

세계자연유산지구 성산일출봉의 토양특성

고석형*, 김대신, 고정균, 신창훈
제주특별자치도 세계유산·한라산연구원

서 론

해발고도가 180m인 성산일출봉은 수성화산분출에 의해 생성된 응회구로서 약 5천 년 전에 형성된 것으로 해석되고 있다(Sohn and Chough, 1992; 손영관 등, 2009). 일출봉 응회구는 지름이 약 600m로서 사발모양의 분화구가 있으며 화구륜의 고도는 180m에 이른다. 일출봉 응회구는 화산암편(lapilli)으로 주로 이루어져 있으며 화산탄, 화산회, 화산암괴 등을 포함하고 있다(고정선 등, 2007). 성산일출봉은 천연기념물 제420호(2000년) 지정, 세계자연유산(2007년) 등재, 유네스코 세계지질공원(2010년) 인증되는 등 자연생태관광의 대표적인 명소이다. 이에 2014년도 기준으로 3백만 명 이상의 방문자수를 기록하기도 하였으며 많은 탐방객에 의하여 관람로 일부 구간은 토양 침식 및 노두 일부가 훼손되기도 하였다.

성산일출봉에 대한 연구는 크게 식생 및 식물상과 지질 및 지형에 대한 연구로 구분할 수 있다(Sohn and Chough, 1992; 김윤식 등, 2000; 이문원 등, 2003; 김학범 등, 2005; 고정균, 2007; 고정선 등, 2007; 손영관 등, 2009). 성산일출봉의 식물분포는 크게 분화구내의 초지와 분화구 외륜 내외의 암벽에 착생하는 암벽식물군, 관목림, 해송림 등으로 형성되어 있다(고정균, 2007). 분화구내에는 과거 인간에 의한 인위적인 간섭에 의해 이대가 군락을 이뤄 번식하고 있다. 과거에는 방목이나 화입 등이 가능하였으나 현재는 천연기념물로 지정되어 행위 자체가 불가능하기 때문에 이대번식으로 인하여 다른 식물생육에 영향을 미칠 수 있으며 식생변화도 나타날 수 있다. 따라서 최근에는 지속

* 교신저자 ; 전화: 064-710-7578, e-mail: ksh5251@korea.kr

적인 이대제거 사업을 통한 관리가 이뤄지고 있는 실정이다.

본 연구는 성산일출봉 분화구내를 대상으로 토양의 화학적 성질 결과를 제시하여 토양환경 및 식생관리를 위한 자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사지개황

성산일출봉은 서귀포시 성산읍에 위치해 있다. 거대한 성의 모습을 닮아 성산(城山)이라 부르다가 해 뜨는 모습이 아름답다는 의미가 더해져 지금은 성산일출봉(城山日出峰)이라 부른다. 예로부터 영주십경 중 첫 번째로 꼽히며 성산일출제를 개최하여 새해의 첫 해돋이를 보기 위해 많은 사람들이 찾고 있는 곳이다. 성산일출봉은 수성화산 분출 당시 화산체의 모습을 잘 간직하고 있으며 화산재가 겹겹이 쌓인 퇴적 구조를 관찰할 수 있다. 또한 멸종위기 야생식물 I 등급으로 보호되고 있는 풍란 자생지로 보고되고 있다.

2. 시료채취

토양시료는 분화구 안에서 8곳, 대조구로서 분화구 밖에서 1곳을 선정하여 표토(0~15cm)와 심토(15~30cm)로 구분하여 채취하였다(그림 1). 토양시료 채취지점인 SB1, SB2, SB3 및 SB4는 남쪽사면, SB5 및 SB6는 중심부, SB7 및 SB8은 북서사면에 위치한다. 분화구 안에서의 이동은 찔레꽃(*Rosa multiflora*) 등에 의해 어려웠으나 토양채취는 수월하였다. 이대 제거사업을 실시한 곳은 토양교란이 예상됨으로 시료채취 시 제외시켜서 그 주변으로 채취하였다. 성산일출봉 분화구 안의 토색은 표토는 갈색토였으며 심토는 암갈색이었다. 대조구(C)로서 분화구 밖의 토색은 표토는 흑색토였으나 심토는 자갈이 많은 암갈색을 띄었다.

3. 분석방법

토양의 화학적 성질 조사를 위한 토양시료는 채취한 시료를 풍건시킨 후 2 mm 체에 통과된 것을 분석시료로 하여 농촌진흥청 토양화학 분석법(NIAST,

1988)에 준하여 분석하였다. 토양 pH는 토양 : 증류수의 비를 1 : 5로 하여 토양 5g에 증류수 25mL를 첨가한 다음 진탕하여 pH meter(Orion Star A211, Thermo)를 이용하여 측정하였다. 전기전도도는 pH를 측정하고 남은 여액을 Conductivity Meter(CM-11P TOA Electronics Ltd., Japan)를 이용하여 측정하였다. 토양 유기물함량은 Walkley and Black법으로 분석하였고, 유효인산은 Lancaster법을 이용하여 UV/Vis Spectrometer(Lambda 25, PerkinElmer)로 측정하였다. 총 질소함량은 토양시료를 황산으로 분해한 다음 Kjeldahl법으로 자동질소분석장치(Kjeltec analyzer unit, Foss, USA)를 이용하여 분석하였다. 교환성양이온은 1N ammonium acetate(pH 7.0)용액 50mL를 가하여 30분간 진탕한 다음 여과하여 얻어진 여액을 ICP-OES (JY 138 Ultrac, Jobin Yvon)를 이용하여 분석하였다. 양이온교환용량은 1N ammonium acetate (pH 7.0)용액으로 포화 후 ethanol로 과잉의 NH_4^+ 세척한 후 증류하여 정량하였다.



그림 1. 연구대상지 위치 및 토양시료 채취지점

결과 및 고찰

성산일출봉 분화구 외륜은 수성화산 분출 당시의 퇴적 구조를 잘 간직하고 있으나 해식, 풍식 등에 의해 자연적인 풍화와 침식이 이루어지는 곳이다. 분화구 내륜은 자연적인 현상 외에도 이대제거 사업이 최근 10여 년간 이뤄지고 있어 인위적인 현상에 의해 토양의 성질이 변화할 수 있는 여지가 있다.

토양통은 토양분류 체계에서 가장 하위단위이며, 모재와 퇴적양식이 거의 같고 생성학적으로도 거의 같은 단면특성을 갖는 토양개체들을 토양통으로 분류한다. 토양통 이름은 그 토양통이 최초로 발견된 지역의 이름을 붙이는 것이 일반적이며

표 1. 조사지 토양의 화학적 성질

토층	시료 채취 지점	토양 pH	전기 전도도 (dS/m)	유기물 함량 (%)	총 질소 (%)	유효 인산 (mg/kg)	교환성 칼륨	교환성 칼슘	교환성 마그네슘	교환성 나트륨	양이온 교환용량 (cmol _c /kg)
표토	SB1	5.49	0.48	13.23	0.83	6	1.12	10.78	3.99	0.90	50.7
	SB2	5.62	0.28	11.23	0.81	4	0.70	12.57	4.43	0.70	47.2
	SB3	6.60	0.49	11.86	0.75	5	2.38	16.57	5.63	1.02	55.6
	SB4	6.22	0.75	10.38	0.71	4	2.17	17.42	6.59	1.25	61.9
	SB5	6.00	0.51	13.04	0.86	6	1.28	8.63	3.44	0.60	59.5
	SB6	6.04	0.34	10.31	0.99	7	0.92	11.33	3.99	0.87	58.8
	SB7	6.45	0.45	11.05	0.70	5	1.51	16.57	4.99	0.73	55.9
	SB8	6.90	0.52	10.97	0.72	5	2.87	17.07	6.10	1.10	55.3
	평균	6.17	0.48	11.51	0.80	5	1.62	13.87	4.89	0.90	55.6
	C	6.85	0.60	10.81	0.71	11	1.65	17.22	7.76	1.24	57.6
심토	SB1	5.81	0.45	12.52	0.68	3	0.72	6.74	2.82	0.76	63.6
	SB2	5.84	0.20	10.06	0.63	2	0.41	13.07	3.92	0.86	46.9
	SB3	6.53	0.45	9.07	0.70	3	1.23	13.07	5.00	1.32	52.8
	SB4	6.53	0.44	8.05	0.45	4	0.51	12.92	5.36	1.91	53.3
	SB5	6.06	0.75	10.92	0.70	5	0.23	5.69	2.84	0.67	55.0
	SB6	6.05	0.71	9.56	0.73	4	0.21	4.12	2.14	0.67	53.7
	SB7	6.71	0.18	6.93	0.52	2	0.52	11.83	3.95	1.04	50.3
	SB8	6.69	0.24	8.26	0.52	2	1.52	12.08	4.41	1.19	56.5
	평균	6.28	0.43	9.42	0.62	3	0.67	9.94	3.80	1.05	54.0
	C	7.08	0.55	11.14	0.48	3	0.93	19.96	5.85	1.42	60.2

본 연구의 조사지에서는 3개의 토양통이 분포하였다. 토양시료 채취지점인 SB1, SB2, SB3, SB4 및 SB8은 분화구 내륜 사면지로서 산방통에 속했으며 평균 고도는 112m로 화산회토인 산악지 토양으로 분류된다. SB5, SB6 및 SB7은 분화구 내의 평지로서 교래통에 속했으며 평균 고도는 94m로 비화산회토양으로 분류된다. 대조구인 C는 분화구 밖의 평지로서 금악통에 속했으며 평균 고도는 9m로 화산회토인 분석구토양으로 분류된다.

성산일출봉의 토양 화학적 성질을 표 1에 나타내었다. 조사지의 표토와 심토의 토양 pH는 각각 5.49~6.90과 5.81~6.71 범위였다. 평균 토양 pH는 표토 6.17, 심토 6.28이었으며, 대조구는 표토 6.85, 심토 7.08로 거의 중성에 가까웠다. 일반적으로 토심이 깊어질수록 토양 pH가 높아지는데 본 연구결과에서도 이러한 경향이 뚜렷하였다. 대조구인 심토에서 pH 7.08로 가장 높았으며 SB1에서 pH 5.49로 가장 낮았다. 이는 이수욱(1981)과 정진현 등(2002)이 보고한 우리나라 산림토양에 관한 연구 결과인 평균 pH 5.5 보다 매우 높은 값을 나타냈다. 조사지인 성산지역은 연평균 기온이 15.2℃이며, 강수량은 1,840mm로 다우 지역에 속한다(제주지방기상청, 2011). 강수량이 많은 지역에서는 토양의 모재가 현무암인 염기성이라고 하더라도 교환성 염기가 많은 강수에 용탈되어 산성이 된다고 알려져 있지만 본 조사지에서는 반대의 경향을 보인 것으로 칼슘의 집적과 연관이 있다고 생각된다. 칼슘은 조개껍질, 해저 동물의 껍질 등의 성분으로 일출봉이 수성화산임을 감안할 때 이러한 상태를 유지하고 있는 것으로 해석된다.

전기전도도는 용액 중 전해질 이온의 세기를 나타내며 대체적으로 염류농도에 비례한다. 따라서 전기전도도가 높으면 이온이 집적된 것을 의미하며 이는 염류집적을 나타낸다. 전기전도도가 0~2dS/m인 경우에는 염류피해가 낮으며, 4dS/m 이상일 경우는 식물의 생육에 영향을 미칠 수 있는 기준값으로 보고 있다(류순호, 2000). 조사지의 전기전도도는 표토와 심토에서 각각 0.28~0.75와 0.18~0.75dS/m 범위로 0.8dS/m 이하의 전기전도도를 보여 식물생육에 대한 염류피해는 낮을 것으로 판단된다.

제주도 토양은 화산폭발시 분출된 화산재와 동식물의 유체로부터 유래된 유기물이 결합하여 육지부 토양의 유기물함량 3% 이하에 비하여 매우 높으며

화산회토양의 대표적인 특징 중 하나이다. 일반적으로 유기물함량은 표층에서 높고 토심이 깊어질수록 함량이 낮아진다. 조사지의 평균 유기물함량은 표토 11.51%, 심토 9.42%로 일반적인 경향을 잘 나타내었다. 대조구는 표토 10.81%, 심토 10.68%로 표토와 심토간에 함량의 차이가 거의 없었다. 유기물함량이 가장 높은 지점은 표토와 심토를 통틀어서 SB1이었으며 이 지점은 이대제거 작업이 가장 오래된 곳이었다.

총 질소함량은 표토와 심토에서 각각 0.70~0.99%와 0.45~0.73% 범위였다. 평균 총 질소함량은 표토와 심토 층위에 관계없이 거의 함량의 차이가 없었으며, 분화구 내의 중심부 평지에 위치해 있는 SB6와 SB5 지점에서 함량이 가장 높았다. 일반적으로 유기물함량이 높아지면 총 질소함량이 높아지는데 이는 유기물이 화산재에서 유래된 Al과 결합하면서 용탈에 대한 저항성이 있기 때문에 화산재가 많이 집적된 토양에서 질소함량도 높게 나타난다. 본 연구결과 유기물함량과 총 질소함량과의 상관계수는 $r=0.62^*$ 로 유의한 정의 상관관계를 보였다.

유효인산은 식물체가 흡수 가능한 형태의 토양인산을 의미한다. 조사지의 평균 유효인산함량은 표토 5mg/kg, 심토 3mg/kg이었으며, 대조구는 표토 11mg/kg, 심토 3mg/kg으로 함량이 매우 낮았다. 본 연구결과는 정진현 등(2002)이 보고한 제주도 산림토양의 평균 유효인산함량 표토 27.4mg/kg, 심토 17.2mg/kg 보다도 약 6배 정도 낮았다. 인산은 화산재가 함유된 화산회토에서 강하게 흡착하여 고정시키는 능력이 크지만 인산흡수계수가 매우 높기 때문에 유효인산함량이 매우 낮은 것으로 생각된다. 따라서 유효인산의 결핍은 분화구 내의 식물 생장에 제한요소로 작용할 것으로 판단된다.

교환성양이온 함량은 표토에서 K 0.70~2.87cmol_c/kg, Ca 8.63~17.42cmol_c/kg, Mg 3.44~6.59cmol_c/kg 및 Na 0.60~1.25cmol_c/kg 범위였으며, 심토에서 K 0.21~1.52cmol_c/kg, Ca 4.12~13.07cmol_c/kg, Mg 2.14~5.36cmol_c/kg 및 Na 0.67~1.91cmol_c/kg 범위였다. 대조구는 표토에서 K 1.65cmol_c/kg, Ca 17.22cmol_c/kg, Mg 7.76cmol_c/kg 및 Na 1.24cmol_c/kg이었으며, 심토에서 K 0.93cmol_c/kg, Ca 19.96cmol_c/kg, Mg 5.85cmol_c/kg 및 Na 1.42cmol_c/kg이었다. 표토에서 교환성 K는 SB8 지점에서 가장 높았으며 Ca, Mg 및 Na는 SB4 지점에서 가장 높았다. 심토에서

교환성 K도 SB8 지점에서 가장 높았으며 Ca는 SB2와 SB3 지점에서, Mg 및 Na도 표토와 마찬가지로 SB4 지점에서 가장 높았다. 본 연구결과는 정진현 등(2002)이 보고한 제주도 산림토양의 평균 교환성양이온 함량보다 교환성 K는 4~5배, Ca는 6~7배, Mg는 2~4배 및 Na는 2~5배로 매우 높았다. 교환성양이온도 심토보다 표토에서 높은 함량을 보이는 것이 일반적이다. 조사지의 교환성 K, Ca 및 Mg는 심토보다 표토에서 높은 함량을 보였으나 Na는 대부분이 표토보다 심토에서 함량이 높았다. 교환성 Na는 함량의 변화가 크게 나타났을 때 인위적인 요인이 가해졌음을 예측할 수 있으며 일반적으로 경작행위가 이루어지지 않았을 때 변화가 거의 없다. 본 연구결과에 의하면 이대제거 작업 등으로 인한 인위적인 훼손이 이뤄졌거나 바다에 인접하여 해풍 등 바닷물에 의한 영향으로 Na 성분이 많은 것으로 생각된다. 교환성 K, Ca 및 Mg의 함량이 높은 것도 고석형 등(2014)이 보고한 교래와 산양 꽃자왈의 교환성양이온 함량이 높은 것과 유사한 경향을 보였다. 이는 생성연대가 비교적 오래되지 않아서 풍화시기가 짧아 모암의 영향으로 인해 함량이 높은 것으로 해석할 수 있겠다. 교환성양이온은 토양 pH와 밀접한 관계가 있으며, 일반적으로 비옥한 토양에서는 $Ca > Mg > K > Na$ 순으로 교환성양이온이 감소한다(진현오 등, 1994). 본 연구결과도 표토에서 교환성양이온함량이 $Ca > Mg > K > Na$ 순으로 감소한다는 결과와 일치하는 경향을 보였다.

양이온교환용량은 토양비옥도를 나타내는 가장 중요한 지표이다. 양이온교환용량이 클수록 양분보유능이 커지고 토양의 완충능이 커지며 양분을 보관하여 식물이 필요시에 공급할 수 있는 능력이 더 커진다(류순호, 2000). 조사지의 평균 양이온교환용량은 표토 $55.6\text{cmol}_c/\text{kg}$, 심토 $54.0\text{cmol}_c/\text{kg}$ 으로 매우 높았다. 표토에서는 교환성 Ca, Mg 및 Na의 함량이 높았던 SB4 지점에서 $61.9\text{cmol}_c/\text{kg}$ 으로 가장 높았으며, 심토에서는 SB1 지점에서 $63.6\text{cmol}_c/\text{kg}$ 으로 양이온교환용량이 가장 높았다. 대조구도 양이온교환용량이 표토 $57.6\text{cmol}_c/\text{kg}$, $60.2\text{cmol}_c/\text{kg}$ 으로 매우 높았다. 이는 정진현 등(2002)이 보고한 제주 산림토양에서의 표토 $19.7\text{cmol}_c/\text{kg}$ 과 심토 $15.8\text{cmol}_c/\text{kg}$ 보다 약 3배정도 높은 수치를 보였다.

본 보고서에는 성산일출봉 토양의 화학성분에 대한 결과만을 가지고 고찰하였으며 향후 물리적 성질, 광물학적 분석, 동위원소 분석 등에 대한 연구가 추가된다면 좀 더 명확한 해석이 가능하리라고 생각된다.

인용문헌

- 고석형. 2014. 교래와 산양 꽃자왈의 토양특성 및 미생물 다양성. 한라산연구소 조사연구보고서. 제13호:122-138.
- 고정균. 2007. 성산일출봉 천연보호구역의 식물상. 한라산연구소 조사연구보고서. 제6호:117-132.
- 고정선, 윤성효, 정은주. 2007. 제주도 성산일출봉 일대 현무암에 대한 암석학적 연구. 한국지구과학회지 28(3):324-342.
- 김윤식, 이인규, 김수진. 2000. 천연기념물 제420호 성산 일출봉 천연보호구역. 국가지정 문화재 지정보고서. 문화재청. pp.66-76.
- 김학범, 홍운순, 고정균. 2005. 제주 성산일출봉 천연보호구역의 식생특성과 관리방안. 한국전통조경학회지. 23(2):11-18.
- 류순호. 2000. 토양사전. 서울대학교출판부. pp.470.
- 손영관, 우경식, 권창우, 김 련, 전용문. 2009. 지질유산과 지질모니터링: 제주도의 사례를 중심으로. 지질학회지 45(6):751-770.
- 이문원. 황상구, 윤성효. 2003. 제주화산지형 및 지질의 특성. 유네스코 지정을 위한 제주도 자연유산지구 학술조사보고서. 제주도, 제주문화예술재단. pp.46-86.
- 이수옥. 1981. 한국의 산림토양에 관한 연구(II). 한국임학회지 54:25-35.
- 정진현, 구교상, 이충화, 김춘식. 2002. 우리나라 산림토양의 지역별 이화학적 특성. 한국임학회지 91(6):694-700.
- 제주지방기상청. 2011. 제주도 상세기후특성집. 제주지방기상청. P.70-72.
- 진현오, 이명종, 신영오, 김정제, 전상근. 1994. 산림토양학. 향문사. PP.325.
- NIAST. 1988. Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Sohn, Y.K. and Chough, S.K. 1992. The Ilchulbong tuff cone, Cheju Island, South Korea: depositional processes and evolution of an emergent, Surtseyan- type tuff cone. Sedimentology 39:523-544.