

## 농촌배수처리용 습지의 생물상 및 유기물 제거율

김범철 · 전만식 · 정 근<sup>1</sup> · 정연숙<sup>2</sup> · 황길순<sup>3</sup>

(강원대학교 환경과학과, <sup>1</sup>자원생물환경학부, <sup>2</sup>생명과학부,  
<sup>3</sup>농어촌진흥공사 농어촌연구원)

**적 요** - 농촌배수처리용 자연습지내의 생물상 및 유기물 제거효율을 조사하였다. 습지내에서 출현한 수생식물의 종조성은 13과 22종으로 나타났으며, 현존량이 가장 많은 종은 갈대로 약 35%, 고마리, 애기부들, 가막사리 및 돌피가 12~19%의 고른 분포를 보였으며, 나머지가 1%를 차지하였다. 습지 내에서 출현한 대형무척추동물은 북쪽강, 빈모강, 거머리강, 거미강, 갑각강, 곤충강이 조사되었으며, 그 중에서 곤충강이 7목 18과로 나타났다. 채집된 개체수로는 곤충류가 76%, 비곤충류가 24%로 곤충류의 개체수가 현저히 많았다. 이중 갈따구류(Chironomidae)는 58%를, 빈모류는 19%를 차지하였다. 조사된 곤충류의 과(family)수는 파리목에서 7과로 가장 많았다. 많은 모기와 갈따구의 유생이 발견된 것으로 보아 습지가 모기의 좋은 서식처를 제공하는 것으로 사료된다. 습지로 유입되는 유입수 BOD 및 DOC 농도는 각각 1.8~13.4 mgO<sub>2</sub>/l, 2.6~22.8 mgC/l의 큰 변이 폭을 보였으며, 습지 내에서 수생식물에 의한 연순생산력은 3,350 kg dry wt./yr로 나타났다. 습지에 의한 BOD 제거효율은 약 50%로 나타났으나, DOC는 거의 제거되지 않았다. DOC의 제거효율이 낮은 이유는 습지내 수생식물의 고사체 분해에 의해 난분해성 DOC가 생성되기 때문인 것으로 사료된다.

### 서 론

육수생태계는 전 지구면적의 1% 이하를 차지하며, 호수(lake), 연못(pond)과 같은 정수생태계(lentic ecosystem), 계류 및 하천과 같은 유수생태계(lotic ecosystem) 그리고 소택지(marsh), 늪(swamp)과 같은 습지생태계(wetland ecosystem)로 구분된다(Odum 1983). 습지는 육지환경과 해양 및 호수와 같은 수생태계 사이에 위치하여 각각의 생태계에 의해 크게 영향을 받는 반면, 두 생태계와는 매우 다른 독특한 생태적 특성을 갖는다.

습지는 기능적인 측면에서 불 때 계절적인 습지(seasonal wetlands)와 영구적인 습지(permanent wetlands)로 구분할 수 있으며, 구조적인 측면에서는 식물의 우점 형태, 물의 기원, 이탄층의 형성 등에 따라 swamps, marshes, bogs, fens으로 구분된다(Horne & Goldman 1994). 습지는 생산성이 매우 높으며 다양한 생물들의 서식환경을 제공한다. 습지를 수질개선에 이용할 경우 매우 경제적인 수처리 공정을 제공하는데, 점·비점오염원으로부터 발생하는 오염물질을 효과적으로 제거하는 것으로 알려져 있다(Hammer 1989).

습지에 분포하는 수생식물 및 수서곤충의 생태학적인 의미는 매우 크다. 대부분의 수생관속 식물들은 식량으로서의 가치는 적으나 피자식물의 종자는 새의 먹이가 되고, 무척추동물의 서식처로 중요하며, 홍수를 조절하는 기능도 있다(Goldman & Horne 1983). 반면에, 인간에게 유익하거나, 해가 없는 생물들만 서식하는 것은 아니다. 갈따구류는 사람들의 활동에 부정적인 영향을 주기도 하고 모기류는 직접적으로 사람에게 해를 줄 수 있으므로, 새로운 습지가 조성되면 그 지역내의 모기가 증가될 가능성이 있다. 이러한 모기는 전염병을 매개로 하므로 습지를 조성하는데 있어 그들에 의한 피해를 최소화하는 방법을 모색해야 할 것이다.

근래 우리 나라에서는 저수지 및 하구 등의 수계에서 부영양화가 광범위하게 나타나 유기물과 함께 인과 질소도 제거해야 한다는 당위성이 제고되고 있다. 그러나 인과 질소를 제거하는 데에는 많은 시설비와 운영경비가 소요되므로 아직 이에 대한 규제가 강화되지 않고 있다. 더구나 낮은 농도지만 많은 양의 오수가 배출되는 비점오염원의 유출에 대해서는 전혀 대책이 마련되어 있지 않다. 이에 따라 인공습지를 만들어 적은 경비로 소규모 농촌부락의 하수를 처리하거나 2차 처리한 하수

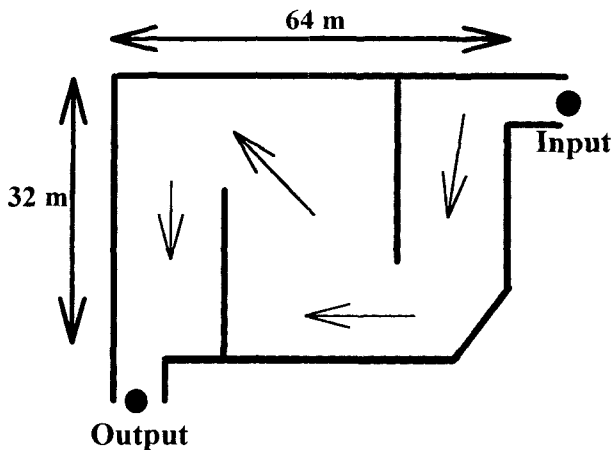


Fig. 1. The schematic diagram of the study wetland.

의 인과 질소를 제거하는 방안이 거론되고 있으며, 시화호 유입 수역에 인공습지가 만들어지고 있다.

본 연구에서는 자연습지 내에 서식하는 수생식물 및 수서곤충의 종조성 및 현존량을 파악하였으며, 습지를 이용한 유기물의 처리효율을 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지점

지내리 습지는 강원도 춘천시 신동에 위치하고 있으며, 면적은 2,192 m<sup>2</sup>, 저수량은 328 m<sup>3</sup>, 평균 수심은 0.15 m, 평균 체류시간은 0.9일이다. 과거에는 벼농사를 하던 곳이었으나 수년 전부터 농사를 짓지 않고 방치해 두어 자연적으로 습지가 형성된 곳이다. 습지로 유입되는 물은 농경배수와 가정하수가 섞인 것이다. 유량이 적은 7월 한달 동안에는 상류에 위치한 쓰레기 침출수로 인하여 상당히 오염되어 있는 하천수를 인위적으로 pumping하여 유입량을 증가시켰다. 습지내의 수심은 항상 15 cm 정도로 유지하기 위하여 습지둘레의 둑 높이를 높여 주었으며, 물이 한쪽방향으로만 흐르는 현상을 막기 위하여 습지 내에 나무판자를 이용하여 수로를 만들어 주었다(Fig. 1).

### 2. 기초수질 및 유기물 조사방법

수질조사는 1998년의 6월 5일부터 10월 22일까지 총 55회 유입수와 유출수의 수질과 유입수량을 조사하였다. 현장에서는 수온, pH, 전기전도도(conductivity), 탁도(turbidity) 및 유입수와 유출수의 유량을 측정하였으며, 용존산소(DO) 측정을 위한 시료는 300 ml BOD병에 시료를 채취하여 고정된 후 실험실로 운반하였다. 영양염

류(인, 질소), 부유물질(SS), 생물화학적 산소요구량(BOD) 및 용존유기탄소(DOC) 측정을 위한 시료는 4°C를 유지하는 저온상자에 넣어 실험실로 운반하여 GF/F 유리섬유여과지로 여과한 후 여과 액에 시료보관용 황산(20 N)을 첨가하여 보관하였다가 영양염 분석에 사용하였다.

수온은 디지털 온도계로, pH는 Horiba pH meter, 전기전도도는 YSI Model 33, 탁도는 nephelometer를 사용하여 측정하였다. DO는 azide modification법, BOD는 Winkler법을 이용하여 측정하였다. SS는 GF/F 유리섬유여과지를 증류수로 씻어 105~110°C에서 2시간 건조시킨 후 건조기 중에서 식히고 무게를 측정하였다. 무게가 측정된 여과지를 이용하여 시료를 여과한 후 105~110°C에서 건조한 후 위와 같은 방법으로 무게를 측정하여 계산하였다. DOC 측정을 위한 시료는 480°C에서 미리 태운 GF/F 여과지로 시료를 여과한 후 여과액을 550°C에서 태운 10 ml의 유리병에 담고 2N HCl을 첨가시켜 pH 2로 조절하였다. DOC 측정은 TOC 분석기(Shimadzu TOC-5000A)를 이용하여 시료마다 3번씩 반복 측정하였으며, 시료의 측정오차는 CV(coefficient variance)를  $\pm 1\%$  범위 이내로 하였다. 용존무기인(DIP)은 ascorbic acid법, 총인(TP)은 Standard Methods(APHA 1992)의 persulfate로 분해 후 ascorbic acid법으로 측정하였다. 질산성질소(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)는 카드뮴 환원법, 총질소(TN)는 alkaline persulfate로 분해한 후 카드뮴 환원법으로 측정하였다.

### 3. 수서곤충조사 방법

수서곤충 조사는 2회(1998년 8월초와 9월초) 실시하였다. 수서곤충은 망목 1 mm의ネットで 만들어진 D-형의 채집망으로 약 0.25 m<sup>2</sup>의 면적에서 정성채집 하였으며, 5개의 반복 조사구에서 조사한 자료를 평균하여 사용하였다. 따라서 조사방법은 정량적이지 않다. 한편 선충과 물벼룩 등 몸의 크기가 작은 채형무척추동물은 대부분이 채집되지 않고 망을 빠져나갔을 것이므로 조사에 포함되지 않았다. 같은 이유로 깔다구류도 실제보다 과소평가 되었을 것이다. 채집된 표본은 5% formalin 용액으로 고정하여 해부현미경하에서 선별하였다. 수서곤충의 분류와 동정은 윤(1995)의 자료를 이용하였다.

습지 내에서 수면상태에 따른 모기의 산란 선호도 조사를 위하여 전년도와 같은 장소에서 1999년 8월 16일 습지 내부에 cage를 설치하였다. 실험을 위한 cage의 높이는 35 cm이고 가로 세로의 길이는 45 × 30 cm로 모두 9개 설치하였다. 망목이 0.9 mm인 망으로 테두리를 하여 물의 교환은 가능하게 하였으며, 모기의 산란 선호도

을 높이기 위해 cage내 수심을 10 cm 정도로 유지시켰다(Dhilepan 1997). Cage내 수면은 무처리(개방수면), algal mat 및 plant cover로 각각 3개씩 처리하였다. 여기서 algal mat 처리의 이유는 습지주변의 수중에 사상체 녹조류가 많은 mat를 형성하였기 때문이다. Plant cover 처리는 습지 내에서 무작위로 선택된 지점(45×30 cm)에서 식물을 채취 후 가위로 잘라 cage 내에 넣었다. 설치된 cage는 모기산란을 위하여 10일간 방치하였다. Cage내의 모기유충은 모두 채집되었으나 표본의 양에 따라 전부 혹은 1/4~1/8에 대하여 분류하였다. 모기유충의 동정에는 Stojanovich와 Acott(1995, 1996)를 이용하였다.

#### 4. 식물조사 방법

습지에서의 식물조사는 출현한 식물의 종조성과 연순생산력을 측정하였다. 식물의 종조성은 대상법(line transect method)을 이용하여 습지에 10개의 line(21, 58, 61, 61, 64, 63, 62, 62, 62, 51 m)를 3~4 m 간격으로 설치하고 각 50 cm 거리에 분포하는 종을 조사하였다. 이때 같은 지점에 층상으로 여러 종이 분포하는 경우도 모두 조사하였다.

단위면적당 생물량의 측정을 위하여 갈대, 애기부들, 세모고랭이 및 가막사리는 10개의 1×1m<sup>2</sup> 방형구를, 고마리는 5개의 50×50 cm<sup>2</sup>의 방형구를 이용하여 지상부를 채집하였고, 이를 70°C의 항온건조기에서 건조시켜 건중량을 측정하였다. 조사지에서 사마귀풀, 골풀, 왕골풀, 세모고랭이는 점유면적이 적고, 형태나 밀도가 세모고랭이와 유사하므로 세모고랭이의 생물량 값을 이용하였다. 연순생산력은 조사한 시기를 생물량의 최성기로 보고, 대상법의 결과로 분석한 빈도를 점유면적으로 환산한 후 단위면적당 생물량을 곱하여 계산하였다.

### 결과 및 고찰

#### 1. 습지내의 기초수질현황

본 연구기간 동안 조사지역에 내린 강우량 분포는 홍수기인 7월과 8월에 집중하였다. 8월초에 최고 138 mm/day의 강우가 있었으며, 7월 31일부터 8월 15일까지(8월 2일 제외) 약 2주 동안 계속적으로 비가 내리는 현상을 보이기도 했다. 습지의 유입량은 강우량과 매우 유사한 변화를 보였다. 습지의 평균 체류시간은 0.9일로 습지로 유입된 물은 약 하루 정도 체류한 후에 유출되는 것으로 나타났다. 비강우 시기에는 체류시간이 최고 28일이었고, 강우가 많았던 시기에는 체류시간이 0.3일로 매우 짧았다.

습지의 수온은 7월과 8월의 유입수와 유출수에서 22~29°C의 범위를 보였으며, 유입수의 수온이 유출수의 수온보다 1~2°C 높았다. 수온은 8월말부터 감소하기 시작하여 식물이 고사하는 시기인 10월에는 20°C 이하로 나타났다. 전기전도도는 90~312 μS/cm의 범위를 보였으며, 강우가 잦았던 7월에 변동폭이 크게 나타났다. 연속적으로 강우가 있었던 8월초에는 145 μS/cm 이하의 값을 보여, 이것은 빗물에 의한 희석효과 때문으로 사료된다. 그 이후에 점차적으로 증가하는 현상을 보였으며, 식물이 고사하는 시기인 10월에는 200 μS/cm 이상의 분포를 보였다. pH는 유입수와 유출수에서 6.4~7.3의 범위로 큰 변동 없이 안정된 값을 보였다.

조사기간동안 유입수의 탁도는 홍수기의 매우 높았던 값을 제외하면 대부분이 7~20 NTU 범위를 보였으며, 유출수는 2~12 NTU의 범위를 보였다(Table 1). 조사기간 중 강우에 따른 유량 증가시에는 대부분 높게 나타났는데, 이것은 주변농경지로부터의 토사유출과 산재해 있던 오염원이 빗물과 함께 유입되었기 때문으로 사료된다. SS의 농도변화는 탁도와 매우 유사하게 나타났다. 유입수와 유출수의 SS 농도는 각각 5~19, 2~11 mg/l의 범위에 대부분이 속하였으며, 유출수의 SS 농도는 다소 유입수보다 낮게 나타났다. 조사기간동안 유입수의 DO 농도는 평균 5 mg/l로서 습지로 유입되는 하수에는 많은 유기물이 함유되어 있는 것으로 추측된다. 유출수의 DO 농도는 2~4 mg/l의 범위로 유입수에 비해 낮은 DO 농도를 보였다. 특히 습지 내에서의 DO 농도는 1 mg/l 이하의 낮은 분포를 보였는데, 이것은 습지 내에서 미생물에 의한 유기물 분해가 활발하게 이루어진 결과로 사료된다.

유입수의 TP 및 DIP 농도는 각각 0.14~1.34, 0.07~0.31 mgP/l, 습지를 통과한 유출수의 TP와 DIP의 농도는 각각 0.18~0.40, 0.07~0.20 mgP/l의 범위를 보였다. TP의 농도는 강우시기에 매우 높게 측정되었다. 이는 강우에 의하여 농경지의 토사유출 및 산재해 있던 오염물질이 함께 유입되어 인의 농도가 높아진 것으로 사료되며, 탁도와 부유물질도 함께 증가한 것으로 보아 대부분이 입자성 유기인의 형태로 유입된 것으로 사료된다. 또한 강우시에 제거효율도 높게 나타났는데 유입된 입자상의 인이 습지 내에서 흡착·침전으로 제거효율이 높게 나타난 것으로 사료된다.

Nichols(1983)에 의하면 인은 흡착과 침전에 의해 주로 제거되며, 습지 바닥에의 흡착을 통해서도 제거된다고 하였다. Corbitt과 Bowen(1994)에 의하면 습지에서 인의 제거는 인산염의 침전, 기질에의 흡착, 수생식물에 의한 흡수, 조류와 세균에 의한 흡수 등이며, 이 중 식물

**Table 1.** Median values and ranges of Turbidity, and SS, TP, DIP, TN and Nitrate concentrations in the study wetland

Item	Inflow		Outflow		Number of Sample	Average removal efficiency (%)
	Median	Range	Median	Range		
SS (mg/l)	9.1	5.2~11.5	5.0	2.1~11.4	43	55
Turbidity (NTU)	8.9	7.0~20.8	5.5	2.2~12.7	47	38
TP (mgP/l)	0.32	0.14~1.34	0.32	0.18~0.40	51	12
DIP (mgP/l)	0.14	0.07~0.31	0.11	0.07~0.20	50	36
TN (mgN/l)	1.4	0.9~10.5	1.0	0.8~6.1	50	25
NO <sub>3</sub> -N (mgN/l)	0.6	0.2~2.5	0.2	0.1~0.4	45	33

흡수에 의한 제거가 전체의 5~10% 정도에 불과하다고 하였다.

유입수의 TN 농도도 강우량에 따라 큰 변동을 보여 0.9~10.5 mgN/l의 범위를 보였으나, 8월 이후부터는 2 mgN/l 이하의 농도를 유지했다. 강우기에 TN 농도의 변화가 큰 이유는 주변농경지에 산재해 있던 축산분뇨 및 비료가 강우와 함께 유입되면서 나타난 결과로 사료된다. 습지를 통과한 유출수의 TN 농도는 유입수의 농도 변화와 유사한 경향을 보였으나, 유입수 농도보다는 다소 낮게 나타났다. 습지에서 제거되는 질소의 주요경로는 크게 식물과 부착미생물에 의한 흡수, 암모니아 휘발 그리고 질산화/탈질화 등이 있는데, 질산화와 탈질화가 습지에서 주요 질소 제거 기작이다. 본 연구에서도 습지 내에서의 용존산소 농도를 측정된 결과 1 mgN/l 이하를 보인 것으로 보아 탈질화 반응이 활발하게 일어날 것으로 사료된다. 습지에서 질소의 제거효율을 높이기 위해서는 유입부의 수심을 낮게 유지하여 산소의 재포기로 인한 질산화를 유도하고 습지 내에서 탈질화 반응이 일어나도록 하는 방법도 효과적이라 사료된다.

## 2. 수서곤충

채집된 대형무척추동물은 대부분이 일반적인 정수성 수체에서 나타나는 종이 대부분이었다. 습지내에서 애반딧불의 유충이 채집되는 등 수질 조건은 전반적으로 양호한 것으로 나타났다. 두 차례에 걸친 조사에서 나타난 대형무척추동물은 복족강, 빈모강, 거머리강, 거미강, 갑각강, 곤충강에 속하는 것들로서 곤충강은 7목 18과로 나타났다. 채집된 무척추동물중 곤충류는 76%, 비곤충류는 24%로 곤충류의 개체수가 현저히 많았다. 이중 깔따구류(Chironomidae)는 58%를, 빈모류는 19%를 차지하였다. 조사된 곤충류의 과(family)수는 파리목에서 7과로 가장 많았다(Table 2).

8월과 9월의 2회에 걸친 조사에서 8월의 채집된 개체수는 9월에 비하여 적었다. 일반적으로 보아 깔따구류와 빈모류는 월간 개체수 차이가 다소 적었으나 다른 분류군에서는 그 차이가 현저하였다. 예를 들면, 연못하루살

이는 8,9월에 걸쳐 밀도 차이가 매우 크게 나타났던 대표적인 수서곤충인데, 이들은 정수역에 서식하며 일반적으로 생육기 내내 많은 수로 존재한다. 따라서, 이와 같이 한달사이에 나타난 수서곤충을 포함한 대형무척추동물의 밀도변화는 수서곤충의 우화시기 등 정상적인 생활사에 의한 결과로 보기 어렵고, 어떤 외적 요인에 의하여 8월중의 수서곤충 밀도가 낮았던 것으로 생각된다. 물론 대형무척추동물의 밀도를 제한하는 요인으로는 여러 가지 요인이 있을 수 있으나, 이번 조사와 같은 단발성 조사로는 그 원인을 찾기는 어렵다. 그러나 본 습지는 논으로 둘러 싸여 있으므로 벼 재배와 관련된 영양행위가 주요 요인일 가능성이 매우 크다. 일반적으로 장마이후에는 논에 각종 병충해가 발생하므로 이 시기에 살충제와 살균제가 집중적으로 처리된다. 따라서 8월 조사에서 대형무척추동물의 밀도가 낮았던 것은 7월 장마 이후 주변 논에 처리된 농약이 대기 혹은 관개수로를 통하여 습지에 유입되었기 때문일 가능성이 있다. 8월 조사시 습지 내로 유입되는 수로에 많은 수의 붉은갈다구가 부유(drift)하고 있는 것이 목격되었다.

한편, 논 등의 습지는 위생해충인 모기가 서식하기 적당한 장소인데, 9월 조사에서 상당량의 모기 유충이 채집되었다. 이들은 습지내의 반복지점 중 유일하게 부들과 갈대에 의하여 그늘진 곳을 제외한 나머지 대부분에서 많은 수로 채집되었다. 또한 습지 내부 뿐만 아니라 습지 외곽을 흐르는 유속이 느린 도랑의 독에 붙어있어 떠내려가지 않는 algal mat의 내부 및 표면에 많은 수의 모기 유충이 서식하고 있음이 확인되었다. 따라서 하수 정화를 위하여 인공수로가 조성되어 하수가 서서히 흐를 경우, 모기 유충이 서식할 가능성은 매우 높다. 또한, 대부분의 수서곤충 및 대형무척추동물은 피부호흡을 하므로 물 속에 녹아있는 산소를 이용하여 호흡하지만, 모기를 비롯한 몇몇 파리류 유충은 물표면 가까이 서식하며 습관을 이용하여 대기에서 직접 산소를 획득하므로 하수와 같이 용존산소 농도가 지극히 낮은 환경에서도 서식이 가능하다. 이들은 체표의 투과성이 낮거나 혹은 몸의 삼투압을 조절할 수 있는 기관이 따로 있어 주

**Table 2.** Average individual number of macroinvertebrates collected from the study wetland in August and September 1998 (n = 5)

Taxa	No. of Individual (ind./m <sup>2</sup> )	
	Aug.	Sep.
Gastropoda 복죽강	40	54
Oligochaeta 빈모강	121	163
Hirudinea 거머리강	2	2
Arachnidae 거미강		3
Crustacea 갑각강	1	1
Insecta 곤충강		
Ephemeroptera 하루살이목		
Baetidae 꼬마하루살이과		
<i>Cloeon dipterum</i> 연못하루살이	2	224
Odonata 잠자리목		
Coenagrionidae 실잠자리과		
<i>Ischnura asiatica</i> 아시아실잠자리	1	48
Libellulidae 잠자리과		
<i>Crocothemis servilia</i> 고추잠자리		1
Hemiptera 노린재목		
Cixiidae 물벌레과		
<i>Sigara</i> sp. 왕물벌레속		1
Nepidae 장구애비과		
<i>Laccotrepes</i> sp. 장구애비속		1
Coleoptera 딱정벌레목		
Dytiscidae 물방개과		
<i>Agabus</i> sp. 땅콩물방개속		2
<i>Laccophilus</i> sp. 깨알물방개속		7
Hydrophilidae 물똥똥이과		
<i>Amphiops</i> sp. 알물똥똥이속		3
Lampyridae 반딧불이과		
<i>Luciola lateralis</i> 애반딧불이	1	1
Noteridae 자색물방개과	1	1
Lepidoptera 나비목		2
Diptera 파리목		
Chironomidae 갈다구과	860	837
Culicidae 모기과	14	217
Tabanidae 등에과		
<i>Chrysops</i> sp. 대모등에속		1
Syrphidae 꽃등에과		
<i>Eristalis</i> sp. 흰줄꽃등에속	2	
Stratiomyiidae 등에등에과		1
Muscidae 집파리과		2

변의 염도가 높아도 생존할 수 있다. 또한 갈다구도 종에 따라 매우 열악한 환경에서도 많은 수로 서식가능하므로 인공수로를 건설할 때에는 모기 등의 위생해충과 아울러 모기처럼 전염병을 매개하거나 흡혈하지는 않지만 사람들을 귀찮게 하는 갈다구류의 발생을 억제하기 위한 방법을 모색해야 할 것이다.

Cage에서 채집된 모기유충은 *Anopheles* 속의 2종과 *Culex* 속의 2종으로 구성되었으며, 모든 조건에서 *Culex* 속의 *Culex tritaeniorhynchus*가 우점종으로 나타났다

**Table 3.** Comparison of density of mosquito larvae in three types of enclosed wetland to examine the oviposition preference. The values in parenthesis are standard deviations (n = 3)

Species	Number of individual (ind./m <sup>2</sup> )		
	Control (open space)	with Algal mat	with Plant cover
<i>Anophels sineroides</i>	32 ( 30)	7 ( 13)	89 ( 79)
<i>Anophels sinensis</i>	27 ( 28)	37 ( 33)	158 (222)
<i>Culex tritaeniorhynchus</i>	499 (398)	264 (339)	1,087 (661)
<i>Culex vangans</i>	128 (133)	15 ( 15)	109 (163)
Total	687 (454)	324 (366)	1,442 (667)

(Table 3). 모기유충의 총 개체수는 plant cover에서 가장 높고 algal mat 처리에서 가장 낮았다. 이 결과는 모기성충이 무처리와 습지에 존재하는 다른 역새류, 곤충 혹은 부들에 비하여 algal mat에서 상대적으로 높은 선호성을 보인다는 Rejmankova 등(1996)의 결과와 다르게 나타났다. 습지내의 적당한 식물밀도와 algal mat는 모기의 산란과 유충이 포식자에 대한 은신처를 제공하며, 이 들에서 나오는 CO<sub>2</sub>는 성충을 유인하는 물질로 작용된다(Dhilepan 1997). 이번 실험에서 무처리에 유충이 많이 나타났던 이유중의 하나는 실험 기간 중 무처리에서 algal mat가 형성되었고, algal mat가 처리된 cage에서는 이식된 algal mat가 일부 부패되었기 때문에 사료된다. Orr와 Resh(1992)의 보고에 의하면 모기는 식물의 밀도의 차이에 의해서도 산란 선호도의 차이를 나타내므로 plant cover의 밀도에 의한 선호도의 차이에 관해서도 실험을 해야 할 것이다.

### 2. 습지식물의 종조성 및 생산력

습지내에서 출현한 식물의 종조성은 13과 22종으로 조사되었다(Table 4). 현존량이 가장 많았던 종은 갈대로 약 35%, 고마리, 애기부들, 가막사리 및 돌피가 12~19%의 고른 분포를 보였으며, 나머지가 1%를 차지하였다(Table 5). 습지의 연생산력은 3,350 kg dry wt./yr로 조사되었으며, 식물종 중에서는 갈대가 가장 넓은 면적으로 분포하고 있었으며, 그 다음이 고마리, 애기부들, 가막사리, 돌피 순으로 차지하였다. 그러나 연생산력은 갈대>애기부들>가막사리>고마리>돌피의 순으로 갈대가 가장 컸고, 애기부들의 생산력이 갈대 다음으로 높았다.

### 3. 유기물 제거효율

조사기간동안의 유입수 및 유출수의 BOD 농도는 각각 1.8~30.0, 0.5~7.4 mgO<sub>2</sub>/l의 범위로 유입수에서 큰

Table 4. Floristic composition in the study wetland

Family	Species
Urticaceae 쐯개풀과	<i>Pilea mongolica</i> Weddell 모시물통이
Polygonaceae 여뀌과	<i>Persicaria thunbergii</i> Nakai 고마리 <i>P. japonicum</i> (Meisn) H. Gross 흰꽃여뀌 <i>P. cochinchinensis</i> Kitag. 털여뀌
Caryophyllaceae 석죽과	<i>Rorippa islandica</i> (Oeder) Borbas 속속이풀
Lythraceae 부처꽃과	<i>Lythrum anceps</i> (Koehne) Makino 부처꽃
Onagraceae 바늘꽃과	<i>Ephlobium pyrricholophum</i> Fr. et Sav 바늘꽃
Umbelliferae 산형과	<i>Oenanthe javanica</i> (Blume) DC. 미나리
Campanulaceae 초롱꽃과	<i>Lobelia chinensis</i> Loureiro 수염가래꽃
Compositae 국화과	<i>Bidens tripartita</i> L. 가막사리
Commelinaceae 닭의장풀과	<i>Aneilema keisak</i> Hasskarl 사마귀풀
Juncaceae 골풀과	<i>Juncus effusus</i> L. var. <i>decipiens</i> Buch enau 골풀
Gramineae 벼과	<i>Phragmites communis</i> Trinius 갈대 <i>Zizania latifolia</i> Turcz. 줄 <i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) Beauv. 돌피 <i>Leersia Japonica</i> Makino 나도겨풀 <i>Glyceria leptolepis</i> Ohwi 왕미꾸리짚이
Typhaceae 부들과	<i>Typha angustifolia</i> L. 애기부들
Cyperaceae 사초과	<i>Eleocharis kuroguwai</i> Ohwi 올방개 <i>Scirpus tabernaemontani</i> Gmel. 큰고랭이 <i>Cyperus exaltatus</i> Retz. var. <i>iwasakii</i> T. Koyama 왕골 <i>Scirpus triqueter</i> Linne 세모고랭이

변이를 보였으며, 중앙값은 각각 4.2 mgO<sub>2</sub>/l와 2.4 mgO<sub>2</sub>/l로 나타났다. 집중강우시의 유출수 BOD와 유입수의 BOD는 비슷한 값을 보였는데, 이것은 유입수의 유량 증가에 따른 습지내 체류시간이 0.1일로 매우 짧

아 습지 내에서의 유기물 분해가 이루어지지 않았기 때문으로 사료된다. 습지에는 다양한 박테리아, 균류 그리고 수중 동·식물들이 서식하고 있기 때문에 BOD를 효과적으로 제거해 주며, BOD의 제거효율은 체류시간이 5일 이하이면 현저히 낮아진다고 보고하였다(Wile 1987). 유입수 및 유출수의 DOC 농도는 각각 2.6~22.8, 2.8~11.8 mg/l의 범위로 유입수량의 변동에 따라 많은 차이를 보였는데, 일반적으로 유량이 많으면 DOC 농도도 높아졌으며, 특히 초기강우 시에 매우 높아지는 경향을 보였다. 유입수 및 유출수의 DOC 농도의 중앙값은 각각 5.3 mgC/l와 5.5 mgC/l로 나타났다.

습지내에서 BOD와 DOC의 제거효율을 알아보기 위하여 강우가 있었던 7, 8월과 강우가 없었던 9월을 선정하여 비교하였다(Table 6). 7월에 유입된 BOD 유입부하량은 136 kgO<sub>2</sub>/month이며, 유출된 부하량은 69 kgO<sub>2</sub>/month로 약 50%의 제거효율을 보였다. 또한 15일간 집중강우가 내린 8월의 경우에는 가장 낮은 40%의 제거효율을 보였다. 비강우시기인 9월에 유입된 BOD 부하량은 88 kgO<sub>2</sub>/month로 가장 낮았으나, 유출된 부하량은 38 kgO<sub>2</sub>/month로 57%의 제거효율을 보였다.

7월의 DOC 유입부하량은 155 kgC/month이며, 유출된 부하량은 151 kgC/month으로 약 3%의 제거효율을 보였다. 8월과 9월의 유입된 DOC 부하량은 각각 124, 111 kgC/month이었으며, 제거효율은 모두 11%를 보였다. Tanner와 Sukias(1995)에 의하면 유기물 제거에 있어서 식물의 중요성을 강조하였는데, 동일한 유기물 부하 조건일 경우 식물을 식재한 곳과 식재하지 않은 곳의 유기물 제거율은 각각 2~9.9 kgBOD/m<sup>2</sup>, 1~4 kgBOD/m<sup>2</sup>의 분포로 나타나 식물을 식재한 곳이 유기물 제거에 더 효과적이었음을 밝힌 바 있다. 그러나, 전반적으로 DOC의 제거효율이 낮은 것은 습지내 식물 고사체의 분해에 의한 영향으로 사료된다.

본 습지에서의 유기물 제거효율이 기존의 인공습지에

Table 5. Annual primary productivity of aquatic macrophytes in the study wetland

Species	Occupied area (m <sup>2</sup> )	Annual productivity (g dry wt./m <sup>2</sup> /yr)	Total productivity (kg dry wt./yr)
<i>Phragmites communis</i> Trinius 갈대	1,124	2,542	2,858
<i>Typha angustifolia</i> L. 애기부들	557	512	285
<i>Bidens tripartita</i> L. 가막사리	514	154	79
<i>Persicaria thunbergii</i> Nakai 고마리	626	106	66
<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) Beauv. 돌피	387	153	59
<i>Aneilema keisak</i> Hasskarl 사마귀풀	8	141	1.1
<i>Juncus effusus</i> L. var. <i>decipiens</i> Buchenau 골풀	6	141	0.8
<i>Cyperus exaltatus</i> Retz. var. <i>iwasakii</i> T. Koyama 왕골	4	141	0.6
<i>Scirpus triqueter</i> Linne 세모고랭이	2	141	0.3
Total	3,228		3,351

**Table 6.** Loading rates and removal efficiency of BOD and DOC in the study wetland

Month	BOD loading (kgO <sub>2</sub> /month)		Removal efficiency (%)	DOC loading (kgC/month)		Removal efficiency (%)
	Inflow	Outflow		Inflow	Outflow	
Jul.	136	69	49	155	151	3
Aug.	107	64	40	124	111	11
Sep.	88	38	57	111	99	11

서 보고된 효율보다 매우 낮게 나타났다. 지금까지 우리나라에서 습지를 이용한 수처리 연구는 시작단계로서 습지식생이 제대로 형성되지 않은 상태에서 측정된 것들이다. 습지의 식생이 천이를 거쳐 안정한 군집을 형성하기 위해서는 적어도 5년 이상의 시간이 필요할 것으로 보이는데, 현재 시도되고 있는 인공습지는 최근에 인공 식재한 것들이므로 식생의 밀도가 낮고 저질토의 성분이 습지와는 다른 상태이다. 식생의 밀도가 낮으면 미생물의 부착기질이 적으므로 유기물 분해 능력이 낮아질 것으로 예상할 수 있다.

한편, 습지의 식생은 일차생산력이 매우 높으므로 습지내에서 많은 양의 유기물이 생산되며 이 유기물이 습지로부터 유출되어 오히려 하류에 유기물 부하를 가중시킬 수도 있다. 본 연구에서도 BOD의 제거효율은 약 50%를 보였지만, DOC의 제거효율은 매우 낮은 것으로 나타났다. 그러나 새로이 건설된 인공습지와 같이 식생의 밀도가 낮은 곳에서는 식물의 광합성이 작으므로 극상의 습지보다 유기물생성량이 적고 따라서 방류수의 유기물농도가 낮고 습지의 유기물 제거 능력을 과대 평가할 수 있다.

나이가 어린 인공습지의 또 하나의 문제점은 저질토의 성상이 습지와 다르다는 것이다. 습지가 형성되면 많은 유기물이 퇴적되어 저질토의 유기물함량이 높아진다. 새로이 건설된 인공습지는 저질토가 자연습지와 다른 깨끗한 토양을 사용하는 경우가 많으므로 유기물의 함량이 적다. 따라서 현재 실험중인 대부분의 인공습지의 수처리 결과 자료는 습지의 기능보다는 단순침강과 토양흡착의 효과가 클 것으로 생각된다.

## 참 고 문 헌

- 윤병일 (1995) 수서곤충검색도설. 정행사.
- APHA, AWWA, WEF (1992) Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th ed. American Public Health Association. Washington.
- Corbitt RA & PT Bowen (1994) An assesment of the root zone method of waste water treatment. *J. WPCF.* **63** : 239-246.
- Dhileepan K (1997) Physical factors and chemical cues in the oviposition behavior of arboviral vectors *Culex annulirostis* and *Culex molestus* (Diptera: Culicidae). *Environ. Entomol.* **26**(2) : 318-326.
- Goldman cr & AJ Hone (1983) Limnology. Mcqraw-Hill.
- Hammer DA (1989) Constructed wetlands for wastewater treatment: Municipal, Industrial and Agricultural, Lewis Publishers.
- Horne AJ & CR Golman (1994) Limnology. McGraw-Hill, Inc., Singapore.
- Nichols DS (1983) Capacity of natural wetlands to remove nutrients from wastewater, *J. Wat. Pollut. Control Fed.* **55** : 495-505.
- Odum EP (1983) Basic Ecology. Saunders College Publishing Philadelphia.
- Orr E & VH Resh (1992) Influence of Myriophyllum aquaticum cover on Anophels mosquito abundance, oviposition, and larval microhabitat. *Oecologia.* **90** : 474-482.
- Rejmankova E, DR Roberts, S Manguin, KO Pope, J Komark & RA Post (1996) Anopheles albimanus (Diptera: Culicidae) and Cyanobacteria: an example of larval habitat selection. *Environ. Entomol.* **25**(5) : 1058-1067.
- Stojanovich CJ & HG Scott (1995) Mosquitoes of asiatic Russia, Published by CJ Stojanovich and HG Scott. Manufactured in the U.S.A. pp. 112.
- Stojanovich CJ & HG Scott (1996) Mosquitoes of Korea, Published by CJ Stojanovich and HG Scott. Manufactured in the U.S.A. pp. 146.
- Tanner CC & JP Sukias (1995) Accumulation of organic solids in gravel-bed constructed wetlands. *Wat. Sci. Tech.* **32** : 229-239.
- Wile I (1987) Design and Use of Artificial Wetlands. Van Nostrand Reinhold Co., New York, N. Y. 290.

## Distribution of Biota and Removal Efficiency of Organic Matter in Natural Wetland

Bomchul Kim, Man Sig Jun, Keun Chung<sup>1</sup>, Yeonsook Choung<sup>2</sup> and Gilson Hwang<sup>3</sup>

(Department of Environmental Science, Kangwon National University,  
Chunchon 200-701, Korea, <sup>1</sup>Division of Biological Environment,  
Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea,

<sup>2</sup>Department of Biology, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea,

<sup>3</sup>Rural Development Corporation, Rural Research Institute, Ansan 425-170, Korea)

**Abstract** – Distribution of biota and removal efficiency of organic matter in natural wetland systems were examined from June to October 1998. The aquatic macrophyte communities were consisted of 13 families and 22 species. The composition of occurrence species were as follows: *Phragmites communis* Trinius are 35%, *Persicaria thunbergii* Nakai are 19%, *Typha angustifolia* L. are 17%, *Bidens tripartita* L. are 16%, *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. are 12% and others are 1%. The fauna collected from 5 sites consisted of total 6 classes of macroinvertebrates. The composition of occurrence classes were as follows: Insecta are 76%, Oligochaeta are 19%, Gastropoda are 4% and others are 1%. These included 18 families, 7 orders of Insecta. The larve and mosquito and midges were found in wetlands. Preventive strategies are needed for the suppression of mosquito at the stage of wetland planning and design. In wetland, removal efficiency of dissolved organic carbon is low becuase of primary production and the background level of DOC in the wetland discharge seems to be 5 mgC/l, but those of BOD was ca. 50%. Wetlands receiving water of low concentration can not work as purification field. [Biota, Organic matter removal, Wetland].