

부산시 장산습지 토양의 물리적 및 화학적 특성

차은지 · 함세영* · 김현지¹⁾ · 이정환 · 옥순일

부산대학교 지구환경시스템학부, ¹⁾한국수자원공사 K-water 연구원
(2010년 8월 16일 접수; 2010년 9월 24일 수정; 2010년 10월 11일 채택)

Physical and Chemical Properties of Soil in Jang-San Wetland, Busan Metropolitan City

Eun-Jee Cha, Se-Yeong Hamm*, Hyun-Ji Kim¹⁾, Jeong-Hwan Lee, Soon-Il Ok

Department of Geological Sciences, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

¹⁾K-water institute, Korea Water Resources Corporation, Daejeon 305-730, Korea

(Manuscript received 16 August, 2010; revised 24 September, 2010; accepted 11 October, 2010)

Abstract

This study examined the physical and chemical properties of soil in Jang-San wetland in Busan Metropolitan City. The wetland covers wide and flat area comparing to its outside. The samples of the wetland soil were collected and analyzed in order to identify the profiles and chemical properties. According to the analyses of soil moisture and particle size distribution, the wetland soil mostly belongs to sandy loam with the soil moistures of 14.9-153.2%. The soil profiles are configured with O, A, B, and C horizons from the land surface. The organic matter content (2.38-16.7%) at most sampling locations decreases downwardly with the highest at 0-20 cm depth. The organic matter content has a good positive relationship with soil moisture content. According to X-ray diffraction analysis, the wetland soils contain quartz and feldspar (the main components of rhyolite porphyry) as well as montmorillonite, gibbsite, and kaolinite (the weathered products of feldspar). The wetland soil displays the highest iron concentration (average 22,052 mg/kg), indicating oxidation of iron. High concentrations of potassium (average 17,822 mg/kg) and sodium (average 5,394 mg/kg) originate from the weathering of feldspar. Among anions, sulfate concentration is highest with average 9.21 mg/kg that may originate from sulfate minerals and atmosphere.

Key Words : Jang-San wetland, Soil, Physical and chemical properties, Organic content, Weathering

1. 서론

Ramsar(2007)에 의하면, 습지는 늪지, 이탄지, 범람원, 강과 호수, 해수 소택지(saltmarshes), 맹그로브

늪지, 해변식물 지역, 산호초, 수심 6 m가 넘지 않는 간조대, 그리고 인공습지(폐수처리 연못과 저수지)와 같은 다양한 생태환경을 포함한다. 습지는 물이 고여 있거나 느리게 흐르는 곳으로 영양분이 풍부하고 생산성이 높아 다양한 생물종의 서식지가 되며 유출된 습지의 물은 하류지역이나 연안의 생물들의 영양원이 된다. 습지는 생물의 서식처 뿐만 아니라 물 저장, 홍수 제어, 호안의 안정성 확보 및 침식 조절, 지하수 함양 및 유지, 수질정화, 영양물질의 순환, 퇴적물과 오

*Corresponding author : Se-Yeong Hamm, Department of Geological Sciences, Pusan National University, Busan 609-735, Korea
Phone: +82-51-510-2252
E-mail: hsy@pusan.ac.kr

염물질의 정화, 지역적인 기후환경의 안정성 확보 등의 다양한 기능을 가지고 있다. 또한, 경제적인 관점에서 습지는 어업, 농업, 생물자원, 레크리에이션, 관광 자원을 제공한다.

Ramsar(2006)의 습지 분류체계를 보면, 습지는 크게 해양/해안습지(천해, 조하대, 산호초, 암석해안, 모래-자갈해안, 하구, 조간대 펄층이나 모래층, 조간대 소택지 및 습지, 연안 기수/염수 석호, 연안 담수 석호, 해양/연안의 카르스트 지역), 내륙습지(삼각주, 영구 또는 간헐 하천, 영구 또는 간헐 호수(8 ha 이상), 염호, 소택지, 이탄지, 산지 습지, 동토대 습지, 샘, 오아시스, 열천, 카르스트 지역), 인공습지(양식장, 연못, 논, 계절적으로 범람하는 농경지, 염전, 저류지, 골짜기 채취장, 폐수 처리장, 수로 및 배수로)로 구분된다. 국내의 습지보전법 제2조에 의하면, 습지는 담수·기수 또는 염수가 영구적 또는 일시적으로 그 표면을 덮고 있는 지역으로서 내륙습지와 연안습지로 구분된다. 내륙습지는 육지 또는 섬 안에 있는 호 또는 소와 하구 등의 지역을 포함하고, 연안습지는 만조시에 수위선과 지면이 접하는 경계선으로부터 간조시에 수위선과 지면이 접하는 경계선까지의 지역을 포함한다. 한편, Brinson(1993)에 의하면, 습지는 수문학적인 관점에서 그 위치와 수원, 습지수의 유입과 유출, 침수기간 등에 따라 분류할 수 있으며, 이러한 수문학적 분류는 지형과 기후 조건에 그 토대를 두고 있다.

2010년 2월 1일 현재 우리나라의 람사르 등록습지는 14개소(경남 창녕 우포늪, 강원도 인제 대암산 용늪, 전남 신안 장도습지, 전남 순천만·보성 갯벌, 제주도 서귀포 물영아리 오름, 충남 태안군 두웅습지, 울산시 울주군 무제치늪, 전남 무안 갯벌, 강화도 매화마름 군락지, 강원도 오대산 국립공원 습지, 제주도 물장오리습지, 1100고지 습지, 서천습지, 고창-부안갯벌)로서 연안습지 4개소(면적 131.9 km²), 내륙습지 10개소(면적 11.026 km²)이다. 우리나라에서는 오래전부터 습지와 그 주변지역이 농경지로 사용되어 오고 있었다. 그러나, 산업화 이후로 인위적인 요인(매립, 간척, 굴착, 구조물 건설, 운하, 토지이용도 변경)에 의해서 빠르게 습지 면적이 점차 감소하고 있는 실정이며, 그 외에도 해수면 상승, 해류 방향 변화, 침식 등의 자연적인 요인이 있다(김, 2003). 습지지역의 매립, 간척

은 습지 자체의 파괴 뿐만 아니라 습지 식생과 토양을 교란시키고, 수문학적인 평형상태를 파괴한다. 수문학적 평형상태의 파괴는 지하수와 하천수 수위의 계절적 변동에 변화를 유발하고, 습지수의 저장량 감소와 함께 습지 및 하류 지역에 홍수와 가뭄을 초래하게 된다. 또한 오염원과 퇴적물의 증가에 의한 영양물질(인, 질소)의 증가는 생태계에 부정적인 영향을 미치게 된다.

국내에서 습지연구는 주로 습지의 지형학적인 특성 및 분류 그리고 생태학적 연구에 집중되어 왔으나(주와 구, 2006; 구와 서, 2007; 천, 2008; 도 등, 2007), 그 특성상 규모가 작고, 고립되어 있으며 산발적으로 분포하는 산지습지에 대한 연구는 미흡한 실정이다(정, 2006). 산지습지에 대한 연구로는 강 등(2007)에 의한 산지습지 퇴적물의 유기물함량 특성 연구, 신 등(2005)에 의한 신불산 산지습지의 습지 퇴적물 및 주변사면 토양의 특성과 습지의 물질 순환에 대한 연구 등이 있을 뿐이다. 국외에서는 안정동위원소를 이용한 습지 퇴적물 내 유기물질의 기원에 관한 연구(Requejo 등, 1986; Ruttenberg와 Goni, 1997; Loh 등, 2007), 습지의 수리지질학적 또는 수문학적 연구(Eser와 Rosen, 1999; Bragg, 2002; Ju 등, 2005), 습지의 지형학적 연구(Woods 등, 2006; Cole 등, 2008; Rossell 등, 2009) 등 다양한 연구가 수행되었다.

산지습지의 생성환경과 습지의 수문학적 특성을 이해하기 위해서는 습지 토양의 물리적 및 화학적 특성 파악이 요구된다. 특히, 국내에서는 산지습지 토양의 물리적 및 화학적 특성 연구가 미흡한 실정이다. 따라서, 본 연구는 접근이 용이하고 습지 보존 상태가 비교적 좋은 부산광역시 장산의 산지습지를 대상으로 토양의 위치 및 깊이에 따른 물리적 및 화학적 성질을 파악하였다. 습지 토양의 물리적 및 화학적 성질을 위해서는 습지 토양 심도별 채취, 토양단면분석, 함수비 측정, 입도분석, 유기물 분석, 무기물분석, X-선 회절분석을 실시하였다.

2. 지형 및 지질

연구지역은 부산광역시 해운대구 북부에 있는 장산(634 m)의 산지습지로서 산 정상에서 북동쪽으로

약 1,900 m 떨어진 곳에 위치하며, 고도 약 460 m, 면적 약 115,000 m²이다(Fig. 1). 장산의 산줄기는 북동쪽으로 뻗어있으며, 장산의 서쪽에는 북북동-남남서 주향의 동래단층, 동쪽에는 역시 북북동-남남서 주향의 일광단층이 지나가고 있다. 수치표고모델(DEM, Digital Elevation Model)에 의하면, 습지는 주변지역에 비해 비교적 완경사 지역에 위치하고 있으며, 주변의 능선이 습지로 향하고 있다(Fig. 1). 장산습지는 넓고 평탄한 지형을 형성하고 있으며 경사도는 10° 미만으로 낮은 반면에, 주변부는 해발고도 400~600 m로서 10~20°의 상대적으로 높은 경사도를 보인다. 따라서 습지 주변의 능선으로부터 지표수와 지하수가 지속적으로 공급될 수 있는 지형 조건이 갖추어져 있다. 주변의 수계는 습지주위의 고지대로부터 평탄한 습지쪽으로 물이 모이는 지형에 의해서 형성되며, 세방향의 수계(습지의 중앙을 가로질러서 북쪽에서 남

쪽방향, 습지의 좌측으로부터 북서-남동방향, 서-남동방향)를 이루고 있다.

연구지역은 한반도 경상분지의 남동부에 위치하고 있으며 백악기 경상누층군 퇴적암층이 분포하고 있으며, 장산 습지는 유문반암 지역에 해당된다(Fig. 2). 지질층서는 하위로부터 경상누층군의 하양층군에 속하는 이천리층, 유천층군에 속하는 안산암질암, 화산력 응회암, 유문암질암, 유문반암 그리고 불국사화성암류에 속하는 산성암맥이 이들을 관입하고 있으며, 제4기 충적층이 상기 암석들을 피복하고 있다(손 등, 1978). 최하위층인 이천리층은 연구지역의 동부에 소규모로 분포하며 대체로 흑색 또는 암회색의 세일과 혼펠스로 구성된다. 안산암질암은 장산습지의 북서쪽과 북동쪽에 분포하며 유천층군의 화산암류 중에서 초기에 형성된 것이며 국부적으로는 이천리층을 관입한 관입암체로 산출된다. 안산암질암의 상위에 놓여

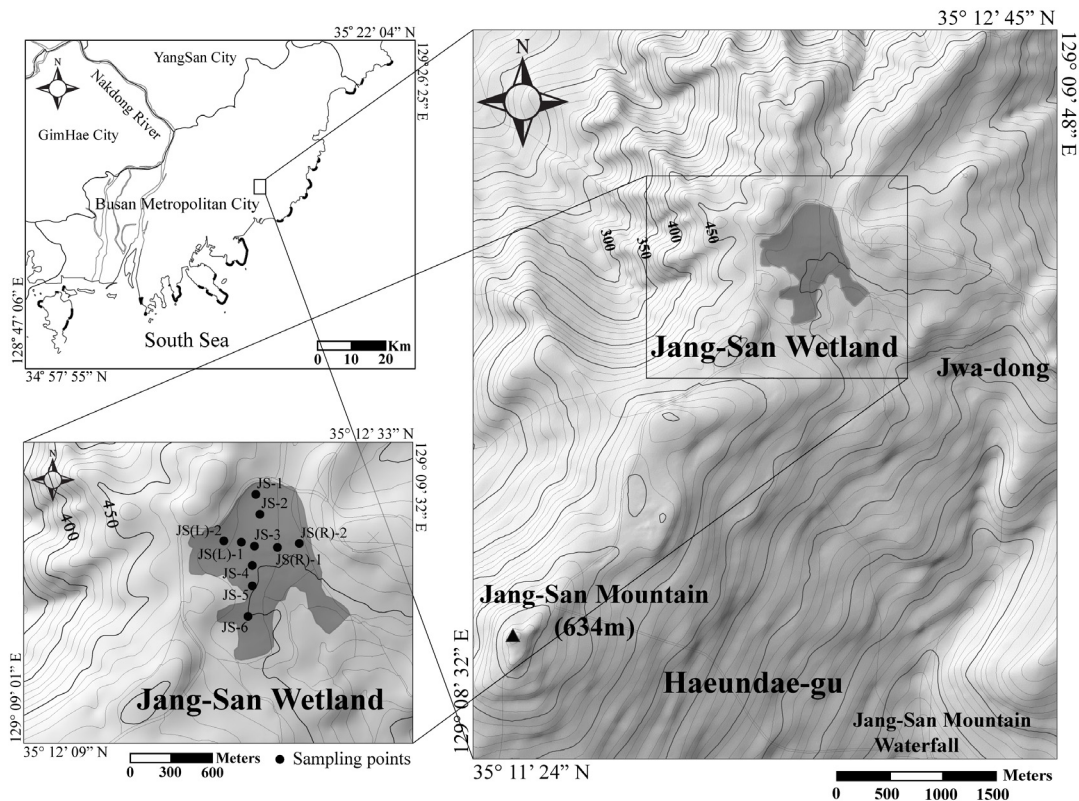


Fig. 1. Location of Jang-San wetland with sampling points.

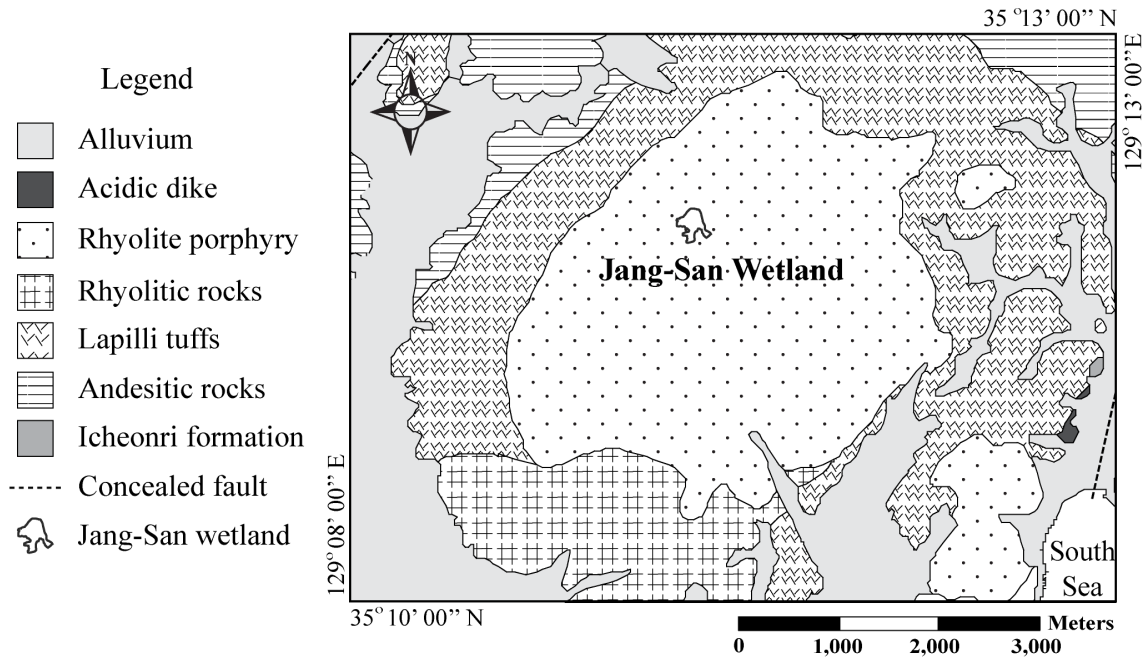


Fig. 2. Geology of the study area (slightly modified from Son et al., 1978).

있는 화산력응회암층은 장산 일대를 중심으로 비교적 넓게 분포하며 유문반암에 의해 피복된다. 화산력응회암은 장산을 중심으로 하는 소규모의 향심구조에 의해 장산의 외곽을 따라 환상으로 노출되어 있고, 안산암 및 쳐어트를 많이 함유하고 있다.

장산습지의 남쪽에 분포하는 유문암질암은 화산력응회암의 상위에 렌즈상으로 놓이며, 유문반암에 의해 덮여 있다. 장산 일대에서 유문암질암은 구과상 구조, 유상구조 등을 보이고 있어서 육안으로도 전형적인 유문암임을 용이하게 구별할 수 있다.

유문반암은 장산습지의 기반암으로서 연구지역 일대에서 가장 넓은 면적을 차지한다. 유문반암이 분포되어 있는 장산 일대는 매우 특이한 지형을 보이는데, 장산-구곡산 일대의 산릉은 매우 완만한데 반하여 산록부근은 매우 급경사를 이루고 있다. 장산 일대의 유문반암은 화산력응회암과 유문암질암을 덮고 있으며, 균질한 암질을 보여준다. 그러나 장산 동측 계곡의 폭포사 뒤편에서는 유문반암 내에 층리가 비교적 잘 발달되는 유문암질암과 화산력응회암의 호층이 개재되는데, 이 두 암석의 하부에는 유백색 내지 담회황색의

대체로 20~30 cm의 직경을 가지는 쳐트 암편(주로 타원체로서 원래 렌즈상의 쳐트가 이차적으로 변형된 것)이 많이 포함된다. 신선한 표면은 암회색 바탕에 흰 장석반정이 점문을 이루며 녹색 석영안산암의 각력을 다분히 포함하고 있으며, 다소 풍화된 암석은 회다갈색을 띠는 바탕에 흰색 장석의 반점들을 보인다. 본 암석은 석영안산암의 각력을 다량 함유하며 소량의 혼펠스편도 포함한다. 이외에도 직경 1~3 mm 정도의 둥근 석영립이 다량 함유되어 있다(손 등, 1978) (Fig. 2).

연구지역의 남동부 끝쪽에 이천리층과 인접해 있는 산성암맥은 유천층군의 퇴적암과 화산암을 관입하고 있다. 제4기 층적층은 역질토, 사질토, 이토 등으로 구성되어 있으며, 연구지역의 동부와 서부에 걸쳐 계곡 및 저지대에 분포한다.

3. 재료 및 방법

핸드오거를 사용하여 장산습지 내 남북방향으로 6개 지점(JS-1, JS-2, JS-3, JS-4, JS-5, JS-6), 동서방향

으로 4개 지점(JS(R)-2, JS(R)-1, JS(L)-1, JS(L)-2)에서 토양시료를 채취하였다(Fig. 1). 또한 깊이별 토양의 특성을 파악하기 위하여 남북방향 상류쪽의 JS-1(해발고도 464 m, 위치: 35°12'29.01"N, 129°09'21.23"E)에서 깊이별로 5개의 토양시료(JS-1-1~JS-1-5)와 JS-2(해발고도 460 m, 위치: 35°12'27.5"N, 129°09'21.6"E)에서 깊이별로 5개의 토양시료(JS-2-1~JS-2-5)를 채취하였다(Table 1). 습지의 중심부인 JS-3(해발고도 456 m, 위치: 35°12'25.1"N, 129°09'21.1"E)에서는 심도별로 4개의 시료(JS-3-1~JS-3-4), JS-4(해발고도 456 m, 위치: 35°12'23.64"N, 129°09'20.90"E) 지점에서는 5개의 시료(JS-4-1~JS-4-5)를 채취하였다. 또한 JS-5(해발고도 456 m, 위치: 35°12'22.1"N, 129°09'20.9"E) 지점에서는 8개의 시료(JS-5-1~JS-5-8)를 채취하였다. 습지의 하류쪽의 JS-6(해발고도 458 m, 위치: 35°12'19.8"N, 129°09'20.5"E) 지점에서는 4개의 시료(JS-6-1~JS-6-4)를 채취하였으며, 동서방향으로는 JS-3를 중심으로 왼쪽의 JS(L)-1(해발 461 m, 위치: 35°12'25.4"N, 129°09'19.9"E)에서 4개(JS(L)-1-1~JS(L)-1-4), JS(L)-2(해발 466 m, 위치: 35°12'25.5"N, 129°09'18.36"E)에서 5개의 토양시료(JS(L)-2-1~JS(L)-2-5)를 채취하였다. 그리고 동쪽에 위치하는 JS(R)-1(해발 454 m, 위치: 35°12'25.0"N, 129°09'23.2"E)에서 4개의 토양시료(JS(R)-1-1~JS(R)-1-4), JS(R)-2(해발 458 m, 위치: 35°12'25.3"N, 129°09'25.2"E)에서 4개의 토양시료(JS(R)-2-1~JS(R)-2-4)를 채취하였다.

습지 토양의 입도는 조립토(모래크기 이상)와 세립

토(모래크기 미만)로 나누어 분석하였는데, 조립토는 8개의 체[No. 8(2.38 mm), No. 20(0.85 mm), No. 40(0.425 mm), No. 60(0.25 mm), No. 80(0.18 mm), No. 100(0.15 mm), No. 140(0.106 mm), No. 200(0.075 mm)]를 이용하여 습식체분석(wet sieve method)으로 구하였다. 한편 No. 200체를 통과하는 세립지는 Stokes의 법칙을 이용하여 비중계 분석(hydrometer analysis)으로 입도분포를 구하였다.

토양 시료의 무기성분은 한국기초과학지원연구원 부산센터에 의뢰하여 분석하였다. 분석된 무기성분은 양이온으로는 Al³⁺, As³⁺, Ca²⁺, Cr³⁺, Fe²⁺, K⁺, Mg²⁺, Mn²⁺, Na⁺, Si⁴⁺, Zn²⁺이고, 음이온으로는 F⁻, Cl⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻이었다. 시료 전처리하는 토양시료 0.2 g을 질산: 과염소산 부피비를 4: 1로 혼합산 5 ml에 첨가하고, 가압테플론 용기에 넣어 밀봉한 후 24시간 산처리 과정을 거쳤다. 그리고 130 °C에서 시료를 가열시켜 1 ml 이하가 될 때까지 증발시키고 한번 더 혼합산 5 ml를 첨가하여 산처리하였다. 시료를 다시 130 °C에서 가열시켜 1 ml 이하로 되었을 때, 3차 증류수 40 ml를 가한 후 희석하여 10 ppm, 1 ppm, 0.1 ppm의 표준용액을 제조하였다. 양이온 분석기기는 유도결합 플라즈마 원자 방출 분광광도계(ICP Optical Emission Spectrometer(Perkin Elmer사의 ICP-OES)이었다. 한편, 음이온분석을 위해서는 시료와 증류수를 1: 10의 무게비로 혼합한 후 진동기에서 1시간 진동시켜 전처리하고 0.2 μm의 여과지로 여과시켰다. 음이온 분석기기는 이온 크로마토그래피(DIONEX사의 ICS-1500)이었다.

Table 1. Sand, silt, and clay contents of Jang-San wetland based on the USDA textual classification

Sample no.	Depth (cm)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Sample no.	Depth (cm)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Sample no.	Depth (cm)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Sample no.	Depth (cm)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)
JS-1-1	0-18	47.84	36.77	15.39	JS-3-4	60-70	57.45	35.25	7.30	JS-6-2	30-40	71.82	22.39	5.78	JS(R)-1-1	10-20	53.03	33.81	13.16
JS-1-2	40-50	48.17	27.19	24.64	JS-4-1	0-20	83.32	12.50	4.19	JS-6-4	60-70	68.71	16.31	14.98	JS(R)-1-2	40-50	59.63	30.80	9.57
JS-1-3	55-70	49.24	29.28	21.48	JS-4-2	40-55	50.75	33.31	15.94	JS(L)-1-1	10-15	62.22	27.83	9.95	JS(R)-1-3	50-60	67.73	24.80	7.47
JS-2-1	0-10	58.13	26.40	15.48	JS-4-3	60-75	46.36	31.74	21.90	JS(L)-1-2	30-45	59.97	23.80	16.23	JS(R)-1-4	80-90	68.54	24.02	7.45
JS-2-2	10-20	55.21	30.13	14.66	JS-5-1	0-10	58.50	31.33	10.17	JS(L)-1-3	70-80	58.85	25.91	15.24	JS(R)-2-1	10-20	56.56	30.63	12.81
JS-2-3	20-30	54.74	30.22	15.04	JS-5-2	15-30	49.87	31.96	18.17	JS(L)-1-4	90-100	74.24	16.66	9.09	JS(R)-2-2	30-40	51.97	37.60	10.43
JS-2-4	50-65	47.84	30.82	21.34	JS-5-3	30-40	53.04	31.95	15.01	JS(L)-2-1	5-15	58.37	30.56	11.07	JS(R)-2-3	65-80	53.05	31.76	15.19
JS-2-5	95-100	57.84	30.99	11.18	JS-5-4	50-65	52.86	26.35	20.80	JS(L)-2-2	35-45	61.65	27.19	11.16	JS(R)-2-4	90-100	69.26	23.99	6.75
JS-3-1	10-20	54.37	31.14	14.49	JS-5-6	90-100	67.52	24.19	8.29	JS(L)-2-3	55-65	60.57	22.23	17.20	min	-	46.36	12.50	4.19
JS-3-2	30-40	59.38	26.16	14.46	JS-5-8	115-130	67.46	23.81	8.73	JS(L)-2-4	80-90	75.88	19.55	4.57	max	-	83.32	37.60	24.64
JS-3-3	50-60	61.56	26.70	11.75	JS-6-1	0-15	64.58	24.57	10.85	JS(L)-2-5	100-110	59.95	27.09	12.96	mean	-	59.46	27.55	12.98

습지 토양의 유기물 총량(LOI, loss on ignition)은 작열 감량된 무게와 노건조후 시료의 무게의 비이다. 또한, 토양 내의 C, H, O, N, S, P의 각각의 함량은 한국기초과학지원연구원 부산센터에 의뢰하여 독일 Elementar Analysensysteme 사의 Elemental Analyzer (모델명 Vario-EL III)로 분석하였으며, 운전온도는 1,150 °C이다.

토양시료의 구성광물 종류를 파악하기 위하여 한국기초과학지원연구원 서울센터에 의뢰하여 X-선 회절 분석을 실시하였다. 사용된 X-선 회절분석기는 Philips 사의 모델 XPERT XPD로서 수직 쌍 측각기(모델명 PW3020)의 규격은 $\theta/2\theta$ 이다. 시료는 Ni-filter가 장착된 CuK α 복사선으로 측정하였으며, 주사속도는 2°/분, 주사범위는 3°~90°, 가속전압/전류는 40 kV/30mA이다.

4. 습지 토양의 물리적 성질

4.1. 함수비와 입도분포

함수비 측정 결과, 장산습지 토양의 함수비는 14.9~153.2%를 나타낸다(Fig. 3). 지역적으로는 습지의 중앙에 위치한 JS-4지점의 0~20 cm 구간에서 함수비가 가장 높고, 동쪽의 JS(R)-1지점의 50~60 cm 구간에서 가장 낮다. 또한 지점별 평균 함수비는 JS-4에서 가장 높고, JS(R)-1에서 가장 낮다. JS-4는 습지의 중앙에 위치하므로 습지 주변의 고지대 흘러들어오는 지하수와 지표수가 모이는 지점이므로 함수량이 높은 것으로 판단된다. 또한 여러 지점의 함수비 차이는 습지 내 지표수와 지하수 유동 경로와 저류성의 차이에서 유래하는 것으로 판단된다. 한편, 깊이에 따른 장산습지 토양의 함수비는 대체로 지표에 가까울수록 높고, 심도가 깊어지면서 낮아지는 경향성을 보인다. 또한, 천부(0~50 cm)의 함수비 범위는 30~150% 정도로 넓으나, 심부(80~120 cm)에서는 30~50% 정도의 좁은 범위를 나타낸다.

장산습지 토양은 세립질과 조립질의 혼합토로 이루어져 있으며, 심도가 깊어질수록 모래의 양이 증가하고, 자갈(>직경 2 mm)이 발견된다. 지점에 따른 모래(2.00~0.05 mm), 실토(0.05~0.002 mm), 점토(<0.002 mm)의 구성비를 살펴보면, 남북방향으로는 JS-1, JS-3, JS-5, JS-6에서는 지하로 갈수록 모래의 양

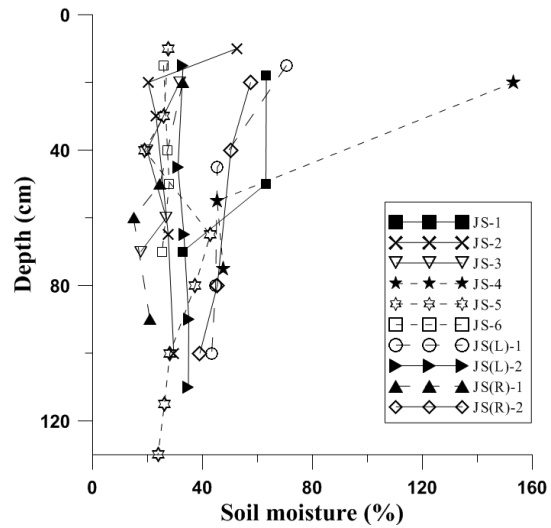


Fig. 3. Soil moisture (%) with depth in Jang-San wetland.

이 증가하는 양상을 보인다(Table 1). 그러나, JS-2에서는 심도에 따른 경향성이 뚜렷하지 않으며, JS-4에서는 오히려 하부로 갈수록 모래의 양이 감소하는 경향성을 보인다. 한편, 동서방향으로는 즉, JS(R)-1과 JS(R)-2에서는 지하로 갈수록 모래의 양이 증가하나, JS(L)-1과 JS(L)-2에서는 그러한 경향성이 보이지 않는다. 전체적으로는 심부의 토양이 천부의 토양보다 더 세립질로 이루어져 있으며, 이는 유기물과 점토광물의 집적으로 인하여 지표 부근이 더 세립질로 구성되어 있음을 지시한다.

각각의 토양시료의 입도분포곡선을 이용하여 USDA의 토양분류체계에 따라 습지 토양을 삼각 다이어그램에 도시한 결과(Fig. 4), 장산습지 토양은 대체로 사질양토에 해당되며, 이는 장산습지의 성숙도가 낮은 편에 해당하는 것을 지시한다. Fork(1955), Trask(1932), Inman(1952)의 식을 이용하여 평균입경과 분급도를 구한 결과, 장산습지 전체의 입경은 0.5179~1.2463 mm(평균 1.0328 mm)를 가지며, 분급도는 0.3311~1.1988(평균 0.9272)로 양호한 편이다. JS-6지점의 평균 입경이 가장 높고, JS(R)-1지점의 평균 입경이 가장 낮다. 또한 JS-4지점에서는 가장 양호한 분급도를 나타내며, 평균 입경이 가장 높은 JS-6에서 가장 낮은 분급도를 나타낸다.

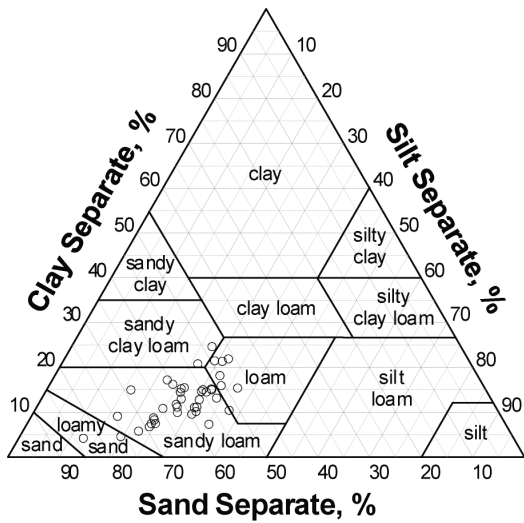


Fig. 4. Soil texture of Jang-San wetland proposed by USDA (1993).

4.2. 장산습지의 토양단면

핸드오거로 채취한 토양시료의 색, 입도, 유기물 함량, 화학적 특성으로부터 토양단면을 파악하였으며, 각 층의 물리적 특징을 분석하였다(Fig. 5). 장산습지의 토양층은 대체로 지표하 100 cm까지 발달되어 있다(Fig. 6). 장산습지의 남북방향(JS-1 지점 ~ JS-6 지

점)의 토양단면을 보면, 유기물 층인 O₂층(두께 5 ~ 10 cm)은 JS-1과 JS-4에서만 나타난다(Fig. 6). A 층에서는 A₁층(유기물이 집적되어 암흑색을 띠)과 A₂층(유기물이 적고 알루미늄 철 산화물, 점토로 이루어짐)이 나타나는데 A₁층(두께 10 ~ 20 cm)보다 A₂층(두께 15 ~ 70 cm)이 더 잘 발달되어 있다. A₁층은 북쪽인 JS-1에서 남쪽인 JS-4로 갈수록 증가하는 경향을 보이다가 다시 감소하는데 JS-4 지점은 장산습지의 중앙부로 지표가 평탄하고 지표수와 지하수를 보존할 수 있는 지형적 조건을 가지고 있어서 광물의 풍화와 유기물 집적이 잘 일어날 수 있는 위치이다. 또한 북쪽의 JS-1 지점에서부터 남쪽으로 갈수록 A₂층의 두께는 대체로 얇아지는 경향성을 보인다. B₁층(두께 15 cm)은 JS-1에서만 나타나는 반면에, B₂층(두께 5 ~ 65 cm)은 6개 지점에서 모두 나타난다. B₂층의 두께는 북쪽(JS-1)에서 남쪽(JS-6)로 갈수록 증가하는 경향성을 보인다. 한편, B 층에서 C 층으로 이행하는 층인 B₃층(두께 5 ~ 35 cm)은 JS-4와 JS-5 지점에서만 나타난다. 이는 습지의 가장자리 부분에서 풍화의 초기단계를 나타내는 것으로 해석된다. 남북방향의 토양단면에서는 A₂층의 두께가 우세하게 나타난다.

동쪽(JS(R)-2)으로부터 서쪽(JS(L)-2)까지의 토양 단면을 보면, JS(R)-2에서만 5 cm 두께의 O₂층이 나

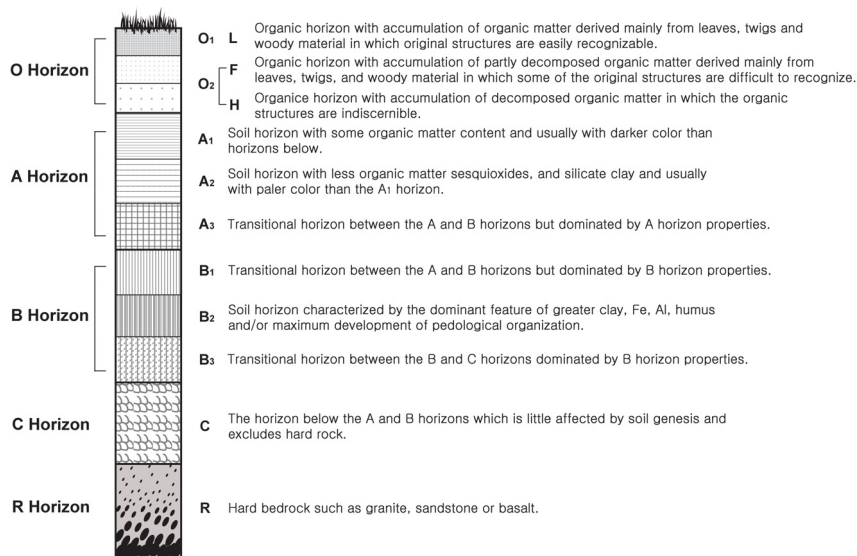


Fig. 5. Typical soil horizons (Kim, 2010).

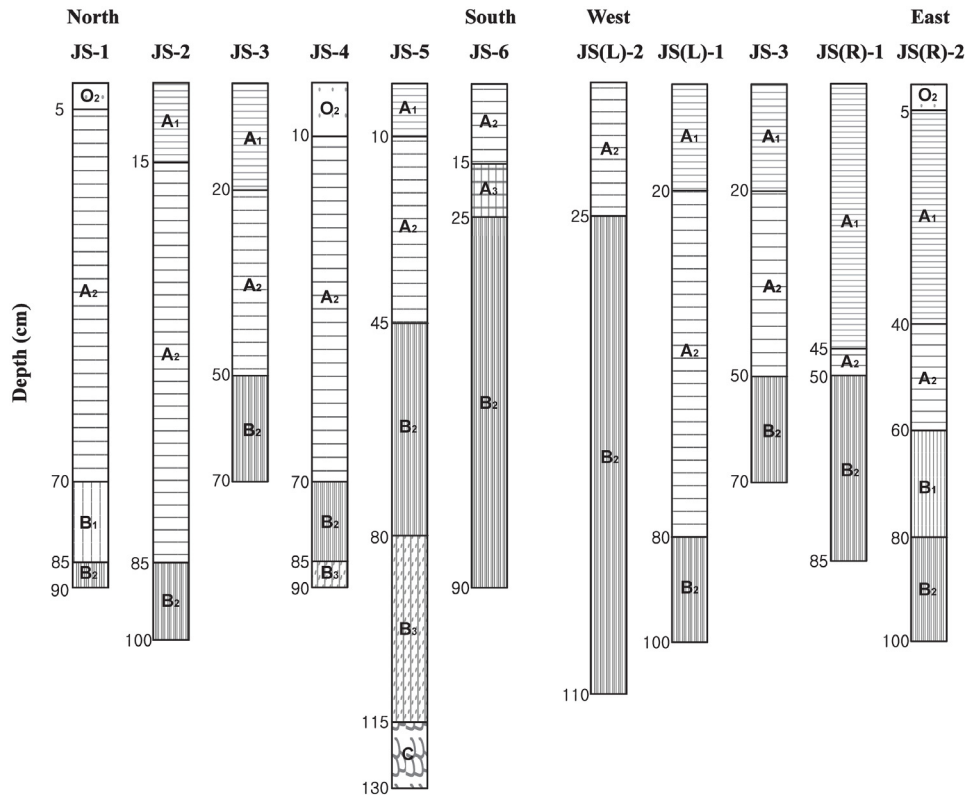


Fig. 6. Soil profiles in Jang-San wetland. The symbols of the soil horizons correspond with those in Fig. 5.

타나고, 다른 지점에서는 유기물층이 나타나지 않는다. A₁층(두께 0~45 cm)은 동쪽이 서쪽보다 더 두꺼운 경향성을 보이는 반면에, A₂층(두께 5~60 cm)은 서쪽이 동쪽보다 더 두껍게 나타난다. 한편, B₁층은 동쪽 끝인 JS(R)-2에서만 나타나고 있으며, B₂층(두께 20~85 cm)의 두께는 서쪽 끝인 JS(L)-2에서 가장 두꺼우나, 다른 지점에서는 두께가 큰 차이를 보이지 않는다. 동서방향의 토양단면에서는 A₂층이 가장 우세하게 발달하나, JS(R)-2에서만 점토, 알루미늄-철 산화물로 구성되고 토양구조가 잘 발달된 B₂층의 두께(85 cm)가 상대적으로 두껍게 나타난다.

5. 습지 토양의 화학적 특성

5.1. 습지 토양의 유기물 함량

장산습지의 지점별 유기물의 평균 함량은 JS-1에서 8.68%로서 가장 높고, JS-5에서 4.48%로서 가장 낮

다. 장산습지의 깊이에 따른 유기물 함량을 보면, JS-4 지점(지표하 0~20 cm)의 유기물 함량이 16.7%로 가장 높고, JS-5 지점(지표하 115~130 cm)의 유기물 함량이 2.38%로 가장 낮다(Fig. 7). 유기물의 함량은 심도 0~20 cm에서 높으며, 심도가 깊어짐에 따라 대체로 낮아지는 경향성을 보이며, 이는 습지의 지표부근에서 유기물의 집적이 활발히 일어남을 지시한다. 함수비는 유기물의 분해정도와 정비례 관계를 보이는 것으로 알려져 있다(Myers, 1999). 본 연구에서도 유기물 함량과 함수비의 관계는 상관관계수 0.84의 높은 정비례관계를 보인다(Fig. 8). 따라서 습지의 함수비는 습지의 유기물 함량을 유지하는데 중요한 인자라는 것을 알 수 있다. 지하수와 지표수의 지속적인 유입으로 함수비가 높아지면 유기물 분해와 함께 계속적인 유기물의 유입과 습지내부의 식생의 발달로 습지의 유기물 함량은 높아지게 된다(신 등, 2005). 또한 습지 토양의 함수비는 입도와도 관련성을 가지며 장

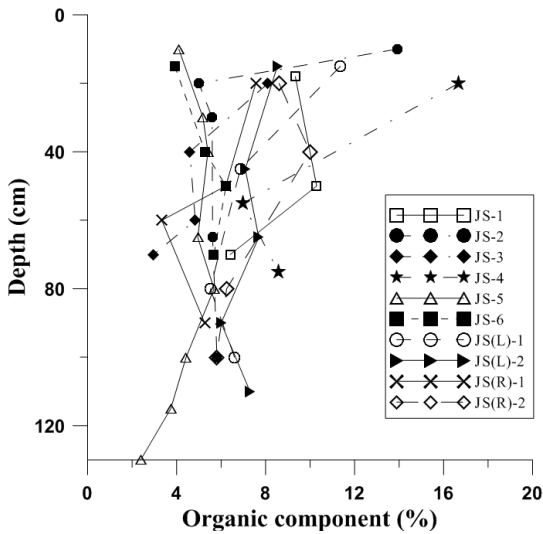


Fig. 7. Amount of organic component (%) with depth in Jang-San wetland.

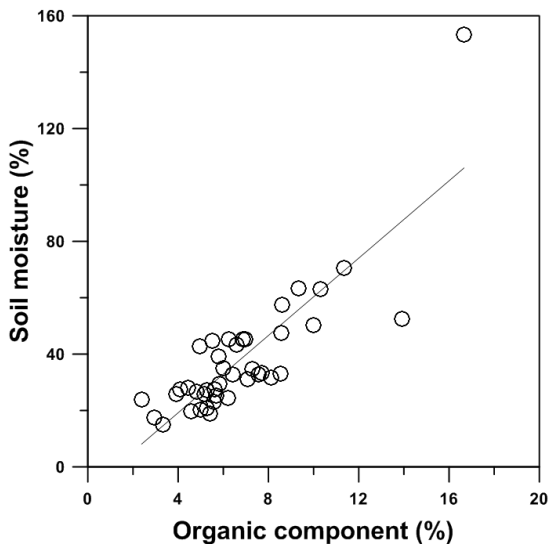


Fig. 8. Soil moisture (%) vs. organic component (%) in Jang-San wetland.

산 습지의 토양은 사질 양토에 속하기 때문에 사질 토양보다는 높은 함수비를 가질 수 있다.

한편, 습지토양의 C, H, O, N, S, P 함량을 보면, O 성분이 평균 9.21%로 가장 많으며, N 성분이 평균 5.13%로 두 번째로 높다. C 성분의 지점별 함량을 보

면, JS-1-2에서는 1.87%, JS-1-5에서는 1.03%, JS-4-2에서는 2.21%, JS-4-5에서는 0.9%로 지표 부근의 탄소함량이 더 높게 나타난다(Table 2). 따라서 탄소함량은 유기물의 집적과 정비례 관계를 가짐을 알 수 있다.

Table 2. Weight percentages of N, C, S, H, and O components in the soil samples of Jang-San wetland

Sample no.	Depth (cm)	N (wt %)	C (wt %)	S (wt %)	H (wt %)	O (wt %)
JS-1-2	40-50	7.75	1.87	1.00	N.D.	11.29
JS-1-5	70-93	2.92	1.03	1.57	N.D.	5.77
JS-4-2	40-55	7.37	2.21	1.02	N.D.	16.28
JS-4-5	75-92	2.47	0.9	0.53	N.D.	3.50
Mean	-	5.13	1.50	1.03	N.D.	9.21

5.2. 습지 토양의 광물 및 무기물 특성

JS-1-2, JS-1-5, JS-4-2, JS-4-5 시료에 대해서 X-선 회절분석을 실시하여 구성광물을 분석하였다. JS-1-2 시료에서는 석영, 정장석, 사장석이 주를 이루고, 점토 광물로는 몬모릴로나이트와 깃사이트가 나타나고 있다(Fig. 9). 보다 깊은 곳의 JS-1-5 시료에서는 석영, 사장석, 정장석, 몬모릴로나이트, 깃사이트, 카올리나이트가 나타난다. 한편, JS-4-2에서는 석영, 정장석, 사장석, 몬모릴로나이트, 카올리나이트, 깃사이트가 나타나고 있으며, JS-4-5에서는 석영, 정장석, 사장석, 몬모릴로나이트, 카올리나이트, 깃사이트, 백운모가 나타난다. 따라서 장산습지 토양에서는 기반암인 유문반암의 주성분광물인 석영, 장석과 함께 장석의 풍화산물인 몬모릴로나이트, 카올리나이트, 깃사이트와 함께 부성분광물인 백운모도 나타남을 알 수 있다.

장산습지의 토양 시료(JS-1-2, JS-1-5, JS-4-2, JS-4-5)의 양이온 농도 분석 결과, Fe²⁺ 농도가 10,425 ~ 30,490 mg/kg(평균 22,052 mg/kg)로서 가장 높고, K⁺ 농도는 16,146 ~ 20,770 mg/kg(평균 17,822 mg/kg)로서 두 번째로 높다(Table 3). 그리고 Na⁺ 농도도 4,609 ~ 6,424 mg/kg(평균 5,394 mg/kg)로서 높은 편이다. 한편, Mg²⁺ 농도는 1,611 ~ 2,853 mg/kg(평균 2,145 mg/kg), Ca²⁺ 농도는 1,518 ~ 2,498 mg/kg(평균 2,100 mg/kg)로서 그 보다 낮은 편이다. 그 외

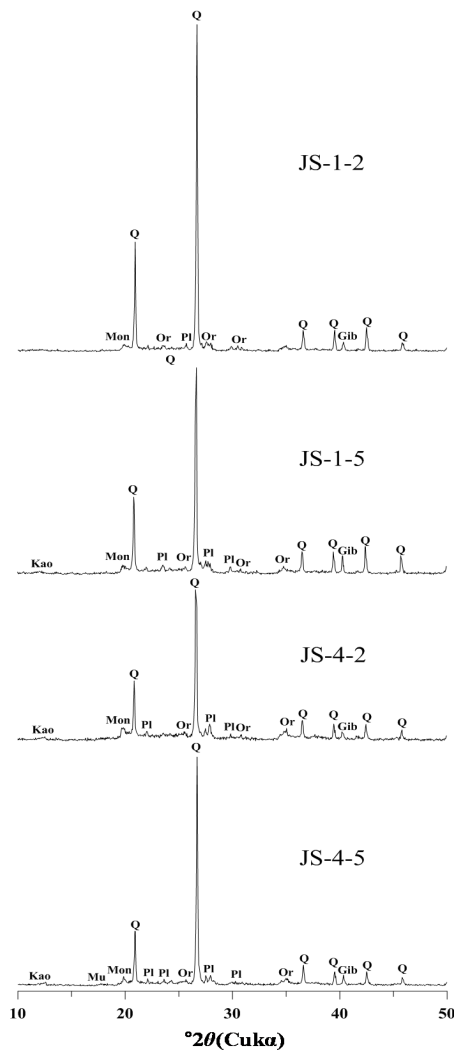


Fig. 9. X-ray diffraction result of JS-1-2, JS-1-5, JS-4-2, and JS-4-5 samples. Q is quartz; Or is orthoclase; Pl is plagioclase; Mu is muscovite; Mon is montmorillonite; Kao is kaolinite; and Gib is gibbsite.

Mn^{2+} 농도는 200~381 mg/kg(평균 276 mg/kg), Si^{4+} 농도는 115~150 mg/kg(평균 128 mg/kg)이다. 그러나, Al^{3+} 농도는 29.3~60.7 mg/kg(평균 42.6 mg/kg), As^{3+} 이온 농도는 37.0~50.1 mg/kg(평균 42.4 mg/kg), Cr^{3+} 농도는 17.9~48.3 mg/kg(평균 32.4 mg/kg), Zn^{2+} 농도는 15.8~62.2 mg/kg(평균 36.7 mg/kg)로서 100 mg/kg 미만이다. Fe^{2+} 농도가 높은 이유는 철의 산화의 영향이며, 높은 K^+ 와 Na^+ 농도는 X-선 회절분석 결과와 같이 장산습지의 기반암인 유문반암의 주 성분광물인 장석의 풍화를 지시한다.

한편, 음이온 중에서는 SO_4^{2-} 농도가 3.50~16.3 mg/kg(평균 9.21 mg/kg)로서 가장 높다. 두 번째로 F^- 농도는 2.47~7.75 mg/kg(평균 5.13 mg/kg)을 나타낸다. 그리고 Cl^- 농도는 0.90~2.21 mg/kg(평균 1.50 mg/kg), NO_3^- 이온 농도는 0.53~1.57 mg/kg(평균 1.03 mg/kg)을 나타낸다. 그러나, PO_4^{3-} 는 불검출되었다. 높은 SO_4^{2-} 농도는 황산염광물(황철석, 황동석 등) 또는 대기로부터의 유입 때문으로 해석된다.

6. 결론

본 연구는 부산광역시 장산에 위치한 산지습지의 토양의 위치 및 깊이에 따른 물리적 및 화학적 성질을 파악하였다. 이를 위하여 습지 퇴적물의 심도별 채취, 토양단면분석, 함수비 측정, 입도분석, 유기물 분석, 무기물분석, X-선 회절분석을 실시하였다. 본 연구 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 장산습지의 토양단면은 지표에서부터 O, A, B, C층의 순서를 보이며, 남북방향과 동서방향의 전체적인 토양단면에서는 O층(두께 5~10 cm)의 발달이 미약하고, A_2 층이 우세하게 나타난다. 유기물 함량(2.38~16.7%)은 심도 0~20 cm에서 높고 심도가 깊어짐에

Table 3. Cation and anion concentrations (mg/kg) of the soil samples in Jang-San wetland

Sample no.	Al^{3+}	As^{3+}	Ca^{2+}	Cr^{3+}	Fe^{2+}	K^+	Mg^{2+}	Mn^{2+}	Na^+	Si^{4+}	Zn^{2+}	F	Cl	NO_3^-	PO_4^{3-}	SO_4^{2-}
JS-1-2	48.0	45.3	2157	37.8	30490	16250	2493.8	381	4609	150.4	62.2	7.4	2.2	1.0	N.D.	16.3
JS-1-5	60.7	37.0	2227	48.3	29596	18120	2852.7	283	5710	115.0	36.3	2.5	0.9	0.5	N.D.	3.5
JS-4-2	32.4	50.1	1518	25.6	17698	16146	1610.6	200	4831	123.4	32.4	7.8	1.9	1.0	N.D.	11.3
JS-4-5	29.3	37.4	2498	17.9	10425	20770	1621.8	241	6424	121.9	15.8	2.9	1.0	1.6	N.D.	5.8
Arith. mean	42.6	42.5	2100	32.4	22052	17822	2144.7	276	5394	127.7	36.7	5.1	1.5	1.0	N.D.	9.2

따라 대체로 낮아지는 경향성을 보인다. 전체적으로 장산습지 토양은 사질양토에 해당되며, 깊이에 따른 토양의 입도를 보면, 대체로 심도가 깊어질수록 입도가 굵어지면서 모래의 양이 증가한다. 이는 지표 부근에 유기물과 점토광물이 집적되는 것과 관련된다.

2) 장산습지 토양의 함수비는 대체로 지표에 가까울수록 높고, 심도가 깊어지면서 낮아지는 경향성을 보인다. 또한, 천부(0~50 cm)의 함수비는 30~150%로 넓은 범위를 보이나, 심부(80~120 cm)에서는 30~50%의 좁은 범위를 나타낸다. 함수비는 습지의 유기물 분해를 위한 주요 인자이므로 습지의 함수비 변화를 모니터링하는 것은 매우 중요하다.

3) X-선 회절분석에 의하면, 장산습지 토양의 구성 광물은 습지의 기반암인 유문반암의 주성분광물(석영, 장석)과 함께 장석의 풍화산물(몬토릴로나이트, 카올리나이트, 깁사이트)과 함께 백운모로 구성된다.

4) 장산습지의 토양 시료의 양이온 중에서는 Fe^{2+} 농도가 평균 22,052 mg/kg로서 가장 높으며, 이는 철의 산화의 영향이다. 또한 K^+ 농도는 평균 17,822 mg/kg, 그리고 Na^+ 농도는 평균 5,394 mg/kg로서 높게 나타나며, 이는 K^+ , Na^+ 가 기반암인 유문반암의 주성분광물인 장석의 풍화로부터 유래함을 나타낸다. 음이온 중에서는 SO_4^{2-} 농도가 평균 9.21 mg/kg로서 가장 높으며, 이는 황산염광물(황철석, 황동석 등) 또는 대기로부터의 유입 영향으로 해석된다.

감사의 글

본 연구는 부산지역환경기술개발센터의 연구사업비 지원(09-2-70-76-4)에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

강동환, 김성수, 정휘제, 권병혁, 김일규, 2007, 달포늪의 퇴적물과 유기물함량 특성 연구, 한국습지학회지, 9(3), 1-12.
 구자용, 서종철, 2007, 위성영상과 지리정보를 이용한 우리나라의 산지습지 가능지 추출, 한국지형학회지, 14(1), 53-65.
 김귀곤, 2003, 습지와 환경-자연과 사람이 만드는 습지,

아카데미서적, 150.
 김현지, 2010, 부산시 장산 산지습지의 형성과 관련된 지질학적 및 수리지질학적 특성 연구, 석사학위논문, 부산대학교, 162.
 도윤호, 문태영, 주기재, 2007, 습지 지표종으로서 딱정벌레류를 이용한 부산, 경남 주요 습지의 특성 및 변화 관찰, 한국환경생태학회지, 2(1), 22-29.
 손치무, 이상만, 김영기, 김상욱, 김형식, 1978, 한국지질도 동래·월래도폭 (1:50,000) 및 설명서, 자원개발연구소, 9.
 신영호, 김성환, 박수진, 2005, 신불산 산지습지의 지화학적 특성과 역할, 한국지형학회지, 12(1), 133-149.
 정연숙, 2006, 강원도 산지습지의 분포, 생태계 특성 및 보전방안-인제, 양구 및 평창군을 중심으로, 강원도 지역환경기술개발센터.
 주위홍, 구분학, 2006, 습지 유형 분류 체계별 습지 분류 특성-두만강과 한강을 사례로, 한국환경복원녹화기술학회지, 9(9), 152-161.
 천미연, 2008, 범람원에 형성된 호소성 습지에 관한 연구-낙동강 중류를 사례로, 한국지역지리학회지, 14(1), 27-39.
 Bragg, O. M., 2002, Hydrology of peat-forming wetlands in Scotland, Sci. The Total Environ., 294, 111-129.
 Brinson, M. M., 1993, Changes in the functioning of wetlands along environmental gradients, Wetlands, 13(2), 65-74.
 Cole, C. A., Cirimo, C. P., Wardrop, D. H., Brooks, R. P., Peterson-Smith, J., 2008, Transferability of an HGM wetland classification scheme to a longitudinal gradient of the central Appalachian Mountains: initial hydrological results, Wetlands, 28(2), 439-449.
 Eser, P., Rosen, M. R., 1999, The influence of groundwater hydrology and stratigraphy on the hydrochemistry of Stump Bay, South Taupo Wetland, New Zealand, J. Hydrol., 220, 27-47.
 Fork, R. L., 1955, Student operator error in determination of roundness, sphericity, and grain size, Journal of Sedimentary Research, 25(4), 297-301.
 Inman, D. L., 1952, Measures for describing the size distribution of sediments, J. Sed. Retrol., 22(3), 125-145.
 Ju, W., Chen, J. M., Black, T. A., Barr, A. G., Mccaughy, H., Roulet, N. T., 2005, Hydrological effects on carbon cycles of Canada's forest and wetlands,

- Tellus, 58B, 16-30.
- Loh, P. S., Reeves, A. D., Harvey, S. M., Overnell, J., Miller, A. E. J., 2007, The fate of terrestrial organic matter in two Scottish sea lochs, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1-14.
- Myers, R., 1999, Hydraulic properties of south Florida wetland peats, thesis of University of Florida, 146.
- Ramsar, 2006, The Ramsar convention manual: A guide to the convention on wetlands, 4th ed., Ramsar Convention Secretariat, 63-64.
- Ramsar, 2007, Managing wetlands: Frameworks for managing wetlands of international importance and other wetland sites, Ramsar handbooks for the wise use of wetlands, vol. 16, 3rd ed., 92.
- Requejo, A. G., Brown, J. S., Boehm, P. D., 1986, Lignin geochemistry of sediments from the Narragansett Bay Estuary, Geochimica et Cosmochimica Acta, 50(12), 2707-2717.
- Rossell, I. M., Moorhead, K. K., Alvarado, H., Warren, R. J., 2009, Succession of a Southern Appalachian Mountain Wetland Six Years following Hydrologic and Microtopographic Restoration, Restoration Ecology, 17(2), 205-214.
- Ruttenberg, K. C., Goni, M. A., 1997, Phosphorus distribution, C:N:P ratios, and $\delta^{13}C_{org}$ in arctic, temperate, and tropical coastal sediments: tools for characterizing bulk sedimentary organic matter, Marine Geology, 139, 123-145.
- Trask, P. D., 1932, Origin and environment of source sediments of petroleum, Houston, Gulf Pub. Co., 323p.
- U.S. Department of Agriculture (USDA), 1993, Soil survey manual. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18.
- Woods, S. W., MacDonald, L. H., Westbrook, C. J., 2006, Hydrologic interactions between an alluvial fan and a slope wetland in the central Rocky Mountains, USA, Wetlands, 26(1), 230-243.