일반기사

인공식물섬 조성 방안

권 오 병 (주식회사 예원사장)

Ⅰ. 개 요

상수원수나 농업용수로 이용되고 있는 우리나라의 호소, 하천은 오염물질에 쉽게 노출되어 있어 인위적인 요인뿐만 아니라 자연적인 요인에 의해서도 부영양화가 쉽게 발생할 수 있는 특징을 가지고 있다.

부영양화가 진행됨에 따른 유기물의 증가는 남조류의 증식을 가져오고 이를 적절히 제어하지 못하면 무산소층의 생성, 어류 및 곤충의 사멸, 악취 발생 등으로 이어져 결국에는 죽은 호수로 전락할 수 도 있다.

지금까지의 부영양화 저감을 위한 수질개선의 노력은 주로 점오염원을 중심으로 이루어져, 폐수처리장과 하수처리장 건설에 따른 고농도 유기물제거에 치중해 왔다. 그러나 이러한 환경처리시설의 확충에도 불구하고 호소, 하천의 수질은 개선의 기미를 보이지 않고 있는 상황이다.

이렇게 수질개선이 미비한 원인은 호소, 하천 유역에 산재해 있는 비점오염원의 유출 때문인 것으로 추정되고 있으며 따라서 호소, 하천의 수질개선을 위해서는 유역의 비점오염원의 관리가 꼭 필요하다.

비점오염원의 홍수시 유출은 하수처리장 건설에 의해 해결이 불가능하고, 이에 맞는 적절한 대안에 대한 연구와 공법개발이 절실하게 요구되고 있다(류재근, 1997).

본 인공식물섬(ASSUM)에 대한 연구는 이러한 비점오염원에 의한 수질오염 해결방안으로서 수생식물을 이용한 부영양화의 원인물질인 영양염류의 저감과 저농도 유기물의 효율적 제거에 목적을 두고 자연정화에 의한 환경친화적 수처리연구로서 진행하고 있다.

Ⅱ. 본 론

1. 인공식물섬의 개념

浮島란 원래 자연상태에서도 존재하는 것으로 니탄층이 수체위로 떠 오르거나 호반의 일부가 잘려 나가

표 1. 실험 연못 실태

실험 연못	크 기 수표면적×수심	형 태	인공식물섬 설치 비율	수생식물	비 고
제 1 조	148M2×0.95M	콘크리트 밀폐형	27.70%	노랑꽃창포, 부들, 갈대, 달뿌리풀	1995년 시공된 콘크리트 구조로 유입·유출이 거의 없음
제 2 조	112M2×0.80M	자연형	8.93% (수변식물 11.61%)	노랑꽃창포, 부들	유입과 유출이 원활함
제 3 조	180M2×0.75M	자연형	수변식물 26.11%	갈대, 달뿌리풀, 노랑꽃창포	유입된 물이 2조로 유출됨
제 4 조	4M2×1M	밀폐형	25 %	갈대	Pliot형으로 유입과 유출이 없음.
제 5 조	4M2×1M	밀폐형	50 %	갈대	Pliot형으로 유입과 유출이 없음.
제 6 조	4M2×1M	밀폐형	0 %	없음	Pliot형으로 유입과 유출이 없음.

표 2. 분석 방법

분석 방법	담 당 자	분석 항목	분석 기간
수질 분석	농어촌진흥공사 담수호연구소 수질분석실	BOD, COD, T-N, T-P, 수온, pH, EC, Cl, SS, DO, 중금속류	월 1회×12개월 1주일간 매일 1회×7일 1일간 시간대별 5회
생태 조사	서울대 환경계획연구소 심재한 박사	어류조사, 곤충조사, 식물조사	2개월 간격×6회
미생물분석	강원대 환경연구소	Phytoplankton Chlorophyll a AODC	월 1회×12개월
생태관찰일지	회사 연구원	수온측정, 육안관찰	매일 1회×365일

표 3. ASSUM 연구계획

연구 분기	년 도	기 간	연구 목표
제 1 기	1998.10 ~ 1999. 9	12개월	수질개선효과 연구, 시공공법 연구
제 2 기	1999.10 ~ 2000. 9	12개월	부체디자인 연구, 식물품종 연구. 생태 연구
제 3 기	2000.10 ~ 2001.12	15개월	개선 및 보완작업, 재질 및 제조공정 연구, 최종 종합 완성

호소위를 표류하는 것을 말한다. 이러한 원리를 이용한 것이 人工浮島로 부력이 큰 부체 또는 부유틀 위에 수생식물을 심어 물 위에 뜨게 하는 것을 말한다.

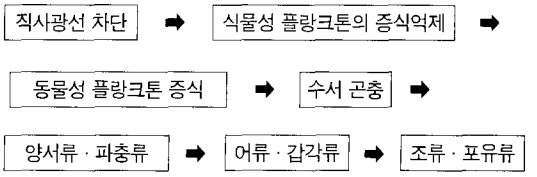
부도(Floating Island)는 일본식 조어이며 우리말로 알기 쉽게 표현한 것이 인공식물섬이다. 인공식물섬의 설치가 필요한 곳은 부영양화된 정체수역이며, 방법은 부력이 강한 재질로 부유틀을 만들어 띄우고, 그 위에 정수식물이 자랄수 있도록 부체와 매질을 결합한 후 장마시 등의 급속한 수위변동과 유속에 견딜 수 있는 계류장치를 수면 아래에 해 주는 것이다.

2. 연구방법

충북 진천군 진천읍 송두리에 위치한 (주)예원의 공장부지내에 조건과 크기가 다른 실험연못 3개조와 pliot 3개조를 설치하여 수표면적의 일정 비율로 인공식물섬을 1998년 7월에 띄우고, 1998년 10월부터 1999년 9월까지 1년동안 수질 분석, 미생물 분석, 생태변화 분석을 진행하고 있다(표 2. 참조).

3. 인공식물섬의 기능

1) 호반침식의 방지 및 보호기능을 한다.
2) 각종 수생생물의 서식공간을 창출함으로써 수표면 위에 위치한 최소 규모의 bio-tope의 기능을 한다.
3) 직사광선을 차단함으로서 나타나는 직접적인 효과로 녹조류의 증식을 억제하며 인공식물섬 밑의 그늘 부위에 동물성 플랑크톤이 늘어나고 이를 먹이로 하는 수서곤충이 모여들며 먹이사슬에 따라 양서류, 파충류의 서식처가 되고 이를 포식하는 어류, 갑각류가 많이 늘어나며 최종적으로 먹이사슬의 최상부에 있는 조류가 날아와 둥지를 튼다.
4) 수생식물이 성장하면서 식물의 뿌리에서 부영양화의 핵심물질인 질소(N)와 인(P) 성분을 흡수하여 제거한다(이는 수질분석을 통해 질소와 인 성분의 감량을 직접확인하는 한편, 년 3회 정도 성장한 식물의 줄기부분을 베어 낸 후 건중량을 계량하여 식물별로 함유된 질소와 인의 함량을 계산하는 방법을 병행하였다. 1년동안 질소와 인은 약 20~40%까지 제거되었다).
5) 갈대, 줄, 부들, 달뿌리풀, 노랑꽃창포의 뿌리는 3개월~6개월간의 성장기를 거치는 동안 40cm에서 95cm까지 자라며 뿌리 부분을 채취하여 미생물을 분석한 결과 무성하게 자란 뿌리자체



가 미생물 접촉여재의 기능을 하고 있었다.

6) 생태계의 구조변화가 일어남으로서 물을 모체로 하는 각종 수인성 전염병 세균들이 크게 줄어들어 전염병을 예방할 수도 있음이 관찰되었다.

7) 부유물질을 흡착·분해·침전시키는 기능을 함으로써 6개월이내에 부유물질의 70%정도를 제거하여 물의 탁도(SS)가 현저히 감소되었다.

8) 수표면 위에 인공식물섬이 부유하고 있으므로 댐이나 호소의 전체용량에는 거의 영향을 미치지 않았다.

4. 인공식물섬의 구조

1) 부유틀 - 부유쓰레기나 파랑, 유속등의 충격으로부터 인공식물섬을 보호한다.

2) 부체 - 매질과 수생식물을 띄우고 고정시키는 역할을 한다.

3) 수생식물 - 갈대, 줄, 애기부들 등 총 18종이 가능하다.

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

5) 수상방책 - 장마시 부유쓰레기를 차단하는 시설.

6) 부교 - 관찰 및 관리를 위한 접근통로

5. 재료선정조건 (부체 및 부유틀)

1) 생태적 기능을 강화시킬수 있는 재료이면서 비용이 저렴하고 내구성 및 시공성이 양호한 것

2) 방부 및 부식에 강한 재료이며 변형이 적으며 반 영구적일 것

3) 무독성이며 외관상 깨끗하고 유지관리가 용이한 재료일 것

6. 수생식물

6-1. 수생식물의 조건

- 수질정화능력이 탁월하며 월동이 가능하고 쉽게 구입이 용이한 수종
- 환경조건에 잘 적응하며 생명력이 강한 수종

표 4. 수생식물의 선정기준

(단위 : g/㎡/日)

수종명	정화가 가능한 오염물질					흡수능력	영양염류제거능력	수집능력	운반성	재활용성	내한성	내공해성	맹아력	구입난이도
	N	P	K	Ca	Mg									
꽃창포						○	○	△	△	△	○	○	○	○
애기부들	1.413	0.0248	1.3255	0.3157	0.2302	○	○	△	○	○	○	○	○	○
갈대류	2.796	0.0425	1.6982	0.1127	0.1443	○	○	△	△	△	○	○	○	○
줄	1.9011	0.0384	1.1455	0.0935	0.0834	○	○	△	△	△	○	○	○	○
달뿌리풀					○	△	△	△	△	○	○	○	△	
물억새						○	○	△	△	△	○	○	○	△
부레옥잠화	1.3557	0.286				△	○	○	×	○	×	○	○	△
좀개구리밥	0.243	0.0627				△	○	○	×	○	△	○	○	○
마름류	0.150	-				△	△	×	×	△	△	○	○	○
미나리	0.734	0.0925				○	○	○	△	△	○	○	○	○
연꽃						△	△	×	△	△	×	○	○	△
검정말						△	△	×	×	△	△	○	○	△

○ : 양호 △ : 보통 × : 부적합

위 수종외 다양한 사양을 갖추고 있음.

- 설치목적에 적합하고 전체적인 분위기에 조화되는 수종
- 뿌리가 수중에 있고 표면에 뜨는 부수식물 또는 정수식물

6-2. 수생식물의 선정기준

표 4. 수생식물의 선정기준 참조

6-3. 수생식물의 식재

- 표면수 유동에 의한 처리조와 하층수 유동에 의한 처리조인 정수식물 식재
- 식물성 재료인 Jute Pot(식물성 섬유로 만든 황마)와 식재망(Coconut Fiber)을 사용하면 정수식물의 활착과 생육에 보다 나은 조건을 제공한다.
- 매스감형성을 위하여 수종별 군식처리
- 자연 또는 생활환경(바람, 일조, 높이)을 고려한 입체적인 식재계획
- 수생식물간의 식재밀도는 16본/㎡이며 식재밀도를 낮춰 원활한 생육과 번식을 유지할 수 있다.
- 생육기간(5-6월)에는 삽목도 가능하나, 일반적으로 3치pot / 2-3분얼을 식재한다.

7. 수질정화 개선안

1) 수경시설의 폭기장치는 효과위주, 고가제품(300만원 이상/개소)이며 지속적인 경비가 소요.
2) 연못주변의 edge를 자연형으로 변경(습지조성).
3) 연못에 bio-tope(생태공원) 기능을 부여
4) 연못규모에 따라 다소 차이는 있으나 수질정화 기준에 대비하여 산출한다면 20~40%이상을 ASSUM으로 덮어줄 경우 수질정화와 경관적인 면에서도 탁월한 효과를 볼 수 있다.
5) ASSUM의 설치최소단위인 4㎡ 이상을 설치하여야 하며, 사각형, 팔각형 및 육각형 등 다양한 형태를 제작하고 있다.

8. 시행/운용관리

8-1. 유지관리의 목적

- 수질개선 및 녹조방지를 위한 시설을 보호하고 체계적인 방안을 정립하고, 추후 수질개선 및
- 녹조방지 사업에 활용하는데 목적이 있으며, 일반적인 사항은 다음과 같다.
  - 안정성, 위생, 쾌적함을 유지하기 위하여 정기적인 청소와 시설의 점검 및 정비를 한다.
  - 관리계획을 작성하여 유지관리비, 수리비 등을 책정하여 제 기능을 발휘할 수 있도록 정비·수리 등이 가능한 체계를 확립하여야 한다.

8-2. 시운전

- 시공 완료후 식물체의 정상적인 활착과 부유틀의 안정성 등 검토
- 운영관리요원의 체계적인 교육을 위하여 현장경험을 익히도록 도와준다.
- 수질정화능력을 평가하기 위하여 수질검사를 주기적으로 실시한다.
- 모니터링 작업 : 여러장소에서 주기적으로 현장사진 촬영

8-3. 인공식물섬 관리운영

- 기본방향

수질과 녹조를 막기 위한 1차적인 목적으로 설치하므로, 타 공정과는 달리 운영관리 방식을 달리하여야 한다.

  - 변화과정은 모니터링(Monitering)할 것.
  - 관찰자의 수와 빈도를 한정할 것.
  - 관리운영계획은 유지관리(식재망, 부교 등), 홍수후 관리, 식생관리, 이용자 관리지침, 관리요원의 조직구성으로 구분한다.

- 유지관리계획
  - 시공완료후가 아닌 설치때부터 지속적인 유지관리가 행해질 때 수초재배용 부유틀의 설치목적을 달성할 수 있다.

- 홍수후 관리

- 홍수시 다량의 토사가 퇴적할 경우 주기적으로 제거하여야 한다.
- 수상방지책이 1차적으로 부유쓰레기를 차단하나, 유입된 쓰레기들은 인력으로 제거 한다.
- 부교는 물로 깨끗히 청소를 해야 장기간 사용할 수 있다.

• 식생관리
- 설치후 인위적인 관리보다는 자연형성과정에 맡기도록 한다.
- 타 수종(외래수종)의 침입으로 피압 및 부정적인 영향을 미칠수 있으나, 자연적인 현상이므로 그대로 두어야 한다.
- 도복하기전(11월초)에 3회정도 밑둥자르기를 하여 맹아력의 발생을 유도한다.
- 제거된 식물체는 수종의 특성에 따라 목초용, 비료용, 제지용으로 활용

• 관리지침 (관리운영요원, 이용자)
- 설치목적에 맞는 이용빈도는 좋으나, 타 목적으로 사용되는 것은 자제한다.
- 주민 홍보차원에서 안내원의 통제하에 관찰활동이 수행되도록 한다.
- 안전사고에 주의하여 이용자관리에 주의를 요한다.

• 관리요원의 조직
- 총괄적인 관리 및 운영은 지자체에서 한다.
- 운영관리는 전문성을 갖고 있는 민간단체의 자발적 참여를 유도한다.

8-4. 사후 활용계획

- 주민들에게 홍보할 수 있는 안내판을 설치한다.
- 모니터링(Monitering)작업 : 정착과정, 식생의 변화, 정화능력 측정 등을 통하여 체계적인 자료를 축적하여 차후에 활용하도록 한다.
- 환경단체 또는 보호단체와 공조체제를 구축하여 하천 보호를 위해 적극적인 주민참여를 이끌어 내도록 한다.
- 유지관리 노력과 비용을 최소화 하기 위하여 체계적인 계획을 수립한다.

9. 시공사례

국내에서는 1995년부터 연구를 시작하였으나 많은 기술을 습득하지 못하고 있는 실정이다.

그러나, 국내에서도 여러곳에 설치되고 실험중이다.

국내 · 외 사례를 검토하여, 앞으로 더 많은 기술발전을 하는데 도움이 되었으면 한다(표 5. 참조).

Ⅲ 결론

1. 인공식물섬이 호소의 수질개선에 미치는 효과

본 실험의 수질분석은 외부의 영향으로부터 통제가 비교적 가능했던 제 4 실험조(인공식물섬이 설치

표 5. 시공사례

시공 장소	형태	시공 년도	시공 면적	식물섬형태	식물 종류
신 정 호	내륙 담수호	1998. 6.	480 M2	장방형	갈대, 줄, 애기부들
제 주 도 D G.C	골프장 연못	1999. 3.	60 M2	직선형	갈대, 줄, 달뿌리풀, 노랑꽃창포
경 기 도 A G.C	골프장 연못	1999. 3.	4 M2	독립형	노랑꽃창포
강 원 도 C G.C	골프장 연못	1999. 3.	20 M2	독립형	갈대, 노랑꽃창포, 줄
경 기 도 S G.C	골프장 연못	1999. 3.	4 M2	직선형	갈대, 노랑꽃창포
경 기 도 K G.C	골프장 연못	1999. 3.	12 M2	독립형	갈대, 노랑꽃창포
경 포 호	염 호	1999. 6.	32 M2	직선형	갈대
청 초 호	염 호	1999. 7.	900 M2	장방형	갈대
서울우유	하수처리장	2000. 4.	20 M2	독립형	갈대

된 연못) 와 제 6 실험조(인공식물섬이 없는 연못)를 비교하는 것으로 하였고, 제 1 실험조는 제 4 실험조와 제 6 실험조의 기준수로 하여 참고하였으며 요약하면 다음과 같다.

① 화학적산소요구량, 총질소의 변화를 최종측정농도로 살펴보면 각각 42%, 46%로 인공식물섬을 설치하지 않은 연못이 높게 나타났고 총인의 농도도 약 3배 높게 나타났다.

② 일주일간의 수질변화를 측정하니 식물섬이 없는 곳이 변화가 크게 일어났는데 측정당시 폭우와 강풍을 동반한 태풍의 영향으로 보이며 이것은 식물섬이 있는 곳이 강우나 바람의 영향에 비교적 안정적인 것으로 사료된다.

③ 엽록소 a의 최종농도는 식물섬이 설치된 곳은 7.1mg/㎥, 설치되지 않는 곳은 13.5mg/㎥로 나타났다. 이것으로 식물섬이 햇빛차단효과, 영양염류제거효과가 있는 것으로 사료된다.

④ 본 연구는 부유물질에 대한 측정을 하지 않았으나 육안으로 관찰한 결과 식물섬이 없는 제 6실험조는 부유물질로 포화상태인 것으로 관찰되어 식물의 뿌리와 매질인 천연섬유가 부유물질을 흡착하는 것으로 사료된다. 1999년 8월 19일 2시의 부유물질(SS) 측정치는 제 4 실험조가 2.4mg/ℓ 이고 제 6 실험조가 5.2mg/ℓ 로 나타났다.

2. 인공식물섬이 호소의 생태계 변화에 미치는 영향

생태조사분석은 제 1, 2, 3 실험조를 중심으로 하되 pilot 실험조인 제 5, 6 실험조와 수변을 포함한 실험구역 750㎡ 전체를 조사 대상으로 하여 다음의 결론을 얻을수 있었다.

① 인공식물섬 자체에 처음 이식한 종은 갈대, 달뿌리풀, 줄, 꽃창포, 노랑꽃창포, 큰고랭이 등 6종이며 1년 2개월 후인 '99년 10월에 조사한 결과는 6종외에 밭뚝외풀, 꽃여뀌, 돌피, 여뀌바늘, 황새냉이 등 33종이 인공식물섬 위에서 자라고 있음이 조사되었다. 이는 인공식물섬이 다양한 식물종이 살 수 있는 비오토프(bio-tope)의 기능을 하고 있음을 알 수 있다.

② 곤충상의 변화는 잠자리, 나비, 물사마귀, 개아재비, 벌, 물달팽이, 거머리, 물방게, 우렁이, 벼메뚜기, 송장메뚜기, 무당벌레, 매미유충, 모기유충, 거미 등 다양한 종이 관찰되었다. 학술적인 조사를 하지 못하고 일반적인 지식으로 육안 관찰만으로 끝낸 아쉬움이 남는 분야이다.

③ 어류상의 변화는 '98년 9월에 처음으로 제 1 실험조에서 발생의 원인을 알 수 없는 참붕어의 치어가 발견되었고, 그 후 2차례의 방사실험과 4회의 채집 조사에 의해 버들치, 동사리, 참붕어, 밀어, 송사리, 미꾸리, 피라미 등 7종 474개체가 조사되었고 그 중에 참붕어, 밀어, 송사리는 치어가 다수 발견되어 연못 안에서 산란을 한 것을 확인하였다.

④ 양서 파충류상의 변화는 참개구리 등 5종과 유혈목이 등 3종, 총 8종이 확인되었으며 산개구리와 아무르산개구리가 인공식물섬 위에 알을 산란하였고 청개구리가 수변으로 이동하여 은신처로 이용하고 있음이 발견되었다.

⑤ 그 외에 육안으로 관찰된 바에 의하면 청둥오리, 해오라기, 알락할미새 등이 날아들었고, 개개비는 줄과 갈대 숲에 둥지를 틀고 있는 모습이 관찰되었다. 이는 먹이사슬의 최상층부에 속하는 조류까지 발견됨으로서 완전한 bio-tope이 형성된 것으로 해석할 수 있다.

이러한 효과 이외에도 환경오염에 의해 가장 먼저 사라져 가고 있는 수생식물의 종의 보존 기능도 중요한 부분이며, 환경복원을 위한 노력을 하고 있음을 일반인들에게 알림으로써 환경보존의 중요성을 일반인들에게 심어줄 수 있는 교육적 측면의 효과도 크리라고 판단된다. 끝으로 이번 실험에서는 충분히 하지 못했지만 호안의 구조물이 파랑에 의해 침식되는 것을 인공식물섬이 막아주는 효과도 대단히 크리라는 점은 확실하리라 본다..

〈참 고 문 헌〉

1) 서영기술단 부설연구소(1996), 도시하천의 생태환경 조성기법에 관한 연구.
2) 한강관리사업소(1996), 여의도 샛강 생태공원 조성계획.
3) 신슈대학 Tokio Okino(1996), 수와호.
4) 일본 건설성 토목연구소(1996), 가스미가우라의 인공부도.
5) 강원대 환경연구소(1996), 강원도-나가노현간 생태공학적 호수 수질개선공법의 비교연구
6) 서울시정개발연구원(1996), 자연형하천으로의 정비방안 연구.
7) 농림부(1997), 농업용수 수질개선 시험사업 보고서.
8) 국립환경연구원(1997), 자연정화 수처리공법을 이용한 수질개선 방안.
9)국립환경연구원(1998), 팔당호 수질관리 특별대책 수립을 위한 저감기술.
10) 농림부 · 농어촌진흥공사(1998), 수생식물에 의한 수질개선기법 연구.
11) 한국토지개발공사(1999), 양산 · 다방천 자연형 하천정비계획.
12) 권오병(1999), 인공식물섬을 설치한 호소의 수질개선 및 생태계변화에 관한 연구.