

## 수처리용 인공습지에서 갈대부착조류의 유기물생산력

### Primary Production by Epiphytic Algae Attached on the Reed in Constructed Wetlands for Water Treatment.

최돈혁 · 최광순<sup>†,\*</sup> · 황길순<sup>\*\*</sup> · 김동섭<sup>\*</sup> · 김세원<sup>\*</sup> · 강 호<sup>\*\*\*</sup>

Don-Hyeok Choi · Kwangsoon Choi<sup>†,\*</sup> · Gilson Hwang<sup>\*\*</sup>

Dong-Sup Kim<sup>\*</sup> · Sea-won Kim<sup>\*</sup> · Ho Kang<sup>\*\*\*</sup>

한국수자원공사 시화호환경관리센터 · \*한국수자원공사 수자원연구원

\*\*하라건설 기술연구소 · \*\*\*충남대학교 토목환경공학부

*Sihwa Lake Environmental Management Center, Korea Water Resources Corporation*

*\*Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation*

*\*\*Research center, Halla Engineering & Corporation*

*\*\*\*Civil and Environmental Engineering, Chungnam National University*

(2009년 8월 3일 접수, 2009년 9월 11일 채택)

**ABSTRACT :** To estimate the contribution of epiphytic algae attached on reed to organic matter production in constructed wetland, primary productivity by epiphytic algae was investigated in two sub-wetlands (Banweol and Donhwa wetlands) of the Sihwa Constructed Wetland (CW) with different chemistry of inflows. Chlorophyll a concentration of epiphytic algae was higher in the Banweol wetland (range:37~3,581 mgChl.a/m<sup>2</sup>surface stem, average:655 mgChl.a/m<sup>2</sup>surface stem) than the Donhwa wetland (range:87~2,093 mgChl.a/m<sup>2</sup>surface stem, average:527 mgChl.a/m<sup>2</sup>surface stem). In contrast, assimilation number (AN) representing photosynthetic activity was higher in the Donhwa wetland with low TN/TP ratio than the Banweol wetland. A negative correlation (r=0.46) was observed between TN/TP ratios of inflows and AN in two wetlands, implying that high photosynthetic activity of epiphytic algae may be related with low TN/TP ratio. The areal primary productivity ranged from 307 to 2,473 mgC/m<sup>2</sup>/day in the Banweol wetland and from 756 to 2,096 mgC/m<sup>2</sup>/day in the Donghwa wetland, showing high productivity in summer. Average primary production was lower in the Banweol wetland (1,166 mgC/m<sup>2</sup>/day) than the Donghwa wetland (1,467 mgC/m<sup>2</sup>/day), although the standing crop (as chlorophyll a concentration) was high in the Banweol wetland. This result may be due to the low photosynthetic activity of epiphytic algae in the Banweol wetland with high TN/TP ratio. The annual primary production (300 tonC/year) of epiphytic algae contributed 33% of the total production in the Sihwa CW. An excessive organic matter production in constructed wetland can negatively affect the efficiency of water treatment. Therefore, the role of epiphytic algae should be considered in management of constructed wetland for water treatment.

**Key words :** *Constructed wetland (CW), Epiphytic algae, Photosynthetic activity, Organic matter production*

**요약 :** 시화호 인공습지의 유기물생산에 대한 갈대부착조류의 기여도를 평가하기 위하여 유입수의 수질특성이 다른 두 습지(반월천습지와 동화천습지)에서 4월부터 10월까지 매월 부착조류의 1차생산력을 측정하였다. 부착조류의 현존량은 반월천습지와 동화천습지에서 각각 37~3,581 mgChl.a/m<sup>2</sup>surface stem(평균 655 mgChl.a/m<sup>2</sup>surface stem), 87~2,093 mgChl.a/m<sup>2</sup>surface stem(평균 527 mgChl.a/m<sup>2</sup>surface stem)의 범위로 동화천습지에 비해 반월천습지에서 큰 값을 보였다. 반면 부착조류의 광합성효율을 나타내는 동화계수(assimilation number; AN)는 반월천습지에 비해 TN/TP 비가 작은 동화천습지에서 높았다. 두 습지로 유입되는 유입수의 TN/TP비와 AN사이에서의 음의 상관(r=0.46)으로부터 부착조류의 높은 광합성효율은 낮은 TN/TP와 관련이 있는 것으로 사료된다. 부착조류의 단위면적당 일일 1차생산력은 반월천습지에서 307~2,473 mgC/m<sup>2</sup>/day, 동화천습지에서 756~2,096 mgC/m<sup>2</sup>/day로 두 습지 모두 여름에 높은 값을 보였다. 두 습지의 평균 1차생산력은 반월천습지가 부착조류의 현존량이 큼에도 불구하고 1,166 mgC/m<sup>2</sup>/day으로 동화천습지(1,467 mgC/m<sup>2</sup>/day)에 비해 낮았다. 이는 AN 값에서 알 수 있듯이 반월천습지의 광합성효율이 동화천습지에 비해 낮았기 때문으로 판단된다. 시화호 인공습지에서 갈대부착조류에 의한 연간 총 유기물생산은 300 tonC/year(습지 전체 유기물생산의 33%)로 습지내 유기물생산에 부착조류의 기여가 큰 것으로 나타났다. 습지내 과도한 유기물생산은 습지의 수처리효율을 저하시킬 수 있으므로 수처리용 인공습지의 관리에 있어서 갈대부착조류의 역할이 고려되어야 한다.

**주제어 :** 인공습지, 갈대부착조류, 광합성효율, 유기물생산력

## 1. 서론

습지는 육상과 수생태계를 연결하는 전이대로 지구상에서 가장 생산력이 큰 생태계로 알려져 있다.<sup>1)</sup> 수처리용 인공습지는 이러한 습지내 1차생산자의 높은 생산력을 이용하여 고농도의 영양염류가 포함된 유입수를 정화시킬 목적으로 조성되어 왔다.<sup>2)</sup> 그러나 1차생산자의 과도한 유기물생산에 의한 습지내 유기물의 축적은 수중의 산소를 쉽게 고갈시킬 수 있으며, 이러한 혐기성환경은 퇴적토로부터 인의 용출을 가속화시키는 등 습지의 수처리 효율을 저하시키는 원인이 될 수 있다.<sup>3,4)</sup> 그러므로 인공습지에서 1차생산자의 유기물생산력에 대한 조사연구는 습지의 수질정화기능 평가 및 최적운영방안을 수립하는데 있어 매우 중요한 정보를 제공할 수 있다. 그럼에도 불구하고 인공습지에서 1차생산자의 유기물생산력에 대한 연구는 매우 드문 실정이다.<sup>5)</sup>

인공습지의 1차생산자는 수생식물과 부착조류 그리고 식물플랑크톤이 될 수 있으며, 유기물생산력에 대한 각각의 기여도는 폐쇄수역과 개방수역의 면적, 수심과 체류시간, 광합성 효율 등에 의해 결정될 수 있다. 이중 식물플랑크톤과 부착조류는 환경조건의 변화에 따라 대사활성도의 차이가 크고 성장과 사멸과정이 매우 짧기 때문에 습지내 물질생산과 순환에 매우 중요한 역할을 한다.<sup>6)</sup> 그리고 많은 연구에 의하면 인공습지와 같이 수생식물이 밀집된 수체에서는 수생식물에 부착되어 있는 부착조류의 현존량이 더 많기 때문에 수체의 유기물생산에 대한 부착조류의 기여도가 식물플랑크톤에 비해 큰

것으로 보고되었다.<sup>7~9)</sup> 본 연구의 조사대상지인 시화호 인공습지도 습지 전체 면적의 80%가 갈대로 식재되어 있기 때문에 갈대에 부착되어 있는 부착조류의 유기물생산이 매우 클 것으로 추측된다.

한편 1차생산자의 광합성효율을 나타내는 동화계수 (assimilation number; AN)는 수온, 빛, 영양염류 등의 환경변화에 영향을 받는다. 특히 AN은 영양염류 농도와 가장 관련이 크며,<sup>10,11)</sup> 영양염류의 농도가 증가할수록 AN 값도 커지는 것으로 알려져 있다.<sup>12,13)</sup> 그러므로 인공습지에서 처리하고자 하는 유입수의 수질은 부착조류를 포함한 1차생산자의 광합성특성 및 유기물생산에 영향을 미칠 수 있다.

본 연구에서는 처리수의 수질특성이 다른 시화호 인공습지의 두 습지에서 갈대부착조류의 1차생산을 측정하여 습지간 광합성특성을 비교하고, 또한 습지의 유기물생산력에 대한 갈대부착조류의 기여도를 평가하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 조사지 개요

시화호 인공습지는 1996년 “시화호 수질개선 종합관리대책”의 일환으로 상류의 유입지천인 반월천, 동화천, 삼화천을 통해 유입되는 비점오염물질을 저감하기 위하여 3개 하천이 만나는 지점의 갯벌을 매립하여 조성하였다. 인공습지는 각

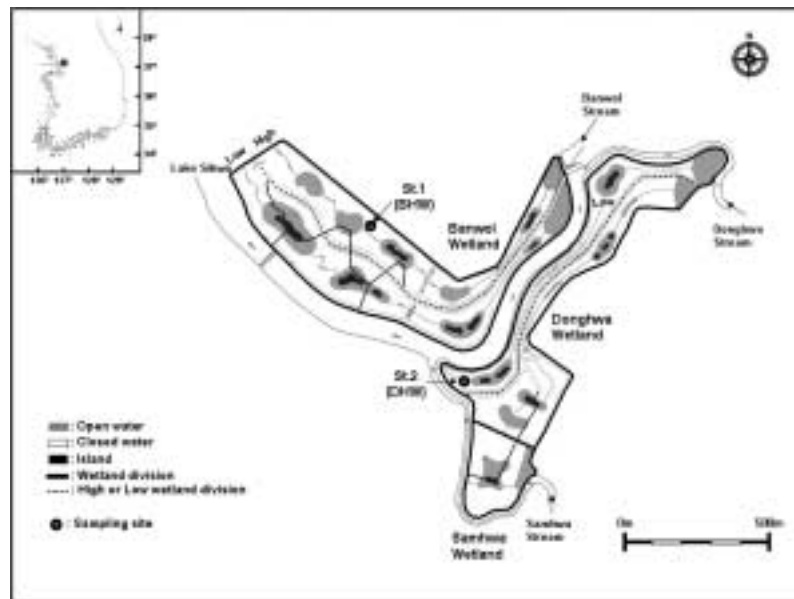


Fig. 1. Map showing the sampling sites in the Sihwa Constructed Wetland (CW).

하천의 이름을 명명하여 반월천습지(415,952 m<sup>2</sup>), 동화천습지(265,999 m<sup>2</sup>) 및 삼화천습지(68,972 m<sup>2</sup>)로 나뉘어져 있으며, 총 면적은 1,037,500 m<sup>2</sup>에 달한다(Fig. 1). 인공습지는 크게 갈대가 식재된 폐쇄수역(closed water), 개방수역(open water), 그리고 인공섬으로 되어 있으며, 인공섬을 제외한 면적의 약 80%가 폐쇄수역이고 개방수역은 20%로 조성되었다. 그러나 습지내 환경변화에 의해 2005년도에는 폐쇄수역이 71.2%로 감소한 반면, 개방수역은 28.8%로 증가하였다<sup>14)</sup>. 운영수심은 폐쇄수역이 0.3~0.6 m 로 운영되고 있으며, 개방수역의 수심은 폐쇄수역에 비해 0.5 m 깊게 조성되었기 때문에 0.8~1.1 m 정도이다. 폐쇄수역의 갈대밀도는 조성 당시 단위 m<sup>2</sup> 당 4개체였으나<sup>14)</sup>, 본 연구의 조사시기인 2005년에는 100~120개체/m<sup>2</sup>로 최고 30배 정도 증가하였다.<sup>15)</sup>

반월천습지와 동화천습지는 지형 특성상 고습지(바닥고 E.L. +3.5 m)와 저습지(바닥고 E.L. +1.5 m)로 구분되어 있으며, 고습지는 저류보에 저장된 물을 펌핑에 의해 유입시키는 반면 저습지는 저류보의 일정한 수위 이상에서 물이 자연적으로 유하되어 습지로 유입된다. 한편 삼화천습지는 고습지와 저습지의 구분이 없고 펌프시스템이 없어 저류보를 통해 자연유하식으로 하천수가 유입된다. 본 연구에서는 습지의 규모와 시스템이 비슷하고 유입수가 안정적으로 유입되는 반월천고습지와 동화천고습지를 대상으로 하여 갈대부착조류의 유기물생산력을 조사하였다.

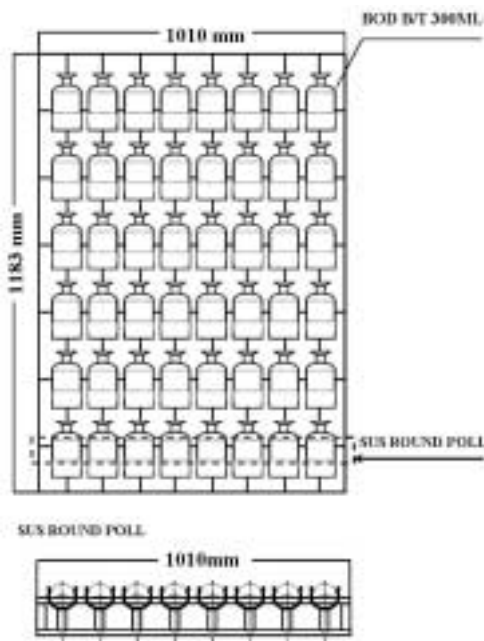


Fig. 2. The apparatus for incubation of BOD bottle with depth in primary production experiment by light-dark bottle method.

## 2.2. 조사방법

### 2.2.1. 조사지점 및 시료채취

갈대부착조류의 유기물생산력은 반월천고습지와 동화천고습지의 하류부에 각각 1지점을 선정하여 2005년 4월부터 10월까지 월 1회 조사하였다. 갈대부착조류의 채집은 각 조사지점에서 1 m×1 m 방형구내에서 수중에 있는 갈대줄기(약 30~50 cm 길이)를 무작위로 3개씩 자른 후 1차생산력과 엽록소 a(chlorophyll a: Chl.a) 측정에 사용하였다.

### 2.2.2. 1차생산력 측정방법

갈대부착조류의 1차생산력은 현장에서 채취한 갈대부착조류를 4~5 조각으로 잘라 300 mL BOD병에 담아 용존산소에 의한 명암병법을 이용하였다. 준비된 BOD병을 광도별로 배치하여 각각의 광도에 따른 광합성량을 측정하고 광합성-광도(Photosynthesis-Irradiation; P-I)곡선법<sup>16)</sup>과 최적광도 범위에서의 광합성량을 측정하여 1일 1차생산력을 산정하였다. 광도별 광합성량 측정은 수심별로 BOD병을 고정할 수 있는 stainless steel로 제작한 배양조를 이용하였다(Fig. 2). 배양은 반월천고습지 침전지에서 정오 시간대를 전후로 약 2시간 동안 실시하였다.

부착조류의 1차생산은 배양시간 동안 갈대의 표면적당 광합성량(mgO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/hr)과 호흡량으로 계산되며, 여기에 해당 일의 일조시간과 C/O<sub>2</sub>비를 곱하여 1일 광합성량(mgO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/day)을 산정하였다. 이때 1일 호흡량은 수온 등에 따라 하루중 시간별 차이가 있을 것으로 예상되나, 배양시간동안을 호흡량에 “24시간/배양시간”을 곱하여 산정하였다.

갈대부착조류에 의한 광합성량과 수중에서의 1차생산 및 호흡량을 계산하는 과정은 다음과 같다.<sup>17)</sup>

- 총생산(GP, gross photosynthesis)

$$\text{mgC/m}^3/\text{hr} = (\text{LB}-\text{DB}) \times 1000 \times 0.375 / (\text{PQ} \times t)$$

- 호흡량(R, respiration)

$$\text{mgC/m}^3/\text{hr} = (\text{IB}-\text{DB}) \times (\text{RQ}) \times 1000 \times 0.375 \times 1/t$$

여기에서,

LB : DO (dissolved oxygen concentration in light bottle, mg/L)

DB : DO (dissolved oxygen concentration in dark bottle, mg/L)

IB : DO (initial dissolved oxygen concentration, mg/L)

t : incubation time (hr)

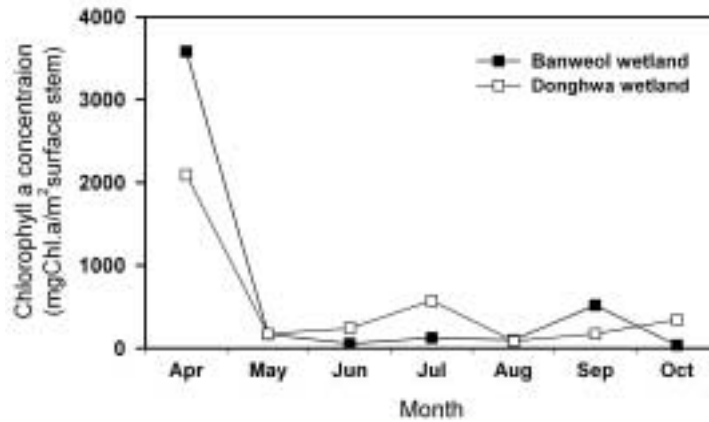


Fig. 3. Monthly variation of chlorophyll a concentration of the epiphytic algae attached on the reed in the Sihwa CW.

PQ : photosynthetic quotient (molecules of oxygen liberated during photosynthesis/molecules of CO<sub>2</sub> assimilation; +ΔO<sub>2</sub>/−ΔCO<sub>2</sub>)= 1.2

RQ : respiratory quotient (molecules of CO<sub>2</sub> liberated during respiration/molecules of oxygen consumed; +ΔCO<sub>2</sub>/−ΔO<sub>2</sub>)= 1.0

시화호 인공습지 전체의 1일 1차생산력은 갈대면적당 1일 1차생산력에 습지의 갈대면적과 밀도 그리고 갈대부착조류의 면적을 고려하여 산정하였고, 연간 1차생산량은 해당하는 월의 일수를 곱하고 매월을 합산하여 연간 1차생산으로 산정하였다. 측정하지 않은 1~3월과 11월, 12월은 각각 4월과 10월의 1차생산력 값을 사용하였다.

수심별 광도는 Li-COR의 under water photometer(LI-250A)를 이용하여 10 cm 간격으로 수중광도를 측정하였다. Chl.a 측정을 위한 시료는 현장에서 채취한 부착조류를 부드러운 솔로 긁어 100 mL 증류수에 넣어 잘 흔들어 균일하게 한 후 시료 10 mL를 여과하였다. 그리고 여과한 여과지를 15 mL 원심분리용 튜브에 집어 넣고 아세톤 7 mL 넣은 후 냉장고 암실에서 12시간 추출한 후 Lorenzen<sup>18)</sup>의 방법에 따라 분석하였다. 갈대부착조류의 Chl.a 농도는 분석에 사용된 시료의 양과 갈대줄기의 면적을 고려하여 단위면적당 농도 (mgChl.a/m<sup>2</sup>surface stem)로 산정하였다. 배양한 BOD병 내의 용존산소(dissolved oxygen; DO)의 농도는 DO meter (YSI 58)을 이용하여 현장에서 측정하였다.

### 3. 결과 및 토의

#### 3.1. 갈대부착조류의 현존량 변화

엽록소 a (chlorophyll a; Chl.a)는 모든 광합성 식물의 세포내에 공통적으로 포함되어 있는 색소로 광합성 식물의 생체량을 나타내는 지표로 사용되며, Chl.a의 절대량에 따라 1차생산량이 차이가 난다. 조사기간 동안 시화호 인공습지에서 부착조류의 Chl.a 농도는 반월천습지에서 37~3,581 mgChl.a/m<sup>2</sup>surface stem, 동화천습지에서 87~2,093 mgChl.a/m<sup>2</sup>surface stem의 범위로 4월에 가장 높은 값을 보였고, 다른 시기에는 500 mgChl.a/m<sup>2</sup>surface stem 이하의 수준으로 조사 시기별 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 3). 평균 Chl.a 농도는 반월천습지에서 655.3 mgChl.a/m<sup>2</sup>surface stem으로 동화천습지의 527.6 mgChl.a/m<sup>2</sup>surface stem에 비해 약간 높은 값을 보였다. 시화호 인공습지에서 동일한 시기에 식물플랑크톤의 평균 Chl.a 농도가 100 mg/m<sup>3</sup> 정도임을<sup>5)</sup> 감안할 때, 부착조류의 현존량이 식물플랑크톤에 비해 5배 이상 높음을 시사한다. 이러한 결과는 갈대가 밀집된 호수의 연안지대에서 일반적인 현상으로 알려져 있다.<sup>9)</sup>

#### 3.2. 광합성효율

1차생산자의 광합성효율은 최대광합성속도를 Chl.a 농도로 표준화시킨 동화계수(AN)로 나타낸다. 시화호 인공습지에서 부착조류 AN은 반월천습지에서 0.08~0.68 mgC/mgChl/hr, 동화천습지에서는 0.04~0.95 mgC/mgChl/hr의 범위를 보였다(Fig. 4). 전반적으로 두 습지 모두 봄에서 여름으로 갈수록 AN이 증가하는 경향을 보였지만, AN의 최고치가 반월천습지에서는 8월에 나타난 반면 동화천습지에서는 6월에 나타났으

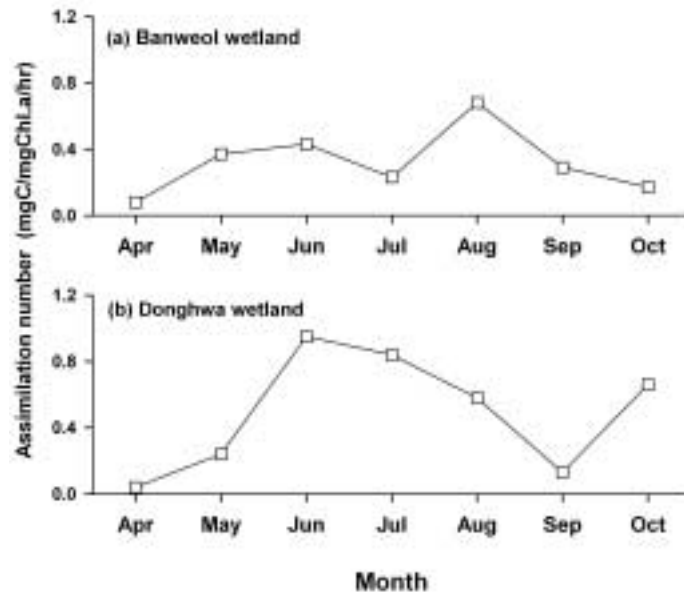


Fig. 4. Monthly variation of chlorophyll a concentration of the epiphytic algae attached on the reed in the Sihwa CW.

며, 반월천습지에 비해 동화천에서의 AN값의 계절변동이 뚜렷하게 나타났다. 평균 AN 값은 동화천습지에서 0.49 mgC/mgChl/hr 로 반월천습지(0.32 mgC/mgChl/hr) 보다 높은 값을 보여 동화천습지에서 부착조류의 광합성효율이 큰 것으로 나타났다(Table 1).

일반적으로 1차생산자의 AN 값은 수체의 영양염류 농도와 큰 관련이 있으며, 수체의 영양단계가 증가할수록 큰 값을 보이는 것으로 보고되었다.<sup>10)</sup> 부착조류의 AN에 대한 연구는 많지 않지만 Mitamura *et al.*<sup>9)</sup>에 의하면 영양염류 농도가 중영양호 수준을 보이는 일본의 비와호 연안에서 갈대부착조류의 평균 AN 값이 0.18 mgC/mgChl/hr라고 보고하였으며, Muller<sup>19)</sup>는 독일의 부영양호에서 부착조류의 평균 AN 값은 0.29 mgC/mgChl/hr의 수준이라고 보고하였다(Table 1). 시화호 인공습지의 평균 AN 값은 약 0.41 mgC/mgChl/hr 으로 호수연안의 부착조류에 비해 높은 값을 보였는데, 이는 습지로 유입되는 두 하천의 영양염류 농도가 높기 때문으로 판단된다.

Table 1. Assimilation number of epiphytic algae and phytoplankton in the Sihwa Constructed Wetland (CW) and other sites

Sampling site	Assimilation number (mgC/mgChl/hr)		Reference
	epiphytic algae	phytoplankton	
Sihwa CW	Banweol wetland	0.32	5.8*
	Donghwa wetland	0.49	8.5*
Lake Biwa	littoral zone	0.18	Mitamura <i>et al.</i> <sup>9)</sup>
Lake Belau	littoral zone	0.29	Muller <sup>19)</sup>

두 습지로 유입되는 반월천과 동화천의 영양염류 중 질소와 인의 농도가 매우 상반되는 특성을 보였다(Table 2). 총질소(total nitrogen: TN) 농도는 반월천에서 평균 5.9 mg/L (2.0~11.9 mg/L)로 동화천의 5.5 mg/L (2.9~8.9 mg/L) 보다 높은 반면 총인(total phosphorus: TP) 농도는 역으로 반월천이 0.250 mg/L (0.064~0.866 mg/L)으로 동화천의 0.365 mg/L (0.108~0.800 mg/L)보다 낮았다. 이러한 상이한 수질특성은 결국 두 하천의 TN/TP 비에서 2배 이상의 차이를 가져왔다(평균 TN/TP비: 반월천 45.1, 동화천 19.8). 두 습지의 평균 AN값과 TN/TP비로 볼 때 TN/TP가 적을수록 AN값이 큰 것으로 사료된다. 이러한 TN/TP비와 AN과의 관계는 두 습지의 유입수의 TN/TP비와 AN사이에서의 음의 상관( $r=0.46$ )의 결과가 뒷받침 해준다(Fig. 5). 즉, 부착조류의 높은 광합성효율은 낮은 TN/TP와 관련이 있는 것으로 사료된다.

한편 부착조류의 광합성효율은 식물플랑크톤에 비해 낮은 경향을 보이는 것으로 나타났다(Table 1). 일본의 비와호의 경우 식물플랑크톤의 AN이 3.69 mgC/mgChl/hr으로 갈대

Table 2. Concentrations of total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) of stream water flowing into the Sihwa CW

Stream	TN (mg/L)		TP (mg/L)	
	mean	range	mean	range
Banweol stream	5.9	2.0~11.9	0.250	0.064~0.866
Donghwa stream	5.5	2.9~8.9	0.365	0.108~0.800

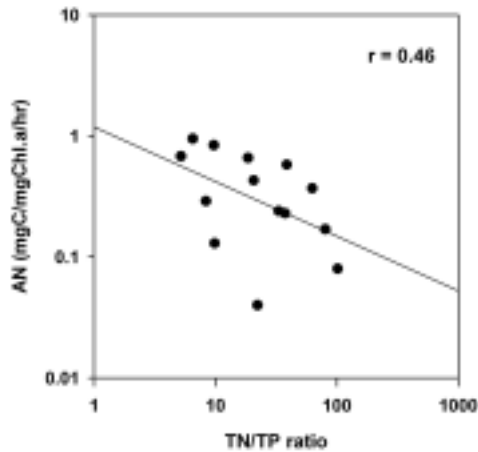


Fig. 5. Relationship between TN/TP ratios of inflows and assimilation number (AN) of epiphytic algae.

부착조류에 비해 약 20배 높은 값을 보였고,<sup>9)</sup> 시화호 인공습지의 경우도 식물플랑크톤의 평균 AN 값은 6.8 mgC/mgChl/hr으로<sup>5)</sup> 갈대부착조류의 AN에 비해 10배 이상 큰 것으로 나타났다. 그리고 우리나라 대형 인공호수인 소양호와 팔당호에서는 식물플랑크톤의 AN이 각각 3.7 mgC/mgChl/hr과 12.5 mgC/mgChl/hr<sup>20)</sup>으로 나타나 식물플랑크톤의 AN이 부착조류에 비해 높은 것은 일반적인 현상으로 보인다.

### 3.3. 유기물생산력

본 연구에서 부착조류의 단위면적당 일일 1차생산력은 반월천습지에서 307~2,473 mgC/m<sup>2</sup>/day, 동화천습지에서 756~2,096 mgC/m<sup>2</sup>/day 두 습지 모두 여름에 높은 값을 보였다(Fig. 6). 두 습지의 평균 1차생산력은 동화천습지가 1,467 mgC/m<sup>2</sup>/day으로 반월천습지의 1,166 mgC/m<sup>2</sup>/day 보다 컸다. 시화호 인공습지의 부착조류에 의한 1차생산력은 몇몇 연구자들의 결과(120~2,160 mgC/m<sup>2</sup>/day)와 비슷한 수준을 보였다.<sup>9,21,22)</sup> 일반적으로 동일한 환경에서의 1차생산력은 1차생산자의 현존량이 증가하면 커지는데, 시화호 인공습지에서는 현존량이 큰 반월천습지의 1차생산력이 더 작은 결과를 보였다(Figs. 3, 6). 두 습지에서 현존량과 1차생산력의 상반된 결과는 부착조류의 광합성에 영향을 주는 환경요인

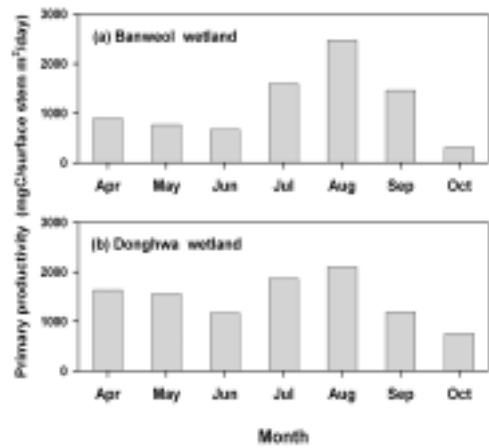


Fig. 6. Monthly variation of primary productivity by epiphytic algae attached on the reed in the Sihwa CW.

(TN/TP 등)의 상이함에 의한 광합성효율의 차이가 있었기 때문으로 사료된다.

시화호 인공습지내 1차생산자들에 의한 단위면적당 연간 유기물생산을 보면 식물플랑크톤(981 mgC/m<sup>2</sup>/day) > 갈대 (875 mgC/m<sup>2</sup>/day) > 갈대부착조류(480 mgC/m<sup>2</sup>/day) 순으로 갈대부착조류가 가장 낮은 값을 보였다(Table 3). 그러나 시화호 인공습지에서 이들의 서식면적을 고려한 연간 총유기물생산은 갈대(414 tonC/year) > 부착조류(300 tonC/year) > 식물플랑크톤(187 tonC/year) 순으로 갈대부착조류의 유기물생산이 인공습지의 총유기물생산의 33%를 차지하는 것으로 나타났다. 그러므로 시화호 인공습지의 물질생산 및 순환에 있어서 갈대부착조류에 역할이 매우 크다는 것을 알 수 있다.

부착조류의 활발한 1차생산은 습지내 영양염류를 효율적으로 제거하는 기능에 을 가지는 반면 과도한 1차생산은 습지내 유기물 양을 증가시키는 역기능을 가질 수 있다. 최 등<sup>23)</sup>의 연구에 의하면 시화호 인공습지는 2002년 개장 이후 2004년부터 급격히 수질정화기능이 저하되었는데, 그 주된 원인중 하나가 습지내 유기물의 과도한 축적으로 보았다. 본 연구에서 습지내 유기물생산에 부착조류의 기여도가 적지 않은 것으로 보아, 향후 부착조류의 물질순환 및 수질정화기능에 대한 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

Table 3. The annual productivity and total production of primary producer in the Sihwa CW.

Primary producer	Productivity per unit area (gC/m <sup>2</sup> /year)	Area (m <sup>2</sup> )	Total production in two wetlands (tonC/year)	Reference
Epiphytic algae attached on reed	480	624,125	300	This study
Plankton	981	191,468	187	K-water <sup>15)</sup>
Reed	875	472,822	414	

## 4. 결론

시화호 인공습지에서 유입수의 수질특성이 다른 반월천습지와 동화천습지에서 부착조류에 의한 1차생산력을 측정하여 유기물생산력을 조사한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 부착조류의 평균 현존량은 반월천습지가 655 mgChl.a/m<sup>2</sup>surface stem로 동화천습지의 527 mgChl.a/m<sup>2</sup>surface stem보다 컸던 반면 광합성효율을 나타내는 동화계수(assimilation number; AN)는 동화천습지에서 0.49 mgC/mgChl/hr 로 반월천습지(0.32 mgC/mgChl/hr) 보다 컸다. 두 습지로 유입되는 유입수의 TN/TP비와 AN사이에서의 음의 상관(r=0.46)으로부터 부착조류의 광합성효율은 TN/TP가 낮을수록 커지는 경향을 보였다.
- 2) 부착조류의 단위면적당 일일 1차생산력은 반월천습지에서 307~2,473 mgC/m<sup>2</sup>/day, 동화천습지에서 756~2,096 mgC/m<sup>2</sup>/day의 범위로 여름에 높은 값을 보였다. 그리고 평균 1차생산력은 반월천습지가 부착조류의 현존량이 컸음에도 불구하고 1,166 mgC/m<sup>2</sup>/day으로 동화천습지(1,467 mgC/m<sup>2</sup>/day)에 비해 낮았다. 이는 AN값에서 알 수 있듯이 반월천습지의 광합성효율이 동화천습지에 비해 낮았기 때문으로 판단되며, 그 주된 요인으로 두 습지의 상이한 환경조건(TN/TP비 등)으로 사료된다.
- 3) 시화호 인공습지에서 갈대부착조류의 단위면적당 일일 유기물생산력은 480 mgC/m<sup>2</sup>/day으로 식물플랑크톤(981 mgC/m<sup>2</sup>/day)과갈대(875 mgC/m<sup>2</sup>/day)에 비해 낮은 값을 보였으나, 습지전체에서 이들의 서식면적을 고려한 연간 총유기물생산은 갈대(414 tonC/year) > 부착조류(300 tonC/year) > 식물플랑크톤(187 tonC/year)순으로 나타났으며 갈대부착조류가 인공습지의 유기물생산에 33% 기여하는 것으로 나타났다.
- 4) 본 연구의 결과로부터 갈대부착조류에 의한 유기물생산력은 인공습지의 수질정화기능에 영향을 줄 수 있을 것으로 판단된다. 그러므로 습지생태계의 물질생산과 순환 과정을 이해하고, 인공습지의 안정적인 수처리기능을 고려한 관리방안 수립을 위해서는 향후 부착조류에 대한 생리생태학적 연구가 필요할 것으로 본다.

KSEE

## 참고문헌

1. Mitsch, W. J., and Gosselink, J. G., Wetlands, Van Nostrand Reinhold, New York(1993).
2. US EPA, Design Manual; Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters, U. S. EPA 625/R-99/010, Cincinnati, Ohio(2000).
3. Reddy, K. R., and DeBusk, T. A., "State-of-the-art utilisation of aquatic plants in water pollution control," *Wat. Sci. Technol.*, **19**(10), 61~79(1987).
4. Horne, A. J., and Goldman, C. R., Limnology, McGraw-Hill, Inc., New York, pp. 115~132(1994).
5. 최광순, 황길순, 김동섭, 김세원, 김호준, 조성주, 박제철, "수질정화용 인공습지 개방수역에서 유입수질에 따른 식물플랑크톤의 광합성특성 및 유기물생산력," *한국하천호수학회지*, **40**(1), 61~71(2007).
6. Adamus, P. R., and Stockwell, L. T., A method for wetland functional assesment : VII. 1. Critical review and evaluation concepts, US Dept. Transportaion, Fedral Highway Administration, Report FHWA, pp. 82~83(1983).
7. Miura, T., Tanimizu, T., Iwasa, Y., and Kawakita, A., "Macroinvertebrates as an important supplier of nitrogenous nutrients in a dense macrophyte zone in Lake Biwa," *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, **20**, 1116~1121(1978).
8. Allen, H. L., and Ocevski, B. T., "Comparative primary productivity of algal epiphytes on three species of macrophyte in the littoral zone of Lake Ohrid, Yugoslavia," *Ecography*, **4**, 155~160(1981).
9. Mitamura, O., Tachibana, J., Ishida, N., Seike, Y., and Choi, J. K., "Photosynthetic activity of epiphytic algae in embayment reed zone in a lagoon conneted with Lake Biwa," *Korean J. Limnol.*, **42**(1), 48~57(2009).
10. Glooschenko, W. A., Moore, J. E., Munawar M., and Vollenweider, R. A., Primary production in lakes Ontario and Erie: A comparative study, *J. Fish. Res. Int. Soc. Gt. Lakes Res.* pp. 40~49(1974).
11. Gachter, R., Vollenweider, R. A., and Glooschenko, W.A., "Seasonal variations of temperature and nutrients in the surface waters of lakes Ontario and Erie," *J. Fish. Res. Board Can.* **31**, 275~290(1974).
12. Ichiki, S., "Primary production measurements in the south basin of Lake Biwa," *Rep. Shiga. Pref. Inst. Pub. Hlth. And Environ. Sci.* **21**, 160~166(1986).
13. Nakanish, M., Narita, T., Suzuki, N., and Mitamura, O.,

- “Assimilation number and primary productivity of phytoplankton in the south basin of Lake Biwa,” *Jpn. J. Limnol.* **49**, 175~183(1988).
14. 한국수자원공사, 시화지구개발 반월천, 동화천습지조성조경공사 기본 및 실시설계 보고서, 한국수자원공사, 안산, p. 154(1997).
  15. 한국수자원공사, 시화호 인공습지 수질정화 기능향상 연구 보고서, 한국수자원공사, 안산, pp. 154~156(2006).
  16. Platt, T., Gallegos, C. L., and Harrison, W. B., “Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton,” *J. Mar. Res.* **38**, pp. 687~701(1980).
  17. Wetzel, R. G., and Likens, G.E., *Limnological Analysis*, 2th ed., Springer Verlag., New York(1991).
  18. Lorenzen, C. J., “Determination of chlorophyll and pheopigments: spectrophotometric equation,” *Limnol. Oceanogr.* **12**, 343~346(1967).
  19. Muller, U., “Vertical zonation and production rates of epiphytic algae on *Phragmites australis*,” *Freshwater Biology*, **34**, 69~80(1995).
  20. 황길순, 소양호 1차생산력과 부영양화에 관한 연구, 강원대학교 박사학위청구논문(1996).
  21. Hopper, N. M., and Robinson, G. G. C., “Primary production of epiphytic algae in a marsh pond,” *Can. J. Bot.*, **54**, 2810~2815 (1976).
  22. Suzuki, N., Kawashima, M., Endoh, S., Itakura, Y., and Kimura, Y., “Study on the reed community at Lake Biwa-Physical, chemical and ecological characteristics in the reed community-,” *Mem. Fac. Edu., Shiga Univ., Ser. Nat. Sci.*, **43**, 19~41(1993).
  23. 최든혁, 최광순, 김동섭, 김세원, 최동호, 황인서, 이윤경, 강호, “시화호 인공습지에서 시공간적 수질분포 및 오염물질 제거효율 평가,” *대한환경공학회지*, **30**(10), 1013~1020(2008).