

인공섬을 이용한 소형 저수지의 수질 개선

박현진¹⁾ · 권오병²⁾ · 안태석¹⁾

¹⁾ 강원대학교 환경과학과, ²⁾ (주)아쌈

Water Quality Improvement by Artificial Floating Island

Hyun-Jin Park¹⁾, Oh-Byeong Kwon²⁾ and Tae-Seok Ahn¹⁾

¹⁾Dept. of Environmental Science, Kangwon National University, ²⁾Assum Ecological Systems, INC

ABSTRACT

For improvement of water quality, 20 m² of artificial floating plant islands planted with *Iris pseudoacorus*, were installed in small pond on March, 1999. Small pond has surface area 1,000 m² and mean depth 1.5 m. The density of plants was 16 per m² by using jute pot. Environmental parameters such as COD, SS, T-N, T-P and planktons were biweekly measured from 29 March to 28 September. Because of the small portion of floating island, the effect for water quality improvement was not sufficient. But considering the data of plant growth and nitrogen and phosphorus uptake capacity of plant, about 40% of coverage by artificial floating island was needed for elimination of whole nutrients from inflow.

key words : *artificial floating island, pond, nutrients removal, water quality improvement*,

I. 서 론

생활의 도시화, 산업화의 진전에 따라 물의 사용량은 지속적으로 증가하고, 이러한 생활 오수의 발생량 증가는 주변 수계로의 영양염류의 유입을 증가시켜 부영양화를 초래하며, 수생 생태계의 자연정화능력을 초과함으로써 생물의 다양성이 상실되고 있다. 또한 우리 나라의 호소, 하천은 오염물질에 쉽게 노출되어 있어 인위적인 요인뿐만 아니라 자연적인 요인에 의해서도 부영양화가 쉽게 발생할 수 있는 특징을 가지고 있다. 이렇게 부영양화가 진행됨에 따라 호소내의 유기물은 증가되며, *Microcystis sp.*와

같은 남조류의 증식이 일어나며, 이에 따른 수계내의 무산소층의 생성, 어류 및 동·식물 플랑크톤의 감소 등으로 결국에는 죽은 호수로 전락하게 된다.

수중 생태계에서 생물은 환경요인의 작용에 의해 생육이 조절되는 피동적 측면과 아울러 생물 자체의 반작용에 의해 환경을 변화시키는 능동적 측면을 함께 지니고 있으며, 이러한 생물의 능동적 측면을 이용한 생물에 의한 수질환경의 개선은 일찍부터 자연정화의 하나로서 인식되어 왔으나, 이러한 기능을 인위적으로 극대화하려는 시도는 최근에 이르러서야 구체화되고 있다. 이러한 방법을 생태공학 (ecological engineering)

또는 생태 기술 (ecotechnology)라고 하며, 수생 관속식물 및 부착조류의 영양염류 제거능을 이용한 상향조절은 국내에서도 적용 가능성을 검증한 바 있다 (공동수 등, 1994; 공동수, 1995).

수생관속식물에 의한 자연정화는 1960년대에 개발된 이후 기존의 물리·화학 및 미생물학적 처리의 보완, 수질정화와 친수 공간의 확보를 겸한 습지조성, 그리고 실내 공기오염에 대한 정화 등에 광범위하게 적용되고 있다 (김준호와 조강현, 1996). 인공 식물섬 위 에 식재한 수생식물은 성장하면서 식물의 뿌리를 통하여 부영양화의 원인이 되는 무기 영양 원소를 흡수하여 수체에서 영양염류를 제거한다. 또한 부유 물질과 유기물을 흡착·분해·침전시키는 기능을 가짐으로써, 유기물질을 제거하여 물의 탁도를 줄일 수 있다. 또 다른 중요한 기능은 물 속으로 자란 식물 뿌리에 부착한 미생물에 의한 유기물질 분해이다 (안태석, 1998). 이러한 인공 식물섬은 일본에서 가스미가우라호에 설치된 이후 일본 내의 여러 호수에 설치되어 있다 (Simatani, 1996). 국내에서는 (주) 아섬이 국내 여러 골프장의 연못에 인공식물섬을 설치하여 수질 개선 및 경관 창출에 기여하였다. 그러나, 이 식물섬에 의한 수질개선효과와 수질 개선에 필요한 적정 면적에 대한 연구는 수행되지 않았다.

이 연구에서는 골프장내의 소규모 저수지의 수질 개선을 위하여 인공 식물섬을 사용하여 수질 개선효과, 식물의 성장 등을 조사하였고, 적정 규모를 산정하였다.

II. 재료 및 방법

1. 인공 식물섬의 구조 및 규모

인공 식물섬의 구조는 Fig. 1과 같으며, 부유틈, 부채, 수생식물, 계류장치로 구성되어 있으며, 각각의 기능은 다음과 같다.

- 1) 부유틈-부유 쓰레기나 파랑, 유숙 등의 충격으로부터 인공식물섬을 보호한다.
- 2) 부 채-매질과 수생식물을 띄우고 고정한다.

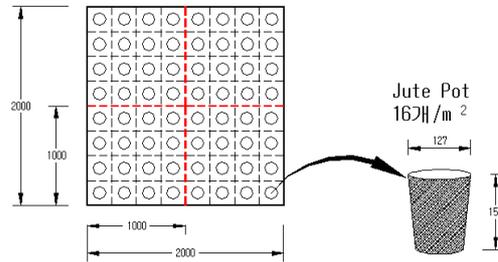


Fig. 1. Overview of artificial floating island. Unit is mm.

3) 수생식물-영양염류의 흡수 및 유기물과 부유물질의 침전, 분해한다.

4) 계류장치-수위변동, 유속, 유량의 변동에 견딜 수 있는 장치이다

20m²(2m×2m×5EA)의 인공식물섬을 1999년 3월 15일 강원도 춘천시 인근 골프장내의 연못에 설치하였다. 식물은 갈대 (*Phragmites communis*), 줄 (*Zizania latifolia*), 노랑꽃창포 (*Iris pseudoacorus*)를 포트를 이용하여 식재하였다. 이 중 갈대, 줄은 연못에 서식하는 오리가 먹어 치워, 5월 17일에 모든 식물을 다시 식재하였고, 9월 17일에는 노랑꽃창포 만을 재식재하였다.

2. 조사지 개요 및 조사 방법

조사 대상 연못은 저수량 1,500m³, 평균 수심은 약 1.5m이며 체류시간은 15일이다. 또한 이 연못으로는 골프장내 2차 처리된 생활오수가 평일에는 100t/day, 주말에는 150t/day이 유입된다. 조사 시기는 인공식물섬을 조성한 후, 1999년 3월 29일부터 1999년 9월 28일까지 2주 간격으로 총 13회의 수질 분석과 3회에 걸쳐 생물상을 조사하였다.

2.1 환경요인분석

조사지점으로 선정한 5개 지점 (Fig. 2)의 수온(°C), 전기전도도(Conductivity)는 YSI Model 85로, pH는 pH meter(Istek, Model 75P)로 현장에서 측정하였다. 용존산소(DO), 화학적 산소요구량(COD)과 부유 물질(Suspended Solids), 영양염류(T-N, T-P), 엽록소 a의 농도를 Standard

Method(APHA, 1992)에 따라 분석하였으며, 인공식물섬 아래와 대조구로서 2개 지점을 선정하여 동·식물플랑크톤의 생물상을 조사하였다.

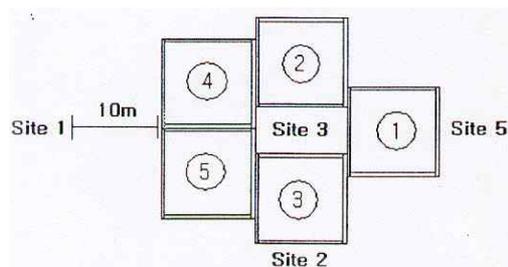


Fig. 2. Species of planting were *Phragmites communis* and *Iris pseudoacorus* at ①, *Phragmites communis* and *Zizania latifolia* at ②, ③, *Iris pseudoacorus* at ④, ⑤

2.2 분석방법

채취한 시료는 바로 실험실로 냉장 보관하여 운반한 후, 시료보관용 황산(18 or 20N H₂SO₄)을 1/1000의 비율로 첨가하여 보관하였다.

용존산소 농도와 생물학적 산소 요구량(Biochemical Oxygen Demand)은 Standard Method(APHA, 1992)의 Winkler azide modification법으로 측정하였으며, 부유물질(Suspended Solids)은 환경오염공정시험법에 따라 유리섬유 여지법으로 측정하였다. 총 인(Total phosphorus)은 ascorbic acid법으로, 총질소(Total Nitrogen)는 persulfate method로 측정하였다 (APHA, 1992). 엽록소 a는 GF/F glass filter로 여과한 후, 여과지는 냉동 보관하였다가 4주 이내에 glass filter를 tissue homogenizer에 넣고 90% acetone으로 추출한 후 원심 분리하여 상층액을 취하여 spectrophotometer로 750nm, 665nm에서 흡광도를 측정하여 Lorenzen 방법(1967)을 사용하여 계산하였다.

동·식물플랑크톤 계수를 위하여 인공식물섬 아래와 대조구에서 각각 10ℓ를 채수하였다. 동물플랑크톤은 55μm mesh size net로 여과시켰으며, 식물플랑크톤은 35μm mesh size net으로 여과시킨 후, 4% 중성포르말린으로 고정하였다. 동·식물 플랑크톤의 개체수는 chamber를 사용하여 광학현미경으로 ×100배율 하에서 검

경하여 계수하였다.

III. 결 과

1. 환경요인

조사 기간 중 수온등 환경요인의 값을 Table 1에 나타내었다. 각 지점간에 큰 차이는 없었다. 각 조사 지점간의 수온 변화는 큰 차이가 없으나, 각 조사 시기별 수온의 변화는 계절적인 영향에 의해서 5월부터 8월까지 증가하는 경향을 나타내었다. 조사 기간 중 각 조사 지점의 pH의 변화는 9.1~10.8의 범위를 나타내었다. 상대적으로 온도가 낮은 3월과 9월에 조류의 활동이 적어 pH 값이 낮게 측정되었으며, 조사 기간 중 가장 높은 수온을 보인 7월과 8월에 pH 값이 9.96~10.84로 가장 높은 값으로 측정되었다. 이 시기의 엽록소 a의 농도도 다른 지점에 비해 높은 값으로 분석되어, 조류의 광합성으로 인한 탄산염의 소모로 높은 pH 값이 나타난 것으로 사료된다.

Table. 1. The average values of environmental parameters of the pond, 1999.

	Temperature (°C)	pH	Conductivity (mS/cm)	DO (mg O ₂ /l)
St. 1.	24.4±5.8*	9.7±0.5	0.4±0.1	18.4±1.6
St. 2.	24.5±5.7	9.9±0.3	0.4±0.1	18.1±1.4
St. 3.	24.6±5.6	9.8±0.4	0.4±0.1	17.5±1.2
St. 4.	24.1±5.8	9.8±0.4	0.4±0.1	18.4±1.6
St. 5.	24.6±5.4	9.8±0.4	0.4±0.1	18.5±1.5

* mean±standard deviation

전기전도도는 0.221~0.491mS/cm로 측정되었으며, 수온과 pH값과 마찬가지로 수온이 낮은 3월과 9월에 다른 지점에 비해 낮은 값을 보였으며, 4월부터 8월까지의 비슷한 범위의 값을 나타내었다.

조사기간 동안 용존산소는 15.1~20.1mg/l의 값이었고, 조사기간 동안 과포화된 상태를 유지하였다. 조사지점에서의 용존산소는 수온에 의한 산소 포화도에 따라 많은 변화를 보이고

있으며, 그밖에 식물 플랑크톤에 의한 광합성의 부산물로 발생하는 산소에 의해 용존산소량이 증가하는 것으로 보여진다. 또한 유기물이 분해될 때 용존산소가 소모되기도 하지만, 각 조사지점에서는 광합성이 활발하게 일어나는 오후 2시경에 식물플랑크톤의 광합성에 의한 산소생성이 더 큰 영향을 받았을 것으로 생각된다.

2. 화학적 산소 요구량 (Chemical Oxygen Demand)

조사 기간 동안의 화학적 산소 요구량의 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 조사 기간 동안 COD의 변화는 8.9~22.0mg/l로 나타났으며, 수온이 상승하면서 COD의 농도가 증가하였다. 8월 9일의 COD 농도가 낮게 분석된 것은 7월말부터 8월 초까지의 집중 호우에 의한 희석과 인접한 연못으로 대량 유출로 인해 낮게 분석된 것으로 사료된다. 당시 기상자료에 의하면 7월 30일부터 8월 8일 까지 71mm의 강우량을 기록하였다.

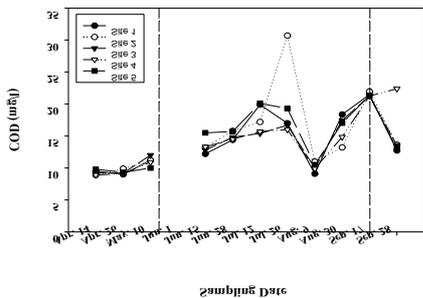


Fig. 3. Changes of COD concentration of each sites in small pond, 1999. (-----, replanted)

3. 부유물질(Suspended Solids)

조사 기간 중 부유물질의 농도 변화를 Fig. 4에 나타내었으며, 조사 기간 중 부유물질의 농도는 7.3~40.7mg/l의 범위를 보이고 있었다. 전체적인 부유물질의 농도 변화는 4월 14일과 4월 26일에 다른 조사시기에 비하여 낮은 농도를 보이고 있었다.

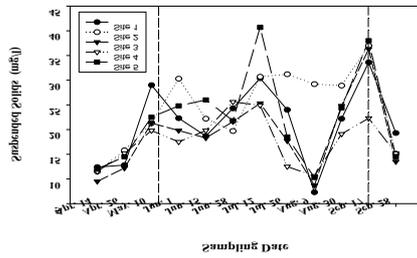


Fig. 4. Changes of suspended solids concentration of each sites in small pond, 1999. (-----, replanted)

Fig. 4. Changes of suspended solids concentration of each sites in small pond, 1999. (-----, replanted)

4. 엽록소 a (Chlorophyll a)

조사 기간 중 엽록소 a의 농도 변화는 24.5~144.2mg/m³으로 나타났다 (Fig. 5). 1차 조사시기에 St. 3에서 다른 조사 시기와 지점에 비해 가장 높은 값을 나타냈는데, 이는 조사지점 특성상 물의 표면 흐름이 없어 계속적으로 정체되었기 때문으로 판단된다. 또한 계절적으로 수온이 가장 높았던 7, 8월에 높은 식물플랑크톤의 현존량을 보였다.

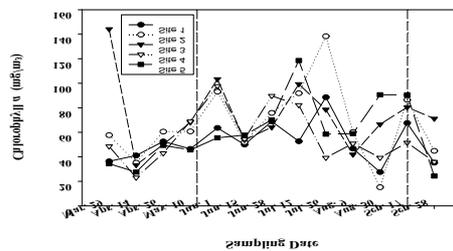


Fig. 5. Changes of chlorophyll a concentration of each sites in small pond, 1999. (-----, replanted)

Fig. 5. Changes of chlorophyll a concentration of each sites in small pond, 1999. (-----, replanted)

5. 총인과 총질소 (Total Phosphorus and Total Nitrogen)

수계의 부영양화도를 평가하는 측면에서 수계내의 조류 성장을 제한하는 무기영양염류를 알아보는 것은 매우 중요하다. 특히 수중의 질소와 인은 생물체를 구성하는 원소들로서 식물

플랑크톤의 성장에 필요한 중요한 영양염류이다. 인과 질소의 과잉 유입은 식물플랑크톤의 현존량이 증가하는 것을 의미하며, 이로 인해 물의 탁도가 증가하고, 밤과 같이 광합성을 하지 못하는 기간 동안에는 산소의 고갈을 유발하며, 악취를 발생시키는 등 골프장 연못의 수질 악화의 주원인이 되기도 한다. 조사 기간 중 총인과 총질소의 변화를 각각 Fig. 6, 7에 나타내었다. 조사 기간 동안 총인의 농도는 0.041~0.220mg-TP/l, 총질소의 농도는 2.0~9.4mg- TN/l로 조사 시기별 농도 차이는 크게 나타난 반면, 조사 지점간 농도는 큰 차이가 없었다. 그러나 5월 17일 수생식물을 2차로 식재한 후부터는 그 앞의 결과보다 낮은 값이었다. 또한 재식재 후 초반 수생식물이 성장하면서 수체 내의 총질소, 총인의 농도가 감소하는 경향을 나타내었으나, 성장이 멈추고, 식물이 죽는 현상이 나타난 후부터는 다시 수체내의 영양염류량이 증가하는 경향을 나타내었다.

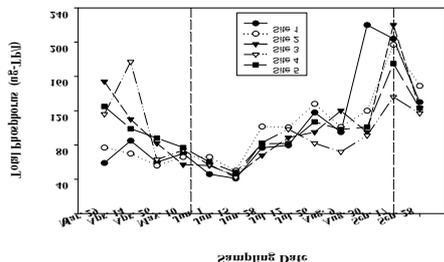


Fig. 6. Changes of Total Phosphorus concentration of each sites in small pond, 1999. (-----, replanted)

Fig. 6. Changes of total phosphorus concentration of each sites in small pond, 1999. (-----, replanted)

인공식물섬을 설치한 3월 15일부터 9월 28일까지 약 7개월 동안 성장한 창포의 양을 측정하여, 인공 연못내 유입되는 인·질소를 100% 제거한다는 가정 하에 수질 개선에 필요한 면적을 계산하였다. 인의 경우, 조사 기간 중 측정된 최대 농도(약 0.220mg/l)를 토대로 계산하였을 때, 인공연못에 유입되는 인의 표면 부하량은 0.02g/m²/day이며, 창포에 의한 인 흡수량은 0.432mg/m²/day이다.

창포의 건물 생산량이 약 1.1gDW/m²/day으로 측정되었으며, 이를 근거로 한 창포에 의한 인 제거량은 0.39mg/g · DW이다. 질소의 경우, 조사 기간 중 측정된 최대 농도(약 9.1 mg/l)를 토대로 계산하였을 때, 인공연못에 유입되는 질소의 양은 0.91 g/m²/day이며, 창포에 의한 질소 흡수량은 약 10.28mg/m²/day이다. 창포의 건물 생산량이 약 1.1 gDW/m²/day으로 측정되었으며, 이를 근거로 한 창포에 의한 질소 제거량은 9.36mg/g · DW이다.

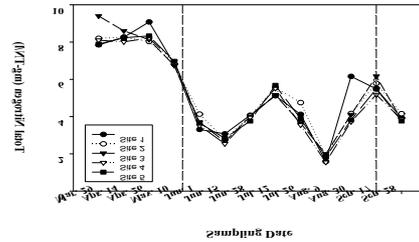


Fig. 7. Changes of Total Nitrogen concentration of each sites in small pond, 1999. (-----, replanted)

Fig. 7. Changes of total nitrogen concentration of each sites in small pond, 1999. (-----, replanted)

6. 동 · 식물 플랑크톤

식물플랑크톤은 인공식물섬 아래 지점의 경우, 0.11×10⁶~3.7×10⁶cell/ml의 개체수 변화를 나타냈으며, Control 지점은 0.13×10⁶~3.3×10⁶cells/ml의 개체수 변화를 나타내었다. 조사기간 동안 *Microcystis viridis*가 우점하였으며, *Cosmarium*, *Staurastrum*, *Scenedesmus*, *Asterionella*, *Closterium* 등이 출현하였고, 이러한 종들은 부영양화된 호수에서 일반적으로 볼 수 있는 종들이다. 그러나 두 지점간의 개체수 차는 크게 없었다 (Table 2).

Table 2. The numbers of phytoplankton of artificial floating island (AFI) and control area.

Unit : × 10⁶cells/ml

Date	Site	AFI	Control
Apr. 26		0.11	0.13
Jun. 28		3.7	3.3
Aug. 31		0.51	0.46

동물플랑크톤은 인공식물섬 아래 지점의 경우, $0.66 \times 10^2 \sim 1.8 \times 10^2 \text{ cell/ml}$ 의 개체수 변화를 나타냈으며, Control 지점은 $0.37 \times 10^2 \sim 3.3 \times 10^2 \text{ cells/ml}$ 의 개체수 변화를 나타내었다 (Table 3). 식물플랑크톤과 마찬가지로 두 지점간의 큰 차이는 없었다.

Table 3. The numbers of zooplankton of artificial floating island (AFI) and control area.
unit : $\times 10^2 \text{ cells/ml}$

Date	Site	AFI	Control
Apr. 26		1.8	1.9
Jun. 28		-	0.37
Aug. 31		0.66	0.68

IV. 고 찰

1. 수질 개선 효과.

인공식물섬에 의한 수질 개선 효과는 수체 분석적으로는 확인이 되지 않았다. 육안으로는 인공 식물섬 부근이 맑게 변한 것을 확인하였으나, 수질 분석에서는 별다른 차이점을 확인할 수 없었다 (Fig. 3-7). 또한 수중 생태계도 큰 변화가 없었다. 이러한 현상은 수표에 설치된 인공 식물섬의 비율이 1.3% 에 불과하기 때문에 나타난 현상으로 사료된다. 또한 4월 부유 물질의 농도가 다른 조사시기에 비해 낮은 농도를 보이는데, 이는 인공식물섬 설치 이후 식물의 성장이 시작되면서 시료 채취 지점인 부채 주변이 맑아지는 현상 때문에 낮은 농도를 나타낸 것으로 생각되며, 7월의 경우 높은 농도를 보인 것은 강우에 의한 입자성 오염물질의 대량 유입에 의한 것으로 사료된다. 총인, 총질소 조사에서는 8월 9일에 가장 낮은 값을 보이는데, 이는 8월초의 집중 강우에 의한 희석과 이 시기의 물 사용량의 감소로 인해 오수 유입량이 줄어들었기 때문으로 사료된다. 대형 수생식물에 의한 수질 개선은 식물과 미생물의 상호 공생 및 상승작용을 통해 이루어진다. 유기물의 제거는 뿌리에 붙어 있는 미생물과 무

척추 동물의 작용에 의하여 진행된다. 대형수생식물의 근계(root system)에는 수중의 입자성 물질과 미생물이 전기적으로 흡착하여 미생물의 서식처가 되고, 통기조직을 통해 산소를 근계로 전달시켜 미생물의 증식과 이에 따른 유기물 분해활동을 촉진시키고, 미생물의 유기물 분해를 통해 생성된 영양염류는 식물의 영양원이 될 뿐만 아니라 식물이 합성한 유기물과 대사물질은 다시 미생물의 먹이원이 되고, 이 미생물은 원생동물, 무척추동물의 먹이가 되고 (Wolverton, 1987), 미생물과 원생동물, 무척추동물의 호흡과정에서 유기물은 산화되어 공기중으로 방출된다.

영양 염류중 질소 (N)는 식물체로 흡수되거나, 탈질 (denitrification), 저질토로 침전 등에 의하여 제거된다. 그러나, 인 (P)은 기체상태가 없으므로 시스템 내에서 밖으로 제거되는 것은 식물체와 저질토로 침전되는 것뿐이다. 저질토로 침전되는 것은 수체내의 Ca ion등 양이온과 결합하여 침전된다. 저질토는 물보다 10,000배 이상의 인을 함유 할 수 있으나 (DeBusk et al., 1983.), 저질토가 혐기성 상태가 되면, 오히려 인이 용출되며, 이러한 현상은 이미 소양호에서도 관찰되었다. 이 저수지의 운영이 10년 이상 된 점을 감안하면, 식물체로 흡수되는 양만큼만 제거되는 것으로 볼 수 있다.

2. 인공식물섬 크기와 영양염류 제거효과와의 관계

인공식물섬에 식재한 수생식물 중 조사기간 동안에는 창포만이 성장하였다. 공동(1996)의 연구에 따르면, 창포 재배시 건물량에 의한 인·질소 함량은 줄기의 경우 0.18%DW, 2.82%DW이며, 뿌리의 경우 0.32%DW, 2.95%DW로 보고되었으며, 인·질소 유입량($\text{g/m}^2/\text{day}$)에 대한 창포의 흡수비율은 2.16%와 1.13%이다. 이는 창포에 의한 인, 질소의 제거가 흡수 외에 다른 기작을 통해서도 이루어 질 수 있다는 것을 시사한다. 인공식물섬의 식재 식물로서 창포만을 선정한다면, 공동수 등(1996)의 연구를 토대로, 결과에서 계산된 하루에 유입되는 인의 제거를 위해 필요한 창포의

Table 4. Calculation of area of floating island for eliminating nutrients from pond (surface = 1,000 m², average depth = 1.5 m). The major plant is *Iris pseudoacorus*.

	Surface loading (g/m ² /day)	Adsorption to plant (mg/m ² /day)	Amount eliminated by plant (mg/g · DW)	Required biomass of by plant(kg)	Required numbers of plant (EA)	Area of floating island(m ²)
T-P	0.02	0.432	0.39	51.28	3,325	207.8
T-N	0.91	10.28	9.36	97.22	6,303	393.96

무게 증가량은 51.28kg이며, 이 무게를 건물생산량으로 환산하면 3,325개체가 필요하다. 따라서, 창포 3,325개체를 식재하기 위해서는 207.8m²의 인공식물섬 면적이 필요하다. 또한 하루에 유입되는 질소를 제거하기 위해 필요한 창포의 무게는 약 97.22kg이며, 이 무게를 건물생산량으로 환산하면 6,303 개체가 필요하다. 따라서, 창포 6,303개체를 식재하기 위해서는 약 393.96 m²의 인공식물섬 면적이 필요하다. 질소는 미생물에 의한 탈질효과가 있으므로 기체 상태가 없는 인의 제거율을 기준으로 한다면, 약 208 m²의 인공식물섬 면적이 필요하며, 비율로는 약 21%의 면적이 필요하다. 여기에 창포가 성장하는 기간이 년중 6개월로 계산하면, 약 2배 정도의 면적 즉, 42%의 면적이 필요하다 (Table 4). 그러나 경관 향상을 목적으로 창포만을 식재할 경우 창포의 인, 질소 흡수능이 갈대, 줄과 같은 다른 정수식물에 비해 낮기 때문에 위와 같은 커다란 인공식물섬이 필요하게 되며, 이 크기는 수심, 오염 농도 그리고 영양염류 흡수율이 높은 갈대, 줄 등을 식재할 경우에는 달라질 수 있으며, 적절한 식물 선정이 필요하며, 이러한 부분들은 앞으로 연구하여야 할 분야이다.

사 사

이 논문은 강원대학교 부속 환경연구소의 연구비 지원 (1999)에 의하여 수행되었음.

VI. 참고문헌

공동수, 1995. 팔당호의 영양구조적 특성. 수질 개선 시스템 개발에 관한 한·일 심포지움. 국립환경연구원, pp. 167-196.

공동수, 양상용, 황동진, 류홍일, 류재근. 1994. 대형생물에 의한 수질개선 기법. 환경생물학회 춘계심포지움, pp.15-36.

공동수, 천세억, 류재근. 1996. 대형수생식물 및 부착조류를 이용한 호수 수질정화 및 수확물의 재이용, 한·일 지방간 생태공학 적 수질개선 공법에 관한 심포지움, 115-154.

이찬기, 안태석, 김범철. 1996. 강원도-나가노현 간 생태공학 적 호수 수질개선 공법의 비교 연구. 과학기술정책관리연구소.

김준호, 조강현. 1996. 대형수생식물에 의한 상수원 수질의 개선 ; 팔당호의 연구사례, Proceeding of Korea-Japan Joint symposium on Ecological Engineering, 3-17.

안태석. 1998. 골프장 수질관리를 위한 인공습지 이용에 관한 연구, 재단법인 연강재단.

APHA. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th ed. APHA. N. Y.

DeBusk, T. A., L. D. Williams, and J. H. Ryther., 1983. Removal of nitrogen and phosphorus from wastewater in a waterhyacinth-based treatment system. J. Environ. Qual. 12 : 257-262

Lorenzen, C. J., 1967. Determination of chlorophyll and phaeo-pigment: spectrophotometric equation, Limnol. Oceanogr., 12, 343-346.

Simatani, Y. 1996. The effect and ecosystem of an artificial floating island Ukishima, in Lake Kasumigaura. Proc. of Korea-Japan Joint

Symposium on Ecological Engineering. pp.
39-52
Wolverton, B.C., 1987. In Aquatic plants for water

treatment and resource recovery (Edited by
Reddy, K.R. and W.H. Smith), Magnolia
Publishing Inc., Florida, p.141-152.

接受 2000年 11月 22日