

# 수생식물을 이용한 농촌주택 하수의 고도처리 자연정화법

## Advanced Wastewater Treatment-Natural Septic Method of Rural Housing sewage Using an Aquatic Plants

신 방 응\* 방 성 택\*\* 신 민 철\*\*\* 이 상 을\*\*\*\*  
Shin, Banwoong Bang, Seongtaek Shin, Minchul Lee, Sangeul

### Abstract

Recently, according to the increase of population and rapid growth of industry, the amount of effluent pollutant has been rising in natural water.

In these pollutant, nutrients such as nitrogen and phosphor are told that these evolve the odor, color and eutrophication in rural housing sewage and lake regulary.

Many researches have been carried out to remove these nutrients from effluents and will have to be studied more deeply.

Especially, because of the sewage of rural housing and livestock, environmental pollution raises serious problem in a rural community. This method is developed to solve the problem environmentally friendly. Using the natural energy(wasteheat, earthheat, solar engery) and the growth properties of aquatic plants are most efficient method to absorb the nutrients and denitrification and phosphor uptake.

키워드 : 수생식물, 고도처리, 폐열, 탈질·탈인

Keyword : Aquatic Plants, Advanced Wastewater Treatment, Wasteheat, denitrification·phosphor uptake.

## 1. 서론

### 1.1 연구의 목적

최근 환경문제는 국제적인 관심사항으로 대두되고 있으며 국내적으로도 우리 농촌의 환경오염이 도시지역과 마찬가지로 날로 심각해지고

있는 실정임에 비추어 볼 때 친환경농업의 실천은 중요한 과제로 대두되고 있다.

특히 농촌의 경우 농사를 짓는 과정에서 농약·비료·제조제로 인한 토양 오염과 지하수의 오염, 축산 분뇨로 인한 하천의 수질오염 등이 농촌 생활의 근거를 위협하는 환경문제를 가지고 있다. 따라서 쾌적하고 살기 좋은 공간을 가꾸어 나가기 위하여 농업에서도 환경과 조화를 이루는 친환경농업기술의 보급은 시급한 과제가 되었다. 특히 수계에서 재 오염되는 질소·인 등 영양물질의 제거는 전국의 가동되는 하수중

\* 충북대학교 토목공학과 교수

\*\* 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정

\*\*\* (주)동호토건 대표이사·충북대학교 산업대학원 석사과정

\*\*\*\* (주) 은하환경 대표이사

말처리장에 시설된 곳이 매우 적은 실정이며 농촌의 생활하수 및 축산폐수의 처리 또한 미흡한 실정이다.

본 연구는 이와 같은 문제를 환경친화적으로 해결하고자 수행되었으며 기계적인 요소를 최소화하고 화공약품 등 2차 오염요소를 배제하였으며 그 대신 유기물을 생물학적으로 처리하고 기존의 폐열에너지와 지열 및 태양에너지 등 자연 에너지를 가장 효과적으로 활용하여 자연농지대의 생태계에서 이루어지는 안전한 자정 작용의 현상이 사계절 모두 이루어지도록 하였다. 또한 다수의 수생식물의 성장 특성을 연구하여 식물이 영양물질을 단순히 흡수하는 기능 이외에 생물학적인 탈질·탈인의 효과가 병행될 수 있도록 하였고 동일 부지에서 완속사 여과의 효과를 병행시켰다.

현장실험을 위해 청주시 ○○물류센터에 200ton/day의 처리규모로 수생식물 처리조를 설치하고 처리조에 유입된 원수, 1차 생물학적 처리수, 수생식물 처리수들의 TCOD, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, T-N, T-P, SS를 측정하여 비교·분석하고자 한다.

### 1.2 연구의 필요성

국내 하수처리시설 및 경우 지난 수십년간 유기물의 제거 수준에 머문 낙후된 기술로 설계·건설되어 맑은 물 복원에 제 구실을 다하지 못하여 온 것을 인지함으로써 지난 1998년도부터는 질소, 인 등 영양염류의 제거 효과가 있는 새로운 기술이 적용된 설계라야 검토 승인대상으로 관련 행정이 집행되고 있다.

그 결과로 외국에서 사용된 기술을 긴급히 도입하거나, 일부 개량 보완한 새로운 생분해 방식의 기술들이 국내의 검증 절차가 미흡한 상태에서 서둘러 적용되고 있다. 이와 같은 외국기술 및 이들의 개량 보완기술들은, 이미 십수년 적용 되어온 기존 활성슬러지공법들이 국내 하수의 발생 여건을 고려함이 없이 외국사례 그대로 적용됨에 따라 유기물의 제거 효과가 투자한 만큼 만족하지 못한 결과를 낳고 있고 이들 고

도처리기술 역시 충분한 국내 적용성이 검증되지 않고 있다. 또한 외국에 기술사용료를 부담하는 문제도 우리 국민의 공통 부담사항이 아닐 수 없다.

본 연구에서는 소개된 처리공법은 이미 국내 하수처리장에서 십수년 동안 94% 이상 적용되어 관계자들에게 익숙한 기본 생물학적 처리 방식에 의한 1차 처리공정 다음에 현재의 방류수를 수생식물조에 통과시키는 단순한 방식으로 폐열만으로 4계절 수생식물이 성장 유지되도록 하여 영양염류를 흡수하면서 이들의 성장 특성에 따라 각 수생식물조에 공존하는 질산화, 탈질 미생물들에 의해 질소 성분의 탈질과 인 성분의 효과적인 흡수를 가능케 하였으며, 특정 수초의 성장 특성을 이용하여 완속사 여과의 정수 기능이 2단계 병행되도록 구성되는 기술로 초고도처리가 가능하게 된다.

따라서 농촌의 생활하수 및 축산폐수 등 환경친화적인 처리와 국내 맑은 물 복원 사업이 성공되기 위하여서는 이와 같은 초고도처리가 가능한 국내 기술이 결국 필요하며, 산소가 풍부한 최종 처리수는 자연의 자정현상에 의해 하류수계에서의 또 다른 자정 현상을 제대로 유지시키는 일에 순기능을 하게 되므로 자연 지표수와 가장 가깝게 처리되는 최종 방류수는 전체 수계를 스스로 맑고 살아있는 생태계로 복원시키는 역할을 담당할 수 있게 된다.

## 2. 이론적인 배경

### 2.1 개요

기존의 생물학적처리로 유기물을 제거한 후 동일부지 또는 인접부지에 중첩하여 수생식물에 의한 질소·인의 고도처리를 실시하되, 기존의 생물학적 처리 과정에서 발생하는 폐열을 이용하여 사계절 수생식물의 성장 및 처리효과가 유지되도록 하였으며 각 수생식물의 종류별 성장 특성을 이용하여 생물학적 탈질 반응과 완속사 여과 기능의 병행으로 고도처리 효과가 증대된다.

## 2.2 자연정화 처리과정

1차 생물학적으로 처리되고 침전 분리된 상징수에는 잔류하는 난분해성 유기물질과 영양염류가 존재하는데, 영양염류는 질소의 경우  $\text{NH}_4\text{-N}$  형태로 존재하므로, 이 상징수를 상기 수생식물의 성장특성에 따라 말풀류 → 브레옥잠류 → 개구리밥류 → 말풀류의 순서로 식재된 수생식물조를 순차로 흐르게 하여  $\text{NH}_4\text{-N}$ 을 호기성 상태인 말풀류조에서 아질산성 생성균과 질산생성균에 의해  $\text{NO}_2\text{-N}$ 와  $\text{NO}_3\text{-N}$ 로 산화시키고 브레옥잠류 조에서는 탈질 미생물에 의해  $\text{N}_2$ 가스로 탈질반응이 이루어지도록 한다. 또한, 식물의 질소성분 흡수는  $\text{NO}_3\text{-N}$  형태에서 안전하게 흡수되므로 식재된 수생식물의 질소 성분 흡수 효과도 형성되게 된다.

인의 경우는 호기성 상태인 말풀류조에서는 미생물을 대량 흡수하고 산소가 부족한 브레옥잠류조 이후에는 다시 수중에 대량 배출하게 되어 수생식물의 인성분 흡수가 용이해 진다.

말풀류를 식재한 제 1번과 제 4번의 수생식물조는 말풀의 뿌리 고정용으로 바다하부에서부터 분배박스과 자갈, 소자갈, 큰모래, 중모래, 잔모래를 설치하고 1차 처리 상징수를 조의 하부에서 상부로 완속통과함으로써 말풀류의 잔뿌리와 폐수가 서로 역류하며 접촉하게 되는데 이로써 이미 질산화 된 질소 성분을 식물이 효과적으로 흡수할 수 있게 하였다. 또한, 위의 말풀류 뿌리를 역류하여 완속통과하는 폐수는 여러 층의 자갈 모래를 통과하여 완속여과의 정수특성인 흡착, 여과, 분해, 소독 등의 정화 기능을 동시에 2단계 이상 병행시킬 수 있게 된다.

## 2.3 수생식물의 특성

본 공법에 사용된 수생식물은 말풀류와 브레옥잠류, 개구리밥이며 각각의 성장특성은 다음과 같다.

### 1) 말풀류

뿌리를 바닥흙(모래)에 고정하고 수중에서 살며 동화작용의 결과로 수중에 산소를 배출하여 호기성 상태를 유지한다. 온도와 빛 영양의 조건이 맞으면 연중 성장하는 종류가 있다. 친저온성으로 얼음속에서 겨울을 날 수 있다.

### 2) 브레옥잠류

수면위에 떠서 성장하며 수면아래 가는 털실 모양의 뿌리를 내려 미생물의 부착 매질 역할을 하고 부유물질의 부착여과 기능을 하여 수중의 용존산소 소비를 빠르게 한다. 줄기와 잎은 물 표면을 어느 정도 차단하여 새로운 산소의 용해를 억제한다. 성장이 빠르고 영양염류의 흡수속도가 빠르다.

### 3) 개구리밥

국내산과 외래산이 있고 국내산은 주로 얕은 물에 서식하는 작은잎의 좁 개구리밥과 수심 1m 내외의 다소 깊은 연못, 늪에 사는 왕 개구리밥이 있다. 고온에서는 5~10cm까지 자라는 외래종이 있다.



사진 1. 말풀의 사진



사진 2. 브레옥잠의 사진



사진 3. 개구리밥의 사진

성장속도가 빠르며 잎이 갈라져 갈라진 잎마다 가는 실뿌리를 내리며 번식하고 어느 정도 밀식이 진행되면 잎이 물표면을 모두 덮어 공기층과 물층을 차단하게 된다. 따라서 수중의 산소가 고갈되고 혐기성으로 바뀐다. 온대성 식물로 가을에는 잎에 겨울눈을 만들어 물속에 가라앉아 겨울을 나고 이듬해 봄에 싹을 내어 떠올라 번식 성장한다.

#### 2.4 폐열의 이용

기존의 유기성 오·폐수의 생물학적 처리공정에는 포기조 또는 반응조, 소화조 등이 있으며 이들의 각조에서는 일정량의 폐열이 가동중 계속 발생되고 있다. 미생물 반응조에서 발생할 수 있는 폐열에너지는 산소공급용 공기공급기의 기체 압축열과 수류의 마찰열, 미생물이 유기물을 흡착 산화할 때 발생하는 미생물의 산화열과 지하토목구조물로 전달되는 지열에너지가 있으며 이들 에너지는 지금까지 대기중에 그냥 배출되어 버려져 왔으나 이들의 에너지로 인하여 한겨울 상온 미생물 반응조의 수온이  $11\pm 2^{\circ}\text{C}$  범위로 유지되고 있으므로 이들의 폐에너지를 효과적으로 이용할 수 있다.

#### 2.5 본 공법의 특징

(1) 기존의 생물학적 처리공정에서 발생하는 폐열에너지와 지열에너지 그리고 태양에너지를 효과적으로 수생식물조에 활용할 수 있도록 함으로써 인위적인 가온 없이 겨울철에도 수생식물이 동사하지 않고 성장하게 하면서 수생식물에 의한 정화 운영이 가능하다.

(2) 폐열과 자연에너지를 이용하는 정화용 수생식물의 종류를 각기 고유한 성장 특성을 가지는 한가지 이상의 수생식물을 이용하여 하·폐수의 자연정화 기능을 생물학적인 탈질 반응까지 병행시켰다.

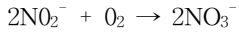
① 적용하는 수생식물의 종류로 말풀류, 브레옥잠류, 개구리밥류를 특성별로 사용한다.

② 위 ①의 수생식물의 일부를 수경재배 작물이나 벼, 미나리 등으로도 대체 사용할 수 있다.

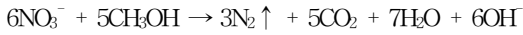
③ 위 ①의 수생식물들을 말풀류 → 브레옥잠류 → 개구리밥류 순으로 식재하여 말풀류조는 호기성으로, 브레옥잠류조는 혐기성조로, 개구리밥류조는 혐기성조의 분위기를 조성 유지시켜 암모니아성 질소가 질산화된 후 최종 탈질 반응이 이루어지도록 하였다. 질산화 및 탈질 반응

의 예는 다음과 같다.

- 말풀류조 (호기성조)의 반응식

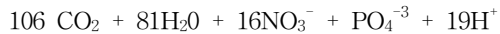


- 브레옥잠류 및 개구리밥류조 (혐기성 → 무산소조)의 반응식



④ 탈질 반응이 이루어진 최종처리수에는 용존산소가 없으므로 방류수에 용존 산소를 다시 공급하기 위하여 개구리밥조 다음에 다시 말풀류조를 더 둔다.

⑤ 생물학 처리조에서 호기성 미생물은 유기물을 섭취 분해하여 CO<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>O와 산화에너지를 생성하는데, 이때 발생하는 탄산가스 농도가 높은 배기공기를 수생식물조에 이송함으로써 식물 동화작용에 필요로 하는 탄산가스를 공급하고, 특히 수중에서 동화 작용이 이루어지는 말풀류조에도 위 이송배기를 물속에 산기하여 줌으로써 처리장내에서 발생하는 폐자원으로부터 물질대사가 이루어지게 한다. 조류의 동화작용 반응식은 다음과 같다.



빛



온도

즉, 전국 하·폐수 처리장에서 호기성 미생물에 의해 유기물을 분해 처리하는 과정에서 연중 발생하는 막대한량의 CO<sub>2</sub> 가스를 본 공법은 수생식물의 동화작용을 통하여 연간 수초를 인양하는 양만큼 고정시킬 수 있게 된다.

(3) 수생식물을 이용하는 정화기술에서 수생식물조 소요 부지를 비교적 적은 부지에서도 적용이 가능하다.

- ① 수생식물조의 축조 부지로 기존의 오·폐

수 처리시설에서 유량조정조와 포기조의 상부에 콘크리트 슬라브를 설치한 후 그 위에 평면으로 겹쳐지거나, 필요시 인근부지와 중첩시켜 설치할 수 있다.

② 수생식물의 각기 다른 성장 특성을 이용하여 생물학적인 탈질반응이 효과적으로 병행될 수 있도록 함으로써 탈질, 탈인 효과를 향상시켜 단순 식물학적 영양염류 흡수방법보다 적은 부지에서 동일하거나 큰 효과를 얻을 수 있다. 수생식물조 시설의 평균 소요부지는 보통 하·폐수 1톤당 0.1~0.13평 정도가 소요된다.

(4) 동일 부지에서 완속사 여과기능과 정화 효과가 병행되도록 하였다.

① 말풀류의 뿌리 성장 특성이 다수의 실모양인 외줄기 뿌리를 바닥 흙, 모래에 고정하는 성장 특성을 이용하여 이 식물의 과잉 성장시 솟아내는 작업과정에서도 여상의 크기별 분리층에 혼란이 없으며, 물의 뿌리 역류 흐름에도 저장이 적은 점을 이용 완속사 여과기능의 병행이 가능하다.

② 폐수의 이동을 말풀류의 뿌리 하부에서 상부로 역류시킴으로써 질소·인의 흡수 효과를 향상시키고 하부의 누적 이물질을 하부의 드레인 장치로 간단히 역세 청소 할 수 있게 하였다.

### 3. 현장적용사례

본 연구를 위한 현장실험은 청주시 ○○물류센터의 하수처리를 위하여 200ton/day의 처리규모로 처리시설이 시공되었으며 기존의 미생물 반응조 상부에 콘크리트 슬라브를 설치한 다음 그 위에 중첩 또는 인접되게 수생식물조를 설치하고 폐열이 효율적으로 수생식물조로 상승 이동하게 하였다. 수생식물조 상부 외곽에는 유리온실 또는 보온용 투명 비닐하우스를 설치하여 수생식물이 외부의 찬공기와 직접 접촉되지 않도록 하고 태양의 복사열을 이용하여 주간에 수

신방응, 방성택, 신민철, 이상을

생식물조의 수온을 상승시킴으로써 야간에 급격한 온도 저하를 예방하도록 하였다.

### 3.1 설계방법

원수의 정상, 량, 부지여건 등을 고려하여 각기 다르게 설계할 수 있으나 기본적으로는 다음과 같이 설계한다.

#### (1) 유기물의 1차 처리

유기물 및 영양염류의 1차 제거는 원수의 정상 및 현지 여건을 고려하여 각종 생물학적 처리방법으로 설계한다.

#### (2) 수생식물조의 배치위치

포기조, 유량조정조 상부에 중첩 또는 인접하여 배치한다.

#### (3) 수생식물조의 수

생물학적 탈질반응과 방류전 산소공급 기능을 고려하여 4지 이상으로 구획하고 수경재배지로 활용할 경우는 가용한 부지만큼 확장할 수 있다.

#### (4) 수생식물조의 높이

수중 수생식물의 식생 한계인 2m를 넘지 않게 설계하고 수경재배지로 활용할 경우는 수경재배판 또는 수위조절 장치를 부설한다.

#### (5) 수생식물조의 단면적

말풀류조는 완속여과 설계기준 범위로 설계하고 수경재배지로 활용할 경우는 가용한 부지만큼 확장할 수 있다.

#### (6) 수생식물조의 체류시간

생물학적 질산화 반응과 탈질 반응시간 범위로 설계하고 수경재배지로 활용할 경우는 가용부지만큼 확장할 수 있다.

#### (7) 수생식물조의 분배조

제 1 수생식물조 앞에 설치한다.

#### (8) 수생식물조의 분배방법

다수의 L자 배관을 설치 하부로 고르게 유입되도록 한다.

#### (9) 각 수생식물조의 수위

여재통과 압손을 고려하여 차츰 낮은 수위를 설정한다.

(10) 수생식물의 뿌리고정 겸 완속 여재의 크기 정수용 여재의 품질 및 규격 기준 범위로 설계한다, 단, 여속과 압손실을 고려하여 조정도 가능하다.

#### (11) 여재의 역세시설

하부에 자동 및 수동 개폐 밸브를 둔 드레인 배관을 설치하고 타이머로 역세 시간을 설정한다.

#### (12) 일반 수생식물조의 청소시설

하부에 수동 개폐밸브를 둔 드레인 배관을 설치한다.

### 3.2 시공방법

#### (1) 수생식물조의 기초 시공

① 포기조, 유량조정조의 상부를 에어벤트용 작업용 맨홀 부위만 제외하고 철근콘크리트 슬라브를 설치한다.

② 상기 슬라브위에 수생식물조와 분배조를 철근 콘크리트 구조물로 축조한다.

③ 수생식물조와 분배조 하부에 드레인 배관과 밸브를 설치하여 유량조정조로 연결한다.

④ 포기조, 유량조정조의 더운 배기 공기가 수생식물조 내에 유입되도록 스틸그레이팅으로 덮는다.

⑤ 수생식물조가 포기조와 중첩될 수 없는 여건으로 인근 부지에 배치되는 경우는 수생식물조를 지상에 또는 지면 1m ~1.8m 의 깊이로 매설하고 포기조의 폐열이송관을 연결한다.

(2) 수생식물조의 시공

① 철근콘크리트 구조물로 4개조 이상 구획하여 시공한다.

② 기존의 처리시설에 보완 시공할 경우 FRP 재질과 지지 구조물로 시공한다.

(3) 보온시설 시공

① 유리온실로 시공할 경우 H-Beam과 I-Beam으로 기둥과 보의 골격을 구성하고 알루미늄 각관으로 유리판 지지 골격을 구성하며 5mm 이상의 투명유리로 지붕과 벽면등 5면을 시공한다.

② 투명 비닐온실로 시공할 경우는 화원용 보온하우스 파이프 구조물로 골격을 시공하고 0.2mm 이상의 투명보온 비닐로 시공한다.

③ 각 소재의 온실에는 출입문과 창문을 시공한다.

④ 지상 노출형 온실의 경우는 수초인양 작업 및 관리가 용이하도록 일정 높이의 Walk way를 설치한다.

(4) 폐열 이송시설의 시공

① 수생식물조가 포기조와 1층 이상으로 구획되어 설치되거나, 포기조의 인근 부지에 별도로 설치되는 경우는 에너지를 가진 배기 공기의 이송 저항이 있으므로 배기관 중간에 배기 송풍기를 설치한다.

② 배기열 이송관이 외부 공기에 노출되거나, 지하에 매설되는 경우는 방수 보온을 한다.

(5) 수생조 여재 설치시공

여재가 투입되는 수생조는 하부에 다수의 분배관을 설치하고 그 위에 분배 박스를 설치하며 분배박스 위에 자갈, 소자갈, 큰모래, 중모래, 잔모래를 일정 두께로 고르게 시공하되, 여재의 크기와 층두께 및 재질 등은 상수도 공학에서 정하는 완속사 여재의 기준을 준용한다.

(6) 수생식물조의 조명 시공

특수 파장의 형광 램프를 3.3m<sup>2</sup> 당 1개씩 설치한다.

(7) 교반기 설치

브레옥잠류조와 개구리밥류조 하부에 각각 교반기를 설치한다.

(8) 탄산가스 공급장치의 설치

각 말풀류조에는 미생물의 대사 작용으로 탄산가스 농도가 높아진 포기조의 배기공기를 공급용해시켜 주는 송풍기와 산기장치를 설치한다.

(9) PH 중화용 반송장치 설치

제 1 수생식물조인 말풀류조에서는 NH<sub>4</sub>-N가 NO<sub>2</sub>-N로 산화되면서 4H<sup>+</sup> 이온이 배출되어 산성화되며, 제 4 수생식물조인 말풀류조에서는 제 3 수생식물조인 개구리밥류조에서 탈질 반응으로 생성된 6OH<sup>-</sup> 이온이 알칼리화되어 넘어오므로 제 4 수생 식물조의 알칼리화 된 처리수 일부를 제 1 수생식물조로 반송하는 장치를 설치한다.

(10) 슬러지 공급장치 설치

제 2, 3 수생식물조에서는 산소의 소비가 빠르게 진행되어야 하며, 탈질미생물의 탄소 영양원을 필요로 하므로 슬러지 일부를 반송 공급하는 장치를 설치한다.

(11) 방충망 설치

① 온실내 창문에는 방충망을 설치한다.

② 온실내 출입문에는 방충용 보조문을 설치한다.

3.3 수생식물 식재 시공방법

(1) 말풀류의 시공

① 자연산 말풀 또는 재배된 말풀을 가능한 뿌리까지 채취한다.

② 식재할 수생식물조에 상단 모래까지 물을 채운다.

③ 일정량으로 포기를 쪼개어 모래에 심는다.

④ 식재 완료후 물을 가득 채운다.

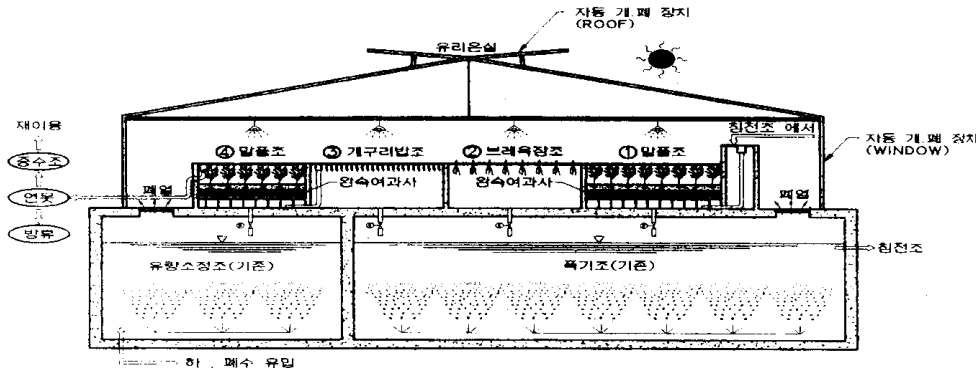


그림 1. 수생식물조 단면도

(2) 브레옥잠의 식재

- ① 식재할 수생식물조에 가득 물을 채운다.
- ② 재배한 브레옥잠을 채취하여 수생식물조에 넣는다.
- ③ 브레옥잠을 조평면에 고르게 분산배치한다.

(3) 개구리밥의 식재

- ① 식재할 수생식물조에 가득 물을 채운다.
- ② 개구리밥을 채취하여 수생식물조에 고르게 넣는다.

3.4 수경재배 작물·벼의 식재방법

(1) 각 수경재배 작물별 식재 기술에 따른다.

(2) 벼는 식재할 조의 모래 상부 3~5cm 까지 물을 채우고 모내기 방법에 따라 식재한 후 성장 크기에 따라 물 높이를 조절해 준다.

3.5 유지 및 관리

(1) 수생식물의 관리

① 식재후 온실내에 훈제용 진딧물 약제를 피우고 12시간 이상 온실문을 닫아 두어 살충 작

업한다.

② 수생식물이 일정량 이상 증식되면 밀식 장애가 있는 브레옥잠류와 개구리밥류는 소량씩 솟아낸다.

③ 솟아낸 수초는 축산용 카터기에 넣어 고르게 잘라 푸대에 담아 퇴비화시킨다.

④ 말풀류조에는 이끼고기를 넣어 기른다.

⑤ 브레옥잠류, 개구리밥류조에는 물방개, 개아재비, 물장군 등을 넣어 기른다.

⑥ 겨울철에는 온실문을 모두 닫아 찬공기와 접촉을 차단한다.

⑦ 하절기에는 온실내의 과열을 예방할 수 있도록 창문을 모두 열어둔다.

(2) 온실의 유지관리

① 유리온실은 겨울철 유리에 먼지 과다시 살수 청소한다.

② 투명비닐 온실은 사용수명이 다하면 가을에 새 비닐로 교체 설치한다.

(3) 여과용 여재의 청소 관리

분배조의 수위가 상한선 가까이 상승하면 자동 역세로 전환하거나, 수동 역세 작업을 한다.



(4) 수생식물조 바닥 침전물 청소  
년 1회 하부드레인 밸브를 열어 유량조정조로 드레인 청소한다.

(5) 조명등 점등  
겨울철 눈 또는 비가 오는날 주간 시간대에만 조명을 해준다.

### 3.6 처리효율 영향인자 관리

#### (1) 영향인자

① 처리원수의 성장  
용량, 영양염류농도, 질산화정도, 탁도, 유기물 농도

② 기후조건  
온도, 일조시간, 청명, 흐림

③ 수생식물의 식생상태  
밀도, 연령, 번식기, 비번식기, 해충번식

④ 탄산가스의 농도  
온실내 공기중의 CO<sub>2</sub> 농도와 수생식물조 처리수중의 CO<sub>2</sub>농도

⑤ 탄소영양원의 농도  
탈질반응조의 분해가능 유기물 농도

⑥ 상기 영향인자에 따라 처리효율은 모두 변동될 수 있으므로 최적의 상태로 조절하되 경제성 있는 범위 내에서 조치한다.

#### (2) 처리원수의 조치

① 잔류유기물 농도를 낮게 유지하도록 1차 생물학 처리를 안정적으로 운영 유지한다.

② 침전분리성이 양호한 상태로 운전하여 탁도를 낮게 관리한다.

③ 분배조 또는 1차 처리수조를 폭기하여 미리 질산화를 진행시킨다.

#### (3) 기후조건 관리조치

① 온실용 덮개 (유리 또는 투명비닐) 위에 다량의 먼지가 있으면 살수하여 청소한다.

② 대부분 겨울철에는 오수, 하수의 배출량이

감소하여 처리시설 용량이 남는 현상을 활용하여 주간 시간에는 소량씩 처리하고 야간시간대에 다량 처리하여 폐열에너지중 미생물 산화열과 기계적 압축열을 야간시간대에 높게 유지시킨다.

#### (4) 수생식물의 식생관리

① 과밀식 수초는 성장이 둔화되고 연약해지므로 일정한 성장 속도가 유지되도록 솎아준다.

② 진딧물 번식 시 수질오염이 없는 훈제 살충을 실시한다.

③ 번식기에 성장이 둔화되는 수초는 번식기 전에 대체 수종으로 식재한다.

④ 수초를 먹는 수생동물은 수초 성장에 평형을 유지시킬 수 있으나 과잉번식을 고려하여 천적을 놓아 기른다.

#### (5) 탄산가스의 농도

① 수중 수생식물조에는 수중에 CO<sub>2</sub> 의 부족시 수초의 성장이 둔화되므로 CO<sub>2</sub> 농도가 높은 포기조 배기 공기를 산기기로 공급한다.

② 수면 수생식물은 공기중의 CO<sub>2</sub> 농도 부족시 성장이 둔화되나 포기조의 배기 공기에는 외부 공기보다 CO<sub>2</sub> 의 농도가 높아 별도시설은 불필요하다.

#### (6) 탄소영양원의 농도

① 탈질반응이 이루어지는 조에는 잔류 유기



사진 4. 온실내 수생식물조

물의 양이 부족할 경우 오히려 탈질반응이 저하되므로 잉여슬러지 일부를 적정량 공급한다.

② 탈질 효과를 극대화하고자 할 경우 메틸알콜을 탈질미생물 영양원으로 적정량 공급할 수 있으나, 환경 경제성을 고려하여 투입한다.

#### 4. 결과분석

본 연구는 농촌주택의 생활 하수 및 축산 분뇨 등을 처리함에 있어 자연적인 자정능력을 사계절 이용할 수 있게 하고 가장 경제적인 방식으로 처리수를 자연수와 가깝게 처리하는 시설을 구축하는데 그 목적이 있다.

지금까지 건설된 대부분의 환경 기초시설은 주민들이 가까이 하기 싫어하는 혐오시설로 인식되고 있어 주민의 환경개선 의지와 관심의 도출에 접근 한계성과 어려움이 있었으나, 자연친화적인 본 기술은 조정시설의 개념이나 수경제배지로 인식이 전환될 수 있어 주민의 친화를 도출하고 환경개선에 동참 의지를 고취시키는 데에 진보적 효과가 있다.

청주시 ○○물류센터의 하수처리를 위해 시공된 본 공법을 통하여 처리된 1차생물학적 처리수 그리고 폐열과 수초를 이용하여 고도처리를 시행한 후의 방류수의 수질과 원수를 비교하기 위하여 시료 A, B의 실내시험 실시결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

표 1. 시료 A의 실험결과(단위 mg/l)

구 분	TCOD	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	T-N	T-P	SS
원 수	120	19.75	37.17	2.889	203
1차생물학적 처리수	24	1.75	26.23	2.318	10
수생식물 처리수	14	1.25	10.03	0.533	10

표 2. 시료 B의 실험결과(단위 mg/l)

구 분	TCOD	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	T-N	T-P	SS
원 수	48	16.25	34.31	3.012	198
1차생물학적 처리수	28	0.75	29.88	1.872	15
수생식물 처리수	20	0.5	12.56	0.102	10

[표 1, 2]에서 보여지는 것처럼 수생식물 처리조를 거쳐 고도처리를 수행하였을 경우 TCOD 값은 1차 생물학적 처리수보다 8~10정도 더 감소하였고 T-N값은 16~17.3정도 감소하였으며 T-P값은 1차 생물학적 처리수보다 1.7정도 감소하는 것을 알 수 있었다.

#### 5. 결 론

1. 폐열과 수초를 이용하여 생활하수를 고도처리 한 결과 1차 생물학적처리수의 수질보다 많은 정화가 이루어진 것으로 나타났다. 특히, 질소의 경우 1차 생물학적 처리 후에 26.23와 29.88 이던 것이 수생식물조를 지나 고도처리 된 후에는 10.03와 12.56로 약 60% 정도 정화 증감효과를 볼 수 있었다.
2. 인의 경우도 질소와 마찬가지로 1차 생물학적 처리 후 2.318와 1.872이던 것이 수생식물조를 지나 고도처리 된 후에는 0.533와 0.102로 약 75%이상의 정화 증감효과를 볼 수 있었다.
3. 본 공법은 하·폐수 1톤당 0.1~0.13평 정도로 소요부지가 비교적 적으면서도 자정능력을 극대화시킨 수생식물조가 핵심시설이며, 최종처리수는 자연의 자정 현상에 의해 정화



사진 5. 방류수로 조성한 연못

되는 것이 하류수계의 또 다른 자정 현상을 제대로 유지시키는 일에 순기능을 하게 되므로 전체 수계를 스스로 맑고 살아있는 생태계로 복원시킬 수 있다. 또한 각 시설에서 배출되는 다량의 잉여 수초로 양질의 퇴비를 생산하여 농경지에 환원할 수 있고 축산농가와 연계하여 잉여수초를 가축의 보조사료로도 활용할 수 있다.

### 참고문헌

1. Tency Baetens, "Waste Water Recycling Using Aquatic Plants", 1996
2. 첨단환경기술 편집부, "수생식물을 활용한 라군에 의한 오수처리", 1995, 첨단환경기술지, pp. 89-93
3. 정인수, "유기성 오수의 생물학적 탈인·질화 탈질소 처리방법", 1995, 첨단환경기술지, pp. 136-139
4. Albertson, O. E., and R. N. Okey, "Tricking Filters Need To Breathe Too," *present at the Iowa Water Pollution Control Federation*, Des Moines, June 1988
5. McCarty, P. L., "Anaerobic Waste Treatment Fundamentals", *Public Works*, vol. 95, no 11, 1964
6. Moore, E. W., H. A. Tomas, and W. B. Snow, "Simplified Method for Analysis of BOD Data", *Sewage Ind. Waste*, vol. 22, no. 10, 1950
7. Sheehy, J. P., "Rapid Methods for Solving Monomolecular Equations", *Journal WPCF*, Vol. 32, no. 6, 1960
8. Tchobanoglous, G., and R. Elianssen, "The Indirect Cycle of Water Reuse", *Water Waste Eng.*, vol. 6, no. 2, 1969
9. Wood D. K., and G. Tchobanoglous, "Trace Elements in Biological Waste Treatment", *Journal WPCF*, vol. 47, no. 7, 1975
10. Biocycle, "EPA Sludge Disposal Regulations Proposed", vol. 30, n0. 44, March 1989
11. Antonie, R. L., "Nitrogen Control with the Rotating Biological Contactor", in M. Wanichita and W. W. Eckenfelder, Jr., eds., *Advanced in Water and Wastewater Treatment-Biological*

신방응, 방성택, 신민철, 이상을

*Nutrient Removal*, Ann Arbor Science  
Publishers, Inc., 1978

12. Metcalf & Eddy, Inc. Wastwater Engineering :  
Treatment, Disposal, Reuse, 2nd ed.,  
McGraw-Hill, New York, 1979