

농지연못습지의 수질 및 토양환경 분석

손진관¹⁾ · 강방훈²⁾ · 김남춘³⁾

¹⁾ 단국대학교-농촌진흥청 학원협동과정 · ²⁾ 농촌진흥청 국립농업과학원 · ³⁾ 단국대학교 녹지조경학과

The Analysis of Water and Soil Environment at Farm Pond Depression

Son, Jin-Kwan¹⁾ · Kang, Banghun²⁾ and Kim, Nam-Choon³⁾

¹⁾ Relationship of Dankook University & Rural Development Administration,

²⁾ National Academy of Agricultural Science,

³⁾ Department of Landscape Architecture, Dankook University.

ABSTRACT

This study was conducted to understand the water and soil properties to propose the promotion of vegetation environment at farm pond depression. We selected 8 palustrine wetlands from agricultural area after consideration of human interference, surround land use, and size of area.

Water quality analysis showed that the average SS, T-N, T-P were over the limit of agricultural water quality standard level at some sites. The cause for deterioration of water quality is supposed by the long-term stagnation of water in palustrine wetland. The recommended measures to improve water quality are as follows; improving water circulation by connecting with nearby natural water, preventing oxygen depletion by dredging deposit, lowering down T-N and T-P by removing autumn plants, preventing inflow of phosphorus in fertilizer ingredients which is the main cause for high T-P.

The soil contamination of the surveyed area was about the same level of average heavy metal contents in soils from 2,010 paddy fields in Korea, which was much lower than soil contamination standards. As for soil texture, sand content was 40~90% and clay content was less than 20%. The content of silt and clay in soil from community of floating-leaved · submerged hydrophytes and

Corresponding author : Kang, Banghun, National Academy of Agricultural Science, RDA,
Tel : +82-31-290-0281, E-mail : ipmkbh@korea.kr

Received : 9 March, 2010. **Revised** : 8 June, 2010. **Accepted** : 21 June, 2010.

community of emergent hydrophytes was higher than that of soil from community of hygrophytes, and the content of sand in soil from community of hygrophytes was 10% higher than underwater soil. In terms of bulk density, the average was $0.24 \sim 0.96 \text{g/cm}^3$, which was quite low, because of high content of peat and organic matter in soil of the surveyed area. As for the average content of organic matter, community of floating-leaved · submerged hydrophytes was 18.25g/kg , community of emergent hydrophytes was 16.88g/kg , and community of hydrophytes was 25.63g/kg . The range of content of T-N in soil of community of floating-leaved · submerged hydrophytes was $0.022 \sim 0.307\%$, and that of community of emergent hydrophytes was $0.029 \sim 0.681\%$ and that of community of hydrophytes was $0.088 \sim 0.325\%$. Apart from three sites in the surveyed area, most parts were over the standards or below the standard.

After this study, we will conduct and discuss the relationship between vegetation characteristics and environments, which will be used of the best practical management and restoration of wetland.

Key Words : *Palustrine Wetland, Water Properties, Soil Heavy Metal, Soil Physical, Soil Chemical.*

I. 서 론

소택형습지의 일종인 농지연못습지는 최근 수리시설의 확충으로 활용기능이 축소되고 있으며, 인식의 부족으로 인하여 매립하여 경장지로 사용되는 한편 방치 및 관리의 부실로 토양 및 수자원의 오염과 외래종의 유입이 확산되는 실정이다(강방훈 등, 2009).

습지의 식생구조는 수심과 경사에 따라 크게 습생식물과 수생식물로 구분되며(환경부, 2001), 이것은 생육기간 동안 침수정도에 따라 나타나는 현상으로 볼 수 있다. 습지생성 및 특성을 결정하는 가장 중요한 인자는 수문환경이며(Mitsch and Gosselink, 1993), 이것은 토양을 발달시키고 다시 토양은 식생을 발달시킨다고 하였다(Tiner, 1999). 습지가 창출될 때 주위의 다른 서식처의 영향을 받으면 더 많은 생물종이 서식한다고 하였고, 수심이 2m 이상이거나 급격한 수질의 변화가 있는 곳에서는 수생식물의 서식을 힘들게 한다고 하였다. 호안의 경사는 1 : 20 완경사에서 식물군집이 넓게 확산되지만 1 : 3이상의 급경사에서는 식물군집의 발달이 지연되는 것으로 나타났다(Malcolm Emery for the Ecological Parks

Trust, 1986), 정수식물의 적정서식 호안경사는 1 : 3 ~ 1 : 7의 범위이다(김귀곤, 2003). 문현숙(2005)은 습지의 발달과정에 대한 연구를 통해 습지의 수질환경은 대체로 부영양화 상태이며, 토성은 사질양토가 많고, 산성토양을 이룬다고 하였다. 다양한 생물종 도입을 위한 식재기반환경으로서 토성은 사질양토, 양토, 점토를 활용해야 한다고 하였다(조동길, 2004). 토성은 습지식물의 분포와 구조를 결정하는 주요 요인으로(Collins et al., 1987; 김영식 등, 2002; 김자애 등, 2001), 습지에 적합한 토성은 점토 15% 초과, 모래 50% 미만인 곳이 바람직하며, 모래가 50% 이상이면 식물의 성장에 좋지 않고 습지유지도 힘들다고 하였다(Admiraal et al., 1997). 조동길(2004)은 소택형습지의 생태적 식재설계모델에 관한 연구에서 식생 패턴에 영향을 미치는 인자로 주변환경, 수환경, 토양환경, 호안환경, 인간의 간섭, 습지식생의 발달 등으로 구분하였고, 식재설계를 위한 구성요소로서 수심 수위변동, 유입 · 유출, 토성, 호안경사, 호안재료, 식물종, 개방수면에 대해 적정 서식환경을 제시 한 바 있다. 이처럼 습지의 생육환경은 고유한 특성을 가지고 있으며, 습지 복원 및 창출에 있어 식물종의 생활사를 이해하는 핵심요소

중 하나로 규정 할 수 있다.

본 연구에서는 소규모 소택형습지 중 농지연못습지를 대상으로 생육환경에 따른 식생특성을 분석하기 위한 1차 연구로 농지연못습지의 전반적인 생육환경에 대한 연구를 진행하였다. 이를 활용하여 습지식물의 식생특성과 생육환경과의 관계를 파악하고 식물종의 생활사를 이해하는 한편 무분별한 매립으로 감소하고 있는 농촌지역 농지연못습지의 보전가치를 제시 및 생육환경 및 식생특성 제고방안을 제시하고자한다. 또한 본 논문의 결과는 습지의 유지·관리에 활용하고 생태연못 등의 대체서식지 조성의 기초 자료로 제공하고자 한다.

II. 조사 및 분석방법

1. 조사지 개황

연구대상지는 농촌진흥청 국립농업과학원

(2008)의 선행연구와 농촌어메니티자원 정보시스템(<http://rural.rda.go.kr>)의 농촌자원 조사결과를 반영해 국가습지 유형분류 체계구축(환경부 등, 2005)이 제시한 습지분류를 실시하여 농촌지역에 가장 많이 분포하는 소규모 인공형 소택형습지 중 ‘내륙/웅덩이/농지연못습지’로 한정하였다.

본 연구는 향후 생육환경에 따른 식생의 분포 특성을 알아보고자 선행연구를 검토해 주변토지 이용(Tilton et al., 2001), 수심(김귀곤, 2003; Cowardin et al., 1979), 호안경사(조동길, 2004; Marcom Emery for the Ecological Parks Trust, 1986), 토성 등이 다양하게 구분될 수 있도록 연구대상지를 선정하였다.

2. 연구방법

본 연구는 생육환경에 따른 식생특성을 알아보기 위한 선행연구로 생육환경에 대한 조사를

Table 1. The present condition of study sites.

Site No.	Location	Size (m ²) Surface Total	Water Depth	Water Source	Inlet	Outlet	Vegetation*			
							Cover	Taxa		
A	Gangjang-ri, Songak-myeon, Asan-si	N 36°42' 34.57" E 126°57' 27.82"	105	430	0.6m	rain	×	×	55%	18
B	Jugok-ri, Napo-myeon, Gunsan-si,	N 36°00' 34.83" E 126°49' 42.16"	450	1,211	1.0m	rain	seasonal	flood	100%	24
C	Jupo-ri, Gwirae-myeon, Wonju-si	N 37°11' 13.61" E 127°51' 52.90"	325	1,216	1.0m	rain	×	flood	94.2%	25
D	Gwan-ri, Iwon-myeon, Taean-gun	N 36°53' 52.03" E 126°16' 46.03"	193	1,423	3.0m	rain	×	flood	71.3%	28
E	Donghae-ri, Wonbuk-myeon, Taean-gun	N 36°50' 48.03" E 126°26' 56.03"	932	1,521	4.0m	surface water	○	○	70.5%	17
F	Yeongok-ri, Ipjang-myeon, Cheonan-si	N 36°57' 06.72" E 127°10' 51.54"	2,545	4,971	1.4m	surface water, rain	artificiality	artificiality	19.5%	22
G	Maryong-ri, Buseok-myeon, Seosan-si	N 36°63' 22.13" E 126°02' 46.03"	78	347	0.6m	rain	×	flood	89.6%	12
H	Yodang-ri, Yanggam-myeon, Hwasongsi	N 37°04' 04.26" E 126°56' 07.08"	878	1552	0.4m	rain	×	flood	96.1%	30

*Vegetation : Survey(2009. 09.), Cover : vegetation cover ratio of surface, Taxa : species of hydrophytes and hygrophytes.

실시하였다. 조사항목으로는 수질환경, 토양오염도, 토양물리·화학적 특성에 대해 조사·분석

하였으며, 토양의 채취는 환경부(2001)에서 제시한 습생 및 수생식물의 모식도를 활용해 습생식

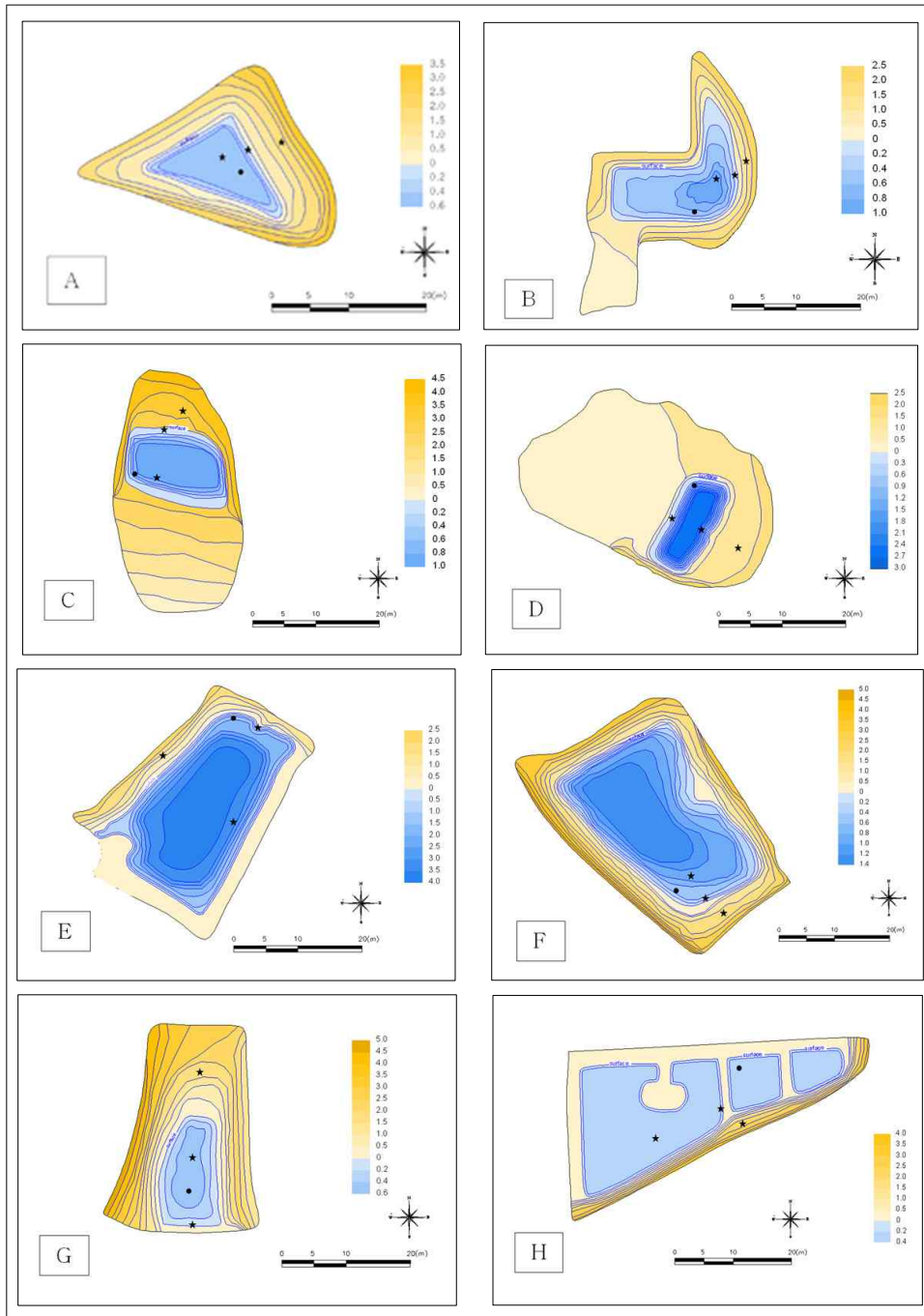


Figure 1. Location map and structure of study sites.
 (• : Water survey point, ★ : Soil survey point)

물대와 정수식물대, 부엽·침수식물대로 구분하여 시료를 채취하였다.

수질환경은 총 7항목으로 수질산도(pH), 전기전도도(EC), 용존산소량(DO), 화학적 산소요구량(COD), 부유물질(SS)은 현장측정 하였으며, 3, 5, 7, 9 월에 걸쳐 총 4회 측정하였다. TPS사의 90-FL을 이용하여 습지의 가장자리 수심30~50cm 지점에 센서를 설치하여 pH(측정범위: 0~14, 오차범위: ± 0.01), EC(측정범위: 0~200 mS/cm, 오차범위: ± 1 mS/cm), DO(측정범위: 0~32 mg/L, 오차범위: ± 0.01 mg/L)를 5분단위로 1시간동안 측정값을 수집하였다. 저장된 측정값은 평균으로 산출하였다. COD, SS는 SECOMAN사의 Pastel UV(파장범위: 200~350nm, 측정범위 10nm)를 이용하여 습지의 구조에 따라 지표수, 심층수 등으로 나누어 3~5반복하여 측정하고 평균으로 산출하였다. 총인(T-P), 총질소(T-N)는 5월과 9월 2회에 걸쳐 분석하였으며, 냉장보관 상태로 실험실로 운반하여 수질오염공정시험방법(환경부, 2008a)에 따라 분석하였다.

토양오염도는 납, 카드뮴, 구리, 비소, 니켈, 아연, 6가크롬 등의 7개 항목에 대해 토양오염공정시험법(환경부, 2000)에 따라 분석하고, 분석결과는 토양환경보전법 시행규칙 토양오염우려기준(환경부, 2009)과 비교·평가 하였다.

토양의 물리적 특성은 토성, 토양삼상분포를 조사·분석하였으며, 토성은 미농무성(USDA)의 Hydrometer 측정법, 토양삼상과 용적밀도는 건토중량법으로 분석하고 분석결과는 Admiral et al.(1997), 조강현(1992)의 조사결과 및 습지토양 평가지표와 비교·평가하였다.

토양의 화학적 특성은 토성, pH, EC, 유기물, 유효인산, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ 의 치환성 양이온을 토양 및 식물체 분석법(농업과학기술원, 2000)에 따라 분석하였다. 분석결과는 습생식생대는 조경설계기준(건설교통부, 2007)과 비교 평가하였으며, 수생식물대는 문헌고찰을 통해 본 연구 대상지의 토양특성과 비교·평가하였다.

통계분석은 수질, 토양중금속, 토양물리·화학적 상호관련성을 분석하기 위하여 SPSS 12.0을 이용하여 Pearson 상관분석을 실시하고 추가로 생육환경과 식생피도 및 종수의 관계를 분석하였다. 수질환경은 5월과 9월의 분석결과를 기준으로 16개 변수로 분석하였으며, 토양환경은 총 24개 변수를 사용하였다. 토양환경과 수질환경, 식생과의 관계는 수표면을 기준으로 수생식물의 피도와 관계를 파악하고자 수생식물대의 8개 변수로 통계분석을 실시하였다. 식생피도는 2009년 9월의 조사결과, 식생종수는 육상식물을 제외한 수생식물 및 습생식물의 개수를 파악해 통계분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 수질환경 분석

환경정책기본법 호소의 수질환경기준에는 pH의 환경기준은 6.5~8.5로 규정하고 있으며(환경부, 2008b), 측정결과 연구대상지 A의 5월과 7월, E의 3월 조사를 제외하고 대부분의 연구대상지에서 기준 내의 중성 및 약알칼리성 경향으로 적정 pH농도는 유지하되 급격한 농도의 변화가 생기지 않도록 적당한 관리가 필요할 것으로 판단된다.

환경정책기본법 호소의 수질환경기준에는 DO의 환경기준은 5.0mg/L 매우 좋음에서 보통의 등급으로 평가하며, 2.0~5.0mg/L 이하는 약간나쁨과 나쁨으로 평가, 2.0mg/L 이하는 매우나쁨으로 평가한다(환경부, 2008b). 조사대상지 전체의 용존산소 평균 농도는 5.78 ± 1.267 mg/L로 나타났으며, 연구대상지 C의 9월을 제외하고 모든 대상지에서 농업용수로 사용가능한 기준 내의 농도를 보여 이영숙(2003)의 저수지 조사 때 0.4~2.7mg/L의 조사결과와 비교하면 매우 대조적이다. 하지만 본 연구대상지와 유사한 원흥이 방죽의 조사결과 6.3~15.2mg/L(이홍수 등, 2008b), 서울시 생태연못 조사 때 3.4~15.9mg/L(박명환 등, 2008)의 수

Table 2. The analysis of water properties at 8 study sites.

Property	Time	A	B	C	D	E	F	G	H	Average
pH (1 : 5)	March	7.26	6.55	7.68	7.76	8.74	7.49	8.24	7.55	7.66±0.649
	May	9.13	7.52	7.96	7.39	7.99	7.52	6.89	8.07	7.81±0.661
	July	8.79	7.88	8.46	7.44	8.29	8.36	7.60	8.06	8.11±0.454
	September	6.74	7.06	6.67	7.28	7.49	7.26	7.77	7.73	7.25±0.413
	Average	7.98±1.160	7.25±0.576	7.69±0.754	7.47±0.206	8.13±0.525	7.66±0.483	7.63±0.560	7.85±0.256	7.71±0.358
DO (mg/L)	March	8.74	5.17	7.79	5.46	9.10	6.30	10.05	8.41	7.63±1.789
	May	8.59	5.48	5.61	4.29	4.34	7.51	2.31	6.47	5.58±1.981
	July	8.47	5.48	4.55	4.11	4.40	4.60	4.12	4.08	4.98±1.483
	September	2.20	6.95	1.92	7.80	4.11	4.06	6.73	5.71	4.94±2.207
	Average	7.00±3.202	5.77±0.800	4.97±2.439	5.42±1.699	5.49±2.412	5.62±1.582	5.80±3.363	6.17±1.797	5.78±1.267
COD (mg/L)	March	16.55	16.20	2.00	8.15	10.65	12.1	15.85	24.30	13.23±6.645
	May	10.60	14.20	10.5	10.20	12.80	8.10	14.30	25.20	13.24±5.284
	July	10.80	25.00	8.30	35.00	32.00	9.40	0.90	60.50	22.74±19.541
	September	6.75	12.40	10.7	14.80	7.60	9.00	9.80	11.75	10.35±2.639
	Average	11.18±4.039	16.95±5.587	7.88±4.065	17.04±12.294	15.76±11.033	9.65±1.721	10.21±6.718	30.44±20.961	14.89±5.407
SS (mg/L)	March	14.70	12.80	3.65	18.90	15.20	17.50	8.05	32.95	15.47±8.652
	May	26.60	25.00	19.2	27.20	69.05	12.70	38.00	31.00	31.09±17.074
	July	23.20	10.60	20.60	16.60	41.00	20.40	2.30	2.50	17.15±12.571
	September	10.80	15.20	24.20	23.80	17.80	15.4	11.70	18.20	17.14±4.962
	Average	18.83±7.326	15.90±6.351	16.91±9.089	21.63±4.778	35.76±25.040	16.50±3.259	15.01±15.806	21.16±14.057	20.21±7.297
T-N (mg/L)	May	1.53	2.42	1.90	1.29	1.49	1.65	2.94	3.05	2.03±0.684
	September	1.94	2.02	2.09	1.61	1.75	2.37	2.09	5.74	2.45±1.349
	Average	1.74±0.290	2.22±0.283	2.00±0.134	1.45±0.226	1.62±0.184	2.01±0.509	2.52±0.601	4.40±1.902	2.24±0.295
T-P (mg/L)	May	ND	0.03	0.00	ND	ND	ND	0.07	0.10	0.03±0.039
	September	0.14	0.09	0.05	0.08	0.06	0.08	0.07	0.49	0.13±0.147
	Average	0.07±0.099	0.06±0.042	0.03±0.035	0.04±0.057	0.03±0.042	0.04±0.057	0.07±0.000	0.30±0.276	0.08±0.076

준으로 본 연구대상지의 용존산소 농도와 유사하다. 본 연구대상지의 A와 C의 9월에 급격히 수치가 낮아지는 것으로 조사되었다. 습지의 용존산소 감소의 원인으로는 퇴적층의 유기물분해의 결과로 판단할 수 있으며, 수생식물 등의 식생조건은 용존산소 농도에 크게 작용하는 것으로 알려져 있다(이홍수 등, 2008; 장정렬, 2005; 장정렬 등, 2007; Reed et al., 1988).

연구대상지 대부분에서 농업용수로 사용가능한 수질농도기준 8mg/L를 초과한 것으로 조사되었다. 연구대상지 전체의 COD 농도 평균은 14.89±5.407mg/L로 원흥이 방죽의 COD 평균농도인 12.53mg/L과 유사한 수치로 조사되었다(이

홍수 등, 2008b). 7월의 COD 농도평균은 22.74±19.541mg/L로 조사 시기 중 가장 높게 나타났으며, 연구대상지 B, D, E, H에서 7월에 COD농도가 급격히 증가하는 것은 수온 상승의 원인으로 판단된다(김성훈 등, 1998). 호소를 대상으로 농업용수 수질기준 초과율에 대한 조사결과 2005년에 COD기준 16.5%이며, 2001~2005년간 수질환경기준 초과율 또한 COD가 가장 높은 경향을 보였다(농림부와 농업기반공사, 2005). 이러한 경향으로 미루어 볼 때 소택형습지의 COD 농도 초과경향은 저수지와 같은 현상으로 판단되며, 이에 대한 개선방향으로 준설 및 내부오염원 제거 등 저수지의 수질관리방안과 같은 형태로 이

루어져야 한다고 판단된다(김호섭 등, 2009).

전체 연구대상지의 SS 농도평균은 $20.21 \pm 7.297 \text{mg/L}$ 로 대부분에서 농업용수로 사용가능한 기준 15ml/L 를 초과한 것으로 조사되었다. 이것의 원인으로 암반과 자갈 이외의 토사 재현탁 및 점토함량으로 인한 탁도가 증가(서울시정개발연구원, 2001; 김귀곤, 2003), 폐쇄된 수체에서 유기물의 증가·축적(신재기 등, 2005), 어류의 고란(신재기·정선아, 2004) 등으로 인해 수중의 부유물질 양이 증가되어 SS농도가 높은 것으로 판단된다.

환경정책기본법 호소의 수질환경기준에는 농업용수로 사용 할 수 있는 T-N의 환경기준을 1.0mg/L 로 규정하고 있으며(환경부, 2008b), 본 연구대상지의 전체 T-N 농도 평균은 $2.24 \pm 0.295 \text{mg/L}$ 로 기준농도를 초과하는 것으로 조사되었다. 김성훈 등(1998)은 T-N의 농도초과 원인으로 강수가 연못으로 유입될 때 질소 등을 포함한 비점오염원이 함께 유입되어 부영양화를 유발시킨다고 하였다. 또한 습지식물의 질소 흡수율은 약 25%에 달하며(Spiels and Mitsch, 2000), 식물이 죽으면서 다음해 성장을 위해 뿌리로 전이시키고 고사한 식물체의 질소는 다시 물로 환원된다(양홍모, 2004; 함중화 등, 2005; Gophal and Sharma, 1984). 연구대상지가 대부분 수원을 강수에 의존 하는 것은 T-N의 농도 초과 원인으로 볼 수 있다. 질소의 저감방안으로 갈대, 부들, 고랭이, 고마리, 물억새, 여뀌 부레옥잠, 등의 질소제거에 효율적인 식물의 식재를 들 수 있으며(김광호 등, 2007; 김춘송 등, 2007; 우연경 등, 1996; Reed et al., 1988), 가을철 식물의 적절한 제거와 물의 순환을 통해 점진적으로 질소의 농도를 줄여 나갈 필요가 있다고 판단된다.

환경정책기본법 호소의 수질환경기준에는 T-P의 농업용수로 사용 가능한 범위를 0.10mg/L 이하로 규정하고 있다(환경부, 2008b). 연구대상지의 평균 T-P농도는 5월의 조사에서 $0.03 \pm 0.039 \text{mg/L}$ 로 좋음의 등급에 해당하였지만, 9월의 조사에서

$0.13 \pm 0.147 \text{mg/L}$ 로 조사되어 농업용수 기준을 초과한 것으로 나타났다. 이와 같은 9월의 T-P농도의 초과원인으로는 주변 농지의 비료성분이 유입된 것으로 추측해 볼 수 있다(함중화 등, 2005). 전체평균 농도는 $0.08 \pm 0.076 \text{mg/L}$ 로 김성훈 등(1998)과 이홍수 등(2008a)의 소규모 연못 및 생태연못 조사결과와 같은 현상이며, T-N과 더불어 부영양화의 원인이 되기도 한다. 습지에서 인은 주로 토양에 흡착되거나 수중의 입자성 물질에 결합되어 침강되는 것이 습지수질 중 주요 인의 제거작용으로 식물에 의해 흡수되는 양은 전체 제거량의 2.5%에 불과하거나 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 알려져 있다(함중화 등, 2005; Brix et al., 1993). 이와 같은 현상으로 미루어 볼 때 연구대상지의 T-P농도의 저감 방안으로는 주변의 농경지로부터 인의 유입을 차단하는 것과 그 양이 미약하지만 T-N과 더불어 가을철 정수 식물의 제거를 들 수 있을 것으로 판단된다.

2. 토양오염도 분석

농업생태계의 오염물질 유입증가는 국민건강과 관련하여 사회문제로 대두되며(정구복 등, 2007) 토양 내 구리, 아연, 비소 등은 식물의 생육피해를 유발시키고, 카드뮴, 수은 등은 식물체로 그대로 흡수되어 2차 피해를 유발 할 수 있다(Adriano, 1992). 본 연구대상지의 생산물을 직접적으로 인간이 흡수하는 일은 드물지만 연구대상지 H와 같이 체험습지로 이용하거나 농업용수로 사용하는 대상지도 있으므로 토양 내 중금속 함량을 분석해 인간 및 동식물의 피해를 예방 할 필요가 있다고 판단한다.

환경부(2009)는 사람의 건강·재산이나 동물·식물의 생육에 지장을 초래할 우려가 있는 기준으로 ‘토양오염우려기준’이라 하여 21개 분석항목에 대하여 지목에 따라 3가지 등급으로 나누어 환경부령으로 정하였다. 본 연구대상지의 지목은 1 : 5000 수치지도상 전·답으로 되어있고, 연구대상지의 H의 경우 체험습지로서 양어장 및 놀

Table 3. The analysis of soil heavy metal at 8 study sites.

Survey Point	Site	Pb	Cd	Cu	As (mg/kg)	Ni	Zn	Cr ⁶⁺
Floating leaved and Submerged Hydrophytes	A	0.33	0.03	1.85	0.62	28.38	34.63	0.34
	B	5.78	0.48	7.85	1.42	17.01	52.75	0.37
	C	7.19	0.12	0.94	1.78	2.95	51.06	0.06
	D	1.84	0.13	2.46	0.67	10.37	12.21	0.21
	E	8.32	0.10	3.61	0.61	13.48	35.24	0.33
	F	1.29	0.06	0.36	1.33	5.91	8.04	0.14
	G	6.53	0.20	6.42	1.17	21.22	60.12	0.38
	H	5.34	0.10	3.20	0.60	20.01	56.21	0.16
Average		5.18±2.658	0.17±0.143	3.55±2.740	1.08±0.465	12.99±6.967	39.38±21.471	0.24±0.125
Emergent Hydrophytes	A	0.84	0.07	1.97	0.33	20.64	44.06	0.33
	B	5.78	0.72	5.65	1.05	14.14	40.40	0.52
	C	4.14	0.22	1.71	5.97	7.81	85.59	0.06
	D	4.07	0.26	5.30	2.26	21.62	26.57	0.27
	E	5.99	0.12	3.27	1.55	18.05	41.68	0.21
	F	3.26	0.06	1.18	1.28	5.35	13.87	0.13
	G	8.44	0.10	3.61	0.58	16.10	43.98	0.32
	H	5.24	0.17	4.38	0.72	22.20	61.87	0.27
Average		5.27±1.712	0.24±0.224	3.59±1.92	1.92±1.873	15.04±6.477	44.85±23.359	0.25±0.148
Hygrophytes	A	1.96	0.04	1.03	0.57	48.82	53.06	0.24
	B	4.84	0.26	5.61	2.35	16.48	49.04	0.23
	C	4.92	0.10	1.15	2.77	4.95	97.00	0.16
	D	2.80	0.16	3.08	1.54	16.26	23.15	0.12
	E	2.79	0.08	1.02	1.44	15.95	57.95	0.08
	F	3.15	0.05	1.31	0.83	7.16	30.16	0.08
	G	6.12	0.08	3.29	0.75	15.63	39.60	0.15
	H	1.17	0.05	1.80	0.70	19.73	103.60	0.25
Average		3.68±1.682	0.11±0.075	2.47±1.660	1.48±0.815	13.74±5.458	57.21±31.635	0.15±0.067
Total Average		4.71±2.099	0.17±0.160	3.20±2.055	1.49±1.199	13.92±6.069	47.15±25.704	0.21±0.121
Evaluation Criteria*		200	4	150	25	100	300	5

*토양환경보전법 토양오염우려기준 1지역 : 지목이 전·담·과수원·목장용지·광천지·대(주거지)·학교용지·구거·양어장·공원·어린이 놀이시설 지역

이시설로 사용하므로 토양오염 우려기준 중 1지역의 기준에 적용하였다.

연구대상지의 토양오염도 분석결과 식생대별 특별한 함량의 차이는 보이지 않았으며, 전체 조사대상지에 대한 납의 평균은 4.71±2.099mg/kg, 카드뮴 0.17±0.160mg/kg, 구리 3.20±2.055mg/kg, 비소 1.49±1.199mg/kg, 니켈 13.92±6.069mg/kg, 아연 47.15±25.704mg/kg, 6가크롬 0.21±0.121 mg/kg으로 모든 연구대상지에서 토양오염 우려

기준에 미치지 못하는 수준으로 분석되었다. 이것은 토양오염우려기준과 비교했을 때 납의 평균은 1/42, 카드뮴 1/23, 구리 1/47, 비소 1/17, 니켈 1/7, 아연 1/6, 6가크롬 1/23의 수준으로 토양오염우려기준에 현저히 낮아 안전한 수준임을 확인할 수 있다. 이와 유사한 결과로 2007년 조사한 우리나라 2,010개 지점의 논토양의 중금속 평균은 납 4.95mg/kg, 카드뮴 0.08mg/kg, 구리 3.33mg/kg, 비소 0.87mg/kg, 니켈 1.19mg/kg, 아

연 4.67mg/kg의 범위로 니켈과 아연을 제외하면 본 연구대상지와 비슷한 경향을 나타냈다(김원일 등, 2008). 전국적인 조사에서 니켈의 우려기준 초과비율은 0.3%로 다른 항목에 비해 높지 않으며(환경부, 2006), 본 연구대상지에서도 기준치를 초과하지는 않았지만 전국의 논토양 평균에 비해 니켈이 12.73mg/kg, 아연이 42.48mg/kg이나 높게 나타났다. 이것은 논토양에 비해 농지연못습지의 토양 내 니켈과 아연의 축적이 더 높은 현상이라 판단되며, 지속적인 관찰을 통해 인간에게 위해한 정도의 농도가 넘지 않도록 관리·개

선할 필요가 있다고 판단된다.

3. 토양물리성 분석

연구대상지의 토성분포는 표 4에 나타난 바와 같이 모래함량이 40~90% 범위이고, 점토의 함량이 20% 미만으로 분석되었다. 수생식물이 주로 서식하는 부엽·침수식물대 및 정수식물대의 미사와 점토함량이 습생식물대 보다 높게 나타났으며, 습생식물대의 모래함량은 물 안쪽에 비해 10%가량 높게 분석되었다. Admiraal et al.(1997)은 습지 식생에 적합한 토성의 비율은 점토를

Table 4. The analysis of soil physical properties at 8 study sites.

Survey Point	Site	Texture	Particle separate(%)			Bulk density (g/cm ³)	Three phase of soil(%)		
			Sand	Silt	Clay		Solid	Gas	Liquid
Floating leaved and Submerged Hydrophytes	A	L	44.5	47.3	8.2	1.31	49.4	6.8	43.8
	B	SiL	31.3	57.8	10.9	0.94	35.5	0	64.5
	C	SL	75.8	16.6	7.6	1.61	60.9	1.8	37.3
	D	SL	64.7	26.3	9.0	1.50	56.5	0	43.5
	E	SiL	27.0	59.5	13.5	0.64	24.1	0	75.8
	F	LS	81.0	12.6	6.4	1.71	64.5	3.2	32.3
	G	SiL	22.2	59.5	18.3	0.49	18.8	3.3	77.9
	H	L	51.2	31.6	17.2	1.42	53.6	2.9	43.5
Average	-	-	49.7±22.44	38.9±19.56	11.4±4.49	1.20±0.457	45.4±17.20	2.3±2.35	52.3±17.76
Emergent Hydrophytes	A	SiL	43.1	50.0	6.9	1.10	41.6	16.0	42.4
	B	L	46.4	45.3	8.3	0.44	16.6	3.4	80.0
	C	S	88.4	7.3	4.3	1.65	62.2	7.1	30.7
	D	SL	56.3	34.7	9.0	0.26	19.0	8.1	72.9
	E	SiL	9.7	66.2	24.1	1.29	48.6	0.3	51.1
	F	LS	80.7	12.2	7.1	1.67	62.9	7.1	30.0
	G	L	31.6	48.5	19.9	0.96	36.1	28.8	35.1
	H	L	31.8	47.2	21.0	1.12	42.2	28.4	29.4
Average	-	-	48.5±26.17	38.9±20.00	12.6±7.74	1.06±0.509	41.2±17.29	12.4±10.95	46.5±20.01
Hygrophytes	A	SL	69.9	25.5	4.6	1.10	41.5	49.9	8.6
	B	L	47.3	42.5	10.2	1.04	39.4	30.3	30.3
	C	LS	79.3	16.1	4.6	1.31	49.5	29.5	21.0
	D	SL	54.7	39.1	6.2	0.89	33.5	65.8	0.6
	E	L	51.0	36.7	12.3	1.19	44.7	43.6	11.7
	F	SL	70.8	21.9	7.3	1.11	41.9	54.0	4.1
	G	L	37.2	43.4	19.4	1.15	43.4	28.4	28.2
	H	SL	57.0	32.5	10.5	1.36	51.3	25.4	23.2
Average	-	-	58.4±13.97	32.2±10.07	9.4±4.94	1.14±0.149	43.2±5.61	40.9±14.73	16.0±11.23
Total Average	-	-	52.5±21.01	36.2±16.72	11.2±5.80	1.13±0.391	43.0±13.92	19.0±19.57	38.0±22.83

15% 이상 초과하고, 모래함량이 50% 미만인 곳으로 규정하였으며, 조강현(1992)은 모래함량이 55~60%인 곳이 습지 식생에 적당한 곳으로 보고하였다. 하지만 주은정과 김재근(2009)의 조사결과를 살펴보면 모래의 비율에 따른 식물종 출현수의 차이는 확인할 수 없으며, 다만 모래, 미사, 점토의 함량에 따라 종자 보유 개체수가 달라지는 것으로 나타났다. 이러한 연구결과로 미루어 볼 때 습지토양의 토성분포가 식생피복에 작용하는 것은 토성에 따라 잡초 종자가 토양 내에 묻히는 정도가 다르기 때문인 것으로 판단되며 (Benvenuti, 2007), 일년생, 다년생식물의 비율은 토성과는 특별히 연관은 없는 것으로 판단된다 (Jones and Esler, 2004). 전체 조사대상지의 토성분포는 Admiraal et al.(1997)가 제시한 습지토양의 토성분포와는 차이가 있으며, 주은정과 김재근(2009)의 낙동강 주변 습지조사의 토성분포와 유사한 분포를 나타내고 있다. 이것은 우리나라 습지 토양의 토성분포 특성으로 볼 수 있으며, 이것은 우리나라의 고유한 습지 환경 및 기후에 영향을 받은 결과로 판단된다(Dodd and Lauenroth, 1997).

토양삼상분포 중 고상의 비율은 식물대별로 평균 41.15~45.41%로 큰 차이는 보이지 않았으나 수 심에 따라 가장 깊은 부엽·침수식물대의 기상율이 평균 $2.3 \pm 2.35\%$ 로 가장 낮았으며, 액상은 $52.3 \pm 17.76\%$ 로 가장 높았다. (増田拓朗 등, 1983; 増田拓朗 등 1991)은 공원녹지의 적정 삼상분포에 대한 연구에서 고상율이 60% 이상과 기상율 10% 이하는 근계발달에 영향을 준다고 하였다. 연구대상지 C와 F의 부엽·침수식물대와 정수식물대에서 고상의 비율이 60% 이상이며, 전체 연구대상지의 부엽·침수식물대의 경우 기상율의 분포가 10 이하로 분석되었다. 이것은 양창휴 등(2008)의 논토양 조사 시 고상의 범위가 50.2~63.0%의 범위를 나타낸 것과 같은 현상으로 연구대상지가 간척지 논토양과 마찬가지로 시간의 경과에 따라 모래의 함량과 고상율이 증가하

는 것으로 판단된다.

한편 양창휴 등(2008)은 간척지 논토양의 조사에서 용적밀도범위를 1.331~1.702로 보고하였지만 본 연구대상지 중 일부가 $0.24 \sim 0.96 \text{g/cm}^3$ 으로 낮은 범위를 보였다. 이것은 토양 내 이탄 등의 유기물 함량이 높은 곳의 시료를 채취해 나타나는 현상으로 볼 수 있으며, 습지식물의 생육에 미치는 영향을 추가로 연구할 필요가 있을 것으로 판단된다. 공극율의 경우 건설교통부(2007)가 제시한 평가기준에 비교해 보았을 때 부엽·침수식물대 2곳과 정수식물대 2곳에서 고상의 비율이 높게 나타나 불량률의 등급으로 평가 되고 17곳의 식물대에서 중급이상의 공극율의 범위로 조사되었다.

4. 토양화학성 분석

연구대상지의 토양화학적 특성 분석결과는 표 5와 같으며, 연구대상지 전체의 토양pH는 평균 5.8 ± 0.76 으로 대부분의 습지에서 나타나는 약산성(pH 5~7)에 해당하였으며(배정진 등, 2003), 식물대별로는 부엽·침수식물대가 5.7 ± 0.72 , 정수식물대가 5.6 ± 0.67 로 습생식물대 6.1 ± 0.76 보다 약간 낮은 경향을 나타냈다. 김현규(1999)와 Brady와 Weil(2002)가 제시한 pH농도의 적정범위는 5.5~7.0으로 식물대별 평균은 적정 범위에 속하지만 37.5%에 해당하는 9개 조사지점에서 약산성의 농도로 분석되었으며, 그 중 7개 조사지점이 물 안쪽에서 조사되었다. 이러한 경향으로 미루어 볼 때 강우가 침수되고 오랜 기간 정체되어 토양의 산성화에 기인하는 현상으로 추측해 볼 수 있다.

전기전도도의 경우 모든 연구대상지의 조사지점에서 조경설계기준(2007)의 중·상 등급이며, 김현규(1999)가 제시한 적정범위에 속하는 것으로 분석되었다.

유기물함량은 부엽·침수식물대에서 5~48 g/kg 범위로 평균 $18 \pm 16.9 \text{g/kg}$, 정수식물대에서 5~31g/kg의 범위로 평균 $17 \pm 10.1 \text{g/kg}$, 습생식물

대에서 12~51g/kg의 범위로 평균 26±12.5으로 조사되었다. 이것은 조경설계기준(2007)의 불량 등급이며, 10개의 조사지점인 41% 이상이 김현규(1999)가 제시한 적정범위에는 미달한 것으로 분석되었다. 습지식물은 저토에 뿌리를 박고 영양분을 흡수하므로 유기물함량은 중요하다고 할 수 있다(Huebert and Gornam, 1983; Wilcox and Simonin, 1987). 반면 연구대상지 B, G의 높은 유기물 함량은 연구대상지의 폐쇄된 수역의 특성

으로 토양표면의 유기물 축적 및 침전물의 침전으로 발생된 현상으로 판단되며(신재기 등, 2005), 이러한 현상은 차광과 타감 작용으로 오히려 수생식물에 악영향을 미칠 수 있으므로 적당량의 유기물함량을 유지할 수 있는 구조적인 개선·유지가 필요하다고 판단된다(McNaughton, 1968; Sharma and Gopal, 1983; Jordan et al., 1990).

유효인산은 부엽·침수식물대에서 5~69mg/kg 범위로 평균 30±22.3mg/kg, 정수식물대에서

Table 5. The analysis of soil chemical properties at 8 study sites.

	Site	pH (1 : 5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	T-N (%)	Ex. Cation(cmol/kg)			
							Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
Floating leaved and Submerged Hydrophytes	A	6.6	0.16	4	25	0.023	15.6	0.28	4.7	0.33
	B	5.0	0.12	48	15	0.307	7.4	0.36	1.6	0.46
	C	5.3	0.85	18	45	0.096	2.4	0.18	0.3	0.11
	D	5.3	0.49	7	17	0.038	1.0	0.11	0.4	0.16
	E	5.8	0.18	10	49	0.065	2.7	0.35	1.3	0.14
	F	4.8	0.19	5	12	0.022	0.7	0.07	0.2	0.05
	G	5.8	0.98	41	69	0.304	8.7	0.70	3.4	0.55
	H	6.8	0.33	13	5	0.067	4.9	0.67	1.8	0.34
Average	5.7±0.72	0.41±0.334	18±16.9	30±22.3	0.120±0.120	5.4±5.03	0.34±0.237	1.7±1.602	0.27±0.180	
Emergent Hydrophytes	A	6.2	0.16	11	51	0.062	14.8	0.20	4.1	0.31
	B	5.0	0.93	23	17	0.12	2.3	0.09	0.6	0.17
	C	5.6	0.69	31	62	0.681	9.4	1.35	1.6	0.29
	D	4.8	0.23	31	33	0.183	1.9	0.14	0.8	0.34
	E	6.5	0.55	10	22	0.085	3.9	1.06	5.4	0.75
	F	4.7	0.43	5	19	0.029	1.2	0.16	0.6	0.06
	G	5.8	0.19	10	52	0.063	2.9	0.36	1.4	0.15
	H	6.0	0.58	14	21	0.092	4.2	0.53	1.4	0.33
Average	5.6±0.67	0.47±0.271	17±10.1	35±17.8	0.164±0.2138	5.1±4.67	0.49±0.472	2.0±1.78	0.30±0.208	
Hydrophytes	A	5.9	0.26	13	36	0.088	7.8	0.51	4.4	0.08
	B	5.3	0.19	24	36	0.178	2.8	1.40	1.5	0.17
	C	6.2	0.49	31	62	0.168	6.0	0.74	0.7	0.11
	D	6.0	0.57	26	52	0.145	2.1	0.20	1.3	0.26
	E	5.3	0.35	51	95	0.325	4.3	1.03	3.7	0.14
	F	6.4	0.79	12	36	0.096	3.4	0.36	1.1	0.05
	G	6.0	0.32	30	27	0.191	5.6	0.63	2.1	0.19
	H	7.7	0.59	18	166	0.115	16.3	1.70	1.2	0.10
Average	6.1±0.76	0.45±0.201	26±12.5	64±46.6	0.163±0.0756	6.0±4.54	0.82±0.520	2.0±1.34	0.13±0.068	
Total Average	5.8±0.72	0.44±0.263	20±13.5	43±33.9	0.148±0.1434	5.5±4.56	0.55±0.458	1.9±1.52	0.24±0.172	
Evaluation Criteria*	5.6~6.8	0.4~0.9	14~29	11~60	0.10~0.16	1.7~11.8	0.1~5.0	1.0~5.0	0.14~0.2	

*김현규(1999)의 인공습지 조성 시 바람직한 토양화학성

19~62mg/kg의 범위로 평균 35 ± 17.8 mg/kg, 습생식물대에서 27~166mg/kg의 범위로 평균 64 ± 46.6 mg/kg로 조사되었다. 이것은 조정설계기준(2007) 토양평가 기준에는 1곳의 조사지점을 제외하고 모든 곳에서 하급이하로 평가되었다. 반면 김현규(1999)가 제시한 습지토양의 적정 유효인산 함량의 기준은 11~60mg/kg으로 연구대상지 H의 부엽·침수식물대의 5mg/kg으로 유효인산 함량이 부족한 것으로 나타났으며, 5곳의 조사지점에서 기준을 초과하는 높은 함유량으로 분석되었다. 우리나라 논토양의 평균 유효인산 함량은 136.0mg/kg이며, 벼 재배 시 적정 유효인산의 기준은 80~120mg/kg으로 제시하였다(농촌진흥청 작물과학원, 2003; 농촌진흥청 작물과학원 호남농업연구소, 2006). 이와 같이 소택형습지의 유효인산 함량이 우리나라 논토양의 평균함유량에 비해 매우 적게 나타나는 것을 알 수 있으며, 수심이 깊어질수록 낮아지는 경향을 보였다.

전질소의 함량은 부엽·침수식물대에서 0.022~0.307%의 범위로 평균 0.120 ± 0.120 %, 정수식물대에서 0.029~0.681%의 범위로 평균 0.164 ± 0.2138 %, 습생식물대에서 0.088~0.325%의 범위로 평균 0.163 ± 0.0756 %로 조사되었다. 연구대상지 식생대별 평균으로는 김현규(1999)가 제시한 기준에 부합하지만 조사지점별 전질소의 농도는 3곳을 제외한 대부분이 초과 및 미달의 수준에 해당하였다. 이것은 질소의 공급원이 유기물이므로 유기물 함량과 밀접한 관련이 있으므로(Miller and Donahue, 1990), 이에 대한 개선 및 유지 방안은 유기물함량과 병행하여 이루어져야 할 것으로 판단된다. 배정진 등(2003)의 조사결과로 미루어 볼 때 습지의 질소함량은 습지식생의 생육이 진전됨에 따라 감소하므로 식물제거 및 방치 통해 적절한 습지 토양의 질소함량을 유지할 수 있다고 판단된다.

치환성 Ca^{2+} 함량은 연구대상지 전체에서 평균 5.5 ± 4.56 cmol/kg로 우리나라 논토양평균인 4.0 cmol/kg에 비해 높았으며(농촌진흥청 작물과학

원, 2003), 묵논습지(윤광성, 2007)와 산지습지(송호경 등, 2006)의 조사결과와 비슷한 형태로 몇 곳의 조사지점을 제외하면 식물의 생육에는 우수한 수준이라고 판단된다. 치환성 K^+ , Mg^{2+} , Na^+ 함량은 연구대상지 전체에서 각각 평균 0.55 ± 0.458 , 1.9 ± 1.52 , 0.24 ± 0.172 cmol/kg로 우리나라 논토양평균 및 윤광성의 묵논 조사 때 보다 높은 수준으로 유기물 함량과 비례하는 경향을 나타내었다.

5. 생육환경 및 식생과의 상호관계성

연구대상지의 수질환경, 토양환경 및 식생의 상호관련성을 분석하기 위하여 Pearson 상관분석을 실시하여 표 6에 제시하였다. 수질환경은 pH와 DO, T-N과 T-P가 높은 상관관계에 있는 것으로 분석되었으며, 수질환경과 다른 환경인자와의 관계분석에서는 COD, T-N, T-P가 점토와 K^+ 에 밀접한 관련이 있는 것으로 분석되어 수질환경에 밀접한 영향을 미치는 것으로 추측해 볼 수 있다. 토양중금속은 카드뮴과 6가크롬이 토양물리성과 밀접하게 관련이 있는 것으로 분석되었으며, 모래의 함량에는 (-)값을 미사의 함량에는 (+)값으로 분석되어 구리와 6가크롬은 미사에서 집적되는 것으로 판단된다. Na^+ 는 모래의 함량에는 (-)값을 미사와 점토의 함량에는(+)값을 보였으며, 토양화학성 상호간의 분석결과 유효인산과 전질소가 밀접한 관련이 있는 것으로 분석되었다. 생육환경과 식생과의 상호관계분석에서는 식생피도가 아연과 높은 상관관계에 있는 것으로 분석되었으며, 식생중수는 용적밀도, 고상, 전질소와 밀접한 관련이 있는 것으로 분석되었다.

이상에서 살펴본 생육환경 및 식생의 상관관계 분석결과 수질 및 토양중금속은 토성 등의 토양물리성에 많은 영향을 받는 것으로 나타났으므로 향후 지속적인 연구를 통해 소택형습지의 수질 및 중금속 관리방안으로 토양물리성을 고려할 필요가 있다고 판단된다. 반면 식생의 피도나 중수는 특별한 경향이 나타나지 않아 소택형습지

Table 6. The result of Pearson Correlation analysis among soil, water and vegetation properties

	Water Properties										Soil (heavy metal) Properties							Soil (physical) Properties							Soil (chemical) Properties							Vegetation#	
	pH	DO	COD	SS	T-N	T-P	Pb	Cd	Cu	As	Ni	Zn	Cr ⁶⁺	Sand	Silt	Clay	Bulk density	Solid	Gas	Liquid	pH	EC	OM	OM _{AV-PO₄}	T-N	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Cover	Taxa		
pH	1.000																																
DO	0.666**	1.000																															
COD	0.210	0.228	1.000																														
SS	0.235	-0.171	0.386	1.000																													
T-N	0.143	0.051	0.183	0.202	1.000																												
T-P	-0.108	-0.043	0.064	0.091**	0.000	1.000																											
Pb	-0.316	-0.624	0.360	0.578	0.422	0.302	1.000																										
Cd	-0.446	-0.351	0.137	-0.055	0.388	0.203	0.322	1.000																									
Cu	0.233	0.183	0.356	0.313	0.140	0.429	0.125	0.145	1.000																								
As	-0.373	-0.083	-0.344	-0.418	0.149	-0.162	0.079	0.195	-0.045	1.000																							
Ni	-0.388	0.121	-0.409	0.239	0.350	0.437	-0.234	-0.071	0.170	-0.356	1.000																						
Zn	-0.056	0.026	0.026	0.196	0.800*	0.665	0.120	0.016	-0.003	0.363	0.100	1.000																					
Cr ⁶⁺	0.013	0.203	0.025	0.488	0.289	0.742	0.781	0.179	0.568**	0.622**	0.280	0.102	1.000																				
Sand	0.083	0.474	-0.341	-0.694	-0.393	-0.478	-0.445*	-0.200	-0.649**	0.437*	-0.341	0.024	-0.599**	1.000																			
Silt	-0.022	-0.410	0.216	0.672	0.273	0.238	0.366	0.264	0.672**	-0.433*	0.382	0.678**	-0.478**	0.000	1.000																		
Clay	0.440	0.380	0.027	0.166	0.024	0.007	0.064	0.060	0.144	0.108	0.330	0.307	0.307	0.000	0.000	1.000																	
Bulk density	0.282	0.659	-0.182	-0.741*	-0.409	-0.386	-0.354	-0.516**	0.707**	-0.194	-0.336	0.072	-0.622**	-0.615	0.000	0.000	1.000																
Solid	0.290	0.677	-0.181	-0.744*	-0.336	-0.284	-0.376	-0.526**	0.714**	-0.227	-0.339	0.054	-0.582**	-0.633**	0.000	0.000	0.000	1.000															
Gas	0.536	0.716	0.013	0.093	0.110	-0.240	-0.279	-0.087	0.245	0.109	-0.339	0.153	-0.177	-0.168	-0.080	-0.080	0.000	1.000															
Liquid	0.354	0.714	0.177	0.769	0.314	0.261	0.435	0.569**	0.656**	0.064	0.403	0.126	0.711**	0.882*	0.515**	0.281	0.536**	0.522**	0.795**	1.000													
pH	0.590	0.207	0.640	0.318	0.326	0.508	-0.165	-0.438*	-0.218	0.248	0.295	0.514*	-0.024	-0.227	0.196	0.257	0.134	0.103	0.255	-0.282	1.000												
EC	-0.477	-0.624	-0.015	-0.085	0.338	0.247	0.189	0.263	0.007	0.213	-0.299	0.239	-0.087	0.130	-0.165	0.006	-0.046	-0.069	0.010	0.033	0.088	1.000											
OM	0.629	0.756	0.210	0.984	0.687	0.388	0.261	0.444	0.145	0.433	0.062	0.146	0.491	0.526	0.482	0.170	0.078	0.087	0.496	0.698	0.826	1.000											
AV-PO ₄	0.275	0.662	0.214	0.492	0.102	0.024	-0.165	-0.241	0.077	0.025	0.648**	-0.066	0.789	0.846	0.683	0.962	0.930	0.131	0.242	0.022	0.330	0.152	1.000										
T-N	-0.549	-0.386	0.189	0.062	0.637	0.429	0.141	0.289	0.199	0.800**	-0.118	0.485*	-0.194	-0.122	-0.110	-0.044	-0.039	0.006	0.018	-0.153	0.239	0.726**	0.277	1.000									
Ca ²⁺	0.516	0.274	0.105	0.083	0.210	0.171	-0.422*	-0.196	-0.090	-0.041	0.422*	0.549**	-0.251	-0.115	0.179	-0.110	0.077	0.061	-0.010	0.029	0.632**	-0.099	0.049	0.803*	1.000								
K ⁺	0.191	0.311	0.385	0.959	0.617	0.686	0.440	0.359	0.674	0.850	0.440	0.065	0.250	0.594	0.464	0.642	0.719	0.777	0.964	0.893	0.001	0.654	0.850	0.012	0.424	1.000							
Mg ²⁺	0.702	0.330	0.017	0.354	0.065	0.002	0.083	0.469	0.978	0.054	0.688	0.000	0.329	0.716	0.896	0.342	0.393	0.432	0.466	0.263	0.019	0.640	0.136	0.015	0.060	0.000	1.000						
Na ⁺	0.425	0.126	0.180	0.172	0.266	0.280	-0.199	-0.254	-0.028	-0.183	0.649**	0.111	0.78	-0.483*	0.406	0.077	0.012	-0.074	-0.099	0.087	-0.014	-0.187	0.035	0.062	0.043	0.525**	0.244	1.000					
Cover	-0.184	-0.238	0.469	0.091	0.739*	0.624	0.226	0.223	0.544**	0.083	0.244	0.078	0.313	-0.672**	0.536**	-0.270	-0.266	-0.363	0.473*	0.163	0.075	0.340	0.181	0.228	0.205	0.153	0.553**	0.000					
Taxa	0.882	0.313	0.329	-0.435	-0.010	0.097	-0.169	0.047	-0.202	-0.360	-0.160	-0.653	-0.160	-0.613	-0.249	-0.712*	-0.319	-0.645	-0.043	-0.252	-0.775**	-0.121	-0.252	-0.775**	-0.354	-0.451	-0.259	-0.568	-0.332	0.183	1.000		
	0.836	0.451	0.326	-0.282	0.981	0.820	0.690	0.912	0.302	0.382	0.706	0.079	0.128	0.166	0.553	0.048	0.163	0.432	0.466	0.263	0.020	0.640	0.136	0.015	0.060	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

※ We conducted correlation analysis using 16 samples for water properties, 8 samples for vegetation and 24 samples for soil properties.
 (* : Correlation is significant at the 0.05 level, ** : Correlation is significant at the 0.01 level, # Cover : Surface cover ratio, Taxa : Number of species).

의 식생관리방안은 제시하지 못하였다. 향후 수심, 면적, 토양수분 등의 생육환경을 조사하고 연구대상지를 추가 조사하여 소택형습지의 식생영향인자를 도출해야 할 것으로 판단한다.

IV. 결 론

본 연구는 농촌지역 소택형습지 중 농지연못습지의 생육환경을 분석함으로써, 방치·훼손된 습지복원에 활용하고 습지 창출에 있어 기초 자료로 제공하고자 수행한 연구로 다음과 같은 결론을 도출하였다.

연구대상지의 수질환경은 pH와 용존산소는 대부분 기준 내의 수치로 조사되었다. 하지만 일부 COD, SS, T-N, T-P의 경우 농업용수 기준을 초과한 수질등급의 결과로 조사되어 수질개선이 시급한 것으로 조사되었다. 소규모 소택형습지 수질악화의 가장 큰 원인으로는 호소물의 장기체류를 들 수 있으므로 이것은 조류의 발생과 더불어 부영양화의 원인이 되므로 적절한 관리와 개선방안을 모색 할 필요가 있다고 판단된다. 이에 대한 개선으로 인근 자연수와 연결을 통한 물의 순환을 유도해야 할 것으로 보이고, 연못의 퇴적물을 준설하여 수중의 산소고갈을 막는 방법도 고려해 볼 필요가 있다. 또한 T-N, T-P의 농도를 저감하기 위해 가을철 식물의 제거를 통해 흡수한 인과 질소가 다시 물로 환원되지 않도록 하며, T-P의 주요 오염원인 농경지의 비료로 인한 인 유입을 차단해야 할 것으로 판단된다.

연구대상지의 토양오염도 분석결과 식생대별 특별한 함량의 차이는 보이지 않았으며, 모든 항목에서 기준치를 초과하지는 않았지만 전국의 논 토양 평균에 비해 토양 내 니켈과 아연수치가 비교적 높게 분석되었다. 따라서 지속적인 관찰을 통해 인간에게 위해한 정도의 농도가 넘지 않도록 관리·개선할 필요가 있다고 판단된다.

연구대상지의 토성분포는 모래함량이 40~90% 범위이고, 점토의 함량이 20% 미만으로 분

석되었다. 이것은 우리나라 습지 토양의 토성분포 특성으로 볼 수 있으며, 이것은 우리나라의 고유한 습지 환경 및 기후에 영향을 받은 결과로 판단된다. 토양삼상분포 중 고상의 비율은 큰 차이는 보이지 않았으나 수심이 깊은 부엽·침수 식물대의 기상율이 평균 2.25%로 가장 낮았으며, 액상은 52.32%로 가장 높았다.

토양화학성 분석결과 토양 pH는 약산성을 나타내었으며, 전기전도도는 습지식생에 적합한 수준으로 판단되었다. 한편 유효인산, 치환성양이온 등은 모두 유기물함량과 비례하는 경향으로 습지토양의 관리방법의 하나로 습지식생의 제거 및 방치를 통한 유기물함량의 조절을 제시 할 수 있을 것으로 판단된다.

생육환경 등 자료의 상관관계 분석결과 수질 및 토양중금속은 토성 등의 토양물리성에 많은 영향을 받는 것으로 나타났으므로 향후 지속적인 연구를 통해 소택형습지의 수질 및 중금속 관리방안으로 토양물리성과의 관계를 정립할 필요가 있다고 판단된다.

본 연구를 바탕으로 향후 농촌지역의 농지연못습지의 효율적 관리 및 복원에 활용하는 한편, 본 연구에서 거론하지 못한 수심, 수분함량, 유입·유출 등 세부 환경요소와 식생의 분포와의 상관관계에 대한 연구를 추가적으로 진행해야 할 것으로 판단된다.

인 용 문 헌

- 강방훈·손진관·이상화·김남준. 2009. 농촌지역 소규모 소택형습지의 식생특성. *한국환경복원녹화학회지* 12(3) : 33-48.
- 건설교통부. 2007. *조경설계기준*.
- 김광호·김창석·김진호·오세문·강충길. 2007. 부레옥잠이 소규모 연못의 수질정화에 미치는 효과. *한국잡초학회 별책* 27(2) : 55-56
- 김귀곤. 2003. *자연과 인간이 만드는 습지 : 습지*

- 와 환경. 아카데미서적.
- 김귀곤 · 조동길. 2004. 자연환경 생태복원학 원론. 아카데미서적.
- 김성훈 · 오경미 · 유금환 · 박희경. 1998. 소규모 연못의 수질개선 방안에 관한 연구 : 사례연구. 한국물환경학회지 24(3) : 297-304.
- 김영식 · 김창환 · 이경보. 2002. 서열법에 의한 만경강 하천식생의 분석. 한국환경과학회지 11(10) : 1131-1037.
- 김원일 · 김명숙 · 노기안 · 이종식 · 윤순강 · 박병준 · 정구복 · 강창성 · 조광래 · 안문섭 · 최승출 · 김현주 · 김영상 · 남윤규 · 최문태 · 문영훈 · 안병구 · 김희권 · 김현우 · 서영진 · 김종수 · 최용조 · 이영한 · 이신찬 · 황재중. 2008. 논토양 중금속 함량의 장기변동 모니터링. 한국토양비료학회지 41(3) : 190-198.
- 김유경 · 정세웅 · 이홍수 · 정용락. 2007. 부상웨어 설치에 따른 대청호 조류 성장 억제 효과 수치모의. 수질보전 한국물환경학회지 23(5) : 581-590.
- 김자애 · 조강현 · 이효혜미. 2001. 동해안 석호에서 군개 간척습지의 식생구조. 한국생태학회지 24(1) : 27-34.
- 김춘송 · 고지연 · 이재생 · 박성태 · 구연충 · 강항원. 2007 생활오폐수에 대한 정화력이 높은 수생식물 선발. 한국환경농학회지 26(1) : 25-35.
- 김현규. 1999. 인공습지 조성을 위한 수생식물의 식재기반 조성기준에 관한 연구. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
- 김호섭 · 공동수 · 정동일 · 황순진. 2009. 한강수계 농업용저수지 관리방안. 수질보전 25(3) : 386-393.
- 농림부 농업기반공사. 2005. 농업용수 수질측정망 조사보고서.
- 농업과학기술원. 2000. 토양 및 식물체 분석법.
- 농촌진흥청 국립농업과학원. 2008. 시험연구사업 보고서.
- 농촌진흥청 작물과학원. 2003. 시험연구사업보고서.
- 농촌진흥청. 농촌진흥청 국립농업과학원 농촌어메니티 정보시스템 홈페이지. <http://rural.rda.go.kr/webgis>.
- 농촌진흥청 작물과학원 호남농업연구소. 2006. 재배작물의 시비-토양관리 요령.
- 문현숙. 2005. 습지의 발달환경과 특성 : 경기도 산지를 중심으로. 동국대학교 대학원 박사학위 논문.
- 박명환 · 서미연 · 황순진 · 김용재 · 한명수 · 김백호. 2008. 수도권 주요 공원 연못의 수질 특성과 남조류 대발생. 한국하천호수학회지 41(1) : 54-65.
- 배정진 · 추연식 · 송승달. 2003. 정족산 무제치늪 식물의 무기이온, 질소 및 인의 양상. 한국생태학회지 26(3) : 109-114.
- 서울시정개발연구원. 2001. 서울시 도시공원 내 연못 수질관리 방안.
- 송호경 · 박관수 · 박혜림 · 소순구 · 김효정 · 김무열. 2006. 신안군 장도 산지습지 식생과 토양 특성. 한국환경생태학회지 20(4) : 407-414.
- 신재기 · 정선아. 2004. 내륙 연못 생태계의수질 개선기술 연구. 한국수자원공사.
- 신재기 · 정선아 · 정남정 · 황순진. 2005. 국내 인공 연못의 수질관리 실태와 문제점. 한국물환경학회 · 대한상하수도학회 공동춘계학술 발표회 논문집.
- 양창휴 · 류현철 · 정지호 · 김병수 · 박우균 · 유진희 · 김택겸 · 김재덕 · 김성조 · 백승화. 2008. 간척지 논토양의 물리화학적 변동에 관한 연구. 한국토양비료학회지 41(2) : 94-102.
- 양홍모. 2004. 갈대 및 부들 습지셀의 연못시스템 방류수 질소제거 비교. 한국환경농학회지 23(4) : 234-239.
- 우연경 · 박은진 · 이규송 · 이도원. 1996. 습지 미소생태계에서 질소 보유와 제거에 대한 고마리의 효과. 한국생태학회지 19(2) : 179-189.

- 윤광성. 2007. 묵논 습지의 토양 및 식생특성. 대구대학교 대학원 석사학위논문.
- 이영숙. 2003. 저수지 수변공간의 생태계 복원을 위한 식생 개선방안에 관한 연구 : 시흥시의 6개 저수지를 중심으로. 단국대학교 대학원 석사학위논문.
- 이홍수 · 신상일 · 최정규 · 정세웅. 2008a. 소규모 생태연못의 수질특성과 영양상태 평가. 한국물환경학회 · 대한상하수도학회 공동출판 기술발표회 논문집.
- 이홍수 · 정세웅 · 최정규 · 신상일. 2008b. 소규모 생태연못(원흥이 방죽)의 부양영양도 평가. 한국물환경학회지 24(6) : 741-749.
- 장정렬. 2005. 농업유역 비점오염원 저감을 위한 인공습지 설계인자 평가. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 장정렬 · 최선화 · 권순국. 2007. 식생습지와 개방수역의 배열에 따른 인공습지의 수처리 특성. 한국물환경학회지 23(1) : 122-130.
- 정구복 · 김원일 · 이종식 · 김진호 · 이정택. 2007. 토양 내 중금속 존재형태와 미나리중 함량과의 관계. 한국토양비료학회 40(2) : 164-171.
- 정세웅 · 박재호 · 김유경 · 윤성완. 2007. 대청호 부영양화 모의를 위한 CE-QUAL-W2 모델의 적용. 수질보전 한국물환경학회지 23(1) : 52-63.
- 조강현. 1992. 팔당호에서 대형수생식물에 의한 물질순환과 질소와 인의 순환. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 조동길. 2004. 소택형습지의 복원 및 창출을 위한 생태적 식재 설계 모델 : 생물다양성을 중심으로. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 주은정 · 김재근. 2009. 낙동강 일대와 중부 지역 주요 습지의 토양중자은행 분석. 한국환경복원녹화학회지 12(5) : 77-91.
- 함중화 · 윤준경 · 김형철 · 구원석 · 신현범. 2005. 식생피도가 인공습지의 질소 및 인 처리효율에 미치는 영향과 습지식물의 조성 및 관리, 한국하천호수학회지 389(3) : 393-402.
- 환경부. 2000. 토양오염공정시험방법.
- 환경부. 2001. 내륙습지의 유형별 평가기법 및 관리방안에 관한 연구.
- 환경부 · UNDP · GEF · UNDP/GEF 국가습지보전사업관리단. 2005. 국가습지 유형분류 체계구축.
- 환경부. 2006. 토양오염우려기준 초과지역 정밀조사 결과.
- 환경부. 2008a. 수질오염공정시험방법
- 환경부. 2008b. 환경정책기본법 시행령 별표1.
- 환경부. 2009. 토양환경보전법 시행규칙 별표3.
- 増田拓朗 · 守屋均 · 片山恭治. 1991. 坂出緩衝?地におけるクスノキの生育と土壤條件, (II) : 光合成および蒸散について. 日本緑化工學會誌 16(3) : 11-18.
- 増田拓朗 · 藤僚賢一 · 吉田毒草. 1983. ケヤキの生育に及ぼす土壤物憂劉生の影響. 香川大學農學部學術報告 34(2) : 157-162.
- Admiraal, A. N., Morris, M. J., Brooks, T. C., Olson, J. W. and Miller, M. V. 1997. Illinois Wetland Restoration & Creation Guide, Illinois Natural History Survey.
- Adriano, D. C. 1992. Biogeochemistry of trace metals. Lewis publishers.
- Benvenuti, S. 2007. Natural weed seed burial : effect of soil texture, rain and seed characteristics. Seed Science Research, 17 : 211-219.
- Brady, N. C. and R. R. Weil. 2002. The Nature and properties of soils. Pearson New Jersey : Edusation Inc.
- Brix, H. and Schierup, H. H. 1993. Soil Oxidation in Constructed Reed Beds : The Role of Macrophyte and Soil-Atmosphere Interface Oxygen Transport, In Moshiri, G. A.(ed.) Constructed Wetland for Water Quality Improvement, Lewis publishers.

- Collins, C. D., R. B. Sheldon and C. W. Boylen. 1987. Littoral zone macrophyte community structure distribution and association of species along physical gradients in lake George, New York, USA. *Aquatic Botany*, 29 : 177-194.
- Cowardin L. M., Virginia Carter, Francis C. Golet and Edward T. Laroe. 1979. Classification of Wetlands and Deepwater Habitats of the United States.
- Cylinder, P. D., Bogdan, K. M., Davis, E. M., and Herson, A. I. 1995. Wetlands Regulation; A Complete Guide to Federal and California Programs, Solano Press Books Point Arena, California.
- Dodd M. B. and W. K. Lauenroth. 1997. The influence of soil texture on the soil water dynamics and vegetation structure of a shortgrass steppe ecosystem. *Plant Ecology*, 133 : 13-28.
- Elliot, L. F. and Stevenson, F. J. 1977. Soils for Management of Organic Wastes and Waste Water. Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, and Crop Science Society of America, Wisconsin.
- Gopal, B. and K. P. Sharma. 1984. Seasonal changes in concentration of major nutrient elements in the rhizomes and leaves of *Typha elephantina* Roxb. *Aquat. Bot.*, 20 : 65-73.
- Huebert, D. B. and P. R. Gorham. 1983. Biphasic mineral nutrition of the submersed aquatic macrophyte *Potamogeton pectinatus* L. *Aquatic Botany*, 16 : 269-284.
- Jordan, T. E., D. F. Whigham and D. L. Correll. 1990. Effects of nutrient and light manipulations on the narrow-leaved cattail, *Typha angustifolia* L. *Aquatic Botany*, 36 : 179-191.
- Jones, F. E. and K. J. Esler. 2004. Relationship between soil stored seed banks and degradation in eastern Nama Karoo rangelands (South Africa). *Biodiversity and Conservation*, 13 : 2027-2053.
- Malcolm Emery for the Ecological Parks Trust. 1986. Promoting Nature in Cities and Towns : A Practical Guide, Ecological Parks Trust.
- McNaughton, S. J. 1968. Autotoxic feedback in relation to germination and seedling growth in *Typha latifolia*. *Ecology*, 49(2) : 367-369.
- Miller, H. G., and R. L. Donahue. 1990. Soils. An introduction to soils and plant growth. Prentice-Hall, N. J.
- Mitsch, W. J. and Gosselink, J. G. 1993. Wetland (Second Edition), John Wiley & Sons, Inc.
- Reed, S. C., Middlebrooks E. J. and Crittens, R. W. 1988. Natural System for Waste Management and Treatment, McGraw-Hill.
- Sharma, K. P. and B. Gopal. 1983. Light regulated seed germination in *Typha angustata* Boryet Chaub. *Aquatic Botany*, 16 : 377-384.
- Spieles, D. J. and W. J. Mitsch. 2000. The effects of season and hydrologic and chemical loading on nitrate retention in constructed wetland : a comparison of low and high nutrient riverine systems. *Ecol. Eng.* 14 : 77-91.
- Tilton, D. L., Karen Shaw, Brian Ballard and William Thomas. 2001. A Wetland Protection Plan for the Lower One Subwatershed of the Rouge River. *Aquatic Botany*, 28 : 227-242.
- Tiner, R. W. 1999. Wetland Indicators : A Guide to Wetland Identification, Delineation, Classification and Mapping. Lewis Publishers.
- Wilcox, D. A. and H. A. Simonin. 1987. A chronosequence of aquatic macrophyte communities in dune ponds.