

천연기념물 범수늪의 토양특성 및 관리방안

김도균¹⁾ · 김용식²⁾

¹⁾ 순천대학교 조경학과 · ²⁾ 영남대학교 조경학과

Soil Characteristics and Management Proposal of the Monument Beobsoo Marsh, Korea

Kim, Do-Gyun¹⁾ and Kim, Yong-Shik²⁾

¹⁾ Dept. of Landscape Architecture, Sunchon National University,

²⁾ Dept. of Landscape Architecture, Yeungnam University.

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the soil characteristics and propose the management for the Monument Beobsoo Marsh, Korea. The soil properties of O.M, Ca²⁺, Na⁺ and CEC were higher and the soil properties of pH_{1:5} and P₂O₅ were lower the studied sites than other marsh sites in Korea. Although the Heavy metals such as Pb, Hg, Cd, Cu, Zn, Cr and As were lower compare to the safety standard of soil pollution in Korea, the overall conservation management plan based on long-term monitoring should be considered just because it varied by the point and non-point source pollution within the studied marsh. The source of water pollution varied due to non-point polluting origins such as sewage inlet, degraded terrain for agriculture, fishing sites, sites of removed water grasses, pesticides, chemical fertilizers, as well as fallen leaves. The creation of an artificial marsh is recommended due to the soil environment of the studied sites may be changed owing to the accumulated contaminants from the sources of both of point or non-point contaminants. The establishment of the zones of core,

First author : Kim, Do-Gyun, Dept. of Landscape Architecture, Sunchon National Univ., Suncheon-si 540-742, Korea,

Tel : +82-61-750-3871, E-mail : doaha@sunchon.ac.kr

Corresponding author : Kim, Yong-Shik, Dept. of Landscape Architecture, Yeungnam Univ., Kyeongsan-si 540-742, Korea,

Tel : +82-53-810-2975, E-mail : yongshik@yumail.ac.kr

Received : 27 December, 2010. **Revised** : 8 March, 2011. **Accepted** : 13 June, 2011.

buffer and transition which is basic management structure of the UNESCO MaB could be applied to manage the studied site. Simultaneously the promotion of voluntary participation and education of the local residents are needed.

Key Words : *Non-point pollution point, Heavy metal, Water pollution, Daepyeongneup Marsh.*

I. 서 론

범수늪은 경남 함안군 범수면 대송리에 위치한 우리나라 대표적 저층늪으로서(김미경, 2008) 일명 배달유지(농어촌연구원, 2002) 또는 대평늪(김수승, 2008) 이라고도 한다. 범수늪은 생태적 다양성과 자원생물의 보전지역으로서 그 가치가 크므로 학술적 보전 가치를 인정받아 문화재 보호법에 의거하여 1984년 11월 19일에 천연기념물 346호로 지정(대한민국관보 제9896호)하여 관리하고 있다. 그러나 최근 범수늪 주변부의 토지이용변화, 지형변화, 수질변화, 토양환경 변화 등에 의하여 농경지 개간, 도로 부지로의 전용 등으로 습지의 범위가 현저히 줄어들고 있는 실정(환경부, 2002; 김미경, 2008)이다.

인접한 농경지의 토사유출과 2002년 벽산제방 붕괴시 토사의 유입(환경부, 2002), 주변의 농경작지의 개간, 농약과 비료 그리고 퇴비의 잔량 유입, 도로개설과 교통량 증가, 생활용수, 산지의 낙엽 등의 비점오염이 유입될 가능성이 커지고 있다. 조성 또는 보전습지들은 자연습지들이 개조되거나 파괴될 때 생태학적 기능이 반제되거나 가치가 상실(National Research Council, 1992) 될 수 있다. 범수늪지 내부와 외부의 직·간접적 자연현상과 인간의 간섭으로 자정되지 않는 오염물질이 늪에 유입될 경우에는 토양을 오염시켜서 토양이 오염되면 늪에 서식하는 식물과 생물들이 서식할 수 없게 될 수 있다. 늪지의 토양은 식물과 생물의 서식에 중요한 영향을 미치므로 늪지의 토양관리를 위해서는 토양의 상태와 변화를 파악할 수 있는 연구가 필요하다.

늪지 토양에 대한 연구는 인공습지 조성을 위

한 수생식물의 식재기반조성 기준에 관한 연구(김현규, 1999), 함안군의 수곡늪과 옥수늪 그리고 창녕군의 대곡늪과 판락늪에 대한 동·식물 분포(박종석 등, 2003) 등이 있고, 염류습지의 15년간 식생과 토양의 변화(Christopher et al. 2002) 무제치늪과 우포늪의 토양환경에 대한 조사(배정진 등, 2003)가 있다. 범수늪에 관련된 연구는 범수늪의 식물플랑크톤 군집 구조의 양상(김미경, 2008), 저류형 늪지의 비점오염물질 정화 능력에 관한 연구(이경미, 2007), 식물사회학적 연구가(김수승, 2008), 늪지 토양중자은행(주은정·김재근, 2009) 있다. 이와 같이 늪에 대한 연구는 주로 동·식물과 수질에 대하여 주로 연구되어 있고, 범수늪의 토양환경을 이해하고 관리할 수 있는 기존의 연구는 찾아보기 어렵다.

천연기념물 범수늪을 보전하기 위해서는 오염의 실태를 파악하는 것이 선행되어야 한다. 범수늪의 환경 오염을 파악하는 것은 토양특성, 수질, 대기, 식물의 성장상태 파악 등이 있다. 환경오염을 진단함에 있어서 토양은 주변 환경으로부터 오염되는 정도를 파악할 수 있는 지표가 될 수 있어서 많은 연구들이 진행되어 왔다.

천연기념물인 범수늪의 토양변화를 파악하는데 연구의 의문은 ‘토양환경이 주변 환경으로부터 어떻게 변화되고 있는가?’이다. 늪지의 토양환경을 파악하기 위해서는 토양성질과 토양중금속을 조사·분석하여 파악할 수 있는데 토양학에서는 일반적으로 주변 환경요인과 토양성질 그리고 중금속에 대한 연관성을 조사·분석하여 하는 기법이 많이 적용되고 있다. 그러므로 범수늪의 토양환경 변화는 토양성질과 중금속에 대하여 물의 이동 경로와 환경유형별로 구분하여 조

사·분석할 수 있을 것으로 판단된다.

늪은 호수와 육지의 전이지대로써 생물 다양성이 높고, 자원의 가치가 매우 높으며, 경관 심미적 가치, 레크레이션 및 교육적 가치가 매우 높다. 늪의 토양은 항상 물에 잠겨 있으면서도 식물·조류·어류·포유류·양서류·파충류 등의 동식물의 서식 생육기반의 모태로서(Edward, 1981) 매우 중요하다. 자연늪에 존재하는 생물 자원은 인간의 의식주뿐만 아니라 생태계의 다양성과 평형을 위해서도 보호되어야 한다(박종석 등, 2003). 법수늪은 천연기념물로서 중요성이 부각되고 있으나 주변의 도로, 주택, 공장, 농경지, 산지 등의 오염원으로부터 노출되어 있어서 각별한 관리가 요구되고 있다. 법수늪지는 천연기념물로 지정하여 관리하고 있음에도 불구하고, 아직 토양관리에 필요한 자료를 찾기 어렵다. 법수늪지 토양의 상태를 파악하고, 토양의 변화 과정을 장기적으로 모니터링하기 위해서는 법수늪 토양환경특성의 파악이 시급한 실정이다.

따라서 본 연구는 법수늪의 토양환경을 파악하고자 물흐름 방향과 인접 토지이용에 따른 토양 이화학적 특성과 중금속오염 실태를 조사·분석하고, 관리방안을 모색하고자 한다. 본 연구를 통하여 늪지 생태계의 체계적인 보전관리와 환경계획 및 환경정책 수립을 위한 기초자료로 제공하고자 한다.

II. 연구내용 및 방법

1. 조사지 개황

법수늪은 함안군의 질남늪과 함께 우리나라의 대표적인 저층 늪지에 속한다(김미경, 2008). 법수늪의 식물상은 51과 98속 104종 11변종 1품종 등 총 116분류군(김수승, 2008)이 서식하고 있다.

법수늪은 주변의 농경지, 산지, 유입수, 생활용수 등에 의하여 영향을 받는다. 농경지에서는 농약, 퇴비, 토양개량제, 화학비료 등의 잔량이 우수시 유입되며, 산지에서는 주로 낙엽, 낙지

와 쥐, 고양이 등의 동물 사체 등이 우수시 유입된다. 생활용수는 북동쪽의 정화처리장이 있지만 용량이 소규모이어서 홍수시에 용량이 초과되어 법수늪으로 정화되지 않고 유입된다. 홍수시에는 낙동강의 수계가 역류하여 지류인 남강을 통하여 늪이 범람하여 생활쓰레기(김미경, 2008)와 유해되는 비점오염물 등이 유입된다.

2. 연구내용

조사 대상지는 경남 함안군 법수면 대송리 833-1번지(북위 35°19′~35°20′, 동경 128°20′~128°21′)의 법수늪 내부로 하였으며, 면적은 33,911m²이다(그림 1).

연구내용은 법수늪지 내에 주요 환경입지별 수심, 토양이화학적 특성 및 중금속을 조사·분석하였다. 토양이화학적 특성 분석은 수소이온농도(pH), 토양유기물(O.M), 총질소(T-N), 유효인산(Av.-P₂O₅), 치환성 양이온(K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Na⁺), 염기치환용량(CEC)으로 하였으며, 중금속은 Pb, Hg, Cd, Cu, Zn, Cr, As를 조사·분석하였다.



그림 1. 조사 대상지.

3. 연구방법

1) 수심 및 지형 분석

수심의 측정은 제방 수문의 만수위를 기준으로 측량용 Aluminium Staff를 이용하여 측정하였다. 지형분석은 측정된 수심을 기초로 하고 지형

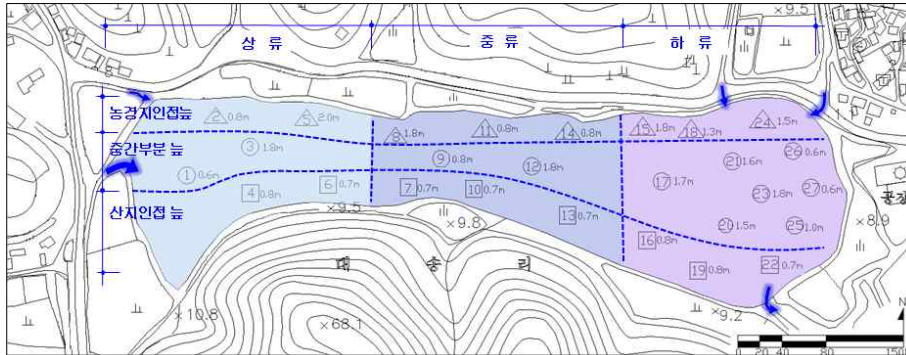


그림 2. 범수늪의 수심과 토양조사 정점 및 우수유입 지점.

변화 요인은 지역주민들의 탐문조사로 하였다.

2) 토양채취

토양조사의 계획은 수생식물이 분포하고 있는 부분 좌우변과 분포하지 않는 중앙부분으로 대분하였고, 상류로부터 하류 방향으로 5단계로 나누어서 총 27지점에서 시료를 채취 하였다(그림 2). 토양채취는 2006년 6월 19일부터 21일 까지 이었으며, 각 지점에서 수평적으로 반경 3m 이내에서 수중하부에서 부식 되지 않은 식물체 층을 걷어내고, 토양단면 10±5cm 이내의 층에서 4반복 채취한 토양시료를 혼합하여 토양분석 시료로 사용 하였다.

3) 토양특성 분석

토양특성 분석은 토양화학적 성질과 중금속을 분석 하였다. 분석 항목은 수소이온농도(pH), 토양 유기물(O.M), 총질소(T-N), 유효인산 (Av.-P₂O₅), 치환성양이온(Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺), 염기치환용량(CEC) 및 중금속(Pb, Hg, Cd, Cu, Zn, Cr, As) 을 분석 하였다.

토양의 이화학적 분석은 농촌진흥청 토양화학 분석법(농촌진흥청, 1988)에 준하여 분석 하였다. 수소이온농도(pH)는 풍건한 토양시료 10g을 100 ml 비이커에 취하고, 증류수 50ml을 가하여 진탕기로 1시간 진탕(160 rpm/min)한 후 30분간 방치한 다음 pH meter로 측정 하였다. 토양유기물

(O.M)은 Tyurin법으로 풍건한 토양시료 0.1~0.5g (200mesh 통과시료)을 250ml 삼각 flask에 취하고, 10ml의 0.4 N-중크롬산칼리황산 혼합지시약을 가한 다음 소형 여두를 덮고, 200℃ 범위의 전열판 위에서 가열한 다음, 0.2N 황산제1철암모늄으로 적정하여 탄소함량을 구한 후 계수 1.724를 곱하여 환산하였다. 총질소 (T-N)는 kjeldahl법으로 풍건한 토양시료 5g을 kjeldahl flask에 취하고 황산염 혼합분말 5g과 conc. H₂SO₄ 25ml을 가한 다음 분해용 전기로에서 무색이 될 때까지 분해하여 Auto-kjeldahl (Auto-kjeldahl, Vapodest 50, Gerhardt, Germany)을 이용하여 분석 하였다. 유효인산(Av.-P₂O₅)은 Lancaster법으로 풍건한 토양시료 5g을 침출액 20ml을 넣고 10분간 진탕하여 시료내의 인산을 침출시킨 다음 No.2 여지로 여과한 다음 30℃에서 30분간 발색하여 720nm 파장에서 UV-VIS 분광광도계(UV-VIS spectrophotometer, Lambda EZ 201, Perkin-Elmer, U.S.A.)로 비색 측정 하였다. 치환성양이온(K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺)은 1N 초산 ammonium법으로 풍건시료 5g를 100ml 삼각 flask에 넣고 1N-NH₄OAC 침출액 50ml을 가하여 30분간 진탕(160 rpm/min)한 다음 No.2 여지로 여과하여 유도결합 플라즈마 분광광도계(ICP, Optima 3000DV, Perkin-Elmer, U.S.A.)를 이용하여 분석 하였다. 염기치환용량(CEC)은 간이법을 이용하여 다량원소인 K, Ca, Mg, Na의

전처리 과정을 거쳐 pH meter를 이용하여 pH를 정확히 측정 하였고, 이 여액을 유도결합 플라즈마 분광광도계(ICP)를 이용하여 분석한 다음 CEC 값을 구하였다. 중금속은(Pb, Hg, Cd, Cu, Zn, Cr, As)은 풍건 시료 5g을 100ml 삼각 flask에 취하여 0.1N-HCl을 가하여 2시간 진탕하여 침출한 후 No.2 여지로 여과하여 여액을 유도결합 플라즈마 분광광도계(ICP, Optima 3000DV, Perkin-Elmer, U.S.A.)로 분석 하였다.

4) 통계분석

범수늪의 토양특성의 동태 파악은 통계학적으로 식물의 분포지역과 분포하지 않는 지역간의 차이, 물 흐름 방향에 따른 상류·중류·하류간의 차이, 주변의 토지이용 상태에 따라 농경작지 인접늪, 늪중간부분, 산지 인접늪간의 차이를 검정하였다. 토양특성의 구역별 차이는 SPSS program ver16.0 프로그램을 이용하여 일반선형모형(Generalized Linear Model : GLM)의 Duncan's multiple range test를 분석 하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 수심 및 지형

범수늪의 수심은 0.6~2.0m 내외이었으며, 가장자리는 대부분 0.6~1.2m이었으나 산지가 접한 남쪽은 0.6~0.8m이었고, 북쪽은 0.6~2.0m로 남쪽 보다 북쪽이 더 깊었으며, 남북 중간의 1.6~1.8m 정도로 깊어서 남북방향으로 'V' 자형으로 보인다(그림 2). 물 흐름 방향으로는 물이 유입되는 서측의 초입부와 동측의 배출구는 0.6~1.0m 정도이고, 중간 부분은 0.8~1.8m 정도로 깊으나 가운데 부분인 17번 지점이 0.8m 정도로 얕아서 'W'자형 지형으로 추정되었다. 농경지가 있는 북측이 남측 보다 더 깊은 것은 탐문조사 결과 갈수기에 농경용 양수를 위한 급수지로 사용하기 위하여 늪을 깊게 팠기 때문으로 나타났다. 범수늪 바닥에는 이탄층이 5~20cm 정도의

두께로 물경한 이탄층을 이루고 있었으며, 이탄층 아래 원지반층은 점토가 다져져 삽으로 토양을 파기가 어려울 정도로 매우 단단하였다.

2. 토양 및 중금속특성

범수늪의 수중 하부의 토양성질과 토양중금속의 농도는 조사 정점별로 다르게 나타났다(표 1).

수소이온농도(pH)는 범위 pH_{1:5} 3.5~4.7이었고, 평균 pH_{1:5} 4.2로서 아주강한산성토양(extremely acid)~매우강한산성(very strongly acid)으로 나타났다. 토양유기물(O.M)은 범위 4.15~10.86%으로 평균 8.21%이었다. 전질소(T-N)는 범위 0.24~0.91%으로 평균0.52%이었다. 유효인산(P₂O₅)는 범위 0.93~3.96ppm으로 평균 1.63ppm이었다. 치환성양이온의 나트륨(Na⁺)은 범위 0.29~0.68cmol/kg으로 평균 0.48cmol/kg, 칼륨(K⁺)은 범위 0.00~0.41cmol/kg으로 평균 0.10cmol/kg, 칼슘(Ca²⁺)은 범위 4.36~14.24 cmol/kg으로 평균 8.90cmol/kg, 마그네슘(Mg²⁺)는 범위 1.27~2.80cmol/kg으로 평균 2.06cmol/kg 이었다. 양이온치환용량(CEC)는 범위 12.48~28.00cmol/kg이

표 1. 범수늪의 토양성질 및 토양중금속 특성.

토양성질	평균	최소값	최대값	표준편차
pH _{1:5}	4.28	3.58	4.79	0.28
O.M(%)	8.21	4.15	10.86	1.79
T-N(%)	0.52	0.24	0.91	0.17
P ₂ O ₅ (ppm)	1.63	0.93	3.96	0.85
Na ⁺ (cmol/kg)	0.48	0.29	0.68	0.11
K ⁺ (cmol/kg)	0.10	0.00	0.41	0.14
Ca ²⁺ (cmol/kg)	8.90	4.36	14.24	2.81
Mg ²⁺ (cmol/kg)	2.06	1.27	2.80	0.42
CEC(cmol/kg)	19.39	12.48	28.00	4.67
Pb(ppm)	0.013	0.000	0.045	0.01
Hg(ppm)	0.000	0.000	0.000	0.00
Cd(ppm)	0.000	0.004	0.000	0.00
Cu(ppm)	0.000	0.000	0.000	0.00
Zn(ppm)	0.039	0.00	0.403	0.08
Cr(ppm)	0.015	0.007	0.100	0.01
AS(ppm)	0.066	0.007	0.160	0.05

었고, 평균 19.39cmolc/kg 이었다.

토양중금속인 납(Pb)은 범위 0.000~0.045ppm으로 평균 0.013ppm이었다. 수은(Hg)과 구리(Cu)는 검출되지 않았고, 카드뮴(Cd)은 범위 0.000~0.004ppm로 평균 0.000ppm이었다. 아연(Zn)은 범위 0.000~0.403ppm이었고, 평균 0.039ppm이었다. 비소(As)는 범위 0.00~0.160ppm이었고, 평균 0.066ppm이었다. 크롬(Cr)은 범위 0.007~0.100ppm이었고, 평균 0.015ppm이었다.

3. 위치별 토양 및 중금속특성

정점 중에서 pH가 높은 곳은 주로 농경지 인접 가장자리 높이인 5, 6, 11과 배수구 인접 22번 정점이었다고, pH가 가장 낮은 곳은 우수 유입부 1번과 S공장 인접 27번 정점들이었고, 높이 훼손되지 않은 곳들은 pH 4.0~4.5 정도이었다(그림 4). O.M이 가장 높은 정점은 주로 수심이 깊은 17, 19, 20, 21, 23, 26번 정점이었다고, O.M이 낮은 정점은 농업용수 양수를 많이 하는 5과 낚시터로 수초가 개변되어 있는 6, 18번 정점이었다. T-N이 높은 곳은 농경지 인접 가장자리 높이인 8번, 생활오수의 유입 영향권인 20, 21, 23, S공장 인접 높이인 26, 27번이었다. T-N이 낮은 곳은 농업용 양수지인 5, 낚시터인 18, 배수구 인접 22번 정점이었다. P_2O_5 가 높은 곳은 주로 상류에서 물흐름이 정체하는 2, 3, 4, 9, 12이었고, P_2O_5 가 다소 높은 곳은 15, 24, 26번이었으며, 나머지 정점은 낮았다. 범수높이의 P_2O_5 는 주로 상류의 물이 정체하는 부분과 농경지 가장자리 높이에서 높고, 다른 지역에서는 비교적 균질한 것으로 나타났다.

치환성양이온인 Na^+ 이 높은 곳은 1, 4, 5, 9, 15, 16번 정점으로서 주로 농경지와 산지 인접 가장자리 높이이었고, Na^+ 이 낮은 곳은 19번과 22번으로 주로 배수구에 가까운 지역이었다. K^+ 이 높은 곳은 우수 유입부인 1번과 수초가 없는 하류 수심이 깊은 중앙부인 17, 20, 21, 23, 24번 정점이었다. K^+ 이 낮은 곳은 나머지 정점들이었다. Ca^{2+} 이 높은 곳은 우수 유입지인 1번과 생활

용수 유입 영향권인 21, 23번과 S공장 인접 가장자리 높이인 16번 정점이었다고, Ca^{2+} 이 낮은 곳은 농업용 양수지인 5번과 수문 배수지인 22번 정점이었다. Mg^{2+} 이 높은 곳은 우수 유입구인 1번과 생활용수 유입 영향이 미치는 21번과 23번 그리고 S공장 인접 가장자리 높이인 26번과 27번 정점이었다. Mg^{2+} 이 낮은 곳은 산지 인접 가장자리 높이인 7과 13번 그리고 배수구 인접 22번 정점이었다. CEC가 높은 곳은 우수 유입지인 1번, 생활용수 유입지인 21, 23번 정점과 S공장 인접 가장자리 높이인 26번과 27번 정점이었다. CEC가 낮은 곳은 농업용 양수지인 5, 낚시터인 18번, 수문 배수구인 22번 정점이었다.

중금속인 Pb가 높은 곳은 상류의 우수 유입구인 1과 2번, 중류의 12와 14번, 하류에서는 생활용수 유입이 영향을 미치는 21, 23번 정점이었다. Pb가 낮은 곳은 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 16, 17, 18, 22번 정점으로서 주로 우수 유입과 생활용수 유입의 영향이 적은 곳이었다. Cd가 높은 곳은 우수 유입 직접 영향권인 1과 3번 그리고 농업용 양수지인 5번 정점이었다고, 나머지 정점은 검출되지 않았다. Zn이 높은 곳은 우수 유입부인 1번이 가장 크게 나타났고, 다소높은 정점은 3, 4, 8, 9, 19, 20번 정점으로 주로 낚시 흔적이 있는 곳이었으며, 나머지 정점에서는 검출 되지 않았다. As가 높은 곳은 상류와 중류의 농경지와 산지 인접 가장자리 높이인 2, 4, 6, 7, 10번과 생활용수의 영향권인 20, 21번 정점이었다. As가 낮은 곳은 9, 13, 14, 15, 16, 19, 22, 24번으로 주로 높이 가장자리이었다. Cr이 높게 나타난 곳은 5번 정점이었다고, 나머지 정점에서는 비교적 균질하였다.

범수높이의 상류, 중류, 하류간의 토양성질의 차이는 일반선형모형(Generalized Linear Model : GLM)으로 분석한 결과에서 유의수준 1%에서 차이가 있는 것은 O.M이었으며, 유의수준 5%에서 차이가 있는 것은 K^+ 과 Na^+ 이었다(표 3). O.M은 하류>중류>상류 순으로 각각 9.08%, 8.07%, 6.52%이었다. T-N은 유의도 10% 이내에서 차이

가 있지만 하류>중류>상류 순으로 각각 0.58%, 0.52%, 0.39%이었다. K⁺은 하류>상류>중류 순으로 각각 0.18, 0.05, 0.02cmolc/kg로 중류에서 가장 높게 나타났다. Na⁺은 상류>하류>중류 순으로 0.59, 0.45, 0.45cmolc/kg으로 상류가 가장 높았다. 통계학적인 유의도는 낮았지만 P₂O₅와 As는 상류>중류>하류 순이었고, Ca²⁺, Mg²⁺ 그리고 CEC는 하류>상류>중류 순이었으며, Zn은 중류>상류·하류이었으며, Cr은 상류>중류·하류 순이었다. 이와 같이 O.M와 K⁺은 중류에 많이 집적되어 있고, Na⁺은 상류에 많이 집적되어 있는 것으로 나타났다.

범수늪에서 횡방향으로 농경지인접늪, 늪중간부분, 산지인접늪으로 구분하여 일반선형모형 (Generalized Linear Model : GLM)으로 분석한 결과에서 유의수준 1% 이내에서 차이가 있는 것은 K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, CEC이었고, 유의수준 5% 이내에서 차이가 있는 것은 pH_{1:5}와 O.M이었다(표 4). pH_{1:5}는 농경지주변늪>산지주변늪>늪중간부분 순으로 각각 pH_{1:5} 4.4, 4.3, 4.1이었고, O.M은 늪중간부분>산지주변>농경지주변 순으로 각각 9.198, 8.161, 6.291%이었다. K⁺은 늪중간부분, 농경지주변, 산지주변 순으로 각각 0.20, 0.08, 0.02cmolc/kg 이었고, Ca²⁺은 늪중간부분>농경지주변>산지주변 순으로 각각 11.00, 7.77, 7.13cmolc/kg 으로 늪 중간부분에서 가장 높은 것으로 나타났다. Mg²⁺와 CEC는 늪중간부분>농경지주변>산지주변 순으로 Mg²⁺는 각각 2.39, 1.97, 1.68cmolc/kg 이었고, CEC는 23.16, 16.93, 16.66cmolc/kg 이었다. 통계학적으로 유의도는 낮으나 T-N, Na, Zn은 늪중간>농경지주변·산지주변 순이었고, P₂O₅, Pb, Cr은 농경지주변·늪중간>산지주변 순이었으며, As는 늪중간·산지>농경지 순이었다.

토양교란이 많은 정점별 토양특성은 1번 정점에서 치환성양이온인 Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, CEC, Pb, Cd, Zn이 높았으나 pH, Hg, Cu, Cr은 낮았다. 2번 정점에서는 P₂O₅, Pb, As가 높았으며, K⁺,

표 2. 범수늪 물 흐름 방향별 토양성질 및 중금속 차이.

토양 성질	위치	평균	최소	최대	표준 편차
pH _{1:5}	상류	4.26	3.58	4.79	0.44
	중류	4.34	4.05	4.75	0.21
	하류	4.25	3.78	4.69	0.25
O.M (%)**	상류 ^a	6.52	4.15	8.36	1.50
	중류 ^{ab}	8.07	5.84	9.59	1.10
	하류 ^b	9.08	4.52	10.86	1.74
T-N (%)	상류	0.39	0.24	0.48	0.08
	중류	0.52	0.34	0.84	0.14
	하류	0.58	0.27	0.91	0.18
P ₂ O ₅ (ppm)	상류	2.18	1.07	3.45	0.99
	중류	1.74	0.93	3.96	1.11
	하류	1.30	0.93	2.14	0.43
K ⁺ (cmol/kg)*	상류 ^{ab}	0.58	0.00	0.31	0.12
	중류 ^a	0.27	0.00	0.11	0.39
	하류 ^b	0.18	0.00	0.41	0.17
Ca ²⁺ (cmol/kg)	상류	8.62	4.36	13.86	3.11
	중류	7.89	5.50	10.67	1.60
	하류	9.65	4.56	14.24	3.19
Mg ²⁺ (cmol/kg)	상류	2.03	1.75	2.79	0.37
	중류	1.83	1.27	2.26	0.31
	하류	2.21	1.35	2.80	0.46
Na ⁺ (cmol/kg)*	상류 ^b	0.59	0.46	0.68	0.08
	중류 ^a	0.45	0.32	0.60	0.09
	하류 ^a	0.45	0.29	0.67	0.12
CEC (cmol/kg)	상류	18.40	12.48	27.52	5.00
	중류	17.48	14.91	19.32	1.44
	하류	21.01	12.51	28.00	5.46
Pb (ppm)	상류	0.01	0.00	0.04	0.01
	중류	0.01	0.00	0.03	0.01
	하류	0.01	0.00	0.03	0.01
Hg (ppm)	상류	0.00	0.00	0.00	0.00
	중류	0.00	0.00	0.00	0.00
	하류	0.00	0.00	0.00	0.00
Cd (ppm)	상류	0.00	0.00	0.00	0.00
	중류	0.00	0.00	0.00	0.00
	하류	0.00	0.00	0.00	0.00
Cu (ppm)	상류	0.00	0.00	0.00	0.00
	중류	0.00	0.00	0.00	0.00
	하류	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn (ppm)	상류	0.10	0.00	0.40	0.16
	중류	0.02	0.00	0.08	0.03
	하류	0.01	0.00	0.14	0.04
Cr (ppm)	상류	0.02	0.00	0.10	0.03
	중류	0.01	0.00	0.01	0.00
	하류	0.01	0.00	0.01	0.00
As (ppm)	상류	0.10	0.05	0.14	0.03
	중류	0.06	0.00	0.16	0.05
	하류	0.05	0.00	0.13	0.04

a, b는 Duncan의 다중범위검정 결과, *p<0.05, **p<0.01

표 3. 범수늪 주변의 농경지인접부, 산지인접부 및 늪 중간부분의 토양성질과 중금속 특성.

토양 성질	위 치	평균	최소	최대	표준 편차
pH _{1:5} *	농경지인접늪 ^b	4.42	4.05	4.79	0.28
	늪중간부분 ^a	4.10	3.58	4.39	0.24
	산지인접늪 ^b	4.38	3.98	4.69	0.22
O.M (%) [*]	농경지인접늪 ^a	6.92	4.15	8.38	1.69
	늪중간부분 ^b	9.19	5.84	10.86	1.64
	산지인접늪 ^{ab}	8.16	5.51	9.96	1.32
T-N (%)	농경지인접늪	0.48	0.24	0.84	0.18
	늪중간부분	0.60	0.34	0.91	0.18
	산지인접늪	0.45	0.29	0.57	0.09
P ₂ O ₅ (ppm)	농경지인접늪	1.73	0.93	3.45	0.82
	늪중간부분	1.76	0.93	3.96	0.99
	산지인접늪	1.33	0.95	3.04	0.71
K ⁺ (cmol/kg)**	농경지인접늪 ^{ab}	0.83	0.00	0.32	0.12
	늪중간부분 ^b	0.20	0.00	0.41	0.16
	산지인접늪 ^a	0.00	0.00	0.01	0.04
Ca ²⁺ (cmol/kg)**	농경지인접늪 ^a	7.77	4.36	10.67	2.00
	늪중간부분 ^b	11.00	7.05	14.24	2.74
	산지인접늪 ^a	7.13	4.56	9.74	1.60
Mg ²⁺ (cmol/kg)**	농경지인접늪 ^a	1.97	1.75	2.30	0.17
	늪중간부분 ^b	2.39	1.70	2.80	0.40
	산지인접늪 ^a	1.68	1.27	1.99	0.26
Na ⁺ (cmol/kg)	농경지인접늪	0.44	0.32	0.66	0.12
	늪중간부분	0.51	0.34	0.68	0.09
	산지인접늪	0.49	0.29	0.67	0.14
CEC (cmol/kg)**	농경지인접늪 ^a	16.93	12.48	20.34	2.99
	늪중간부분 ^b	23.16	16.78	28.00	4.57
	산지인접늪 ^a	16.66	12.51	19.44	2.09
Pb (ppm)	농경지인접늪	0.01	0.00	0.03	0.01
	늪중간부분	0.01	0.00	0.04	0.01
	산지인접늪	0.00	0.00	0.01	0.00
Hg (ppm)	농경지인접늪	0.00	0.00	0.00	0.00
	늪중간부분	0.00	0.00	0.00	0.00
	산지인접늪	0.00	0.00	0.00	0.00
Cd (ppm)	농경지인접늪	0.00	0.00	0.00	0.00
	늪중간부분	0.00	0.00	0.00	0.00
	산지인접늪	0.00	0.00	0.00	0.00
Cu (ppm)	농경지인접늪	0.00	0.00	0.00	0.00
	늪중간부분	0.00	0.00	0.00	0.00
	산지인접늪	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn (ppm)	농경지인접늪	0.01	0.00	0.08	0.03
	늪중간부분	0.05	0.00	0.40	0.11
	산지인접늪	0.03	0.00	0.17	0.07
Cr (ppm)	농경지인접늪	0.02	0.00	0.10	0.03
	늪중간부분	0.01	0.00	0.01	0.00
	산지인접늪	0.00	0.00	0.01	0.00
As (ppm)	농경지인접늪	0.05	0.00	0.14	0.04
	늪중간부분	0.07	0.00	0.13	0.04
	산지인접늪	0.07	0.00	0.16	0.06

a, b는 Duncan의 다중범위검정. *p<0.05, **p<0.01.

Hg, Cu, Cr은 낮았다. 21과 23번 정점에서 O.M, T-N, P₂O₅, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, CEC, Pb가 공통적으로 높았고, 22번 정점에서는 O.M, T-N, P₂O₅, K⁺이 높았으며, 26과 27번 정점에서는 O.M, Mg, CEC이 공통적으로 높았다. 22번 정점은 토양성질이나 토양중금속이 높은 함량을 나타내는 것은 없었으며, T-N, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺와 토양중금속인 Cd, Zn, Cr, As이 다른 정점에 비하여 상대적으로 낮았다.

4. 종합고찰

범수늪의 토양모재는 제4기층 퇴적암으로 퇴적양식은 충적봉적층 이며(<http://asis.rda.go.kr>), 배후습지이다(김수승, 2008; <http://asis.rda.go.kr>). 범수늪은 하천형 늪으로서(함안군, 2006) 가장자리 보다 중앙부가 더 깊은 상류에서 하류 방향으로 계류 형상을 하고 있으나 농경지 주변에서 부분적으로 깊은 웅덩이가 형성되어 있는 것은 양수와 농경 목적으로 지형이 변경되었기 때문이다. 늪지는 습지의 일종으로 호수나 강을 따라 형성되지만(김준호 등, 2007) 정수는 연중 혹은 우기에만 생기며, 깊이는 대략 2m 이내(김준호 등, 2007)로서 호소학상에서는 수심이 얇고, 수저 중앙부에도 침수식물이 생육하는 수역 이다(<http://ko.wikipedia.org/wiki/%EB%8A%AA>). 범수늪의 수심은 1.5~2m로(역사문화센터, 2004) 알려져 있으나 본 조사에서는 0.6~2.0m 내외로 다소 차이가 있는 것은 늪이 강우 조건(UNESCO, 1978)과 측정 위치에 따라 수심이 다르기 때문으로 보인다.

범수늪의 이탄층은 자생하는 수중식물의 잎, 줄기, 뿌리 등의 생물체의 누적과 우수시 주변 토지로부터 유입되는 농경지의 농작물, 산지의 부엽과 낙지, 인근 마을의 비점오염물 등의 퇴적물에 기인되는 것으로 보인다. 습지의 이탄토는 담수와 육성 퇴적물의 유입 등에 따른 식생 변화가 이탄층을 형성(Crowley and Gagan, 1995; Snedaker, 1995) 하거나 습지 토양 면에

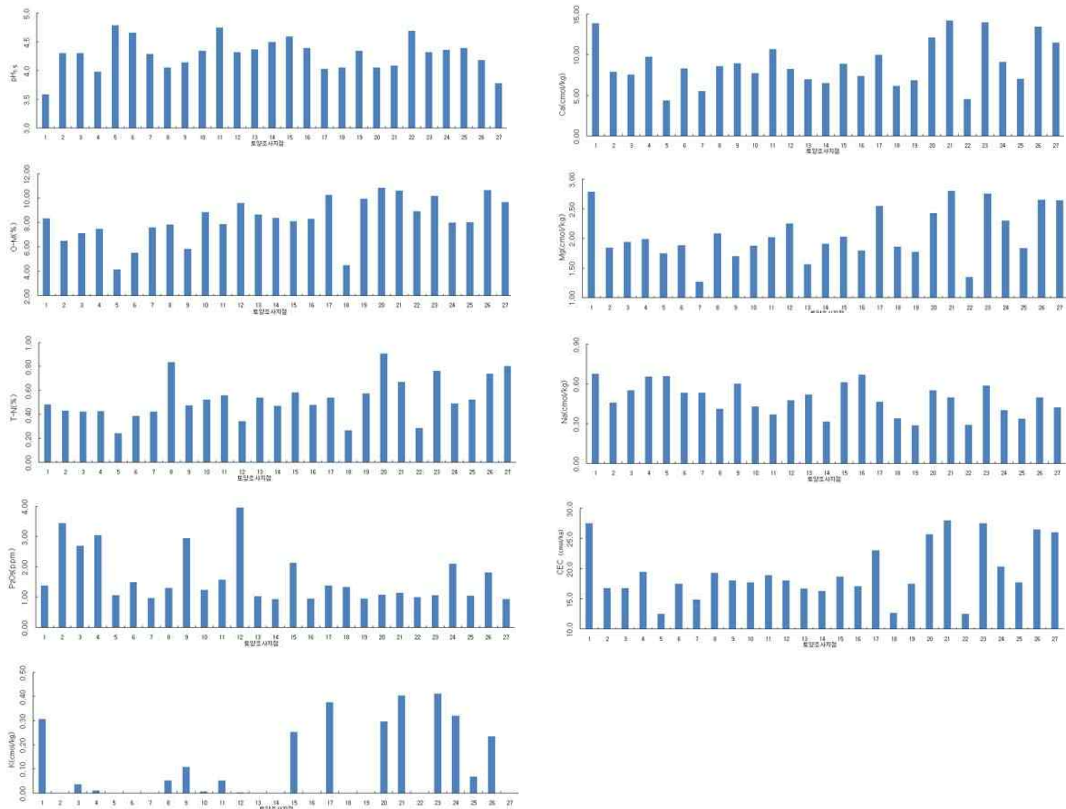


그림 3. 법수늪 조사점점별 토양성질.

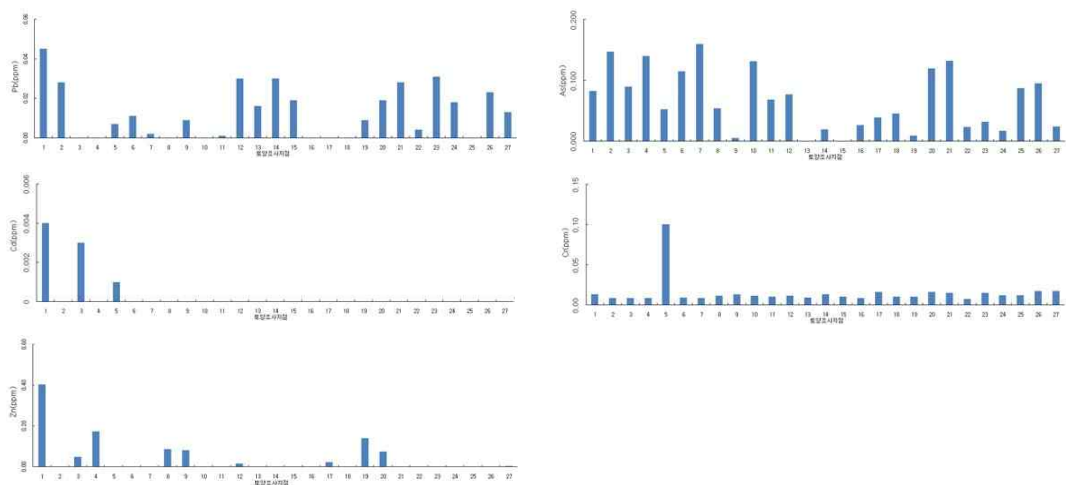


그림 4. 법수늪의 토양중금속.

축적된 식물의 잎과 줄기가 유기물 부스러기가 다층 구조를 형성한다(농어촌연구원, 2004). 육

상 환경의 변천은 호소나 습원의 퇴적물에 기록이 되어 있기 때문에 화분 분석의 방법으로 과거

의 환경 복원을 시도하고 있다(中村, 1967; 隊田, 1974; Birks and Birks, 1980; Birks and Gordon, 1985). 범수늪 바닥에 퇴적되어 있는 이탄층의 화분을 분석하여 이 지역의 육상 및 습지의 식생 변화를 파악하고, 늪지의 생태 보전과 복원 자료로 활용할 수 있을 것이다.

범수늪의 pH는 무제치늪의 pH 4.3~6.3(배정진 등, 2003)과 우포늪 pH 5.9~6.8, 방동소택지 pH 5.6~6.3(김현규, 1999) 보다도 더 강한 산성이었고, 진촌늪의 퇴적물이 pH 3.75~9.0(최무웅 · 김소희, 2003)에 비하여 정점별 변화가 적었다. 산지인접 정점들이 늪중간 정점들과 농경지 주변 정점들 보다 다소 강산성으로 나타났다. 자연늪은 정체수로서 분해 과정이 느린 유기물이 다량 축적 되어 수질이 약산성을 나타내는데(UNESCO, 1978) 범수늪의 pH가 토양 교란이 많은 양수터, 냇시터, 배수지 인접 웅덩이들이 다른 정점보다 높게 나타나는 것은 토양교란에 따른 원지반의 토양의 특성이 반영되기 때문으로 보인다. 대부분의 습지는 pH 5~7 정도의 약산성(배정진 등, 2003) 또는 pH 7 이상(김준호 등, 2007)으로 알려져 있으나 범수늪, 무제치늪, 진촌늪지는 산성토양 이고, 우포늪과 방동소택지는 중성 토양 이며, 진촌늪은 강알칼리성 토양 등으로 한국의 늪지 pH는 다양한 범위로 판단된다.

범수늪의 유기물(O.M)은 범위 4.15~10.86%로 우포늪의 O.M 0.8~2.4%와 방동소택지의 0.8~2.1%(김현규, 1999) 보다 매우 높았다. 범수늪의 T-N은 범위 0.24~0.91% 으로 우포늪의 0.04~0.17%와 방동소택지의 0.02~0.05%(김현규, 1999) 보다도 매우 높게 나타났다. 유기물이 늪중간부분에서 가장 높은 것은 좌우측에서 유입되는 유기물이 중간부분에 퇴적되고, 늪 중앙부분과 산지주변이 농경지주변 보다 더 높은 것은 농경지주변 보다는 산지에서 유기물이 많이 유입되어 퇴적되기 때문으로 추정 되었다.

범수늪의 주변 농경지와 오수가 유입되는 곳에서 T-N 함량이 높은 것으로 보아 농업용 질소

의 잔량과 생활용수에 섞인 질소가 유입되기 때문이고, T-N함량이 농업용 양수터나 냇시터 그리고 배수구 주변에서 낮아지는 것은 T-N이 양수 또는 배수 등의 배출에 의하여 손실되는 것으로 보인다. 자연유기물질은 식물, 동물 등이 부패하여 형성되는 자연생성물로서 부패 혹은 미생물 분해 생성과정 등 다른 경로를 통하여 생성되며, 지역별, 계절별, 수계별, 국가별로 매우 다른 특성을 나타내게 된다(황동진 등, 2009). 이 처럼 범수늪의 유기물은 농경작 부산물, 퇴비, 냇시를 위한 수초의 제거 등이 유기물 축적에 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 유기물은 상류의 유입수에 의하여 지속적으로 누적되면 부영양화를 초래하고, 늪지의 토양이 오염될 수 있으므로 유입원을 찾아서 오염원 또는 비점오염원 차원에서 관리하여야 할 것이다.

범수늪의 P_2O_5 은 범위 0.93~3.96ppm으로 새로 개간한 밭의 유효인산량 10ppm 정도(조성진 등, 1998), 우포늪의 7~25ppm와 방동소택지의 61~69ppm(김현규, 1999) 보다는 낮았다. 그러나 범수 늪에서 교란을 받지 않는 부분에서는 P_2O_5 함량이 낮고 비교적 균질하지만, 상류의 물 흐름이 정체하는 부분과 농경지 가장자리 늪에서 높은 것은 상류의 유입수와 농경지 그리고 주변 마을의 오수의 영향이 미치는 부분에서는 인 함량이 크게 높아지는 것으로 보아 생활오수, 농경지의 인산비료 잔량에 의하여 인이 축적되어 지고 있는 것으로 보인다. 농촌지역에서 인산의 주요 유입원들은 수세식화장실의 인 성분을 함유한 수 발생량의 증가, 인 성분을 함유한 합성세제를 사용하는 세탁기의 보급, 축산영농의 대규모화와 농작물 찌꺼기의 부식, 소규모 축산농가에서 흘러나오는 폐수 등이 있다(농어촌연구원, 2004). 인산염은 물에 잘 용해되지 않고, 토양에 잘 부착되기 때문에 대부분 토양입자와 함께 이동하여(윤춘경 등, 1996) 강우나 관개에 의한 유출시 토사와 함께 이동하여 소하천이나 저수지에 유입되어 바닥에 퇴적된다(윤춘경 등, 1996; 농어촌연

구원, 2004). 인산은 오랫동안 수중에 용해되며 수질악화를 초래(농어촌연구원, 2004) 하기 때문에 천연기념물 범수늪의 부영양화 방지를 위해서는 주변 환경으로부터 유입되는 인의 축적을 감시하여야 할 것이다.

일반적인 토양의 K^+ 함량은 300ppm 정도이나 (Mengel and Kirkby, 1987) 범수늪의 K^+ 은 범위 0.00~0.41cmol/kg으로 우포늪의 0.15~0.26me/100g(김현규, 1999) 보다는 높고, 방동소택지의 0.35~0.57me/100g(김현규, 1999) 보다는 낮았다. 칼륨, 칼슘, 마그네슘이 우수 유입지인 1번 정점에서 높고, 농업용 양수터인 5번 정점과 수문이 있는 22번 정점에서 낮게 나타나는 것은 우수에 의해 유입되는 주변 농경지의 화학비료 잔량이 유입되어 수문의 배출이 심하게 발생하는 곳에서는 낮아지는 것으로 보인다. K^+ 이 늪 중간부분에서 가장 높은 것은 수심이 깊은 중간지역에 K^+ 가 집적되는 것으로 추정 되었다. K^+ 이 늪의 중간부분>농경지주변>산지주변 순으로 나타나는 것은 Ca^{2+} , Mg^{2+} , CEC 등과 유사하여 이들 토양성질들 간에 상호 관련성이 있을 것으로 예상 되었다.

범수늪 중간부분이 농경지부분과 산지부분 보다 높게 나타났 것은 O.M, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , CEC 등이었으며, 이것은 중간부분이 수심이 깊어서 토양성질들이 퇴적되기 때문으로 추정 되었다. 범수늪의 토양 O.M, T-N, K^+ 은 상류보다는 중류나 하류에서 더 많이 집적되고, K^+ 와 Mg^{2+} 등이 농경지변과 산지변의 수심이 낮은 곳보다 수심이 깊은 중간부분에서 더 높게 나타났다. 이것은 범수늪 상류에서 유입되는 물질과 주변의 농경지와 산지에서 하류 또는 수심이 깊은 곳으로 퇴적되어 토양특성이 오랜 기간에 걸쳐서 변화되고 있는 것으로 판단되었다. 오염원과 퇴적물의 증가에 의한 영양물질의 증가는 생태계에 부정적인 영향을 미친다(차은지 등, 2010). 유기질 비료와 화학비료의 사용 그리고 농약 사용이 꾸준히 증가하면 유입오염원 중 농경행위가 비점오염원 주

요 유발 요인(이광식 등, 2004)이 된다.

중금속으로 인한 오염은 생물과 인체에 직접적인 영향을 미치는데(Casarett and Doull, 1980) 중금속 오염에 대한 관심이 커진 것은 일본 神通川 유역에서 발생한 Itai-Itai 병이 카드뮴에 의한 것에 의한 것이 밝혀지면서 이다(Vlamiš et al, 1978). 중금속 Pb는 생물체내 조혈기능 장애로 각종 질병을 일으키는 유해중금속(김영오 등, 1988)으로 자동차 배기가스 이외에 화학제조공장, 축전지, 인쇄공장, 비산연을 사용하는 살충제, 인산질 비료, metal-smelting으로 배출되는 폐수에 의해 오염된다(Waldron, 1980). 범수늪에서 Pb가 상류의 우수 유입구와 생활용수 유입부분에서 높은 것은 인근 도로의 배기가스나 농업용 살충제 또는 인산질 비료나 폐수에 기인되는 것으로 보인다.

토양내 Cd은 일반 토양 중의 자연함량은 0.06~0.40ppm 정도(유홍일 등, 1983)이나 살충제 및 인산질 비료의 과다 사용지역에서 높은 함량을 보일 수 있다(Waldron, 1980). 범수늪 내 Cd은 축적은 우수 유입구와 농업용 양수지가 높은 것으로 보아 주변 농경지의 살충제나 인산질 비료의 잔량이 유입되기 때문일 것이다.

범수늪의 Zn은 범위 0.000~0.403ppm 으로 오염되지 않은 논 토양의 3.01~21.19ppm 정도(유홍일 등, 1983), 장산습지 15.8~62.2mg/kg(차은지 등, 2010)에 비하여 낮았다. 범수늪의 Zn이 우수 유입부와 낚시터에서 높게 나타나는 것은 농경활동과 낚시 등에 의하여 누적되는 것으로 보인다. 범수늪의 Cr은 0.007~0.100ppm으로 장산습지 17.9~48.3 mg/kg(차은지 등, 2010)에 비하여 낮았으며, 농업용 양수기 운용에서 Cr이 누적되는 것으로 보인다.

비소는 독약의 주요 성분으로(이무열·정진호, 2002) 살상용 극약 이고(Rosenberg et al, 1980), 발암성이 있으며(Boffetta, 1993), 고농도로 노출되면 심한 메스꺼움과 구토, 복통, 혈관의 내피세포의 손상 등으로 사망할 수 있다(Gorby, 1994).

비소는 토양, 식물, 물 등의 광범위하게 존재하며, 지표수나 지하수에 용해되어 스며들거나(이무열 · 정진호, 2002), 산업폐기물의 처리, 구리 및 기타 금속의 제조, 화석 연료의 사용 등에 의하여 토양과 수질을 오염시킬 수 있다(Woolson, 1975). 범수층의 As는 범위 0.00~0.160ppm로 우리나라 발토양 기준 15ppm 이하와 작물에 해를 끼치는 범위 20ppm 정도(조성진 등, 1998)와 장산습지 37.0~50.1mg/kg(차은지 등, 2010) 보다는 낮았다. 그러나 범수층에서 As가 높은 곳은 상류와 중류의 농경지와 산지 인접 가장자리 늪과 생활용수의 영향권에서 상대적으로 높은 것은 우수에 의하여 유입되는 오염물에 의하여 변화하는 것으로 보인다.

토양 오염은 수질이나 대기의 오염에 비하여 오염현상이 느리게 나타나며(남권철 등, 2005), 환경오염에 의해 중금속 농도가 증가하면 유기물의 분해나 소화에 의해 토양이나 수질의 그 오염도가 쉽게 감소하지 않는다(和田政, 1971). 또한, 토양 속의 중금속은 이동성이 적고, 장기간 동안 잔류(김영오 등, 1988) 하기 때문에 복원에 소요되는 기간도 오랜 시일을 필요 하고(남권철 등, 2005), 유해 중금속은 소량에 의해서도 독성이 크기 때문에 주의해야 한다(김영오 등, 1988). 그러므로 범수층의 중금속들의 현재 상태가 법정 기준치에 적합하거나 낮다고 하여도 아직 과학계가 명확하게 밝히지 못한 부분이 있기 때문에 그 기준치에 만족하지 않고 보다 건전한 늪지 토양 환경을 보전하기 위한 노력이 필요하다.

토양은 다양한 토양생물들의 서식공간이고, 식물 생장의 기반으로서 그 자체가 하나의 생태계이고, 도시 구조물의 안정성을 유지하는 물리적 기반이며, 대기와 지하수 및 하천으로 이동하는 물과 오염물질의 생지화학적 순환 과정을 지배하는 매체이다(박은진 · 남미아, 2010). 토양오염은 각종 산업 활동으로 인한 물질의 개발과 사용 그리고 폐기를 통한 순환과정에서 직접 혹은 간접으로 오염물질이 토양으로 유입되어 발생하는 형

태로 유기성 폐기물의 매립장이나 가축축사의 분뇨, 중금속, 유기용매 등이 현재까지 심각한 오염 부분으로 알려져 있다(이상현 등, 2010). 토양은 모든 생물의 생활 근거지(Edward, 1981)로서 식물을 물리적으로 지지 하며, 오염 물질을 흡착하고, 미생물이 부착하여 서식할 수 있는 표면을 제공하며, 수생식물의 생장에 필요한 영양분을 제공하는(농어촌연구원, 2004) 등의 중요한 역할을 하기 때문에 보전되어야 한다.

천연기념물 범수층 토양의 교란은 주로 우수의 유입부, 인근 마을의 생활오수유입부, 농경활동 위한 양수터 및 배수구, 낚시터, 수초의 제거, 공장 인접지역 등에서 정점별로 토양성질이 다르게 나타났다. 토양교란이 많은 1번 정점에서 치환성양이온인 Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , CEC, Pb, Cd, Zn이 높았으나 pH, Hg, Cu, Cr은 낮은 것은 우수가 주로 많이 유입되고, 2번 정점에서 P_2O_5 , Pb, As가 높은 것은 상류에서 생활하수가 소량 유입되고, 물 흐름이 정체되기 때문으로 보인다. 생활하수의 영향권에 있는 21과 23번 정점에서 O.M, T-N, P_2O_5 , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , CEC, Pb가 공통적으로 높았고, 다소 떨어져 있는 거리는 하지만 22번 정점에서는 21과 23번 정점과 공통적으로 O.M, T-N, P_2O_5 , K^+ 이 공통적으로 높은 것으로 보아 생활하수가 토양환경 변화에 영향을 미치기 때문일 것이다. S공장 아래의 26과 27번 정점에서는 O.M, Mg, CEC이 공통적으로 높았으며, 배수구 인접 늪인 22번 정점은 토양성질이나 토양중금속이 높은 것이 없이 T-N, Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 와 토양중금속인 Cd, Zn, Cr, As이 다른 정점에 비하여 상대적으로 낮은 것은 배수시에 수중 하부에 토양성질이나 토양중금속이 퇴적되지 않고 배출되기 때문이다.

이와 같이 범수층에 토양교란은 주변 경작지의 농약 잔류량의 유입, 생활오수 유입(김미경, 2008), 지형의 개조, 양수, 배수, 낚시, 수초의 제거, 유역권 내의 농경지, 산지, 도로 등의 비점오염원 등에 의해 발생하는 것으로 추정 되었다. 천

연기념물인 범수늪의 보전을 위해서는 농경지에 사용하는 퇴비, 비료, 농약, 양수용 유류의 유출, 농업부산물, 양수와 낚시를 위한 지형의 개조, 수초의 제거 등의 행위를 근절시켜야 할 것이다.

범수늪의 수질정화를 위하여 설치된 오수정화 시설이 있으나 처리용량이 소규모로 큰비가 올 경우에는 생활하수가 늪으로 유입되고, 주변의 농경지에서 사용하는 화학비료와 농약 잔류량이 유입되며(함안군, 2006), 축산폐수나 인분 등의 생체의 분비물에 의한 유기물질의 오염원에서 유입되기 때문(김미경, 2008) 비점오염자연정화시설이 필요하다. 식물을 이용한 토양오염 정화는 생태계와 생물다양성을 보호하며, 2차적인 오염을 일으키지 않는 환경 친화적인 특징(<http://blog.daum.net/econ/7869536>.) 있어서 오염물질을 흡수하는 측면에서 수질 문제의 해결을 위한 대안(지광제 등, 2002)으로 오염된 토양을 복원하는데 1960년대 이후 많은 연구들이 진행되어 왔다.

수생식물들은 질소(모현주·옥치상, 2001), 인(김명화, 1996; 김철수 등, 2000; 모현주·옥치상, 2001), K^+ (호수인 등, 2003) 퇴적물이나 물속의 영양염류(지광제 등, 2002)의 흡수량이 높고, 중금속을 제거 한다(모현주·옥치상, 2001). 자연수로에서 수생식물은 암모니아성 질소와 질산성 질소와 총인의 38.6%, 19.1%, 39.4%의 정화 효과가 있다고(모현주·옥치상, 2001) 보고되어 있다. 수생식물은 습지의 토양표면에 침전 후 산화되어 토양의 일부 구성요소가 되어 질소의 탈질 작용 유도, 인 흡착, 미생물 및 저서생물들의 주요 서식환경을 제공, 유기물질을 포함한 영양염류를 제공하는 매질이자 에너지원으로 작용하게 된다(이광식 등, 2004). 탈질화는 유기물질의 양에 영향을 받으며(Broadbent and Clark, 1965), 퇴적 토양층에서 탈질화에 의해 질소가 제거된다(Bowden, 1986). 이와 같이 수생관속식물은 영양염류와 중금속의 흡수(Mickle and Wetzel, 1979; 모현주·옥치상, 2001)와 오염원을 제거

(Kucklentz, 1985) 하여 수질을 개선하는 효과가 크므로(농어촌연구원, 2004) 범수늪에 인공습지를 조성하여 유입되는 비점오염수질을 자연정화할 수 있을 것이다.

5. 관리방안

습지는 오염물질의 정화와 홍수의 조절, 서식지의 제공의 환경적 측면과 수산자원의 이용과 어패류의 양식의 사회경제적 측면(Lewis, 2001; Mitsch and Gosselink, 2007; Odum, 1983)에서 그 가치가 매우 높다. 습지는 수문과 생물지화학적 순환의 기능을 가지고 있는데(Richardson et al, 1978) 범수늪은 자연늪으로서 생태학적으로 특이한 생물서식 구조를 갖고 있는 천연기념물이지만 최근 주변의 토지이용압력에 의하여 점오염원과 비점오염원이 증가하고 있으므로 유지관리가 중요하다.

습지 관리 목적은 수질의 유지, 침식의 저감과 방지, 홍수로부터 보호, 오염물질의 자연정화, 각종공해로부터의 완충지 제공, 습지식물의 유전자 풀 유지, 완전한 자연적 군집 제공, 심미적 기능 제공, 야생동물의 생산, 곤충개체군의 조절, 생물들의 서식처 제공, 과학적 호기심의 촉진(Stearns, 1978), 수위조절, 이용관리, 자연유지관리, 지속 가능한 생태계 유지 등 이다. 습지 생태계는 지역의 자연환경과 조화를 이루어 동적평형을 유지하는 열린 공간이며, 부분의 생태계와 달리 원시상태를 유지하는 경우가 많기 때문에 환경의 변화에 매우 약하고(허철호·김성용, 2005), 늪의 토양(최무웅·김소희, 2003)과 수질(김미경, 2008)은 계절에 따라 변화하므로 범수늪지의 보전방안에 대한 연구가 수행되어야(김수승, 2008) 한다.

자연생태계가 중요시 되는 지역의 보전과 관리지역의 설정은 자연적인 변화와 교란에 대한 반응을 이해하여 보다 생태학적이며, 경제적으로 실현이 가능해야(Curtis and Huvane, 2008) 하는데 천연기념물 범수늪의 보전을 위해서는

UNESCO MAB의 Biosphere Model([http : // www.unesco.org/mab](http://www.unesco.org/mab))을 적용할 수 있다. 천연기념물 범수늪의 보전과 관리지역 설정은 UNESCO MAB 이론에 따라 핵심지역과 완충지역 그리고 전이지역으로 구분하여 설정하는 것이 권장 되었다. 핵심지역은 물이 항상 고여 있거나 흐르는 지역으로 평균수위를 경계로(김귀곤 등, 2001) 하여 1984년 문화재청에서 지정한 범수늪 지정구역 33,911m²로 제안 되었다.

핵심지역에서 가능시설은 환경모니터링하거나 보전지역의 고유한 생태적 가치를 저해하지 않고, 오히려 보전에 기여하는 시설 등이고, 제한되어야 할 사항은 건축물, 공작물, 시설물의 신축의 불허, 토지의 형질변경, 토석채취, 야생식물의 채취 및 벌채, 동물의 포획 또는 동물알의 채취 등이다(김귀곤 등, 2001).

완충지역은 우수와 인간 활동에 의하여 범수늪에 영향을 크게 미칠 수 있는 지역으로 핵심지역 외곽부로부터 마을 인접부분과 산지의 능선 부분까지로 제안되었다. 완충지역에서는 핵심지역 이외의 보전이 필요한 지역으로 국토이용관리법에 의거 용도지역별 이용에(김귀곤 등, 2001) 준하는 것으로 하였으며, 이 지역 안에 있는 기존의 공장은 다른 지역으로 이전이 필요하다.

전이지역은 핵심지역과 완충지역을 보호 및 관리하기 위한 곳으로서 해당지역의 토지이용 현황에 따라서(김귀곤 등, 2001) 우수시 집중 유입되는 인근의 조정골과 아씨골 유역의 산마루 아래로부터 완충지 경계부까지로 하였다. 전이지역은 핵심구역 및 완충지역의 관리를 위하여 국토이용관리법에 의거 용도지역별 이용에 준하도록 하며, 1차 산업시설과 농민들의 소득증대시설 그리고 대지 내에서의 건축, 공공시설은 가능하다(김귀곤 등, 2001). 관리지역 설정에 따라 지역주민들이 토지이용이 제한되는 갈등과 손해에 대해서는 정부의 손실지원이 필요하다. 또한 천연기념물로서 범수늪의 중요성에 대하여 지역주민들의 인식을 고취시켜 자발적인 보전과 관리에 협

력할 수 있는 교육과 홍보가 필요하다.

IV. 결 론

본 연구는 천연기념물인 범수늪의 토양성질과 토양중금속의 변화를 조사·분석하여 생태보전과 관리방안을 제시 하였다.

1. 범수늪의 토양성질들 중에서 한국의 다른 지역의 늪지나 소택지 보다 높은 것은 O.M, Ca²⁺, Na⁺, CEC이었고, 함량이 낮은 것은 pH_{1:5}와 P₂O₅이었다.

2. 토양중금속인 Pb, Hg, Cd, Cu, Zn, Cr, As은 한국 토양오염우려기준보다 낮았으나 정점별로 변화가 나타나고 있으므로 장기 모니터링을 통한 보전과 관리가 필요하다.

3. 범수늪의 토양성질과 중금속의 함량은 정점별로 차이가 있었으며, 토양이 교란된 지역은 주로 우수 및 생활오수의 유입부, 농경작을 위한 지형 개조부분, 양수터, 배수인접 부분, 낚시터, 수초의 제거지와 유역권 내에 농경지, 산지, 도로 등으로부터 농업부산물, 농약, 비료, 퇴비, 낙엽 등의 비점오염물질 유입지이었다.

4. 범수늪의 토양환경은 장기적으로 유입되는 점오염 또는 비점오염물질이 누적되어 변화될 수 있으므로 오염물질을 차단하고 정화할 수 있는 인공습지의 조성이 제안되었다.

5. 천연기념물 범수늪의 지속적이고도 합리적인 보전과 관리를 위해서는 UNESCO MAB의 Biosphere Model을 적용하여 핵심구역, 완충구역, 전이구역의 설정하고, 지역 주민들의 자발적 참여와 교육 홍보가 필요하다.

이상의 연구 결과 천연기념물 범수늪의 토양환경 변화는 주변의 유입수와 퇴적물에 의하여 변화될 수 있으므로 적극적인 유지관리가 필요함을 시사하고 있다. 본 연구는 늪 내부에서 토양환경 조사·분석에 국한되어 있어서 유역권에서 점오염원 또는 비점오염원이 미치는 영향 그리고 수질과 식물들과의 상관성 분석에 한계가 있었으

므로 향후 다각적인 분야의 장기적인 모니터링에 의하여 범수늪 관리계획을 수립하여야 할 것으로 사료되었다.

인 용 문 헌

- 김귀곤 · 구본학 · 조동길 · 임봉구 · 주위홍 · 김옥수 · 신지영 · 송은엽. 2001. 내륙습지의 유형별 평가기법 및 관리방안에 관한 연구. 환경부 보고서.
- 김명화. 1996. 수중 습지식물에 의한 질소와 인의 제거능력에 관한 연구. 목포대학교 대학원 석사학위논문.
- 김미경. 2008. 경상남도 함안군 범수늪에서 엽록소 형광도계(Pyto-PAM)에 의한 일차생산의 계절변동. 환경생물학회지 26(2) : 76-86.
- 김수승. 2008. 두습지의 식물사회학적 비교 -경남 함안군 대평늪과 질날늪을 대상으로-. 영남대학교 대학원 석사학위논문.
- 김영오, 유형렬, 이재형, 기노석, 황인담. 1988. 금강유역 논토양과 현미의 중금속 함량에 관한 연구. 예방의학회지 21(2) : 320-328.
- 김준호 · 서계홍 · 정연숙 · 이규송 · 고성덕 · 이점숙 · 임병선 · 문형태 · 조강현 · 이희선 · 유영한 · 민병미 · 이창석 · 이은주 · 오경환. 2007. 현대생태학. 서울 : 교문사.
- 김철수 · 손성곤 · 이정환 · 오경환. 2000. 아산호 습지에서 관속식물의 군집구조와 생산성 및 영양염류의 흡수. 한국생태학회지 23(3) : 201-209.
- 김현규. 1999. 인공습지 조성을 위한 수생식물의 식재기반조성 기준에 관한 연구 -토양조건에 관한 기준설정을 중심으로-. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
- 남권철 · 이준호 · 박갑성. 2005. EDTA 추출 pH에 따른 광미의 중금속 제거. J. Environ. Sci. Eng 7 : 1-8.
- 농어촌연구원. 2002. 습지의 특성 분석 및 관리대책 연구(VII). 농어촌연구원.
- 농어촌연구원. 2004. 농업용수 수질개선을 위한 인공습지 설계 · 관리 요령. 농림부 · 농업기반공사
- 농촌진흥청. 1988. 토양화학분석법 : 토양 · 식물체 · 토양미생물. 농촌진흥청 농업기술연구원.
- 대한민국관보 제9896호. 1984. 천연기념물지정 (문화공보부제622호).
- 모현주 · 옥치상. 2001. 자연수로의 수생식물 생장에 따른 수질정화 특성. 한국도시환경학회지 1(1) : 73-84.
- 박은진 · 남미아. 2010. 경기도의 토양환경 현황과 악 및 정책방향 설정 연구. 경기개발연구원.
- 박종석 · 정선우 · 김인택 · 오경환. 2003. 경남지역 내 습지생태계 기본현황조사(III). 창원시 경남지역환경기술개발센터.
- 배정진 · 추연식 · 송승달. 2003. 정족산 무제치늪 식물의 무기이온, 질소 및 인의 양상. 한국생태학회지 26(3) : 109-114.
- 역사문화센터. 2004. 함안 황사리 농공단지 예정지 문화재 지표조사 보고서. 경남발전연구원.
- 유홍일 · 김인기 · 김학엽 · 김성환. 1983. 공단 주변 농경지의 중금속 오염도 조사. 국립환경소보.
- 윤춘경 · 정재춘. 1996. 축조된 습지를 이용한 폐수처리 설계기준에 관한 연구, 유기성폐기물자원화학회지 4(1) : 61-72.
- 이경미. 2007. 저류형 습지의 비점오염물질 정화능력 평가. 부경대학교 대학원 석사학위논문.
- 이광식 · 신현범 · 남귀숙 · 지광재 · 김형중 · 배요섭. 2004. 농업용수 수질개선 시험연구. 농림부 · 농업기반공사.
- 이무열 · 정진호. 2002. 음용수를 통한 비소 노출의 인체 안전성 평가. 한국독성학회지 18(2) : 107-116.
- 이상현 · 김석택 · 김미정. 2010. 토양오염 복원을 위한 울산시 정책방안 연구. 울산발전연구원.

- 구원.
- 이상호. 2000. 수생식물을 이용한 하수처리수의 고도처리를 통한 질소·인 제거 효율에 관한 연구. *산업과학연구* 10 : 91-103.
- 조성진 · 박천서 · 엄대익. 1998. 삼정 토양학. 서울 : 향문사.
- 주은정 · 김재근. 2009. 낙동강 일대와 중부지역 주요 습지의 토양중자은행 분석. *한국복원학회지* 12(5) : 77-91.
- 지광재 · 김경만 · 이승현. 2002. 비정수성 수생식물의 생태적 특성을 이용한 호소성 농경습지의 친환경관리방안연구(I). 농업기반공사 농어촌연구원.
- 차은지 · 함세영 · 김현지 · 이정환 · 옥순일, 2010. 부산시 장산습지 토양의 물리적 및 화학적 특성. *한국환경과학회지* 19(11) : 1363-1374.
- 최무용 · 김소희. 2003. 전국내륙습지 자연환경조사 (진촌늪) IV. 퇴적물, 수질. 환경부.
- 함안군. 2006. 함안군 범수면 늪지식물보호관리학술조사. 함안군.
- 허철호 · 김성용. 2005. 흑산도 지역 장도습지의 지질 및 토양환경 : 예비조사. *한국지구과학회* 26(7) : 661-667.
- 호수인 · 노효청 · 김진상. 2003. 지렁이를 이용한 생활쓰레기의 비료 효과에 대한 연구. 생물학연구정보센터(BRIC) Biowave (<http://bric.postech.ac.kr/webzine>) 5(11) : 1-6.
- 환경부. 2002. 전국내륙습지 자연환경조사(길날늪, 범수늪, 석교천습지). 환경부.
- 황동진 · 김상돈 · 허유정 · 박중환 · 김갑순 · 황태희 · 박승호 · 손미선 · 최훈근 · 전강민 · 조수민 · 조재원. 2009. 영산강수계 자연유기물 분포특성 및 변화 추이 연구(I). 국립환경과학원.
- 和田攻. 1971. 公害による疾患. 南江堂. 東京.
- 中村 純. 1967. 花粉分析. 古今書院. 東京.
- 隊田 松雄. 1974. 古生態學II. 應用編. 共立出版株式會社. 東京.
- Birks H. J. B., and A. D. Gordon. 1985. *Numerical Methods in Quaternary Pollen Analysis*. Orlando. Academic.
- Birks H. J. B., and H. H. Birks. 1980. *Quaternary Palaeoecology*. London. Edward Arnold.
- Bowden W. B. 1986. Nitrification, nitrate reduction and nitrogen immobilization in a tidal freshwater marsh sediment. *Ecology* 67 : 88-99.
- Boffetta, P. 1993. Carcinogenicity of trace elements with reference to evaluations made by the International Agency for Research on Cancer. *Scand. J. Work Environ. Health* 19 (1) : 67-70.
- Broadbent, F. E., and F. Clark. 1965. Denitrification. p. 344-359. *In* : W. V. Bartholomew and F. E. Clark (eds.) *Soil Nitrogen*, Agronomy Monograph No. 10. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Casarett, L. J., and J. Doull. 1980. *Toxicology, The basic science of poisons*, 3rd ed. New York. Macmillan Publishing Co. pp. 582-286.
- Christopher C., S. Broome and C. Campbell. 2002. Fifteen years of vegetation and soil development after brackish-water marsh creation. *Rest Ecol* 10(2) : 248-258.
- Crowley G. M., and M. K. Gagan. 1995. Holocene evolution of coastal wetlands in wet-tropical northeastern Australia. *The Holocene* 5 : 385-389.
- Critchley, C. N. R., B. J. Chambers., J. A. Fowbert., A. Bhogal., S. C. Rose and R. A. Sanderson. 2002. Plant species richness, functional type and soil properties of grasslands and allied vegetation in English Environmentally Sensitive Areas. *Grass and Forage Science* 57 : 82-92.

- Curtis J. R., and K. H. Jacqueline. 2008. Ecological status of the everglades : Environmental and human factors that control the peatland complex on the landscape. In the everglades experiments lessons for ecosystem restoration. Richardson, C. J. Springer. [http : //www.springer.com/978-0-387-98796-5](http://www.springer.com/978-0-387-98796-5).
- E1-Demerdash M. A., A. K. Hegazyt and A. M. Zilay. 1995. Vegetation- soil relationships in Tihamah coastal plains of Jazan region, Saudi Arabia. *Journal of Arid Environments* 30 : 161-174.
- Edward J. C. 1981. Nutrition and environmental health. New York : Willey-Inerscience. pp. 65-200.
- Gorby M. S. 1994. Arsenic in human medicine. In *Arsenic in the Environment. Part II : Human Health and Ecosystem Effects* (J.O. Nriagu, ED.). New York. A Willy-Interscience publication. pp. 1-34.
- Jafaria M. M. A. Z. Chahoukib., A. Tavilib., H. Azarnivandb and G. H. Z. Amiri. 2004. Effective environmental factors in the distribution of vegetation types in Poshtkouh rangelands of Yazd Province (Iran). *Journal of Arid Environments* 56 : 627-641.
- Kucklantz V. 1985. Limnologische Untersuchungen zur Bedeutung der Makrophyten für die Selbstreinigung filebender Gewässer. *In : Schadstoff bleatung und Ökosystemschutz in aquatischem Bereich. Bayerischen. Herausgeben v. d. Landesanaaltfur Wasserforschung*, pp. 465-473.
- Lewis W. M. Jr. 2001. *Wetlands explained : Wetland science, policy, and politics in America*. New York. Oxford University7 Press.
- Mengel K., and E. A. Kirkby. 1987. Principles of plant nutrition. Switzerland : International Potash Institute Bern.
- Mickle A. M., and R. G. Wetzel. 1979. Effectiveness of submersed angiosperm-epiphyte complexes on exchange of nutrient and organic carbon in littoral system : refractory organic carbon. *Aqa. Bot* 6 : 339-355.
- Mitsch W. J., & J. G. Gosselink. 2007. *Wetland* 4th ed. New York : John wiley & Sons, Inc.
- Monier M., A. El-Ghani and M. A. Wafaa. 2003. Soil-vegetation relationships in a coastal desert plain of southern Sinai, Egypt. *Journal of Arid Environments* 55 : 607-628.
- National Research Council. 1992. *Restoration of aquatic ecosystems*. Washington : National Academy Press.
- Odum E. P. 1983. *Basic ecology*. Philadelphia. CBS College Pub. pp. 543-547.
- Richardson, C. J., D. L. Tilton, J. A. Kadlec, J. P. M. Chamie and W. A. Wentz. 1978. Nutrient dynamics of northern wetland ecosystems. p. 217-241. *In : R. E. Good, D. F. Whigham, and R. L. Simpson (eds.) Freshwater Wetlands : Ecological Processes and Management Potential*. Academic Press, New York.
- Rosenberg M. J., P. J. Landrigan and S. Crowley. 1980. Low-level arsenic exposure in wood processing plants. *Am, Ind. Med.* 1 : 99-107.
- Snedaker S. C. 1995. Mangroves and climate change in the Florida and Caribbean region : scenarios and hypotheses. *Hydrobiologia* 295 : 43-49.
- Stearns F. 1978. Management potential : Summary and recommendations. p. 357-363 *In : R.E. Good, D. F. Wingham and R. L. Simpson (eds.) Freshwater wetlands : ecological proc-*

- esses and management potential. Academic Press, New York. 378 p.
- Taiz L., and E. Zeiger. 2006. Plant Physiology, Fourth Edition. Sinauer Associates. Sunderland.
- Ukpong, L. E. 1997. Vegetation and its relation to soil nutrient and salinity in the Calabar mangrove swamp, Nigeria. *Mangroves and Salt Marshes* 1 : 211-218.
- UNESCO. 1978. Water quality surveys. Paris. UNESCO/WHO.
- Vlamis J., D. E. Williams and J. E. Corey. 1978. Metal uptake by barley from field plots fertilized with sludge. *Soil Sci* 126 : 49-55.
- Waldron H. A. 1980. Metal in the environment. London : Academic Press. pp. 155-157.
- Woolson E. A. 1975. The persistence and chemical distribution of arsanilic acid in three soils. *J. Agric. Food Chem* 23 : 677-681.
- Zhao X. S., Z. F. Yang., B. S. Cui and T. Sun. 2007. The influence of ecological restoration to freshwater marshlands vegetation and soil salt content in estuary. *Environmental Informatics Archives* 5 : 293-304.
- [http : //asis.rda.go.kr](http://asis.rda.go.kr).
- [http : //blog.daum.net/econ/7869536](http://blog.daum.net/econ/7869536).
- [http : //ko.wikipedia.org/wiki/%EB%8A%AA](http://ko.wikipedia.org/wiki/%EB%8A%AA).
- [http : //www.unesco.org/mab](http://www.unesco.org/mab).