

## 대형수생식물이 팔당호의 물질 수지에 미치는 영향

변 명 섭\* · 박 혜 경 · 정 동 일<sup>1</sup>

(국립환경과학원 한강물환경연구소, <sup>1</sup>국립환경과학원 환경총량관리연구부)

Effects of Macrophytes on Budget of Matters in Lake Paldang. *Byeon, Myeong-Seop\**, *Hae-Kyung Park and Dong-Il Jung<sup>1</sup>* (Han River Environment Research Center, National Institute of Environment Research. 627 Yangsu-ri, Yangseo-myeon, Yangpyung-gun, Kyunggi-do 476-823, Korea; <sup>1</sup>Environment Cap System Research Department, National Institute of Environment Research)

To evaluate the primary production and nutrient uptake of macrophytes in Lake Paldang, this study investigated the vegetation areas of six dominant aquatic plants including *Typha angustifolia*, *Zizania latifolia*, *Phragmites australis*, *Trapa japonica*, *Nelumbo nucifera* and *Savinia natans*, and contents of carbon, nitrogen and phosphorus of each macrophyte. Total vegetation area of six dominant aquatic plants was 1.37 km<sup>2</sup>. Among them, *Typha angustifolia* was the most wide-distributed species which occupied the 46.7% of total vegetation area. Littoral zone of South Han river had the largest vegetation area with 0.458 km<sup>2</sup>, and North Han river, Kyungan river and confluence area in the order named. The results of the contents of carbon, nitrogen and phosphorus of macrophytes showed that the carbon contents of emergent macrophytes was higher than that of other life-forms. The nitrogen content of *Salvinia natans*, free-floating macrophyte was highest and that of *Typha angustifolia*, emergent macrophyte was lowest. The phosphorus content of *Trapa japonica* showed the highest content of phosphorus among six macrophytes and emergent macrophytes such as *Zizania latifolia* and *Phragmites australis* showed lower contents of phosphorus than other life-forms. The annual net primary production of macrophytes in Lake Paldang, 2004, was calculated as 758.4 ton C yr<sup>-1</sup> and the annual net nitrogen and phosphorus uptake of macrophyte was 16,921 kg N yr<sup>-1</sup> and 1,841.0 kg P yr<sup>-1</sup> respectively. Comparing the total budget of organic carbon, nitrogen and phosphorus in Lake Paldang, the amount of primary production and nutrient uptake by macrophytes take a small portion in total budget implying macrophytes do not play an important role in budget of matters in river-type lake, Lake Paldang.

**Key words :** vegetation area, macrophytes, primary production, nutrient uptake, Lake Paldang

### 서 론

수체에서 대형수생식물은 생육기에는 저질토나 수체로

부터 질소와 인 등의 무기영양소를 흡수하고 물 속에 있는 줄기 등에 의하여 유속이 감소되어 부유물질의 침전 및 여과작용이 생기며 미생물이 부착해서 성장 할 수 있는 공간을 제공해 준다 (Kadlec and Knight, 1996). 수위

\*Corresponding author: Tel: 031) 772-7896, Fax: 031) 773-2268, E-mail: zacco@me.go.kr

의 변화가 적어 수심의 변화폭이 적은 수체에서는 정수 식물, 침수식물, 부엽식물 및 부유식물 등 다양한 생활형을 가진 수생식물이 성장하는데 이러한 수생식물의 지상부는 빛을 차단하고 영양염류에 대해 식물플랑크톤과 경쟁하여 식물플랑크톤의 성장을 억제하며 또한 근권에서는 저질의 토양을 안정화시켜 침식을 방지하고, 지상부에서 전달된 산소를 이용하여 근권 미생물 군집을 호기성으로 유도하며 영양염류를 흡수하는 기능을 갖는 등 (Brix, 1997) 수중생태계 먹이망의 주요한 구성원으로서 다양한 역할을 수행하며 수계의 물질순환에 기여한다.

수체의 부영양화 유발 물질인 인과 질소의 거동에서 수생식물은 성장기에는 수계로부터 많은 양의 인과 질소를 흡수하는 저장소(sink)의 역할을 하지만 고사기에는 흡수하였던 영양염류를 수계로 다시 방출(source)하기도 한다(Hill, 1986). 수생식물에 의한 인의 제거작용은 침전이나 흡착 등에 의하여 이루어지고 질소는 탈질과정에 의하여 제거된다(Brix, 1997). 그 중 부유식물은 주로 뿌리에 의하여 물질제거가 이루어지는 반면 정수식물 등의 다른 수생식물에서는 직접흡수 외에 침전, 흡착 및 탈질의 과정이 주를 이룬다고 알려져 있고(공 등, 1999) 영양염류의 제거효율은 수생식물의 밀도, 유입수의 농도가 높은 때 더욱 효과적인 것으로 조사되었다(Nam *et al.*, 2002).

부영양화 조절 및 수질 정화 측면에서 대형수생식물에 의한 수중의 영양염류 흡수 등에 대하여 주로 인공적으로 조성한 습지에서 축산폐수, 농촌하수 등의 처리에 대한 연구가 이루어져 왔다(이 등, 1985, 1992; 국립환경연구원, 1996; 함 등, 2005). 수생식물 중에서 갈대, 미나리, 창포 등이 영양염류 및 부유물질의 제거에 효율적인 것으로 알려졌으며(Nam *et al.*, 2002) 정수식물 중에서는 갈대, 줄 및 애기부들에 의한 수질개선 효과가 있는 것으로 연구되었다(농림부, 1998, 1999). 자연수역을 대상으로 수생식물의 정화능에 대한 연구로는 조 등(1994)과 국립환경연구원(1996)의 연구가 있다.

수도권 주민의 상수원으로 쓰이는 팔당호는 평균 수심이 약 6.4 m이고 소규모의 만입부가 잘 발달되어 있으며 담수 이후 댐 축조 전 농경지였던 일부 하안에 대형수생식물에 의한 신속한 천이가 이루어졌고, 더욱이 연중 수위변동이 크지 않아 남한강, 북한강, 경안천 및 댐앞 수역의 양안에 비교적 넓은 수생식물 서식지가 발달되어 있다(한강수계관리위원회, 2004). 이러한 팔당호의 수생식물에 대한 연구는 주로 수생식물의 분포(Cho and Kim, 1994)와 수생식물상(최 등, 1996, 임 등, 2005)에 대해 이루어졌고, 수초의 기능적인 측면에서는 조 등(1994),

김과 조(1996)의 연구가 있으나 팔당호 전체를 대상으로 수생식물 현존량 및 물질 생산능에 대한 실측 조사는 거의 이루어지지 않은 실정이다.

팔당호를 비롯한 대규모 호수가 대도시의 상수원수로서 역할을 수행하기 위해서는 충분한 수량과 함께 양호한 수질을 유지하는 것이 필수적이며 이러한 수질을 유지하기 위해서는 호수 내 유기물 및 부영양화 물질인 인, 질소의 관리가 반드시 필요하며 이를 위해서는 우선 수중 생태계에서 유기물 및 부영양화 물질의 거동과 거기에 작용하는 생태계 구성 인자의 역할에 대한 규명 연구가 필수적이다.

본 연구에서는 수심이 얇고 연안대가 발달한 팔당호에서 주요 1차생산자인 대형수생식물의 서식현황을 조사하고 수생식물에 의한 연간 탄소 및 인, 질소의 흡수량을 측정하여 팔당호의 물질 수지에서 수생식물의 역할을 규명하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사대상 수역 및 조사 시기

대형수생식물의 서식면적 조사를 위하여 수생식물이

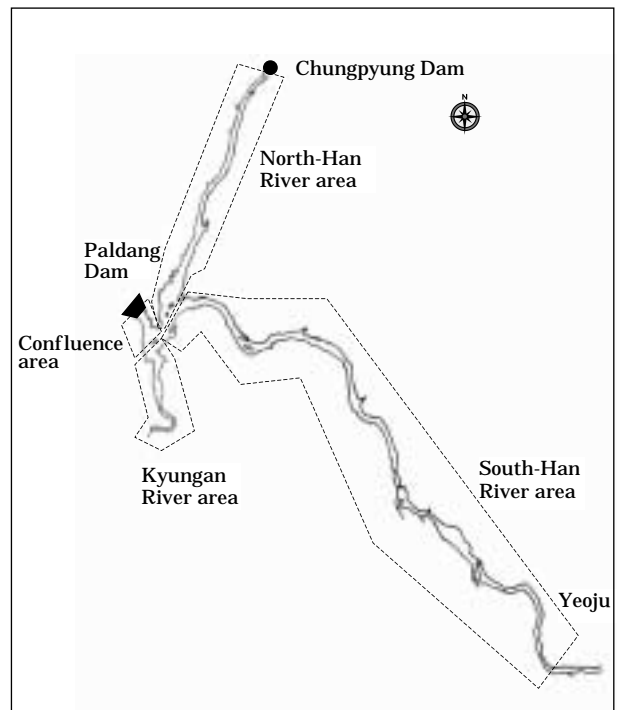


Fig. 1. Map showing the study area of Lake Paldang.

충분히 성장한 상태인 2004년 8월부터 11월까지 조사하였으며 대상 수역은 팔당호 전체를 대상으로 하였고 4개 수역인 남한강, 북한강, 경안천 및 본류 수역으로 구분하여 조사하였다. 남한강 수역은 여주부터 팔당댐 방향으로 우안(右岸)은 경기도 양평군 양서면 양수리의 두물머리 끝까지, 좌안(左岸)은 경기도 광주시 남종면 분원리까지로 하였다 (Fig. 1). 북한강 수역은 청평댐 하류에서 팔당호 방향으로 우안은 경기도 남양주시 능내리까지, 좌안은 경기도 양평군 양서면 두물머리 끝까지를 조사대상수역으로 하였다. 경안천 수역은 경기도 퇴촌면 정지리보(堡)를 시작점으로 오른쪽은 경기도 남종면 분원리까지, 왼쪽은 경기도 광주시 삼성리 소재 상수원관리사무소 선착장까지를 대상으로 조사하였고 본류수역은 경기도 남양주시 능내리부터 댐까지의 양안(兩岸)의 대형수생식물 서식지역을 조사하였다. 조사 대상 수역 중 인위적으로 연밭을 조성하여 대량으로 연을 재배하는 생태학습장 등은 배제하였다.

## 2. 조사대상 대형수생식물의 선정 및 대형수생식물 서식면적 조사

조사대상 대형수생식물은 팔당호에 서식하고 있는 대형수생식물 중에서 예비조사를 통하여 서식면적이 가장 넓은 애기부들, 줄, 갈대, 연, 마름 및 생이가래 등 6종을 선정하였다.

선정된 각 대형수생식물의 서식면적의 측량은 호안으로의 접근이 가능하고 수심이 얇은 수역은 줄자를 이용하여 직접 측정하였고, 수심이 깊고 접근이 어려운 수역은 선박을 이용하여 대형수생식물서식지로 접근한 후 거리측정기 (YardagePro 1000, BUSHNELL, USA)와 자체 제작한 반사판 (1 m × 1 m)을 이용하여 측량하였다.

## 3. 대형수생식물의 물질 생산량 조사

각 대형수생식물 종별 물질생산량을 조사하기 위하여 방형구 (1 m × 1 m, 3회)를 이용하여 대형수생식물 종별로 지상부를 채취한 후 실험실로 옮겨와 건조기에서 80°C로 5일간 건조시킨 후 건중량을 측정하였다. 건조된 대형수생식물체를 분쇄기를 이용하여 미세분말화 한 후 원소분석기 (Elemental, vario EL)로 종별 탄소, 질소 함량을 조사하였으며, 인의 함량은 대형수생식물 분말을 일정량 증류수에 현탁시킨 다음 현탁액에  $K_2S_2O_4$ 를 첨가하여 가압분해하고 여과 한 후 아스코르빈산을 첨가, 발색시켜 흡광도를 측정하여 (환경부, 1997) 나온 결과를 건중량당 인 함량으로 계산하였다. 결과는 3회 이상 측정된 값을

평균하였다.

팔당호 전체에서 대형수생식물에 의한 물질생산량은 1 × 1m의 방형구 내의 대형수생식물의 지상부 건중량을 종별 서식면적으로 곱하여 각 종별로 팔당호 내 전체 건중량을 구한 후 여기에 위에서 측정한 대형수생식물군별 건중량당 물질 함량을 곱하여 지상부의 물질생산량을 구하였다. Wetzel (2001)과 오 (1987)에 따르면 대형수생식물의 지하부 순생산량은 총 순생산량의 약 30%에 해당한다. 이를 근거로 팔당호에서 대형수생식물에 의한 지하부 순생산량을 구하고 지상부와 합하여 이를 팔당호의 대형수생식물에 의한 연간 순생산량으로 하였다. 조사대상 대형수생식물의 분류는 최 (2000)를 기준으로 하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 팔당호의 대형수생식물의 분포

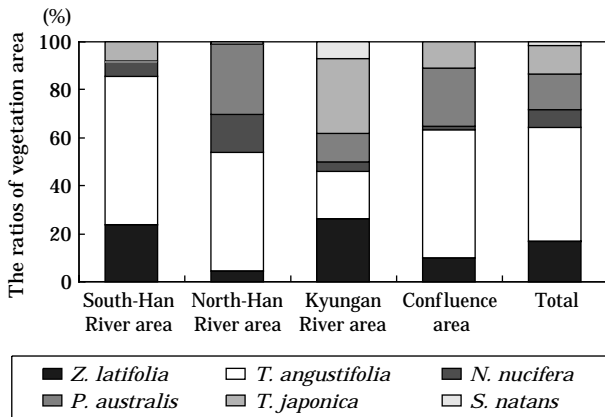
팔당호에 서식하는 수변 식생에 대한 조사 결과를 보면 팔당호 연안에는 38종의 수생식물을 포함하여 총 128종의 관속식물이 서식하는 것으로 나타났다 (임 등, 2005). 대형수생식물 중에서 팔당호에 가장 넓은 면적에서 서식하는 6종의 우점 수초 즉, 애기부들 (*Typha angustifolia*), 갈대 (*Phragmites australis*), 줄 (*Zizania latifolia*), 마름 (*Trapa japonica*), 연 (*Nelumbo nucifera*) 및 생이가래 (*Salvinia natans*)를 대상으로 분포면적을 실측 조사한 결과, 팔당호 만수면적의 약 3.8%인 1.37 km<sup>2</sup>로 나타났다 (Table 1). 이러한 조사결과는 1988년에 조사된 정수식물과 부엽식물의 서식면적과 비교해 볼 때 48%의 서식면적이 감소한 것으로 나타났다 (김 등, 1988).

수역별 대형수생식물의 서식면적은 남한강, 북한강, 경안천 그리고 합류수역의 순서로 나타났다. 남한강의 대형수생식물 서식면적은 0.458 km<sup>2</sup>이었고 양수리 용늪 수역과 경기도 광주시 남종면 일대의 연안대를 따라 애기부들이 절대 우점하는 현상을 보였으며 줄과 연이 국지적으로 밀집하여 서식하고 있었다.

북한강의 대형수생식물 서식면적은 0.383 km<sup>2</sup>이었고 남한강과 마찬가지로 양쪽 호안에 대형수생식물이 서식하고 있었으며 특징적인 점은 서식면적 기준으로 볼 때 남한강보다는 갈대의 서식면적이 월등히 높았다. 경안천은 0.307 km<sup>2</sup>의 대형수생식물 서식면적을 가지고 있는 것으로 나타났으며 다른 수역과 달리 정수식물인 애기부들에 비하여 부엽식물인 마름의 분포면적이 더 넓은 특징을 가지고 있었다. 또한 다른 수역에서는 거의 발생하지 않은 부유식물인 생이가래가 7%의 서식면적을 차지

**Table 1.** Vegetation area of six dominant macrophytes in Lake Paldang.

Species	<i>P. australis</i>	<i>Z. latifolia</i>	<i>T. angustifolia</i>	<i>T. japonica</i>	<i>N. nucifera</i>	<i>S. natans</i>
Vegetation area (km <sup>2</sup> )	0.201	0.229	0.650	0.160	0.105	0.021

**Fig. 2.** The ratios of vegetation areas of six dominant macrophytes in four water areas of Lake Paldang.

하는 것으로 나타났다. 팔당호 수면관리기관에서는 물의 흐름과 바람의 영향에 의하여 경안천의 생이가래가 팔당호의 전 수면에 확산되는 것을 방지하기 위하여 경안천의 일부 만입부 수역에 오일펜스를 이용하여 가두어 놓았다. 합류수역에서는 하류방향으로 왼쪽 호안은 대형수생식물지대가 발달되지 않고 오른쪽 호안도 거리가 짧아서 서식면적이 넓지 않아 0.217 km<sup>2</sup>로 나타났다. 4개의 조사대상 수역에서 연과 마름의 분포는 물의 흐름이 빠르지 않은 만입부에서 주로 서식하는 것으로 나타나 남한강의 양수리 용늪, 양수대교 하부의 만입부, 북한강의 서종리 만입부, 남양주시 조안면의 만입부, 남종면 귀여리 만입부, 조안면 능내리의 만입부 등에서 주로 서식하였다.

생활형에 따른 서식면적을 보면 정수식물이 1.08 km<sup>2</sup>, 부엽식물이 0.27 km<sup>2</sup>, 부유식물은 0.02 km<sup>2</sup>를 차지하고 있는 것으로 나타났다.

6종의 우점 대형수생식물의 팔당호 서식면적 점유 비를 보면 애기부들이 전체 대형수생식물 서식면적의 약 47%를 차지하여 가장 넓게 분포하는 것으로 조사되었고 다음으로 줄, 갈대, 마름, 연과 생이가래 순으로 분포하였다(Fig. 2).

각 수역별 우점 대형수생식물의 서식면적을 보면 수역에 따라 서로 다른 분포 비를 보였는데, 남한강 수역에서 가장 많은 면적을 차지하는 대형수생식물은 정수식물인

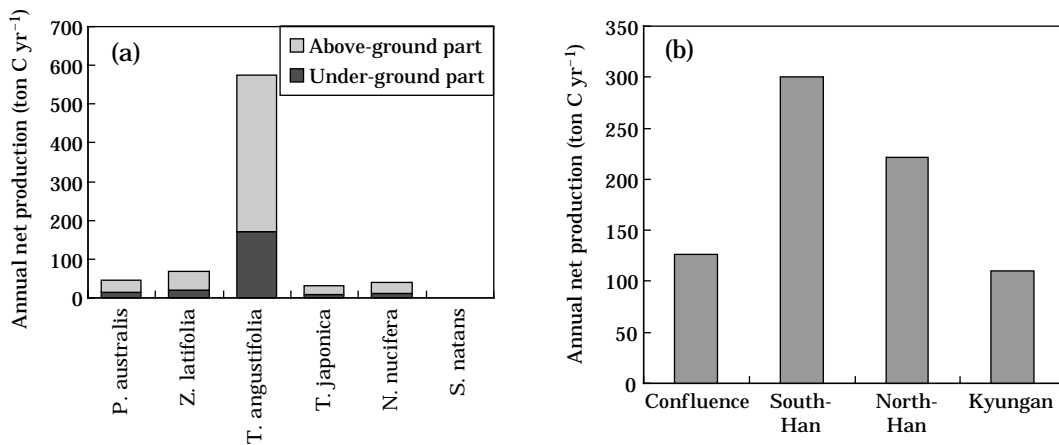
애기부들로 전체 대형수생식물 서식면적의 62%를 차지하고 있는 것으로 나타나 북한강 수역의 50%, 경안천 수역의 20%보다 높게 나타났다. 특히 양수대교 및 용담대교 하단부, 북포천과 광주시 남종면 일대에 가장 많이 분포하는 것으로 나타났다. 줄은 남한강 양안(兩岸)에 골고루 분포하고 있었으며 갈대의 서식범위는 전체 서식면적의 0.4% 정도의 점유율만을 나타내었다. 양수대교 하단부의 좁은 면적에서 연이 서식하고 있었고 남종면의 팔당호 습지에서는 넓은 면적에서 서식하고 있었다.

북한강 수역에서 가장 많이 분포하는 대형수생식물도 애기부들로 49.6%를 차지하였는데 양평군 서종면 일대와 남양주시 진중리 수변, 송촌리 호안 등에 집중적으로 서식하고 있었으며 북한강 양쪽 호안을 따라 소규모 군집을 이루고 있었다. 갈대도 전체 서식지의 28.8%를 차지하는 점유율을 나타내어 남한강 수역이나 경안천 수역보다 서식면적이 넓게 나타났다. 남양주시 조안면 호안의 섬에 집중 서식하고 있었으며 남양주시 진중리에서 상류방향으로 진행하는 호안에 서식하고 있었다. 연의 서식범위는 15.8%로 나타났는데 송촌리 지역의 길게 형성된 늪지와 삼봉리와 양수리에 주로 분포하였다. 이 밖에도 줄과 마름이 일부 수역에 서식하는 것으로 조사되었는데 특히 마름은 정수역을 선호하는 특성상 남양주시 조안면 호반의 섬 주변부에서만 서식하고 있었으며 다른 수역에서는 극히 소수의 개체나 적은 서식지만 발견되었다.

경안천 수역은 팔당호의 담수화가 이루어지기 전에는 전담이었고 그 표고가 현재의 수면 밑에 0.5~1.0 m 깊이로 잠긴 지형적 특성 때문에 대형수생식물의 분포면적이 넓다(김 등, 1988). 경안천의 대형수생식물 종 구성은 다른 수역에 비하여 상대적으로 균등한 분포를 보였다. 경안천 수역에서는 정수식물인 애기부들은 전체 대형수생식물 서식면적의 약 20%만 차지하였고 부엽식물인 마름이 31%로 나타났다. 또한 다른 수역에 비하여 생이가래가 많은 면적을 차지하고 있었는데 부유식물인 이 대형수생식물은 다른 수역에서는 거의 발생하지 않거나 아주 적은 개체수만이 발생하는데 비하여 경안천 수역에서는 매년 9~10월부터 집중 발생하는 특성을 가지고 있으며 예년의 경우에도 경안천 전 수역과 본류 수역이 생이가래에 뒤덮이는 현상이 발생하기도 하였다. 이렇게 성장한 생이가래는 다른 대형수생식물과 마찬가지로 사멸

**Table 2.** Carbon, nitrogen and phosphorus contents of six dominant macrophytes in Lake Paldang.

Life form	Species	Contents of matters (mg g <sup>-1</sup> DW)		
		Carbon	Nitrogen	Phosphorus
Emergent	<i>Phragmites australis</i>	435.9	15.3	0.823
	<i>Zizania latifolia</i>	476.1	18.4	0.596
	<i>Typha angustifolia</i>	415.7	6.4	1.037
Floating leaved	<i>Trapa japonica</i>	439.8	17.6	1.108
	<i>Nelumbo nucifera</i>	288.9	21.1	1.257
Free floating	<i>Salvinia natans</i>	373.6	22.7	1.030



**Fig. 3.** The comparison of yearly net primary production of macrophytes by kinds of macrophytes (a) and water areas (b) in Lake Paldang (2004).

후 바닥에 가라앉아 분해되면서 저층의 산소요구량을 증가시키는 원인이 될 것으로 예상된다.

본류 수역의 대형수생식물분포는 북한강과 유사한 양상을 보여 애기부들의 분포면적이 전체 대형수생식물 서식면적의 53%를 차지하는 것으로 나타났다. 갈대가 24%의 점유율을 보였으며 마름과 줄이 약 10%의 서식범위를 나타내었다. 연은 남양주시 능내리를 하류방향으로 돌아가는 곳에 일부 서식하고 있었다.

**2. 대형수생식물에 의한 물질생산량**

팔당호에서 대형수생식물에 의한 물질 생산량을 측정하기 위해서 6종의 우점 대형수생식물의 탄소, 질소 및 인 함량을 조사한 결과, 탄소의 함량은 정수식물군에서 비교적 높게 나타났으며 질소와 인은 부엽식물, 부유식물군에서 정수식물보다 높은 함량을 보였다 (Table 2).

각 대형수생식물별 탄소 함량을 보면 정수식물인 줄, 애기부들 및 갈대에서 다른 생활형에 비해 높게 나타났으며 그중 특히 줄이 476.1 mg C · g<sup>-1</sup> DW로 가장 높은 함량을 나타내었다. 연은 439.8 mg C · g<sup>-1</sup> DW, 생이가래

는 373.6 mg C · g<sup>-1</sup> DW의 탄소함량을 보였고 마름이 가장 낮았다.

대형수생식물 중별 연간 1차생산량을 보면 전체 대형수생식물에 의한 1차생산량은 758.4 ton C · yr<sup>-1</sup>로 나타났다 그중 애기부들에 의한 1차생산량이 가장 많아 연간 573.8톤의 탄소를 합성하는 것으로 나타났으며 이는 전체 대형수생식물에 의한 유기물 생산량의 76%를 차지하는 것이다. 다음으로는 줄, 갈대, 연 및 마름의 순으로 줄은 67.6 ton C · yr<sup>-1</sup>, 갈대가 44.4 ton C · yr<sup>-1</sup>으로 조사되었다 (Fig. 3a).

팔당호 수역별로 대형수생식물의 연간 1차생산량을 보면 대형수생식물 분포면적이 가장 넓었던 남한강수역에서 가장 많은 1차생산량을 보였으며 경안천 수역이 가장 적었다. 특히 전체 대형수생식물 분포면적으로는 경안천 수역이 합류수역보다 더 넓었으나 탄소함량이 높은 애기부들의 분포면적이 합류수역에서 약 2배 정도 넓어 합류수역의 탄소생산량이 더 많은 것으로 나타났다 (Fig. 3b).

본 연구와 동일한 시기에 조사된 팔당호 전체 유기물 수지 조사에 의하면 팔당호에서 식물플랑크톤에 의한 1

차생산량은 3월부터 11월까지의 평균 값으로 약  $39.1 \text{ ton C} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 나타났고 외부 유입유기물과 저질에서 재부상된 유기물량을 합한 팔당호 유입유기물 총량은 약  $364 \text{ ton C} \cdot \text{day}^{-1}$ 으로 조사되었다 (한강수계관리위원회, 2004). 본 연구에서 조사된 대형수생식물에 의한 1차생산량인  $746 \text{ ton C} \cdot \text{yr}^{-1}$ 를 가지고 대형수생식물 생장기간을 4월부터 10월까지로 보고 팔당호에서 2004년 3월부터 11월까지의 대형수생식물에 의한 평균 1일당 1차생산량을 계산한 결과 약  $2.8 \text{ ton C} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 나타났다. 따라서 2004년 팔당호 내에서 생산된 1차생산량에서 대형수생식물이 차지하는 비율은 전체 1차생산량의 약 6.6%이었고 전체 유입유기물량에서는 약 0.8%를 차지하였다. 이상의 결과로 볼 때 팔당호는 수심이 얕고 수위변동이 적어 수변대가 발달하여 대형수생식물에 의한 물질생산이 상당한 비중을 차지할 것으로 예상되었으나 실제 조사 결과 팔당호 전체 수표면적에서 대형수생식물이 점하고 있는 서식면적은 약 3.8%에 불과하였고 또한 1차생산량은 총 1차생산량의 약 6.6%를 차지하여 팔당호의 내부생산에 큰 기여를 하지 않는 것으로 나타났다. 이런 결과는 하천형 호수인 팔당호가 수리학적 체류시간이 짧아 외부로부터 유입되는 유기물량이 내부에서 생산되는 1차생산량에 비해 월등히 많고, 또한 수체내 인, 질소 농도가 매우 높은 부영양 상태로 시기별로 식물플랑크톤의 대량발생이 빈번하게 일어나는 등 수체 내 식물플랑크톤의 증식이 매우 활발하여 식물플랑크톤에 의한 1차생산량이 절대적으로 많기 때문으로 판단된다.

한편 대형수생식물의 호흡 손실량을 대형수생식물에 의한 총 생산량의 25%로 보고 (오, 1987; Wetzel, 2001) 2004년 3월부터 11월까지 대형수생식물에 의한 평균 1일당 유기물 분해량을 산정한 결과 약  $0.9 \text{ ton C} \cdot \text{day}^{-1}$ 의 결과를 얻었다. 3월부터 11월까지 평균 1일당 팔당호 전체 유출유기물량이 약  $364 \text{ ton C} \cdot \text{day}^{-1}$ 이므로 (한강수계관리위원회, 2004) 전체 유출유기물량의 약 0.25%가 수생식물의 호흡에 의해 손실되는 것으로 나타났다. 또한 호내에서 수중 미생물에 의해 분해되는 유기물량의 평균 값은 약  $33.8 \text{ ton C} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 (한강수계관리위원회, 2004) 호내에서 생물의 작용에 의해 분해되는 유기물량 중 수생식물이 차지하는 비율은 약 2.6%로 조사되어 유출유기물에서도 대형수생식물이 차지하는 부분은 미미한 것으로 나타났다.

본 연구에서 조사된 대형수생식물의 질소 함량은 부유식물인 생이가래에서  $22.7 \text{ mg N} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DW}$ 로 가장 높게 나타났고 부엽식물이  $17.6 \sim 21.1 \text{ mg N} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DW}$ 로 나타났으며 정수식물이 다른 생활형보다 낮게 나타났다. 특히

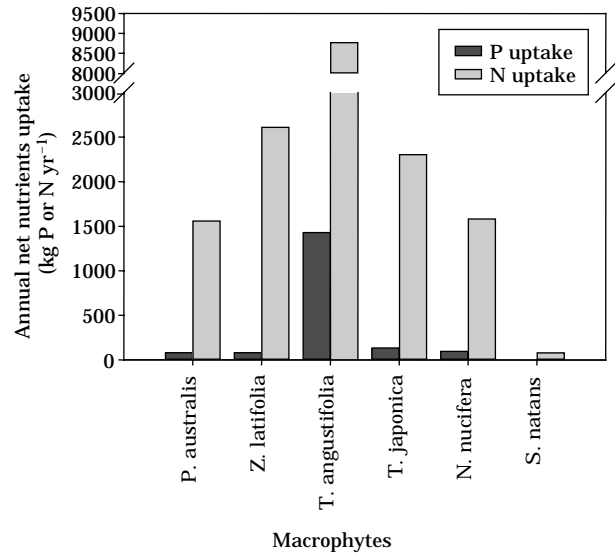


Fig. 4. The amount of yearly net phosphorus and nitrogen uptake of macrophytes in Lake Paldang (2004).

애기부들에서는  $6.4 \text{ mg N} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DW}$ 로 조사대상 대형수생식물 중에서 가장 낮아 부유식물인 생이가래의 28% 수준을 보였다 (Table 2).

각 대형수생식물별 질소함량에 건중량을 곱하여 팔당호에서 조사대상 대형수생식물에 의한 질소의 순흡수량을 산정한 결과 지상부와 지하부를 합쳐  $16,921 \text{ kg N} \cdot \text{yr}^{-1}$ 로 나타났다 (Fig. 4). 대형수생식물 중별 질소의 흡수량은 식물체내 함량은 제일 낮았으나 서식면적이 가장 넓었던 애기부들이  $8,773 \text{ kg N} \cdot \text{yr}^{-1}$ 로 가장 많은 질소를 흡수하는 것으로 나타났다. 생이가래는 질소의 함량 자체는 많지만 서식면적이 좁아 전체 질소 흡수량에서는 적은 부분만을 차지하였다.

팔당호 유기물 수지와 마찬가지로 본 연구와 같은 시기에 조사된 팔당호 질소 수지 조사 결과, 강우량이 적어 수리학적 체류시간이 연평균 체류시간보다 길었던 4월과 6월의 유입 무기질소량은 각각  $25.1, 70.5 \text{ ton N} \cdot \text{day}^{-1}$ 이었고 집중강우로 체류시간이 채 하루가 되지 않았던 7월의 유입 무기질소량은  $723.4 \text{ ton N} \cdot \text{day}^{-1}$ 이었다 (한강수계관리위원회, 2004). 탄소와 마찬가지로 대형수생식물에 의한 연간 질소 순흡수량을 4월부터 10월까지 평균 1일당 흡수량으로 계산하면 약  $79.1 \text{ kg N} \cdot \text{day}^{-1}$ 가 된다. 따라서 체류시간이 긴 시기에는 팔당호로 유입되는 총 무기질소의 약 0.1~0.3%가 대형수생식물에 의해 흡수되며, 체류시간이 짧은 시기에는 약 0.01%의 유입무기질소가 대형수생식물에 의해 흡수되는 것으로 산정되어 팔당호에서 대형수생식물이 수중 무기질소를 흡수하는 양

은 미미하여 대형수생식물에 의한 수질정화 효과를 기대하기는 어려울 것으로 나타났다.

팔당호 대형수생식물 종별 식물체내 인 함량을 조사한 결과, 마름이  $1.257 \text{ mg P} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DW}$ 의 인함량을 보여 조사 대상 대형수생식물종 중 가장 높은 인 함량을 보였고 정수식물인 줄과 갈대는  $0.595, 0.823 \text{ mg P} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DW}$ 로 다른 대형수생식물군보다 적은 인 함량을 보였다. 마름은 수중에서 줄기와 잔뿌리의 발달에 의한 표면적 확장으로 입자성 부유물질의 흡착, 미생물막의 형성 등에 의하여 인의 양이 증가한 것으로 판단된다. 6종의 우점 대형수생식물에 의한 인의 흡수량은  $1,841.0 \text{ kg P} \cdot \text{yr}^{-1}$ 로 나타났으며 이중 애기부들에 의한 흡수량이  $1,431.2 \text{ kg P} \cdot \text{yr}^{-1}$ 로 월등히 높아 전체 대형수생식물에 의한 인 흡수량의 77.8%를 차지하는 것으로 대부분의 인은 애기부들에 의하여 흡수되는 것으로 나타났다 (Fig. 4). 2004년 팔당호의 인 수치 조사에서 4월과 6월의 무기인산염의 유입량은  $0.152, 0.613 \text{ ton P} \cdot \text{day}^{-1}$ 이었고, 7월의 유입량은  $18.766 \text{ ton P} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 나타났다 (한강수계관리위원회, 2004). 본 연구에서 조사된 대형수생식물에 의한 인 흡수량으로 볼 때 체류시간이 긴 4월과 6월에 팔당호로 유입되는 무기인산염의 약 1.4~5.7%가 대형수생식물에 의해 흡수되었고 체류시간이 짧은 7월에는 총 유입 무기인산염의 약 0.05%가 대형수생식물에 의해 흡수되는 것으로 나타났다. 팔당호는 수리학적 체류시간이 짧아 대부분의 유입 물질이 호 내에서 순환되지 못하고 바로 하류로 방류된다. 2004년 팔당호 인 수치 조사에서도 4월, 6월, 7월에 유입된 무기인산염의 76~85%가 그대로 방류된 것으로 나타났다 (한강수계관리위원회, 2004). 따라서 호 내에 잔류하는 유입 무기인산염에 대한 대형수생식물의 순흡수량 비는 체류시간이 긴 경우 6~39%, 체류시간이 짧은 경우 약 0.3%로 나타나 체류시간이 긴 갈수기 동안에는 유입된 무기인산염의 상당량이 대형수생식물에 의해 흡수되는 것으로 나타났다. 이런 결과로 볼 때 팔당호에서 실제 식물플랑크톤의 대량발생을 유발하는 원인 물질인 무기인산염의 제거에 대형수생식물이 어느 정도 역할을 담당하고 있는 것으로 추정되며, 향후 인 흡수량이 높고 서식면적이 넓은 애기부들을 고사기에 적절히 제거하는 방법이 팔당호 수질개선을 위한 인의 저감 대책으로 이용 될 수 있을 것으로 판단된다.

## 적 요

팔당호에서 대형수생식물에 의한 일차생산과 영양염류

의 흡수량 등을 조사하기 위하여 2004년 8월부터 11월 까지 애기부들, 줄, 갈대, 마름, 연 및 생이가래 등 6종의 우점 대형수생식물종을 선정하여 서식면적과 건중량, 원소 함량을 측정하였다. 팔당호 전체에서 6종의 대형수생식물이 서식하는 총 면적은 약  $1.37 \text{ km}^2$ 이었고 그 중 애기부들이 팔당호 연안수역 식생면적의 46.7%를 차지하며 가장 우점하는 것으로 나타났다. 수계별로는 남한강의 대형수생식물 서식면적이  $0.458 \text{ km}^2$ 로 가장 많았고 그 다음으로는 북한강, 경안천 및 합류 수역의 순으로 나타났다. 조사대상 대형수생식물을 대상으로 식물체내 탄소, 질소, 인의 함량을 조사한 결과, 각 대형수생식물별 탄소 함량은 정수식물인 줄, 애기부들 및 갈대에서 다른 생활형에 비해 높게 나타났으며 그중 특히 줄이 가장 높은 함량을 나타내었고 마름이 가장 낮았다. 대형수생식물 종별 질소 함량은 부유식물인 생이가래가 가장 높게 나타났고 정수식물인 애기부들이 가장 낮았다. 대형수생식물 종별 인 함량은 마름이 가장 높았고 정수식물인 줄과 갈대가 다른 대형수생식물군보다 적은 인 함량을 보였다. 팔당호에서 대형수생식물에 의한 2004년도 연간 물질순생산량을 산정한 결과 1차생산량은  $758.4 \text{ ton C} \cdot \text{yr}^{-1}$ 로 나타났고, 질소의 순흡수량은  $16,921 \text{ kg N} \cdot \text{yr}^{-1}$ , 인의 순흡수량은  $1,841.0 \text{ kg P} \cdot \text{yr}^{-1}$ 로 나타났다. 같은 시기에 조사된 팔당호의 물질 수치와 비교한 결과 팔당호에서 대형수생식물에 의한 1차생산량 및 물질 흡수량은 전체 1차생산량 및 유입량에 비해 미미한 것으로 조사되었다.

## 사 사

본 연구는 2003년도 한강수계 환경기초조사사업 「수중생태계 물질순환 및 에너지 흐름 조사」의 일부로 수행된 연구임

## 인 용 문 헌

- 공동수, 정원화, 전선옥. 1999. 생활형 및 생육환경에 따른 대형수생식물의 생산성과 영양물질 제거능. *Kor. J. Limnol.* **32**(3): 216-228.
- 국립환경연구원. 1996. 호소내 오염하천 유입부의 식물에 의한 정화처리 연구(II). NIER No. 96-17-448.
- 김준호, 민병미, 조강현. 1988. 팔당상수원 보호 종합대책에 관한 연구(I). NIER No. 88-15-540 p. 220.
- 김준호, 조강현. 1996. 대형수생식물에 의한 상수원 수질의 개선 : 팔당호의 연구사례. 한일지방간 생태공학적 수질개선

- 공법에 관한 심포지움 초록집. 강원대학교 환경연구소. p. 3-17.
- 농림부 농어촌진흥공사. 1998. 수생식물에 의한 수질개선기법 연구 (I)
- 농림부 농어촌진흥공사. 1999. 수생식물에 의한 수질개선기법 연구 (II).
- 오경환. 1987. 정양호 생태계에 있어서 수생관속식물의 군집구조와 생산성 및 영양염류의 순환. 서울대학교 이학박사학위논문.
- 이규승, 김문규, 변종영, 이종식. 1985. 수생식물을 이용한 수질오염원 제거에 관한 연구, 제2보 부레옥잠의 영양염류 및 중금속 제거효과. 한국잡초학회지 5: 149-154.
- 이병현, 이남희, 김정숙. 1992. 조류성장이 부레옥잠을 이용한 폐수처리공법의 유출수에 미치는 영향. 환경과학회지 1: 81-92.
- 임용석, 마선미, 나성태, 최홍근, 신현철. 2005. 팔당호 연안생태계의 수생식물상과 생태적 특성. 한국육수학회지 38(1): 30-44.
- 조강현, 박상규, 김준호. 1994. 팔당호 연안대에서 저토와 수체에 대한 대형수생식물의 반작용. 한국육수학회지 27(1): 59-67.
- 최홍근, 김호준, 신현철. 1996. 한강유역 수생관속식물의 분포. 아주대학교 자연과학논문집 1: 375-381.
- 최홍근. 2000. 수생관속식물. 정행사.
- 한강수계관리위원회. 2004. 수중생태계 물질순환 및 에너지 흐름 조사. 한강수계 환경기초조사사업.
- 함종화, 윤춘경, 김형철, 구원석, 신현범. 2005. 식생피도가 인공습지의 질소 및 인처리효율에 미치는 영향과 습지식물의 조성 및 관리. 한국육수학회지 38(3): 393-402.
- 환경부. 1997. 수질오염공정시험법 p. 208-209.
- Brix, H. 1997. Do macrophytes play a role in constructed treatment wetland? *Wat. Sci. Tech.* 35(5): 11-17.
- Cho, K.H. and J.H. Kim. 1994. Distribution of aquatic macrophytes in the littoral zone of Lake Paldang, Korea. *Kor. J. Ecol.* 17: 435-442.
- Hill, B.H. 1986. The role of aquatic macrophytes in nutrient flow regulation in lotic ecosystems. American Society for testing and materials. Philadelphia p. 157-167.
- Kadlec, R.H. and R.L. Knight. 1996. *Treatment wetlands.* CRC press, FL.
- Nam, G.S., B.H. Park, J.O. Kim, K.S. Lee, G.J. Joo and S.J. Lee. 2002. Purification characteristics and hydraulic conditions in an artificial wetland system. *Korean J. Limnol.* 35(4): 285-294.
- Wetzel, R.G. 2001. *Limnology* (3rd ed.), p. 559. Academic press.

(Manuscript received 2 January 2006,  
Revision accepted 13 March 2006)