

1. 서론

최근들어 식생을 이용한 호수, 하천 수질 정화 방안에 대한 관심과 아울러 많은 연구가 진행 중이다. 이같은 식생정화시설은 다른 정화시설에 비해 시공, 설치하기가 쉽고, 호수나 하천 주변 경관을 향상시킬 수 있으며, 무엇보다 생태적 서식처로서의 역할을 겸할 수 있다는 점에서 바람직한 방안이라 할 수 있다. 식생정화시설에 이용되는 수생식물은 주로 육지와 수계를 연결하는 연안대에 분포하는 식물로서 추수식물, 부엽식물 및 침수식물로 분류된다.

본 연구에서는 상기 3가지 식물 중 수질정화 효과가 있고, 생태계의 서식처 및 수변 경관 조성, 호안 역할을 할 수 있는 추수식물을 대상으로 하여, 식생정화시설에 대한 기초적 연구로서 국내외의 연구 동향을 살펴보고 하천과 호수를 대상으로 하여 식생 설치에 대한 개략적인 설계(안)을 제시하였다.

2. 연구 동향 및 사례

선진국에서는 최근들어 호수 수질 정화 방안으로서 식생정화법에 대한 많은 연구와 아울러 호수 주변에 식생정화시설을 설치하고 있다. 미국에서는 호수로 유입되는 생활하수를 하수처리장에서 처리시킨 후, 이를 식생정화시설에 유입시켜 질소, 인을 제거하고 최종적으로 호수로 방류시키는 방법을 많이 이용하고 있다(U.S. EPA, 1991). 수질 정화 효과가 있는 수종으로 갈대, 부들, 애기부들, 히야신스 등을 선정하고 이들의 서식 조건에 대해 많은 연구가 진행 중이며, 전국에 걸쳐 이들 수종의 적합서식 지역을 분류하고 있다. 일본에서는 건설성이 주체가 되어 호수 수질 개선방안을 마련하여 이를 시공, 설치하고 있으며, 지방자치단체에서는 이를 운영, 관리하고 있다(建設省, 1966). 식생정화시설로서 호수 주변에 갈대밭(군락지)을 조성하여, 호수로 유입되는 오탁수를 갈대밭으로 유도시켜 정화시킨 후, 이를 호수에 방류시키고 있다.

식생정화시설의 대표적 사례로서 霞ヶ浦 호수의 갈대밭 정화시설을 들 수 있으며, 이곳에서는 호수로 유입되는 4개 하천에 대해 식생정화시설을 설치하고 있다 (표 2.1 참조).

山王川에 설치된 식생정화시설의 현지 측정에 의하면, 질소, 인의 제거율과 체류시간에 대한 관계는 그림 2.1에 나타나 있듯이 수심이 약 10cm이고 체류시간이 5~6시간일 때 제거율이 최대로 나타나는 것으로 밝혀졌는데, 실험 결과 총질소는 약 40~50%, 총인은 약 50~60% 정도 제거되는 것으로 나타났다(建設省 霞ヶ浦工事事務所, 1977).

식생정화시설의 또 한가지 예로서, 그림 2.2와 같이 호수 위에 설치하는 人工식물섬(artificial vegetated land)를 들 수 있다. 인공식물섬은 철제 프레임과 발포 스티렌 또는 목재 등을 이용

하여 물에 뜨게 한 후 수질정화 효과가 있는 각종 수종을 식재하는 구조로 되어 있다 (中村圭吾 등, 1995: 建設省 利根川上流工事事務所, 1997). 이 시설은 체류시간 개념이 적용되지 않으므로 수질정화 효과보다는 생태계의 서식처 효과가 더 큰 것으로 판단된다. 霞ヶ浦 호수에 인공식물섬을 설치한 이후 어류나 새우 등의 현존량이 증가한다는 사실이 이를 말해준다(中村圭吾 등, 1995).

표 2.1 霞ヶ浦의 식생정화시설

구분	하천명	대상 유량 (m ³ /s)	수질 (mg/l)			일유입부하량 (kg/日)		갈대밭에 의한 감소부하량(kg/日)		필요 면적 (m ²)
			COD	총질소	총인	총질소	총인	총질소	총인	
식생정화	山王川	0.03	9.7	3.2	0.51	85.71	13.66	42.86	6.83	5,600
	清明川	0.45	9.9	3.1	0.28	139.29	12.58	69.65	6.29	81,000
	川届川	0.23	7.5	3.9	0.17	77.50	3.38	38.75	1.69	41,400
	境川	0.44	8.3	3.5	0.33	133.06	12.55	66.53	6.28	79,200

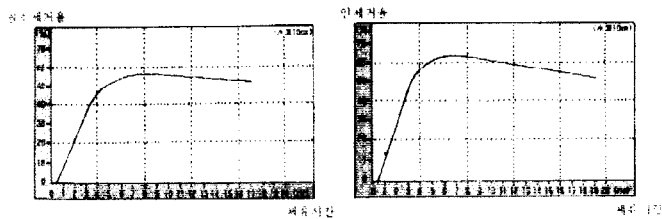


그림 2.1 체류시간과 질소, 인의 제거율 관계

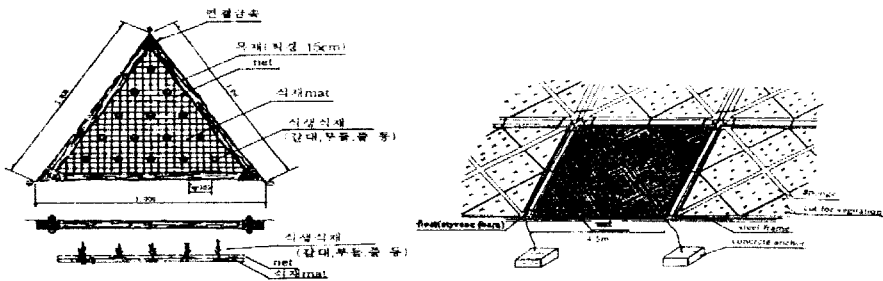


그림 2.2 인공식물섬의 구조

수생식물(갈대)에 의한 질소, 인의 제거 과정을 설명하면 다음과 같다 (建設省, 1996).

(1) 줄기와 잎에 의한 침전 효과

- 흐름이 줄기와 접촉하면 오탁물질이 침전, 퇴적하게 된다. 수생식물이 밀집되어 있는 곳에서는 침전의 효율이 더욱 커지므로 오탁물질 제거 효과도 높아진다.

(2) 脫窒, 흡착작용에 의한 제거

- 저습지에 생식하고 있는 탈질균에 의해 탈질 작용이 촉진되며 또한 토양은 인을 흡착하는 작용이 있다.

(3) 질소, 인의 흡수에 의한 제거

- 수생식물의 뿌리나 줄기는 토양에 침전, 흡착된 질소나 인을 영양분으로 하여 흡수한다.

수생식물을 이용한 식생정화시설을 설치하였을 경우의 여러 효과는 다음과 같다. 즉,

(1) 수질정화 ; 오염된 물의 수질을 정화시킨다.

(2) 꽃, 야채의 재배 ; 시민 농원으로서 꽃, 야채를 재배한다.

(3) 꽃, 야채의 획득 ; 가정에서 관상용이나 식용으로 이용할 수 있다.

(4) 퇴비의 활용 ; 퇴적된 토사는 퇴비로 활용된다.

(5) 휴식의 장 ; 자라나는 수생식물은 시민들에게 휴식의 장을 제공할 수 있다.

일본에서 많이 이용되는 9종류의 수생식물은 우리나라에서 재배되지 않은 식물도 있는데 이들을 언급하면 다음과 같다.

(1) クウシンサイ(ヒルガオ科) ; 空心菜, 메꽃과의 식물로서 한국명은 찾을 수 없음.

우리나라에서 보이는 식물로서 선메꽃 또는 메꽃이 유사종이라 할 수 있음.

(2) クレソン(アブラナ科) ; 십자화과의 식물로서 한국명은 물냉이.

(3) セリ(セリ科) ; 산형과의 식물로서 한국명은 미나리.

(4) オオフサモ(アリノトウグサ科) ; 개미탑과의 식물로서 한국명은 찾을 수 없음.

우리나라에서 보이는 가장 유사한 식물로서 물수세미가 있음.

(5) ミソハギ(ミソハギ科) ; 부처꽃과의 식물로서 한국명은 부처꽃.

(6) ミント(ミソ科) ; 꿀풀과의 식물로서 한국명은 박하.

(7) シマフライ(カヤツリグサ科) ; 사초과의 식물로서 한국명은 얼룩풀.

(8) ルイジアナアヤメ(アヤメ科) ; 북아메리카 원산의 식물로서 붓꽃에 가깝다.

(9) ワスレナグサ(ムラサキ科) ; 지치과의 식물로서 한국명은 물망초.

3. 국내 사례

식생정화시설에 관한 국내의 연구 동향은 현재 활발히 진행중이다. 한국건설기술연구원

(1996)에서는 선진국 시찰을 통해 인공식물섬의 구조와 수질정화 효과를 보고서 형식으로 발표한 바 있으며, 최근 각 지자체에서 미나리밭을 조성하여 수질정화 효과와 함께 미나리를 재배하여 소득을 올리려는 계획을 수립하고 있다. 호수를 대상으로 하여 갈대밭이나 인공부도와 같은 식생정화시설의 설치는 최근들어 많은 관심과 함께 연구 및 시범설치가 진행 중인데, 충남 아산시에서 수행한 마산저수지 농업용수 수질개선 사업(농림부, 1998)이 대표적 예이다. 또한 팔당호와 충남의 대호 저수지 및 주암호에도 식생정화시설의 설치를 검토 중에 있다(전라남도, 1999).

4. 식생정화시설 설계

본 연구에서는 식생을 이용한 호수 수질정화법에 관한 기초적 단계로서 주암호를 대상으로 하여 식생정화시설을 개략적으로 설계하였다.

4.1 갈대밭 정화시설

갈대밭은 하천수의 수질 정화를 목적으로 호수로 유입되는 하천의 인근에 설치하거나, 직접 호수의 수질 정화를 목적으로 호수 옆에 설치할 수도 있다. 본 계획에서는 조계산을 발원하여 송광사를 거쳐 주암호로 유입되는 송광천을 대상으로 하였다. 송광천 주변에는 많은 음식점소가 있어 오염이 증가되고 있는 추세이다. 정화시설의 규모는 아래 식으로 결정된다.

$$V = \frac{Q \cdot t}{24e} + V_s \quad (4.1)$$

여기서 V = 정화시설의 규모(m³), e = 자갈층 및 토양의 공극율, Q = 처리 용량(m³/일), t = 체류시간(hr)이며, V_s - 오니 발생량 및 기타 여유량(m³)이다.

상기 식에서 V_s 는 하천수의 오탁에 관계되므로 일률적으로 정해진 값은 아니며, 현지 측정에 의해 구할 수 밖에 없다. V_s 를 $(Qt)/(24e)$ 의 0.5~1.0배 정도로 하고, 혼합 공극율을 $e=0.29$, 체류시간을 5~6시간으로 하면 그림 3의 정화시설의 규모는 처리 용량 $Q=2000 \sim 2500$ (m³/일)에 해당된다. 그림 4.1에서는 정화시설 내로 물을 유입시키기 위해 펌프장을 설치하였지만, 펌프 대신 하천 상류부에 유입보를 설치하여 중력을 이용하여 물을 유입시킬 수도 있다. 유입보를 설치할 경우 정화시설보다 상류부에 설치해야 되고, 이를 정화시설까지 유도하기 위해서는 개수로로 추가로 설치해야 하는 등의 초기 공사비가 펌프장보다 많이 소요되기는 하나 유지관리가 펌프장보다는 용이하다는 점이 있다. 펌프장을 설치하면 유입보와 개수로로 설치하지

않아도 되므로 넓은 부지가 필요하지 않기는 하나, 펌프를 가동시키기 위한 유지관리 비용이 필요하다는 단점이 있다. 따라서 유입시설 선정은 현지 여건, 시공성, 경제성, 유지관리 등을 종합적으로 고려하여 결정하여야 할 것이다. 정화시설 바닥의 경사는 그림 4.1의 단면도에서 알 수 있듯이 경사를 $s=1/100$ 정도로 하여 토양 입자를 통해 흐름을 형성시킴으로써 수질 정화를 기하여야 한다. 또한 정화시설 하부에는 자갈을 설치하여 수질을 더욱 정화시키고 직경 50mm의 유공관을 설치하여 물을 유도시킨 후, 이를 30cm의 유출관을 통해 하천으로 방류시키면 된다. 정화시설 바닥은 유지관리를 고려하면 콘크리트가 좋으나, 공사비를 고려해서 불투수성 비닐도 생각할 수 있다. 바닥을 비닐시트로 하면 공사비는 적게 소요되나 유지관리 측면에서 불리한 점도 있다. 수조 바닥의 재료결정은 경제성과 유지관리 및 현지여건을 종합적으로 고려하여 결정하여야 할 것이다. 수생식물은 그림 2.1에 나타나있듯이 수심이 10cm이고 체류시간이 5~6 시간일 때 최대의 수질정화 효과를 나타내므로 본 대상지역에서도 수심이 10 cm를 유지하도록 하였다.

체류시간 산정에 대해서 정량적으로 결정된 결과는 없다. 본 대상지역과 같이 수생식물 사이로 물이 통과하는 경우에 대한 체류시간 결정은 정량적으로 할 수 없고, 현지에서 직접 측정할 수 밖에 없으며, 정화시설을 설치하고 각 수생식물에 따른 체류시간을 결정한 후, 최대의 수질정화 효과를 갖는 인자들을 결정해야 할 것이다.

본 대상지역의 식생정화시설에 적합한 수생식물로는 미나리, 갈대, 부레옥잠, 부들, 줄 등을 생각할 수 있다. 이중 널리 알려져 있는 미나리와 갈대 및 부레옥잠에 대해 설명하면 다음과 같다.

4.1.1 미나리

1.1.1.1. 수질정화 효과

- 오염도가 높은 지역에서 자생하는 속성식물로서 물속에 부하된 유기물을 다량으로 흡수하며 성장하는 성질을 갖고 있어 수질정화 효과가 크다. 정화능력은 BOD 기준 70% 정도이다.

1.1.1.2. 번식 및 생육조건

- 우리나라 전역에서 자생하며 뿌리 및 줄기 번식이 가능하고 번식률도 높다.

1.1.1.3. 유의사항

- 겨울철에는 생육이 정지되므로 BOD의 흡수율이 떨어진다.

4.1.2 갈대

가. 수질정화 효과

- 우리나라 일반 하천에 자생하며, 물 속의 유기물을 흡수하여 왕성한 성장을 하면서 유기물을 흡수, 분해하는 능력이 있어 수질정화 효과가 좋다.

나. 번식 및 생육조건

- 모든 하천에 자생이 가능하나 뿌리 번식으로 번식속도는 다소 늦다.

다. 유의사항

- 겨울철에 성장이 정지되므로 수질정화능력이 떨어진다.

4.1.3 부레옥잠

가. 수질정화 효과

- 물속에 떠다니면서 유기물을 다량으로 흡수하는 높은 수질정화 능력을 갖고 있으며, 특히 뿌리에 기생하는 박테리아는 유기물질을 침전시키는 효과가 있다. 정화능력은 BOD 기준 70~80% 정도이다.

나. 번식 및 생육조건

- 아열대 식물로서 우리나라 기후상 하절기에는 문제 없으나 동절기에는 생육에 지장이 있다. 번식률은 매우 왕성하다.

다. 유의사항

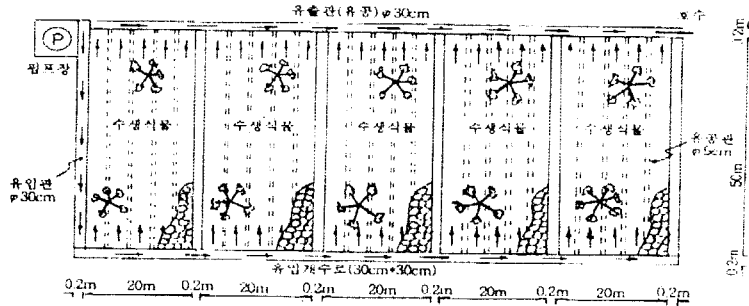
- 외래종 식물이기 때문에 국내 수생식물과의 상관관계에 대한 영향분석이 필요하고 농경지 유입시 유기물질의 다량 소비로 벼생육 지장등의 피해가 우려된다.

상기사항을 검토해 보면 수생식물은 동절기에는 모두 성장이 정지되므로 수질정화 효과가 거의 없다. 그러나 동절기의 하천은 일반적으로 오염이 많이 진행되지 않으므로 큰 문제는 없으리라 본다.

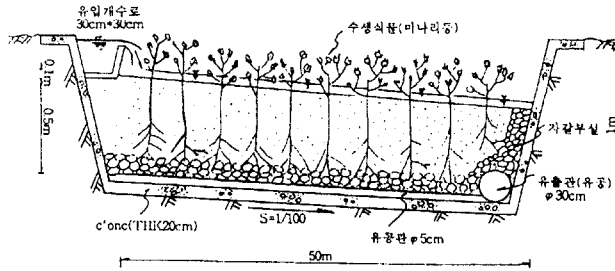
본 대상지역에 가장 적합한 수생식물은 현 단계에서는 어느 것이라 단정지을 수 없다. 이는 현지 유량이 시간적으로 변화하며, 그에 따라 수심과 유속이 달라지고 따라서 체류시간도 달라지기 때문이다. 따라서 본 대상지역에서는 정화시설의 각 수조에 각각 다른 수생식물 또는 이들을 혼합한 수생식물을 식재하고, 수심과 체류시간에 대한 수질정화 효과를 현지 측정하여, 수생식물 별로 수심과 체류시간에 따른 정화효과를 가장 잘 발휘할 수 있는 조건을 결정하여야 할 것이다.

4.2 인공식물섬 설치

인공식물섬은 호수 위에 물에 뜨는 형식으로 하여, 수질정화 효과가 있는 수종을 식재한다.



(a) 평면도



(b) 단면도

그림 4.1 갈대발정화시설

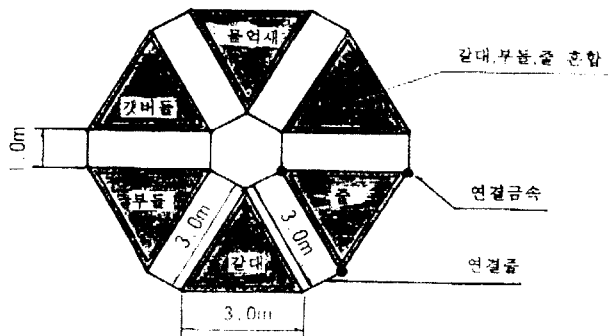


그림 4.2 인공식물섬 설치 (평면도)

수질정화 효과가 큰 수종으로서 갈대, 부들, 줄, 창포 등을 선정하여 그림 4와 같이 인공식물섬을 설치하였다. 인공식물섬은 흐름에 밀려 이탈되지 않도록 호수 바닥에 anchor를 설치하

여 고정시키는 형식으로 한다. Anchor 길이는 호수의 홍수시만수위까지로 한다. 인공식물섬은 물에 떠 움직이므로 체류시간의 개념을 적용할 수 없어 수질정화 효과는 갈대밭 정화시설에 비해 그리 크지 않을 것으로 판단되나, 생태적 서식처로서의 역할은 매우 클 것으로 판단된다. 이 시설은 호수 위에 직접 설치하기 때문에 수위변동이 심하거나 바람 등에 의해 파랑이 자주 발생하는 지역에는 적합치 않으나, 호수 주변에 식생정화시설을 설치할 장소가 없는 경우 이 방법이 바람직하며, 오염이 심각한 장소로 이동 설치할 수 있다는 점에서 장점을 가지고 있다.

식생정화시설에 대한 연구는 아직 초보적 단계로서 해결해야 할 여러 문제점들이 많다. 우리 여건에 맞는 수질정화 효과가 뛰어난 수종 선택이라든지, 체류시간 결정, 정화시설 규모 결정 등은 이론적으로 아직 규명되지 않았다. 따라서 식생정화시설은 대상지구에서 소규모의 시범 모형을 설치하여 현지 측정을 거친 후 설계하여야 할 것이다.

5. 유지관리 대책

식생정화시설에 대한 유지관리대책으로서 다음과 같은 사항을 고려해야 한다.

- (1) 식생정화시설에 이용되는 수생식물은 동절기에 성장이 정지되므로 정기적으로 점검하여 필요하다면 베어주는 것이 바람직하다.
- (2) 시설 내부에는 많은 오염물질이 퇴적될 수 있다. 따라서 정기적으로 준설이 요구된다. 이를 위해서는 정화시설의 바닥은 콘크리트가 유리하다.
- (3) 식생정화시설의 유입관에는 토사나 부유물질 등이 퇴적될 우려가 있다. 따라서 유입관 입구에는 screen등을 설치하여 유입수 중 비교적 큰 고형물질을 제거한다. 또한 screen에 부유물질이 모이지면 정기적으로 제거한다.
- (4) 특히 홍수시 이들 물질이 유입될 우려가 높으므로, 각각판등으로 흐름을 차단함으로써 공급수가 유입되지 않도록 하는 대책을 세워야 한다.
- (5) 인공식물섬은 호수 위에 뜨는 형태로 설치하므로 호수의 수위변화에 대응할 수 있어야 하며, 흐름에 밀려 떠내려가지 않아야 한다. 따라서 호수 바닥에 anchor를 설치하고 줄로 연결하여 고정시키는 구조를 취하되, anchor 길이는 호수의 홍수시만수위까지 한다.
- (6) 식생정화시설은 홍수시 홍수시 부유물질이나 토사가 퇴적되거나, 흐름에 의해 손상될 우려도 있으므로 정기적인 점검을 통해 부유물질과 토사를 제거하고 파손된 부분은 보수하도록 한다.

6. 맺음말

본 연구에서는 식생을 이용한 호수수질 정화법의 기초적 단계로서 갈대밭 정화시설과 인공식물섬에 대해 개략적인 설계(안)을 제시하였다. 제시된 주요 내용은 다음과 같다.

- (1) 갈대밭 정화시설은 하천의 고수부지에 설치해야 되므로 부지가 소요되는 반면, 인공식물섬은 호수 위에 설치되므로 부지가 필요하지 않다.
- (2) 수질정화 효과는 갈대밭 정화시설이 인공식물섬보다 효과적인 반면, 인공식물섬은 생태적 서식처로서 큰 역할을 한다.
- (3) 인공식물섬은 흐름에 밀려 이탈되지 않도록 anchor를 설치하여 바닥에 고정시키는 구조로 하고, anchor 길이는 호수의 홍수시만수위까지 한다.
- (4) 인공식물섬은 호수 주변에 정화시설을 설치할 장소가 없는 경우 바람직하며, 오염이 심각한 장소로 이동시킬 수 있다는 점에서 장점을 가지고 있다.
- (5) 식생정화시설에 대한 연구는 아직 초보적 단계로서 우리 여건에 맞는 수질정화 효과가 뛰어난 수종 선택이라든지, 체류시간 결정, 정화시설 규모 결정 등 해결해야 할 문제가 많다.
- (6) 따라서 식생정화시설은 대상지구에서 소규모의 시범 모형을 직접 설치하여 현지 측정용 거친 후 설계하여야 한다.

참고문헌

- 건설부 (1993). 하천시설기준.
- 건설부 (1994). 자연형 하천계획기법 및 하천유량과 수질의 상관성 조사.
- 농림부 (1998). 농업용수 수질개선 시험사업보고서.
- 전라남도 (1999). 주암호 수질개선 종합대책수립에 관한 연구.
- 한국건설기술연구원 (1995). 하천환경 심포지움.
- 한국건설기술연구원 (1996). 미국, 일본의 하천 복원사업 및 자연형 하천정비 사례.
- U. S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development 「Design manual, Constructed wetland and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment」, 1991.
- 建設省 (1996). 「湖沼水質改善 技術適用 マニュアル(案)」.
- 建設省 霞ヶ浦工事事務所 (1977). 「植生淨化施設」.
- 建設省 利根川上流工事事務所 (1997). 「渡良瀬 貯水池の環境保全」.
- 中村圭吾, 保持尙志, 島谷幸宏 (1995). “人工浮島の効果とその生態係”, 河道の水理と 河川環境シンポジウム論文集, 土木學會水理委員會基礎水理部會, 建設省土木研究所.