

## 농업용 저수지에 설치한 인공식물섬에 의한 오염물질 농도의 변화

양 홍 모

전남대학교 조경학과

### Changes in Pollutant Concentrations by Artificial Floating Island Installed in Reservoir for Irrigation

**Yang, Hongmo**

Department of Landscape Architecture, Chonnam National University.

#### ABSTRACT

Total suspended solids (TSS), five-day biochemical oxygen demand (BOD<sub>5</sub>), total nitrogen (T-N), and total phosphorous (T-P) concentrations around and under a floating island were examined from October 2002 to September 2003. The island was installed in July 2002 on the surface of an agricultural irrigation reservoir located in the southern part of the Korean Peninsula. It was composed of six polyethylene panels. Each panel was 2 m (length) × 1 m (width) × 0.02 m (thick) and had about thirty-two holes each with a diameter of eight centimeters, through which plant roots grew down into the water. Coconut fibers of nine-centimeters in height were placed on the panel, which sustained plants rhizomes and roots. Both the fibers and the panel were rapped with polyethylene wire meshes. About thirty irises (*Iris pseudoacorus*) were planted into the fibers of each panel. The concentrations of TSS, BOD<sub>5</sub>, T-N and T-P below the island during the iris-growing season averaged 9.70, 2.59, 3.61 and 0.14 mg/L, respectively and those around it averaged 9.99, 2.83, 4.07 and 0.16 mg/L, respectively. The average concentrations of TSS, BOD<sub>5</sub>, T-N and T-P below it during the iris non-growing season were 8.68, 2.37, 3.25 and 0.14 mg/L, respectively and those near it were 8.76, 2.43, 3.34 and 0.15 mg/L, respectively. At a significance level of  $\alpha=0.05$ , BOD<sub>5</sub>, T-N and T-P concentrations under the island during the iris-growing season were significantly low when compared with those around it except TSS.

---

**Corresponding author** : Yang, Hongmo, Department of Landscape Architecture, College of Agriculture and Life Science, Chonnam National University, Kwang-Ju 500-757,  
Tel : +82-62-530-2101, E-mail : hmy@chonnam.ac.kr

**Received** : 31 January, 2006. **Accepted** : 3 April, 2006.

No differences in TSS, BOD<sub>5</sub>, T-N and T-P concentrations between around and near it were found at a significance level of  $\alpha=0.05$  during the iris non-growing season. The removal of BOD<sub>5</sub>, T-N, and T-P during the growing season were significantly high when compared with those during the non-growing season. TSS abatement of the floating island was very low during both the growing and non-growing seasons. The island's reductions of BOD<sub>5</sub>, T-N and T-P were good during the growing season, especially T-N and T-P, which have been considered as primary pollutant sources causing the water quality degradation of reservoirs. The removal of T-N and T-P was primarily attributed to the absorption of nitrogen and phosphorous by the irises during the growing season.

Key Words : *Absorption, Adsorption, Floating island, Removal rate, Sedimentation.*

## I. 서 론

수질오염을 일으키는 오염물질을 하천과 호소에 유입되기 전이나 후에 이들을 정화하여 수질을 개선하는 다양한 방법들이 있다. 정수식물을 활용하여 오염물질을 정화하는 방법으로 인공습지(constructed wetlands)(Corbitt and Bowen, 1994; Reed et al., 1988)와 인공식물섬(floating island)이 있다(Mueller etc, 1996). 인공습지는 하천과 호소 주변에 조성하여 오염물질이 하천과 호소에 유입되기 전에 정화하기 위해 활용하며, 인공식물섬은 호소의 수면에 설치하여 호소로 유입된 오염물질을 호소자체에서 정화하기 위해 이용한다.

인공식물섬의 부체는 식재한 식물의 줄기와 잎은 물 위에 뜨게 하고 근경 혹은 뿌리는 물속에 잠기게 하여 식물성장의 기반 역할을 하며, 계류장치는 부체를 수면 위에 고정하는 역할을 한다. 인공식물섬은 수질정화, 생물서식공간 제공, 호소경관 개선, 호안침식 방지 등의 다양한 기능을 제공할 수 있다(建設省土木研究所, 1999; 中村圭吾 · 島谷幸宏, 1999). 인공식물섬에서 가장 중요한 역할은 식물이다. 식물은 뿌리로부터 영양염류를 흡수하여 질소와 인을 호소로부터 제거하며, 태양광선이 수중으로 유입되는 것을 차단하여 조류(algae)성장을 억제시켜 수질개선에 기여한다. 수중에 형성된 식물의 근경과 뿌리는 어류의 산란 및 치어의 생육장소로 이용되며, 부체

는 물새의 휴식 및 보금자리로 활용될 수 있다(ダム水源池環境整備センター, 2000). 식물의 줄기, 잎, 꽃은 호소의 경관을 개선하는 역할도 할 수 있다.

인공식물섬의 조성기술은 주로 일본을 중심으로 발전되어왔다. 일본에서는 인공식물섬을 부도(浮島)라 지칭하며, 1993년에 가스미가우라호의 수질정화를 목적으로 설치한 이래 여러 호소에 인공식물섬을 설치하였다(寺園勝二 外, 1996). 일본의 인공식물섬 연구는 부체의 구조 및 재질 개발, 계류장치 개선이 많으며, 수질정화에 관한 연구들은 상대적으로 적다. 가스미가우라호와 와타라세 상수원의 인공식물섬들은 호안 대부분을 콘크리트 구조로 개조한 후 수질정화와 더불어 호소생태계 및 호안경관 개선을 위해 설치한 경우이다(霞ヶ浦工事事務所, 2001; 利根川上流工事事務所, 2001).

국내에서는 1998년 충남 아산시 마산저수지에 인공식물섬이 설치된 후, 호소의 수질개선을 목적으로 인공식물섬을 설치해오고 있으며, 호소의 생태계개선 및 경관개선에는 중점을 덜 두는 추세이다. 국내 인공식물섬 연구로는 부체구조(농어촌진흥공사, 1998), 곤충상(심우경 등, 2001), 식물성장(김용규 등, 2001; 이효혜미 등, 2001)이 있다. 수질에 관한 연구는 상대적으로 적으며, 1년 중 특정 시기에 관한 연구이거나 소규모 연못에 인공식물섬을 설치하여 수질을 분석한 사례가

있다(권애랑·박철휘, 2003; 이광식 등, 1999). 권애랑·박철휘(2003)는 소규모 연못에 인공식물섬을 설치하여 수질정화를 연구하였으며, BOD, T-N, T-P 제거효율이 각각 33%, 22%, 29%를 보였다.

본 연구는 농업용 저수지에 실험용 인공식물섬을 설치하여 인공식물섬 아래와 주변의 TSS, BOD<sub>5</sub>, T-N, T-P 농도를 1년간 조사하여, 조사기간 인공식물섬의 아래와 주변 간에 이들 오염물질의 농도에 차이가 있는지를 비교하고, 식재한 식물이 성장하는 시기와 성장하지 않는 시기에 인공식물섬의 아래와 주변 간에 이들 농도에 차이가 있는지를 분석하는데 목적이 있다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 인공식물섬 구조

전라남도 담양군 고서면 금현리에 위치한 농업용 저수지의 정체수역에 2002년 7월 실험 인공식물섬을 설치하였다. 저수지의 유역면적은 250 ha, 설계홍수량이 18.0 m<sup>3</sup>/s, 만수면적 4.5 ha, 총저수량 24 ton이다. 실험 인공식물섬을 설치하기

전인 2001년 저수지의 평균 TSS, BOD, T-N, T-P는 각각 12.3, 5.0, 3.5, 0.25 mg/L였으며, 여름철에 녹조가 자주 발생하는 저수지이다. 인공식물섬 설치장소의 만수위 수심은 약 8m, 갈수기 수심은 약 5.5 m였다.

인공식물섬은 식재한 식물이 물과 접촉하는 습식과 접촉하지 않는 건식으로 대별한다(中村圭吾·鳥谷幸宏, 1999). 대부분 인공식물섬은 습식으로 조성하고 있으며, 건식은 식물에 의한 영양염류의 흡수가 없어 수질정화 효과는 거의 없다. 본 연구 인공식물섬은 습식으로 크기 1m × 2m, 두께 2 cm 폴리스티렌 판 부력체를 연결하여 설치하였다. 폴리스티렌 판위에 높이 약 9 cm로 야자섬유를 놓고, 야자섬유와 폴리스티렌 판을 폴리에틸렌 망으로 둘러쌌다. 폴리스티렌 판에는 직경 약 8 cm의 구멍을 약 20 cm 간격으로 뚫어 식물의 뿌리가 물속으로 내려갈 수 있도록 설치하였다. 인공식물섬은 6개의 부력체를 연결한 구조로 길이 6.25 m, 폭 2 m이다(Figure 1). 저수지 바닥에 닻을 설치하고 닻과 부력체를 wire로 연결하여 인공식물섬을 계류하였다.

포장에서 받아되어 비닐포트에서 2년간 재배

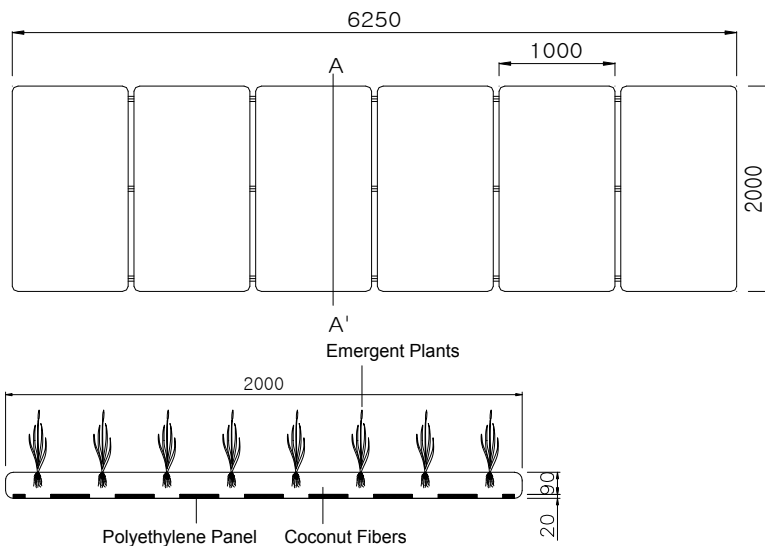


Figure 1. Schematic plan and section (A-A') of the floating island constructed on the surface of an agricultural irrigation reservoir (unit mm).

한 노랑꽃창포(*Iris pseudoacorus*)를 부력채당 약 32주를 식재하였다. 원활한 활착을 위해 비닐포트를 제거하고 마포트에 담아 식재하였다. 인공식물섬의 식재수종으로 갈대, 노랑꽃창포, 부들, 줄이 사용되며, 노랑꽃창포는 성장이 빠르고 뿌리가 깊게 자라며 꽃이 피었을 때 시각적 아름다움을 주어 수질정화와 경관개선의 측면에서 인공식물섬의 식재로 권장되는 수종이다(Brix, 1997; 이효혜미 등 2001).

## 2. 조사 및 분석 방법

노랑꽃창포의 초장은 보트 위에서의 행동제약을 고려하여 1 m<sup>2</sup>(2 m × 0.5 m) 격자틀을 사용하여 3군데씩을 조사하였으며, 격자틀 내의 개체의 초장을 측정하여 평균초장으로 나타냈다. 수질조사를 위해 인공식물섬의 주변과 아래에서 2002년 10월부터 2003년 9월까지 약 7~10일 간격으로 수심 약 0.5 m에서 채수하였으며, 인공식물섬 주변은 인공식물섬에서 약 2 m 떨어진 위치에서 채수하였다. 실험기간 노랑꽃창포는 수확하지 않았다. 인공식물섬에서 노랑꽃창포의 뿌리는 약 0.7 m 깊이로 자랄 수 있어 인공식물섬 표면적과 수심 0.7 m로 형성된 체적의 수중에 함유된 TSS, BOD<sub>5</sub>, T-N, T-P 농도와 인공식물섬 주변의 동일 체적 수중에 함유된 TSS, BOD<sub>5</sub>, T-N, T-P 농도를 비교할 수 있어, 동일체적의 수중에서 인공식물섬에 의한 TSS, BOD<sub>5</sub>, T-N, T-P의 제거를 알아볼 수 있다. 각 오염물질의 제거율(%)은  $(a-b)/a \times 100$ 의 공식(a : 인공식물섬 주변의 농도, b : 인공식물섬 아래의 농도)을 활용하여 산출하였다. 인공식물섬 주변과 인공식물섬 아래의 물이 섞이는 것을 방지하기 위해 가급적 파랑이 없거나 적은 날에 샘플링을 하였으며, 인공식물섬 아래의 채수는 식물의 뿌리가 가능한 덜 흔들리도록 채수하였다. 수온과 pH는 채수 직후 현장에서 Scot pH-Meter(CG 347)로 측정하였으며, 환경부 수질 오염공정시험방법(환경부, 2000)을 기준으로 미국공중보건협회(APHA, 1998)의 수질분석방법을

참고하여 TSS, BOD<sub>5</sub>, T-N, T-P를 분석하였다. 인공식물섬의 주변과 아래의 TSS, BOD<sub>5</sub>, T-N, T-P의 농도에 차이가 있는지를 알아보기 위해 t-검정을 수행하였다. t-검정에는 PC용 SAS(ver. 8.1)를 활용하였다. t-검정은 조사기간 1년 전체와, 노랑꽃창포가 성장을 멈추는 10월(2002년)~3월(2003년) 6개월과 노랑꽃창포가 성장하는 4월(2003년)~9월(2003년) 6개월로 구분하여 수행하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 식물성장, 수온, pH

인공식물섬에 식재한 노랑꽃창포는 2002년 7월 식재직후 평균초장이 31.7 cm였으며, 2002년 9월에는 40.2 cm로 성장하여 비교적 양호한 활착을 보였다. 2002년 10월 초에는 잎과 줄기가 시들기 시작하여 겨울철에 잎과 줄기가 죽은 후 이듬해 4월부터 새줄기가 나오기 시작하여 5월, 7월, 9월에 평균 초장이 약 56.3 cm, 76.7 cm, 87.0 cm로 성장하여 양호한 성장을 보였다. 인공식물섬에 노랑꽃창포이외의 식물이 자라는 경우 이들을 제거하였다. 이들 유입식물은 비닐포트의 토양에 짝이 튼 상태로 있었거나 씨앗이 함유되어 발아한 식물들이 대부분이었으며, 저수지 주변으로부터 바람에 씨앗이 날아들거나 강우시 저수지 유입수에 함유되어 인공식물섬에 도달한 씨앗에서 발아한 식물들도 있었다.

조사기간 인공식물섬 주변과 아래의 평균수온은 각각 17.1, 16.5°C로 인공식물섬 아래의 온도가 약 0.6°C 낮게 나타났다. 10월~3월의 인공식물섬 주변과 아래의 평균수온은 각각 10.7, 10.6°C로 거의 같은 수준이었으며, 4월~9월의 인공식물섬 주변과 아래의 평균수온은 각각 23.5, 22.5°C로 약 1°C의 차이가 있었다. 이는 인공식물섬 주변의 수면에는 햇빛이 쬐인 반면, 인공식물섬 아래는 햇빛이 차단되어 수온에 차이가 생긴 것으로 판단된다. 조사기간 인공식물섬 주변과 아래

의 평균 pH는 각각 7.7, 7.6으로 약 0.1의 차이를 나타냈다. 10월~3월의 인공식물섬 주변과 아래의 평균 pH는 각각 7.8, 7.6으로 약 0.2의 차이를 보였고, 4월~9월의 인공식물섬 주변과 아래의 평균 pH는 각각 7.7, 7.5로 약 0.3의 차이가 있었다. 조사기간 인공식물섬 주변과 아래의 pH는 거의 동일하게 나타났다.

## 2. 오염물질농도 비교

인공식물섬의 수질정화 기작에 관한 연구는 인공습지에 비해 상대적으로 적다. 인공식물섬의 수질정화 기작은 자연습지의 수질정화 기작과 유사하나, 자연습지의 정수식물은 토양에 뿌리를 내려 성장하는 반면, 인공식물섬의 식물은 식생기반재(야자섬유 등)와 수중에 뿌리를 내려 성장하는 점이 다르다. 인공식물섬의 수질정화 기작으로 식물의 영양염류 흡수, 식물뿌리와 식생기반재 표면에 부착하는 미생물 및 부착조류에 의한 제거, 부유물의 침강, 햇빛의 차폐효과, 어류에 의한 섭취 등이 제시되고 있다(人工浮島硏究會, 1999; 建設省土木硏究所, 1999).

$t$ -검정을 활용하여 인공식물섬 주변과 인공식물섬 아래의 TSS, BOD<sub>5</sub>, T-N, T-P 농도에 차이가 있는지를 분석하였다. Excel 프로그램(Excel 2003)의 정규확률그래프(normal probability plot)를 이용하여 노랑꽃창포 비성장 기간과 성장기간의 TSS, BOD<sub>5</sub>, T-N, T-P 농도분포가 정규분포곡선과 유사함을 확인하였다. Table 1은 조사 1년 동안 인공식물섬 주변과 아래의 TSS, BOD<sub>5</sub>, T-N, T-P의 농도 대한  $t$ -검정 결과와, 노랑꽃창포 비성장기의 인공식물섬 주변과 아래의 TSS, BOD<sub>5</sub>, T-N, T-P의 농도에 대한  $t$ -검정 통계량과 노랑꽃창포 성장기의 인공식물섬 주변과 아래의 TSS, BOD<sub>5</sub>, T-N, T-P의 농도에 대한  $t$ -검정 통계량을 나타낸다. Table 2는 노랑꽃창포 비성장기와 성장기 간에 인공식물섬 주변과 아래의 TSS, BOD<sub>5</sub>, T-N, T-P 농도차(%)에 차이가 있는지를 분석한  $t$ -검정 통계량을 보여준다. 농도차

(%)는 인공식물섬 주변의 농도에서 인공식물섬 아래의 농도를 뺀 값을 인공식물섬 주변의 농도로 나누어 %로 나타낸 값이다.

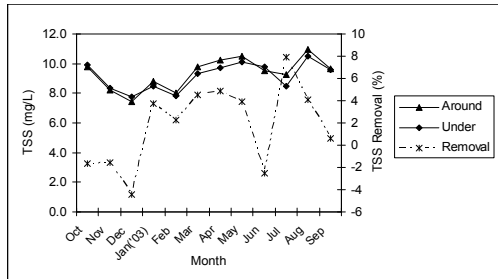
### 1) 실험 1년간

실험 1년간 인공식물섬 주변과 아래의 TSS 평균농도는 각각 9.37, 9.19 mg/L로 1.7%의 차이를 보였다. 인공식물섬 주변과 아래의 BOD<sub>5</sub> 평균농도는 각각 2.62, 2.48 mg/L로 인공식물섬 아래가 주변보다 5.3% 낮게 나타났다. T-N 평균농도는 인공식물섬 주변이 3.71 mg/L였고, 인공식물섬 아래가 3.53 mg/L로 인공식물섬 아래가 4.8% 낮게 나타났으며, 인공식물섬 주변과 아래의 T-P 평균농도는 각각 0.15, 0.14 mg/L로 인공식물섬 아래가 6.7% 낮게 나타났다.

$t$ -검정결과 ' $H_0$ : 인공식물섬 주변과 인공식물섬 아래 TSS 농도의 평균이 같다.'라는 귀무가설이 유의수준  $\alpha=0.05$ 에서 채택되어( $p=0.4020$ ,  $p>0.05$ ), 인공식물섬 주변과 아래의 TSS 농도의 평균에 차이가 없는 것으로 나타났다. 인공식물섬 주변과 아래의 BOD<sub>5</sub>, T-N, T-P 농도에 대한  $t$ -검정결과 유의수준  $\alpha=0.05$ 에서 귀무가설이 기각되어 인공식물섬 주변과 아래의 BOD<sub>5</sub>( $p=0.0182$ ), T-N( $p=0.0025$ ), T-P( $p=0.0146$ )에 차이가 있는 것으로 나타났다. 조사 1년간 인공식물섬 주변과 아래의 TSS 농도는 차이가 없는 반면, BOD<sub>5</sub>, T-N, T-P 농도는 차이가 있는 것으로 나타났다.

### 2) 수초 성장기와 비성장기

노랑꽃창포 비성장기의 인공식물섬 주변과 아래의 TSS 평균농도는 각각 8.76, 8.68 mg/L로  $t$ -검정결과 차이가 없었으며( $p=0.7965$ ), 성장기의 인공식물섬 주변과 아래의 TSS 평균농도도 각각 9.99, 9.70 mg/L로  $t$ -검정에서 차이가 없었다( $p=0.2077$ , Table 1). 비성장기와 성장기의 TSS 평균농도차는 0.5%와 2.8%로  $t$ -검정에서 차이가 없었다( $p=0.2125$ , Table 2). 분석결과 인공식물섬의 TSS 정화는 매우 낮게 나타났다. TSS 월평균



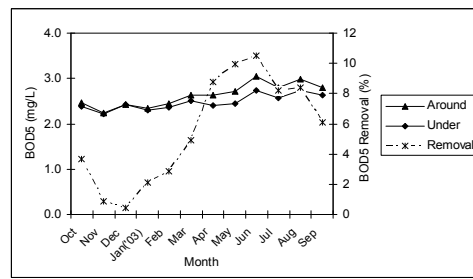
**Figure 2.** Monthly average TSS concentrations around and under the floating island from October, 2002 to September, 2003.

농도차(%)는 10월~12월과, 6월에는 마이너스 값을 보여 인공식물섬 아래의 TSS 농도가 주변보다 높았음을 알 수 있다(Figure 2).

인공식물섬 아래의 TSS 정화는 주로 인공식물섬 아래의 수중에 함유된 부유물의 침전으로 이루어지며, 식물뿌리와 식생기반재의 표면에 형성된 미생물 막에 부유물이 흡착되어 제거되기도 한다. 10월~12월의 인공식물섬 아래의 TSS 농도가 높게 나타난 것은 노랑꽃창포가 성장을 멈추면서 뿌리로부터 발생한 쇄설물이 수중으로 유입된데 원인이 있는 것으로 판단된다. 6월에 인공식물섬 아래의 TSS 농도가 주변보다 높게 나타난 것은 채수 전 파랑으로 수중의 식물뿌리가 흔들려 뿌리표면으로부터 부유물과 부착조류가 떨어져 나옴에 원인이 있는 것으로 판단된다.

노랑꽃창포 비성장기에 인공식물섬 주변의 BOD<sub>5</sub> 평균농도는 2.42 mg/L였으며, 인공식물섬 아래의 BOD<sub>5</sub> 평균농도는 2.37 mg/L였다. 성장기에는 인공식물섬 주변의 BOD<sub>5</sub> 평균농도는 2.82 mg/L를 보였고 인공식물섬 아래는 2.59 mg/L를 나타냈다. *t*-검정결과 비성장기에 인공식물 주변과 아래의 BOD<sub>5</sub> 농도는 차이가 없었으나( $p=0.3723$ ), 성장기에는 BOD<sub>5</sub> 농도에 차이를 보였다( $p=0.0031$ , Table 1). 비성장기와 성장기의 BOD<sub>5</sub> 농도차는 각각 2.2%와 7.8%로 *t*-검정에서 차이를 나타냈다( $p=0.0154$ , Table 2). 인공식물섬 아래의 BOD<sub>5</sub> 정화는 꽃창포 성장기에 이루어졌음을 알 수 있다.

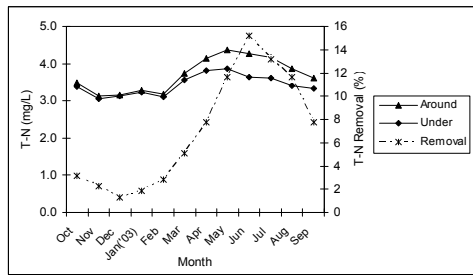
인공식물섬의 식물뿌리는 미생물막 생물반응



**Figure 3.** Monthly average BOD<sub>5</sub> concentrations around and under the floating island from October, 2002 to September, 2003.

조(bioreactor) 역할을 한다. 유기물의 일부는 응집과 침전으로 제거되거나, 미생물막에 흡수되거나 흡착되어 제거된다. 산소는 유기물의 생물화학적 변형, 특히 BOD 제거에 중요한 역할을 한다. 정수식물은 통기조직을 통해 산소를 뿌리로 전달할 수 있어(Kadlec and Knight, 1996; Mitsch and Gosselink, 2000) 뿌리에 부착된 호기성미생물의 활동을 도와주고 뿌리 주변의 용존산소 농도를 높이는 역할을 한다. 4월~9월의 BOD<sub>5</sub> 월평균농도차는 10월~3월의 월평균농도차보다 높게 나타났다(Figure 3). 이는 4월~9월의 월평균 수온이 10월~3월보다 높아 BOD<sub>5</sub> 제거에 영향을 미치는 미생물의 활동이 활발한데 원인이 있으며, 식물뿌리 표면에 미생물막이 발달한데도 원인이 있는 것으로 판단된다.

*t*-검정결과 비성장기에는 인공식물섬 주변과 아래의 T-N 농도에 차이가 없는 반면( $p=0.2603$ ), 성장기에는 주변과 아래의 T-N 농도에 차이를 나타냈다( $p<0.0001$ , Table 1). 성장기에 인공식물섬 주변과 아래의 T-N 평균농도는 4.07, 3.61 mg/L였으며, 비성장기와 성장기의 T-N 평균농도차는 각각 2.4 %와 11.0 %였다. *t*-검정에서 비성장기와 성장기의 농도차가 다름을 보였다( $p=0.0002$ , Table 2). 4월~9월의 월평균 T-N 농도차가 10월~3월보다 높았으며, 5월~8월의 월평균 T-N 농도차는 11.6 %~15.2 % 범위를 보였다(Figure 4). 꽃창포 성장기에 인공식물섬 아래에서 T-N 정화가 일어났음을 보여준다.



**Figure 4.** Monthly average T-N concentrations around and under the floating island from October, 2002 to September, 2003.

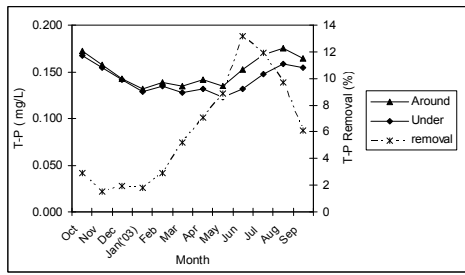
인공식물섬의 질소제거는 식물뿌리와 식생기 반체에 부착된 미생물에 의해 질소가 흡수되어

제거되기도 하나, 식물에 의한 흡수로 대부분 이루어진다. 자연습지의 토양에서는 혐기상태가 형성되어 탈질화가 일어날 수 있으나(Mitsch and Gosselink, 2000), 인공식물섬의 경우 식물뿌리가 위치하는 수심은 호기상태를 유지하여 탈질화가 일어나기 어려운 조건이다(人工浮島硏究會, 1999). 따라서 인공습지에서 탈질화 작용으로 질산성질소가 질소가스로 전환되어 대기 중으로 이동하여 질소가 제거되는 기작은(양홍모, 2002; EPA, 2000) 인공식물섬에서는 기대하기 어렵다. 6월~8월에는 인공식물섬 주변에 녹조 발생이 자주 일어났으나 인공식물섬 아래는 햇빛

**Table 1.** Summary of *t*-test statistics of TSS, BOD<sub>5</sub>, T-N, and T-P concentrations in water samples collected around and under the floating island. One year represents the period from October, 2002 to September, 2003. Non-growing denotes the season from October, 2002 to March 2003, during which plants did not grow, and Growing designates that from April, 2003 to September, 2003, during which plants grew.

Period	Pollutant species (mg/L)	Location	N	Mean±S.E.	<i>t</i> Value	<i>p</i>
One year	TSS	Around	42	9.37±0.16	0.84	0.4020
		Under	42	9.19±0.15		
	BOD <sub>5</sub>	Around	42	2.63±0.05	2.41	0.0182
		Under	42	2.48±0.04		
	T-N	Around	42	3.71±0.07	3.13	0.0025
		Under	42	3.53±0.05		
T-P	Around	42	0.15±0.022	2.49	0.0146	
	Under	42	0.14±0.003			
Non-growing	TSS	Around	21	8.76±0.21	0.26	0.7965
		Under	21	8.68±0.18		
	BOD <sub>5</sub>	Around	21	2.43±0.05	0.90	0.3723
		Under	21	2.37±0.04		
	T-N	Around	21	3.34±0.56	1.14	0.2603
		Under	21	3.25±0.05		
T-P	Around	21	0.15±0.004	0.67	0.5051	
	Under	21	0.14±0.004			
Growing	TSS	Around	21	9.99±0.16	1.28	0.2077
		Under	21	9.70±0.16		
	BOD <sub>5</sub>	Around	21	2.83±0.06	3.14	0.0031
		Under	21	2.59±0.05		
	T-N	Around	21	4.07±0.07	4.90	< 0.0001
		Under	21	3.61±0.06		
T-P	Around	21	0.16±0.004	2.87	0.0066	
	Under	21	0.14±0.004			

N : sample numbers, S.E. : standard error



**Figure 5.** Monthly average T-P concentrations around and under the floating island from October, 2002 to September, 2003.

의 차단으로 그들이 형성되어 녹조발생 현상이 비교적 적었다. 6월~8월에 T-N 농도차가 높았던 것은 이 기간에 노랑꽃창포의 성장이 왕성하여 영양염류를 흡수한데 원인이 있으며, 인공식물섬 아래에 그들이 제공되어 녹조발생이 억제된 데도 원인이 있다.

T-P 농도의 경우 비성장기에 인공식물섬 주변과 아래의 T-P 농도에는 차이가 없었으나( $p=0.5051$ ), 성장기의 인공식물섬 주변과 아래의 T-P 농도에는 차이가 있음을 나타냈다( $p=0.0066$ , Table 1). 비성장기와 성장기의 T-P 농도차는 각각 2.1%와 9.1%였으며  $t$ -검정결과 차이를 보였다( $p=0.0002$ ). T-N처럼 T-P도 꽃창포 성장기에 인공식물섬 아래에서 제거됨을 알 수 있다.

인공식물섬의 인제거는 질소제거처럼 식물에 의한 흡수로 대부분 이루어지며, 식물뿌리와 식생기반재에 부착된 미생물에 의해 흡수되어 제거되기도 한다. 4월~9월의 T-P 월평균농도차는 10월~3월보다 높았으며, 5월~8월의 T-P 월평균농도차는 8.9%~13.2%였다(Figure 4). 이는 노랑꽃창포가 성장하면서 수중의 인을 흡수한데 원인이 있으며, 인공식물섬 아래에 그들이 제공되어 녹조발생이 억제된 데도 원인이 있다. 비성장기의 인공식물섬 T-P 제거는 식물뿌리와 식생기반재 표면에 형성된 미생물과 부착조류에 의한 인 흡수에 원인이 있는 것으로 판단된다(人工浮島硏究會, 1999)

**Table 2.** Summary of  $t$ -test statistics of TSS, BOD<sub>5</sub>, T-N, and T-P removal (%) for plant non-growing season (from October, 2002 to March 200) and growing season (April, 2003 to September, 2003). Removal (%) is calculated from the equation,  $(A-U)/A*100$ , where A = pollutant species concentration around floating island, U = pollutant species concentration under floating island.

Removal (%)	Period	N	Mean±S.E.	$t$ Value	$p$
TSS	Non-growing	21	0.53±1.23	-1.27	0.2125
	Growing	21	2.80±1.31		
BOD <sub>5</sub>	Non-growing	21	2.20±1.31	-2.53	0.0154
	Growing	21	7.84±1.80		
T-N	Non-growing	21	2.39±1.22	-4.15	0.0002
	Growing	21	10.96±1.66		
T-P	Non-growing	21	2.10±1.37	-3.09	0.0036
	Growing	21	9.13±1.81		

N : sample numbers, S.E. : standard error

#### IV. 결 론

조사기간 인공식물섬 주변과 아래의 평균수온은 각각 17.1, 16.5°C로 인공식물섬 아래의 온도가 낮았으며, 이는 인공식물섬이 햇빛을 차단하여 인공식물섬 아래의 수온이 낮아진데 원인이 있다. 인공식물섬 주변과 아래의 평균 pH는 거의 같은 수준이었다.

실험기간 인공식물섬 주변의 TSS 평균농도는 9.37 mg/L였으며, 인공식물섬 아래의 TSS 평균농도는 9.19 mg/L였다. 노랑꽃창포 성장기간에는 인공식물섬 아래의 TSS 농도가 주변보다 2.8% 낮았고, 비성장기에는 0.5% 낮게 나타나 거의 차이가 없었다. 10월~12월에는 인공식물섬 아래의 TSS 농도가 주변보다 높게 나타났다. 인공식물섬 주변과 아래의 BOD<sub>5</sub> 평균농도는 각각 2.63, 2.48 mg/L였으며, 노랑꽃창포 성장기에 인공식물섬 아래의 BOD<sub>5</sub> 농도가 주변보다 7.8% 낮았으며, 비성장기에는 2.2% 낮게 나타났다. 인



공식물섬 주변과 아래의 T-N 평균농도는 각각 3.71, 3.53 mg/L였고, T-P 평균농도는 각각 0.156, 0.142 mg/L였다. 인공식물섬 아래의 T-N 농도는 주변과 비교하여 비성장기에 2.4% 낮았으며, 성장기에는 11.0% 낮게 나타났다. T-P 농도는 인공식물섬 아래가 주변보다 꽃창포 성장기는 9.1%, 비성장기는 2.1% 낮게 나타났다.

$t$ -검정결과 유의수준  $\alpha=0.05$ 에서 실험 1년간 인공식물섬 주변과 아래의 TSS 농도는 차이가 없었으나, BOD<sub>5</sub>, T-N, T-P농도는 차이를 나타냈다. 꽃창포 비성장기에 인공식물섬 주변과 아래의 TSS, BOD<sub>5</sub>, T-N, T-P농도는 모두 차이가 없었다. 꽃창포 성장기에는 BOD<sub>5</sub>, T-N, T-P 농도는 차이를 보였으나 TSS 농도는 차이가 없었다. 인공식물섬 주변과 아래의 농도차(%)에 대한 비성장기와 성장기 간의  $t$ -검정에서도 TSS는 차이가 없었고, BOD<sub>5</sub>, T-N, T-P는 차이를 보였다. 따라서 인공식물섬 아래의 TSS, BOD<sub>5</sub>, T-N, T-P 제거는 꽃창포 비성장기에는 일어나지 않으며, 성장기에만 BOD<sub>5</sub>, T-N, T-P의 제거가 일어났음을 알 수 있다.

실험결과 인공식물섬의 TSS 제거는 매우 낮았으며, 노랑꽃창포 비성장기에 인공식물섬 주변과 아래의 BOD<sub>5</sub>, T-N, T-P 농도차는 각각 2.2%, 2.4%, 2.1%로 낮은 수준이었다. 노랑꽃창포 성장기의 BOD<sub>5</sub>, T-N, T-P 농도차는 각각 7.82%, 11.0%, 9.1%로 비성장기보다 높게 나타났다. 노랑꽃창포의 성장이 활발한 5월~8월의 T-N, T-P 월평균농도차는 각각 11.6%~15.2%와 8.9%~13.2% 범위를 보여 인공식물섬 아래의 T-N, T-P 제거가 비교적 높았다.

저수지의 수질악화를 야기하는 질소와 인 제거의 관점에서 보면 인공식물섬의 질소와 인 제거는 식물 비성장기에는 기대하기 어려우며, 식물 성장기에는 호소의 상층에서 식물에 의한 질소와 인의 흡수로 질소와 인의 제거에 효과가 있는 것으로 나타났다. 식물 비성장기에 식물뿌리와 식생기반재 표면에 부착된 호기성미생물과 부

착조류에 의한 질소와 인의 제거는 낮은 것으로 판단된다.

본 연구는 농업용 저수지에 실험규모로 인공식물섬을 설치하여 초기 적용기 1년간 조사분석한 결과이다. 실험규모로 조성한 인공식물섬의 아래와 주변의 다년간의 수질조사 분석은 본 연구의 미비점을 보완할 수 있을 것으로 사료되며, 인공식물섬의 수질정화에 관한 더 많은 후속 연구가 필요하다.

## 인 용 문 헌

- 권애랑·박철휘. 2003. 수생식물을 이용한 수질정화에 관한 연구. 대한환경공학회지 25(4) : 415-420.
- 김용규·구본학·안동만. 2001. 인공섬 수생식물 생육특성에 관한 연구. 한국환경복원녹화기술학회지 4(4) : 25-35.
- 농어촌진흥공사. 1998. 수생식물의 생장특성 및 발아연구, 수생식물에 의한 수질개선기법 연구(Ⅱ). pp.28-39.
- 심우경·이광우·안창현·김민경. 2001. 효율적인 생물서식공간을 위한 인공부도 조성기법 개발. 한국환경복원녹화기술학회지 4(2) : 84-91.
- 양홍모. 2002. 하천수정화 근자연형 인공습지의 초기 질소제거. 한국환경농학회지 21(4) : 269-273.
- 이광식·장정렬·김영경·박병훈. 1999. 저수지 수질개선을 위한 인공식물섬 조성에 관한 연구, 한국환경복원녹화기술학회지 18 : 77-82.
- 이효혜미·권오병·석정현·조강현. 2001. 인공식물섬에 적합한 식물의 선발 - 4종 정수식물의 식생구조와 생장의 비교. 한국환경복원녹화기술학회지 4(1) : 57-66.
- 환경부. 2000. 오염공정시험방법.
- 建設省土木研究所·(財)土木研究センター 河川湖沼浄化共同研究企業. 1999. コソバクトウ

- エシントラソド. pp.35-99.
- ダム水源池環境整備センター. 2000. 人工浮島シンポジウム 講演集. pp. 25-38.
- 寺園勝二 外. 1996. 緑の人工浮島実験について 浮がぶオートープを目ざして. ダム技術 120 : 35-42.
- 中村圭吾・島谷幸宏. 1999. 人工浮島の機能と技術の現状. 土木技術資料 41(7) : 26-31.
- 人工浮島研究会(財団法人 ダム水源池環境整備センター). 1999. 人工浮島設置の手引き. pp. 58-63.
- 霞ヶ浦工事事務所(国土交通省関東地方整備局). 2001. 霞ヶ浦 pp.1-40.
- 利根川上流工事事務所(国土交通省関東地方整備局). 2001. 渡良瀬貯水池の水質対策. pp. 2-55.
- APHA(American Public Health Association). 1998. Standard method for the examination of water and wastewater. pp.2-54 -2-60.
- Brix, H. 1997. Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? Water Science Technology. 35(5) : 11-17.
- Corbitt, R. A., and P. T. Bowen. 1994. Constructed wetlands for wastewater treatment(In Kent, D. M. ed., "Applied wetlands science and technology") New York : Publishers Lewis, pp.221-241.
- EPA. 2000. Manual : Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters. Office of Research and Development. Cincinnati, Ohio. pp.30-48.
- Mueller, G., J. Sartoris., K. Nakamura., and J. Boutwell. 1996. Ukishima, floating islands or schwimmkampen. Lakeline. pp.18-26.
- Kadlec, R. H., and R. L. Knight. 1996. Treatment Wetlands. CRC PreTSS, Inc. Boca Raton. pp.717-737.
- Mitsch, W. J., and J. G. Gosselink, 2000. Wetlands, Van Nostrand Reinhold, New York. pp. 687-724.
- Reed, S. C., R. W. Crites., and E. J. Middlebrooks. 1988. Natural Systems for Waste Management and Treatment. McGraw-Hill : New York. pp.173-232.