

한라산 물장오리 및 사라오름 고산습지의 퇴적물에 관한 연구

고석형*, 김경범, 신창훈
제주특별자치도 세계유산·한라산연구원

서 론

습지는 다양한 생명정보를 담고 있다. 습지보전법 제8조에 의해 우리나라의 습지보호지역은 2015년 7월 기준으로 34개소가 지정되어 있다. 그 중 람사르 습지로 지정된 곳은 21개소이다(환경부, 2015). 람사르 협약에서는 희귀하고 독특한 습지 유형과 생물다양성이 풍부해 세계적으로 보전가치가 높은 지역을 람사르습지로 등록해서 보호하고 있다. 제주도(2001)의 보고에 의하면 제주도의 습지는 약 250여개가 있는 것으로 알려져 있으며 현재 5개소가 람사르습지로 지정되어 관리되고 있다. 2006년에 물영아리가 최초로 지정되었으며 물장오리, 1100고지 습지, 동백동산 습지 및 2015년에 지정된 숨은물뱅듸가 있다. 이외에도 한라산 및 중산간지역 일대에는 보전가치가 높은 소백록담(물가마왓), 물чат오름, 불레오름 고산습지 등이 있다. 이들 지역은 화산활동에 의해서 형성된 습지로 접근성이 용이하지 않아 보전상태가 양호하다고 할 수 있으나 등반객에 의한 훼손 위험이 높은 곳이다. 따라서 이들 고산습지에 대하여 지속가능한 보전계획을 수립하고 자연자원적 가치에 대한 제고를 위하여 학술적 연구가 절실히 필요한 실정이다.

제주도 고산습지에 대한 연구로는 김은희 등(2002)에 의한 식물성 플랑크톤상, 고정군(2002), 고정군(2006), 고정군과 고석형(2008), 김대신 등(2015)에 의한

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

한라산 고산습지의 식생 및 식물상, 정상배와 김원택(2008)에 의한 한라산 고산 습지의 수서곤충, 오장근(2008)에 의한 한라산 주요습지의 조류상 등의 발표가 있다. 또한 과거로부터 제4기 환경변화 복원을 위한 연구가 수행되고 있으며 이창수 등(2011)에 의해서 제주도 물영아리늪의 화분분석 연구가 발표된바 있으나 한라산 고산습지에 관한 발표는 미비한 편이다. 최근 전국내륙습지 조사를 통해 습지에 관한 연구가 환경부를 중심으로 수행되고 있으나 습지 전반에 대한 학술적 조사연구 자료들이 부족한 상황으로 생각된다.

본 연구는 한라산 고산습지 연구의 일환으로 물장오리와 사라오름 습지를 대상으로 토심별로 퇴적물의 이화학적 성질, 연대측정 등의 분석 및 해석을 통해서 체계적인 습지 보전을 위한 학술적인 자료를 제공하는데 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 조사지개황

연구대상지인 물장오리와 사라오름 습지의 전경은 그림 1과 같다. 물장오리와 사라오름은 한라산 백록담과 같이 산정화구호를 이루고 있다.



그림 1. 연구대상지 전경

(a) : 물장오리 습지, (b) : 사라오름 습지.

천연기념물 제517호인 물장오리는 한라산 정상에서 동북쪽에 위치해 있으며 습지 정상부 해발고도는 937m에 이른다. 이곳은 제주에서 물영아리 다음으로 2009년도에 람사르 습지로 지정되었으며 제주시 봉개동에 위치해 있다. 물장오리 주변으로는 태역장오리, 쌀손장오리 등이 위치해 있는데 동일한 명칭이 들어가는 장오리(장울)에 대한 어원은 현재 미상이다. 물장오리는 한라산 영실기암과 더불어 제주도에 신성시하는 곳으로 제주도 설화에서 나오는 설문대 활망 전설이 전해지기도 한다. 강우에 의해서 담수가 유지되는 이곳은 사라오름 습지와는 달리 겉보기에는 물이 마른 것처럼 보였으나 이탄층과 같은 퇴적물로 물이 계속해서 유지되고 있었으며 갈수기에는 수심이 깊지 않았다. 물장오리오름 습지보호지역으로 지정된 면적은 610,471m²이며, 담수가 유지되는 습지 내부면적은 12,270m²였다(고정군과 고석형, 2008).

물장오리 오름내의 관속식물상은 92과 219속으로 총 337종류가 분포하고 있으며, 습지내 주요식생은 마름, 골풀, 큰고랭이, 좁을챙이골, 송이고랭이, 기장대풀 등이 있다(김대신 등, 2015). 정상배와 김원택(2006)에 의하면 물장오리 습지내의 수서곤충은 우점종인 자색물방개를 비롯한 20여종이 확인되었으며 담수어류는 인위적으로 유입된 것으로 추정되는 미꾸리가 분포하는 것으로 보고한바 있다. 또한 습지내의 조류는 직박구리가 우점하고 있었으며 총 23종이 관찰되어 분화구형 습지중에서 종 다양도가 높은 것으로 보고하였다(오장근, 2008).

명승 제83호인 사라오름 습지는 한라산 정상에서 동쪽에 위치해 있으며 습지 정상부 해발고도는 1,325m이다. 소재지는 서귀포시 남원읍에 위치해 있으며 사라오름 분화구는 제주도 6대 명당자리 제일로 꼽는다(제주도, 2004). 사라오름 주변으로는 진달래밭, 흙붉은오름, 성널오름 등이 위치해있다. 사라오름 습지내에는 화산분출물의 일종인 스킨리아(Scoria), 화산탄 등의 화산쇄설물을 쉽게 볼 수 있으며 물장오리와 마찬가지로 강우에 의해서 담수가 유지되거나 연중 바닥을 드러내는 일수가 많았다. 사라오름 문화재구역으로 지정된 면적은 62,863m²이며, 담수가 유지되는 습지 내부면적은 10,690m²였다(고정군과 고석형, 2008).

고정군과 고석형(2008)의 보고에 의하면 사라오름 습지내 주요식생은 골풀,

비너골풀, 애기고추나물, 쯤새풀, 솔이끼 등이 있으며, 정상배와 김원택(2006)은 사라오름 습지내의 수서곤충상은 꼬마물방개 및 땅콩물방개로 2종 533개체를 확인하였으며 수서곤충 중 풍부도가 낮음을 보고한바 있다. 오장근(2008)은 사라오름에서 조류 22종을 확인하였으며, 제주에서는 처음으로 왕새매와 논병아리가 관찰되었음을 보고하였다.

2. 시료채취

그림 2에 연구대상지 위치 및 시료채취 지점을 표기하였다. 물장오리와 사라오름 습지 조사는 2015년 4월부터 12월까지 실시하였다. 방사성 탄소 연대 측정을 위한 토양시료는 습지용 토양채취기(Peat sampler, Netherland)를 이용하여 층위를 고려하면서 표층에서부터 200cm 깊이까지 채취하였다. 물장오리 토양시료는 0~2cm, 50~52cm, 100~102cm, 150~152cm 및 198~200cm의 총 5개 시료로 각각 2cm 간격으로 절취하여 연대측정 하는 데 이용하였다. 사라오름 토양시료는 0~2.5cm, 50~52.5cm, 100~102.5cm, 150~152.5cm 및 197.5~200cm의 총 5개 시료로 각각 2.5cm 간격으로 절취하여 연대측정 하는 데 이용하였다(그림 3).

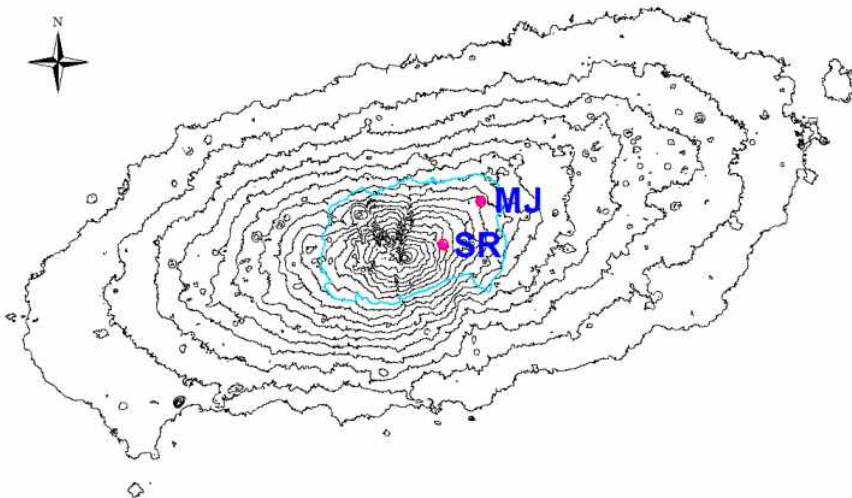


그림 2. 연구대상지 및 시료채취 지점

● : 시료채취 지점, MJ : 물장오리 습지, SR : 사라오름 습지.

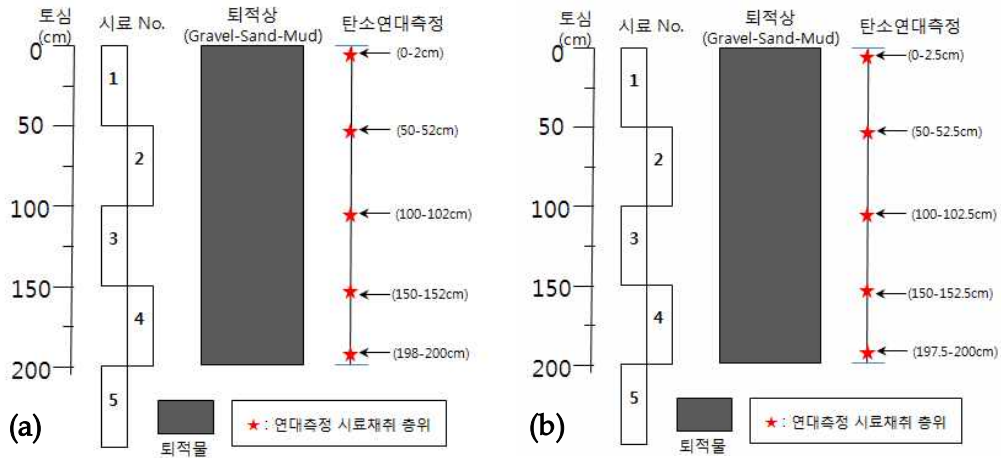


그림 3. 방사성 탄소 연대 측정

(a) : 물장오리 습지, (b) : 사라오름 습지.

토양의 이화학적 성질을 측정하기 위한 시료는 물장오리는 한 지점에서 120 cm(MJ-12), 사라오름 습지는 두 지점에서 70cm(SR-7) 깊이까지 채취하였으며 10 cm 간격으로 구분하여 분석하는데 이용하였다. 공통적으로 물장오리는 120cm, 사라오름 습지는 60cm 깊이에서 토양층 사이로 계속해서 물이 흘러 고여 토양시료를 채취하기가 힘들었다.

3. 분석방법

1) 방사성 탄소 연대 측정

연대측정용 시료 총 8점을 미국의 Beta Analytic Inc.에 분석을 의뢰하였다. 동위원소 분석에 있어서 초정밀 질량분석 기술에 속하는 가속기질량분광분석법(AMS)을 이용하였다. 탄소연대보정곡선 Database는 INTCAL09를 사용하였고, 보정탄소연대는 2 Sigma calibration한 결과이며 95%의 신뢰도를 가졌다.

2) 토양의 이화학적 성질 분석

토양의 이화학적 성질은 농촌진흥청 토양분석법(NIAST, 2000)에 준하여 분석하였다. 입자밀도는 pycnometer 방법을 응용하여 측정하였다. 입도분석은

풍건토양 10g을 정량하여 500ml Tall beaker에 담은 후 증류수를 300ml씩 가하고 30% 과산화수소를 25ml씩 가한 뒤 90℃로 가열된 전열판 위에서 유기물을 분해하였다. 과산화수소 분해가 끝나면 원심분리병에 분산제 5% sodium hexametaphosphate 10ml를 가한 후 약 18시간 정도를 진탕시키면서 완전히 분산시켰다. 이후 Pipette법과 체분석을 이용하여 측정하였다. 토양 pH는 토양과 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 Ultrace, Jobin Yvon)를 이용하여 분석하였다. 양이온교환용량은 1N ammonium acetate(pH 7.0)용액으로 포화 후 ethanol로 과잉의 NH_4^+ 세척한 후 증류하여 정량하였다.

결과 및 고찰

1. 조사지 토양의 방사성 탄소 연대 측정 결과

조사지 토양의 방사성 탄소 연대 측정 결과를 표 1, 2에 나타내었다. 물장오리의 보정탄소연대를 보면 토심 198~200cm 깊이에서 4150 ± 80 으로 나타났다. 보정탄소연대는 1950년을 기준으로 사용하기 때문에 이는 약 2200년 전(기원전 22세기)에 해당한다고 볼 수 있다. 반면에 사라오름의 보정탄소연대를 보면 토심 197.5~200cm 깊이에서 4290 ± 130 으로 나타났다. 보정탄소연대를 적용하면 이는 약 2340년 전(기원전 24세기)에 해당한다고 볼 수 있다. 이를 비교

해 볼 때 물장오리가 사라오름보다 먼저 생성되었다고 볼 수 있으나 같은 청동기 시대를 지시하고 있다. 현재 200cm 깊이의 토심을 대상으로 하였으며 층위의 교란이 없이 토양시료 채취가 잘 된 것으로 보이고 안정되게 퇴적된 것으로 보인다. 향후 토심이 몇 cm 깊이까지 나올지도 의문이며 이와 관련하여 추가 조사가 필요하겠다.

표 1. 물장오리 퇴적물의 탄소 연대측정 결과

시료 번호	토양깊이 (cm)	탄소연대(yr.B.P.) ^{14}C BP($\pm 1\sigma$)	보정탄소연대(yr.B.P.) Cal BP($\pm 2\sigma$)
1	0-2	modern	modern
2	50-52	300 \pm 30	380 \pm 80
3	100-102	1000 \pm 30	880 \pm 80
4	150-152	2280 \pm 30	2270 \pm 90
5	198-200	3780 \pm 30	4160 \pm 80

표 2. 사라오름 퇴적물의 탄소 연대측정 결과

시료 번호	토양깊이 (cm)	탄소연대(yr.B.P.) ^{14}C BP($\pm 1\sigma$)	보정탄소연대(yr.B.P.) Cal BP($\pm 2\sigma$)
1	0-2.5	760 \pm 30	700 \pm 30
2	50-52.5	2720 \pm 30	2815 \pm 60
3	100-102.5	2730 \pm 30	2820 \pm 55
4	150-152.5	2940 \pm 30	3085 \pm 90
5	197.5-200	3870 \pm 30	4290 \pm 130

2. 조사지 토양의 이화학적 성질

물장오리 및 사라오름 습지 토양의 이화학적 성질은 표 3과 같다. 물장오리는 전체적인 데이터를 제시하였으나 사라오름과 비교시에는 70cm 깊이까지를 기준으로 비교하였으며, 사라오름 분석결과는 두 지점에서 채취한 분석값에 대한 평균치로 나타내었다. 물장오리 및 사라오름 습지 토양의 입도분석결과 사라오름은 사양토가, 물장오리는 미사와 점토함량이 많은 미사질양토가

주를 이뤘다. 평균 입자밀도는 물장오리 및 사라오름 습지에서 각각 2.19g/cm³ 및 2.27g/cm³로 일반토양 입자밀도보다는 다소 낮았다.

표 3. 조사지 토양의 이화학적 성질

시료채취 지역	입자 밀도	토양 pH	전기 전도도	유기물 함량	유효 인산	총 질소	교환성 칼륨	교환성 칼슘	교환성 마그네슘	교환성 나트륨	양이온 교환용량
	(g/cm ³)	(1:5)	(dS/m)	(%)	(mg/kg)	(%)	(cmol _c /kg)				
MJ-1	1.72	5.24	0.39	17.74	64	0.41	0.16	1.20	0.50	0.20	31.9
MJ-2	1.89	5.24	0.27	12.96	86	0.26	0.08	0.49	0.18	0.15	26.7
MJ-3	2.23	5.31	0.25	5.31	45	0.18	0.10	0.38	0.14	0.16	19.1
MJ-4	2.22	5.37	0.28	3.26	22	0.15	0.09	0.28	0.11	0.12	20.4
MJ-5	2.04	5.43	0.23	3.53	22	0.10	0.09	0.43	0.10	0.19	18.9
MJ-6	2.17	5.55	0.23	2.55	25	0.09	0.09	0.37	0.17	0.20	17.4
MJ-7	2.17	5.61	0.26	1.34	30	0.08	0.10	0.47	0.27	0.15	18.8
MJ-8	2.41	5.60	0.20	1.65	30	0.07	0.14	0.69	0.42	0.17	13.3
MJ-9	2.05	5.83	0.18	1.24	26	0.06	0.10	1.10	0.47	0.29	16.8
MJ-10	2.46	5.87	0.20	1.34	19	0.06	0.09	0.84	0.45	0.16	12.7
MJ-11	2.48	6.04	0.27	1.31	17	0.06	0.09	0.69	0.38	0.18	11.6
MJ-12	2.47	6.06	0.27	1.68	16	0.04	0.14	1.03	0.69	0.20	17.9
평균	2.19	5.60	0.25	4.24	34	0.13	0.11	0.69	0.32	0.18	18.8
SR-1	2.37	5.50	0.54	5.37	16	0.15	0.07	0.43	0.24	0.14	14.2
SR-2	2.33	5.83	0.31	4.62	15	0.15	0.06	0.48	0.27	0.13	11.5
SR-3	2.43	5.56	0.43	4.84	14	0.17	0.05	0.33	0.15	0.13	14.4
SR-4	2.08	5.80	0.29	7.39	10	0.16	0.06	0.56	0.32	0.15	23.1
SR-5	2.20	5.83	0.31	9.67	12	0.15	0.06	0.48	0.29	0.14	15.0
SR-6	2.27	5.88	0.26	7.02	15	0.17	0.05	0.64	0.36	0.15	19.4
SR-7	2.24	5.89	0.34	7.77	12	0.16	0.06	0.47	0.25	0.14	19.0
평균	2.27	5.75	0.35	6.67	13	0.16	0.06	0.48	0.27	0.14	16.6

조사지의 토양 pH는 5.24~6.06 범위였다. 평균 토양 pH는 물장오리와 사라오름 습지에서 각각 5.60 및 5.75였다. 이와 같은 수치는 불레오름 습지 pH 5.70과 매우 유사하였으나 습은물벙디 습지보다는 약 pH 2 이상으로 매우 높았다. 일반적으로 토심이 깊어질수록 토양 pH가 높아지는데 본 연구결과에서도 이러한 경향이 뚜렷하였다. 전기전도도가 높은 토양은 토양 수분에 염류이온의 농도가 높아 식물생육에 영향을 미친다. 전기전도도는 0.18~0.54 dS/m 범위였으며

전체적으로 염류이온의 농도가 낮아 식물생육에 대한 염류집적의 영향은 거의 무시할 수 있다고 판단된다. 이와 같은 결과는 볼레오름 습지의 전기전도도도 결과와도 유사하였다.

유기물함량은 동식물의 유체가 분해되어 토양에 쌓이는 것이 일반적이나 제주도의 경우 화산분출시 분출된 화산재가 토양입자와 결합하고 동식물의 유체로부터 유래된 유기물이 화산화성 AI과 결합하여 난분해성 유기물로 집적된다. 유기물은 1.24~17.74% 범위로 함량의 차이가 컸다. 일반적으로 유기물함량은 표층에서 높고 토심이 깊어질수록 함량이 낮아진다. 본 연구결과 물장오리 습지에서 토심이 깊어짐에 따라 유기물함량이 낮아지는 경향을 보였으나 사라오름 습지에서는 그러한 경향을 나타내지 않았다. 토양깊이에 따른 유기물함량과 토양 pH 사이에는 유의한 부의 상관관계($r=-0.68^*$)를 보였다. 물장오리 조사구에서는 30~40cm 깊이에서부터 유기물함량이 5%로 낮아졌는데 이는 육지부 토양과 유사한 non-Andisols 토양이 분포했음을 지시한다. 이는 토양 시료 채취 위치가 중심부에 위치하지 않고 이탄토와 같은 유기질 토양이 아니기 때문이라고 판단된다. 평균 유기물함량은 물장오리와 사라오름 습지에서 각각 4.24% 및 6.67%였으며, 이는 볼레오름 습지와는 유사하였으나 숨은물뱅디 습지보다는 약 4배 정도 낮은 함량을 보였다. 일반적으로 총 질소함량도 표층에서 높고 토심이 깊어질수록 함량이 낮아지는 유기물함량과 아주 유사한 경향을 보인다. 본 연구결과 유기물함량과 같이 물장오리 습지에서는 토심이 깊어짐에 따라 유기물함량이 낮아지는 경향을 보였으나 사라오름 습지에서는 그러한 경향을 나타내지 않았다. 총 질소함량은 0.04~0.41% 범위였으며, 평균 총 질소는 물장오리와 사라오름 습지에서 각각 0.13% 및 0.16%로 함량이 매우 낮았다. 이와 같은 결과는 고석형 등(2015)이 발표한 볼레오름 총 질소함량보다 약 2배 정도 낮은 수치이며, 고석형 등(2014)이 발표한 숨은물뱅디 총 질소함량보다도 약 7배 정도 낮았다.

화산화토양은 유효인산함량이 매우 낮아 토양비옥도가 낮은 원인으로 알려져 있다. 일반적으로 표토에서 함량이 높고 토심이 깊어질수록 낮아지는데 물장오리에서는 이와 일치하는 경향을 보였으나 사라오름 습지에서는 그러한 경향을 나타내지 않았다. 유효인산함량은 10~86mg/kg 범위였다. 평균 유효인산

도 물장오리와 사라오름 습지에서 각각 34mg/kg 및 13mg/kg로 물장오리가 사라오름 습지보다 약 3배 정도 함량이 높았다. 물장오리의 유효인산은 숨은물뱅디 및 볼레오름 습지보다도 함량이 높았으나 식물생장에 필요한 함량보다 낮아 습지 주변 식생이 성장하는데 있어서 제한요인이 될 수 있다고 판단된다.

물장오리의 교환성양이온은 K 0.08~0.16cmol_c/kg, Ca 0.28~1.20cmol_c/kg, Mg 0.10~0.69cmol_c/kg 및 Na 0.12~0.29cmol_c/kg 범위였으며, 사라오름은 K 0.08~0.16cmol_c/kg, Ca 0.28~1.20cmol_c/kg, Mg 0.10~0.69cmol_c/kg 및 Na 0.12~0.29cmol_c/kg 범위였다. 본 연구결과는 숨은물뱅디 및 볼레오름 습지의 평균 교환성양이온 함량과 유사한 경향을 보였다(고석형 등, 2014; 고석형 등, 2015). 반면에 정진현 등(2002)이 보고한 제주지역 산림토양의 평균 교환성양이온 함량보다 매우 낮았다. 교환성양이온은 많은 강우에 의해 퇴적층 상부에서 하부로 용탈되는 특성을 보이며 본 조사지는 다우 지역으로써 이러한 경향을 보였다고 생각된다. 양이온교환용량이 클수록 양분보유능이 커지고 토양의 완충능이 커지며 양분을 보관하여 식물이 필요시에 공급할 수 있는 능력이 더 커지는 특성을 갖고 있다(류순호, 2000). 양이온교환용량은 11.6~31.9cmol_c/kg 범위였다. 평균 양이온교환용량은 물장오리와 사라오름 습지에서 각각 18.8cmol_c/kg 및 16.6cmol_c/kg으로 유사한 수치를 나타냈다. 일반적으로 양이온교환용량은 심토보다 표토에서 높은 값을 나타내나 본 연구결과 조사지점 및 토심별에 따라 다양한 차이를 보였다. 본 연구결과는 볼레오름 습지의 양이온교환용량보다 다소 낮았으나 숨은물뱅디 습지보다는 약 3배 정도 낮은 경향을 보였다(고석형 등, 2014; 고석형 등, 2015).

이상의 결과를 종합하면 조사지는 겉보기에는 마른 것으로 보이나 숨은물뱅디 및 볼레오름 습지처럼 시료채취 시 물이 계속해서 나오는 토양수분 상태를 보였다. 이러한 토양수분 조건, 지형 및 퇴적조건 등에 의해서 토양 pH가 양호하였으나 유기물함량, 총 질소, 유효인산, 교환성양이온 함량이 낮아 이러한 원인에 대한 추가적인 연구가 필요하겠다. 또한 조사지에 대한 연대측정이 일부 이루어졌으나 추가 조사가 필요하며 화분분석이 진행되지 않아 본 보고서에는 미기재 하였다. 향후 추가 분석 및 해석을 통해서 기후복원 및 식생변화에 대한 고찰을 실시할 예정이다.

인용문헌

- 고석형, 박지훈, 양승훈, 김현철, 고용현, 신창훈. 2014. 숲은물벙뒤 습지의 퇴적물에 관한 연구. 제주특별자치도 세계유산·한라산연구원 조사연구보고서 제13호: 242-253.
- 고석형, 이영돈, 신창훈. 2015. 한라산 불레오름 고산습지의 토양특성. 제주특별자치도 세계유산·한라산연구원 조사연구보고서 제14호: 333-339.
- 고정군, 신용만, 문명옥. 2002. 한라산의 백록담과 1100고지 및 동수악 습지일대의 식물분포 특성. 제주도 한라산연구소 조사연구보고서 창간호: p. 73-85.
- 고정군. 2006. 한라산 백록담일대의 식생. 제주특별자치도 한라산연구소 학술조사보고서. p. 339-350.
- 고정군, 고석형. 2008. 한라산 고산습지의 학술적 가치조명과 과제 - 한라산 고산습지의 현황 및 식물상. 제주특별자치도 환경자원연구원 학술심포지엄자료집. p.1-21.
- 김대신, 김수경, 김종갑, 고정군. 2015. 세계자연유산지역 물장오리 및 어승생악오름의 식물상. 제주특별자치도 세계유산·한라산연구원 조사연구보고서 제14호: 55-69.
- 김은희, 이호원, 이상명, 강현무. 2002. 제주 기생화산 화구호의 환경과 식물성플랑크톤상. 한국습지학회지 제4권 제1호: 1-19.
- 류순호. 2000. 토양사전. 서울대학교출판부. pp. 470.
- 오장근. 2008. 한라산 고산습지의 학술적 가치조명과 과제 - 한라산 주요습지의 조류상. 제주특별자치도 환경자원연구원 학술심포지엄자료집. p. 111-123.
- 이창수, 강상준, 최기룡. 2011. 제주도 물영아리늪 퇴적물의 화분분석에 의한 식생변천. 한국환경과학회지 20(3): 341-350.
- 정상배, 김원택. 2008. 한라산 고산습지의 학술적 가치조명과 과제 - 한라산 고산습지의 수서곤충. 제주특별자치도 환경자원연구원 학술심포지엄자료집. p. 43-52.
- 정진현, 구교상, 이충화, 김춘식. 2002. 우리나라 산림토양의 지역별 이화학적 특성. 한국임학회지 91(6): 694-700.

제주도, 제주발전연구원, 제주환경운동연합. 2001. 제주의 습지. 대영인쇄사.
PP. 270.

제주도. 2004. 제주도생물권보전지역 아름다운생태이야기. 제주도. p.24-25.

환경부. 2015. http://www.me.go.kr/home/web/policy_data/read.do?menuId=10261&seq=6531.

NIAST. 2000. Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea. p. 35-131.