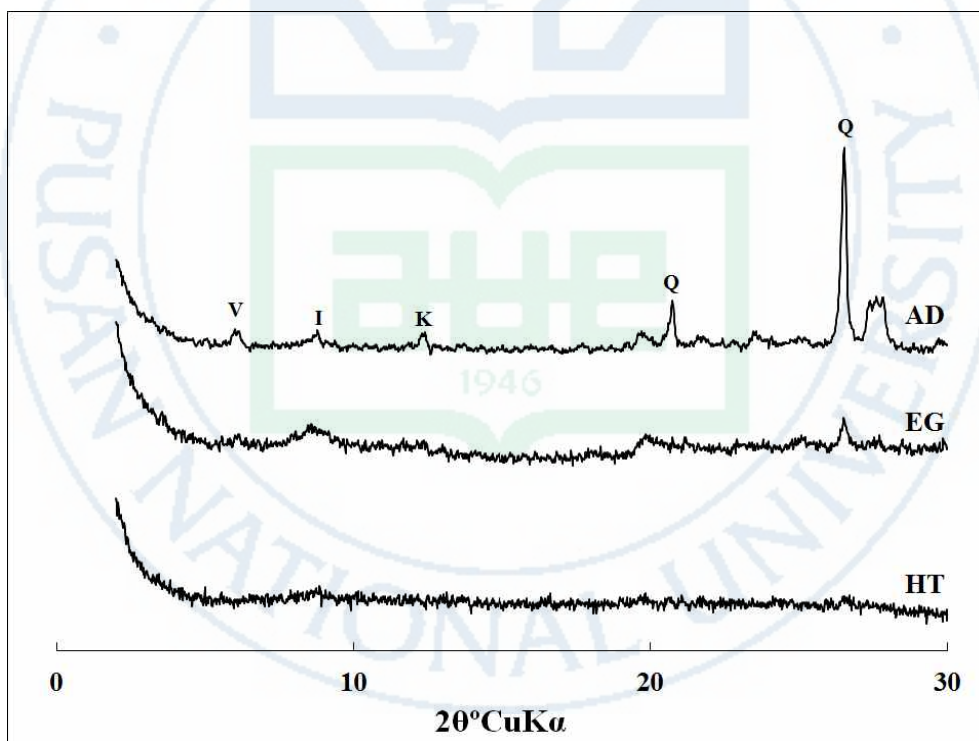


Fig. 49. XRD patterns of C10 sample in Eorimok-2 after various treatment.
AD: untreated, EG: treated with ethylene glycol, HT: heated at 550°C for 1 hour. V: vermiculite, I: illite, K: kaolinite, Q: quartz.

항파두리 함력사질이암 시료

중부지역의 해안지대에 위치하고 있는 항파두리 시료(C12)를 X-선 회절분석을 통하여 나타난 결과는 Fig. 50, 51과 같다. 구성광물은 주로 석영, 장석, 점토광물이며, 석영함량이 많고 장석은 매우 적은편이다. 장석이 적은 것은 풍화가 상당히 진행되어 점토광물로 변질된 퇴적물에서 기원되었기 때문으로 생각된다. 이곳에서 산출되는 점토광물은 일라이트, 카올리나이트, 녹니석이며 카올리나이트와 녹니석은 보통이고 일라이트는 소량으로 나타났다.

오라동 사암 시료

중부지역 해안지대에 위치하고 있는 오라동 시료(C17)를 X-선 회절분석을 통하여 나타난 결과는 Fig. 52, 53과 같다. 구성광물은 장석, 점토광물, 비정질물질이며 장석의 함량이 많은 편이다. 장석함량이 많이 나타나는 것은 오라동 일대에 분포하고 있는 분석구에서 다량의 장석이 공급된 것으로 판단된다. 또한 다량의 비정질 물질을 포함하고 있는데 이들은 화산활동의 결과로 형성된 화산쇄설물의 유리질 물질들로 생각된다. 점토입자의 X-선 회절분석에서 뚜렷한 점토광물의 회절선이 나타나지 않고 평탄한 형태를 보이는 것으로 보아 미립의 비정질물질이 다량 포함되는 것으로 생각된다.

노형동 함력사질이암 시료

중부지역의 해안지대에 위치하고 있는 노형동 시료(C23)을 X-선 회절분석을 통하여 나타난 결과는 Fig. 54, 55과 같다. 구성광물은 석영, 장석, 점토광물이며, 석영함량이 매우 많고 장석은 매우 적은 것으로 나타났다. 이곳에서 산출되는 점토광물의 회절선은 매우 크게 잘 나타난다. 특히 카올리나이트와 녹니석의 뾰족한 회절선이 잘 나타나서 결정도가 좋고 그 함량이 많은 것으로 생각된다. 일라이트도 상당량 포함된다.

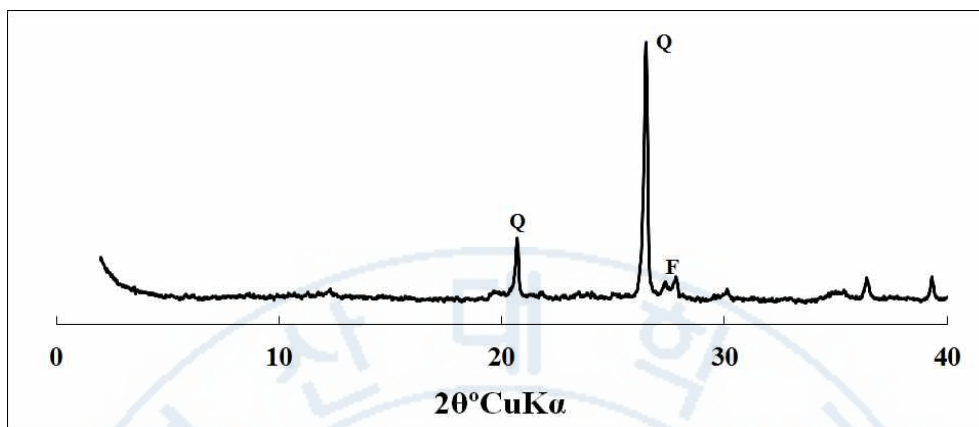


Fig. 50. XRD pattern of C12 sample in Hangpaduri. Q: quartz, F: feldspar.

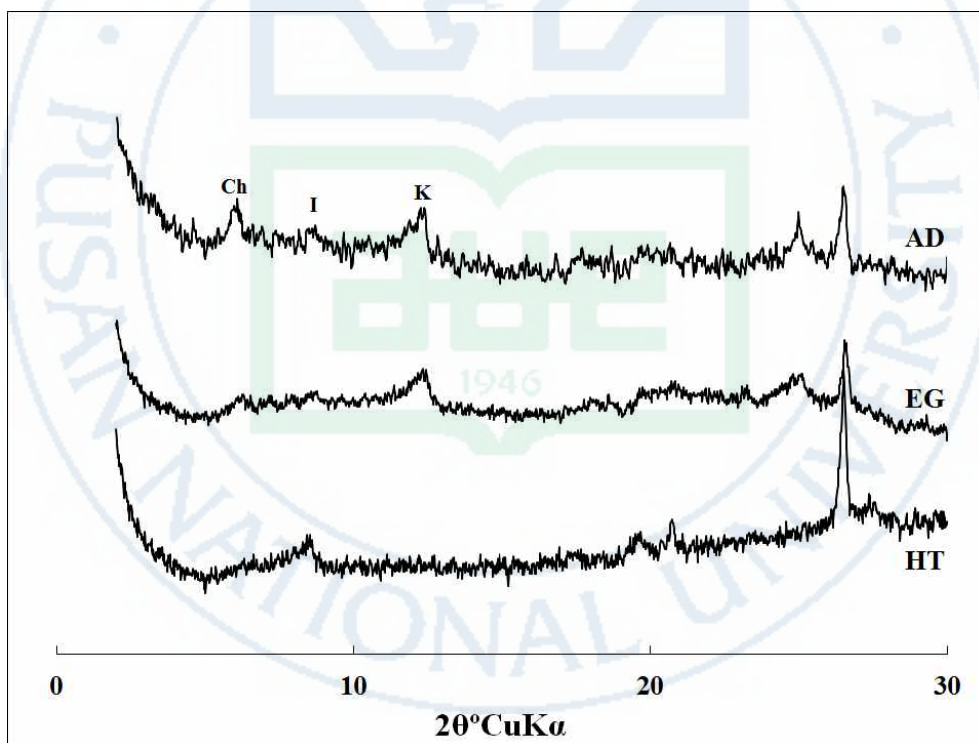


Fig. 51. XRD patterns of C12 sample in Hangpaduri after various treatment.

AD: untreated, EG: treated with ethylene glycol, HT: heated at 550°C for 1 hour. V: vermiculite, I: illite, K: kaolinite.

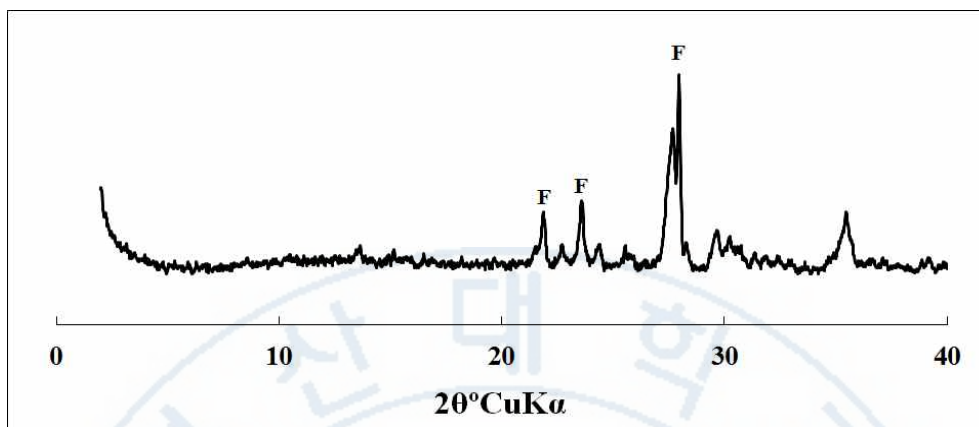


Fig. 52. XRD pattern of C17 sample in Ora-dong. F: feldspar.

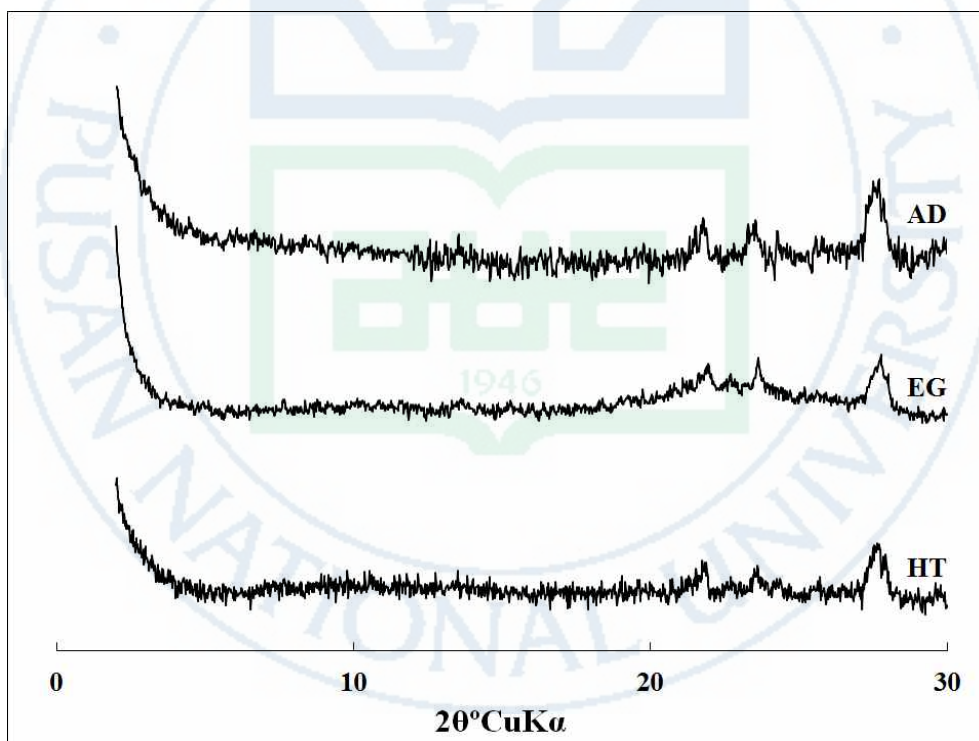


Fig. 53. XRD patterns of C17 sample in Ora-dong after various treatment. AD: untreated, EG: treated with ethylene glycol, HT: heated at 550°C for 1 hour.

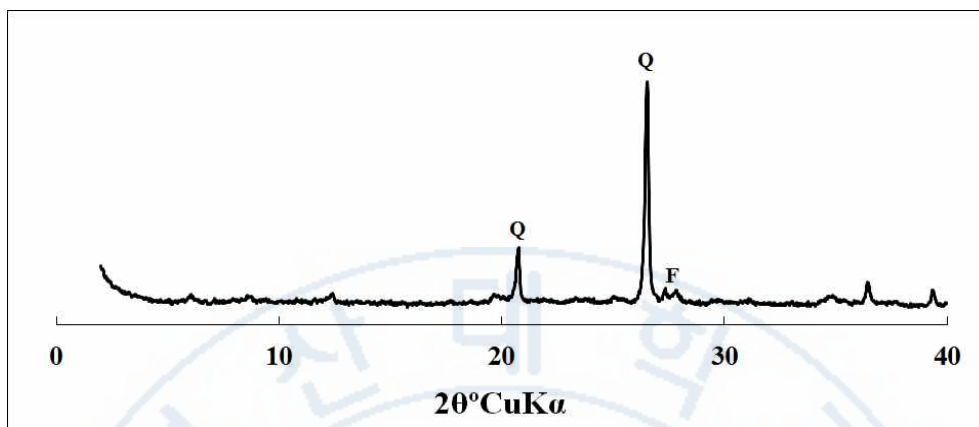


Fig. 54. XRD pattern of C23 sample in Nohyeong-dong. Q: quartz, F: feldspar.

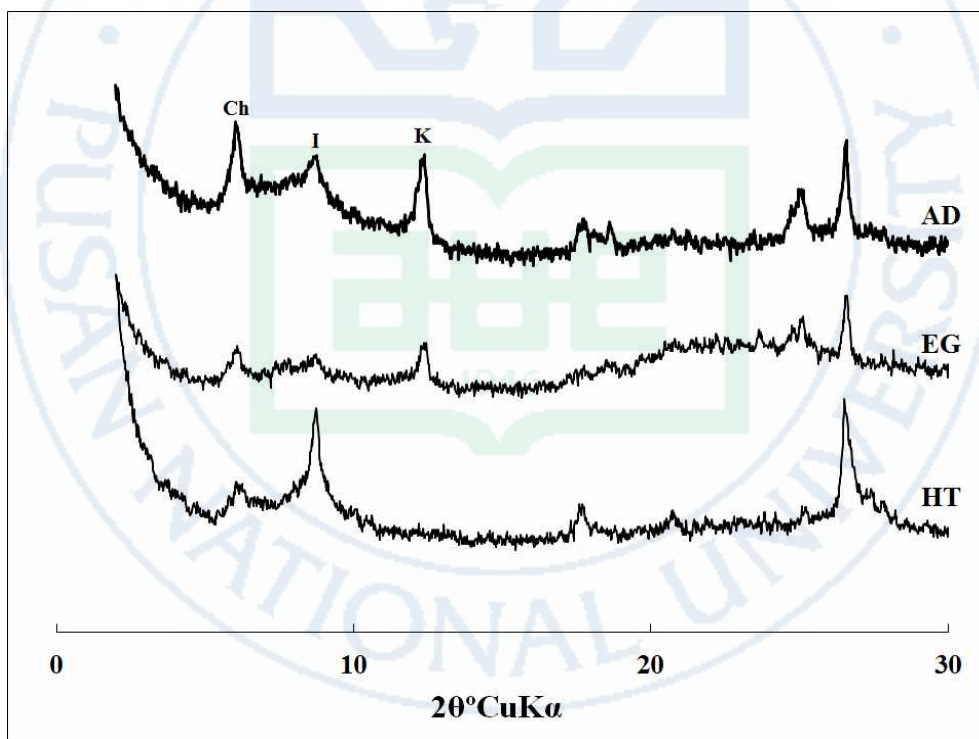


Fig. 55. XRD patterns of C23 sample in Nohyeong-dong after various treatment. AD: untreated, EG: treated with ethylene glycol, HT: heated at 550°C for 1 hour. Ch: chlorite, I: illite, K: kaolinite.

한천-4 함력사질이암 시료

중부지역 중산간지대에 위치하고 있는 한천-4 시료(C35)를 X-선 회절분석을 통하여 나타난 결과는 Fig. 56, 57와 같다. 구성광물은 주로 석영, 장석, 점토광물이며, 석영함량이 많고 장석은 적은 편이다. 이곳에서 산출되는 점토광물은 일라이트, 카올린나이트, 녹니석이며 일라이트는 보통이며 카올린나이트와 녹니석은 소량으로 나타났다.

다래오름 함력사질이암, 사암 시료

중부지역 중산간지대에 위치하고 있는 다래오름 시료(C37)를 X-선 회절분석을 통하여 나타난 결과는 Fig. 58, 59와 같다. 구성광물은 주로 장석과 비정질물질이며 장석의 함량이 상대적으로 많은 편이다. 점토입자의 X-선 회절분석에서 뚜렷한 점토광물의 회절선이 나타나지 않고 평탄한 형태를 보이는 것으로 보아 미립의 비정질물질이 다량 포함되는 것으로 생각된다. 이러한 광물성분으로 보아 다래오름 일대에 분포하고 있는 분석구에서 다량의 장석과 비정질 물질이 공급된 것으로 보인다.

선돌-1 함력사질이암, 사암 시료

중부지역 중산간지대에 위치하고 있는 선돌-1 시료(C19)를 X-선 회절분석을 통하여 나타난 결과는 Fig. 60, 61과 같다. 구성광물은 석영, 장석, 점토광물이며, 석영함량이 많고 장석은 적은편이다. 점토광물로는 일라이트가 우세하며 카올리나이트와 녹니석은 소량으로 나타났다.

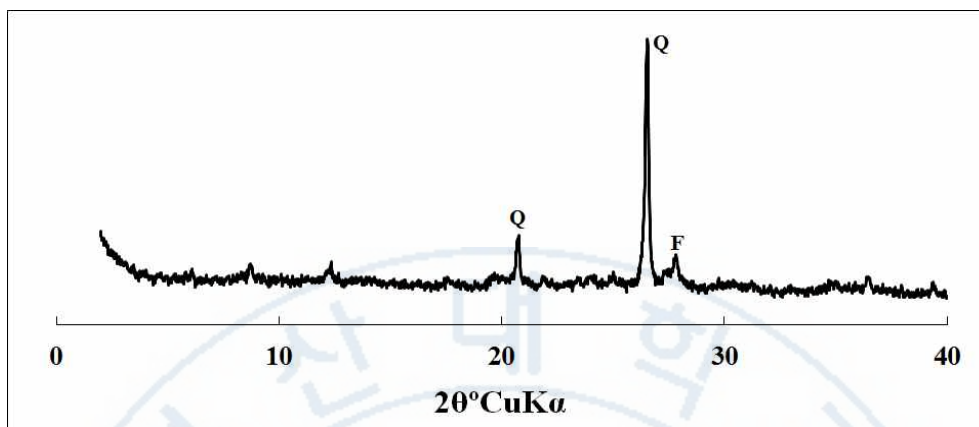


Fig. 56. XRD pattern of C35 sample in Hancheon-4. Q: quartz, F: feldspar.

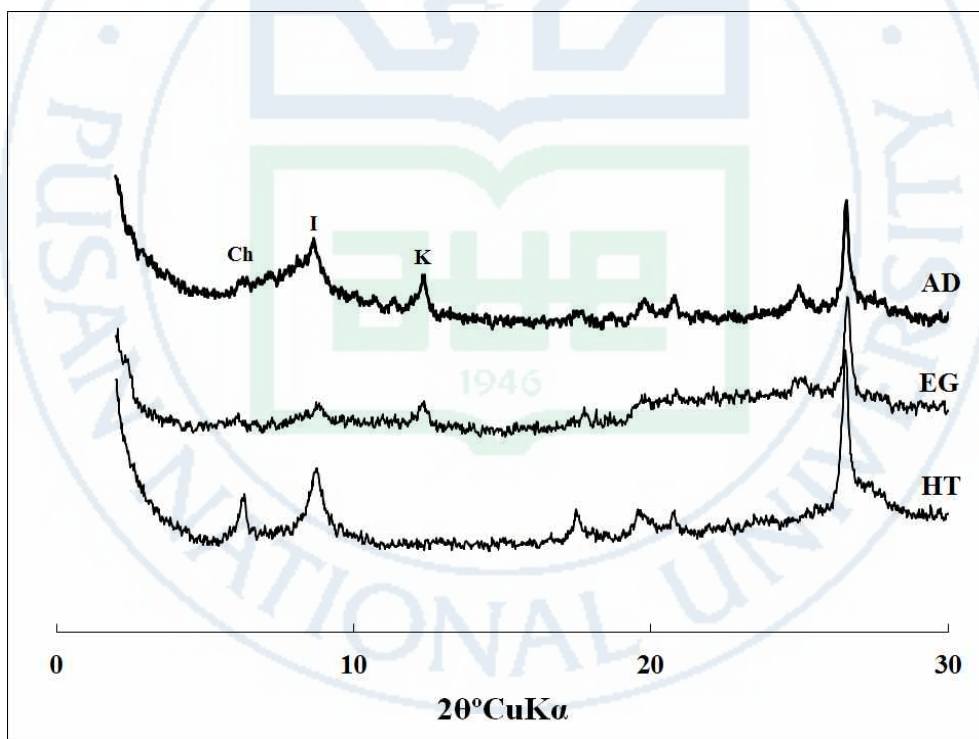


Fig. 57. XRD patterns of C35 sample in Hancheon-4 after various treatment.
AD: untreated, EG: treated with ethylene glycol, HT: heated at 550°C for 1 hour. Ch: chlorite, I: illite, K: kaolinite.

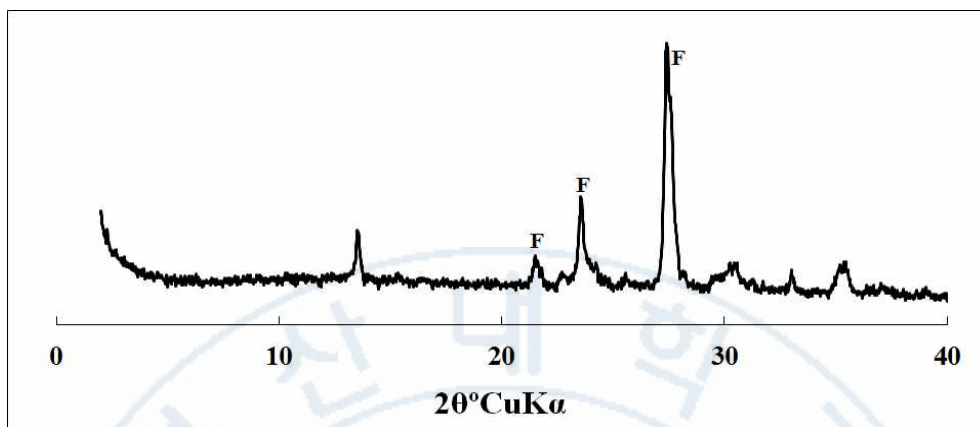


Fig. 58. XRD pattern of C37 sample in Dare-oreum. F: feldspar.

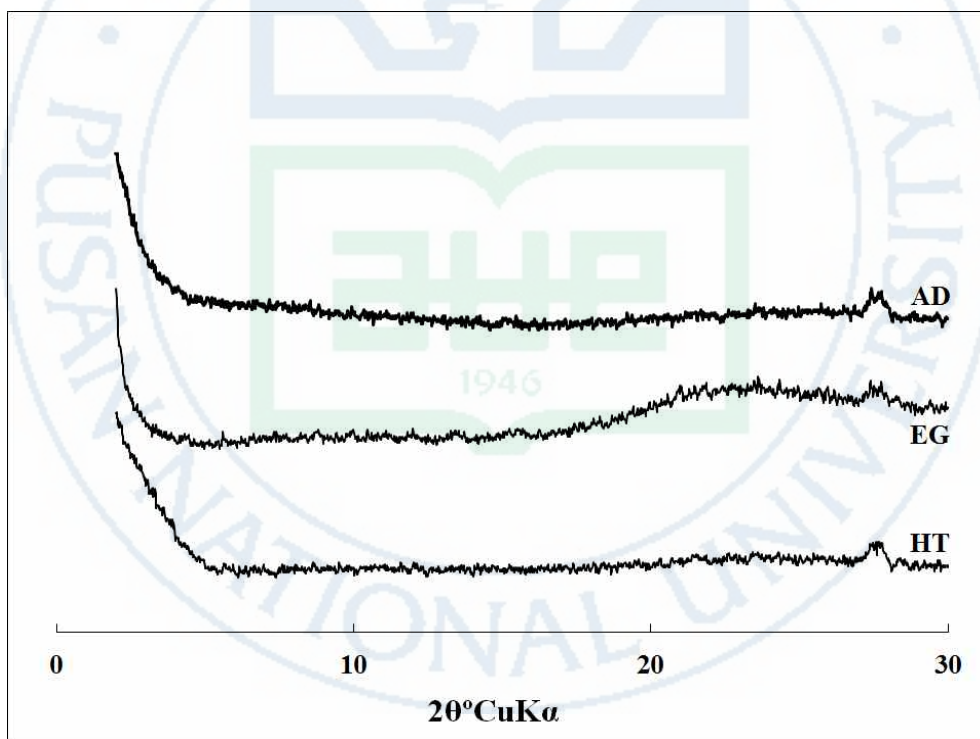


Fig. 59. XRD patterns of C37 sample in Dare-oreum after various treatment.
AD: untreated, EG: treated with ethylene glycol, HT: heated at 550°C for 1 hour.

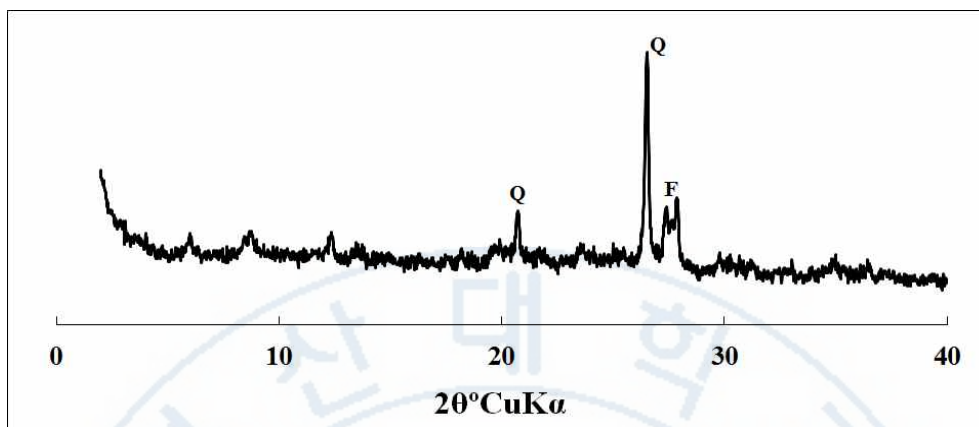


Fig. 60. XRD pattern of C19 sample in Seondol-1. Q: quartz, F: feldspar.

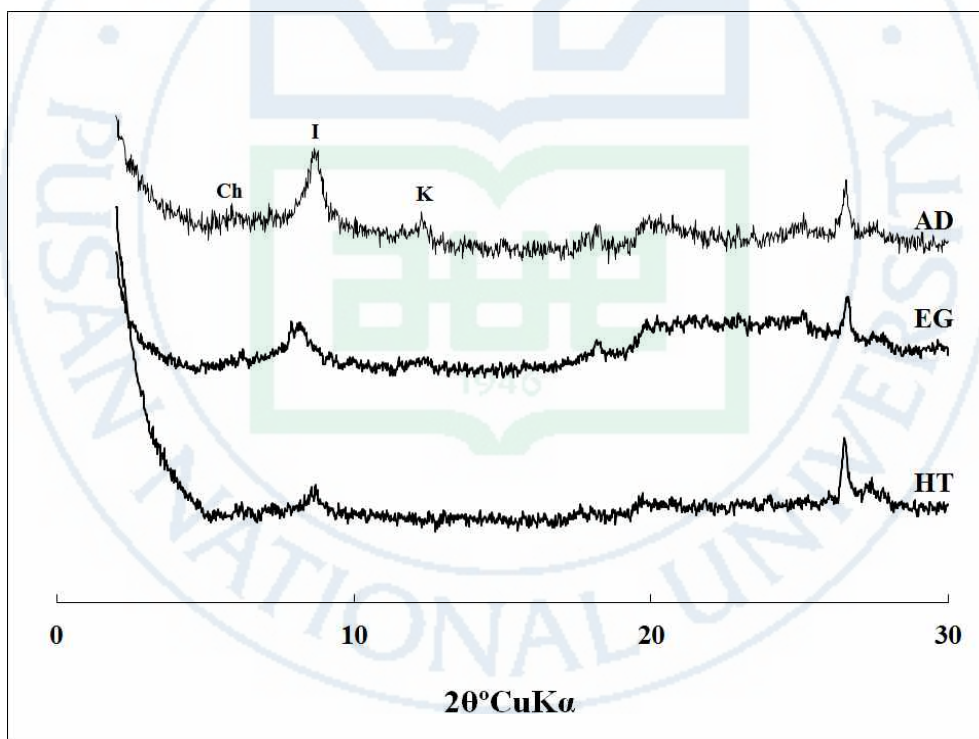


Fig. 61. XRD patterns of C19 sample in Seondol-1 after various treatment.
AD: untreated, EG: treated with ethylene glycol, HT: heated at 550°C for 1 hour. Ch: chlorite, I: illite, K: kaolinite.

고산리 함력사질이암 시료

서부지역의 해안지대에 위치하고 있는 고산리 시료(W02)를 X-선 회절분석을 통하여 나타난 결과는 Fig. 62, 63와 같다. 구성광물은 석영, 장석, 점토광물이며, 석영함량이 많고 장석은 적은편이다. 장석이 소량으로 산출된다는 것은 풍화가 상당히 진행되었거나 이미 점토광물로 변질되었기 때문으로 생각된다. 이곳에서 산출되는 점토광물은 일라이트, 카올리나이트, 버미큘라이트이며, 버미큘라이트가 우세하며 일라이트와 카올리나이트는 보통으로 나타났다.

신평리 함력사질이암 시료

서부지역의 해안지대에 위치하고 있는 신평리 시료(W03)을 X-선 회절분석을 통하여 나타난 결과는 Fig. 64, 65과 같다. 구성광물은 석영, 장석, 점토광물이며, 석영함량이 아주 많고 장석은 적은편이다. 이곳에서 산출되는 점토광물은 스�멕타이트, 일라이트, 카올리나이트이며 스�멕타이트가 우세하고 카올리나이트는 보통이며 일라이트는 소량으로 나타났다.

화순리 함력사질이암 시료

서부지역의 해안지대에 위치하고 있는 화순리 시료(W06)을 X-선 회절분석을 통하여 나타난 결과는 Fig. 66, 67와 같다. 주구성광물은 석영, 아날심, 점토광물이며, 휘석, 감람석, 방해석 등의 여러 광물이 소량 포함되어 있다. 아날심은 불석광물의 일종으로 일반적으로 열수변질작용이나 깊은 속성작용으로 생성된다. 점토광물로는 에칠렌글리콜 처리에 크게 팽창하는 스�멕타이트가 다량 함유된다. 이러한 구성광물로 보아서 주변에 위치하는 산방산 조면암의 화산활동 시 분출한 화산쇄설물질의 열수변질작용과 관련되는 것으로 생각된다.

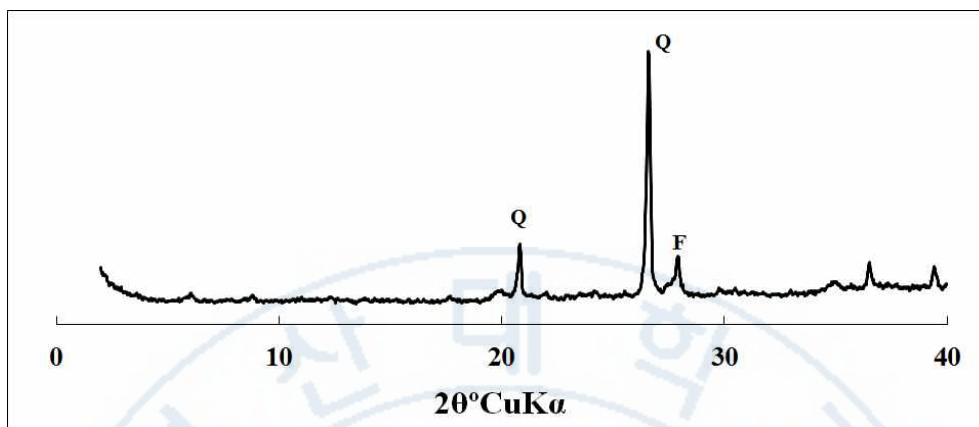


Fig. 62. XRD pattern of W02 sample in Kosan-ri. Q: quartz, F: feldspar.

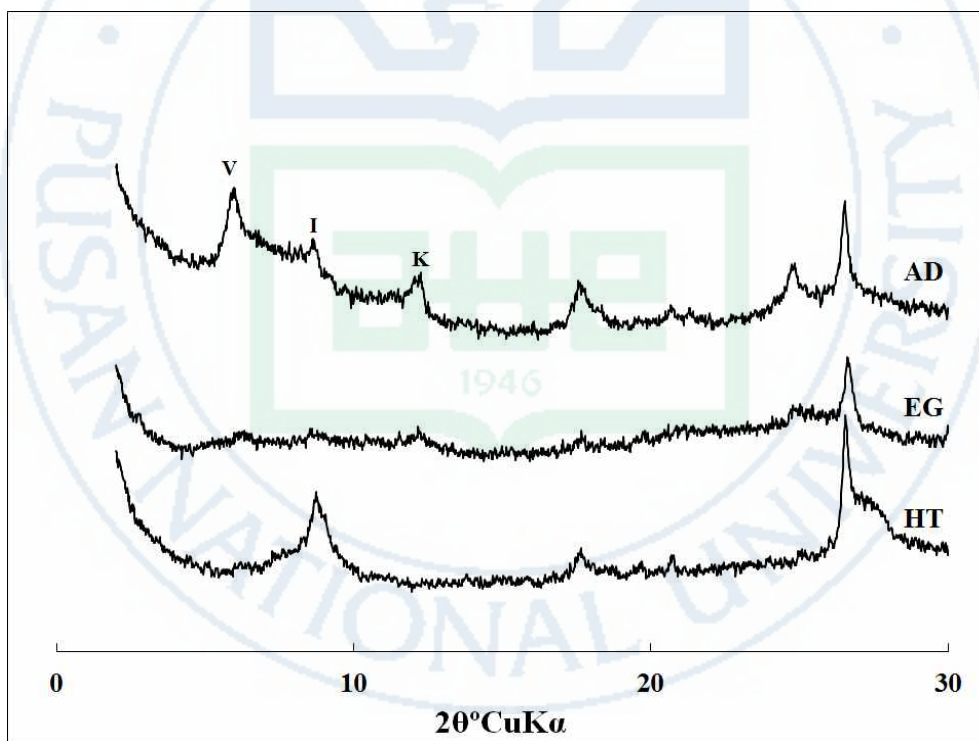


Fig. 63. XRD patterns of W02 sample in Kosan-ri after various treatment. AD: untreated, EG: treated with ethylene glycol, HT: heated at 550°C for 1 hour. V: vermiculite, I: illite, K: kaolinite.

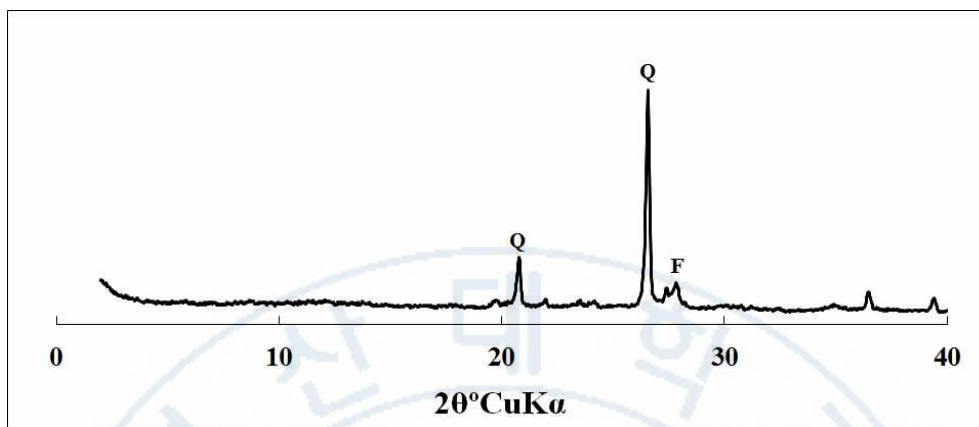


Fig. 64. XRD pattern of W03 sample in Sinpyoung-ri. Q: quartz, F: feldspar.

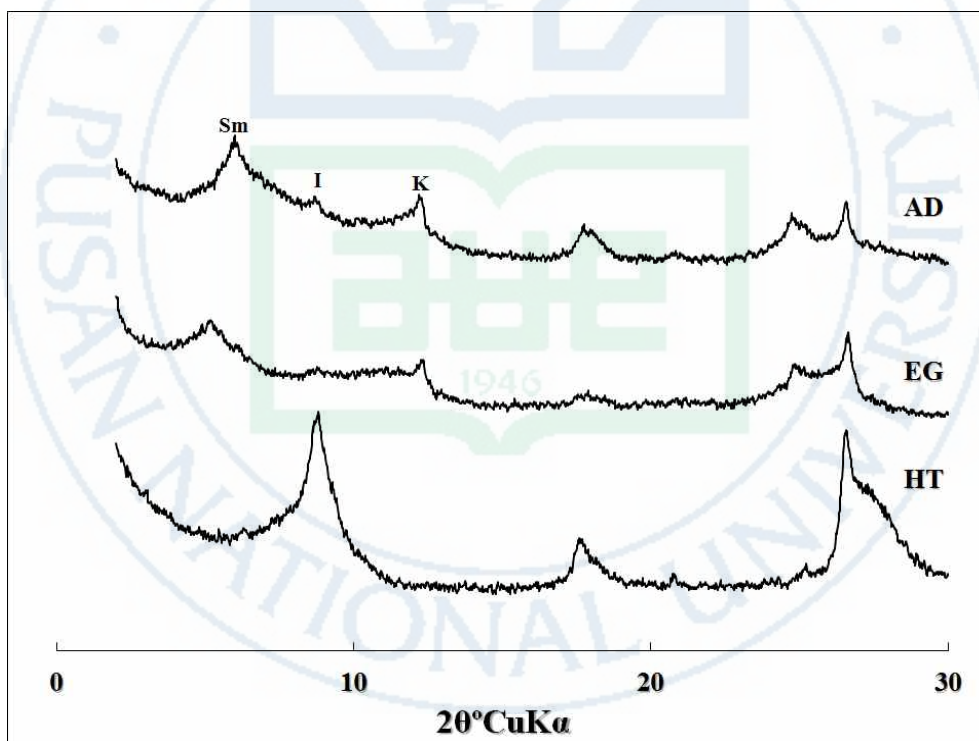


Fig. 65. XRD patterns of W03 sample in Sinpyoung-ri after various treatment.

AD: untreated, EG: treated with ethylene glycol, HT: heated at 550°C for 1 hour. Sm: smectite, I: illite, K: kaolinite.

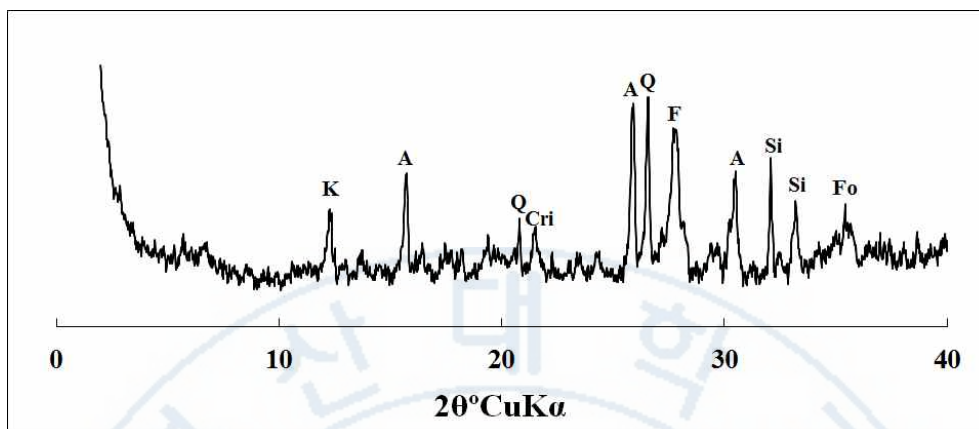


Fig. 66. XRD pattern of W06 sample in Hwasun-ri. Q: quartz, F: feldspar, A: analcime.

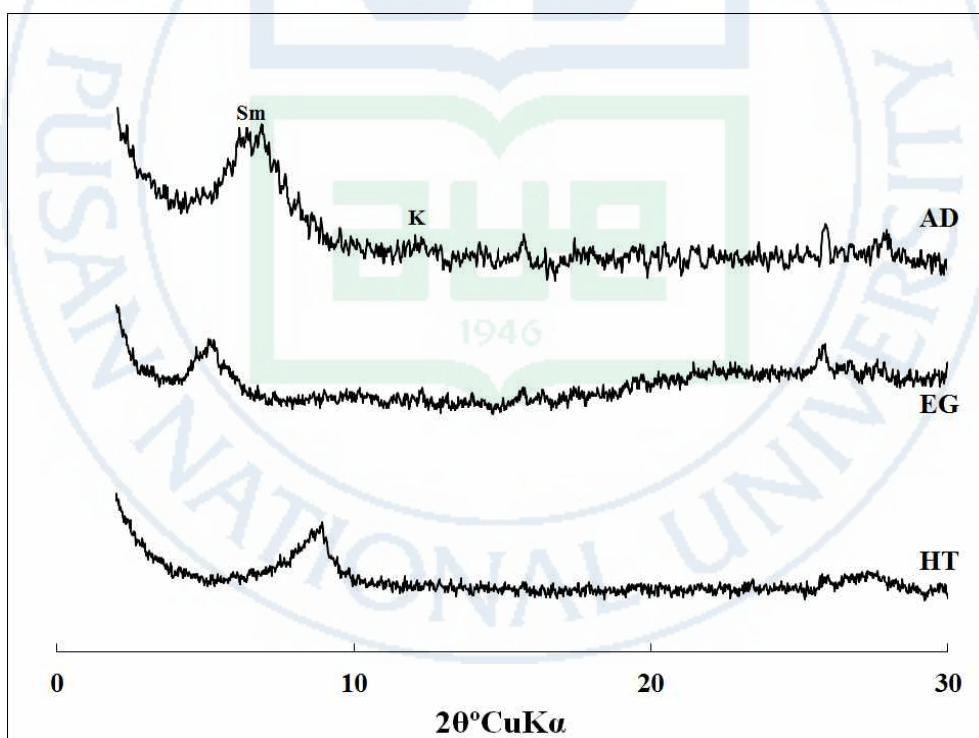


Fig. 67. XRD patterns of W06 sample in Hwasun-ri after various treatment. AD: untreated, EG: treated with ethylene glycol, HT: heated at 550°C for 1 hour. Sm: smectite, K: kaolinite.

산심봉 함력사질이암 시료

서부지역 중산간지대에 위치하고 있는 산심봉 시료(W09)를 X-선 회절분석을 통하여 나타난 결과는 Fig. 68, 69과 같다. 구성광물은 석영, 장석, 점토광물이며 석영이 우세하고 장석은 소량이다. 이곳에서 산출되는 점토광물은 일라이트, 스멕타이트, 카올린나이트, 녹니석이며 일라이트는 보통이고 다른 점토광물은 소량으로 나타났다.



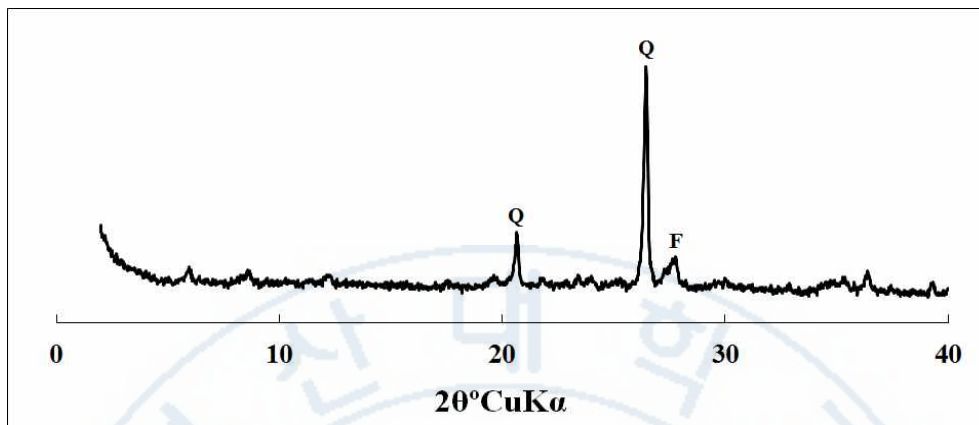


Fig. 68. XRD pattern of W09 sample in Sansimbong-oreum.

Q: quartz, F: feldspar.

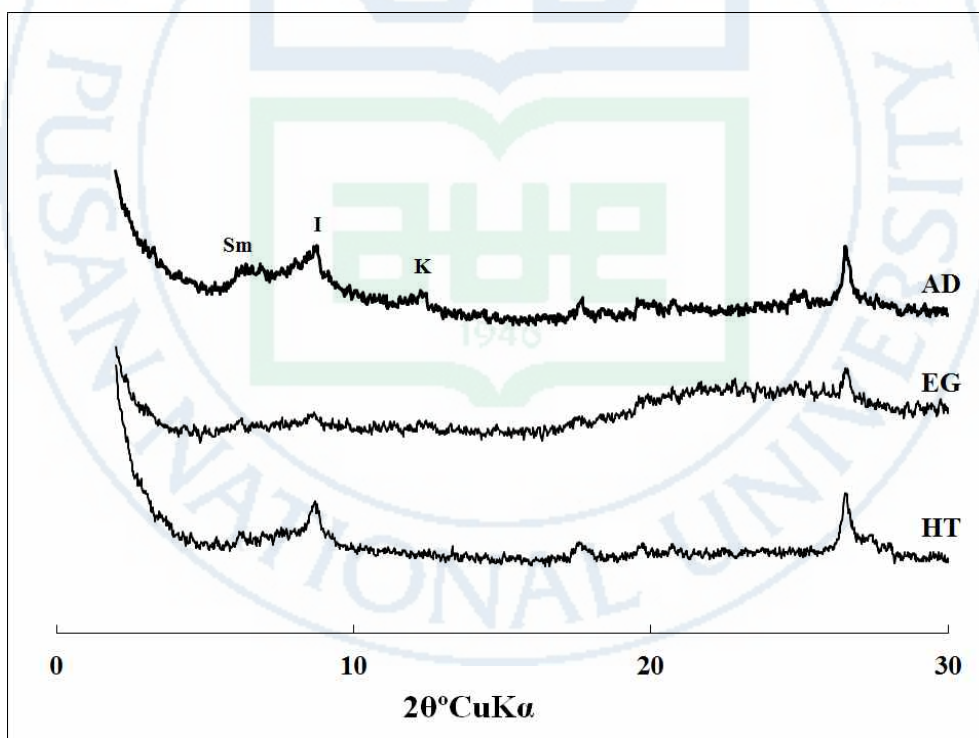


Fig. 69. XRD patterns of W09 sample in Sansimbong-oreum after various treatment. AD: untreated, EG: treated with ethylene glycol, HT: heated at 550°C for 1 hour. Sm: smectite, I: illite, K: kaolinite.

2-4. X-선 정량 분석

2-4-1. X-선회절 정량프로그램에 의한 분석

구성광물의 분석은 전술한 바와 같이 X-선회절분석을 사용하였다. 구성광물의 정량분석은 X-선회절분석 결과로부터 정량분석을 할 수 있는 프로그램인 SIROQUANT 3.0v를 이용하였다. 이렇게 해서 나온 전암시료의 정량분석 결과를 Table 3에 나타내었다. 그러나 X-선 회절에 의한 정량분석은 시료의 결정성이 나쁜 경우나 무정형(비정질) 물질이 섞여있는 경우 등은 문제가 많은 것으로 알려졌다. 이번 연구에서 분석한 시료는 전암시료를 대상으로 하였으며, 전암시료에는 비정질물질이 다량으로 포함된 경우도 있고 결정도가 낮은 점토광물이 포함되는 경우가 많이 있어서 정량분석의 정확도를 단정하는데 다소 문제가 발생할 것으로 본다. 따라서 이에 대한 이해가 필요하다.

Table 3에 나타냈듯이 대부분의 시료에서 석영이 포함되며, 석영의 함량은 0 - 63%의 범위로 다양하게 나타났다. 장석은 거의 모든 시료에서 포함되었는데, 그 중에서 사장석은 6 - 74%의 범위를 보이고, 칼륨장석은 9 - 68%의 범위로 다양하게 나타났다. 일라이트(운모 포함)는 대부분 시료에서 나타나며, 0 - 20%의 범위를 나타낸다. 일라이트와 운모는 X-선회절분석으로는 구분하기가 어렵기 때문에 구분하지 않고 같이 포함하여 검토하였다. 상동리 E06시료에는 다른 시료와는 달리 석영이 포함되지 않고 자철석 17%, 휘석 23%, 감람석 17%로 나타났다.

Table 3. Mineral compositions of the mudstone in the Tamna Formation

Sample No.	Locality	mineral																
		Qz	Pl	Fd	Ka	Mi	Ch	Am	He	Al	Ca	Ma	Gi	Ze	Cr	Si	Fo	Py
E01	Dongbok-ri	40.1	23.7	16.8	4.1	10.7	4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E02	Tosan-ri	53.5	6.2	14.5	9.7	7.4	5.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E03	Kyore-ri	32.6	23.5	15.1	5.6	3.9	9.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.3
E04	Hwabuk-dong	1.6	71.2	19.8	0.4	0.3	1.1	-	-	-	-	5.7	-	-	-	-	-	-
E05	Handong-ri	34.4	15.5	9.6	9.0	3.8	3.2	-	8.1	-	-	9.3	-	-	-	-	-	-
E06	Songdang-ri	-	20.0	15.6	2.0	1.2	1.0	-	-	-	-	17.2	-	-	-	-	17.8	23.1
E07	Decheon-dong	4.2	62.4	8.5	0.1	1.4	1.8	-	-	-	-	5.3	-	-	-	-	-	16.4
E08	Gimnyeong-ri	48.5	18.0	14.7	4.4	3.3	7.4	-	-	-	-	3.8	-	-	-	-	-	-
E09	Pyeongde-ri	40.6	19.0	15.2	7.1	3.5	9.3	-	1.9	-	-	3.5	-	-	-	-	-	-
E10	Seongup-ri	31.7	20.0	13.9	6.4	14.4	8.3	-	-	-	-	5.3	-	-	-	-	-	-
C01	Eosichen-river	9.6	27.2	63.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C02	Depyoeng-ri	25.4	21.1	19.9	10.7	5.1	7.1	-	-	-	-	10.7	-	-	-	-	-	-
C03	Seohong-dong1	17.2	13.9	29.5	12.8	20.3	6.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C04	Bekrokdam	0.9	61.4	27.2	0.1	7.3	1.0	4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C05	Sajebidongsan	5.1	41.1	30.8	6.0	11.9	5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C06	Daepo-dong	31.0	26.6	18.3	6.1	10.8	7.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C07	Dosun-ri	45.0	9.0	9.9	12.3	11.5	12.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C08	1100goji	14.0	31.4	19.1	4.5	9.0	9.4	-	12.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Keys: Qz: quartz, Pl: plagioclase, Fd: k-feldspar, Ka: kaolin, Mi: mica, Ch: chlorite, Am: amphibole, He: hematite, Al: alunite, Ca: calcite, Ma: magnetite, Gi: gibbsite, Ze: zeolite, Cr: cristobalite, Si: siderite, Fo: forsterite, Py: pyroxene.

Table 3. Continued

Sample No.	Locality	mineral																
		Qz	Pl	Fd	Ka	Mi	Ch	Am	He	Al	Ca	Ma	Gi	Ze	Cr	Si	Fo	Py
C09	Tamragegok-valley	43.5	20.1	13.9	4.3	5.4	12.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C10	Eorimok2	29.8	27.5	20.4	3.0	7.6	10.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C11	Bulgeun-oreum	-	13.7	33.4	-	-	-	-	20.5	17.4	9.6	-	-	-	-	-	-	-
C12	Hangpaduri	64.0	15.4	15.4	5.8	1.3	1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C13	Hawon	18.4	26.9	26.5	6.8	8.7	6.7	-	-	-	-	-	5.9	-	-	-	-	-
C14	Dongsugyo1	33.2	22.6	16.0	4.2	9.0	15.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C15	Yonggingak1-sand	2.0	48.8	33.8	8.3	3.3	2.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C16	Yonggingak2-mud	-	34.7	64.7	-	-	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C17	Ora-dong	-	52.3	31.2	-	-	-	-	-	-	-	9.9	-	-	-	-	-	-
C18	Gemimok	33.6	14.5	29.7	3.4	2.1	8.9	-	-	-	-	-	7.8	-	-	-	-	-
C19	Seondoll	24.9	27.1	22.5	5.4	4.9	8.5	-	1.2	-	-	-	5.4	-	-	-	-	-
C20	Witseoreum	8.2	53.8	19.8	1.8	1.1	2.4	-	-	-	-	5.9	7.0	-	-	-	-	-
C21	Hanchen-river1	25.2	28.1	17.9	6.6	5.0	9.2	-	-	-	-	6.8	1.2	-	-	-	-	-
C22	Hanchen-river2	19.4	19.5	47.5	3.1	7.0	5.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C23	Nohyeong-dong	52.8	12.9	16.6	5.2	2.8	9.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C25	Dopyoung	0.3	33.2	50.0	2.3	0.6	1.1	-	6.0	-	-	6.5	-	-	-	-	-	-
C26	Hakrim-dong	1.2	55.5	11.7	2.5	0.6	1.8	-	-	-	-	2.2	-	-	-	-	-	20.2
C28	Muljangol-oreum	19.6	74.3	-	1.8	0.6	3.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Keys: Qz: quartz, Pl: plagioclase, Fd: k-feldspar, Ka: kaolin, Mi: mica, Ch: chlorite, Am: amphibole, He: hematite, Al: alunite, Ca: calcite, Ma: magnetite, Gi: gibbsite, Ze: zeolite, Cr: cristobalite, Si: siderite, Fo: forsterite, Py: pyroxene.

Table 3. Continued

Sample No.	Locality	mineral																
		Qz	Pl	Fd	Ka	Mi	Ch	Am	He	Al	Ca	Ma	Gi	Ze	Cr	Si	Fo	Py
C29	Dongsugyo2	16.8	26.4	20.3	3.9	1.2	4.2	-	1.9	-	-	4.9	-	-	-	-	6.0	14.3
C30	Dosundawon	39.6	10.9	12.8	11.7	3.5	10.3	-	-	-	-	-	11.2	-	-	-	-	-
C31	Keumsanmokjang	17.2	32.9	19.7	6.2	3.6	6.2	-	-	-	-	10.8	3.3	-	-	-	-	-
C32	Yongjingak3	0.1	30.3	68.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C33	Seohong-dong2	8.0	22.1	31.6	7.0	13.9	2.4	-	-	-	-	4.7	-	-	-	-	-	10.3
C34	Hancheon-river3	44.9	27.0	18.1	2.0	5.6	2.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C35	Hancheon-river4	39.0	23.2	16.5	8.4	5.3	7.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C36	Seondol2	24.0	14.8	25.6	9.3	9.3	7.9	-	-	-	-	9.2	-	-	-	-	-	-
C37	Dare-oreum	-	33.8	59.7	-	-	0.8	-	2.8	-	-	2.9	-	-	-	-	-	-
W01	Hanwon	47.3	21.1	11.9	3.6	4.0	4.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W02	Kosan-ri	43.4	25.8	13.8	7.1	4.2	5.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W03	Sinpyoung-ri	48.6	23.1	18.7	4.3	2.7	3.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W04	Myoungwol-ri	49.5	15.8	13.7	6.0	7.2	7.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W05	Sangde-ri	46.8	17.2	12.0	8.6	7.3	6.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W06	Hwasun-ri	8.5	27.2	10.9	5.1	2.8	4.6	-	5.1	-	1.9	-	-	19.1	2.5	4.4	2.1	5.9
W07	Hamo-ri	56.4	12.5	11.5	4.4	2.1	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W08	Deoksu-ri	43.8	14.4	15.9	11.4	3.5	11.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W09	Sansimbong-oreum	41.3	22.8	17.5	5.2	4.6	8.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Keys: Qz: quartz, Pl: plagioclase, Fd: k-feldspar, Ka: kaolin, Mi: mica, Ch: chlorite, Am: amphibole, He: hematite, Al: alunite, Ca: calcite, Ma: magnetite, Gi: gibbsite, Ze: zeolite, Cr: cristobalite, Si: siderite, Fo: forsterite, Py: pyroxene.

2-4-2. X-선회절 강도 비교에 의한 구성광물의 상관관계

전술한 바와 같이 X-선회절의 정량분석에는 정확성에 대해 다소 문제가 많은 것으로 알려지고 있다. 따라서 석영과 점토광물의 함량에 대한 상호 관계를 검토하고자 그 광물들의 대표적 회절선의 강도를 측정하여 Fig. 70과 71에 나타냈다. 회절선의 강도는 그 광물의 함량에 거의 비례하는 것으로 알려져 있기 때문이다. 그림에는 석영의 가장 큰 회절선 강도와 점토광물에 해당되는 14\AA , 10\AA , 7\AA 의 각 회절선 강도에 대한 상관도를 각각 나타냈다. Fig. 70에는 후술할 대표적인 5개의 광물조합을 구분하여 표시하였다. 그리고 Fig. 71에는 동부, 중부, 서부의 시료채취 지역을 구분하여 나타냈다.

Fig. 70에서 보면, 석영을 다량 함유하는 A 광물조합이 역시 석영의 회절선강도가 높은 곳에 표시되며, 시료의 수도 가장 많은 것으로 나타난다. 14\AA 회절선의 강도와 석영의 강도와의 관계를 보면, 석영의 강도가 작은 곳에서는 14\AA 회절선 강도가 작게 나타나고, 석영의 강도가 높은 곳에서는 14\AA 회절선 강도가 다소 크게 나타나는 경향을 가진다. 이것으로 보아 석영이 많은 곳에서는 14\AA 회절선에 관계하는 버미큘라이트와 녹니석의 함량도 높은 것으로 볼 수 있다. 반면에 석영이 적은 곳에서는 버미큘라이트와 녹니석의 함량도 적은 것으로 볼 수 있다. 10\AA 회절선의 강도와 석영의 강도와의 관계를 보면, 점토광물이 특히 많은 E 광물조합을 제외하면, 석영의 강도에 상관없이 10\AA 회절선의 강도는 거의 일정한 것으로 나타났다. 이것으로 보면 10\AA 회절선에 해당되는 광물로는 일라이트가 주를 이루고 있으나, 일부 시료는 10\AA -할로이사이트에 해당되는 것으로 생각된다. 즉 10\AA 회절선 강도가 매우 큰 시료는 E 광물조합에 해당되며, 이것은 전술한 바와 같이 10\AA -할로이사이트에 해당된다. 이러한 할로이사이트 시료를 제외하면 일라이트의 함량은 석영의 함량과 거의 관계없이 거의 유사한 것으로 볼 수 있다. 즉 일라이트는 큰 차이 없이 두루 산출되는 것으로 보인다. 7\AA 회절선의 강도와 석영의 강도와의 관계를 보면, 석영의 강도가 작은 곳에서는 7\AA 회절선 강도가 작게 나타나고, 석영의 강도가 높은 곳에서는 7\AA 회절선 강도가 다소 크게 나타나는 경향을 가진다. 이것으로 보아 석영이 많은 곳에서는 7\AA 회절선에 관계하는 카올린나이트의 함량도 높은 것으로 볼 수

있다. 반면에 석영이 적은 곳에서는 카올린나이트의 함량도 적은 것으로 볼 수 있다.

동부, 중부, 서부의 시료채취 지역을 구분하여 나타낸 Fig. 71에는, 석영의 회절선 강도가 높은 시료들은 동부, 중부, 서부의 모든 지역에서 나타났다. 이것으로 볼 때 지역에 따라 큰 차이 없이 석영이 포함되는 것으로 보인다. 그러나 각 지역별 채취 시료수를 기준으로 볼 때 서부지역의 시료가 상대적으로 다소 높은 석영 함량을 가지는 것으로 생각된다. 석영이 거의 포함되지 않는 시료들로서는 주로 중부지역에서 많고 일부 동부도 포함되는 것으로 나타났다. 이것은 현무암질 화산성 물질의 유입에 관련 되는 것으로 생각된다. 이러한 결과는 전술한 지질학적 내용과 대체로 일치하는 것으로 보인다.

14Å 회절선의 강도와 석영의 강도와의 관계를 보면, 14Å 회절선 강도가 높은 곳에서는 서부지역의 시료가 다소 많으며, 14Å 회절선 강도가 다소 낮은 곳에서는 중부와 동부의 시료가 많이 분포하고 있다. 이것으로 보아 석영이 많으며 14Å 회절선에 관계하는 버미큘라이트와 녹니석의 함량이 높은 시료들은 서부지역에 비교적 많이 분포하며, 반면에 석영이 적고, 버미큘라이트와 녹니석의 함량이 적은 시료들은 주로 중부와 동부의 시료들인 것으로 나타났다. 10Å 회절선의 강도와 석영의 강도와의 관계를 보면, 10Å 회절선 강도가 특히 높은 10Å-할로이사이트를 포함하는 중부지역의 3개 시료를 제외하면, 지역별 차이가 별로 없는 것으로 나타난다. 즉 일라이트는 지역에 따른 차이를 잘 나타내지 않는 것으로 생각된다. 7Å 회절선의 강도와 석영의 강도와의 관계를 보면, 7Å 회절선 강도가 높은 곳에서는 중부와 동부지역의 시료가 다소 많으며, 7Å 회절선 강도가 다소 낮은 곳에서도 중부와 동부의 시료가 많이 분포하고 있다. 이것으로 보아 카올린나이트는 중부와 동부의 시료에서 다소 많이 나타나지만 카올린나이트가 적은 시료들도 이들 지역에 포함된다고 볼 수 있다. 서부지역은 석영이 다소 많고 카올린광물이 중간 정도로 되는 시료들이 많은 것으로 볼 수 있다. 이상과 같이 시료 채취지역에 따라서 구성광물의 차이가 다소 다르게 나타났다.

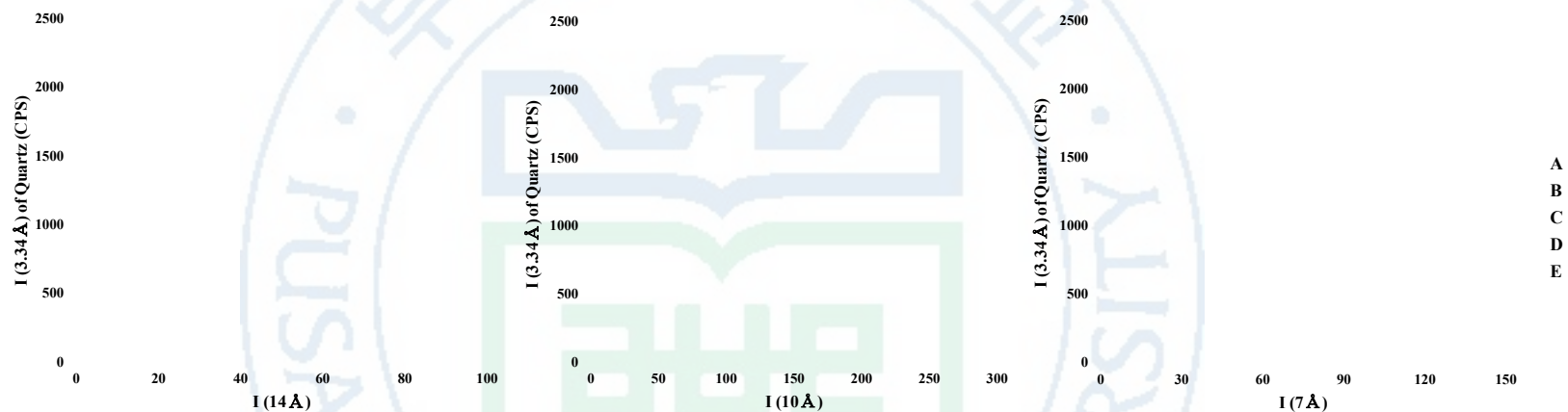


Fig. 70. Relationship between the XRD intensity of quartz and intensity of 14 Å, 10 Å and 7 Å of clay minerals. (A) quartz rich mineral assemblages, (B) amorphous material rich mineral assemblages, (C) mineral assemblages having a small quantity of quartz, (D) feldspar rich mineral assemblages, (E) other mineral assemblages.

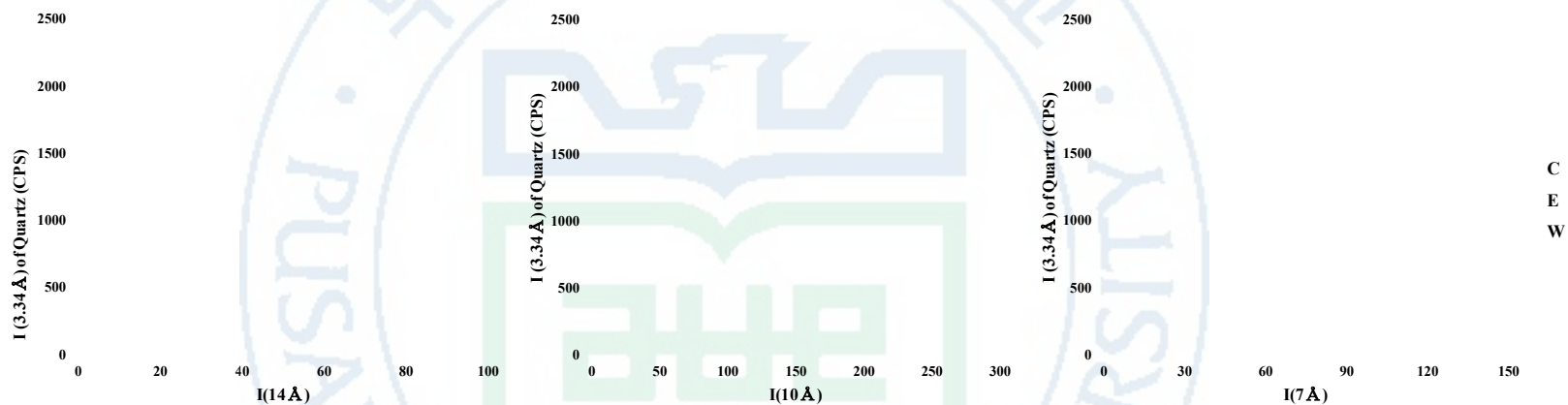


Fig. 71. Relationship between the XRD intensity of quartz and intensity of 14 Å, 10 Å and 7 Å of clay minerals. (A) central part area, (B) east part area, (C) west part area.

2-5. 광물조합의 분포와 특성

이번 연구에서 도출된 X-선회절분석 결과를 통하여 시료별 구성광물의 광물조합을 검토하였다. 전암시료의 분석에 따른 주 구성광물 조합과, 시료를 점토입자로 분리 후 분석한 점토광물 조합으로 나누어 검토하였다. 아래와 같이, 이들의 각 광물조합의 종류를 구분하고, 그 분포상태와 산출특성 등에 대해 알아보았다.

2-5-1. 주 구성광물 조합

연구지역의 모든 전암시료에서 산출되는 주 구성광물의 조합을 검토해 본 결과, Table 4와 같이 크게 5개의 조합으로 구분되었다. 이들의 대표적인 X-선회절패턴을 Fig. 72에 나타냈다. 이들의 각 광물조합에 대한 분포상태를 Fig. 73에 나타냈다. 이러한 광물조합별 구성광물과 산출특성 등에 대해 알아보는다.

Table 4. The types of mineral assemblages

Type	Mineral assemblages
A-Type	Q >> Clay Mineral >> F
B-Type	Amorphous >> Q, F
C-Type	F >> Q
D-Type	F >> Amorphous
E-Type	Clay Mineral >> others

A조합은 석영이 다량으로 포함되며, 그 다음으로 점토광물이 많고 장석이 소량 포함되는 광물조합이다. B조합은 비정질물질이 우세하고 석영과 장석이 소량 포함되는 광물조합이다. C조합은 석영이 소량이며 석영에 비해 장석을 다량 함유하는 광물조합이다. D조합은 장석을 주로 구성하며 비정질물질도 포함되는 광물조합이다. E조합은 기타조합으로 점토광물이 아주 우세

하거나 아날심 등의 특정광물이 포함되는 광물조합이다. 분석한 시료 중에서는 A조합이 가장 많이 나타났다. 이것으로 보아 탐라층의 이질암에는 석영을 다량 함유하는 광물조합이 주를 이루고 있는 것으로 보아도 좋을 것으로 생각된다. A조합은 중부, 동부, 서부의 모든 지역에서 거의 고루 분포하고 있으나, 서부의 시료에서는 거의 모두 A조합으로 나타난다. 즉 서부지역에서는 광물조합의 종류로 볼 때 다른 지역에 비해 A조합이 월등히 많이 분포한다. 석영이 적거나 없고, 반면에 비정질과 장석을 다량 함유하는 B, C, D의 조합들은 중부지역에 주로 분포하며, 일부는 동부지역에 나타나고 있다. 이러한 광물조합은 전술한 바와 같이 현무암질 화산성 물질의 유입에 의한 것으로 생각된다. 이러한 조합이 중부와 동부에 많은 것도 전술한 지질층서와도 잘 일치하고 있는 것으로 생각된다. E조합은 점토광물인 10\AA -할로이사이트가 포함되는 시료와 제올라이트인 아날심을 포함하는 광물조합으로 나타난다. E조합은 중부의 일부 지역에 분포한다. 이상과 같이 구분된 5개의 광물조합들은 지역과 지질조건에 따라 대체로 특징적인 분포를 나타내는 것으로 생각된다.

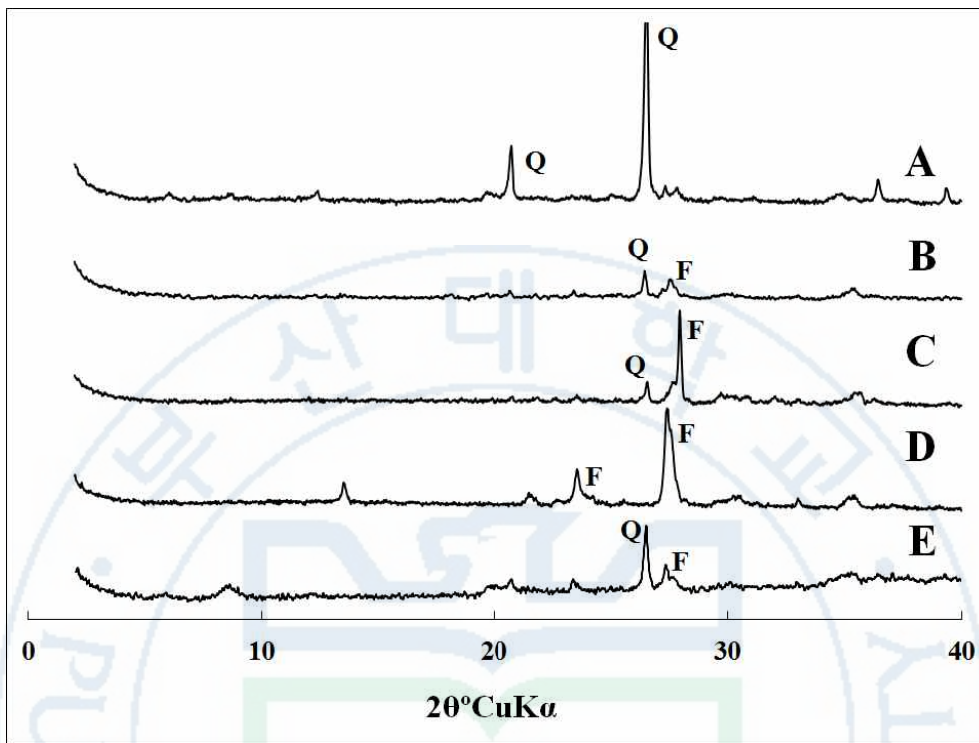


Fig. 72. XRD patterns of the representative mineral assemblages. (A) Quartz rich mineral assemblage, (B) Amorphous material rich mineral assemblage, (C) Mineral assemblages having a small quantity of quartz, (D) Feldspar rich mineral assemblage, (E) Other mineral assemblage.

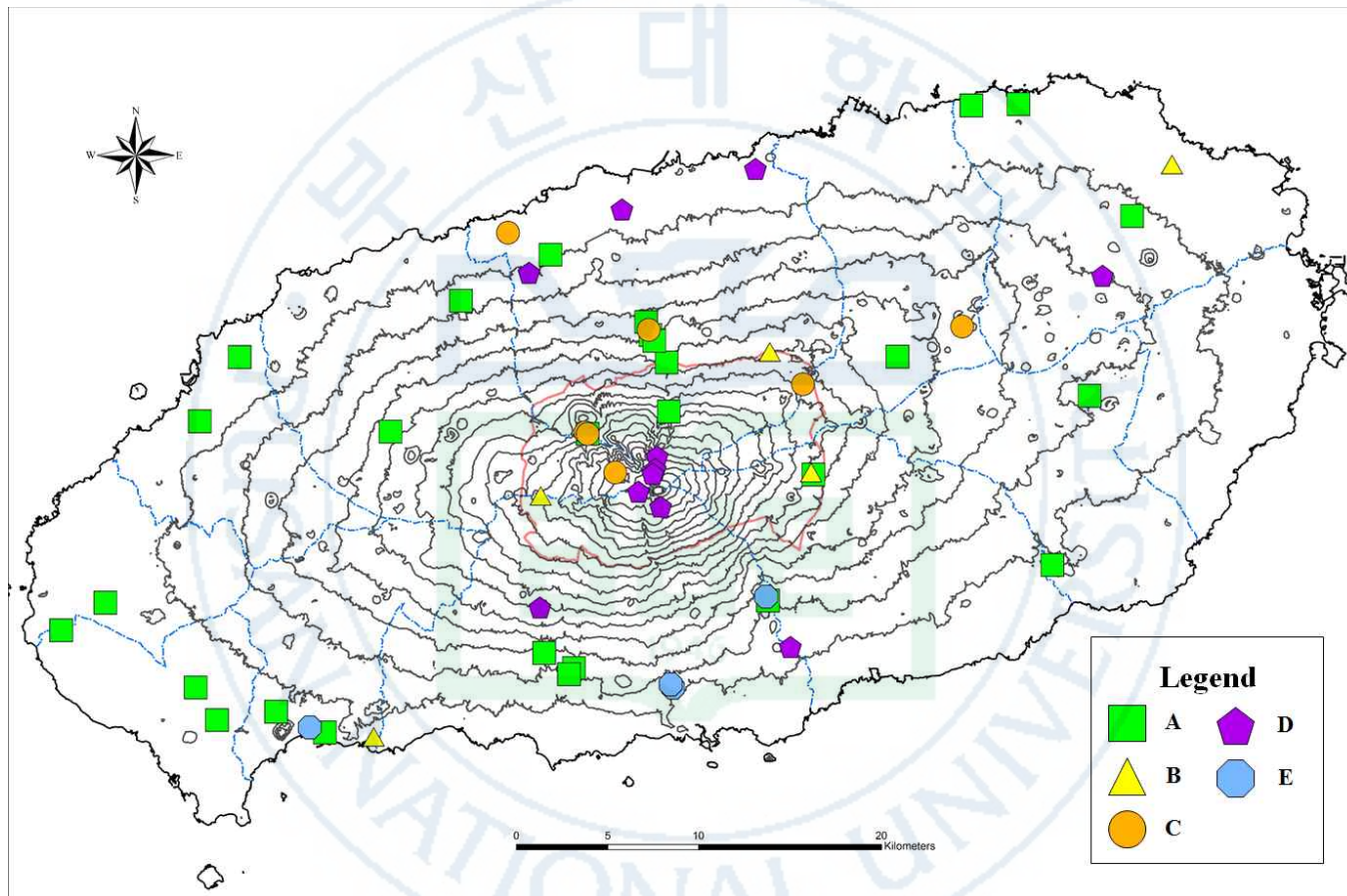


Fig. 73. Distribution map of the mineral assemblages in the Tamna Formation.

2-5-2. 점토 광물 조합

연구지역의 시료에서 산출되는 점토광물의 조합을 검토해 본 결과, Table 5와 같이 크게 8개의 조합으로 구분되었다. 또한 이들의 각 광물조합에 대한 분포상태를 Fig. 74에 나타냈다. 이러한 광물조합별 구성광물과 산출특성 등에 대하여 알아본다.

Table 5. The types of clay mineral assemblages

Type	Clay mineral assemblages
A-Type	Illite
B-Type	Illite > Kaolinite
C-Type	Illite > Smectite
D-Type	Kaolinite > Illite, Vermiculite
E-Type	Kaolinite > Illite, Chlorite
F-Type	Smectite > Illite, Kaolinite
G-Type	10 Å -Halloysite
H-Type	Amorphous material

A조합은 일라이트를 주로 하는 조합이며, 주로 중부지역에 분포한다. B조합은 일라이트와 함께 카올린나이트를 소량 포함하는 조합이며, 이것도 중부지역에 분포한다. C조합은 일라이트와 함께 스멕타이트를 소량 포함하는 조합이며, 이것은 동부의 1개 지점에서만 나타난다. D조합은 다량의 카올린나이트 함께 일라이트와 버미큘라이트를 소량 수반하는 조합이며, 대부분 서부지역에 분포하며 일부 중부지역에도 나타난다. E조합은 다량의 카올린나이트 함께 일라이트와 녹니석을 소량 수반하는 조합이며, 여러 지역에서 나타나지만 중부와 서부지역에서 다소 많이 분포한다. F조합은 스멕타이트 함께 일라이트와 카올린나이트를 소량 수반하는 조합이며, 여러 지역에서 나타나지만 중부와 서부지역에 대체로 많이 분포한다. G조합은 10 Å -할로이사이트를 포함하는 것으로 중남부 지역의 일부 지점에서만 나타난다. H조합은 X-선회절선이 거의 평탄하며 특징적인 점토광물의 회절선이 나타나지

않는 조합으로 주로 비정질물질인 것으로 생각된다. 이들 광물조합은 주로 중부와 동부지역에서 나타난다.

이상과 같은 결과로 볼 때, 전술한 전암시료의 광물조합과 유사하게 지역별로 분포특성을 나타내는 것으로 보인다. 특히 카올린나이트와 버미큘라이트가 다량 포함되는 점토광물의 조합은 서부지역의 고산리 일대에서 특징적으로 많이 분포하고 있다. 이것은 내륙의 풍화토인 황토의 성분(황진연 외, 2000)과 매우 흡사한 것으로 나타났다. 따라서 내륙과 연관성이 큰 지질에서 유래한 것으로 생각된다. 그 외에 후술할 구상 형태를 보이는 10\AA -할로이사이트를 발견한 것도 특기할 만하다. 이번 연구에서 다양한 점토광물들이 산출되며 특징적인 산상과 분포를 나타낸다는 것은 탐라층 이질암의 기원지와 퇴적양상 등의 퇴적환경과, 그리고 그 이후의 풍화 및 열수변질 등의 여러 변화를 겪었음을 나타내는 것으로 생각된다. 따라서 퇴적암의 생성과정을 알기 위해서는 이러한 자세한 광물학적 연구가 필요한 것으로 생각된다.

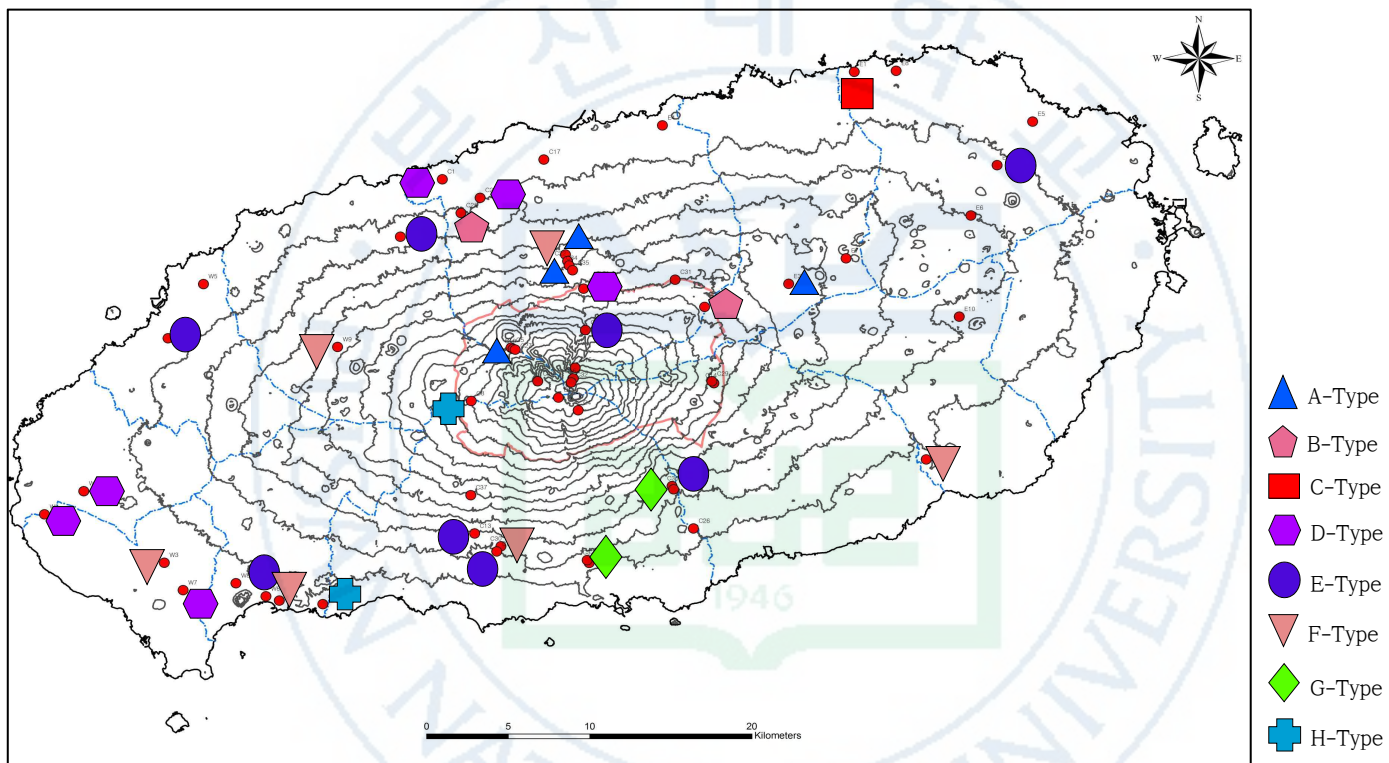


Fig. 74. Distribution map of the clay mineral assemblages in the Tamna Formation.

2-6. 주사전자현미경(SEM/EDS) 관찰

2-6-1. 석영

탐라층 이질암에서는 큰 입자의 석영과 함께, X-선회절분석에서도 다량의 석영이 포함되는 것으로 나타났다. X-선회절분석의 결과로 볼 때, 육안적으로 구분하지 못하는 미립의 석영이 다량 포함되어 있는 것을 알 수 있다. 따라서 이러한 미립의 석영에 대해 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 그 형태를 조사해 보았다. 관찰한 시료 중에서 토산리 시료에 포함된 석영의 결정형태를 Fig. 75에 나타냈다. 여기에 보이는 것은 작은 쇄설성 입자 형태를 나타내며 입경이 8 - 12 μm 정도로 나타났다. 이것보다 작은 입자들도 많이 포함되어 나타났다. 따라서 탐라층 이질암에서는 육안적으로 판별되는 수 cm의 큰 석영입자에서부터 수 μm 의 미립 석영입자에 이르기까지 다양한 크기와 형태가 나타나는 것을 알 수 있다.

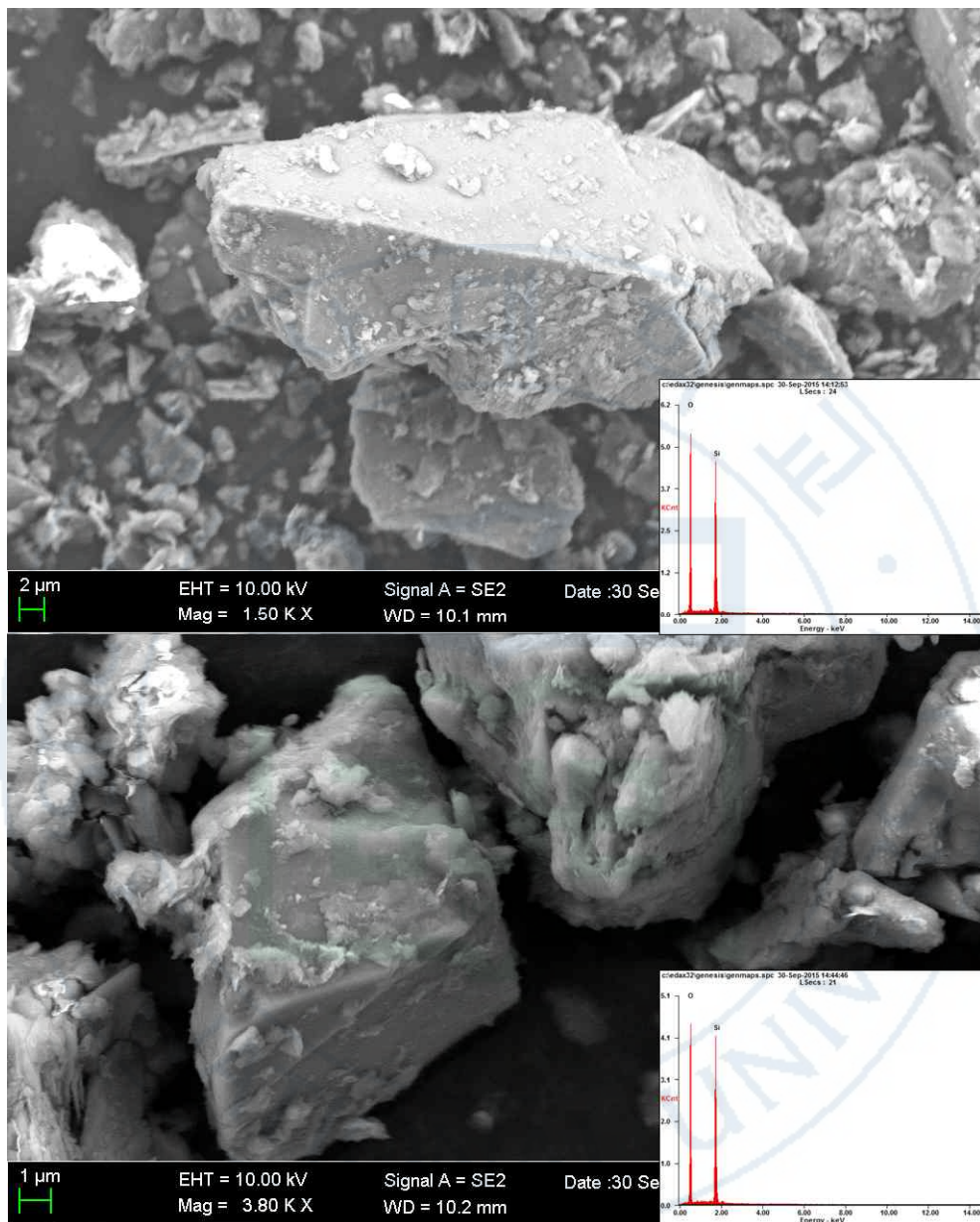


Fig. 75. SEM images showing quartz and EDS analysis.

2-6-2. 10Å -할로이사이트

전술한 바와 같이 중부지역의 서흥동시료, 선돌시료, 어리목시료에서 10Å -할로이사이트가 산출되었다. 이들에 대해 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 그 형태를 조사해 보았다. 그 결과 Fig. 76에 나타냈다. 그림에서 보는 바와 같이, 작은 구상의 입자들이 대부분을 나타냈다. 일부에서 약간 길쭉한 튜브상과 유사한 형태를 보이는 부분도 포함된다. 그림에서와 같이 EDS의 분석으로 Al이 많은 규산염광물로 나타나서 할로이사이트에 해당되는 것임이 확인되었다. 일반적으로 할로이사이트는 풍화작용에서 주로 형성되는데, 먼저 구상의 형태가 형성되고 그 후에 풍화가 진행됨에 따라 튜브상으로 변하는 것으로 알려지고 있다. 이번에 분석한 10Å -할로이사이트는 대부분 구상체를 나타내어 풍화작용의 초기단계 물질인 것으로 생각된다. 구상체의 직경은 주로 0.07 - 0.15 μm 의 것이 많은 것으로 나타났다. 튜브상의 형태도 매우 짧고 두터우며 매우 드물게 나타난다. 그리고 구상과 튜브상의 중간형태에 가까운 타원상 내지는 불규칙한 형태의 모양이 나타나는 것으로 볼 때, 이들이 구상에서 튜브상으로 변화되는 중간과정의 것으로 생각된다. 이러한 구상의 10Å -할로이사이트는 국내에서 드물게 보고된 것으로 생각된다. 경남 하동-산청지역의 고령토광산과 내륙의 일반적인 풍화토에서는 튜브상의 할로이사이트가 주로 나타난다.

10Å -할로이사이트 시료의 대표적인 X-선회절패턴을 Fig. 77에 나타냈다. 10Å -할로이사이트는 무처리에서 10Å의 회절선을 나타내고, 에칠렌글리콜 처리시 11Å으로 약간 이동하였고, 550°C로 가열처리에서 회절선이 소멸되었다. 이것으로 보아 10Å -할로이사이트로 판정하였다. 할로이사이트는 카올린 군 광물로서 결정구조 및 화학식은 카올린나이트와 유사하나 층간에 물 분자가 존재하는 것이 다르다. 화학식은 $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 이다.

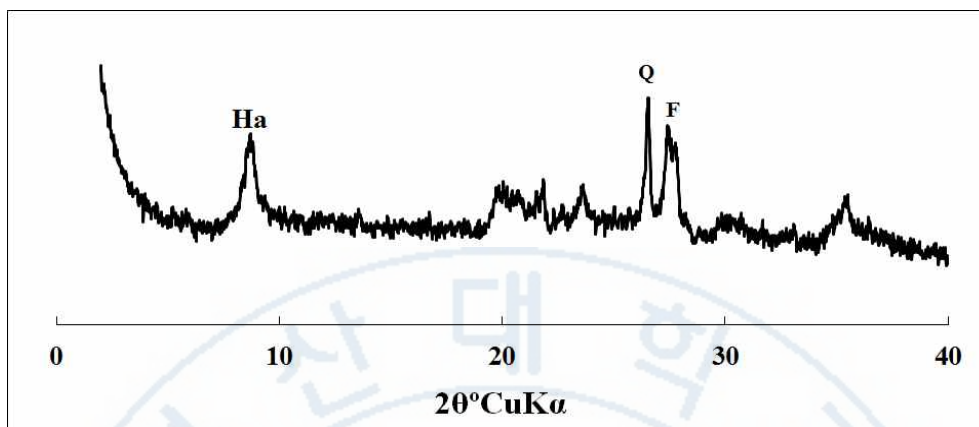


Fig. 76. XRD pattern of C33 sample in Seohong-dong. Q: quartz, F: feldspar, Ha: halloysite.

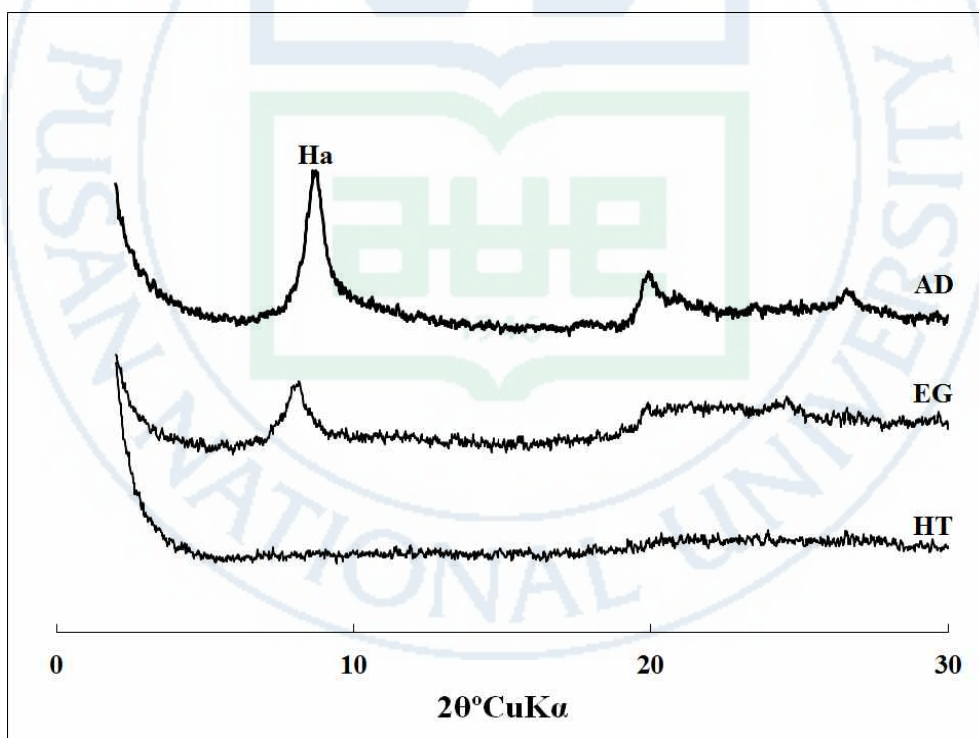


Fig. 77. XRD patterns of C33 sample in Seohong-dong after various treatment. AD: untreated, EG: treated with ethylene glycol, HT: heated at 550°C for 1 hour. Ha: halloysite.

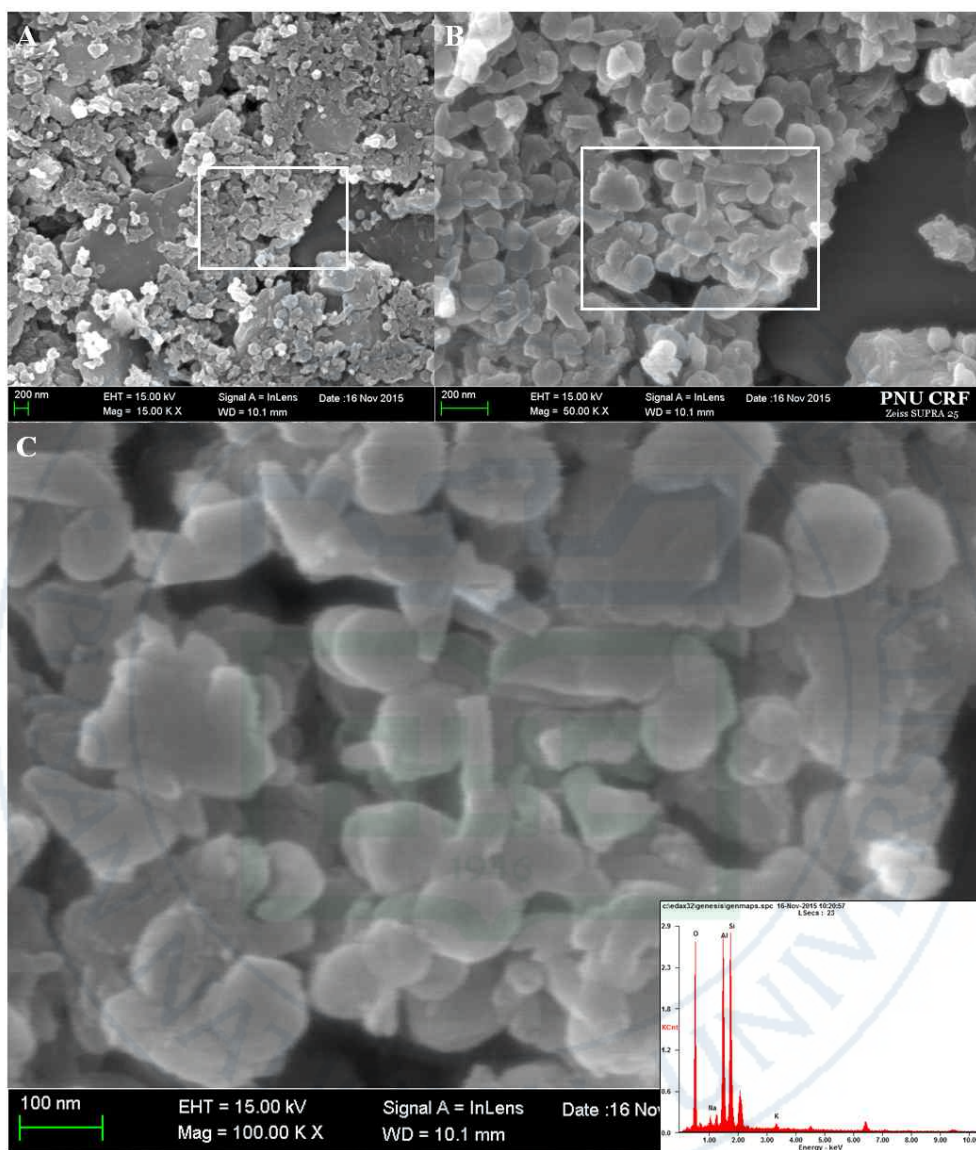


Fig. 78. SEM images showing 10Å-halloysite and EDS analysis.

(A) x15,000, (B) x50,000, (C) x100,000.

V. 근원지 고찰

1. 근원지 고찰의 목적

전술한 바와 같이 규암과 석영맥에서 유래된 것으로 보이는 큰 입자의 석영이 탐라층 이질암에 포함되며, X-선회절분석의 결과에서도 이질암의 세립질로서 다량의 석영이 산출되는 것이 확인되었다. 이러한 석영들은 제주도의 구성암인 현무암과 조면암 그리고 현무암질 화산쇄설성 퇴적암에서는 공급될 수 없는 것들로서 그 공급지를 고찰하는 것은 매우 중요하다고 본다.

현재까지 제주도의 구성암이 아닌 것으로 보고된 것은 별도봉 화산쇄설층에 포획된 흑운모화강암, 우도 소머리오름층에 포획된 백악기 응회암, 송악산과 수월봉의 화산재층에 포획되어 있는 편마암 등이다. 제주도 기반암의 시추시료의 방사성 동위원소 연령에 의하면, 제주도의 기반에는 두 시대의 화강암이 분포하고 있다. 즉 안건상 외(1995)는 만장굴 부근의 시추코아 화강암은 미문상화강암이며 방사성 동위원소(K-Ar) 연령이 $58.1 \pm 1.4\text{Ma}$ 로서 남해안의 미문상화강암(불국사화강암)에 대비된다고 하였다. 또 Kim et al. (2002)은 별도봉의 화성쇄설물에 들어 있는 흑운모화강암의 방사성 동위원소(K-Ar) 연령이 $172.4 \pm 5.2\text{Ma}$ 로서 주라기의 대보화강암에 대비되며 옥천대가 제주도의 기반을 이루고 있다고 하였다.

이러한 기반암의 지질적 특징은 서귀포층과 표선리현무암군을 사이에 둔 탐라층에는 영향을 줄 수 없다. 그러므로 탐라층에서 산출되는 이러한 석영들의 근원지를 고찰해 볼 필요가 있다.

2. 탐라층에서 규암과 맥석영과 같은 역의 산출

제주도 동남부의 표선면 토산리의 함력 사질 이암층에서 규암과 맥석영과 같은 역들이 산출하는 것으로 알려졌다(현원학 외, 2005). 이 층을 토산리함 맥석영사질이암층원이라고 한다. 이 층은 특징적인 층인데, 함세력 사질 이암으로 구성되어 있으며, 현무암질의 소력~중력들이 간간히 산재되어 있다. 분급이 양호하지 않으며, 층리가 조잡하게 발달되어 있다. 이러한 석영 세력들의 크기는 보통 2~3 mm이며 가장 큰 것은 20mm 정도이다. 본 층원은 토산봉의 서측에서 토산봉의 스코리아층을 덮고 있으며, 서 내지 서북으로 10~20° 경사지고 있다. 본 층원 분포지의 서쪽에 있는 송천계곡에는 본 층원의 상위층에 해당하는 사질 이암과 역암으로 구성된 지층이 분포하고 있으며 이 지층을 폭 60~80 cm 정도의 현무암 암맥이 관입하고 있다.

대부분의 역들은 원마도가 양호한 편이며 색은 백색, 적황색, 분홍색을 띠고 있다. 이들은 직경 1-3cm에 달하는 원마도가 좋은 큰 석영 입자들도 많이 나타났다. 이러한 석영 역들의 편광현미경을 통해 살펴보면, 비슷한 크기의 석영결정들이 모자이크 형태로 매우 밀접하게 결정화되어 있다. 이러한 형태는 전형적인 규암의 모습과 유사하다.

3. 탐라층 퇴적물의 근원지

탐라층이 퇴적되기 이전의 제주도를 구성하는 암석들 즉 서귀포층과 표선리현무암군으로 이루어져 있던 제주도지역에는 규암과 석영맥은 전혀 분포하고 있지 않았으므로 규암과 맥석영과 같은 역들은 제주도가 아닌 다른 지역으로부터 운반되어져 온 것이 틀림없다. 규암과 석영맥이 분포하는 지역으로서 제주도에서 가장 가까운 지역은 전라남도 해남~강진 지역이다(Fig. 79).

해남~강진지역은 강원도 강릉~삼척에서 시작하여 충주, 옥천, 전주를 지나 해남지역으로 뻗어 있는 옥천대의 서남단에 해당하는 지역이다. 해남~강진 지역에는 영전층 등 선캄브리아기 지층들과 고생대 석탄기말의 월송층이 분포하고 있는데(김유봉 외, 2001), 월송층에는 석영맥이 많이 관입하여 있다. 규암층은 덕룡산규암이라고 한다. 하천에 의하여 퇴적된 탐라층에서 규암과 맥석영의 역들이 다량 산출한다는 사실은 탐라층이 퇴적될 당시 약 50만년 전에는 해남~강진지역의 지질과 유사한 지질로 되어 있는 지대가 제주도에서 해남~강진지역에 이르는 지대에 넓게 육지로 존재하였으며, 이 육지에서 제주도지역으로 흐르는 하천들이 있어서 이 하천들에 의하여 이질암의 석영과 규암과 맥석영의 역들이 토산리 지역으로 운반되어 왔다는 것을 제시하여 준다(Fig. 80). 이 역들과 함께 현무암질의 세력과 소력들이 산출하고 있는 것으로 보아 이 육지에는 현무암질 화산활동이 있었다.

위와 같은 사실은 다음 두 가지 중요한 사항을 제시하여 준다. 하나는 약 50만년전에는 제주도는 섬이 아니었고 넓은 육지의 일부였으며, 다른 하나는 그 당시에는 한라산은 형성되어 있지 않았었다는 것이다. 토산리지역은 한라산의 남쪽에 있으므로 제주도의 북쪽에서 남쪽으로 흘렀던 하천은 한라산이 있었으면 그 산체를 가로질러 토산리지역에 도달하는 것은 불가능하였기 때문이다. 제주도를 남쪽으로 향하여서는 지형고도가 계속하여 낮아지므로 이 하천들이 제주도의 남쪽으로부터 흘러왔을 수는 없다.

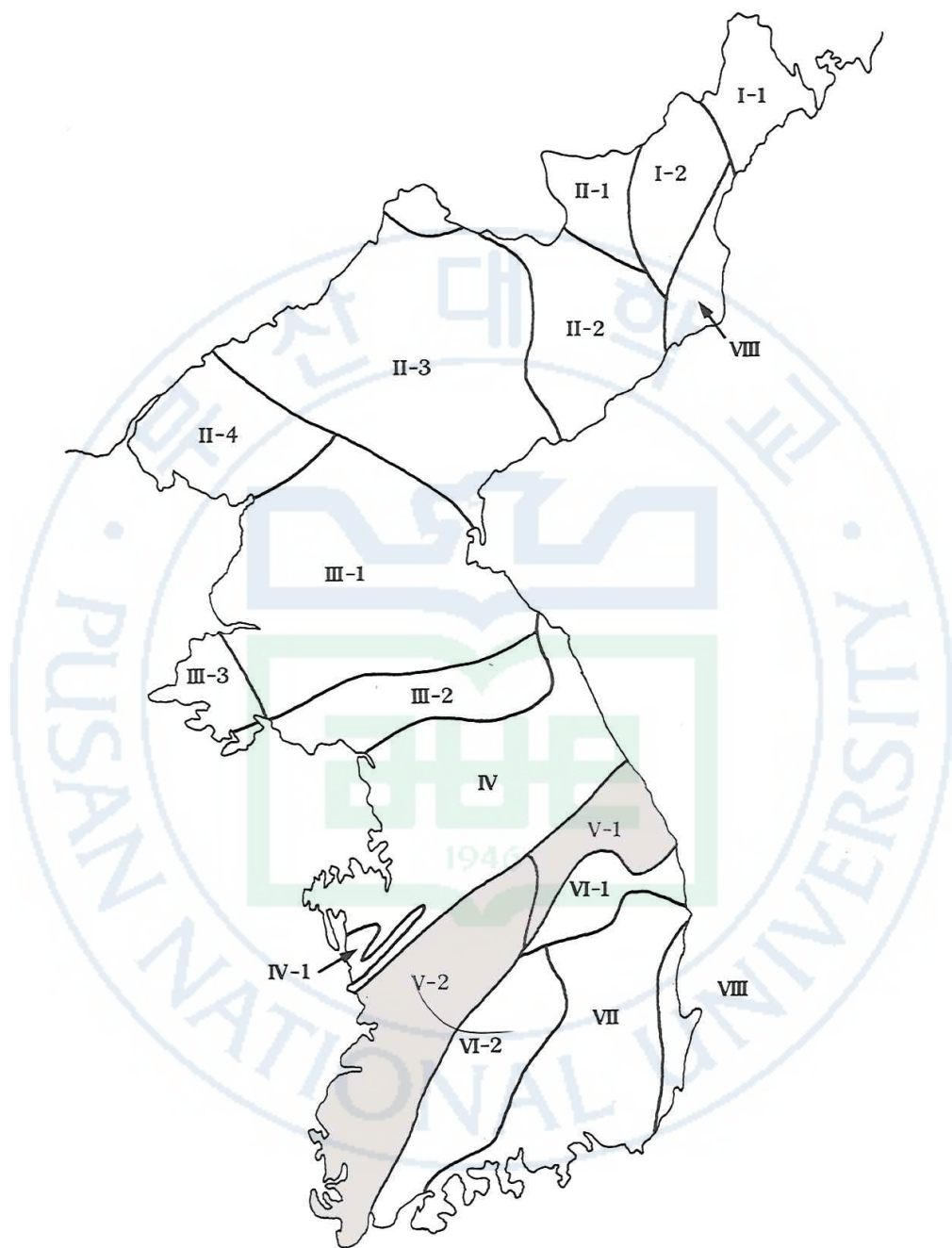


Fig. 79. Tectonic provinces of Korean peninsula.

V-1 and V-2 : Okcheon Belt (Geology of Korea, 2002).

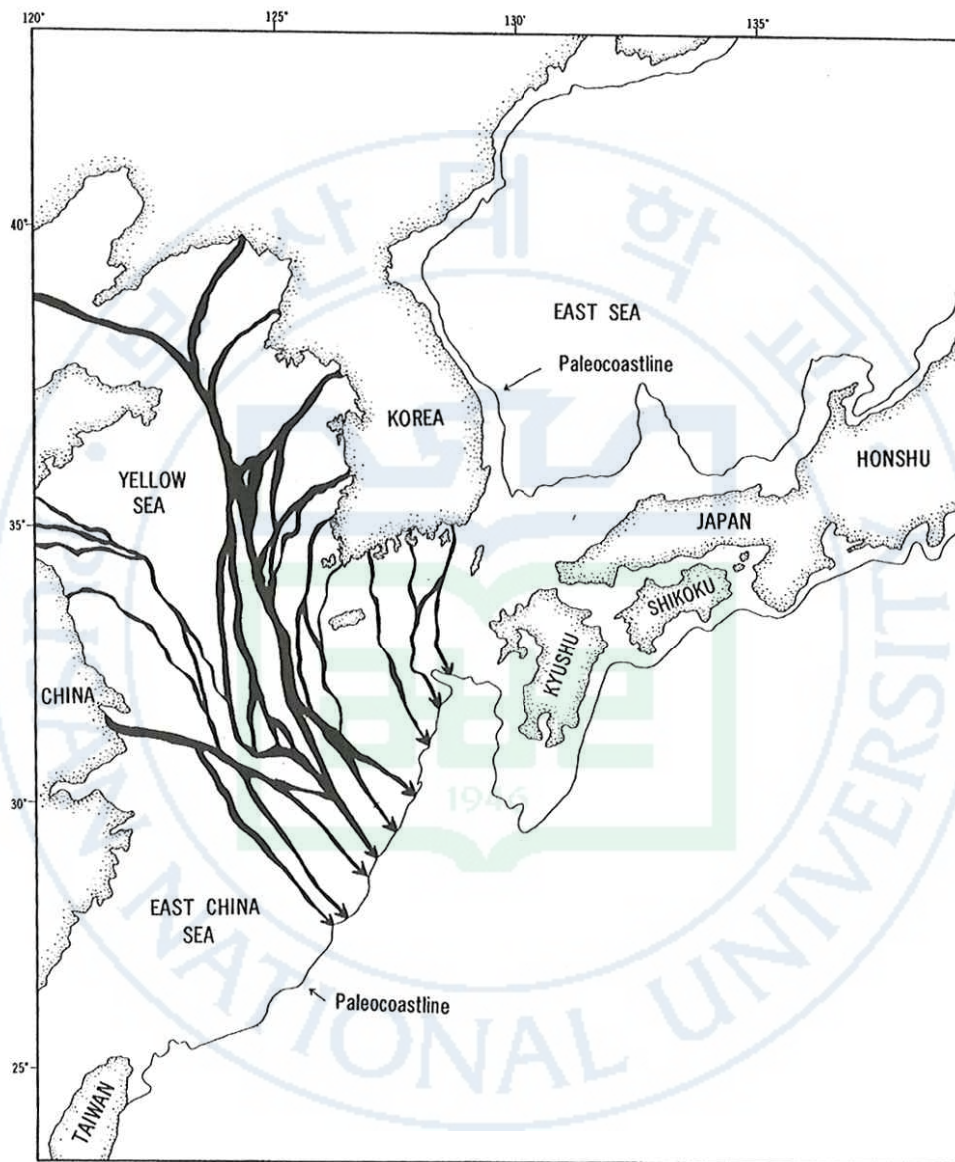


Fig. 80. Paleocoastline and paleoriver channel (Geology of Korea, 2002).

최근에 발표된 서해의 퇴적분지인 군산분지에 대한 지질구조 연구(Shin et al., 2010)에 의한 지질구조도를 Fig. 81에 나타냈다. 지진파 탐사 등으로부터 연구한 결과, 군산분지는 백악기에서 신생대 팔레오진에 이르는 비해양성 퇴적층 약 6000 m로 구성되어 있으며, 이 분지는 백악기 초기에 Tan-Lu 단층의 이동과 함께 유라시아판의 아래로 Izanagi plate의 경사진 섭입에 의하여 대륙의 확장이 일어나 생성된 것으로 보고 있다. 분지 생성 후 지속적인 퇴적작용과 구조운동에 의해 현재의 군산분지가 이루어졌다고 한다. 이러한 분지형성을 포함하는 주변의 광역적 지체구조적 특징과 변화에 의해 서해 해저에 많은 단층들이 나타나고 있다. 서해안 육지에서는 북동-남서 방향의 단층선이 다수 평행하게 잘 발달되어 있다. 이들의 대부분은 서해 해저까지 연장될 것으로 생각되며, 그림에서 보듯이 육지의 단층선이 먼 해저까지 길게 연장되는 것이 나타난다. 여기서 전남지역과 제주도지역을 비교해 보면, 북동방향의 단층선과 일치하는 부분이 나타나있다. 또한 육천변성대의 분포도 그 방향성과 비교적 가까운 거리로 볼 때, 과거에 제주도지역까지 연장될 수 있었던 가능성을 추정할 수 있는 것으로 생각된다.

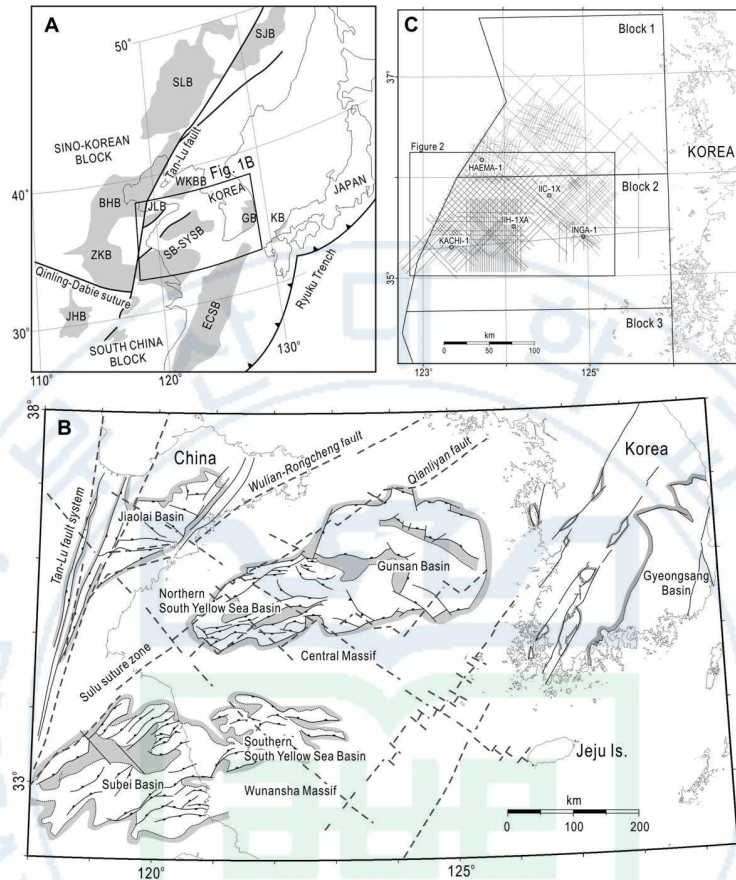


Fig. 81. Geological structure map of West Area (Shinn et al., 2010). (A) A simplified tectonic map of northeast Asia, showing wide distribution of Cretaceous-Tertiary sedimentary basins (modified from Chen and Qin, 1989; Allen et al., 1997; Ren et al., 2002). (B) Major geologic structures of the Cretaceous-Tertiary basins between the Tan-Lu fault in China and the strike-slip fault system in the Korean peninsula (modified from Zhang et al., 1989; Chough et al., 2000; Yi et al., 2003; Zhang et al., 2003). Broken lines denote geologic lineaments compiled from gravity and magnetic interpretations (Zhang et al., 2007). (C) Location of seismic lines and exploratory wells. Solid lines denote the reprocessed seismic reflection profiles primarily used in this study.

지도상으로 전남과 제주도 사이에는 여러 개의 섬들이 이어져 있으며, 해저 지형으로 보아 제주도까지 심도가 약 40m 정도로 매우 낮은 것으로 되어있다. 따라서 이러한 사실들로 볼 때, 과거에 전남지역과 제주도는 서로 육지로 연결되어 있었던 것으로 볼 수 있다. 전남지역과 제주도는 서로 육지로 연결되어 있었으며, 그 당시 옥천변성대에 해당되는 암층에서 규암이나 석명맥이 침식과 풍화작용을 받아 큰 입자의 석영들이 퇴적되었던 것으로 추정된다. 작은 입자들의 석영들은 다른 암석에서 유래하든지, 아니면 2차 이상의 더 많은 과정의 침식과 풍화작용을 받아 형성되어 퇴적된 것으로 생각된다.



4. 구조운동사

제주도의 지질층서는 하위로부터 상위로의 순서로 기반암, 고제주화산암, 서귀포층, 표선리현무암군, 탐라층, 현무암질 암맥복합체, 한라산현무암군, 백록담조면암군, 화산성 암설사태층, 신양리층 및 고해빈-내만사층으로 구분된다. 이들 중에서 기반암과 고제주화산암은 해수면하에 분포하고 있고, 고제주화산암은 서귀포층에 들어있는 화산암력들에 의하여 그 존재를 알 수 있을 뿐이며 제주도지역에서 실시된 심부시추에 의하여 확인되지 않고 있다. 따라서 고제주화산활동이 제주도지역 직하의 기반암 위에서 일어났었는가, 혹은 제주도지역의 인근지역 기반암 위에서 일어났었는가는 확언할 수가 없다. 그러므로 제주도지역의 구조운동사는 서귀포층의 퇴적시대부터 편찬하였다(Fig. 82).

- I 단계 분지의 형성과 해침: 서귀포층 시대

제주도지역에 분지가 형성되고 해침이 일어나 연안성~천해성 서귀포층이 퇴적되었는데, 서귀포층의 상부에 유리쇄설암과 응회환층이 협재되어 있는 것으로 보아 서귀포층 퇴적 후기에는 해저화산활동이 일어났었으며 일부분은 융기되어 해안지대로 노출 되었었다. 서귀포층의 두께는 371 m이며, 지질시대는 플라이오세 후기~플라이스토세 전기이다.

- II 단계 현무암질 화산활동-1: 표선리현무암군 시대

제주도지역은 융기하여 육화되었으며, 표선리현무암군의 파호에호에 용암들이 분출하여 제주도의 동부지역(일도~위미선 이동 지역)과 서부지역(외도~화순선 이서 지역)에 분포하고 있다. 표선리현무암군의 용암이 중부지역에 분포하지 않는 것으로 보아 중부지역은 지형이 높았던 것으로 추정된다. 표선리현무암군의 연대는 약 0.6 Ma이다. 이 시기에 전기분석구가 형성되었다.

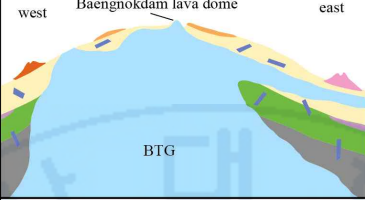
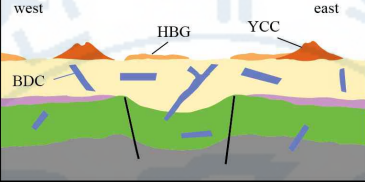
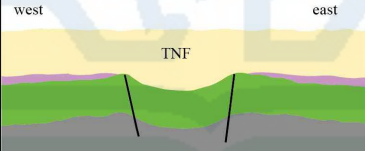
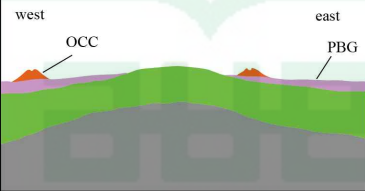
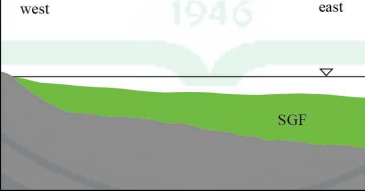

Age	Stage	Geologic Event
Late Pleistocene	Stage V: Trachytic magma intrusion	 <p>Intrusion of the Baengnokdam Trachyte Group (BTG), causing dome-like uplift of Hallasan; Baengnokdam (pit crater) was formed by collapse of the summit. Age of Baengnokdam lava dome: 0.07 Ma.</p>
	Stage IV: Basaltic volcanic activity-2	 <p>Eruption of pahoehoe and aa lavas of the Hallasan Basalt Group (HBG); younger cinder cones (YCC) were formed; intrusion of basaltic dyke complex (BDC). Age: younger than 0.5 Ma.</p>
	Stage III: Fluvial environment	 <p>Laharic sediments of the Tamna Formation (TNF) were deposited. Thickness: several meters to more than 200 m. Age: about 0.5 Ma.</p>
	Stage II: Basaltic volcanic activity-1	 <p>Pahoehoe lavas of the Pyoseolli Basalt Group (PBG) were erupted and distributed in the east and west parts of Jeju Island; older cinder cones (OCC) were formed. Age: about 0.6 Ma.</p>
Late Pliocene	Stage I: Basin formation and marine transgression	 <p>The littoral to shallow marine Seogwipo Formation (SGF) was deposited; hyaloclastite and tuff ring deposits are intercalated in its upper part. Thickness: 371 m. Age: 3.58(?)–0.78 Ma.</p>
Paleocene PreCam.	Basement	 <p>Rocks of the Okcheon Belt: Daebo and Bulguksa granites and Cretaceous volcanic rocks. Paleo-Jeju Volcanics (PJV) occurred in the environs of Jeju Island; basaltic and trachytic rocks are in the Seogwipo Formation as gravels.</p>

Fig. 82. Schematic diagram of the tectonic history of Jeju Island, Korea (Yoon et al., 2014).

- III 단계 하성환경: 탐라층 시대

II 단계의 화산활동이 끝난 후 제주도지역은 하성환경에 놓이게 되어 탐라층이 퇴적되었는데, 특히 중부지역은 침강하여 넓은 하곡을 이루었다. 이 시대에는 제주도에서 한반도 서남단의 해남~강진지역에 이르는 지역에 옥천대의 지질로 이루어진 넓은 육지가 존재하였었다. 탐라층의 연대는 약 0.5 Ma이며, 이 시대에는 한라산은 존재하지 않았다.

- IV 단계 현무암의 화산활동-2: 한라산현무암군 시대

한라산현무암군의 파호에호에 용암과 아아 용암이 분출하였고, 후기분석구가 형성되었다. 현무암질 암맥들(현무암질 암맥복합체)이 탐라층에 관입하였다.

- V 단계 조면암질 마그마의 관입: 한라산의 돔(dome)상 용기 시대

조면암질 마그마가 제주도의 중심부에 관입하여 백록담조면암용암돔, 영실조면암, 오백라한조면암용암돔 등 백록담조면암군을 형성하였다. 이 조면암질 마그마의 관입은 제주도의 중심부를 돔상으로 용기시켜 한라산을 형성하였는데, 정상부가 소규모적으로 함몰하여 백록담이 형성되었다. 한라산 정상으로부터 북측으로 2개와 남측으로 1개의 방향으로 발달한 깊고 긴 3개의 방사상 협곡들은 돔상 용기산체의 정상에서 방사상으로 형성된 단열곡들이다. 백록담조면암용암돔의 연대는 0.07 Ma이다.

위와 같은 구조운동사를 갖는 제주도는 화산도도 아니고 순상화산도 아니다. 화산도(volcanic island)는 해저화산이 성장하여 해수면 위로 나타난 것이고, 순상화산(shield volcano)은 심해저의 해저화산과 그 성장체인 화산도에서 형성되거나 미국 아이다호(Idaho)주의 Snake River Plain과 같은 대륙의 열곡대(rift zone)에서 형성되며, 기타 대륙부와 그 연변에서는 복합화산(composite volcano)이 형성된다(Macdonald et al., 1983; Schmincke, 2004). 제주도는 해저화산이 성장하여 해수면 위에 노출된 섬도 아니고 대륙의 열곡대에서 형성되지도 않았다. 화산은 지하의 마그마가 화도를 통하여 지표

에 분출되는 장소를 일컫는다. 그러므로 제주도는 조면암질 마그마의 관입과 분출에 의하여 중심부가 융기되어 한라산을 형성한 융기화산체가 해수에 의하여 침수되어 만들어진 섬으로서 침수화산(submerged volcano)이라고 지칭할 수 있을 것이다. 제주도는 또한 복합화산(composite volcano, 성층화산은 동종이명)이 아니지만 형체는 복합화산과 유사하다.



5. 탐라층 퇴적물의 구성광물과 그 근원지 고찰

탐라층의 기원 퇴적물로서는 우선 그 이전에 형성된 중생대 화강암과 옥천대 변성암과 같은 기반암, 해성 화산퇴적물인 서귀포층, 표선리현무암 층 중에서 찾을 수 있다. 탐라층에서 큰 입자의 석영과 많은 석영 함량으로 볼 때 오래된 기반암을 생각할 수 있다. 전술한 바와 같이 큰 입자의 석영들은 한반도 남서부의 선캄브리아기 옥천변성대 암석에 나타나는 규암이나 석영 맥에서 유래하는 것으로 추정하는 것이 합당한 것으로 생각된다. 현재 시추로서 확인되는 제주도의 기반암인 화강암과 변성암은 심부에 있기 때문에 탐라층의 직접적인 기원암체로 보기는 어렵다. 이들 기반암과 같은 시대의 암석들이 탐라층이 퇴적될 당시에 제주도에 가까운 인접부에 배후지 산지로 존재했을 가능성이 큰 것으로 생각된다. 왜냐하면 탐라층에는 큰 역을 포함하는 역암들이 존재하고 있으며, 큰 입자의 석영들이 포함되기 때문이다. 특히 큰 입자의 석영들이 중부지역의 탐라층에 주로 분포되는 것으로 보아, 탐라층의 퇴적물을 공급하는 주배후지는 중부지역에 가까운 곳에 위치한 옥천변성대의 암석으로 추정된다. 이에 부가하여 그 이전에 형성된 퇴적암과 화산암류의 물질들이 첨가되어 탐라층이 형성된 것으로 생각된다.

X-선회절분석의 결과, 탐라층 이질암에서는 석영, 사장석, 칼륨장석, 운모, 일라이트, 카올린광물, 버미큘라이트, 스멕타이트, 녹니석, 자철석, 적철석 등의 다양한 광물이 나타났다. 이들 구성광물의 조합으로는 5가지로 크게 구분되었으며 그 분포도 검토하였다. A조합은 석영이 다량 포함하는 것으로 모든 지역에서 고루 분포하지만 서부지역에 다소 많이 나타났다. B조합은 비정질물질이 많고 석영과 장석이 다소 포함되는 것이며, C조합은 석영이 소량으로 포함되는 것이며, D조합은 석영이 없고 주로 장석으로 구성된 것이며, E조합은 점토광물이 다량 포함되는 것과 아날심이 포함되는 것 등의 특이한 조합이다. 구성광물로 보아 D조합은 이전에 형성된 화산퇴적물인 서귀포층이나 표선리현무암에서 유래한 물질이 다량 포함되는 것으로 생각된다. B조합과 C조합은 석영을 다량 함유하는 고기의 변성암과 같은 배후지의

퇴적물과 함께 화산성물질이 혼합되어 형성된 것으로 생각된다. A조합은 고기의 변성암과 같은 배후지의 퇴적물이 주로 구성된 것으로 서부지역에 많이 분포한다. 이것으로 보아 서부지역이 내륙의 고기 암석의 성분이 많이 퇴적된 것으로 생각된다.

점토광물의 광물조합을 검토한 결과, 여러 종류로 구분되었으며 그 분포도 지역적으로 다소 다르게 나타났다. 일라이트는 전역에 걸쳐 두루 산출되었으며, 석영의 함량이 많은 곳에서는 카올린광물, 버미큘라이트, 녹니석의 함량이 다소 높은 것으로 나타났다. 동부지역에 비해 서부지역에서 카올린광물과 버미큘라이트가 다소 높게 나타났다. 이와 같이 지역에 따라 다소 다른 분포특성을 나타냈다. 이것은 전술한 바와 같이 배후지 퇴적물의 성분 차이와 그 후 화산분출물의 유입 등에 기인하는 것으로 생각된다. 고기의 암석들이 많은 풍화작용을 받아서 장석, 운모, 각섬석 등의 초기광물들이 거의 모두 풍화되어 카올린광물, 버미큘라이트, 일라이트 등의 점토광물로 변하였고, 풍화작용에 강한 석영이 남아서 현재의 광물조합을 만든 것으로 생각된다. 중부지역과 동부지역은 장석이나 비정질이 많고 반면에 석영이 적은 광물조합이 다소 분포한다. 이것은 현무암질 화산성 물질의 유입과 관련되는 것으로 생각된다. 이에 비해 서부지역에서 석영과 함께 카올린광물과 버미큘라이트가 다소 높게 나타났다. 즉 풍화작용을 많이 받아 형성된 점토광물이 동부지역보다는 서부지역에 다소 많이 산출되는 것으로 볼 수 있다. 서부지역의 탐라층은 표층인 지표면에 넓게 노출되어 나타나고 있으며 이들이 풍화되어 적갈색의 풍화토를 형성하기도 한다. 이러한 풍화토는 한반도 내륙에 주로 나타나는 모암의 풍화작용에 의해 형성된 풍화잔류토(풍화토)로서 소위 황토(황진연 외, 2000)라고 하는 것과 유사한 모습을 나타낸다. 구성광물들도 내륙의 풍화토와 유사하게 카올린광물과 버미큘라이트의 점토광물이 다소 함유된다. 동부지역에서는 탐라층이 그 이후에 형성된 화산암류에 의해 많이 덮여있고 서부지역과 광물성분이 다소 다르게 나타난다. 서부지역은 제주도에서 논농사가 가능한 지역으로 다른 지역과는 토양과 환경이 다른 것으로 알려져 있다. 이것도 내륙과 유사하게 서부지역에 분포하는 탐라층의 광물성분과 관계가 깊은 것으로 생각된다.

또한 이번 연구를 통하여 미세 구상의 형태를 나타내는 10 Å-할로이사이트와 함께 아날심, 깃사이트, 명반석 등의 특정 광물들도 발견되었다. 전술한 바와 같이 이들 구성광물의 산상, 특성, 성인에 대해서도 검토하여 기술하였다. 10 Å-할로이사이트는 미세 구상의 특징적인 형태를 나타내었으며, 풍화작용의 중간 생성물로 생각된다. 또한 불석광물이 아날심이 다량 포함되는 시료가 발견되었다. 이것도 알칼리가 풍부한 열수변질작용에 의해 형성된 것으로 생각된다. 그 외에도 깃사이트, 명반석 등의 광물을 소량 포함하는 시료들도 나타났다. 이러한 여러 가지 광물들의 산출로 볼 때, 탐라층을 형성하는 고기 암석의 퇴적물인 근원물질의 종류와 함량과, 그 후 속성작용과 풍화작용의 과정과 정도와, 그리고 열수변질작용의 영향에 의해 다양한 구성광물들이 형성된 것으로 사료된다.

VI. 결 론

본 연구는 제주도의 전 지역에 걸쳐 넓게 분포되고 있고 제주도의 지질을 이해하는데 중요한 플라이스토세 시기의 지층인 탐라층을 대상으로 하였다. 탐라층은 하성 쇄설성 퇴적층으로 역암, 사암, 이암 등으로 구성되어 있으나, 이 중에서 모든 층에 분포하며 세립질인 이질암 부분을 대상으로 산출 상태를 조사하고 구성광물을 분석하여, 그 구성광물들의 기원을 밝히고자 연구하였다. 연구방법으로는 지질조사, 시료채취, 편광현미경 관찰, X-선회절분석, 전자현미경(SEM/EDS) 관찰 등을 수행하였다. 이러한 분석 결과와 그 고찰내용을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 탐라층에서는 직경 약 1-3cm의 큰 입자인 석영들이 발견되었으며, 이들 석영들은 규암이나 석영맥의 것과 유사한 것으로 나타났다. 또한 탐라층 이질암의 세립질 부분에서도 다량의 석영이 포함되어 있음을 X-선회절분석에 의해 확인되었다.
- 2) X-선회절분석의 결과, 탐라층 이질암에서는 석영, 사장석, 칼륨장석, 휘석, 운모, 일라이트, 카올린나이트, 버미큘라이트, 스펙타이트, 녹니석, 할로이사이트, 자철석, 적철석, 감람석, 깃사이트, 방해석, 아날심 등의 다양한 광물들이 나타났다. 이들 전체 구성광물의 조합으로는 5가지로 크게 구분되었으며, 점토광물의 조합으로는 8가지로 구분되었으며, 이들 조합들의 분포상태를 나타내고 그 특성을 검토하였다.
- 3) 이러한 구성광물의 분포특성 등을 검토해 보면, 중부지역에서는 큰 입자의 석영들이 주로 분포하며, X-선회절분석에 의한 세립 석영의 함량을 검토해 보면, 동부, 중부, 서부지역에서 두루 다량 산출되고 있으나, 상대적으로 서부지역에서 다소 많은 석영의 함량을 나타냈다.

- 4) 이러한 구성광물의 조합과 분포특성으로 보면, 석영의 함량이 많은 곳에서는 카올린나이트, 벤투라이트, 녹니석의 함량이 다소 높은 경향을 나타냈다. 다른 지역에 비해 서부지역에서 카올린나이트와 벤투라이트가 다소 높게 나타났다. 석영이 적거나 없으며 대신에 장석과 비정질물질을 다량 함유하는 조합들은 중부지역에 주로 분포하며 일부 동부지역에 나타났다. 이러한 광물조합은 현무암질 화산성 물질의 유입에 의한 것으로 사료된다. 이러한 광물조합들은 산출지역과 지질조건에 따라 대체적으로 특징적인 분포를 나타내었다.
- 5) 또한 이번 연구를 통하여 미세 구상형태의 10\AA -할로이사이트(halloysite)와 아날심, 깃사이트, 명반석 등의 특정 광물들도 발견하여, 이들 구성광물의 산상, 특성, 성인에 대해서도 검토하여 기술하였다.
- 6) 이상과 같은 구성광물의 산상, 특성, 분포 등으로 보아 탐라층의 근원물질은 한반도 남서부의 선캄브리아기 옥천변성대와 관련이 있는 것으로 사료된다. 즉 이것은 제주도 화산작용에 의해 형성된 것만으로는 설명하기 어렵다. 따라서 탐라층의 형성은 현재와 전혀 다른 지질과 지형에 의해 형성되었다고 사료된다.
- 7) 탐라층의 퇴적물을 공급하는 주배후지는 중부지역에 가까운 곳에 위치한 옥천변성대의 암석으로 추정된다. 이에 부가하여 그 이전에 형성된 기반암과 화산암류의 물질이 첨가되어 탐라층이 형성된 것으로 생각된다. 이러한 근원물질의 종류와 함량과 함께, 현재 퇴적암이 만들어지기까지의 열수작용, 속성작용, 풍화작용의 변질정도에 따라 다양한 구성광물들이 형성된 것으로 사료된다.
- 8) 탐라층의 이질암 부분에서 큰 입자와 함께 다량의 석영들이 산출된다는 사실은 제주도의 기반암으로 심부에 분포하고 있는 것으로 알려진 옥천변성대 암석들이 약 50만 년 전에는 제주도로부터 내륙 남서부의 해남~강진

지역에 이르는 지대에 육지 상태로 넓게 분포하고 있었으며, 이 육지 위를 흐른 하천에 의하여 운반된 퇴적물에 의해 탐라층이 생성된 것으로 해석할 수 있다.

- 9) 해저의 지질구조와 지형으로 볼 때, 내륙 남서부 육지에 나타나는 북동-남서 방향의 단층선과 지체구조가 제주도 지역까지 연장될 수 있을 가능성을 제시하고 있으며, 지도상으로 전남과 제주도 사이에는 여러 개의 섬들로 이어져 있으며, 해저 지형으로 보아 제주도까지 심도가 약 40m 정도로 매우 낮은 것으로 되어있다. 따라서 이러한 사실들로 보아서도, 과거에 전남지역과 제주도는 서로 육지로 연결되어 있었으며, 그 당시 제주도 중부에 가까운 곳에 옥천변성대에 해당되는 암층이 존재하여 암층에 포함된 규암이나 석명맥 등이 침식과 풍화작용을 받아 크고 많은 석영들이 퇴적되었던 것으로 추정된다. 작은 입자들의 석영들은 다른 암석에서 유래하든지, 아니면 2차 이상의 더 많은 과정의 침식과 풍화작용을 받아 형성되어 퇴적된 것으로 생각된다.

참고문헌

- 김옥준, 손치무, 이대성, 이상만, 윤선, 남기영, 길영준, 홍충식 (1965) 제주도 지하수탐색지질조사보고서. 건설부, (주)한국지하자원조사소, 117p.
- 농업기반공사 제주도지사 (2001) 제주도 화산암의 암석명명 규약(안). 92p.
- 농업진흥공사(농진) (1971) 제주도 지하수보고서. 381p.
- 박기화, 이병주, 조동룡, 김정찬, 이승열, 최현일, 황재하, 송교영, 최범영, 조병욱, 김유봉 (1998) 제주·애월도폭(1:50,000 축척) 지질보고서. 제주도·한국자원연구소, 290p.
- 박기화, 이병주, 조동룡, 김정찬, 이승열, 김유봉, 이한영, 조병욱, 장영남, 손병국, 전희영, 김용욱 (2000) 서귀포·하효리도폭(1:50,000 축척) 지질보고서. 제주도·한국자원연구소, 163p.
- 서해길, 조한익, 남기영 (1964) 지하수원조사보고. 제주도 남부 지하수원, 국립지질조사소, 1, 77-111p.
- 송시대 (2000) 제주도 암괴상 아아용암류의 분포 및 암질에 관한 연구. 부산대학교 이학박사 학위 논문, 118p.
- 원종관 (1975) 제주도의 형성과정과 화산활동에 관한 연구. 건국대학교 응용과학연구소 이학논집, 1, 7-42p.
- 윤상규, 한대석, 이동영 (1987) 제주도 남부지역의 제4기 지질조사연구. 한국동력자원연구소 연구보고서, KR-86-2-(B)-2, 64p.
- 윤선 (1970) 제주도 성읍리-대록산 지역의 용암류의 분출 및 기생화산구 형성의 순서에 관하여. 지질학회지, 6, 205-212.
- 윤선, 정차연, 송시대, 양경희 (2001) 제주도 백록담 분화구벽의 구성암석. 한국고생물학회 제17차 학술발표회 논문초록집, 18.
- 윤선, 정차연, 송시대, 현원학 (2002) 제주도 형성사에 있어서 탐라층의 의의. 한국고생물학회 제18차 학술발표회 논문초록집, 17-18.
- 윤선, 정차연, 송시대, 현원학 (2003) 제주도 한라산: 용기 산체. 제주화산연구소 제1회 학술심포지엄, 7-14.

- 정차연 (2002) 제주도 서부해안지역의 지질과 지하수. 부산대학교 이학박사 학위논문, 167p.
- 황진연, 장명익, 김준식, 조원모, 안병석, 강수원 (2000) 우리나라 황토(풍화토)의 구성광물과 화학성분. 한국광물학회지, 13권, 3호, 147-163.
- Abdel-Kader, F.H., Jackson, M.L. and Lee, G.B. (1978) Soil kaolinite, vermiculite, and chlorite identification by an improved lithium DMSO X-ray diffraction test: Soil Sci. Soc. Amer. J. 42, 163-167.
- Barshad, I. (1954) Cation exchange in micaceous minerals: I. Replaceability of ammonium and potassium from vermiculite, biotite, and montmorillonite: Soil Sci. 78, 57-76.
- Haraguchi, K. (1930) Jeju Volcanic Island. Professor Ogawa's Sixtieth Birthday Memorial Volume, 595-649 (in Japanese, titles translated).
- Haraguchi, K. (1931) Saishu Volcano. Bulletin of the Geological Survey of Chosen (Korea), 10, 1-34 (in Japanese); 1-12 (in English).
- Jepson, W.B. and Rowse, J.B. (1975) The composition of kaolinite-an electron microscope microprobe study. Clays and Clay Minerals, 23, 310-317.
- Jiang, W.T. and Peacor, D.R. (1993) Formation and modification of metastable intermediate sodium potassium mica, paragonite, and muscovite in hydrothermally altered metabasites from northern Wales. American Mineralogist, 78, 782-793.
- Komuro, H. and Fujita, Y. (1980) Experimental study on the formation of the collapse basin in the Green Tuff Orogenesis. Journal of the Geological Society of Japan, 86, 327-340 (in Japanese with English abstract).
- Lee, M.W. (1982) Petrology and geochemistry of Jeju Volcanic Island, Korea. The Science Reports of the Tohoku University, Series III, 15, 177-256.
- Lim, C.H., Jackson, M.L., Koons, R.D. and Helmke, P.A. (1980) Kaolins:

- sources of differences in cation-exchange capacities and cesium retention. *Clays and Clay Minerals*, 28-3, 223-229.
- Range, K.J., Range, A. and Weiss, A. (1969) Fire-clay type kaolinite or fire-clay mineral? Experimental classification of kaolinite-halloysite minerals: *Proc. 3rd Int. Clay Conf., Tokyo*, 1, 3-13.
- Shinn, Y.J., Chough, S.K., Hwang, I.G. (2010) Structural development and tectonic evolution of Gunsan Basin (Cretaceous-Tertiary) in the central Yellow Sea. *Marine and Petroleum Geology*, 27, 500-514.
- Smith, G.A. (1986) Coarse-grained nonmarine volcanoclastic sediment: Terminology and depositional process. *Geological Society of America Bulletin*, 97, 1-10.
- Smith, G.A. (1987) Sedimentology of volcanism-induced aggradation in fluvial basins: Examples from the Pacific Northwest, USA. In Ethridge, F.G., Flores, R.M. and Harvey, M.D. (eds.), *Recent Developments in Fluvial Sedimentology*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication, 39, 217-228.
- Smith, G.A. and Lowe, D.R. (1991) Lahars: Volcano-hydrologic events and deposition in the debris flow-hyperconcentrated flow continuum. In Fisher, R.V. and Smith, G.A. (eds.), *Sedimentation in Volcanic Settings*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication, 45, 59-70.
- Tamanyu, S. (1990) The K-Ar ages and their stratigraphic interpretation of the Cheju Volcanics, Korea. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, 41, 527-537 (in Japanese with English abstract).
- Yoon, S., Jung, C.Y., Song, S.T. and Hyun, W.H. (2002) Mt. Halla, the main body of Jeju Island, Korea: an uplifted edifice. *Proceedings of International Symposium on New Concepts in Global Tectonics (NCGT)*, La Junta, Colorado, USA, 165-170.

Mineral Composition of the Mudstone and Provenance of the Tamna Formation, Jeju Island

Hyun Weon Hak

Department of Geology
The Graduate School
Pusan National University

Abstract

The geologic sequence of Jeju Island is generally divided into Basement, Paleo-Jeju Volcanic rocks, Seogwipo Formation, Pyoseolli Basalt Group, Tamna Formation, Basalt dyke complex, Hallasan Basalt Group, Baengnokdam Trachyte Group, Volcanic debris-avalanche deposit, Sinyangni Formation and Paleobeach-embayment sand deposit in ascending order. The Tamna Formation is fluvial deposits consisting conglomerate, sandstone and mudstone and widely distributed in Jeju Island. The origin of constituent

minerals was investigated by analyzing occurrence and mineral composition of mudstone layer that is evenly distributed in the Tamna Formation. The geological survey, sample collection, X-ray diffraction analysis, petrographic microscopic observation and SEM analysis were conducted.

Large quartz crystals having 1~3cm in diameter were observed in the Tamna formation. These quartz had very similar characteristics with those observed in quartzite and quartz vein. XRD analysis indicates that the mudstone in the Tamna formation was composed of quartz, plagioclase, K-feldspar, micas, magnetite and hematite and clay minerals such as illite, smectite, kaolinite, chlorite, 10 Å-halloysite. The constituent minerals can be largely classified into the six groups of mineral assemblage. Clay minerals can also be grouped as the eight mineral assemblages. The characteristic occurrence of these mineral assemblages was comprehensively analyzed.

In the central area, large quartz was distributed and their content was generally high. The contents of kaolinite, vermiculite and chlorite were slightly higher in the west area showing high quartz content. The contents of kaolinite and vermiculite were higher in the west than in east areas.

The results suggest that the source materials of the Tamna Formation are related to the Precambrian Okcheon Metamorphic Belt. In other words, the formation of the Tamna Formation can't be explained by the volcanism in Jeju Island. The Tamna Formation is considered to be formed in totally different geological and geographical environments from now. Main source of sediments contributing to the Tamna Formation is seemed to be rocks at the Okcheon Metamorphic Belt. The Tamna Formation is considered to be formed by these sediments with the addition of materials derived from pre-existing basement rocks and volcanic rocks. Various minerals were formed by depending on the content of source materials and the degree of post-processes such as weathering and alteration.

감사의 글

논문을 마감하며 많은 분들의 큰 은혜를 입었습니다. 그 분들의 많은 도움과 격려 그리고 지도가 있었기에 세상으로 나올 수 있었으며 지질학의 숭고한 학문적 사명을 이루기 위한 기나긴 여정의 출발점에 안착할 수 있었다고 생각합니다. 지질학에 입문하는 시간보다 더 떨리고 큰 걱정이 앞서는 것이 사실입니다. 우선 지면을 빌어 커다란 감사의 글을 올립니다.

우선 지금까지 자상한 가르침과 세심한 지도로 보살펴 주시고 학자로서의 갖추어야 할 인성을 심어주며 오랜 세월 인내로 지켜봐 주신 황진연 교수님께 진심으로 감사를 드립니다. 또한 바쁘신 일정에도 많은 시간을 할애하여 심사를 해주시고 끝없는 조언과 지도를 해주신 양경희 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 심사를 할 때마다 논문의 완성도를 높이기 위한 지도와 조언을 아끼지 않으셨던 이연규 교수님, 임현수 교수님, 김광희 교수님께 감사의 마음을 드립니다.

지질학의 세계로 인도해 주시고 논문이 완성 될 때까지 오랜 세월 지속적으로 지도해 주시고 많은 성원과 격려를 아끼지 않으셨던 윤선 교수님께도 깊은 감사를 드립니다. 그리고 김진섭 교수님, 함세영 교수님, 손문 교수님, 정훈영 교수님께도 고마움과 감사의 마음을 전합니다. 어려움이 있을 때마다 용기를 심어주시고 많은 조언을 주셨던 이효민 박사님께 고마움을 전합니다.

논문의 기본적인 자료를 생산하는 과정에서 밤낮 구분 없이 헌신해 준 광물학 실험실의 오지호, 손병서, 이진현 학우에게 다하지 못할 감사의 마음을 전하고자 합니다. 이들 학우는 논문을 쓰면서 가장 행복했고 가장 미안하고 가장 즐거웠던 시간을 갖게 해주었으며 앞으로 광물학의 세계를 함께 걸어갈 든든한 동반자라고 생각합니다. 특히 석사학위 논문을 쓰면서 실험자료

를 챙겨준 손병서 님께 평생 잊지 못할 은혜를 입었다고 여기고 있습니다.
다시한번 감사드립니다.

이 작은 결실이 나타나기 까지 제주도 전역을 조사하면서 시료정리 사진
촬영 등의 일을 해준 강승일 님에게 감사를 드리고 난해한 지형도 자료를
제공해주고 컴퓨터 작업에 큰 도움을 준 최호철 님에게도 큰 감사를 드립니다.
늦은 나이에 학문의 길을 걷어가는 나에게 영원한 성원을 보내주고 용
기를 심어 준 우리 가족 모두에게 이 작은 결실을 드리고자 합니다.

