

# 담수호 수자원보전을 위한 유역처리 연못-습지 시스템

## Pond-Wetland System for the Water Resources Conservation of Estuary Lake

양 홍 모(전남대) · 최 수 명(전남대) · 윤 광 식\*(전남대)  
Yang, Hong Mo · Choi, Soo Myung · Yoon Kwang Sik

### Abstract

Estuary lakes constructed for agricultural water resources development projects have encountered eutrophication problems. Natural water purification function of wetland is considered for nutrient removal from inflowing stream. A constructed wetland was designed and installed for pollutant loading abatement in estuary lake Koheung. Combined pond-wetland system was adopted. In this system primary and secondary ponds and six wetland cells were interconnected. Reed and cattail were selected for wetland vegetation and planted in the wetland cells. In this paper, design criteria of the pond-wetland system in temperate weather zone is presented.

### I. 서 론

간척지 담수호의 수자원 보전을 위해서는 상류유역 및 담수호 주변 개답지역에서 담수호로 흘러드는 유입수에 함유되어 있는 비점원 및 미처리 점원 오염물을 자연생태적으로 처리할 수 있는 유역처리시스템의 개발이 절실하다. 유역에서 발생하여 하구나 담수호로 유입되는 비점원 오염물과 미처리 점원 오염물을 담수호에 유입되기 전에 자연생태적으로 처리하여 하구나 담수호로 보내는 수질정화 기법으로 유역처리 연못-습지 결합 시스템이 활용되고 있으나 국내에서는 활용되지 못하고 있으며 최근에 수질정화 습지(treatment wetlands)의 활용이 논의되고 있다.

연못시스템(pond system)은 자연상태에서 태양에너지와 생태계의 작용에 의해 각종 하·폐수를 효율적이며 경제적으로 처리할 수 있는 기법으로 점원뿐 아니라 비점원 오염을 처리하기 위해 열대에서 한대에 걸쳐 전 세계적으로 도시나 마을에서 이용되고 있다. 담수호 유입부나 개답지역에 몇 개의 대형 연못으로 구성된 연못시스템을 만들어 수질이 나쁜 하천 유입수나 강우시 초기 유출수를 연못시스템으로 유입시켜 자연생태적으로 정화 및 침전시키면 유기물 및 영양염류의 제거가 가능하며, 연못바닥에 침전된 슬러지는 10 ~ 20년에 한번 제거해 주도

록 설계가 가능하다. 이는 담수호 바닥에 침전될 유기물의 상당량을 사전에 통제할 수 있는 좋은 방법이 된다.

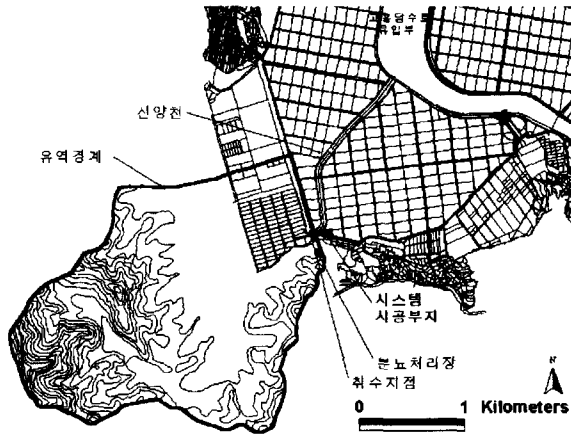
하구나 담수호로 유입되는 하천수의 정화에는 수질정화 습지(treatment wetlands)가 활용되고 있다. 수질정화 습지를 인공습지(constructed wetlands)라고 부르기도 한다. 미국 등 외국에서는 하천과 호수의 수질보전을 위해 수질정화 습지를 많이 활용하고 있으나 국내에서는 최근에 활용이 시도되고 있다. 최근 미국 미시시피강 하구는 용존산소 부족현상(hypoxia)이 발생하고 있어 강우시 유역에서 발생하는 비점원 오염물질을 정화하기 위해 방대한 미시시피강 유역의 3%에 달하는 면적을 수질정화 인공습지로 조성하는 방안이 논의되고 있다. 하천과 호수의 수질보전을 위해 우리나라 기후조건과 환경에 적합한 수질정화 습지의 모델개발과 설계인자에 대한 연구가 시급한 실정이다. 겨울철 월평균 기온이 0°C 이하인 지역에서 인공습지의 수질정화효율이 저하되어 최종처리수의 BOD와 TN을 목표수질에 맞추기 어려운 경우, 연못시스템과 수질정화 습지의 장점을 활용한 연못-습지 결합 시스템이 응용되고 있다.

본 연구는 우리 나라 기후 및 담수호 여건에 적합하고 담수호 유입수를 자연생태적으로 정화하여 담수호의 수질을 보전할 수 있는 유역처리 연못-습지 결합 시스템의 모델을 개발하고, 설계인자를 도출하는데 연구목적이 있다.

## II. 담수호 수질보전 연못-습지 시스템

### 1) 시스템 조성부지 및 유역현황

유역처리 수질정화 시스템은 고흥지구 담수호 유입부의 신양천변 개답지역 상류부에 위치한 포락지 1.2ha에 조성되어 있다(그림 1). 전체 유역 면적은 5.26 km<sup>2</sup>이며 경작지가 3.75 km<sup>2</sup>, 산림이 1.3 km<sup>2</sup>이다. 유역내 5개 마을의 1999년 인구는 964명이다. 일반적으로 유역에서 발생하는 비점오염물을 처리하기 위해서는 유역면적의 약 1 - 3 %의 인공습지가 필요하다. 조성할 부지 1.2 ha는 유역면적의 0.2 %에 해당된다.



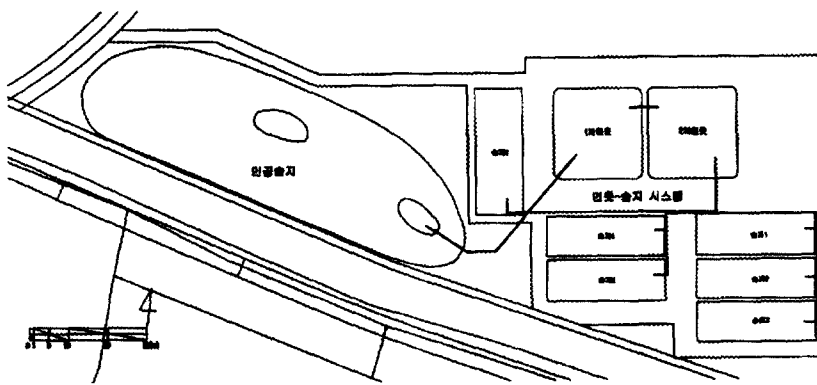
<그림 1> 유역처리 수질정화 시스템 조성 부지

## 2) 시스템 유입수 수질 및 목표수질

수질정화 시스템으로 유입시킬 신양천 하천수의 수질은 평상시에 BOD<sub>5</sub> 2 - 4mg/l, T-N 2 - 4 mg/l, T-P 0.09 - 0.2 mg/l로 담수호 수질기준인 T-N 1 mg/l, T-P 0.1 mg/l 보다 약간 높다. 강우시 유출수 오염농도(EMC)는 BOD<sub>5</sub> 12 - 20mg/l, T-N 6 - 10 mg/l, T-P 0.4 - 0.8 mg/l이다. 본 연구에서는 신양천의 강우 유출수 오염농도(EMC)를 T-N 8 mg/l, T-P 0.6 mg/l로 산정하며, 처리수의 목표 수질은 T-N 1.5 mg/l 이하, T-P 0.1 mg/l 이하로 처리하는 시스템을 연구한다.

## 3) 시스템 설계 개념 및 구조

<그림 2>와 <표 1>은 연못-습지 시스템과 자유수면 시스템으로의 구조와 제원을 보여준다.



<그림 2> 고흥지구 수질정화 연못-습지 및 자유수면 습지 시스템

<표 1> 연못-습지 및 자유수면 시스템의 구조

		수 심 (m)	여유고 (m)	침전 퇴적 (m)	뚝높이 (m)	내경사	외경사	수표면 (㎡)	수체적 (㎡)	체류 시간 (일)
연못-습지 시스템	1차연못	2.0	0.5	0.4	3.0	1 : 3	1 : 3	18×17	264	2
	2차연못	2.0	0.5	0.4	3.0	1 : 3	1 : 3	18×17	264	2
	습지 셀	0.6	0.3		0.9	1 : 2	1 : 2	8.6×26.6	52.6	2.7
	총 6개 셀								315.6	2.7
자유수면 시스템		0.6	0.3			1 : 4 - 1 : 15			900	2

### (가) 연못-습지 시스템

연못-습지 시스템은 연못과 습지 셀로 구성되어 있다. 펌핑으로 1차 연못에 유입시킨 하천수는 자연유하로 2차 연못을 거쳐 각 습지 셀로 유입되도록 설계하였다. 연못은 유입부와 유출부의 위치가 대각선에 위치하도록 설계하였으며, 각 연못은 수중유입과 표면유출로 설계하였다. 폭우시 연못의 제방보호를 위해 월류파이프를 설치하였다.

연못부분은 오염물의 침전과 정화가 동시에 이루어지도록 연못시스템으로 설계하였으며, 연못은 저류지(detention ponds)의 기능도 수행한다. 습지 셀은 연못에서 처리되지 못한 질소와 인을 처리하고 연못에서 발생한 녹조(algae)를 제거하는 기능을 한다. 각 습지 셀의 유출부에 수문(weir)을 설치하여 수질정화에 필요한 적정수심을 유지할 수 있도록 설계하였다. 수질개선을 위해 담수호, 호수, 저수지의 유입부에 조성하는 저류조와 습지의 효율적인 모델을 연구하기 위한 시스템이다.

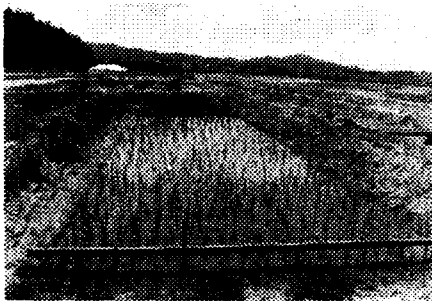
<사진 1>은 연못-습지 시스템의 연못을 보여주며, <사진 2>는 연못-습지 시스템의 습지의 모습이며, <사진 3>과 <사진 4>는 부들과 갈대를 심은 습지 셀의 모습이며, <사진 5>와 <사진 6>은 펌핑시설과 펌핑 자동조절판을 보여준다.



<사진 1> 연못-습지 시스템의 연못



<사진 2> 연못-습지 시스템의 습지 셀의 유입관 및 weir



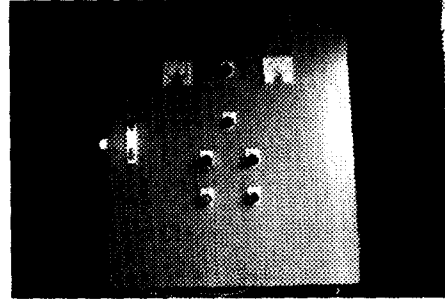
<사진 3> 부들 식재 셀



<사진 4> 갈대 식재 셀



<사진 5> 펌핑 시설



<사진 6> 펌핑시설 자동조절판

#### (나) 자유수면 시스템 설계개념

타원형 모양의 자유수면 습지는 식재구간과 개방구간으로 설계되어 있다. 유입부에 하천수의 토사와 부유물질이 침전될 수 있는 개수부를 설계하였으며, 중앙의 개수부는 질산화(nitrification)의 효율을 높이고 유입수의 단기이동(short-circuiting)을 완화하기 위해 설치하였다. 유출부에 수문을 설치하여 수질정화에 필요한 적정수심을 유지할 수 있도록 설계하였다. 자유수면 습지는 담수호 주변 개답지역의 하단부에 습지를 조성하여 농경 유출수를 정화하거나, 저수지나 담수호의 유입부에 습지를 조성하여 수질을 정화하는 모델을 연구하기 위한 시스템이다.

#### 4) 연못 및 습지의 설계인자

연못의 설계 인자는 수리학적 체류시간 (hydraulic detention time), 수심 (water depth), BOD<sub>5</sub> 부하율(loading rate) 등을 사용한다. <표 1>에서처럼 연못의 수심은 평균 2 m가 유지 되도록 설계하였으며, 강우유출수의 부유물 침전을 고려하여 0.4 m 퇴적깊이를 두었다.

인공습지를 조성할 경우 중요한 설계인자로 수리학적 체류시간 (hydraulic detention time), 수리학적 부하율 (hydraulic loading rate), 수심 (water depth), BOD<sub>5</sub> 혹은 T-N 부하율 (loading rate) 등을 사용한다. 수질을 3차 처리(tertiary treatment)이상으로 정화할 수 있는 인공습지의 설계에서 인공습지의 소요면적을 결정하는 오염원은 T-N이 된다.

아래 식 (1)은 T-N 제거를 위한 인공습지의 소요면적을 산출할 때 활용하는 공식의 사례이다. 식 (2)는 온도보정 상수, 식 (3)은 인공습지의 체류시간, 식 (4)는 수리학적 부하율을 산출하는 공식의 사례이다.

$$A_s = (Q) \ln(C_o/C_e) / (K_T)(y)(n) \text{ -----(1)}$$

$$K_T = 0.2187(1.048)^{(T-20)} \text{ -----(2)}$$

$$h = A_s(y)(n) / Q \text{ -----(3)}$$

$$q = (n)(d) / h \text{ -----(4)}$$

Ce = 유출수 TN (mg/l), Co = 유입수 TN (mg/l)

As = 인공습지 면적(m<sup>2</sup>), n = 시스템 공극율

h = 수리학적 체류시간(day), y = 수심(m)

Q = 평균 유입유량(m<sup>3</sup>/d), K<sub>T</sub> = 온도보정 상수(d<sup>-1</sup>)

$$q = \text{수리학적 부하율 (m/day)}$$

연못-습지 시스템 설계에서 신양천 강우 유출수의 평균 T-N 농도를 8 mg/ℓ로 예측하였다. 1차 및 2차 연못에서 T-N 8 mg/ℓ가 6 mg/ℓ로 정화될 것으로 예측된다. 습지의 각 셀에 유입될 유입수의 T-N 농도 4 mg/ℓ를 1.5 mg/ℓ 이하로 처리할 수 있는 인공습지를 설계하였다. 부지조건상 습지 1개 셀의 바닥면적을 6 x 26 = 156 m<sup>2</sup>로 설계하였다. 수질정화 인공습지의 설계에서 적용하는 수심 0.3 m를 적용하여 습지 1개당 처리할 수 있는 유입유량을 검토하였다. 공식 (1), (2), (3)을 응용하면, 습지 셀 1개를 처리할 수 있는 유입수는 약 13 m<sup>3</sup>/day가 되며, 유입수의 체류시간은 2.7일(day)이 된다. 수리학적 부하율은 8 cm/day가 된다. 복미의 평균 수리학적 부하율 1.5 - 6.5 cm/day보다 다소 크다.

고흥지구보다 평균기온이 다소 낮은 지역에서 운영중인 하천수를 정화하는 Olentangy River Wetland의 경우 1ha (10,000m<sup>2</sup>)에서 1,000 m<sup>3</sup>/day 처리하고 있다. 유입수의 연평균 T-N 4.5 mg/ℓ가 2.5 mg/ℓ로 처리되며, 체류시간이 1.8 - 2 day, 수리학적부하율이 10 cm/day이다. Olentangy River Wetland의 설계 인자를 적용하면 연구할 습지 셀 1개(156 m<sup>2</sup>)에서 약 15.6 m<sup>3</sup>/day를 처리 할 수 있다.

수질정화에 적합한 식생선택과 배식설계 및 습지의 유입수 단기이동을 방지하면 습지 1개 셀에서 약 20 m<sup>3</sup>/day를 처리할 수 있을 것으로 사료된다. 습지에서 유입수의 단기이동을 방지하기 위해 점유입보다는 확산 유입으로 설계하였다. 인공습지에서 인은 대부분 습지내에 축적되어 제거된다. Olentangy River Wetland의 경우처럼 유입수의 T-N이 2.5 mg/ℓ로 처리되면 유입수의 T-P는 0.09 mg/ℓ로 처리되고 있다. 본 연구의 습지에서 T-N이 1.5 mg/ℓ 이하로 처리되면 T-P는 0.1 mg/ℓ 이하로 처리될 것으로 예측된다.

### III. 요약

우리 나라 기후 및 조건에 적합하고 담수호 유입수를 자연생태적으로 정화하여 담수호의 수질을 보전할 수 있는 유역처리 연못-습지 결합 시스템의 모델을 개발하기위해, 연못-습지 시스템 및 자유수면 시스템을 설계 조성하였으며, 시스템의 설계 개념 및 설계인자, 구조를 소개하였다.

### 참고문헌

1. Mitsch, W.J. and Bouchard, V., 1999, *Olentangy River Wetland Research Park at The Ohio State University: Annual Report 1988*, School of Natural Resources, The Ohio State University
2. Yang, H., 1992, *Ecological Design of Estuarine Environment for a Sustainable Urban Ecosystem*, Ph.D. Dissertation, University of California, Berkeley. pp. 103-167.
3. 양홍모, 2000, 수질정화 인공습지 사례 설계고려사항, 농촌과 환경, 농업기반공사, 67: 83-96
4. 양홍모, 1999, 수자원보전을 위한 점원 및 비점원 오염물의 자연생태적 친환경적 처리 인공습지 및 연못-습지 시스템, 한국수자원학회지32(5):111-123
5. 양홍모, 1998, 생태적 축산폐수 처리 및 재활용 연못시스템의 폐수처리기준, 한국환경농학회지, 19(1): 70-75.