

최      중  
연구보고서

농어촌 축산뇨오수, 생활오수의 유기물 및  
질소/인 에너지 절감형 고도처리 기술 개발

Development of Technology for Energy-Saving  
Removal of Organic Matter, Nitrogen and Phosphorus  
in Rural Sewage and Animal Wastewater

상 지 대 학 교

농 립 부

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “농어촌 축산뇨오수, 생활오수의 유기물 및 질소/인 에너지 절감형 고도 처리 기술 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2003년 7월 일

주관연구기관명 : 상지대학교

총괄연구책임자 : 류 종 원

연 구 원 : 임 태 진

연 구 원 : 윤 덕 중

연 구 원 : 이 병 오

연 구 원 : 최 종 순

연 구 원 : 김 광 식

참 여 기 업 : (주)동해산업환경개발

# 요 약 문

## I. 제목

농어촌 축산뇨오수, 생활오수의 유기물 및 질소/인 에너지 절감형 고도처리 기술 개발

## II. 연구개발의 목적 및 중요성

### 1. 생활오수

인구증가 및 국민생활 수준의 향상과 더불어 오수발생량도 매년 증가하고 있으며 최근 전국의 생활오수 발생량은 약 15,484천m<sup>3</sup>/일에 이르고 있다. 농어촌 지역은 생활수준의 향상과 더불어 주요 오염물질인 유기물질, 부유물질, 영양염류의 오염정도가 심화되고 있으며 농어촌지역 특성상 건축물이 산재되어 있어 하수종말처리시설에 의존할 수 없으므로 오염원 발생원에서 개별 처리시설을 설치하여야 한다. 그러나 IMF이후 경제사정의 악화로 정화조 설치 운영에 따른 비용부담이 어려워 정화조 설치를 기피하고 있는 실정이다. 따라서 농어촌지역에서 생활오수의 처리효율이 높으면서 설치비 및 유지관리비가 저렴하면서 유지관리가 용이한 경제적인 오수처리기술의 개발이 더욱 요구되고 있다.

IMF 관리체제 후 외국화폐의 평가절상 및 원화의 평가절하로 인하여 각종 원료와 기술 수입은 크게 어려워지고 있어 국내에서는 원료의 재활용과 관련된 기술개발을 통하여 자원과 기술을 자급자족하기 위한 노력이 요청되고 있다. 따라서 오수처리시설에서도 국내자원을 활용하여 동력비가 절감되고 저비용 고효율 자원순환형 오수처리공법의 도입이 필요한 실정이다.

이러한 추세하에서 국내생산 폐목재 목편을 재활용하여 새로운 여재 제품을 생산하여 자원의 절약과 수입 여재의 대체를 통한 외화 절약효과를 거둘 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 목편 살수여상공법의 개발은 목편이라는 천연여재로 기존에 활용되는

여재에 대체하여 처리효율을 높이며, 저동력 사용, 처리공정의 단순화를 통하여 유지관리 비용을 절감코자 한다. 따라서 기존의 기계 의존형 오수처리공법과 달리 기계의 최소사용에 의한 동력비 절감과 약품을 사용하지 않는 공법으로 인한 2차 오염을 예방하고, 슬러지의 자산화를 통한 정화조 설치 운영비용 절감과 외화 절약효과를 거둘 수 있을 것으로 기대된다. 또한 에너지 절감형 농어촌 생활오수의 유기물 및 질소/인 처리공법의 개발은 농어촌 오수의 수질오염 방지시설로 각광을 받을 것으로 예상되며, 농어촌 지역 농촌환경보호와 국민보건에 기여하므로 본 연구과제의 필요성은 예전보다 더욱 커졌다고 볼 수 있다. 아울러 최근 농어촌지역 수자원고갈과 한해의 빈발로 인하여 농업용수가 부족하여 농사에 막대한 피해를 가져주므로 더불어 농어촌 마을 하수도 정화 방류수를 농업용수로 재활용하는 기술개발의 적용의 필요성이 더욱 높아졌다.

## 2. 축산분뇨

국내에서 축산분뇨 처리가 문제가 된 것이 약 10년 전의 일이고 그 후 축산분뇨 처리기술의 개발과 농가보급이 이루어졌으나 아직도 자신있게 추천할 수 있는 처리 시스템이 개발 보급되고 있지 못한 상태이다. 가축사육에서 사양, 시설, 방역에 대한 현장 컨설팅이 되고 있으나 축산분뇨 만큼은 농가현장에 컨설팅이 이루어지지 않고 있다. 이런 까닭에 아직도 많은 축산농가에서 개별농가 환경과 여건을 고려한 적합한 축산분뇨 처리시설의 설치와 운영이 되지 않고 처리시스템 시행착오가 많은 상황이다.

양돈장의 인력난 해결과 자동화를 위해서 슬러리 돈사 설치율은 증가하고 있으나 배출되는 슬러리 뇨오수의 적절한 처리방법이 없어서 양돈농가가 어려움을 겪고 있다. 또한 함수율이 90%이상인 슬러리를 톱밥을 사용하여 퇴비화 할 경우 톱밥을 다량으로 첨가 해야하는 문제점을 안고 있다. 최근 톱밥가격이 상승하고 있어 슬러리를 퇴비화하는 방법에 문제점이 발생하고 있다. 분뇨의 BOD는 30,000~60,000ppm으로 고농도이기 때문에 정화처리시 처리비용이 과다하게 소요되고 처리기술의 부족으로 비정상적인 운영이 빈번한 실정이다. 톱밥 혼합에 의한 퇴비화나 정화처리 모두 처리비용이 과다하고 가축 생산비가 상승하여 축산 경쟁력 상실의 주요요인으로 작용하고 있는 실정이다.

IMF 이후 사료비 인상과 최근 구제역 및 광우병의 영향으로 육류소비가 감소됨에 따라 축산농가에서 축산분뇨 처리에 투자할 여력이 없어서 많은 시설물 중에서 운영비가 과다한 분뇨처리기술은 가동상의 문제점을 야기시키고 있다. 각 축산농가에서 발생

된 축산분뇨에는 다량의 고형분을 함유하고 있기 때문에 수거된 축산분뇨의 유기물 및 고형물을 제거하기 위하여 Screw press나 Screw decante와 같은 전처리 시설을 추가로 설치하고 있으나 축산분뇨의 특성상 고형분 분리 비율이 높지 않다. 또한 전처리를 위한 응집제 등 약품을 사용할 경우 비용이 과다 소요되며 장기폭기를 하면 동력비가 많이 소요되어 운영비 증대의 원인이 되고 있다. 현재 국내에서 운영되고 있는 축산분뇨 공공처리시설의 경우에도 유입분뇨의 BOD 농도가 15,000~20,000mg/ℓ를 나타내어 설계유입농도 BOD 5,000mg/ℓ를 초과하여 처리시설에 과부하가 걸려 정상적인 가동이 되고 있지 않는 상황이다. 따라서 전처리 목편부유물질 처리조 및 후처리 목편살수여상 처리기술을 개발하여 여과, 흡착, 발효정화를 동시에 함으로써 개별 축산농가의 뇨오수 처리와 공공처리시설의 시설비와 운영비가 저렴한 경제적인 축산뇨오수 처리기술의 개발 필요성이 더욱 높게 제기되고 있다.

슬러리 분뇨혼합물은 경지면적이 넓은 국가의 경우 경지에 살포하면 되기 때문에 문제가 되지 않으나 우리나라의 경우 슬러리를 살포할 농경지가 충분히 확보되지 않는 농가가 많기 때문에 축산농가에서 슬러리 처리가 문제점으로 등장하고 있다.

따라서 최근 국외에서는 환경친화적인 폐자재를 활용한 자원순환형 뇨오수 처리기술에 대한 연구도 활발한 실정이다. 특히 유럽, 일본에서 목편을 활용한 뇨오수 양분 저감기술 및 퇴비화, 정화처리에 대한 연구가 시도되고 있다. 본 연구는 농어촌 생활오수와 축산뇨오수처리에 있어서 기계 장치비용을 최소화하는 저비용 고효율 자원 재활용 구조의 환경친화적인 에너지 절감형 뇨오수 처리기술 개발에 목표를 두고 연구가 추진되었다.

### Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

#### 1. 연구개발 목표와 내용

##### 가. 연구개발의 목표

본 연구 개발의 최종 목표는 “목편 살수여상 기술에 의한 한국형 축산뇨오수·생활오수의 자원순환형 고도처리 기술”을 개발하여 농어촌의 폐목을 자원화하고 축산·생활오수

오염물을 정화하여 농어촌 수질 오염을 방지하고 농업용수로 작물에 재활용하여 현장에 설치·적용하고 보급하는 것이다.

본 연구개발의 최종 목표 달성을 위한 “농어촌 축산·생활오수의 처리기술 개발”의 구성은 그림 1과 같다. 농어촌에 배출되는 축산·생활오수 오염원은 오염부하량이 지역에 따라 매우 상이하므로 부하량의 다양성에 적응성이 높은 처리기술을 개발하고자 한다. BOD 500~5000mg/ℓ 범위의 축산·생활오수를 혐기성 소화부패조를 거쳐 BOD 300~3000mg/ℓ 으로 처리하고 목편 소화조에 남아있는 목편, 부유물 혼합물은 퇴비화하여 처리한다. 전처리 목편칩 살수여과조를 거쳐 BOD 50~300mg/ℓ 의 처리 목표를 설정하였고, 후처리 목편살수 여상조를 거쳐 BOD 10~50mg/ℓ 로 처리하고, 최종 목편정수 처리조를 거쳐 BOD 5mg/ℓ 이하처리를 목표로 설정하였다.

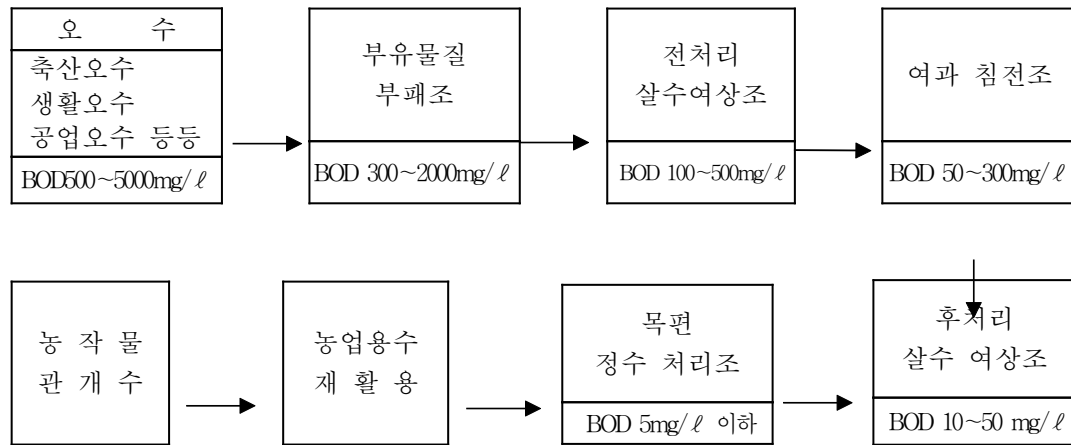


Fig. 1. 농어촌 축산·생활오수의 처리기술 개발 모형

## 나. 연구개발 내용

### 1) 목편을 이용한 축산·생활오수 전처리 살수여상 처리 기술 개발

- 목편을 이용한 다단계 살수여상 기술 개발
  - 다단계 목편 살수여상조 개발
  - 다단계 침전조 개발

→ 부유물, 목편 잔여물 퇴비화 기술 개발

## 2) 목편 살수 여상조 개발

- 저동력 이송 및 살수장치 개발 및 생산공정 개발

→ 목편 여재 크기 선발

→ 목편 여재 생산공정 개발

- 오수의 소멸 가속화 및 고도 정화 처리를 위한 여재의 충전과 배치 방법 및 여재의 자연적인 O<sub>2</sub> 공급기술 개발

- 4계절 안정적 처리 기술 개발

- 운전 조건 규명 및 표준화

## 다. 축산뇨오수 에너지 절감형 처리기술 연구

축산뇨오수 처리장치 실험을 실시하기 위하여 충청북도 진천에 위치한 비육돈 슬러리 돈사 기존 퇴비사를 개조하여 일일 10톤 처리 규모의 pilot 실험장치를 설치하여 연구하였다. 또한 스크레파 돈사의 뇨오수를 처리하기 위하여 충청남도 병천에 일일 4m<sup>3</sup> 처리 규모의 pilot 장치를 설치하여 연구하였다.

- 슬러리 축산분뇨 혼합액 처리용 목편 살수여상 기술 개발

- 스크레파(scraper) 뇨오수 처리용 목편 살수여상 기술 개발

### 1) 처리장치의 구성 연구

처리장치의 구성은 축사 슬러리 저장조, 저류조, 전처리 부유물 처리 살수여상조, 후처리 목편살수여상 고도처리조로 연결되어 뇨오수가 처리된다. 슬러리 저장조는 분뇨혼합액을 저장하는 장소로서 부패조로서 역할을 할 수 있게 되어 있다. 전처리 부유물질 살수여상처리조는 오염물질 중 부유물질의 농도가 높은 상태를 전처리 단계로서 설치하는 것으로 부유물질을 통풍과 교반으로 신속히 분해하여 오수의 부유물질과 고농도 오수의 부하량 저감시킬 수 있게 설계하였다. 후처리 목편살수여상 고도처리조는 전처리 부유물질처리조에 오염물이 저감된 침출여액을 목편 살수여상조에서 처리할 수 있게 설계하였다.

## 2) 처리장치 연구

전처리 부유물질처리조와 고도처리조는 기존 퇴비화 시설을 활용하여 직사각형 사각 콘크리트 형태로 설계하여 부유물질 처리조와 후처리 살수여상 고도처리조를 직렬로 연결처리 할 수 있는 설계요인을 연구하였다. 여재로서 목편여재 원료는 미생물에 분해하기 어려운 침엽수를 이용하였으며 침엽수 중에서 소나무를 이용하였다. 전처리 부유물질 처리조는 목편을 여재로 연구하였다. 또한 오·폐수 중에 부유물질이 다량 존재하기 때문에 이를 호기성으로 급속 분해하기 위해서 전처리 부유물질 처리조 하단에 송풍기를 설치하여 강제 송풍하였다. 또한 전처리 부유물질 처리조 상부에 부유물질이 적체되어 막힘 현상을 초래하므로 처리조 상부에 교반장치를 설치하여 부유물질의 상하 혼합 방법을 연구하였다. 부유물질 처리조의 높이는 2.0m로 하였다. 후처리 고도처리조도 처리조 하부에 송풍장치를 설치하였으며 송풍장치위에 다공성 상자를 설치하여 O<sub>2</sub> 순환을 원활하게 설계하였으며, 목편 충전방법을 연구하였다.

## 3) 살수방법 연구

축산분뇨 부유물을 전처리하기 위하여 전처리 부유물질 처리조의 처리조에서 뇨오수를 이송하여 전처리 부유물질 처리조 교반시 축산뇨오수가 살수되는 기술을 연구하였다. 후처리 목편살수여상 고도처리조의 경우 전처리 부유물질 처리후 침출수 여액을 펌프를 설치하여 상층으로 오수를 이송하여 살수기로 오폐수를 살수 처리되게 하는 기술을 연구하였다. 저장조의 오폐수는 수위 자동조절 펌프에 의해서 후처리 고도처리조 상부에 살수된다. 또한 후처리 고도처리조는 통과한 처리수는 처리수 배출구를 통하여 방류구로 배출되게 설치하였다.

본 연구에 적용된 뇨오수 처리용 전처리 및 후처리 목편살수여상 처리기술은 실제 가축분뇨 처리시설로 활용 할 수 있는 시스템으로 기존 퇴비화시설 플라스틱 하우스 내에 목편살수여상 바닥의 통기관 파이프를 설치하였다. 살수여상의 여재인 목편을(수분함량 23.1%)를 살수여상조에 2m의 높이까지 충전하는 여재별 처리의 적합성을 연구하고 있다. 통기방법은 터보 브로어 도형 고압팬으로 1m<sup>3</sup>당 0.1m<sup>3</sup>/min 의 통기량으로 연속 통기를 하였다. 슬러리 뇨오수 원수와 침출 처리수의 시료를 주기적으로 채취하여



분석하였으며 처리조 시설물 내부의 온도와 상대습도 등 미기상에 대하여 연구하였다.

## IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

### 1. 농어촌 생활오수 처리

#### 가. 목편칩 여재의 특성

- 목편칩 여재의 적정 크기는 가로 150~650 $\mu\text{m}$ , 세로 75~200 $\mu\text{m}$ 로 수많은 소공극이 방사방향으로 규칙적 배열
- 비표면적 : 0.4123 $\text{m}^2/\text{g}$  세공용적 0.0947 $\text{cm}^3/\text{g}$
- 공극율 : 75~80%
- 열전도도 : 0.07 $\text{kcal}/\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$
- 부착 미생물량 : 6.4~2.5 $\text{mg}/\text{cm}^3$

#### 나. 생활오수 처리용 목편 살수여상 살수시스템 개발

- 농어촌 생활오수의 살수여상 처리 공정을 개발하였다.
- 처리효율은 BOD 96.1%, COD 83.3%, SS 94.6%, T-N 73.3%, T-P 60.0%
- 방류수 수질 10 $\text{mg}/\ell$  만족, 질소와 인 동시 제거가 가능한 시스템
- 목편에서 COD, 색도 가동 초기 유출 : 목편칩 제조 공정에서 휴민 유출 물질 제거, 응집제 및  $\text{O}_3$  후처리로 제거
- 목편칩 제조 공정에서 색도 미제거시에는 방류수에 응집에 의한 색도 제거

#### 다. 유지 관리비 절감 : 에너지 80%, 접촉 산화 처리 방법 대비 유지 관리비 50% 이상 절감

- 20 $\text{m}^3$  처리시 연간 전력비 202.5 $\text{kW}$ (300,000원 소요)
- 연간 슬러리 발생량 0.86 $\text{kg}/\text{day}$  = 15.7 $\text{m}^3/\text{year}$

## 2. 축산뇨오수 처리용 목편칩 살수여상 시스템 개발

### 가. 축산 분뇨 처리

- 슬러리 축사의 축산 분뇨, 스크레파 축사의 축산뇨오수 처리에 본 시스템의 적용에 성공
- 슬러리 축사의 축산 분뇨 처리시 전처리 살수여상 - 후처리 살수여상의 다단계의 목편칩 살수여상 시스템으로 원수 BOD 30,000mg/ℓ을 100mg/ℓ로 처리 가능하였다. BOD 99.6%, COD 99.2%, SS 98.7%, T-N 87.2%, T-P 89.4%의 처리효율을 나타내었다.
- 목편칩 연속 살수여상 처리 시스템은 BOD, SS, T-P 제거 효율은 매우 높으나, COD, T-N 제거 효율은 상대적으로 BOD, SS 처리보다도 낮으나 저비용으로 고도처리가 가능하였다.

### 나. 축산뇨오수 처리

- 스크레파 축사의 축산뇨오수 처리시 목편칩 살수여상 시스템에 적용시 축산뇨오수 → 스크린 → 목편 살수여상 → 활성오니 → 오존처리 공정을 개발하였다.
- 처리 결과 원수의 BOD 8,620mg/ℓ에서 방류수 58mg/ℓ로 처리 가능하였다.
- 처리 결과 COD<sub>Mn</sub> 4,300mg/ℓ에서 230mg/ℓ, SS 2,200mg/ℓ에서 50mg/ℓ, T-N 4,200mg/ℓ에서 275mg/ℓ, T-P 97mg/ℓ에서 8mg/ℓ로 처리되었다.

## 3. 개발 기술의 세부적 활용 전망

### 가. 기술적 활용 전망

수변구역, 집단부락, 문화마을사업 등의 오수처리시설에 적용이 가능하다.

목편을 이용한 살수여상식 오수처리기술은 목편 외부 표면뿐만 아니라 목편 내부의 미세공극을 미생물 서식공간으로 활용함으로써, 오수 처리효율을 증대하였고, 고농도의

오수가 유입될 시에는 단위 목편 반응조를 다단계로 시설함으로 처리수 수질 기준 이내로 처리가 가능하다.

기존의 오수처리공법에서는 오염물질 분해에 필요한 산소를 브로워(Blower)를 통하여 강제 공급함으로서 휘발성 가스로 인한 악취 및 소음 등 2차 오염을 유발하였으나, 본 기술은 목편이 충전된 반응조 상부를 통하여 대기중의 공기를 자연 순환시킴으로써 2차 오염 유발 원인을 원천적으로 제거한다.

활용시 기술적 특징은 아래와 같다.

- 고도처리로 인한 잉여 오니 발생이 적은 처리 기술 개발
- 처리 시설 면적 최소화 기술 개발
- 다단처리를 통한 유기성 오염물질의 고효율 처리 기술 개발
- 값비싼 약품 사용 없이 고도처리 할 수 있는 오수처리시설 개발

#### 나. 적용대상 분야

- 본 기술은 신규 설치시, 단독정화조를 오수처리시설로 전환시, 타공법 교체시 등 어느 경우에도 적용 가능.
  - 지하 설치가 불가능할 때 지상 설치가 가능
  - 신규설치시(건축물의 경우)
    - 지하형, 지상형 모두 채택 가능하며 지상형 설치시 토목비용이 절감
  - 단독정화조를 오수처리시설로 변경시(건물 용도 변경시)
    - 지하형, 지상형 모두 설치 가능하며 지상형 설치시 토목비용이 없고 장소가 협소할 경우 건물 옥상 등에도 설치 가능
  - 타공법 교체시
    - 기존 공법의 구조물을 그대로 활용 가능하며 간단한 구조변경을 통해 본 공법을 적용

#### 다. 경제적 활용효과

- 슬러지 발생량 감소에 따른 슬러지 처리 및 처분 비용 절감

- 기존 오수처리시설의 개·보수 용이
- 기술의 공정이 간단하고 설치비 및 유지비 절감
- 동력 장치 최소사용에 의한 전소요량 절감
- 기술 단순화를 통한 수출 기대

#### 라. 세부 활용 방안

본 연구 개발한 내용을 이용하여 활용할 수 있는 방안은 크게 4가지로 나눌 수 있다.

첫째, 축산뇨오수 처리,

둘째, 생활오수처리

- 단독가구형 정화처리시설
- 부락단위 정화 처리 시설

셋째, 축산·생활 오수 병합 처리

넷째, 정화한 배출수를 중수도 방식으로 농업용수로 작물재배에 재활용할 수 있다.

이에 따른 세부 활용방안은 다음과 같다.

- 1) 생활오수의 저비용 정화조로 활용
- 2) 뇨오수를 적정처리하지 못하는 축산농가의 고도정화처리 기술개발로 효율적인 정화 처리 가능 뇨오수를 토지에 환원하기 어려운 분뇨분리농가의 뇨오수 처리 시설로 활용
- 3) 오수분뇨 및 축산폐수 처리에 관한 법률에 의거 규제대상에서 배출되는 활성오니, 정화조 전처리 시설로 활용 보급
- 4) 축산분뇨 종합처리장 방류수의 고도처리 시설로 활용
- 5) 축산·생활오수의 수질 오염 방지 시설로 활용
- 6) 새로운 고도처리 정화조로 보급
- 7) 농촌 및 상수원 보호구역에 활용가능
- 8) 하수 관계가 정비되지 않은 지역에 활용할 수 있다.
- 9) 축산분뇨 전처리 처리 시설로 보급
- 10) 활성오니 처리 시설의 전처리 시설로 활용
- 11) 축산분뇨 공공 처리 시설의 전처리 시설 공정으로 활용

## V. 연구개발성공시 다음단계의 조치사항

1. 농촌지역에 투입하여 실용화
2. 설계도, 시방서, 운전 지침서 작성 보급
3. 대량생산 도입체계 구축

# SUMMARY

## I. Title

**Development of Technology for Energy-Saving Removal of Organic Matter, Nitrogen and Phosphorus in Rural Sewage and Animal Wastewater**

## II. Objective and Importance

There was increasing concern about environmental pollution. In rural area, where the sewage system was poor and the houses are scattered in widely, proper management of rural wastewater is an essential component of a healthy environmental in rural area. In the context of livestock production systems, there is particular concern of animal waste. The aims of this study,

- Development of technology for energy saving of rural wastewater
- Development of technology for energy saving of animal wastewater.

## III. Contents and Scope

### **Part 1. Development of technology for energy-saving removal of rural sewage**

- a. Development of woodchip media
- b. Physico-chemical characteristic of woodchip media
- c. Development of treatment process
- d. Development of sewage plant(Lab. and pilot scale)

### **Part 2. Development of technology for energy-saving removal of animal wastewater**

- a. Development of trickling filter system using woodchip for animal wastewater
- b. Development of operation manual of trickling filter system
- c. Development of pilot plant system for animal wastewater treatment

#### IV. Results and Application of Study

This research makes an estimate of removal ability and proper quality of sewage that it utilize sewage treatment using woodchip in rural as reusing waste-resource. The trickling filtration system comprises a filtration bed packed with filter media having a particle dia. of at most 2~5cm. The method comprises natural air from the bottom of the bed. The system also comprises a control mechanism including a time a constant discharge pump for controlling supply of the waste water into the bed.

Using developed woodchip trickling filter system which is using biodegradable natural media, the treated result could get the stable effluent for four seasons through investigating effective factor and operating parameter for removal of organic matter, nitrogen and phosphorus in rural sewage around Wonju neighbor area.

The following conclusions were obtained from the results of this research.

In this research, physicochemical characteristics of developed woodchip media were like this. Specific surface area was  $120\sim 240\text{m}^2/\text{m}^3$ , porosity was 75~80% and thermal conductivity was  $0.07\text{kcal}/\text{m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}$ . It has forms of parallelogram and oblong which have numerous small pore space of width  $150\sim 650\mu\text{m}$  and lengthwise  $75\sim 200\mu\text{m}$ . This woodchip has been good condition for microorganism's habitat, excellent in heat conservation and heat insulation, having very larger specific surface area by complex the three dimension structure of cellulose at wood's major ingredients. The woodchip trickling filter process were excellent as media.

The testing results of Lab-scale trickling filter reactor were that COD concentration of effluent was increased to more than that of influent until 33 days

after operating, and then it was stabilized to about 50% of removal efficiency from 62 days later after operating.

The visual observing results of attached bacteria in microbe were that slime layer wasn't made at the first stage of operating, but was made slightly from 3 days later of operating, almost all from 20 days later of operating. When COD treatment began from 30 days later of operating, bacteria was acting stabilized as complete attachment.

The thermodynamic characteristics testing results of Lab-scale trickling filter reactor were that the average thermal flow flux were 0.062W, heat transferred from outlet to center, it made good condition for growing microbe. Woodchip material is a cheap, self-renewing substance, without harming the environment.

Trickling filters system using woodchip were designed for biofilm reactor which was strong influent loading variation, safe removal efficiency in low temperature, comparatively smaller ground-space, less electric cost and sludge production. This is a compact and low-cost water treatment which easy to operate.

Operating conditions of woodchip trickling filter reactor were organic loading 0.3kg BOD/m<sup>3</sup> · d, BOD surface loading 2.8kg BOD/1,000m<sup>2</sup> · d, hydraulic loading 3.5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> · d, nitrogen volumetric loading 0.1kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/m<sup>3</sup> · d, respectively. Operating range were low or standard rate and intermediate rate trickling filter. The treatment system was developed that DO concentration maintained sufficient, none of filter clogging happened, backwashing was not needed.

The operational results of woodchip trickling filters system using biodegradable natural media were BOD 96.1%, COD 83.3%, SS 94.6%, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 97.9%, T-N 73.3%, T-P 60.0%, respectively. The average BOD<sub>5</sub> in the treated effluent were less than 10mg/ℓ the woodchip trickling filter. The purifying treatment process achieved nitrification, denitrification and phosphorus removal. But denitrification and phosphorus removal were could not achieve the full due to woodchip's humin and processing problem. It was noticed that high treatment were possible if we



improve part of process.

Engineered wood chip beds use the oxygen transfer process of the wood chip in order treat to animal slurry in Chinjun farmer. Downflow wood chip beds, with three treatment stages, have been installed in front of a horizontal flow wood chip bed.

They have given a reduction in BOD from an average of 29.136mg/ℓ at the inlet, to 85mg/ℓ at the exit of the system ; suspended solids reduction is equally good, decreasing from an average of 12,925 to go 71.8mg/ℓ .

The experimental date obtained after 9 months operation with the pig wastewaters showed that the bed was achieving a 99.3% reduction in BOD. There are two stage downflow beds of wood chip at the Byoungchen installation. Analysis of the pig wastewater flowing through the wood chip beds was carried out by tree. Those results are the average analysis of 20 samples taken over the period 2002 to July 2003.

The 99.3% reduction in BOD across the wood chip beds in encouraging, but nitrogen levels remain 91%. Modification to the system are planned with the intention of improving on-level. It was proven that wood chip can as a good medium for trickling filter with livestock wastewater treatment.

The use of engineered wood chip beds offers tree potential of relatively low cost, environmentally-friendly approach to the treatment of wastewaters. The results indicate that the wood chip bed system can effectively reduce the organic BOD<sub>5</sub>, inorganic T-N, T-P. The provisional conclusion that can be drawn to date is that wood chip bed are capable of significant organic and N, P reduction.

# 목 차

<b>제1장 서론</b> .....	1
제1절 연구개발의 필요성 .....	1
제2절 연구개발의 목적 및 중요성 .....	3
제3절 연구개발 내용 및 범위 .....	7
<b>제2장 생활오수의 유기물 및 질소인 에너지 절감형 고도처리 기술개발</b> .....	9
제1절 서론 .....	9
제2절 연구사 .....	11
1. 살수 여상법 .....	11
가. 살수 여상의 특징 .....	11
나. 살수여상 오수처리 원리 .....	14
다. 살수여상의 설계 .....	16
2. 미생물의 부착과 생물막 형성 .....	22
3. 목재의 특성 .....	23
4. 물질의 열역학적 반응 .....	26
가. 열전도도 .....	26
나. 열흐름률 .....	28
제3절 재료 및 방법 .....	29
1. 목편칩 여재의 제조와 특성 .....	29
가. 목편칩의 제조방법 .....	29
나. 기존 여재의 문제점과 목편칩 여재의 특성 .....	29
2. Lab-scale 실험장치 및 방법 .....	31
3. 현장 pilot 시스템의 실험장치와 운전조건 .....	33
가. 살수여상의 설계 .....	33
나. 목편칩 살수여상 반응조 설계 요인 분석 .....	34
다. 기본 현장 연구 시스템 설계 .....	35
라. 현장 연구 실험장치와 운전조건 .....	45
4. 현장 pilot 연구 시스템 실험재료 .....	48
가. 유입오수의 특성 .....	48
나. 질소/인 처리 보완을 위한 처리 공정 변경 시험 .....	51

5. 분석방법 .....	52
제4절 결과 및 고찰 .....	54
1. 목편칩 여재의 특성 .....	54
가. 목편칩 여재의 물리·화학적 특성 .....	54
나. 목편칩의 크기 .....	56
2. Lab-scale 살수여상조 반응의 특성 분석 .....	57
가. COD 농도 변화 .....	58
나. Lab-scale에 의한 열역학적 분석 .....	60
3. 기본 Pilot plant 시스템의 생활오수 처리수준 .....	62
가. 시기별 생활오수 처리 효율 .....	62
나. 처리효율조사 .....	71
다. 공정별 처리효율 .....	76
라. 평균 처리효율 .....	82
마. 살수여상처리조 시설물 내부 미기상 분석 .....	83
4. 고도처리를 위한 공정 보완 연구 .....	87
가. pH .....	88
나. 수온(Temperature) .....	88
다. BOD <sub>5</sub> (Biochemical Oxygen Demand) 처리 .....	89
라. COD <sub>cr</sub> (Chemical Oxygen Demand) 처리 .....	90
마. SS (Suspended Solid) 처리 .....	92
바. 질소(T-N, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N) 처리 .....	93
사. 총인(T-P) 처리 .....	97
아. ORP 특성 .....	98
5. 공정별 처리효율 .....	99
가. 공정별 처리효율 .....	99
나. BOD <sub>5</sub> /COD <sub>cr</sub> 비율 .....	102
다. 평균 처리효율 .....	103
6. 재순환율에 따른 처리 효율 .....	106
7. BOD부하에 따른 처리효율 변화 .....	113
가. BOD부하에 따른 처리효율 변화 .....	113
나. C/N비의 변화에 따른 처리효율 변화 .....	114
8. 질산화와 탈질화 기작 및 에너지 이동 분석 .....	114
가. 산소소모량에 따른 기작 추정 .....	114
나. 질산화 모델링에 따른 기작 추정 .....	116

다. 유기물의 생물학적 산화에 의한 기작 추정 .....	118
라. $\text{NH}_4^+$ -N 농도에 의한 Entropy 변화량 .....	118
9. 방류수의 색도 및 COD 제거 시험 .....	120
가. 응집제에 의한 색도 및 COD 제거 .....	120
나. 전기분해에 의한 방류수의 색도와 COD 제거 시험 .....	122
다. 오존 처리에 의한 색도 제거 시험 .....	123
10. 경제성 분석 .....	125
가. 시설비 .....	126
나. 유지관리비(년간) .....	126
제5절 결론 .....	132
제6절 참고문헌 .....	134

### 제3장 목편담체의 물성분석과 부착 미생물 조사 .....

제1절 서론 .....	139
제2절 재료 및 방법 .....	139
1. 시료채취 장소 및 일시 .....	139
2. 담체의 형상 .....	140
가. 목편담체의 형상 .....	140
3. 목편담체의 물성특성 시험항목 및 방법 .....	143
가. 밀도(KS F 2202-99) .....	143
나. 세공용적 및 비표면적 .....	143
다. 내약품성 실험 .....	143
라. S.E.M 측정 .....	143
마. 압축강도(KS F 2206-99) .....	144
바. 함수율 (KS F 2202-99) .....	145
4. 목편담체 부착미생물 분석 .....	145
가. 목편 살수여상조의 목편담체 채취방법 .....	145
나. 부착미생물 측정방법 .....	147
다. 부착미생물의 건조밀도 계산 .....	147
라. 부착미생물의 함수율 계산 .....	148
마. 생물막 두께 .....	148
바. 담체 단위 면적당 부착미생물량 .....	148
사. 부착미생물의 현미경 측정 .....	148
아. 부착미생물의 호기성균과 혐기성균 시험 .....	148

제3절 시험결과 및 고찰 .....	149
1 목편담체의 물성특성 결과 .....	149
가. 목편담체의 압축강도 시험결과 .....	149
나. 목편담체의 SEM 시험결과 .....	150
다. 목편담체의 내약품성 시험결과 .....	151
2. 목편담체의 부착미생물 결과 .....	152
3 목편담체의 부착미생물 형상 및 균수 .....	156
가. 목편담체의 부착미생물형상 .....	160
제4절 결론 .....	162
제5절 참고문헌 .....	164

## 제4장 축산분뇨 처리기술 개발 .....

제1절 서론 .....	165
제2절 연구수행 방법 .....	166
1. 축산뇨오수 에너지 절감형 처리기술 연구 .....	166
가. 처리장치의 구성 연구 .....	166
나. 처리장치 연구 .....	166
다. 살수방법 연구 .....	167
2. 유입 배출분뇨의 특성 .....	171
3. Pilot 실험장치의 처리공정 .....	171
가. 전처리 부유물질처리조 공정 .....	171
나. 후처리 목편살수여상조 공정 .....	173
4. 세부공정 설계 및 기능 .....	175
가. 전처리 시설의 송풍시설 .....	175
나. 교반시설 .....	179
다. 저장조 .....	180
라. 살수장치 .....	181
마. 침출수 강제배출 .....	184
바. 목편칩 여상층(Woodchip Bio-Filter) .....	185
사. 살수여상조 .....	185
아. 밀폐형 투명하우스 .....	186
5. 운전방법 .....	187
가. 저류조 .....	187
나. 전처리 부유물질처리 및 후처리 살수여상조 .....	187

다. 운영방법 .....	187
제3절 시험결과 .....	189
1. 처리공정도 연구 .....	189
가. 살수여상처리의 메커니즘 .....	189
나. 처리공정비교 .....	190
2. 처리시설 내부의 미기상 분석 .....	191
가. 처리시설 내부온도의 변화 .....	191
3. 시기별 살수여상조의 축산뇨오수 처리 효율 .....	192
가. SS 처리수준 .....	192
나. BOD 처리수준 .....	193
다. COD 처리수준 .....	194
라. T-N 처리수준 .....	195
마. NH <sub>4</sub> -N 변화 .....	196
바. NO <sub>3</sub> -N의 변화 .....	197
사. T-P 처리수준 .....	198
4. 공정별 처리효율 .....	199
가. SS 처리효율 .....	199
나. BOD, COD 처리효율 .....	200
다. 질소화합물(T-N, NH <sub>4</sub> -N, NO <sub>3</sub> -N) .....	202
라. T-P 처리효율 .....	204
마. 물질수지 .....	204
바. 평균 처리효율 .....	206
5. 뇨오수 처리용 목편 살수여상 시스템의 경영 분석 .....	208
제4절 결론 .....	209
제5절 참고문헌 .....	210

<b>제5장 스크레파 축사 뇨오수 처리 기술 개발 .....</b>	<b>211</b>
제1절 서론 .....	211
제2절 재료 및 방법 .....	211
1. 시험농장 개황 .....	211
2. 유입 배출분뇨의 특성 .....	212
3. 처리공정 .....	212
제3절 연구결과 .....	213
1. 처리수준 .....	213

2. 평균 처리효율 .....	218
3. 장·단점 비교 분석 .....	219
제4절 결론 .....	220
제5절 참고문헌 .....	221

## 표 목 차

Table 2-1. Kinds of trickling filter media .....	17
Table 2-2. Constituent ratio of woods .....	24
Table 2-3. Chemical element composition of wood .....	25
Table 2-4. Major ingredients ratio of wood .....	25
Table 2-5. Chemical ingredients of wood .....	25
Table 2-6. Characteristics of woods .....	25
Table 2-7. Specific gravity & density of pine media .....	31
Table 2-8. Composition of the synthetic wastewater .....	33
Table 2-9. Trickle loading by influent BOD .....	34
Table 2-10. Design item of trickling filter .....	43
Table 2-11. Pilot plant design .....	43
Table 2-12. Operating condition of pilot plant .....	47
Table 2-13. Seasonal characteristics of influent .....	49
Table 2-14. Analysis methods .....	53
Table 2-15. Physical characteristics of woodchip media .....	55
Table 2-16. Characteristic comparisons of woodchip .....	56
Table 2-17. Thermal conductivity of media .....	60
Table 2-18. Thermal flow flux in measure points .....	62
Table 2-19. Removal rate of wood chip trickling filter system .....	83
Table 2-20. BOD removal efficiency with time .....	90
Table 2-21. COD removal efficiency with time .....	92
Table 2-22. SS removal efficiency with time .....	93
Table 2-23. $\text{NH}_4^+$ -N removal efficiency with time .....	94
Table 2-24. T-N removal efficiency with time .....	97
Table 2-25. T-P removal efficiency with time .....	98
Table 2-26. ORP 특성 .....	98
Table 2-27. Removal rate of woodchip trickling filter system .....	104
Table 2-28. Comparison of woodchip trickling filter system & Original trickling filter system .....	106
Table 2-29. Changes of Entropy by $\text{NH}_4^+$ -N concentration .....	119
Table 2-30. 응집제에 의한 방류수 색도 제거 비용 .....	121



Table 2-31. 전기분해 시간에 따른 색도와 COD <sub>Mn</sub> 의 변화 .....	122
Table 2-32. 전기분해 처리에 의한 방류수의 색도 및 COD <sub>Mn</sub> 의 제거 비용 .....	123
Table 2-33. 오수정화 처리방법별 장·단점 비교 .....	125
Table 2-34. 연간 유지관리비 내역 .....	127
Table 2-35. 오수처리시설의 동력 비교 .....	127
Table 2-36. 전력비 소요액 .....	128
Table 2-37. 오수정화시설 처리공법별 유지관리 동력비, 중금속약품 등 비용 비교 .....	130
Table 2-38. 개발기술의 기존공법 대비 유지비 절감액 .....	130
Table 2-39. 개발기술의 기존공법 대비 공사비와 유지비 절감액 .....	131
Table 3-1. 살수여상조에서 채취한 목편담체의 시료 구분 .....	141
Table 3-2. 목편칩 담체의 물성특성 .....	149
Table 3-3. 목편칩 담체의 단위면적당 부착미생물량 .....	152
Table 3-4. 목편담체의 부착미생물 건조밀도 .....	153
Table 3-5. 목편담체의 부착미생물 함수율 .....	154
Table 3-6. 목편담체의 부착미생물 생물막 두께( $\mu\text{m}$ ) .....	155
Table 3-7. 목편담체의 부착미생물 균수 .....	157
Table 4-1. Characteristics of swine wastewater .....	171
Table 4-2. 전처리 및 후처리 살수여상층 깊이별 온도의 변화 .....	192
Table 4-3. 연속 살수여상의 원수, 여과수를 비교한 오염물 처리효율 .....	206
Table 4-4. 살수여상시스템의 경제성 분석 .....	208
Table 4-5. 축산뇨오수 처리 과정별 미생물 균수 변화 .....	209
Table 5-1. 스크레파 축사 분과 뇨의 성분 함량 .....	212
Table 5-2. 축산뇨오수의 살수여상시스템에 의한 처리 .....	218
Table 5-3. 본 처리시스템의 장·단점 비교 .....	220

## 그 립 목 차

Fig. 1-1. 농촌 축산·생활오수 자원 순환형 종합처리 시스템 .....	6
Fig. 2-1. Schematic removal principle of biological fixed-film in a trickling filter .....	15
Fig. 2-2. Schematic diagram of aerobic layer and anaerobic layer by media ..	15
Fig. 2-3. Schematic diagram & photograph of laboratory trickling filter unit ..	32
Fig. 2-4. Schematic flow diagram of pilot plant processes for sewage .....	35
Fig. 2-5. Schematic diagram of Pilot plant .....	36
Fig. 2-6. Flow-Sheet of wood chip trickling system .....	36
Fig. 2-7. Lay-Out of wood chip trickling system .....	37
Fig. 2-8. P&ID of wood chip trickling system .....	38
Fig. 2-9. 기타 주요설비 Section 도면 설계도 .....	39
Fig. 2-10. 목편 살수여상 처리기술의 공정별 물질수지 .....	40
Fig. 2-11. 살수장치 .....	41
Fig. 2-12. 목편칩을 이용한 오수처리 Pilot plant 시설 .....	41
Fig. 2-13. 모래 여과조 및 방류조 .....	44
Fig. 2-14. Schematic flow diagram of pilot plant treatment process .....	46
Fig. 2-15. Flow-sheet of woodchip trickling filter system .....	46
Fig. 2-16. Schematic flow diagram of sewage treatment process .....	51
Fig. 2-17. SEM-photograph of woodchip surface .....	54
Fig. 2-18. Schematic diagram of woodchip surface .....	56
Fig. 2-19. Photographic woodchip for sewage treatment .....	57
Fig. 2-20. Changes of COD with time by laboratory woodchip trickling filter system .....	58
Fig. 2-21. Changes of COD removal efficiency with time by laboratory woodchip trickling filter system .....	59
Fig. 2-22. Photograph of slime layer .....	59
Fig. 2-23. Experimental apparatus of thermal conductivity .....	60
Fig. 2-24. Changes of temperature in measure points .....	61
Fig. 2-25. Changes of pH with time by the wood chip trickling filter .....	63
Fig. 2-26. Changes of temperature with time by the wood chip trickling filter .....	64
Fig. 2-27. Changes of BOD removal with time by the wood chip trickling system .....	65

Fig. 2-28. Changes of COD removal with time by the wood chip trickling system .....	66
Fig. 2-29. Changes of SS removal with time by the wood chip trickling filter system .....	67
Fig. 2-30. Changes of NH <sub>4</sub> removal with time by the wood chip trickling system .....	68
Fig. 2-31. Changes of NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N with time by the wood chip trickling filter system .....	69
Fig. 2-32. Changes of NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N with time by wood chip trickling system .....	69
Fig. 2-33. Changes of T-N removal with time by the wood chip trickling filter system .....	70
Fig. 2-34. Changes of T-P removal with time by the wood chip trickling system .....	71
Fig. 2-35. Changes of BOD removal rate .....	72
Fig. 2-36. Changes of COD removal rate .....	73
Fig. 2-37. Changes of SS removal rate .....	74
Fig. 2-38. Changes of T-N removal rate .....	75
Fig. 2-39. Changes of T-P removal rate .....	76
Fig. 2-40. BOD removal rate at each process by trickling filter system .....	77
Fig. 2-41. COD removal rate at each process by trickling filter system .....	78
Fig. 2-42. SS removal rate at each process by trickling filter system .....	79
Fig. 2-43. T-N removal rate at each process by trickling filter system .....	80
Fig. 2-44. T-P removal rate at each process by trickling filter system .....	81
Fig. 2-45. BOD <sub>5</sub> /COD <sub>cr</sub> at each process by trickling filter system .....	82
Fig. 2-46. 생활오수처리용 목편살수여상 시설물의 내부온도 변화 .....	84
Fig. 2-47. 목편살수여상 시설물의 상대습도의 경시적 변화 .....	84
Fig. 2-48. 1월 중순 목편살수여상 처리시설물 내부온도의 일중 변화 .....	85
Fig. 2-49. 1월 중순 목편살수여상 처리시설물 내부 상대습도의 일중 변화 .....	86
Fig. 2-50. 2월 중순 목편살수여상 처리시설물 내부 온도의 일중 변화 .....	86
Fig. 2-51. 2월 중순 목편살수여상 처리시설물 상대습도의 일중 변화 .....	87
Fig. 2-52. Changes of pH with time by the woodchip trickling filter system ..	88
Fig. 2-53. Changes of temperature with time by the woodchip trickling filter system .....	89
Fig. 2-54. Changes of BOD removal with time by the woodchip trickling filter	

system .....	90
Fig. 2-55. Changes of COD removal with time by the woodchip trickling filter system .....	91
Fig. 2-56. Changes of SS removal with time by the woodchip trickling filter system .....	93
Fig. 2-57. Changes of $\text{NH}_4^+$ -N removal with time by the woodchip trickling filter system .....	94
Fig. 2-58. Changes of $\text{NO}_2^-$ -N removal with time by the woodchip trickling filter system .....	95
Fig. 2-59. Changes of $\text{NO}_3^-$ -N removal with time by the woodchip trickling filter system .....	96
Fig. 2-60. Changes of T-N removal with time by the woodchip trickling filter system .....	96
Fig. 2-61. Changes of T-P removal with time by the woodchip trickling filter system .....	97
Fig. 2-62. Changes of ORP .....	98
Fig. 2-63. BOD removal rate at each process by the woodchip trickling filter system .....	99
Fig. 2-64. COD removal rate at each process by the woodchip trickling filter system .....	100
Fig. 2-65. SS removal rate at each process by the woodchip trickling filter system .....	101
Fig. 2-66. T-N removal rate at each process by the woodchip trickling filter system .....	101
Fig. 2-67. T-P removal rate at each process by the woodchip trickling filter system .....	102
Fig. 2-68. $\text{BOD}_5/\text{COD}_{\text{cr}}$ at each process by the woodchip trickling filter system .....	103
Fig. 2-69. Changes of $\text{NH}_4^+$ -N average removal with recirculation by the woodchip trickling filter system. ....	107
Fig. 2-70. Changes of $\text{NH}_4^+$ -N average removal efficiency with recirculation by the woodchip trickling filter system .....	107
Fig. 2-71. Changes of $\text{NO}_2^-$ -N average removal with recirculation by the woodchip trickling filter system .....	108

Fig. 2-72. Changes of $\text{NO}_3^-$ -N average removal with recirculation by the woodchip trickling filter system .....	108
Fig. 2-73. Changes of T-N average removal with recirculation by the woodchip trickling filter system .....	109
Fig. 2-74. Changes of T-N average removal efficiency with recirculation by the woodchip trickling filter system .....	110
Fig. 2-75. Changes of T-P average removal with recirculation by the woodchip trickling filter system .....	110
Fig. 2-76. Changes of T-P average removal efficiency with by the woodchip trickling filter system .....	111
Fig. 2-77. Changes of $\text{PO}_4^-$ -P average removal with recirculation by the woodchip trickling filter system .....	111
Fig. 2-78. Changes of $\text{PO}_4^-$ -P average removal efficiency with recirculation by the woodchip trickling filter system .....	112
Fig. 2-79. Changes of SS average removal with recirculation by the woodchip trickling filter system .....	112
Fig. 2-80. Changes of SS average removal efficiency with recirculation by the woodchip trickling filter system .....	113
Fig. 2-81. BOD부하에 따른 오염물질 제거효율 .....	113
Fig. 2-82. C/N비에 따른 오염물질 제거효율 .....	114
Fig. 2-83. Nitrogen circulation .....	115
Fig. 2-84. Simulation of nitrification .....	117
Fig. 2-85. Changes of Entropy .....	119
Fig. 2-86. 응집제 투여에 의한 색도와 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 제거 .....	121
Fig. 2-87. 오존 주입농도, 시간에 따른 pH와 색도의 변화 .....	124
Fig. 3-1. 목편담체 시료의 형상 .....	140
Fig. 3-2. 목편 살수여상조에서 채취한 목편담체의 형상 .....	141
Fig. 3-3. 목편 살수여상조에서 채취한 목편담체의 형상 .....	142
Fig. 3-4. 목편담체의 압축강도 시편 .....	144
Fig. 3-5. 만능재료시험기와 압축강도 시험장면 .....	145
Fig. 3-6. 제1, 제2 목편 살수여상조의 시료채취구 .....	146
Fig. 3-7. 수평유압식 지계와 시료채취장비 .....	146
Fig. 3-8. 각 목편 살수여상조 상단부와 시료채취공 .....	147
Fig. 3-9. 섬유방향 압축강도 결과 .....	149

Fig. 3-10. 목편칩 담체의 SEM 결과 .....	150
Fig. 3-11. 목편칩 담체의 SEM 결과 .....	150
Fig. 3-12. 목편칩 담체의 내약품성 시험전 .....	151
Fig. 3-13. 목편칩 담체의 내약품성 시험후 .....	151
Fig. 3-14. 목편담체의 단위면적당 부착미생물량 .....	153
Fig. 3-15. 목편담체의 부착미생물 건조밀도 .....	154
Fig. 3-16. 목편담체의 부착미생물 함수율 .....	155
Fig. 3-17. 목편담체의 부착미생물 생물막 두께 .....	156
Fig. 3-18. 목편담체의 부착미생물 균수 .....	157
Fig. 3-19. 제1 목편살수여상조 목편담체에 부착된 미생물의 전자현미경 사진 .....	158
Fig. 3-20. 제2 목편살수여상조 목편담체에 부착된 미생물의 전자현미경 사진 .....	159
Fig. 4-1. 침출 처리수 배출구 .....	167
Fig. 4-2. 노오수 처리용 목편살수여상 산기관 .....	168
Fig. 4-3. 후처리 축산노오수 처리용 살수여상처리의 다공성 상자 .....	168
Fig. 4-4. 처리조의 송풍기 .....	169
Fig. 4-5. 축산노오수 저류조 .....	169
Fig. 4-6. MCC 설치 .....	170
Fig. 4-7. 노오수 처리용 살수기 .....	170
Fig. 4-8. 전처리 부유물질 처리조 단면도 .....	173
Fig. 4-9. 후처리 목편살수여상조 단면도 .....	174
Fig. 4-9. 전처리 살수여상의 송풍시설 평면도 .....	175
Fig. 4-10. 산기관 및 침출수 배출장치의 상세도 .....	176
Fig. 4-11. 산기관 .....	176
Fig. 4-12. 살수여상조의 송풍기 .....	177
Fig. 4-13. 퇴비 발효시스템을 활용한 전처리 살수여상조의 산기관과 내부시설물 .....	177
Fig. 4-14. 전처리 시설의 송풍시설 단면도 .....	178
Fig. 4-15. 침출수 배출구 및 송풍 시설 단면도 .....	178
Fig. 4-16. 전처리 및 후처리 살수여상조의 교반과정 .....	179
Fig. 4-17. 전처리 살수 여상조의 저장조 배치도 .....	180
Fig. 4-18. 전처리 살수여상의 분뇨 저장조 .....	180
Fig. 4-20. 축산분뇨 이송/살수 배관 .....	181
Fig. 4-21. 혼합교반기 .....	182
Fig. 4-22. 혼합교반기 단면도 .....	182
Fig. 4-23. 혼합교반기 상세도 .....	183

Fig. 4-24. 침출수 강제 배출 장치 .....	183
Fig. 4-25. 침출수 배출구 .....	184
Fig. 4-29. 전처리 살수여상조의 목편칩 여상층(Woodchip Bio-filter) .....	185
Fig. 4-27. 살수여상 처리조의 밀폐형 투명 하우스와 측창 개폐장치 .....	186
Fig. 4-28. 축산뇨오수 처리공정 .....	187
Fig. 4-29. 살수여상처리조의 처리과정 .....	188
Fig. 4-30. 처리 원리 .....	190
Fig. 4-31. 처리흐름도 .....	190
Fig. 4-32. 연속 살수여상 처리시스템 처리공정 .....	191
Fig. 4-41. Changes of SS removal of Trickling system by wood chip in animal slurry .....	193
Fig. 4-34. Changes of BOD removal of Trickling system by wood chip in animal slurry .....	194
Fig. 4-35. Changes of COD removal of Trickling system by wood chip in animal slurry .....	195
Fig. 4-36. Changes of T-N removal of Trickling system by wood chip in animal slurry .....	196
Fig. 4-37. Changes of NH <sub>4</sub> -N removal of Trickling system by wood chip in animal slurry .....	197
Fig. 4-38. Changes of NO <sub>3</sub> -N removal of Trickling system by wood chip in animal slurry .....	198
Fig. 4-39. Changes of T-P removal of Trickling system by wood chip in animal slurry .....	199
Fig. 4-40. SS removal rate at each process by trickling system in animal slurry .....	200
Fig. 4-41. BOD <sub>5</sub> removal rate at each process by trickling system in animal slurry .....	201
Fig. 4-42. COD <sub>cr</sub> removal rate at each process by trickling system in animal slurry .....	201
Fig. 4-43. T-N removal rate at each process by trickling system in animal slurry .....	202
Fig. 4-44. NH <sub>4</sub> -N removal rate at each process by trickling system in animal slurry .....	203
Fig. 4-45. NO <sub>3</sub> -N rate at each process by trickling system in animal slurry .....	203

Fig. 4-46. T-P removal rate at each process by trickling system in animal slurry .....	204
Fig. 5-1. 축산뇨오수의 처리공정 .....	212
Fig. 5-2. 살수여상에서의 pH 변화 .....	213
Fig. 5-3. 살수여상에서의 BOD 변화 .....	214
Fig. 5-4. 살수여상에서의 COD 변화 .....	215
Fig. 5-5. 살수여상에서의 SS 변화 .....	216
Fig. 5-6. 살수여상에서의 T-N 변화 .....	217
Fig. 5-7. 살수여상에서의 T-P 변화 .....	218



# CONTENTS

<b>Chapter 1. Introduction</b> .....	1
Section 1. Research Background .....	1
Section 2. Objectives .....	3
Section 3. Contents and Scope .....	7
<b>Chapter 2. Treatment of Rural Sewage by Trickling Filter           System Using Woodchip</b> .....	9
Section 1. Introduction .....	9
Section 2. Research Review .....	11
Section 3. Materials and Methods .....	29
Section 4. Results .....	54
Section 5. Conclusion .....	132
Section 6. Reference .....	134
<b>Chapter 3. Characteristics of Woodchip Media and Microbes</b> ....	139
Section 1. Introduction .....	139
Section 2. Materials and Methods .....	139
Section 3. Results .....	149
Section 4. Conclusion .....	162
Section 5. Reference .....	164
<b>Chapter 4. Treatment of Animal slurry by Trickling Filter           System Using Woodchip</b> .....	165
Section 1. Introduction .....	165
Section 2. Methods .....	166
Section 3. Results .....	189

Section 4. Conclusion .....	209
Section 5. Reference .....	210

**Chapter 5. Treatment of Animal Wastewater by by Tricking  
Filter System Using Woodchip .....** 211

Section 1. Introduction .....	211
Section 2. Materials and Methods .....	211
Section 3. Results .....	213
Section 4. Conclusion .....	220
Section 5. Reference .....	221

# 제1장 서론

## 제1절 연구개발의 필요성

최근 우리나라도 인구의 증가와 도시 집중화 현상, 소비활동의 증가, 생활수준의 향상, 과학기술과 산업의 발달 등으로 인하여 수질 환경으로 배출되는 오염 물질의 양은 점점 많아지며 또한 다양한 형태로 배출되고 있기 때문에 수질 환경은 악화되고 있어 식수원의 보존이 사회적 문제로 대두되고 있는 실정이어서 환경오염의 심화를 막고 줄일 수 있는 연구가 절실히 요구된다.

2001년 현재 환경부 자료에 의하면 우리나라에서 하루 배출되는 오·폐수 발생량은 2,054만 톤에 달하고 있으며, 이 중 생활오수가 79.2%, 산업폐수 19.8%, 축산폐수 0.6%, 기타 0.4%를 차지하고 있다. 생활오수는 73%가 하수처리구역 내에서 발생하고 있으나, 하수관거 정비미흡, 하수종말처리시설의 시설용량 부족 등으로 인하여 실제 하수종말처리시설로 유입·처리되는 생활오수량은 약 65%로 추정하고 있으므로, 하수처리구역 외에서 발생하는 오수는 기존 오수처리시설의 방류수 수질기준이 처리용량별로 BOD기준 20mg/ℓ 보다 높아 오수처리시설이 총 오염부하량의 삭감에 기여하는 비율은 유입·처리되는 비율보다 훨씬 낮은 것으로 추정할 수 있다.

특히 농촌 지역은 생활하수, 축산폐수, 농공단지의 산업폐수에 의한 점오염원(point source)과 강우시 농경지나 산림지역 유출수 등에 의한 비점오염원(non-point source)이 산재되어 있고, 축산·생활·공업오수의 관리 소홀로 농업용수가 계속 오염되어 가고 있어 농작물 생육 장애와 오염 물질 농축·토양오염 및 인체의 해까지 문제시되고 있다.

농업과학기술원에서 농업용수원으로 이용되고 있는 전국 주요하천의 98개 지점에 대한 수질조사 결과 평균치는 농작물 피해 농도 이하이나 EC, COD, NH<sub>4</sub>-N, SO<sub>4</sub>의 최고치는 한발기에 농작물 피해 농도 이상으로 조사지점 44개소(45%)에서 부적합한 것으로 나타나서 농업용수의 상당 부분이 오염되고 가고 있는 실정이다.

따라서 농촌지역의 축산·생활오수를 처리 정화하여 부유물질은 퇴비화하여 자원화하고 정화 방류수는 농업용수로 재활용하는 처리 기술은 농촌 자연환경 호수 수질 보전, 농업용수 보존을 위한 공공 복지 기술로서 사회 문화적 중요성이 매우 크다고 할

수 있다. 농촌 축산·생활오수의 농업용수 재활용 처리 기술은 우리나라 농촌의 환경 위생적으로 안전한 친환경적인 Recycling reuse system 이어야 한다.

농촌에는 구조 특성상 부락과 축사가 산재되어 있고 하수도 시설이 열악하여 도시 지역에서 실시되는 대규모 정화처리 공법 및 하수종말처리장의 설치가 현실상 어려우므로 생활하수와 축산폐수 중 유기물질, 질소, 인등이 하천으로 방류되어 하천수질의 악화 및 부영양화를 초래하여 농업용수를 오염시키고 있다. 농업용수의 수질오염에 의하여 농작물의 생육장애와 오염물질의 농축과 농민 피해가 문제시되고 있다. 농촌오수를 적정관리하지 않으면 지표수는 물론 식수의 마지막 보류인 지하수마저도 오염될 위기에 놓여 있다.

그동안 우리나라에서는 농업에 의한 수질오염은 자연친화형 산업이라는 이미지에 주된 수질오염원으로 지목되지 않았고 실제로 환경보전의 기능을 유지하였다. 농업이 환경에 미치는 영향중에서 종다양성의 감소, 표토의 유실에 의한 생태계 교란 등은 오래 전부터 거론되어 왔지만 주요 수질오염원으로 된 것은 화학비료와 농약이 다량 사용된 후의 일이다.

농촌에는 간벌재나 폐재 등 미이용 자원이 있으나 이들 폐기물을 각 지역에서 처리하여 처분할 경우 비용이 많이 소요되므로 목편 정화 시스템에 의하여 오수 처리 후 농업용수로 재활용할 수 있는 처리방식을 도입할 수 있다.

현재 우리나라에 널리 보급되어 설치 운영중인 정화공법은 활성오니법과 이를 변형한 집축산화법, 장기폭기법, 생물막법 등이며, 이러한 공법들은 대부분 설치가 많이 들며, 유지관리가 어려워 전문적인 기술을 요한다. 또한 유지관리비의 과다, 악취와 소음, 다량의 슬러지가 발생하거나 이차적인 오염을 유발함으로써 운전상에 많은 애로점이 따른다. 따라서 이러한 문제를 해결하면서 사계절이 뚜렷한 우리나라의 현실에 맞는 노오수의 고도처리형 기술개발이 필요하다.

또한 농촌지역도 하·폐수의 특성이 다양해져서 효율적인 처리에 많은 어려움이 있으며, 미처리된 오염물질이 하천이나 호소를 비롯한 기타 수원에 유입됨에 따라 효율적 수질관리에 많은 문제점을 야기하고 있다. 특히, 질소, 인과 같은 영양염류는 부영양화를 유발시키는 주 원인물질로서 관리의 중요성이 증가하고 있다.

수중에서 질소는 요소와 아미노산과 같은 유기질(organic nitrogen), 암모니아성 질소(ammonia/ammonium), 아질산성 질소(nitrite) 및 질산성 질소(nitrate)의 상태로 존재하며, 인은 단백질, ATP 등과 같은 유기인(organic phosphate), 인산염(phosphate)의 형

대로 존재한다.

질소·인은 주로 농업용 비료, 사람이나 가축의 분뇨, 합성세제로부터 발생되며, 더욱이 미처리된 하수 또는 공장폐수에 의해 강이나 댐을 포함한 호소로 다량 유입될 경우 부영양화, 연안의 적조현상, 암모니아의 어류독소, 수중의 용존산소 결핍 등을 야기시키며, 상수중의 암모니아는 염소요구량을 증가시키고, 질산성 질소는 음용수 중에 높은 농도로 존재하는 경우 건강에 위해를 미치기도 한다.

수계로의 질소·인 유입은 정수비용의 증가에 따른 경제적인 손실발생, 공중 보건상 안전하고 깨끗한 수자원 확보의 어려움 등의 문제를 유발시키며, 따라서 수계로의 영양염류 유입을 근원적으로 차단하는 것이 가장 근원적인 해결책이므로 하·폐수 및 축산폐수에서 유기물의 제거와 더불어 질소·인의 처리가 더욱 강조되고 있는 실정이다.

## 제2절 연구개발의 목적 및 중요성

농촌지역도 국민의 청결의식과 소득의 향상으로 재래식 변소가 점차 수세식화 되어가고 있으며 정화조 유출수량도 증가하고 있는 실정이며, 이 유출수는 질소성분을 상당량 함유하고 있기 때문에 수질오염에 미치는 영향도 크다. 또한 농촌의 축산뇨오수도 정화되지 않은 상태로 하천을 오염시키고 있는 실정이다. 이러한 농촌지역의 유기물, 인과 질소성분이 하천이나 호소에 유입되면 부영양화현상(eutrophication)을 가속하여 조류의 번식을 촉진하고 수질을 나쁘게 한다.

뇨오수처리공정은 크게 두가지로 나누어 생물학적 처리공정과 화학적 처리공정으로 대별할 수 있다. 최근 몇 년 동안 생물·화학적 수질정화시설은 집약적이면서도 운전이 용이하고 처리효율이 높은 처리기술로 개발되는 경향이 두드러지고 있으며, 오염물질의 배출 허용기준이 점차 강화되는 추세에 따라 처리수의 수질을 보다 향상시킬 수 있는 방안을 모색하게 되면서 주목받는 처리기술 중의 하나가 화학적 처리공정보다 시설비는 비싸나, 유지관리비가 저렴하고 발생하는 잉여슬러지가 비교적 적어 슬러지의 처리처분이 용이하다는 장점을 가지고 있는 생물학적 처리공정이다.

우리나라에서 현재 법적으로 인정되고 있는 생물학적 처리공법은 표준활성슬러지법, 장기폭기법, 집축산화법, 회전원판법, 현수미생물집축법(HBC법), 섬모상생물막법 등 모두 9개 공법이 있으며, 우리나라에서 독자적으로 개발된 공법은 거의 없고 대부분 외국

기술이기 때문에 대부분 설치비가 많이 들며, 유지관리가 어려워 전문적인 기술을 요한다. 또한 유지관리비의 과다, 악취와 소음, 슬러지가 다량 발생하거나 이차적인 오염을 유발함으로써 운전상에 많은 애로점이 따른다. 또한 일부 처리공법은 우리나라 실정에 적합하지 않아 시공, 보급 정책에서 제외하여야 할 공법도 있다. 특히 우리나라는 오수 수집체계가 지역여건에 따라 다르고 유지관리에 대한 인력 및 기술이 부족하기 때문에 시설 설치한 후에 유지관리가 무엇보다도 중요한 문제이다. 인력 및 기술 부족으로 인한 문제를 해결하기 위해서는 유지 관리비가 저렴하고 시설의 유지 관리가 용이한 처리 시설을 선정 보급하여야 할 것이다.

생물막 처리공법은 안정된 생태계에서의 미생물이 충전여체에 고정되어 생물막을 형성함으로써 긴 SRT를 가지므로 미생물 생산량이 적으며, 여타의 공법과 비교했을 때 생물막에는 호기성, 통기성 그리고 혐기성 박테리아 등 보다 많은 종류의 미생물이 서식하고 있으므로 다양한 오염물질을 제거할 수가 있고, 처리에 이용할 수 있는 표면적이 많아 대단히 많은 양의 미생물이 서식하고 있기 때문에 처리공정의 단위부피당 처리용량은 여타의 생물학적 처리공정에 비하여 월등히 크다.

하지만, 막대한 양의 media와 media를 위한 구조물 제작에 소요되는 비용이 크고, media에 과다하게 형성된 생물막층을 공기 등을 이용하여 탈락시키는 과정에서 적정량의 미생물 확보를 위해 탈리 정도를 조정하기 어려운 단점이 있다. 이러한 생물막 처리 공정에서는 사용되는 media의 종류에 따라 미생물의 부착효과 및 처리효율이 크게 좌우되므로 media의 선정은 생물막을 이용한 처리공정에서 가장 중요한 요소라 할 수 있다. 일반적으로 media로 이용되는 물질을 이루 해야될 수 없이 많지만 주로 비표면적을 크게 유지할 수 있는 다공성 매체(media)를 사용하는 경향이 크다.

현재 폐수처리시스템에서 사용되고 있는 media는 플라스틱, 돌, 섬유, 합성물질, 활성탄 등을 소재로 하여 비표면적을 가능한 한 증가시킬 수 있도록 제작하여 투입한다. media의 비표면적을 증가시키는 방법으로 단면형상을 변형하여 벌집모양, 격자형, 나선형 등-구조적으로 비표면적을 늘리는 방법이 주로 사용되고 있다. 이와 같이 개발된 media를 폐수처리에 적용시 주로 유기물질의 제거와 부유물질의 제거에 탁월한 효율을 나타내는 것으로 나타났으며 최근에는 질소와 인과 같은 영양염류와 난분해성 유기물질의 제거에도 효과가 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과는 media를 사용함으로써 미생물이 이에 부착·성장하므로 반응조 내 미생물 농도를 높게 유지하는 것이 가능하고 SRT가 길어져 난분해성 유기물질과 질소·인과 같은 영양염류 제거에도 탁월한 효율

을 나타낼 수 있는 것으로 보고되었다. Media를 이용한 생물막공법은 고부하 조건에서도 운전이 용이하며 충격과 온도변화에 따른 영향이 타 공정에 비해 적으며 특히 슬러지 생산량이 적어 경제적인 측면에서 큰 이점이 있는 것으로 나타났다.

이러한 생물막 공법에 의하면, 폐수처리 효율을 높임과 동시에 슬러지의 발생량을 줄일 수 있기는 하지만 고농도의 부유고형물이 담체 주변을 둘러싸게 되어 담체 내부에 존재하는 질산화균이 용존산소에 접촉하기가 어렵게 됨에 따라 질산화균의 질산화활동이 심각하게 저해되며, 동질기에는 질소의 제거효율이 급격하게 저하되며, 고농도의 유기물과 질소를 함유하는 폐수가 순간적으로 유입되는 충격부하에 약하다는 단점을 가지고 있다. 또한, 진술한 여재의 막힘 현상 외에도, 미생물막의 탈리현상 등에 의해 폐수처리효율이 떨어지는 문제가 있어서 단일담체를 이용한 생물막공법은 고농도의 질소를 제거하기에는 한계가 있다. 따라서, 폐수처리에 이용되는 미생물 균주에 대해 보다 근본적이고 자연적인 서식처로서 작용할 수 있는 새로운 개념의 여재에 대한 필요성이 점차 커지고 있다.

다양한 종류의 오수 오염원을 오수를 미생물을 이용하여 정화처리하는 많은 공법들은 그 처리 결과로 생기는 미생물 잔사나 미처리 고형물로 이루어진 다량의 슬러지 처리에 어려움을 겪고 있으며, 미생물의 생육과 번식에 적합한 조건을 유지하기 위해 유지관리에 대한 많은 지식을 필요하다.

많은 공법들 중 살수여상법은 동력이 많이 필요하지 않고 오니 발생이 적고 유지관리가 용이한 장점이 있다. 그러나 기존의 쇄석이나 자갈을 여재로 한 살수여상법은 고도 처리가 어렵고 우리나라와 같은 사계절이 뚜렷한 여건에서 겨울에 처리효율이 현저하게 저하되는 문제점이 있다.

따라서 농어촌 생활오수 및 축산 노오수의 처리 효율이 높으면서 설치비가 저렴하고 운전관리가 경제적인 한국형 오수 처리기술의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 화학적 처리시스템에 비하여 슬러지 발생량이 적고 유입오수의 부하변동에 대하여 대응성이 크며, 유지비가 적게 들며, 슬러지 발생량이 적고, 운전관리가 용이한 등의 장점을 지닌 기존의 살수여상공법을 개량하여 생분해 천연여재인 목편을 이용한 여상 시스템에 의한 소단위 지역인 농촌지역 노오수의 유기물질과 질소/인을 효율적으로 처리하는데 미치는 각 영향인자 및 운전인자를 도출 연구하여 사계절 안정적인 방류수를 얻고자 하는데 연구목적을 두었다. 기존 살수여상공법에서 사용하던 쇄석, 플라스틱 등의 여재를 생분해 천연여재(목재)로 대체하여 유기물의 부하변동에 대

처하면서 질소/인의 처리효율을 높이며, 저동력 사용, 공정의 단순화를 통하여 유지관리비용을 저감코자 한다. 또한 환경 보전에 대한 시대적 요청과 우리나라에 비교적 풍부한 목편을 이용하여 생활오수 처리에 활용함과 동시에 폐자원의 재이용을 위한 연구로서 오수의 제거 능력을 평가하고 그 적정량을 산정함에 있다.

본 연구에서는 그림 1-1과 같이 농촌지역의 생활오수 자원 순환형 종합처리를 위하여 농촌지역에서 폐기되는 폐목을 목편으로 제조하고 농촌에서 배출되는 축산뇨오수, 생활오수를 처리하고 처리수를 농업용수로 재활용하고 자연순환 처리시켜 오염물을 정화하여 농촌지역 오·폐수의 유기물 및 질소·인을 효율적으로 처리하는 시스템에 관한 연구를 수행하였다.

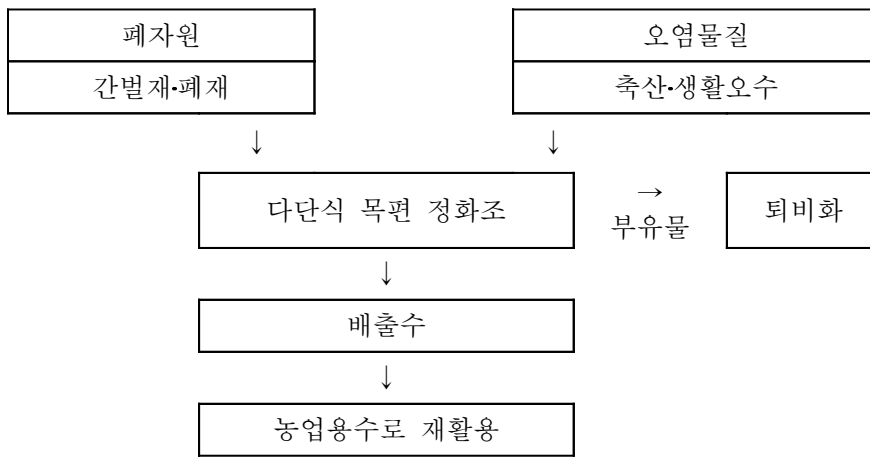


Fig. 1-1. 농촌 축산·생활오수 자원 순환형 종합처리 시스템

본 연구에서는 유기물과 질소, 인의 부하변동에 대처하면서 저비용 고효율의 생분해 천연여재인 목편을 이용한 여상 시스템에 의한 뇨오수 처리 기술개발에 주안점을 두었다. 즉 다종 다양한 오수성상에 적용이 가능하면서 유지관리가 용이한 고도정화 기술 개발하여 생활오수와 축산뇨오수의 처리효율을 높이면서 설치비 및 유지관리비가 저렴하고 유지관리가 용이한 경제적인 오수처리기술을 개발하는 데 있다.



### 제3절 연구개발 내용 및 범위

종래의 살수여상법은 살수여상 부분에 충전되어 있는 쇠석, PVC 등의 여재 표면에 발생하는 호기성 미생물로 이루어지는 생물막에 의해 오수중의 유기물을 산화 분해하는 처리 방법으로 이는 오수의 농도 또는 성분에 관계없이 동일한 크기의 여재 및 충전 방법을 사용함으로써 효율의 저하, 악취, 막힘 등의 문제점을 안고 있다. 본 연구에서는 기존 살수여상공법에서 사용하던 쇠석, 플라스틱 등의 여재를 생분해 천연여재인 목편칩((wood chip)으로 대체하여 유기물의 부하변동에 대처하면서 질소/인의 처리효율을 높이는데 있으므로, 이를 위하여 생분해 천연여재인 목편 여재의 특성 연구, 목편칩 살수여상 반응조의 설계 요인 분석, pilot plant 설계 및 설치, 현장 실증 실험, 처리 효율 조사 등을 연구하였다.

연구개발 내용 및 범위는 다음과 같다.

#### 1) 목편을 이용한 축산·생활오수 부유물질의 부패, 소화조 개발

- 목편을 이용한 다단계 부유물질 소화조 개발
  - 다단계 목편 혐기성 부패조 개발
  - 다단계 침전조 개발
  - 부유물, 목편 잔여물 퇴비화 기술 개발

#### 2) 목편 살수 여상조 개발

- 저동력 이송 및 살수장치 개발 및 생산공정 개발
  - 목편 여재 크기 선발
  - 목편 여재 생산공정 개발
- 오수의 소멸 가속화 및 고도 정화 처리를 위한 여재의 충전과 배치 방법 및 여재의 자연적인 O<sub>2</sub> 공급기술 개발
- 4계절 안정적 처리 기술 개발
- 운전 조건 규명 및 표준화

#### 3) 슬러리 축사 축산 뇨오수의 전처리 부유물 처리 기술 개발

- 1,500두 규모 pilot plant 설계 및 제작
- pilot plant 설치, 시운전

- 처리 효율 평가

4) 스크레파 축사 축산 노오수의 후처리 고도처리기술 개발

- 1,500두 규모 pilot plant 설계 및 제작
- 운전조건 규명 및 처리용량의 표준화
- 기존 기술과의 비교 평가 및 경제성 분석

## 제2장 생활오수의 유기물 및 질소/인 에너지 절감형 고도처리 기술개발

### 제1절 서론

수질오염 및 수자원의 고갈 문제는 21세기에 전 세계적으로 가장 심각한 환경 문제의 하나로 인식되고 있으며, 최근 우리나라도 인구의 증가와 도시 집중화 현상, 소비활동의 증가, 생활수준의 향상, 과학기술과 산업의 발달 등으로 인하여 수질 환경으로 배출되는 오염 물질의 양은 점점 많아지며 또한, 다양한 형태로 배출되고 있기 때문에 수질 환경은 악화되고 있는 실정이라서 환경오염의 심화를 막고 줄일 수 있는 연구가 절실히 요구된다(환경정의시민연대, 2000; 정영호 등, 1973; 한기학 등, 1984; 홍정선 등, 1996, 최의소 등; 1992).

특히, 농촌에는 구조 특성상 부락과 축사가 산재되어 있고 하수도 시설이 열악하여 도시지역에서 실시되는 대규모 정화처리 공법 및 하수종말처리장의 설치가 현실상 어려우므로 생활하수와 축산폐수 중 유기물질, 질소 및 인등이 하천으로 방류되어 수질악화 및 부영양화를 초래하여 농업용수를 오염시키고 있다. 농업용수의 수질오염에 의한 농작물의 생육장해와 오염물질의 농축과 농민 피해가 문제시되고 있다( 한국환경농학회, 1982; 富本泉, 1973; 三好洋, 1978; 吉野實, 1973; 池田眞次郎, 1973; 金澤純, 1973; 한국환경농학회, 1991).

그동안 우리나라에서는 농업에 의한 수질오염은 자연친화형 산업이라는 이미지에 때문에 주요 수질오염원으로 지목되지 않았고 실제로 환경보전의 기능을 유지하였다. 농업이 환경에 미치는 영향 중에서 종다양성의 감소, 표토의 유실에 의한 생태계 교란 등은 오래 전부터 거론되어 왔지만 주요 수질오염원으로 된 것은 화학비료와 농약이 다량 사용된 후의 일이다. 이제 청정 농촌지역도 하·폐수의 특성이 다양해져서 효율적으로 처리하는데 많은 어려움이 있으며, 미처리된 오염물질이 하천이나 호소를 비롯한 기타 수원에 유입됨에 따라 효율적 수질관리에 많은 문제점을 야기하고 있다. 특히, 질소, 인과 같은 영양염류는 부영양화를 유발시키는 주 원인물질로서 관리의 중요성이 증가하고 있다. 따라서 농촌의 수질오염원을 적정관리하지 않으면 지표수는 물론 식수의 마지막 보류인 지하수마저도 오염될 위기에 놓여 있다.

그러므로 농촌지역의 축산·생활오수를 처리 정화하여 부유물질은 퇴비화하여 자원화하고 정화된 방류수는 농업용수로 재활용하는 처리 기술은 사회·문화적 중요성이 매우 크다고 할 수 있다.

현재 우리나라에 널리 보급되어 설치 운영중인 정화공법은 활성오니법과 이를 변형한 집축산화법, 장기폭기법 및 생물막법 등이며, 이러한 공법들은 대부분 설치비가 많이 들며, 유지관리가 어려워 전문적인 기술이 필요하다. 또한, 유지관리비의 과다, 악취와 소음, 다량의 슬러지 발생 및 이차적인 오염을 유발함으로써 운전상에 많은 애로점이 따른다. 따라서, 이러한 문제를 해결하면서 사계절이 뚜렷한 우리나라의 현실에 맞는 생활오수의 고도처리형 기술개발이 필요하다.

오수처리공정은 크게 두 가지로 나누어 생물학적 처리공정과 화학적 처리공정으로 대별할 수 있다. 최근 오염물질의 배출 허용기준이 점차 강화되는 추세에 따라 처리수의 수질을 보다 향상시킬 수 있는 방안을 모색하게 되면서 주목받는 처리기술 중의 하나가 화학적 처리공정보다 많은 장점을 가지고 있는 생물학적 처리공정이다.

생물막 처리공법은 안정된 생태계에서의 미생물이 충전여체에 고정되어 생물막을 형성함으로써 많은 양의 미생물이 서식하고 있기 때문에 처리공정의 단위부피당 처리용량은 여타의 생물학적 처리공정에 비하여 월등히 크다. 그러므로 여재(media)를 이용한 생물막공법은 고부하 조건에서도 운전이 용이하며 충격과 온도변화에 따른 영향이 타공정에 비해 적으며, 특히 슬러지 생산량이 적어 경제적인 측면에서 큰 이점이 있으며, 난분해성 유기물질과 질소·인과 같은 영양염류 제거에도 탁월한 효율을 나타낼 수 있는 것으로 나타났다(임봉수, 1987; 강봉래, 1994; 유승웅 등, 1997; 허목 등, 1995)

본 연구에서는 물리·화학적 처리시스템에 비하여 슬러지 발생량이 적고, 유지비가 적게 들고, 운전관리의 용이성 등의 장점을 지닌 생물막공법인 생분해 천연여재 목편칩 살수여상 시스템을 이용하여 소단위 농촌지역 생활오수를 효율적으로 처리하는데 미치는 각 영향인자 및 운전인자를 도출 연구하여 사계절 안정적인 방류수를 얻고자 하는데 연구목적을 두었다. 따라서 환경 보전에 대한 시대적 요청과 우리나라에 비교적 풍부한 목편을 이용하여 생활오수 처리에 활용함과 동시에 폐자원 재이용을 위한 연구로서 오수의 제거 능력을 평가하고 그 적정량을 산정함에 있다.

본 연구에서는 기존 살수여상공법에서 사용하던 쇠석, 플라스틱 등의 여재를 생분해 천연여재인 목편칩(woodchip)으로 대체하여 농촌지역의 생활오수를 안정적으로 처리하는데 있으므로, 이를 위하여 생분해 천연여재인 목편칩 여재의 특성과 목편칩 제조에 대한 연

구와 현장실험에 따른 문제점을 알아보기 위하여 Lab-scale의 살수여상조를 이용하여 초기가동부터 COD 농도가 일정하게 유지되는 상태(steady-state)에 이르기까지의 시간과 목편에 의한 COD증가여부, 반응기내에서 열적 특성, 생물막의 군집 동태인 미생물 개체 수 등을 연구하였다. 또한, 목편칩 살수여상 반응조의 설계 요인 분석, 현장 연구 시스템 설계 및 설치, 현장 실증 실험, 처리효율 분석, 재순환율에 따른 처리 효율 분석 및 살수여상처리조 시설물 내부의 미기상에 대한 연구를 수행하였다.

## 제2절 연구사

### 1. 살수 여상법

#### 가. 살수 여상의 특징

살수여상은 가장 오래된 오폐수처리방법으로 1893년 영국에서 처음 사용된 자갈 여재 살수여상은 1920년대 미국에서 널리 퍼지게 되었고, 1970년대에 미국 연방 수질 개정안으로 보다 엄중한 수질 제어 때문에 자갈 여상에서 특별히 설계된 합성매체필터인 플라스틱 여재 개발로 생물학적 산화에 의한 유기탄소 제거와 생물학적 질산화에 의한 암모니아성 질소 제거를 위해 전·후처리 시설이 결합된 공정이 각광받기 시작하여, BOD제거 면에서 성능의 한계와 자갈 여재에 대한 합성 여재 고유의 장점이 현저할 정도로 살수 여상의 적용 전망을 변화시켰다. 이 방법은 여재를 둘러싼 생물막의 심층에 혐기성 부분이 있기는 하지만, 호기성 부착증식(생물막)공정으로 분류된다. 기질제거의 근본원리는 활성슬러지법과 같으며, 다만 여과작용이 없고, 미생물의 서식형태와 산소 공급방법이 다르고, 그에 따라서 반응변수와 반응조의 구조도 다르다. 살수여상법은 역사적으로 처리된 수질이 BOD와 SS에 있어서 20~40mg/ℓ 인 것으로 알려져 있으나, 최신의 기술로는 고도처리까지 가능하여 BOD와 SS는 10mg/ℓ 이하로, 암모니아는 1mg/ℓ 이하로 배출할 수 있는 것으로 알려졌다.

살수여상은 여재를 채운 여상과 여상 위쪽의 살수장치, 여상 바닥과 집수장치, 그리고 부대시설로 구성된다. 여상표면에 살포된 폐수는 여재사이를 유하하면서 폐수막이 여재 표면에 형성된 미생물 점막과 접촉하게 된다. 폐수막과 점막과의 접촉시간은 매우 짧지만

넓은 표면적 때문에 산소전달, 유기물 흡착, 무기물 방출이 가능하다. 산소는 여재 사이를 자연순환하는 공기에 의해 공급된다. 활성슬러지공법의 경우처럼 살수여상 전단계로 현탁 고형물을 제거하는 1차처리(침전조 또는 부패조)가 있고, 활성슬러지공법과는 달리 세포물질의 반응은 없다(Särner, 1980; Harrison, 1987).

살수여상은 수리학적부하 혹은 유기물 부하에 따라 저율 또는 표준율, 중간율(intermediate rate), 고율, 초고율 및 초벌여상(roughing filter)으로 분류한다. 저율(표준)살수여상은 매우 간단하며, 유입수의 농도가 크게 변하여도 일정한 유출수 수질을 유지할 수 있는 처리공정이다. 일반적인 모형은 원형이나 직사각형이며, 균일한 수리학적부하는 재순환에 의하기보다는 흡입 수위조절 펌프나 주입 사이펀(siphon)에 의하여 간헐주입되어 유지된다. 대부분의 저율 살수여상에서 여재 상부 0.6~1.2m에서만 적절한 생물막이 존재한다. 이에 따라 살수여상의 하부는 암모니아성 질소를 nitrite와 nitrate 형태로 산화시키는 종속영양 질산화미생물로 구성되어 있다. 질산화미생물이 충분히 존재하고 기후조건과 하수 특성이 적당하면 저율 살수여상은 높은 BOD제거효과와 함께 고도로 질산화된 유출수를 만든다. 중간율 및 고율 살수여상에서는 여상처리수 또는 최종처리수의 재순환으로 더 높은 유기물부하가 가능하다. 중간율 살수여상은 저율 살수여상과 비슷하며, 비록 간헐적인 주입은 가능하나 대개 연속적으로 여상에 주입된다. 고율 살수여상은 저율 살수여상보다 더 높은 부하로 설계되며, 살수여상 침전지로부터 나온 유출수의 재순환으로 저율 혹은 중간율 살수여상과 거의 같은 제거율을 얻을 수 있다. 초고율 살수여상은 고율 살수여상보다 수리학적부하가 크며, 깊이가 더 깊다. 2단 살수여상은 1단 살수여상에서 유출된 고형물을 제거하기 위해 중간 침전지를 가지며, 고농도 폐수처리에 흔히 사용된다. 2단 살수여상은 질산화가 필요한 경우에 사용되는데 1단계 살수여상과 중간 침전지는 탄소성 BOD를 감소시키고 질산화는 2단계 살수여상에서 일어난다(WPCF, 1977; Metcalf *et. al.*, 1991).

살수여상 방법은 특별한 운전 조건을 필요로 하지 않으므로 운영 관리면에서 전문성이 필요하지 않으며, 운전 비용이 크게 소요되지 않고, 충격부하나 부하변동, 유해물질에 대한 내성이 크다는 장점이 있다. 그러나, 시설의 설치에 넓은 면적이 필요하며, 겨울철에는 미생물 활동이 저하되어 처리효율이 낮고, 살수된 폐수가 얼 가능성과 냄새나 여상 파괴가 많이 발생하며, 여상이 막혀 ponding 현상이 일어날 수 있는 단점이 있다. 또한 충전물 외벽에 형성된 미생물막과 접촉에 의하여서만 유기물질의 분해가 일어나므로 고농도의 유기물질을 함유한 폐수는 적합하지 않다. 그러나 농촌지역에서는 이 시설을 설치할 면적이 비교적 충분하고, 특별한 운전 기술이 필요하지 않으므로 농촌지역에서 발생하는 가정

하수 및 오수의 처리에는 적합한 방법으로 간주할 수 있다(조순행, 2001).

호기성 생물막공정의 하나인 살수여상도 활성슬러지 공정과 같이 BOD제거라는 전통적인 처리목표를 달성할 수 있다. 생물막 공정과 활성슬러지 공정의 주된 차이는 미생물 보유와 축적 수단에 있다. 플러 형성, 침전 및 반송이 활성슬러지의 주 수단인데 비해 고체 표면에의 부착이 생물막 공정에서 미생물 축적의 기초가 된다. 경우에 따라 부착 성장은 생물막 공정이 성능 및 비용면에서 장점을 지니고 있다. 이러한 잠재적인 장점 때문에 1980년대 후반부터 새로운 생물막 반응조 시스템과 그 응용에 대한 많은 연구가 행해지고 있다.

막생물 반응조는 활성슬러지의 시스템의 성능을 신장시키기 위해 여러 가지로 응용되어 왔다. 막 이용의 장점은 처리 수질 개선, 보다 높은 MLSS 농도, 반응조 부피 감소, 그리고 완벽한 SRT 제어 등이 있으며, 단점으로는 장치비 증가, 유지관리비용 증가 및 폐기 슬러지가 묽다는 점 등이 있다(Manem and Sanderson, 1996; Rittmann, 1998). 또한, 하수처리장의 부지축소와 처리수질의 안정, 영양염류의 제거를 위해서는 최근에는 미생물을 고정화시킨 담체를 이용하는 것이 연구되고 있는 데 담체를 사용할 경우 반응조의 부피를 줄일 수 있고, 유입수량 및 수질 변동에 강하며, 낮은 수온에서도 안정적 제거율과 동력비 및 슬러지 발생량이 적은 장점이 있다(Stephenson *et al.*, 1993; Iida and Teranishi, 1984; Tschui *et al.*, 1994; Rogalla *et al.*, 1992).

생물막공정에 의한 BOD 산화는 20세기 초에 자갈 살수여상법을 시작으로 1960~1970년대에 합성수지 여재의 개발로 생물탑(biological towers)과 회전생물막접촉법(회전원판법; rotating biological contactors) 등이 자갈 살수여상에 도전하였다. 1980년대 후반부터 1990년대초까지 살수여상, 생물탑, 회전원판들이 일반적으로 달성하였던 성능을 대폭 개선할 목적으로 일련의 혁신적인 공정들이 개발되었다. 회전원판법은 1960년대 소개되어 상당한 인기를 누리다가 1980년대에 와서 초기 설계의 보완 문제 때문에 선호도가 낮아졌다.

1980년대 후반과 1990년대에 작은 자갈 크기의 점토입자로 된 입상 여재를 사용하는 일련의 생물 여상들이 개발되었다. Biolite라는 유리화된 점토입자들은 평균 입경이 약 4mm로 불규칙한 모양을 하고 있다. 이들 입상 여재 여상은 3m의 여상 길이와 4mm의 입자 크기가 탁월한 생물막 축적과 훌륭한 여과 효과를 나타내고 있어 최종 침전조나 3차 여과지 없이 3차 처리 수준의 수질(<10mg BOD<sub>5</sub>/ℓ, <5mg SS/ℓ)를 얻을 수 있다. 또한, 생물막과 여과된 부유입자의 축적으로 인한 수두 손실을 예방하기 위해 주기적인 역세척(backwashing)이 필요로 한다는 특징이 있다. 공정이 잘 운전될 경우 대략

한번의 역세척이 필요하다(Water Environment Federation, 1992).

Albertson(1989)은 물이 살수여상의 상부로부터 주입되는 전형적인 방식은 탈리 문제를 악화시킨다고 제안하고 있다. Albertson은 회전살수기의 속도를 늦추어 강한 맥동파(pulsing)의 수리학적 부하를 만들면 이 맥동파가 탈리의 주원인인 과도한 생물막 형성을 방지할 수 있으며, 적절한 맥동파를 얻기 위하여 세척강도(flushing intensity)가 0.1~0.5 m/팔회전 범위에 있되, BOD가 높으면 큰 강도를 주어야 한다고 제안하고 있다.

#### 나. 살수여상 오수처리 원리

살수여상법의 유기성 오염물질의 제거 기작(mechanism)은 널리 알려진 생물막 공법의 제거 기작과 동일하다.

생물막공법(bio-film)은 활성오니법에서의 오니의 역할을 담체(media)에 부착 형성된 생물막에 의하여 이루어지는 처리법으로 접촉재 표면에 생성된 생물막을 이용하여 오염물질을 제거한다. 생물막은 영양물질과 세균(bacteria), 균류(fungi), 원생동물(protozoa), 후생동물(metazoa)이 혼합되어 존재하는 하나의 생태계이며 이중 세균이 오염물질의 제거에 중요한 것으로 알려져 있다. 생물막에서는 세균이 가장 많이 존재하며 이들은 주로 대사작용에 의해 유기성 탄소화합물을 탄소가스와 물로 분해시킨다. 또한, 균류, 조류, 원생동물, 후생동물 등이 존재하는데 이들도 유기성 탄소화합물의 분해에 어느 정도 공헌하며, 특히 원생동물 및 후생동물은 세균을 포식함으로써 과잉의 생물막 성장을 제어하고 슬러지의 발생량을 감소시킨다(Kriton *et al.*, 1980).

그림 2-1, 2-2는 살수여상의 미생물막에서 유기물 및 기타성분의 전환상태를 나타낸 모식도이다. 살수여상은 호기성처리법으로 분류되지만 여재 표면의 미생물막은 상부 약 0.1mm만 호기성이고 그 이하는 혐기성 또는 혐기성으로 될 것으로 가정된다. 특히 부하율이 높은 경우 호기성 생물학적 반응에 필요한 산소요구량에 비하여 산소전달율이 낮아서 생물막이 혐기성상태가 되어 냄새 문제 등을 발생시키기도 한다(Jank *et al.*, 1973).

형성되는 생물막의 두께는 환경조건과 미생물에 의하여 결정되는데 보통 100~200 $\mu$ m 정도의 막이 형성된다. 이 중 활성이 있는 두께는 약 70~100 $\mu$ m 정도이며 고등생물 또는 조류를 포함하고 있는 경우에는 수 cm 이상이 되는 경우도 있다. 폐수처리시 형성되는 생물막 두께는 일반적으로 1~2mm 정도이나 호기성 층은 불과 0.1~0.2mm에 불과하다(Kriton *et al.*, 1980).



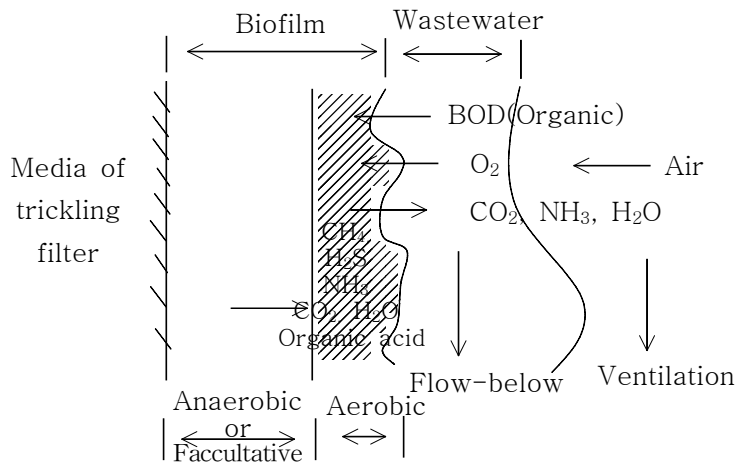


Fig. 2-1. Schematic removal principle of biological fixed-film in a trickling filter.

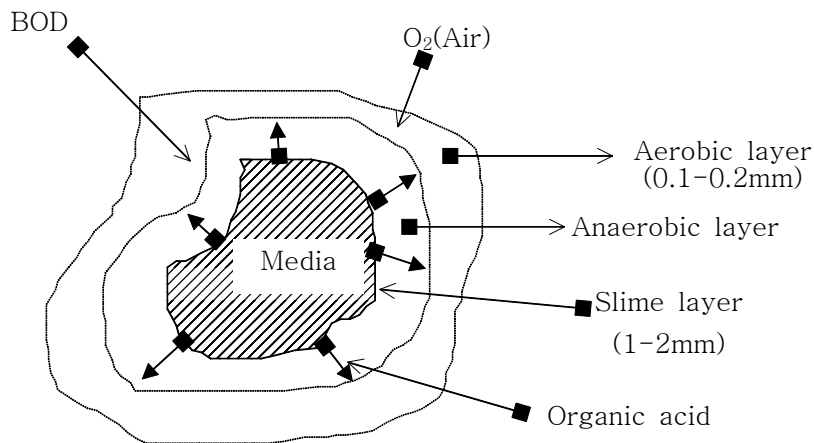


Fig. 2-2. Schematic diagram of aerobic layer and anaerobic layer by media.

호기성 생물막의 두께는 산소의 확산정도에 의해 결정되는데, 생물막을 통한 산소의 확산계수, 폐수 중 용존산소농도, 고액 경계면에서의 산소농도, 수리학적 부하량, 유기

물 부하량, 생물학적 미생물의 산소 사용량, 기타 생물막의 특성 등 여러 환경요인에 의하여 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Jang *et al.*, 1973).

생물막에 의한 오수처리는 오수가 생물막 표면을 통과하면서 용존 유기물은 막내로 확산되어 미생물에 의해 대사되며, 콜로이드상 유기물은 막표면에 흡착된 후 체외효소(extracellular enzyme)에 의해 용해되어 이용된다. 막표면 근처의 미생물들은 유기물 농도가 높기 때문에 빠른 성장을 보이나 표면 아래쪽은 유기물이 부족한 상태이다. 용존산소 역시 막내부로 확산되어 호기성 대사에 이용되는 데 생물막이 두꺼워지면 표면에서 산소가 소모되므로 혐기성층은 표면의 호기성층과 여재 표면사이에 생기게 된다(Revsbech *et al.*, 1989).

생물막이 어느 정도 두꺼워져 유기물이 막 내부까지 들어가지 못하면 여재 표면에서 가까운 곳에서 미생물들이 내생호흡(endogenous respiration)을 하게 되므로 여재 표면의 부착력을 상실하게 된다. 이때 오수가 생물막을 통과하여 매질로부터 생물막의 탈리(slough off)가 일어나고 표면에는 즉시 새로운 생물막이 형성된다. 생물막을 이용할 경우 증식속도가 느린 미생물도 외부로 유출되지 않고 다종다양한 미생물이 증식할 수 있으므로 슬러지 일령(sludge age)이 길고, 슬러지의 자기산화가 촉진되기 때문에 폐슬러지 발생량이 적으며, 다양한 미생물종이 군집(microconsotia)을 형성함으로써 온도나 pH 변동, 충격부하 및 난분해성 물질 유입에 따른 대체 능력이 뛰어나다.

살수여상의 생물막은 환경요인에 의하여 주기적 또는 연속적으로 탈리(slough off)된다. 탈리의 주요원인으로 생물막 하부의 혐기성 상태 때문이라고 알려져 있지만, 실제로는 높은 수리학적 부하에 의한 생물막에 대한 폐수의 전단속도, 유기물 부하량에 따른 생물막내에서의 대사속도, 여재의 종류, 유기물질의 종류, 기본적으로 존재하는 영양소의 양, 폐수와 대기온도 및 유기물 또는 수리학적 부하량이 급격히 변하는 충격부하 상태 등이다(Särner, 1980). 주기적이고 연속적인 탈리 현상은 미생물막의 재생을 촉진시키는 장점이 있다. 또한, 급격한 탈리 현상은 살수여상의 2차 침전지에 순간적인 고형물 과부하를 유발하여 유출수의 수질을 악화시키고, 침전지의 운전을 어렵게 하는 단점도 있다(Hawkes, 1960).

#### 다. 살수여상의 설계

살수여상 설계시 고려되어야 할 사항은 사용되는 여재의 종류와 물리적 특성, 여상

용적, 주입율, 살수장치의 종류와 주입 특성, 하수 배수장치의 형태, 자연적 혹은 인공적인 충분한 공기통풍, 소요되는 침전지의 설계 등이다(이찬원, 1995).

살수여상은 부유물과 콜로이드성 입자를 응결, 흡착 등에 의해 제거되고, 용존 유기물은 살수여상을 통과하는 짧은 시간 동안에 제거되기 때문에 여재의 선택은 설계의 필수적인 부분이고 표 2-1과 같이 많은 종류와 여러 형태의 여재가 이용되고 있다. 자갈이나 플라스틱 고리와 같은 임의의 여재가 이용되고 있을 뿐만 아니라 여러 가지 모듈이나 주름잡힌 플라스틱 시트, 플라스틱 파이프, 또는 관형 재료와 같은 시트(seet) 여재가 이용되고 있다.

여재를 선택할 때 수리학적부하와 유기물 부하량을 고려하여야한다. 즉, 비표면적과 공극율이 큰 여재를 선택하면 비표면적을 증대시켜 단위체적당 생물량을 증가시킬 수 있으며, 공극율의 증가로 수리학적 부하를 높일 수 있으며 산소전달율을 신장시킬 수 있기 때문이다. 또한, 선택된 여재와 여상 외곽은 통풍 설계가 공정수행의 중요한 측면이기 때문에 최적 통풍 설계와 조합되어야 한다. 그러므로, 목편칩 여재와 같은 종류는 비표면적과 공극율이 크기 때문에 여상에 고르게 미생물을 부착시킬 수 있으므로 미생물양을 크게 하고 공기 유통을 원활히 하여 단위 체적당 유기물 제거율과 수리학적 부하율을 증대시키는 효과가 있다고 볼 수 있다.

Table 2-1. Kinds of trickling filter media

Kinds of media	Nominal standards(mm)	Test weight (kg/m <sup>3</sup> volume)	Specific surface area (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> volume)	Porosity (%)
Granite crushed stone	25~75	1440	60	46
Slag of melting furnace	50~75	1080	65	49
Plastic of bulk type	40×80	65	100~200	93~96
Plastic of module type	600×500×1000	35~60	80~200	94~97
Redwood module	1200×1200×500	150~175	40~50	70~80
Absorptive biofilter	500×500×500	-	120	100
Woodchip*	35×30×45	270	120~240	75~80

Source : Metcalf and Eddy, 1979; Liptak, 1974; 洞澤勇編, 1982

\* : Media for research (this value was measured.)

살수여상의 설계는 여재에 부착된 미생물이 대사활동과 생물막 증식, 유기물 제거와 탈리 등은 유입오폐수와 외부의 환경조건에 순응하면서 자체적으로 조절하며, 인위적으로 일정 유지가 어려우므로 그 반응을 상시 적용할 수 있는 수리적 모델(mathematical model)을 만들기가 곤란하다. 또한, 반응에 기여하는 변수간의 관계가 복잡하고, 여상 내의 미생물양과 영양상태를 정상상태로 조작할 수 없으므로 기질 제거율을 반응식에 의하여 예측하는데는 어려움이 있다. 이러한 이유 때문에 대부분 경험식(empirical equation)을 사용하고 있다.

따라서 현재 활용하고 있는 설계식들은 살수여상의 운전 결과를 통계적으로 분석하거나 생물막에서의 유기질 제거원리를 단순화한 수리적 모델에 실제 운전 결과로부터 얻은 요소를 첨가하여 만든 것이 대부분이다. 경험에 의한 설계식들은 반응이론식이 연구되기 훨씬 전부터 주로 생활하수를 처리하는데 무리 없이 적용되어 왔다.

살수여상 설계식에는 National Research Council(NRC)식, Velz식, Schulze식, Germain 식, Eckenfelder식 그리고 Galler와 Gotaas식 등이 있다.

NRC 공식은 미국의 National Research Council이 1946년 발표한 식으로 가장 오래 되었고 가장 넓게 보급되어 있다. NRC 공식은 군기지에서 운영된 rock media 살수여상 운전자료를 통계 분석하여 만든 것으로 여재와 기질의 접촉량은 여상 규격과 기질 통과수에 의존하고, 접촉량이 많을수록 처리효율이 커지며, 기질부하율이 클수록 처리효율이 낮아진다는 사실에 근거하여 살수여상의 유기물 제거효율을 결정하는 주요인자는 “부하량/유효접촉면적(W/VF)”라는 결론을 얻어 경험식을 발표하였다.

First or Single stage ;

$$E_1 = \frac{1}{1 + 0.0085 \left( \frac{W_1}{V_1} F \right)^{1/2}} \quad (2-1)$$

Second stage ;

$$E_2 = \frac{1}{1 + \frac{0.0085}{1 - E_1} \left( \frac{W_2}{V_2} F \right)^{1/2}} \quad (2-2)$$

여기서,  $E_1$  = 1단 살수여상과 침전지에서의 BOD 제거효율(%)

$E_2$  = 2단 살수여상과 침전지에서의 BOD 제거효율(%)

$W_1, W_2$  = BOD 부하율(lb/day)

$V_1, V_2$  = 여상의 용적 (acre-ft)

$F$  = 재순환계수로서 유기질의 통과수,  $F = \frac{1+R}{[(1+(1-P)R)]^2}$

$P$  = 가중계수, 보통 0.9

$R$  = 재순환율(recirculated flow/plant influent flow)

$\frac{V}{W}$  = 여과상에 가해진 BOD부하율(lb/acre-ft · day)

위의 식들을  $P = 0.9$ 로 가정하여 여상용적을 유기질의 제거효율과 유량, 농도 및 재순환율로 나타내도록 고치고, SI단위로 나타내면 다음과 같다(Benefield *et al.*, 1980).

$$V = 1.9674(10)^{-4}QS \frac{(1+0.1R)^2}{1+R} \left(\frac{E}{1-E}\right)^2 \quad (2-3)$$

여기서,  $V$  = 여상의 용적( $m^3$ )

$Q$  = 오폐수 유입량( $m^3/day$ )

$S$  = 유입폐수의 기질 농도( $mg\ BOD/\ell$ )

$E$  = 여상에서의 유기질 제거율

$R$  = 재순환율

이 식들을 보면, 필요한 여상용적은 유기질 제거율과 재순환율이 일정할 때 유기질의 유량과 농도, 즉 유기질 부하율에 비례한다. NRC 공식은 둘 여재를 사용하는 살수여상에는 적용할 수 있으나, 비표면적과 공극율이 큰 여재를 채운 살수여상에는 적용하는데는 무리가 있다. 즉, 이 경우에는 여상의 소요용적이 훨씬 줄어들어야 한다.

Velz식은 1948년 Velz가 여러 운전자료에 의거하여 저울 및 고울 살수여상에 대한 경험식을 제안하였는데, 주로 여상의 깊이에 따른 유기물 제거량에 대하여 고려하였으며, 유기물 제거의 반응은 1차 반응으로 가정하였다.

$$L_d = L_i^{-kD} \quad (2-4)$$

여기서,  $L_d$  = 깊이  $D$ 에서 제거 가능한  $BOD_5(mg/\ell)$

$L_i$  = 유입수  $BOD_5(mg/\ell)$

$k$  = 1차 반응상수( $day^{-1}$ )

$D$  = 여상 깊이( $m$ )

수정된 Velz공식은 온도의 영향과 유출수의 재순환을 고려하였는데 그 식은 다음과 같다.

$$-\frac{dL}{dH} = kL \quad (2-5)$$

식 (2-5)를 적분하면

$$\frac{L_e}{L_i} = kLH \quad (2-6)$$

여기서,  $L_e$  = 유출수 BOD<sub>5</sub>(mg/ℓ)

$L_i$  = 유입수 BOD<sub>5</sub>(mg/ℓ)

$k$  = 제거율 상수

$L$  = BOD<sub>5</sub> 농도(mg/ℓ)

$H$  = 여상 깊이(m)

또한 온도와 재순환을 고려하여 용존 유기물에 대하여 수정하면

$$S_e = \frac{S_i}{(R+1) \exp\left[\frac{k_{20} \cdot A_s \cdot D \cdot \theta^{(T-20)}}{(Q_i \cdot (R+1))^n}\right] - R} \quad (2-7)$$

여기서,  $S_e$  = 살수여상 유출수의 용존 유기물 농도(mg/ℓ)

$S_i$  = 살수여상 유입수의 용존 유기물 농도(mg/ℓ)

$R$  = 재순환비

$D$  = 여재층 깊이(m)

$A_s$  = 여상의 단면적(m<sup>2</sup>)

$\theta$  = 온도보정계수

$n$  = 살수여상 상수

$Q_i$  = 수리학적 부하(m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> · d)

Eckenfelder식은 1963년 Eckenfelder가 모든 media에 적용할 수 있는 식을 얻으려는 시도에서 살수여상 생물막에서의 유기물 제거는 1차 반응을 따르고 살수여상을 통하여 흐르는 폐수의 흐름은 이상적인 plug flow로 가정하여 Schulze식에 여상 단위 깊이당 BOD 제거율을 첨가하여 다음 식을 전개하였다.

$$\frac{S_e}{S_i} = e^{-kXt} \quad (2-8)$$

여기서,  $S_e$  = 여상 유출수의 잔류 BOD<sub>5</sub>(mg/ℓ)

$S_i$  = 여상 유입수의 용존 BOD<sub>5</sub>(mg/ℓ)

K = 반응속도(1/day)

X = 활성 미생물의 양(mg/ℓ)

t = 폐수와 미생물의 접촉시간(day<sup>-1</sup>)

또한 Eckenfelder와 Barnhart는 여재의 비표면적 영향을 고려하여

$$C = C_0(A_V)^m \quad (2-9)$$

여기서,  $A_V$  = 여재의 비표면적(m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>) 이다.

$C_0$ 와  $m$ 은 미생물 성장이 없는 Rock Media에 대한 상수로 약 0.7~0.75로 나타내었다.

식(2-8)과 식(2-9)의 X와  $A_V$ 가 비례한다고 가정하면

$$\frac{S_e}{S_i} = e^{(-KC_0 A_V^{(m+1)} D/Q^2)} \quad (2-10)$$

가 되고, 여재의 전체 깊이를 통하여 균일한 미생물막이 형성된다고 가정하면 식(2-8)은

$$\frac{S_e}{S_i} = e^{(-K\theta^{(T-20)} D/Q^2)} \quad (2-11)$$

가 된다.

살수여상을 최상으로 운영하기 위해서는 균등한 생물막의 지속적인 성장과 유기물 부하에 따라 생물막 탈리가 연속적으로 균등하게 이루어져야 한다. 균등한 생물막 성장과 탈리가 이루어지려면 일반적으로 사용되는 것보다 더 높은 주기적 주입율이 요구된다. 순간 주입율은 회전식 살수기의 회전속도나 고정식 살수기의 주입-중지(on-off) 시간의 함수이다. 고정식 살수기의 경우 이 때의 살수기간과 휴지기간은 다음 식과 같다.

$$t_1 = \frac{2A}{a\sqrt{2g}} - \left[ \sqrt{H_2} + \sqrt{h} \times \ln \frac{\sqrt{H_0} - \sqrt{h}}{\sqrt{H_2} - \sqrt{h}} \right] \quad (2-12)$$

$$t_2 = \frac{V}{Q} = \frac{AH_1}{Q} \quad (2-13)$$

여기서,  $t_1$  : 살수기간(min/day)

$t_2$  : 휴지기간(min/day)

Q : 유입하수량(m<sup>3</sup>/day)

h : 단면적 a를 통하여 Q가 흐르는데 소요되는 수두(m)

A : 여상조의 수면적(m<sup>2</sup>)

V : 여상조의 용적(m<sup>3</sup>)

H<sub>1</sub>: 여상조의 고수위(H<sub>0</sub>)와 저수위(H<sub>2</sub>)의 차 즉, H<sub>0</sub>-H<sub>2</sub>(m)

살수여상법에서는 여상을 호기성 상태로 하기 위해서 여재간에 억류되는 오염물질의 양 즉, 하(폐)수의 농도와 살수주기를 자동배수조(Dosing tank)로 유량을 조절하도록 되어 있다. 유량조정조의 필요 용량은 다음 식과 같다.

$$V = \left( \frac{Q}{T} - K \times \frac{Q}{24} \right) \times T \quad (2-14)$$

여기서, V = 용량(m<sup>3</sup>) , Q = 일일 오수 발생량(m<sup>3</sup>/day), T = 오수배출시간(hr), K = 유량조정비(1~1.5, 1일 평균 오수량의 24분의 1.5로 유량을 조정시 K = 1.5)이다.

살수여상은 생물학적 처리와 후여과가 가능하다면 탄소흡착으로 구성되는 2모델(bi-model) 처리 시스템에 활성슬러지와 같은 생물학적 처리 시스템의 형태로 대체할 수 있는 경쟁적인 것이다. 열 손실을 최소화하는데 있어 폭기 시스템에 대해 살수 여상 고유의 장점은 현저하고, 살수여상은 다른 생물학적 시스템보다 적은 토지와 동력을 필요로 하므로 전체 공정 선택시에 경제적인 측면에서 고려할 만하다(전태성 등, 1998).

## 2. 미생물의 부착과 생물막 형성

반응기안의 부착된 전체 미생물양은 생물막 공정을 운전하는데 중요한 인자가 되지만 실제적으로 활성 있는 미생물이 직접적인 물질분해에 관계하기 때문에, 생물막 활동도는 하·폐수처리에 사용된 생물막 공정의 성공적인 운전과 조절을 결정하는데 있어서, 생물막 공정 해석의 중요한 변수가 된다. 또한, 생물막 활동도의 효과적인 조절은 하·폐수처리의 효율을 증가시킬 수 있는 가장 중요한 인자가 되며, 이를 위해서 생물막 특성 조사와 그 활동도 측정은 생물막 공정을 이해하고 활용하는데 핵심이 된다(Lazarova *et al.*, 1994; Zahid, 1993).

생물막은 주로 물로 구성되어 있고, 보고된 바에 따르면 87~ 99%의 범위 내에 있는 것으로 보인다(Kornegay and Andrews, 1967; Characklis *et al.*, 1981; Zilver, 1979). 생물막의 열역학적 성질은 밀도 계산에 사용되는 부피와 질량을 포함한다. 생물막 두께는 확산길이를 결정하고 유체 마찰 저항과 열전도 저항 계산에 적용되므로 생물막 과정의 분석에 매우 중요한 특성이다. 그러나 생물막 두께의 정확한 측정은 어려운 일이다.

생물막 두께와 밀도에 영향을 주는 수많은 다른 요소로는 생물막 내의 미생물 중, 유



체 전단 응력과 기질의 흐름 등을 들 수 있다. 사용되는 균집에서 특정 미생물 종의 선택적 부착과 성장은 미생물 밀도에 영향을 줄 수 있다. 생물막-액체간의 비규칙적 형태는 확산 측정에서 간과될 수 있는 이류 물질 전달을 증가시킬 수 있다(Characklis *et al.*, 1981; Siegrist and Gujer, 1985).

생물막내에서 확산계수는 물질 내의 농도구배로 인한 분자 확산율을 나타낸다. 생물막 내에서 미세 유기체는 생물막으로 확산되는 기질(전자 수여체), 전자 수용체와 다른 영양분을 소비한다. 그 결과 생물막의 비율이 하나 이상의 요소에서 상대적 확산율, 반응율과 반응요소간의 양론비에 따라서 불완전하게 될 수 있다. 따라서 혐기성 상태에서만 생존하는 황산-환원 박테리아는 산소가 함유된 유체 흐름과 접촉하면 생물막 내 깊숙이 들어가 번식할 것이다. 확산계수는 확산되는 분자 뿐 아니라 그 물질에도 관련된다(Williamson and McCarty, 1976).

### 3. 목재의 특성

목재는 수목의 주체 부분으로서 세포적 구조를 가지고 있으며, 그 구성요소는 단일세포인 가도관, 목섬유, 유세포 및 도관으로 나누어진다. 목재는 도관(vessel)을 가지지 않는 침엽수재와 도관을 가진 활엽수재로 구분한다. 목재의 성분 비율과 목재의 원소조성, 목재의 주성분 비율, 목재의 여러 특성은 표 2-2에서 표 2-6과 같다.

목재의 목섬유는 폭에 비하여 길이가 비교적 긴 방사상의 세포로서 목재조직의 대부분을 차지한다. 침엽수재에서는 진정 목섬유를 볼 수 없으며, 그 대신 가도관(tracheid)이 목재의 기초 조직을 구성하여 수체의 기계적 지지와 활엽수의 도관과 같이 액의 수송을 맡아 수분의 근거리 수송에 적합하다. 섬유의 길이는 수종과 부위에 따라 일정하지 않으나 대체로 침엽수는 1~4mm, 활엽수는 0.5~2.5mm이다. 침엽수재는 가도관이 체적의 90% 이상을 차지하고 있으며, 축 방향으로 긴 방추형을 나타내며, 길이가 길고 좁은 세포로서 대부분 길이(2~3 $\mu$ m)는 직경(20~30 $\mu$ m)의 100배이다. 가도관의 길이는 목재의 강도적 특성과 제재목 치수안정성과 관련 있는 수축율과 관계가 있는 중요한 인자이다. 수종별 가도관의 평균 길이는 잣나무 2.8mm, 소나무 2.6mm, 곰솔 2.9mm, 강송이 2.5mm인 반면 외국수종인 미송의 경우 3.5mm이고, 남부소나무의 경우 3.0mm~3.6mm로 우리나라 소나무의 가도관의 길이보다 길다.

목재의 구성하는 화학적 조성은 생합성된 것이므로 매우 복잡하지만 유기화합물이기 때문에 원소적 조성은 탄소, 수소, 산소로 구성되어 있으며 또한 생체대사로 합성된 것이므로 약간의 질소와 무기질을 함유하고 있다. 또한, 주성분은 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스 및 리그닌으로 구성되며, 침엽수가 활엽수보다 리그닌이 10%정도 더 함유되어 있다.

비중은 목재사용에서 다른 특성보다 중요하다. 이는 목재사용에 직접적인 영향을 미치기 때문이다. 특히 목재의 강도, 접합했을 때 틀어짐과 쪼개짐 등과 관계가 깊으며, 가공상의 도장, 절삭 등에 직접적인 영향이 있다. 또한 비중은 목재의 생장과 관계가 있기 때문에 재목을 생산하는 임목 생산에 중요한 지침을 제공한다. 우리나라 수종인 소나무, 잣나무 및 곶술의 비중은 외국 소나무와 비슷하거나 높음을 알 수 있다.

수축과 팽창은 목재내 결합수 이동에 의한 치부변화이다. 수축율은 우리 침엽수재중에서는 소나무가 가장 크며, 우리 소나무가 치수안정면에서 외국소나무보다 좋음을 알 수 있다.

휨강도에 있어서 곶술과 강송의 강도가 외국 소나무보다 크다. 무게에 의한 처짐 정도를 예측하기 위해 사용되는 휨영계수 역시 국내소나무가 외국 소나무에 비해 적지 않은 값을 보여준다. 종압축강도에서 강송이 가장 크고 곶술 역시 큰 값을 보여주고 있다.

외국 소나무에 비해 생장율은 떨어지지만 우리 소나무가 치수 안정성이 높고, 펄프생산량과 가공성에 밀접한 연관이 있는 비중에서는 큰 차이를 보여주고 있지 않으나 험부재로서 사용할 때 외국수종에 비해 우수함을 보이고 있다(이혁우, 1967; 이혁우, 1972; 조성희 등, 1973; 조재명 등, 1975; 이필우, 1985; 基太村洋子, 1991; 조병묵 등, 1983; 윤병호 등, 1997; 이정우, 1982)

Table 2-2. Constituent ratio of woods

Angiospermae (Broad-leaved tree)		Gyonnospermae (Conifer)	
Compound	(1)%	Compound	%
Trachea	5~50	Tracheid	90
Wood fiber	30~75		
Parenchyma cell	4~50		

Table 2-3. Chemical element composition of wood

Compound	C	H	O	N	Inorganicsm
%	about 50	about 6	about 44	0.1 below	0.3

Table 2-4. Major ingredients ratio of wood

Items	Cellulose	Hemi cellulose	Lignin
Conifer	40~45%	11~20%	27~30%
Broad-leaved tree	45~50%	15~20%	20~25%

Table 2-5. Chemical ingredients of wood(pine)

Class	Ash	Drawing out matter				C.B cellulose	Holo-cel lulose	Lignin	Petosa n
		Cold water	Warm water	Alcohol- benzone	1% NaOH				
Content (%)	0.43	3.4	4.6	3.1	13.5	71.7	83.7	26.4	15.9

Table 2-6. Characteristics of woods

Wood species	Tracheid length (mm)	Specific gravity	Contraction ratio(%)		Bending strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	Length compressi on strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	Bending Young's modulus	
			Ray direction	Tangent direction				
Domestic	Coulter's pine	2.8	0.50	2.82	7.41	772	425	99
	Pine	2.6	0.50	4.88	9.11	747	430	92
	Black pine	2.9	0.54	4.39	8.33	995	571	127
	Red wood	2.5	0.48	4.60	8.80	975	640	130
	Cedar	2.5	0.45	2.53	7.96	612	374	-
Foreign	Douglas -fir	3.5	0.48	5.0	7.8	872	-	128
	Loblolly pine	3.6	0.51	4.8	7.4	900	-	126
	Ponderosa pine	3.0	0.40	3.8	6.3	661	-	91

반영구적인 침엽수 목편을 사용하여, 목편조에 많은 양의 질산화 미생물 및 탈질미생물의 유지와 목편의 생흡착(biosorption)작용으로 질소·인 제거효율을 향상시키고, 목편조에 공기를 자연 순환시키며 유지관리 비용이 적게 소요되는 기술이다.

목편내에서 수분과 산소는 상호 반비례적인 함수관계를 형성하는 데, 공극 내에 수분의 함량이 증가하게 되면 산소의 저장공간이 감소하게 되어 실질적으로 산소의 함유량이 감소하게 된다. 그 반대의 경우도 그러하다. 따라서 수분함량이 지나치게 증가 또는 감소할 경우 부후균의 생육환경은 악화되며, 목편의 부후는 일어나지 않는다. 우물관정에서 정수용으로 깔아둔 원목이 수십년 내지 수백년이 지나도 부후되지 않은 것은 수분과다의 경우 부후균이 자랄 수 없다는 원리를 이용한 것이며, 또한 수액제거를 위해 강물이나 해수에 6개월 내지 1년 이상 방치해 두는 원목에서도 부후가 일어나지 않는 것은 이와 같은 원리이다. 따라서 목편오수처리시설이 정상적으로 가동되면 반영구적으로 사용 가능하다.

#### 4. 물질의 열역학적 반응

##### 가. 열전도도

열은 직접 물리적 접촉에 의한 전도(conduction), 유체의 흐름에 의한 대류(convection) 및 전자기파에 의한 복사(radiation)의 세 가지 방법으로 전달된다. 열전도(heat-conduction)는 인접의 분자들과 계속되는 충돌에 의해 에너지가 전달되는 현상이다.

열전도도의 측정 방법은 시료의 온도가 열적 평행 상태에 도달한 후 온도 기울기와 단위 시간당 흘러가는 열량을 측정해서 구하는 정상 상태법과 시료의 온도 분포가 시간에 따라 변하기 때문에 어떤 시점의 온도 변화비를 측정하여 시료의 밀도와 비열에 관한 지식으로부터 열전도도를 계산하는 비정상 상태법이 있다. 비정상 상태 방법(nonsteady-state method)은 시료의 온도 분포가 시간에 따라 변하기 때문에 어떤 시점에서의 온도변화 비를 측정하여 시료의 밀도와 비열에 관한 지식으로부터 열전도도를 계산하는 방법이다. 즉, 열선을 시료 두 장 사이에 넣고 전압을 걸어줌으로써 저항의 변화를 측정하고 저항의 온도계수를 이용하여 온도차를 구함으로써 열전도도를 얻

을 수 있다. Fourier에 의하면, 단면적 A인 시료내의 임의의 위치 x 지점의 온도를 T(x), x+Δx 위치의 온도를 T(x+Δx)라 한다면 단위 시간당 단면적을 통과하는 열량 Q는,

$$Q = k \cdot A \frac{T(x) - T(x + \Delta x)}{\Delta x} \quad (\text{Fourier 법칙}) \quad (2-15)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서, k는 열전도도를 나타낸다.

열전도도 k는 온도의 함수이므로 온도가 상승하면 k도 약간 증가한다. 그러나 물질 사이의 온도차가 그리 크지 않으면 모든 물질 k의 값은 실질적으로 일정하다.

시료의 두께 Δx 가 Δx→0 일 때 위의 (2-15)식은

$$Q = kA \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{T(x) - T(x + \Delta x)}{\Delta x} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2-16)$$

가 되고 열전도에 관한 Fourier 법칙의 일차 미분 형태이다.

비정상 상태에 있어서 열전도의 온도(T)는 시간(t)에 따라 변하므로 T=T(r, t),  $\frac{dT(r, t)}{dt} \neq 0$ 이다. 온도가 시간에 따라 변하고 물체 내에 열원이 있는 경우 열전도 방정식인 Fourier-Biot 식은 다음과 같다.

$$\nabla^2 T + \frac{1}{k} q = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2-17)$$

특히, 물체가 내부에 열원을 갖고 있지 않을 때의 식은 열확산 방정식인

$$\nabla^2 T = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2-18)$$

로 된다. 반지름 r 이고 길이가 무한대인 원두라면 비정상 상태에 있어서 온도는 반지름만의 함수로 생각할 수 있으므로 이 식은

$$\frac{d^2 T}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dT}{dr} = \frac{1}{a} \frac{dT}{dt} \quad (2-19)$$

로 된다. 반경 r인 곳의 온도 T(r, t)와 표면온도 T(∞, t)의 온도 분포 차를 θ(r, t)=T(r, t)-T(∞, t)라 두고 또 경계 조건을 대입하여 풀고 x≪1에 대한 근사치 계산을

하면,  $\theta = \left(\frac{q}{4\pi k}\right) k_1 \left(\frac{r^2}{4at}\right)$  가 된다.

또 온도 분포차를 이용하여 열전도도를 구하면,

$$\theta_1 - \theta_2 = T(r, t_1) - T(\infty, t_1) - T(r, t_2) + T(\infty, t_2)$$

$$= T(r, t_1) - T(r, t_2) = \left( \frac{q}{4\pi k} \right) \ln \left( \frac{t_2}{t_1} \right)$$

$$\therefore k = \frac{q}{4\pi \Delta T} \ln \left( \frac{t_1}{t_2} \right) \quad (2-20)$$

가 된다. 여기서,  $q$ 는 단위 길이 당 단위 시간당 열량을 나타낸다. 두 시점에서의 열선의 온도변화  $\Delta T$ 를 구하고 (2-20)식에 대입하여 열전도도를 구할 수 있다. 이 선열원법은 열전도도가 0.01~10 W/m·K 정도인 비금속재료에 매우 적절한 방법이다(이인화 등, 1992; 遠山兼泰, 奥村造一, 1987).

### 나. 열흐름률

열의 흐름률은 물체의 열전도도에 의존한다. 물체 조각의 두 면사이의 온도차에 열흐름률은 뜨거운 면에서 차가운 쪽으로 열이 흐른다. 각 점에서의 온도가 시간에 따라 일정하게 유지되는 이 조건을 정상상태(steady state) 열흐름이라 한다. 정상상태에 도달하기 전에는 각 점에서의 온도는 시간에 따라 변한다. 정상상태에서 막대 내의 열류는 모든 단면적에서 같다(김태만 등, 1984; 김승건 등, 1995; Holman, J. P. 1981).

원통형에서 층의 두께를  $dr$ , 층 사이의 온도차를  $dT$ 라 하면, 층의 한쪽 면적  $A$ 는  $2\pi rL$ 이 된다. 여기서,  $r$ 은 원통 중심에서 층까지의 거리이고,  $L$ 은 파이프의 길이이다. 그러므로 열흐름률은

$$\frac{dQ}{dt} = -kA \frac{dT}{dr} = -k \cdot 2\pi L \frac{dT}{dr} \quad (2-21)$$

와 같이 된다. 여기서,  $k$ 는 열전도도이다. 식(2-21)의 해는

$$\frac{dQ}{dt} \cdot \frac{dr}{r} = -2\pi k L dT \quad \text{이고,} \quad \frac{dQ}{dt} \int_{R_1}^{R_2} \frac{dr}{r} = -2\pi k L \int_{T_1}^{T_2} dT \quad \text{이므로}$$

$$\frac{dQ}{dt} \ln \left( \frac{R_2}{R_1} \right) = -2\pi k L (T_2 - T_1) \quad \text{에서}$$

$$\therefore \frac{dQ}{dt} = \frac{2\pi k L (T_1 - T_2)}{\ln(R_2/R_1)} \quad (2-22)$$

이다. 여기서,  $R_1$ 은 절연층의 안쪽 반경,  $R_2$ 은 절연층의 바깥쪽 반경이다.

## 제3절 재료 및 방법

### 1.. 목편칩 여재의 제조와 특성

#### 가. 목편칩의 제조방법

목편칩의 주된 재료는 침엽수로서 소나무가 주로 이용된다. 산지에서 생산된 목재는 가공 공장으로 반입이 이루어진다. 반입된 목재는 박피기를 통해 목피가 제거된다. 목피를 제거하지 않고 그대로 목편을 제조할 경우 살수여상 정화처리시설 적용시 공극 폐쇄의 주된 원인으로 작용하거나 오수정화시 목편칩의 색도가 방출되는 원인이 될 수 있다. 박피된 목재는 자동 이송장치에 의해 파쇄기로 유입된다. 목편 제조기는 특수하게 설계된 톱날에 의해 편(片)의 형태로 파쇄된다. 파쇄된 편(片)의 크기는 가로 세로 모두 1~7cm의 크기이며 두께는 3mm 안팎이다. 이렇게 파쇄된 목편은 1차 선별기로 유입된다. 1차 선별기에서는 일정 크기(가로, 세로 7cm이상)이상의 편은 파쇄기로 반송된다. 파쇄기로 반송된 목편은 다시 한번 파쇄기를 통과하면서 작게 부서진다. 1차 선별기를 통과한 목편은 2차 선별기로 보내어진다. 2차 선별기는 미립자 등을 제거한다.

목편칩은 목편 제조기로 생산하였다. 목편 제조기는 회전하는 휠에 삼각형 칼날을 부착하고 목재의 투입구를 칼날의 직각방향에서 15°기울어지게 하여 칼날이 나무결 측면을 깎음으로써 제재소에서 생산된 일반적인 톱밥보다 크기가 크면서도 형태가 불규칙한 목편칩을 생산하였다.

목편칩 배출구를 통해 배출된 생활오수 정화용 목편칩은 1~7cm의 스크린 망을 이용하여 선별하였다. 1cm 이하의 미세한 입자는 처리조내에서 물 빠짐을 방해하고, 7cm 이상은 입자가 커서 표면적이 너무 작으므로 제거하고, 1~7cm의 목편칩 종류만 이용하였다.

#### 나. 기존 여재의 문제점과 목편칩 여재의 특성

오·폐수를 정화시키기 위한 필요조건은 미생물의 번식 및 활성화이다. 생물막공법에 서 미생물이 부착 성장할 수 있는 담체(media)로서 자갈, 쇄석, 폐요구르트 용기, 세라믹 filter media, 다공성 플라스틱류, Bio filter media 등이 사용되고 있으나 각각의 사

용에 따른 처리장치의 연계성은 다양하지 못한 경향이다(최성용 등, 1990).

기존 살수여상 오수처리공법에 사용되는 여재인 쇠석이나 플라스틱은 유기물 분해를 위한 미생물 부착이 용이하지 않고 막힘으로 인한 오수이동시 편향류가 발생하며 제 기능을 발휘하지 못하는 경향이였다. 또한, 쇠석 등 기존 살수여상 여재는 비표면적이 적어 고농도의 미생물 농도를 유지할 수 없으며, 보존성이 낮아 사계절 안정적인 처리가 어렵다. 그러나 침엽수의 일종으로 소나무(pine), 삼나무(cedar), 적송(red pine)등의 목편칩을 담체로 사용한 살수여상 오수처리 장치는 기존에 사용되던 media에 비하여 생물막이 부착할 수 있는 많은 표면적을 제공하며 거칠기가 커서 미생물이 다른 어느 담체(media)보다도 쉽게 생물막(biofilm)을 형성할 수 있다. 이렇게 형성된 생물막은 오수내의 함유된 오염물질을 영양원으로 하여 성장, 오염물을 제거하는 원리이다.

생물학적 처리시스템에 항균과 흡착작용을 갖는 목편칩 여재를 충전시켜서 사용할 경우 폐수처리과정에서 유용한 부유성 미생물, 토양 미생물과 같은 토착성 미생물 및 부착성 미생물들이 함께 다량으로 어울려서 증식할 수 있는 체계를 구축시켜 줌으로써 폐수처리 효율을 극대화시킬 수 있다. 본 연구에서는 살수여상조의 여재로 비표면적 및 표면 거칠기가 크고 여재 자체적으로 보존성을 가진 정화용 목편칩의 개발과 이를 이용한 생활오수 유기물의 처리효율을 높이고, 저동력 사용, 공정의 단순화를 통하여 유지관리비용을 저감코자 하는데 있으므로 이러한 요구 조건을 충족시킬 수 있는 목편칩의 적정 크기, 두께를 결정하기 위한 실험을 실시하여 생활오수 처리를 위한 정화용 여재를 개발하였다.

본 연구에서 개발된 정화용 여재인 목편칩은 통상의 톱밥과 동일하게 보습 및 보존성이 좋고 목질의 주성분인 셀룰로오스의 복잡한 3차원 구조에 의하여 매우 큰 표면적을 지니며 오수처리 때의 미생물의 번식 매체로서 아주 우수하였다. 정화용 목편칩 여재 개발시 0.5cm 이하의 미세 목편이나 분말을 제거하였기 때문에 목편칩 여재의 구조가 더욱 불규칙하여 물리적인 막힘 현상을 막고 공기순환이 잘 이루어지도록 했다. 특히, 개발된 정화용 목편칩 여재는 목질 본래의 유기적인 생체조직이 그대로 보유하고 있어서 pH 안정성이나 저해물질 그 외의 성분에 대한 완충작용(buffer)이 있어 자연 토양 중에 있는 부식질(humus)과 같이 치환, 흡착 및 이온교환 등의 복잡한 기능을 보유한 세균을 위한 안정된 생활 환경을 형성한다. 본 정화용 목편칩 여재는 호기성 미생물 증식에 필요한 환경을 만들어 준다는 점과 1m<sup>3</sup>당 120~240m<sup>2</sup>의 표면적을 갖고 있는 다공질의 목편칩으로 미생물이 증식할 수 있는 장소와 오수 중에서도 미생물이 서식할



여건을 마련해 줄 수 있다. 본 정화용 목편칩 여재는 생활 오수뿐 아니라 축산뇨오수를 정화시키는 여재로 활용하면 장점이 많다. 목편칩에는 죽은 세포의 집합체인 세포내강이나 세포간극 등과 같은 빈 공간이 많기 때문에 목편칩은 미생물의 증식을 위한 좋은 서식 공간이 된다. 또한, 정화용 목편칩의 세포벽에는 액체의 이동 통로 역할을 위한 벽공이라고 불리는 작은 구멍들이 많이 있는데 이것은 미생물 서식 공간이 될 뿐만 아니라 살수여상시 수분이 점적식으로 이동하는 통로가 된다.

목재의 비중은 여재의 사용에서 중요하다. 목재의 실제비중을 진비중이라고 하며 이는 실질중량(g)/실질용적(cm<sup>3</sup>)을 말하고 수중에 관계없이 1.44~1.56인데 일반적으로 1.50이 통용된다. 진비중이란 목재성분 중에서 수분을 공기 중에서 제거한 상태의 비중을 말하며 구조 설계시 참고자료로 된다. 목재의 비중(기준비중)은 수중에 따라 크게 차이가 나는데 본 연구에서 정화용 여재로 활용된 소나무의 여재의 비중은 0.5이며 추재는 춘재보다 비중이 크다.

Table 2-7. Specific gravity & density of pine media

Specific gravity	Dry density		Wet density(kg/m <sup>3</sup> )*
	Average(g/cm <sup>3</sup> )	Threshold value(g/cm <sup>3</sup> )	
0.5	0.49	0.30~0.86	430.7

\* very light(80-240), light(400-500), common(560-720), heavy(720-960), very heavy(above 960)

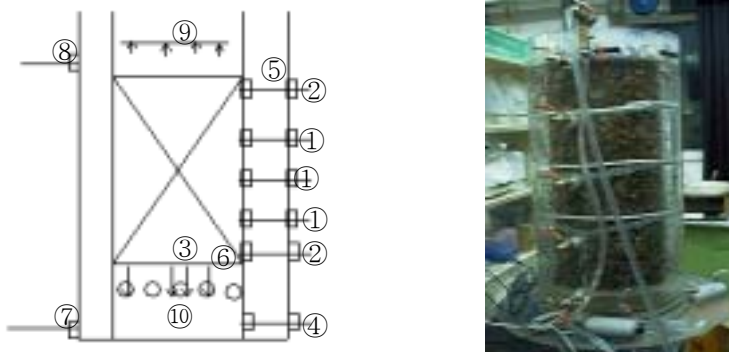
목재의 밀도(kg/m<sup>3</sup>)는 목재의 단위 체적당 질량의 단위로 목재의 함수율, 목재의 강도와 관계가 깊다. 일반적으로 밀도가 큰 목재가 강도도 강하다. 표 2-7과 같이 본 연구에서 활용한 소나무 목편칩의 밀도는 생밀도가 430.7kg/m<sup>3</sup>로 비교적 가벼운 목재 종류에 속하여 오수정화 여재로서 목편칩 살수여상조의 다짐 현상시 부하를 줄이는 효과를 가져와 활용가치가 높을 것으로 판단된다.

## 2. Lab-scale 실험장치 및 방법

실험장치는 그림 2-3과 같이 실험실 모형의 살수여상반응조를 제작 설치하였다. 여상은 직경 400mm, 외부 항온수 재킷 500mm, 높이 100mm의 아크릴 수지관으로 제작

하였고, 충전물질인 여재는 평균크기가 가로 3.5cm, 세로 3cm, 두께 0.45cm인 평행사변형 형태이고, 비면적이 180m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, 공극율 78%인 목편칩을 사용하였고, 여재층의 총 부피는 36m<sup>3</sup>이었다. 여상벽에는 시료 채취를 위한 구멍을 20cm간격으로 5개 설치하였다. 살수기는 8mm 아크릴 파이프와 6mm 아크릴 파이프를 교대로 설치하여, 1mm구멍을 뚫어 제작하였다. BOD 용적부하 1kg BOD/m<sup>3</sup> · day, 표면적부하 5m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> · day, 온도 일정하게 유지, 재순환비 0으로 하여 정량펌프를 사용하여 20ℓ/d로 간헐 살수하였다.

박테리아는 대략 수분 75%, 유기물(C, H, O, N) 22.5%, 무기물(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, MgO, CaO, SO<sub>3</sub>) 2.5%를 함유하고 있다. 박테리아가 성장하고 자신을 유지하기 위해서는 탄소, 질소, 인, 황과 같은 필수 영양소와 단백질, 핵산, 그리고 세포의 다른 구조적인 부분을 합성하기 위한 원소가 필요하기 때문에(Alcarno, 1997; Alexander, 1971; Davies *et al.*, 1998; Madigan *et al.*, 1997) 본 실험에서 유입폐수는 표 2-8과 같이 미생물 성장에 알맞게 합성폐수를 만들어서 사용하였다. 유기물원으로는 조성비 90.4%로 글루코오스(C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>), Sodium glutamate (C<sub>5</sub>H<sub>8</sub>O<sub>4</sub>NNa · H<sub>2</sub>O), Ammonium acetate(CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub>)를 사용하였고, 무기물원으로는 조성비 9.6%로 박테리아 성장에 알맞게 사용하였다.



- ①, ② sampling hole      ③ rest net of woodchip      ④ effluent tap
- ⑤ tap of strength site      ⑥ net rest      ⑦ water-jacket inlet
- ⑧ water-jacket outlet      ⑨ trickling filter      ⑩ tap for oxygen supply

Fig. 2-3. Schematic diagram & photograph of laboratory trickling filter unit.

Table 2-8. Composition of the synthetic wastewater

Compound	Q'ty in 10 ℓ distilled water	Compound ratio(%) in 10 ℓ distilled water
Glucose	8.08g	65.70%
Sodium glutamate	1.32g	10.73%
CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub>	1.72g	13.99%
MnSO <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O	0.05g	0.41%
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	0.16g	1.30%
NaCl	0.12g	0.98%
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.44g	3.58%
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.3g	2.44%
CaCl <sub>2</sub>	0.1g	0.81%
FeCl <sub>3</sub> · 6H <sub>2</sub> O	0.008g	0.06%

### 3. 현장 pilot 시스템의 실험장치와 운전조건

#### 가. 살수여상의 설계

살수여상의 설계는 살수여상의 생물막에서 유기물제거와 함께 탈리 현상 등 여러 요인이 복합적으로 고려한 수리적 모형을 만들기 어렵기 때문에 대부분 경험식을 활용하고 있다. 살수여상 설계 경험식에는 National Research Council(NRC)식, Velz식, Schulze식, Germain식, Eckenfelder식 및 Galler & Gotaas식 등이 있으나, 본 연구에서는 자갈 여재를 사용한 NRC 공식을 이용하여 목편칩 살수여상조에 적용하였다.

즉, 오폐수 유입량을 30m<sup>3</sup>/day, 유입폐수의 기질 농도를 BOD 200mg/ℓ, 여상에서의 기질 제거율 90%, 재순환 없음을 고려하여 식(2-3)에서 57.9m<sup>3</sup>의 여상용적이 필요하나, NRC 공식의 기준인 돌 여재 대신에 사용하는 목편칩 여재의 비표면적이 3배 이상인 점을 감안하면, 필요면적이 19.3m<sup>3</sup>로서, NRC 기준에 적합하게 제 1 목편칩 살수여상조의 여상용적이 22.2m<sup>3</sup>이고, 제 2 목편칩 살수여상조의 여상용적이 21.3m<sup>3</sup>으로 사각형 형태(육면체)로 설계하였다.

## 나. 목편칩 살수여상 반응조 설계 요인 분석

### 1) 유기물 제거

살수여상의 효율에 영향을 미치는 인자는 여상 깊이와 구조, 기질의 특성, 여재의 비표면적, 수리학적 표면부하 및 온도이므로, 살수여상을 설계할 때 수리학적 부하량, 유기물부하량, BOD 표면부하량 및 살수부하량은 유기물 제거효율에 고려되어야 할 중요한 설계인자들이다. 수리학적 부하 증가는 수층(water layer)의 두께를 증가시키고, 액체의 역류 체류시간이 늘어나 생물 분해가 활발한 습윤표면적을 증가시키며, 높은 전단력이 잉여 바이오생매스의 탈리를 증가시켜 막힘 잠재력을 감소시키기 때문이다. 또한, BOD 표면부하와 유기물 부하는 기질 플럭을 형성하기 때문에 경제적인 면에서 중요하다(Rittmann, *et al.*, 2001; Schulze, 1960). 일반적으로 유기물 부하량에 의한 영향은 유출수의 수질로 볼 때 아주 가변적인 것으로 알려져 있다(Särner, 1980; Yun, 1988). 살수여상은 온도 영향이 크다고 알려져 있으나 Banks *et al.*(1979) 및 U.S. EPA(1971)에 의하면 경우에 따라 적절한 설계 및 운전에 의하여 온도의 영향은 거의 무시할 만하다고도 보고되고 있다. 특히 Särner(1980)에 의하면 Sweden 같은 추운 지방에서도 별 문제없이 살수여상 공정을 적용시키고 있다고 한다.

부하량은 유입오염수의 BOD를 고려하여 표 2-9를 표준으로 하였다.

Table 2-9. Trickle loading by influent BOD

Influent BOD (mg/ℓ)	Organic loading (kg BOD/m <sup>3</sup> · d)	BOD Surface loading (kg BOD/1,000m <sup>2</sup> · d)	Hydraulic loading (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> · d)	Trickling loading (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> · d)
120	0.2	1.1	3.5	2.7
150	0.3	1.3	3.5	2.7
200	0.3	1.8	3.5	2.7

부하가 너무 높거나 낮으면 산소전달 또는 생물막 탈리, 미생물 성장 억제, 액체의 역류 체류시간의 감소, 표면적의 감소 등 공정 성능 향상의 실제적 제한요소 때문에 비경제적이므로, BOD부하는 0.1~0.5kg/m<sup>3</sup> · d를 넘지 않도록 하였으며, BOD 표면부하는 0.5~4.5kg BOD/1,000m<sup>2</sup> · d, 수리학적부하는 1.5~4.5m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> · d, 살수부하는 1.0~3.5m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> · d 범위 내에서 설계하였다. 또한, (2-12)식과 (2-13)식을 이용하여 계산한 결과 살수기간 58min/day, 휴

지시간 1,390min/day이므로, 25sec 동안은 살수하고 10min 동안 휴지하도록 하였으며, 유입하수량이 살수직후의 유출량보다 클 때에는 살수가 계속되고 유입하수량이 적은 경우에는 중지되도록 설계하였다(표 2-11).

## 2) 암모니아 제거

최근에 살수여상 공정은 암모니아성 질소에 대해 보다 엄격한 유출수질을 얻기 위해 적용되며, 폐수중의 암모니아를 질산화하는데 살수 여상의 효율은 수리학적 부하, 온도, pH, BOD농도에 영향을 받고(Sampayo, 1973), 플라스틱 여재 여상을 낮은 BOD를 가진 폐수에 적용할 때 일정하고 높은 수준의 질산화를 달성할 수 있다. 여상 부하 15~30mg/ℓ BOD<sub>5</sub>와 10~20mg/ℓ NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N에서 대략 90%의 질산화율을 얻을 수 있고, 일반적으로 암모니아 제거와 유기물질 제거에 같은 변수가 영향을 주기 때문에 설계계수를 결정하는데 비슷한 접근법을 이용할 수 있다(Adams, *et al.*, 1970).

본 연구에서는 유입 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 농도를 10~100mg/ℓ 로 보고, 암모니아 용적부하량은 0.02~0.2kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/m<sup>3</sup> · d로 하였다. 암모니아 표면부하량은 0.1~0.9kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/1,000 m<sup>2</sup> · d로 하였다(표 2-11).

## 다. 기본 현장 연구 시스템 설계

### 1) 살수여상의 일반 설계

본 현장 연구시스템의 일반적 처리공정도는 그림 2-4와 같다. 1차 시험의 기본 시스템은 재순환 및 폭기 처리 없이 수행하였다.

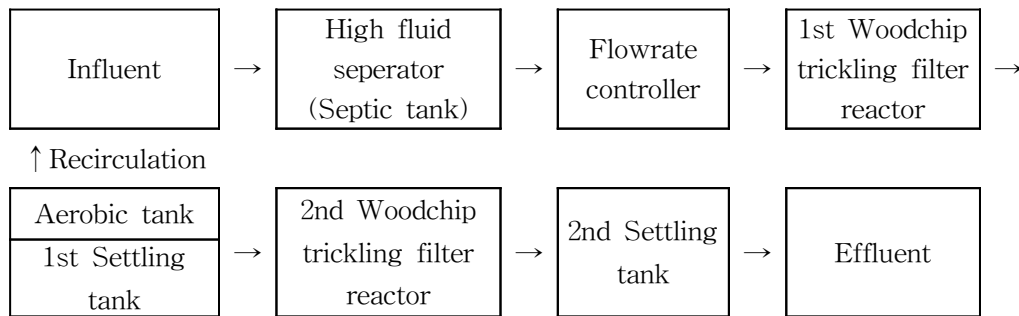
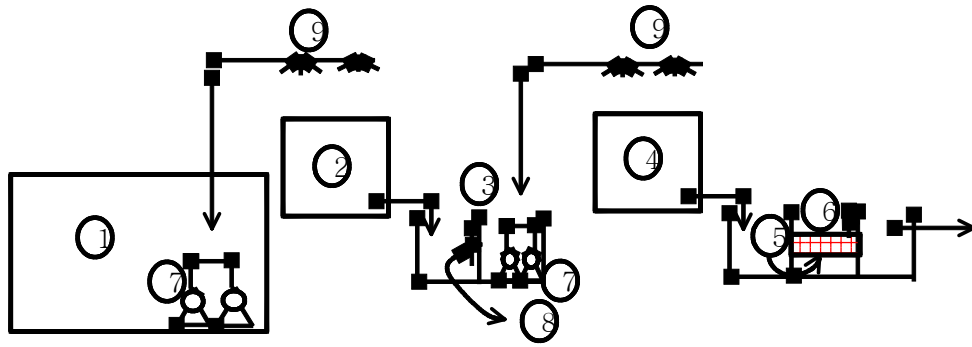


Fig. 2-4. Schematic flow diagram of pilot plant processes for sewage.



- ① 저장조
- ② 1차 살수여상조
- ③ 1차 집수정
- ④ 2차 살수여상조
- ⑤ 폭기조/2차 집수정
- ⑥ 모래여과조
- ⑦ 살수펌프
- ⑧ T - 배관

Fig. 12-5. 살수여상노플랜트의 개략도

Fig 2-5. Schematic diagram of Pilot plant

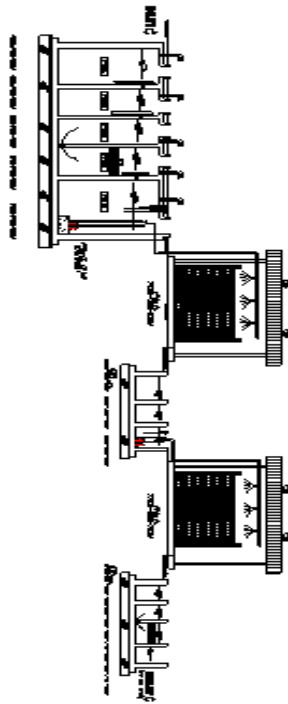


Fig. 2-6. Flow-Sheet of wood chip trickling system

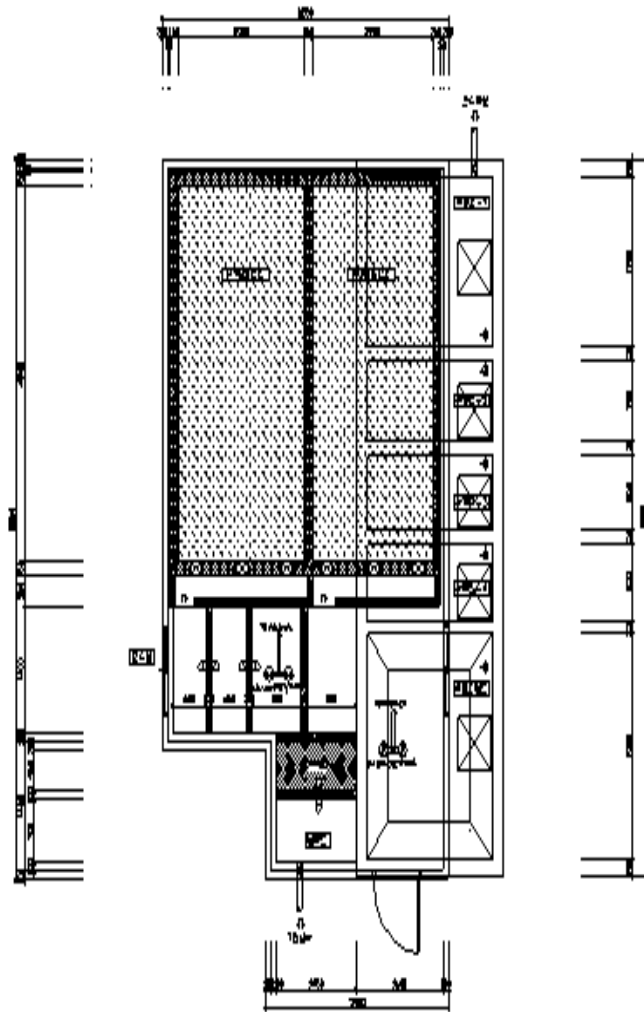


Fig. 2-7. Lay-Out of wood chip trickling system

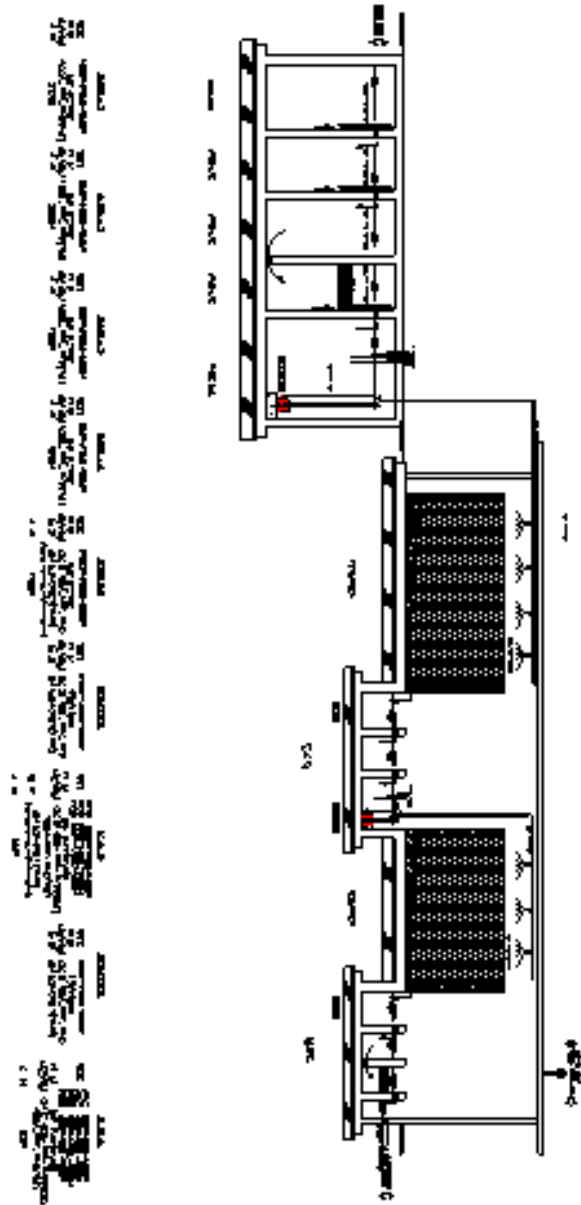


Fig. 2-8. P&ID of wood chip trickling system



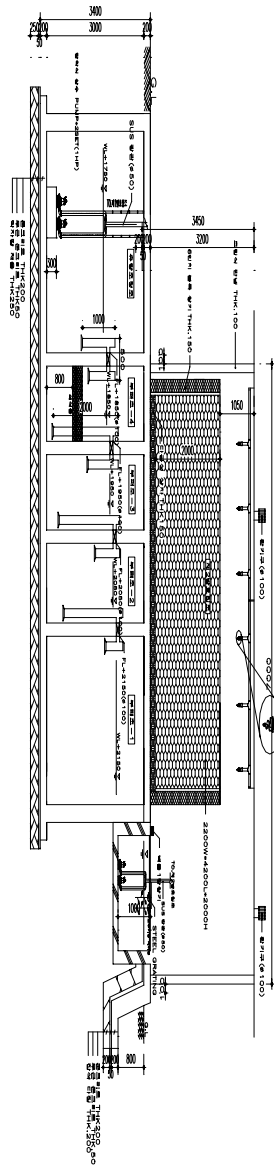


Fig. 2-9. 기타 주요설비 Section 도면 설계도

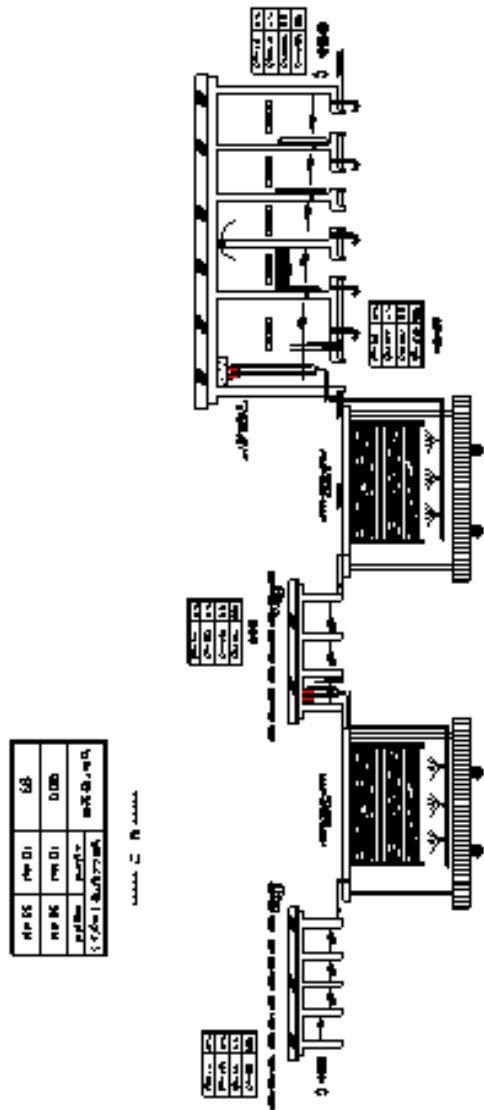


Fig. 2-10. 목편 살수여상 처리기술의 공정별 물질수지



Fig. 2-11. 살수장치



Fig 2-12. 목편칩을 이용한 오수처리 Pilot plant 시설

발생원에서 유입된 오수는 고액분리조(혐기성부패조)에서 고액분리가 된 다음 유량조정조로 유입된다. 고액분리조(혐기성부패조)에서 침전된 슬러지는 혐기성 분해과정을 거치면서 감량화된다. 혐기성부패조는 무산소조이다. 유량조정조는 발생오수가 발생시간에 따라 혹은 계절에 따라 수질 및 유량이 변동되므로 이를 균등화하기 위해 설치된다. 제 1, 2목편칩 살수여상조는 오수중에 함유된 유기성 오염물질을 제거하기 위한 주된 처리시설이다. 목편칩 여재를 충전한 반응기 상부에 있는 노즐을 통하여 오·폐수를 간헐적으로 살수하여 자연유하로 여재층을 통과하면서 여재층에 형성된 임의성(여재표면: 호기성, 여재심층: 혐기성)미생물들에 의해 산화 분해되는 살수여상식 생물막법 오수처리 시스템이다.

각 공정의 설계는 다음과 같이 하였다.

#### 가) 고액분리조(혐기성부패조)

침처리 방법으로 유지관리가 가장 간단하며, 기존의 정화조를 활용할 수 있는 혐기성부패조를 사용하여 유입되는 협잡물 및 부유물질을 침전 분리시키기 위해 오수처리시설 기준인 부패탱크공법의 부패실 용량 산출방법을 준용하여 처리대상인원을 기준으로 하여 계산하였다. 처리대상인원 최대 300명을 기준으로 필요용량은 31m<sup>3</sup>으로, 4단 침전 분리 및 쇄석을 이용한 여과조를 유효용량 34.1m<sup>3</sup>으로 설계하였다.

#### 나) 유량조정조

인입 수량 변동에 대처하고 완충작용을 하기 위하여 유량조정조는 오수의 배출시간에 따라 (2-14)식을 사용하여 필요한 용량을 산출하였다.

일일오수발생량 30m<sup>3</sup>/day, 오수배출시간이 10hr, K가 1.5일 때 필요용량은 11.3m<sup>3</sup>이다.

#### 다) 목편칩 살수여상조

본 현장 연구시스템은 기존 살수여상공법을 응용한 시설로서, 여상조의 설계는 표준살수여상법의 설계기준을 준용하여 사용하였다.

살수여상법의 설계 항목은 표 2-10과 같으며, 설계항목에 따라 현장 연구시스템의

설계 기준을 설정하여 최종 설계를 표 2-11과 같이 하였다.

Table 2-10. Design item of trickling filter (Metcalf & Eddy, 1979)

Item	Woodchip trickling filter	Standard trickling filter	Intermediate trickling filter	High rate trickling filter
Organic loading (kg BOD/m <sup>3</sup> · d)	0.1 ~ 0.5	0.08 ~ 0.32	0.24 ~ 0.48	0.32 ~ 1.0
BOD Surface loading (kg BOD/1,000m <sup>2</sup> · d)	0.5 ~ 4.5	-	-	-
Hydraulic loading (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> · d)	1.5 ~ 4.5	1 ~ 4	4 ~ 10	10 ~ 40
Nitrogen loading (kg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/m <sup>3</sup> · d)	0.02 ~ 0.2	-	-	-
Nitrogen surface loading (kg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/1,000m <sup>2</sup> · d)	0.1 ~ 0.9	-	-	-
Filter depth(m)	1.5 ~ 2.5	1.5 ~ 3.0	1.25 ~ 2.5	1.0 ~ 2.0
Trickling form	intermit	intermit	intermit	continue
Recirculation ratio	0.5 ~ 3.0	0	0	0.5 ~ 3.0

Table 2-11. Pilot plant design

Parameters	Standard design	Design
Organic loading (kgBOD/m <sup>3</sup> · d)	0.1 ~ 0.5	0.3
BOD Surface loading (kgBOD/1,000m <sup>2</sup> · d)	0.5 ~ 4.5	2.8
Hydraulic loading (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> · d)	1.5 ~ 4.5	3.5
Nitrogen loading (kgNH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/m <sup>3</sup> · d)	0.02 ~ 0.2	0.1
Nitrogen surface loading (kgNH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/1,000m <sup>2</sup> · d)	0.1 ~ 0.9	0.6
Filter depth	1.5 ~ 2.5m	2.0m
Trickling form	intermit	trickling time : 25sec, pause time : 10min
Air supply	Natural circulation	Natural circulation
recirculation ratio	0.5 ~ 3.0	0.5 ~ 3.0

심한 유입량 변동에 대응하고 지속적인 생물학적 처리 기능을 유지하기 위하여, 처리수의 반송 Line을 설계하였다.

농촌지역 오수 및 폐수처리에 적합하도록 본 목편칩 살수여상공법은 미생물량을 조절하지 않으며, 복잡한 기계나 설비 및 폭기용 에너지가 필요 없으므로 고도의 운전기술이 필요하지 않아 유지관리비가 적게 들며, 생물막법의 구조적 강점으로 인한 충격부하나 부하변동, 유해물질에 대해 내성이 크며, 휴지기간에 적응력이 크도록 설계하였다.

#### 라) 폭기조 및 재순환

1차년도의 기본 설계시스템에 대한 연구는 폭기조 없이 연구되었으나, 질소 처리 효율을 증대시키기 위한 고도처리시험에서는 1차 목편 살수여상 처리 후 폭기조를 설치하고 폭기 후 혐기성조 재순환 시설을 설치하여 시험을 실시하였다.

#### 마) 침전조

침전조는 혐기성조로 2실로 설계하였으며, 부유물질의 이동을 막기 위하여 벽체에는 T배관을 설계하였다. 2실에 펌프를 설치하여 제 2 목편칩 살수여상조로 오수가 살수되도록 하였으며, 2실에 수위조절용 센서로 펌프와 연동되도록 설계하였다. 수위조절용 센서는 저수위와 고수위를 감지하여 1차 처리수가 고수위까지 집수되면 펌프가 동작하여 수위가 저수위에 이르면 펌프가 정지하도록 설계하였다.

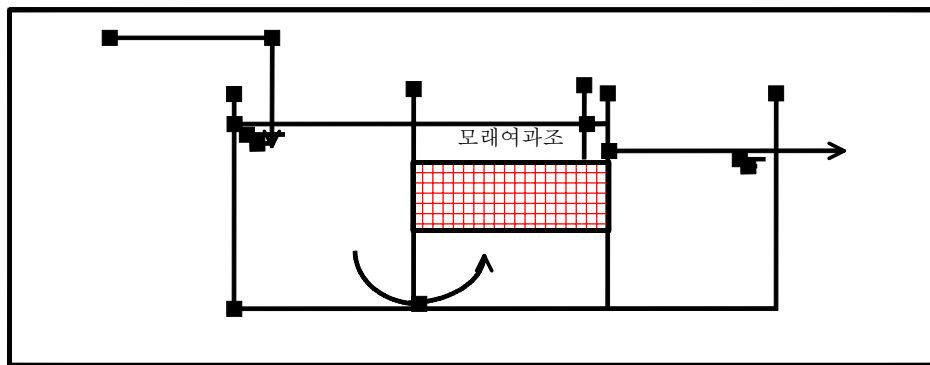


Fig. 2-13. 모래 여과조 및 방류조

## 바) 방류조

방류조는 3실로 구획하였으며, 2실에는 모래여과층(sand filter)을 설계하였다. 모래여과는 상향류 형태로 이루어지도록 하였고, 처리수는 자연유하 형태로 흐르도록 설계하였다.

## 라. 현장 연구 실험장치와 운전조건

상기와 같은 연구를 통하여 도출된 결과를 이용하여 일일 처리용량 30톤 규모의 생활오수처리시설을 설계하여 설치하였다. 강원도 원주시 농촌마을 하수도 정화조를 살수여상 실증 플랜트 용도를 위한 연구시설로 하였다. 혐기성부패조와 목편칩 살수여상조는 조립식 건물내에 설치하였다. 사용된 조립식 자재는 두께 100mm 일반 건축용 자재를 사용하였으며, 목편칩 살수여상조는 6인치 블럭을 조적하여 제작하였다. 조내부는 보온을 위하여 30mm 스티로폼을 설치하였고 비닐을 이용하여 스티로폼과 물과의 접촉을 차단하였으며, 목편칩의 충전 높이는 2m로 하였다.

목편칩 살수여상조는 2개조로 구분, 2단 처리하도록 설치하였으며, 살수기는 살수여상조에서 20cm이상 이격하여 살수과정에서 오수와 산소와의 접촉이 원활하도록 하였으며, 나선형 노즐(spiral nozzle)을 이용하여 여재 표면에 골고루 살수되도록 하였다. 제 1 목편칩 살수여상조에서 처리된 오수는 침점조를 설치하여 침전되도록 하였다. 침전조에 침전된 오수는 살수펌프에 의해 제 2 목편칩 살수여상조에 살수되어 최종적으로 처리되도록 하였다. 살수는 Timer를 이용하여 살수기는 25초, 휴지기는 10분 간격으로 간헐 살수되도록 하였으며, 적정 운전 조건을 도출하기 위해 살수주기를 변화할 수 있도록 하였다(그림 2-14, 그림 2-15). 또한 재순환에 따른 처리 효율을 알아보기 위하여 제 1 목편칩 살수여상조의 처리수를 다시 제 4 혐기성 부패조로 반송시키는 장치를 설치하였다.

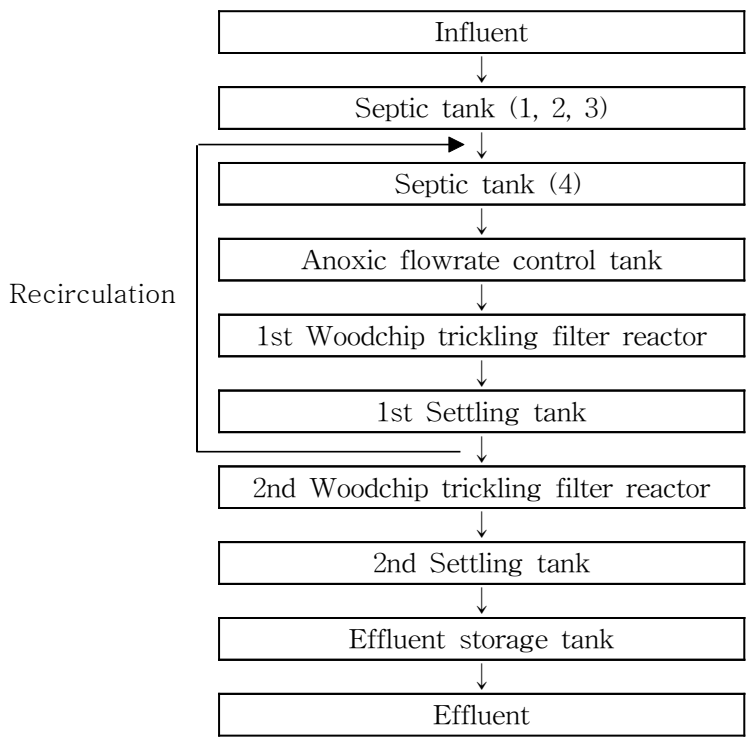


Fig. 2-14. Schematic flow diagram of pilot plant treatment process.

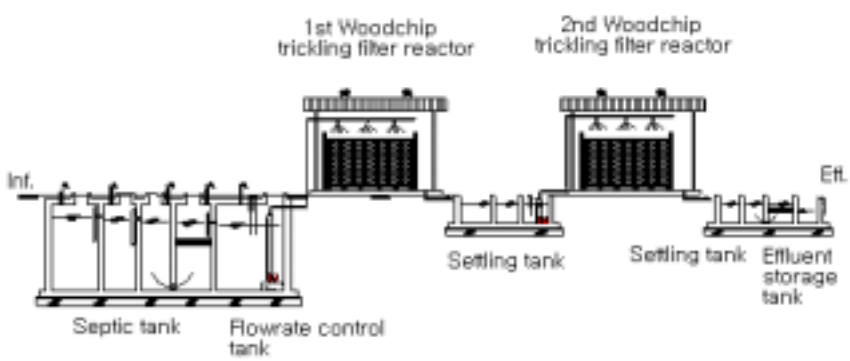


Fig. 2-15. Flow-sheet of woodchip trickling filter system.



연구기간 중 처리효율 및 성능을 유지하기 위한 운전조건은 표 2-12와 같다.

Table 2-12. Operating condition of pilot plant

Operating parameters	Unit	Operating condition
Flow rate	m <sup>3</sup> /day	30
Influent BOD concentration.	mg/ℓ	180.8
Influent SS concentration.	mg/ℓ	137.8
Influent NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N concentration.	mg/ℓ	65.8
Volume of trickling filter	m <sup>3</sup>	43.5
Volume of woodchip trickling filter	m <sup>3</sup>	37.8
Organic loading	kg BOD/m <sup>3</sup> · d	0.3
BOD surface loading	kg BOD/1,000m <sup>2</sup> · d	2.8
Hydraulic loading	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> · d	3.5
Nitrogen volumetric loading	kg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/m <sup>3</sup> · d	0.1
Nitrogen surface loading	kg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/1,000m <sup>2</sup> · d	0.6
Trickle loading	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> · d	2.7
Trickling time	min/d	58
Air supply	-	none
Recirculation	%	none
Water temperature in winter	°C	8~12

목편칩 살수여상 반응기의 운전조건은 유입수량이 1일 30톤이며, 유입 BOD, SS, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 농도는 각각 180.8mg/ℓ, 137.8mg/ℓ, 65.8mg/ℓ 으로 하였으며, 살수여상조 용량과 충전량은 각각 43.5m<sup>3</sup>, 37.8m<sup>3</sup>으로 하였다. 또한, 목편칩 살수여상 반응조의 유기물 부하량과 수리학적 부하량은 각각 0.3 kg BOD/m<sup>3</sup> · d, 3.5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> · d로서 Metcalf & Eddy와 WPCF의 기준에 의하면 유기물 부하량은 중속 살수여상, 수리학적 부하량은

저속 살수여상의 운전범위에 있는 시스템이다. 공기는 자연 대류에 의해 통기되도록 하였으며, 동절기 수온은 8~12℃에서 운전이 가능하도록 운전조건을 설정하였다. 이러한 운전조건을 가지고 여상 기능을 정상적으로 유지해 나갈 수 있도록 하였으며, 온도, 영양물질 유입수 농도, 잠재적 방해 물질 등과 같은 환경적 인자의 영향을 최적화할 수 있도록 하여 농촌지역의 생활오수의 처리효율을 높일 수 있도록 하였다.

그러나 살수여상의 경우 경험식에 의하여 분류하기 때문에 분류 또는 설계시에 실험을 거쳐 설계되어야 할 것으로 연구되어 있다(Scarpelli, 1984; Ellis, 1977). 또한, 실제로 유기물 표면부하를 최대 2~6kg BOD/1,000 m<sup>2</sup> · d 정도로 유지하면 중속영양균에 의한 경쟁을 조절할 수 있고, 용액의 DO 농도가 충분히 유지되고 여재의 막힘, 단락류, 미생물 탈리, 지나친 중속영양균의 성장을 막기 위한 과도한 역세척의 필요성이 없어지며, 이 같은 유기물 부하 설계 기준을 이용하면 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N에 대한 표면부하 기준을 증가시켜도 질산화는 안정적으로 일어난다고 한다(Rittimann *et al.*, 2001).

본 연구의 운전조건이 BOD 표면부하 2.8kg BOD/1,000m<sup>2</sup> · d로서 이 조건을 만족할 수 있으므로, DO 농도가 충분히 유지되고 역세척은 필요 없으리라 판단된다.

#### 4. 현장 pilot 연구 시스템 실험재료

본 연구는 강원도 원주시 외곽에 위치한 농촌지역의 생활오수를 실험대상으로 실시하였다. 이 지역은 원주 인근의 전형적인 농촌지역으로서 생활오수 및 축산폐수 등 오수가 정화과정이 없이 하천으로 유입되어 농업용수 및 생활용수 등의 수자원을 오염시키며, 특히 원주 시민의 식수원인 섬강을 오염시키고 있다. 최근 방류수 수질 강화로 인하여 그대로 방류할 경우 강화된 수질기준에 맞도록 처리하기 어려운 실정이며, 최종정화 방류수를 농업용수로 재활용할 수도 없다.

##### 가. 유입오수의 특성

계절별 유입오수의 특성은 표 2-13에 나타내었다.

Table 2-13. Seasonal characteristics of influent

Items(unit)	Range (min~max)	Spring	Summer	Autumn	Winter	Avg.
PH	7.2~8.1	7.6	7.6	7.5	7.3	7.5
Temp.(°C)	10.7~23.5	15.6	22.0	17.9	13.3	17.2
BOD(mg/ℓ)	41.5~262.5	73.9	85.6	112.3	155.7	106.9
COD(mg/ℓ)	88.9~515.0	171.5	176.2	217.2	341.2	226.5
SS(mg/ℓ)	20~140	66.8	36.2	31.0	104.2	59.6
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N(mg/ℓ)	15.0~63.3	26.2	50.8	36.6	20.1	34.4
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N(mg/ℓ)	0~0.4	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N(mg/ℓ)	0~4	0.9	1.5	0.04	3.2	1.4
T-N(mg/ℓ)	19.9~72.6	34.6	56.4	41.1	27.1	39.8
T-P(mg/ℓ)	1.8~4.0	2.6	2.8	2.3	2.4	2.5

유입수 pH의 경우, 7.2~8.1의 범위로서 미생물이 증식과 대사 반응에는 큰 영향이 없으며, 연간 오수의 pH는 큰 변화가 없다.

유입수의 온도는 10.7~23.5°C의 범위를 나타내어 미생물이 생육 가능한 온도를 나타냈으며, 여름철이 22.0°C로서 최고치를 나타내었고, 겨울철이 13.3°C로서 최저치를 나타내어, 겨울철에도 미생물의 생육이 가능하다는 것을 알 수 있다.

일반적으로 연간 오수의 BOD 농도의 범위는 41.5~262.5mg/ℓ 정도이며, 봄철에는 BOD 농도가 73.9mg/ℓ로 최저치를 나타내었고, 겨울철에는 155.7mg/ℓ로 최고치를 나타내고 있으며, 연평균 BOD값은 106.9mg/ℓ 이었다. 일반적으로 용수 사용량에 의하여 오염물질의 농도가 변화하므로 용수 사용량이 적은 겨울철에는 BOD의 농도가 비교적 높게 나타나고 있는 반면, 봄철과 여름철에는 용수사용량이 증가하여 오수가 희석되어서 BOD의 농도가 낮게 나타나고 있다.

COD의 경우, 연간 오수의 농도의 범위는 88.9~515.0mg/ℓ 정도이며, 계절별 농도 변화를 볼 때 용수사용량이 적은 겨울철에는 COD의 농도가 341.2mg/ℓ로 최고치를 나타내었고, 용수사용량이 많은 봄철과 여름철에 오수가 희석되어서 COD의 농도가 각각

171.5mg/l, 176.2mg/l로 최저치를 나타내고 있으며, 연평균 COD값은 226.5mg/l이었다.

SS의 경우 여름철과 가을철에 낮은 농도를 나타냈으나, 겨울철에는 104.2mg/l로 최고치를 나타내고 있다.

NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N의 경우, 연간 오수의 농도 범위는 15.0~63.3mg/l로, 계절별 농도변화는 여름철이 50.8mg/l로 최고치를 나타내었고, 겨울철이 20.1mg/l로 최저치를 나타내었다. 이것은 여름철에 수세식 정화 오수, 목욕 및 세탁 증가에 따른 생활오수와 퇴비와 비료의 사용에 따른 비점오염원이 유입되어 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N의 함량이 월등히 높아지게 된 것으로 판단된다. NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N의 경우, 연간 오수의 농도 범위는 0~0.4mg/l이며, 사계절 큰 변화는 없었다. NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N의 경우, 연간 오수의 농도 범위는 0~4.0mg/l이며, 계절별 농도변화를 볼 때, 겨울철이 3.2mg/l로 최고치를 나타내었고, 가을철이 0.04mg/l로 최저치를 나타내었다.

T-N의 경우, 연간 오수의 T-N의 농도 범위는 19.9~72.6mg/l로, 계절별 농도 변화는 여름철이 56.4mg/l로 최고치를 나타내었고, 겨울철이 27.1mg/l로 최저치를 나타내었다.

T-P의 경우, 연간 오수의 농도 범위는 1.8~4.0mg/l로 계절별 농도 변화를 볼 때, 여름철이 2.8mg/l 최고치를 나타내었고, 가을철이 2.3mg/l 최저치를 나타내었다. 이것은 여름철에 인을 함유한 합성세제를 사용하는 횟수가 많아지고, 비료의 사용에 의한 인의 함량이 월등히 높아진 것으로 판단된다.

생물학적으로 질소 및 인을 처리하는 시스템에서 질소를 효율적으로 제거하기 위해서 유입수내의 COD<sub>cr</sub>/T-N 비율이 5이상, BOD<sub>5</sub>/T-N비가 3이상 존재하여야 하는 것으로 알려져 있다(McCarty *et al.*, 1969; U.S. EPA, 1992). 표 2-13을 이용한, 생활오수 유입수의 COD<sub>cr</sub>/T-N 비율은 3.1~12.6으로, 질소에 비하여 유기물이 많이 존재하고 있는 것으로 나타났다. 또한, 유입수의 BOD<sub>5</sub>/T-N의 비율은 1.5~5.7로 겨울철에는 질소화를 위한 조건을 갖추었으나, 여름철에는 유입수의 유기물 농도가 낮은 생활오수라고 볼 수 있다. 그리고 유입수의 BOD<sub>5</sub>/T-P는 29~64, COD<sub>cr</sub>/T-P는 63~141의 범위를 나타내어 생물학적 처리로 처리수내의 T-P농도를 1mg/l 이하로 유지하기 위한 BOD/T-P 비 20~25와 비교하면 (Henze, 1996), 인제거에 필요한 BOD 함량은 높은 것으로 판단되었다. BOD<sub>5</sub>/T-N, COD<sub>cr</sub>/T-N 비를 보면 겨울철에 최대치, 여름철에 최소치를 나타내고 있음을 알 수 있었다.

ORP의 경우 -204.3~-79.2(평균 -138.4)mV로 나타났다.

#### 나. 질소/인 처리 보안을 위한 처리 공정 변경 시험

본 실험장치는 질소/인의 처리효율을 높이기 위하여 공정을 일부 qhh안하여 시험을 실시하였다. 1차 목편 살수여상조 처리 후 폭기조를 설치하였으며, 폭기 후 제 4 혐기성조로 재순환시키는 공정으로 시험을 실시하였다. 그림 2-16과 같이 현장연구 pilot장치를 설치하여 생활오수를 처리하였다. 1일 처리용량은 30톤이며, 2단 살수여상조로 설계하였다.

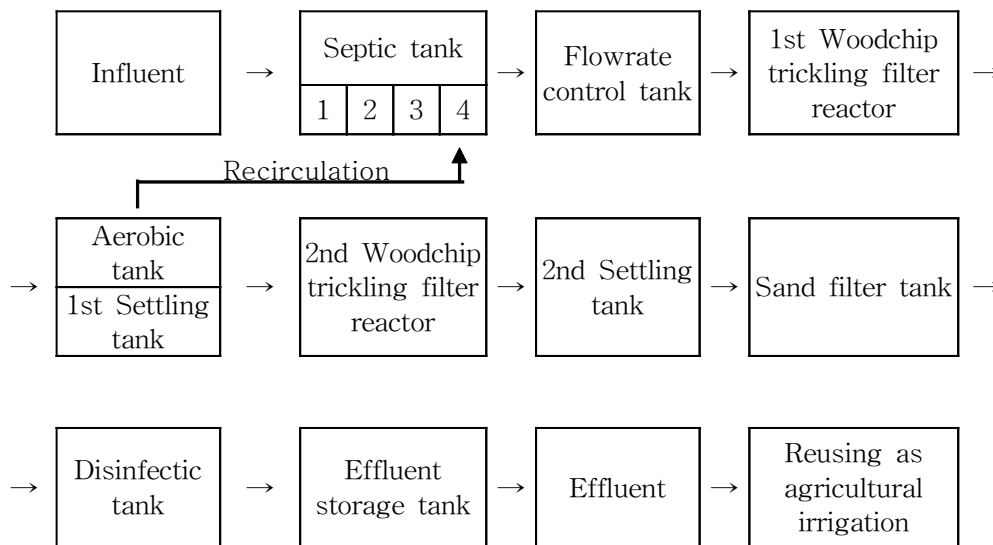


Fig. 2-16. Schematic flow diagram of sewage treatment process.

농촌 생활오수 처리는 먼저 발생원에서 유입된 오수는 혐기성부패조로 유입된다. 혐기성부패조에서 물리적 침전 및 혐기성 소화에 의해 고형물질을 제거하였다. 본 실험장치 특성상 조대성 입자인 고형물질이 제거되지 않은 상태에서 목편침조에 살수 될 경우 살수장치와 여상내 공극 등에 폐쇄 현상을 유발할 수 있기 때문이다. 유입된 고형물질 및 분은 침전실에서 제거되어 부패실에서 분해된다. 분해과정에서 발생하는 스크임 등은 스크임실에 저류되도록 하였다.

혐기성부패조에서 고액분리가 된 다음 유량조정조로 유입된다. 고액분리조(혐기성부패조)에서 침전된 슬러지는 혐기성 분해과정을 거치면서 감량화 된다. 또한, 제 2, 3, 4 혐기성부패조는 무산소조로서 유기물 부하 및 슬러지 발생량을 줄이며, 탈질화에 관여

한다. 유량조정조는 발생오수가 발생시간에 따라 혹은 계절에 따라 수질 및 유량이 변동되므로 이를 균등화하기 위해 설치하였으며, 탈질효율을 높이기 위하여 산소가 없는 상태로 운전된다. 제 1, 2 목편살수여상조는 오수중에 함유된 유기성 오염물질을 제거하기 위한 본 연구의 주된 처리시설로서, 오수를 2단처리가 가능하도록 하였다. 오수는 유량조정조를 거쳐 제 1 목편칩 살수여상조의 살수장치에 의해 살수되어 오수에 함유된 용존성 유기오염물질을 제거된다. 불규칙하게 충전된 목편칩 사이에는 미세한 공극이 형성되는 데 살수된 오수는 이 공극을 따라 이동된다. 하향류 방식의 오수는 끊임없이 목편칩에 부착 성장하는 생물막(biofilm)과 접촉하게 된다. 이 과정에서 오수중의 오염물질은 분해되어진다. 제 1 목편칩 살수여상조에서 미처리된 일부 유기 오염물질을 제거하기 위해 제 2 목편칩 살수여상조에서 처리하여 2차 처리된 오수를 최종적으로 방류하였다. 침전조는 목편칩 살수여상조에서 탈리된 미생물의 분리를 위해 설치하였다. 미세 부유물질을 제거하기 위해 모래여과조(sand filter)를 설치하였으며 방류조(out-let tank)를 통하여 자연유하 형태로 2차 처리된 오수를 최종적으로 방류되도록 하여 농업용수로서 활용되도록 하였다. 또한 재순환은 필요시에만 가동하도록 하였다.

## 5. 분석방법

수질분석은 현장의 처리시스템에서 공정별로 일정한 시간에 일정량의 시료를 채취하여 Standard methods에 따라 분석하였다. 측정항목은 pH, 수온, BOD<sub>5</sub>, COD<sub>cr</sub>, SS, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, T-N, T-P, PO<sub>4</sub><sup>-</sup>-P 등이었다. 측정항목들은 환경부 고시 제 99-208호 수질오염공정시험방법, Standard method(1995), Spectrophotometer를 이용하여 측정하였다.

분석항목과 분석방법은 표 2-14에 나타내었다.

Table 2-14. Analysis methods

Items	Analysis methods	Test method
pH	Direct measurement	
Temperature	Direct measurement	
BOD5	Winkler-Sodium azide method	
CODcr	Potassium dichromate method	
SS	Glass fibers filtering method	
$\text{NH}_4^+$ -N	Absorptiometric analysis (Indophenol method)	
$\text{NO}_2^-$ -N	Absorptiometric analysis (Diazonation method)	Standard method for the examination of water and wastewater in Korea (2000. 1. 5 Bulletin 99-208)
$\text{NO}_3^-$ -N	Absorptiometric Analysis (Brusin method)	
T-N	Ultraviolet absorptiometric analysis (Koroleff's method)	
T-P	Absorptiometric analysis (Deoxidation method of Ascobic acid)	
$\text{PO}_4^{--}$ -P	Absorptiometric analysis (Deoxidation method Tin(II) chloride)	

## 제4절 결과 및 고찰

### 1. 목편칩 여재의 특성

#### 가. 목편칩 여재의 물리·화학적 특성

기존 살수여상법 정화기술에서는 오·폐수 처리를 위한 여재로 쇄석, 플라스틱 등과 같은 여재를 사용하였으나 본 공법에서는 국내에 자생하고 있는 침엽수(미송, 적송, 삼나무)의 목편을 일정한 크기로 가공하여 여재로 활용함으로써 미생물이 서식할 수 있는 최적의 환경을 조성함으로써 오수 처리효율을 극대화하였다.

가도관을 횡단면에서 관찰하여 보면 그림 2-17의 전자현미경(JEOL JSM6400, 20kV, Gold Coating) SEM 사진과 같이 목편칩 여재의 표면에 4각형, 5각형, 6각형, 다각형 및 원형 등의 소공극들을 많이 가지고 있는 것을 볼 수 있으며, 이것들은 그 모양이 일정하지 않을 뿐만 아니라 다종 다양하지만 일반적으로 방사방향으로 규칙적인 배열을 이루고 있다. 또한, 소공극의 크기는 가로 150~650 $\mu\text{m}$ , 세로 75~200 $\mu\text{m}$ 로서 다양한 크기의 소공극이 있어 오수 정화시 미생물의 서식장소와 살수여상장치에서 오수의 점적 이동 통로가 된다. 따라서 목편칩 여재는 인공 여재와 상이한 천연 여재가 갖고 있는 장점이다. 이러한 장점 때문에 여재는 목편칩 표면뿐만 아니라 여재 내부까지 오염물의 정화기능을 갖고 있다. 따라서 목편칩에 부착하여 성장하는 미생물의 대사작용과 목편칩의 생흡착(biosorption)작용 등에 의해 유기물과 질소·인 등의 유기성 오염물질의 처리가 우수할 것으로 판단된다.

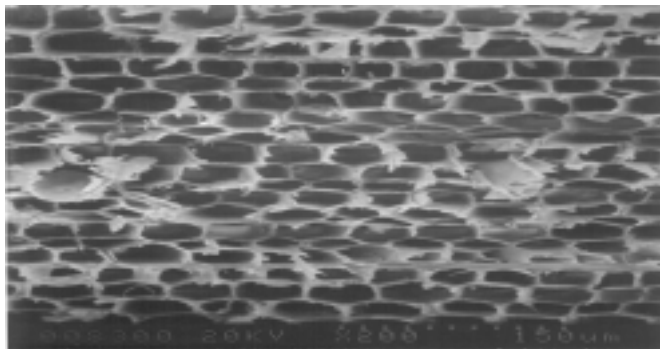


Fig. 2-17. SEM-photograph of woodchip surface.



목편칩 여재의 여러 가지 물리적 성질을 측정하여 보면 여재의 모양과 크기, 여재의 선별 등에 따라 약간의 차이를 가지게 하고 있으나 실험결과 표 2-15, 2-16과 같은 특성을 나타내고 있다. 목편칩 여재의 물리·화학적 특성을 보면 비표면적은 120~240m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>으로 타 여재에 비해 높은 편이며, 공극율은 75~80%이었다. 또한, 함수율은 20.2%, 수분 흡수율은 96%로 톱밥보다는 낮았으나, 톱밥을 본 실험에 사용시 슬러지 발생과 여상내 막힘 현상을 고려하여 목편칩을 사용하는 것이 타당하다고 판단하였다. 목편칩 내의 수분과 산소는 상호 반비례적인 함수관계를 형성하는데, 공극 내에 수분의 함량이 증가하게 되면 산소의 저장 공간이 감소하게 되어 실질적으로 산소 함유량이 감소한다. 따라서 수분함량이 지나치게 증가하거나 감소할 경우 부후균의 생육환경은 악화되며, 목편의 부후는 일어나지 않는다고 한다(Powell *et al.*, 2000; Dian-Qing Yang *et al.*, 1999; Rubin Shmulsky *et al.*, 1999). 그러므로 여상내에 있는 목편칩에 수분과다가 일어날 경우 부후균이 자랄 수 없으므로 목편칩은 썩지 않으므로 반영구적으로 사용 가능하다.

살수여상법에서 충전물질로 사용하는 목편칩 여재의 평균 열전도도는 0.07kcal/m · h · °C로서 열을 잘 전달하지 않는 물질로서 보온 또는 단열성이 우수하기 때문에 살수여상법에서 겨울철에 미생물의 활동이 저하되어 처리 효율이 낮고 살수된 폐수가 동결될 가능성이 있다는 단점을 보완할 수 있으리라 판단된다.

Table 2-15. Physical characteristics of woodchip media

Items	Measurement value	Items	Measurement value
Specific surface area* (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	120~240	Thermal conductivity (kcal/m · h · °C)	0.01~0.1
True specific gravity* (g/cm <sup>3</sup> )	1.38~1.74	Compressive strength (kg/cm <sup>2</sup> )	520~630
Apparent specific gravity* (g/cm <sup>3</sup> )	0.48~0.52	Average size (cm)	3.5×3×0.45
Porosity* (%)	75~80	Forms	parallelogram/oblong

\* Characteristics after maintenance 24 hour in packing

Table 2-16. Characteristic comparisons of woodchip

Items	Moisture content (%)	Water absorption rate* (%)	Bulk mass (g/ℓ)	Ash (%)	Electrical conductivity** (m mho/cm)	pH**
Sawdust	27.1	265	185	0.48	56.1	6.3
Woodchip	20.2	96	240	0.29	57.1	6.1
Bark	24.1	61	56	3.12	6.1	5.7

\* Water absorptance rate : Weight measurement after 24 hour in letting and after 24 hour in dipping

\*\* pH and Electrical conductivity measured outlet-water

#### 나. 목편칩의 크기

본 연구에서 다양한 목편 종류를 검토한 결과 정화용 여재로서 활엽수보다 침엽수가 적합하였으며, 침엽수 중에서 삼나무, 소나무가 목편칩 여재로서 우수하였다. 소나무는 우리나라 대표 수종이며 목재 자원이 풍부하므로 본 연구에서 정화용 여재는 침엽수중 소나무를 주로 사용하였다.

여재의 입경을 작게 할수록 비표면적이 증가하고 이에 비례하여 여과기 내에 보존 할 수 있는 미생물 막의 양이 증가하여 그만큼 처리효율을 높일 수 있다. 그러나 작으면 여과기의 막힘 현상(clogging)이 발생하여 처리효율의 저하를 초래할 수 있기 때문에 연구에 사용된 목편칩의 평균크기는 가로 3.5cm, 세로 3cm, 두께 0.45cm이며, 형태는 평행사변형이다. 그러나, 형태는 대부분 일정하나, 크기는 다소 상이하며 가로가 2.2~5.3cm, 세로는 2.4~4.8cm이며, 두께는 0.2~0.8cm로서 불규칙한 크기로 가공하여, 목편 표면의 거기를 크게 하여 미생물의 부착·성장을 원활하게 하였다. 그림 2-18은 목편칩 단면 모식도이고, 그림 2-19은 가공한 목편칩 사진이다.

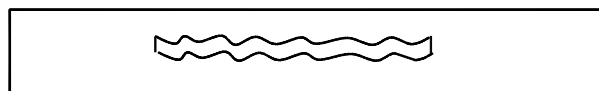


Fig. 2-18. Schematic diagram of woodchip surface.



Fig. 2-19. Photographic woodchip for sewage treatment.

## 2. Lab-scale 살수여상조 반응의 특성 분석

농촌지역의 생활환경개선과 상수원 수질오염방지의 필요성이 대두되고 있으나, 대도시 하수처리장에서 운전중인 활성슬러지 공법을 전문기술자가 부족한 농촌지역에서 그대로 사용하기에는 다소 무리가 있으므로, 농촌지역의 생활하수를 처리하는데는 비전문가도 운전이 가능하고 유지관리가 용이한 처리공정이어야 한다. 따라서 이러한 조건을 갖춘 우리나라에 거의 보급되지 않은 생분해 천연여재인 목편칩을 담체로 이용한 생물막공법인 살수여상법을 이용하였다.

일반적으로 오·폐수처리장치를 설계·가동하여 처리효율을 검증하는데는 많은 실험장치와 비용이 투자되며 시간이 많이 걸리는 문제점이 있다. 또한, 현실적으로 농촌지역에 유입되는 오·폐수의 유입수는 계절별, 시기별로 부하변동이 심하기 때문에 오·폐수처리장치의 효율에 영향을 미치는 인자들을 제어하여 실험적으로 증명하는데는 많은 어려움이 있다.

생분해 천연여재인 목편칩을 담체로 이용한 생물막공법인 살수여상법을 현장 실험에 적용하기 위한 기초연구로서 목편칩에서 용출되는 리그닌 분해에 의한 난분해성 물질의 유출 특성을 알기 위하여 초기가동부터 COD 농도가 일정하게 유지되는 상태(steady-state)에 이르기까지의 시간과 목편에 의한 COD증가여부, 반응기내에서 열적 특성, 생물막의 균집 동태인 미생물 부착량을 조사하는 연구를 수행하였다.

### 가. COD 농도 변화

그림 3-20, 3-21은 초기가동부터 COD 농도가 일정하게 유지되는 상태(steady-state)에 이르기까지의 시간과 목편칩에 의한 COD증가 여부를 알아본 결과이다. 가동 초기에는 COD 농도를 다양하게 변화시켜 가면서 실험한 결과 가동 후 33일까지는 유입수보다 유출수의 COD 농도가 증가하였으나, 그 이후부터는 처리효율이 일정하게 증가하여 가동 후 62일부터는 처리효율이 약 50%로 안정화되었다. 이 실험결과 목편칩의 주성분인 난분해성 물질인 셀룰로오스와 리그닌과 부식질이 유출되는 것이 현미경 관찰로 확인되었다.

또한, 미생물인 박테리아가 부착된 것을 육안으로 확인하는데 외형적인 특징으로 캡슐(capsule)이나 끈적끈적한 층(slime layer)을 가지고 있는 것인데, 끈적끈적한 층은 표면에 박테리아가 부착하여 생물막을 형성시키고 주위 유체의 점도를 높일 수 있으며 박테리아들이 서로 모이거나 플럭(floc)을 형성시키는데 중요하다. 육안으로 관찰한 결과 가동 초기에는 끈적끈적한 층이 형성되지 않았으나, 가동 3일 후부터 조금씩 층이 형성되기 시작하여 가동 20일부터는 끈적끈적한 층이 거의 다 형성되었음을 확인되었다(그림 2-22). COD 처리가 되기 시작하는 가동 30일부터는 박테리아가 완전히 부착하여 안정적으로 활동하고 있는 것으로 판단된다.

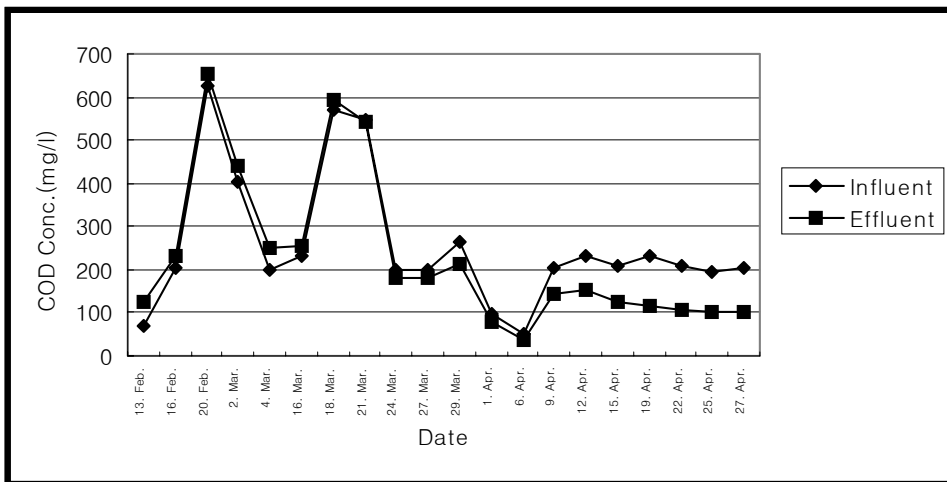


Fig. 2-20. Changes of COD with time by laboratory woodchip trickling filter system.

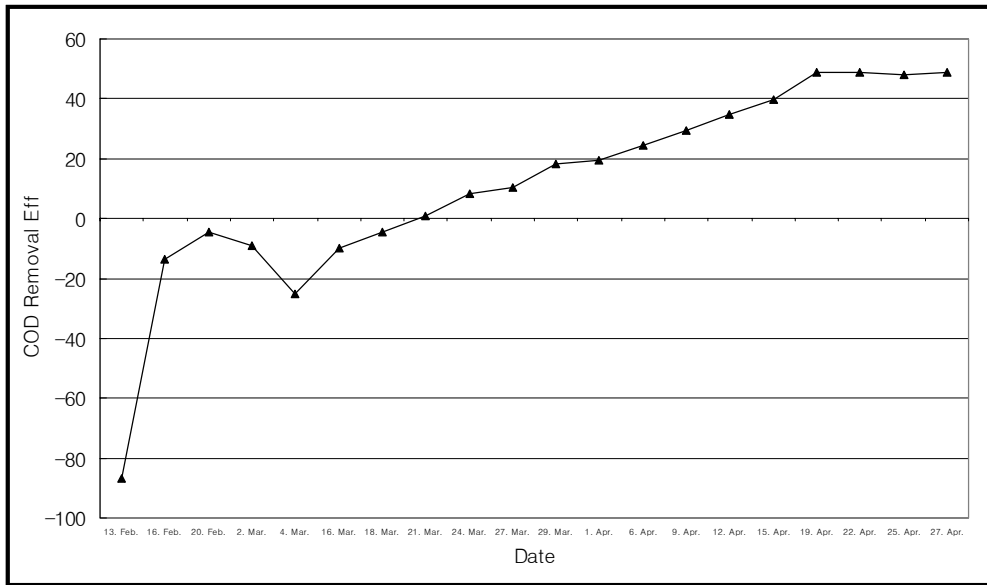


Fig. 2-21. Changes of COD removal efficiency with time by laboratory woodchip trickling filter system.



Fig. 2-22. Photograph of slime layer.

### 나. Lab-scale에 의한 열역학적 분석

살수여상법에서 겨울철에 미생물의 활동이 저하되어 처리 효율이 낮고 살수된 폐수가 동결될 가능성이 있다는 단점을 알아보기 위하여 열역학적 특성을 분석하였다. 먼저, 살수여상법에서 미생물 부착의 여재가 되는 담체들의 열전도도를 선열원법으로 측정하고 비교해 보았다. 또한 실험실 모형의 살수반응조 내부에서 열흐름률을 조사하여 열역학적 특성을 알아보았다.

#### 1) 목편칩의 열전도도 분석

여재들의 열전도도를 측정하기 위하여 그림 2-23과 같이 장치하고 쇠석 여재인 화강암과 플라스틱 여재, woodchip 여재에 대하여 (2-20)식의 선열원법으로 열전도도를 측정하였다. 측정 결과는 표 2-17과 같다.

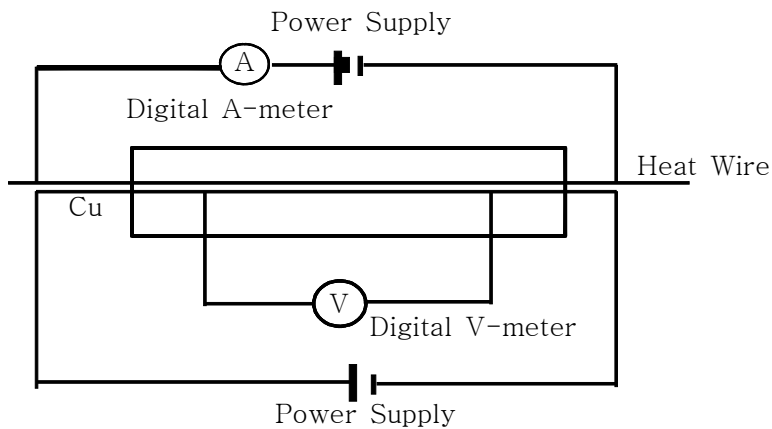


Fig. 2-23. Experimental apparatus of thermal conductivity.

Table 2-17. Thermal conductivity of media

Media	Granite	Plastic	Woodchip
Thermal conductivity (J/s · m · °C)	1.93	0.32	0.09

표 2-17과 같이 목편칩의 열전도도 0.09 J/s · m · °C로 화강암과 플라스틱 여재에 비해 가장 낮게 나타났다. 따라서, 목편칩의 열전도도는 다른 여재에 비해 낮아 보온 또는 단열성이 우수하다고 할 수 있다.

## 2) Lab-scale의 열흐름률 분석

온도의 측정은 sampling hole(5개 지점)을 이용하여 여상조 내부 중심부분에 temperature data logger를 설치하여 측정하였으며, 열흐름률은 목편의 열전도도와 식

$$(2-22) \quad \frac{dQ}{dt} = \frac{2\pi kL(T_1 - T_2)}{\ln(R_2/R_1)}$$

을 이용하여 결과를 분석하였다. 분석한 결과가 그림

2-24과 같다.

각 측정점의 평균 온도 분포를 보면 여상조 중심부분의 온도가 제일 높았으며, 산소를 공급하는 하단부는 산소 유입에 따른 온도변화로 인하여 제일 온도가 낮았다. 하단부를 제외한 다른 측정점의 온도차는 그리 크지 않으나, 이러한 결과는 미생물의 증식에 따른 에너지에 의한 열이 발생한 것으로 판단된다.

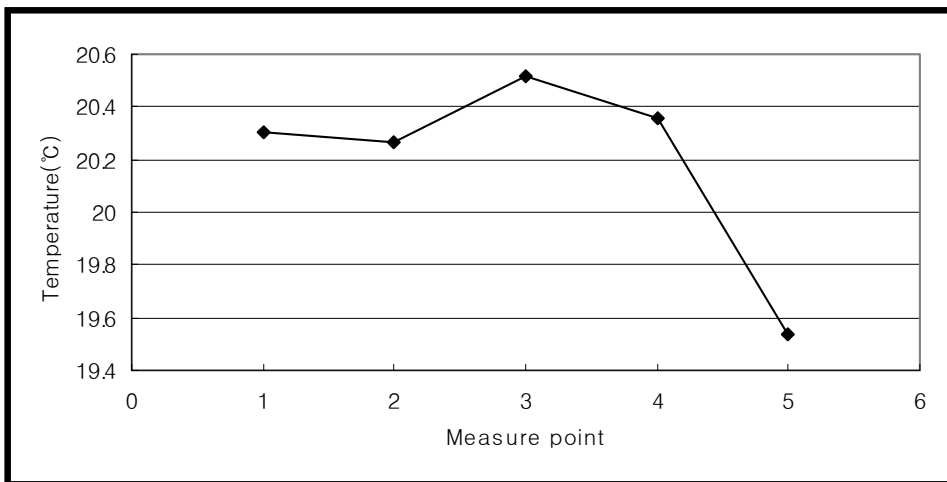


Fig. 2-24. Changes of temperature in measure points.

Table 2-18. Thermal flow flux in measure points

Measurement points	1	2	3	4	5	Avg.
Temperature T(°C)	20.31	20.27	20.52	20.36	19.54	20.20
$\Delta T$ of center(°C)	0.22	0.25	0	0.16	0.98	0.32
Thermal flow flux(W)	0.035	0.020	-	0.013	0.188	0.062

측정한 온도의 평균값을 이용하여 열흐름률을 계산한 결과가 표 2-18과 같다. 평균 열흐름률은 0.062W로서 반응조의 중앙 부분에서 바깥쪽으로 열이 흐름을 알 수 있어, 미생물이 성장하기에 좋은 조건을 만들고 있음을 알 수 있었다.

### 3. 기본 Pilot plant 시스템의 생활오수 처리수준

#### 가. 시기별 생활오수 처리 효율

##### 1) pH

물의 pH는 담수의 경우 보통 pH 7을 나타내며 6~7.9의 범위 내로 유지되어야 하는 것이 보통이다. 미생물이 증식 및 대사 반응에 대한 pH의 영향은 매우 크며 생산되는 산물의 종류와 양에도 중요한 영향을 끼친다. 미생물에 있어 최적 pH는 6.5~7.5정도로 알려져 있다. 그림 2-25는 목편살수여상 처리과정에서의 공정별 pH의 경시적 변화를 나타낸 것이다. 본 실험에 이용된 생활 오수의 pH의 변화는 중성부근의 pH를 유지하였다. 또한 원수보다 1차집수정, 방류수의 pH 값이 조금 낮아졌는데 질산화과정에 의한 약간의 pH 값의 변동을 알 수 있다.



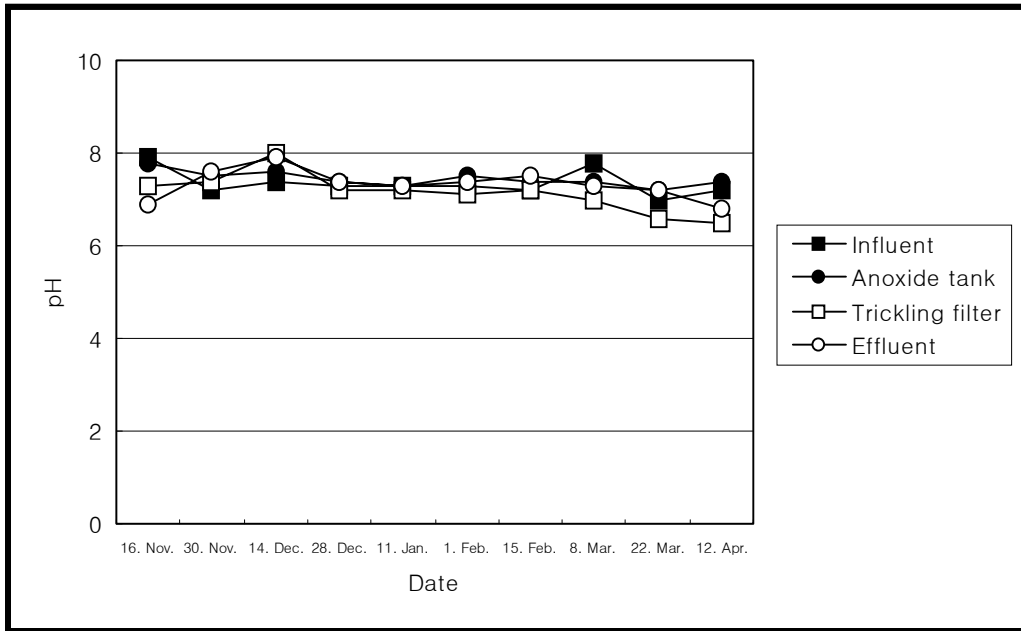


Fig. 2-25. Changes of pH with time by the wood chip trickling filter.

## 2) 수온(Temperature)

수온은 수서생물의 성장과 밀접하며 수중의 용질물질과 함께 용존산소량을 지배하며 외부환경에 가장 많은 영향을 받는다. 일반적으로 미생물이 생육가능한 온도는  $-10^{\circ}\text{C} \sim 75^{\circ}\text{C}$  정도이고, 오수처리에 이용되는 미생물은 중온균으로써 최적온도는  $25^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$  정도이다. 그림 2-26과 같이 살수여상조 처리시 수온은 시기별로 차이가 있었으나 처리공정별 온도차가 현저하지 않았다. 또한 원수, 유량조정조의 온도보다는 1차집수정, 방류수의 수온이 다소 낮아졌다. 이것은 처리장치가 지상에 설치되어 있어 유입수보다 처리 과정중의 유량조정조 1차 집수정 방류수의 수온이 다소 낮아진 것으로 사료된다.

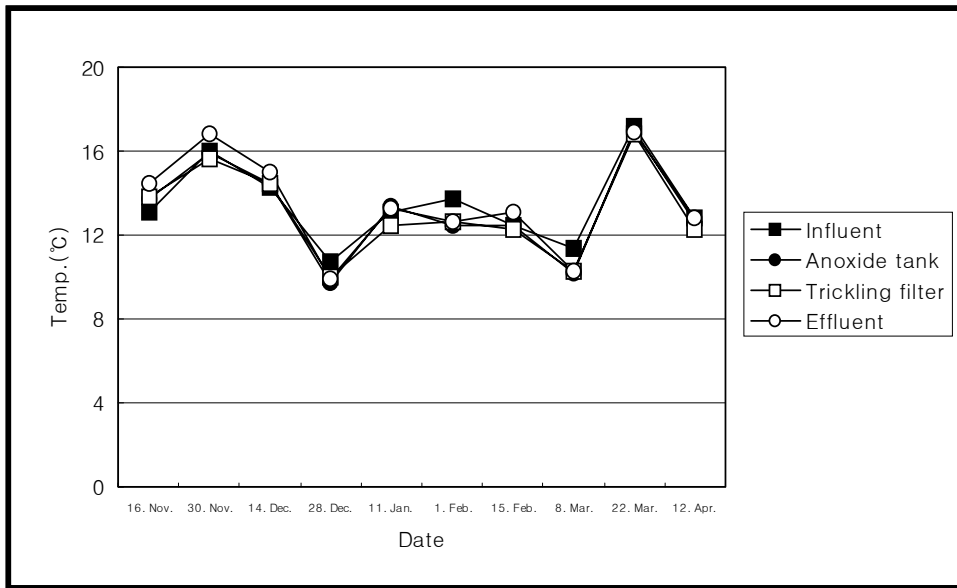


Fig. 2-26. Changes of temperature with time by the wood chip trickling filter.

### 3) BOD<sub>5</sub> (Biochemical Oxygen Demand) 처리수준

BOD는 유기물을 미생물에 의하여 호기성상태에서 분해 안정화시키는데 요구되는 산소량을 나타낸 것이며 BOD가 높으면 유기물의 오염도가 높음을 의미한다. 그리고, BOD 증가로 인한 DO의 감소는 결국 혐기성을 형성하여 처리효율을 저하시킨다. 실제 수중의 유기물로 형태나 그 농도를 측정하는 일은 사실상 어렵고 측정이 가능하다 하더라도 시간이 오래 걸리기 때문에 산소의 소비량으로써 간접적으로 수질을 평가하게 되는바, BOD 측정은 중요한 의미가 있다. 실증 plant 정화조의 유입수의 BOD<sub>5</sub> 농도가 41~262mg/ℓ의 범위를 나타내었다. 또한 그림 2-27과 같이 원수의 BOD<sub>5</sub> 값은 시기적으로 변이가 매우 컸다. 그러나 혐기성 부패조를 거친후 유량조정조의 BOD<sub>5</sub>는 30~80mg/ℓ BOD<sub>5</sub>를 나타내었다. 1차 목편살수여상 처리후 BOD<sub>5</sub>함량은 20mg/ℓ 이하 처리가 가능하였으며 방류수 BOD<sub>5</sub> 농도는 1~13mg/ℓ로 처리효율이 높았다. 혐기성 부패조에서 약 50%의 BOD<sub>5</sub>가 제거되었고 목편살수여상을 거치면서 BOD 8mg/ℓ 이하의 처리가 가능하였다. 따라서 원수의 BOD는 편차가 심하나 처리수의 BOD 변화가 크지

않아, BOD가 안정적으로 처리되고 있음을 알 수 있었다. 부착 미생물의 SEM 측정 결과 원생동물인 Euglypha가 다수 출현하였는데 이는 처리수 수질이 양호할 때 나타나는 미생물로서 본 실험결과와 잘 일치한다.

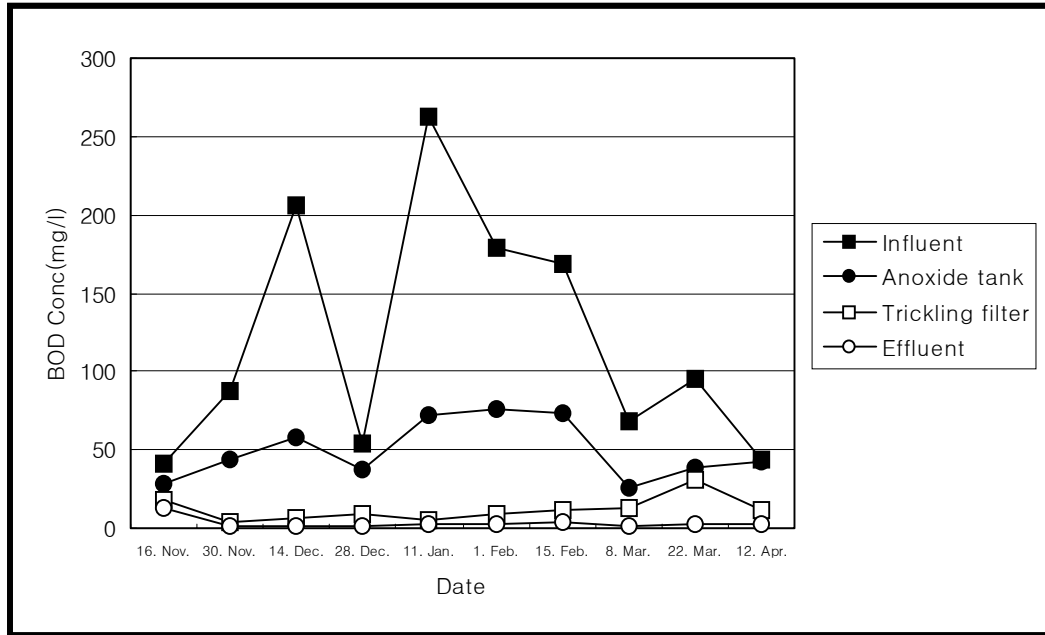


Fig. 2-27. Changes of BOD removal with time by the wood chip trickling system.

#### 4) COD<sub>cr</sub> (Chemical Oxygen Demand) 처리수준

COD는 수중의 산화 가능한 물질 즉, 오염원으로 될 수 있는 물질이 산화제에 의해 화학적으로 산화되는데 필요한 산소량을 나타낸 것으로 BOD와 더불어 폐수의 유기물 함유도를 측정하기 위한 중요한 척도이다. COD의 처리단계별 정화효율은 원수에서는 88~515mg/ℓ로 편차가 매우 심하였다. 부폐조를 거친 오수의 COD 값은 80~150mg/ℓ 범위로 비교적 높은 수치를 나타내어 분해되지 않는 난분해성 유기물이 일부분 정화되지 않는 것으로 나타났다. 또한 목편살수여상조를 거쳐 최종 방류수의 COD 값은 24~80mg/ℓ 나타내어 본 시스템의 경우 COD 처리효율이 높은 편이 아니었다. 이것은

여재인 목편에서 리그닌의 분해로 생성된 난분해성 물질이 유출되는지 또한 색도에 의한 분석치의 오류인지 재검토가 요구된다. 본 시험에서 pilot plant원수의 COD의 처리 효율은 BOD 보다 낮은 결과를 나타내었다. 따라서 본 실증플랜트 방류수의 COD 함량이 24~80mg/l로 높은 값을 나타내어 COD 정화효율 개선을 위한 연구를 2차 시험에 수정하였다.

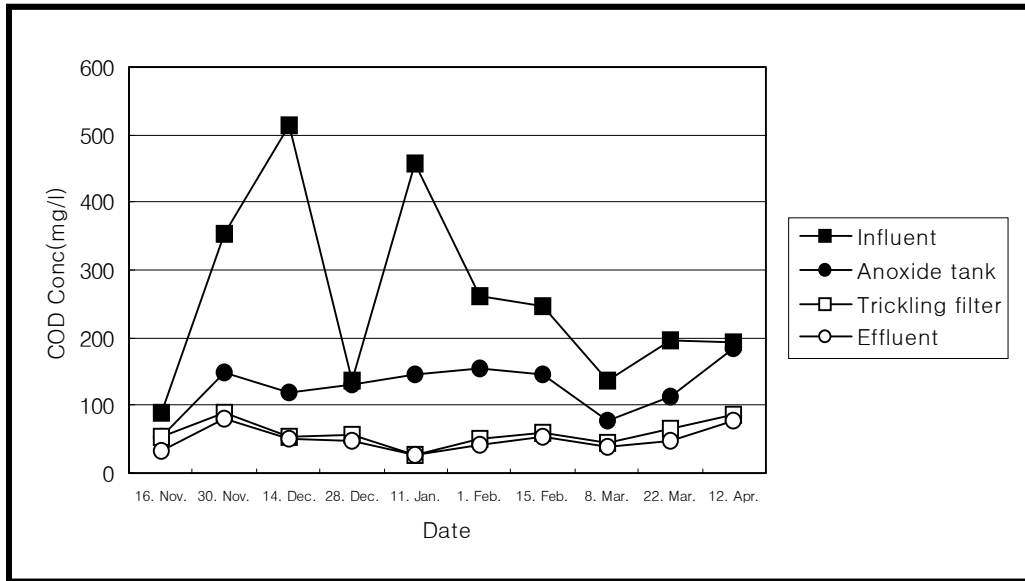


Fig. 2-28. Changes of COD removal with time by the wood chip trickling system.

#### 5) SS (Suspended Solid) 처리수준

SS(부유물)는 무기물과 유기물을 함유하는 고형물로서 물속에 체류하면서 분해되어 BOD 증가의 원인이 되기도 한다. 따라서 부유물질의 측정은 하수의 처리효율 및 생활 하수의 수질을 평가하는데 중요한 인자 중의 하나가 된다. 원수의 SS 농도는 97~208mg/l 범위에 있었다. SS와 BOD와 관계를 살펴보면, SS 농도가 높으면 BOD 역시 높은 것을 알 수 있고 이는 부유물질을 분해하기 위한 DO의 소비량이 증가함을 보여준다.

부유물질은 BOD 및 COD와 같이 오염지표의 하나이지만, 빛의 투과율과의 관계에서도 중요한 항목이다. SS가 증대하면 빛의 투과율이 낮아지고 수중 동식물의 생육에 악영향을 미친다. SS가 50mg/ℓ 이하이면 어류의 빈사 등은 피할 수 있지만, 수역의 정상 생산활동을 유지하기 위해서는 25mg/ℓ 이하인 것이 바람직하다.

그림 2-29는 본 처리시스템 공정별 시기별 SS의 농도의 변화된 모습을 그래프로 나타낸 것이다. SS의 변화는 원수와 유량조정조에서는 시기별로 큰 차이를 나타내었으나 부패조를 거친후에는 SS 농도가 50이하를 유지하여 살수여상처리 적합한 SS농도를 유지하였다. 또한 방류수에서는 SS 함량이 1.5~18mg/ℓ 범위를 나타내어 본 처리시스템은 SS처리에 있어서 20mg/ℓ 이하의 안정처리가 이루어졌다.

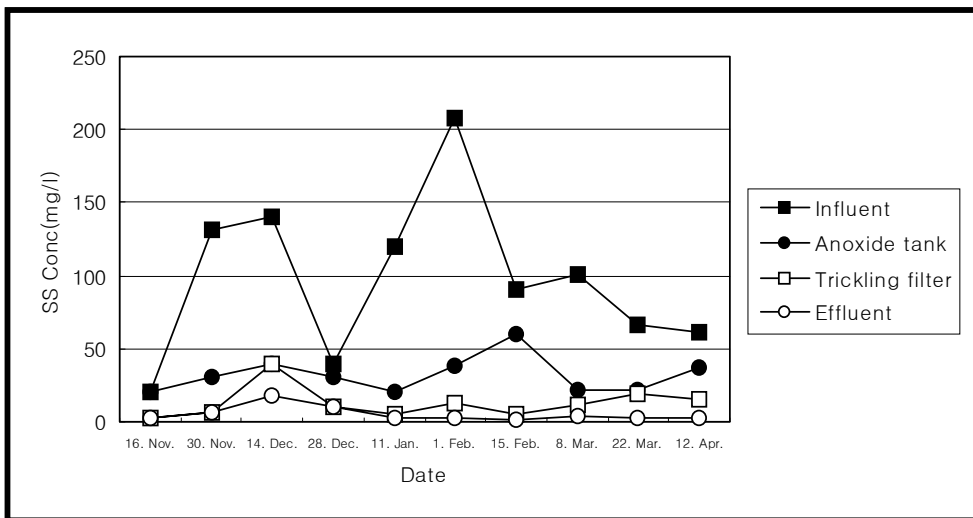


Fig. 2-29. Changes of SS removal with time by the wood chip trickling filter system.

#### 6) 질소(T-N, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N) 처리수준

질소와 인을 포함한 배출수는 호수와 저수지의 부영양화를 가속시키고, 조류와 수생 식물 성장을 촉진한다. 따라서 유출수내의 영양염류가 높은 경우 수자원의 용존산소를 고갈시키고, 수중생물에 독성을 유발하고, 염소소독의 효율에 영향을 끼치며, 공중 보건

상의 위해를 야기하고, 하수재 사용시 적합성에 영향을 끼치는 등의 부정적 영향을 나타낼 수 있다. 오수 중의 질소는 40%의 유기질소로 구성되며 이는 호기성 상태에서 질산화과정에 의해 아질산성 질소와 질산성 질소로 전환된다.

그림 2-30과 같이 암모니아성 질소함량은 처리공정을 거치면서 뚜렷이 낮아졌는데 이러한 원인은 목편 살수여상 공정을 거치면서 질산화 반응에 기인하는 것으로 사료된다. 목편 살수여상 정화조의  $\text{NO}_3\text{-N}$  농도가 높아져 오수속의 암모니아는 질산화 과정을 거쳐 질산성 질소로 변화되어 정화단계를 거치면서 높아져 질산화 반응효율은 높은 것으로 판단된다. 암모니아를 질산화하는데 살수여상의 효율은 수리학적 부하, 온도, pH, BOD 농도에 영향을 받고 목편 여재여상은 낮은 BOD를 가진 오수에 적용할 때도 일정하고 높은 수준의 질산화가 달성되었다.

$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 경우  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  이온에 비해  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  이온 농도가 줄어드는 것을 볼 수 있는데 이는 낮은 수온으로 DO의 포화농도가 증가함에 따라 어느 정도의  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 이 질산화 과정에 의해 농도가 줄어드는 것으로 추정된다.

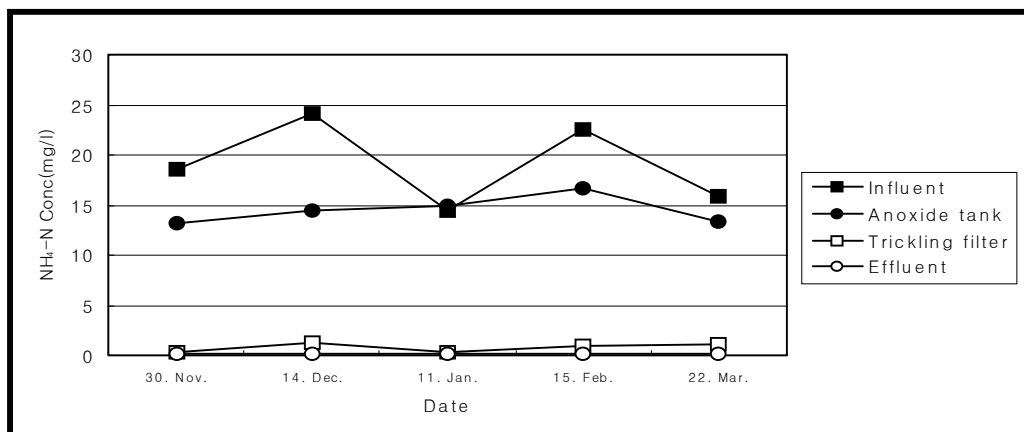


Fig. 2-30. Changes of  $\text{NH}_4$  removal with time by the wood chip trickling system.

그림 2-31에서와 같이 시기별  $\text{NO}_2^-\text{-N}$  변화를 나타내고 있다. 유입수의  $\text{NO}_2^-\text{-N}$  보다 유출수의  $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 이 감소함을 알 수 있다.  $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 농도는 원수와 유량조정조에서는  $4\text{mg}/\ell$  이하로 낮았으나 1차 목편살수여상조를 거치면서 산소와 접촉되어 1차 집수정의  $\text{NO}_3\text{-N}$  함량은  $12\sim 20\text{mg}/\ell$ 로 높아졌다(Fig. 2-32). 이러한 결과는 본 정화 시스템에 의하여 질소 정화를 위한 질산화 반응은 매우 활발하게 진행됨을 확인할 수

있었다. 원수의  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 이온의 평균농도는 64.6ppm으로 최고농도와 최저농도는 각각 80.3ppm, 52.5ppm이고 처리수  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 이온의 평균농도는 15.6ppm으로 최고농도와 최저농도는 각각 31.1ppm, 1.2ppm을 나타냈다. 원수의  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 이온이 높은 이유는 원수 자체가 무기화에 의한  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  증가로 기인된다고 사료된다. 또  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 이온의 경우를 볼 때 원수에서의 평균농도는 5.9ppm, 처리수의 평균농도는 30.8ppm으로 상당히 질산화가 잘 이루어 졌다는 것을 알 수 있다.

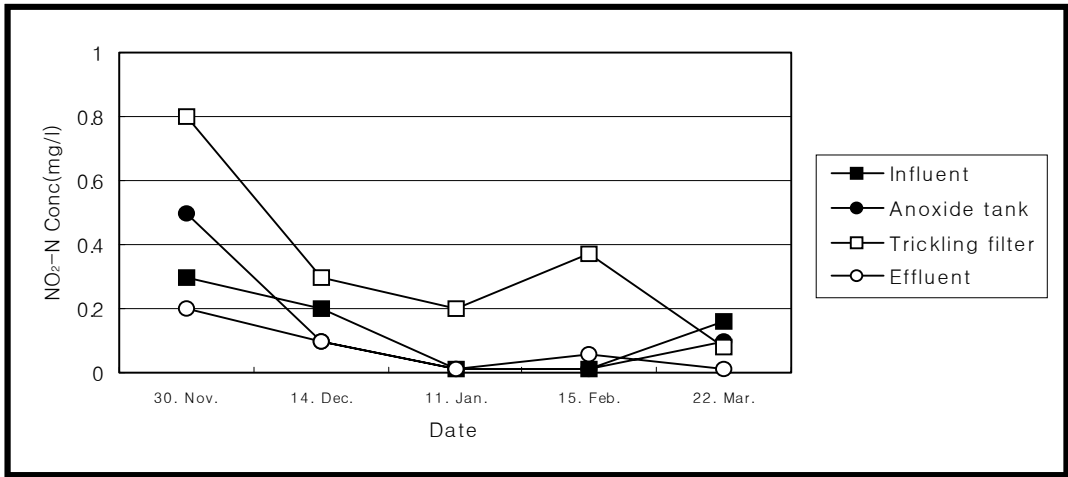


Fig. 2-31. Changes of  $\text{NO}_2^-\text{-N}$  with time by the wood chip trickling filter system.

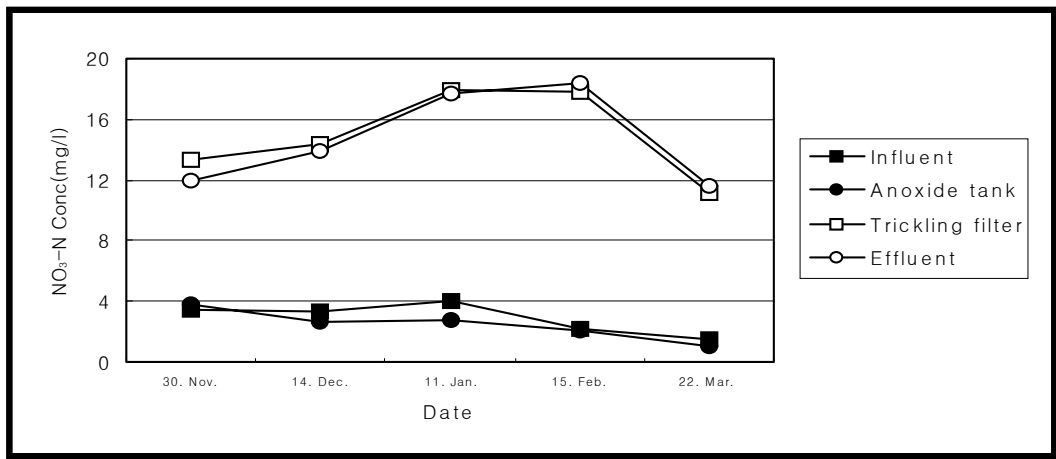


Fig. 2-32. Changes of  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  with time by wood chip trickling system.

그림 2-32는 시기별 총질소(T-N; Total Nitrogen)를 나타내고 있다. 질소처리는 유기성질소 및 암모니아성질소가 질산화 과정을 거쳐 질산성질소로 형태가 변형되어 혐기조건에 탈질되어 공기 중에 휘발하는 과정으로 처리된다. 본 처리시스템에서 총질소의 처리는 그림 2-33과 같이 질산화 반응이 잘 일어나 질소처리효율이 높을 것으로 기대하였으나 최종 방류수의 처리효율은 기대치만큼 높지 않았다. 이러한 원인은 본 처리시스템에서 질산화는 원활하지만 탈질반응이 잘 일어나지 않는 것으로 판단되어 이 부분에 대한 추가연구를 2차 실험에서 재순환 시험을 수행하였다. 또한 처리효율 면에서는 겨울철에도 질소처리효율이 저하되지 않는 것을 알 수 있다. 그 이유는 겨울철 물의 사용량이 적어 충분한 체류시간에 따른 결과로 추정되어진다.

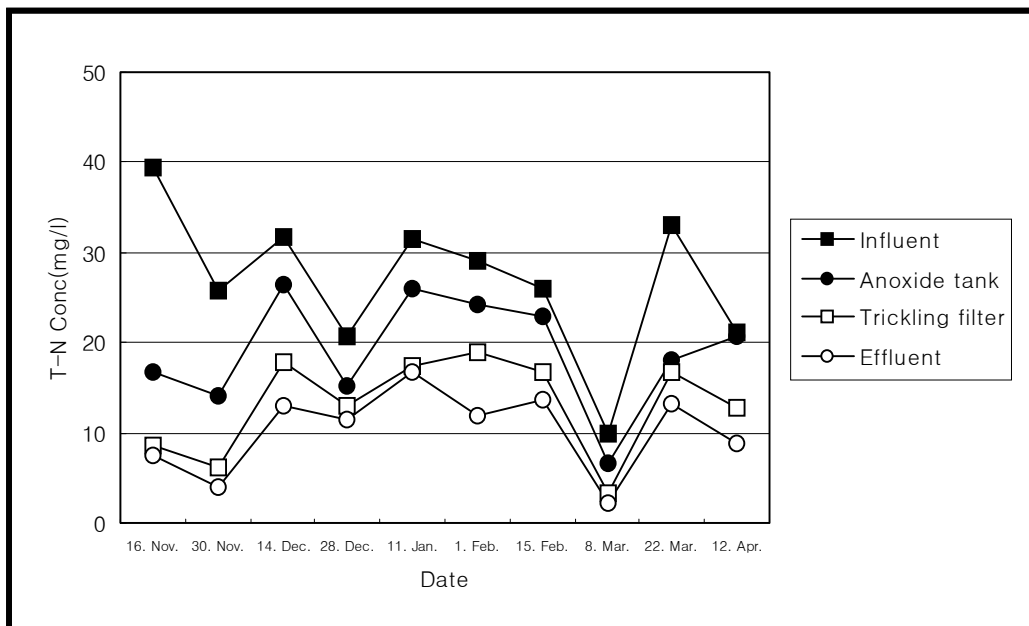


Fig. 2-33. Changes of T-N removal with time by the wood chip trickling filter system.

### 7) 총인(T-P) 처리수준

그림 2-34는 시기별 총인(T-P; Total Phosphorus)의 농도를 나타내고 있다. 시험초기에는 T-P의 처리효율이 높았으나 2001년 3~4월에는 T-P의 처리효율이 다소 낮아



졌는데 이러한 원인은 관리소홀로 침전지내의 슬러지가 부상하여 이로 인해 인이 다시 배출되는 결과가 원인인 것으로 사료된다. 일반적으로 인은 세포질내로 흡수되는 양을 제외하고는 일차침전 후 존재하는 대부분의 인은 용해상태이기 때문에 생물학적 처리에서 추가적으로 제거되는 것은 일부이다.

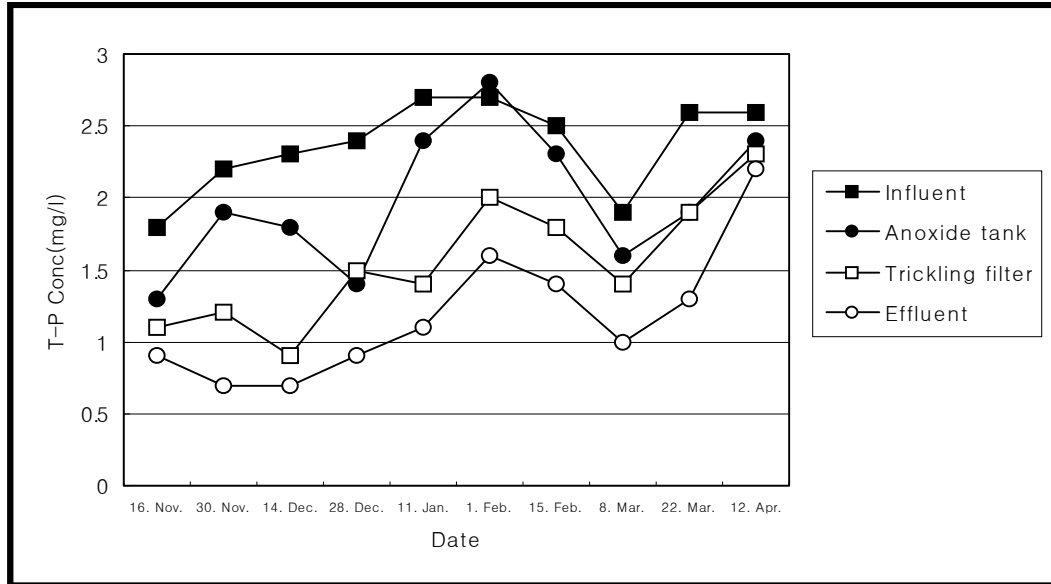


Fig. 2-34. Changes of T-P removal with time by the wood chip trickling system.

#### 나. 처리효율조사

##### 1) BOD(Biological oxygen demand) 처리효율

그림 2-35는 BOD처리효율의 변화를 나타낸 그래프로서 원수의 BOD의 최고농도는 262mg/l 최저농도는 120mg/l이었으며, 처리수의 최고농도는 21mg/l, 최저농도는 1mg/l으로 나타났다. 원수의 농도는 편차가 크나, 처리수는 안정적인 처리수질을 보여주고 있다. 본 처리 시스템의 BOD 제거율은 가동초기에는 70%로 낮았으나 가동 2주 후부터 95% 이상의 처리효율을 지속적으로 유지하였다. BOD의 평균 처리효율은 97.4%로 높은 BOD 제거율을 나타내었다.

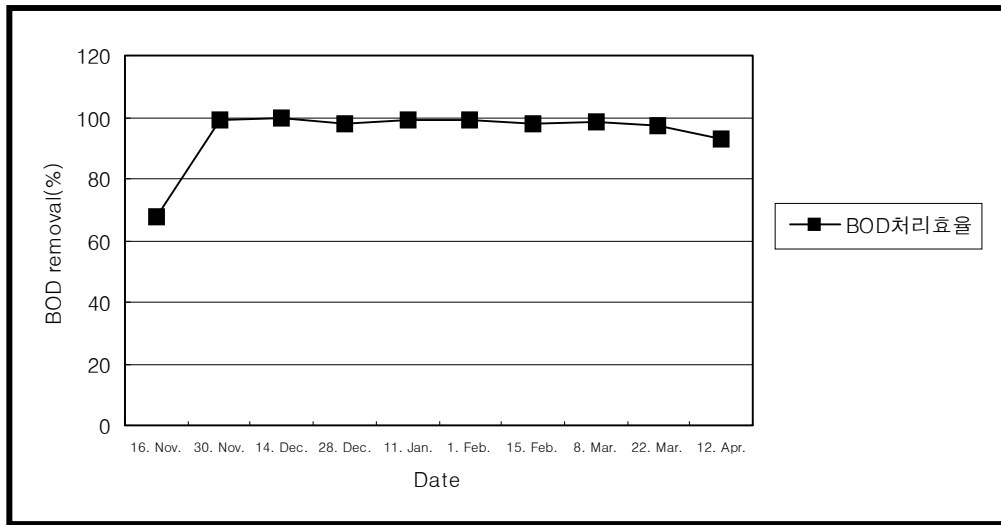


Fig. 2-35. Changes of BOD removal rate.

## 2) COD(chemical-biological oxygen demand) 처리효율

그림 2-36은 COD처리효율을 나타낸 그래프이다. 원수의 COD의 농도는 상당히 큰 편차를 보이거나, 처리수의 COD농도는 안정화되어서 나가는 것을 보여주고 있으나 BOD에 비해서는 방류수의 COD의 편차가 큰 경향이였다. 원수의 COD의 최고농도는 515mg/ℓ 그리고 평균농도는 258mg/ℓ을 나타내었다. 처리수의 COD의 최고농도는 80mg/ℓ, 평균농도는 41mg/ℓ을 나타냈다. COD의 제거율은 60~95% 범위에 있었으며 COD의 평균 제거율은 83.8%를 나타내어 본 목편살수여상 정화조는 COD 제거처리 효율 측면에서는 처리효율이 그다지 높지 않았다. 또한 평균 COD/BOD비가 원수에서는 2.3인 반면, 처리수의 경우에는 17.3으로 나타나 본 처리 시스템에서 처리과정 중 목편에서 COD를 높게 하는 휴민 등 난분해성 물질이 일부 용출되는 것으로 추론된다.

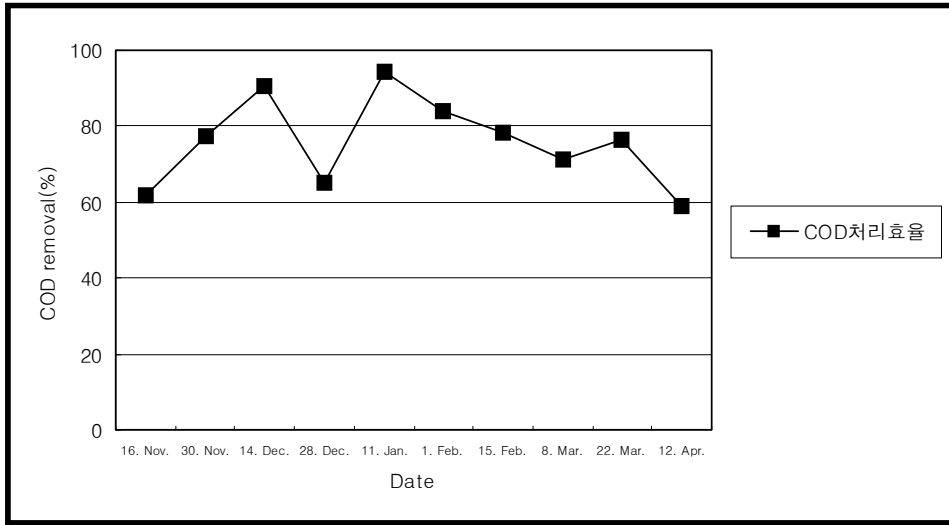


Fig. 2-36. Changes of COD removal rate.

### 3) SS(suspended solid) 처리효율

그림 2-37은 SS의 처리효율을 나타낸 그래프이다. 원수 SS의 평균농도는 97mg/ℓ 이고 처리수 SS의 평균농도는 5mg/ℓ 을 나타냈다. 원수 SS의 최고농도와 최저농도는 각각 208mg/ℓ, 20mg/ℓ 이고 처리수 SS의 최고농도와 최저농도는 각각 18mg/ℓ, 1.5mg/ℓ 로 나타났다. 본 정화시스템의 SS 처리효율은 80~99% 범위를 나타내었으며 12월 말에 일시적으로 80% 처리효율을 나타내었으나 1월 이후에는 97% 이상의 높은 처리효율을 나타내었다.

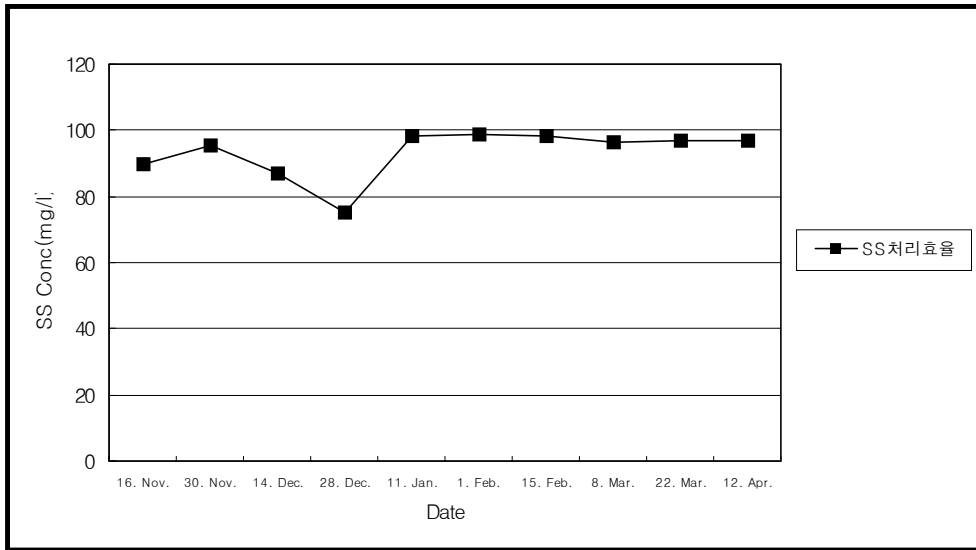


Fig. 2-37. Changes of SS removal rate.

#### 4) T-N 처리효율

그림 2-38은 본 처리시스템의 T-N 처리효율을 나타낸 그래프로 원수 T-N의 평균 농도는 26.8mg/l 이고 처리수 T-N의 평균농도는 10.2mg/l 로 나타났다. T-N제거율은 시험 초기에는 80%에 도달되었으나 12월과 1월에는 처리효율이 낮아져 45~50% 내외의 낮은 처리효율을 나타내었다. 전체적인 T-N 제거율은 40~80% 범위에 있었으며 시험기간 중 평균 T-N 제거율은 61.9%를 나타내었다. 이는  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 이온이  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 으로의 질산화 과정(nitrification)은 원활하게 일어나지만, 혐기성 조건에서 일어나는 탈질 소화(denitrification)과정이 잘 일어나지 않는 것으로 판단되어 이 부분에 대한 보완 연구가 필요하다. 그러나 본 공법에서의 질소 제거효율 60% 이상을 나타내어 미생물의 대사작용과 살수과정에 발생하는 암모니아의 스트리핑(stripping)과 적은 양이지만 탈질과정을 통해 제거되는 것으로 사료된다. 따라서 본 처리공법 중 탈질을 촉진하기 위한 처리공법을 2차 시험에서 보완하면 T-N 처리는 만족할 만한 수준에 도달시킬 수 있을 것으로 사료된다.

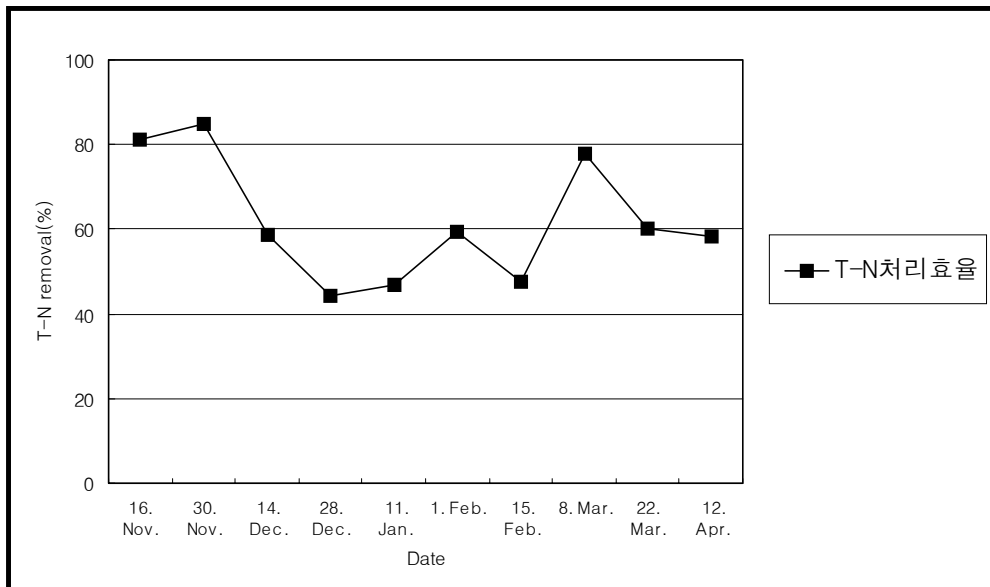


Fig. 2-38. Changes of T-N removal rate.

#### 5) T-P 처리효율

그림 2-39는 T-P의 제거효율을 나타낸 그래프로 원수 T-P의 평균농도는  $2.4\text{mg}/\ell$  이고 처리수 T-P의 평균농도는  $1.2\text{mg}/\ell$  이다. 본 처리시스템의 T-P 평균제거율은 약 50.0%로 나타났다. T-P의 경우에는 질화세균의 영향을 많이 받기 때문에 질화균이 많을 경우 T-P의 제거율은 떨어지게 된다. 따라서 질산화 정도에 따라서 T-P의 제거율이 변화되는 모습이 보여진다. T-P 제거효율은 시험초기에는 처리효율이 60% 이상으로 높았으나 2001년 2월에는 인의 처리효율이 다소 낮아져서 3월 이후에는 처리효율이 40%대에 머물렀다. 이러한 원인은 관리소홀로 침전지내의 슬러지가 혐기성 상태로 변질되어 이로 인해 인이 다시 배출되는 경향을 나타내고 있다. 일반적으로 인은 세포질내로 흡수되는 양을 제외하고는 일차침전 후 존재하는 대부분의 인은 용해상태이기 때문에 생물학적 처리에서 추가적으로 제거되는 것은 일부이다. 따라서 침전조의 용량증설과 침전된 인의 재부상을 방지하기 위한 공정을 보완하는 연구를 2차 시험에서 수행하였다.

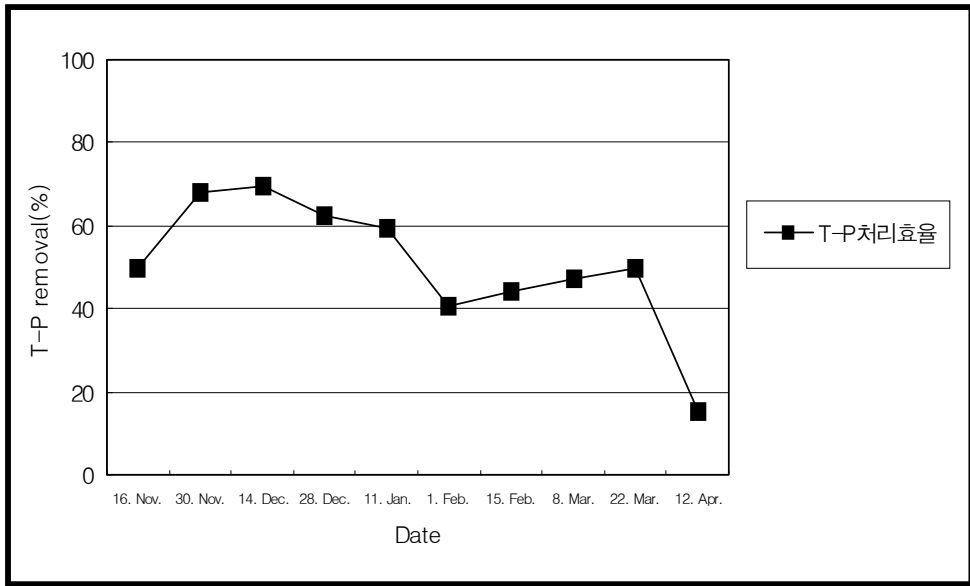


Fig. 2-39. Changes of T-P removal rate.

다. 공정별 처리효율

1) 공정별 BOD 처리효율

목편살수여상 시스템의 공정별 BOD 처리효율은 그림 2-40과 같다. 부패조에서 BOD 제거효율이 49.8%로 비교적 높았다. 이러한 이유는 부패조 공간을 4개로 분할하여 각 실마다 T 배관을 설치하여 수위대비 약 2/3 지점의 오수만이 후위로 이송됨으로서 BOD 처리효율을 높인 것으로 사료된다. 또한 1차 및 2차 목편살수여상조의 BOD 처리효율이 각각 70.8%, 72.6%에 도달하여 목편살수여상 과정에서의 BOD 제거효율은 매우 높았다. 목편살수여상 시스템 전 공정을 통한 BOD 제거효율이 97.4%로서 BOD 제거효율은 연구목표 수준에 도달되었다.

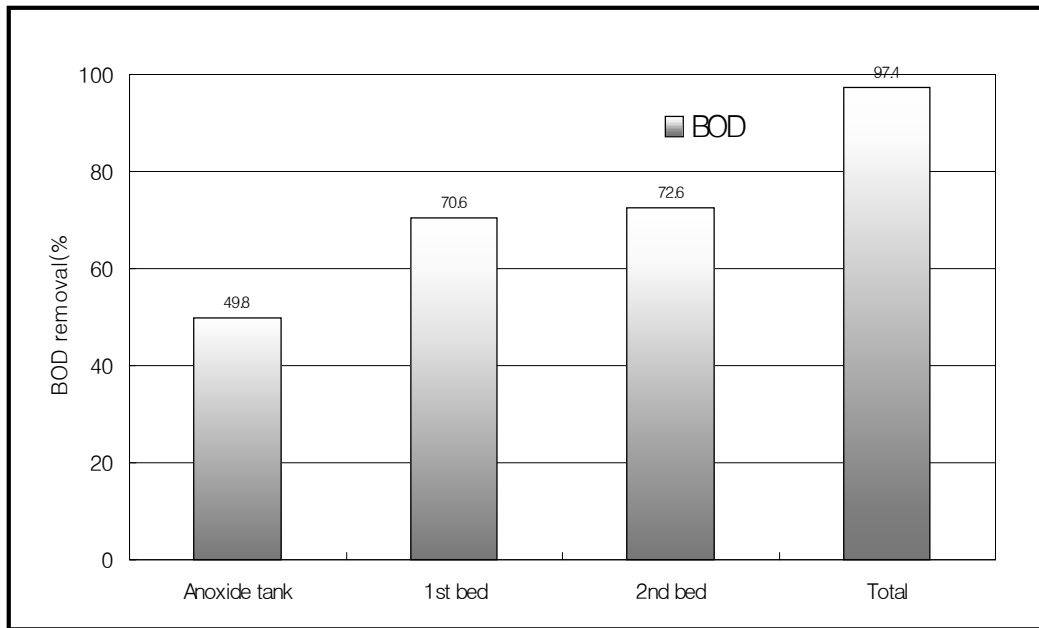


Fig. 2-40. BOD removal rate at each process by trickling filter system.

## 2) 공정별 COD 처리효율

목편살수여상 시스템 처리공정별 COD 처리효율은 그림 2-41과 같다. 혐기성 부패조의 COD 처리효율은 41.9%이었다. 혐기성 부패조의 COD 제거효율은 BOD에 비하여 높지 않았다. 또한 1차 살수여상조의 COD 처리효율은 50%에 도달하였으나 2차 살수여상조에서는 14.7%에 불과하였다. 혐기성 부패조에서 체류한 오수를 1차 살수여상처리조에 처리시에는 COD 처리효율 50% 수준을 유지하지만 2차 목편살수여상조에서는 1차 살수여상조의 집수정에서의 체류시간이 짧아 2차 살수여상조의 COD 처리효율이 높지 않은 것으로 사료된다. 전체적으로 본 처리공정에서의 COD 제거효율은 높지 않은 경향이었으며 특히 2차 살수여상조에서의 COD 제거효율이 높지 않았다.

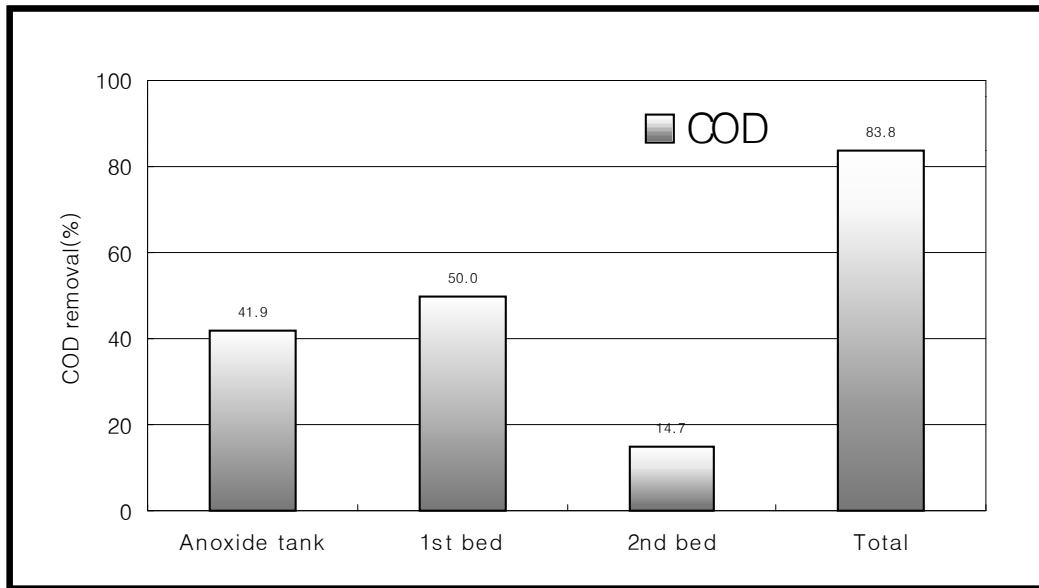


Fig. 2-41. COD removal rate at each process by trickling filter system.

### 3) 공정별 SS 처리효율

목편살수여상 시스템의 공정별 SS 처리효율은 그림 2-42와 같다. 혐기성 부패조의 SS 처리효율은 55.5%로 높은 처리효율을 나타내었다. 1차 목편살수여상조의 SS 처리효율은 59%를 나타내었으며 2차 살수여상조는 52.4% 나타내었다. 목편 살수여상 시스템 전 공정을 통한 SS 처리효율은 94.9%이었다. 따라서 본 시스템은 SS 처리효율은 매우 높은 것으로 결론 내려진다.



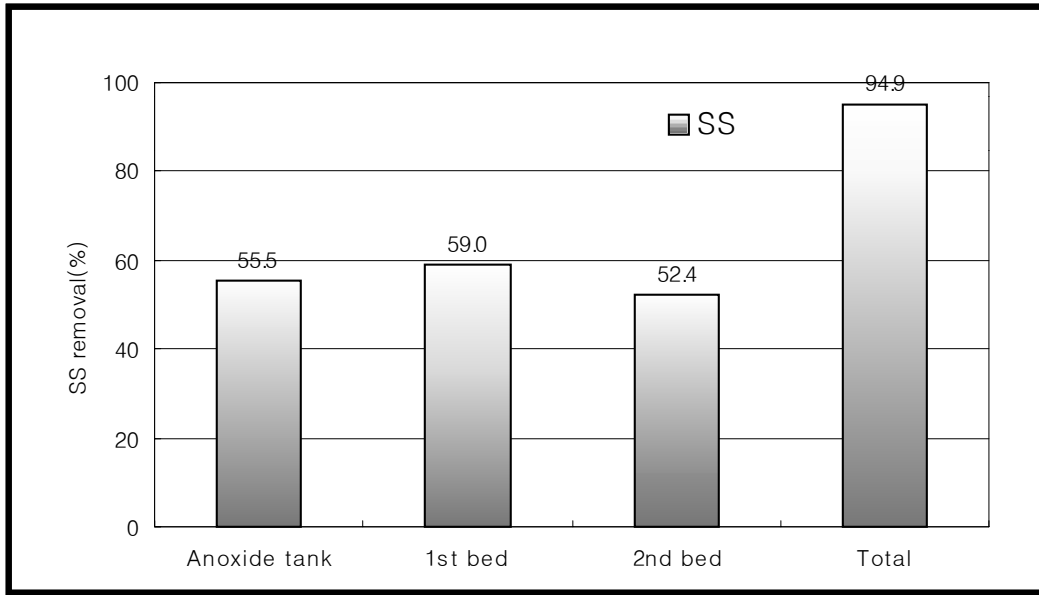


Fig. 2-42. SS removal rate at each process by trickling filter system.

#### 4) 공정별 T-N 처리효율

목편살수여상 시스템의 공정별 전질소 처리효율은 그림 2-43과 같다. 혐기성부패조의 T-N 처리효율은 27.3%를 나타내었다. 1차 목편살수여상조의 T-N 처리효율은 33.1%를 나타내었다. 1차 목편살수여상조에서는 O<sub>2</sub>와 접촉에 의하여 질산화 반응의 촉진되고 집수정을 거치면서 질소처리효율이 상승된 것으로 생각된다. 그러나 2차 살수여상조에서는 질소처리 효율이 높지 않았는데 질산화 된 NO<sub>3</sub>가 탈질이 원활하게 되지 않아서 처리효율이 높지 않았던 것으로 사료된다. 따라서 지금까지의 공정별 T-N처리 연구결과 본 처리시스템에서는 질산화된 질산태질소의 탈질을 촉진하기 위한 처리공정의 개선이 요구된다.

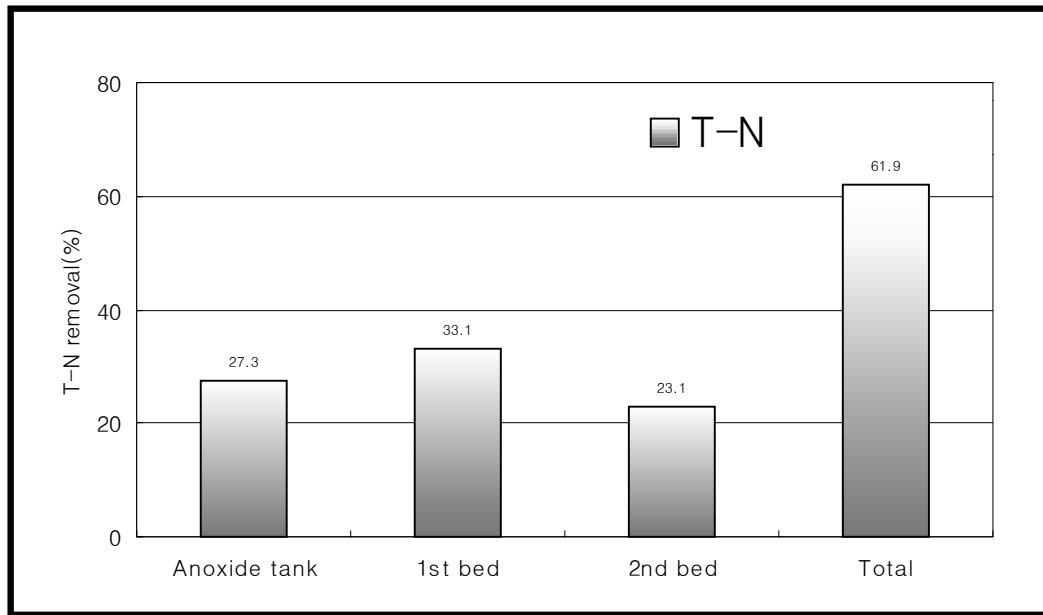


Fig. 2-43. T-N removal rate at each process by trickling filter system.

#### 5) 공정별 T-P 처리효율

공정별 인산처리효율은 그림 2-44와 같다. 인산의 처리효율은 혐기성 부패조에서 17%, 1차 목편살수여상조에서 20%, 2차 목편살수여상조와 모래여과조를 거친과정에서 25%에 도달되었다. T-P의 전체공정 중 처리효율이 50.0%로 높지 않아 집수정의 용량을 크게 하는 설계요인을 보완하는 추가연구를 2차 시험에 추진하였다.

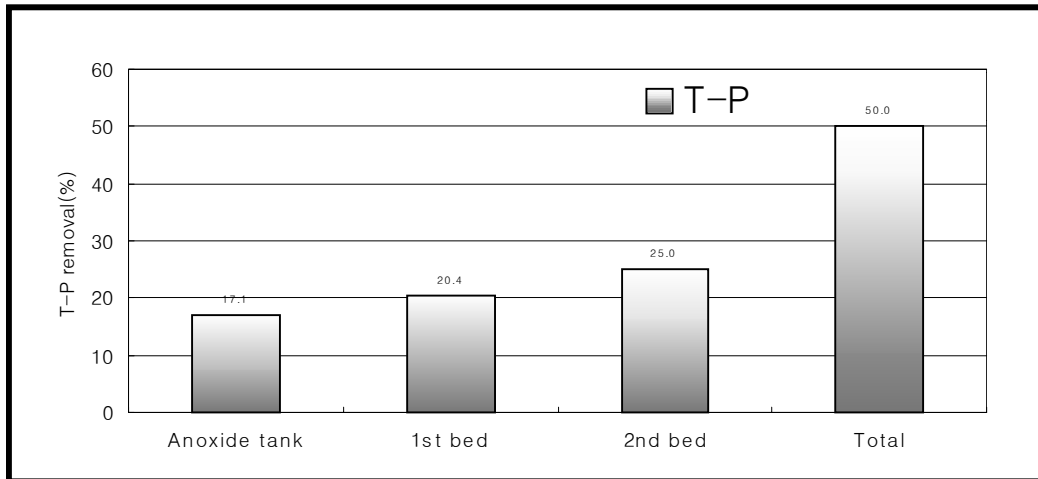


Fig. 2-44. T-P removal rate at each process by trickling filter system.

#### 6) BOD<sub>5</sub>/COD<sub>cr</sub> 비율

그림 2-45는 본 처리시스템의 공정별 BOD<sub>5</sub>/COD<sub>cr</sub>의 비율을 나타내었다. 본 목편살수여상 시스템은 BOD의 처리효율은 매우 높으나 COD의 처리효율은 낮은 경향을 나타내었다. 원수의 BOD<sub>5</sub>/COD<sub>cr</sub> 비율은 0.4-0.7의 범위를 나타내었으며 처리공정을 거치면 BOD<sub>5</sub>/COD<sub>cr</sub> 비율이 감소하는 경향을 나타내었으며 최종방류수의 BOD<sub>5</sub>/COD<sub>cr</sub> 0.2이하로 낮아져 처리공정을 거치면서 BOD 제거율보다 COD 제거율이 낮아졌다.

이러한 것은 생활오수에 포함된 난분해성 유기물들이 살수여상 장치를 통하여 효율적으로 분해되고 있지 않은 원인도 있지만 살수여상 여재인 목편에 난분해성의 휴민 물질이 용출되거나 목재 고유의 색도가 유출되어 COD 함량을 상승시켰을 것으로 생각된다. 따라서 목편여재의 색도를 여재 제조과정에서 제거하는 기술과 처리공정에서 집수정의 용량을 증대시켜 오수의 체류시간을 길게하여 난분해성 유기물의 분해를 촉진하는 시스템의 개선이 요구되며 이에 대한 추후 보완연구가 이루어졌다.

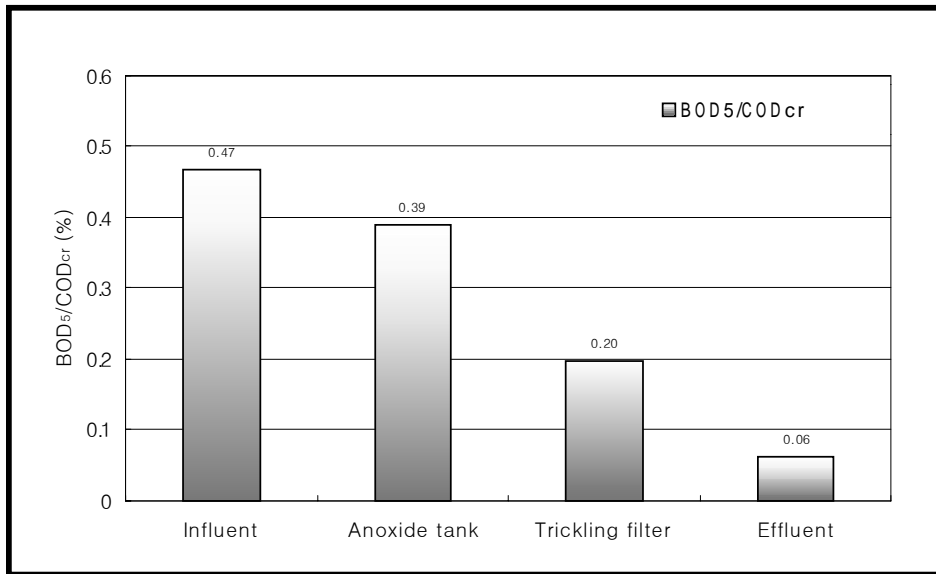


Fig. 2-45. BOD<sub>5</sub>/COD<sub>cr</sub> at each process by trickling filter system.

#### 라. 평균 처리효율

본 정화시스템 시험 기간 중의 수질항목별 평균 처리효율은 표 2-19와 같다. 유입수의 평균수질은 BOD 120.7mg/l, 부유물질(SS)가 97mg/l, COD 258mg/l, 질소(T-N) 26.8mg/l, 인(T-P) 2.4mg/l 이었다. 생물학적으로 질소 및 인을 처리하는 시스템에서 질소를 효율적으로 제거하기 위해서 유입수내의 COD/T-N 비율이 10이상 존재하여야 하는 것으로 알려져 있는데 실험에서 생활오수 유입수의 COD/T-N 비율이 9.6으로 질소에 비하여 유기물이 많이 존재하고 있는 것으로 나타났다. 또한 원수의 BOD/T-N의 비율은 4.5이었다. 방류수의 평균수질은 BOD 3.1mg/l, COD 41.9mg/l, SS 1.5mg/l, T-N 10.2mg/l, T-P 1.2mg/l로서 BOD 97.4%, COD 83.8%, SS 94.9% T-N 61.9%, T-P 50.0%의 처리효율을 나타내어 본 정화처리 시스템은 오수처리 시설의 방류수 수질기준인 BOD의 수질조건을 10mg/l를 충분히 만족하면서 질소와 인의 동시제거가 가능한 시스템으로 사료된다. 따라서 본 처리 시스템에서 일부공정을 보완하면 COD, N, P의 고도처리가 가능한 처리기술로 판단된다.

Table 2-19. Removal rate of wood chip trickling filter system

Contituents	Influent			Effluent			removal rate(%)
	max.	mean	min.	max.	mean	min.	
BOD <sub>5</sub> (mg/l)	262.5	120.7	41.5	13.5	3.1	0.9	97.4
COD <sub>cr</sub> (mg/l)	515.0	258.3	88.9	80.2	41.9	25.9	83.8
SS(mg/l)	208.0	97.7	20.0	18.0	5.0	1.5	94.9
T-N(mg/l)	39.5	26.8	9.9	16.7	10.2	2.2	61.9
T-P(mg/l)	2.7	2.4	1.8	2.2	1.2	0.7	50.0

본 목편살수여상처리 시스템은 기존 살수여상 처리기술 중 표준 살수여상에 유사한 처리특성을 나타내어 우리나라에서 농어촌 생활오수 정화시설로 보급가치가 높은 시스템으로 생각된다. 특히 농어촌 지역에서 방류수를 농업용수로 재활용이 가능할 것으로 생각된다.

#### 마. 살수여상처리조 시설물 내부 미기상 분석

목편살수여상조 시스템 시설물 내부 온도의 변화상태는 그림 2-46과 같다. 살수여상조 시설물 내부온도는 심한 편차를 나타내었으며 시험기간 중 3일 동안은 영하의 온도를 나타내었으나 그 외의 기간의 온도는 0~4℃ 범위 내외의 온도를 나타내었다. 살수여상조 내부시설물의 온도는 외부온도 보다 변화가 적었다. 살수여상조 시설물 내부의 상대습도 변화는 그림 2-47과 같다. 살수여상조 내부의 상대습도는 80~90% 내외의 범위에서 변화를 나타내어 살수여상조 상대습도가 외기습도 보다 상당히 높은 경향을 나타내었다. 이러한 원인은 살수여상조에 오수를 1시간 간격으로 살수하여 수분이 많은 환경을 조성하고 또한 살수여상조의 습기가 외부로 원활하게 방출되지 않기 때문에 상대습도가 높아진 것으로 사료되어 이 부분에 대한 보완연구가 실시될 계획이다.

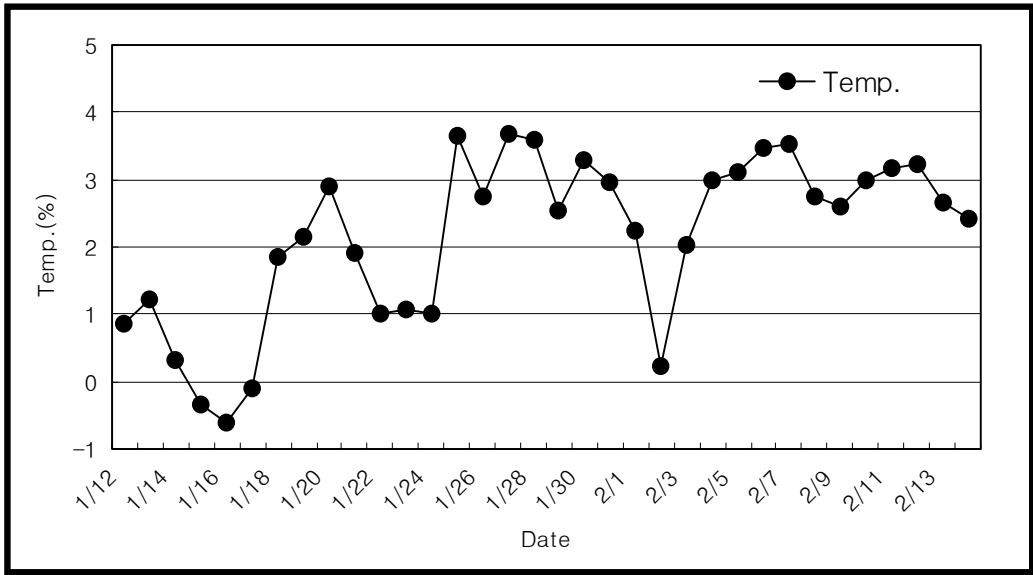


Fig. 2-46. 생활오수처리용 목편살수여상 시설물의 내부온도 변화.

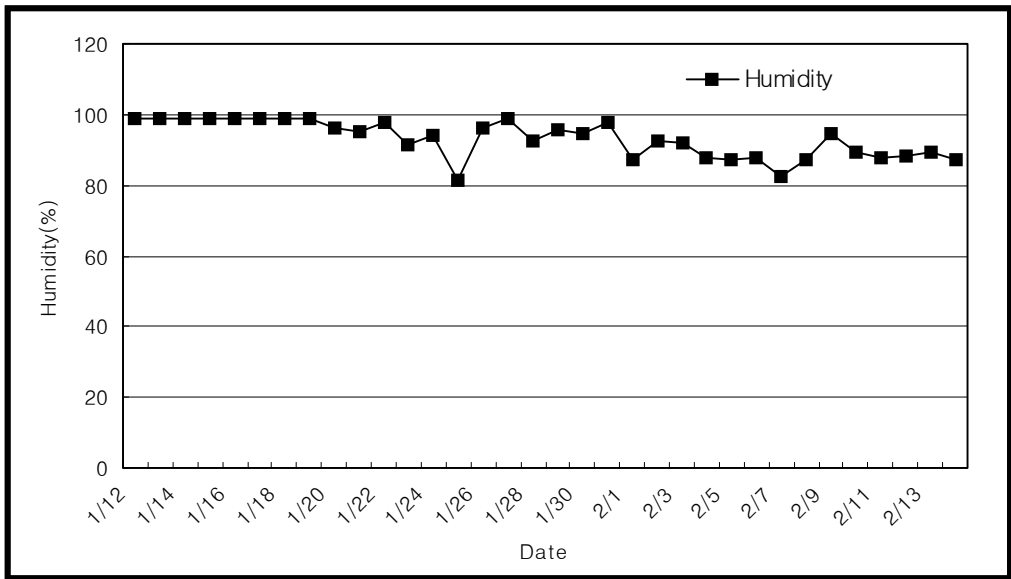


Fig. 2-47. 목편살수여상 시설물의 상대습도의 경시적 변화.

1월 중순 목편살수여상 시스템 시설물 내부 온도와 상대습도의 일중 변화는 그림 2-48, 2-49와 같다. 목편살수여상조 시설물의 내부온도는 주야간 변동폭이 크지 않았다. 살수여상조 내부온도의 일중변화는 자정에 0.5℃에서부터 계속 하강하여 오전 8시에 -1℃에 도달하였다. 오전 8시 이후 상승하여 오후 2시에서 4시 사이 최고온도에 도달하였다. 시설물의 내부습도는 주야간 변화의 폭이 없이 거의 100% 부근에 도달되었다.

2월 중순 농어촌 생활오수처리 시설물 내부 온도는 1월과 유사한 일중변화를 나타내었다. 목편살수여상조 시설물 내부의 상대습도의 일중 변화는 0시부터 오전 10시까지 95% 이상의 습도 함량을 유지하였다. 오전 10시 이후 수분함량이 낮아져 정오에서 오후 2시 사이에 60%의 수분함량을 나타내었다. 오후 3시부터 습도가 높아져 저녁 8시 이후 95% 이상을 유지하였다. 목편살수여상조 내부시설물의 상대습도가 95% 이상으로 높아서 습도 저하를 위한 시설물의 배기장치에 대한 보완 연구가 필요한 실정이다.

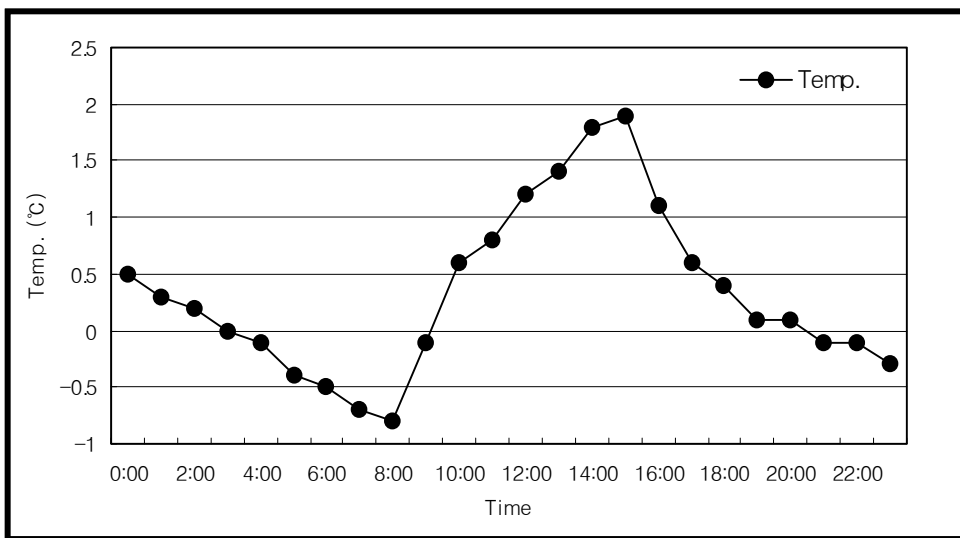


Fig. 2-48. 1월 중순 목편살수여상 처리시설물 내부온도의 일중 변화.

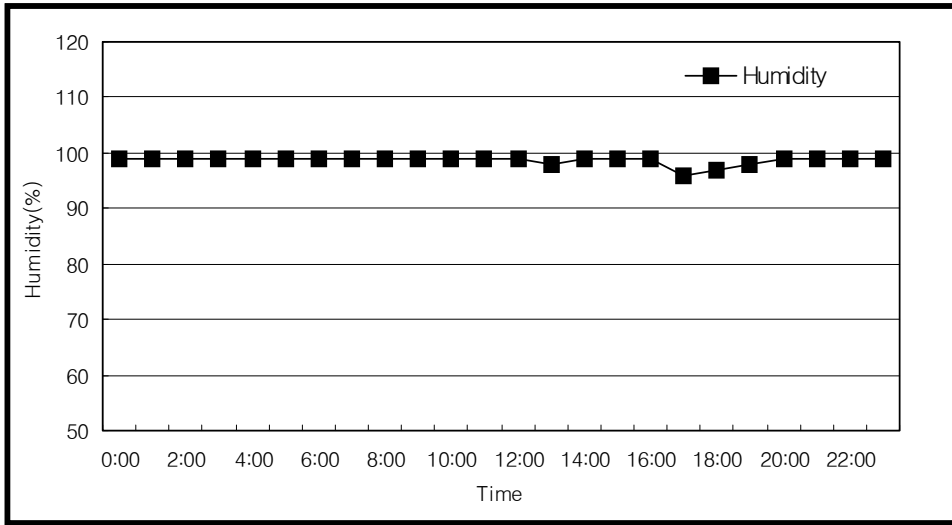


Fig. 2-49. 1월 중순 목편살수여상 처리시설물 내부 상대습도의 일중 변화.

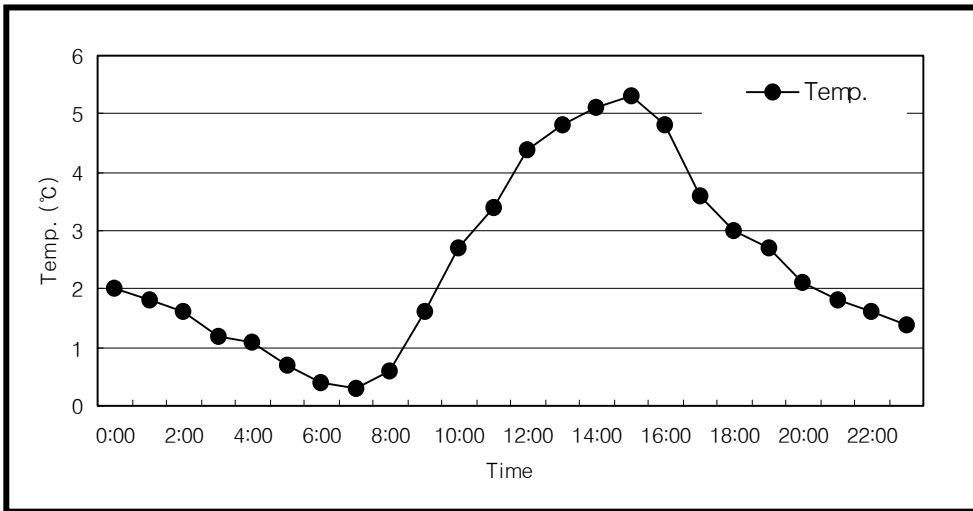


Fig. 2-50. 2월 중순 목편살수여상 처리시설물 내부 온도의 일중 변화.



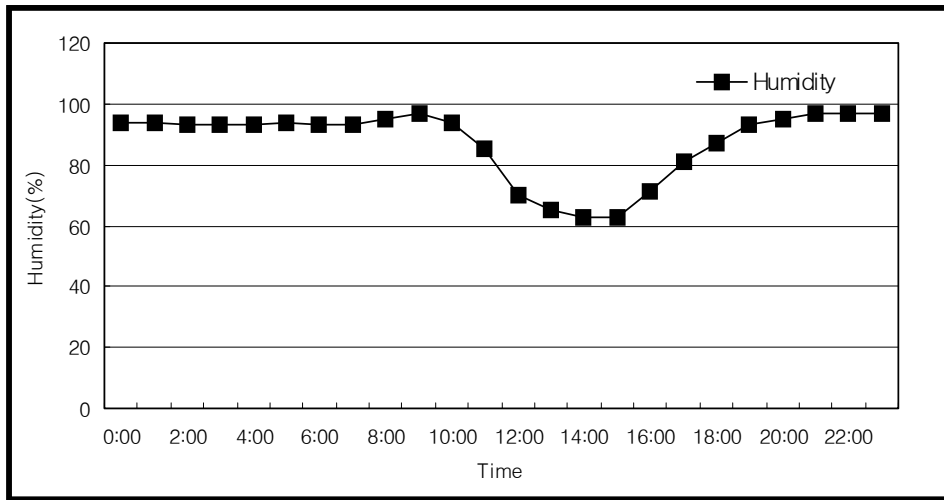
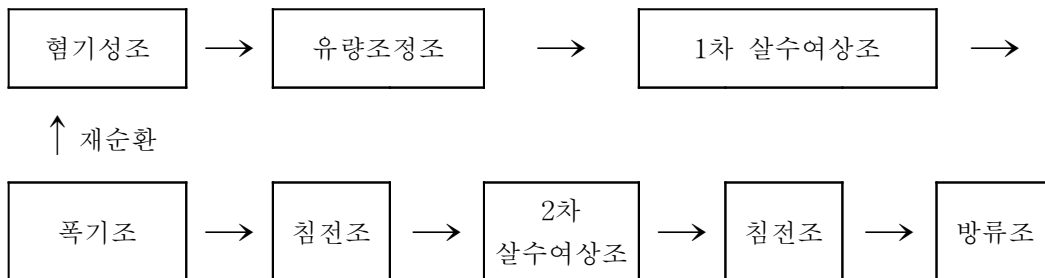


Fig. 2-51. 2월 중순 목편살수여상 처리시설물 상대습도의 일중 변화.

#### 4. 고도처리를 위한 공정 보완 연구

질소, 인의 처리 효율을 높이기 위하여 process flow diagram을 조정하여 실험하였다. 새로운 처리 공정은 다음과 같다.



질소의 처리 효율 증대를 기대하기 위하여 1차 살수여상조에 폭기조를 설치하고 폭기한 오수를 협기성조로 재순환하는 공정으로 운전하였다.

### 가. pH

그림 2-52에서와 같이 연중 시기별로 공정에 따른 pH의 경시적 변화를 보면 유입수의 pH는 7.2~8.1 range 사이에 있으며, 유량조정조에서는 pH 6.6~7.8 range, 목편칩 살수여상조는 pH 6.6~7.5 range, 유출수는 pH 6.5~7.4 range 사이에 있으므로 미생물 성장에 있어 최적 pH 6.5~7.5 range에 있는 것으로 보아 적절하게 오수처리가 되고 있음을 알 수 있다. 또한 질산화과정에 의한 약간의 pH 값의 변동으로 유입수보다 방류수의 pH값이 낮아졌다. 연중 pH값은 시기별이나 공정별 큰 차이를 보이고 있지 않음을 알 수 있었다.

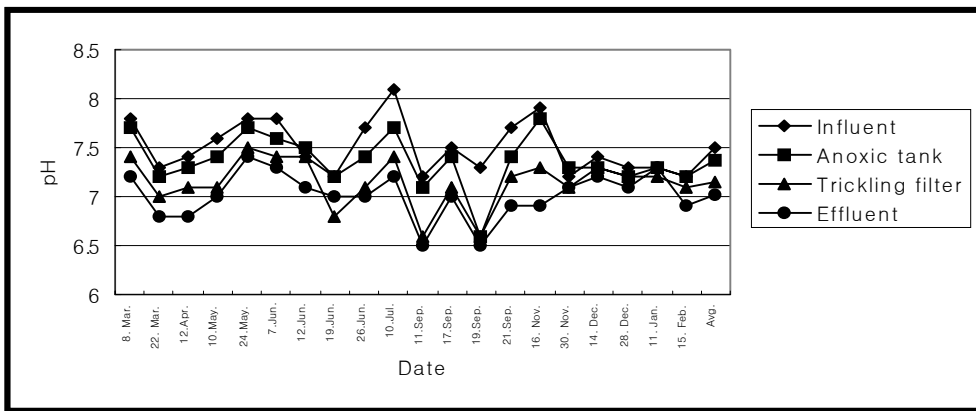


Fig. 2-52. Changes of pH with time by the woodchip trickling filter system.

### 나. 수온(Temperature)

그림 2-53에서와 같이 연중 시기별로 공정에 따른 수온의 변화를 보면 유입수의 수온은 10.7~23.5°C 범위로 유출수 수온과 큰 차이를 보이고 있지 않다. 시기별로는 외부 대기의 온도에 따라 본 처리시스템의 온도에도 상당한 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 본 처리시스템에서 공정별 수온은 미생물이 생육가능한 온도인 -10~75°C 범위에 있으므로 겨울철에도 미생물이 부착 성장하기에 적당한 조건임을 알 수 있었다.

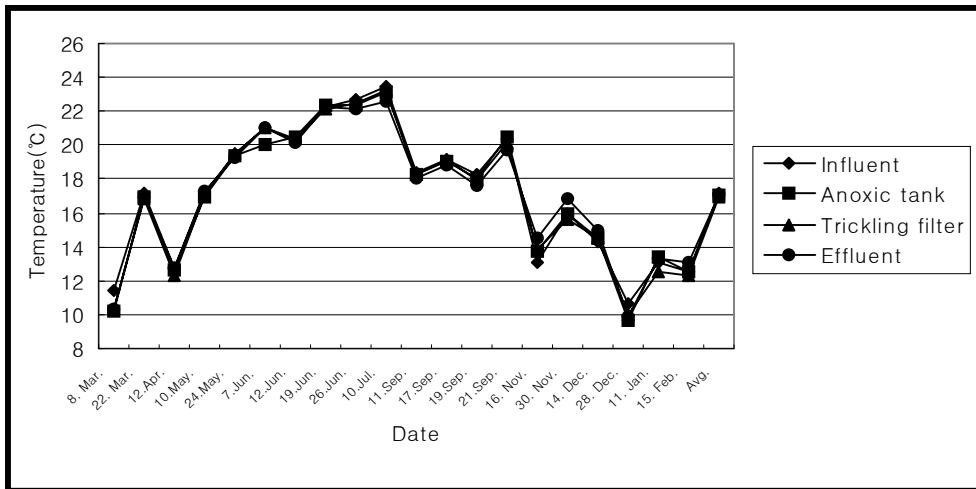


Fig. 2-53. Changes of temperature with time by the woodchip trickling filter system.

#### 다. BOD<sub>5</sub> (Biochemical Oxygen Demand) 처리

그림 2-54와 같이 실증 plant 오수정화 처리시설의 연중 시기별로 공정에 따른 BOD의 경시적 변화를 보면 유입수의 BOD 농도는 41.5~262.5mg/l 범위로 유입수의 BOD 값은 시기적으로 변이가 컸다. 그러나 혐기성부패조를 거친후 유량조정조의 BOD는 25.7~78.0mg/l를 나타내어 안정적인 수준이 되었다. 목편칩 살수여상조를 거치면서 방류수 수질은 평균 BOD 6mg/l 이하의 처리가 가능하였으며, 처리효율은 96%를 나타내어 높은 BOD 제거율을 나타내었다. 그러나 본 정화시스템은 유입수의 농도가 낮은 11월 16일에는 유량조정조에서는 약 58%의 처리효율로 안정적이었으나 목편칩 정화시스템을 거친 후에도 방류수 처리효율이 약 70%로 처리효율이 낮은 것으로 보아 유입수의 농도가 50mg/l 경우는 처리가 잘 되지 않음을 알 수 있다.

본 목편칩 살수여상 정화시스템은 생활오수를 농업용수기준에 적합한 생물학적 산소 요구량(BOD)이 8mg/l 정화하므로 농업용수로 재활용할 수 있는 중수도시스템으로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

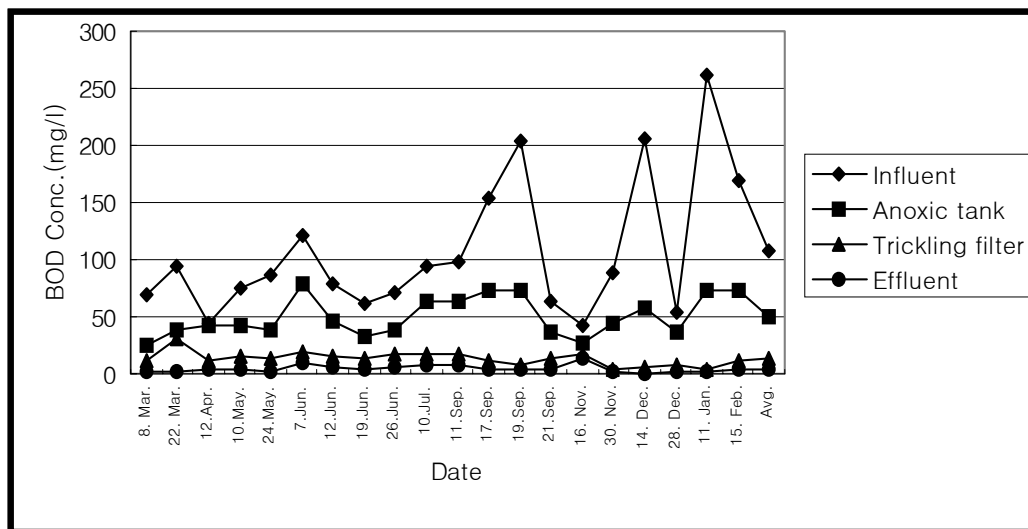


Fig. 2-54. Changes of BOD removal with time by the woodchip trickling filter system.

Table 2-20. BOD removal efficiency with time

Process	8. Mar.	22.Mar.	12.Apr.	10.May.	24.May.	7.Jun.	12.Jun.	19.Jun.	26.Jun.	10.Jul.
Anoxic tank	62.6	58.8	4.5	44.0	56.3	35.5	41.8	48.4	47.2	31.9
Trickling filter	82.0	67.3	75.0	80.0	85.1	84.3	81.0	77.4	76.4	80.9
Effluent	98.3	97.5	93.2	96.0	97.7	92.6	92.4	93.5	93.1	92.6
Process	11.Sep.	17.Sep.	19.Sep.	21.Sep.	16. Nov.	30. Nov.	14. Dec.	28. Dec.	11. Jan.	15. Feb.
Anoxic tank	35.7	51.9	64.2	43.8	33.0	50.6	72.0	30.2	72.5	56.1
Trickling filter	82.7	92.9	96.1	79.7	56.6	95.9	96.8	84.4	98.2	93.3
Effluent	91.8	98.1	98.5	93.8	67.5	98.9	99.6	97.8	99.2	97.9

#### 라. COD<sub>cr</sub> (Chemical Oxygen Demand) 처리

그림 2-55과 같이 COD의 연중 시기별로 공정에 따른 경시적 변화를 보면 유입수의 BOD의 농도변화에 따라 COD의 농도변화도 같이 변화하였으며, 유입수의 농도는 88.

9~515mg/l로 편차가 매우 심하였다. 부패조를 거친 오수의 COD 값은 53.0~183.6mg/l 범위로 비교적 높은 수치를 나타내어 분해되지 않는 난분해성 유기물이 일부 분정화되지 않는 것으로 나타났다. 또, 목편칩 살수여상조를 거쳐 최종 방류수의 COD 값은 10~80mg/l를 나타내어 평균처리효율이 약 83%로서 본 시스템의 경우 COD 처리효율이 BOD 처리효율에 비해 높은 편이 아니었다. 이것은 여재인 목편칩에서 리그닌의 분해로 생성된 휴민성의 난분해성 물질이 유출되는 것이 현미경 관찰 결과로 알 수 있었다. 공정별 처리효율은 유량조정조, 목편칩 살수여상조 모두 COD농도가 높고, 혐기성부패조에서 처리효율이 낮으면 방류수의 처리효율도 낮음을 알 수 있다. 본 실험에서 pilot plant원수의 COD의 처리효율은 BOD보다 낮은 결과를 나타내었으나, 하수 방류 법적기준 40mg/l 비교해 볼 때 본 실증플랜트 방류수의 COD 농도가 평균 37.8mg/l로 법적기준을 상회하고 있다.

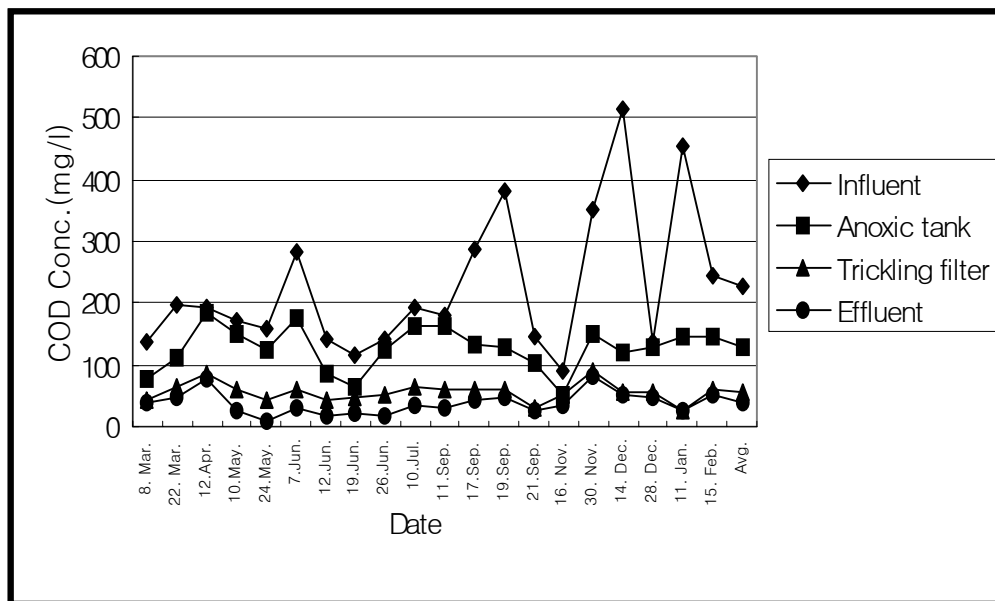


Fig. 2-55. Changes of COD removal with time by the woodchip trickling filter system.

Table 2-21. COD removal efficiency with time

Process	8. Mar.	22.Mar.	12.Apr.	10.May.	24.May.	7.Jun.	12.Jun.	19.Jun.	26.Jun.	10.Jul.
Anoxic tank	44.0	42.2	4.5	12.2	22.6	38.6	40.6	45.7	11.9	14.9
Trickling filter	68.1	67.4	55.3	64.0	73.6	79.6	69.9	60.3	63.6	66.5
Effluent	71.0	76.4	59.2	84.9	93.7	90.2	88.8	80.2	86.7	82.0
Process	11.Sep.	17.Sep.	19.Sep.	21.Sep.	16. Nov.	30. Nov.	14. Dec.	28. Dec.	11. Jan.	15. Feb.
Anoxic tank	11.5	53.8	66.8	30.6	40.4	58.0	76.7	4.1	67.8	40.1
Trickling filter	65.9	79.4	84.8	78.2	41.5	74.4	89.4	58.9	94.1	75.8
Effluent	84.6	85.0	88.0	81.6	61.6	77.3	90.4	64.9	94.3	78.3

#### 마. SS (Suspended Solid) 처리

그림 2-56에서와 같이 유입수의 연중시기별 공정에 따른 SS 농도는 20~140mg/ℓ 있었다. SS와 BOD와 관계를 살펴보면, SS 농도가 높으면 BOD 역시 높은 것을 알 수 있고 이는 부유물질을 분해하기 위한 DO의 소비량이 증가함을 보여준다. SS의 변화는 원수와 유량조정조에서는 시기별로 큰 차이를 나타내었으나 혐기성부패조를 거친 후에는 SS 농도가 최고 60mg/ℓ로 살수여상처리에 적합한 SS농도를 유지하였다. 또한 방류수에서는 SS 농도가 0~18mg/ℓ 범위를 나타내어 본 처리시스템은 SS처리에 있어서 20mg/ℓ 이하의 안정적인 처리가 이루어졌다. 시기별 SS 평균처리효율은 유량조정조 60.5%, 목편칩 살수여상조 86.1%, 방류수 94.6%로 높은 처리효율을 나타냈다.

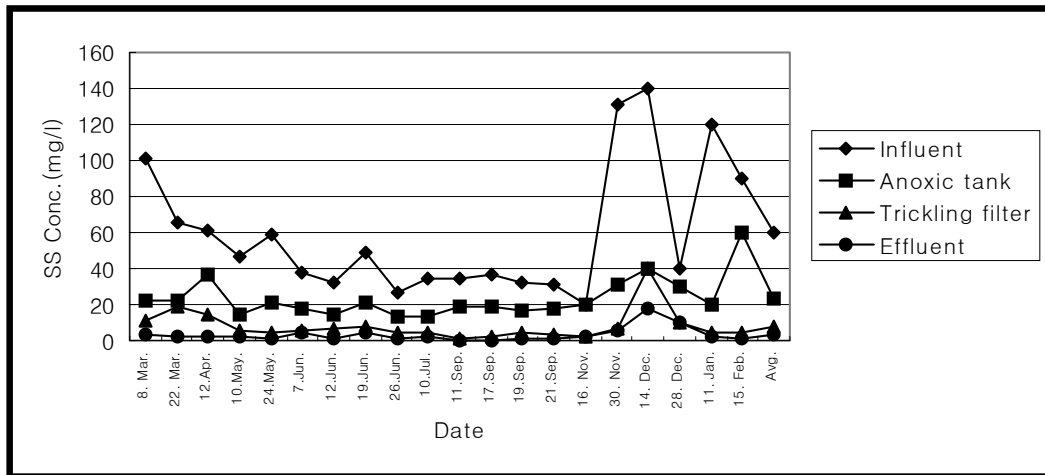


Fig. 2-56. Changes of SS removal with time by the woodchip trickling filter system.

Table 2-22. SS removal efficiency with time

Process	8. Mar.	22.Mar.	12.Apr.	10.May.	24.May.	7.Jun.	12.Jun.	19.Jun.	26.Jun.	10.Jul.
Anoxic tank	78.2	66.7	39.3	68.1	64.4	52.6	53.1	57.1	51.9	62.9
Trickling filter	88.6	72.0	75.9	87.2	93.2	84.2	78.1	83.7	81.5	85.7
Effluent	96.2	97.0	96.7	95.7	98.3	89.5	96.9	91.8	96.3	94.3
Process	11.Sep.	17.Sep.	19.Sep.	21.Sep.	16. Nov.	30. Nov.	14. Dec.	28. Dec.	11. Jan.	15. Feb.
Anoxic tank	45.7	48.6	46.9	41.9	0.0	76.3	71.4	25.0	83.3	33.3
Trickling filter	97.1	94.6	84.4	90.3	90.0	94.7	71.4	75.0	95.8	94.4
Effluent	100	100	96.9	96.8	90.0	95.4	87.1	75.0	98.3	98.3

#### 바. 질소(T-N, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ , $\text{NO}_2^-\text{-N}$ , $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ) 처리

그림 2-57과 같이 연중 시기별 암모니아성질소 함량은 처리공정을 거치면서 뚜렷이 낮아졌는데 이러한 원인은 목편칩 살수여상 공정을 거치면서 질산화 반응이 잘 일어나고 있음을 알 수 있다. 목편칩 살수여상 정화조의  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  농도가 높아져 오수 속의

암모니아는 질산화 과정을 거쳐 질산성 질소로 변화되어 정화단계를 거치면서 높아져 질산화 반응은 잘 일어남을 알 수 있다.

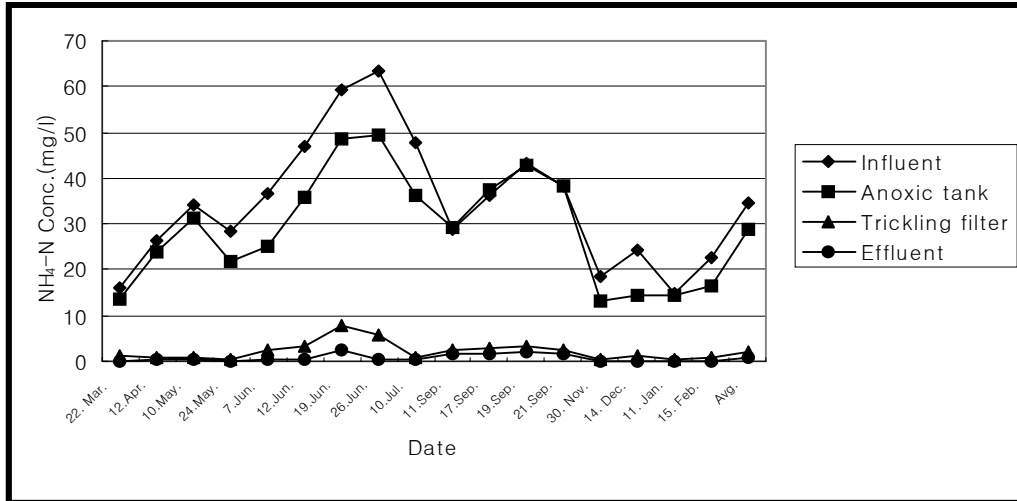


Fig. 2-57. Changes of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N removal with time by the woodchip trickling filter system.

Table 2-23. NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N removal efficiency with time

Process	8. Mar.	22.Mar.	12.Apr.	10.May.	24.May.	7.Jun.	12.Jun.	19.Jun.	26.Jun.
Anoxic tank	15.7	9.5	8.5	23.3	31.3	23.7	18.2	22.0	23.7
Trickling filter	93.1	96.6	98.0	98.9	93.8	93.2	86.7	91.0	98.3
Effluent	99.4	98.9	98.8	99.6	98.6	98.7	96.1	99.2	99.2
Process	10.Jul.	17.Sep.	19.Sep.	21.Sep.	30. Nov.	14. Dec.	11. Jan.	15. Feb.	
Anoxic tank	-2.8	-2.9	1.0	0.7	28.6	40.2	3.3	26.5	
Trickling filter	91.0	91.7	92.7	93.9	98.4	94.6	98.0	95.6	
Effluent	93.9	95.4	95.4	95.4	99.5	99.6	99.3	99.1	

그림 2-58, 2-59에서와 같이 연중 시기별 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 변화를 나타내고 있다. 목편칩 살수여상조 처리를 거치면서 유입수의 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N보다 유출수의 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N이 증가함을 알 수 있다. 본 시스템에서는 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N가 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N의 형태로 대부분 질산화되었기 때문에 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N의 형태로는 미량 존재함을 알 수 있다. NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N의 경우



1월과 2월에도 탈질화가 일어남을 알 수 있다.  $\text{NO}_2^-$ -N이 매우 낮으면 오히려  $\text{NO}_3^-$ -N의 축적이 더 높음을 알 수 있다. 본 정화시스템의 탈질화는  $\text{NO}_2^-$ -N의 축적이 높으면  $\text{NO}_3^-$ -N의 축적이 낮고,  $\text{NO}_2^-$ -N의 축적이 낮으면  $\text{NO}_3^-$ -N의 축적이 높음을 알 수 있다.  $\text{NO}_3^-$ -N의 농도도 원수와 유량조정조에서는  $5\text{mg}/\ell$  이하로 낮았으나 2차 목편칩 살수여상조를 거치면서 산소와 접촉되어 방류수의  $\text{NO}_3^-$ -N의 농도는  $2.4\sim 14.5\text{mg}/\ell$ 로 높아졌다. 이러한 결과는 암모니아성 질소 성분이 호기성 조건에서 독립 영양성 질산화 미생물에 의해 아질산성 질소와 질산성 질소로 산화되기 때문에 본 목편칩 살수여상정화시스템이 질소 정화를 위한 질산화 반응은 매우 활발하게 진행됨을 확인할 수 있었으며, 미생물 분포와 관련하여 고려하였을 때 heterotrophs의 증가로 유기물 제거속도는 증가하고, nitrifier의 개체수도 증가하여 반응기 전체의 활성도가 증가함으로서 보다 많은 질산화를 수행할 수 있었던 것으로 판단된다.

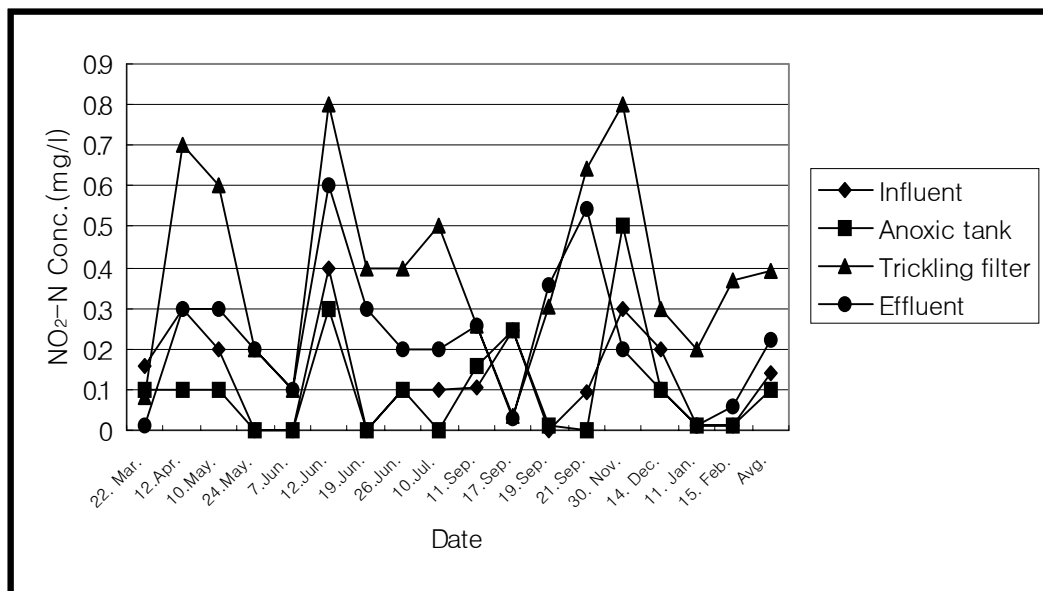


Fig. 2-58. Changes of  $\text{NO}_2^-$ -N removal with time by the woodchip trickling filter system.

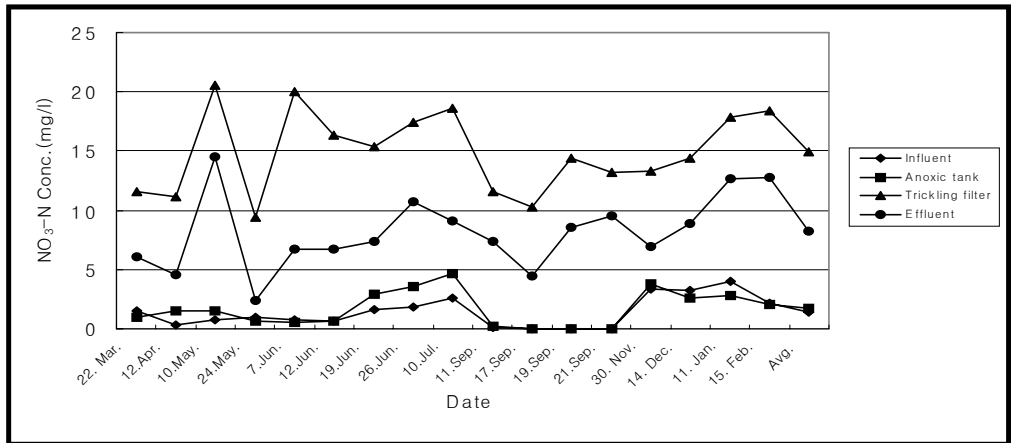


Fig. 2-59. Changes of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N removal with time by the woodchip trickling filter system.

그림 2-60은 연중 시기별 총질소(T-N ; Total Nitrogen)를 나타내고 있다. 본 처리 시스템에서 총질소의 처리는 질산화 반응이 잘 일어나 질소처리효율이 높을 것으로 기대하였으나 최종 방류수의 처리효율은 54%~83%로 변화가 심하였다. 이러한 원인은 본 처리 시스템에서 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 이온이 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N으로의 질산화 과정(nitrification)은 원활하게 일어나지만, 혐기성 조건에서 일어나는 탈질소화(denitrification)과정이 잘 일어나지 않기 때문으로 판단된다.

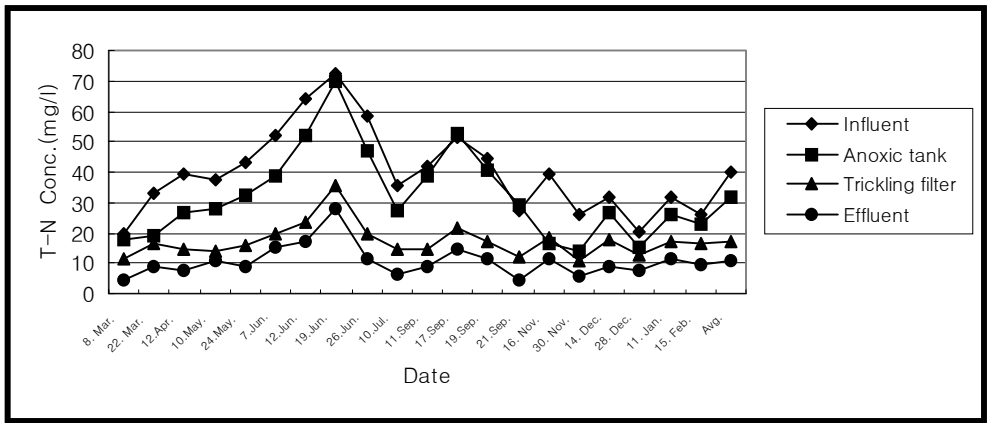


Fig. 2-60. Changes of T-N removal with time by the woodchip trickling filter system.

Table 2-24. T-N removal efficiency with time

Process	8. Mar.	22.Mar.	12.Apr.	10.May.	24.May.	7.Jun.	12.Jun.	19.Jun.	26.Jun.	10.Jul.
Anoxic tank	12.1	42.6	32.7	25.6	25.1	25.2	18.4	4.1	19.4	22.6
Trickling filter	48.7	54.5	67.2	68.2	68.6	67.2	68.5	55.8	71.4	64.6
Effluent	68.8	70.1	80.4	71.1	80.7	73.0	77.2	66.3	83.5	81.2

Process	11.Sep.	17.Sep.	19.Sep.	21.Sep.	16. Nov.	30. Nov.	14. Dec.	28. Dec.	11. Jan.	15. Feb.
Anoxic tank	8.3	-1.7	9.2	-7.3	57.5	45.3	16.4	26.7	17.8	11.5
Trickling filter	70.6	62.9	66.7	60.2	58.2	64.3	48.5	41.9	50.1	40.8
Effluent	80.1	74.0	74.8	78.7	71.0	72.8	68.7	54.2	60.5	57.7

사. 총인(T-P) 처리

그림 2-61은 연중 시기별 총인(T-P ; Total Phosphorus)의 농도를 나타내고 있다. 본 정화시스템의 경우 인의 처리효율이 15~70%로 낮은 효율을 나타냈으며, 인의 제거 효율은 아질산염과 질산염의 농도와 상당히 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다. 이러한 원인은 혐기성 상태에서 미생물의 대사활동에 의한 인의 방출이 적게 발생하며, 또한 침전지내의 슬러지가 부상하여 이로 인해 인이 다시 배출되는 결과가 원인인 것으로 판단되며, Free ammonia, 아질산염 및 질산염과 같은 질소 성분이 인 제거 미생물에 영향을 주기 때문으로 판단된다.

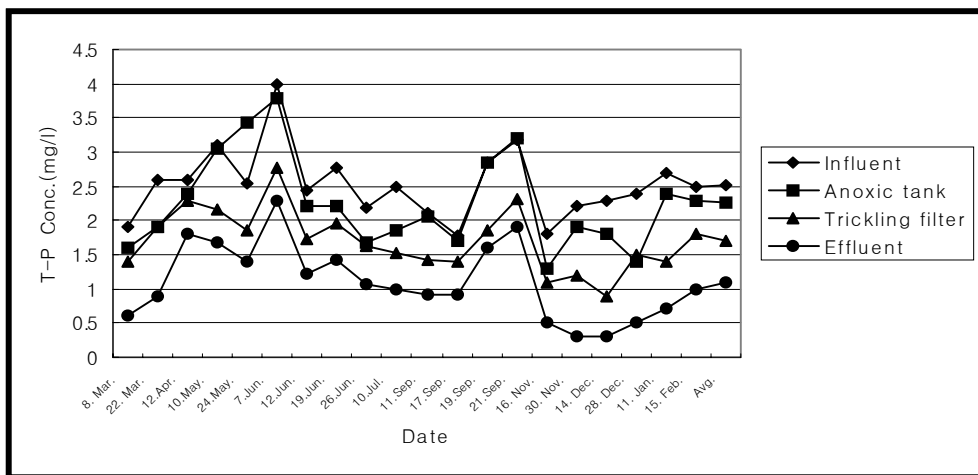


Fig. 2-61. Changes of T-P removal with time by the woodchip trickling filter system.

Table 2-25. T-P removal efficiency with time

Process	8. Mar.	22.Mar.	12.Apr.	10.May.	24.May.	7.Jun.	12.Jun.	19.Jun.	26.Jun.	10.Jul.
Anoxic tank	15.8	26.9	7.7	1.9	-34.6	5.0	9.8	20.5	22.9	25.4
Trickling filter	36.3	36.9	21.5	40.3	36.8	41.0	39.0	39.5	35.2	48.3
Effluent	66.4	69.0	34.4	51.9	48.1	52.0	52.5	53.2	52.0	63.4
Process	11.Sep.	17.Sep.	19.Sep.	21.Sep.	16. Nov.	30. Nov.	14. Dec.	28. Dec.	11. Jan.	15. Feb.
Anoxic tank	2.3	4.7	0.0	-0.8	27.8	13.6	21.7	41.7	11.1	8.0
Trickling filter	41.8	31.2	45.1	36.9	48.9	55.5	70.9	47.5	58.1	38.0
Effluent	56.1	46.0	56.1	46.4	69.0	87.2	88.6	81.5	78.3	63.0

아. ORP 특성

목편칩 살수여상 system을 거친 처리수의 ORP 특성을 표 2-26 및 그림 2-62에 나타내었다. 원수의 ORP는 -204.3 ~ -79.2(평균 -138.4)mV이었고 처리수의 ORP는 36.4 ~ 347.3(평균 159.4)mV로 질산화가 잘 일어났음을 알 수 있다.

Table 2-26. ORP 특성

구 분	ORP(mV)	
	원수	처리수
ORP(mV)	-204.3 ~ -79.2 * (-138.4) **	36.4 ~ 347.3 * (159.4) **

\* 최저값~최고값,      \*\* ( )는 산술 평균 값

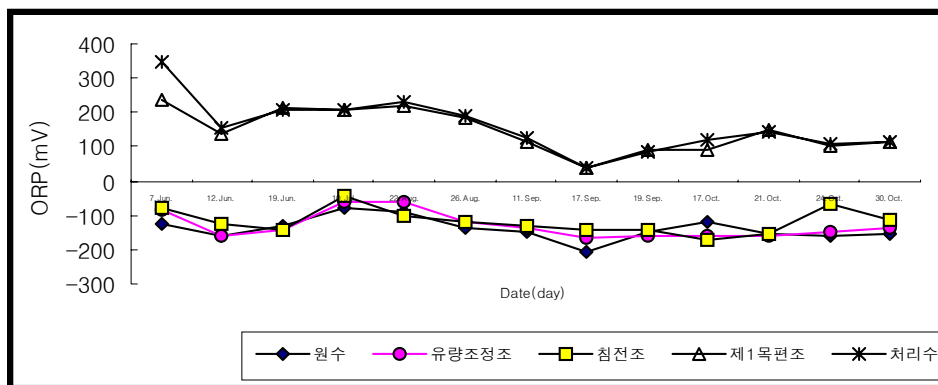


Fig. 2-62. Changes of ORP

## 5. 공정별 처리효율

### 가. 공정별 처리효율

#### 1) 공정별 BOD 처리효율

목편칩 살수여상 시스템의 공정별 BOD 처리효율은 그림 2-63과 같다. 혐기성부패조에서 BOD 제거효율이 49.8%로 비교적 높았다. 이러한 이유는 부패조 공간을 4개로 분할하여 각 실마다 T 배관을 설치하여 수위대비 약 2/3 지점의 오수만이 후위로 이송됨으로서 BOD 처리효율을 높인 것으로 판단된다. 또한, 1차 및 2차 목편칩 살수여상조의 BOD 처리효율이 각각 85.2%, 96.0%에 도달하여 목편칩 살수여상 정화시스템에서의 BOD 제거효율은 매우 높았다. 목편칩 살수여상 정화시스템 전 공정을 통한 BOD 제거효율이 방류수 수질기준 96.1%로 관찰되었다.

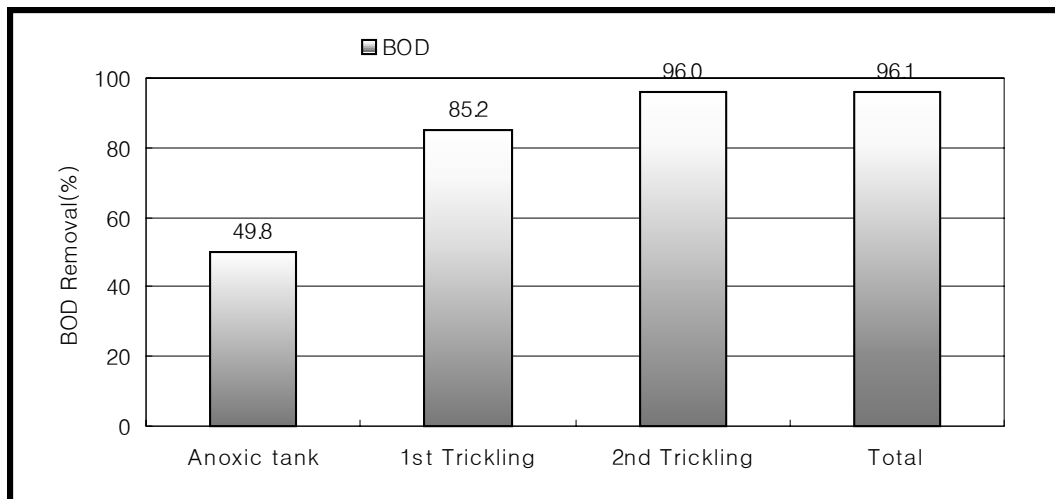


Fig. 2-63. BOD removal rate at each process by the woodchip trickling filter system.

### 2) 공정별 COD 처리효율

목편칩 살수여상 시스템 처리공정별 COD 처리효율은 그림 2-64와 같다. 혐기성 부패조의 COD 처리효율은 41.9%이었다. 혐기성 부패조의 COD 제거효율은 BOD에 비하여 높지 않았다. 또한 1차 살수여상조의 COD 처리효율은 71%, 2차 살수여상조에서는 75.2%, 전체효율은 83.3%였다. 혐기성 부패조에서 체류한 오수를 1차 살수여상처리조에 처리시에는 COD 처리효율 50% 수준을 유지하지만 2차 목편칩 살수여상조에서는 1차 살수여상조의 집수정에서의 체류시간이 짧아 2차 살수여상조의 COD 처리효율이 높지 않은 것으로 판단된다.

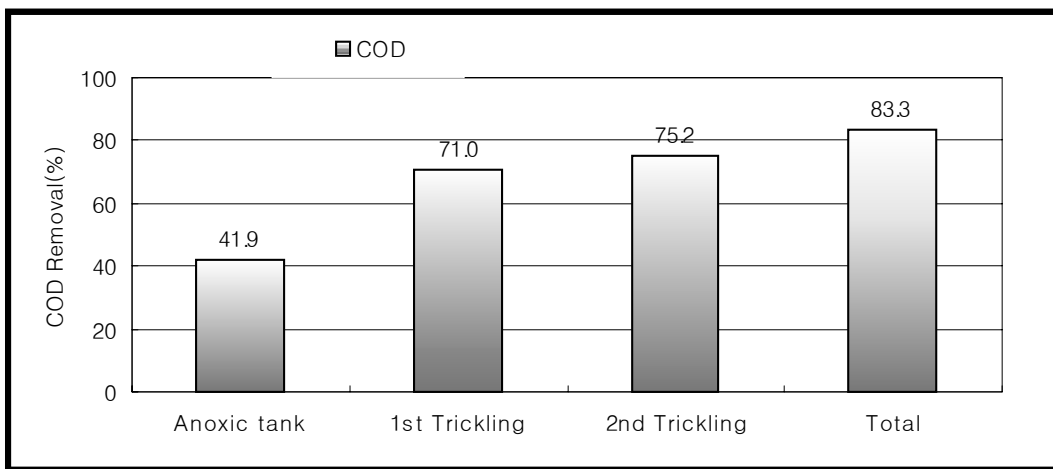


Fig. 2-64. COD removal rate at each process by the woodchip trickling filter system.

### 3) 공정별 SS 처리효율

목편칩 살수여상 시스템의 공정별 SS 처리효율은 그림 2-65와 같다. 혐기성 부패조의 SS 처리효율은 55.5%로 높은 처리효율을 나타내었다. 1차 목편칩 살수여상조의 SS 처리효율은 81.8%를 나타내었으며, 2차 살수여상조는 91.3% 나타내었다. 목편 살수여상 시스템 전 공정을 통한 SS 처리효율은 94.6%이었다. 따라서 본 시스템은 SS 처리효율은 매우 높은 것으로 판단된다.

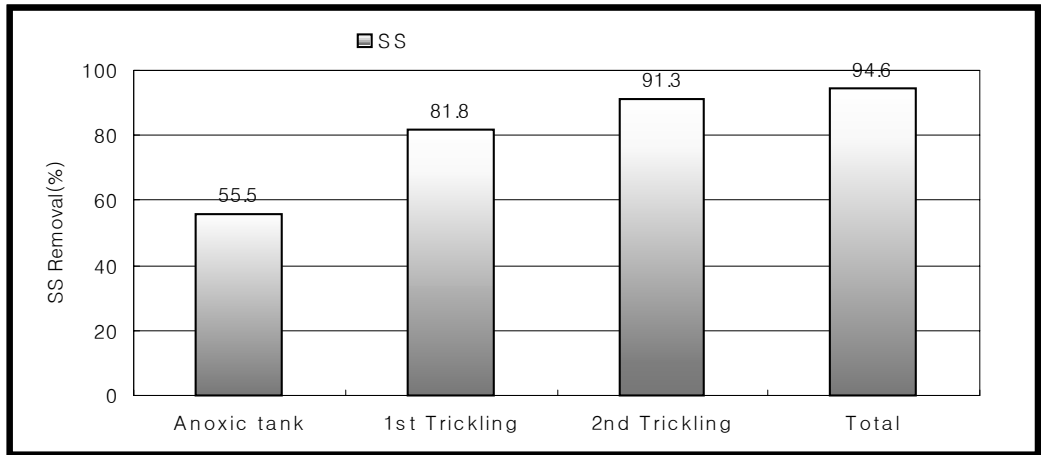


Fig. 2-65. SS removal rate at each process by the woodchip trickling filter system.

#### 4) 공정별 T-N 처리효율

목편칩 살수여상 시스템의 공정별 전질소 처리효율은 그림 2-66과 같다. 혐기성부패조의 T-N 처리효율은 27.3%를 나타내었다. 1차 목편칩 살수여상조의 T-N 처리효율은 61.4%를 나타내었다. 1차 목편칩 살수여상조에서는 O<sub>2</sub>와 접촉에 의하여 질산화 반응의 촉진되고 침전조를 거치면서 질소처리효율이 상승되었다.

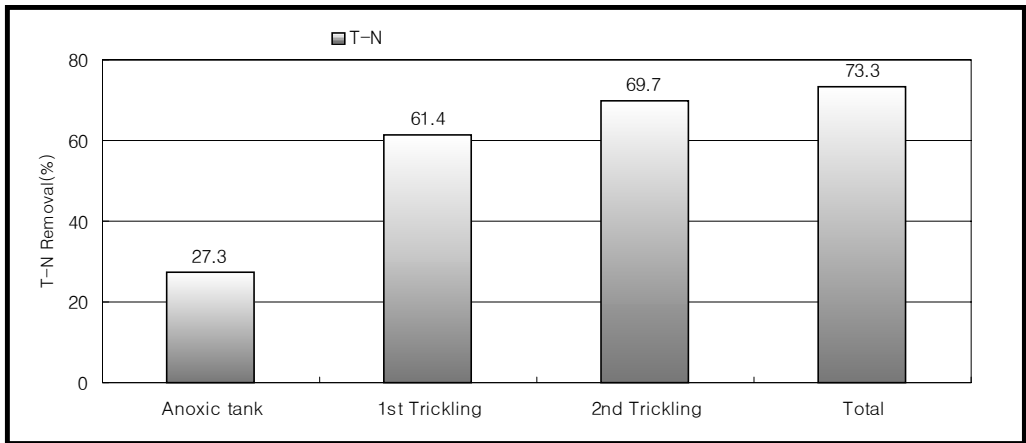


Fig. 2-66. T-N removal rate at each process by the woodchip trickling filter system.

5) 공정별 T-P 처리효율

공정별 총인 처리효율은 그림 2-67과 같다. 인산의 처리효율은 혐기성 부패조에서 17.1%, 1차 목편칩 살수여상조에서 54%, 2차 목편칩 살수여상조에서 모래여과조를 거친과정에서 57.3%에 도달되었다. T-P의 전체공정 중 처리효율이 60.0%이었다.

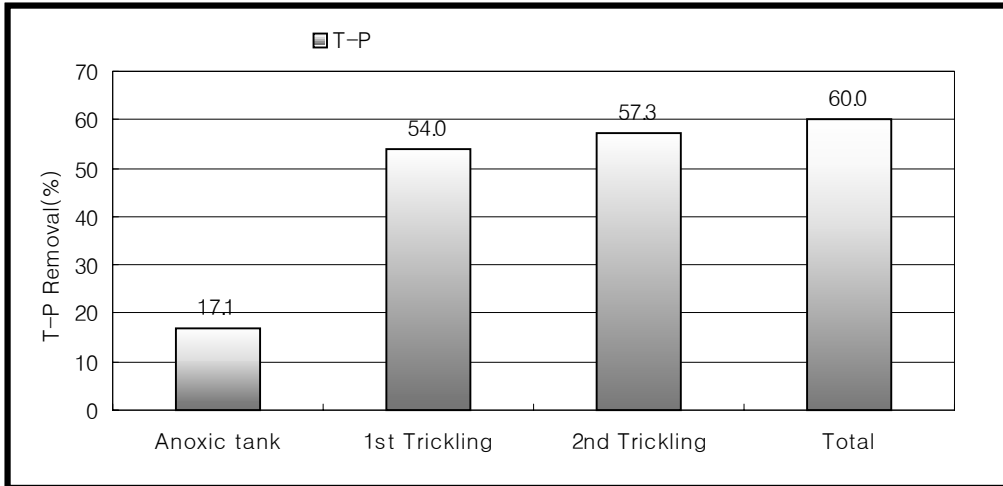


Fig. 2-67. T-P removal rate at each process by the woodchip trickling filter system.

나. BOD<sub>5</sub>/COD<sub>cr</sub> 비율

그림 2-68은 본 처리시스템의 공정별 BOD<sub>5</sub>/COD<sub>cr</sub>의 비율을 나타내었다. 본 목편칩 살수여상 시스템은 BOD의 처리효율은 매우 높으나 COD의 처리효율은 낮은 경향을 나타내었다. 원수의 BOD/COD 비율은 0.4~0.7의 범위를 나타내었으며 처리공정을 거치면 BOD/COD 비율이 감소하는 경향을 나타내었으며 최종방류수의 BOD/COD 0.2이하로 낮아져 처리공정을 거치면서 BOD 제거율보다 COD 제거율이 낮아졌다.

이러한 것은 생활오수에 포함된 난분해성 유기물들이 체류시간이 짧아 살수여상 장치 통하여 효율적으로 분해되고 있지 않은 원인도 있지만 살수여상 여재인 목편칩에 난분해성 물질이 용출되거나 목재 고유의 색도가 유출되어 COD 함량을 상승시켰을 것으로 생각된다. 따라서 목편칩 여재의 색도를 여재 제조과정에서 제거된 목편을 사용하거나, 색도를 제거하는 연구를 수행하였다.



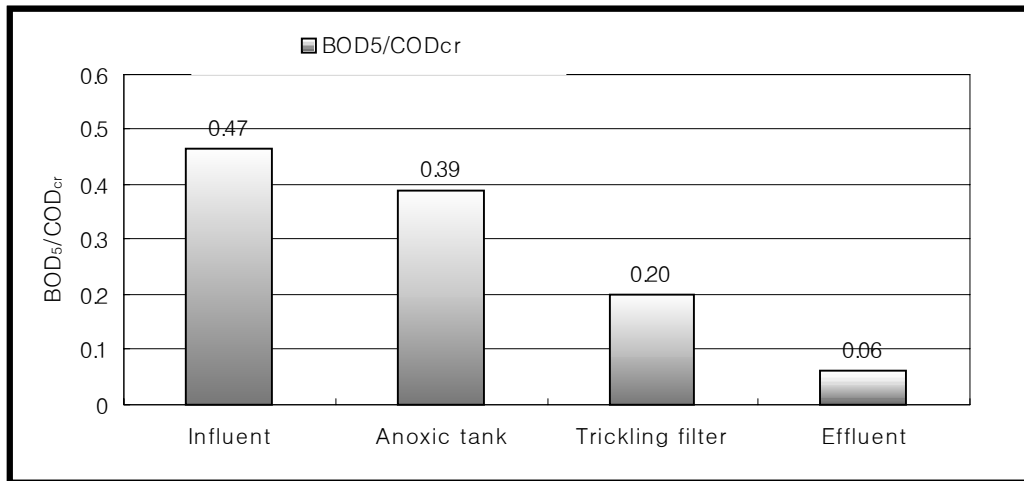


Fig. 2-68. BOD<sub>5</sub>/COD<sub>cr</sub> at each process by the woodchip trickling filter system.

#### 다. 평균 처리효율

본 목편칩 살수여상 시스템 연구 기간 중의 수질항목별 평균 처리효율은 표 2-27과 같다.

유입수의 평균수질은 BOD 106.9mg/ℓ, 부유물질(SS)가 59.6mg/ℓ, COD 226.5mg/ℓ, 질소(T-N) 39.8mg/ℓ, 인(T-P) 2.5mg/ℓ 이었다. 생물학적으로 질소 및 인을 처리하는 시스템에서 질소를 효율적으로 제거하기 위해서 유입수내의 COD/T-N 비율이 5 이상 존재하여야 하는 것으로 알려져 있는데 실험에서 생활오수 유입수의 COD/T-N 비율이 5.7로 질소에 비하여 유기물이 많이 존재하고 있는 것으로 나타났다. 또한 원수의 BOD/T-N의 비율은 2.7이었다. 방류수의 평균수질은 BOD 4.1mg/ℓ COD 37.8mg/ℓ, SS 3.2mg/ℓ, T-N 14.6mg/ℓ, T-P 1.5mg/ℓ로서 BOD 96.1%, COD 83.3%, SS 94.6%, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 97.9%, T-N 73.3%, T-P 60%의 평균 처리효율을 나타내었다.

Table 2-27. Removal rate of woodchip trickling filter system

Constituents	Influent			Effluent			Average removal rate(%)
	max.	mean	min.	max.	mean	min.	
pH	8.1	7.5	7.2	7.4	7.0	6.5	-
Temp.(°C)	23.5	17.2	10.7	22.6	17.1	9.9	-
BOD <sub>5</sub> (mg/ℓ)	262.5	106.9	41.5	13.5	4.1	0.9	96.1
COD <sub>cr</sub> (mg/ℓ)	515	226.5	88.9	80.2	37.8	10	83.3
SS(mg/ℓ)	140	59.6	20	18	3.2	0	94.6
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N(mg/ℓ)	63.3	34.4	15	2.3	0.7	0.1	97.9
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N(mg/ℓ)	0.4	0.1	0	0.6	0.2	0	-
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N(mg/ℓ)	4	1.4	0	19.5	10.2	7.4	-
T-N(mg/ℓ)	72.6	39.8	19.9	31.7	10.6	8.2	73.3
T-P(mg/ℓ)	4.05	2.55	1.8	2.7	1.02	0.7	60.0

다른 연구자의 결과와 비교해 보면, 최형섭(1998)은 연속 및 간헐 폭기 시스템 내부에 고액분리막인 부직포막을 이용한 폐수처리 결과 BOD 평균제거율이 95%, COD는 90.2%의 제거율을 보였으며, 김형태(1984)는 현수미생물접촉법(HBC)으로 생활오수 처리시 수온(최저 13°C, 최고 34°C) 및 수소이온농도(중성)는 별 영향이 없었으며, BOD는 92.5%, SS 84.8%, COD 71%의 제거율을 나타냈다.

또한, 나용훈(1999)은 Pilot-Scale 생물막공법(BAF)을 이용하여 오수 처리 결과 유기물인 COD<sub>cr</sub> 제거효율은 87%, 고형물(SS) 제거 효율은 87%, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 제거효율은 84~95%를 나타냈으며, 반송율 200%일 때 탈질효율 60%, 질소 제거효율 50%로 가장 탈질효율이 우수하다고 하였으며, 제승수 (2001)는 공극율 99%인 폴리우레탄 재질의 고효율 미생물 담체인 BioCube®을 사용한 유동상 생물막 반응기로 폐수를 처리한 결과 유기물(COD<sub>cr</sub>) 제거효율은 82%~84%, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 제거효율은 85.8%이었다. 박경옥(1995)은 폴리프로필렌 여재를 이용한 접촉폭기조 생물막공법으로 실험한 결과 최대 제거효율이 BOD 97%, COD 87%, SS 94%, T-N 52%, T-P 39%로 나타났다. 반송율이 0%일 때 BOD, COD, SS, T-N, T-P 제거율이 각각 92%, 92%, 90%, 45%, 32%에서, 반송율이 100%일 때 95%, 94%, 92%, 39%, 52%로, 반송율이 200%일 때는 각각 98%, 97%, 94,

33%, 57%로 나타났다. 반송율이 증가할수록 제거율이 증가하였지만, 반대로 T-P는 제거율이 감소하였다.

이찬기 등(1992)은 2단 살수여상을 이용한 돈사 폐수 처리 결과 재순환비가 0, 유기물 부하량  $0.638\text{kg BOD/m}^3 \cdot \text{day}$ , 수리학적 부하량  $2.525 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ 일 때 BOD, COD, SS 제거율이 각각 92.9%, 69%, 71.4%이었으며, 재순환비가 1, 유기물 부하량  $0.689\text{kg BOD/m}^3 \cdot \text{day}$ , 수리학적 부하량  $5.05\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ 일 때 BOD, COD, SS 제거율이 각각 91.2%, 53.5%, 73.7%로 보고하고 있다.

이창희 등(2001)은 슬래그 여재를 이용한 살수여상의 하수처리 결과 BOD 처리효율 80.1~86.3%,  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 는 유기물 부하가  $0.15\text{kg BOD/m}^3 \cdot \text{day}$ 정도에서 90%의 질산화 효율을 나타냈다.

따라서 본 목편칩 살수여상 정화처리 시스템은 다른 연구결과와 비교해 볼 때 차이가 거의 없거나 더 우수하였으며, 낮은 수온에서도 안정적인 제거율과 동력비 및 슬러지 발생량이 적은 비교적 용지면적이 적은 생물막 반응기임이 입증되었다. 방류수 수질 기준을 모두 충분히 만족하면서 유기물 및 질소와 인의 동시제거가 가능한 시스템으로 판단된다.

표 2-28은 각 용도별 수질기준과 목편칩 살수여상 공정의 처리 수질을 비교한 것이다. 본 목편칩 살수여상 정화시스템은 기존 살수여상 처리기술 중 표준(저속) 및 중속 살수여상에 유사한 처리특성을 나타내어 우리나라에서 농촌 생활오수 정화시설로 보급 가치가 높은 시스템으로 생각된다. 특히 농촌 지역에서 방류수를 농업용수로 재활용이 가능할 것으로 판단된다.

Table 2-28. Comparison of woodchip trickling filter system & Original trickling filter system

Operating characteristics	Woodchip trickling filter	Low or standard rate*	Intermediate rate*	High rate*	Super high rate*	Roughing*
Hydraulic loading (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> /day)	1.5~4.5	1~3.7	3.7~9.4	10~37	14~85	57~170
Organic loading (gBOD/m <sup>2</sup> /day)	100~500	80~400	240~480	400~4800	~4800	1600 above
Recirculation	not normally required	minimum	usually	always	usually	not normally required
Filter flies	few	many	varies	varies	few	few
Sloughing	continuous	intermittent	varies	continuous	continuous	continuous
Depth(m)	2.0~3.0	1.8~2.4	1.8~2.4	0.9~2.4	up to 12m	0.9~6
BOD removal (%)	85~95	80~85	50~70	65~85	65~80	40~65
Effluent quality	well nitrified	well nitrified	some nitrification	NO <sub>2</sub> stage	limited nitrification	no nitrification

\* reference : WPCF, 1977; Metcalf et. al., 1991

## 6. 재순환율에 따른 처리 효율

본 목편칩 살수여상 정화시스템은 유기물, 질소, 인의 처리가 가능한 시스템이지만 처리효율의 증대를 위하여 처리 시설의 보완이 필요하며, 질소 처리의 경우 질산화 효율은 높으나 탈질화는 만족할만한 수준이 아니었으며, 인의 처리의 경우 미생물 대사작용에 의한 인의 흡수, 방출에 의한 처리효율 증대가 요구된다. 본 목편칩 살수여상 정화시스템을 제 1 목편칩 살수여상조의 처리수를 다시 제 4 혐기성 부패조로 재순환하여 처리효율을 조사하였다. 그림 2-69, 2-70에서 보면 암모니아성질소는 재순환율이 증가할수록 처리효율은 높아졌다.

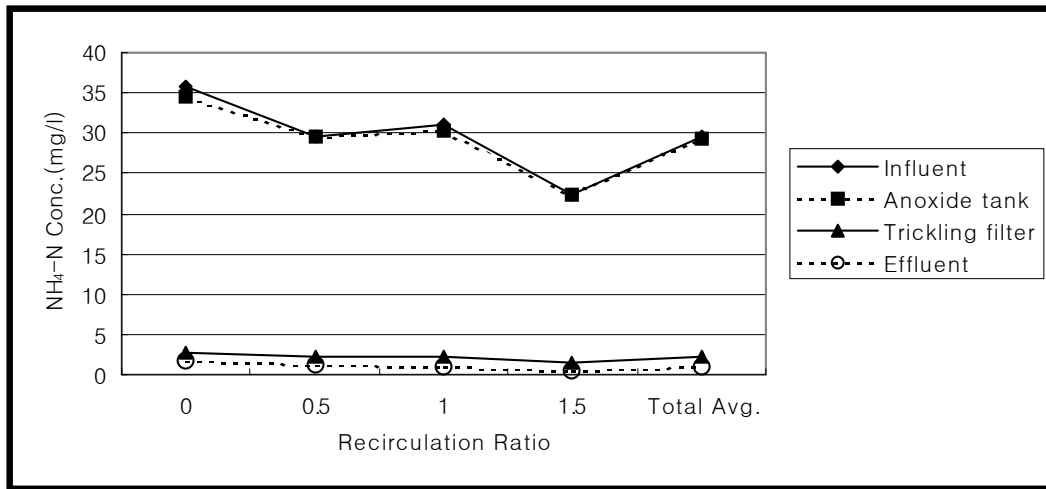


Fig. 2-69. Changes of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N average removal with recirculation by the woodchip trickling filter system.

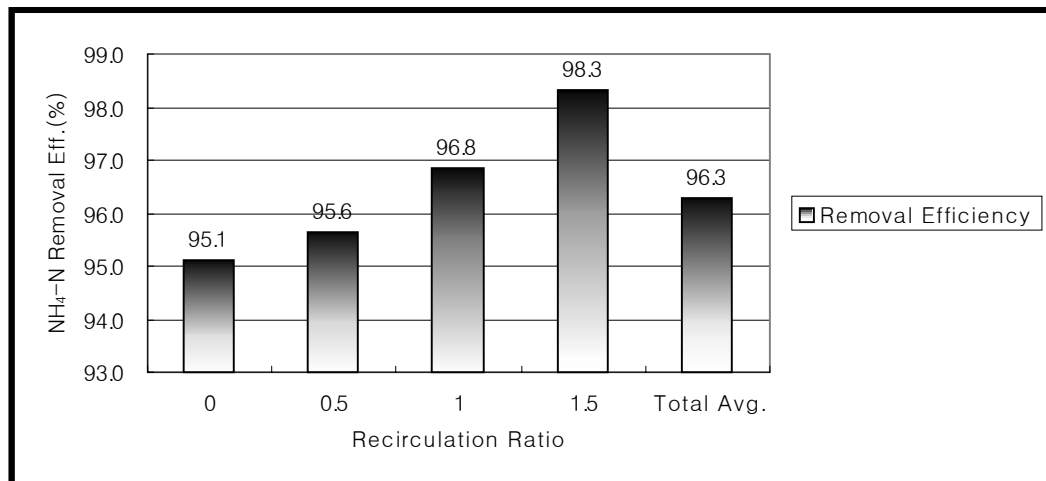


Fig. 2-70. Changes of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N average removal efficiency with recirculation by the woodchip trickling filter system.

그림 2-71에서와 같이 아질산성 질소는 재순환율이 0.5일 때는 축적이 거의 없었으나, 재순환율이 증가할수록 변화가 현저함을 볼 수 있다.

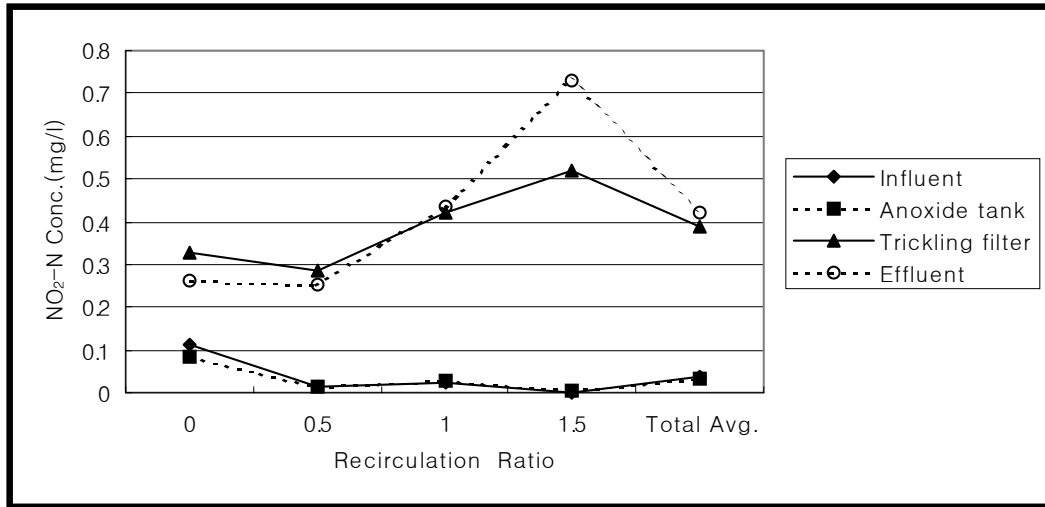


Fig. 2-71. Changes of NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N average removal with recirculation by the woodchip trickling filter system.

그림 2-72에서와 같이 질산성질소는 질산염의 생성이 아질산염보다 많았으며 재순환율이 증가할수록 질산염의 축적이 많아짐을 볼 수 있다.

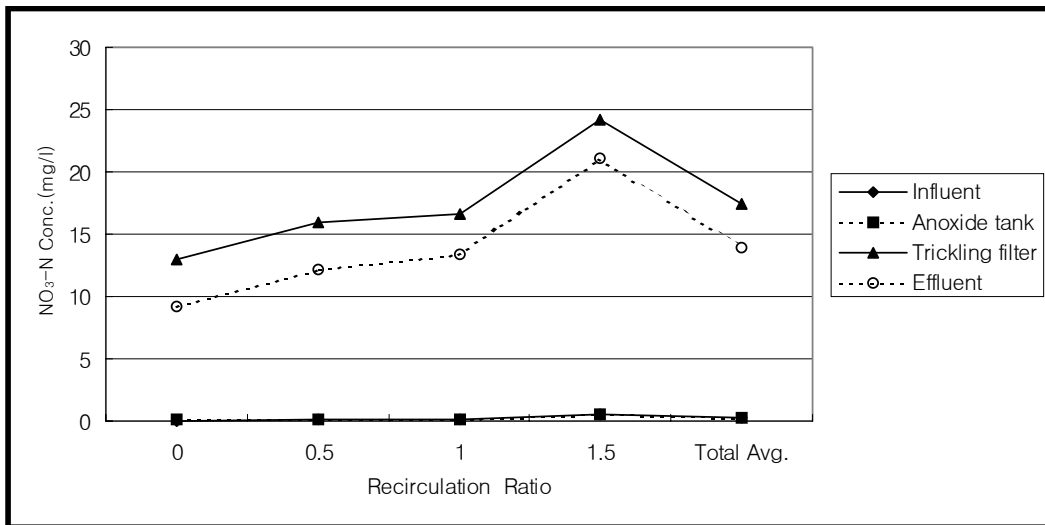


Fig. 2-72. Changes of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N average removal with recirculation by the woodchip trickling filter system.

그림 2-71, 2-72에서와 같이 재순환할 경우 목편칩 살수여상조 처리 후 아질산염과 질산염의 농도가 증가하는 것으로 보아, 탈질화를 높이기 위해서는 호기성 생물막인 살수여상조 앞에 무산소 생물막조를 두고 무산소 생물막에  $\text{NO}_3^-$ 를 공급하기 위하여 호기성 유출수를 반송하도록 공정을 보완하면 탈질화를 촉진시킬 수 있으리라 판단된다.

그림 2-73, 2-74에서와 같이 T-N은 재순환하였을 때 큰 변화를 보여 주고 있다. 재순환율이 1.5일 때 약 76%의 처리효율을 나타내 주고 있다. 이는 재순환을 실시하면 T-N의 처리효율은 좀 더 높아지리라 판단된다. 탈질을 위해서는  $\text{NO}_3^-$  또는  $\text{NO}_2^-$ 를 공급하기 위한 질산화가 필요한 경우가 많으므로 공정의 설계 및 운영은 혐기성, 호기성의 두 상충되는 미생물의 생리화학적 특성을 조화시켜야 된다는 것을 알 수 있었다.

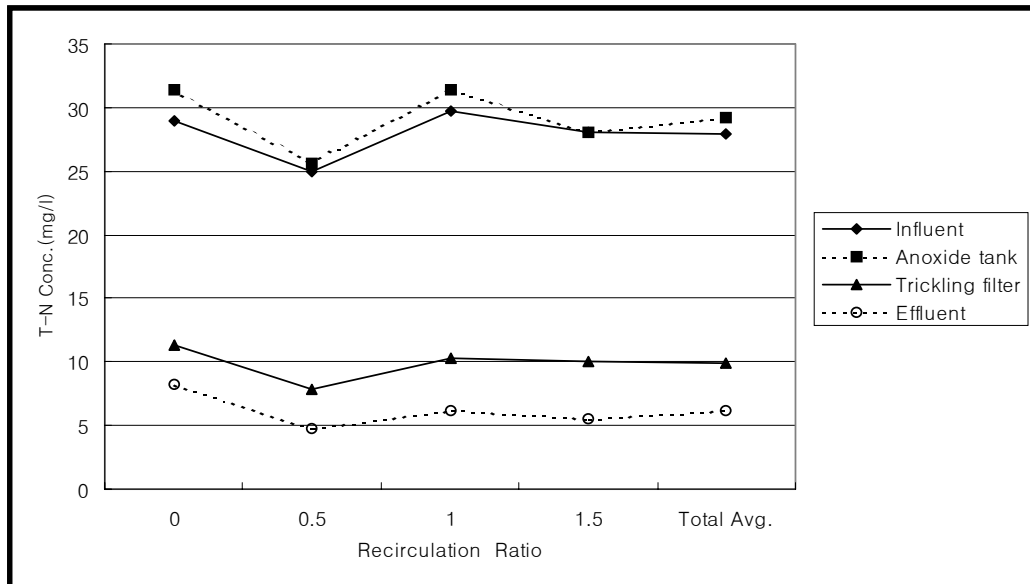


Fig. 2-73. Changes of T-N average removal with recirculation by the woodchip trickling filter system.

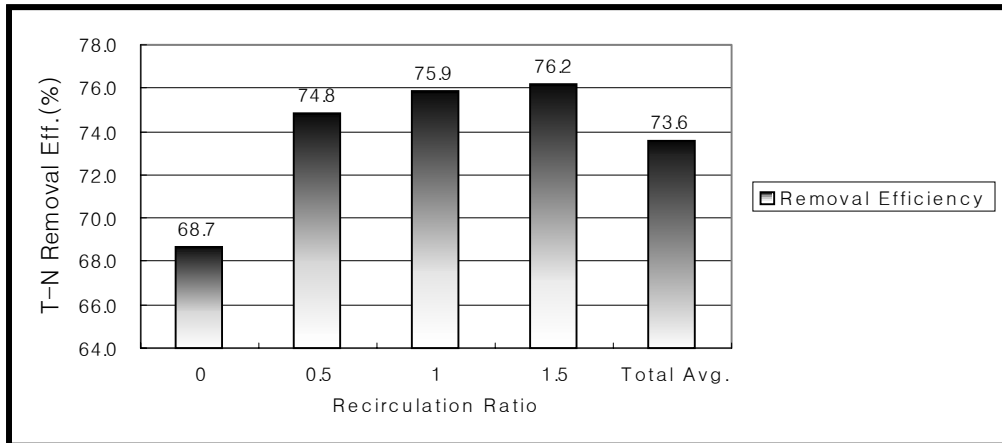


Fig. 2-74. Changes of T-N average removal efficiency with recirculation by the woodchip trickling filter system.

그림 2-75, 2-76에서와 같이 T-P는 재순환을 실시하면 처리효율이 높아지는 경향을 나타내어, 미생물의 대사작용에 의한 효과가 있음을 알 수 있었다. 생물막이 혐기 및 호흡기간에 번갈아 노출되면 생물학적인 제거 증대에 사용할 수 있다(Shanableh, Abeyasinghe, and Higazi, 1997). 혐기성 상태에서 인이 방출되고, 호흡상태에서는 인이 흡수되는 반응이 일어나 생물학적인 제거 효율이 높아짐을 알 수 있었다.

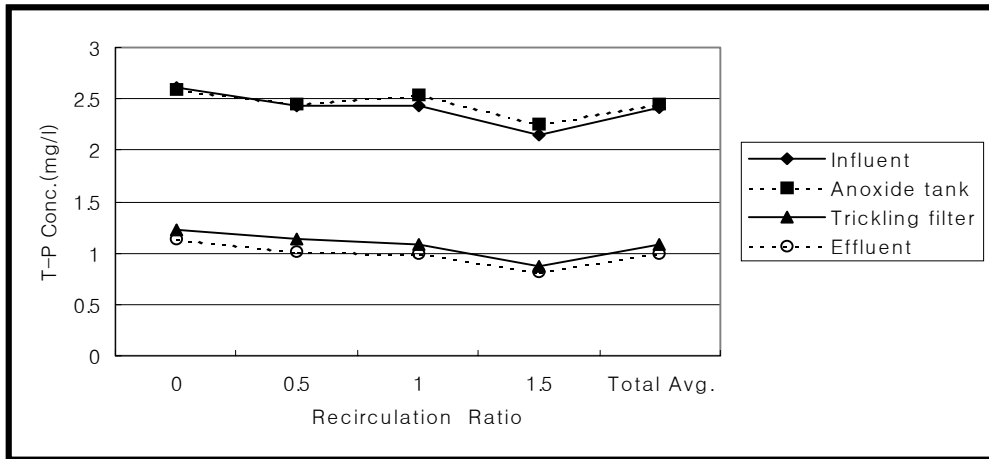


Fig. 2-75. Changes of T-P average removal with recirculation by the woodchip trickling filter system.



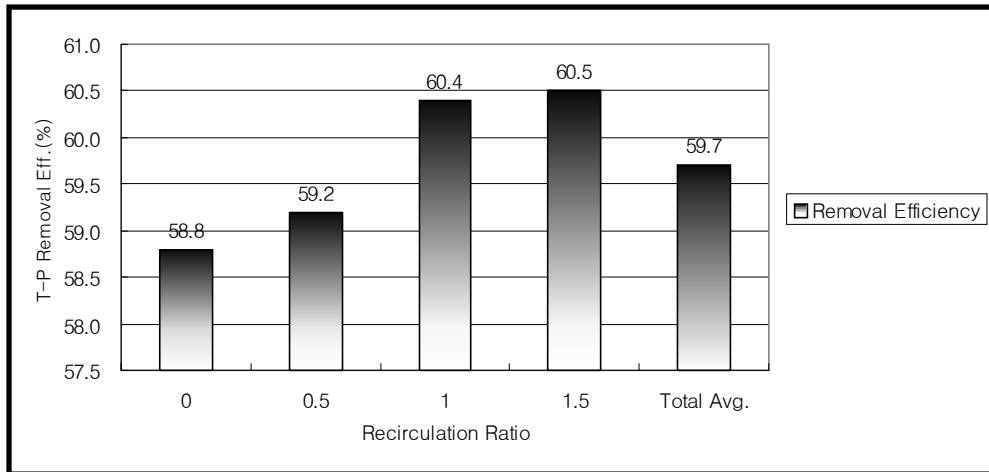


Fig. 2-76. Changes of T-P average removal efficiency with by the woodchip trickling filter system.

그림 2-77, 2-78에서와 같이 인산염 인은 재순환율이 증가할수록 감소하는 경향을 보이고 있다. 그러므로 본 시스템을 재순환하였을 때 처리효율면을 고려할 때 인 제거 효율에는 효과가 있음을 알 수 있었다.

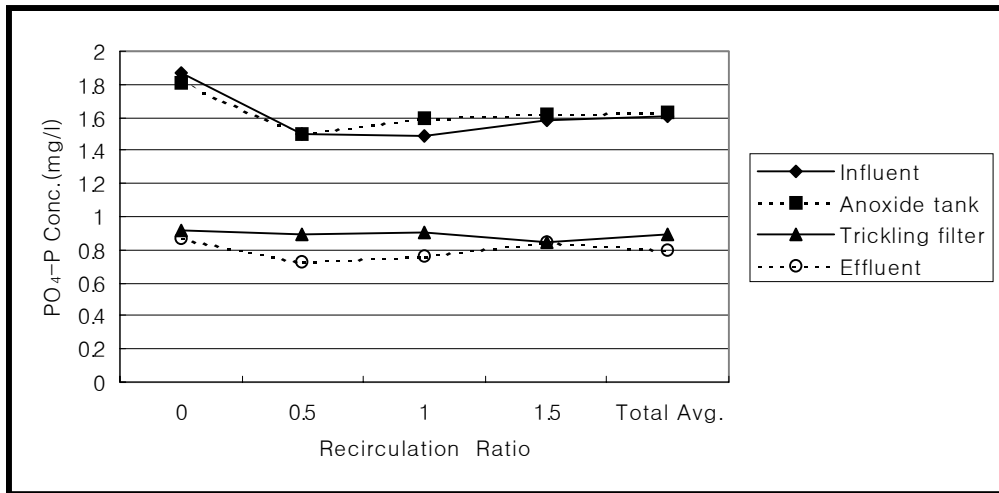


Fig. 2-77. Changes of  $PO_4^-$ -P average removal with recirculation by the woodchip trickling filter system.

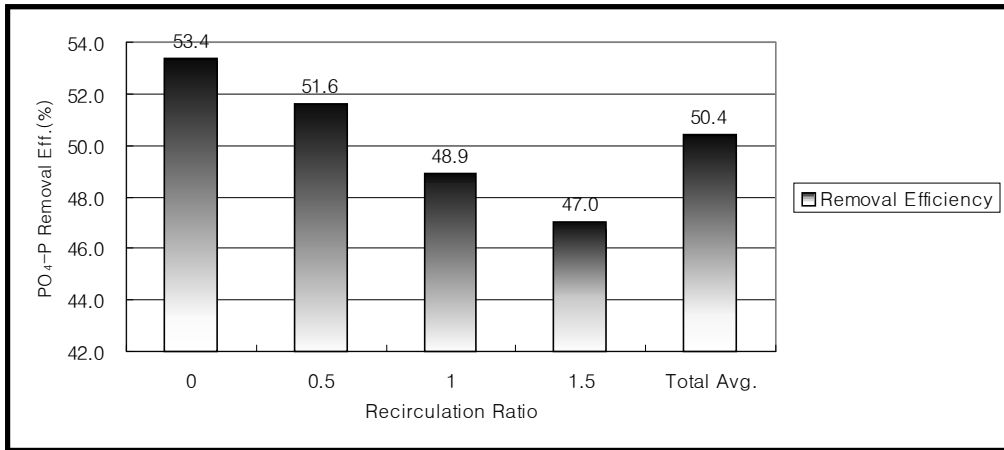


Fig. 2-78. Changes of PO<sub>4</sub><sup>-</sup>-P average removal efficiency with recirculation by the woodchip trickling filter system.

그림 2-79, 2-80에서와 같이 SS도 전반적으로 재순환하였을 때 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 살수여상조에서 탈리액이 유출된 것으로 판단되었다.

재순환을 본 시스템에 적용할 경우 재순환에 의하여 생물막과 접촉기회를 증대시켜, 유기물 제거효율을 높임과 동시에 질산화 및 탈질화 정도를 향상시키며, 질소 및 인의 처리효율을 높일 수 있다.

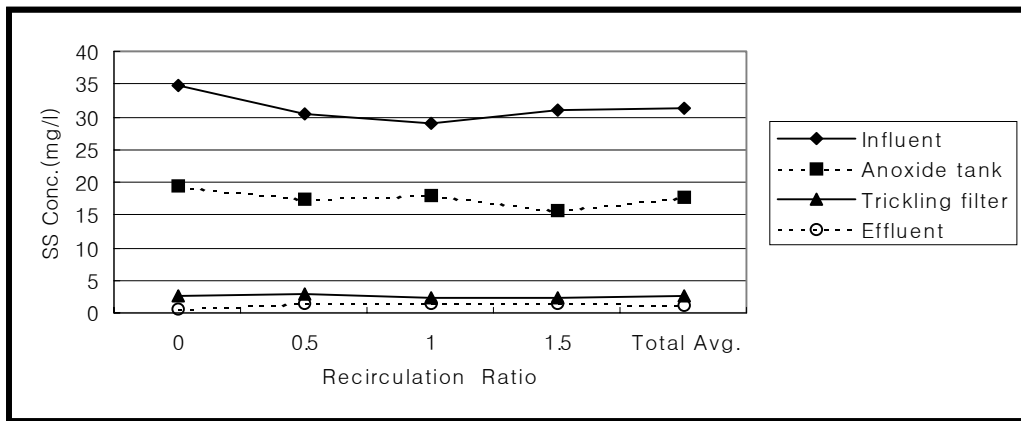


Fig. 2-79. Changes of SS average removal with recirculation by the woodchip trickling filter system.

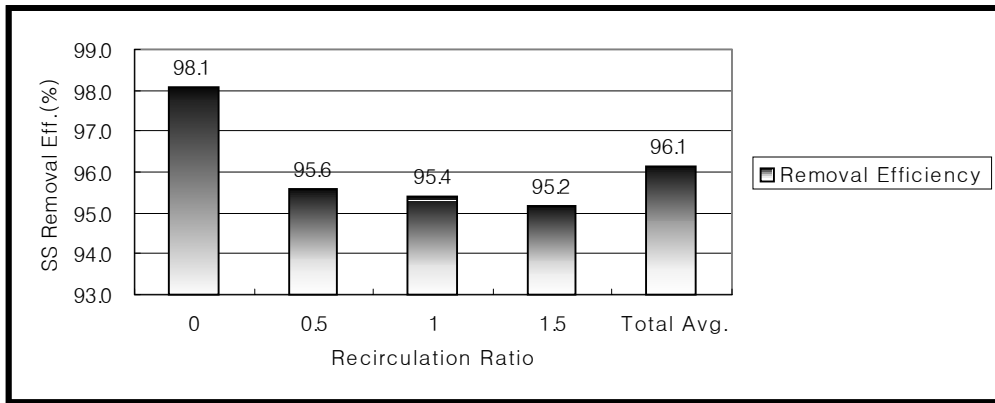


Fig. 2-80. Changes of SS average removal efficiency with recirculation by the woodchip trickling filter system.

## 7. BOD부하에 따른 처리효율 변화

### 가. BOD부하에 따른 처리효율 변화

유입수의 BOD부하 변화에 따른 오수의 제거효율을 그림 2-81에 나타내었다. 유입수의 BOD부하는 1.1~5.2(평균 3.3)kgBOD/일이며, 유입 BOD 부하량에 따른 각 오염물질의 제거효율은 그림 2-81에서 나타난 것과 같이, 유입수 BOD 부하량이 일정 수준까지 증가하여도 처리효율 변화는 비교적 일정한 수치를 나타내어 대체로 안정적이었다.

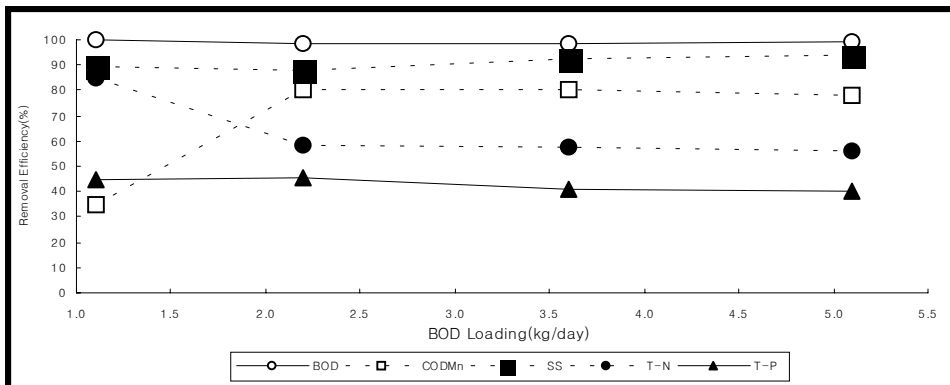


Fig. 2-81. BOD부하에 따른 오염물질 제거효율

### 나. C/N비의 변화에 따른 처리효율 변화

유입수의 C/N비는 BOD/T-N비로 나타내었으며, 1.5~5.7(평균 2.7)로 나타났다. 본 system은 그림 2-82에서 나타난 것과 같이 C/N비의 변화에 대하여 처리효율의 저하를 나타내지 않은 안정된 처리성능을 보여주었다.

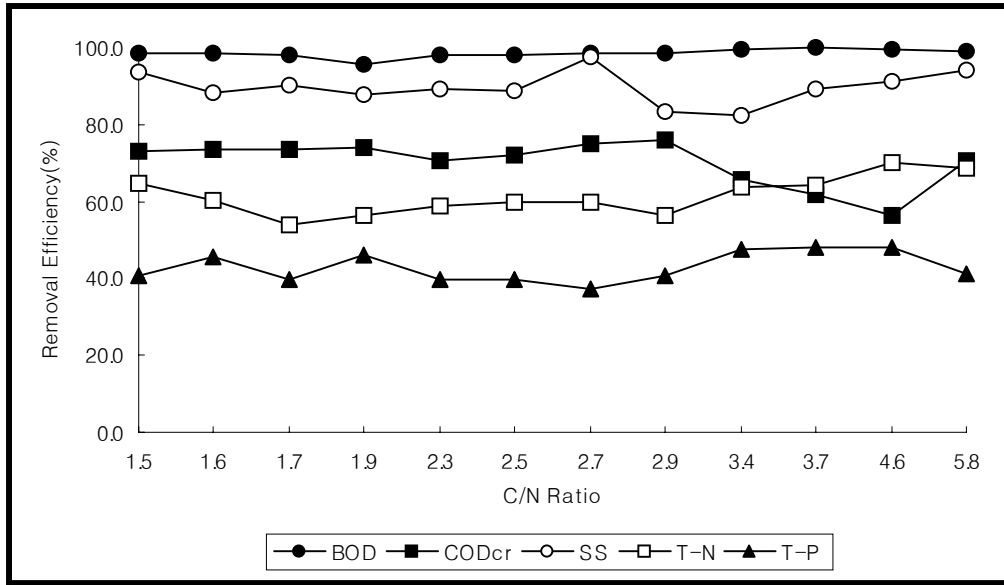


Fig. 2-82. C/N비에 따른 오염물질 제거효율.

## 8. 질산화와 탈질화 기작 및 에너지 이동 분석

### 가. 산소소모량에 따른 기작 추정

생활하수속에 존재하는 질소는 주로 유기질소 화합물과 암모니아로 분류할 수 있다. 그림 2-83과 같이 시간이 지남에 따라 유기질소 화합물은 가수분해되어 암모니아가 된다. 그리고 독립영양 세균이 암모니아를 동화하여 아질산( $\text{NO}_2^-$ )과 질산( $\text{NO}_3^-$ )을 생성하게 된다(질산화 단계).

질산화 단계 기작은 다음과 같다.

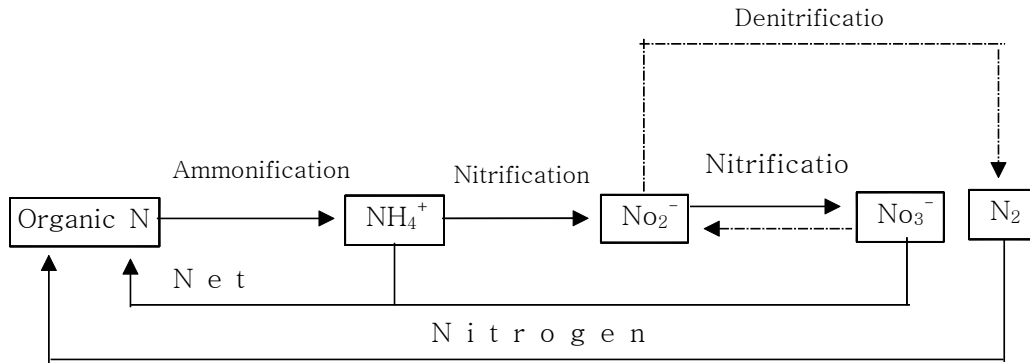
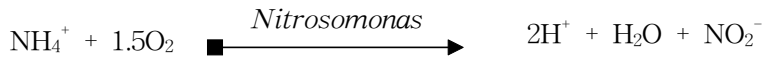


Fig. 2-83. Nitrogen circulation.



암모니아와 아질산이 질산화될 소모된 산소량  $r_{oa}$ 와  $r_{oi}$ 는

$$r_{oa} = \frac{1.5(32)}{14} = 3.43 \text{ gO gN}^{-1}$$

$$r_{oi} = \frac{0.5(32)}{14} = 1.14 \text{ gO gN}^{-1}$$

전체 반응에서 질산화될 때 산소소모량은

$$r_{on} = r_{oa} + r_{oi} = 4.57 \text{ gO gN}^{-1}$$

이다(Gaudy et al. 1980).

따라서 질산화가 일어나기 위해서는 적절한 질산화 세균량이 존재하여야 하며, 생성된 산을 중화시키기 위해 pH가 7~8이어야 하며, 충분한 양의 산소가 존재하여야 한다.

본 목편칩 살수여상조에서는 자연순환형으로 산소를 주입하였기 때문에 질산화에 따른 산소 소모량을 추정하였다. 건조 공기중 산소 농도는 20.95%이므로 반응조의 부피에 따른 산소량 계산

제1 살수여상조 : 공기 부피  $19.32\text{m}^3 \times 0.2095 = 4.0475\text{m}^3 = 4047.5 \text{ L}$

제2 살수여상조 : 공기 부피  $18.48\text{m}^3 \times 0.2095 = 3.8716\text{m}^3 = 3871.6 \text{ L}$

유입수의 산화 가능한 질소의 총량인 TKN은 평균  $62.18 \text{ mg/L}$ 이고, 질산화될 때 최대 산소소모량이  $4.57 \text{ gO gN}^{-1}$ 이므로

제1 살수여상조 산소소모량 =  $19320 \text{ L} \times 4.57 \times 0.06218 = 5490.0 \text{ L}$

제2 살수여상조 산소소모량 =  $18480 \text{ L} \times 4.57 \times 0.06218 = 5251.3 \text{ L}$

가 된다.

그러므로 제1, 2살수여상조에서는 약 26.3%의 산소가 부족한 결과를 초래하게 된다. 또한 미생물의 산소공급은 외부에 여상사이의 온도차에 의한 자연환기 방법을 사용하였으나 살수여상의 부피가 크고, 여재의 비표면적과 공극이 크기 때문에 여상조의 중앙 부분에는 충분한 공기가 공급되지 않을 것이다. 그러므로 살수여상조의 여재인 목편칩은 여재 표면의 미생물막은 상부 약 0.1mm만 호기성이고 그 이하는 혐의성 또는 혐기성으로 될 것으로 추정할 수 있기 때문에 질산화와 탈질화가 동시에 일어나는 기작을 가졌음을 알 수 있다.

#### 나. 질산화 모델링에 따른 기작 추정

폐수처리 반응조에서 일어나는 연속반응은 유기물  $\rightarrow$ 암모니아( $\text{NH}_4^+$ )  $\rightarrow$ 아질산( $\text{NO}_2^-$ )  $\rightarrow$ 질산( $\text{NO}_3^-$ )으로 일차반응을 따른다. 이러한 연속 반응의 연쇄소리가 무한하게 이어지지 않고 반응이 더 이상 진행하지 않으며, 비가역적 반응이다. 질산화 과정을 1차 반응으로 가정하면, 다음과 같은 일련의 1차 반응식으로 나타낼 수 있다.

$$\text{유기질소} : \frac{dN_o}{dt} = -k_{oa}N_o$$

$$\text{암모니아} : \frac{dN_a}{dt} = -k_{oa}N_o - k_{ai}N_a$$

$$\text{아질산} : \frac{dN_i}{dt} = -k_{ai}N_a - k_{\epsilon}N_i$$

$$\text{질산} : \frac{dN_n}{dt} = -k_{\epsilon}N_i$$

유기질소에서 질산의 위 식들은 차례로 일어나므로, 순방향흐름 반응기(feed forward reactor)의 반응들에 대해 분석해를 구할 수 있다.

t=0에서  $N_o = N_{d0}$ ,  $N_a = N_{d0}$ ,  $N_i = N_n = 0$ ,  $D = D_0$  인 경우, 각 질소들에 대한 해는 다음과 같다.

유기질소 :  $N_o = N_{d0}e^{-k_{oa}t}$

암모니아 :  $N_a = N_{d0}e^{-k_{ai}t} + \frac{k_{oa}N_{d0}}{k_{ai} - k_{oa}}(e^{-k_{oa}t} - e^{-k_{ai}t})$

아질산:

$$N_i = \frac{k_{ai}N_{d0}}{k_{\infty} - k_{ai}}(e^{-k_{ai}t} - e^{-k_{\infty}t}) + \frac{k_{ai}k_{oa}N_{d0}}{k_{ai} - k_{oa}} \left( \frac{e^{-k_{oa}t} - e^{-k_{\infty}t}}{k_{\infty} - k_{oa}} - \frac{e^{-k_{ai}t} - e^{-k_{\infty}t}}{k_{\infty} - k_{ai}} \right)$$

질산 :

$$N_n = N_{d0} + N_{d0} - N_{d0}e^{-k_{oa}t} - N_{d0}e^{-k_{ai}t} - \frac{k_{oa}N_{d0}}{k_{ai} - k_{oa}}(e^{-k_{oa}t} - e^{-k_{ai}t}) - \frac{k_{ai}N_{d0}}{k_{\infty} - k_{ai}}(e^{-k_{ai}t} - e^{-k_{\infty}t}) - \frac{k_{ai}k_{oa}N_{d0}}{k_{ai} - k_{oa}} \left( \frac{e^{-k_{oa}t} - e^{-k_{\infty}t}}{k_{\infty} - k_{oa}} - \frac{e^{-k_{ai}t} - e^{-k_{\infty}t}}{k_{\infty} - k_{ai}} \right)$$

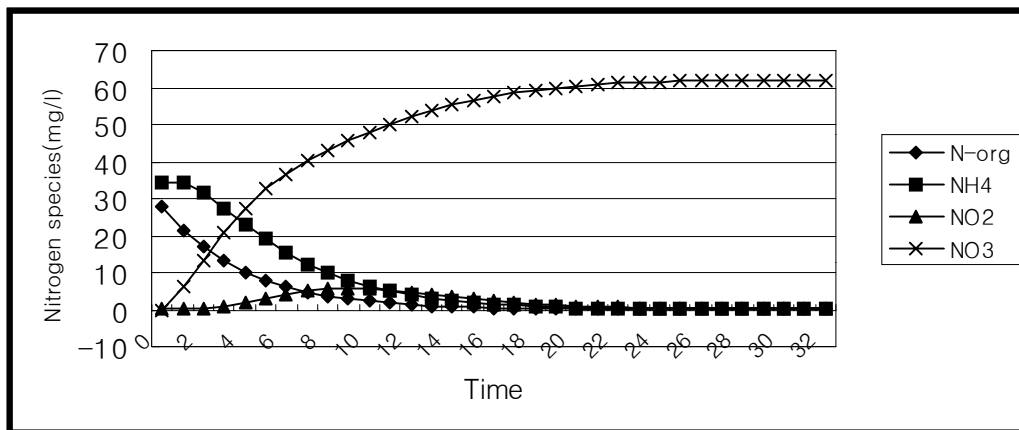


Fig. 2-84. Simulation of nitrification.

그림 2-84와 같이 질산화는 산소 농도가 충분하다면 시간이 지남에 따라 유기질소 화합물은 독립영양 세균이 암모니아를 동화하여 아질산( $\text{NO}_2^-$ )과 질산( $\text{NO}_3^-$ )을 생성하게 되기 때문에 유입수의 평균 TKN이 62.18 mg/L가 전부 질산으로 변해야 하는데 본 실험결과 평균  $\text{NO}_3^-$ -N이 15.73 mg/L인 것으로 보아 반응조 내부에 공급되는 산소의 양이 충분하지 않음을 알수 있다. 그러므로 반응조 내부는 호기성과 혐기성균이 공존하

는 임의성 상태가 됨을 알 수 있다.

#### 다. 유기물의 생물학적 산화에 의한 기작 추정

본 목편칩 살수여상조에서 유기물이 분해되는 과정을 보면 유기물이 생물학적으로 안정화되어 있으며, 관련되는 미생물은 호기성 또는 혐기성 산화계를 이용하는 메카니즘을 가지고 있음을 추정할 수 있다.

산소가 있는 여재의 표면에서는 호기성 산화가 일어나서 유기물의 일부는 새로운 미생물을 만드는데 합성되고, 나머지는 비교적 안정한  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ 의 최종 산물로 전환되고, 산소가 없는 여재 내부에서는 혐기성 산화가 일어나서 새로운 세포를 만들고 유기물, 알콜, 케톤 및 메탄과 같은 불안정한 최종 산물을 생산할 것이다. 이러한 메탄 생산계는 생물학적 폐수처리에서 가장 보편적인 것으로 2단계로 일어난다. 첫째 단계에서는 혐기성 박테리아가 유기물을 새로운 세포와 유기산 및 알콜로 전환시키며, 둘째 단계에서는 미생물군인 메탄 박테리아가 다시 산화를 계속하여 유기물의 일부로 새로운 세포를 만드는데 이용하고, 그 나머지를  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ 으로 전환시킨다. 혐기성 산화는 호기성 과정에 비하여 그 속도가 느리며 에너지 전환면에서 비효율적이다.

또한 본 목편칩 살수여상조는 자연순환형 통기를 이용하였기 때문에 내부에 산소가 충분히 전달되지 못하는 부분에서는 산소를 이용할 수 없는 호기성 미생물은 죽게된다. 호기성균의 자리는 혐기성균으로 대체되며 이들은 유기물질 자체의 산소를 탈취한다. 혐기성균은 이 때 호기성 분해를 대신하게 된다. 혐기성 분해의 최종 생산물은 유기물, 탄산염, 탄산가스 및 황화수소인 것 같고, 중간생성물은 암모니아성 질소, 탄산염, 탄산가스 및 황화물이며, 최종 생성물은 암모니아성 질소, 부식질(humus), 탄산가스, 메탄 및 황화물이다. 본 실험에서 탈리액에 부식질이 많이 나오는 것을 현미경으로 관찰 결과를 보면 내부에서는 혐기성 처리가 됨을 추정할 수 있다.

#### 라. $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 농도에 의한 Entropy 변화량

$\text{NH}_4^+-\text{N}$  농도에 따라 Entropy 변화량을 이용하여 분자 확산 정도를 알아보기 위하여 다음과 같은 이론을 이용하여 분석하였다.

통계 역학적 이론에서 Boltzmann은 Entropy S와 확률 P 사이에



$S = K \cdot \ln \cdot P$ 이 성립한다. 여기서 K는 Boltzmann 상수이고, 이 식은 이상기체에 대한 식이지만 일반적으로 액체, 고체에서도 Entropy의 의미가 성립한다(이두걸 등, 1985).

따라서 실험용 확산통의 부피를 V, 확산에 의한 분자가 t시간 후에 단위 부피 속에  $\nu$ 개가 되었다면 분자가 발견될 확률P는  $P = \frac{\nu}{V}$ 이다.

이들 관계는 처음의 농도가  $C_0$ , t시간 후의 농도(분자수)가  $C_t$ 로 변화되었을 때의 확률  $P = \frac{C_t}{C_0}$ 와 같다. 따라서 Entropy의 변화  $\Delta S$ 는

$\Delta S = K \cdot \log_e \frac{C_t}{C_0}$ 가 된다. 여기서 K=1일 때를 상대적 Entropy의 값으로 보면 Entropy 변화량을 알 수 있다. 가동 초기부터 3일 마다  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 농도를 구하고 Entropy 변화량을 계산한 결과가 표 2-29와 같다.

Table 2-29. Changes of Entropy by  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  concentration

time (3day interval)	1	2	3	4	5	6	7	8
changs. of concentration(%)	3.2	7.6	10.5	14.6	19.4	28.5	34.8	57.8
Entropy( $\Delta S$ )	1.39	3.30	4.56	6.34	8.43	12.38	15.11	25.10
time (3day interval)	9	10	11	12	13	14	15	16
changs. of concentration(%)	65.6	74.6	75.4	77.6	79.3	82.1	81.9	82.0
Entropy( $\Delta S$ )	28.49	32.40	32.75	33.70	34.44	35.66	35.57	35.61

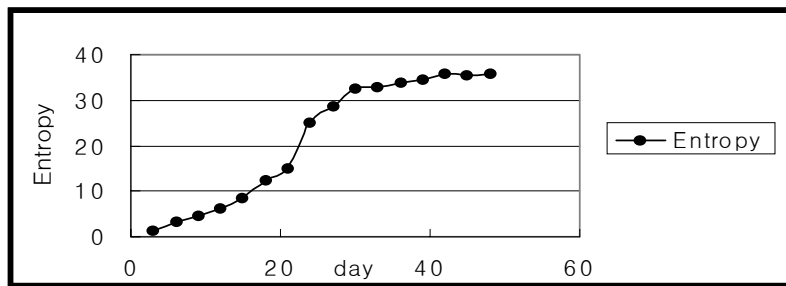


Fig. 2-85. Changes of Entropy.

액체나 고체의 경우 온도가 일정하고 부피가 증가할 때 또는 부피가 일정하고 온도가 올라갈 때 Entropy는 증가한다고 한다. 분자의 수와 전체 Entropy가 주어지면 각 Energy에 대한 분포상태를 결정할 수 있다고 한다(Kittel, 1980).

그림 2-85에서 보면 미생물이 부착되어 탈질화가 일어나 안정적 처리가 되었을 때 Entropy 변화는 최대값을 갖는 것을 알 수 있으며 약 30일 이후의 시간이 경과함에 따라 Entropy의 변화속도가 매우 느린 것을 발견하였다. 그 이유는 분자 상호 충돌의 기회가 많아지고 평균 자유 행로가 매우 짧아지기 때문에 확산속도가 느려진다고 생각되었다.

## 9. 방류수의 색도 및 COD 제거 시험

### 가. 응집제에 의한 색도 및 COD 제거

#### 1) 실험 방법

본 실험에서의 응집제는 생활오수의 부유물질 및 색도제거에 널리 사용되고 있는 FeCl<sub>3</sub>를 10%용액으로 제조하여 사용하였다.

응집실험은 Jar-Tester(C-JT)기를 사용하여 행하였다. 실험과정을 요약하면, 500ml 비이커 시료를 분취, 약 150rpm 속도로 5분간 급속교반시키는 과정에서 소정량의 응집제를 주입, 0.1M HCl 및 M NaOH를 사용하여 pH를 약 7로 조절하였다. 급속교반에 이어 플록형성을 위하여 약 30rpm으로 10분간 완속교반후, 30분간 정치, 상등수를 채취하여 분석하였다.

#### 2) 색도 및 COD 제거

그림 2-86에 응집제 주입량에 따른 처리수의 CODMn농도 및 색도를 나타내었다. 먼저 처리수의 CODMn농도를 살펴보면 응집제 주입량 120mg/l까지는 주입량을 증가시킬수록 급격히 감소하나, 그 이상에서는 주입량을 증가시키더라도 응집제 주입량 120mg/l 경우와 큰 변화는 없다. 응집제 주입량 120mg/l를 전후하여 응집제 주입량 증가에 따른 색도감소폭의 대소도 CODMn의 경우와 유사하며, 따라서 본 시료중의 색도 성분은 유기물에 기인한다는 것을 알 수 있으며, 이 유기물의 제거를 위해 응집처리공정을 도입할 경우 적정 응집제주입량은 약 120mg/l 전후로 설계하는 것이 바람직하다고 생각된다

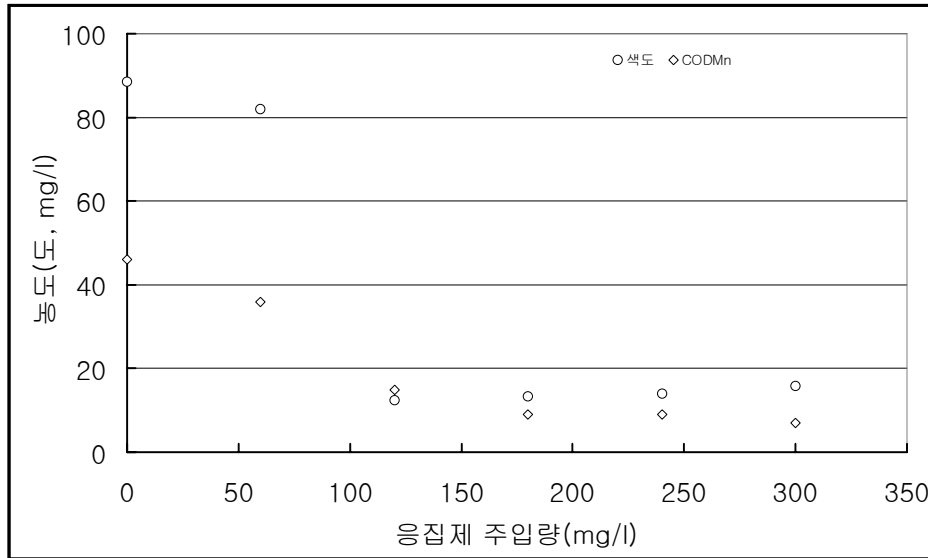


Fig. 2-86. 응집제 투여에 의한 색도와 COD<sub>Mn</sub> 제거

그림 2-86과 같이 응집제 10% FeCl<sub>3</sub> 100mg/ℓ에 의하여 색도가 효율적으로 제거되었다. COD<sub>Mn</sub>의 경우 20mg/ℓ 이하일 때 50% 이상 제거가 가능하였다. 실험 결과 목편 살수여상 방류수의 색도와 COD<sub>Mn</sub>은 FeCl<sub>3</sub> 응집제 투여에 의하여 효과적으로 제거가 되었다.

### 3) 응집제에 의한 색도 제거의 경제성

목편 살수여상 시스템 방류수의 색도와 COD 제거를 위한 응집제 처리의 경제성은 표 2-30과 같다. 목편 살수여상 방류수의 색도 제거시 방류수 1m<sup>3</sup>당 약 24원 응집제를 주입으로 색도 제거가 가능하였다.

Table 2-30. 응집제에 의한 방류수 색도 제거 비용

구 분	응집제(mg/ℓ)	1ℓ 처리비(원)	1m <sup>3</sup> 처리비(원)
원수	0	0	0
시료1	60	0.024	24
시료2	120	0.048	48
시료3	180	0.072	72
시료4	240	0.096	96
시료5	300	0.12	120

## 나. 전기분해에 의한 방류수의 색도와 COD 제거 시험

### 1) 실험방법

본 실험에서의 반응조는 두께 5mm 투명아크릴로 제작한 지름 20cm, 높이 40cm의 원통형으로 제작하였으며, 바닥 중앙부에 산기관을 설치, 이를 통하여 소정량의 공기를 주입, 폭기시킴으로서 전기분해시 양극판에서 해리되는 금속( $Al^{+3}$ ,  $Fe^{+3}$ )이온들이 시료중의  $OH^-$  이온과 결합하여 점성을 가지는 수산화물( $Al(OH)_3$ ,  $Fe(OH)_3$ )을 형성, 극판에 엉겨 붙는 현상을 방지하고자 하였다. 그리고 산기관 상부에 지지대를 설치, 2매의 극판을 고정시킬 수 있게 하였다. 극판은 두께 0.2cm, 폭 5cm, 길이 30cm의 Al 및 Fe 극판을 사용하였다. 시료수의 전도도를 높여 분해를 촉진하기 위해 전해질로서 35% HCl를 시료 10L당 2ml 주입하였다. 실험과정을 요약하면 반응조에 전해질을 첨가한 시료 10L를 투입, 약 1L/min 유량으로 폭기시키면서 일정량의 전류를 연결, 처리시간에 따른 처리수의 수질을 조사하였다.

### 2) 실험결과

표 2-31는 CODMn 27.0mg/l, 색도 59.6도인 시료를 Al극판을 사용, 처리시간에 따른 처리수의 CODMn 및 색도를 나타낸 것으로서, 분해시 극판에 가한 전압 및 전류는 각각 13V, 1A 이었다.

먼저 처리수의 CODMn 농도를 살펴보면, 처리시간 약 15분 까지는 처리시간이 연장될수록 CODMn 농도는 이에 비례하여 급격히 감소하였으나, 15분 이상 처리하였을 경우에는 처리시간을 연장하더라도 큰 변화는 없었다. 처리시간에 따른 색도의 변화도 CODMn의 경우와 유사하였으며, 15분간 전기분해 하였을 경우 처리수의 색도는 13.4도로서 육안으로 거의 감지할 수 없을 정도의 수준으로 처리 할 수 있었다.

한편 SUS극판을 사용하였을 경우 처리수의 수질은 표2-31에 나타낸 것처럼 CODMn은 처리시간에 따른 큰 농도 변화는 없었으며, 색도는 처리시간이 연장될수록 오히려 증가하였다. Al극판과는 달리 SUS극판을 사용하여 전기분해 하였을 경우, CODMn이나 색도가 감소하지 않고, 오히려 증가한 정확한 원인 규명은 어렵지만, 본 실험에서는 저압의 전압과 소량의 전류를 가해 처리하였기 때문에 SUS극판의 경우  $Fe^{+3}$  이온이 거의 해리되지 않아 해리한  $Fe^{+3}$ 이온에 기인한 응집효과를 얻을 수 없었기 때문으로 생각된다. 이는 Al 극판을 사용한 경우는 해리한  $Al^{+3}$  이온에 기인한 응집 플록이 다량으로 발생되었으나, SUS 극판을 사용한 경우에는 응집플록을 거의 생성되지 않아던 사실로서도 짐작할 수 있다.

Table 2-31. 전기분해 시간에 따른 색도와 COD<sub>Mn</sub>의 변화

구 분	Time(min)	색도(도)	COD <sub>Mn</sub>	pH	T-N	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> -P
Al극판	0	59.6	27.0	6.7	38.0	0
	5	36.3	23.0	6.8	36.7	0
	10	20.7	15.2	7.0	33.9	0
	15	13.4	9.0	7.3	32.2	0
	20	6.9	9.5	7.3	31.6	0
	30	9.1	7.0	7.3	30.1	0
	40	8.0	6.0	7.4	30.6	0
SUS(Fe)극판	0	62.0	27.5	6.7		
	5	60.4	27.0	7.0		
	10	60.4	24.9	7.0		
	15	60.0	27.0	7.3		
	20	61.7	27.0	7.3		
	30	73.6	26.5	7.3		
	40	79.6	25.0	7.3		

Table 2-32. 전기분해 처리에 의한 방류수의 색도 및 COD<sub>Mn</sub>의 제거 비용

Al 전극								
시간(min)	V	A	톤당처리전력(kwh/m3)	톤당처리전기료(원)	1F	gAl	실제흐른 C	Al방출량(g)
5	13	1	0.13	7.15	96500	9.0	300	0.028
10	13	1	0.26	14.30	96500	9.0	600	0.056
15	13	1	0.39	21.45	96500	9.0	900	0.084
20	13	1	0.52	28.60	96500	9.0	1200	0.112
30	13	1	0.78	42.90	96500	9.0	1800	0.168
40	13	1	1.04	57.20	96500	9.0	2400	0.224
Fe전극								
시간	V	A	전기료	톤당처리전기료(원)	1F	gFe	실제흐른 C	Fe방출량(g)
5	13	1	0.13	7.15	96500	18.6	300	0.058
10	13	1	0.26	14.30	96500	18.6	600	0.116
15	13	1	0.39	21.45	96500	18.6	900	0.174
20	13	1	0.52	28.60	96500	18.6	1200	0.232
30	13	1	0.78	42.90	96500	18.6	1800	0.347
40	13	1	1.04	57.20	96500	18.6	2400	0.463
톤당처리전력 : 안전율 20% 고려								
톤당처리전기료 : 1kw 전기사용료 10원으로 가정, 부가세 10%포함.								

#### 다. 오존 처리에 의한 색도 제거 시험

##### 1) 실험방법

본 실험에서 오존발생기는 KOP002W((주)원이기공)를 사용하였다. 반응조는 두께 5mm 투명아크릴로 제작한 지름 20cm, 높이 80cm의 원통형으로 제작하였으며, 바닥 중앙부에 산기관을 설치, 발생기로부터 유입된 오존혼합공기가 반응조에 골고루 산포(散泡) 되도록 하였다. 실험과정은 반응조에 시료 20L를 투입하고, 일정량의 오존혼합공기를 주입, 폭기시키면서 처리시간에 따른 처리수 수질을 조사하였다. 그리고 오존혼합공기중 오존농도는 요오드적정법을 이용하여 실험적으로 구하였다.

##### 2) 오존처리에 의한 색도 제거

그림 2-87에 오존주입량에 따른 처리수의 CODMn 농도 및 색도 변화를 도시하였다. 먼저 오존 주입량에 따른 색도를 살펴보면 오존주입량이 많을수록 색도는 점점 감소한다. 단위오존주입량 증가에 따른 색도 감소는, 주입량 약 30mg/l까지는 약 2도정도로서 감소량이 상당히 크나, 주입량 약 30mg/l 이상에서는 약 0.5도로서 감소량은 현저히 줄어드는 경향을 나타내고 있다. 그리고 오존주입량 32.5mg/l에서의 색도제거율 및 색도를 살펴보면 전자는 70%이상, 후자는 육안으로 거의 감지할 수 없을 정도인 26.3도이다. 오존주입량에 따른 처리수의 CODMn 농도감소도 전체적으로 색도의 경우와 유사하다. 그러나 오존주입량 32.5mg/l에서 색도는 전술한 것처럼 70% 이상 제거되었으나, CODMn은 약 17%밖에 제거되지 않았다. 따라서 유기물의 다량 제거는 기대하기 어렵지만 색도제거를 위해 오존처리법을 도입 할 경우, 적정 오존주입량은 약 30mg/l로 설계하는 것이 바람직하다고 생각된다.

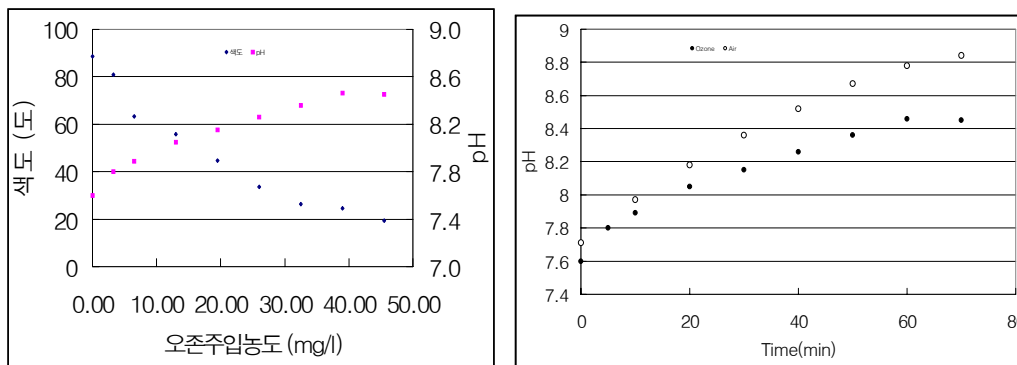


Fig. 2-87. 오존 주입농도, 시간에 따른 pH와 색도의 변화

## 10. 경제성 분석

현재 국내 오수처리 공법의 근간을 형성하는 활성오니법, 접촉산화법 등은 유지관리에 전문적인 지식이 필요하고 설치비 및 유지관리비 과다라는 문제를 안고 있으며 악취, 소음 등의 2차적인 오염을 유발한다. 다음 표 2-33에서 보는 바와 같이, 목편칩 살수여상 오수정화 system은 환경친화적이고 경제적인 처리방법이라 할 수 있다.

Table 2-33. 오수정화 처리방법별 장·단점 비교

처리 공법	목편칩 살수여상 system	활성슬러지법	비고
원리 및 적용	○ 반응기내 발효칩을 충전시켜 오수를 위에서 아래로 통과시켜 목편칩에 부착성장하는 생물막과 접촉시켜 처리한다.	○ 오수내 함유된 유기물을 영양분으로 하여 오니를 활성화시켜 오수를 정화하며 증식된 오니를 침전시켜 제거한다.	
장 점	○ 처리효율이 높다. - BOD 20mg/L이하 - SS 20mg/L이하 ○ 슬러지 발생량이 적다. ○ 설치비가 저렴하다.	○ 대용량에 적합. (100톤이상) ○ 처리수질이 높다. - BOD 20mg/L이하 - SS 20mg/L이하	
단 점	-	○ 고도의 운전 기술이 요구된다. ○ 다량의 슬러지 발생 ○ 공기가 타공법에 비해 길다. ○ 관리비용 큼 (기계 의존형 기술)	

따라서, 위와 같은 문제점을 해결하기 위하여

- 운전비 저렴 및
- 설치비 저렴하고
- 설치공간의 제약이 없으며
- 유기물 및 영양염류의 고도처리가 가능하며
- 누구나 쉽게 관리할 수 있는 공법 개발

등에 주안점을 두고 연구한 결과 목편 살수여상 공법이 가장 적합한 공법으로 판단되었다. 그러나 기존의 살수 여상법은 비교적 비표면적이 작고 미생물의 부착 및 성장이 어려운 쇄석, 플라스틱 등을 여재로 사용함으로써 처리효율이 낮은 문제점을 안고 있었다.

따라서

- 비표면적이 크고
- 표면 거칠기가 커 미생물의 부착·성장이 용이하며
- 설치비용이 저렴하고
- 쉽게 구할 수 있는 자재 이용 및
- 자원 재활용

이라는 측면에서 환경친화적인 목편을 여재로 사용하는 살수여상식 생활오수 및 축산뇨오수 처리 공법을 개발하여 연구하였다.

### 가. 시설비

본 처리시스템의 시설비는 일일 25m<sup>3</sup> 처리시 45,000 천원의 시설비가 소요될 것으로 계산되었다.

- 1) 시 설 비 : 일금 45,000천원
  - 토목, 건축공사 : 18,000천원
  - 기계, 배관공사 : 24,000천원
  - 전기, 계장공사 : 3,000천원
- 2) 시설부지면적 : 42 m<sup>2</sup>
- 3) 건축 연면적 : 35 m<sup>2</sup>
- 4) 감가 상각비 : 500천원(수명 : 50년 이상, 잔존가액 44,500천원)

### 나. 유지관리비(년간)

목편칩 살수여상 오수정화 system은 목편칩 여재층에 생태계를 형성한 다양한 미생물(여재표면 : 호기성, 여재심층 : 혐기성)들의 자연적인 활동에 의하여 오염물질을 처리하므로 별도의 미생물 투입은 필요하지 않다. 또한 전기를 많이 소모하는 기기를 이용하지 않기 때문에 비용면에서 효율적일 뿐만 아니라 에너지 절약 효과가 매우 높았으며, 기계설비가 적어 연간 741,720원의 유지관리비가 소요되었다. 또한 연간 오수 m<sup>3</sup> 당 유지관리비는 53.4원이 소요되어 유지관리가 매우 좋은 경제적인 처리시스템이었다. (표 2-34)



Table 2-34. 연간 유지관리비 내역 (일일 25m<sup>3</sup> 처리 시)

항 목	비 용	비 고
인 건 비	없 음	
전 력 비	299,000원	전력사용량 : 202.5 kWh
재 료 비	없 음	약품사용량 : 없음
용 수 비	없 음	용수사용량 : 없음
연 료 비	없 음	연료사용량 : 없음
슬러지처리비	192,720원	
감가상각비	250,000원	
합 계	741,720원	

본 시스템은 목편칩이 충전된 살수여상조 상부가 대기중에 노출되어 있어 자연적으로 공기를 자연 순환시킬 수 있는 구조이다. 따라서 일일 오수발생량 25m<sup>3</sup> 기준으로 동력원이 4.5kW(예비포함), 일일 총 가동시간은 3hr으로 기존의 기계식 오수처리시설에 비하여 동력비가 70~90%가량 절감되었다. 또한 자연 발생하는 다양한 미생물이 하나의 생태계를 형성하여 자연소재의 여재(목편)에 부착·서식하기 때문에 특정 미생물의 활성을 유지하기 위한 약품 비용이 필요하지 않았다.

Table 2-35. 오수처리시설의 동력 비교

(일일 오수량 25m<sup>3</sup> 처리시)

구 분	기계식 오수처리시설	목편 살수여상 system
소 요 동 력	24.25kW(예비용 포함)	4.5kW(예비용 포함)
가 동 시 간	24hr	3hr
월간 전력비용	469,340원	24,920원
년간 전력비용	5,632,080원	299,040원
전력비 절감효과	-	5,333,040원

\* 전력요금 산출근거 : 산업용(감) 고압전력을 봄, 가을철(4~6, 9월)에 사용시 한국전력 전기 요금 산출방법

### 1) 인건비

농어촌 생활오수 처리 시설은 개별 시설에 관리인을 고용할 수 없는 경우가 대부분이므로 특별한 자격증을 가진 기능 인력이 없이 관리가 가능한 처리 기술의 개발이 요구된다. 목편 살수여상 오수정화 system은 기존 공법이 필요로 하는 각종 기계설비 및 유지관리의 난해성을 해소하여 오수처리시설 운영에 전문적인 지식이 없는 누구라도 쉽게 운영, 관리할 수 있는 공법이다. 따라서 인력 보충 없이 기존 인력 중 누구라도 업무 수행도중 살수 노즐 관찰, 펌프류의 이상 유무, 침전조 및 방류조 청소 등 일반적인 사항만 월 1회 가량 관리하면 되므로 별도의 인력비용은 소요되지 않을 것으로 사료된다.

### 2) 전력비

전력비는 현장에 전력계를 설치하여 조사하였다. 전력비의 소요명세는 아래와 같으며 연간 299,000원의 전력비를 요구하였다.(표 2-36)

Table 2-36. 전력비 소요액

구분	전력소요 명세서
총 소요동력	4.5 kW(예비용 포함)
일일 가동시간	3 시간
월간 사용 동력량	$2.25 \text{ kW} \times 3\text{hr} \times 30\text{일} = 202.5 \text{ kWh}$
년간 사용 동력량	$202.5 \text{ kWh} \times 12 = 2,430 \text{ kWh}$ 계약전력 3kW이고 한달에 월간 202.5kWh를 사용한 경우
기본요금	$3 \text{ kW} \times 4,240 = 12,720\text{원}$
전력량 요금	$202.5 \text{ kWh} \times 49.1\text{원} = 9,942.8\text{원}$
전기요금 합계 (원미만 4사 5입)	$12,720\text{원} + 9,942.8\text{원} = 22,663\text{원}$
부가가치세 (원미만 4사 5입)	$22,663\text{원} \times 0.1 = 2,266\text{원}$
월청구금액 (10원미만 절사)	$22,663\text{원} + 2,266\text{원} = 24,920\text{원}$
년간 전력비용	$24,920 \times 12 = 299,040\text{원}$

### 3) 재료비(약품사용비)

본 목편 살수여상 오수 정화 시스템은 침엽수류의 자연소재의 목편을 가공하여 여재

로 사용하며, 목편 여재에 하나의 생태계를 형성하여 부착·성장하는 다양한 미생물에 의하여 오염물질을 처리하기 때문에 약품사용이 전혀 없다.

#### 4) 슬러지 처리비

슬러지 처리비용은 아래와 같이 계산하였다.

$$\text{TSS} = \text{FSS}(25\%) + \text{VSS}(75\%)$$

총고형물 산화되지 않는 부유고형물 산화되는 부유고형물

일일 오수발생량 : 25 m<sup>3</sup> (평가대상시설)

평균 유입수의 SS농도 : 137.7 mg/ℓ

일일 혐기조에 침전되는 FSS량 : 137.7 mg/ℓ × 25 m<sup>3</sup> × 0.25 = 0.86kg/일

슬러지 함수율을 98 %로 보면

년간 슬러지 발생량 : 0.86kg/일 × 365일 × 100 ÷ (100 - 98) = 15.70 m<sup>3</sup>/년

슬러지 처리비용 : 12,000원/m<sup>3</sup>

※톤당 슬러지 처리비용은 지방자치단체별로 조금씩 상이함

년간 슬러지 처리비용 : 15.70 m<sup>3</sup>/년 × 12,000원/m<sup>3</sup> = 188,400원

#### 5) 연간 m<sup>3</sup> 유지관리비

년간 m<sup>3</sup>당 유지관리비는 53.4원을 나타내어 유지관리 측면에서 기존의 활성오니법 혹은 접촉산화법에 의한 정화방법보다 유지관리비가 적게 소요되는 처리기술이었다.

처리단가 = 53.4 원/m<sup>3</sup>

$$\begin{aligned} \text{계산식 : 처리단가} &= \frac{(\text{년간운영비용})}{(\text{년간처리량})} = \frac{(487,440\text{원})}{(25\text{m}^3/\text{일} \times 365\text{일})} \\ &= 53.4 \text{ 원/m}^3 \end{aligned}$$

본 기술의 경제성을 타 공법과 비교할 때 시공 비용의 저렴과 각종 기계장치의 미사용 등 설치공정의 간략성으로 신설될 오수처리시설의 선정시 타기술 공법에 비하여 경제성이 부각되고 장기폭기방식, HBC etc. 오수처리장 시공시 m<sup>3</sup> 오수량에 대해 200~300만원대의 고가의 설치비용을 50~100만원대의 저가로 설치할 수 있다. 본 정화기술은 기존 정화시설의 복잡한 기계장치 사용으로 고가의 유지관리에 드는 비용을 현저히 줄임으로써 경제적 비용 부담금이 줄어든다. 본 기술로 오수처리시설의 보수 공사시 기초 토목구조를 철거없이 그대로 사용하면서 고도처리시설을 시공할 수 있어 지상의 적은 소요부지만을 필요로 하고 간단한 기계 즉 소량의 펌프만이 사용되어 유지관리비로 월 전기사용료만이 부과되어 직접, 간접적인 경제적 이점은 타공법에 비하여 경제성을 갖는다.

Table 2-37. 오수정화시설 처리공법별 유지관리 동력비, 평균소독약품 등 비용 비교

공 법	동 력 비		중균제 (원/월)	소독약품 (원/월)	기타 (원/월)	합계
	kW/월/m <sup>3</sup>	원/m <sup>3</sup>				
현수미생물접촉법 (HBC)	31	2,340	2,880	1,200		6,420
장기폭기법	86	6,480	2,880	1,200		10,560
접촉산화법	58	4,320	2,880	1,200		8,400
자연정화법 (Bio-reactor)	2	166			1,680 (충전보충)	1,846
토양트렌치법	6	450				450
합병 정화조	39	2,925				2,925
고효율 오수합병 정화시설 (KDHST)	22	1,650				1,650
흡수성 Bio-filter	6	500				500
순환 여과식 Bio-filter	27	2,025			2,300 (산소교체비)	2,300
목편정화시스템	5	350				250

Table 2-38. 개발기술의 기존공법 대비 유지비 절감액

공 법	유 지 비 (원/월/m <sup>3</sup> )	유 지 비 (원/월/50m <sup>3</sup> )	유 지 비 (원/년/50m <sup>3</sup> )	유 지 비 (원/년/50m <sup>3</sup> )
목편 정화시스템	350	17,500	210,000	2,100,000
현수 미생물 접촉법 (HBC)	6,420	321,000	3,852,000	38,520,000
장기폭기법	10,560	528,000	6,336,000	63,360,000
접촉산화법	8,400	420,000	5,040,000	50,400,000
자연정화법 (Bio-reactor)	1,846	92,300	1,107,600	11,576,000
토양트렌치법	450	22,500	270,000	2,700,000
합병 정화조	2,950	147,500	1,770,000	17,700,000
고효율 오수합병 정화시설 (KDHST)	1,650	82,500	990,000	9,900,000
흡수성 Bio-filter	500	25,000	300,000	3,000,000
순환여과식 (Bio-filter)	2,300	115,000	1,380,000	13,800,000

Table 2-39. 개발기술의 기존공법 대비 공사비와 유지비 절감액

개발기술의 기존공법대비	공 사 비 (원/50m <sup>3</sup> )	유 지 비 (원/50m <sup>3</sup> /10년)	공사비+유지비 (원/50m <sup>3</sup> )	지 수
목편 정화시스템	50,000,000	2,100,000	52,100,000	100
현수 미생물 접촉법 (HBC)	60,000,000~ 100,000,000	38,520,000	98,520,000~ 138,520,000	189~266
장기폭기법	100,000,000	63,360,000	163,360,000	314
접촉산화법	100,000,000	50,400,000	150,400,000	289
자연정화법 (Bio-reacter)	65,000,000~ 82,500,000	11,076,000	76,076,000~ 93,500,000	146~179
토양트렌치법	110,000,000	2,700,000	112,700,000	216
합병 정화조	95,000,000	17,700,000	112,700,000	216
고효율 오수합병 정화시설 (KDHST)	120,000,000	9,900,000	129,900,000	249
흡수성 Bio-filter	90,000,000~ 150,000,000	3,000,000	93,000,000~ 153,000,000	178~294
순환여과식 (Bio-filter)	75,000,000~ 90,000,000	13,800,000	88,800,000~ 103,800,000	170~199

경제 산업적 파급효과는 아래와 같다.

- 활성오니와 같이 기계의존형 기술이 아니므로 동력비, 약품비 등의 유지관리비 70%이상 절감
- 전기력 장치 최소사용에 의한 운전시 전기에너지 80% 절감
- 설치비 50% 이상 절감
- 축산뇨오수 처리비용 절감으로 축산의 국제경쟁력 강화
- 수자원 보호와 농업용수 절감
- 어촌의 축산·생활오수를 고도정화
- 국립공원, 유원지, 농어촌 산간지역 사찰, 산간오지 농가와 음식점 오수를 고도처리
- 부락이 산재한 농어촌에 하수도 시설을 하지 않아도 된다.

## 제5절 결론

본 연구는 물리·화학적 처리시스템에 비하여 슬러지 발생량이 적고 유입오수의 부하변동에 대하여 대응성이 크며, 유지비가 적게 들고, 운전관리가 용이한 생물막공정인 살수여상법 공정을 개발하였다. 개발된 생분해 천연여재인 목편칩 살수여상 시스템을 이용하여 농촌지역 생활하수의 유기물질을 효율적으로 처리하는데 미치는 각 영향인자 및 운전인자를 도출 연구하여 사계절 안정적인 방류수를 얻을 수 있었다. 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 본 연구에서 개발된 정화용 목편칩 여재의 물리·화학적 특성을 보면 가로 150~650 $\mu\text{m}$ , 세로 75~200 $\mu\text{m}$ 의 수많은 소공극들이 방사방향으로 규칙적으로 배열되어 있으며, 비표면적이 120~240 $\text{m}^2/\text{m}^3$ 이고, 공극율이 75~80%정도로 미생물이 서식하기에 좋은 조건을 가지고 있음을 알 수 있었다. 또한 목편칩 여재의 평균 열전도도는 0.07 $\text{kcal}/\text{m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}$ 로서 다른 여재들 보다 낮게 나타나 보습, 보온성 및 단열성이 우수하고, 목질의 주성분인 셀룰로오스의 복잡한 3차원 구조에 의하여 매우 큰 표면적을 지니고 있어 생물막처리공법인 살수여상조의 담체로서 우수함을 알 수 있었다.

2. Lab-scale 살수여상조 반응의 특성 분석 결과 가동 후 33일까지는 유입수보다 유출수의 COD 농도가 증가하였으나, 가동 후 62일부터는 처리효율이 안정화되었다. 또한, 미생물인 박테리아가 부착된 것을 육안으로 관찰한 결과 가동 초기에는 끈적끈적한 층이 형성되지 않았으나, 가동 3일 후부터 조금씩 층이 형성되기 시작하여 가동 20일부터는 끈적끈적한 층이 거의 다 형성되었음을 확인하였으며, 평균 열흐름률은 0.062W로서 반응조의 중앙부에서 바깥쪽으로 열이 전달되어 미생물이 성장하기에 좋은 조건을 만들고 있음을 알 수 있었다.

3. 목편칩 살수여상 반응조의 운전조건은 유기물 부하량, 수리학적 부하량, 암모니아 부하량은 각각 0.3 $\text{kg BOD}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ , 3.5 $\text{m}^3/\text{m}^3\cdot\text{d}$ , 0.1 $\text{kg NH}_4^+-\text{N}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ 로서 저속과 중속 살수여상의 운전범위에 있으며 BOD 표면부하 2.8 $\text{kg BOD}/1,000\text{ m}^2\cdot\text{d}$ 로서 DO 농도가 충분히 유지되고 여상막힘(clogging)은 일어나지 않는 시스템을 개발하였다.

4. 보완된 생분해 천연여재 목편칩 살수여상 시스템의 적용 결과 BOD<sub>5</sub> 96.1%, COD<sub>cr</sub> 83.3%, SS 94.6%, T-N 73.3%, T-P 60.0%의 평균 처리효율을 나타내어 본 정화처리 시스템은 질산화가 만족스럽게 일어나며, 오수처리 시설의 방류수 수질기준인 BOD<sub>5</sub>의 수질조건을 10mg/ℓ를 충분히 만족하면서 질소와 인의 동시제거가 가능한 시스템이었다.

5. 재순환율에 따른 처리 결과, 재순환율이 증가할수록 유기물제거 효율은 다소 높아졌으며, T-N 및 T-P의 제거효율은 점점 증가하였으나, PO<sub>4</sub><sup>-</sup>-P 및 SS는 감소하였다. 본 시스템을 재순환할 경우, 재순환에 의하여 생물막과 접촉기회를 증대시켜, 유기물 제거효율을 높임과 동시에 질산화 및 탈질화 정도를 향상시키며, 질소 및 인의 처리효율을 높일 수 있다.

6. 기본 처리시설 가동시 일일 25m<sup>3</sup> 처리시 연간 전력비가 202.5kW 소요되었으며, 일일 25m<sup>3</sup> 처리시 슬러지 발생량은 0.86kg/일로서 연간 15.7m<sup>3</sup>이 발생되었다.

## 제6절 참고문헌

1. Albertson, O. E. (1989), "Slow down that trickling filter.", Operations Forum 6(1), pp. 15-20.
2. Anthoniou, A. C.; J. Hamiton; B. Koopman; R. Jain; B. Holloway; G. Lyberatos; and S. A. Svoronos (1990), "Effect of temperature and pH on the effective maximum specific growth rate of nitrifying bacteria.", Wat. Res., 24(1), pp. 97-101.
3. Barners, D.; and P. J. Bliss (1983), "Biological Control of Nitrogen in Wastewater Treatment." E. and F. N. Spon Ltd.
4. Behrman, B. W.; G. W. Weil; and E. R. Jones (1983), "A Review of Biological Phosphorus Removal Technology, Presented at the Water Pollution Control.", Federation Annual Conference Walsh.
5. Characklis, W. G.; M. J. Nimmons; and B. F. Picologl (1981), J. Heat Transfer Eng., 3, 23.
6. Eckenfelder, W. W., Jr. (1961), "Trickling Filter Design and Performance." , J. San. Eng. Div., A.S.C.E., 87, SA6, p. 87.
7. Eckenfelder, W. W., Jr.; and W. Barnhart (1963), "Performance of a High Rate Trickling Filter using Selected Media," WPCF, 35, 1535.
8. Ekama, G. A.; and G. V. R. Marais (1984), "Carbonaceous material removal, in theory, design and operation of nutrient removal activated sludge processes.", Pretoria, SA: Water Research Commission, pp. 3-4.
9. Focht, D. D.; and A. C. Chang (1975), "Nitrification and Denitrification Process Related to Wastewater Treatment," Adv. Appl. Microbial., 19, pp 153-186.
10. Galler, W. S. and H. B. Gotaas (1966), "Optimization Analysis for Biological Filter Design," J. San. Eng. Div., proc. A.S.C.E., 88, SAI, pp. 163-182.
11. Gujer, W.; and M. Boller (1985), "Design of a nitrifying tertiary trickling filter based on theoretical concepts.", Wat. Res., 20(11), pp. 1353-1362.
12. Harrison, J. R. (1984), "A Survey of Combined Trickling Filter and Activated Sludge Process.", JWPCF, Vol. 56. p. 1073.



13. Harrison, J. R., et al. (1987), " A Comparison of Trickling Filter Media.", JWPCF, Vol. 59, p. 679.
14. Hawkes, H. (1960), "Ecology of Activated Sludge and Bacterial Beds." , Waste Treatment (Ed. Tsac), Pergamon Press.
15. Henze, M. (1996), "Biological phosphorus removal from wastewater: Processes and technology.", Water Quality Intl., July/August, 1996, pp. 32-36.
16. Holman, J. P. (1981), Heat Transfer, 5th ed., McGraw-Hill, pp. 2-23.
17. Honda, Y., et al. (1983), "The effect of temperature on the growth of microbial film in a model trickling filter.", Water. Res., Vol. 17, No. 4, pp. 375-382.
18. Iwai, S; Y. Oshino; and T. Tsukada (1990), "Design and operation of small wastewater treatment plants by the microbial film process." , Water Science and Technology, Vol.22, No.3~4, pp. 139-144.
19. Jank, B. E.; and W. R. Drynan(1973), "Substrate Removal Mechanism of Trickling Filters," Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, EE3, 187.
20. Kornegay, B. H.; and J. F. Andrews (1967), "Characteristics and Kinetics of Fixed-Film Biological Reactors.", Final Report, Grant Wp-01181, Federal Water Pollution Control Administration, U.S. GPO, Washington.
21. Kritikon, C.; and W. W. Eckenfelder, Jr.(1980), Theory and Practice of Biological Wastewater Treatment.
22. Lazarova, V.; and J. Manem (1994), "Advances in biofilm aerobic reactors ensuring effective biofilm controls.", Water Sci. Technol. 29(10-11), pp. 345-354.
23. Matasci, R.; A. Bendict; D. Parker and C. Kaempfer (1986), "Trickling Filter/Solids Contact Process: Full Scale Studies.", US. EPA Pub. EPA 6002-86 046.
24. National Research Council (1946), "Trickling Filters(in Sewage Treatment at Military Installations)." , Pewage Works J., Vol. 18, No.5, p. 787.
25. Niels. P. R., et al. (1989), "Denitrification in a trickling filter biofilm studied by a microsensor for oxygen and nitrous oxide.", Water Res., Vol. 23., No. 7, pp. 867-871.

26. OECD (1998), Environmental Indicators – Towards Sustainable Development
27. Parker, D.; M. Lutz; R. Dahl; and S. Bernkopf (1989), "Enhancing reaction rates in nitrifying trickling filters through biofilm control.", J. Water Pollu. Control Fed., 61, p. 618.
28. Powell. M. A.; J. F. Webber; and R. A. Eaton (2000), "Changes in moisture, soluble carbohydrate, and bacterial numbers during water storage of pine.", Forest Products Journal, VOL. 50, No. 3, pp.74-80.
29. Revsbech, N. P., et al. (1989), "Denitrification in a trickling filter biofilm studied by a microsensor for oxygen and nitrous oxide.", Water. Res., Vol. 23, No. 7, pp. 867-871.
30. Rogalla, F.; M. Mauret; H. Rahmani; K. M. Nguen; B. Capdeville; J. C. Cornier; and A. Deguin (1994), "Population dynamics and nitrite build-up in activated sludge and biofilm processes for nitrogen removal.", Water Sci. Technol. 29(7), pp .43-51.
31. Särner, E. (1980), "Plastic Packed Trickling Filters.", Ann Arbor Sci. Michigan.
32. Scarpelli, R. (1984), "Trying a Trickling Filter on Industrial Wastes." , Pollution Engineering, pp. 42-71.
33. Schulze, K. L.(1960), "Load and Efficiency of Trickling Filters." , JWPCF, 32, p. 245.
34. U.S. EPA. (1971), "Trickling Filter Treatment of Fruits Processing Wastewater.", Pub. #12060 EEEAE 01971.
35. Velz, C. J. (1948), "A Basic Law for the Performance of Biological Beds." , Pewage Works J., Vol. 20, No.4, pp. 607-617.
36. Voeller, C. J. (1971), "Treatment of Combined Domestic Creamery and Potato Waste with Plastic Medea Trickling Filters.", Proc., 38th Annual Meeting, Pacific Northwest Pollution Control Association, Spokane, Wash.
37. Yun, Zuwhan. (1988), "Treatment of Trickling Filter Effluent using on Anoxically Enhanced Biological Flocculation "., 61th Ann. Conf. of W.P.C.F., Dallas, Texas.
38. 강봉래 (1994), 생물막여과법에 의한 육상 수조식 양식장 배출수의 처리특성, 제주

- 대학교 석사 학위논문, pp. 28-32.
39. 권순국 (1998), 우리나라 비점원 수질오염 관리의 문제점과 개선방안, 대한환경공학회지 Vol. 20, No 11.
  40. 나용훈 (1999), Pilot-scale BAF 공법을 이용한 하수로부터의 질소 제거에 관한 연구, 고려대학교 석사학위논문.
  41. 박경옥 (1995), 생물막공법을 이용한 생활오수의 처리효율 및 탈질화에 관한 연구, 서울시립대학교 석사학위논문.
  42. 유승웅 등 (1997), 오폐수 처리 기술 : zeolite를 이용한 질소, 인의 동시제거 공정개발, 삼성건설기술연구소 1단계 2차년도 연차보고서, 환경부.
  43. 윤병호 등 (1997), 최신 임산학, 지공사, pp. 148-158.
  44. 이인화, 진광수, 유병길, 박효열 (1992), 열적 비정상 상태방식을 이용한 몇 가지 건축용 자재의 열전도도 측정, 한국물리학회.
  45. 이정우 (1982), 건축 목구조, 지공사, pp. 35-36.
  46. 이찬기, 윤주환, 권재혁 (1992), 살수여상을 이용한 돈사 폐수처리와 질산화 영향, J. KSWPRC., VOL. 8. NO2., pp. 100-108.
  47. 이창희, 정용준, 도중호, 민경석 (2001), 저온에서의 슬래그여재 살수여상의 하수처리 특성과 재순환 영향, 대한환경공학회, 춘계학술연구발표회 논문집(I), pp. 143-144.
  48. 이필우 (1985). 목재 해부학, 서울대학교 출판부.
  49. 이혁우 (1967), 한국산 소나무류의 목재해부학적 성질과 그 조직에 관한 연구.
  50. 조병목 등 (1983), 임산화학, 향문사, p118~123.
  51. 조성희 등 (1973), 한국산 유용 목재의 조성에 관한 연구.
  52. 한국과학연구협의회 (1991), 농촌소규모 오수처리 효율적 처리방안에 관한 연구.
  53. 허목, 강봉래 (1995), 생물막여과법에 의한 육상수조식 양식장 배출수의 처리(II)-다공성 플라스틱 여재와 송이 여재를 이용한 현장 모형 실험-, 대한환경공학회, 17(10).
  54. 홍성철 (1992), 폭기 순환여상에 의한 쓰레기 매립지 침출수의 처리에 관한 연구, 서울시립대학교 박사 학위논문.
  55. 遠山兼泰, 奥村造一 (1987), Microcomputer를 이용한 熱 傳導 實驗, 物理教育 Vol.35 第 1號, 日本 物理教育學會, pp.18-21.

56. 基太村洋子 (1991). 木材の科学と利用技術II. 日本木材学会分科会報告書
57. 吉野實 (1973), ねが国 おける水質汚濁 と農業(1), 農及園, 48(11), 1397.
58. 金澤純 (1973), 植物連鎖と生体濃縮, 農及園, 48(1), 164
59. 三好洋 (1978), 水質汚濁と農地, 農業技術, 33(9), 390.
60. 池田眞次郎 (1973), 野生生物消長 と保護, 農及園, 48(1), 139
61. 富本泉 (1973), 水質汚濁による農作物公害, 農及園, 48(1), 144.

## 제3장 목편담체의 물성분석과 부착 미생물 조사

### 제1절 서론

유기성 오폐수를 처리하는 공법중 생물학적처리방법인 살수여상법은 쇄석 또는 다공질 여재를 겹쳐 쌓아올린 여상 위에 처리하고자 하는 오폐수를 살수시켜 BOD와 부유물질을 감소시켜 폐수를 처리하는 공법이다. 살수여상법은 CBOD와 유기물질을 안정화시키며, 조내의 콜로이드상과 용해된 유기물질은 미생물의 성장에 사용될 뿐만 아니라 이산화탄소와 같은 가스와 안정화된 고형물로 변환된다. 또한 오폐수에 있는 유기물질 때문에 미생물들이 매체 표면에서 성장하게 되며 이 미생물 층을 슬라임(slime) 이라 말하며 오폐수의 유기물질이 매체 위에 슬라임으로 흡착되고 미생물에 의해 먹이로 사용된다. 미생물이 부착된 슬라임은 미생물의 성장에 따라 점점 두터워지고 무거워지며 일부분이 떨어져나가 유출수와 함께 이송 되어 침전조에서 제거된다.

살수여상법은 과거 BOD, SS의 처리수질이 20~40 mg/ℓ 정도인 것으로 알려져 왔으나, 최근의 기술개발로 BOD, SS 10 mg/ℓ, NH<sub>3</sub>-N 1mg-N/ℓ 의 수준으로 처리가 가능한 것으로 보고되고 있다. 살수여상의 장점은 침투유량으로 인한 처리시스템에 문제가 야기되지 않는다는 점이다. 그래서 때로는 간이 살수여상을 활성슬러지 전단부에 조합시켜서 후속 활성슬러지공정의 BOD부하를 완화시키는데에 사용하기도 한다. 더욱이 살수여상으로 용존 BOD를 제거하면 활성슬러지에서의 팽화현상을 제어할 수 있는 것으로 알려져 있는데, 이 사실은 많은 오폐수를 처리하는 살수여상-활성슬러지 연계 시스템에서 보여지고 있다.

이번 조사는 살수여상공법의 처리효율을 증대할수 있는 목재담체의 재질, 물성특성을 확인하고 목편담체에 부착된 미생물의 활성도를 평가하는데 있다.

### 제2절 재료 및 방법

#### 1. 시료채취 장소 및 일시

가. 장소 : 강원도 원주시 호저면 대덕리 647번지 신향 영유아원 pilot 시험 정화조

## 나. 채취일시

- 1) 1차 : 2002년 7월 23일 (화) 오전 11시
- 2) 2차 : 2002년 9월 9일 (화) 오전 11시

## 2. 담체의 형상

### 가. 목편담체의 형상

목편담체의 물리적 특성을 조사하기 위한 분석시료는 그림 3-1과 같다.



Fig. 3-1. 목편담체 시료의 형상.

나. 살수여상조가 설치된 강원도 원주시 호저면 대덕리 647번지 신향 영유아원에서 채취한 목편담체의 형상은 그림 3-2, 그림 3-3과 같다.

각각의 목편담체의 시료 채취위치에 대한 구분은 표 3-1과 같다.

Table 3-1. 살수여상조에서 채취한 목편담체의 시료 구분

구 분	채취지점	비 고
1-1	제1 목편살수조 상단부	
1-2, 3	제1 목편살수조 중간부	
1-4, 5	제1 목편살수조 하단부	
2-1	제2 목편살수조 상단부	
2-2, 3	제2 목편살수조 중간부	
2-4, 5	제2 목편살수조 하단부	



Fig. 3-2. 목편 살수여상조에서 채취한 목편담체의 형상.



Fig. 3-3. 목편 살수여상조에서 채취한 목편담체의 형상



### 3. 목편담체의 물성특성 시험항목 및 방법

#### 가. 밀도(KS F 2202-99)

밀도 : 시험체의 질량(g)/질량을 측정할 때의 공시체 부피( $\text{cm}^3$ )

#### 나. 세공용적 및 비표면적

1) 시험기기 : ASAP2405 (Micromeritics, USA)

2) 시험방법 : 고체 표면에서 기체의 물리적 흡착을 Volumetric Method에 의해 측정하였다. Degassing에 의해 전처리한 시료에 액체질소 온도하에서 고순도 질소를 물리흡착시켜 압력변화로부터 흡착량을 구하였다. 포화증기압에 대한 상대압력에 따른 흡착량의 변화로부터 흡착등온선을 구하여 세공크기 분포를 유추하고, 흡착량으로부터 세공용적을 계산하였다. 또한 BET식을 이용하여 단분자층 흡착량과 고체의 비표면적을 구하였다.

#### 다. 내약품성 실험

- 1) 적어도 같은 재료에 대하여 3개의 시험편에 대해 시험을 하였다.
- 2) 각 시험편은 각각 별도의 용기에 넣고 조제된 pH4, pH10의 수용액에 넣고 완전히 담근다.
- 3) 각 용기는  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 를 유지하며 시험기간은 15일로 하였다.
- 4) 각 용기는 24시간에 수회 천천히 회전을 시켜 주었다.
- 5) 시험이 끝난 후 시험편을 꺼내어 증류수로 세척을 한 후 마른헝겊에 두고 건조시킨 후 외관을 관찰하여 변색유무를 확인하였다.

#### 라. S.E.M 측정

1) 시험기기 : 주사형전자현미경(STEREOSCAN 440, LEICA, U.K)

2) 시험방법 : 시료의 단면을 Gold Coating한 후 진공상태( $4.5 \times 10^{-6}$ Torr)에서 200배

율로 측정하였다.

#### 마. 압축강도(KS F 2206-99)

목편담체의 물리적 특성은 압축강도를 측정하여 확인하였다. 시험편의 크기 및 형태는 그림 3-4와 같이 횡단면이 한 변의 길이가 20mm인 정사각형이며, 섬유방향의 길이가 30~60mm인 직육면체의 형태로 제작하였다.



Fig. 3-4. 목편담체의 압축강도 시험편.

- 1) 시험기기 : 만능재료시험기(USA:INSTRON,100kN,5582)
- 2) 시험조건 : 시험속도는 1.5~2분에 파단되도록 하였으며, 압축강도시편의 함수상태는 기건상태로서 함수율은 약11~17%가 유지되도록 하였다.
- 3) 시험방법 : 하중 블록 사이에 시험편의 방사단면이 위로 향하게 위치시키고, 시험편이 1.5±0.5분 사이에 비례한도에 도달하도록 균일한 속도로 압축하중을 가하여 시험을 실시하였으며, 시험 중에 하중과 변형을 각각 1% 및 0.01mm 의 정확도로 가중하였다.



Fig. 3-5. 만능재료시험기와 압축강도 시험장면.

**바. 함수율 (KS F 2202-99)**

1) 계산 : 함수율(%) =  $(W_1 - W_2) \times 100 / W_2$

$W_1$  : 건조 전의 질량(g),  $W_2$  : 절건 상태의 질량(g)

절건 상태의 질량은 시험편을 환기가 좋은 건조기 속에서 100~105℃로 건조하고, 함량에 도달했을 때의 질량으로 표시하였다.

2) 시험기기 : 건조기(0~150℃) (KOREA, 신강정밀)

**4. 목편담체 부착미생물 분석**

목편담체에 부착된 부착미생물의 건조밀도, 단위면적당 부착량, 생물막 두께, 부착미생물의 형상, 함수율을 측정하기 위해 2회에 걸쳐 현장 시료채취를 실시하였다.

**가. 목편 살수여상조의 목편담체 채취방법**

1) 제1 목편 살수여상조와 제2 목편 살수여상조를 3등분하여 외벽에 시료 채취구를 만들었다.

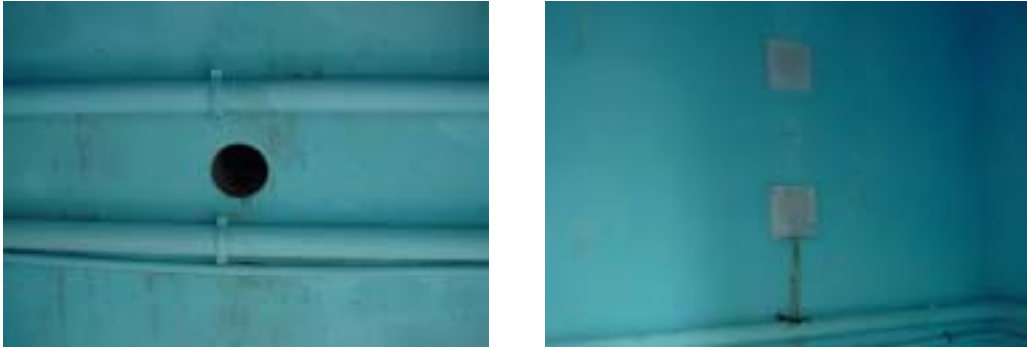


Fig. 3-6. 제1, 제2 목편 살수여상조의 시료채취구.

2) 시료채취구에서 목편담체를 채취할 장비는 수평유압식 지게와 약 5m의 채취장비를 이용하였다.



Fig. 3-7. 수평유압식 지게와 시료채취장비.

3) 제1, 제2 목편 살수여상조의 상단부는 목편담체를 약 30cm를 걷어내고 채취하였으며, 중단 및 하단부는 채취공을 이용하여 채취하였다.



Fig. 3-8. 각 목편 살수여상조 상단부와 시료채취공

#### 나. 부착미생물 측정방법

목편담체에 부착미생물의 측정은 부착된 미생물의 완전한 탈리를 위하여 알카리 및 초음파 세정에 의한 방법을 사용하였다.

##### 1) 알카리 및 초음파 세정에 의한 방법<sup>1,2)</sup>

가) 담체를 5개를 1조하여 3조를 준비한다.

나) 담체를 50 mL Test tube에 담은후 0.125 NaOH 30mL를 주입하고 1시간동안 초음파 세정과 가수분해를 병행한다.

다) 초음파 세정후 세정액은 따로 모으고 다시 증류수를 30mL주입하여 30분간 초음파 세정을 한다(2회)

라) 가수분해 세정액과 증류수세정액을 모아 TS를 측정한다.

마) 세정이 완료된 담체는 습윤무게를 측정한다.

바) 담체를 60℃에서 48시간 건조하고 건조무게를 측정한다.

#### 다. 부착미생물의 건조밀도 계산<sup>3,4)</sup>

- 부착미생물 건조무게(g)/생물막두께( $\mu\text{m}$ )\*담체표면적( $\text{m}^2$ )

#### 라. 부착미생물의 함수율 계산

- (부착미생물 건조전 미생물량(g)-부착미생물의 건조무게(g))\*100/부착미생물 건조전 미생물량

#### 마. 생물막 두께<sup>3,4)</sup>

생물막 두께( $\mu\text{m}$ ) :  $1/\theta$ \*부착미생물 젖은무게(g)/담체 표면적( $\text{m}^2$ )

$\theta$ : 젖은 생물막 밀도( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) ---  $1.017 \text{ g}/\text{cm}^3$

여기서 젖은 생물막 밀도는 Park와 Ganzarczyk에 의해서 제시된 탈리된 미생물의 응집체의 밀도값  $1.017 \text{ g}/\text{cm}^3$ 을 적용하였다.<sup>5)</sup>

#### 바. 담체 단위 면적당 부착미생물량

담체 단위 면적당 부착미생물량( $\text{mg}/\text{cm}^2$ ) : 부착미생물 건조무게(g)/담체표면적( $\text{m}^2$ )  
 $\times 1/10$

#### 사. 부착미생물의 현미경 측정

전자현미경에 의한 실측촬영을 하여 외관으로 관찰하였다.

- 시험기기 : 전자현미경(Nikon, YS2H-H, 일본)

#### 아. 부착미생물의 호기성균과 혐기성균 시험

- 시험방법 : 표준평판법

- 표준평판균수는 검체중에 존재하는 균수를 표준한천배지내에서 발육할 수 있는 중온세균의 수를 말한다. 이방법은 보통 검체와 표준한천배지를 패트리접시중에 혼합 응고시켜 배양 후 발생한 세균의 집락수로부터 검체중의 총균수를 산출하는 방법이다.

### 제3절 시험결과 및 고찰

#### 1 목편담체의 물성특성 결과

목편칩 담체의 물성특성은 표 3-2와 같이 나타났다. 목편의 압축 강도는 섬유방향으로 기건 상태에서 34.8 N/mm<sup>2</sup>이었고, 비표면적은 0.4123 m<sup>2</sup>/g, 세공용적은 0.0947 cm<sup>3</sup>/g 이었다.

Table 3-2. 목편칩 담체의 물성특성

시험항목	단위	시험결과
밀도	g/cm <sup>3</sup>	0.49
압축강도 (섬유방향, 기건상태)	N/mm <sup>2</sup>	34.8
함수율	%	33.8
내약품성(pH 4)	-	이상없음(그림 3-12, 3-13 참조)
내약품성(pH 10)	-	이상없음(그림 3-12, 3-13 참조)
SEM	-	그림 3-10, 3-11 참조
세공용적	cm <sup>3</sup> /g	0.0947
비표면적	m <sup>2</sup> /g	0.4123

#### 가. 목편담체의 압축강도 시험결과

목재담체의 섬유방향의 압축강도는 KS F 2206의 섬유 직각 방향 압축 시험에 따라 실시하였고 시험편은 10개를 분석하였다. 시험결과는 그림 3-9와 같다.

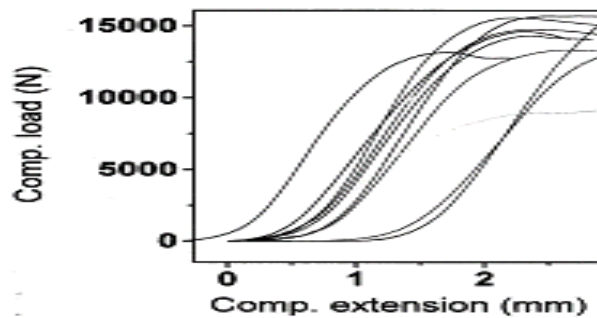


Fig. 3-9. 섬유방향 압축강도 결과(기건상태).

#### 나. 목편담체의 SEM 시험결과

목편담체의 표면구조는 그림 3-10, 그림 3-11과 같이 S.E.M을 이용하여 500배와 1000 배를 확대한 모습이다. 표면이 거칠고 여러 형태의 공극이 있는 것을 볼 수 있었다.

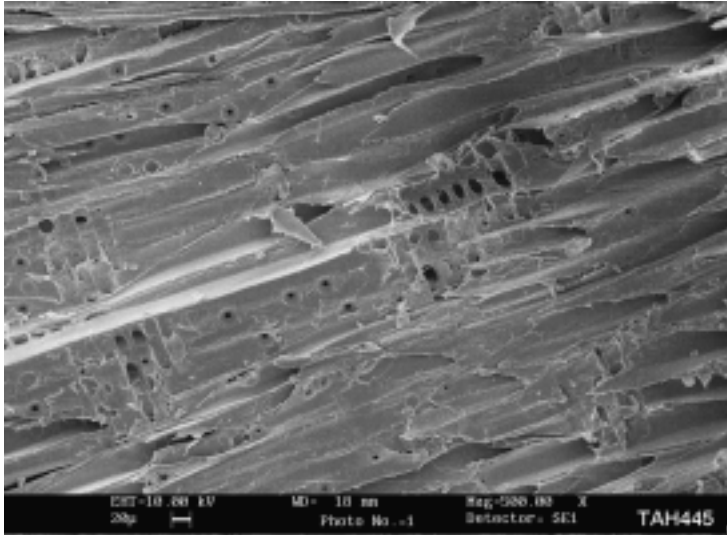


Fig. 3-10. 목편칩 담체의 SEM 결과(500배)

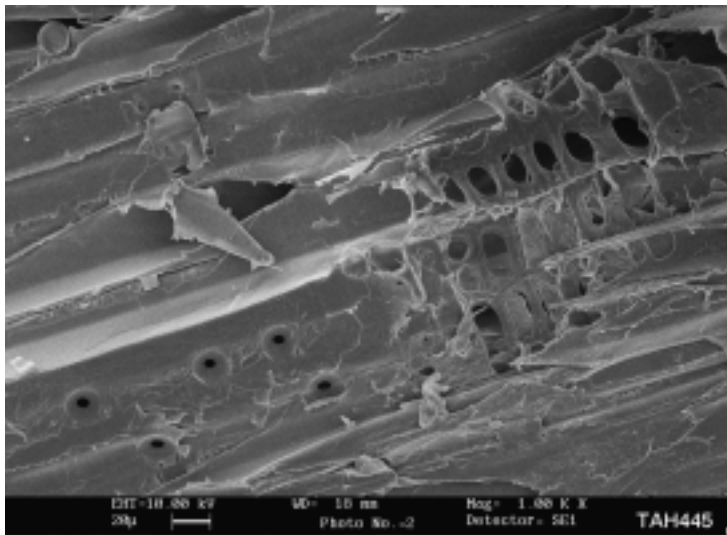


Fig. 3-11. 목편칩 담체의 SEM 결과(1000배)



#### 다. 목편담체의 내약품성 시험결과

목편담체에 대한 내약품성은 pH 4와 pH 10의 용액을 조제하여 15일동안 침지한 후 외관을 변색유무를 관찰하였다. 시험결과는 그림 3-12, 그림 3-13과 같이 산, 알칼리에 서 외관에 대한 변색 및 형태의 변화가 없는 것으로 확인되었다.



Fig. 3-12. 목편칩 담체의 내약품성 시험전



Fig. 3-13. 목편칩 담체의 내약품성 시험후(15일)

## 2. 목편담체의 부착미생물 결과

목편담체의 부착미생물의 특성을 확인하기 위해서 강원도 원주시 호저면 대덕리 647번지 신항 영유아원 오폐수처리장을 총 2회에 걸쳐 현장에서 채취된 시료를 대상으로 시험을 실시하였다. 측정결과는 표 3-3~표 3-7, 그림 3-14~그림 3-20과 같다.

목편칩 담체의 부착미생물량 측정결과 단위면적당 부착미생물량은 6.4 ~ 2.5 mg/cm<sup>2</sup>의 분포를 보였고, 제1 목편칩 살수여상조는 평균 3.91mg/cm<sup>2</sup>, 제2 목편칩 살수여상조는 평균 4.96mg/cm<sup>2</sup>으로 조사 되었다.

Table 3-3. 목편칩 담체의 단위면적당 부착미생물량

시 험 항 목	단위	시료구분	1차 3회 평균	2차 3회 평균	비고
단위면적당 부착미생물량	(mg/cm <sup>2</sup> )	제1 목편살수조 상단	5.654	3.327	1~1
		제1 목편살수조 중단-1	4.796	3.951	1~2
		제1 목편살수조 중단-2	4.163	4.746	1~3
		제1 목편살수조 하단-1	2.449	2.539	1~4
		제1 목편살수조 하단-2	4.541	2.961	1~5
		<b>제1목편살수조 종합평균</b>	<b>4.321</b>	<b>3.505</b>	-
		제2 목편살수조 상단	5.376	5.539	2~1
		제2 목편살수조 중단-1	5.329	5.240	2~2
		제2 목편살수조 중단-2	3.564	6.423	2~3
		제2 목편살수조 하단-1	4.598	4.528	2~4
		제2 목편살수조 하단-2	3.755	5.282	2~5
		<b>제2 목편살수조 종합평균</b>	<b>4.524</b>	<b>5.402</b>	-

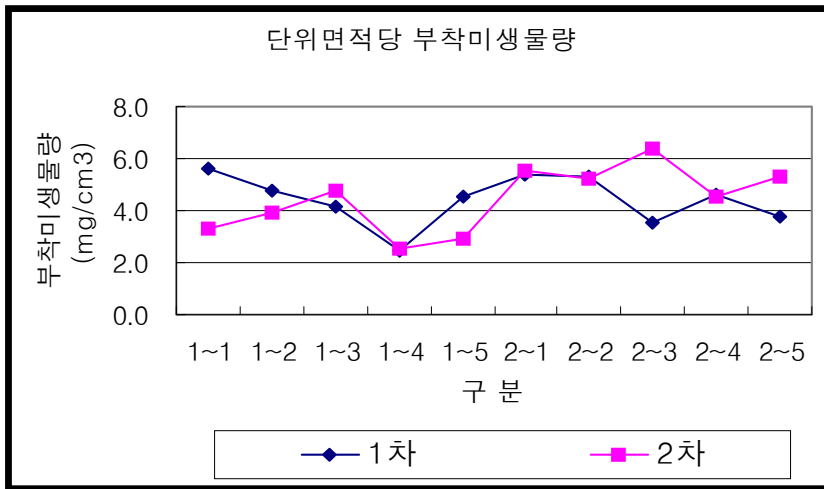


Fig. 3-14. 목편담체의 단위면적당 부착미생물량

부착미생물의 건조밀도는 제1 목편 살수여상조 평균 0.2655g/cm<sup>3</sup>, 제2 목편 살수여상조 평균 0.2655g/cm<sup>3</sup>이었다.

Table 3-4. 목편담체의 부착미생물 건조밀도

시 험 항 목	단위	시료구분	1차 3회 평균	2차 3회 평균	비고
건조밀도	(g/cm <sup>3</sup> )	제1 목편 살수조 상단	0.390	0.222	1~1
		제1 목편살수조 중단-1	0.189	0.225	1~2
		제1 목편살수조 중단-2	0.233	0.331	1~3
		제1 목편살수조 하단-1	0.292	0.180	1~4
		제1 목편살수조 하단-2	0.301	0.293	1~5
		<b>제1 목편살수조 종합평균</b>	<b>0.281</b>	<b>0.250</b>	-
		제2 목편살수조 상단	0.131	0.224	2~1
		제2 목편살수조 중단-1	0.167	0.255	2~2
		제2 목편살수조 중단-2	0.273	0.354	2~3
		제2 목편살수조 하단-1	0.592	0.202	2~4
		제2 목편살수조 하단-2	0.170	0.283	2~5
		<b>제2 목편살수조 종합평균</b>	<b>0.267</b>	<b>0.264</b>	-

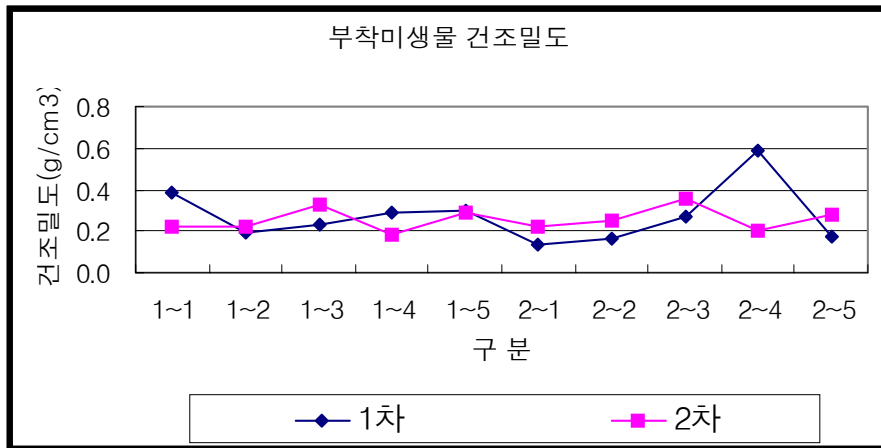


Fig. 3-15. 목편담체의 부착미생물 건조밀도

목편담체 부착미생물의 함수율은 제1 목편 살수여상조 평균 74.8%, 제2 목편 살수여상조 평균 74.0%이었다.

Table 3-5. 목편담체의 부착미생물 함수율

시 험 항 목	단위	시료구분	1차	2차	비고
			3회 평균	3회 평균	
함 수 율	%	제1 목편살수조 상단	61.7	78.2	1~1
		제1 목편살수조 중단-1	81.4	77.8	1~2
		제1 목편살수조 중단-2	77.0	67.5	1~3
		제1 목편살수조 하단-1	77.9	82.3	1~4
		제1 목편살수조 하단-2	70.5	74.0	1~5
		<b>제1 목편살수조 종합평균</b>	<b>73.7</b>	<b>76.0</b>	-
		제2 목편살수조 상단	87.1	77.9	2~1
		제2 목편살수조 중단-1	83.5	74.9	2~2
		제2 목편살수조 중단-2	73.2	65.2	2~3
		제2 목편살수조 하단-1	41.8	80.1	2~4
		제2 목편살수조 하단-2	83.3	72.2	2~5
		<b>제2 목편살수조 종합평균</b>	<b>73.8</b>	<b>74.1</b>	-

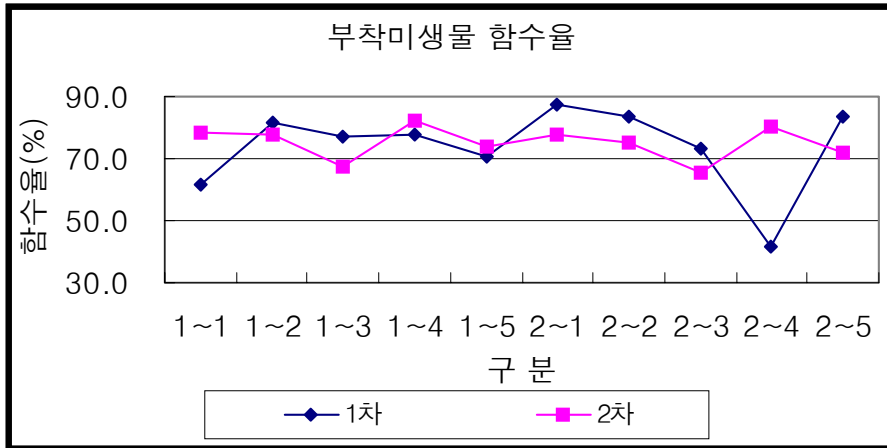


Fig. 3-16. 목편담체의 부착미생물 함수율

목편담체에 부착된 미생물의 생물막 두께는 4.0~0.9 $\mu\text{m}$ 의 분포를 이루고, 제1 목편 살수여상조 평균 1.6365 $\mu\text{m}$ , 제2 목편 살수여상조 평균 2.439 $\mu\text{m}$ 의 결과를 얻었다.

Table 3-6. 목편담체의 부착미생물 생물막 두께( $\mu\text{m}$ )

시 험 항 목	단위	시료구분	1차	2차	비고
			3회 평균	3회 평균	
생물막 두께	$\mu\text{m}$	제1 목편살수조 상단	0.879	1.538	1~1
		제1 목편살수조 중단-1	3.724	1.896	1~2
		제1 목편살수조 중단-2	1.982	1.477	1~3
		제1 목편살수조 하단-1	1.072	1.447	1~4
		제1 목편살수조 하단-2	1.197	1.154	1~5
		<b>제1 목편살수조 종합평균</b>	<b>1.771</b>	<b>1.502</b>	-
		제2 목편살수조 상단	4.108	2.489	2~1
		제2 목편살수조 중단-1	3.276	2.231	2~2
		제2 목편살수조 중단-2	1.649	2.064	2~3
		제2 목편살수조 하단-1	0.637	2.288	2~4
		제2 살수조 하단-2	3.474	2.171	2~5
		<b>제2 목편살수조 종합평균</b>	<b>2.629</b>	<b>2.249</b>	-

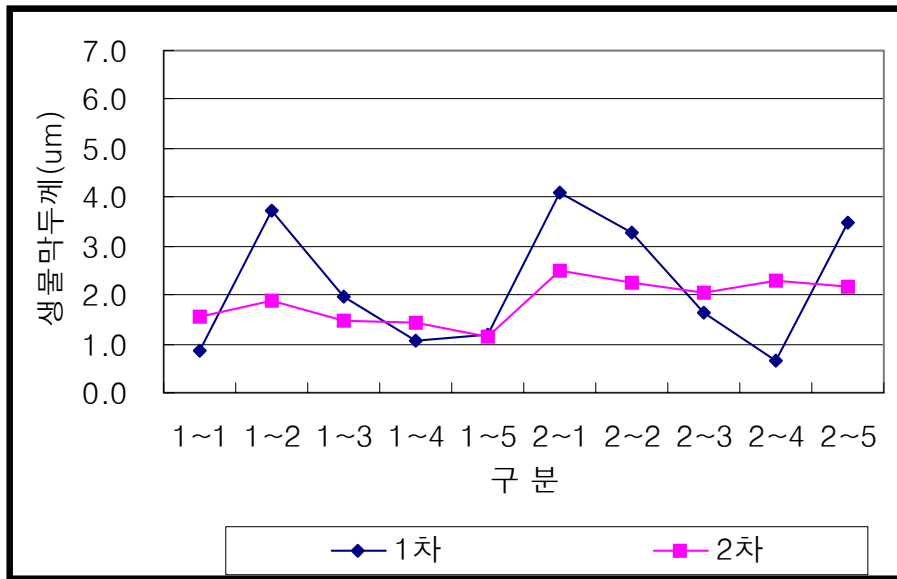


Fig. 3-17. 목편담체의 부착미생물 생물막 두께(μm)

### 3 목편담체의 부착미생물 형상 및 균수

부착미생물의 형상은 전자현미경(Nikon, YS2H-H, 일본)에 의한 실측촬영을 하여 외관으로 관찰하였다. 또한 부착미생물의 호기성균은 표준평판법에 의한 세균수 측정방법으로 표준한천배지를 사용했다. 부착미생물의 혐기성균은 Brewers Anaerobic Agar를 사용해 Anaerobic System으로 시험하였다. 시험 결과는 표 3-7과 그림 3-18~그림 3-20과 같다.

부착미생물의 균수 측정에서 호기성균은 제1 목편 살수여상조 평균  $1.2 \times 10^8$  CFU/ml, 제2 목편 살수여상조 평균  $1.7 \times 10^7$  CFU/ml, 혐기성균은 제1 목편 살수여상조 평균  $5.2 \times 10^6$  CFU/ml, 제2 목편 살수여상조 평균  $4.3 \times 10^5$  CFU/ml 이었다.

Table 3-7. 목편담체의 부착미생물 군수

시 험 항 목	단 위	시료구분	호기성균	혐기성균	비고
균 수	CFU/ml	제1 목편살수조 상단	$5.6 \times 10^8$	$2.5 \times 10^7$	1~1
		제1 목편살수조 중단-1	$1.8 \times 10^6$	$7.1 \times 10^5$	1~2
		제1 목편살수조 중단-2	$2.2 \times 10^6$	$1.1 \times 10^5$	1~3
		제1 목편살수조 하단-1	$4.0 \times 10^6$	$2.5 \times 10^4$	1~4
		제1 목편살수조 하단-2	$2.0 \times 10^7$	$6.9 \times 10^4$	1~5
		<b>제1 목편살수조 종합평균</b>	$1.2 \times 10^8$	$5.2 \times 10^6$	-
		제2 목편살수조 상단	$7.0 \times 10^7$	$1.0 \times 10^6$	2~1
		제2 목편살수조 중단-1	$1.2 \times 10^6$	$1.5 \times 10^5$	2~2
		제2 목편살수조 중단-2	$1.6 \times 10^6$	$2.2 \times 10^5$	2~3
		제2 목편살수조 하단-1	$1.1 \times 10^7$	$2.8 \times 10^5$	2~4
		제2 목편살수조 하단-2	$3.7 \times 10^6$	$5.0 \times 10^5$	2~5
		<b>제2 목편살수조 종합평균</b>	$1.7 \times 10^7$	$4.3 \times 10^5$	-

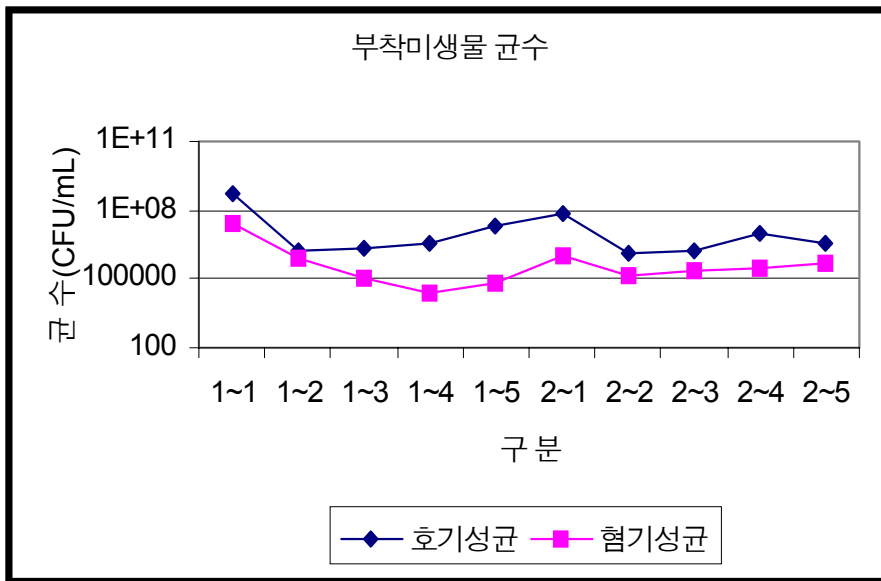


Fig. 3-18. 목편담체의 부착미생물 군수

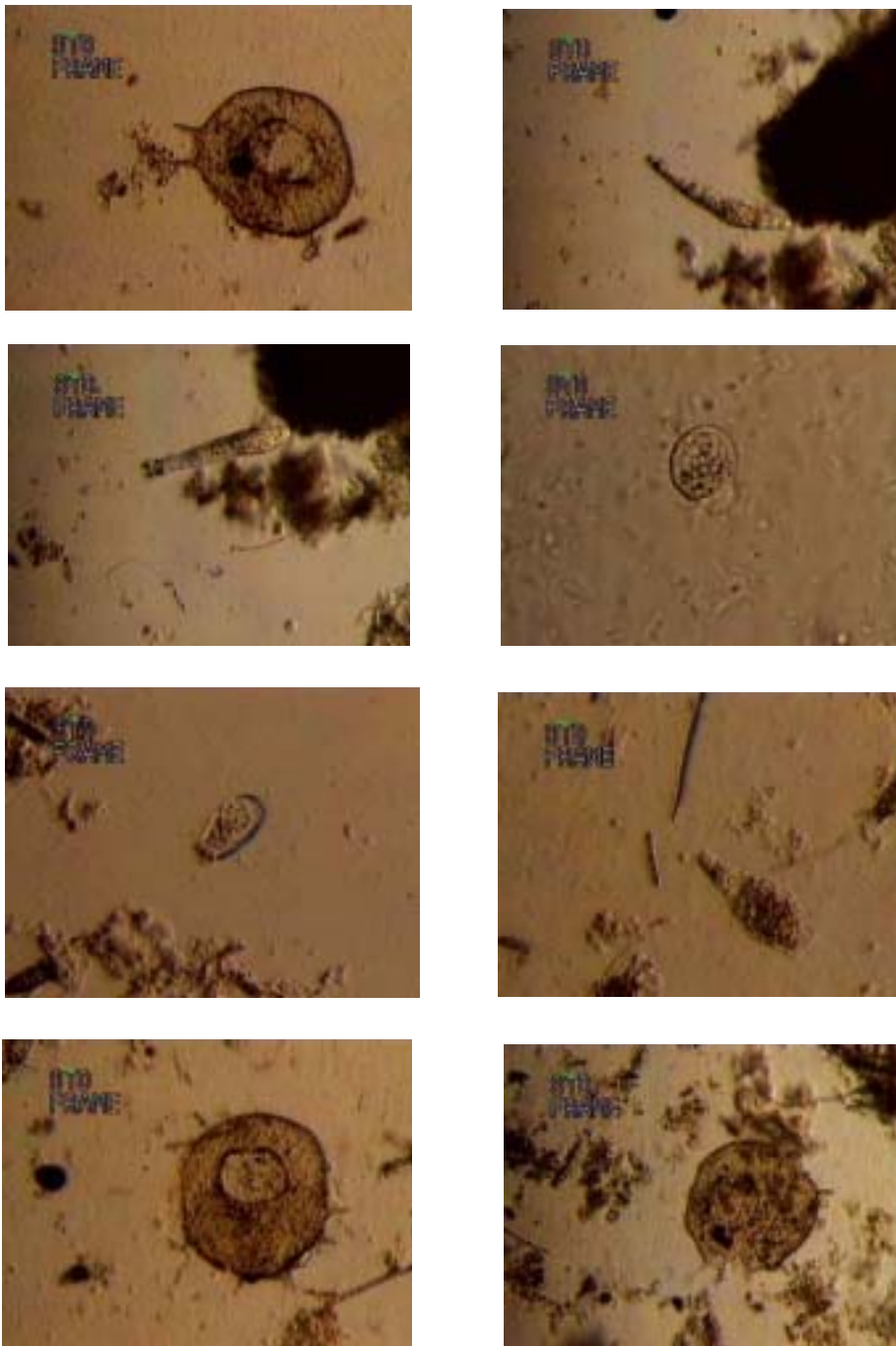


Fig. 3-19. 제1 목편살수여상조 목편담체에 부착된 미생물의 전자현미경 사진-500배율



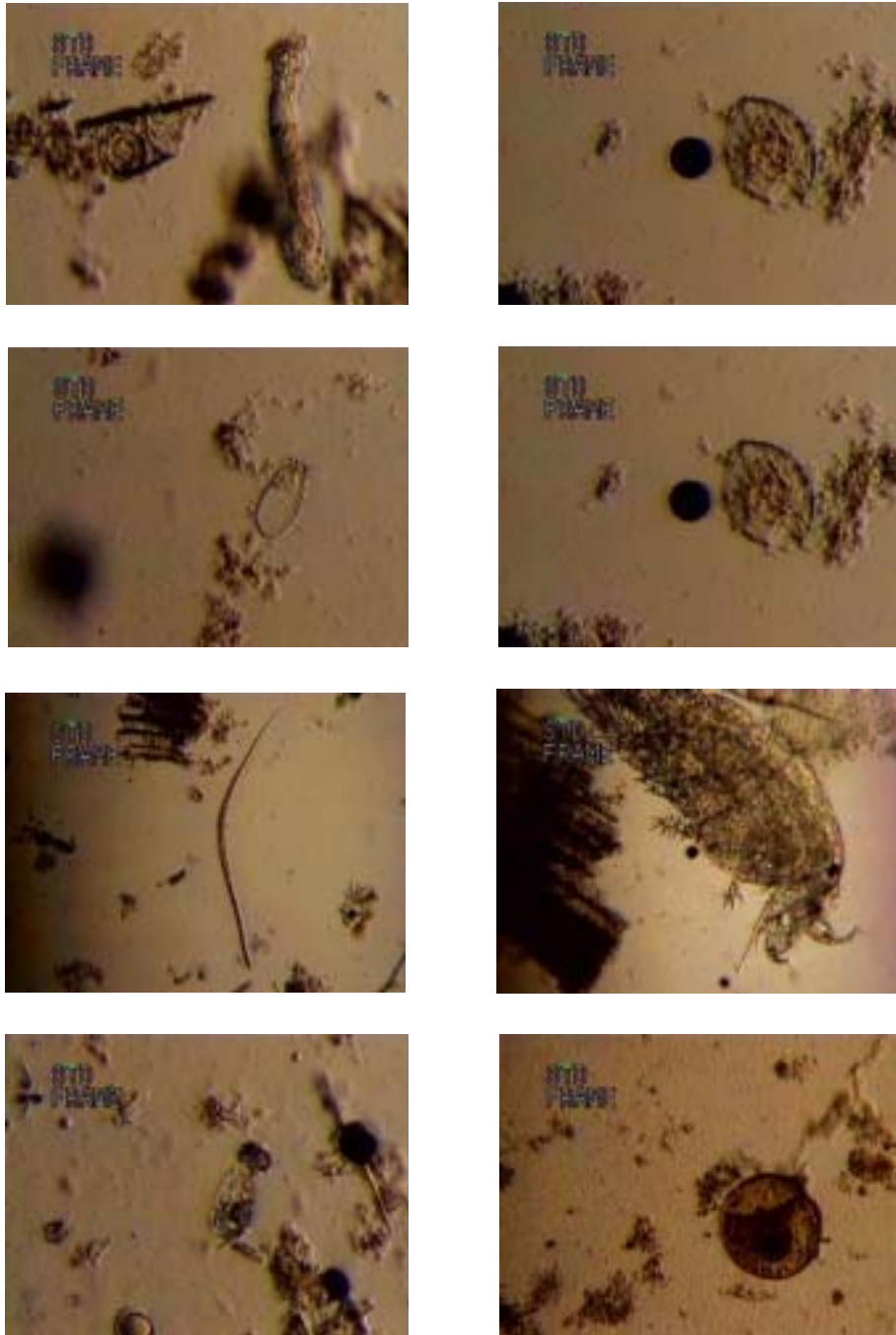


Fig. 3-20. 제2 목편살수여상조 목편담체에 부착된 미생물의 전자현미경 사진-500배율

### 가. 목편담체의 부착미생물형상

목편담체의 부착미생물의 형상은 전자현미경으로 실측 확인하였다. 그림 3-19., 그림 3-20은 강원도 원주시 호저면 대덕리 647번지 신향 영유아원 오수처리장의 살수조에서 채취한 목편담체의 일부분을 취하여 전자현미경으로 촬영한 것으로 500배율로 실측하였다. 그림 3-19, 그림 3-20에서 보듯이 담체표면에 부착되어 성장하는 미생물은 원생동물이 주를 이루고 있었으며 그 중에서도 육질충류인 Euglypha, Difflugia와 후생동물인 Rotaria, Dyplogaster등이 우점을 이루는 형상을 보였다. 그들의 특징을 간략하게 정리하면 다음과 같다.

#### 1) Euglypha

가) 분류 : 육질충류로 Euglypha과에 속한다.

나) 형태 : 충체의 크기는 30 ~ 200 $\mu\text{m}$ 이고 질서정연하게 배열된 껍질 위에 원형 또는 타원형의 비늘을 가진다. 충체는 원형 또는 계란형이고 개구부는 비늘로 덮여 있으며, 돌기를 가진다. Euglypha는 Arcella나 Difflugia와 상이하여 섭식시에는 실모양의 다리를 낸다.

다) 운동 : 거의 움직이지 않는다.



라) 특징 : 슬러지 일령이 길거나 유입하수의 농도가 낮을 경우 출현을 한다. 먹이로서 주로 세균류를 섭취하고 우점종이 되는 경우는 처리수질이 극히 양호하여 BOD 10 mg/L이하로 되는 경우가 많다. 또한 출현은 산업폐수에서 많으며, 특히 C/N비가

높은 폐수를 저부하에서 운전하여 해체가 진행하였을 때 다량으로 발생하며 때때로 우점종이 되기도 한다.

## 2) Diffugia

가) 분류 : 육질충류로 Diffugia과에 속한다.

나) 형태 : 충체는 60~300 $\mu\text{m}$ 이고 구형 또는 항아리 모양이며, 껍질 표면에 다른 물질이 부착할 수 있다. 암갈색을 띠며 작은 모래 등을 부착하고 있으며 막대상의 다리를 가지고 있다.

다) 운동 : 거의 움직이지 않는다.



라) 특징 : SRT가 길거나 유입하수의 농도가 낮을 경우 출현을 한다. 해체시 또는 해체기미가 보일 때 출현하기 쉬우며, 하수에 출현하는 경우 유입수의 BOD가 낮을 때이다. 먹이로는 세균류, 조류, 구마무시류를 섭취한다. 출현은 보통 저부하이로 질산화가 진행되고 있을 때 많다. 하수처리장에 출현할 때는 유입 농도가 낮으며 산화가 진행되고 있을 때이며 pH4까지 관찰된다.

## 3) Rotaria

가) 분류 : 후생동물로 Philodinidae과 이다.

나) 형태 : 윤충류에 속한다. 충체는 가늘며 크기는 300 ~ 800 $\mu\text{m}$ 이며, 거머리 모양의 행동을 한다. 발가락이 3개, 발톱이 있으며 입술모양 돌기와 안점, 섬모류를 가지고

있다.

다) 운동 : 바퀴처럼 신축하면서 플럭사이를 이동한다. 또 플럭이 작게 되면 섬모를 움직여 이동하고 두부의 섬모를 움직여 소형 편모충류나 세균류를 섭취한다.



라) 특징 : 출현은 해체기 초기에서 양호기, 해체가 진행될 때 관찰된다. 따라서 층체가 관찰될 때에는 처리수가 양호할 때나, SS가 약간 많아져 있을 때이다. 생물 처리에서 윤충류의 역할은 플럭을 파괴하여 새로운 플럭형성을 위한 핵을 만든다. 현탁된 세균을 포식하여 처리수를 양호하게 한다.

## 제4절 결론

목편담체와 목편담체의 부착미생물을 측정 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 목편담체는 표면구조가 거칠고 여러 형태의 공극을 볼 수 있었고, 내약품성 실험을 통하여 산, 알카리에서 외관의 변색 및 형태의 변화는 이상이 없었다. 또한 목편담 축강도는 섬유방향으로 기건상태에서  $34.8\text{N}/\text{mm}^2$  이었고, 비표면적은  $0.4123\text{m}^2/\text{g}$ , 세공용적은  $0.0947\text{cm}^3/\text{g}$  으로 확인 되었다.

2. 목편담체의 부착미생물량 측정결과 단위면적당 부착미생물량은 6.4 ~ 2.5mg/cm<sup>2</sup>의 분포를 보였고, 제1 목편 살수여상조는 평균 3.91mg/cm<sup>2</sup>, 제2 목편 살수여상조는 평균 4.96mg/cm<sup>2</sup>으로 조사되었다. 부착미생물의 건조밀도는 제1 목편 살수여상조 평균 0.2655g/cm<sup>3</sup>, 제2 목편 살수여상조 평균 0.2655g/cm<sup>3</sup>이었고, 함수율은 제1 목편 살수여상조 평균 74.8%, 제2 목편 살수여상조 평균 74.0%로 확인되었다. 목편담체에 부착된 미생물의 생물막 두께는 4.0~0.9 $\mu$ m의 분포를 이루고, 제1 목편 살수여상조 평균 1.6365 $\mu$ m, 제2 목편 살수여상조 평균 2.439 $\mu$ m의 결과를 얻었다.

3. 목편담체에 부착된 부착미생물을 전자현미경을 통해 시험한 결과 원생동물과 후생동물이 주를 이루었고 그중에서도 육질충류인 Euglypha, Diffuga와 후생동물인 Rotaria, Dyplogaster등이 우점을 이루는 형상을 보였다. 부착미생물의 균수 측정에서 호기성균은 제1 목편 살수여상조 평균 1.2 $\times$ 10<sup>8</sup>CFU/ml, 제2 목편 살수여상조 평균 1.7 $\times$ 10<sup>7</sup>CFU/ml, 혐기성균은 제1 목편 살수여상조 평균 5.2 $\times$ 10<sup>6</sup>CFU/ml, 제2 목편 살수여상조 평균 4.3 $\times$ 10<sup>5</sup>CFU/ml로 조사되었다.

## 제5절 참고문헌

1. Rajan R. V., Jih-Gaw Lin, Bill T. Ray, "Low-Level chemical pretreatment for enhanced sludge solubilization", Research Journal WPCF, Vol. 61, pp. 1678-1683(1989)
2. Pen명 V., Delgenes J.P., Moletta R., "Thermo-chemical pretreatment of a microbial biomass : influence of sodium hydroxide addition on solubilization and anaerobic biodegradability", Enzyme and Microbial Technology, Vol. 25, pp. 258-263(1999)
3. 박종웅, 강준구, "혐기-호기성 여상법에 의한 염색폐수처리" 대한환경공학회지, Vol. 17, No, 2, pp 1299-1310(1995)
4. 박종웅, 송주석, "호기성 침지형 생물막 여과장치를 이용한 오수처리" 한국물환경학회지, Vol. 16, No. 4, pp. 523-532(2000)
5. Park, J. W. and Ganczarczyk, J. J., "Gravity separation of biomass washed-out from an aerated submerged filter", Environmental Technology, Vol. 15, pp. 945-955(1994)
6. 식품의약품안전청고시 제2002-24호, 식품의약품안전청, 2002
7. 폐기물공정시험법, 환경부, 2000
- 8, KS F 2202, 2206 한국표준협회
9. 폐수처리공학, 동화기술, 1998
10. 폐수처리 미생물 사진집 , (주)화랑환경, 1997
11. 千種 薰, 류재근 외 역, 미생물을 활용한 수질관리, 신광출판사, 2002

## 제4장 축산분뇨 처리기술 개발

### 제1절 서론

본 연구는 축산분뇨 처리와 관련하여 축산분뇨 중에 포함 되는 다양한 용해 유기성 분이나 불용해 성분으로 기인하는 부유물질을 소화분해시키는 전처리 부유물질 처리기술과 처리후 침출 여액의 BOD, COD 및 SS 등을 본 연구에서 개발한 뇨오수 정화용 여재를 이용한 목편살수 여상조에 서식하는 세균 등에 의해 소화분해하여 오염물을 제거하는 후처리 목편살수여상 기술의 개발이다.

본 연구는 충북 친천의 비육돈 축사에서 배출되는 뇨오수를 활용하여 Pilot 장치를 설치하여 실시하였다. 본 연구는 돈사에 분과 뇨가 혼합되는 슬러리 뇨오수를 공시 뇨오수로 하여 실험을 실시하였다. 돈 분뇨는 슬러리 저장조에서 배출되는 뇨오수를 수거하여 전처리 부유물질 처리조에서 1차 처리하여 오염물을 저감시킨 후 침출수를 후처리 목편살수여상조에 직렬로 연결하여 처리하는 공정을 설계하였다. 살수여상조의 여재인 목편은 뇨오수의 탄소/질소 결합에 의한 미생물의 성장공간으로 활용된다. 본 연구에서 활용된 여재는 소나무 목편을 충전하였다. 목편 여재의 기능은 다음과 같다.

- 1) 미생물의 서식장소, 오염물의 처리 장소
- 2) 뇨오수의 질소성분을 분해하기 위한 탄소원 공급
- 3) 뇨오수의 양분 흡착 및 저장 장소
- 4) 뇨오수 양분의 여과 장소

통상적으로 축산분뇨처리에서 축산 분뇨 중 고형분은 분리시켜 퇴비화 처리하면 큰 문제가 되지 않으나 뇨오수를 처리하는 경제적인 기술이 없는 실정이다. 기존의 처리시스템에서 전처리 공정에 적용된 고액분리 기계의 경우 고액분리 효율이 높지 않다. 또한 뇨오수의 처리시 활성오니 처리와 같은 기계의존형 정화기술 처리방법은 처리비용이 너무 높아 경제적인 처리기술이 되고 있지 않다. 따라서 경제적인 뇨오수 처리기술로 목편을 이용한 살수여상식 처리기술을 검토하게 되었다. 목편은 필터 기능과 미생물 서식 장소로 매우 우수한 여재이다.

## 제2절 연구수행 방법

### 1. 축산뇨오수 에너지 절감형 처리기술 연구

축산뇨오수 처리장치 실험을 실시하기 위하여 충청북도 진천에 위치한 비육돈 슬러리 돈사 기존 퇴비사를 개조하여 일일 10톤 처리 규모의 pilot 실험장치를 설치하여 가동하였다.

#### 가. 처리장치의 구성 연구

처리장치의 구성은 축사 슬러리지장조, 저류조(그림4-5), 전처리 살수여상 처리조, 후처리 목편살수여상 고도처리조로 연결되어 뇨오수가 처리된다. 슬러리지장조는 분뇨혼합액을 저장하는 장소로서 부패조로서 역할을 할 수 있게 되어 있다. 전처리 부유물질 살수여상 처리조는 오염물질중 부유물질의 농도가 높아서 후처리 고도처리조가 막힐 염려가 있기 때문에 전처리 단계로서 설치하는 것으로 부유물질을 통풍과 교반으로 신속히 분해하여 오수의 부유물질과 고농도 오수의 부하량 저감시킬수 있게 설계 하였다. 후처리 목편살수여상 고도처리조는 전처리 부유물질처리조에 오염물이 저감된 침출액을 목편 살수여상조에서 처리할 수 있게 설계하였다.

#### 나. 처리장치 연구

전처리 부유물질처리조와 후처리 고도처리조는 기존 퇴비화 시설을 활용하여 직사각형 사각 콘크리트 형태로 설계하여 전처리 부유물질 처리조와 후처리 살수여상 고도처리조를 직렬로 연결처리 할 수 있는 설계요인을 연구하였다. 여재로서 목편여재 원료는 미생물에 분해하기 어려운 침엽수를 이용하였으며 침엽수 중에서 소나무를 이용하였다. 전처리 부유물질 처리조는 목편과 수피 등 여재를 연구한다. 또한 오페수 중에 부유물질이 다량 존재하기 때문에 이를 호기성으로 급속 분해하기 위해서 전처리 부유물질 처리조 하단에 송풍기를 설치하여 강제 송풍하였다. 또한 전처리 부유물질 처리조 상부에 부유물질이 적체되어 막힘 현상을 초래하므로 처리조 상부에 교반장치를 설치하여 부유물의 상하 혼합방법을 연구한다. 부유물질 처리조의 높이는 2.0m로 하였다. 후처리



고도처리조도 처리조 하부에 송풍장치를 설치하였으며 송풍장치위에 다공성 상자를 설치하여 O<sub>2</sub> 순환을 원활하게 설계하였으며, 목편 충전방법을 연구한다.

#### 다. 살수방법 연구

축산분뇨 부유물을 전처리하기 위하여 전처리 부유물질 처리조의 처리조에서 뇨오수를 이송하여 전처리 부유물질 처리조 교반시 축산뇨오수가 살수되는 기술을 연구하였다. 후처리 목편살수여상 고도처리조의 경우 전처리 부유물질 처리후 침출수 여액을 펌프를 설치하여 상층으로 오수를 이송하여 살수기로 오폐수를 살수 처리되게 하는 기술을 연구하였다(그림 4-7). 저장조의 오폐수는 수위 자동조절 펌프에 의해서 후처리 고도처리조 상부에 살수된다. 또한 후처리 고도처리조는 통과한 처리수는 처리수 배출구(그림 4-1)를 통하여 방류구로 배출되게 설치하였다.

본 연구에 적용된 뇨오수 처리용 전처리 및 후처리 목편살수여상 처리기술은 그림 4-1, 4-2, 4-3, 4-4와 같이 실제 가축분뇨 처리시설로 활용 할 수 있는 시스템으로 기존 퇴비화시설 플라스틱 하우스 내에 설치하였다. 목편살수여상 바닥의 통기관 파이프를 설치하였다(그림 4-2). 살수여상의 여재인 목편(수분함량 23.1%)을 살수여상조에 2m의 높이까지 충전하는 여재별 처리의 적합성을 연구하였다. 통기방법은 터보 브로어 도형 고압팬으로 1m<sup>3</sup>당 0.1m<sup>3</sup>/min의 통기량으로 연속 통기를 하였다. 축산뇨오수 실험을 위하여 슬러리 뇨오수 원수와 침출 처리수의 시료를 주기적으로 채취하여 분석하였으며 처리조 시설물 내부의 온도와 상대습도 등 미기상을 연구하였다.



Fig. 4-1. 침출 처리수 배출구



Fig. 4-2. 뇨오수 처리용 목편살수여상 산기관



Fig. 4-3. 후처리 축산뇨오수 처리용 살수여상처리의 다공성 상자



Fig. 4-4. 처리조의 송풍기



Fig. 4-5. 축산뇨오수 저류조



Fig. 4-6. MCC 설치



Fig. 4-7. 뇨오수 처리용 살수기

## 2. 유입 배출분뇨의 특성

본 연구에서 제작한 목편살수여상 실험 장치는 충북 진천군 소재 진천 양돈조합 축산농가의 퇴비처리 시설을 개조하여 pilot 장치를 설치하였다. 본 연구에서 사용한 공시 분뇨는 슬러리 돈사에서 배출되는 분뇨혼합액의 상등액으로 그 성상은 표 4-1과 같다. 표 4-1과 같이 본 연구에서 대상으로 한 비육돈 및 모돈 슬러리 돈사에서 발생하는 뇨 오수의 이화학적 특성을 나타낸 것으로 유기물 농도의 경우 BOD 26,000~36,000mg/ℓ, COD<sub>cr</sub>의 경우에 34,500~39,200mg/ℓ 으로 총 유기물 중 생물학적으로 산화가능한 물질인 BOD<sub>5</sub> 유발물질이 COD<sub>cr</sub> 유발물질보다 낮음을 알 수 있다. 질소농도의 경우 1,350~2,500mg/ℓ 이며 평균농도는 2,144mg/ℓ 이었다.

Table 4-1. Characteristics of swine wastewater

Component	Range	Average
BOD(mg/ℓ)	26,000 ~ 36,000	29,136
COD(mg/ℓ)	34,500 ~ 39,200	37,436
SS(mg/ℓ)	11,500 ~ 14,200	12,926
T-N(mg/ℓ)	1,350 ~ 2,500	2,144
T-P(mg/ℓ)	431 ~ 526	497

## 3. Pilot 실험장치의 처리공정

### 가. 전처리 부유물질처리조 공정

전처리 부유물질처리 여상조는 교반장치를 설치하여 깊은 곳까지 교반할 수 있고 교반층 하층에 목편여상층을 설치하여 보존성을 높여 겨울철에도 처리효율이 크게 저하되지 않는 처리 시스템이다. 전처리 여상조의 교반기가 Rail 궤도를 따라 여상조의 끝까지 자동으로 이동하도록 설계된 시스템으로 발효조(Pit) 길이를 조정 할 수 있다. 분뇨의 살포방법은 처리 시설내 뇨오수 저류조를 설치하여 1차 저류하였다가 교반기 위 살수저류조에 펌프로 분뇨를 배출하여 살수시 여상조 내의 여재재료에 균일하게 살포

와 동시에 교반시킨다.

전처리 목편부유물처리조의 목편여상조에 분뇨를 채워넣는 동시에 교반기 자체를 이 동시켜 교반기가 전진하면서 분뇨를 목편위에 살포한다. 살포 후 처리조의 수분함량은 적정 수분만 목편 교반층에 함유되고 잉여수분은 목편 여과층을 거쳐 침출수로 강제 배출되어 전처리 부유물처리조의 적정 수분함량으로 조정된다. 이러한 원리로 전처리 목편 부유물질처리조의 여과층은 미생물 분해의 적정 수분함량을 보유 할 수 있다. 분 뇨투입은 1~2일마다 1회씩 투입하여 처리하게 설계하였다.

교반송풍 여상침출 방식은 톱밥보다 수십배 입자가 큰 목편을 사용하여 목편여재의 2~3년 사용을 목표로 하여 개발 중에 있는 시스템으로 목편을 좀더 장기간 여재로 사 용하고 처리를 효과적으로 하기 위하여 개발되고 있는 기술이다.

전처리 살수여상의 바닥에 송풍 유공파이프를 설치하고 송풍파이프 상부에 50~ 70cm 정도의 목편 여상층을 설치하여 침출수의 여과처리 효과와 여상조의 보온성을 유지증진시키는 효과가 있게 하였다. 이 공법에서 여상층의 하부바닥에서 통기상 (Air grates)를 통하여 강제통기법으로 공기를 불어 넣어 통풍시켜 준다. 전처리 부유 물질처리조의 외부 건축물은 조립식 강철제에 플라스틱 하우스로 되어 있으며 기존 퇴 비사 시설을 활용하여 설치하였다. 배출관은 여상조 바닥에 설치하여 침출수를 외부로 배출되게 한다. 슬러리 노오수는 교반기에서 목편여상 상층에서 투입되어 교반 과정에 서 하층으로 이동하면서 오폐수가 섞이게 되고 분해가 진행된다.

본 시스템은 여재인 목편을 나란한 열로 쌓고 주기적으로 기계적 교반과 연속적 송 풍에 의한 호기성 상태를 유지하여 유기물을 분해하는 방법으로 퇴적높이와 폭, 모양 등은 뒤집기 형식이나 재료의 특성을 감안하되 살수여상 높이는 2m 폭은 4.5m 정도로 하였다. 교반 로타리발은 1.5m, 교반기는 분당 27회 회전하여 교반기가 전후좌우로 운 전하면서 교반하도록 설계된 시스템이다. 교반기는 1분간 30cm가 이동되면 교반기가 전처리 부유물질처리조를 주회하는데 약 3시간이 소요된다. Pilot장치 전처리 부유물질 처리조는 용벽을 2.2m 높이로 설치하고 여재의 높이가 2m로 높게 하여 전처리 살수여 상조 건축공간 단위면적당 면적을 최소화하고 전처리 부유물질 살수여상조 용량을 증 대하여 단위면적당 처리효율 증대와 열손실을 최소화하는 장점이 있다. 즉 발효열, 밑 에서 불어 올리는 바람, 반투명 지붕으로 들어오는 일광으로 처리조의 환경조건을 최적

화 시키고 살포, 건조 발효를 거듭하여 분뇨의 감량화와 오염물의 저감처리를 목적으로 하는 시스템이다.

따라서 여재인 목편을 전처리 부유물 목편살수여상조에 한번 채우면 2~3년 이상 처리가 가능하였다. 목편은 톱밥과 달리 부패가 늦어 연간 5~20%가 감소되므로 소모량을 보충하여 주면 된다.

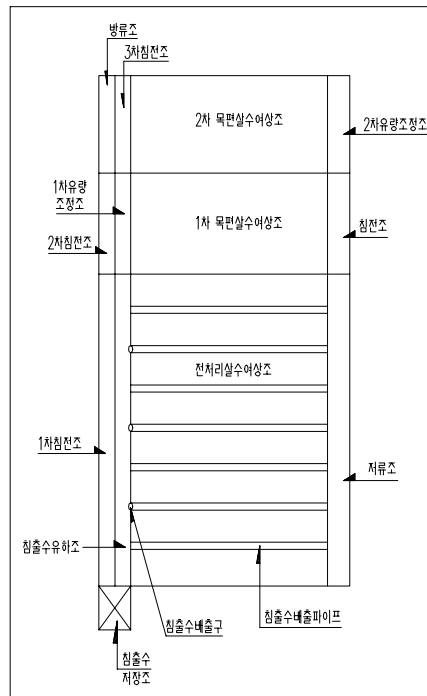


Fig. 4-8. 전처리 부유물질 처리조 단면도

#### 나. 후처리 목편살수여상조 공정

후처리 목편살수여상조의 바닥은 콘크리트로 하고 후처리 살수여상 처리조의 바닥에

다공성 상자를 1열로 설치하여 하부의 공기가 상부로 이동되게 설계하였다. 살수관을 분사노즐 방식으로 선택하여 직선으로 설치하여 살수되게 하였다. 다공성 상자는 자체 연구에 의하여 개발되었으며 하부의 자연공기가 살수여상조 상부로 이동하게 설계하였다. 전처리 부유물질처리 살수여상조를 통과한 침출 처리수는 고도처리용 후처리 살수여상조를 거쳐 유출되게 고안하였다. 후처리 목편살수여상처리조의 높이는 2.0m를 기준으로 하여 설치한다.

전처리 침출수는 PVC 파이프 살수관을 통하여 후처리 목편 살수여상조에 살수시켰다. 살수는 8개의 살수노즐을 설치하여 균등 살수를 실시하였다. 시험기간 동안 전처리 부유물질처리조를 통과한 침출수를 후처리 목편살수여상조에 살수시켰다. 후처리 목편살수여상조 하부는 송풍기를 설치하여 산소를 공급하게 되어있다. 또한 처리조 하부에 유출구를 만들어 처리수가 한곳으로 모이게 설계하였다.

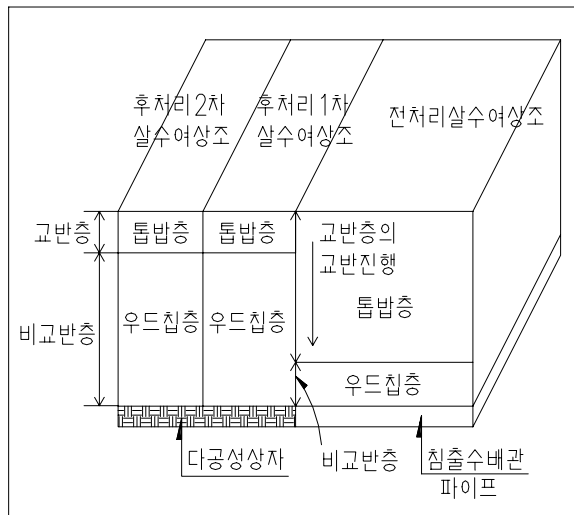


Fig. 4-9. 후처리 목편살수여상조 단면도



#### 4. 세부공정 설계 및 기능

본 연구에서 실증 축산뇨오수 처리용 목편 살수여상 시설의 세부공정별 특성 및 기능은 아래와 같다.

##### 가. 전처리 시설의 송풍시설

본 연구에서의 전처리 살수여상시스템은 교반, 송풍 복합시스템으로 송풍시설은 아래와 같이 하였다(그림 4-9, 그림 4-10).

산기관은 별집 모양의 다공관으로 되어 있다. 산기관은 퇴비사 바닥에 3.6m 간격으로 분리하여 다수 설치하여 공기공급 면적을 넓고 균일하게 유지하도록 하였다(그림 4-11). 송풍은 1kw 터보 브로와 송풍기를 Ø65pipe을 통하여 강제 공급하였다. 발효조 1개 라인에 송풍기를 1대씩을 부착 발효장 내부에 강제로 산소를 공급함으로써 수분증발 및 발효를 촉진시키게 되어 있다(그림 4-12). 산기관은 바닥을 너비 10cm, 깊이 10cm를 파서 산기관 유공파이프를 설치하고 산기관 파이프 상부 공간에 패화석, 돌 등을 넣어두면 산기관의 막힘을 방지하였다(그림 4-11). 송풍은 연속 송풍방법으로 공기를 24시간 지속적으로 공급하는 시스템으로 운영하였다.

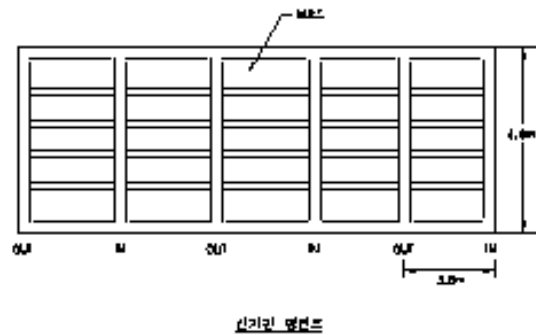


Fig. 4-9. 전처리 살수여상의 송풍시설 평면도

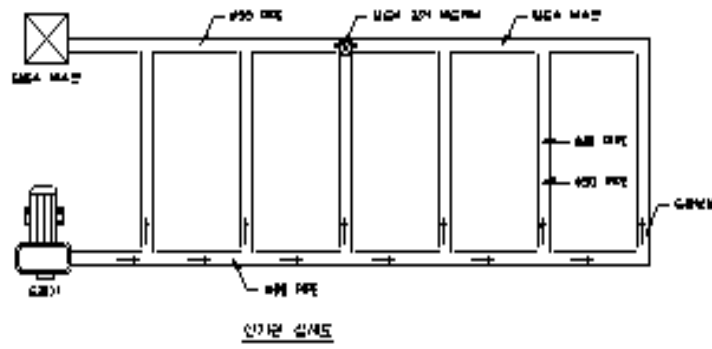


Fig. 4-10. 산기관 및 침출수 배출장치의 상세도



Fig. 4-11. 산기관



Fig. 4-12. 살수여상조의 송풍기



Fig. 4-13. 퇴비 발효시스템을 활용한 전처리 살수여상조의 산기관과 내부시설물

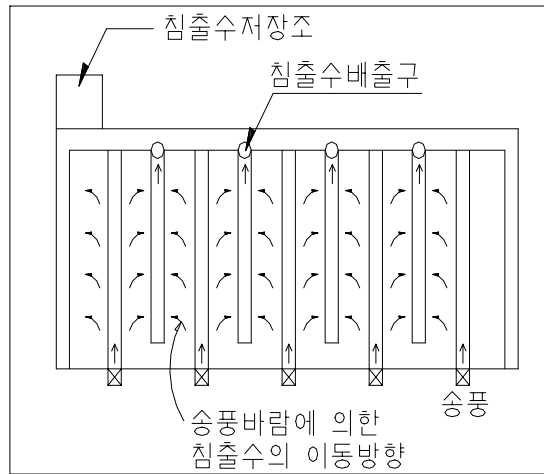


Fig. 4-14. 전처리 시설의 송풍시설 단면도

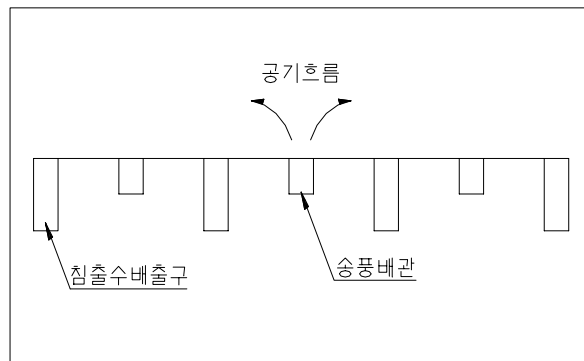


Fig. 4-15. 침출수 배출구 및 송풍 시설 단면도

## 나. 교반시설

교반은 살수여상 과정에서 조내에서 돈분슬러리 살포에 의하여 형성된 전처리살수여상의 고형물 피막과쇄는 물론 분뇨와 수분조질재를 균일하게 혼합시켜 준다. 분뇨와 목편과의 균일 혼합과정에서 산소접촉이 증대된다. 교반과정에서 살포하는 분뇨를 로타리로 잘게 부수면서 분뇨와 발효상의 목편을 혼합시킨다. 교반 과정에서 살수여상조에 포함되어 있는 수분은 수증기로 증발되어 살수여상의 잔류수분량을 감소시킨다.

본 연구에서의 교반기는 로타리발 밑에 분뇨를 살포하는 동시에 교반을 실시하게 되어 있다. 교반은 통상 3일 주기로 운전하며 1일째는 분뇨투입과 동시에 교반이 이루어지고 2일째는 분뇨투입 없이 교반만 하고, 3일째는 분뇨살포와 교반이 이루어지고 있다. 본 시설의 경우 교반기 로타리발은 1.5m 높이로 높게하고 유압을 설치하여 교반 높이의 조정이 가능하게 설계되어 있다. 운전 초기에는 50cm 상부층 위주로 교반하여 운전하다가 하부로 이동하면서 교반하게 된다(그림 4-21, 그림 4-22). 가동후 하부 바닥층에 전면교반을 발생하여 O<sub>2</sub> 공급이 원활하지 않으면 1.5m 바닥에 전면교반을 실시하여 피막을 파괴할 수 있게 가동한다.

그림 4-16에서와 같이 전처리 목편 살수여상에서는 1.5m 깊이 까지는 교반을 실시하고 후처리 목편 살수 여상조에서는 SS의 부하가 낮아 전면교반의 필요성이 없어 상부층의 교반으로 처리조 표면의 혼합으로 처리가 가능하였다.



Fig. 4-16. 전처리 및 후처리 살수여상조의 교반과정

#### 다. 저장조

저장조는 분뇨를 전처리 목편 살수여상조에 살포하기 전에 일시적으로 분뇨를 저장하는 장소이다(그림 4-18). 본 연구에서는 저장조를 개방식으로 설계하여 살수여상조 측면에 설치하였다(그림 4-17). 개방식 저장조의 장점은 저류 중 분뇨속의 수분이 증발됨과 동시에 온도 상승이 이루어 질 수 있다. 본 목편 살수여상처리시스템에서는 그림 4-20과 같이 저장조를 넓혀 저장조 표면적을 증대시켜 분뇨 온도상승에 의한 수분증발을 촉진시키는 효과가 기대된다. 저장조 면적은 40m×0.9m으로 하였다.

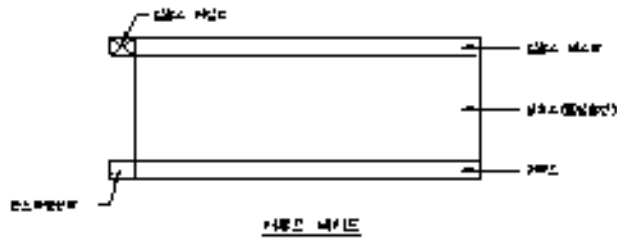


Fig. 4-17. 전처리 살수 여상조의 저장조 배치도



Fig. 4-18. 전처리 살수여상의 분뇨 저장조

라. 살수장치

저장조에 저장된 분뇨는 펌프에 의하여 흡입되어 이송배관(그림 4-20)을 통하여 이송되어 전처리 살수여상조에 살수하게 된다. 분뇨 살수장치는 그림 4-19와 같이 혼합 교반기 전면에 부착하여 분뇨를 분뇨살포 지점은 로타리말 위치에 뿌려주도록 설계하였으며 살수와 동시에 교반되도록 하였다.

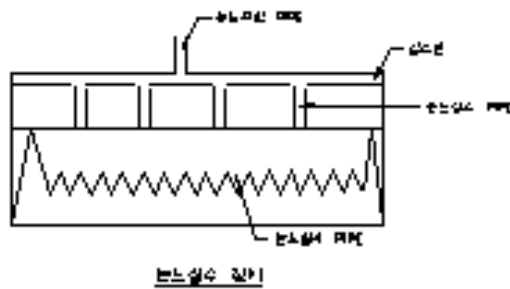


Fig. 4-19. 분뇨 분사장치



Fig. 4-20. 축산분뇨 이송/살수 배관

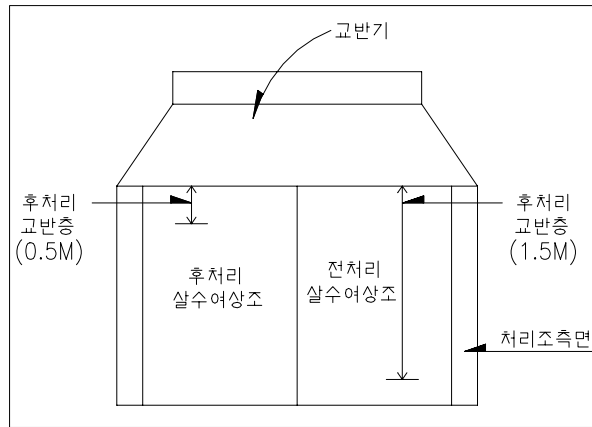


Fig. 4-21. 혼합교반기

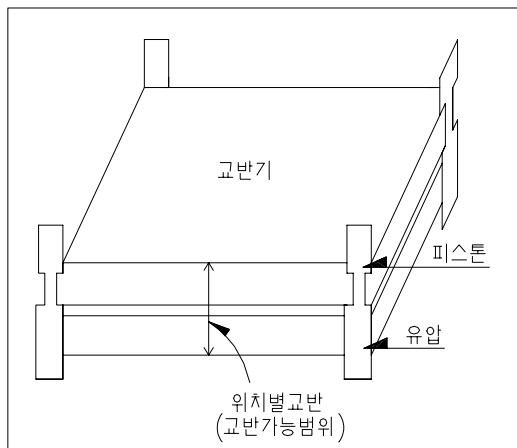


Fig. 4-22. 혼합교반기 단면도



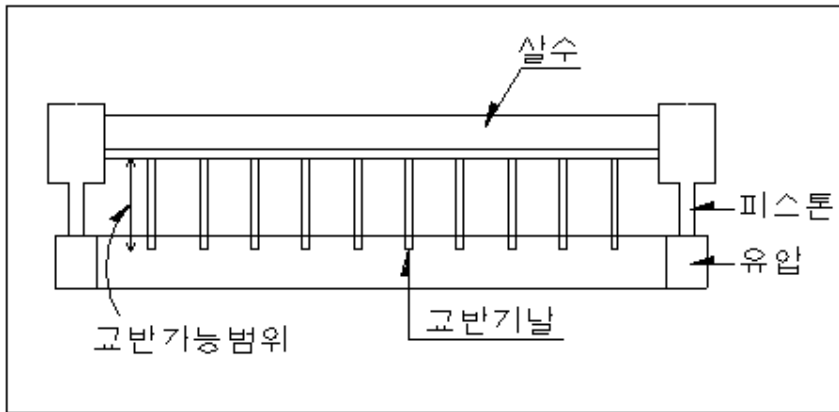


Fig. 4-23. 혼합교반기 상세도

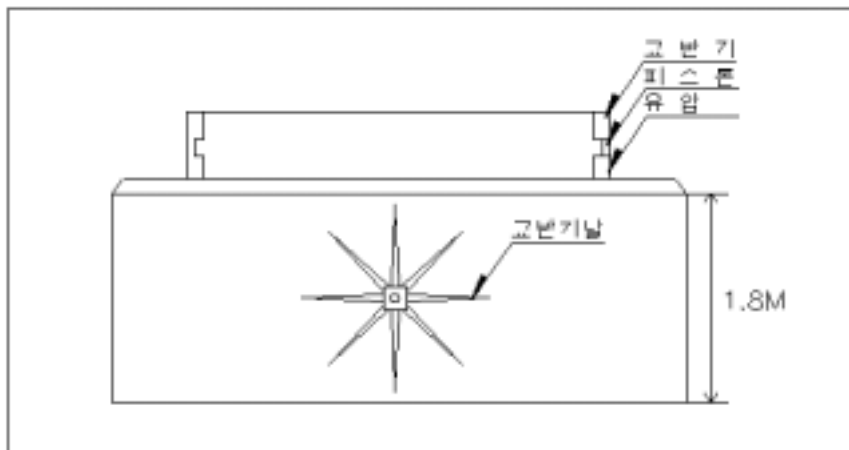


Fig. 4-24. 침출수 강제 배출 장치

#### 마. 침출수 강제배출

슬러지 축사의 수분함량이 높은 돈분슬러지를 살수여상처리할 경우 침출수 배출 장치를 설치하여 침출수를 배출시켜 주면 살수여상의 수분함량을 조절하여 살수시에는 혐기성조건이 형성되고, 살수를 하지 않는 상태에서는 호기성 조건이 조성된다. 수분이 다량 함유된 돈분슬러지 처리시 침출수 배출이 원활하지 않으면 살수여상 톱밥사이에 기공을 막아 부로아(Blower)를 가동하여도 산소의 공급이 방해된다. 또한 침출여과액의 점액성분이 산기관에 붙어 송풍기에 수막이 형성되면 산소공급이 원활하게 되지 않는 원인이 된다.

침출수의 배출방법은 관로나 파이프로 침출수를 자연유하로 흘러나오게 할 경우 축분내의 점질물에 의하여 침출수관로가 막히게 된다. 따라서 침출수를 외부로 배출시키는 장치가 필요하다. 본 처리시스템의 침출수 배출 기술은 그림 4-11과 같이 산기관 요홈에 고여있는 침출수를 강제 송풍에 의한 부로아 공기압이 있는 상태에서 침출수 강제배출 레버를 열면 침출수를 침출수 저장조로 유도 배출되도록 설계하였다(그림 4-25). 침출수 배출관로는 5% 구배를 두어 침출수 흐름을 원활하게 하였다. 살수여상 처리에서 발생하는 침출수의 양은 투입분뇨의 량과 계절에 따라 상이하다.

살수여상과정 중 수분의 증발은 살수여상 온도, 일사량, 습도 등 살수여상 외부 및 내부 환경요인에 영향을 받는다.



Fig. 4-25. 침출수 배출구

#### 바. 목편칩 여상층(Woodchip Bio-Filter)

목편칩 여상층(Woodchip Bio-Filter)은 그림 4-26과 같이 살수여상 바닥 50~100cm에 목편을 충전한 교반이 이루어지지 않는 여상층으로 주발효층의 액체유기물을 여과과정중에 분해하여 배수관을 통하여 배출한다. 목편 Biofilter 층의 역할은 노오수가 살수여상층으로 내려가는 과정에서 흡착, 분해에 의하여 오염물이 저감되는 효과가 있다. 아울러 여과층이 지속적으로 발효열을 유지하여 살수여상층의 보온성을 유지 증진시키는 효과가 있다. 또한 Biofilter 층이 잔존열을 보존하고 있어서 겨울의 저온기 살수여상 처리시 살수여상조의 보온성 유지 증진 효과가 기대된다.



Fig. 4-29. 전처리 살수여상조의 목편칩 여상층(Woodchip Bio-filter)

#### 사. 살수여상조

살수여상시스템의 살수여상조 높이는 2.0m로 설계하였다. 전처리 살수여상조 체적은 길이 30m에, 폭 9m, 높이 2m 로 540m<sup>3</sup> 체적을 갖고 있다. 후처리 살수여상조 길이 15m, 폭 9m, 높이 2m로 270m<sup>3</sup> 체적을 가지고 있다. 살수여상조 최적의 높이 증대는 발효효율 증대에 기할수 있으며 아울러 단위면적당 공사금액 절감효과를 가져올 수 있다.

보통 살수여상의 오염물 분해양상을 보면 살수여상조의 상, 하, 측면보다는 중앙부분이 외부 환경의 영향을 가장 적게 받는다. 따라서 살수여상의 여재 충전량의 증대를 위한 살수여상조 높이의 증대는 처리조의 보온과 최적조건의 처리면적 증대에 중요한 요인이 된다. 보통 하부 여상층은 시멘트 바닥에서 차가운 공기가 나와서 처리효율이 높

지 않고 측 벽면과 상부 표면층은 최적 환경조건이 조성되지 못한다. 따라서 살수여상조의 품온이 최적으로 유지되는 처리면적은 전체 발효조 면적의 80~90% 정도이다. 살수여상조 여재층 높이의 증대는 열손실 최소화에 의한 단위면적당 처리효율 증진과 밀접한 관련성이 있다.

#### 아. 밀폐형 투명하우스

살수여상조 외부구조물은 조립식 강철제로 하여 밀폐형 투명하우스에서 실험이 수행되었다. 살수여상조의 밀폐형 투명하우스는 태양열 에너지를 최대한 활용하여 외부온도를 차단하고 내부온도를 유지할 수 있는 하우스의 설계 및 설치가 필요하다. 따라서 지붕과 벽은 태양열이 잘 투과될 수 있는 자재를 활용해야 한다.

살수여상조 시설물 건축시 살수여상 처리시설 위치의 선정과 외부구조물 중 보온 및 환기를 위한 창 의 개폐장치, 태양에너지의 이용 효율화를 위한 지붕재의 선택이 중요한 요인이다(그림 4-27).



Fig. 4-27. 살수여상 처리조의 밀폐형 투명 하우스와 측창 개폐장치

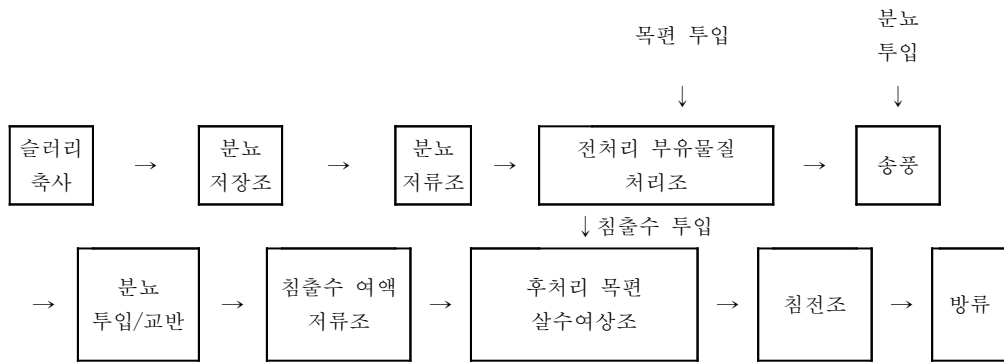


Fig. 4-28. 축산뇨오수 처리공정

## 5. 운전방법

### 가. 저류조

축사에서 이송된 슬러리 뇨오수를 일시 저장한 후, 전처리 목편부유물질처리조에 살포하기 위한 저류조이다.

### 나. 전처리 부유물질처리 및 후처리 살수여상조

저류조에 저장된 고농도의 부유물질(SS)을 함유한 축산뇨오수를 목편여재조로 구성된 전처리 부유물질처리 시스템에 살수 투입하여 미생물에 의한 호기성 발효와 여과가 동시에 이루어지게 한다. 이 방법은 화학약품은 전혀 사용하지 않고, 부유물질 등 오염물을 1차 처리하고 여재층을 통과하여 하부로 모인 침출여액은 후처리 목편살수여상처리조에 의해 2차 처리함으로써 오염원을 저감시키는 처리방법이다.

### 다. 운영방법

전처리 부유물질처리조의 운영방법은 목편칩 교반시설에 설치된 슬러리 뇨오수 분배장

치에 뇨오수를 이송하면 교반기가 목편칩 용벽 위에 설치된 레일 위를 이동하면서 뇨오수를 뿌려주고 목편과 축산분뇨가 잘 섞이도록 교반을 시켜준다. 목편에 흡착된 유기물은 호기성 미생물에 의해 분해되고 발효열에 의해서 일부 수분이 증발되어 일정시간이 지나면 뇨오수의 부유물 등 오염물이 분해 소멸되어 목편여재는 새로운 투입분뇨를 흡수하여 분해할 능력이 갖추어져 여재는 지속적인 연속처리가 가능하다. 후처리 목편살수여상 운영방법은 전처리 침출 처리수를 목편여상조에 살수하여 오수가 여재에 접촉 이동과정에 미생물에 의한 분해소멸 또는 여재에 의한 흡착 과정에서 처리된다. 목편층을 통과한 뇨오수는 송풍기에서 공급되는 공기를 전체적으로 잘 통과가 되도록 유도하는 후처리 목편여과층을 통과하여 접촉여재(메디아)에 부착된 미생물에 의해 뇨오수 속에 존재하는 유기물이 분해되는 시설로서 분해소멸과 여과흡착이 동시에 일어날 수 있게 고안된 처리방법이다.

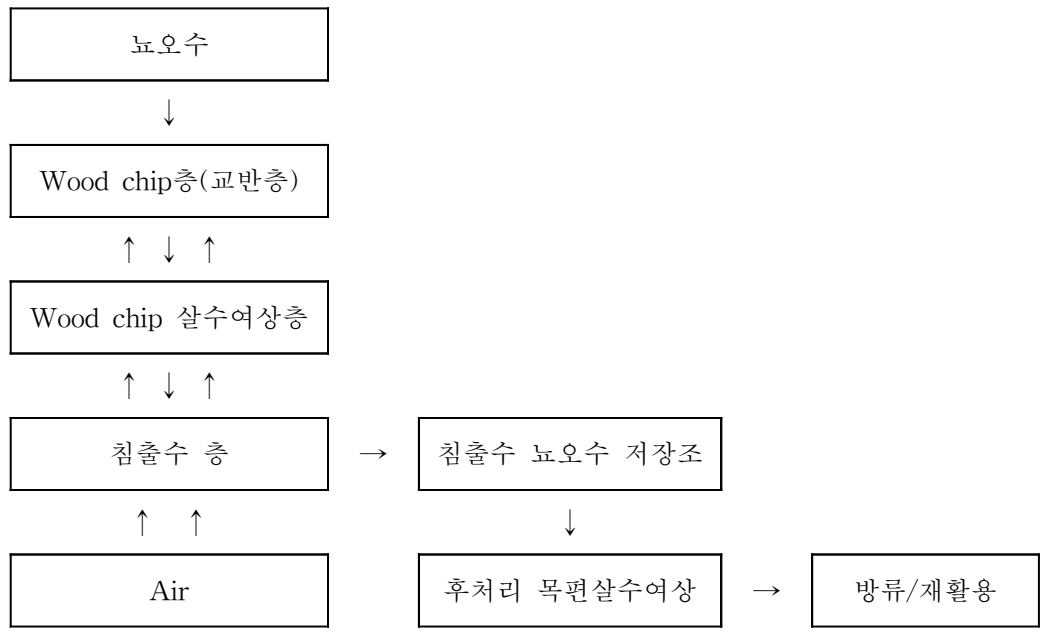


Fig. 4-29. 살수여상처리조의 처리과정

## 제3절 시험결과

### 1. 처리공정도 연구

#### 가. 살수여상처리의 메커니즘

살수여상 처리시스템의 처리메커니즘은 그림 4-30과 같다. 집수조에 저장된 축산분뇨는 고농도의 유기물질(SS)을 함유한 가축분뇨 슬러리를 목편칩과 톱밥이 충전된 살수여상조 살포한 후 미생물에 의한 호기성, 혐기성 미생물에 의한 정화가 동시에 이루어지게 한다. 목편 살수여상조는 수분조절, 산소공급 등, 미생물 성장에 적절한 조건을 유지해 주면 슬러리 중의 미생물은 대수적으로 증식하여 많은 미생물이 서식하게 된다. 전처리 살수여상조에 돈분뇨 슬러리를 살포하면 입자성 유기물은 체분리 효과에 의하여 살수여상조에 잔존하게 된다. 이렇게 공극사이에 남아 있는 유기물은 살수여상의 부착 및 부유성 미생물에 의하여 분해, 화학약품은 전혀 사용하지 않고, 물리, 생물학적으로 처리하는 방법이다.

용존성 유기물은 톱밥과 우드칩 입자들에 의하여 형성된 공극을 통하여 침출 여과되는 과정에서 미생물에 의하여 분해, 정화된다. 살수여상층을 통과하여 하부로 모인 침출액 액비는 미생물에 의해 정화, 발효됨으로써 농작물 재배를 위한 발효액비나 축사 세척수로 이용이 가능하다. 침출액액비는 투입 분뇨원수에 비하여 살수여상층을 거치 나오면서 오염물이 미생물에 의해 1차분해 정화되어 오염물이 저감된 상태로 배출된다. 침출액액은 여재층을 거치나오는 동안 미생물에 의하여 발효되어 악취가 나지 않으며 갈색으로 발효가 잘 일어난 상태를 나타내었다.

살수여상처리 흐름도는 그림 4-31과 같이 전처리 살수여상조 교반시설에 설치된 축산분뇨 분배장치에 의해 축산분뇨가 이송된다. 교반기가 발효조 옹벽 위에 설치된 레일위를 이동하면서 가축분뇨를 뿌려주고 톱밥과 축산분뇨가 잘섞이도록 교반을 시켜준다.

여상층을 통과한 여액은 송풍기에서 공급되는 공기를 전체적으로 잘 통과가 되도록 유도하는 톱밥 여과층(Biofilter)을 통과하여 접촉여재(매디아)에 부착된 미생물에 의해 여액속에 존재하는 유기물이 분해되어 한가지 시설 내에서 여과흡착 및 분해정화가 동시에 일어날 수 있게 고안된 처리방법이다.

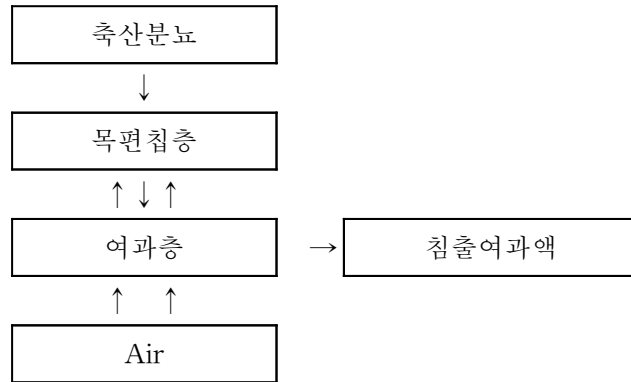


Fig. 4-30. 처리 원리

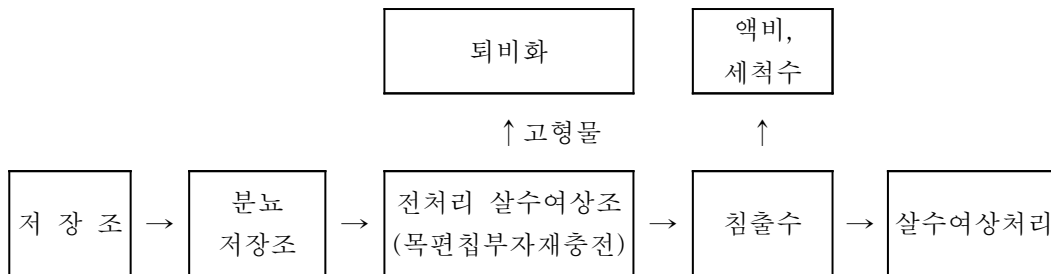


Fig. 4-31. 처리흐름도

#### 나. 처리공정비교

##### 1) 연속 목편 살수여상 처리시스템

연속 목편 살수 처리공정은 그림 4-32와 같이 전처리 살수여상조에 톱밥과 우드칩을 미리 2m 충전시킨 후 슬러리 상태의 가축분뇨를 살포하면서 여과와 분해 처리하는 공정이다. 전처리 목편 살수여상조 상부에 3일에 1회 간격으로 축산분뇨 혼합액을 살포한다.

전처리 살수여상조에서 배출된 여과 침출수는 저장조에서 수거한 후 후처리 살수여상 처리조에 이송된다. 후처리 살수여상조는 1차, 2차 살수여상조로 구성되어 있다.



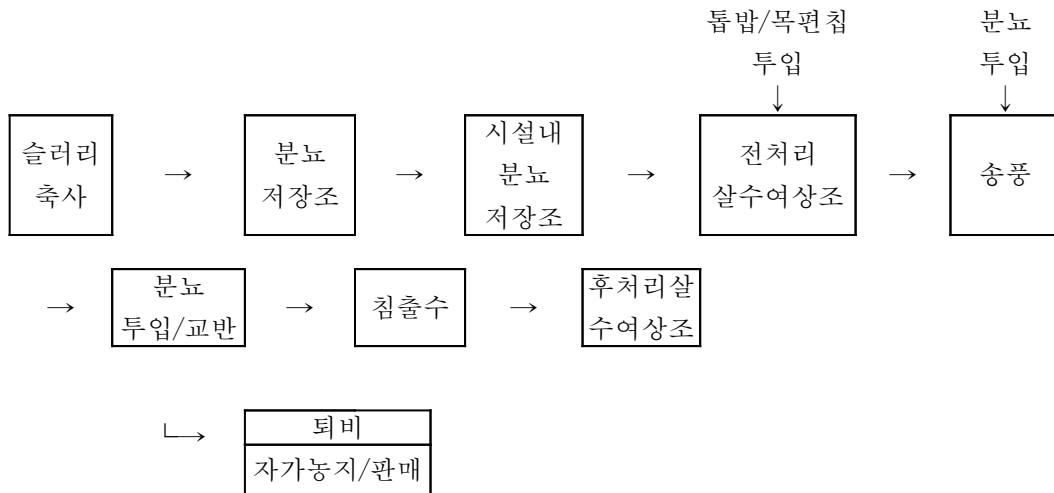


Fig. 4-32. 연속 살수여상 처리시스템 처리공정

## 2. 처리시설 내부의 미기상 분석

### 가. 처리시설 내부온도의 변화

전처리 및 후처리 살수여상조의 목편여재 깊이별 여상온도는 표 4-2와 같다. 여재층 층위별 온도를 측정한 결과 상부 40cm 여상층 깊이의 온도가 가장 높았으며 하부 120cm 깊이의 여재층의 온도가 가장 낮았다. 전처리 부유물질 살수여상조 최하층 120cm 부위의 온도는 목편여재층 40cm, 80cm 깊이의 온도보다 10-15℃ 낮았다. 이러한 원인은 하층부 바닥 시멘트에 의한 온도저하와 침출수의 유출에 의하여 여상층 하부의 온도가 낮아진 것으로 사료된다.

후처리 살수여상조 여재의 여상층위별 온도의 변화는 표 4-2와 같다. 위치별 여상온도의 변이는 심하지 않았다. 특히 온도변화는 외기 온도와 비슷한 경향을 나타냈으며, 온도상승의 효과는 나타나지 않았다.

Table 4-2. 전처리 및 후처리 살수여상층 깊이별 온도의 변화

구분	40cm		80cm		120cm	
	전처리	후처리	전처리	후처리	전처리	후처리
15.Mar	43	14	48	15	36	15
30.Mar	50	16	46	17	39	16
10.Apr	52	18	44	18	40	15
3.Apr	54	20	49	21	39	15
9.May	48	18	48	19	38	20
28.May	49	20	48	20	40	21
10.June	48	21	52	21	41	22
30.June	46	24	51	24	40	22

### 3. 시기별 살수여상조의 축산뇨오수 처리 효율

#### 가. SS 처리수준

축산뇨오수의 살수여상처리에 의한 각 공정별 SS처리의 경시적 변화는 그림 4-33과 같다. 시험 초기에는 전처리 살수여상층 여재에 부착된 미생물 양이 적으므로 SS의 분해율이 낮았으나, 가동 2~3주부터 살수여상에 미생물 서식량이 증가함에 따라 SS 분해율도 증가한 것으로 생각되었다. 슬러지 액상분뇨의 SS는 전처리 살수여상조에서 대부분 처리되었다. 원수 슬러리의 SS 11,000~14,000mg/l가 1차 전처리 살수여상조를 거치면서 400~600mg/l로 감소되었다. 또한 후처리 2차, 3차 살수여상조를 거치면서 최종적인 여과수의 SS는 70mg/l까지 처리가 가능하였다. 본 처리시스템 전처리 살수여상은 고액분리 효율이 높고 후처리 살수여상 처리조도 여상조의 체분리에 의하여 SS는 여상조에 축적되므로 SS 제거효율이 매우 높았다. 따라서 SS는 부하변동이 있더라도 95% 이상 처리가 가능하였다. SS 제거효율이 높은 것은 SS 성분이 많이 함유된

교형분은 살수여상조에 남고 액상분만 용출되는 처리형태이기 때문이다. 통상 기계식 고약분리기의 SS분리 효율이 20~40% 수준인 것을 고려하면 본 처리시스템의 SS처리 효율 98.7%는 매우 높은 수준이었다. 따라서 본 처리시스템은 중대규모 농장의 축산분뇨 정화시설이나 축산분뇨 공공처리장의 전처리 고액 분리조로도 적용 가능성이 있는 것으로 판단된다.

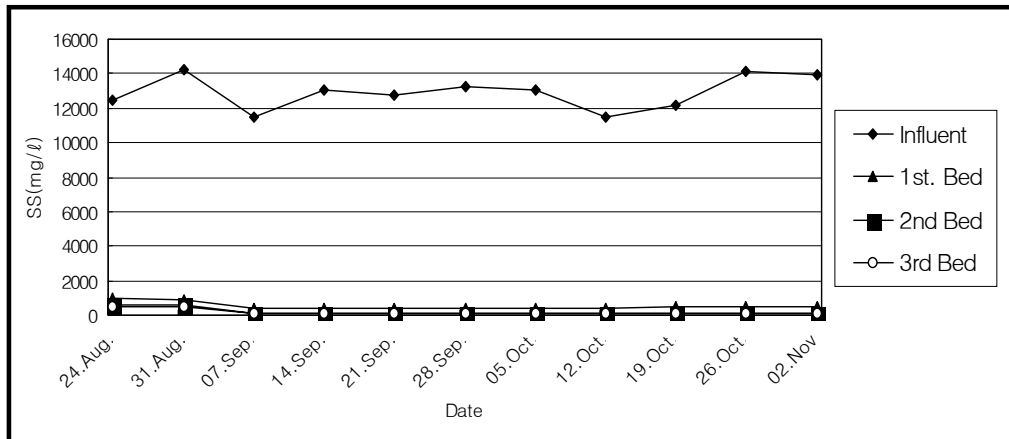


Fig. 4-41. Changes of SS removal of Trickling system by wood chip in animal slurry.

#### 나. BOD 처리수준

살수여상처리에 의한 축산뇨오수의 BOD 처리효율은 Fig. 4-34에 나타내었다. 유입 축산뇨오수의 BOD는 26,000~36,000mg/l 이었으며 전처리 살수여상 Bed를 거치면서 3,000~4,000mg/l 로 낮아졌다. 또한 후처리 1차, 2차 고도 살수여상조를 거쳐 BOD가 낮아져 최종적으로 85~140mg/l 처리가 가능하였다. 축산뇨오수의 유기물은 살수여상 과정에서 안전한 구조인 CO<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>O로 분해되거나 열로 방출되는 것으로 사료된다. 전처리 살수여상조에서는 유기물 부하가 높아 유기물이 열로 많이 방출될 것으로 해석되며 2차, 3차 살수여상조에서는 미생물에 의하여 유기물이 분해되어 처리되는 것으로 사료된다. 지금까지의 연구결과 목편은 우수한 여재의 기능을 나타내었다. 처리시설의 살수여상의 침전조를 보다 크게 설치하면 BOD 50mg/l 의 이하의 처리가 가능할 것으로 보여진다.

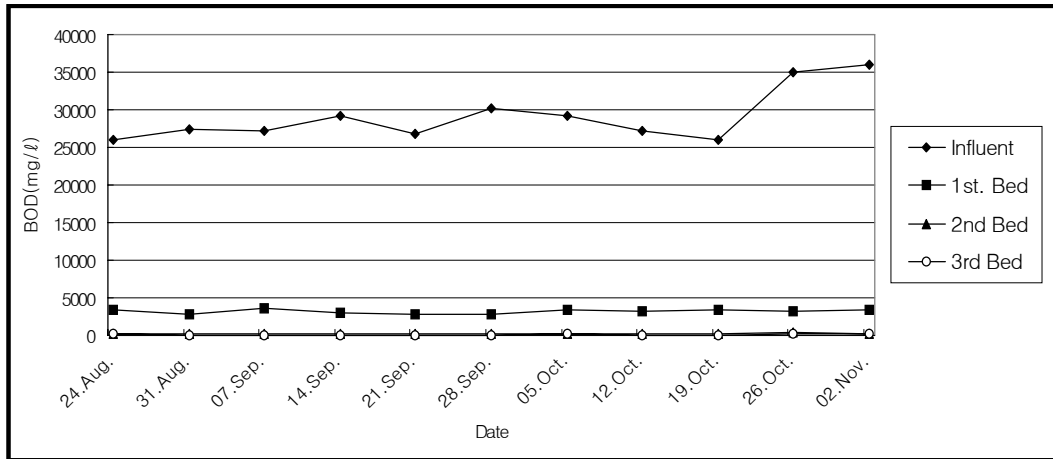


Fig. 4-34. Changes of BOD removal of Trickling system by wood chip in animal slurry.

#### 다. COD 처리수준

살수여상시스템에 의한 축산뇨오수의 COD 제거효율은 그림 4-35와 같다. 유입 축산뇨오수의 COD는 34,500~39,200mg/ℓ이었으며 전처리 살수여상처리를 통하여 6,000~9,000mg/ℓ로 낮아졌다. 또한 후처리 1차 살수여상조 800~1,200mg/ℓ, 2차 살수여상조를 거친 최종여과수의 COD는 220~330mg/ℓ로 처리되었다. 뇨오수의 COD 처리효율은 상대적으로 높지 않았는데 그 원인은 목편 여재가 유기물을 다량 함유함으로써 여과수에는 휴민질(Humic substance) 성분에 의하여 COD의 2차 오염을 소량 야기시키는 것으로 보여진다. 목편칩 여재에 의한 COD성분 유출부분은 응집처리가 필요할 것으로 사료된다.

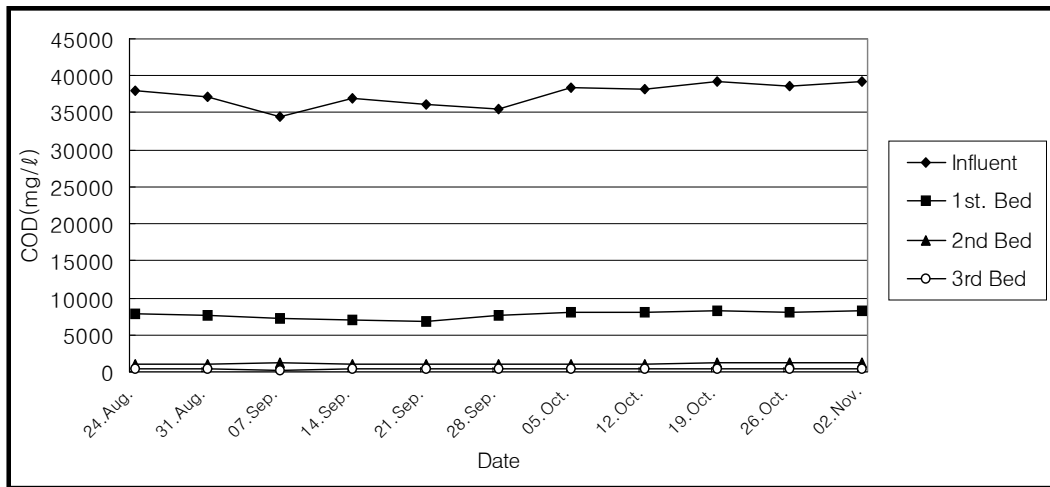


Fig. 4-35. Changes of COD removal of Tricking system by wood chip in animal slurry.

#### 라. T-N 처리수준

살수여상처리에서 T-N의 변화를 나타낸 것은 그림 4-36과 같다. 축산뇨오수 유입수의 T-N 함량은 1,350~2,500mg/l 를 나타내었다. 1차 전처리 살수여상조를 거치면서 T-N 함량이 약 800mg/l 로 낮아졌다. 후처리 2차, 3차 살수여상처리를 거쳐 최종 처리수의 T-N 270~285mg/l 를 나타내었다. 본 연구에서는 1차, 2차 살수여상의 침전조의 용량이 충분하지 않아 탈질이 원활하게 일어나지 않았던 것으로 해석되어 3차년도 연구에서는 Pilot시험장치를 보완하여 질소의 처리 효율을 높일 수 있는 시스템을 개발하였다.

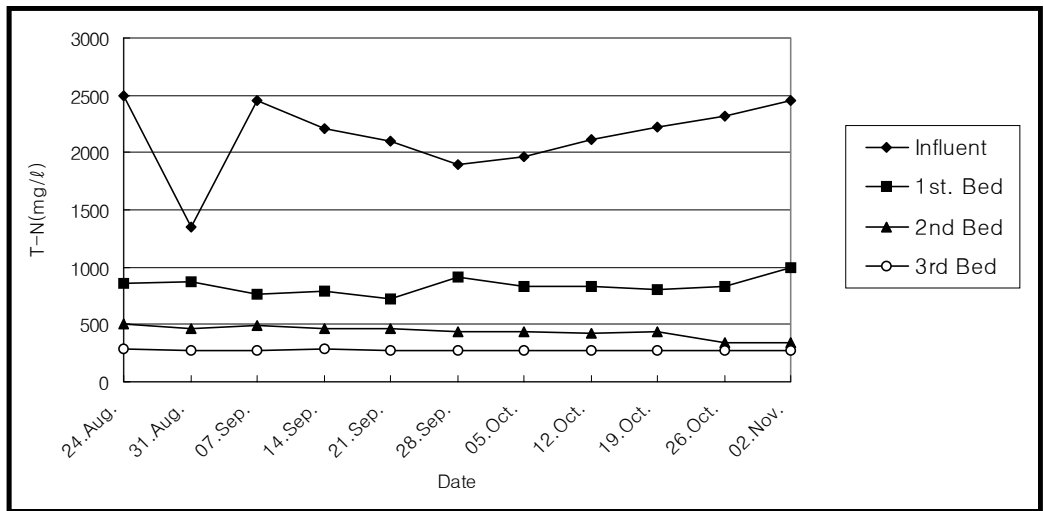


Fig. 4-36. Changes of T-N removal of Tricking system by wood chip in animal slurry.

마. NH<sub>4</sub>-N 변화

살수여상처리시스템에 의한 축산뇨오수의 NH<sub>4</sub>-N 함량의 변화는 그림 4-37과 같다. 원수의 NH<sub>4</sub>-N은 1,000~1,500mg/l 를 나타내었다. 1차 전처리 살수여상조에서 NH<sub>4</sub>-N 함량은 미생물에 의한 질산화 과정에 의하여 500~600mg/l 로 감소되었다. 이러한 결과는 전처리 살수여상조에서 O<sub>2</sub> 공급에 의하여 본 처리과정에서 질산화 반응이 촉진되었기 때문인 것으로 사료된다. 처리과정 중 미생물에 의한 NH<sub>4</sub>의 질산화 과정으로 전환되어 최종처리수의 NH<sub>4</sub> 함량이 90mg/l 내외로 낮아졌다.

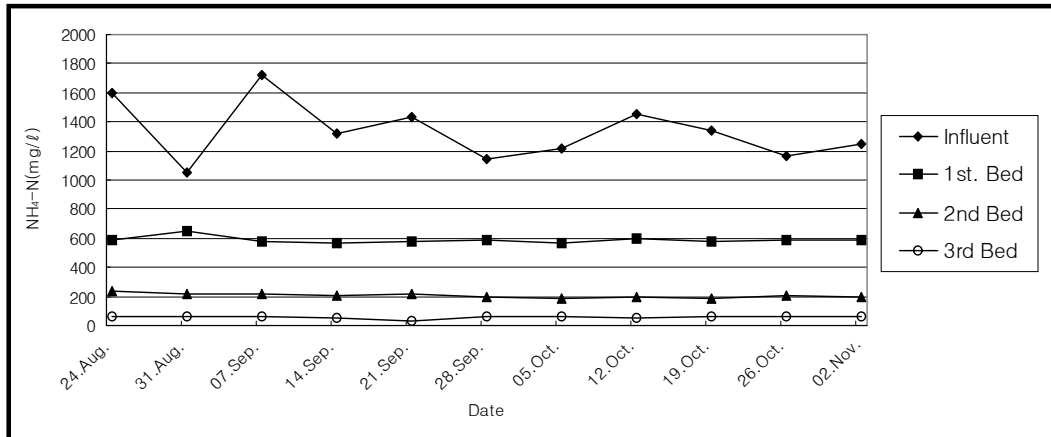


Fig. 4-37. Changes of  $\text{NH}_4\text{-N}$  removal of Trickling system by wood chip in animal slurry.

#### 바. $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 변화

살수여상시스템에 의한 축산뇨오수 처리공정별  $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 변화를 보면 유입뇨오수의  $\text{NO}_3\text{-N}$  함량은  $100\sim 130\text{mg}/\ell$  이었으며 1차 전처리 살수여상조를 거치면서 질산화가 진행되어  $\text{NO}_3\text{-N}$  함량이  $263\text{mg}/\ell$  로 증가되었다. 또한 후처리 살수여상에서는  $\text{NO}_3\text{-N}$  함량이 계속 낮아져 2차 살수여상조에서는  $50\text{mg}/\ell$  내외의  $\text{NO}_3\text{-N}$  함량을 나타내었다. 처리과정 중 미생물에 의한 탈질과정에 의하여 최종처리수의  $\text{NO}_3\text{-N}$  함량은  $40\text{mg}/\ell$  내외를 나타내었다. 본 살수여상처리공법에서 처리수의  $\text{NO}_3\text{-N}$  함량이 상대적으로 낮아진 것은 생분해 여재인 목편의 활용에 의한 목편살수여상조의 용량이 커서 처리조가 호·혐기 기능을 갖고 있어서 질산화와 탈질 미생물 과정이 촉진된 것으로 해석된다. 이러한 결과는 처리수의 pH가 중성화인  $8.0\sim 8.2$ 를 유지한 것의 생물학적 질산화 촉진이 활성화 된 것으로 보여진다.

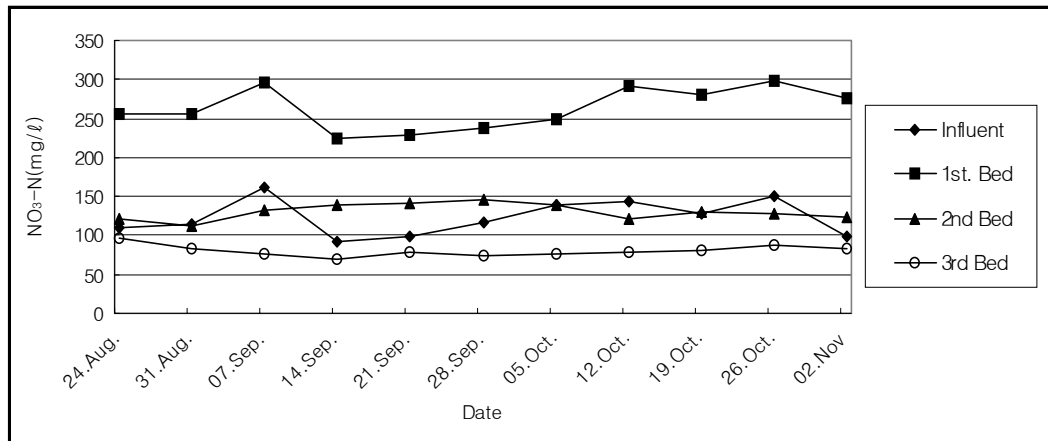


Fig. 4-38. Changes of NO<sub>3</sub>-N removal of Trickling system by wood chip in animal slurry.

#### 사. T-P 처리수준

축산뇨오수의 살수여상처리공정에서 T-P의 처리효율을 보면 유입수의 T-P 함량이 평균 500mg/l에서 전처리 1차 살수여상조에서 100~120mg/l로 처리되어 높은 처리효율을 나타내었다(그림 4-39). 그 원인은 전처리 살수여상조에서 체분리효과에 의한 고형분에 대부분 함유된 T-P 성분이 여상조 여재에 남아서 처리효율이 높아진 것으로 사료된다. 후처리 1차, 2차 살수여상조를 거치면서 최종처리수는 80mg/l 내외를 나타내어 T-P 처리효율은 상당히 높은 경향이였다. 본 처리공정에서 T-P 성분은 고형분에 포함된 인이 살수여상조에 체류하는 흡착기능과 미생물의 인 섭취에 의하여 제거되는 것으로 사료된다.



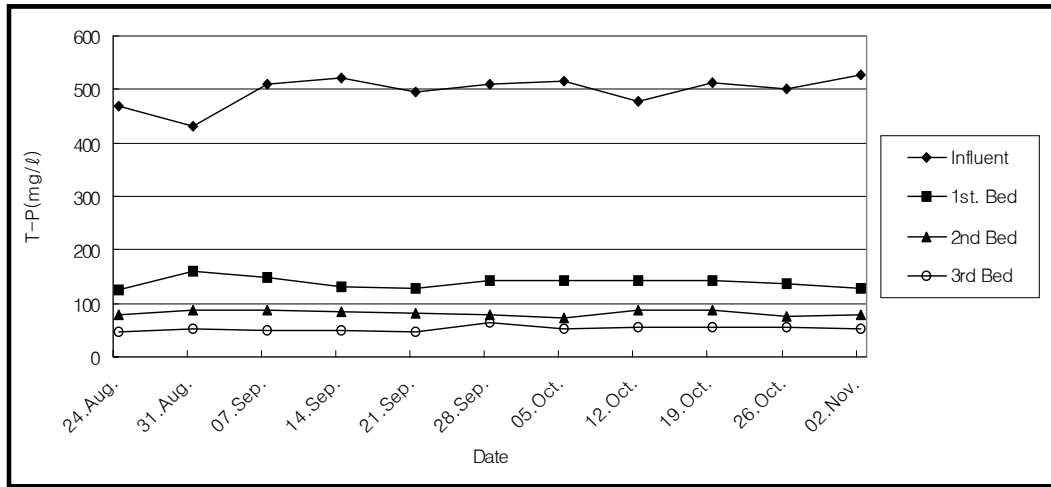


Fig. 4-39. Changes of T-P removal of Tricking system by wood chip in animal slurry.

#### 4. 공정별 처리효율

##### 가. SS 처리효율

처리공정별 SS 처리효율은 그림 4-40과 같다. SS 처리는 전처리 살수여상조에서 95.9%로서 높은 처리효율을 나타내었다. 또한 후처리 살수여상 고도처리조에서 1차(2nd Bed)에서 59.9%로 높았으나 2차(3rd Bed)에서 22.7%로 처리효율이 높게 나타나지 않았다. 본 처리시설을 통하여 SS는 98.7% 처리가 가능하였다.

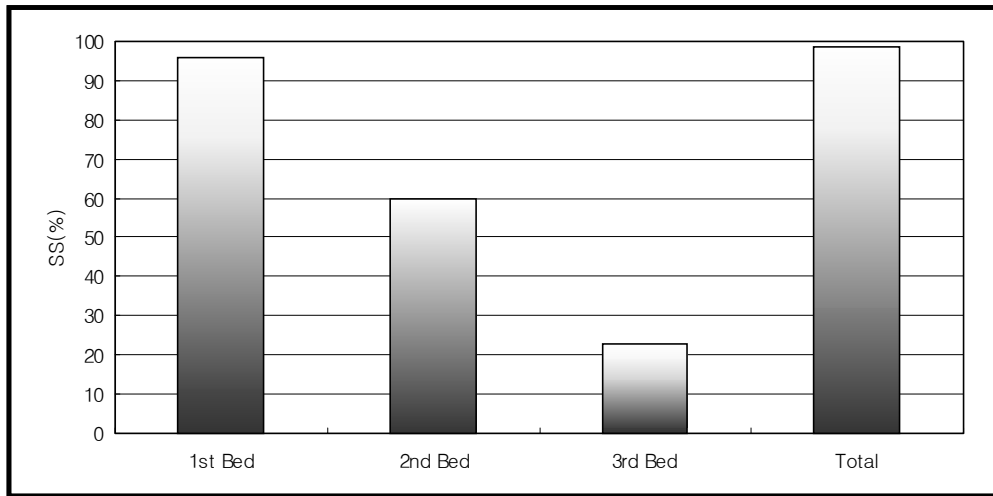


Fig. 4-40. SS removal rate at each process by trickling system in animal slurry.

#### 나. BOD, COD 처리효율

처리공정별 BOD<sub>5</sub>와 COD<sub>cr</sub> 처리효율은 그림 4-41, 그림 4-42와 같다. BOD 처리는 전처리 살수여상조에서 89.1%의 처리효율을 나타내었다. 후처리 고도처리 살수여상조에서 BOD 처리효율은 1차 살수여상조(2nd Bed)에서 92%, 2차 살수여상조(3rd Bed)에서 59.4%의 처리효율을 나타내었다. 본 처리시설 시스템은 BOD 처리에서 99.6%의 처리효율을 나타내었다. 처리공정별 COD 처리효율은 BOD보다 낮았다. 전처리 살수여상조에서 COD 처리효율은 79.4%로서 BOD 처리효율 89.1%에 비하여 처리효율이 낮았다. 이러한 결과는 전처리 살수여상조의 여재인 미립목편과 대립목편에서 COD 유발물질이 용출되기 때문인 것으로 사료된다. 후처리 고도처리 살수여상조의 COD 처리효율은 고도처리 1차 살수여상조(2nd Bed)에서 85.4%, 2차 살수여상조(3rd Bed)에서 71.9%의 처리효율을 나타내었다. 전체 처리공정에서 COD 처리효율은 99.2%를 나타내어 매우 높은 처리효율을 나타내었다. 그러나 최종 방류수의 COD는 평균 317 mg/l를 나타내었다.

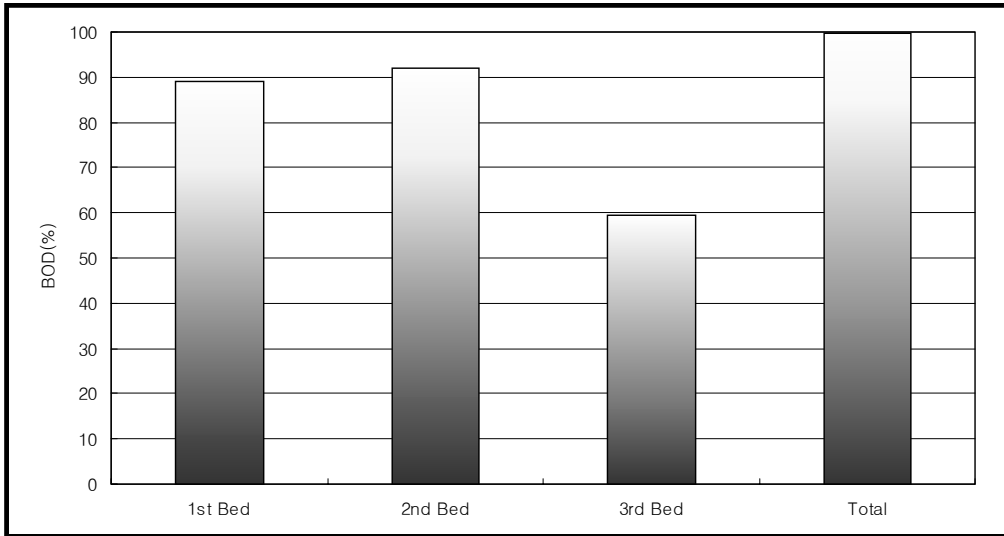


Fig. 4-41. BOD<sub>5</sub> removal rate at each process by trickling system in animal slurry.

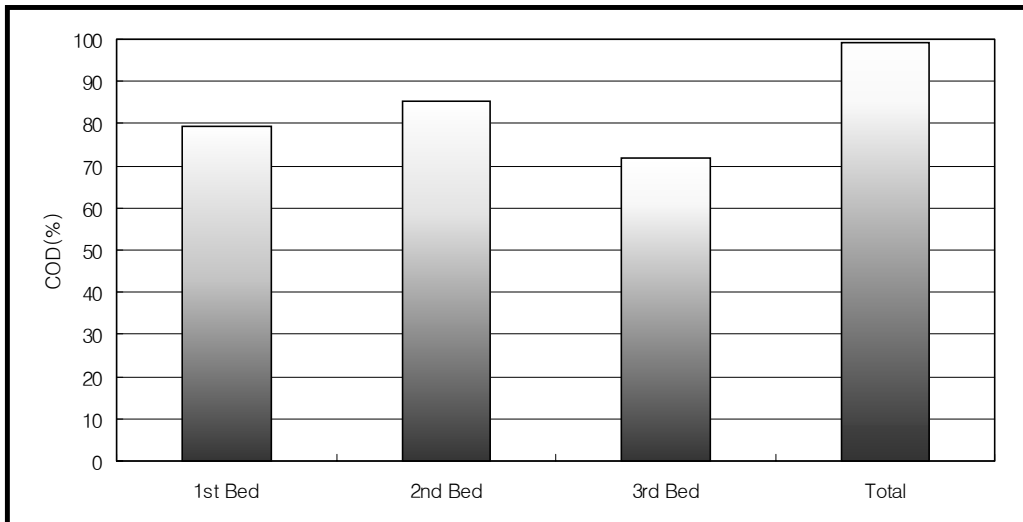


Fig. 4-42. COD<sub>cr</sub> removal rate at each process by trickling system in animal slurry.

**다. 질소화합물(T-N, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N)**

처리공정별 질소화합물의 처리효율은 그림 4-43, 4-44, 4-45와 같다. T-N 처리효율은 전처리 살수여상에서 60.9%로서 높지 않았다. 또한 후처리 고도처리 살수여상조에서 T-N 처리효율은 후처리 1차 살수여상조(2nd Bed)에서 47.7%, 2차 살수여상조(3rd Bed)에서 37.29%의 처리효율을 나타내었다. 본 처리시스템에서 전 공정의 T-N 처리효율은 87.2%로 비교적 높게 나타났으나 방류수의 T-N 함량은 275 mg/l로서 다소 높은 농도를 나타내었다.

NH<sub>4</sub>-N의 농도는 질산화에 의하여 전처리 살수여상조에서 56.1% 낮아졌다. 후처리 고도처리 살수여상조에서 NH<sub>4</sub>-N 농도는 1차 살수여상조(2nd Bed)에서 65.1%, 2차 살수여상조(3rd Bed)에서 46.5% 처리되었다. 전체 공정을 통하여 유입수 대비 유출수의 NH<sub>4</sub>-N은 91.8% 낮아졌다.

NO<sub>3</sub>-N 함량은 전처리 살수여상조에서 질산화 과정에 의하여 53.2% 높아졌다. 그러나 침전조와 후처리 살수여상조를 거치면서 탈질처리에 의하여 NO<sub>3</sub>-N 함량이 1차 살수여상조(2nd Bed)에서 50.5%, 2차 살수여상조(3rd Bed)에서 38.4% 낮아졌다.

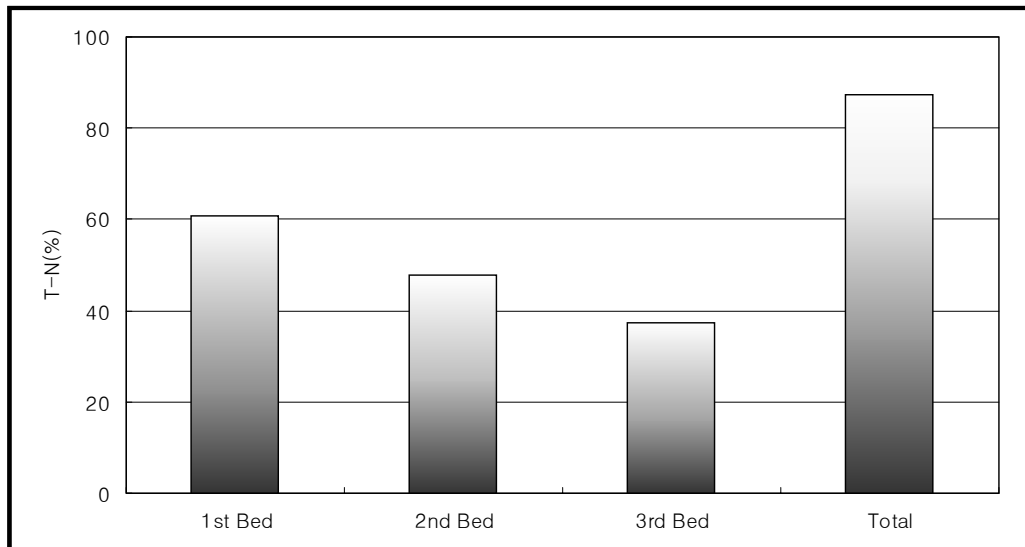


Fig. 4-43. T-N removal rate at each process by trickling system in animal slurry.

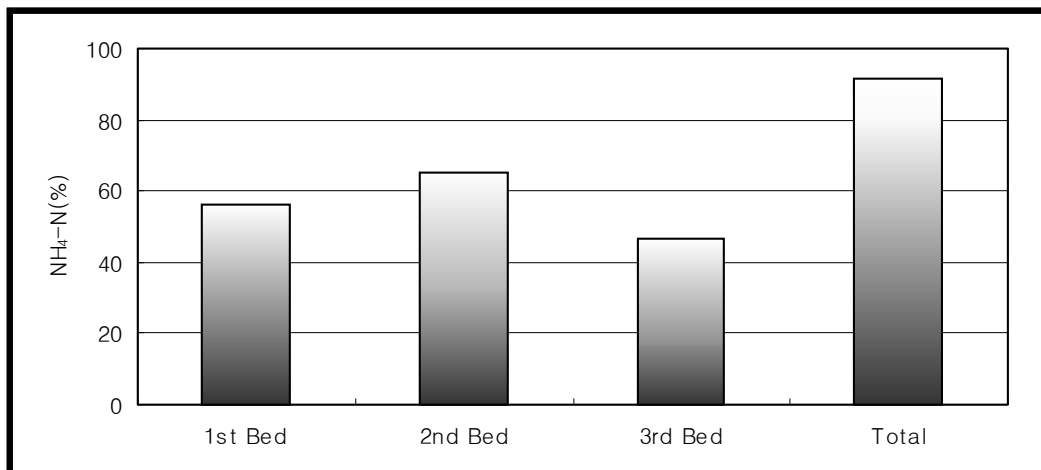


Fig. 4-44. NH<sub>4</sub>-N removal rate at each process by trickling system in animal slurry.

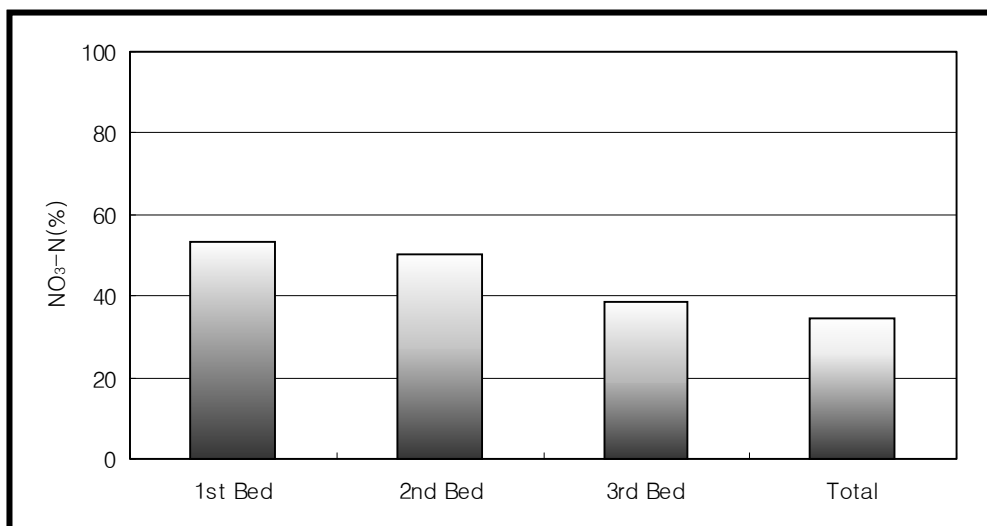


Fig. 4-45. NO<sub>3</sub>-N rate at each process by trickling system in animal slurry.

#### 라. T-P 처리효율

공정별 T-P 처리효율은 그림 4-46과 같다. 전처리 살수여상조의 T-P 처리효율은 72.0%로서 매우 높았다. 전처리 살수여상조에서 T-P 처리효율이 높은 것은 고액분리에 의하여 고형분에 포함된 인산성분이 살수여상조에 남아 있기 때문인 것으로 사료된다. 후처리 살수여상조의 T-P 처리효율은 후처리 1차 살수여상조(2nd Bed)에서 41.7%, 후처리 2차 살수여상조(3rd Bed)에서 34.6%의 처리효율은 나타내었다. 본 처리시스템의 전체 공정을 통한 T-P 처리효율은 89.4%이었다.

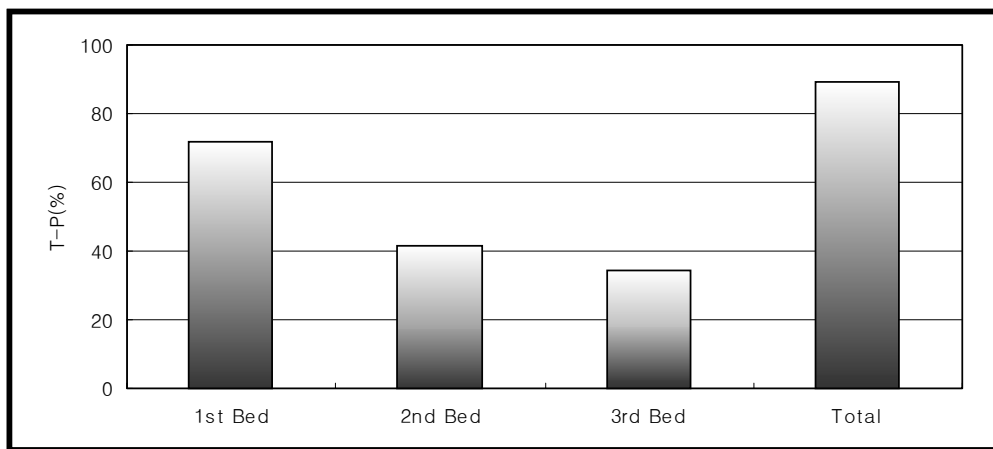


Fig. 4-46. T-P removal rate at each process by trickling system in animal slurry.

#### 마. 물질수지

슬러리 분뇨의 전처리 살수여상층을 여과하여 배출된 침출여액 농도는 BOD 3,200mg/l, CODcr 7,700mg/l, T-N 1,200mg/l, T-P 120mg/l로서 투입 축산분뇨의 농도가 BOD 29,000mg/l, CODcr 37,000mg/l, T-N 3,000mg/l, T-P 500mg/l 정도임을 감안하면 농도도 낮아지고 양도 적어진다. 후처리 목편 살수여상을 거친 최종 오수의 농도는 BOD 100mg/l, CODcr 320mg/l, T-N 275mg/l, T-P 53mg/l 범위

의 처리가 가능하였다. 일일 15m<sup>3</sup> 처리시의 결과이며 살수여상조의 부하를 다소 감소시키면 BOD 50mg/ℓ 이하의 처리가 가능할 것으로 판단된다(그림 4-47).

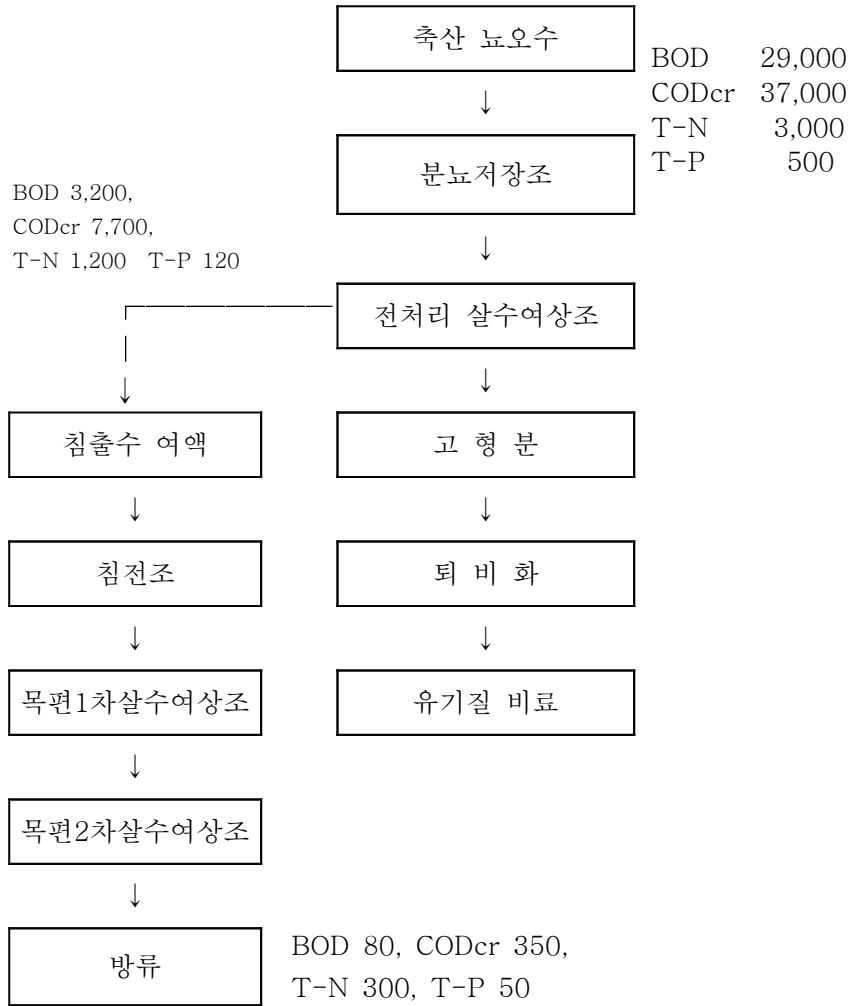


Fig. 4-47. 처리공정 중 물질수지 개요

**바. 평균 처리효율**

전처리 살수여상과 후처리 고도처리 살수여상 시설로서의 가능성을 검토하기 위하여 투입 원수와 여과수의 정화효율을 조사하였다. 표 4-3과 같이 살수여상 여과수의 BOD<sub>5</sub>는 원수에서 비교하여 99.6% 제거되었다. COD<sub>Cr</sub> 제거효율은 99.2%로서 BOD<sub>5</sub>보다 다소 낮았다. COD<sub>Cr</sub>의 처리효율이 BOD<sub>5</sub>보다 낮은 것은 살수여상의 충전재로서 목편을 사용함으로써 목편속의 휴민산의 COD 성분이 있어서 BOD 보다 처리효율이 낮아진 것으로 판단된다.

특히 연속 살수여상시설의 부유물질(SS)의 제거효과는 98.7%를 나타내어 매우 높은 처리효율을 나타내었다. 따라서 연속 살수여상시설의 고액분리 또는 정화처리시설의 전처리 시설로 활용가치가 높을 것으로 판단된다. 또한 질소, 인의 제거효율도 각각 87.2%, 89.4%를 나타내었다. 연속 살수여상시설의 정화효율 특성은 거의 모든 수질 정화효과가 있었으나 특히 SS와 T-P 처리효율이 높았다. 연속 살수여상시설의 SS와 T-P 제거효율이 높은 것은 살수여상의 분 성분에 많이 함유된 SS와 인 성분이 여과되지 않고 여과상에 잔존되어 분해소멸 처리되었기 때문인 것으로 생각된다.

Table 4-3. 연속 살수여상의 원수, 여과수를 비교한 오염물 처리효율

항 목	구 분		1차살수 여상조	2차살수 여상조	처리 효율(%)
	원 수	살수여과액			
BOD(mg/ℓ)	29,136	3,176	251.2	101.6	99.6
COD <sub>Cr</sub> (mg/ℓ)	37,436	7,729	1,130.3	317	99.2
SS(mg/ℓ)	12,925	526	211	163	98.7
NO <sub>3</sub> -N(mg/ℓ)	123	263	130.6	80.5	-
NH <sub>4</sub> -N(mg/ℓ)	1,334	586	205.5	56.3	-
T-N(mg/ℓ)	2,144	838.7	439.3	275.5	87.2
T-P(mg/ℓ)	497	138.9	81.3	52.9	89.4
pH	6.91	8.33	8.41	8.39	

본 전처리 살수여상시스템은 현재 설치되어 가동중에 있는 축산분뇨 정화처리 시설이나 축산분뇨 공공처리 시설의 유입원수의 BOD가 5,000mg/ℓ 이상으로 높아 정상



가동이 어려운 축산 폐수처리 과정을 개선하는데 전처리 시설로서의 적용이 가능할 것으로 보인다. 이러한 시설물의 전처리 시설물로 연속 살수여상시스템을 설치하면 오염물의 여과 흡착 및 발효 정화를 동시에 함으로서 정화처리시설물의 전처리시설로 활용성이 높을것으로 생각된다.

공공처리장의 설계 시 축산폐수의 BOD농도를 5000mg/ℓ 로 예상하여 설계, 시공되었으나 실제 수거되는 축산폐수의 BOD 농도가 20,000~30,000mg/ℓ 에 달하고 있는 실정이다. 각 축산농가에서 수거된 축산폐수에는 다량의 고형분을 함유하고 있기 때문에 수거된 폐수의 유기질 및 고형물을 제거하기 위하여 Screw press 나 Screw decante와 같은 전처리 시설을 추가로 설치하고 있으나 축산분뇨의 특성상 고형물 분리 비율이 높지 않다. 또한 전처리를 위하여 전량 응집 탈수하는 경우가 많아 이로 인한 약품비용 및 전력요금이 과다하게 소요되어 자립도가 낮은 지방자치단체의 경우 이의 유지관리에 어려움을 겪고 있는 실정이다. 또한 많은 약품을 써서 고액분리 한 분리액은 그 자체의 농도가 매우 높기 때문에 적정처리를 위하여 많은 희석수와 동력을 필요로 한다.

그 동안 축산분뇨를 정화처리하기 위하여 많은 에너지와 화학약품을 투입하여 고액분리를 한 폐수를 생물학적처리를 하여왔으나, 연속 살수여상시스템으로 축산분뇨를 전처리할 경우 고액분리를 위한 약품을 전혀 투입하지 않고 고액분리와 정화를 동시에 이룰 수 있다. 즉 유기성 고형분은 상부의 여상조에서 분해가 되고 하부로 내려온 살수여상 여과수는 BOD 1,500~4,000mg/ℓ, COD<sub>cr</sub> 6,000~9,000mg/ℓ, T-N 800~1,400mg/ℓ, T-P 40~150mg/ℓ 정도로 오염정도가 상당히 저감되어 생물학적 후처리 살수여상 시설에 적용시 처리효과가 높을 것으로 사료된다. 후처리 살수여상 고도처리시 최종여과수의 BOD는 70~90mg/ℓ, COD 200~400mg/ℓ, SS 40~80mg/ℓ, T-N 150~300mg/ℓ, T-P 40~60mg/ℓ 를 나타내었다.

살수여상 여과수는 수질이 낮아져 투입분뇨 대비 80~99%의 오염물제거 효율을 나타내었다. 이 기술을 축산농가 혹은 가축분뇨 공공처리장으로 유입되는 축산분뇨를 정화시설의 전처리시설로 적용할 경우 고액분리와 전처리를 위한 약품비용 및 전력비용 등 처리비용을 최소화시키고 후처리시 발생할 수 있는 여러 문제점에 대한 해결방안을 제시한다.

## 5. 뇨오수 처리용 목편 살수여상 시스템의 경영 분석

목편칩 살수여상시스템의 시험결과를 기초로 하여 돈분뇨 슬러리의 처리비용을 산출한 결과 표 23과 같이 돈분슬러리 1m<sup>3</sup>당 처리비용이 8,705원으로 나타났다. 처리비용에는 목편칩 구입비, 인건비, 전력비, 처리관리비, 시설 감가상각비 등 제비용을 포함하여 고려한 돈분뇨의 처리비용이었다. 따라서 본 처리시스템은 기존처리 기술 보다 비용절감이 되는 경제성이 있는 처리기술이었다.

Table 4-4. 살수여상시스템의 경제성 분석

○ 건축토목비	50m×10m = 500m <sup>2</sup> (150평) 150평×300,000(평당건축토목비) = 45,000,000원
○ 살수여상 시스템	교반기×1기 = 30,000,000원 살수여상조 : 3,000,000×8조 = 24,000,000원 2차 전기 및 부대비용 = 35,000,000원
○ 살수여상 시스템 공사비	134,000,000원
○ 목편칩 구입비	70m <sup>3</sup> ×1/2회×70,000원* = 24,500,000원
○ 감가상각비	기계 : 30,000,000원÷10년 = 3,000,000원 시설 : 104,000,000원÷15년 = 6,933,000원
○ 인건비	1,000,000원×12개월 = 12,000,000원
○ 전력비	400,000원×12개월 = 4,800,000원
○ 합 계	26,733,000원
○ 퇴비 판매소득	600m <sup>3</sup> ×0.67(비중)×30,000원 = 12,060,000원
○ 1m <sup>3</sup> 당 처리비용	{51,233,000원(처리비용)-12,060,000원(퇴비 판매소득) = 39,173,000원}÷4500(분뇨처리량m <sup>3</sup> ) 1m <sup>3</sup> 당 처리비용** : 8,705원

\* : 목편칩 구입비 : 1m<sup>3</sup>당 50,000원으로 계산

\*\* : 1m<sup>3</sup>당 처리비용 : {목편칩구입비+감가상각비+인건비+전력비+관리비}÷ 분뇨처리량

또한 농가 여건에 따라서 침출수와 여과수를 자원화하여 농작물 재배에 활용이 가능하다. 표 4-5는 축산뇨오수 처리과정별 미생물 군수의 변화를 나타내었다.

Table 4-5. 축산뇨오수 처리 과정별 미생물 군수 변화

구분	살모넬라	대장균	곰팡이	방선균	총세균수
원수	$2.0 \times 10^1$	$6.5 \times 10^5$	$2.5 \times 10^2$	$1.5 \times 10^6$	$2.8 \times 10^7$
전처리 여과수	$1.0 \times 10^1$	$7.5 \times 10^3$	$1.7 \times 10^2$	$5.0 \times 10^6$	$7.5 \times 10^6$
살수 여과수	0	$2.0 \times 10^1$	$2.5 \times 10^1$	$2.5 \times 10^4$	$2.5 \times 10^5$

## 제4절 결론

1. 축산분뇨를 정화처리하기 위하여 지금까지 많은 동력 에너지, 화학약품을 투입하여 처리하고 있으나 본 살수여상 시스템은 약품을 전혀 투입하지 않고 전처리 살수여상 처리에서 BOD  $29,000\text{mg}/\ell$ 에서  $3,200\text{mg}/\ell$ , CODcr  $37,000\text{mg}/\ell$ 에서  $7,500\text{mg}/\ell$ , SS  $13,000\text{mg}/\ell$ 에서  $530\text{mg}/\ell$ , T-N  $2,100\text{mg}/\ell$ 에서  $840\text{g}/\ell$ , T-P  $500\text{mg}/\ell$ 에서  $140\text{mg}/\ell$ 로 처리가 가능하였다.

2. 전처리 살수여상조에서 오염물의 부하가 현저히 낮아져 후처리 1, 2차 살수여상처리와 침전조를 거친 최종 여과수의 BOD는  $100\text{mg}/\ell$ 로서 99.6%의 BOD 처리효율을 나타내었다. COD 99.2%, T-N 87.2%, T-P 89.4%의 처리효율을 나타내었다.

3. 이 기술은 축산농가 혹은 축산분뇨 공공처리장에 유입되는 축산분뇨 정화처리의 전처리 시설 혹은 후처리 시설로 적용시 약품 비용, 슬러지 절감, 전력 비용 등 처리비용을 최소화할 수 있는 경제적인 에너지 절감형 처리기술로 사료된다.

## 제5절 참고문헌

1. 김은경·이택순·서정윤. 1996. 로터리 교반식 퇴비화 시설의 운전조건 개선. 한국환경농학회지 15(3). 355-361.
2. 농촌진흥청, 축산기술연구소. 가축분뇨 자원화 및 이용기술 심포지움
3. 농촌진흥청. 2000. 가축분뇨의 처리 체계별 경제성 연구. 1999년도 연구사업보고서.
4. 류철호·허덕·이석호. 1990. 가축분뇨 및 축산폐수 처리대책에 관한 연구. 한국농촌경제연구원.
5. 박치호. 1995. Slurry 돈사이용농가 분뇨처리 방법 조사. 94축산분뇨처리에 관한 연구, 건국대학교 동물자원연구센터, 축산기술연구소. 113-145.
6. 서성배. 1997. 축산분뇨처리시책 추진방향. 축산분뇨처리사업 홍보교육, 농림부, 축협중앙회. 5-13.
7. 신항식 외 4인. 1990. 상수원 보호를 위한 축산분뇨의 적정 관리방안. 한국폐기물학회지. 7(1):45-52.
8. 이남용. 1999. 가축분뇨 처리 업무지침(99. 2. 축협).
9. 정영철. 1998. 양돈. 한국의 축산, 농림부, 세계축산학회. 35-46.
10. 축협중앙회. 1999. 12. 가축분뇨 처리비용 조사 보고서. 10,
11. 한국농촌경제연구원. 2000. 가축분뇨처리시설의 시설비 및 운영비 조사연구.
12. 한정대. 2000. 가축분뇨 자원화 및 이용기술 개발.
13. 한정대, 박치호. 2000. 돈 슬러리 혐·호기발효 증발시스템 실용성 확립. 농촌진흥청, 축산기술연구소.
14. 환경부, 농림부. 1999. 8. 축산분뇨 자원화시설 표준설계도(해설 및 시방서). 9-26.
15. Haga, Kiyonoi. 가축분뇨의 농경지 이용. 첨단환경기술 1995년 6월호. 1995.

## 제5장 스크레파 축사 뇨오수 처리 기술 개발

### 제1절 서론

스크레파 축사의 경우 분뇨가 분리되며, 농가에서 통상 분뇨는 퇴비화하여 처리한다. 뇨는 규모가 큰 농가에서는 활성오니 처리 시설로 처리하지만 규모가 작은 축산농가에서는 뇨오수를 경제적으로 처리하지 못하고 있는 실정이다. 축산뇨오수는 BOD, SS가 높은 고농도의 오수이므로 생활오수 처리공법에 의한 정화처리기술은 한계가 있다. 우리나라에서는 주로 스크레파, 슬러리 축사가 많이 보급되어 있다. 스크레파 축사의 분뇨 분리 축산농가의 경우 분뇨 퇴비화 처리를 하고 뇨오수는 활성오니 등 정화처리기술로 처리하고 있으나 정상적인 처리가 되고 있지 못하다.

기존의 축산뇨오수 처리기술인 활성오니, 접촉산화 등의 기계의존형 기술은 설치비와 유지관리비가 많이 소요된다. 또한 관리에 전문적인 기술이 필요하다.

본 연구는 유지관리비가 적게 소요되고 관리가 용이한 에너지 절감형 축산뇨오수 처리기술을 개발하기 위하여 목편 살수여상 정화기술을 개발하여 현장 실험을 실시하였다.

### 제2절 재료 및 방법

#### 1. 시험농장 개황

본 연구에서는 실제 축산농가에서 축산분뇨를 처리할 수 있는 실증 플랜트 규모의 처리 시설에서 연구를 실시하였다. 본 연구는 충남 병천의 스크레파 축사의 농가에서 수행되었다. 본 연구가 수행된 축산농가의 가축 사육 개황을 보면 평균 2,330~2,500두 사육하고 있었다. 본 연구는 2002년 10월부터 2003년 6월까지 수행되었다. 일일 분뇨 배출량은 분 6m<sup>3</sup>, 뇨오수 4m<sup>3</sup>이었다. 본 연구는 뇨오수 일일 4m<sup>3</sup>을 처리하는 시험을 수행하였다.

## 2. 유입 배출분뇨의 특성

유입수의 특성은 BOD 3,865~10,200mg/ℓ, COD<sub>Mn</sub> 2,834~4,570mg/ℓ 이었다.

Table 5-1. 스크레파 축사 분과 뇨의 성분 함량

성분	분(Excrement)	뇨(Urine)
pH	6.8	8.4 ~ 9.0
BOD(mg/ℓ)	57,600	3,865 ~ 10,200
COD <sub>Mn</sub> (mg/ℓ)	42,024	2,834 ~ 4,570
SS(mg/ℓ)	74,000	1,520 ~ 2,590
T-N(mg/ℓ)	12,956	2,854 ~ 5,695
T-P(mg/ℓ)	2,376	59.5 ~ 103.5

## 3. 처리공정

축산뇨오수 처리 공정은 축산뇨오수 원수의 협잡물을 스크린을 통하여 제거하였다. 스크린을 거치지 않으면 목편 살수여상에 막힘 현상을 초래하는 문제점이 있다. 스크린을 거친 축산뇨오수를 목편 살수여상에 하루 24회 살수하였다. 목편 살수여상을 거친 뇨오수는 폭기 처리를 하였다. 폭기 처리를 한 후 침전과 오존처리를 하였다.

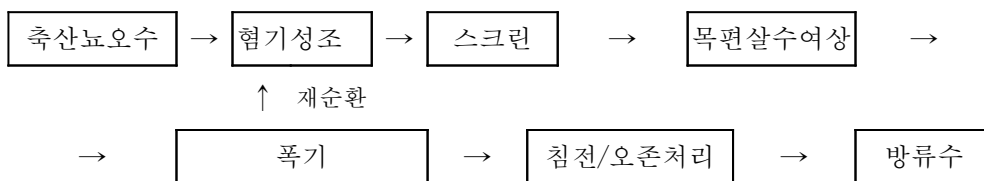


Fig. 5-1. 축산뇨오수의 처리공정

살수여상 처리 용적은 가로, 세로, 높이 각각 11m×5m×2.5m로서 152m<sup>3</sup>의 용적을 가지고 있다. 또한 폭기조의 용적은 가로, 세로, 높이가 각각 11m×5m×2.5m로 하여 총 137m<sup>3</sup>의 용적을 가지고 있다.

### 제3절 연구결과

#### 1. 처리수준

##### 가. pH

미생물이 증식 및 대사 반응에 대한 pH의 영향은 매우 크며 생산되는 산물의 종류와 양에도 중요한 영향을 끼친다. 그림 5-2는 목편살수여상 처리과정에서의 공정별 pH의 경시적 변화를 측정날짜별로 나타낸 것이다. 본 실험에 이용된 축산 뇨오수 원수는 중성부근의 pH를 유지하여 질산화와 탈질을 위한 미생물 성장에 최적의 조건이었다. 또한 원수보다 목편여과수 및 활성오니수의 pH 값이 높아졌다.

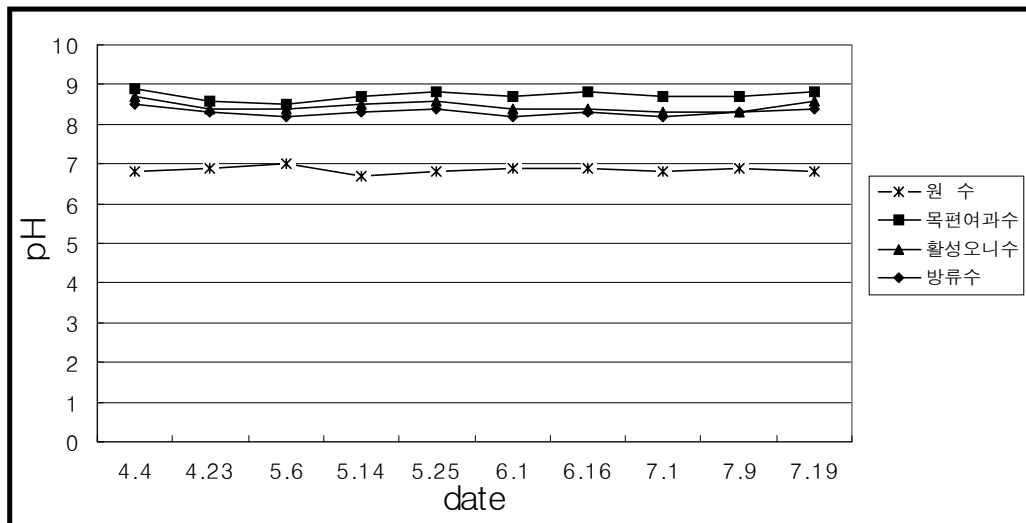


Fig. 5-2. 살수여상에서의 pH 변화

#### 나. BOD(Biochemical Oxygen Demand)

실증 plant 정화조의 날짜별 유입수의 BOD 농도는 7,000 ~ 10,000mg/ℓ의 범위를 나타내었다. 그림 5-3과 같이 원수의 BOD 값은 날짜별로 큰 차이를 보이고 있다.

원수가 목편살수여상을 거친 후 BOD<sub>5</sub>는 600 ~ 900mg/ℓ를 나타내어 살수여상을 거치면서 수치가 많이 낮아진 것을 알 수 있었다. 활성오니 처리 후 BOD 함량은 평균 58mg/ℓ를 나타내어 축산분뇨 방류 법적기준 150mg/ℓ이하로 처리되어 평균 99.3%정도 처리효율을 나타내었다.

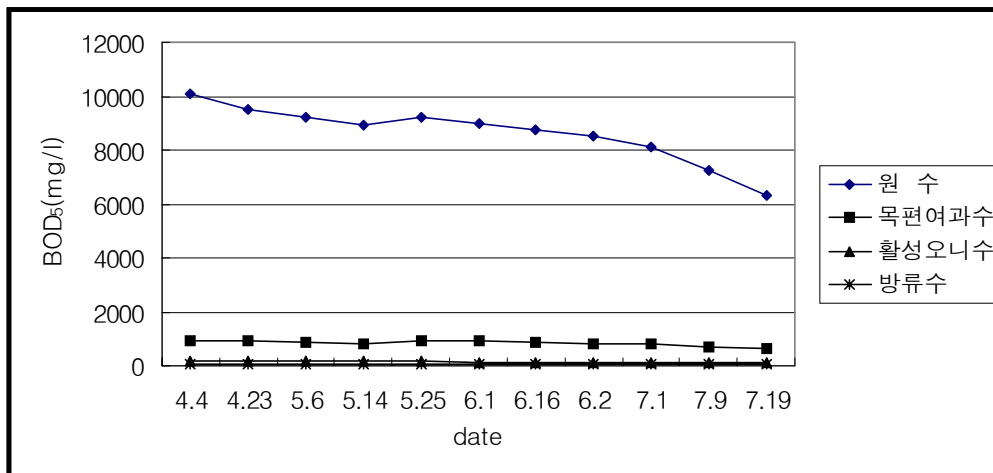


Fig. 5-3. 살수여상에서의 BOD 변화

#### 다. COD(Chemical Oxygen Demand)

그림 5-4와 같이 원수에서의 COD는 3,800 ~ 4,600mg/ℓ이었으며, 목편살수여상을 거친 뇨오수의 COD값은 1,100 ~ 1,600mg/ℓ 범위로 비교적 높은 수치를 나타내어 분해되지 않는 난분해성 유기물이 일부분 정화되지 않는 것으로 나타났다.

또, 활성오니를 거쳐 최종 방류수의 COD값은 190 ~ 240mg/ℓ를 나타내어 평균처리효율이 약 94.3%로서 본 시스템의 경우 COD 처리효율이 BOD 처리효율에 비하여 낮았다. 이는 목편에 있는 리그닌의 분해로 생성된 휴민성의 난분해성 물질이 유출되어서 COD의 수치를 높여주는 역할을 한다고 판단되어진다.



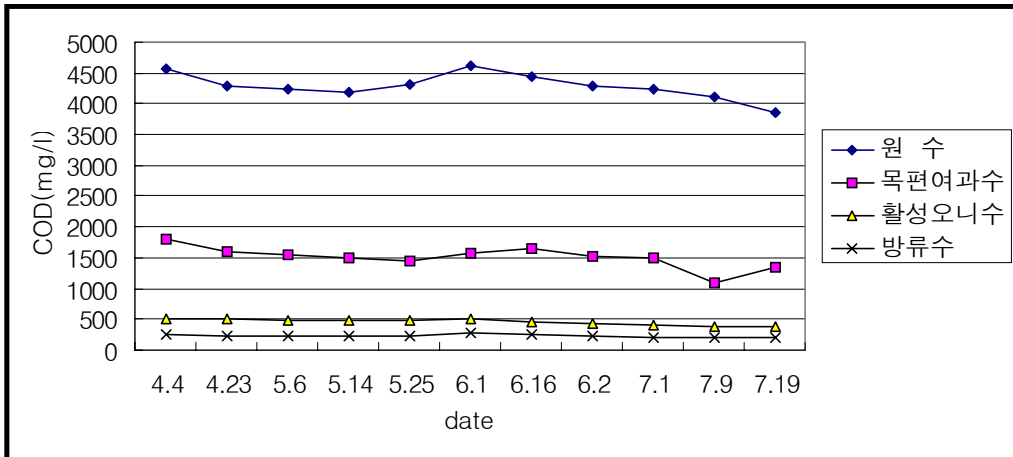


Fig. 5-4. 살수여상에서의 COD 변화

#### 라. SS (Suspended Solid)

원수의 날짜별 SS 농도는 1,700 ~ 2,500mg/ℓ 범위에 있었다. SS와 BOD와 관계를 살펴보면, SS 농도가 높으면 BOD 역시 높은 것을 알 수 있고 이는 부유물질을 분해하기 위한 DO의 소비량이 증가함을 보여준다.

그림 5-5는 본 처리시스템 공정별 계절별 SS의 농도의 변화된 모습을 그래프로 나타낸 것이다. 방류수에서는 SS 함량이 40 ~ 50mg/ℓ 범위를 나타내어 본 처리시스템은 SS처리에 있어서 50mg/ℓ 이하의 안정처리가 이루어졌다. 최종 방류수의 SS처리효율은 97.5%로 높은 처리효율을 나타내고 있다.

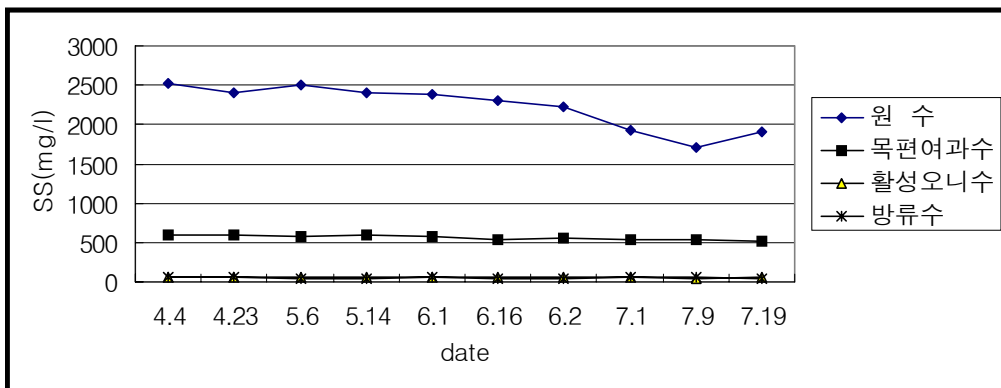


Fig. 5-5. 살수여상에서의 SS 변화

마. 질소(T-N)

그림 5-6은 날짜 및 측정장소별 총질소(T-N ; Total Nitrogen)를 나타내고 있다. 질소처리는 유기성질소 및 암모니아성질소가 질산화 과정을 거쳐 질산성질소로 형태가 변형되어 혐기조건에 탈질되어 공기 중에 휘발하는 과정으로 처리된다. 유입수의 T-N은 3,100 ~ 5,100mg/ℓ이었으며, 방류수의 T-N은 230 ~ 300mg/ℓ를 나타내어 평균 93.4%의 처리효율을 나타내었다.

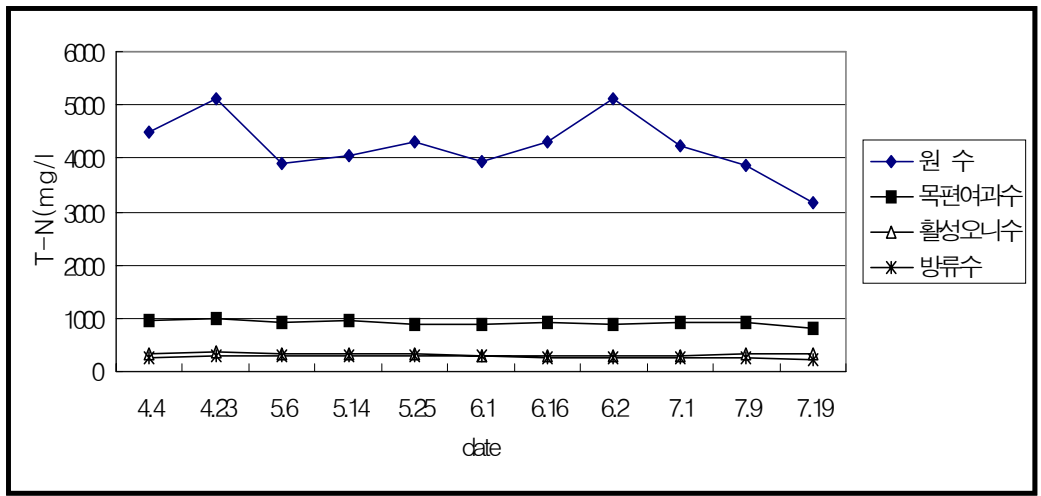


Fig. 5-6. 살수여상에서의 T-N 변화

바. 총인(T-P)

그림 5-7은 처리 단계별 총인(T-P; Total Phosphorus)의 농도를 나타내고 있다. 원수의 T-P는 90 ~ 110mg/ℓ 범위이었으며, 방류수의 T-P는 10mg/ℓ 이하를 나타내어 평균 92.6%의 처리효율을 나타내었다.

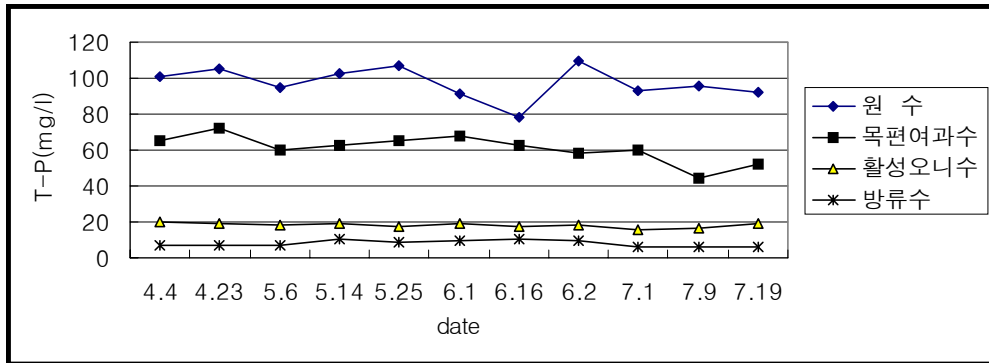


Fig. 5-7. 살수여상에서의 T-P 변화

## 2. 평균 처리효율

축산뇨오수의 처리공정별 BOD 처리효율을 보면 유입수의 농도가 8,622mg/l에서 살수여상조를 거쳐 830mg/l으로 약 90%가 저감되었다. 최종 처리를 거치면서 방류수 수질은 평균 BOD 58.2mg/l를 나타내어 안정적인 BOD 처리가 가능하였다. BOD 처리효율은 99.3%를 나타내어 높은 BOD 제거율을 나타내었다. COD의 공정별 농도변화는 표 5-2와 같다. 원수의 COD<sub>Mn</sub>은 4,291mg/l이며, 살수여상처리 공정을 거친 방류수의 COD<sub>Mn</sub>은 232mg/l이었다.

또 목편집 살수여상 시스템의 COD<sub>Mn</sub> 처리효율은 94.6%를 나타내었다. 최종 방류수의 SS 농도는 100mg/l이하의 처리가 가능하였다. 특히 살수여상처리에서 체분리 효과와 분해에 의한 SS제거효율이 높았다. 질소는 일반적으로 유기 질소, 암모니아성 질소(NH<sub>4</sub>), 아질산성 질소(NO<sub>2</sub>), 질산성 질소(NO<sub>3</sub>)로 구분한다. 축산뇨오수 중의 질소는 대부분 NH<sub>4</sub> 형태이었다. 원수 4,223mg/l T-N이 살수여상을 거쳐 912mg/l 정도로 저감되었으며 최종방류수는 275mg/l를 나타내어 평균처리효율이 93.5%이었다. 또 T-P의 경우 97.4mg/l의 원수가 살수여상을 거치면서 60.9mg/l로 되었으며, 최종 방류수는 8.0mg/l를 나타내어, 평균 처리효율이 91.8%이었다.

Table 5-2. 축산뇨오수의 살수여상시스템에 의한 처리

구분	원수	스크린	살수여상수	폭기수	방류수	처리효율(%)
pH	6.85	8.68	8.72	8.46	8.31	-
BOD(mg/ℓ)	8,622	7,200	830	136	58.2	99.3
COD <sub>Mn</sub> (mg/ℓ)	4,291	4,100	1,512	454	232	94.6
SS(mg/ℓ)	2,208	1,950	564	55.9	49.5	97.8
T-N(mg/ℓ)	4,223	4,120	912	320	275	93.5
T-P(mg/ℓ)	97.4	96.6	60.9	18.1	8.0	91.8

### 3. 장 · 단점 비교 분석

축산뇨오수 정화시설이 대부분 활성오니 시설로 되어 있다. 활성오니 처리 기술의 가장 큰 문제점은 유입수 농도가 높아 많은 량의 물을 가수해야 하는 문제점이 있다. 통상 스크레파 축사에서 발생하는 뇨오수의 BOD 농도가 5,000~10,000mg/ℓ 정도인데 이렇게 높은 유입수를 활성오니로 처리하는 것이 불가능하여 유입수의 BOD를 3,000mg/ℓ 이하로 조절하기 위하여 많은 량의 물을 가수해야 한다. 또한 슬러지가 다량 발생하여 슬러지 처리에 많은 노동력과 비용이 소요되고 있다.

그러나 본 살수여상 처리 시스템은 BOD 10,000mg/ℓ 의 축산뇨오수를 전처리 살수여상처리를 거치면 1,000mg/ℓ 이하로 처리가 가능하다. 아울러 슬러지가 살수 여상 조에서 90%이상 제거 되어 활성오니 대비 90% 이상 적게 발생되어 유지관리가 매우 용이한 장점이 있다.

Table 5-3. 본 처리시스템의 장·단점 비교

항목	살수여상처리시스템	활성오니 처리
원리	- 살수여상조에 목편칩을 충전하여 축산뇨오수를 위에서 아래로 통과시켜 목편칩에 부착하는 생물막과 접촉시켜 처리한다.	- 오수내 함유된 유기물을 영양분으로 하여 오니를 활성화시켜 축산뇨오수를 정화하여 증식된 오니를 침전시켜 제거한다.
장점	- 슬러지가 살수여상에서 제거 (활성오니 대비 90% 감소) - 동력비가 적게 소요 (활성오니 대비 50% 절감) - 운전비 저렴 - 관리 용이	- 대용량에 적합
단점	- 처리 면적이 다소 크다.	- 고도의 운전기술 요구 - 다량의 슬러지 발생 - 관리 비용이 큼(기계의존형)

## 제4절 결론

1. 스크레파 축사의 축산뇨오수 처리를 위한 목편칩살수여상시스템을 개발하였다. 처리공정은 축산뇨오수 원수 → 스크린 → 목편칩살수여상 → 활성오니 → 침전/오존처리 공정으로 처리하였다.

2. 처리결과 축산뇨오수 원수의 BOD 8,620mg/ℓ 에서 최종처리수의 BOD는 58mg/ℓ 로 처리되었다. 또한 COD<sub>Mn</sub>은 원수 4,290mg/ℓ 에서 232mg/ℓ, SS 2,228mg/ℓ 에서 49.5mg/ℓ, T-N 4,223mg/ℓ 에서 275mg/ℓ, T-P 97.4mg/ℓ 에서 8.0mg/ℓ 로 처리되었다.

3. 슬러지가 살수 여상에서 제거 되어 활성오니 처리시 대비 슬러지 발생량이 90% 절감되었다.

## 제5절 참고문헌

1. 한정대, 박치호(200), 돈슬러리 혐·호기 발효 증발 시스템 실용성 확립, 농촌진흥청 축산기술연구소.
2. Evans, M.R.(1982), Slurry treatment - why and how Farm Buildings progress 68, 11-14.
3. Evans, M.R. and Baines, s.(1975), Aerobic treatment of piggery waste prior to land treatment a case study. American Society of Agricultural Engineers. 556-559.
4. Harrison, J.R., *et al.*(1987), A Comparison of Trickling Filter Media. JWPCF. VOL. 59. p. 679.
5. Jank, B.E. and W.R. Drynam.(1973), Substrate Removal Mechanism of Trickling Filters. Journal of the Environmental Division. ASCE. EE3. 187.

## 주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.