

백록담 담수지역 토양의 구성광물 및 화학성분

Mineralogical and Chemical Composition of Soils at the Crater Lake in Baengnokdam

고석형¹ · 장공만² · 박원표² · 현해남²

¹제주특별자치도 환경자원연구원, ²제주대학교 생명자원과학대학

I. 서론

한라산 정상에 위치한 백록담 분화구를 동서로 구분하면 동측에는 현무암이, 서측에는 조면암이 분포하는 서로 다른 이질적인 용암으로 구성되어 있다. 다시 말하면 백록담 분화구는 단일 성질의 화산활동으로 만들어진 것이 아니고 시간적·공간적으로 서로 다른 시기에 마그마의 분화활동으로 만들어진 매우 특이한 분화구이다. 백록담일대는 과거 등반객 행위에 의한 인위적 요인과 혹독한 기상환경인 자연적 요인으로 기반암의 풍화와 훼손이 심한 상태였으나 1994년을 기점으로 훼손지에 대한 복구가 꾸준히 진행되고 있다. 하지만 현무암보다 상대적으로 풍화에 약한 조면암이 분포하는 지역은 백록담 분화구 내로 토사가 계속해서 유입되고 있는 실정이다.

고석형 등(2008)은 백록담 토양의 구성광물 및 화학성분 비교에 관한 연구에서 토양깊이에 따른 6개 지점에서 총 46개의 시료를 대상으로 XRD 및 XRF를 분석하였다. 그 결과 백록담 기저 토양의 광물은 알칼리장석과 사장석으로 구성되었으며 점토광물은 확인되지 않았다. 이와 같은 결과는 채취된 토양시료를 240 mesh(1/16mm)체를 통과시켜 체에 잔류하는 토양입자를 대상으로 분석을 실시하였기 때문으로 판단하였다.

본 연구는 과거 6개 지점에 대한 조사가 백록담 기저 토양에 대해 대표성을 띠기에는 부족하다고 판단하여 16개 지점에 대해 입도분석을 실시하였고 좀더 세밀한 실험방법인 침강법을 이용하여 분석을 실시하였다. 따라서 본 연구를 통해 실험방법 차이에 의한 백록담 기저 토양의 구성광물, 점토광물의 종류 및 토양시료의 화학성분을 비교하고

추가로 알아보는데 목적이 있다.

II. 조사 및 분석 방법

1. 연구대상지

백록담 기저(基底)는 평상시 담수를 이루고 있는 2개의 호수가 동북쪽 가장자리에 위치하고 있으며 강우량이 많으면 2개의 호수가 합쳐져서 1개의 큰 호수를 이룬다. 반면에 10월과 11월의 갈수기에는 물이 말라 바닥을 드러내며 거북 등처럼 갈라지는 건열현상이 발생한다. 그러나 겉보기에는 지표가 건조해 보이지만 시료채취를 통한 조사에서 물로 포화되어 있는 지점이 많았는데 이는 토양공극 내에 물이 존재함을 시사한다.

백록담 일대의 식생은 크게 초지, 침활 혼효림 및 관목림으로 구분된다. 초지는 김의털(*Festuca ovina*)이 우점하는 군락과 눈포아풀(*Poa palustris*) 군락으로 구분되며 분화구 내 기저에서 가장 넓게 분포하고 있다. 이중 김의털 군락은 전체적으로 백록담내의 기저와 사면에 나타나고 김의털과 한라사초 등이 우점종으로 나타나며, 눈포아풀 군락은 강우 시 물에 자주 잠기는 호수 주변에 분포하고 있다(고, 2006).

한라산 고지대의 기상자료 축적을 위해 환경자원연구원 한라산연구과에서는 2002년부터 자동기상관측시스템(AWS)을 설치하여 운영하고 있다. 2004년에서 2008년까지 5년간의 백록담일대 기상관측 결과에 의하면 평균 기온은 5.3°C였으며 7월과 8월에 각각 16.5°C와 16.2°C를 보여 기온이 가장 높았다. 반면에 12월, 1월, 2월 및 3월은 -4.3°C, -6.6°C, -4.6°C 및 -2.2°C를 나타내었으며 1월의 기온이 가장 낮았다. 평균 강우량은 4,234mm였으며 다우기인 6~8월에 높

은 강우량을 보였다. 2007년도의 강우량은 5,109mm로 5년 간의 측정기간 중에서 가장 많은 강우량을 보였는데 이는 나리 태풍의 영향이라고 할 수 있겠다. 반면에 태풍의 영향이 없었던 2008년도에는 2,696mm로 가장 낮은 강우량을 보였다.

제주도의 토양을 토색에 따라 분류하면 암갈색토, 농암갈색토, 흑색토 및 갈색산림토로 구분할 수 있다(농업기술연구소, 1976). 이 중에서 암갈색토는 비화산회토이며 농암갈색토, 흑색토, 갈색산림토는 화산회토로 구분된다. 갈색산림토는 해발고도 600m 이상에서 주를 이루고 있으며 한라산국립공원 일대가 이에 속한다.

2. 시료채취

백록담 기저의 시료채취 지점을 그림 1에 나타내었다. 평상시 호수를 이루고 있는 담수지역은 분화구 동북 방향의 지표면에 형성되어 있으며 등반객들이 육안으로 담수를 관찰할 수 있다. 담수지역의 토양은 지표면이 건조되었던 2004년 9월부터 11월과 2005년 10월부터 11월 사이에 토양을 채취하여 광구시료병에 보관된 시료를 사용하였다. 토양 시료는 5개 지점으로 나누어 Cobra 토양채취기(Cobra-248, Atlascopco, Sweden)를 이용하여 5m 간격으로 1m 깊이로 채취하였다. 채취된 시료는 깊이별로 10cm 간격으로 나누었다. 본 연구에서는 29개 조사지점 중에서 16개 지점을 대상으로 했으며 0~10cm, 40~50cm 및 80~90cm 깊이의 시료를 분석하는데 이용하였다.

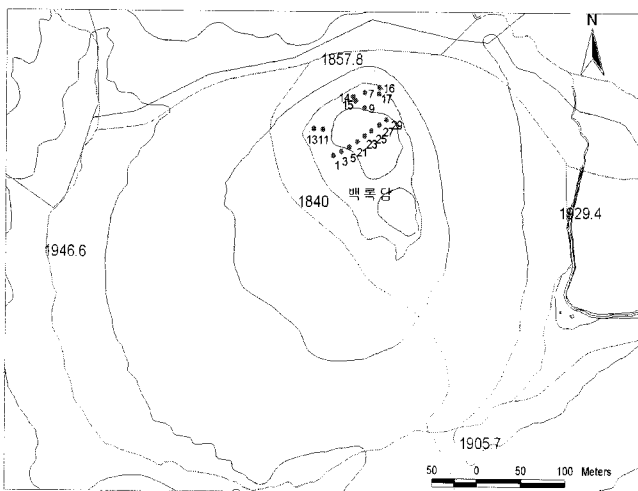


그림 1. 백록담 기저의 토양시료 채취지점.

3. 분석방법

토양의 입도분석은 Ingram(1971)과 Galehouse(1971)의 분석방법에 따라 조립질(4Φ 이상)의 경우 체분석을 통하여 Laser Diffraction Size 분석법을 이용하여 입도분석을 실시하였다(M. Konert et al, 1997). 4Φ 이하의 세립질 시료는 확산이 잘 되도록 확산제인 Sodium Hexametaphosphate를 10%의 농도로 20ml 첨가하여 입자들을 분리시키고 그 후 각 시료마다 50ml씩 2회에 걸쳐 피펫으로 분취한 뒤 하나의 시료는 Malvern 사의 Mastersize를 이용하여 니질 입자의 크기를 측정하였다. X-선 회절분석(X-Ray Diffractometer, XRD)은 토양시료를 체분석과 침강법을 이용하여 2μm 이하의 점토분을 분리시킨 후 실시하였다. PHILIPS(Netheland)사의 X'Pert-MPD System을 사용하였으며, CuKα선과 Ni-filter에 의한 X-선을 이용하였다. 분리된 점토분에 한하여 포함된 점토광물은 에칠렌글리콜 처리 및 가열처리 등을 통하여 식별하였다. 또한 X-선 형광분석(X-Ray Fluorescence Spectrometer, XRF)은 SHIMADZU사의 XRF-1700을 사용하였으며, 분석항목은 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, Na₂O, CaO, TiO₂, MgO, P₂O₅, MnO, LOI 등 11개 항목이다. X-선에 의해 여기된 각각의 원소들에서 발생하는 이차 X-선(특성 X-선)을 분광시켜 검출되는 X-선의 파장과 강도에 따라 분석항목 원소의 정량분석을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

토양을 구성하는 광물입자는 크기에 따라서 자갈, 모래, 미사 및 점토로 나눌 수 있으며, 토성을 결정할 때는 자갈을 제외시킨 2mm 이하의 입자를 대상으로 한다. 토양의 입도 분석(입경분석)은 어떤 토양에 고운 입자와 거친 입자가 어떠한 비율로 섞여 있는지를 알아내기 위한 것으로서 토양입자는 입도(입경)에 따라서 이화학적 및 광물학적 성질이 다르다고 할 수 있다. 그림 2는 백록담 담수지역 토양의 입도 분석 결과를 토성구분삼각도에 나타낸 것이다. 토성구분삼각도에 사토, 양질사토, 사양토, 양토, 미사질양토 및 미사질토에 표기가 되어 있음을 알 수 있으며 그 중에서도 사양토와 미사질양토가 주를 이룬다. 전체적으로 점토성분이 많지 않았으며 점토함량은 0.5~19.8%를 나타냈다. 점토함량이 높은 곳은 시료채취 지점으로 볼 때 담수지역의 중심부라

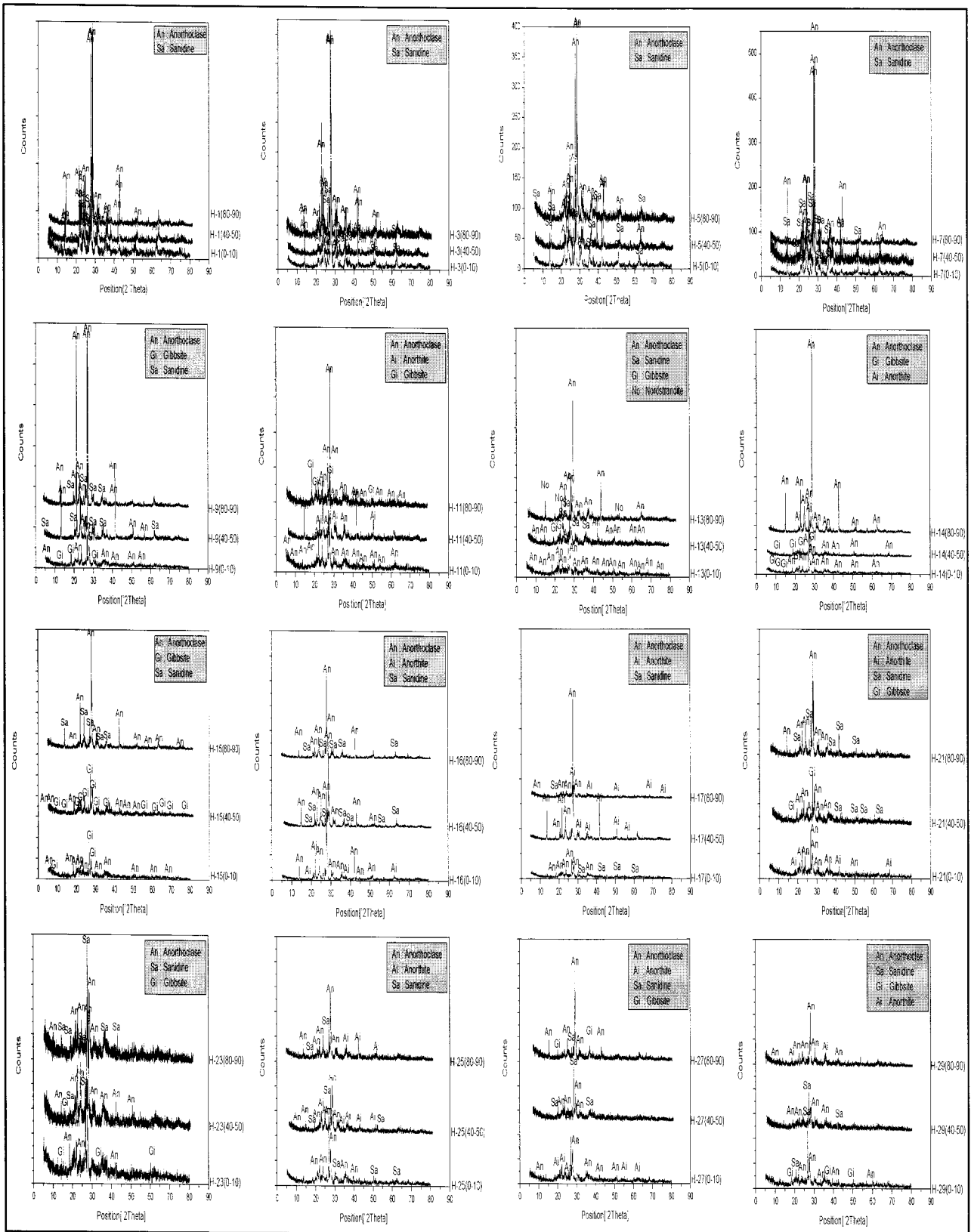


그림 3. 백록담 담수지역 토양의 X-선 회절분석 결과

할 수 있는 21, 23 및 25지점이었다.

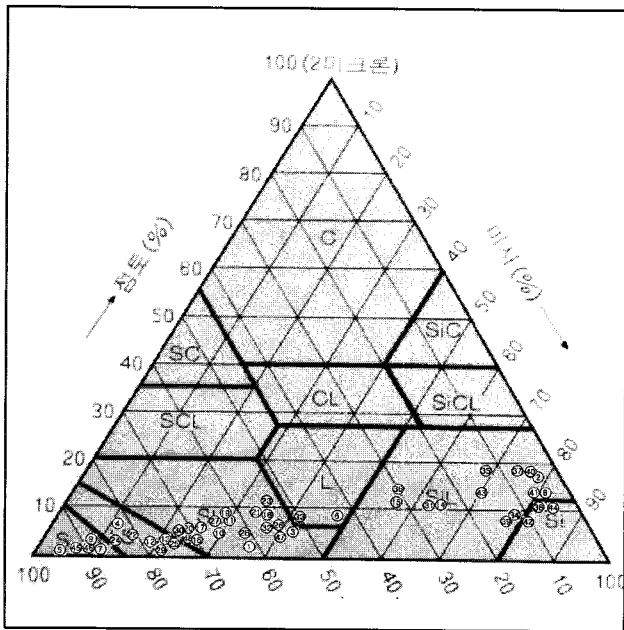


그림 2. 백록담 담수지역의 토성구분삼각도
(S: 사토, LS: 양질사토, SL: 사양토, L: 양토,
SiL: 미사질양토, Si: 미사질토)

점토광물의 형성여부와 종류를 파악하기 위하여 X-선 회

절분석을 실시하였다(그림 3). 토양깊이에 관계없이 전체적으로 동일한 그래프의 모습을 보였다. 백록담 담수지역의 토양은 알칼리 장석인 아놀스클레이스(Anorthoclase)와 새니딘(Sanidine), 사장석인 아놀사이트(Anorthite)가 주요 광물이었다. 이와 같은 조암광물은 현무암과 조면암 같은 화산암 반정에서 산출된 것으로 판단된다. 반면에 고석형 등(2008)은 미사수준의 토양입자를 가지고 X-선 회절분석을 한 결과 점토광물이 확인되지 않았으나, 본 연구에서는 16개 지점 중 9개 지점에서 깁사이트(Gibbsite)가 확인되었다. 풍화 작용을 심하게 받은 토양에서는 철, 알루미늄, 망간 등의 광물이 널리 분포되어 있으며 적철석, 침철석, 깁사이트 등을 예로 들 수 있다. 깁사이트는 대표적인 알루미늄의 수산화물이며 Ultisol이나 열대지방의 Oxisol과 같은 심하게 풍화된 토양에 많이 존재한다. 하지만 제주도는 해양성 기후의 영향을 받고 있는 습윤온대지역이며, 특히 백록담 일대는 모암의 생성연대가 비교적 짧고 낮은 기온과 많은 강수량을 보이는 기상변화가 극심한 지역으로 화학적 풍화보다는 동결융해, 침식 및 식박작용으로 인한 기계적 풍화가 우세할 것으로 생각된다. 따라서 깁사이트의 확인은 회절피크의 중첩 등으로 인한 해석의 실수라고 보여지며 이에

표 1. 백록담 담수지역 토양의 형광분석

Sample No.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	SiO ₂ /Al ₂ O ₃
	wt, %											
H-1	56.32	17.27	6.52	0.74	0.09	0.57	1.28	4.88	4.42	0.18	7.45	5.54
H-3	58.20	17.20	6.11	0.61	0.10	0.38	1.15	5.20	4.65	0.15	5.98	5.74
H-5	55.35	17.31	5.94	0.64	0.08	0.42	0.87	4.71	4.46	0.20	9.75	5.43
H-7	60.44	16.96	5.73	0.54	0.11	0.31	0.65	5.12	4.90	0.13	4.82	6.05
H-9	59.15	16.89	5.99	0.56	0.12	0.34	0.67	4.96	4.77	0.16	5.89	5.95
H-11	57.95	17.71	6.37	0.61	0.13	0.37	0.87	5.06	4.78	0.15	5.52	5.56
H-13	56.38	17.58	6.63	0.75	0.10	0.59	1.24	4.93	4.43	0.18	6.60	5.44
H-14	60.38	16.89	5.53	0.51	0.12	0.30	0.62	5.11	4.91	0.14	5.00	6.07
H-15	58.05	17.03	5.98	0.59	0.11	0.37	0.64	4.84	4.71	0.18	6.91	5.79
H-16	62.37	16.51	5.56	0.45	0.13	0.21	0.57	5.25	5.03	0.09	3.34	6.41
H-17	61.71	16.59	5.57	0.46	0.12	0.23	0.58	5.19	4.99	0.10	3.84	6.32
H-21	50.45	17.24	7.06	0.80	0.08	0.46	0.65	3.92	4.00	0.29	14.50	4.97
H-23	48.57	17.51	7.54	0.89	0.08	0.47	0.66	3.72	3.81	0.33	15.87	4.72
H-25	49.10	17.57	7.46	0.93	0.09	0.50	0.70	3.72	3.77	0.31	15.39	4.76
H-27	48.35	18.24	8.08	1.26	0.15	0.93	1.48	3.74	3.39	0.35	13.45	4.54
H-29	48.27	18.31	9.28	1.55	0.13	1.76	2.61	3.72	2.89	0.34	10.72	4.50

대한 재동정이 필요할 것으로 판단된다.

점토의 화학성분을 파악하기 위하여 주성분원소에 대한 X-선 형광분석을 실시하였다. 백록담 담수지역 토양에 대한 XRF 주원소 분석치는 표 1과 같으며 각 지점에 대하여 평균값으로 나타냈다. 화성암은 SiO₂ 함량의 화학적 성질에 따라 산성암, 중성암 및 염기성암으로 분류한다. 점토의 SiO₂ 함량 범위는 48.27~62.37 wt, %의 범위를 보였으며, 이는 염기성암인 현무암과 중성암인 조면암의 풍화산물로 유추해 볼 수 있겠다. SiO₂ 함량은 알칼리원소 함량(Na₂O+K₂O)과 0.98의 고도로 유의한정의 상관관을 보였다. 작열감량(Ignition Loss)이란 토양을 공기 중에서 고온으로 가열했을 때의 중량감소를 의미하며, 일반적으로 105℃에서 건조한 토양을 800~1000℃에서 강열하여 작열감량을 측정한다. 작열감량은 3.34~15.87% 범위의 비교적 높은 값을 나타내었으

며 이는 수분 및 유기물 등에 의한 영향으로 보인다. 점토광물의 조성과 풍화작용, 흙의 생성작용의 방향과 단계를 추정하는 지표가 되는 규반비(SiO₂/Al₂O₃)는 4.50~6.41의 범위를 보였다. 화산회토는 규반비가 작고 1 전후인 것이 일반적으로 많은데 비교적 높은 수치를 보임에 따라 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

IV. 인용문헌

- 고정균. 2006. 한라산 백록담일대의 식생. 한라산천연보호구역 학술조사보고서. 한라산연구소. p.342~344
- 고석형, 고정균, 이창흡, 김철수, 현해남. 2009. 백록담 토양의 구성광물 및 화학성분 비교. 환경자원연구원보. 제주특별자치도 환경자원연구원. 1:189