

수리분과

水理現象을 고려한 植生浮化施設의 適正技法 研究

책임연구원 : 김 진 흥

(광주대학교 토목공학과 교수)

제 1 장 서 론

최근들어 오염이 심각한 호수나 하천을 대상으로 수질개선 방안에 관한 많은 대책이 강구되고 있으며, 특히 식생을 이용한 호수, 하천 수질정화 방안에 대한 많은 연구가 진행 중이다. 이같은 식생정화시설은 다른 수질개선 대책에 비해 시공, 설치하기가 쉽고, 호수나 하천 주변 경관을 향상시킬 수 있으며, 무엇보다 생태적 서식처로서의 역할을 겸할 수 있다는 점에서 바람직한 방안이라 할 수 있다. 하천이나 호수의 수질개선 대책은 이들로 유입하는 오염 부하량을 저감하는 유입수 규제대책과 유입된 오염 부하량을 하천이나 호수 자체에서 정화 내지 저감하는 수질개선 대책으로 구분되며, 식생정화시설은 후자에 속한다.

식생을 이용한 하천이나 호수의 수질개선 방안은, 1960년대 들어 환경에 대한 관심이 높아지면서 그동안 소홀히 했던 자연의 재생 또는 복원에 대해 관심을 가지기 시작하여, 남부 독일과 스위스 등 독일어 문화권에서 처음으로 시도되었다 (한국건설기술연구원, 1996). 영국에서는 1989년 국립하천청이 설립되면서 식생정화시설 설치에 대한 지침을 마련하여 시행하였고, 미국에서도 국립환경청의 설립과 함께 수질개선을 위해 호수에 식생정화시설을 설치하고 있다 (U.S. EPA, 1991).

본 연구에서는 오염이 진행중인 호수를 대상으로 하여, 호수 수질정화와 생태적 서식처를 위한 식생정화시설로서 수리현상을 고려한 식생정화시설의 적정기법을 개발하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위한 식생정화시설로서 호수 내에 인공부도를 설치하고 고수부지에 식생정화지를 설치하였다. 따라서 식생정화시설에 대한 기본 이론으로 수생식물의 종류와 수질정화 효과, 수생식물에 의한 질소, 인의 제거 과정 및 식생정화시설의 규모 결정을 다루었다. 또한 식생정화시설에 대한 국내,외의 실제사례를 소개하며, 대상 지역을 선정하여 유역현황과 수질현황 등을 살펴보고, 식생정화시설의 기본적 형태로서 식생정화지와 인공부도를 설계하였다.

수생식물은 동절기에는 성장이 정지되므로 수질정화 효과가 떨어지며, 홍수기에는 식생정화시설 내에 많은 토사가 유입되어 수생식물이 유실 및 훼손될 우려도 있다. 또한 인공부도는 파손될 우려도 있다. 따라서 정기적인 유지관리 대책이 요구되며, 본 연구에서는 이들에 대한 유지관리 대책도 다루었다.

제 2 장 植生淨化施設의 基本 理論

제 1 절 수생식물의 종류

식생정화시설에 이용되는 수생식물은 주로 육지와 수계를 연결하는 연안대에 분포하는 식물로서 추수식물, 부엽식물 및 침수식물로 분류되며 연안대 별로 서식하는 조건은 그림 2.1에 나타나 있다.

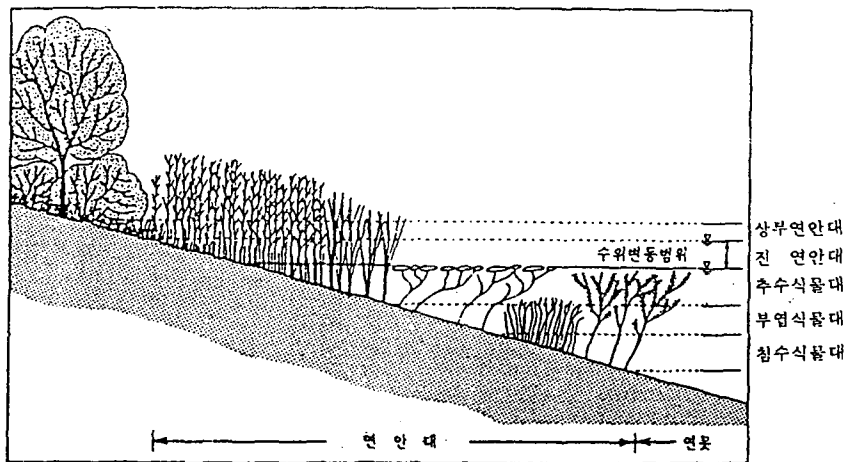


그림 2.1 호수의 연안대와 구분

그림 2.1을 보면 진연안대로부터 상부연안대에는 주로 습생식물이, 하부연안대에는 육지 쪽에서부터 호수 쪽을 향하여 추수식물, 부엽식물 및 침수식물이 분포함을 알 수 있다. 그러나 이러한 3가지 생활상의 식생대는 어느 곳에서나 명확하게 구분되는 것이 아니고, 일부는 겹손되는 경우도 있으며 수심이 얇고 긴 곳에서는 혼생하기도 한다.

수생식물을 추수식물과 부엽식물 및 침수식물로 분류하여 설명하면 다음과 같다.

1. 추수식물

추수식물은 흙 속에 뿌리를 내리고 줄기와 엽면은 수면보다 위로 추출해서 대기중에 있을 전개시킨다. 대부분의 추수식물은 지하수위가 높은 진연안대로부터 상부연안대의

습지에 많이 생육한다. 대형 추수식물은 호안의 역할, 생태학적 기능 및 광역적인 수변경관 형성 측면에서 골격이 되는 주요 식물로서 연안대에 분포한다. 대형 추수식물은 갈대, 줄, 큰부들류, 큰고랭이 등이 있으며, 소형 추수식물로는 송이고랭이, 올방개, 세모고랭이, 올챙이고랭이, 물옥잠, 물냉이, 물수세미 등이 있다.

2. 부엽식물

부엽식물은 수면 밑의 저니 속에 뿌리를 내리고 줄기와 엽면을 수면까지 신장시켜 잎을 뜨게 하는 식물로서, 침수식물과 함께 어류의 산란 및 치어의 생육장소인 조장(藻場)을 형성하며, 연안수역의 경관요소로서도 중요하다. 종류로는 마름류인 마름, 큰잎마름, 애기마름 등과 노랑어리연꽃, 어리연꽃, 수련, 순채 등이 있다.

3. 침수식물

침수식물은 수면 밑의 저니 중에 뿌리를 내리고 줄기, 잎 모두 수중에서 생활한다. 꽃은 수면 위로 나와서 개화하는 것이 많다. 경엽과 종자는 물새의 먹이가 되며, 호수의 투명도 저하에 대해서 약하고 부영양화가 심해지면 급속히 감소한다. 종류로는 말즘, 넓은잎말, 대가래, 말, 솔잎가래, 이삭물수세미, 검정말, 나사말 등이 있다

제 2 절 수생식물에 의한 질소, 인의 제거 과정

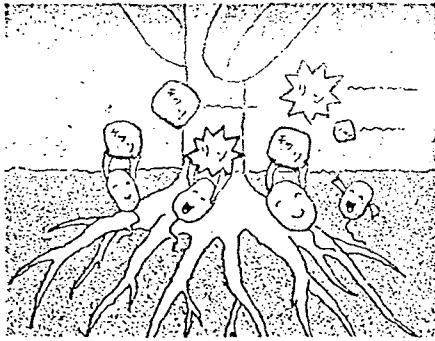
수생식물에 의한 질소, 인의 제거 과정은 그림 2.2에 나타나 있으며 이를 설명하면 다음과 같다.

- 줄기와의 접촉에 의한 침전 효과
 - 흐름이 줄기와 접촉하면 오탁물질이 침전, 퇴적하게 된다. 수생식물이 밀집되어 있는 곳에서는 침전의 효율이 더욱 커지므로 오탁물질 제거 효과도 높아진다.
- 脫窒, 흡착작용에 의한 제거
 - 저습지에 생식하고 있는 탈질균에 의해 탈질 작용이 촉진되며 또한 토양은

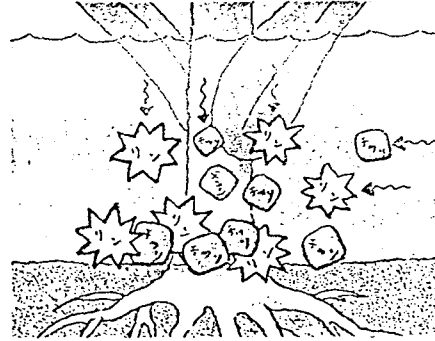
인을 흡착하는 작용이 있다.

○ 질소, 인의 흡수에 의한 제거

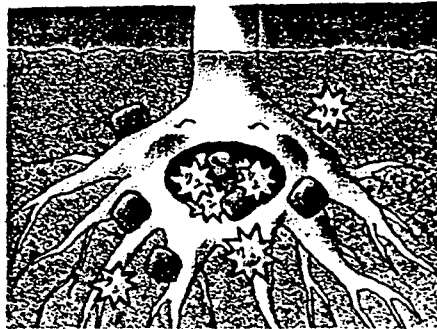
- 수생식물의 뿌리나 줄기는 토양에 침전, 흡착된 질소나 인을 영양분으로 하여 흡수한다.



(1) 줄기와의 접촉에 의한 침전



(2) 脫窒, 흡착작용에 의한 제거



(3) 질소, 인의 흡수에 의한 제거

그림 2.2 수생식물에 의한 질소, 인의 제거 과정

그림 2.3은 수생식물이 식재된 수조(갈대밭)에서 측정된 수질정화 효과를 설명하는 것으로서 수심이 10cm일 때 체류시간과 질소, 인의 제거율과의 관계를 나타내고 있다 (建設省 霞ヶ浦工事事務所, 1995). 그림 2.3에 의하면 수심이 10cm일 경우, 체류시간이 6~7시간일 때 갈대밭은 질소 제거율이 약 58%, 인 제거율이 약 62%로서 최대의 수질정화 효과를 나타내며 그 이후는 시간의 증가와 함께 감소된다는 것을 알 수 있다.

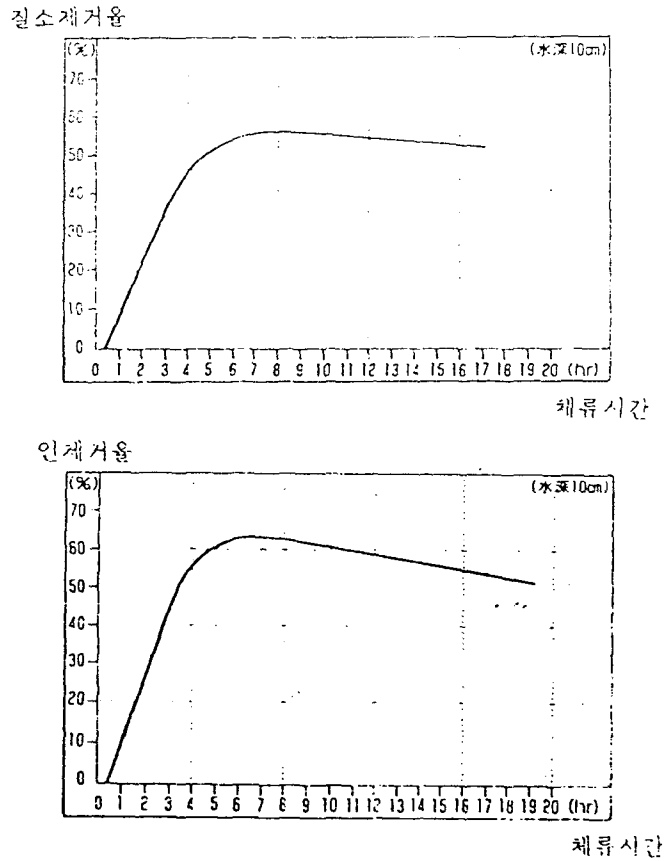


그림 2.3 체류시간과 질소, 인의 제거율 관계

제 3 절 식생정화시설의 규모결정

식생정화시설의 규모는 일반적으로 아래와 같은 식으로 결정된다.

$$V = \frac{Q \cdot t}{24e} + V_s \quad \text{-----(2.1)}$$

여기서, V : 정화시설의 규모(m^3), e : 자갈층 및 토양의 공극율
 Q : 처리 용량($m^3/일$), t : 체류시간(hr)
 V_s : 오니 발생량 및 기타 여유량(m^3)이다.

상기 식에서 V_s 는 하천수의 오탁에 관계되므로 일률적으로 정해진 값은 아니며, 현지 하천과 호수의 수질 정도에 따라 결정된다. 일반적으로 V_s 는 $(Q \cdot t)/24e$ 의 0.5~1.0배 정도로 하고, 혼합 공극율은 $e=0.29$, 체류시간은 $t=6\sim 7$ 시간으로 하여 설계하며, 처리 용량 Q 가 정해지면 상기 식으로부터 식생정화시설의 규모를 결정할 수 있다.

처리용량 Q 는 호수로 유입하는 하천의 평상시 유량을 대상으로 할 수도 있다. 이 경우 유량 산정은 빈도분석에 의한 유출해석으로 결정되며, 결정된 유량을 식생정화시설로 유입시키기 위해서는 하천에 가동보를 설치하여 상,하류 수위차에 의해 유입시키되, 홍수시 수위가 일정 높이 이상으로 되면 자동적으로 도복이 되도록 설계하는 것이 바람직하다.

하천수를 상,하류 수위차에 의해 유입시키기 위해서는 가동보는 식생정화시설의 상류측에 설치해야 하며, 수위차를 유지시키기 위해서는 경우에 따라서 식생정화시설로부터 상류측으로 700~1000m 이상 떨어져 설치하고, 식생정화시설까지 개수로 또는 관수로를 통해 유입시켜야 한다.

가동보는 하천 폭이 비교적 좁은 곳에 설치하는 것이 효과적이며, 하천 폭이 커지면 설치하기가 힘들며 설치비용도 많아지고 유지관리도 복잡하여 경제성이 뒤떨어진다. 따라서 하천 폭이 클 경우는 콘크리트보와 같은 고정보를 설치하고 취수구를 통해 일정 유량을 유입시키되, 홍수기에는 유입수 차단시설을 설치하여 식생정화시설로 하천수가 유입되지 않도록 하는 것이 필요하다.

유입수 공급시설로서 보 대신 펌프시설을 고려할 수도 있다. 펌프시설은 식생정화시설 바로 옆에 설치하기 때문에 보에 비해 설치비용을 절감할 수 있어 경제성에서 유리하나, 펌프시설을 가동시키기 위한 비용과 유지관리 비용이 많이 소요된다는 단점이 있다. 유입수 공급시설로서 보와 펌프시설 중 어느 것을 택할 것이냐 하는 문제는 식생정화시설이 설치되는 현지여건, 시공성, 경제성 등을 종합적으로 검토하여 결정해야 한다.

제 3 장 植生淨化施設의 設計 事例

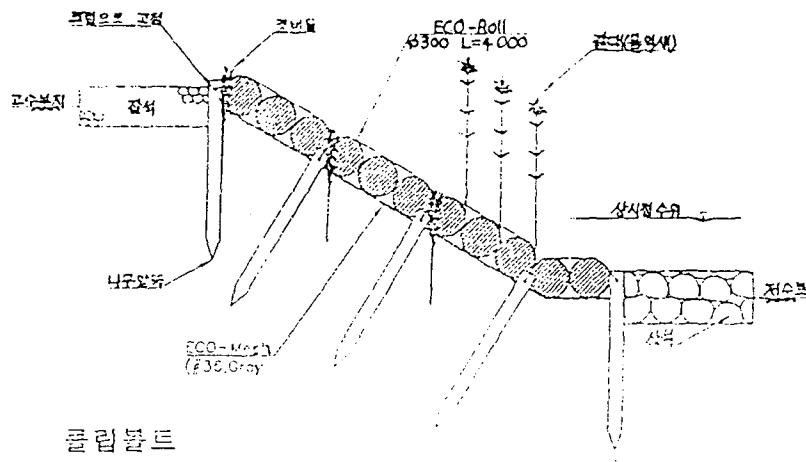
제 1 절 국내 사례

식생정화시설에 관한 국내의 연구 동향은 아직 초보적 단계라 할 수 있다. 한국건설기술연구원(1996)에서는 선진국 시찰을 통해 인공부도의 구조와 수질정화 효과를 보고서 형식으로 발표한 바 있으며, 최근 충청남도에서는 미나리짚을 조성하여 수질정화 효과와 함께 미나리를 재배하여 소득을 올리고 있다는 언론 발표도 있었다. 또한 어느 군부대에서는 소규모의 식생정화시설을 설치하여 취사장에서 배출되는 생활하수를 정화시켜 방류하고 있다는 보도도 있었다. 최근에는 농업용수 전용 소규모 저수지를 대상으로 하여 식생 정화지나 인공부도와 같은 식생정화시설을 설계하고 있으나 (농림부, 1998) 아직 설치된 단계는 아니다.

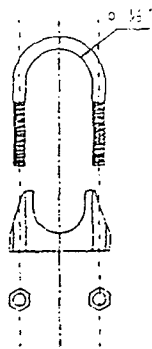
한편 하천 저수로에 식생을 이용하여 호안 역할을 도모하면서 수질정화효과를 목적으로 설치하고 있는 식생호안은, 최근에 많은 관심과 아울러 하천환경과 치수를 고려한 종합적인 측면에서 상당한 연구가 진행 중이다 (건설부, 1993; 건설부, 1994; 한국건설기술연구원, 1995). 기존의 콘크리트 및 석축으로 시공되어 왔던 저수호안을 자연식생 및 2차 오염을 유발시키지 않는 천연소재를 이용하여 호안을 보호하는 공법으로 대표적인 설계 사례가 그림 3.1에 나타나 있다.

그림 3.1을 보면 물과 닿은 저수호안의 하단부에는 수질정화 효과가 비교적 좋은 갈대나 물억새를 식재하고, 상단부에는 소류력에 비교적 강한 갯버들 또는 달뿌리풀 등을 식재하는 것으로 되어 있다. 식생을 식재하기 위해서는 먼저 저수로 경사면 바닥을 고르고, 식생 mat나 식생 roll을 설치하여 바닥이 유실되지 않도록 하는 것이 중요하다. 식생 mat로는 코코넛 섬유, 황마, 쉼단 등이 있다. 그림 3.1에는 식생 roll이 설치되어 있다.

표 3.1에는 기존 콘크리트블록 호안과 비교하여 식생호안의 장단점이 요약되어 있다.



콘크리트



갯벌들 식재방법

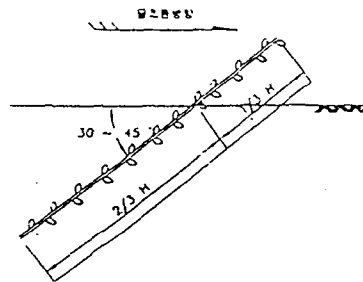


그림 3.1 식생호안 표준 단면도

표 3.1 식생호안의 장단점

장점	단점	비고
1. 경관 양호 2. 고수부지의 건조화 방지 3. 다양한 식생 설치 가능 4. 생태계 보전 기능 (초본류와 함께 먹이사슬의 제1차 생산자 역할을 하고, 조류나 소동물의 서식처 및 휴식과 먹이 획득의 장소 제공) 5. 수질정화 기능	1. 적용구간이 제한적 2. 하도 접근이 곤란 3. 조도계수의 증가로 통수능 감소 4. 지속적인 유지관리 5. 콘크리트 블록에 비해 공사비가 비싸다 6. 내구성 저하 7. 시공시기에 제한을 받는다	

식생정화시설에 대한 설계 사례로서, 전라북도 순창군에서 셋강살리기 사업의 일환으로 경천 고수부지에 설치하고 있는 식생정화시설을 들 수 있다(순창군, 1998). 그림 3.2는 식생정화시설의 위치도를 나타내고 있다.

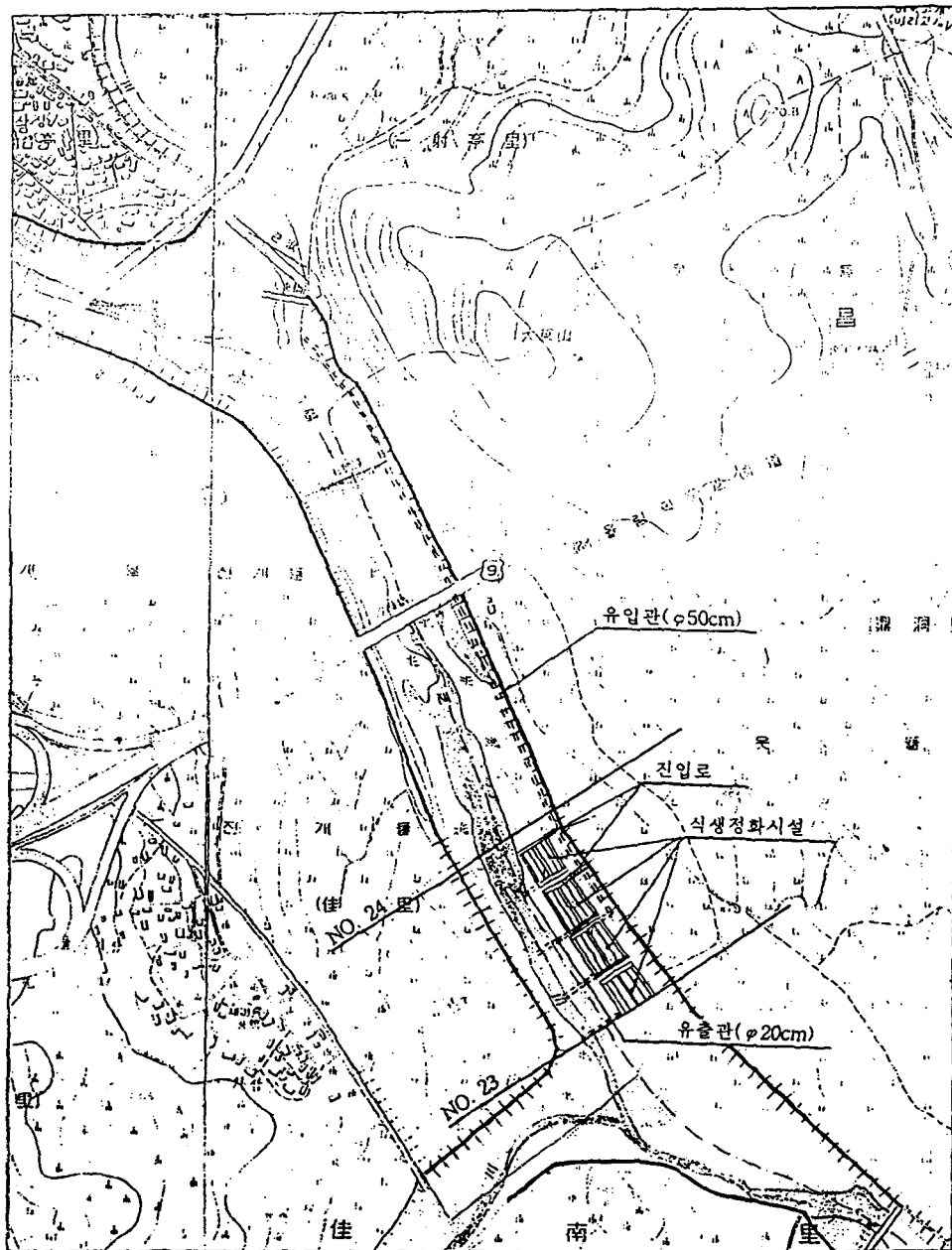


그림 3.2 식생정화시설의 위치도

NO. 23 단면의 하폭은 145m, NO. 24 단면의 하폭은 110m로서 다른 구간에 비해 비교적 하폭이 넓다. 식생정화시설이 설치되는 좌안의 고수부지는 폭이 약 50m에 달한다. 그림 3.3은 NO. 24 지점의 단면도를 나타내고 있다.

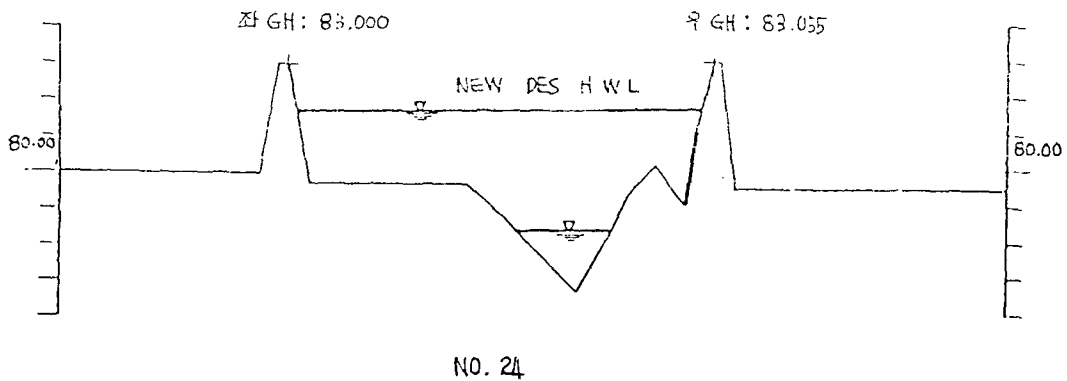


그림 3.3 NO. 24 지점의 단면도

식생정화시설의 유입수는 그림 3.2에 나타나 있듯이 양지천 합류지점에서 직경 50cm의 수로관을 통해 상하류 수위차를 이용하여 유입시키도록 하였다. 유입수 공급시설로서 펌프장을 고려할 수도 있으나 유지관리가 쉽으므로 수위차를 이용하도록 하였다. 식생정화시설을 통해 오염이 제거된 유출수는 직경 20cm의 유출관을 통해 하천에 방류시키도록 하였다.

그림 3.4는 식생정화시설의 세부 평면도를 나타내고 있다. 양지천 합류지점으로부터 공급된 유입수는 직경 50cm의 수로관을 거쳐 각각 유입개수로 (20cm×20cm)에 유입된다. 유입수는 수조에 식재된 수생식물을 거쳐 정화된 후, 유출개수로(20cm×20cm)를 통해 최종적으로 하천에 방류된다. 수생식물이 식재되는 pool의 규격은 폭이 5m, 길이가 50m로서 1조의 수조에 3개의 pool을 설치하며 총 4조를 설치하는 것으로 하였다 (그림 3.4에는 2조만 나타나 있음). 이 경우 식생정화시설 설치에 필요한 고수부지의 폭은 콘크리트 수조의 폭 2.4m (0.6m×4)까지 포함하여 17.4m가 된다.

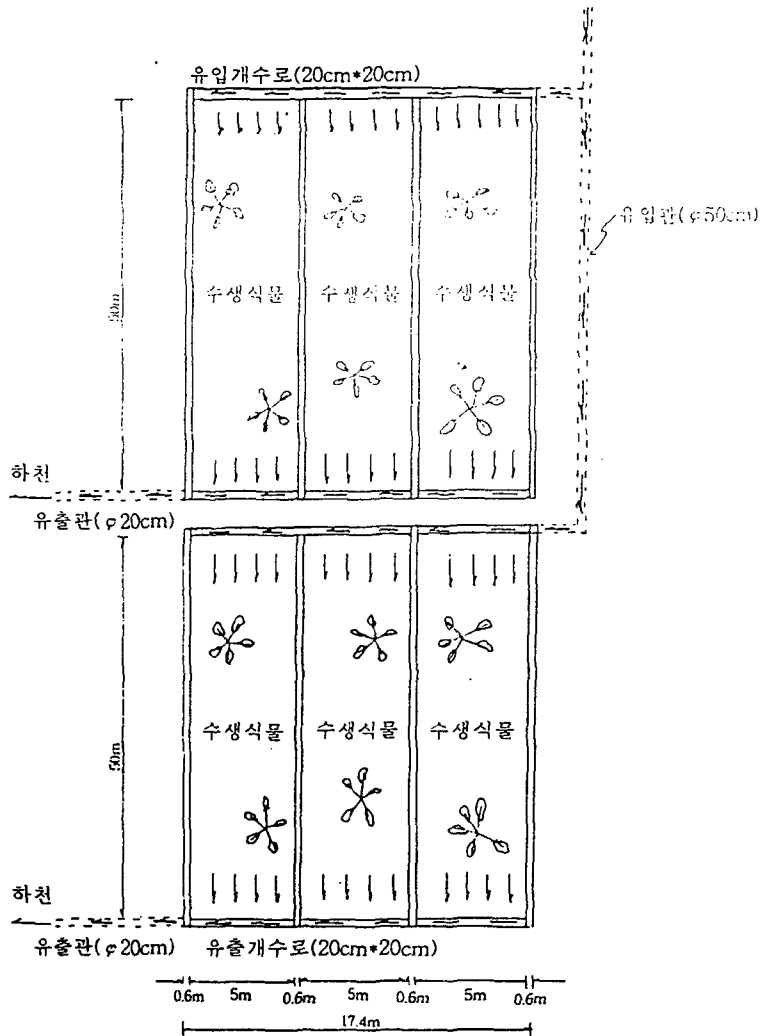


그림 3.4 식생정화시설의 세부 평면도

그림 3.5는 식생정화시설의 단면도를 나타내고 있다. 수심은 10cm로 하고, 바닥 경사는 $s=1/10000$ 로 한다. 수조 바닥은 누수 방지를 위해 비닐시트를 설치한다. 비닐시트 대신 바닥을 콘크리트로 할 경우 유지관리는 용이하나, 공사비가 많이 들어 경제성에서 불리하다. 한편 바닥을 비닐시트로 하면 공사비는 적게 소요되나 유지관리 측면에서 불리한 점도 있다. 따라서 수조 바닥의 재료결정은 경제성과 유지관리 및 현지여건을 종합적으로 고려하여 결정하여야 한다.

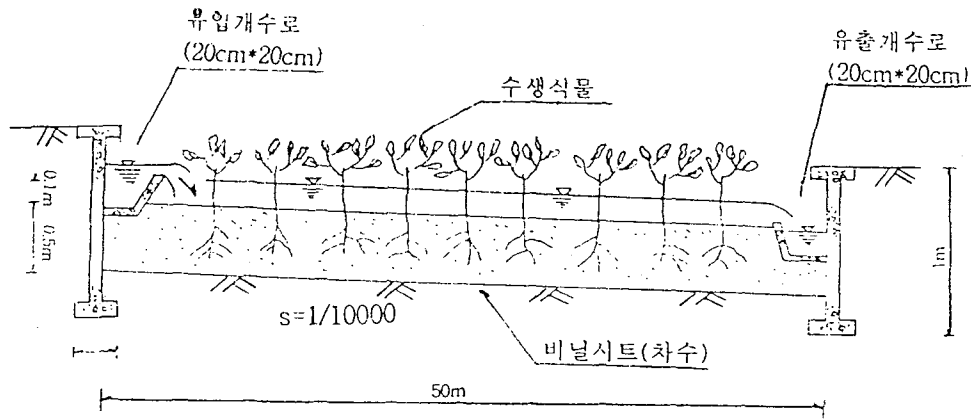


그림 3.5 식생정화시설의 단면도

수생식물은 그림 2.3에 나타나 있듯이 수심이 10cm이고 체류시간이 5~6 시간일 때 일반적으로 최대의 수질정화 효과를 나타내는 것으로 알려져 있다 (建設省 霞ヶ浦工事事務所, 1995). 따라서 본 대상지역에서도 수심이 10cm를 유지하도록 하였다. 다만 체류시간 산정에 대해서 정량적으로 결정된 결과는 없다. 따라서 본 대상지역과 같이 수생식물 사이로 물이 통과하는 경우에 대한 체류시간 결정은 정량적으로 할 수 없고, 현장에서 직접 측정할 수 밖에 없으며, 정화시설을 설치하고 각 수생식물에 따른 체류시간을 결정한 후, 최대의 수질정화 효과를 갖는 인자들을 결정해야 할 것이다.

제 2 절 해외 사례

선진국에서는 최근들어 하천, 호수 수질 정화 방안으로서 식생정화법에 대한 많은 연구와 아울러 하천과 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 적합 서식 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 오탁

수를 갈대밭으로 유도시켜 정화시킨 후, 이를 호수에 방류시키고 있다.

식생정화시설의 대표적 사례로서 霞ヶ浦 호수를 들 수 있으며, 이곳에서는 호소로 유입되는 4개 하천에 대해 식생정화시설을 설치하고 있다. 표 3.2는 식생정화시설의 규모와 오염정화 효과를 보여주고 있으며, 사진 3.1은 山王川 유입부에 설치된 갈대밭 정화시설을 나타내고 있다.

표 3.2 霞ヶ浦의 식생정화시설

구분	하천명	대상유량 (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	
식생 정화	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
	川屈川	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

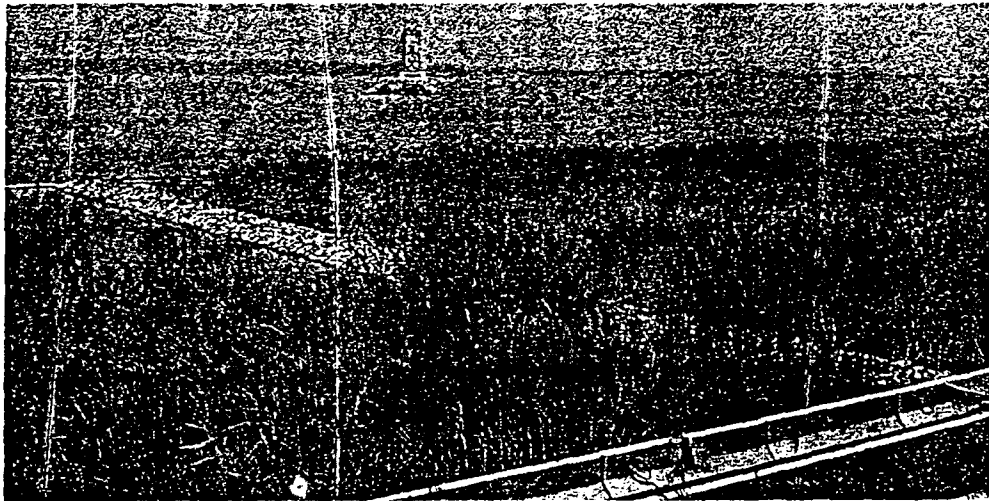


사진 3.1 갈대밭 정화시설

山王川에 설치된 식생정화시설의 현지 측정에 의하면, 질소, 인의 제거율과 체류시간에 대한 관계는 수심이 약 10cm이고 체류시간이 6~7시간일 때 제거율이 최대로 나타나

는 것으로 밝혀졌는데, 실험결과 총질소는 약 40~50%, 총인은 약 50~60% 정도 제거되는 것으로 나타났다 (建設省 霞ヶ浦工事事務所, 1995).

식생정화시설의 또 한가지 예로서, 호수 위에 설치하는 人工浮島(artificial vegetated island)를 들 수 있다. 인공부도는 그림 3.6과 같이 철제 프레임과 발포 스티렌 또는 목재 등을 이용하여 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).

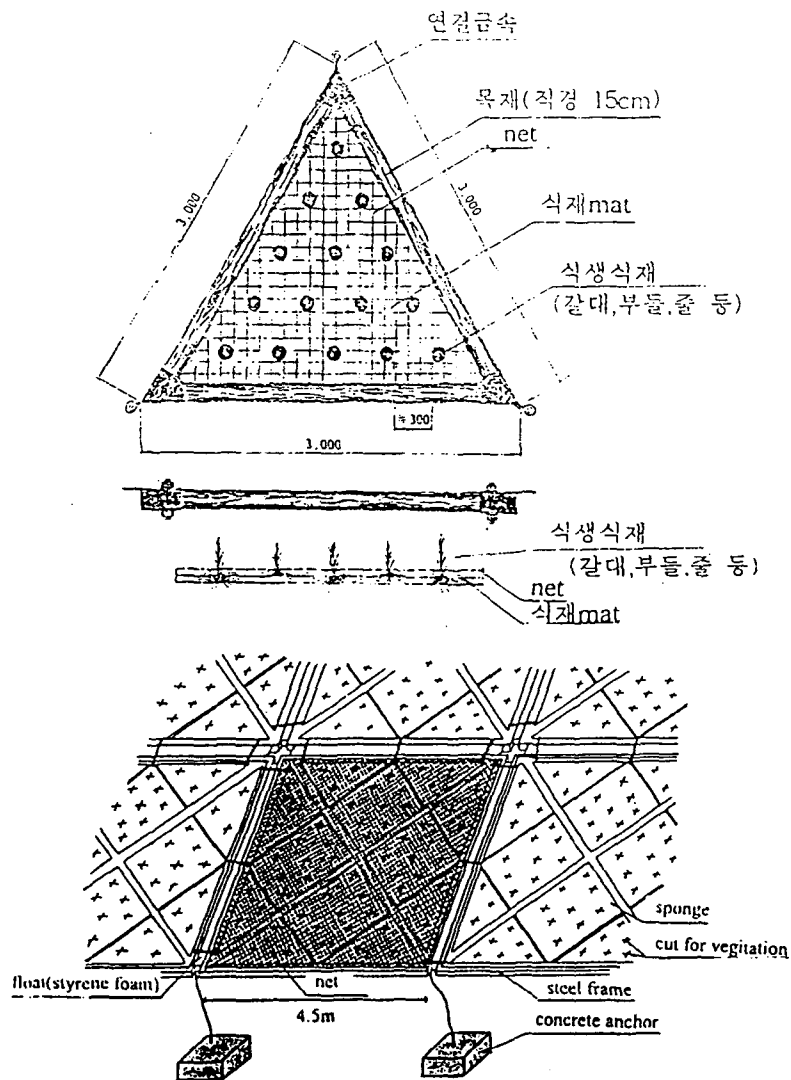


그림 3.6 인공부도 시설

인공부도 시설은 체류시간 개념이 적용되지 않으므로 수질정화 효과보다는 생태계의 서식처 효과가 더 큰 것으로 판단된다. 사진 3.2는 호수 위에 설치된 인공부도의 구조를 나타내고 있다.

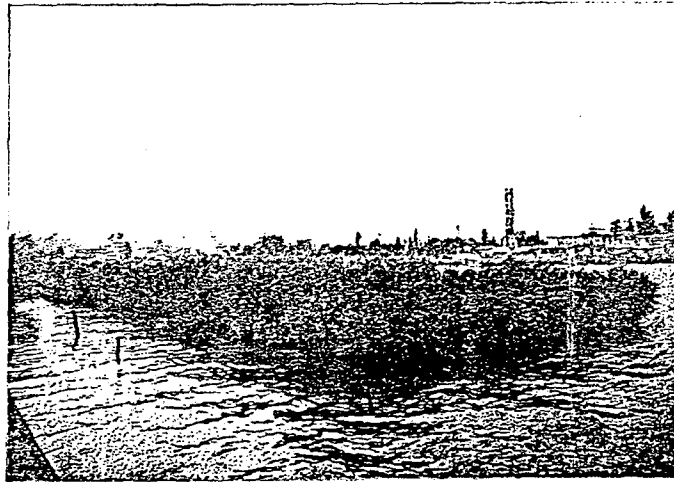
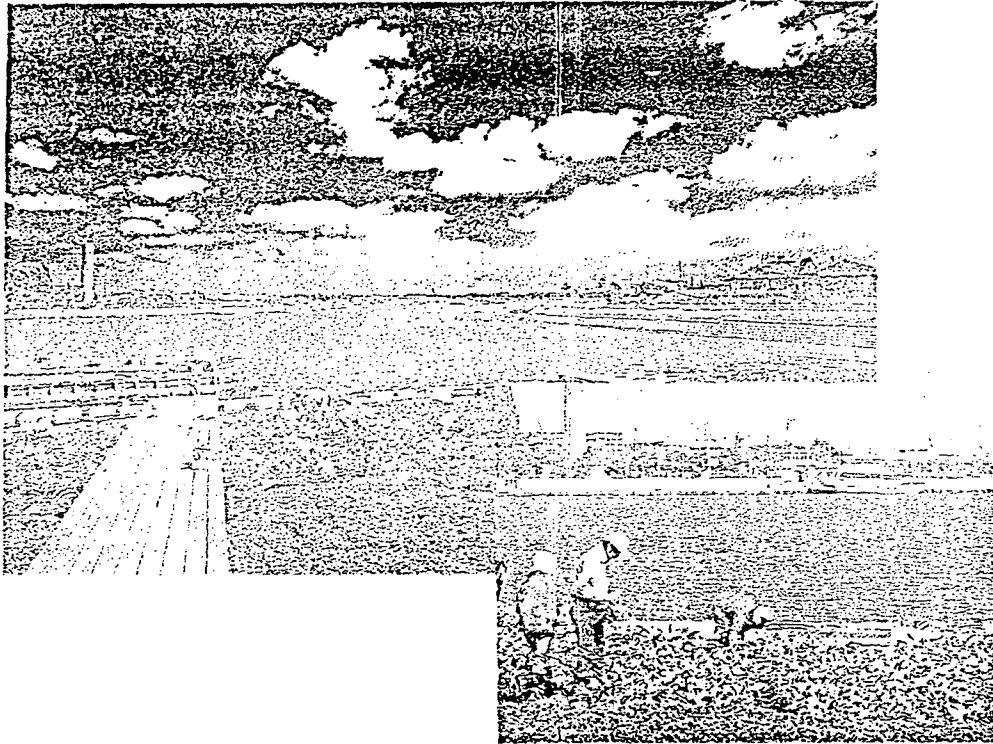


사진 3.2 호수 위에 설치된 인공부도의 구조

사진 3.3은 일본 土浦에 설치된 식생정화시설을 보여주고 있다. 이곳에서는 9종류의 수생식물을 수조에 식재하여 수질정화를 도모하고 있다. 이들 식물들은 수질정화 효과 외에도 관상용, 식용, 퇴비의 활용 등 다목적으로 이용될 수 있어 주민들의 호응이 좋다. 따라서 주민들이 모임을 형성하여 수생식물을 재배, 관리하고 있어 유지관리는 비교적 용이하다. 사진 3.3(a)는 주민들이 수생식물을 재배하고 있는 모습이며, 사진 3.3(b)는 관상용 또는 식용을 목적으로 수생식물을 획득하는 모습이고, 사진 3.3(c)는 수생식물에 대한 요리 강습회를 열고 있는 모습을 보여주고 있다.

그림 3.7은 수생식물을 이용한 식생정화시설을 설치하였을 경우 효과를 나타내고 있다. 이 효과를 설명하면 다음과 같다.

- (a) 수질정화 ; 오염된 물의 수질을 정화시킨다.
- (b) 꽃, 야채의 재배 ; 시민 농원으로서 꽃, 야채를 재배한다.
- (c) 꽃, 야채의 획득 ; 가정에서 관상용이나 식용으로 이용할 수 있다.
- (d) 퇴비의 활용 ; 퇴적된 토사는 퇴비로 활용된다.
- (e) 휴식의 장 ; 자라나는 수생식물은 시민들에게 휴식의 장을 제공할 수 있다.



(a) 수생식물 재배 모습

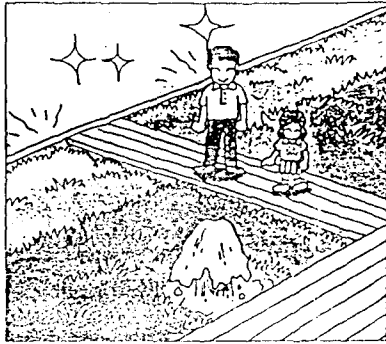


(b) 수생식물 획득 모습

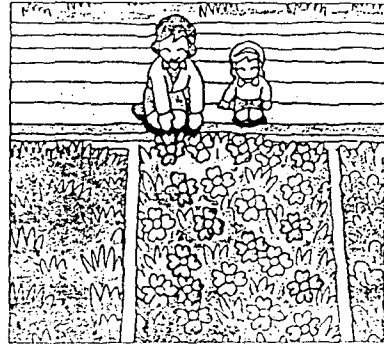


(c) 요리 강습회 모습

사진 3.3 식생정화시설에서의 여러 활동모습



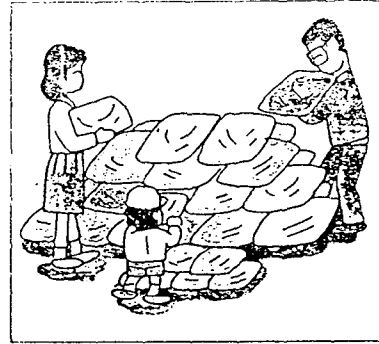
(a) 수질정화



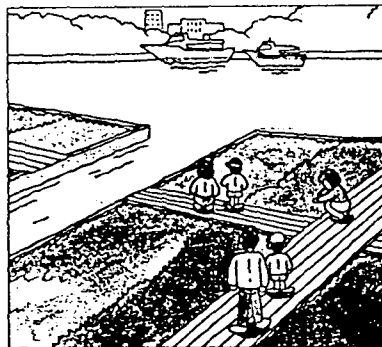
(b) 꽃, 야채의 재배



(c) 꽃, 야채의 획득



(d) 퇴비의 활용



(e) 휴식의 장

그림 3.7 식생정화시설의 여러 효과

9종류의 수생식물은 일본에서 자라는 식물로서 이중에는 우리나라에서 재배하지 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.

제 4 장 對象地域의 現況

제 1 절 유역 현황

섬진강 유역은 한반도의 남해안 중서부에 위치하고 있으며, 개략적인 경위도는 동경 126° 52' ~ 127° 53', 북위 34° 40' ~ 35° 50' 으로 유역면적은 4896.5km²이고 유로연장은 225.3km이다. 유역의 동쪽에는 낙동강 유역, 서쪽에는 영산강 유역과 동진강 유역, 북쪽에는 금강 유역과 만경강 유역이 접하고 있다. 섬진강은 전북 진안군 백운면 팔곡산에서 발원하여 서쪽으로 유하하다가 섬진강 댐을 거쳐 이후 서남쪽으로 흐른다. 적성, 곡성에서 오류천, 요천이 합류되고 압록에서 보성강과 합류한 후 구례, 하동을 거쳐 남해로 흐르게 된다. 하상경사는 상류부가 1/300~1/900, 중류부가 1/1000~1/1500, 하류부가 1/1700 ~1/3000로 5대강 중 가장 급한 편에 속한다.

주암호 유역의 연평균강우량은 약 1,417mm로서 전국 연평균강우량 1,274 mm보다 약 11% 많은 다우지역이다. 월별강우량은 표 4.1에서 알 수 있듯이 연평균강우량의 약 64%가 6~9월에 집중되어 계절적인 편차가 심하여 효율적인 수자원 이용 및 관리에 불리함을 알 수 있다.

표 4.1 월별 유역 평균강우량

단위,mm

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	합계
강우량	33.9	45.2	63.8	123.1	114.8	204.4	296.9	264.5	146.0	52.4	49.2	22.8	1417

유역 내 수위관측소는 12지점으로서 이중 오수 및 제2 섬진이 보통수위표이며, 나머지 10지점은 자기수위표이다. 본 계획에서 대상으로 하고 있는 주암호 지점 가까이에는 직하류에 광천관측소와 하류에 구례관측소가 위치하고 있다. 광천관측소 지점의 총 유역면적은 1,019.3km²이며, 하상경사는 1/500, 하폭은 205m, 영점표고가 EL. 61.238m이다. 구례관측소 지점의 총 유역면적은 3,805.4 km², 하상경사는 1/1,100, 하폭은 350m, 영점표

고가 EL. 23.022m이다. 표 4.2는 구례관측소와 광천관측소의 수위-유량 관계 곡선식을 나타내고 있다.

표 4.2 수위-유량관계 곡선식

단위, h:m Q:m³/s

관측소	적용범위	곡선식	이용자료	비고
구례	1.11 ≤ h ≤ 2.728	Q=205.520(h-0.526) ^{2.2933}	1987년	
	2.728 ≤ h ≤ 4.95	Q=131.462(h+0.278) ^{1.8857}	1987년	
광천	h ≤ 1.9	Q=110.94h ^{2.584}	1989년	
	1.19 ≤ h ≤ 3.0	Q=200.85(h-0.192) ²	1987년, 1989년	

표 4.2를 기본으로 하고 최근 10년 간의 섬진강 유역의 유출분석을 실시하여, 송광천과 주암댐 지점의 홍수량을 산정한 결과는 표 4.3과 같다. 표 4.3에서 송광천은 준용하천인 점을 감안하여 50년 빈도의 홍수량을 대상으로 하였고, 보성강은 직할하천인 점을 감안하여 100년 빈도의 홍수량으로 결정하였다.

한편 주암호에는 주암 본댐과 상사 조절지댐이 있으며, 이들의 시설 개요는 표 4.4와 같다.

표 4.3 홍수량 산정

수계	하천명	등급	유역특성		지점	홍수량 (CMS)	빈도	비고
			유로연장	면적				
섬진강	보성강	직할	120.0	1309.67	주암댐 지점	3570	100년	
	송광천	준용	21.09	80.1	주암호 유입부 장안교 지점 외서초등학교 하류	715 530 275	50년	

표 4.4 주암 본댐과 상사 조절지댐의 시설 개요

구 분	주암 본댐	상사 조절지댐
하 천 명	보성강	이사천
위 치	전남 순천시 승주군 주암면 대광리	전남 순천시 승주군 상사면 용계리
유역면적 (km ²)	1010.0	134.6
연평균 유입량 (m ³ /s)	25.02	4.66
홍수위 (EL.m)	110.5	111.1
상시 만수위 (EL.m)	108.5	108.5
저수위 (EL.m)	85.0	60.0
총 저수용량 (백만m ³)	457.0	250.0
유효 저수용량 (백만m ³)	412.0	230.0
이수 용량 (백만m ³)	352.0	210.0
홍수 조절용량 (백만m ³)	60.0	20.0
댐 형식	중앙심벽형 석괴댐	중앙심벽형 석괴댐
댐 높이 (m)	57.0	100.0
댐 길이 (m)	330.0	563.0
발전시설 용량 (KW)	-	22500
연간 용수공급량 (백만m ³)	270.1	219.3
연간 발전량 (Kwh)	-	51.3

제 2 절 주암호 수질 현황

표 4.5는 1991년 주암댐 건설사업으로 인한 자연환경 변화에 따른 영향을 분석하기 위해 실시한 수질현황을 나타내고 있다 (1991, 한국수자원공사).

표 4.5 주암호 수질현황 (1991년)

구분		춘계	하계	추계	동계	비고
수온	호소	6.6-17.6°	14.0-28.8°	12.0-24.0°	8.3-17.6°	
	하천	8.9-17.5°	15.6-25.8°	17.2-22.8°	12-17.2°	
PH		5.8-7.7	6.0-8.8	6.55-7.81	6.55-6.90	
용존산소		7.14-10.40	5.16-10.5	4.73-8.85	5.96-9.82	
투명도		1.10-2.26	0.95-1.90	2.30-5.35	2.40-4.00	
COD		1.20-7.40	2.60-4.20	0.20-2.20	1.58-3.96	
NH ₃ ⁺ -N		0.001-0.03	0.001-0.10	0.001-0.76	0.01-0.157	
NO ₂ ⁻ -N		0.001-0.012	0.001-0.019	0.001-0.011	0.001-0.045	
NO ₃ ⁻ -N		0.41-1.75	0.24-0.81	0.005-0.779	0.075-0.733	
TN		0.02-0.09	0.01-0.32	0.008-0.325	0.001-0.327	

조사기간은 아래와 같이 4차로 나누어 실시하였으며, 조사지점은 그림 4.1과 같고, 수심에 따라 표층, 중층, 심층 3개의 층으로 나누어 실시하였다.

조사기간

- 1차 조사(춘계) ; 1991. 4. 22 - 4. 24 (3일간)
- 2차 조사(하계) ; 1991. 7. 23 - 7. 25 (3일간)
- 3차 조사(추계) ; 1991. 10. 11 - 10. 13 (3일간)
- 4차 조사(동계) ; 1991. 11. 6 - 11. 8 (3일간)

수질검사 결과 중금속은 철, 망간, 구리가 미량으로 검출되었는데, 농도는 각각 ND~0.0724 mg/L, ND~0.0174 mg/L, ND~0.053 mg/L였으며, 클로로필a는 1.5~38.5 mg/L였다. BOD는 대체로 0.32~4.27 mg/L을 나타냈으며, 최대값은 승주군 상사면 신월리에서 4.27 mg/L의 값을 보였는데 이는 주변 양어장으로부터의 양식배수의 일시적 영향인 것으로 밝혀졌다.

상기 결과를 보면, 수온의 경우 심층 호소의 수온은 심층 하천의 수온보다 낮은 반면 표층 호소의 수온은 표층 하천의 수온보다 높음을 알 수 있다. 이는 하천의 경우 일조량이 비교적 적고 유속이 크기 때문인 것으로 해석된다.

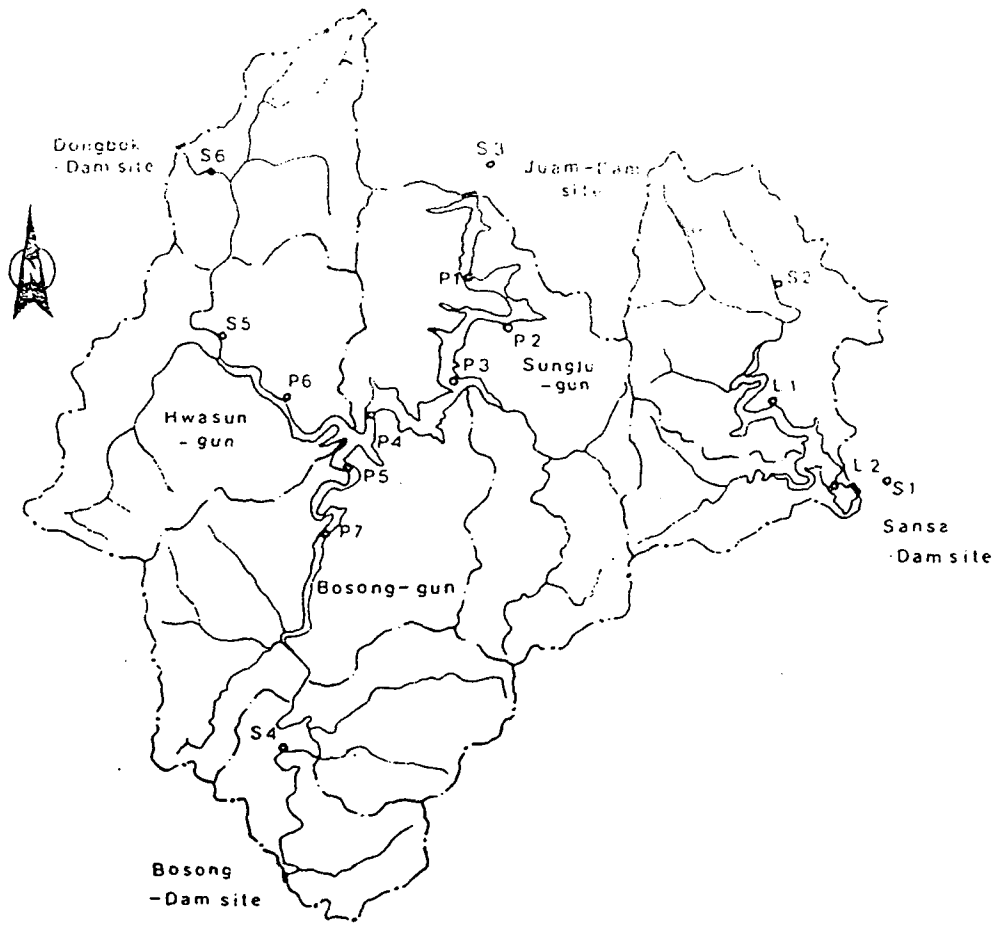


그림 4.1 수질 조사지점

용존산소의 경우 춘계, 하계조사에서는 비교적 높게 나타나 상수원수 I 등급에 해당하고, 추계와 동계의 경우 각각 II, III 등급에 해당된다. 투명도에 따른 호수의 영양상태는 중영양 상태로 판단되며, 총인 농도에 따른 수질등급은 II~III등급에 해당되며 영양상태는 부영양 상태라 볼 수 있다.

표 4.6은 최근 실시한 주암호 수질 현황을 나타내고 있다. 표 4.5와 달리 수질이 비교적 좋게 나타난 이유는 동절기인데다, 이상기온 현상으로 강우가 비교적 많이 형성되었기 때문인 것으로 판단된다.

표 4.6 주암호 수질 현황

채수일 ; 1998년 3월 4일

항 목	단 위	수 질	항 목	단 위	수 질
수소이온농도		7.3	알칼리도	mg/l	24.0
탁 도	NTU	1.0	과망간산소비량	mg/l	4.9
수 온	°C	6.0	자외선흡수도	mg/l	0.00356
전기전도도	$\mu\text{S}/\text{cm}$	81.2	수중입도	개수	46.20
TDS	mg/l	40.6	수중입도	μm	2.902
투명도	M	5.5	인산성인	mg/l	0.001
대장균수	MPN/ 100ml	2.0	납	mg/l	0.00
불원성대장균	mg/l	0.0	크 롬	mg/l	0.00
용존산소	mg/l	10.2	카드뮴	mg/l	0.00
BOD	mg/l	1.3	수 은	mg/l	0.00
COD	mg/l	2.78	비 소	mg/l	0.00
부유물질량	mg/l	0.3	세레늄	mg/l	0.00
T-P	mg/l	0.003	시 안	mg/l	0.00
T-N	mg/l	0.79	알루미늄	mg/l	0.01
클로로필- α	mg/m ³	2.45	불 소	mg/l	0.05
망 간	mg/l	0.004	브롬이온	mg/l	0.00
철	mg/l	0.03	아질산성질소	mg/l	0.00
아 연	mg/l	0.00	카바릴	mg/l	0.00
구 리	mg/l	0.002	유기인	mg/l	0.00
NH ₃ -N	mg/l	0.00	PCB	mg/l	0.00
NO ₃ -N	mg/l	0.70	1.1.1.-TCE	mg/l	0.00
페 놀	mg/l	0.00	TCE	mg/l	0.00
PCE	mg/l	0.00	조 류	개	33.27

제 5 장 植生淨化施設 設計

본 연구에서는 식생정화시설 적정기법 개발의 기초적 단계로서 주암호를 대상으로 하여 식생 정화지와 인공부도를 설계하였다.

제 1 절 식생 정화지

식생 정화지는 하천수의 수질 정화를 목적으로 호수로 유입되는 하천의 인근에 설치하거나, 호수의 수질 정화를 목적으로 직접 호수 옆에 설치할 수도 있다.

본 연구에서는 조계산을 발원하여 송광사를 거쳐 주암호로 유입되는 송광천을 대상으로 하여, 유입 지점의 비교적 넓은 고수부지에 갈대밭 정화시설을 설치하였다. 송광천 주변에는 많은 음식점소와 숙박업소 및 송광사가 위치해 있어, 송광천의 수질 오염이 증가되고 있는 추세이다 (사진 5.1 참조). 따라서 오염된 송광천의 수질을 정화시키기 위해 호수 유입부의 좌안에 식생 정화지를 설치하였다. 그림 5.1은 식생 정화지의 위치도를 나타내고 있으며, 사진 5.2는 식생 정화지가 설치되는 지점을 나타내고 있다.

그림 5.2는 식생 정화지의 평면도와 단면도를 나타내고 있다. 여기서 정화시설의 규모는 아래 식으로 결정된다.

$$V = \frac{Q \cdot t}{24e} + V_s \quad \text{----- (5.1)}$$

여기서, V : 정화시설의 규모(m^3), e : 자갈층 및 토양의 공극율

Q : 처리 용량($m^3/일$), t : 체류시간(hr)

V_s : 오니 발생량 및 기타 여유량(m^3)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 $t=5\sim6$ 시간, 처리 용량을 $Q=2,000\sim2,500(m^3/일)$ 으로 하면 정화시설의 규모는 $V=500m^3$ 이며 그림 5.2는 이를 바탕으로 결정된 것이다.

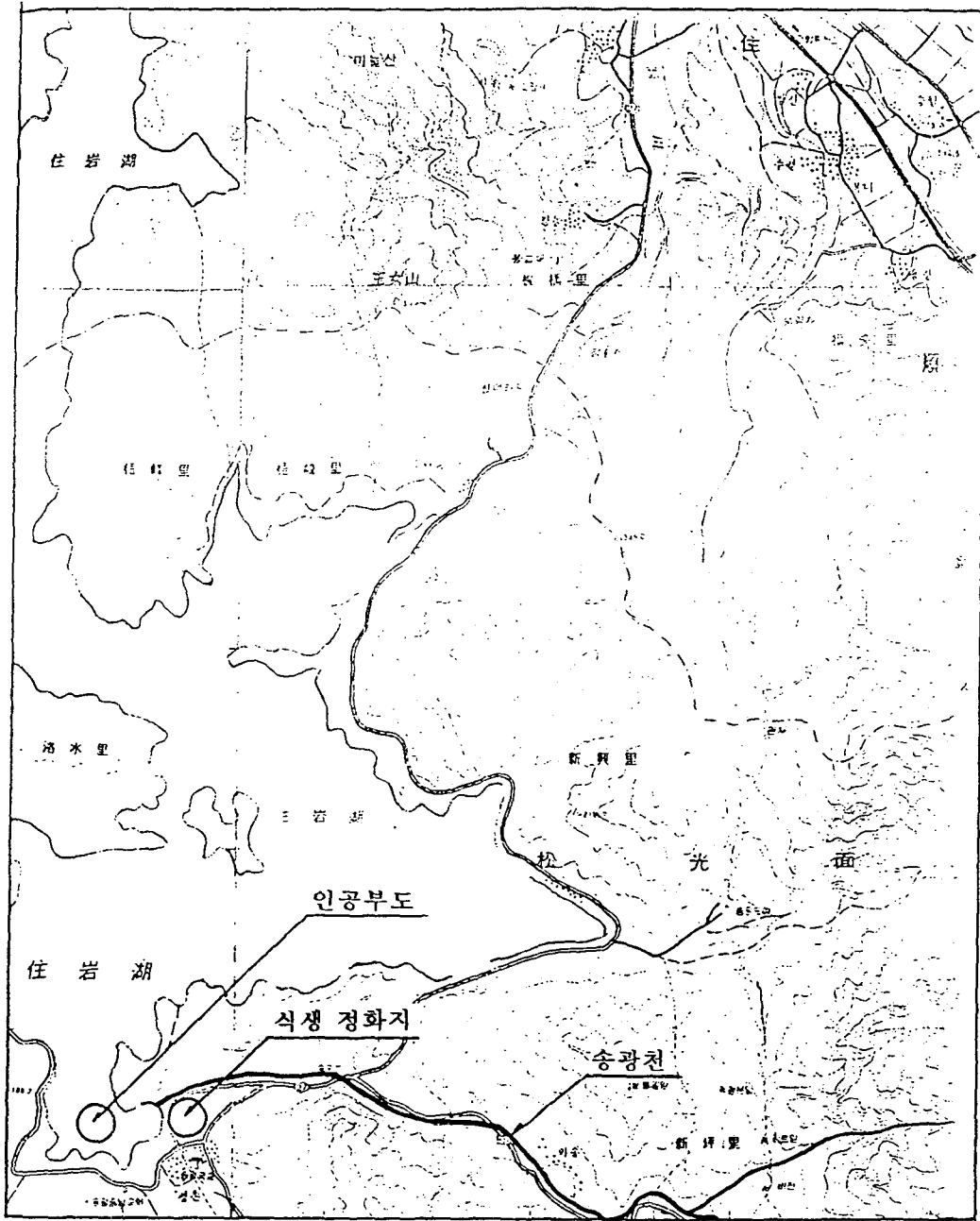


그림 5.1 식생정화시설의 위치도



사진 5.1 송광천 주변의 숙박업소

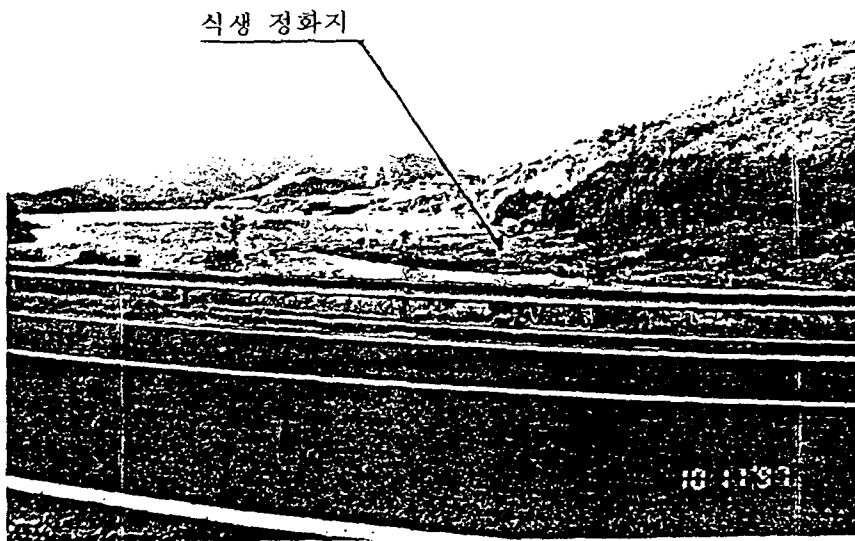
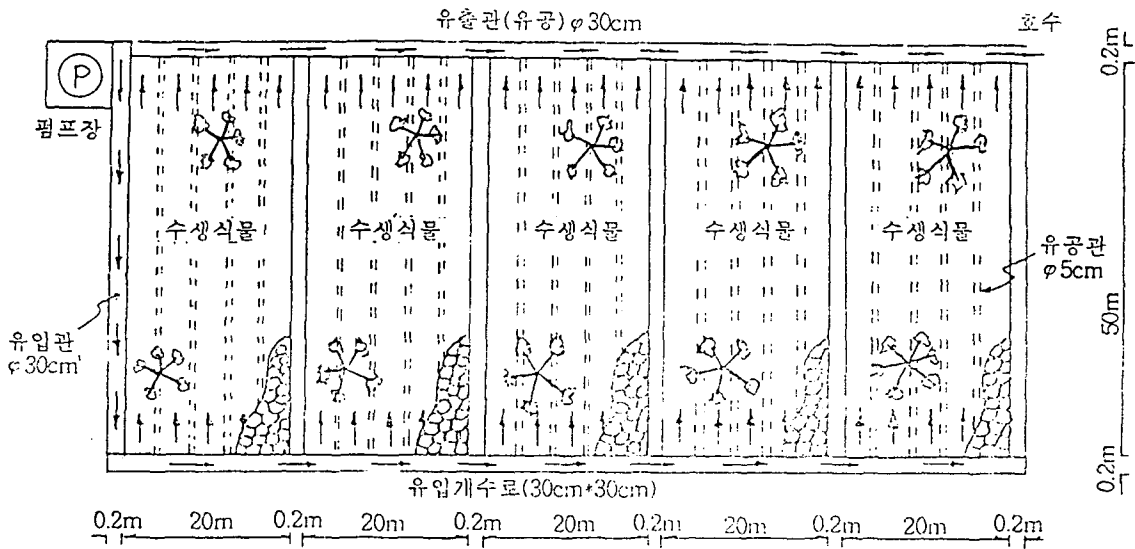
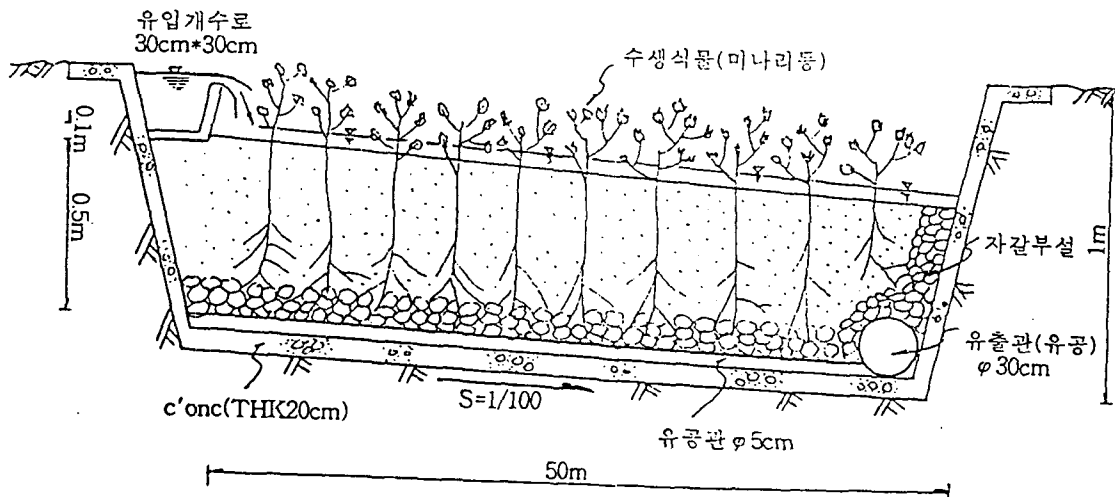


사진 5.2 식생 정화지의 설치지점



(a) 평면도



(b) 단면도

그림 5.2 식생 정화지의 시설도

그림 5.2에서는 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 개수로를 추가로 설치해야 하는 등, 초기 공사비가 펌프장보다 많이 소요되기는 하나 유지관리가 펌프장보다는 용이하다는 점이 있다. 펌프장을 설치하면 유입보와 개수로를 설치하지 않아도 되므로 넓은 부지가 필요하지 않기는 하나, 펌프를 가동시키기 위한 유지관리가 필요하다는 단점이 있다. 따라서 유입시설 선정은 현지 여건, 시공성, 경제성, 유지관리 등을 종합적으로 고려하여 결정하여야 할 것이다.

펌프시설을 통해 유입된 공급수는 직경 30cm의 유입관을 통해 30cm×30cm의 유입 개수로를 거친 후 수생식물을 통해 정화작용을 받게 된다.

정화시설 바닥의 경사는 그림 5.2의 단면도에서 알 수 있듯이 $s=1/100$ 정도로 하여 토양 입자를 통해 흐름을 형성시킴으로써 수질정화를 도모하여야 한다. 또한 정화시설 하부에는 자갈을 설치하여 수질을 더욱 정화시키고 직경 50mm의 유공관을 설치하여 물을 유도시킨 후, 이를 직경 30cm의 유출관을 통해 하천으로 방류시키면 된다. 정화시설 바닥은 유지관리를 고려하면 콘크리트가 좋으나, 공사비를 고려하면 불투수성 비닐로도 할 수 있다.

수생식물은 그림 2.3에 나타나 있듯이 수심이 10cm이고 체류시간이 5~6 시간일 때 일반적으로 최대의 수질정화 효과를 나타내는 것으로 알려져 있다 (建設省 霞ヶ浦工事事務所, 1995). 따라서 본 대상지역에서도 수심이 10cm를 유지하도록 하였다. 그러나 그림 2.3의 실험 결과는 수심이 10cm일 경우에 대한 예이고, 수심이 변하면 최대의 수질정화 효과를 갖게되는 체류시간도 바뀔 것은 분명한 사실이다. 따라서 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.

① 미나리

○ 수질정화 효과

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

- 번식 및 생육조건
 - 우리나라 전역에서 자생하며 뿌리 및 줄기 번식이 가능하고 번식률도 높다.
- 유의사항
 - 겨울철에는 생육이 정지되므로 BOD의 흡수율이 떨어진다.

② 갈대

- 수질정화 효과
 - 우리나라 일반 하천에 자생하며, 물 속의 유기물을 흡수하여 왕성한 성장을 하면서 유기물을 흡수, 분해하는 능력이 있어 수질정화 효과가 좋다.
- 번식 및 생육조건
 - 모든 하천에 자생이 가능하나 뿌리 번식으로 번식속도는 다소 늦다.
- 유의사항
 - 겨울철에 성장이 정지되므로 수질정화능력이 떨어진다.

③ 부레옥잠

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

본 대상지역에 가장 적합한 수생식물은 현 단계에서는 어느 것이라 단정지을 수 없다. 이는 현지 유입유량이 시간적으로 변화하며, 그에 따라 수심과 유속이 달라지고 따라서 체류시간도 달라지기 때문이다. 따라서 본 대상지역에서는 정화시설의 6개 수조에 각

각 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. 이후 결정된 조건에 의해서 수생식물을 선정하고 수심, 체류시간을 정하면 될 것이다.

제 2 절 인공부도 설치

인공부도는 호수 위에 물에 뜨는 형식으로 하여, 수질정화 효과가 있는 수종을 식재한다. 수질정화 효과가 큰 수종으로서 갈대, 부들, 줄, 창포 등을 선정하여 그림 5.3과 같이 인공부도를 설치하였다. 인공부도는 흐름에 밀려 이탈되지 않도록 호수 바닥에 anchor를 설치하여 고정시키는 형식으로 한다. Anchor 길이는 호수의 홍수시만수위까지로 한다.

인공부도는 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. 인공부도는 호수 위에 직접 설치하기 때문에 수위변동이 심하거나 바람 등에 의해 파랑이 자주 발생하는 지역에는 적합치 않다. 그러나 호수 주변에 식생정화시설을 설치할 장소가 없는 경우 이 방법이 바람직하며, 오염이 심각한 장소로 이동 설치할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

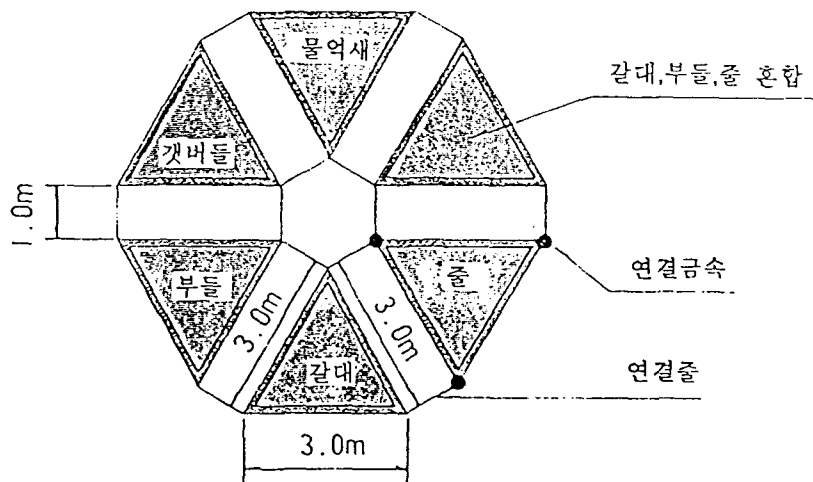


그림 5.3 인공부도 설치

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

제 6 장 維持管理 對策

본 연구에서는 식생정화시설로서 주암호를 대상으로 하여 식생 정화지와 인공부도를 설계하였으며 이들에 대한 유지관리 대책을 설명하면 다음과 같다.

제 1 절 식생 정화지

○ 식생 정화지에 이용되는 수생식물은 동절기에 성장이 정지되므로 정기적으로 점검하여 필요하다면 베어주는 것이 바람직하다.

○ 시설 내부에는 많은 오염물질이 퇴적될 수 있다. 따라서 정기적인 준설이 요구된다. 이를 위해서는 정화시설의 수조 바닥은 콘크리트가 바람직하다.

○ 식생 정화지에 공급되는 유입수는 직경 30cm의 유입관을 통해 정화시설에 유입되는 것으로 한다. 이 경우 유입관에는 토사나 부유물질 등이 퇴적될 우려가 있다. 따라서 유입관 입구에는 screen등을 설치하여 유입수중 비교적 큰 고형물질을 제거한다. 또한 screen에 부유물질이 모이지면 정기적으로 제거하도록 한다.

○ 특히 홍수시 토사나 부유물질 등이 대량으로 유입될 우려가 높으므로 홍수시는 유입수가 정화시설로 유입되지 않도록 하여야 한다.

제 2 절 인공부도

○ 인공부도는 호수 위에 뜨는 형태로 설치하므로 호수의 수위 변화에 대응할 수 있어야 하며, 흐름에 밀려 떠내려가지 않도록 해야 한다.

○ 따라서 인공부도는 호수 바닥에 anchor를 설치하고 줄로 연결하여 고정시키는 구조로 하되, anchor 길이를 호수의 홍수시만수위까지 하도록 한다.

○ 인공부도는 홍수시 부유물질이나 토사가 퇴적되거나 파손될 우려도 있으므로 정기적인 점검을 통해 퇴적된 부유물질과 토사를 제거하고 파손된 부분을 보수하도록 한다.

제 7 장 結 論

본 연구에서는 오염이 진행중인 주암호를 대상으로 하여, 호수 수질정화와 생태적 서식처를 위한 식생정화시설로서, 호수 내에 인공부도(人工浮島)와 고수부지에 갈대밭 정화시설을 설치하였으며, 이로부터 얻어진 결론은 다음과 같다.

(1) 갈대밭 정화시설로서 10m×50m의 콘크리트 수조를 설치하고, 수조 내부에 수생 식물을 식재하여 수질정화를 도모하도록 하였다. 수조의 처리용량은 $Q = 2000 \sim 2500(\text{m}^3/\text{일})$ 에 해당된다.

(2) 갈대밭 정화시설의 바닥은 유지관리를 고려하면 콘크리트가 좋으나, 공사비를 고려해서 불투수성 비닐도 고려할 수 있으며, 이들 선정은 현지 여건, 시공성, 경제성 등을 고려해서 결정해야 한다.

(3) 유입수 공급시설로서 현지 여건을 고려하여 펌프시설을 선정하였다.

(4) 인공부도는 호수 위에 물에 뜨는 형식으로 하고, 흐름에 밀려 이탈되지 않도록 호수 바닥에 anchor를 설치하여 고정시키도록 하였다.

(5) Anchor의 길이는 호수의 홍수시만수위까지로 하였으며, 오염이 심한 지역으로 이동시킬 수 있도록 하였다.

참 고 문 헌

1. 건설부 : 「하천시설기준」 1993, pp. 121~132.
2. 농림부 : 「농업용수 수질개선 시험사업 보고서」 1998, pp. 10~15.
3. 한국건설기술연구원 : 「미국, 일본의 하천 복원사업 및 자연형 하천정비 사례」 1996, pp. 48~52.
4. 한국수자원공사 : 「주압댐 건설에 따른 환경영향평가 보고서」 1991, pp. 38~42.
5. U. S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development : 「Design manual, Constructed wetland and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment」 1991, pp. 127~129.
6. 建設省 : 「湖沼水質改善 技術適用 マニュアル(案)」 1966, pp. 47~51.
7. 建設省 霞ヶ浦工事事務所 : 「植生淨化施設」 1995, pp. 13~15.
8. 建設省 利根川上流工事事務所 : 「渡良瀬 貯水池の環境保全」 1997, pp. 17~19.
9. 中村圭吾, 保持尙志, 島谷幸宏 : “人工浮島の效果とその生態係” 「河道の 水理と 河川環境シンポジウム論文集」 第 95集:100~106, 1995.