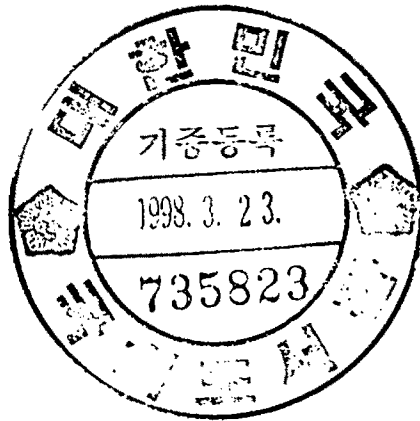


최 종  
연구보고서

# 농어촌지역 상수보존 및 오폐수처리에 관한 연구

The Study of Rural Water Supply  
& Wastewater Treatment



연구기관  
농어촌진흥공사

농림부

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “농어촌지역 상수보존 및 오폐수처리에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

1997년 11월 30일

주관연구기관명 : 농어촌진흥공사

총괄연구책임자 : 이 광 식

연 구 원 : 임 종 완

연 구 원 : 이 태 호

연 구 원 : 김 영 경

연 구 원 : 하 정 숙

협동연구기관명 : 서울대 보건대학원  
국민보건연구소

협동연구책임자 : 이 홍 근

협동연구기관명 : 서울대 농업생명과학대  
농업개발연구소

협동연구책임자 : 최 홍 립

# 요 약 문

## I. 제 목

농어촌지역 상수보존 및 오폐수처리에 관한 연구

## II. 연구개발의 목적 및 중요성

### < 상수보존 분야 >

농어촌지역의 상수공급은 지표수 및 천층지하수를 수원으로 간이상수도 또는 개별급수시설(자가수도)에 의해 급수되고 있으나 급수시설의 관리소홀 및 처리시설의 미비로 인하여 농어민에게 공급되는 상수의 수질은 점차 악화되고 있다. 간이급수시설 중 일부지역에서만 염소소독장치를 설치하여 물을 처리하고 있으며, 대부분의 시설에서는 단지 수원에서 물을 취수하여 처리하지 않고 원수를 노후화 된 급수관을 통하여 비위생적으로 공급하고 있는 실정이다. 상수이용현황, 오염원인분석, 정수처리모형실험 및 관리체계 합리화를 위한 전문가시스템 등을 개발함으로써 농어촌 상수의 안전한 공급을 도모하고자한다.

### < 오폐수처리 분야 >

농어촌지역의 마을오폐수 발생특성 및 처리시설의 현황과 실태를 조사하고, 마을오폐수처리시설의 구비조건과 처리시설사업, 관련제도 및 법규를 검토하여 체계적이고 효율적인 마을오폐수처리시설 정비방안을 제시하며,

소규모 마을오폐수처리에 적용성이 클 것으로 판단되는 토양피복형 접촉산화 공법에 관한 실험연구를 수행하여 처리효율, 경제성, 유지관리성등을 개선함으로써, 농어촌의 열악한 생활환경을 개선하고 수질오염을 방지하는데 기여하고자 한다.

### Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

#### < 상수보존 분야 >

##### ■ 상수이용현황 및 오염원인 분석

-간이 상수이용현황 및 수질 현황조사 분석

##### ■ 정수처리 모형 실험

- 국내의 기술자료에 의한 소규모 정수처리시설별 특성분석
- 선정된 공정에 대한 실험실 규모의 모형 제작 및 실험
- 실험을 통한 정수처리공정의 제거능력 분석 및 적용성 검토

##### ■ 전문가 시스템 개발

- 간이상수도 설치계획 시 급수량 산정 및 정수처리시설 결정을 위한 전문가 시스템
- 펌프 및 관로 등의 시설운영을 위한 전문가 시스템
- 안전한 상수공급을 위한 관리대책 전문가 시스템

#### < 오폐수처리 분야>

##### ■ 농어촌 마을오폐수 발생특성 및 처리시설현황조사

- 농민의 수질환경 인식도 설문조사
- 마을오폐수 발생특성 조사 분석
- 마을오폐수 처리시설 현황과악
- 농어촌 마을오폐수처리시설의 구비조건 및 정비방안 모색
  - 마을 오폐수처리시설의 구비조건과 처리기술의 발전방향제시
  - 마을오폐수처리시설의 효율적인 정비방안 검토
- 토양피복형 접촉산화공법의 개선을 위한 실험연구 수행
  - 현행토양피복형 접촉산화공법의 문제점 및 개선방향 검토
  - 접촉산화조에서의 쇄석 대체 접촉여재 개발을 위한 실험
  - 토양식 필터개량 및 피복토양혼합재 개발을 위한 실험

#### IV. 연구개발 결과

##### <상수보존 분야 >

농어촌지역의 상수공급은 간이상수도나 자가수도에 의존하고 있으며, 취수원인 지표수와 천층지하수의 오염, 계절적인 수요량 변동, 급수시설의 노후화, 위생적인 정수처리 기술부족, 관리운영제도의 미흡 등 여러가지 문제점을 안고 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점들을 면밀히 분석하기 위한 연구대상지의 급수현황, 취수원 및 수도전의 수질현황 및 오염원인분석, 정수처리현황 등을 조사하였으며, 정수처리 모형실험, 시설표준화, 운영·관리 제도분석 및 최신 관리기법인 전문가 시스템 개발하여 안정적인 농어촌 상수공급 및 관리방안을 제시하고자 2개년(1996. 12 ~ 1997. 11)에 걸친 연구결과는 다음과 같다.

1. 연구대상지는 농어촌유형에 따라 수도권 근교촌, 내륙농업 중심촌, 내륙교통 중심촌, 해안 평야촌 등으로 1지구씩 선정하여 8차에 걸친 설문조사, 현장조사 및 자료조사를 실시하였으며 평균급수량은 294 ℓ/인/일로 일부 주민은 급수량이 부족하다고 생각하고 있으며 농어촌 주민의 생활수준의 향상에 따른 급수요구량은 증가할 것이다.
2. 간이상수도 및 수도전 수질조사 결과 미생물에 의한 오염이 약 90%를 차지하고 있으며, 취수원에 가축분뇨 및 생활하수가 유입되고, 급수과정중에 시설의 불비에 따른 오염물질의 유입으로 추정된다.
3. 정수처리공정은 완속모래여과를 중심으로 염소소독과 막분리법을 조합하여 ①염소소독, ②수직완속 모래여과 + 염소소독 ③수직완속 모래여과 + 막분리법 + 염소소독으로 실험을 실시하였으며 ②공정에서는  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{NH}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ , 탁도등의 제거효율이 높은 것으로 나타났으며, ③공정은 부식질과 경도의 제거율이 좋은 결과를 얻었다.
4. 농어촌 간이상수도 관리 전문가시스템(Expert System)을 개발하여 농어촌 지역에 보급 함으로서 유지관리 효율화를 기할 수 있다. 본 연구에서 개발한 전문가 시스템은 급수량 산정 전문가 시스템, 전기·기계시설의 유지관리를 위한 간이급수시설 비상운영 전문가 시스템, 상수원 수질관리 전문가 시스템으로 구성되었다.
5. 농어촌 상수도의 유지관리 효율성을 제고하기 위해서는 설치자재의 표준화, 지자체별 간이상수도 전담 공무원을 두고 각각의 간이상수도시설은 주민

자치제로 운영하는 것이 합리적이라 판단된다.

### <오폐수처리분야>

우리나라 농어촌지역의 마을오폐수 발생특성 및 처리시설 현황과 실태를 조사분석하고, 마을오폐수처리시설의 구비조건과 처리시설사업관련 제도 및 법규를 검토하여 보다 체계적이고 효율적인 마을오폐수처리시설정비방안을 제시하며, 소규모 분산마을의 오폐수처리에 적용성이 클것으로 판단되는 토양피복형 접촉산화공법을 대상으로 처리효율과 경제성 및 유지관리성 등을 개선하기 위한 실험연구를 수행하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 연구대상지역의 마을 오폐수 발생특성을 실측조사한 결과, 생활오폐수 발생량은 165 l/인/일 이었으며, 식사시간을 중심으로 한 특정시간대에 발생량이 집중되는 현상을 보였다. 오폐수의 평균BOD농도는 200 mg/l 전후로서 비교적 높게 나타났는데, 이는 처리효율이 낮은 수세식 화장실 정화조의 영향이라고 추정된다. 한편 오폐수처리에 관한 설문조사 결과 주민의 87%가 마을오폐수처리시설이 필요하다고 답하였으며, 그 이유로서는 악취발생, 위생문제, 수질오염 등을 들었다.

2. 마을오폐수시설 샘플지구에 대한 조사결과 정상적으로 운영되지 못하고 있는 시설이 다수 있었는데, 모관침윤트렌치시설은 7개소중 2개소, 접촉산화공법은 13개소중 2개소, 모관유공트렌치의 경우는 7개소중 1개소의 시설이 정상적으로 운영되지 못하고 있었다. 정상적으로 가동되고 있는 시설에서 배출되는 방류수의 BOD는 모관유공트렌치가 26.2 mg/l 인 것을 제외하면 나

머지는 모두 10 mg/ℓ 이하였다. BOD제거효율은 모관유공트렌치가 평균 65.3%로서 가장 낮았으며, 나머지는 71.4~ 85.7 %로서 비교적 높은 처리효율을 보였다.

3. 현행 농어촌 마을오폐수처리시설사업은 종합적인 정비기본계획없이 소규모 마을단위로 사업이 시행되고 있어 보다 체계적이고 효율적인 사업추진이 요망되고 있다. 이를 위해서는 농어촌지역 소수계구역 (예: 농어촌용수구역)의 수질관리를 고려한 면단위규모의 농어촌오폐수시설 종합정비 기본계획이 우선적으로 수립되는것이 필요하며, 이러한 기본계획에 의거 마을단위 오폐수처리시설사업이 년차적으로 시행되도록 하여야 할 것이다. 또한 현재 농림부, 내무부 및 환경부 등에서 분산시행하고 있는 마을오폐수처리시설사업의 시행부서간 합리적인 업무조정과 역할분담이 요망된다.

4. 기존의 토양피복형 접촉산화공법에서 접촉여재로 많이 사용되는 쇠석여재의 문제점을 개선하기위하여 LP(Lock media + Plastic media)혼합여재를 넣은 유공상자, 즉 상자형 LP혼합여재를 개발하고 이에 대한 처리효율 검증실험을 실시한 결과, BOD는 87%, SS는 94%의 양호한 처리효율을 나타냈다. 따라서 현재 일반적으로 사용되고 있는 쇠석여재를 상자형 LP혼합여재로 대체하는 것이 처리효율면이나 시공 및 유지관리면에서 보다 효과적일 것으로 판단된다.

5. 일부처리장에서 방류수 처리수준 향상을 목적으로 접촉산화공정의 최종 침전조 후단에 설치하고 있는 토양식필터에 대하여, 그 처리효율을 증진시키기 위하여 필터재의 보완과 오수 접촉단면의 확대, 상부 피복토양의 혼입방



지 등에 개선의 주안점을 두고 실험을 통하여 처리효율증진을 검증하였다.

또한 현재 토양식 오수처리시설의 피복토양혼합재로서 사용되고 있는 Z균 콤포스트를 가격이 저렴한 축분콤포스트로 대체하기위하여 Z균 콤포스트혼합토와 축분콤포스트혼합토의 물리성 특성과 미생물 성장성을 비교분석하여 대체가능성을 확인하였다.

## V. 활용에 관한 건의

-농어촌 문화마을 계획 시, 농촌 간이상수도 시설계획 시 활용

-농어촌지역 소규모 분산마을의 오폐수처리시설 설계에 적용토록 권장

(1단계: 시범지구적용, 2단계: 적용지구 확대)

-농어촌지역의 오폐수처리사업관련 기술자료 및 정책자료로 활용

# 여 백

## SUMMARY

### ► Rural Water Supply Part

The distribution rate of water supply in rural areas is lower than that in urban areas. The water supply quality in rural areas is inadequate to drink due to unsatisfactory water treatment facilities and management practices.

The objectives of this study are as following : (1) to treat the essence of the problems about water supply in rural areas, such as amount of water supplied, water quality, management of the facilities, (2) to suggest water treatment process suitable for the current rural conditions and (3) to develop the expert system for aiding to determine drinking-water treatment and management strategies of water supply in rural areas.

#### **1. To treat the essence of the problems about water supply in rural areas**

The major results of this study are as follows.

1) The amount of water supplied in study areas is 294 ℓ pcd, and the water supply system is either simple water supply piped system or family water supply system.

2) Ninety percent of total water sources are seriously contaminated with

coliform and bacteria.

3) The difference in water quality between source and tap water is analysed by Cluster Analysis. It is found that the quality of the tap water is deteriorated by pollutants through the broken parts of water supply pipes. Hence, the water treatment facilities such as filter and disinfectant are needed to improve the tap water quality adequate to drink water.

4) The management of simple water supply piped system is designated to the local government by law from 1995. However, the operational practices are not yet established.

## **2. Bench- pilot scale experiment**

The following five conclusions were resulted in based on the results of bench scale experiment.

1) The selection of contaminants should be done by first examining the problematic contaminants at raw water in study area and literature survey, second considering emerging trace organic compounds and verity. The target contaminants in the study were selected by considering the examination of water quality, literature survey, various reports. Over all 8 parameters- $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{NH}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ , Turbidity, Coliform, Bacteria, Hardness and, humic acid- were selected for treatment.

2) The treatment efficiencies about 6 parameter - Consumed  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{NH}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ , Turbidity, Coliform, Bacteria - were more increased in filters with additional chlorination than in the vertical slow sand filters. Adding chlorination in the vertical slow sand filters, the filtrate were satisfied the Korea Drinking Water Quality Standard

3) Adding chlorination in the vertical slow sand filters, the order of treatment efficiency to the depth of sand layer was 80cm, 60cm, 45cm. Accordingly, the depth of sand layer must keep at least more than 60cm in small water supply system.

4) The treatment efficiencies of hardness and nitrate nitrogen, humic acid by nanofiltration membrane system were 78% - 89%, 65% - 67%, 60% - 80% while slow sand filtration achieved low removals. But this membrane system was based on results for 2months, including test-run period, and requires accumulation of more data. pHs of permeate in nanofiltration membrane system, which has high rejection rates of hardness, is low to 6.3 - 7.1.

5) The treatment efficiencies of Coliform, Bacteria by chlorination using chlorine residual on-line dosing system were 99% - 100%

### **3. Development of expert system.**

The objective of this study is to develop the expert system for aiding to

determine drinking-water treatment and management strategies of small water supply system. The results of this study are summarized as follows.

1) Developed systems are composed of 4 modules; Calculation system of planned water quantity, determination of water treatment methods in accordance with drinking-water quality, system of causes and countermeasures for electric accidents and pump disorders, and management system for safe water quality are made.

2) Water quality criteria, such as, E.coli, heterotrophs, turbidity, and nitrate are used to make decision trees for knowledge base to determine water treatment methods.

3) Graphic user interface is developed with Microsoft Visual Basic program.

4) Knowledge Base modules are expressed with smart elements by using Production Rule and developed prototype system is operated successfully. So, this system will help many field workers and will be good advisor to non-experts so as to operate lots of small water supply systems efficiently.

5) This expert system will perform the accurate inference, as if modify rules in the Knowledge Base and develop why and how functions to give confidence to users.

## ► Rural Wastewater Treatment Part

In this study, wastewater effluent characteristics and wastewater treatment facilities status were surveyed in the rural settlement area, and more efficient and systematical project proceeding method for rural village wastewater treatment were examined and suggested. To improve the small village wastewater treatment technology, was performed experimental study on the Contact Oxidation System with Topped Soil(COSTS) which has been thought one of the good systems for small village wastewater treatment in rural area. For the experiment, a bench scale model and a pilot system were designed and installed. The result of the study can be summarized as followings.

1. According to the survey on village wastewater effluent characteristics, the average quantity of home wastewater is 165  $\ell$ /c.d and the average quality indicates 157~242  $\text{mg}/\ell$  of BOD, 25 ~32  $\text{mg}/\ell$  of T-N and 3.5~5.9  $\text{mg}/\ell$  of T-P. The wastewater Questionnaire survey shows that 87% of residents in the villages want the construction of village wastewater treatment facilities, and the main reasons for that are bad smell, sanitary problems and water pollution.

2. To examine the situation of existing treatment facilities in rural villages, were observed 34 treatment facilities. Among them observed, 5 facilities are not being operated normally. The pollutant removal efficiency of

BOD in normal treatment facilities ranges 65.3~85.7 %.

3. It is required that the village wastewater treatment project are performed more systematically because the existing projects have been performed on unit scale of one small village without any master plan. Therefore it is needed to establish the comprehensive master plan of rural wastewater treatment project in the scale of Myon(subdistrict of county) before the execution of unit project in a small village.

4. In order to replacing the existing contact media of broken stone in the aeration reactor of COSTS with more effective and useful media, LP mixed media with container (porous plastic box) was designed and tested. According to the result of the experimental test, it is concluded that the LP mixed media with container can be a good substitute for existing media of broken stone.

5. Existing soil filter system was improved through the experimental study. The main points of the improvement were concentrated on the increase of filtering efficiency and the composition of filtering materials. Also potentiality of replacing commercial microbe additive(Z-compost) with animal waste compost was examined and proved to be as good as the Z-compost



# CONTENTS

Chapter 1. Introduction .....	31
1.1 Background and Needs .....	33
1.2 Objectives .....	34
1.3 Scope and Method .....	35
Chapter 2. Rural Water Supply Part .....	37
2.1 Prolegomena .....	39
2.2 Background and Method .....	40
2.3 Investigation in the Study Areas .....	40
2.4 Detailed Contents .....	41
1. The Status of Rural Water Supply .....	41
2. The Status of Water Quality in Rural Areas .....	48
3. The Analysis of Water Pollution Sources in Rural Areas .....	53
4. The Status of Water Treatment in Rural Areas .....	78
5. The Bench Pilot Experiment of Water Treatment in Rural Areas .....	80
6. The Standardization of Simple Water Supply Piped System .....	116
7. The Management of Simple Water Supply Piped System .....	117
8. The Expert System Development of Simple Water Supply Piped System Management .....	121
2.5 Result and Conclusions .....	179

Chapter 3. Rural Wastewater Treatment Part .....	185
3.1 Introduction .....	187
3.2 Survey of Wastewater Effluent Characteristics and Wastewater Treatment Facilities in Rural Village .....	188
1. Village People Questionnaire Survey .....	188
2. Wastewater Effluent Characteristics in Rural Village .....	191
3. Survey of Village Wastewater Treatment Facilities .....	198
3.3 Equipments Required for Treatment Facilities and Efficient Project Proceeding Method for Village Wastewater Treatment .....	211
1. Status of Rural Village Wastewater Management .....	211
2. Equipments Required for Treatment Facilities and Improvement Directions of Related Technology .....	213
3. Efficient Project Proceeding Method for Village Wastewater Treatment .....	218
3.4 Experimental Study for Improvement of Contact Oxidation System with Topped Soil(COSTS) .....	222
1. Examination of Present COSTS and Improvement Direction .....	222
2. Experimental Design and Method .....	225
3. Result and Discussion of Experiment .....	250
3.5 Summary of Result .....	295
 Chapter 4. Conclusion .....	 299
 Reference .....	 305
Appendices .....	313

# 목 차

제 1장 서론 .....	31
제1절 연구배경 .....	33
제2절 연구개발 목적 및 중요성 .....	34
제3절 연구개발 내용 및 범위 .....	35
제2장 상수보존분야 .....	37
제1절 서설 .....	39
제2절 연구방법 및 배경 .....	40
제3절 연구대상지구 .....	40
제4절 연구내용 .....	41
1. 상수이용현황 .....	41
2. 수질현황 .....	48
3. 오염원인 분석 .....	53
4. 정수처리현황 .....	78
5. 정수처리 모형실험 .....	80
6. 간이상수도 시설표준화 .....	116
7. 간이상수도 관리 .....	117
8. 간이상수도를 위한 전문가시스템 개발 .....	121
제5절 요약 및 고찰 .....	179

제3장 오폐수처리분야 .....	185
제1절 서설 .....	187
제2절 농어촌 마을오폐수 발생특성 및 처리시설 현황조사 .....	188
1. 주민설문조사 .....	188
2. 농어촌 마을오폐수 발생특성 .....	191
3. 마을오폐수처리시설 현황조사 .....	198
제3절 농어촌 마을오폐수 처리시설의 효율적 정비방안 .....	211
1. 농어촌지역 오폐수 관리실태 .....	211
2. 마을오폐수처리시설의 구비조건과 처리기술의 발전방향 .....	213
3. 마을오폐수처리시설의 효율적 정비방안 .....	218
제4절 토양피복형 접촉산화공법의 개선을 위한 실험적 연구 .....	222
1. 현행 토양피복형 접촉산화공법의 문제점 및 개선방향 .....	222
2. 토양피복형 접촉산화공법개선 모형실험의 실험설계 및 방법 .....	225
3. 토양피복형 접촉산화공법개선 모형실험의 결과 및 고찰 .....	250
제5절 결과요약 .....	295
제4장 결론 .....	299
참고 문헌 .....	305
부    록 .....	313

# 표 목 차

## <상수보존분야>

표 2-1	연구대상지 일반현황 .....	41
표 2-1-1	연구대상지구의 이용수원, 급수체계, 급수시설, 이용형태, 급수량 .....	42
표 2-1-2	간이상수도의 시설종류별 급수체계 .....	43
표 2-1-3	연구대상지구의 상수사용량 .....	45
표 2-1-4	계절별 급수량 부족시기 및 대체수원에 대한 설문조사 .....	45
표 2-2-1	간이상수도 상수원의 수질성적표 .....	50
표 2-2-2	간이상수도 수도전의 수질성적표 .....	52
표 2-2-3	자가수도의 수도전 수질성적표 .....	52
표 2-3-1	지하수의 고유치와 누적기여율(풍수기) .....	63
표 2-3-2	지하수의 회전요인행렬(풍수기) .....	64
표 2-3-3	지표수의 고유치와 누적기여율(풍수기) .....	69
표 2-3-4	지표수의 회전요인행렬(풍수기) .....	69
표 2-3-5	지하수의 고유치와 누적기여율(저수기) .....	71
표 2-3-6	지하수의 회전요인행렬(저수기) .....	72
표 2-3-7	지표수의 고유치와 누적기여율(저수기) .....	75
표 2-3-8	지표수의 회전요인 행렬(저수기) .....	75
표 2-4-1	연구대상지구의 정수처리공정 및 처리현황 .....	79
표 2-5-1	상수원 및 수도전 수질조사항목 .....	80
표 2-5-2	간이상수도 수질기준 초과 개소수 및 초과항목(환경부 조사결과) .....	81
표 2-5-3	세부기준 초과항목 .....	82
표 2-5-4	처리대상물질 선정기준 .....	82
표 2-5-5	막분리 공정별 특성비교 .....	87
표 2-5-6	수원의 종류별 염소접촉시간 .....	90
표 2-5-7	각 단위공정의 제거특성 .....	91

표 2-5-8	소규모 처리시설별 기술수준 비교 .....	92
표 2-5-9	원수수질에 따른 전형적인 상수처리방법 .....	93
표 2-5-10	완속모래여과를 중심으로 한 공정 .....	94
표 2-5-11	원수 수질분석 결과 .....	98
표 2-5-12	나노여과막의 제원 .....	100
표 2-5-13	여과모래층 깊이에 따른 처리분석 결과 .....	102
표 2-5-14	여과와 소독을 병행한 처리수 분석결과 .....	109
표 2-5-15	각종 NF막을 이용한 부식질, THM전구물질의 분리 .....	113
표 2-6-1	간이상수도의 취수시설, 정수시설, 배수시설 설치기준 .....	116
표 2-7-1	간이상수도 시설관리규정 .....	120
표 2-8-1	인간전문가(Human Expert)와 전문가 시스템의 비교 .....	123
표 2-8-2	계획급수량 산정시 가산기준 .....	136
표 2-8-3	수질기준초과 간이상수도 현황 .....	137
표 2-8-4	간이상수도 수질기준 초과 세부항목 .....	138
표 2-8-5	정수방법의 선정 기준 .....	143
표 2-8-6	전기시설의 이상현상, 원인 및 대처방안 .....	145
표 2-8-7	펌프의 이상현상, 원인 및 대처방안 .....	146
표 2-8-8	인체에 미치는 오염물질의 영향 .....	148
표 2-8-9	안전한 물 공급과 수질오염 방지를 위한 관리대책 .....	149

**<오폐수처리분야>**

표 3-2-2-1	분석 항목 및 분석방법 .....	192
표 3-2-2-2	개별농가의 가정하수 발생량 특성 .....	193
표 3-2-2-3	개별농가의 가정하수 수질 특성 .....	196
표 3-2-2-4	개별농가의 가정하수의 원단위 오염부하량 .....	197
표 3-2-2-5	혼합하수 발생량 및 BOD오염부하량 .....	198

표 3-2-3-1	농어촌지역 오폐수처리시설 보급 현황(내무부주관) .....	199
표 3-2-3-2	소규모 마을 오폐수 처리시설 처리효율 조사 시설수 .....	200
표 3-2-3-3	분석 항목 및 분석방법 .....	201
표 3-2-3-4	각 공법에 따른 소규모 오폐수처리시설의 BOD제거효율 .....	201
표 3-2-3-5	각 공법에 따른 소규모오폐수처리시설의 T-N, T-P 및 SS 제거효율 .....	210
표 3-4-1-1	토양피복형 접촉산화공법의 문제점 및 개선방안 .....	224
표 3-4-2-1	여재선정을 위한 실험설계 .....	225
표 3-4-2-2	kureharon lock의 물리적 특성 .....	226
표 3-4-2-3	현장실험의 실험설계 .....	228
표 3-4-2-4	실험대상 오수의 수질분석 .....	245
표 3-4-2-5	현장 접촉산화조 예비실험 결과 .....	248
표 3-4-2-6	시료분석항목 및 실험방법 .....	249
표 3-4-3-1	실험 1의 오염부하량변화 및 제거율 .....	251
표 3-4-3-2	실험 2의 오염부하량변화 및 제거율 .....	252
표 3-4-3-3	실험 3의 오염부하량 변화 및 제거율 .....	254
표 3-4-3-4	실험 4의 오염부하량변화 및 제거율 .....	255
표 3-4-3-5	실험 5의 오염부하량변화 및 제거율 .....	257
표 3-4-3-6	실험 6의 오염부하량 변화 및 제거율 .....	258
표 3-4-3-7	실험 7의 오염부하량 변화 및 제거율 .....	259
표 3-4-3-8	실험 8의 오염물질의 변화 및 제거율 .....	261
표 3-4-3-9	상자형 여재충진의 경우 유입수, 처리수의 BOD <sub>5</sub> 변화량 및 제거율 .....	262
표 3-4-3-10	상자형 여재충진의 경우 유입수, 처리수의 COD <sub>Cr</sub> 변화량 및 제거율 .....	263
표 3-4-3-11	상자형 여재충진의 경우 유입수, 처리수의 SS변화량 및 제거율 .....	265
표 3-4-3-12	여재충진방법의 차이에 따른 BOD <sub>5</sub> 변화 .....	266
표 3-4-3-13	여재충진방법의 차이에 따른 COD <sub>Cr</sub> 변화 .....	268
표 3-4-3-14	여재충진방법의 차이에 따른 SS 변화 .....	269
표 3-4-3-15	접촉산화조 및 토양필터에 의한 처리수의 BOD <sub>5</sub> 변화 .....	271

표 3-4-3-16	접촉산화조 및 토양필터에 의한 처리수의 CODcr 변화 .....	272
표 3-4-3-17	접촉산화조 및 토양필터에 의한 처리수의 SS변화 .....	273
표 3-4-3-18	접촉산화조 및 토양필터에 의한 처리수의 T-N변화 .....	274
표 3-4-3-19	접촉산화조 및 토양필터에 의한 처리수의 T-P변화 .....	276
표 3-4-3-20	Z균-Compost 와 축분-Compost의 물리적 특성 .....	277
표 3-4-3-21	Z균-Compost와 축분-Compost의 경시별 미생물상 변화 .....	278
표 3-4-3-22	축분-Compost 및 축분-Compost · 왕겨 혼합토양 물리적 특성 .....	279
표 3-4-3-23	Z균-Compost를 혼합피복한 토양필터에 의한 오염물질의 변화 및 제거효율 .....	280
표 3-4-3-24	축분-Compost를 혼합피복한 토양필터에 의한 오염부하량의 변화 및 제거율 .....	281
표 3-4-3-25	접촉산화조의 처리수 BOD5변화 및 제거율 .....	282
표 3-4-3-26	접촉산화조의 처리수 SS 변화 및 제거율 .....	284
표 3-4-3-27	접촉산화조 및 토양필터의 유입수, 처리수 BOD5변화 및 제거율 .....	286
표 3-4-3-28	접촉산화조 및 토양필터의 유입수, 처리수 CODcr변화 및 제거율 .....	288
표 3-4-3-29	접촉산화조 및 토양필터의 유입수, 처리수 SS 변화 및 제거율 .....	289
표 3-4-3-30	접촉산화조 및 토양필터의 유입수, 처리수 T-N 변화 및 제거율 .....	290
표 3-4-3-31	접촉산화조 및 토양필터의 유입수, 처리수 T-P 변화 및 제거율 .....	291
표 3-4-3-32	토양필터의 유입수, 처리수 오염물질 변화 및 제거효율 .....	293



## 그림 목 차

### <상수보존 분야>

그림 2-1-1	연구대상지역의 간이상수도시설 설치경과년수 .....	44
그림 2-1-2	연구대상지역의 월별 상수사용량 변화 .....	47
그림 2-1-3	연구대상지구의 시간별 상수사용량 변화 .....	47
그림 2-2-1	간이상수도 상수원의 수질검사항목별 먹는물기준 부적합률 .....	48
그림 2-2-2	수도전 수질의 먹는물기준 부적합률 .....	51
그림 2-3-1	균집분석결과(풍수기) .....	59
그림 2-3-2	균집분석결과(저수기) .....	61
그림 2-3-3	요인1과 요인2의 회전후 요인적재량(지하수, 풍수기) .....	65
그림 2-3-4	요인1과 요인3의 회전후 요인적재량(지하수, 풍수기) .....	65
그림 2-3-5	요인1과 요인4의 회전후 요인적재량(지하수, 풍수기) .....	66
그림 2-3-6	요인2와 요인3의 회전후 요인적재량(지하수, 풍수기) .....	66
그림 2-3-7	요인2와 요인4의 회전후 요인적재량(지하수, 풍수기) .....	67
그림 2-3-8	요인3과 요인4의 회전후 요인적재량(지하수, 풍수기) .....	67
그림 2-3-9	요인1과 요인2의 회전후 요인적재량(지표수, 풍수기) .....	70
그림 2-3-10	요인1과 요인3의 회전후 요인적재량(지하수, 저수기) .....	72
그림 2-3-11	요인1과 요인4의 회전후 요인적재량(지하수, 저수기) .....	73
그림 2-3-12	요인2와 요인3의 회전후 요인적재량(지하수, 저수기) .....	73
그림 2-3-13	요인1과 요인2의 회전후 요인적재량(지표수, 저수기) .....	76
그림 2-3-14	요인1과 요인3의 회전후 요인적재량(지표수, 저수기) .....	76
그림 2-3-15	요인2와 요인3의 회전후 요인적재량(지표수, 저수기) .....	77
그림 2-5-1	정수처리 실험 장치도 .....	
그림 2-5-2	여과지 모래층 깊이에 따른 처리효율 비교 .....	103
그림 2-5-3	나노여과막의 시간변화에 따른 투과속도 .....	104
그림 2-5-4	나노여과막의 압력변화에 대한 투과속도 .....	105

그림 2-5-5	나노여과막의 처리효율 .....	106
그림 2-5-6	처리수의 pH변화 .....	107
그림 2-5-7	여과지에 소독장치가 추가되었을 때 처리효율 .....	110
그림 2-8-1	Knowledge-Based Expert System의 구조 .....	124
그림 2-8-2	Binary Tree .....	130
그림 2-8-3	Depth-first search .....	133
그림 2-8-4	Breadth-First Search .....	133
그림 2-8-5	전문가 시스템 개발 모듈 .....	134
그림 2-8-6	간이상수도 표준모델 .....	139
그림 2-8-7	Decision Tree 예 (1) .....	150
그림 2-8-8	Decision Tree 예 (2) .....	151
그림 2-8-9	Decision Tree 예 (3) .....	152
그림 2-8-10	Decision Tree 예 (4) .....	153
그림 2-8-11	Object Network Diagram .....	156
그림 2-8-12	Rule Editor Window .....	157
그림 2-8-13	Rule Editor의 Write to 기능 .....	158
그림 2-8-14	Dynamic Rule Network Investigation의 전체화면 .....	158
그림 2-8-15	Dynamic Rule Network Investigation 일부 화면 .....	159
그림 2-8-16	Network View Line .....	159
그림 2-8-17	Smart Element의 Production Rule 예 .....	160
그림 2-8-18	User Interface 예 .....	161
그림 2-8-19	User Interface 예 .....	161
그림 2-8-20	User Interface 예 .....	162
그림 2-8-21	통합된 전문가 시스템 구조 .....	163
그림 2-8-22	기본적인 API의 구조 .....	163
그림 2-8-23	전문가 시스템 초기 화면 .....	164
그림 2-8-24	전문가 시스템의 도움말 기능 .....	165

그림 2-8-25 전문가 시스템의 도움말 기능 예 .....	165
그림 2-8-26 급수량 산정 전문가 시스템 테스트 (1) .....	166
그림 2-8-27 급수량 산정 전문가 시스템 테스트 (2) .....	167
그림 2-8-28 급수량 산정 전문가 시스템 테스트 (3) .....	167
그림 2-8-29 정수처리기법 선정 전문가 시스템 예 (1) .....	168
그림 2-8-30 정수처리기법 선정 전문가 시스템 (2) .....	169
그림 2-8-31 펌프관리 전문가 시스템 (1) .....	170
그림 2-8-32 펌프관리 전문가 시스템 (2) .....	171
그림 2-8-33 전기시설 전문가 시스템 (1) .....	172
그림 2-8-34 전기시설 전문가 시스템 (2) .....	173
그림 2-8-35 수원오염방지 전문가 시스템 (1) .....	174
그림 2-8-36 수원오염방지 전문가 시스템 (2) .....	175
그림 2-8-37 수질오염대처방안 전문가 시스템 (1) .....	176
그림 2-8-38 수질오염대처방안 전문가 시스템 (2) .....	177

**<오폐수처리분야>**

그림 3-2-1-1 연구 대상지의 부엌 형태에 대한 설문조사 결과 .....	188
그림 3-2-1-2 연구 대상지의 화장실 형태에 대한 설문조사 결과 .....	189
그림 3-2-1-3 연구 대상지의 세탁 방법에 대한 설문조사 결과 .....	189
그림 3-2-1-4 연구 대상지의 세탁용 세제 사용에 대한 설문조사 결과 .....	189
그림 3-2-1-5 가정하수처리시설의 필요성에 대한 설문조사 결과 .....	190
그림 3-2-1-6 가정하수처리가 필요한 이유에 대한 설문조사 결과 .....	190
그림 3-2-1-7 하수처리시설 운영시 예상되는 문제점에 대한 설문조사 결과 .....	191
그림 3-2-1-8 하수처리시설 운영시 참여의지에 대한 설문조사 결과 .....	191
그림 3-2-2-1 시간에 따른 도고지구의 가정하수 발생량 변화 .....	194
그림 3-2-2-2 시간에 따른 도고지구의 BOD 변화 .....	195

그림 3-2-2-3	시간에 따른 도고지구의 T-N 변화 .....	195
그림 3-2-2-4	시간에 따른 도고지구의 T-P 변화 .....	196
그림 3-2-3-1	접촉산화법 처리흐름도 .....	203
그림 3-2-3-2	접촉산화법에 의한 처리시설 전경(홍천군 동면 속초리 덕고개) .....	202
그림 3-2-3-3	토양피복형접촉산화공법의 처리흐름도 .....	203
그림 3-2-3-4	토양피복형접촉산화법 처리시설 전경(횡성군 우천면 우항리) .....	204
그림 3-2-3-5	모관침윤트렌치공법의 처리 흐름도 .....	205
그림 3-2-3-6	모관침윤트렌치공법 처리시설 전경(춘천시 신북읍 발산리 바미리) ....	205
그림 3-2-3-7	모관유공트렌치공법 처리흐름도 .....	206
그림 3-2-3-8	모관유공트렌치공법 시설 전경(춘천시 동내면 거두리 방아골) .....	207
그림 3-2-3-9	고효율오수정화공법의 처리흐름도 .....	208
그림 3-2-3-10	고효율오수정화공법 시설 전경(김포군 월곶면 포내2리 박골) .....	208
그림 3-2-3-11	장기폭기법의 처리흐름도 .....	209
그림 3-4-2-1	모형실험장치의 공정흐름도(lab scale) .....	230
그림 3-4-2-2	여재충진반응조의 단면도(lab scale) .....	230
그림 3-4-2-3	모형 접촉산화시스템 실상도(lab scale) .....	231
그림 3-4-2-4	상자형 kureharon lock 여재충진 실상도 (lab scale) .....	231
그림 3-4-2-5	침적형 kureharon lock 여재충진 실상도(lab scale) .....	232
그림 3-4-2-6	모형 토양필터 단면도(lab scale) .....	233
그림 3-4-2-7	모형 토양필터 실상도(lab scale) .....	233
그림 3-4-2-8	Z균-Compost 대체물질 실험장치 단면도(lab scale) .....	234
그림 3-4-2-9	Z균-Compost 대체물질 실험장치 실상도(lab scale) .....	235
그림 3-4-2-10	접촉산화처리시스템의 공정흐름도(field scale) .....	237
그림 3-4-2-11	상자형 LP혼합여재충진 단면도(field scale) .....	237
그림 3-4-2-12	상자형 LP혼합여재충진 실상도(field scale) .....	238
그림 3-4-2-13	토양피복전(상)과 후(하)의 접촉산화시스템(field scale) .....	239
그림 3-4-2-14	시공중인 토양필터시스템(field scale) .....	240

그림 3-4-2-15 토양필터의 유공 오수분배관 실상도(field scale) .....	241
그림 3-4-2-16 토양필터 설계 단면도(field scale) .....	241
그림 3-4-2-17 1차 개선 토양필터의 여재충진 단면도(field scale) .....	242
그림 3-4-2-18 2차 개선 토양필터 여재충진 단면도(field scale) .....	242
그림 3-4-2-19 시료채취 하수토구(서호천) .....	246
그림 3-4-2-20 시료채취 대상 돈슬러리 저류조 .....	247
그림 3-4-3-1 실험 1의 경시별 오염물질 제거율 .....	251
그림 3-4-3-2 실험 2의 경시별 오염물질 제거율 .....	253
그림 3-4-3-3 실험 3의 경시별 오염물질 제거율 .....	254
그림 3-4-3-4 실험 4의 오염부하량 제거율 .....	255
그림 3-4-3-5 실험 5의 경시별 오염물질 제거율 .....	257
그림 3-4-3-6 실험 6의 경시별 오염물질 제거율 .....	258
그림 3-4-3-7 실험 7의 경시별 오염물질의 제거율 .....	260
그림 3-4-3-8 실험 8의 경시별 오염물질 제거율 .....	261
그림 3-4-3-9 상자형 여재충진의 경우 유입수, 처리수의 BOD <sub>5</sub> 변화량 및 제거율 ...	263
그림 3-4-3-10 상자형 여재충진의 경우 유입수, 처리수의 COD <sub>Cr</sub> 변화량 및 제거율 ...	264
그림 3-4-3-11 상자형 여재충진의 경우 유입수, 처리수의 SS변화 및 제거율 .....	265
그림 3-4-3-12 여재충진방법의 차이에 따른 BOD <sub>5</sub> 변화 .....	267
그림 3-4-3-13 여재충진방법의 차이에 따른 COD <sub>Cr</sub> 변화 .....	268
그림 3-4-3-14 여재충진방법의 차이에 따른 SS의 제거율 .....	270
그림 3-4-3-15 접촉산화조 및 토양필터에 의한 BOD <sub>5</sub> 농도의 제거율 .....	271
그림 3-4-3-16 접촉산화조 및 토양필터에 의한 COD <sub>Cr</sub> 농도의 제거율 .....	272
그림 3-4-3-17 접촉산화조 및 토양필터에 의한 SS농도의 제거율 .....	273
그림 3-4-3-18 접촉산화조 및 토양필터에 의한 T-N농도의 제거율 .....	275
그림 3-4-3-19 접촉산화조 및 토양필터에 의한 T-P농도의 제거율 .....	276
그림 3-4-3-20 Z균 Compost를 혼합피복한 토양필터에 의한 오염물질의 변화 및 제거효율 .....	280

그림 3-4-3-21 Z균 Compost를 혼합피복한 토양필터에 의한 오염물질의 변화 및 제거효율 .....	281
그림 3-4-3-22 경시별 접촉산화조의 처리수 BOD <sub>5</sub> 제거율 .....	283
그림 3-4-3-23 경시별 접촉산화조의 처리수 SS 제거율 .....	284
그림 3-4-3-24 접촉산화조 및 토양필터의 유입수, 처리수 BOD <sub>5</sub> 제거율 .....	286
그림 3-4-3-25 접촉산화조 및 토양필터의 유입수, 처리수 COD <sub>Cr</sub> 제거율 .....	288
그림 3-4-3-26 접촉산화조 및 토양필터의 유입수, 처리수의 SS제거율 .....	289
그림 3-4-3-27 접촉산화조 및 토양필터의 유입수, 처리수 T-N제거율 .....	291
그림 3-4-3-28 접촉산화조 및 토양필터의 유입수, 처리수 T-P제거율 .....	292
그림 3-4-3-29 토양필터의 유입수, 처리수 오염물질 변화 및 제거효율 .....	294

# 제 1장 서 론

---

제1절 연구배경

제2절 연구개발의 목적 및 중요성

제3절 연구개발 내용 및 범위

여 백



# 제1장 서론

## 제1절 연구배경

우리나라는 급속한 산업발달 및 도시화에 따라 대기오염, 수질오염, 토양오염 등의 환경오염을 초래하게 되었다. 또한 식량증산 및 속성재배를 위한 비료 및 농약의 사용량의 증가는 농업환경오염과 농산물 오염의 원인이 되며, 식생활 변화에 따른 육류 소비량의 증가로 축산을 장려하게 됨으로써 발생하는 축산폐기물은 수질오염을 초래하게 되었으며, 생활수준의 향상에 따른 농촌 생활하수 및 쓰레기 증가, 자동차 증가로 인한 매연 및 소음 등 농어촌 생활공간의 질은 악화되고 있다.

농어민의 상수공급은 지표수 및 천층 지하수를 수원으로 하는 간이급수시설 또는 개별급수시설로 이루어져 있으며 이들 시설에 대한 수질보전, 관리체계 및 보건·위생적인 고려는 등한시되고 있다. 특히 오염물질의 다양화에 따른 특정유해물질에 대한 법적, 제도적 안전 장치가 없는 현실이다.

농어촌의 마을오폐수처리 및 분뇨처리시설에 대한 투자는 거의 없는 실정이며 상수원 보호구역을 중심으로 일부 소규모 간이오수정화처리시설이 설치 운영되고 있으나 전문기술인력 부족에 따른 운영효율이 많이 떨어지고 있으며 시설의 잦은 고장으로 인하여 처리시설의 정상운영이 어려운 현실이다. 이들 처리시설들은 대부분 도시지역에서 사용되고 있는 오수처리시설을 소규모로 축소하여 설치되는 것으로서, 농어촌 특성을 감안하지 않은 오폐수 처리방법이다.

이러한 실정을 감안하여 농어촌의 상수수질 보존과 오폐수의 처리에 관한

연구는 시의 적절하며, 연구결과의 실용화는 농어촌 생활용수개발사업 및 생활환경개선사업에 적극 활용하고자하며, 연구의 파급효과는 농어민의 삶의 질 향상에 지대한 영향을 미칠 것으로 기대된다.

## 제2절 연구개발의 목적 및 중요성

### < 상수보존 분야 >

농어촌지역의 상수공급은 지표수 및 천층 지하수를 수원으로 간이상수도 또는 개별급수시설(자가수도)에 의해 급수되고 있으나 급수시설의 관리소홀 및 처리시설의 미비로 인하여 농어민에게 공급되는 상수의 수질은 점차 악화되고 있다. 간이급수시설 중 일부지역에서만 염소소독장치를 설치하여 물을 처리하고 있으며, 대부분의 시설에서는 단지 수원에서 물을 취수하여 처리하지 않고 원수를 노후화 된 급수관을 통하여 비위생적으로 공급하고 있는 실정이다. 상수이용현황, 오염원인분석, 정수처리모형실험 및 관리체계 합리화를 위한 전문가시스템 등을 개발함으로써 농어촌 상수의 안전한 공급을 도모하고자한다.

### < 오폐수처리 분야 >

농어촌지역의 마을오폐수 발생특성 및 처리시설의 현황과 실태를 조사하고, 마을오폐수 처리시설의 구비조건과 처리시설사업 관련제도 및 법규 검토를 통하여 체계적이고 효율적인 오폐수처리시설 정비방안을 제시하고, 소규모 분산 마을오수처리에 적용성이 클 것으로 판단되는 토양피복형 접촉산화공법

에 관한 실험연구를 수행하여 처리공법을 개선함으로써, 농어촌의 열악한 생활환경을 개선하고 수질오염을 방지하고자 한다.

### 제3절 연구개발 내용 및 범위

#### < 상수보존 분야 >

- 상수이용현황 및 오염원인 분석

- 간이 상수이용현황 및 수질 현황조사 분석

- 정수처리 모형 실험

- 국내외 기술자료에 의한 소규모 정수처리시설별 특성분석
- 선정된 공정에 대한 실험실 규모의 모형 제작 및 실험
- 실험을 통한 정수처리공정의 제거능 분석 및 적용성 검토

- 전문가 시스템 개발

- 간이상수도 설치계획시 급수량 산정 및 정수처리시설 결정을 위한 전문가 시스템
- 펌프 및 관로 등의 시설운영을 위한 전문가 시스템
- 안전한 상수공급을 위한 관리대책 전문가 시스템

#### < 오폐수처리 분야>

- 농어촌 마을오폐수 발생특성 및 처리시설현황조사

- 농민의 수질환경 인식도 설문조사

-마을오폐수 발생특성 조사 분석

-마을오폐수 처리시설 현황과악

■ 농어촌 마을오폐수처리시설의 구비조건 및 정비방안 모색

-마을 오폐수처리시설의 구비조건과 처리기술의 발전방향제시

-마을오폐수처리시설의 효율적인 정비방안 검토

■ 토양피복형 접촉산화공법의 개선을 위한 실험연구 수행

-현행토양피복형 접촉산화공법의 문제점 및 개선방향 검토

-접촉산화조에서의 쇄석 대체 접촉여재 개발을 위한 실험

-토양식 필터개량 및 피복토양혼합재 개발을 위한 실험

## 제 2장 상수보존분야

---

제1절 서설

제2절 연구방법 및 배경

제3절 연구대상지구

제4절 연구내용

제5절 요약 및 고찰

여 백

## 제 2장 상수보존분야

### 제1절 서 설

해방이후 인구가 도시로 집중하면서 농어촌지역은 물론 도시에서도 급수량 부족으로 급수난을 겪게 되었으며, 1948년 급수구역의 급수량은 현재의 16% 수준인 1인 1일 66ℓ 에<sup>1)</sup> 불과하였다. 1960년대에 들어서 경제개발5개년계획을 추진하면서 전통적인 산업인 농업이 점차 공업화 되게 되었고 생활용수는 물론 공업용수의 공급이 절대적으로 필요해 짐에 따라 상수개발은 도시를 중심으로 집중적으로 추진되었다.

1994년말 현재 상수도 공급을 받고 있는 인구는 전체 국민의 82.1%인 37,351천명이며 나머지 8,161천명은 상수도 혜택을 받지 못하고 있다. 급수지역 또한 특별시·광역시와 시급에 집중되어 있어 6대 도시의 상수도 보급률은 98.5%에 이르고 있으나 도지역은 67.1%에 불과한 실정이다.

현재 상수도 보급율이 저조한 농어촌지역은 간이상수도나 자가수도에 의존하여 급수를 하고 있다. 그러나 이들 시설노후화 또한 취수원인 지표수와 지하수의 오염, 계절적인 급수량 변동, 급수시설의 위생적인 정수처리기술 및 관리운영의 미흡 등 여러가지 요인으로 인하여 상수공급이 원활하지 못한 상태이다.

본 연구에서는 이러한 농어촌지역의 상수공급과 관련한 문제점을 면밀히 분석하기 위해 급수현황, 수질현황 및 오염원인, 정수처리현황 등을 조사하였으며, 정수처리 모형실험, 시설표준화, 관리제도분석 및 전문가시스템을 개발하여 안정적인 농어촌 상수공급 및 관리방안을 제시하고자 한다.

---

1) 환경부, 상수도통계, 1996

## 제2절 연구방법 및 배경

본연구는 1차년도의 현황조사분석에 이어 2차년도에서도 문제점의 도출을 계속하고, 주요오염항목에 대하여 간이상수도시설에서 정수처리를 할 수 있도록 실험실규모의 정수처리모형을 제작하여 실험하고, 간이상수도의 설치계획시 급수량계획과 정수처리방법의 결정, 시설운영·유지·관리에 관한 제반사항의 의사결정을 지원해 줄 수 있는 전문가시스템을 개발하고자 한다.

## 제3절 연구대상지구

연구대상지구는 농어촌유형에<sup>2)</sup> 따라 수도권 근교촌, 내륙농업 중심촌, 내륙교통 중심촌, 해안 평야촌 등으로 구분하여 1지구씩 선정하였으며, 조사는 '96년 3월부터 '97년 5월까지 8차에 걸쳐 현장답사, 관련기관협의 및 현장조사를 실시하였다.

연구대상지역의 마을 규모는 30~124가구로 127~428명이 거주하고 있고, 산업은 주로 1ha미만의 소규모 농업과 부업으로 소와 돼지를 사육하고 있다. 가옥의 구조중 주민의 보건위생과 관련이 밀접한 화장실과 부엌의 형태를 조사한 결과 부엌은 대부분이 사용이 편리한 입식으로 개조하여 사용하고 있으나, 화장실은 아직도 대부분이 재래식으로 일부 가구에서만 수세식 화장실을 사용하고 있다.

---

2) 농어촌진흥공사, 농어촌마을 종합개발방안 연구, 1995



표 2-1 연구대상지 일반현황

구 분	북 일 지 구	현 도 지 구	도 고 지 구	천 북 지 구
위 치	충북 청원군 북일면 비상리	충북 청원군 현도면 노산리	충남 아산시 도고면 도산리	충남 보령시 천북면 사호리
농어촌 유 형	수도권 근교촌	내륙농업중심촌	내륙교통중심촌	해안 평야촌
인 구	124가구, 428명	87가구, 292명	30가구, 127명	58가구, 203명
산 업	· 농업 -1ha미만의 소농 -주로 답작 · 축산업 -축산농가당 한우 10-80두	· 농업 -1ha미만의 소농 -주로 답작 · 축산업 -축산농가당 한우 20두 규모	· 농업 -1ha미만의 소농 -주로 전작 · 축산업 -한우 2-3두 -돼지 500두	· 농업 -1ha미만의 소농 -주로 답작 · 축산업 -축산농가당 한우 2-3두
보 건 위 생	· 일부 수세식 화장실 · 대부분 입식 부엌	· 일부 수세식 화장실 · 대부분 입식 부엌	· 일부 수세식 화장실 · 대부분 입식 부엌	· 대부분 재래식 화장실 · 대부분 재래식 부엌
기 타	· 인근에 먹는물 샘 물공장이 많으며, 하 휴마을인 비중리지역 은 농어촌 문화마을 조성지구임	· 상수원 보호구역 및 그린벨트지역으로 개발제한이 많음	· 95년에 간이상수도 가 완공되어 급수를 하고 있음	· 96년에 간이상수도 가 완공되어 급수를 하고 있음

## 제4절 연구내용

### 1. 상수이용현황

#### 가. 이용수원 및 위생상황

연구대상지구에서 상수원으로 사용하고 있는 수원은 북일지구의 간이상수도만 지표수이고, 나머지 도고·천북지구의 간이상수도 및 4개 지구의 자가수도는 모두 지하수이다.

북일지구의 간이상수도 수원은 계곡수인데 취수원의 위치가 상류에 농가가 없는

산속에 위치하고 있으며, 상류지역에 산림 외엔 특별한 오염원이 없어 수원의 위생 상황은 양호한 편이다. 현도지구는 간이상수도시설이 없어 자가수도를 이용하고 있으며, 각 가정에 위치한 수원이 지하 10m 내외의 천층지하수로서 분뇨, 가정하수 등에 의한 오염의 우려가 있다. 도고지구와 천북지구는 간이상수도의 수원으로 심층암 반지하수를 이용하고 있어 오염의 우려가 작다.

표 2-1-1 연구대상지구의 이용수원, 급수체계, 급수시설, 이용형태, 급수량

지구명	시설구분	이용수원	급수체계	급수시설	이용형태	급수량 ℓ/인/일	비고
북일	간이상수도	지표수 (계곡수)	-수 원 -취수보 -착수정 -여과지 -염소소독 -저수탱크	배수관망	수도전	281	-1975년 설치 -하절기에는 부족한 농업 용수로 사용
	자가수도	천 층 지하수	-수 원 -양수기	배수관	수도전	-	-자가수도 병 행사용
현도	자가수도	천 층 지하수	-수 원 -양수기	배수관	수도전	393	-상수원의 오 염우려
도고	간이상수도	심 층 지하수	-수 원 -양수기 -염소소독 -저수탱크	배수관망	수도전	200	-1995년 설치
	자가수도	천 층 지하수	-수 원 -양수기	배수관	수도전	-	-자가수도 병 행사용
천북	간이상수도	심 층 지하수	-수 원 -양수기 -염소소독 -저수탱크	배수관망	수도전	301	-1996년 설치
	자가수도	천 층 지하수	-수 원 -양수기	배수관	수도전	-	-자가수도 병 행사용

#### 나. 급수체계 및 시설현황

연구대상지구의 상수공급시설은 지표수 또는 지하수를 수원으로 하여 공동급수 하는 간이상수도과 각 가구별로 지하수에 양수기를 설치하여 급수를 하는 자가수

도시설로 이루어져 있다.

간이상수도 시설은 일반적인 수도시설과 달리 급수하는 방법에 따라 자연유하식, 양수식, 압축식으로 구분한다.<sup>3)</sup> 자연유하식은 수원이 높은 곳에 위치하여 각 가정까지 급수하는 과정에 에너지가 필요 없는 방식이고, 양수식은 낮은 곳에 위치한 수원으로부터 높은 곳의 저수탱크까지 물을 양수하여 각 가정에 자연유하로 급수하는 방식이다. 압축식은 저수탱크를 높은 곳에 설치하기 어려운 지역에서 양수기를 사용 압축탱크에 압송한 물을 각 가정으로 급수하는 방식이다.

전국 간이상수도의 유형을 보면 자연유하식이 49.9%, 양수식이 46.5%, 압축식이 3.6%로 자연유하식과 양수식이 거의 대부분을 차지하고 있으며, 지표수의 오염으로 지하수를 수원으로 하는 양수식이 점차 늘어나는 경향이다.

북일지구는 1975년에 설치된 간이상수도 시설이 있으나 급수관망의 일부가 파손되어 보수가 필요한 상태이고, 특히 하절기에는 하류지역 농업용수의 부족으로 간이상수도를 농업용수원으로 사용하고 있어 대부분의 주민들은 자가수도를 사용하고 있다.

표 2-1-2 간이상수도의 시설종류별 급수체계

시설의 종류	수 원	급 수 체 계
자연유하식	용천수, 계곡수, 호소수	수원→취수설비→침전지→여과지→소독시설→저수탱크→배수관망→수도전
양 수 식	천층지하수, 심층지하수, 복류수	수원→양수기→소독시설→저수탱크→배수관망→수도전
압 축 식	천층지하수, 심층지하수	수원→소독시설→양수기→압축탱크→배수관망→수도전

현도지구는 공동급수시설이 없으며 각 가구별로 천층지하수를 수원으로 하는 자가수도가 설치되어 있다. 도고지구는 1995년에 심층지하수를 개발하여 설치한 간이상수도를 사용하고 있으나 양수시설의 잦은 고장으로 자가수도를 병행하여 사용하

3) 환경부, 간이상수도 설치 및 관리요령, 1995

고 있다. 천북지구는 1996년 12월에 심층지하수를 수원으로 하는 간이상수도를 설치하였으며 기존의 자가수도를 병행하여 사용하고 있다. 연구대상지구가 위치한 청원군 북일면, 현도면, 아산시 도고면, 보령시 천북면의 간이상수도 시설은 총 45개소로 이중 37개소는 정상 운영되고 있으나 나머지 시설은 노후화와 수원의 고갈로 인해 사용불가 또는 폐쇄된 상태이다. 취수원을 종류별로 보면 지표수가 8개소, 지하수가 37개소로서 비교적 수질이 양호하고 수량이 안정적인 지하수가 전체의 82%를 점유하고 있다. 한편 간이상수도의 설치경과년수를 보면 전체의 29%에 해당하는 13개소가 20년 이상된 시설로서 노후화된 상태이다.

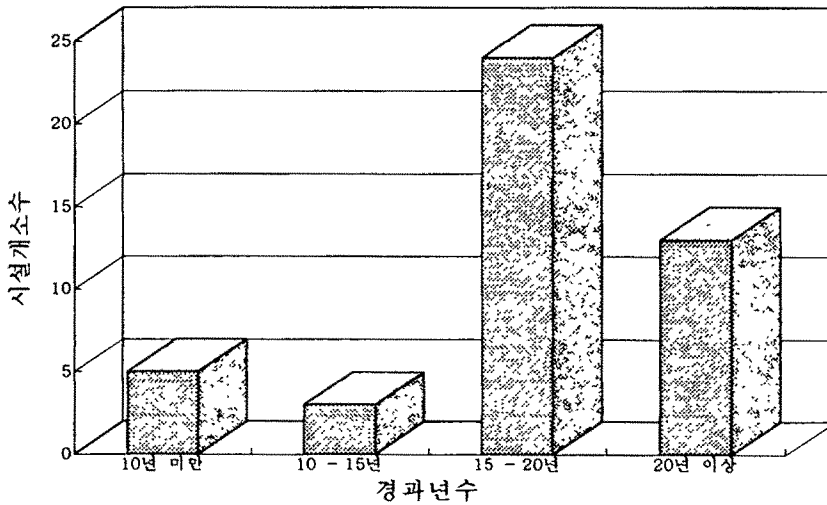


그림 2-1-1 연구대상지역의 간이상수도시설 설치경과년수

#### 다. 급수량

대상지역으로 선정한 북일, 현도, 도고, 천북지구의 현재 상수사용량을 파악하기 위하여 각 지구마다 유량계를 설치하여 실제 급수량을 관측하였다. 지구별 상수사

용량은 북일, 현도, 도고, 천북지구가 각각 281, 393, 200, 301 ℓ/인/일로 평균급수량은 293.8 ℓ/인/일이며 이는 인접 군지역과 비슷한 수준이다.

표 2-1-3 연구대상지구의 상수사용량

구 분	1인1일급수량 (ℓ/인/일)	비 고
북일지구 (충북)	281	○ 연구대상지구 평균급수량 : 293.8 ℓ/인/일
현도지구 (충북)	393	
도고지구 (충남)	200	
천북지구 (충남)	301	
충북 군 지역	299	
충남 군 지역	283	
전국 평균	408	

연구대상지구가 속한 각 면의 주민을 대상으로 간이상수도의 급수량에 대한 설문 조사를 실시한 결과 “충분하다” 또는 “보통이다”라고 생각하는 주민은 전체의 68%, “부족하다”라고 생각하는 주민은 32%였으며, 계절별로 부족한 시기는 응답자의 72%가 여름이라고 응답하였고 급수량 부족시 대체수원으로는 78%가 자가수도를 이용하고 있는 것으로 조사되었다.

표 2-1-4 계절별 급수량 부족시기 및 대체수원에 대한 주민설문조사결과

구분	급수량 부족시기				급수량 부족시 대체수원		
	봄	여름	가을	겨울	자가수도	공동우물	기타
비율 (%)	10.3	72.4	0	17.3	78.3	8.7	13.0

연구대상지구의 연도별 상수사용량을 추정하기 위하여 1990~1994년 전국 상수급수량 자료를 이용하여 분석한 회귀식은 다음과 같다.

$$\bigcirc \text{ 전국평균} : Y(\text{상수사용량}) = 9.6X(\text{연도}) - 18736.8$$

연구대상지구의 1인1일 평균급수량은 293.8 ℓ 로 전국평균급수량 408 ℓ 중 무효수량 20%를 제외한 실제급수량 326 ℓ 와는 큰 차이가 없으므로 농어촌지역의 상수사용량 증가추세가 도시지역과 같다고 가정할 경우 연구대상지구의 연도별 급수량추정 회귀식은 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$\bigcirc \text{ 연구대상지구} : Y(\text{상수사용량}) = 9.6X(\text{연도}) - 18867.8$$

회귀식을 이용하여 추정한 연구대상지역의 향후 상수사용량은 2000년에 332 ℓ /인/일, 2005년에 380 ℓ /인/일에 이를 것으로 예상된다.

북일·현도지구가 위치한 충북 군지역, 도고·천북지구가 위치한 충남 군지역의 계절별 상수사용량을 보면 7, 8, 9월에 상수사용량이 가장 많고 3, 4월에 가장 적게 쓰는 것으로 나타나 전국평균값과 같이 여름철에 사용량이 많고 봄철에 사용량이 적은 분포경향을 보이고 있다.

상수사용량의 시간별 분포를 보면 지구별로 다소 차이가 있으나 평균적으로 05~07시 사이인 아침시간대에 사용량이 가장 많았고, 그 다음은 19~21시, 11~13시의 순으로 사용량이 많았으며, 23시 이후부터 03시까지는 거의 사용을 하지 않는 것으로 조사되었다.

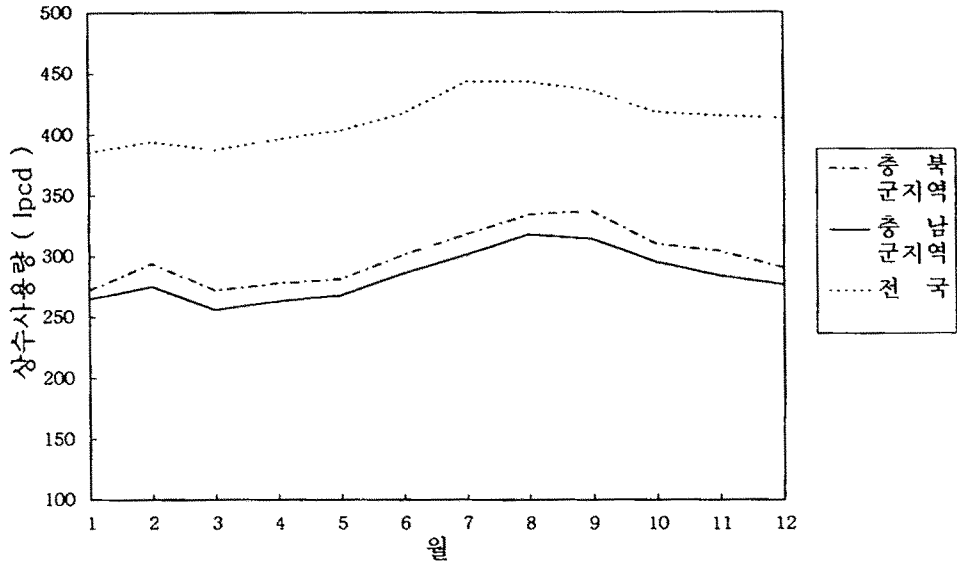


그림 2-1-2 연구대상지역의 월별 상수사용량 변화

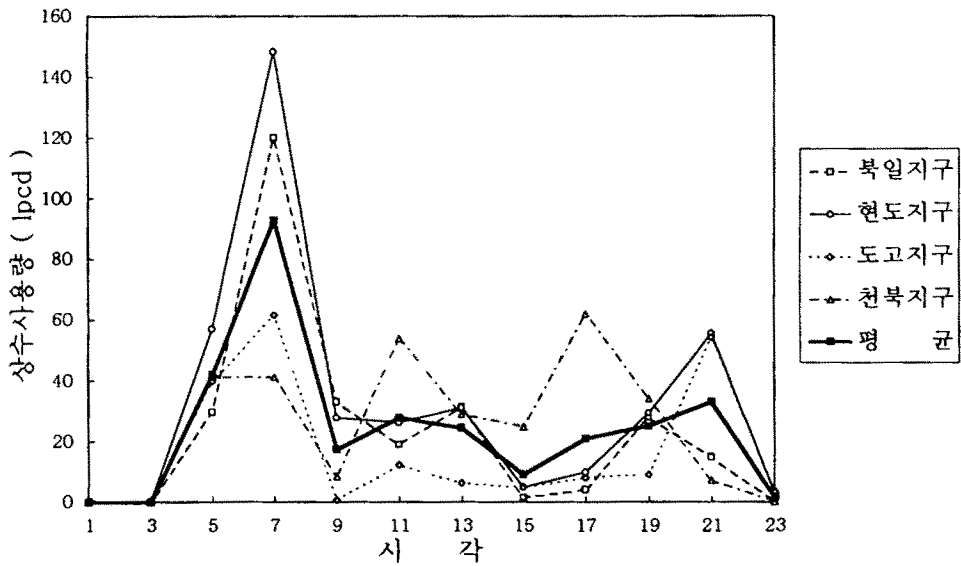


그림 2-1-3 연구대상지구의 시간별 상수사용량 변화

## 2. 수질현황

### 가. 상수원

상수원의 수질을 파악하기 위하여 연구대상지구가 위치한 각 면의 간이상수도 취수원 24개소를 대상으로 수질조사를 실시하였다.

면별 수질조사결과를 보면 북일면의 경우 미생물 검사항목은 전 조사지점에서 모두 먹는물기준을 초과하고 있고 건강상 유해물질은 질산성질소가 1개소에서 기준치의 2배를 초과하고 있으며 심미적 영향물질은 모두 기준치이내의 수질이다. 현도면은 미생물 검사항목의 경우 83%가 기준초과이나 건강상 유해물질과 심미적 영향물질은 모두 기준치 이내이다. 도고면은 미생물 검사항목의 경우 모두 기준초과, 건강상 유해물질은 모두 기준치이내이며, 심미적 영향물질은 철분이 1개소에서 기준을 초과하고 있다. 천북면은 미생물 검사항목의 경우 75%가 기준초과이나 건강상 유해물질과 심미적 영향물질은 모두 기준치 이내의 성적이다.

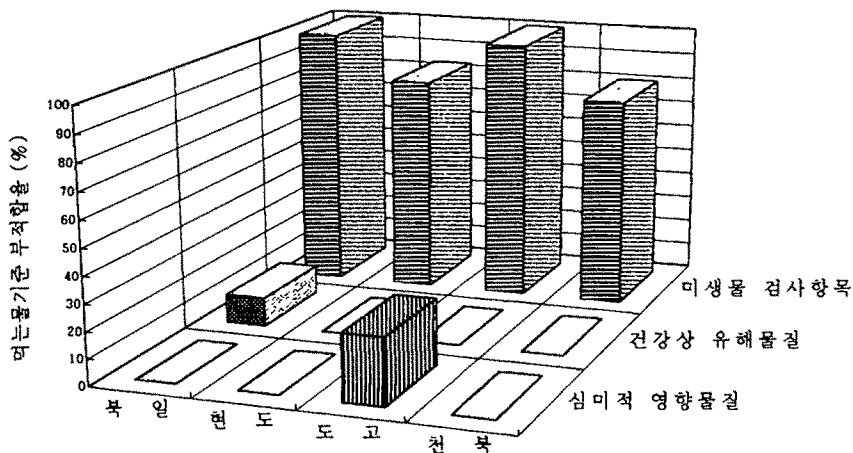


그림 2-2-1 간이상수도 상수원의 수질검사항목별 먹는물기준 부적합율



분석결과를 종합해 보면 건강상 유해물질과 심미적 영향물질은 각각 1개소에서만 기준치를 초과하고 있으나 미생물 검사항목은 총 조사지점 24개소중 92%인 22개소에서 기준치를 상회하고 있어 취수원의 주된 오염원인이 되고 있다.

분석항목별 수질성적을 보면 먹는물기준을 초과하는 항목은 일반세균, 대장균군, 질산성질소 및 철분의 4개 항목이다. 일반세균 및 대장균군이 기준치를 초과할 경우 분변에 의해 오염되었을 가능성이 크고 수인성 전염병이 발생할 가능성이 크므로 취수원 근처의 오염원 제거 및 염소소독과 같은 소독처리가 필요하다. 질산성질소가 기준치보다 높게 나타날 경우에는 어린아이들에게 메트헤모글로빈혈증(Methemoglobinemia)이라는<sup>4)</sup> 질병이 발생하게 되므로 적절한 정수처리를 하거나 대체수원을 개발하여야 한다. 철분의 농도가 기준치보다 높게 검출될 때에는 불쾌한 맛을 내거나 세탁물 또는 배관설비 등을 오염시키게 되므로 적절한 정수처리가 이루어져야 한다.

---

4) 보건사회부, 음용수 수질관리 지침서, 1990

표 2-2-1 간이상수도 상수원의 수질성적표

구분	항목	기준	북일면 (9개소)	현도면 (6개소)	도고면 (4개소)	천북면 (5개소)
미생물 검사항목	일반세균 대장균군	<100/1ml 불검출/50ml	ND-30000 음성-양성	ND-30000 음성-양성	ND-20000 음성-양성	ND-3200 음성-양성
	기준초과 개소수		9	5	4	4
건강상 유해물질	Cr <sup>6+</sup>	<0.05mg/ℓ	ND	ND-0.06	ND	ND
	NH <sub>3</sub> -N	<0.5mg/ℓ	ND-0.06	ND-0.06	ND-0.17	ND-0.11
	NO <sub>3</sub> -N	<10mg/ℓ	0.04-23.7	0.4-9.0	0.04-9.2	0.04-5.2
	기준초과 개소수		1	0	0	0
심미적 영향물질	경도	<300mg/ℓ	13.5-152.2	17.3-138.8	36.6-116.4	14.6-113.1
	KMnO <sub>4</sub> 소비량	<10mg/ℓ	0.4-6.5	0.2-3.6	0.2-3.7	ND-0.7
	Cu	<1mg/ℓ	ND-0.02	ND-0.02	ND-0.01	ND-0.01
	pH	5.8-8.5	6.1-7.4	6.3-7.3	6.2-7.6	6.8-7.8
	Zn	<1mg/ℓ	ND-0.19	ND-0.04	ND-0.11	ND-0.12
	Fe	<0.3mg/ℓ	ND-0.13	ND-0.13	ND-0.70	ND-0.08
	Mn	<0.3mg/ℓ	ND-0.03	ND-0.01	ND-0.14	ND-0.04
	탁도	<2	적합	적합	적합	적합
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	<200mg/ℓ	1.6-26.6	2.9-34.5	4.9-19.9	1.2-14.3
기준초과 개소수		0	0	1	0	

## 나. 수도전

수도전의 수질조사는 연구대상지구가 위치한 각 면의 간이상수도 수도전 34개소와 자가수도 수도전 14개소등 총 48개소를 대상으로 실시하였다.

먼저 간이상수도의 수도전 수질을 보면 미생물 검사항목의 경우 총 34개소중 30개소(88%)에서 먹는물기준을 초과하고 있고, 건강상 유해물질과 심미적 영향물질은 각각 1개소에서 기준을 초과하고 있어 상수원의 수질과 비슷한 양상을 보이고 있다. 따라서 급수원에서의 정수처리가 거의 이루어지지 않고 있음을 알 수 있으며, 특히 미생물 검사항목인 일반세균과 대장균군의 경우 간단한 염소처리만으로도 제거가 가능하나 실제로는 거의 염소소독을 하지 않고 있는 것으로 보인다.

천충지하수를 취수원으로 하고 있는 자가수도의 경우 미생물 검사항목은 총 14개

소중 12개소(86%)가 기준을 초과하고 있어 간이상수도와 비슷한 수준이며, 건강상 유해물질은 7개소(50%)에서 기준을 초과하고 있어 간이상수도보다 더 오염된 상태이다. 건강상 유해물질중 기준을 초과하고 있는 항목은 질산성질소로서 기준치의 약 2배 정도를 초과하고 있다. 따라서 자가수도는 먹는물 이외의 용도로 사용하고, 가급적 먹는물은 간이상수도의 정수처리시설을 설비하여 간이상수도 물을 이용해야 할 것이다.

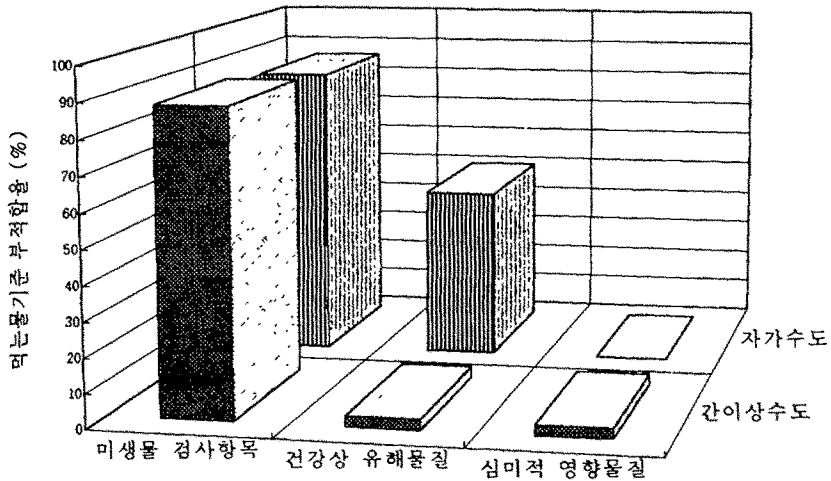


그림 2-2-2 수도전 수질의 먹는물기준 부적합율

표 2-2-2 간이상수도의 수도전 수질성적표

구 분	항 목	기 준	북 일 면 (10개소)	현 도 면 (12개소)	도 고 면 (8개소)	천 북 면 (4개소)
미 생 물 검사항목	일반세균 대장균군	<100/1ml 불검출/50ml	ND-30000 음성-양성	ND-29000 음성-양성	ND-30000 음성-양성	ND-3700 음성-양성
	기준초과 개소수		10	10	8	2
건 강 상 유해물질	Cr <sup>6+</sup>	<0.05mg/ℓ	ND	ND	ND	ND
	NH <sub>3</sub> -N	<0.5mg/ℓ	ND-0.16	ND-0.11	ND-0.17	ND-0.11
	NO <sub>3</sub> -N	<10mg/ℓ	0.9-23.6	0.4-9.1	0.1-9.0	0.04-3.8
	기준초과 개소수		1	0	0	0
심 미 적 영향물질	경도	<300mg/ℓ	13.5-152.4	17.6-151.5	26.2-117.9	13.9-96.0
	KMnO <sub>4</sub> 소비량	<10mg/ℓ	0.2-6.5	0.2-8.2	0.1-2.3	ND-0.9
	Cu	<1mg/ℓ	ND-0.04	ND-0.11	ND-0.01	ND-0.01
	pH	5.8-8.5	6.1-7.7	6.4-7.3	6.2-7.7	6.0-7.8
	Zn	<1mg/ℓ	ND-0.50	ND-0.13	ND-0.07	ND-0.14
	Fe	<0.3mg/ℓ	ND-0.02	ND-0.04	ND-0.35	ND-0.08
	Mn	<0.3mg/ℓ	ND-0.03	ND-0.01	ND-0.16	ND-0.04
	탁도	<2	적합	적합	적합	적합
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	<200mg/ℓ	1.8-26.6	2.8-49.5	3.3-19.5	0.6-14.3
	기준초과 개소수		0	0	1	0

표 2-2-3 자가수도의 수도전 수질성적표

구 분	항 목	기 준	북 일 면 (4개소)	현 도 면 (4개소)	도 고 면 (2개소)	천 북 면 (4개소)
미 생 물 검사항목	일반세균 대장균군	<100/1ml 불검출/50ml	30-4500 음성	52-7250 음성-양성	29000-30000 음성	72-4100 양성
	기준초과 개소수		3	3	2	4
건 강 상 유해물질	Cr <sup>6+</sup>	<0.05mg/ℓ	ND	ND	ND	ND
	NH <sub>3</sub> -N	<0.5mg/ℓ	ND	ND	ND	0.09-0.23
	NO <sub>3</sub> -N	<10mg/ℓ	1.1-22.3	4.4-21.3	8.1-21.2	0.1-0.9
	기준초과 개소수		3	3	1	0
심 미 적 영향물질	경도	<300mg/ℓ	18.0-110.9	51.0-166.2	55.1-73.1	46.1-78.1
	KMnO <sub>4</sub> 소비량	<10mg/ℓ	1.1-2.8	0.4-1.1	0.2	0.2-0.6
	Cu	<1mg/ℓ	ND	ND	ND	ND
	pH	5.8-8.5	6.7-7.3	6.4-7.1	6.4-7.0	6.8-7.4
	Zn	<1mg/ℓ	ND-0.05	ND-0.73	ND-0.04	ND-0.01
	Fe	<0.3mg/ℓ	ND-0.01	ND-0.01	ND	ND-0.01
	Mn	<0.3mg/ℓ	ND	ND	ND	ND
	탁도	<2	적합	적합	적합	적합
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	<200mg/ℓ	8.6-37.1	7.8-47.5	6.4-17.5	3.0-8.2
	기준초과 개소수		0	0	0	0

### 3. 오염원인분석

#### 가. 조사방법 및 분석이론

조사대상지역에서 실시한 수질조사결과를 바탕으로 통계적인 방법인 다변량분석을 이용하여 간이상수도의 오염원인을 파악하였다. 분석내용은 다변량 해석법중에서 군집분석으로 수원과 조사시기, 채수지점에 따른 수질상의 차이를 파악하였고, 주성분분석을 이용하여 수질분석항목들을 서로 독립적인 소수의 새로운 요인들로 나타내고, 각 변수와 요인간의 관계를 검토하여 간이상수도의 오염현상에 대해 종합적으로 판단하고 그 대책에 대하여 생각해 보았다.

군집분석은 각 객체(Object)가 군집의 구성원이 됨을 객체사이의 '상사성'(또는 비상사성)에 근거하여 식별함으로서 전체 다변량자료의 구조를 파악하고 군집형성 과정과 그 특성, 그리고 식별된 군집간의 관계 등을 분석하는 과정이며<sup>1)</sup>, 주성분분석은 변수들간의 상관관계를 이용하여 서로 유사한 변수끼리 묶어주는 방법, 즉 상호간의 상관성을 갖는 여러종류의 변수들의 정보를 큰 손실 없이 서로 독립적인 소수개의 종합특성치로 요약해내는 과정이다.<sup>2)</sup>

#### 1) 군집 분석

군집분석이란 각 객체들을 몇개의 작은 집단으로 분류하여 다변량자료를 구조적으로 단순하게 만듦으로써 해석을 용이하게 할 수 있는 다변량 분석기법이다. 군집분석을 수행하기 위해서는 우선 군집되는 각 객체들 간의 상사성(similarity)과 비상사성(dissimilarity)의 정도를 측정하는 기준척도가 필요하다. 이 기준 척도로써 '거리'라는 개념을 생각해 볼 수 있다.

1) 김기영, 전명식, SAS군집분석, 자유아카데미, 1989

2) 김기영, 전명식, SAS주성분분석, 자유아카데미, 1989

우선  $X_{jk}$ 를  $j$ 번째 객체의  $k$ 번째 변수에 대한 측정값이라 하고, 객체  $j$ 의  $p$ 개 변수에 대한 측정값들의 집합을  $j$ 번째 행벡터  $X_j' = (X_{j1}, X_{j2}, \dots, X_{jp})$ 라 하면 모든 객체수가  $N$ 인 자료행렬  $X$ 는 다음과 같은  $(N \times P)$ 의 행렬로 표기된다.

$$X = \begin{matrix} & \begin{bmatrix} X_{11}, & X_{12}, & \dots, & X_{1p} \\ X_{21}, & X_{22}, & \dots, & X_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{N1}, & X_{N2}, & \dots, & X_{Np} \end{bmatrix} \\ \begin{matrix} (N \times P) \\ \\ \\ \end{matrix} & = & \begin{bmatrix} X_1' \\ X_2' \\ \cdot \\ \cdot \\ X_N' \end{bmatrix} \end{matrix}$$

어느 한 쌍의 관찰벡터,  $X_i' = (X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ip})$ 와  $X_j' = (X_{j1}, X_{j2}, \dots, X_{jp})$  ( $i, j = 1, \dots, N$ ) 사이의 비상사성을 측정하는 가장 기본적인 방법은  $X_i'$ 와  $X_j'$  간의 '거리',  $d_{ij} = d(X_i, X_j)$ 를 측정하는 것이다.

거리를 측정하는 방법은 상당히 많은데 그중 많이 고려되고 있는 Minkowski 거리를 보면 다음 식과 같다.

$$d_{ij} = d(X_i, X_j) = \left[ \sum_{k=1}^p |X_{ik} - X_{jk}|^m \right]^{1/m}$$

위의 식에서  $m = 1$ 일 경우 도시의 block간의 거리를 나타내며,  $m = 2$ 일 경우는 자주 사용되는 유클리드(Euclid)거리가 되며  $m$ 의 변화에 따라, 즉  $m$ 이 커질수록 거리는 작아진다. 그러나 위의 방법에 따른 거리들은 척도불변성 (scale invariance)을 가지지 않아서 때로 각 관찰벡터를 얻는데 사용되는 척도의 변화에 따라 크게 왜곡되므로 주의가 요구된다. 이와같은 문제를 감안하여 본 논문에서 각 변수를 표준화하여 거리를 계산하였다.

위 식으로  $N$ 개의 다변량 관찰값들로부터 얻은 크기  $N \times N$  거리행렬,  $D$ 를

가지고 시작하는 계보적 군집방법(hierarchical clustering method)은, '가까운' 객체들끼리 묶어감으로써 군집을 만들어가는 병합적(agglomerative)방법과, 반대로 '먼' 객체들을 나누어가는 분할적(divisive)방법으로 나눌 수 있다. 이와같은 계보적 군집방법은 어떤 객체가 일단 다른 군집에 속하면 다시는 같은 군집에 속하지 못하는 성질을 가지고 있다.

병합적 방법은 군집간의 거리를 어떻게 정의하느냐에 따라 달라진다. 본 논문에서는 최장연결법(Complete Linkage Method)을 사용하였으며 이 방법은 두 군집  $C_1$ 과  $C_2$  사이의 거리를, 두 군집에 속하는 객체들 사이의 거리중 최장거리를 사용하며 아래와 같이 정의한다.

$$d \{ ( C_1 ) ( C_2 ) \} = \max \{ d ( x, y ) \mid x \in C_1 , y \in C_2 \}$$

## 2) 주성분 분석

여러개(  $p \geq 2$  )의 반응변수 (response variable)에 대하여 얻어진 다변량 자료(multivariate data)를 분석의 대상으로 하는 주성분 분석(主成分 分析)은 다차원적인 변수들을 축소, 요약하는 차원의 단순화와 더불어 일반적으로 서로 상관되어 있는 반응변수들 상호간의 복잡한 구조를 분석하는데 그 목적을 두고있다.

구체적으로,  $N$ 개의 측정에서  $p$ 종의 항목에 관하여 관측이 행하여졌다고 하면, 이들의 변수(관측치)를

$$x_1 = \begin{bmatrix} x_{11} \\ x_{12} \\ \vdots \\ x_{1N} \end{bmatrix}, \quad x_2 = \begin{bmatrix} x_{21} \\ x_{22} \\ \vdots \\ x_{2N} \end{bmatrix}, \quad \dots, \quad x_p = \begin{bmatrix} x_{p1} \\ x_{p2} \\ \vdots \\ x_{pN} \end{bmatrix}$$

와 같이 열 벡터로써 표시할 수 있으며, 다시 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$X = [ x_1, x_2, \dots, x_p ]^T,$$

그리고, 이 시스템의 변동은 선형결합으로 새로운 함수(주성분) Y로서 표시할 수 있다.

$$\begin{aligned} Y_1 &= l_{11}x_1 + l_{12}x_2 + \dots + l_{1p}x_p = l_{1p}^T X \\ Y_2 &= l_{21}x_1 + l_{22}x_2 + \dots + l_{2p}x_p = l_{2p}^T X \\ &\vdots \\ Y_p &= l_{p1}x_1 + l_{p2}x_2 + \dots + l_{pp}x_p = l_{pp}^T X \end{aligned}$$

여기에서 l은 계수 벡터이며, 상관행렬 R의 고유방정식

$$| R - \lambda I | = 0$$

을 만족시키는 고유값  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$  ( $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p$ )에 대한 고유 벡터로써 구하게 된다.

단,

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1p} \\ \vdots & & & \\ \vdots & & & \\ r_{1p} & \dots & \dots & r_{pp} \end{bmatrix}$$

$$r_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{\sqrt{\sigma_{ii} \sigma_{jj}}}, \quad \sigma_{ij} = \frac{1}{N-1} a_{ij}, \quad a_{ij} = \sum_{k=1}^N (x_{ik} - \bar{x}_i)(x_{jk} - \bar{x}_j)$$

여기서, 변수 X의 변동의 대부분을 소수개의 주성분의 변동으로 설명할 수 있어 많은 수의 변수를 일일이 검토하지 않아도 전체 시스템을 용이하게 파악할 수 있다.



첫 주성분부터 선택되어진 주성분까지 원래 데이터의 특징을 얼마만큼 설명할 수 있는가는 누적기여율에서 구할 수 있다.  $i$ 번째까지의 누적기여율은 다음과 같이 정의된다.

$$\frac{\sum_{k=1}^i \lambda_k}{\sum_{k=1}^p \lambda_k} \times 100 = \frac{\sum_{k=1}^i \lambda_k}{p} \quad (\%)$$

각 주성분과 변수와의 관련정도는 인자부하량에서 검토되며, 인자 부하량은 다음과 같다.

$$r(Y_i, x_j) = \sqrt{\lambda_i} I_{ij}$$

그리고, 다음과 같은 성질을 갖는다.

$$\sum_{i=1}^p \lambda_i I_{ij}^2 = 1$$

$$\sum_{j=1}^p \lambda_i I_{ij}^2 = \lambda_i$$

## 나. 군집분석결과

### 1) 풍수기

군집분석에 사용된 자료는 '96년 8월에 조사한 수질 측정항목중 12개의 항목(일반세균, 대장균군, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, SO<sub>4</sub>, pH, KMnO<sub>4</sub>소비량, 경도, 염소이온, 대장균군, 일반세균, 전도도, 망간)을 이용하였다. 분석항목중 12개항목만을 사용한 이유는 중금속 변수등을 포함한 제외된 변수의 농도가 음용수 수질기준에 비해 훨씬 낮아 오염원인이 아니면서도 군집형성에 잡음(White Noise)으로 작용할 것으로 판단되기 때문이다. 또 이론에서도 언급한 바와 같이 각 변수의 영향을 고르게 나타내기 위해 변수들의 농도를 Z값으로 표준화하여 분석에 사용하였다.

군집 분석의 결과는 그림에서 나타난 바와같이 Rescaled 거리가 8.5인 곳에서 '—' 선으로 군집을 분류한다면 군집은 1~3, 4~5, 6~7, 8~13, 14~18, 19~20, 21~24, 25~27, 28~37, 38~40, 41~44, 45~46, 47~53, 54~56, 57, 58~59, 60로 나누어진다.

군집형성을 우선 수원별로 살펴보면, 군집의 대부분이 수원의 종류가 같은 것끼리 묶여 수원에 따라 수질 다르다는 것을 나타내고 있다.

채수지점에 따른 군집형성을 살펴보면 도고면 봉당리, 북일면 인평, 도고면 석당리, 천북면 천궁, 현도면 대원이 등 비교적 많은 지역에서 같은 수원을 가지고 있는 수도전의 수질이 다른 군집에 속해 있어 배수과정중에 오염물질의 유입이 있는 것으로 판단된다. 이들 지역의 수질을 살펴보면, 특히 미생물 오염항목이 수원(A), 수원에서 가까운 수도전(B), 수원에서 먼 수도전(C)에서 서로 다른 수질을 보이고 있어 배수관의 노후나 파손 등으로 인하여 하수구나 축산폐수의 오염물질이 관으로 유입되고 있음을 알 수 있다. 이러한 지역에서는 배수관의 정비나 소독시설의 설치가 시급한 상태인 것으로 판단된다.

Rescaled Distance Cluster Combine

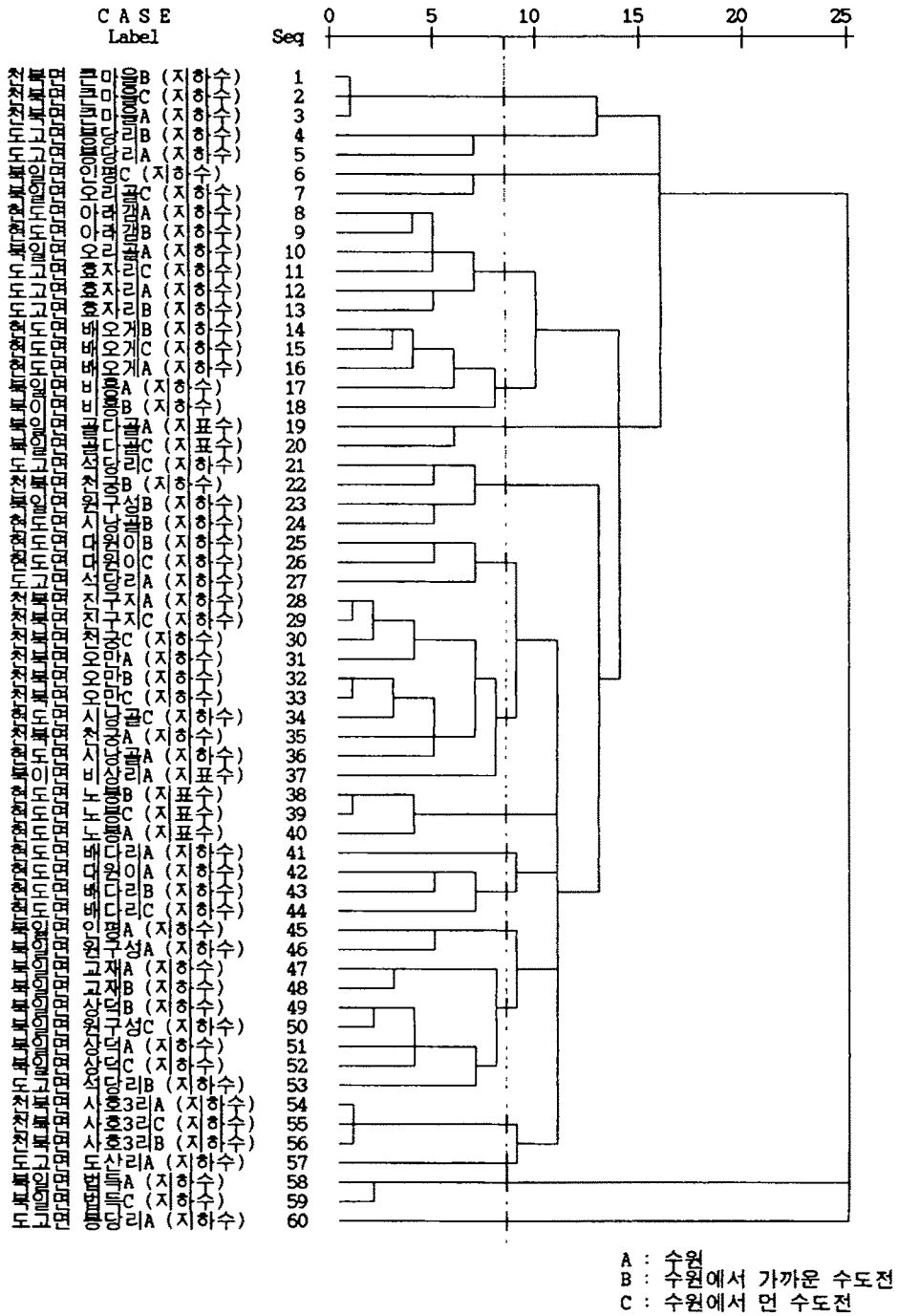


그림 2-3-1 군집분석결과(풍수기)

## 2) 저수기

사용된 자료는 97년 5월에 조사한 수질 측정항목중 9개의 항목(일반세균, 대장균군, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, 경도, KMnO<sub>4</sub>소비량, SO<sub>4</sub>, 전도도, pH)을 이용하였다. 분석항목중 9개항목만을 사용한 이유는 중금속 변수등을 포함한 제외된 변수의 농도가 음용수 수질기준에 비해 훨씬 낮아 오염원인이 아니면서도 군집형성에 잡음(White Noise)으로 작용할 것으로 판단되기 때문이다.

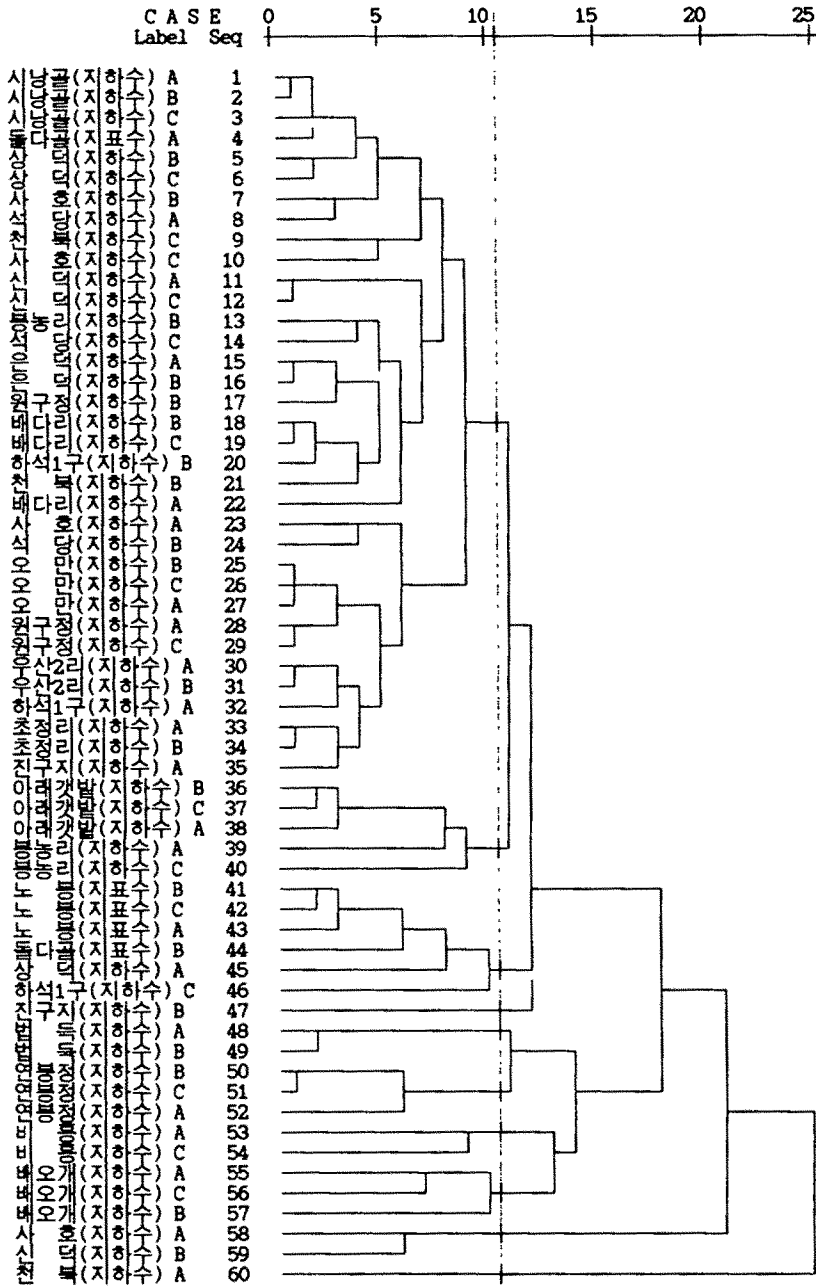
군집 분석의 결과는 그림에서 나타난 바와같이 Rescaled 거리가 10.8인 곳에서 '——' 선으로 군집을 분류한다면 군집은 1~35, 36~40, 41~46, 47, 48~49, 50~52, 53~54, 55~57, 58~60로 나누어진다.

수원별 군집형성은 군집의 대부분이 수원의 종류가 같은 것끼리 묶여 수원에 따라 수질 다르다는 것을 나타내고 있다.

채수지점에 따른 군집형성을 살펴보면 풍수기의 분석결과와 마찬가지로 천북, 사호, 신덕, 진구리, 하석1구, 돌다골 등 비교적 많은 지역에서 같은 수원을 가지고 있는 수도전의 수질이 다른 군집에 속해 있어 배수과정중에 오염물질의 유입이 있는 것으로 판단된다. 이들 지역의 수질을 살펴보면, 특히 미생물 오염항목이 수원(A), 수원에서 가까운 수도전(B), 수원에서 먼 수도전(C)에서 서로 다른 수질을 보이고 있어 배수관의 노후나 파손 등으로 인하여 하수구나 축산폐수의 오염물질이 관으로 유입되고 있음을 알 수 있다. 이러한 지역에서는 배수관의 정비나 소독시설의 설치가 시급한 상태인 것으로 판단된다.

군집형성을 전체적으로 보았을때, 수원종류와 지역적 특성, 채수위치 등의 요인에 의해 군집이 나뉘어 지고 있어 다소 복잡한 구조를 이루고 있다. 특히 지하수의 경우에는 토질의 형태나 취수정의 깊이에 따른 수질의 변동이 많으므로 군집형성에 작용하는 요인이 많아 복잡한 경향을 보이고 있다.

Rescaled Distance Cluster Combine



A : 수원  
 B : 수원에서 가까운 수도전  
 C : 수원에서 먼 수도전

그림 2-3-2 군집분석결과(저수기)

## 다. 주성분분석결과

### 1) 풍수기

주성분 분석에서는 군집분석의 결과에서 나타난 바와 같이 수원의 종류별로 수질이 다르고 또 오염원인이 다르다는 전제하에 수원별로 구분하여 분석하였다. 주성분 분석에서 사용한 수질항목은 군집분석에서 마찬가지로 12개 항목을 사용하였으며 Z값으로 표준화하여 사용하였다.

### 가) 지하수의 주성분 분석

지하수가 수원인 20개 지역 54개 채수지점에 대한 수질측정치를 주성분 분석을 실시하여 산출한 고유치와 기여율을 다음 표에 나타내었다. 요인 1의 고유치는 3.93346, 기여율은 32.8%로서 이는 전체 수질변동의 분산중에서 요인 1이 32.8%를 설명하고 있음을 의미한다. 요인 2와 요인 3, 요인 4의 고유치와 기여율은 각각 2.03540, 1.58857, 1.22471과 17%, 13.2%, 10.2%를 나타내고 있다.

요인수의 결정방식은 고유치(Eigen value)를 기준으로 결정하는 방법과 총분산중에서 요인이 설명해 주는 정도를 기준으로 정하는 방법, 연구자가 사전에 요인의 수를 결정하는 방법이 있으나, 본 연구에서는 고유치 1.0을 기준으로 하여 새로운 요인의 수를 추출하였다.

위의 방법으로 요인을 추출하면 요인이 4개가 되며 요인 1부터 요인 4까지의 누적기여율은 73.2%이다. 이것은 세개의 요인이 수원이 지하수인 간이 상수도의 수질변동의 전체 분산을 73.2%까지 설명하고 있음을 나타내고 있다.

요인의 해석을 위해 변수들의 요인적재량(Factor Loading)을 어느 특정요인에 높게 적재되게 하고 나머지 요인들에는 낮게 적재되도록 하여 처음의 요인행렬을 보다 명확히 할 필요가 있다. 이를 위해 요인을 회전시키며 회전의 방법에는 여러방

표 2-3-1

지하수의 고유치와 누적기여율(풍수기)

Factor	Engenvalue	Pct of Var	Cum Pct
1	3.93346	32.8	32.8
2	2.03540	17.0	49.7
3	1.58857	13.2	63.0
4	1.22471	10.2	73.2
5	.76629	6.4	79.6
6	.68253	5.7	85.3
7	.54988	4.6	89.8
8	.44685	3.7	93.6
9	.43693	3.6	97.2
10	.19504	1.6	98.8
11	.11104	.9	99.8
12	.02930	.2	100.0

법이 있다. 본 연구에서는 회전축이 직각을 유지하면서 회전하는 동시에 하나의 요인에 높이 적재되는 변수의 수를 줄여서 요인의 해석에 중점을 둔 VARIMAX 방식을 사용하였다.

회전 후의 각 요인과 변수의 관계를 나타낸 것이 <표 2-3-2>이다. 표에서 볼 수 있듯이 요인1은 전기전도도, 경도, 황산이온, 질산성 질소 등과 밀접한 관련이 있으며 요인 2는 대장균과 암모니아성질소, 아연등과 요인 3은 철, 망간 등과 요인 4는  $\text{KMnO}_4$  소비량, 일반세균, pH 등과 높은 상관성을 보이고 있음을 알 수 있다.

요인 1은 <표 2-3-2>와 <그림 2-3-3~2-3-5>에 나타난 바와 같이 전기전도도와 경도, 황산이온, 질산성질소등이 각각 0.955, 0.944, 0.926, 0.851로써 높은 정상관을 보이고 있으며 요인 3은 <표 2-3-2>와 <그림 2-3-4, 2-3-6, 2-3-8>에서 보는 바와 같이 철과 망간이 각각 0.835, 0.785로 높은 정상관을 보이고있다. 따라서 요인 1과 요인 3은 관련된 수질변수가 음용수 수질기준에 비해 매우 낮은 값을 나타내고 있어 오

염으로 간주하기 어렵고 토질의 상태나 기타 지하환경의 변화요인에 의한 자연발생적인 변동이라고 말할 수 있다.

요인 2는 대장균군과 암모니아성 질소가 각각 0.824, 0.712로 높은 정상관을 보이고 있고 아연에 대해서는 -0.665로 역상관을 보이고 있다(<표 2-3-2>, <그림 2-3-4, 2-3-6, 2-3-8>). 요인 4는 과망간산 칼륨소비량과 일반세균이 각각 0.808, 0.779로 정상관을 보이고 있고 pH와는 -0.532의 역상관을 보이고 있다(<표 2-3-2>, <그림 2-3-5, 2-3-7, 2-3-8>). 요인 2와 요인 3은 각각 대장균군과 일반세균이 수질기준을 초과하는 곳이 많아 오염원인으로 생각할 수 있으며 이는 수원이나 배수과정에서 가축분뇨, 생활하수 등의 유입이 원인인 것으로 판단된다.

표 2-3-2 지하수의 회전요인행렬(풍수기)

Term	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Conductivity	.95528	-.06061	.13326	.08771
Hardness	.94413	-.11014	.13118	.00252
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	.92633	.07486	-.08973	.07247
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.85126	-.06026	-.15713	.31052
E-Coli	-.04032	.82406	-.03464	-.10638
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-.24563	.71178	-.10488	-.02427
Zn	-.19681	-.66452	-.27524	.09355
Fe	-.04850	-.14681	.83488	.05807
Mg	.10746	.19921	.78448	-.03870
KMnO <sub>4</sub> CONSUMPTION	.09680	-.18307	-.12385	.80849
Bacteria	.06648	-.01432	.20403	.77991
pH	-.35483	.04458	.43246	-.53196



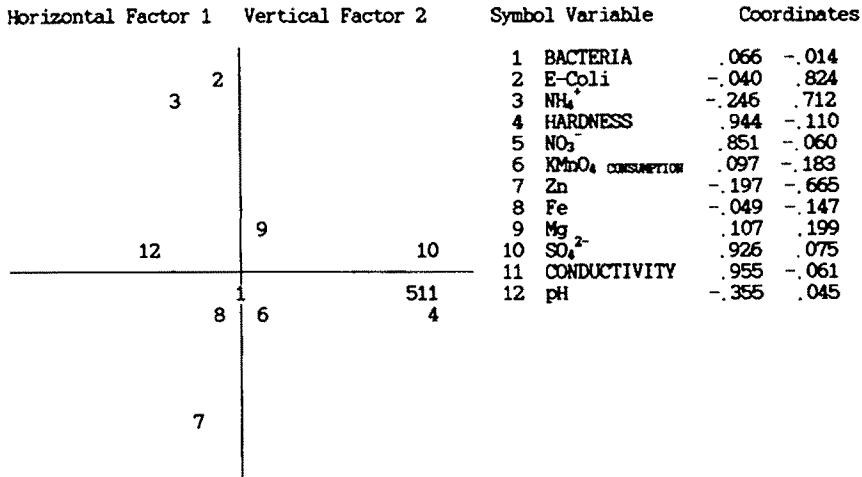


그림 2-3-3 요인1과 요인2의 회전후 요인적재량(지하수, 풍수기)

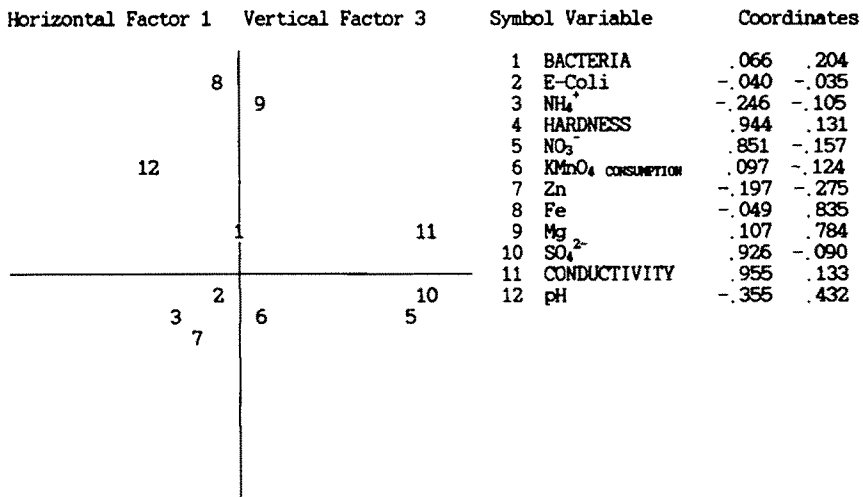


그림 2-3-4 요인1과 요인3의 회전후 요인적재량(지하수, 풍수기)

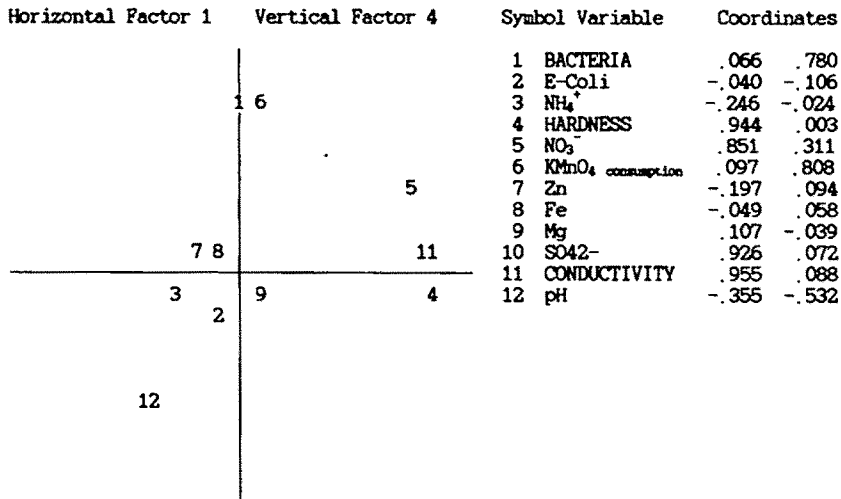


그림 2-3-5 요인1과 요인4의 회전후 요인적재량(지하수, 풍수기)

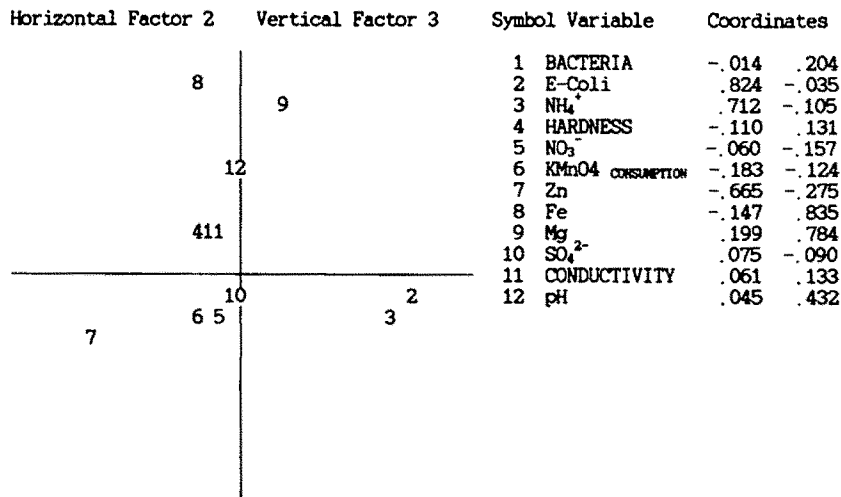


그림 2-3-6 요인2와 요인3의 회전후 요인적재량(지하수, 풍수기)

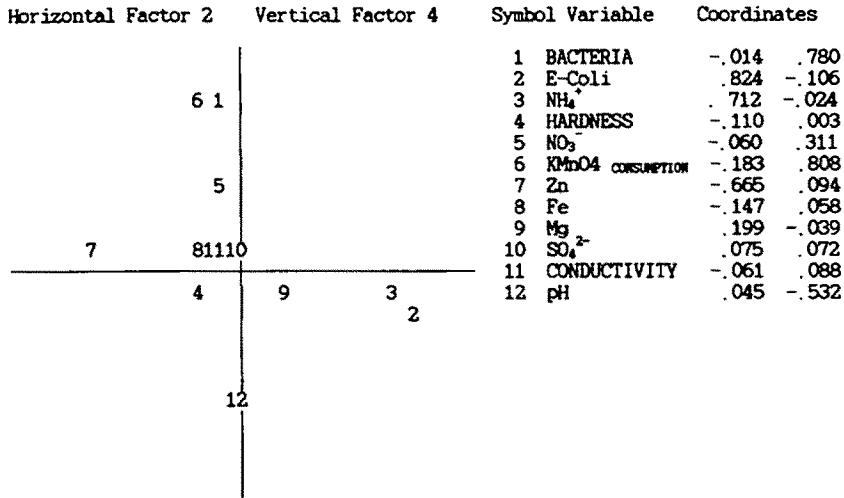


그림 2-3-7 요인2와 요인4의 회전후 요인적재량(지하수, 풍수기)

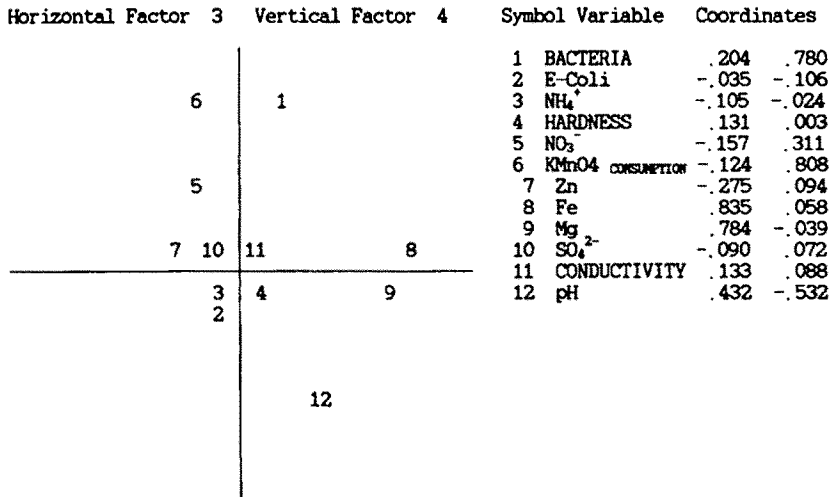


그림 2-3-8 요인3과 요인4의 회전후 요인적재량(지하수, 풍수기)

위의 분석 결과로부터 지하수를 수원으로 하는 간이상수도 오염원인에 대한 대책을 생각해 보면, 요인 1과 요인 3은 토질의 상태에 따른 변동이므로 오염원으로써 의미가 없으며, 요인 2와 요인 4는 오염물질의 지하침투에 의한 오염이므로 지하수 취수정 깊이를 심층화 시킬 경우, 오염물질의 지하수원 침투를 차단할 수 있을 것으로 판단되고 배수관 및 물탱크의 정비를 통해 미생물의 오염을 막아야 할 것이다.

#### 나) 지표수의 주성분분석

수원이 계곡수인 3개 수원, 6개 채수지점의 수질측정치로 주성분 분석을 실시하여 각요인의 고유치와 기여율을 산출하였다(<표 2-3-3>). 지하수의 분석에서와 같이 고유치 1.0을 기준으로 새로운 요인의 수를 결정한다면 요인 2까지 추출되고 이들의 고유치는 각각 9.07, 2.41이고 기여율은 75.6%, 20.1%이다. 그리고 추출된 요인 2까지의 누적기여율은 95.7%로 수원이 계곡수인 간이상수도의 수질변동의 전체분산을 95.7%까지 설명하고 있음을 나타내고 있어 매우 높은 설명력을 보여 주고 있다.

지하수 분석과 같이 VARIMAX 방식에 의해 요인을 회전시켰으며 회전 후의 요인행렬은 <표 2-3-4>와 같고 요인들의 적재형태는 <그림 2-3-9>에 나타내었다.

요인 1은 <표 2-3-4>와 <그림 2-3-9>에서도 볼 수 있듯이 대장균군, 아연, 전기전도도, 질산성 질소, 암모니아성 질소, 일반세균, 황산이온이 각각 0.984, 0.916, 0.910, 0.903, 0.900, 0.983, 0.718로 높은 정상관을 보이고 있으며 경도와 철이 -0.918, -0.764로 역상관을 나타내고 있다. 이것은 정상관을 보이고 있는 수질변수중 대장균군과 일반세균이 음용수 수질기준을 초과하고 있어 오염원인으로 볼 수 있으며 지표면에 존재하는 미생물이 강우에 의해 수원에 유입되는 것으로 판단된다.

요인 2는  $\text{KMnO}_4$  소비량, pH와 각각 0.976, 0.960 으로 높은 정상관관계를 보이고 망간과는 -0.919로 역상관을 보이고 있어 이들 수질변수가 조사대상지역에서는 수질기준에 크게 못미치고 있으므로 수질오염원인이라기 보다는 지역적 특성에 따

른 수질변동이라고 판단된다.

위의 분석결과를 보면 요인 1이 비점오염원의 성격을 띤 강우시 유입이나 기타 동물의 영향으로 판단되므로 오염원을 제어하는데 어려움이 있다.

표 2-3-3 지표수의 고유치와 누적기여율(풍수기)

Factor	Engenvalue	Pct of Var	Cum Pct
1	9.07363	75.6	75.6
2	2.41274	20.1	95.7
3	.32461	2.7	98.4
4	.16008	1.3	99.8
5	.02895	.2	100.0
6	.00000	.0	100.0
7	.00000	.0	100.0
8	.00000	.0	100.0
9	.00000	.0	100.0
10	.00000	.0	100.0
11	.00000	.0	100.0
12	.00000	.0	100.0

표 2-3-4 지표수의 회전요인행렬(풍수기)

Term	Factor 1	Factor 2
Hardness	-.91811	.38296
E-Cori	.98412	.11637
Zn	.91552	.29966
Conductivity	.91031	.37076
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.90318	.42175
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.90017	-.20197
Bacteria	.89356	.22263
Fe	-.76423	.63412
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	.71841	.69412
pH	-.07458	.97630
KMnO <sub>4</sub> CONSUMPTION	.24807	.96010
Mg	-.38806	-.91964

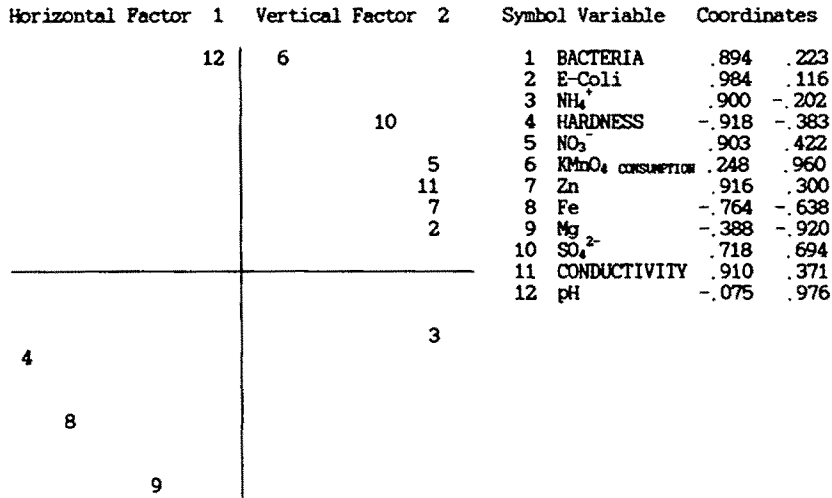


그림 2-3-9 요인1과 요인2의 회전후 요인적재량(지표수, 풍수기)

## 2) 저수기

### 가) 지하수의 주성분 분석

지하수가 수원인 23개 지역 55개 채수지점에 대한 수질측정치를 주성분 분석을 실시하여 산출한 고유치와 기여율을 다음 표에 나타내었다. 요인 1의 고유치는 3.92131, 기여율은 43.6%로써 이는 전체 수질변동의 분산중에서 요인 1이 43.6%를 설명하고 있음을 의미한다. 요인 2와 요인 3의 고유치와 기여율은 각각 1.31683, 1.02907과 14.6%, 11.4%를 나타내고 있다.

고유치 1.0을 기준으로 요인을 추출하면 요인이 3개가 되며 요인 1부터 요인 3까지의 누적기여율은 69.6%이다. 이것은 세개의 요인이 수원이 지하수인 간지 상수도의 수질변동의 전체 분산을 69.6%까지 설명하고 있음을 나타내고 있다.

표 2-3-5 지하수의 고유치와 누적기여율(저수기)

Factor	Engenvalue	Pct of Var	Cum Pct
1	3.92131	43.6	43.6
2	1.31683	14.6	58.2
3	1.02907	11.4	69.6
4	.95244	10.6	80.2
5	.82762	9.2	89.4
6	.59231	6.6	96.0
7	.22079	2.5	98.4
8	.11695	1.3	99.7
9	.02269	0.3	100.0

회전 후의 각 요인과 변수의 관계를 나타낸 것이 <표 2-3-6>이다. 표에서 볼 수 있듯이 요인1은 전기전도도, 경도, 황산이온, 질산성 질소, pH와 밀접한 관련이 있으며 요인 2는 일반세균과 대장균군, 암모니아성질소와 요인 3은 KMnO<sub>4</sub> 소비량과 높은 상관성을 보이고 있음을 알 수 있다.

요인 1은 <표 2-3-6>과 <그림 2-3-10, 2-3-11>에 나타난 바와 같이 전기전도도와 경도, 황산이온, 질산성질소, pH가 각각 0.978, 0.938, 0.893, 0.833, -0.638로써 높은 정상관을 보이고 있으며 요인에 대한 수질변수의 적재상태를 분석하여 보면 요인 1은 관련된 수질변수가 음용수 수질기준에 비해 매우 낮은 값을 나타내고 있고 지하수에서 상대적으로 높은 값을 나타내는 수질변수이므로 오염으로 간주하기 어렵고 토질의 상태나 기타 지하환경의 변화요인에 의한 자연발생적인 변동이라고 말할 수 있다.

요인 2는 <표 2-3-6>과 <그림 2-3-11, 2-3-12>에서 보는 바와 같이 일반세균과 대장균군, 암모니아성 질소가 각각 0.775, 0.564, 0.494로 높은 정상관을 보이고있다. 그리고 요인 3은 KMnO<sub>4</sub> 소비량과 0.835로 상관성을 보이고 있다. 요인 2와 요인 3은 각각 대장균군과 일반세균이 수질기준을 초과하는 곳이 많아 오염원인으로 생각할

수 있으며 이는 수원이나 배수과정에서 가축분뇨, 생활하수 등의 유입이 원인인 것으로 판단된다.

표 2-3-6 지하수의 회전요인행렬(저수기)

Term	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Conductivity	.97770	.01454	.03095
Hardness	.93776	.17316	.00271
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	.89274	-.02522	-.00288
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.83273	-.20457	.15094
pH	-.63763	.33375	-.34288
Bacteria	.07237	.77505	-.20685
E-Coli	-.19805	.56367	-.10488
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-.03981	.49439	-.27524
KMnO <sub>4</sub> CONSUMPTION	.20492	-.11285	.83488

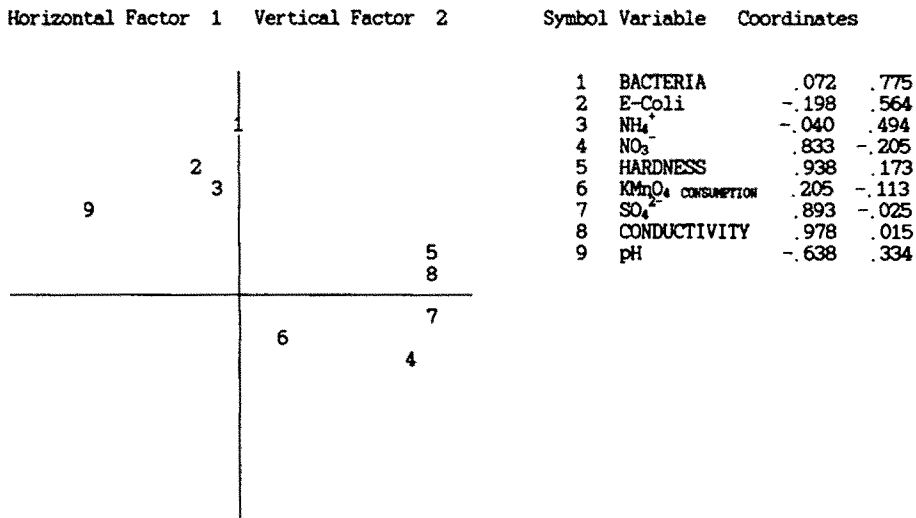
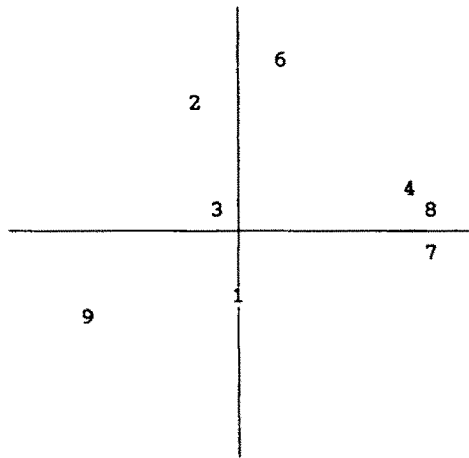


그림 2-3-10 요인1과 요인2의 회전후 요인적재량(지하수, 저수기)



Horizontal Factor 1 Vertical Factor 3

Symbol Variable Coordinates

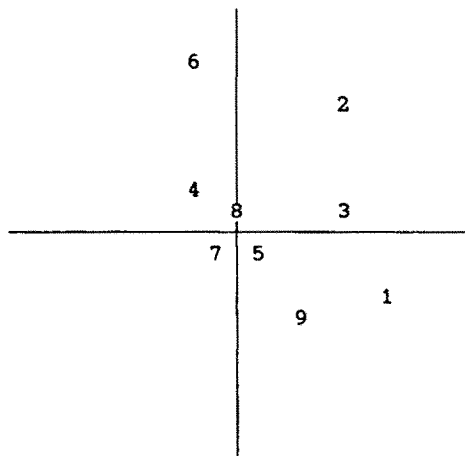


1	BACTERIA	.072	-.207
2	E-Coli	-.198	-.105
3	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-.040	-.275
4	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.833	.151
5	HARDNESS	.938	.003
6	KMnO <sub>4</sub> CONSUMPTION	.205	.835
7	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	.893	-.003
8	CONDUCTIVITY	.978	.031
9	pH	-.638	-.343

그림 2-3-11 요인1과 요인3의 회전후 요인적재량(지하수, 저수기)

Horizontal Factor 2 Vertical Factor 3

Symbol Variable Coordinates



1	BACTERIA	.775	-.207
2	E-Coli	.564	-.105
3	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.494	-.275
4	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-.205	.151
5	HARDNESS	.173	.003
6	KMnO <sub>4</sub> CONSUMPTION	-.113	.835
7	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-.025	-.003
8	CONDUCTIVITY	.015	.031
9	pH	.334	-.343

그림 2-3-12 요인2와 요인3의 회전후 요인적재량(지하수, 저수기)

분석 결과를 보면 풍수기와 마찬가지로 요인 1은 토질의 상태에 따른 자연적인 변동이므로 오염원으로써 의미가 없으며, 요인 2와 요인 3는 오염물질의 지하침투에 의한 오염으로 보이므로 지하수 취수정 깊이를 심층화 시킬 경우, 오염물질의 지하수원 침투를 차단할 수 있을 것으로 판단되고 배수관 및 물탱크의 정비를 통해 미생물의 오염을 막아야 할 것이다. 그리고 갑작스런 오염이나 수질변화에 대처할 수 있는 간단한 처리시설(여과, 소독시설)을 갖추는 것이 바람직하다.

#### 나) 지표수의 주성분분석

수원이 계곡수인 2개 수원, 5개 채수지점의 수질측정치로 주성분 분석을 실시하여 각요인의 고유치와 기여율을 산출하였다(<표 2-3-7>). 지하수의 분석에서와 같이 고유치 1.0을 기준으로 새로운 요인의 수를 결정한다면 요인 3까지 추출되고 이들의 고유치는 각각 6.30, 1.43, 1.22이고 기여율은 70.0%, 15.9%, 13.6%이다. 그리고 추출된 요인 3까지의 누적기여율은 99.5%로 수원이 계곡수인 간이상수도의 수질변동의 전체분산을 99.5%까지 설명하고 있음을 나타내고 있어 매우 높은 설명력을 보여 주고 있다.

VARIMAX 방식에 의해 요인을 회전시켰으며 회전 후의 요인행렬은 <표 2-3-8>과 같고 요인들의 적재형태는 <그림 2-3-13, 2-3-14, 2-3-15>에 나타내었다.

요인 1은 <표 2-3-8>과 <그림 2-3-13, 2-3-14>에서도 볼 수 있듯이 경도, 황산이온, 전기전도도가 각각 0.999, 0.982, 0.871로 높은 정상관을 보이고 있으며 pH와 질산성질소 그리고 일반세균이 -0.999, -0.999, -0.972로 역상관을 나타내고 있다. 이것은 정상관을 보이고 있는 수질변수중에는 수질기준에 크게 미치지 못하는 수질항목과 관련이 있으므로 수질오염원인이라기 보다는 지역적 특성에 따른 수질변동이라고 판단된다.

요인 2는 대장균군과 암모니아성 질소가 0.918, 0.735로 높은 정상관관계를 보이고 있으며 이들 수질변수가 수질기준을 초과하는 지역이 있으므로 오염원으로 판

단된다.

위의 분석결과를 바탕으로 수원이 계곡수인 간이상수도의 오염원에 대한 대책을 고려해 볼 때, 요인 2가 비점오염원의 성격을 띤 강우시 유입이나 기타 동물의 영향으로 판단되므로 풍수기 지표수 주성분분석 결과와 마찬가지로 오염원을 제어하는데 어려움이 있다. 따라서 계곡수가 수원인 간이상수도의 오염에 대한 대책은 비점오염원에 해당되는 오염물질을 처리할 수 있는 간단한 정수처리시설인 여과와 소독시설을 갖추어야 할 것으로 생각된다.

표 2-3-7 지표수의 고유치와 누적기여율(저수기)

Factor	Engenvalue	Pct of Var	Cum Pct
1	6.30237	70.0	70.0
2	1.43383	15.9	86.0
3	1.22234	13.6	99.5
4	.04146	.5	100.0
5	.02895	.0	100.0
6	.00000	.0	100.0
7	.00000	.0	100.0
8	.00000	.0	100.0
9	.00000	.0	100.0

표 2-3-8 지표수의 회전요인행렬(저수기)

Term	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Hardness	.99942	-.02604	.01644
pH	-.99933	.01525	-.00130
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-.99918	.00227	.02475
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	.98285	-.16297	.06068
Bacteria	-.97288	.12060	-.07279
Conductivity	.87061	.00402	-.49149
E-Cori	-.39375	.91836	.03167
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.67783	.73458	.02716
KMnO <sub>4</sub> CONSUMPTION	.04783	.03443	.99804

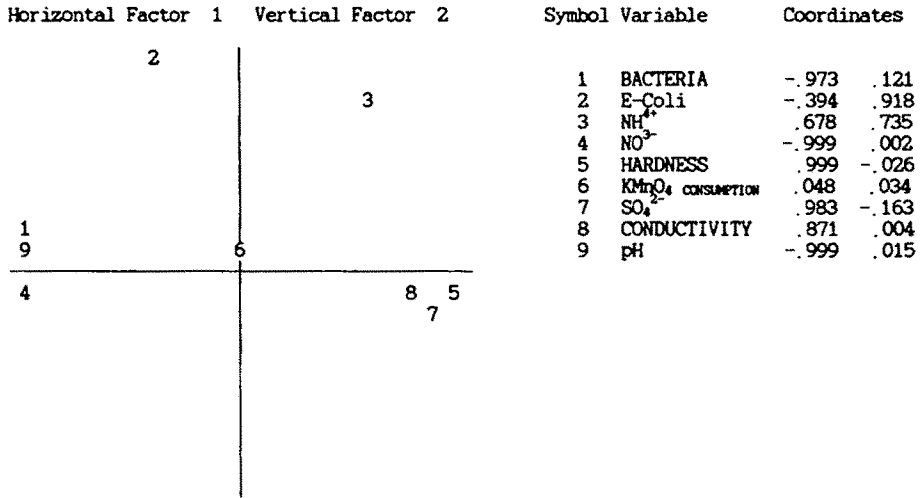


그림 2-3-13 요인1과 요인2의 회전후 요인적재량(지표수, 저수기)

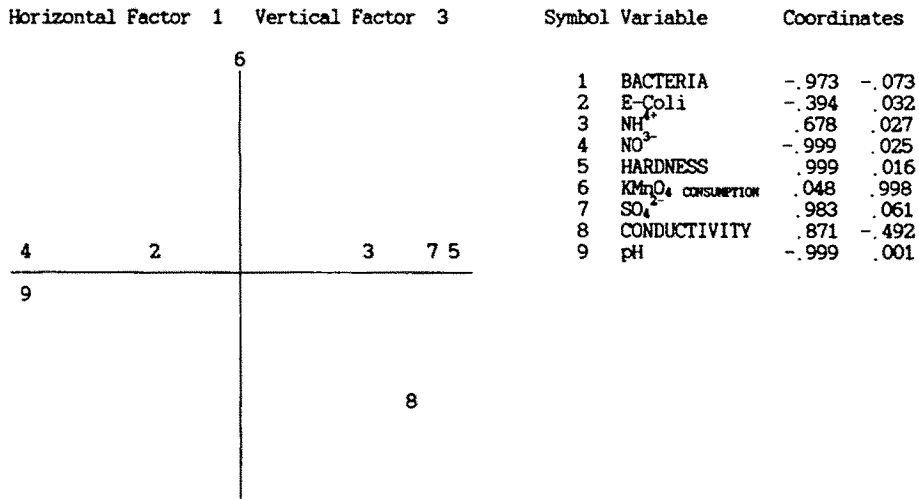


그림 2-3-14 요인1과 요인3의 회전후 요인적재량(지표수, 저수기)

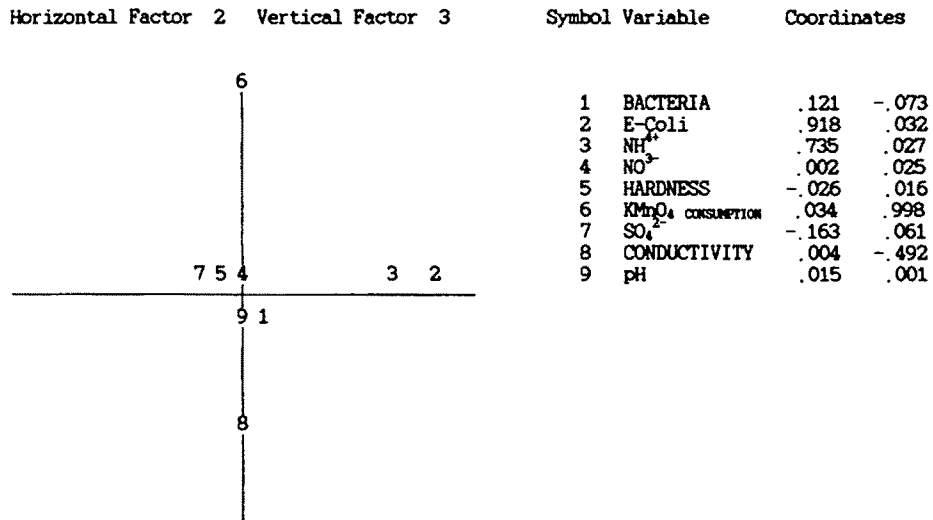


그림 2-3-15 요인2와 요인3의 회전후 요인적재량(지표수, 저수기)

#### 4. 정수처리현황

##### 가. 처리공정

정수처리시설은 수원에서 취수한 물을 먹는물 수질기준에 적합하도록 처리하는데 필요한 침전시설, 여과시설, 소독시설 등을 기본적으로 갖추어야 한다. 이때 수원이 계곡수 또는 호소수와 같은 지표수인지, 얇은 우물, 깊은 우물 또는 복류수와 같은 지하수인지에 따라 원수의 수질이 다르므로 처리공정이 달라지게 된다.

수원별 정수처리공정을 보면 지표수를 수원으로 하는 자연유하식은 침전, 여과, 소독의 순으로 정수처리하며, 지하수를 취수하는 양수식과 압축식은 소독처리만 하여 급수하는 것이 일반적이다.

- 자연유하식의 정수처리공정 : (취수)→침전지→여과지→소독시설→(저수탱크)
- 양수식의 정수처리공정 : (취수)→소독시설→(저수탱크)
- 압축식의 정수처리공정 : (취수)→소독시설→(압축탱크)

##### 나. 처리현황

연구대상지구의 정수처리현황을 보면 북일, 도고, 천북지구의 간이상수도는 정수처리를 하고 있으며, 자가수도의 경우는 원수를 그대로 이용하고 있다.

· 북일지구의 간이상수도는 자연유하식으로서 침전지, 여과지는 모두 갖추고 있으나 소독은 관리인이 직접 저수탱크에 염소를 투입하고 있다. 도고·천북지구의 경우는 양수식으로 침전지, 여과지는 없으며, 소독은 북일지구와 마찬가지로 관리인이 직접 염소를 투입하고 있다.

소독시설은 원수 또는 여과수에 적정량의 염소제를 주입하여 물속에 있는 병원균

등을 살균할 수 있어야 하며, 수도전에서의 잔류염소농도는 0.2mg/ℓ 이상이 유지되어야 한다. 그러나 연구대상지구의 간이상수도는 전문가가 아닌 일반관리인이 수동으로 직접 염소를 주입하고 있어 적절한 잔류염소농도를 유지시키기 어려우며, 전문가를 고용하기에는 비용이 많이 발생하는 문제점이 있다. 따라서 간이상수도와 같이 전문가가 상주하기 어려운 수도시설은 센서에 의해 염소농도가 자동으로 조절되는 자동염소주입장치를 설치하여 소독을 하는 것이 바람직 하다.

표 2-4-1 연구대상지구의 정수처리공정 및 처리현황

지 구 명	시설구분	시설종류	정수처리공정 및 처리현황		
			침전지	여과지	소독시설
북일지구	· 간이상수도 · 자가수도	자연유하식 양 수 식	○ -	○ -	○ (수동) ×
현도지구	· 자가수도	양 수 식	-	-	×
도고지구	· 간이상수도 · 자가수도	양 수 식 양 수 식	- -	- -	○ (수동) ×
천북지구	· 간이상수도 · 자가수도	양 수 식 양 수 식	- -	- -	○ (수동) ×
비 고	· 소독 : 유효염소량 70~75%의 차아염소산칼슘(정제) 사용				

## 5. 정수처리 모형실험

### 가. 처리대상물질 선정

#### 1) 연구대상지역의 상수원 및 수도전 수질특성

간이급수시설이 보급된 지역에서는 생활하수, 축산폐수, 분뇨 및 농경지에서 사용되는 비료 및 농약 사용 등에 의하여 수원의 수질상태가 상당히 오염되어 있어 매우 심각한 문제로 대두되고 있다. 본 연구대상지역의 상수원과 수도전에 대하여 1, 2차년도 연구기간 동안 <표2-5-1>같은 항목에 대해 상수원 및 수도전의 수질을 분석한 결과, 미생물 검사 항목인 일반세균과 대장균군, 건강상 유해물질  $\text{NO}_3\text{-N}$  등 3개 항목에 대하여 수질기준을 초과하는 것으로 나타났으며, 특히 일반세균 및 대장균군의 경우 상수원 및 수도전의 90%가 먹는물 수질 기준치를 상회하고 있어 취수원의 주된 오염원인이 되고 있다.

건강상 유해물질인  $\text{NO}_3\text{-N}$ 는 기준치를 초과하는 사례는 적으나 기준치보다 높게 나타날 경우 어린이에게 청백증(methemoglobinemia)이라는 질병이 발생할 가능성이 있다. 급수원별 오염현황을 보면 수원이 지표수인 경우는 물론이고 지하수 까지도 미생물에 오염된 경우가 많았고, 따라서 질산성 질소와 같은 이화학적 오염물질과 생물학적 오염물질에 대한 처리가 가능하면서 운영 및 유지관리가 용이한 여과장치 및 소독장치가 설치되어야 한다.

표 2-5-1 상수원 및 수도전 수질조사항목

구 분	내 용
미생물 검사항목	일반세균, 대장균군
건강상 유해물질	$\text{Cr}^{6+}$ , $\text{NH}_3\text{-N}$ , $\text{NO}_3\text{-N}$
심미적 영향물질	경도, $\text{KMnO}_4$ 소비량, Cu, pH, Zn, Fe, Mn, 탁도, $\text{SO}_4^{2-}$



## 2) 국내 간이급수시설의 수질문제 및 현황

환경부에서 실시한 먹는물 수질검사에서 간이상수도 295개소(광역시 : 19개소, 시·군 : 276개소)를 대상으로 먹는물 수질기준 43항목 및 잔류염소농도를 상반기와 하반기로 나누어 수질 측정조사 결과를 아래 표에 나타내었다. <표2-5-2>는 수질기준을 초과한 간이상수도수와 기준초과 항목을 나타낸 것이며 유기물질 기준을 초과한 곳은 검출되지 않았다.

<표2-5-3>은 기준초과 항목을 세부적으로 분류한 것이다. 지하수가 수원인 곳에서는 대장균군, 일반세균, 질산성 질소 등이 수질기준을 초과하는 곳이 많았으며, 계곡수와 용천수에서는 대장균군, 일반세균, 탁도 등이 먹는물 수질기준을 초과하는 곳이 많은 것으로 나타났다.<sup>1)</sup>

강원도 일원에 대하여 서울대학교 보건대학원에서 조사한 급수원별 오염현황을 결과에도 지하수가 수원인 지역에서는 질산성질소, 대장균군과 일반세균의 기준초과가 많았고, 계곡수와 용천수에서는 탁도, 대장균군, 일반세균등이 먹는물 수질기준을 초과하는 것으로 나타나,<sup>2)</sup> 본 연구대상지역에서 분석된 수질특성과 유사한 양상을 보이고 있다.

표 2-5-2 간이상수도 수질기준 초과 개소수 및 초과항목 (환경부 조사결과)

구 분	간이상수도 시설수	기준 초과수	기준초과항목				
			소 계 (43항목)	미생물 (2항목)	건강상 유해물질		심미적 물질 (16항목)
					무기 물질 (10항목)	유기 물질 (15항목)	
상반기 (1996.4.1 ~ 5.31)	295	44 (14.9%)	68	42	14	0	12
하반기 (1996.9.1 ~ 10.31)	295	69 (23.4%)	123	66	18	0	39

1) 환경부, 먹는물 수질검사결과, 1996

2) 이홍근외 2인, 상수취약지역의 안전급수에 관한 연구, 1993

표 2-5-3 세부기준 초과항목

항목	미생물항목		건강상 유해물질			심미적 영향물질									
	heterotr ophs	E.coli	F	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	hardn ess	color	pH	Cl <sup>-</sup>	total solids	Fe	Mn	turbidity	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Al
상반기	19	23	6	-	8	2	-	3	-	3	-	-	-	1	2
하반기	32	34	6	1	10	3	4	1	5	6	2	5	3	2	7

### 3) 선정기준에 따른 처리대상물질 도출

처리대상물질은 여러 가지 조건들에 의해 복합적으로 선정될 수 있는데, <표2-5-4>와 같은 사항을 고려하여 처리대상물질을 선정하였다.

표2-5-4 처리대상물질 선정기준

구 분	선정 기준
1	1,2차 조사된 연구대상지역 상수원과 수도전의 수질기준 초과물질
2	국내 간이상수도 수질기준 초과물질
3	문헌 및 관련자료에서 제시하는 문제가능성이 높은 미량유기물질

이들을 기준으로 볼 때, 연구대상지역의 상수원과 수도전에서 분석된 수질항목중 기준 초과항목으로 도출된 물질과 국내 간이상수도 기준초과항목을 중심으로, 수질 오염도가 전반적으로 높은 일반세균, 대장균군과 탁도, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N과 미량 유기물의 총량지표로 사용되는 KMnO<sub>4</sub> 소비량 및 용존유기물의 25%를 차지하며 THM전구물질로 작용하는 부식질(Humic acid), 그리고 지하수를 상수원으로 사용하는 지역에서 문제수질로 도출되는 경도등을 처리대상물질로 선정하였다.

## 나. 소규모 정수처리기법 종류 및 특성분석

본 연구에서 제시된 처리대상물질들을 적절히 처리할수 있는 정수기법선정을 위하여 소규모의 간이급수시설에 적용가능한 단위공정별 제거특성과 기술수준과 관련 기술자료를 토대로 원수 수질에 따른 일반적인 정수처리방법 등을 검토하였다.

### 1) 간이급수시설에 적용가능한 단위공정의 종류 및 특성

농어촌지역의 간이급수시설 중 일부 지역에서만이 염소소독장치를 설치하여 물을 처리하고 있으며 대부분의 시설에서는 수원에서 원수를 취수하여 처리하지 않고 급수관을 통하여 공급하는 실정으로 공급되는 상수의 수질은 먹는물 수질기준에 미달 되는 경우가 대부분이다. 수원이 지표수인 경우는 물론이고 지하수 까지도 미생물에 오염된 경우가 많고 특히 지표수인 경우 계절별 수질변동이 심하여 경제적여건과 운영여건을 고려하여 간단한 소독장치와 여과장치의 설치가 필요한 것으로 지적되고 있다.

미국 EPA에서는 우리나라의 간이상수도과 비슷한 개념의 간이급수시설인 소규모 급수시설(small water supply system : 급수인구 25인(또는 15가구)이상 3300인 이하의 시설)에 대해 낮은 초기건설비와 운영비, 간헐적인 운전과 유지관리가 용이하며 슬러지 문제가 없는 정수처리기법들을 제시하고 있다.

그 대표적인 기법으로는 완속모래여과, 규조토여과, 막분리, 염소살균등과 미량유기물질과 무기오염물질 제거와 같은 특정 처리대상물질에 대해서는 활성탄흡착, 역삼투와 이온교환법 같은 기법들을 제시하고 있다.<sup>3)</sup> 우리나라 간이급수시설의 구분은 급수인구 5,000명 미만 또는 1일 공급량 1,000톤 미만인 간이급수시설에 대해 간이상수도라 정의하고 있다.

3) 국토개발연구원, 외국의 간이상수도 사례조사, 1994

환경부에서 표준 정수기법으로 원수의 질과 양에 따라 침전을 병행한 완속모래여과, 여과후 소독공정 등을 제시하고 있다.<sup>4)</sup> 본 절에서는 미국 EPA와 환경부에서 제시하고 있는 정수처리기법을 중심으로 여과기법중 완속모래여과와 콤팩트한 시설크기로 간이급수시설에 사용례가 있는 구조토여과 그리고 막분리법, 소독공정을 중심으로 검토하였다.

### 가) 완속모래여과

완속모래여과법(Slow sand filter system)은 응집하지 않는 물을 약 1미터 깊이의 모래층에 시간당 0.1미터의 여과속도로 통수시킨다. 미생물의 제거는 여상 표면에 숙성된 생물막 내에서의 생물학적 과정에 의하여 촉진되며, 유입수가 생물막을 통과할 때 생물학적 작용에 의해 유기물중 일부는 분해되고 불활성 부유입자는 물리적으로 체분리 되어진다. Ponyer와 Slade<sup>5)</sup>에 따르면 시험규모의 완속모래여과지를 사용할 경우에 Giardia cyst의 제거율은 새로운 모래로 충전한 경우에 제거율이 98% 이상으로, 생물여과막이 형성된 후에는 cyst의 제거가 거의 100%에 근접하는 것으로 보고하고 있다.

생물막이 두꺼워지고 모래층 상부가 막힘으로서 여과층의 손실수두가 일정수준에 도달하면, 여과지에서 유입수를 배출시킨 후 여과지 상부를 제거해야 한다. 제거주는 물의 탁도에 따라 달라지는데, 진흙성분이나 조류가 많이 포함된 원수를 처리하는 경우 1 - 2주간 정도로 짧아지며, 양호한 원수를 여과하는 경우에는 수개월간 지속될 수 있다. 완속여과지는 복잡하지도 않고 간단하나, 원수의 수질이 양호한 경우(통상 원수의 탁도가 10NTU미만)에만 유효하게 사용될 수 있다.

Legend<sup>6)</sup> 등은 오레곤주의 인구 310명인 Westfir시에 완속여과를 설치하여 실험

4) 환경부, 간이상수도 설치 및 관리요령, 1995

5) Ponyner, S. F. B. and Slade, J. S. , The removal of virus by slow sand filtration, Progress in Water Technology, 9:75-88, 1977

6) David, E., Leland and Mel Damewood III, Slow sand filtration at small systems in oregon, Journal AWWA, 82(6), 50-59, 1990

실 규모로 실험한 결과, 평균적으로 총대장균 99%, 분변성 대장균군 100%, 탁도 50%의 제거율을 각각 나타내었다. 원수의 평균 탁도는 1.5~2 NTU 이었고 DO는 높고, algae, 색도, 침전물질이 거의 나타나지 않는 양호한 수질 상태이기 때문에 완속모래여과가 적합한 것으로 보고하고 있다. 박테리아와 유기물질을 제거하므로 염소소독시 염소량을 줄일 수 있고, 염소소독 부산물의 생성을 적게 할 수 있다. 또한 Giardia포낭을 제거할 수 있기 때문에 지표수를 사용하는 간이상수도에서는 유용한 정수처리 기법이다.

Visscher<sup>7)</sup>에 따르면 완속모래여과를 통해 유기물질의 60~70%를 감소시키고, 철과 망간도 제거하며 중금속의 경우 30~95%를 감소시킨다고 보고하였다. 또한 완속여과를 실시하면 물을 소독하기 위해 필요한 염소농도를 상당히 절감시킬 수 있는 장점이 있다고 하였다.

완속여과지내 모래의 입경은 0.15~0.40mm (0.3mm가 가장 일반적)가 효과적이며, 균등계수는 1.5~3.6 범위이며 주로 2인 것을 사용하고, 여재 깊이는 0.46~1.52 m 범위로 0.9 m가 일반적이다. 지지층으로 사용되는 자갈층의 깊이는 0.15~0.91 m인데 주로 0.45~0.60 m로 설치한다. 전처리 시설이 없는 경우 원수를 여과하는 속도는 0.04~0.40 m/h 정도이며 주로 0.07~0.12 m/h 로 하며, 손실수두 역시 0.76~4.3 m 로 범위가 넓으나 주로 0.9~1.5 m가 일반적이다. 손실수두를 초과하는 경우 모래 표면을 13~50 mm 정도 제거하도록 하며 전형적인 모래 교체주기는 원수의 수질과 여과율에 따라 1~6 개월이다.<sup>8)</sup>

## 나) 규조토 여과

단단한 지지대 속에 규조토 층을 설치하고 원수를 통과시키면 원수내의 부유물질이 여과되는 방법으로 압력모래여과와 같은 여과속도로 유입수를 처리할 수 있다.

7) Visscher, J. T., Slow sand filtration: design, operation and maintenance, Journal AWWA, 82(6), 67-71, 1990

8) 환경부, 간이상수도 설계지침 및 관리요령, 1996

규조토여과는 진공식과 압력식이 있는데 적절히 운영되면 cyst와 탁도제거에 효과가 있고, 운전이 용이한 장점이 있다. 그러나 10NTU미만의 탁도에 적용이 가능하고, 운전시 규조토의 두께가 일정하게 유지되어야 하는 점과 virus제거용 여과지와 응집제가 규조토 여과전 추가되어야 하는 단점이 있다.

#### 다) 막분리에 의한 처리공정

막분리는 물리적인 방법으로 액체중에서 고형물을 분리하는 기술이다. 즉, 망으로 물을 거르는 것과 다를 바 없다. 화학반응 및 상변화가 수반되지 않고 막의 pore size에 따라 불순물을 제거하는 기술로서 원리는 단순하다.

정수처리에 이용될 수 있는 막분리법으로는 역삼투법(Reverse Osmosis, RO), 저압 역삼투법, 나노여과(Nanofiltration, NF), 한외여과(Ultrafiltration, UF) 및 정밀여과(Microfiltration, MF) 등이 있다. 이중 저압RO막과 NF막 등이 UF막과 MF막보다는 트리할로메탄 및 미량유기오염물질의 제거에 유용한 것으로 보고되고 있다.<sup>9)</sup> <표 2-5-10>는 막분리 공정별 특성비교를 나타낸 것이다.

막분리공정의 기본적인 메카니즘은 확산, 이온 반발작용 그리고 크기배제이다. 확산은 농도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로의 용매 물질전달은 두흐름이 반투막에 의해 분리될 때 일어난다. 높은 농도의 용액쪽으로 상투압보다 더 큰 압력을 작용하면 용매보다 용액의 물질전달이 더 크게되어 유출수는 용매농도가 감소하게 된다.

세공크기에 의한 용매분리는 체걸음에 해당하는 것으로 용액중에 큰 용질은 물리적으로 막을통과 하지 못하고 배제 혹은 걸러진다. 막은 작은 분자에 해당하고 체걸음에 의존하는 막공정에서 막을 통과한다.

---

9. 안규홍, 권지향, . 막분리를 이용한 중수도 기술, 11(6), 32-37, 1993

정밀여과나 한외여과의 경우 제거기작이 바로 체거름에 의해 이루어지고, 나노여과나 역삼투의 경우는 전하반발작용 혹은 확산을 이용한 기작에 의해 오염물질들이 배제되며, 확산의존 막공정에 의한 오염물질 배제능은 전하의 크기에 따라 증가한다.<sup>10)</sup>

표 2-5-5 막분리 공정별 특성비교<sup>11)</sup>

구분	MF, UF	NF	RO
Rejection	Macromolecules, Colorinity, Turbidity virus	Ca <sup>++</sup> , Mg <sup>++</sup> Multi - charged ion	Single charge ion
Pore size	> 수nm	~nm	
Operating Pressure	< 10 bar	< 30 bar	< 50 bar
Application	Removal of turbidity and colorinity	Potable water	Potable water
Etc.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Removal of turbidity in groundwater</li> <li>▶ Most economic</li> <li>▶ Hard to remove low molecular-weight organics</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ More economic than RO</li> <li>▶ Hard to remove mono-valent ion</li> <li>▶ Removal of pesticide</li> <li>▶ Replace RO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Most popular</li> <li>▶ Potable water</li> <li>▶ seawater</li> </ul>

10) Michel E. Williams and Dibakar Bhattacharyya, Roderick J. Ray and Scott B. McCray, Selected applications, Membrane handbook 337, 1992

11) 이정학외 2인, 막분리공정에 의한 정수처리, 대한환경공학회지, 17, 4, 1-15, 1995

막분리 공정을 정수처리에 어떻게 이용하는 것이 최적인가는 아직 연구중에 있으며 현재까지 제안되어 있는 공정중 간이급수시설에 적용가능한 가장 간단한 공정은 유입원수를 분리막으로 처리후 살균하는 막분리 단독공정이 제시되고 있다.<sup>12)</sup> 이 공정은 원수의 수질이 양호한 경우 MF막이나 UF막을 단독으로 사용하거나 MF막을 전처리로 이용한 후 UF막을 사용하여 탁도, 대장균군 및 부식질을 기존 정수처리공정보다 효과적으로 제어할 수 있다.

그리고, 합성유기오염물질이나 저분자 물질, 경도 및 색도가 다량 함유된 원수의 경우는 NF막과 RO막을 사용하여 90% 이상의 제거율을 얻을 수 있다. 이러한 막분리기술을 정수처리에 이용할 경우 상수원수(하천수, 호수 및 부영양화된 호소수)에 대해 응집제의 투입없이 기존의 응집침전, 여과처리와 동등, 그이상의 처리효율을 얻을수 있고, 자동화·무인화가 용이하여 간헐적인 운전에 대응할 수 있으며, 차지하는 소요면적이 적어 남는 부지에 전처리 강화와 특정 오염물질을 처리 할 수 있는 시설을 설치할 수 있고, 산화공정이 아니므로 부산물을 생성하지 않는 장점 등을 기대할 수 있다.

그러나 이러한 장점에 반하여 막분리 기술을 정수처리에 적용하는 연구는 불과 수년전부터 시작되었기 때문에 몇가지의 문제점도 내재하고 있는 실정이다. 연구되어야 할 문제점중 가장 주요하게 다루어져야 문제로는 막의 수명문제로 막의 기계적 강도는 상당히 크나 기계인 수명은 그다지 길지 않다. 여기서 수명이라 함은 막이 오염되어 차압이 상승하거나 유속이 저하되어 통상의 세정으로는 회복이 불가능해지는 것을 뜻한다.

이 단계에서도 적절한 약품세정을 하면 막의 눈막힘을 회복하는 것이 가능하기 때문에 완전히 막의 수명이 다하는 것은 아니나 여기에서는 위의 단계를 막의 수명으로 생각한다. 수명은 응집제를 첨가시켜 운전하면 연장될 가능성이 높지만 이는 막의 효용가치를 저하시키는 것이 되고, 유속을 작게 하면 막의 수명을 길게 할 수 있다. 따라서 막면적을 증가시키면 막의 수명은 연장될 수 있으며 막의 가격과 수명

---

12) Missimer, T. M., Water supply development for membrane water treatment facilities, Lewis Publisher, 1994



을 고려한 최적유속에 대한 연구가 진행되어야 한다. 응집제 없이 이용할 경우 막의 수명은 수년간 지속될 수 있으나 경제성을 고려한 최적설계법 및 운전방법과 막세정방법의 개발이 기대된다.

## 라) 침전

침전은 무거운 부유입자를 바닥에 가라앉히는 과정으로서 보통 정수장의 응집 - 혼화 후의 공정으로 다루어 진다. 일반 정수처리와 달리 간이급수시설에서 완속모래여과와 병행된 침전공정의 도입여부는 원수의 탁도와 대장균군, 질산성 질소의 농도 수준에 따라 결정된다.

환경부에서 제시하고 있는 처리기준<sup>13)</sup>에 따르면 대장균군(50ml MPN) 500이하, 년 평균 탁도 10도 이하 조건의 원수가 년 최고 탁도 10도 이하 또는 년 최고 질산성 질소농도가 30 - 40mg/l이하 일 때는 완속모래여과 전처리 공정으로 보통 침전지가 필요함을 요구하고 있다. 간이급수시설의 보통침전지는 응집제를 사용하지 않고 원수를 8시간 정도 체류시킴으로써 침전가능한 물질을 제거하는 시설로 간주된다. 부유물질의 제거율은 30% 내외이다. 부유물질에는 실트, 점토, 유기물질, 미생물 등이 있으며, 부유물질을 제거함으로써 침전후의 여과에서 여과지의 폐색 등을 방지하여 여과지 세척빈도를 감소시켜주는 있점을 기대할 수 있다.

## 마) 염소소독

소독방법으로는 염소소독, 오존소독등 여러 가지가 있으나 소독효과가 완전하고 대량의 물소독이 용이하며, 비용이 저렴하고 소독효과가 잔류한다는 점을 들어 염소소독을 많이 사용하고 있다.

염소제로는 NaOCl(액체, 차아염소산나트륨), Ca(OCl)<sub>2</sub>(분말, 입상, 차아염소산칼슘)

13) 환경부, 간이상수도 설치 및 관리요령, 1995

이 있으며, 물에 용해하여 차아염소산을 생성한다.<sup>14)</sup>

특히, 차아염소산칼슘과 차아염소산나트륨 같은 염소복합체는 소규모 간이상수도 시설에서 보통 물에 용해한 후 사용하기도 하고, 알약이나 분말로 된 것을 직접 투여하기도 한다. 이 중에서 간이급수시설에서 가장 많이 사용되는 것이 차아염소산칼슘으로 가루식과 알약식이 있다. 환경부에서도 간이급수시설의 표준 소독제로 차아염소산칼슘(75%)을 제시하고 있다.<sup>15)</sup> 염소주입은 통상 소독의 목적으로 여과후에 주입되는 후염소처리를 말하며 염소의 농도가 높을수록 소독이 효율적이고 속도가 빠르다. 그러나 염소를 계속 주입하면 불순물 파괴후 염소의 농도가 계속 증가하므로 보통 주입농도를 5mg/l이하가 되도록 한다. 유리잔류염소가 결합잔류염소보다 살균력이 세고, 염소와 원수의 접촉시간은 살균대상에 따라 다르며, 잔류염소농도(C)와 접촉시간(T)의 함수로서 결정된다.

접촉시간이 길면 길수록 소독효과가 높아지며 일반적으로 상온(10℃)에서 pH 7.0 일 때 CT는 <표2-5-6>같은 수준이 되도록 한다. 여기에서 제시한 염소접촉지수는 각각의 원수 수질에 따라 달라질수 있다. 염소접촉시간이외 염소의 살균력을 좌우하는 인자로는 pH, 수온, 산화가능물질, 알칼리도와 산도, 질소화합물, 미생물의 성질 등이 영향을 미친다. 그러나 소독공정에 염소를 사용하는 경우 수중의 Humic acid, Ethyl alcohol 등의 유기물과 반응하여 발암성 유해물질인 THM과 HAA 등의 소독 후 부산물이 생성되는 문제가 제기되고 있어, 염소소독을 대체하는 연구가 근간에 이루어지고 있다.

표2-5-6 수원의 종류별 염소접촉시간(C: 잔류염소 mg/l , T: 접촉시간, min)<sup>16)</sup>

수원의 종류	염소접촉지수(CT)
미여과 지표수	120이상
여과지표수	20이상
지하수	6이상

14) 오경두, 군용급수 시스템을 위한 정수처리 방안 연구, 육군사관학교 화랑대연구소, 1995

15) 환경부, 간이상수도 설치 및 관리요령, 1995

16) 국토개발연구원, 외국의 간이상수도 사례조사, 1994

## 2) 단위공정별 기술수준 검토

간이급수시설에 도입가능한 공정별로 제거가능한 대상물질과 기술수준을 검토하였다. 대상 단위공정은 기존 정수처리공정을 이루고 있는 완속여과와 응집-침전-급속여과를, 고도정수처리에서는 활성탄처리와 막분리 공정을 대상으로 대상물질별 제거특성과 기술확립수준을 파악하였다. <표2-5-7>는 각 단위공정별 제거특성을 대상물질로 구분하여 나타낸 것이고, <표2-5-8>은 소규모 처리시설의 기술수준을 비교한 것이다.

표 2-5-7 각 단위공정의 제거특성

처리법 대상물질	완속여과	응집, 침전 급속여과	활성탄 처리	막처리 (나노여과)
철	○	○	○	○
망간	○	○	×	○
암모니아성 질소	×	×	×	△
질산성 질소	×	×	×	△
미생물	△	×	×	○
증발잔류물	×	×	×	△
KMnO <sub>4</sub> 소비량	○	△	×	△
농약류	×	×	×	○

주: ○ 제거효과 큼, △ 어느정도 제거효과 있음, × 제거효과 없음

표 2-5-8 소규모 처리시설별 기술수준 비교<sup>17)</sup>

처리시설	적정처리기술	수준	비 고
탁도 및 미생물	· 완속여과 · 한외여과 / 나노여과 · Cartridge 여과	확립 新 新	· 운전조작간단, 관리비용저렴, 원수의 탁도가 낮아야함 (10NTU 미만) · 실험적, 비용고가 · 실험적, 비용고가
소독	· 염소 · 오존	확립 확립	· 가장 널리 이용되고 있음, 경제적. · 매우 효과적이거나 2차소독(염소)이 요구됨
유기오염 물질	· 활성탄 · Diffuse aeration	확립 확립	· 가장 효과적이거나 폐기물처리 문제 발생, 비용고가 · 제거효과가 편차가 심함
무기오염 물질	· 멤브레인 · 이온교환 · 입상활성탄	확립 확립 확립	· 효과는 좋으나 비용고가 · 효과는 좋으나 비용고가, 폐기물 처리문제 발생 · 라돈제거에 효과적, 폐기물 발생

### 3) 원수수질에 따른 정수처리방법

소규모 정수처리의 처리기법을 선정할 때 우선적으로 고려되는 것은 원수의 수질 특성이다. 원수수질에 따라 적용될수 있는 정수처리방법이 달라지므로 적정한 기준에서 기법선정이 이루어져야 한다. <표2-5-9>은 환경부에서 제시하고 있는 원수수질에 따른 상수처리방법을 나타낸 것으로 다양한 원수성상에 대응가능한 정수처리공정 선정기준을 제시하고 있다.

17) 국토개발연구원, 외국의 간이상수도 사례조사, 1994

표 2-5-9 원수수질에 따른 전형적인 상수처리방법<sup>18)</sup>

원수 수질	처리방법	원수상태	정수처리공정	
대장균군 50MPN/100ml 이하 일반세균 500MPN/1ml 이하 기타 항목은 수질기준에 적합	소독설비만으로 가능	탁도 1도	원수-소독-급수	
대장균군 1000MPN/100ml 이하 년평균 탁도 10도 이하 년평균 NO <sub>3</sub> -N 20 mg/ℓ 이하	완 속 여 과 법	침전지 불필요	년최고탁도 10도 이하 년최고 NO <sub>3</sub> -N 30 mg/ℓ 이하	원수-완속여과-소독-급수
		보통침전지	년최고탁도 10~30도 년최고 NO <sub>3</sub> -N 30~40 mg/ℓ	원수-보통침전-완속여과-소독-급수
		약품처리 침전지	년최고탁도 30도 이상 년최고 NO <sub>3</sub> -N 40 mg/ℓ 이상	원수-약품침전-완속(급속)여과-소독-급수
상기 이외에	급 속 여 과 법	약품침전지 고속응집침전지	① 탁도 : 최저 10도 전후, 최고 약 1,000도 이하 ② 처리수량 변동폭이 적을 때	원수-고속응집침전-급속여과-소독-급수

## 다. 정수처리공정의 선정 및 모형실험

### 1) 정수처리공정선정

#### 가) 적용가능한 단위공정 도출

간이급수시설에 적용가능한 단위공정의 선정기준은 미국 EPA와 환경부에서 간이급수시설의 정수처리공정 검토사항으로 제시하는 조건과 처리대상원수의 성상에 따른 적용성 및 처리대상물질의 다양성을 고려하여 기존 정수처리 및 고도처리 단위공정 중에서 적용가능여부를 검토하였고, 실험운전조건의 설정을 위하여 국내의 유사 공정의 적용사례 연구를 통하여 최종 선정하였다.

선정된 단위공정들은 기존 정수처리 단위공정중 농어촌 지역 등의 소규모 정수처

18) 환경부, 간이상수도 설치 및 관리요령, 1995

리에서 기술적 안전성과 경제성이 입증된 완속모래여과법과 염소소독공정을 선정하였고, 완속모래여과에서 처리가 어려운 경도 등의 무기염류와 미량유기물질의 처리를 위하여 고도정수처리 단위공정중 선택적 분리와 자동화 및 간헐적인 부하에 대한 운전이 가능한 막분리법을 부가적으로 선정하였다.

#### 나) 정수처리공정 구성 및 공정별 특성

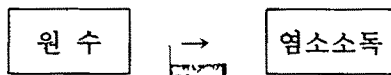
기존 정수처리 및 고도정수처리 단위공정 중 적용가능한 공정으로 선정된 완속모래여과를 중심으로 염소소독과 막분리법을 조합, 3가지 유형의 정수처리 시스템을 구성하였다. <표2-5-10>은 본 연구에서 조합구성한 정수처리공정을 나타낸 것이다.

표 2-5-10 완속모래여과를 중심으로 한 공정

구 분	유 형	시스템 구성
완속모래여과를 중심으로한 공정	공 정 I	원수 + 염소소독
	공 정 II	원수 + 수직모래여과 (80, 60, 45cm) + 염소소독
	공 정 III	원수 + 수직모래여과 (80, 60, 45cm) + 막 + 염소소독

#### (1) 공정 I의 모형 및 특성

##### ① 모형



##### ② 특성

공정 I은 유입원수에 대하여 소독만 부가한 시스템이다. 이 공정은 원수의 수질이 대장균군(50mlMPN) 25개 이하 또는 일반세균(1ml)이 500개 이하의 원수가 미생물항목을 제외한 기타항목은 먹는물 기준에 적합할 때 적용가능한 공정으로, 일

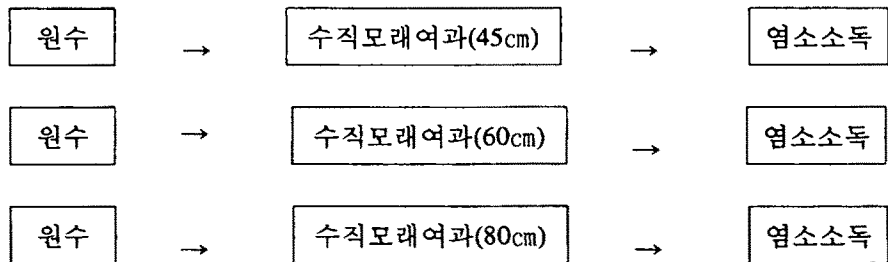
반적인 간이급수시설의 정수처리공정이라 할 수 있다. 또한 철과 망간을 산화시키고, 색도를 감소시키기 위하여 실시된다.

국내 간이급수시설 중 소독장치를 갖춘 지역은 대부분 이 공정을 따르고 있으나, 소독장치를 갖춘 지역에서도 소독을 실시하지 않는 시설이 대부분인 것으로 보고되고 있으며, 염소소독을 실시하는 경우에도 대부분 손으로 차아염소산칼륨을 직접 투입하는 경우가 많은 것으로 나타났다. 특히 배수지에 유량계가 부착되어 있지 않아 관리자의 경험에 의하여 염소제 양을 결정하고 있어, 과다주입으로 인한 약품손실과 심미적인 악영향을 발생시키며, 잔류염소 농도가 너무 높으면 THM이나 HAA등의 염소 살균부산물 생성되어 인체에 해로우며, 잔류염소 농도가 너무 낮으면 수인성 질병을 일으키는 *Giardia* 와 *Cryptosporidium* 등이 다시 활동을 하게 되므로 적절히 잔류농도를 유지하는 것이 중요하다. 따라서 염소를 자동으로 주입할 수 있는 염소 자동 주입장치의 개발과 실용화가 고려되어야 한다.

본 공정에서는 소독장치의 개선을 위하여 연속적인 주입과 계측이 가능하고, 유량 변동시에도 효과적으로 살균이 이루어지도록 잔류염소가 유지될 수 있는 장치를 이용, 공정을 구성하였다.

## (2) 공정 II의 모형과 특성

### ① 모형



### ② 특성

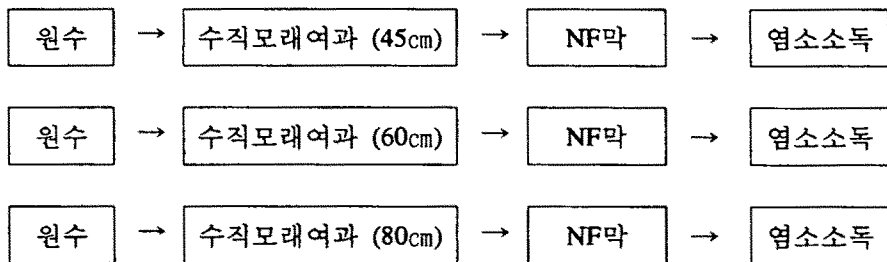
본 공정은 공정 I 에 완속모래여과를 추가한 공정으로, 취수한 원수를 응집제 투

입 없이 수직모래여과지를 통하여 일일 1㎡당 4-5 ㎡의 속도로 여과한후 염소소독을 한 후에 송수하게 된다. 완속모래여과지는 모래층 표면의 얇은 생물여과막의 기능에 의해서 현탁물을 억류하고 용해성 성분의 몇가지를 산화하거나 흡착해서 제거하거나 무해화하는 것으로 박테리아와 유기물질(탁도, 과망간산칼륨 소비량과 색도)을 제거하므로 염소소독시 염소량을 줄일수 있고 염소소독후 부산물 생성을 적게 할 수 있다. 특히 Giardia 포낭을 제거할 수 있기 때문에 지표수를 급수원으로 사용하는 간이급수시설에서는 유용한 공정이라 할 수 있다.

그러나 원수의 탁도가 높은 경우는 여과속도가 느리고 여과지의 세척빈도도 늘어나 원수의 수질이 양호한 경우(통상 원수의 탁도가 10NTU미만)에만 유효하게 사용할 수 있다. 본 공정에서는 완속모래여과지의 여과지 깊이에 따라 분류후 소독공정을 병행, 구성한것이다.

### (3) 공정Ⅲ의 모형과 특성

#### ① 모형



#### ② 특성

본 공정은 공정Ⅱ에 막분리 공정을 추가하여 부식질 등의 미량유기물질과 경도성분과 황산이온의 제거를 목적으로 구성하였다. NF막은 RO막의 범주로 분류될 수도 있지만 해수담수화에 이용되었던 지금까지의 RO막의 조작압(40~60bar)에 비하여 상당히 저압(5~10bar)으로 운전할 수 있고, 탈염율이 낮기 때문에 저압RO막 또는 루즈RO막이라고도 불린다. NF막의 분획분자량은 UF막과 종래의 RO막의 중간에 위



치하지만 분획분자량이 대단히 작은 타입의 UF막(1,000 Dalton전후)과도 부분적으로 중복된다. NF막의 총염류 제거율은 50~70% 정도이지만 2가 이온인 칼슘과 마그네슘의 제거율은 높고, 저분자량의 유기물 제거율도 높으므로 경도와 유기물농도가 높고 탁도가 낮은 수원에 대해서도 NF막여과를 이용한 정수처리가 행해지고 있다.<sup>19)</sup>

## 2) 정수처리 모형실험

### 가) 실험방법

실험에 사용된 원수는 수도수를 일정기간 정체시킨 후 축산폐수와 질산성질소의 표준액인 질산칼륨 및 황과 카올린 등을 사용하여 기존 급수시설에 유입될수 있는 오염물질과 유사한 범위로 유기물과 탁도, 미생물 등의 농도를 조절하였고, 부식질은 관련자료에서 제시하는 범위로 상용화된 시판용 Humic acid(WACO사)를 사용하여 주입하였다. 경도의 경우는 수도수에서 나타나는 농도를 실험원수에 직접 적용하였다. 그리고 소독장치에 사용한 액체염소용액은 상용화된 유효염소 10%의 차아염소산나트륨 수용액을 이용하였다.

<표2-5-11> 은 본 실험에 사용된 원수에 대한 수질분석결과를 나타내었다. 아래와 같이 조제한 원수를 이용하여 실험실에서 제작한 실험장치로 모래층 깊이에 따른 수직완속여과 실험, 막분리 실험, 자동화된 잔류염소주입조절 장치를 이용한 소독실험을 실시하였다.

채수된 시료의 항목별 분석방법으로는 수온과 pH는 pH meter (HACH model 43800)로, KMnO<sub>4</sub> 소비량은 KMnO<sub>4</sub> 적정법으로, 잔류염소는 Standard method의 DPD colormetric method로 측정했다. Gilford사의 UV-Spectrometer를 사용하여 분석한 UV흡수물질 측정은 GF/C filter로 여과하여 증류수로 sample의 blank를 보정

---

19) Dykes, G. M., and Conlon, W. J., Use of membrane technology in Florida, J.AWWA, 81, 11, 43-46, 1989

한 후 해당과장에서(254nm) 흡광도를 측정하였다. 탁도측정은 HACH사의 2000N Turbidimeter를 사용하여 측정하였고, NH<sub>3</sub>-N는 인도페놀법으로, NO<sub>3</sub>-N은 HACH사의 DR 2000으로 측정하였다. 대장균군은 MPN법으로, 일반세균은 수질환경오염 공정시험법 중 일반세균 시험법에 따라 Nutrient 배지를 사용하여 측정하였다.

표 2-5-11 원수 수질분석 결과

항목	범위
온도 (°C)	12.60 - 21.60
pH	7.05 - 7.69
KMnO <sub>4</sub> 소비량 (mg/l)	10.89 - 22.89
NH <sub>3</sub> -N (mg/l)	1.65 - 8.43
NO <sub>3</sub> -N (mg/l)	12.56 - 21.30
탁도 (FTU)	3.50 - 8.90
경도 (mg/l)	55 - 69
부식질 (mg/l)	5 - 10
대장균군 (count/100m <sup>3</sup> )	15 - 9.3×10 <sup>5</sup>
일반세균 (count/ml)	108 - 4.1×10 <sup>6</sup>

## 나) 실험장치

본 연구를 수행하기 위하여 제작한 실험장치는 원수공급조, 수직완속여과지, 막분리장치와 고울펌프, 염소혼합을 위한 관형반응기(line mixer)를 포함한 Skid Die, 잔류염소 자동주입조절 장치, 1, 2차 처리수 저장조와 일부장치를 제어하기 위한 배전반으로 구성되어 있다. 실험장치의 전체적인 계통도는 <그림 2-5-1>와 같다.

### (1) 여과장치

## (가) 원수공급조

원수공급조는 원수공급펌프를 사용하여 원수량을 일정하게 수직완속여과지로 수송하기 위해 유량계를 설치하였으며, 펌프의 공회전을 방지하기 위해 shut down valve를 설치하였다. 원수공급조의 크기는 가로 80cm, 세로 80cm, 높이 40cm인 무색 투명한 아크릴을 이용하여 제작하였다.

## (나) 수직완속여과지

수직완속여과지는 10mm 두께의 무색 투명한 아크릴을 사용하여, 내경 35cm, 길이 190cm의 원통형을 제작하였고, 처리용량규모는  $0.8 \text{ m}^3/\text{day}$ 이고, 여과속도는  $10 \text{ m/day}$ 로 설계하였다. 여과지를 연속적으로 운전하기 위해서 원수를 펌프로 여과지로 공급하여 중력식 여과가 이루어지도록 하였고, 여과수를 일정범위 여과율로 배수시키기 위하여 유량계를 설치하였다. 여과지 구성은 하부층으로부터 굵은 자갈 10cm, 작은 자갈 10cm, 왕사 10cm로 하여 모래층을 지지하도록 하였으며, 0.3mm - 0.5mm의 직경을 가진 균등한 모래(균등계수: 1.7이하, 비중: 2.55 - 2.65)를 가지고 모래층을 각각 80cm, 60cm, 45cm로 충전하였다. 여과지 상부층에는 원수를 끌고루 살포시키고, 원수의 갑작스런 부하에 대비하여 스크린과 수심위 공간(30cm)을 두었다. 여과지 하부층에는 자갈층을 지지하기 위한 스크린과 여과집수장치를 설치하였다. 본 실험장치의 운전은 유량계를 설치하여 전 여과시간동안 일정범위의 여과율을 유지하기 위한 정속여과를 이용하며, 여과율 조절은 유입밸브와 유출밸브를 사용한다.

## (2) 막분리장치

본 연구에서 사용한 분리막은 나노여과막을 대상으로 하였다. 나노여과막은 거의 모든 용질을 배제하는 역삼투막과는 달리 염의 일부는 통과시키고 일부만을 배제

하며 유기물에 대한 분획분자량(Molecular Weight Cut Off)이 200-500이다. 따라서 나노여과막은 분자량이 10,000이상인 유기물을 배제하는 일반적인 한외여과막(Ultrafiltration Membrane)과도 구별된다. 나노여과라는 용어는 이러한 분획분자량 값이  $10^9\text{m}$  (nanometer)의 가상인 세공크기에 해당한다는 데서 유래한 것이다.<sup>20)</sup>

관련 장치는 분리막에 유입수를 공급하기 위한 고출력펌프와 나노여과막의 제거기 작이 주로 확상에 의해 이루어지므로 막오염(fouling)을 전처리장치인 Micro-Filter( $5\ \mu\text{m}$ )를 장착했으며, 투과속도와 유량의 변화를 확인할 수 있는 압력계 및 유량계 등을 Skid Die에 장착하였다. 운전조작의 유형은 단일통과(single pass)와 회분식(batch) 및 연속식(continuous) 등의 운전방식이 있으며,<sup>21)</sup> 본 실험공정에서는 단일 통과로 운전하였다. 운전조작은 장치도(그림 2-5-1 참조)에 나타낸 바와 같이 1차 처리수 저장조에 공급수를 채우고 농축부의 밸브를 완전히 개방하여 막내부에 과부하가 걸리지 않도록 한 후, 펌프를 가동시켜 공급수를 막모듈 내부로 유입시켜, 초기 투과압력을 변화시키면서 운전 하였다. 운전인자는 온도, 압력 및 원수의 농도가 주요한 요소로 작용하며 온도와 압력은 사용되는 막의 종류에 따라 선택되어진다. 사용된 나노여과막의 최대 유입압력은  $14.5\text{kgf}/\text{cm}^2$ 로 최대의 플럭스를 유지하기 위해 최대유입압력과 최소유입압력 사이에서 최적의 운전압력을 설정해야 한다. 일반적으로 NF막의 운전압력은  $5\text{kgf}/\text{cm}^2 - 14.5\text{kgf}/\text{cm}^2$  의 범위내에서 운전된다. <표 2-5-12>은 대상 나노여과막의 제원을 나타낸 것이다.

표 2-5-12 나노여과막의 제원

구분	크기 (관경×길이)	재료	모듈 형태	막면적 ( $\text{m}^2$ )	최고허용압력	허용 온도
	4인치×21 인치	복합 폴리아미드	나권형 (spiral wound)	2.97	$14.5\text{kgf}/\text{m}^2$	$45^\circ\text{C}$ 이하

20) J. Cadotte, R. Foster, M.Kim, R. Peterson and T. Stocker, " Nanofiltration Membrane Broaden the Use of Membrane Separation Technology" Desalination, vol 70, 77 ,1988

21) W.J.Conlon and S.A. McClellan, Membrane softing: a treatment process comes of age. AWWA, 47:23, 1989.

### (3) 소독장치

소독의 효과를 분석하기 위해 제작한 소독장치 구성은 자동비례주입펌프와 잔류염소지시조절계, Pid controller, 약품저장조, 관형반응기 형태의 line mixer 및 제어 배전반으로 이루어져 있다.

자동비례주입펌프는 약품저장조에서 약품을 0-3ml/min 범위에서, 외부신호에 의해 Diaphragm Stroke 수를 조절하여 약품을 비례 주입할수 있도록 하고, 잔류염소 지시조절계는 잔류염소측정부와 지시조절부로 구성되며, 잔류염소를 0-2mg/l 까지 측정하여 현상태의 잔류염소 농도를 나타내주며, Pid controller는 잔류염소지시조절계로부터 출력되는 신호를 받아 약품주입량을 연산, 목표 설정치에 근사할 수 있도록 비례주입펌프로 신호를 출력시킨다.

Line mixer는 내경 1.82cm, 길이 20cm의 관형반응기 형태로 내부에 나선형 baffle 인 element가 부착되어 배관상에 유입된 원수와 약품을 혼합해주며, 배전반은 기계 및 계기가 자동운전 및 수동운전을 할수 있도록 제어하는 기능을 담당하고 있다.

### 다) 실험결과 및 분석

#### (1) 장치 및 공정별 처리효율

##### (가) 여과모래층의 깊이에 따른 처리효율

모래층 깊이를 80cm, 60cm, 45cm로 구성한 수직완속여과지에 원수를 통과시킨 처리수의 항목별 수질분석결과와 처리효율은 <표2-5-13>와 같다. 처리수의 수온변화는 13.0 - 18.9℃로 원수와 비슷한 양상을 나타내었고, pH는 7.01 - 7.48로 원수에 비해 약간 낮게 나타났다.

<표2-5-13>에 의하면, 모래층 깊이가 80cm일때 원수중 KMnO<sub>4</sub>소비량에 대한 처리효율은 65.4% - 69.2%, NH<sub>3</sub>-N은 48.0% - 60.4%, NO<sub>3</sub>-N에 대해서는 59.8% - 67.5%, 탁도는 71.4% - 78.1% 였고, 60cm일때의 KMnO<sub>4</sub>소비량 제거율은 37.1% - 49.5%, NH<sub>3</sub>-N에 대해서는 32.5% - 42.6%, NO<sub>3</sub>-N와 탁도는 각각 44.6% - 50.8%와 59.7% - 64.2%의 처리효율을 보이고 있다.

45cm인 경우는 KMnO<sub>4</sub>소비량에 대해 5.4% - 9.2%, NH<sub>3</sub>-N와 NO<sub>3</sub>-N은 21.0% - 29.4%, 20.8% - 26.5%로 나타났고, 탁도에 대해서는 41.4% - 51.1%의 처리효율을 보여주고 있다. 대장균군과 일반세균의 제거율은 모래층 깊이에 상관없이 20-70%의 낮은 제거율을 보이고 있어, 여과수의 경우 먹는물 기준에 적합한 음용수를 공급하기 위해서는 소독공정이 추가되어야 한다.

표 2-5-13 여과모래층 깊이에 따른 처리분석 결과

항 목	Sand Depth 80			Sand Depth 60			Sand Depth 45		
	원수	처리수	처리 효율(%)	원수	처리수	처리 효율(%)	원수	처리수	처리 효율(%)
KMnO <sub>4</sub> 소비량 (mg/l)	14.77	5.12	65.4	15.83	9.96	37.1	12.47	11.79	5.4
	1160	3.59	69.2	13.57	7.86	49.5	13.20	11.98	9.2
NH <sub>3</sub> -N (mg/l)	8.95	4.66	48.0	9.05	6.11	32.5	3.95	3.12	21.0
	6.54	2.59	60.4	7.90	4.54	42.6	3.40	2.40	29.4
NO <sub>3</sub> -N (mg/l)	16.10	6.48	59.8	13.90	7.71	44.6	21.90	16.11	26.5
	14.50	4.72	67.5	15.60	7.68	50.8	14.60	11.56	20.8
탁도 (FTU)	5.50	1.58	71.4	4040	1.78	59.7	6.50	3.80	41.4
	4.70	1.03	78.1	3.70	1.33	64.2	4.50	2.20	51.1
대장균군 (개/100ml)	6,600	2,660	59.8	5,400	3,640	32.5	2,600	1,033	21.8
	690	273	60.5	3,900	2,320	40.5	2,000	1,582	20.9
일반세균 (개/ ml)	3,400	1,140	66.5	6,600	4,580	30.6	3,800	2,815	25.9
	2,800	840	70.1	980	632	35.5	108	83	23.8

모래층의 깊이가 80cm에서 60cm로 감소했을 때 처리효율을 살펴보면,  $KMnO_4$  소비량에 대해서는 평균 24.5%,  $NH_3-N$ 와  $NO_3-N$ 은 16.6%, 15.9%, 탁도에 대해서는 12.8% 감소하는 경향을 나타내었고, 모래층의 깊이가 60cm에서 45cm로 감소했을 때에는  $KMnO_4$  소비량에 대해서는 평균 36%,  $NH_3-N$ 은 12.3%,  $NO_3-N$ 은 24.1%, 탁도는 15.7% 감소하는 경향을 보이고 있다. 위의 결과로 정수처리시설에서 모래층의 깊이가 최소 60cm가 되어야 적절한 처리가 이루어 지고 모래층의 깊이가 45cm일 때는 부적절한 것으로 분석되었다.

Gacaga<sup>22)</sup>에 의하면 정수처리공정에서 모래층의 깊이가 최소한 60cm까지 적합하고, 운전기간중에 모래상부층을 규칙적으로 제거하기 때문에 1년동안 모래층을 재충진하지 않기 위해서 새로운 모래층을 100cm - 140cm로 재충진해야 한다고 보고하였다.

<그림2-5-2>는 완속모래여과장치의 모래층의 깊이에 따른 대상처리물질의 처리효율을 비교해 나타낸 것이다

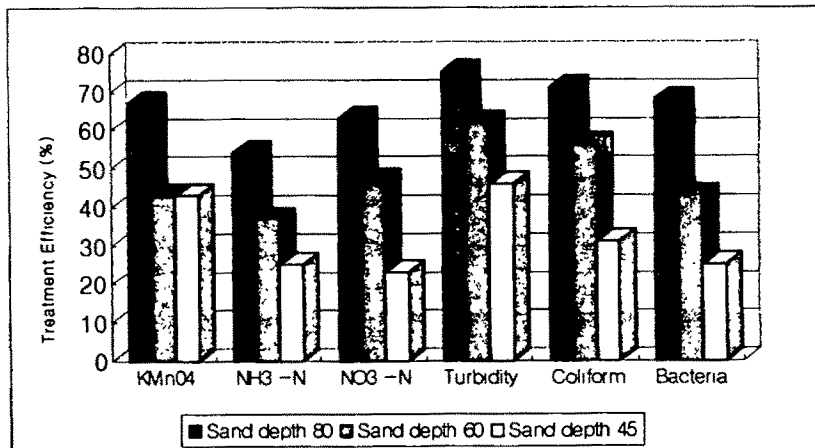


그림2-5-2 여과지 모래층 깊이에 따른 처리효율 비교

22) Gecaga, G., Simple waer treatment methods, Proceedings of a workshop on trining held in Zomba, Malawi, 1990

## (나) 막분리장치의 처리효율

나노여과막을 이용하여 완속여과에서 제거율이 낮은 물질로 나타나는 질산성질소와 경도, 부식질을 대상으로 처리효율을 알아보았다. 실험방법은 우선 막의 투과속도특성을 파악하기 위해 원수에 대하여 일정 압력에서 20분간 변화시키면서 유속을 측정 한 후 투과속도를 계산하였고, 대상물질별 제거효율 실험은, 초기 투과압력을 최소 유입압력인  $5\text{kgf/cm}^2$ 으로, 일정시간 간격으로 투과수에 대한 pH 및 항목별 분석을 실시하였다. NF막 여과를 행하기 위해서는 원수중에 현탁미립자를 거의 포함하지 않아야 하므로, NF막여과를 직접 적용할 수 있는 것은 탁도값이 상당히 낮은 지하수등의 수원에 한정된다. 수원이 계곡수 등의 지표수인 경우에는 현탁물 제거를 위한 모래여과나 Micro-filter 또는 MF막여과 등의 전처리가 불가피하다.

### ① 막의 투과속도

일반적으로 막 투과속도는 1시간동안  $1\text{m}^2$ 의 막을 통과하는 투과수의 유량으로 정의된다. 투과속도는 특정압력에 도달할 때 까지 압력이 증가함에 따라 증가한다.

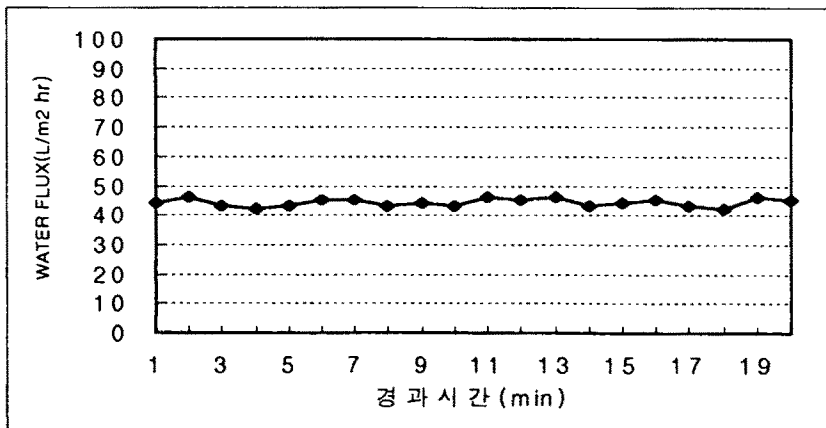


그림 2-5-3 나노여과막의 시간변화에 따른 투과속도



대상여과막인 나노여과막의 투과속도(flux)의 특성을 알아보기 위하여 증류수를 이용하여 5kgf/cm<sup>2</sup> 압력에서 20분동안 운전한 결과를 <그림2-5-3>에 나타내었는데 경과시간동안 초기투과속도 49L/m<sup>2</sup>hr에서 거의 변화가 없음을 보여주고 있다. 이는 막오염(fouling)이 발생하지 않은 상태에서의 투과특성을 나타내주는 것으로, 초기 투과속도 또는 유출압력이 20%정도 감소하는 현상을 보고 막오염 발생여부를 판단할 수 있다.<sup>23)</sup>

<그림2-5-4>에서는 완속여과지(모래층 깊이 80cm)를 통과한 여과수에 부식질을 spiking시킨 원수를 공급수로 이용하여 운전한 투과속도를 나타내고 있는데, 압력이 증가함에 따라 투과속도가 선형적으로 증가함을 보여주고 있다. 원수에는 부식질과 미량유기물질이 존재함에도 압력의 증가에 따라 투과속도도 증가하는 것으로 보아 압력증가시 막부근의 전단력이 증가되어 일부 잔류하던 막오염물질들이 제거됨에 따라 투과속도가 증가하는 것으로 판단된다.

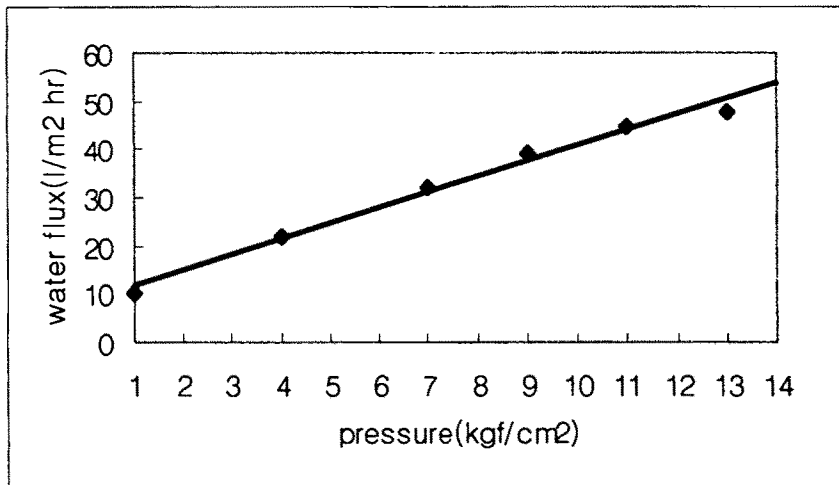


그림2-5-4 나노여과막의 압력변화에 대한 투과속도

23) S, Chellan. et al, Effect operating condition and pretreatment for nanofiltration of surface water, Proceedings of membrane technology conference, 23-26, 1993

## ② 질산성 질소, 경도, 부식질 제거

<그림 2-5-5>에서 보는 바와 같이 부식질의 농도를 간접적으로 파악할 수 있는 UV<sub>254</sub>의 제거율이 60% - 80%의 범위로 배제되는 것을 알 수 있고, 질산성 질소의 경우 65% - 67% 정도의 제거율을 나타내고 있다. 경도에 대해서는 78% - 89% 범위로 제거되었는데, 경도유발물질 대부분이 2가이온이므로 2가이온에 대해 선택적으로 우수한 제거능을 가진 나노여과막 특성상 경도의 제거율이 다른 물질에 비해 높은 제거율을 보인 것으로 판단된다.

NF막의 총염류 제거율은 50~70% 정도이지만 2가 이온인 칼슘과 마그네슘의 제거율은 높고, 저분자량의 유기물 제거율도 높으므로, 경도와 유기물농도가 높고 탁도가 낮은 수원에 대해서도 NF막여과를 이용한 정수처리가 이루어지고 있다.

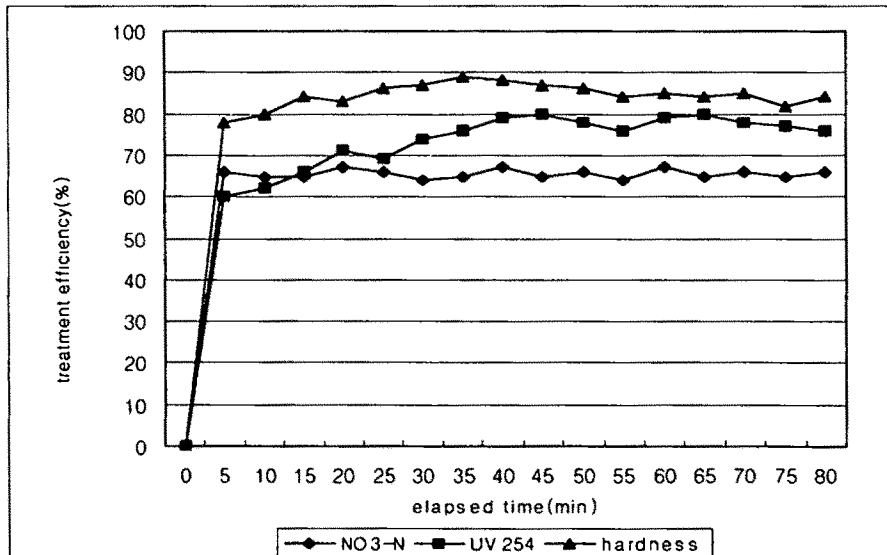


그림 2-5-5 나노여과막의 처리효율

### ③ 처리수의 pH 변화

실험간 처리수의 pH는 6.3 - 7.1 사이를 유지하고 있어, 공급원수의 pH에 비해 0.5 - 0.8 정도 감소된 양상을 보이고 있다. 이것은 나노여과막이 경도유발물질을 제거함으로서 투과수의 pH가 감소하는 것으로 분석된다. 나노여과막이 2가이온에 대해 선택성이 있는 반면, 1가이온에 대해서도 선택성이 높은 역삼투의 경우 미네랄과 경도유발물질을 거의 제거함으로서 투과수의 pH가 먹는물 수질기준이하로 하락하는 문제점이 지적되고 있다. <그림2-5-6>은 처리수의 pH변화에 대해 나타낸 것이다.

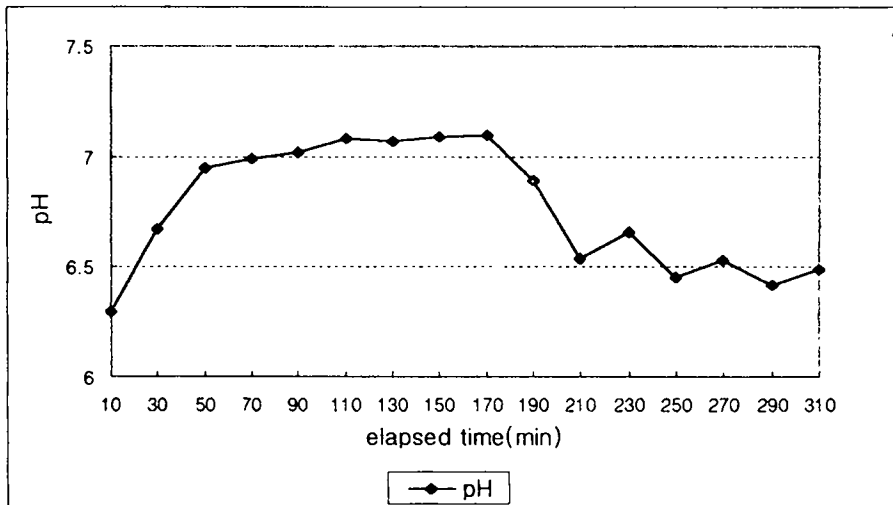


그림 2-5-6 처리수의 pH변화

#### (다) 소독장치의 처리효율

소독실험은 잔류염소 자동주입조절장치를 이용하여 원수중의 일반세균 및 대장균군에 대한 처리효율과 처리수중의 잔류염소농도가 최초 설정한 목표치를 달성하는 여부를 알아보려고 하였다. 실험방법은 잔류염소 지시조절계의 잔류염소 목표 설정치를 0.2mg/l로 설정한 후, 배관상의 혼합장치인 Line Mixer에 자동비례주입펌프로

1-3ml/min의 유량으로 염소용액을 주입하였다.

투과유량은 550ml/min 였고, 염소용액농도는 5,500mg/l로 조절하였으며, Line Mixer내 평균체류시간은 0.15min이 었다. 처리수중의 대장균군과 일반세균에 대한 처리효율은 100% 를 나타냈으며, 잔류염소농도는 0.24-0.32mg/l로 초기 설정치 0.20mg/l 보다 0.04mg/l - 0.12mg/l (계기허용오차 농도 : 0.2mg/l  $\pm$  0.1mg/l)범위로 오차가 발생하였다. 이는 계기 최소투과유량을 대상으로 혼합이 이루어져 지시계와 펌프간 목표 설정치의 신호 입,출력시간동안 과다 주입이 발생한 것으로 판단된다.

## (라) 공정별 처리효율

### ① 원수에 소독장치만을 추가했을 때 처리효율

원수에 대해 잔류염소 자동주입장치를 이용하여 항목별로 처리효율을 알아 보았다. 수온 변화는 21℃ - 23℃로 원수와 매우 유사한 경향을 나타내고 있으며, pH변화는 7.05 - 7.32로 원수에 비해 약간 낮았다. KMnO<sub>4</sub>소비량의 제거율은 4% - 8%였고, NH<sub>3</sub>-N은 28% - 33%, NO<sub>3</sub>-N은 31% - 38%의 제거율을 보이고 있으며, 탁도에 대해서는 32% - 39%의 제거효율을 나타내고 있다. 이때 처리수의 잔류염소농도는 초기 설정치인 0.24mg/l에서 0.28mg/l의 범위로 측정되었다. 대장균군과 일반세균의 제거효율은 모두 100%로 나타나 염소소독을 실시할 경우 미생물이 거의 사멸됨을 알수 있다.

### ② 여과지에 소독장치가 추가되었을 때 처리효율

원수를 수직완속여과에 통과시킨 여과수에 잔류염소 자동주입장치를 이용한 염소소독을 실시한후모래층 깊이와 항목별로 처리효율을 알아 보았다. <표 2-5-14>는 여과지에 소독처리후의 처리결과를 나타낸 것이다.

모래층의 깊이가 80cm일 때  $\text{KMnO}_4$  소비량의 제거율은 76% - 84%였고,  $\text{NH}_3\text{-N}$ 은 80% - 93%,  $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 69% - 81%의 제거율을 보이고 있으며, 탁도에 대해서는 70% - 76%의 제거효율을 나타내고 있다. 이때 처리수의 잔류염소농도는 초기 설정치인 0.20mg/l에서 0.28mg/l의 범위로 측정되었다. 대장균군과 일반세균의 제거효율은 모두 100%로 나타나 염소소독을 정량적으로 실시할 경우 미생물이 거의 사멸됨을 알 수 있다. 소독을 병행하지 않은 여과보다  $\text{KMnO}_4$  소비량의 제거율은 평균 11% 증가하였는데 이것은 염소처리시 유기물이 산화되기 때문이다.  $\text{NH}_3\text{-N}$ 은 28%,  $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 9%, 탁도는 10%의 향상된 제거효율을 나타내고 있는데 Visscher에 따르면 소독을 병행할 경우 처리수가 1NTU이하로 감소된다고 보고하고 있다. 미생물 항목의 제거효율의 향상정도는 평균 30% 정도 증가하였다.

표2-5-14 여과와 소독을 병행한 처리수 분석결과

항 목	Sand Depth 80			Sand Depth 60			Sand Depth 45		
	원수	처리수	처리 효율(%)	원수	처리수	처리 효율(%)	원수	처리수	처리 효율(%)
$\text{KMnO}_4$ 소비량 (mg/l)	14.77	3.54	76	15.83	7.59	52	12.47	11.97	4
	11.60	1.85	84	13.57	5.97	56	13.20	12.14	8
$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/l)	8.95	1.79	80	9.05	4.62	49	3.95	2.80	29
	6.54	0.45	93	7.90	3.63	54	3.40	2.65	22
$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/l)	16.10	3.05	81	13.90	5.56	60	21.90	15.33	30
	14.50	4.49	69	15.60	5.15	67	14.60	9.93	32
탁도 (FTU)	5.50	1.10	80	4.40	1.05	76	6.50	3.12	52
	4.70	0.66	86	3.70	2.59	70	4.50	2.43	46
대장균군 (개/100ml)	6,600	N.D	100	5,400	N.D	100	2,600	N.D	100
	690	N.D	100	3,900	N.D	100	2,000	N.D	100
일반세균 (개/ml)	3,400	N.D	100	6,600	N.D	100	3,800	3	99.9
	2,800	N.D	100	980	1	99.9	108	1	99.9

모래층 깊이가 60cm일 때는  $\text{KMnO}_4$  소비량에 대한 제거율은 52% - 56%였고,  $\text{NH}_3\text{-N}$ 에 대해서는 49% - 54%,  $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 60% - 67%의 제거율을 보이고 있으며, 탁도에 대해서는 70% - 76%, 대장균군은 100%, 일반세균은 99.90%의 이상의 제거효율을 보이고 있다.

이 때의 잔류염소농도는 0.25mg/l - 0.32mg/l 였다. 모래층 깊이가 45cm일 때  $\text{KMnO}_4$  소비량에 대해서는 4% - 8%,  $\text{NH}_3\text{-N}$ 에 대해서는 22% - 29%,  $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 30% - 32%의 제거율을 보이고 있으며, 탁도에 대해서는 46% - 52%, 대장균군에 대해서는 100%, 일반세균은 99.90%의 이상의 제거효율을 보이고 있다. 이 때의 잔류염소농도는 0.21mg/l-0.34mg/l 였다. 모래층 깊이가 60cm, 45cm의 경우에도 대상물질의 제거율이 향상되었으나 미생물 항목을 제외한 나머지 항목에서 먹는 물 수질기준을 충족시키지 못하고 있다.

여 과와 소독장치를 병행할 때에는 정속여과와 감쇄여과를 이용할 수 있으나 모래층의 세정에 시간과 인력이 소요되는 단점으로 일정 기간동안 모래를 세정하지 않고 운전할 수 있는 감쇄여과를 많이 이용하고 있다. <그림2-5-7>은 여과지에 소독공정이 추가되었을 때의 처리효율을 보인 것이다.

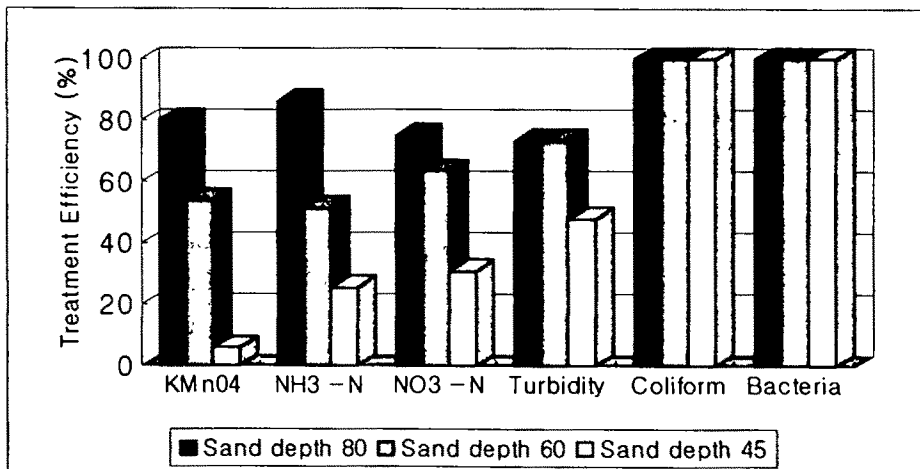


그림2-5-7 여과지에 소독장치가 추가되었을 때 처리효율

### ③ 여과지에 막분리장치 및 소독장치가 추가되었을 때 처리효율

본 공정에서는 질산성질소의 제거율이 낮은 모래층 깊이 60cm, 45cm를 통과한 여과수를 대상으로, 막분리장치와 잔류염소 자동주입장치를 추가로 했을 때 NO<sub>3</sub>-N 제거율의 향상정도와 경도 및 부식질등 막의 선택성이 비교적 높은 물질을 대상으로 처리효율을 알아 보았다. 모래층의 깊이 60cm일때 여과지의 NO<sub>3</sub>-N 제거효율은 44.6% - 50.8%였고, 나노여과막의 제거율은 69% - 71%, 염소소독을 실시한 후의 처리수는 73-76%의 제거효율을 보이고 있다. 이때 잔류염소농도는 0.21mg/l - 0.26mg/l였다.

모래층 깊이 45cm일 때 나노여과막의 NO<sub>3</sub>-N제거율은 64% - 68%, 염소소독후 제거율은 69% - 72%로 나타났다. 염소소독후의 잔류염소농도는 0.20mg/l - 0.28mg/l였다. 막분리장치를 도입했을 경우 질산성 질소의 제거효율은 분명히 향상되는 양상을 보이나 여과지를 생략한 막분리단독공정에서도 비슷한 결과를 보이고 있으며, 오히려 모래층 깊이 80cm의 여과지에 소독처리한 경우보다 미흡한 결과를 나타내고 있다. 경도 및 부식질의 제거효율은 75% - 85%. 72% - 79%로 막분리장치를 단독으로 적용한 경우와 비슷한 처리효율을 보였다.

## 라. 장치 및 공정별 적용성 검토

### 1) 수직완속여과

간이정수처리시설에서 염소소독을 실시하지 않은 경우 모래층 깊이가 80cm, 60cm인 경우 수직완속여과의 처리효율은 KMnO<sub>4</sub>소비량, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, 탁도에 대해서 비교적 높게 나왔으나, 대장균군과 일반세균에 대해서는 먹는 물 기준에 부적합하게 나타났다. 모래층의 깊이가 45cm인 경우에는 KMnO<sub>4</sub>소비량, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, 탁도 뿐 아니라 대장균군과 일반세균에 대한 처리효율이 매우 낮게 나타나

간이정수시설의 장치로서는 부적절한 것으로 분석되었다. 그러나 수직완속여과에 염소 소독장치를 도입한 경우에는 모래층 깊이가 80cm, 60cm일 때  $\text{KMnO}_4$  소비량,  $\text{NH}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ , 탁도에 대한 처리효율은 높게 나타났고, 대장균군과 일반세균은 거의 사멸되어 먹는 물 기준에 적합한 것으로 나타났다.

반면에 모래층의 깊이가 45cm인 경우에는 대장균군과 일반세균은 거의 사멸되었으나 이외 항목에 대한 처리효율이 낮게 나타나 간이정수시설의 장치로는 부적합한 것으로 분석되었다. 위의 결과로 볼 때 수직완속여과장치는 60cm이상의 모래층으로 구성되어야 하며, 염소소독을 반드시 실시하여야 한다. 따라서 완속모래여과공정을 중심으로 한 공정중 완속여과 후 염소소독공정은 적용가능한 공정으로 판단된다.

## 2) 막분리장치

막분리장치의 경우는 경도유발물질과 부식질등 막의 선택성이 높은 물질에 대해 우수한 처리효율을 보이고 있고,  $\text{NO}_3\text{-N}$ 에 대해서는 비교적 높은 제거율을 보이나 다른 공정에 비해서는 미흡한 결과를 나타내고 있다. 따라서 막 분리장치는 지하수를 상수원으로 사용하는 지역중 경도나 선택성이 높은 철분, 황산이온 등 2가이온으로 구성된 용존염등이 문제발생물질로 도출될 경우에 선택적으로 완속여과지(80cm)와 Micro-Filter를 전처리로, 막오염을 일으킬수 있는 미생물과 탁도유발물질 등을 제거한후 소독장치를 추가,적용할 수 있고, 부식질을 포함한 계곡수를 급수원으로 사용할 경우에도 염소소독장치와 나노여과막을 병행함으로써 부식질 및 미량유기오염물질로 인한 소독후 부산물질생성을 방지할 수 있을 것으로 판단된다. 최근 정수 공정에서는 염소소독에서 트리할로메탄류를 생성시킨 후, 제거하는 것보다 소독전에 전구물질을 제거하는 것이 효율적인 것으로 보고되고 있으며 전구물질인 부식질과 저분자량 유기화합물을 나노여과법으로 제거하는 방법이 검토되고 있다.<sup>24)</sup>

24) Anselme, C. et al., 1993, Optimum use of membrane processes in drinking water treatment, Proceedings of the IWSA conference, Oct.1993 Budapest, Special subject No.2, membrane technology, SS2-1 11



<표2-5-15>에는 THM전구물질로서 부식질을 사용한 경우 각종 나노여과막에 의한 THM생성능의 제거효율을 나타내고 있다. 조작압력은 8kgf/cm<sup>2</sup>으로 높지 않지만 부식질 또는 THM전구물질의 저지율은 87~98%이고 투과유속도 커서 나노여과막의 적용가능성은 높다고 할 수 있다.

표 2-5-15 각종 NF막을 이용한 부식질, THM전구물질의 분리<sup>25)</sup>

- 부식질용액 (공급액의 부식질농도 : 5mg/L, 조작압력 : 8kgf/cm<sup>2</sup> )

구분	공급액	NTR -7450	NTR -7410	NTR -739HF	SU-600	SC-L(HF)	NF-70
CHCl <sub>3</sub> 생성량 (mg/L)	0.11	0.006	0.012	0.007	0.008	0.009	0.006
부식질 저지율(%)	-	94.5	88.9	93.5	92.6	91.8	94.4
투과유속 (ℓ/m <sup>2</sup> h)	-	99.1	182	99.8	188	177	122

### 3) 소독장치

원수를 대상으로 염소소독을 실시한 후 나타난 KMnO<sub>4</sub>소비량, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, 탁도 및 대장균군과 일반세균의 제거효율결과는 대장균군과 일반세균은 염소소독실시로 인하여 대부분 사멸되었지만 나머지 항목들은 매우 낮은 처리효율로 나타나 먹는물 기준에 부적합한 것으로 분석되었다. 그러나 상수원수 1등급에 준하는 원수이거나 미생물 사멸만으로 먹는 물 수질기준을 만족시킬 수 있다면 원수에 소독장치만을 추가하는 공정이 적용가능한 공정으로 판단된다.

25) Anselme C. et al., 1993, Removal of total organic matters and micropollutants by membrane processes in drinking water treatment, Proceedings of the IWSA conference, Wasser Berlin, April 1993.

## 마. 모형실험 결과

농어촌 지역의 간이급수시설에 대해 제반 문제점을 파악하여 지역특성과 급수원의 수질특성에 적절히 대처할 수 있는 정수처리기법을 제시하고자 여과 및 소독, 막분리 실험장치를 제작하여 장치 및 공정별 처리효율 분석과 적용성을 검토하였다. 이와 같은 실험결과의 중요한 성과는 다음과 같다.

1) 처리대상물질은 다음과 같은 기준에 의해 선정하였다. 연구대상지역의 상수원 및 수도전의 수질기준 초과물질과 국내 간이급수시설의 기준 초과물질, 문헌 및 관련자료에서 제시하는 문제가능성이 높은 미량유기물질 도출 등을 선정기준으로 하여, 수질오염도가 전반적으로 높은 일반세균과 대장균군, 탁도, 질산성 질소, 암모니아성 질소 및 경도유발물질과 미량유기물질의 총량지표로 사용되는  $\text{KMnO}_4$ 소비량, 염소처리시 THM전구물질로 작용하는 부식질등 8개물질을 처리대대상물질로 선정하였다.

2) 최종 선정된 정수처리공정은 완속모래여과를 중심으로 염소소독과 막분리법을 조합하여 3가지 유형의 정수처리공정을 구성하였다. 구성된 공정은 원수 + 염소소독, 원수 + 수직완속모래여과 + 염소소독, 원수 + 수직완속모래여과 + 막 + 소독의 형태로 실험장치구성도 이러한 3가지 유형의 공정이 도출될 수 있도록 제작하여 장치 및 공정별 처리효율에 대한 실험을 실시하였다. .

3) 실험장치는 모래층 깊이를 80cm, 60cm, 45cm로 구성한 수직완속여과지와 나노여과막을 사용한 막분리장치를 제작하여  $\text{KMnO}_4$ 소비량,  $\text{NH}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ , 탁도, 대장균군, 일반세균, 경도 및 부식질에 대한 실험을 하였고, 연소적인 주입과 계측이 가능한 소독장치를 이용하여 잔류염소농도, 대장균군, 일반세균 등에 대한 실험을 실시하였다.

4) 염소소독을 실시하지 않은 모래층 깊이가 80cm, 60cm인 수직완속모래여과의  $\text{KMnO}_4$ 소비량,  $\text{NH}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ , 탁도 등에 대한 처리효율은 높게 나타났으나 대장균군과 일반세균에 대해서는 먹는물 수질기준에 적합한 것으로 나타났다. 또한 모래층 깊이가 45cm인 경우에는  $\text{KMnO}_4$ 소비량,  $\text{NH}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ , 탁도, 대장균군, 일반세균 전항목에 대한 처리효율이 매우 낮게 나타나 간이급수시설로서 부적합한 것으로 나타났다.

5) 염소소독을 병행하였을 경우 모래층 깊이가 80cm, 60cm인 수직완속모래여과의 처리효율은  $\text{KMnO}_4$ 소비량,  $\text{NH}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ , 탁도 등에 대해 높게 나타났고, 대장균군과 일반세균은 거의 사멸되어 먹는물 수질기준에 적합한 것으로 나타났다. 그러나 모래층의 깊이가 45cm인 경우에는 대장균군과 일반세균은 거의 사멸했으나  $\text{KMnO}_4$  소비량,  $\text{NH}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ , 탁도에 대한 처리효율이 매우 낮게 나타나 간이급수시설로서 부적합한 것으로 분석되었다.

6) 나노여과막을 이용하여 완속여과에서 제거율이 낮은 물질로 나타난  $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 경도, 부식질에 대해 처리효율 실험을 실시하였다. 부식질 및 경도의 제거율은 높았으나 완속모래여과에서 미제거된  $\text{NO}_3\text{-N}$ 에 대한 처리효율의 향상정도는 미흡하였다. 경도의 경우 2가이온에 대한 선택성이 높은 나노여과의 특성상 간이급수시설의 적용은 지하수를 급수원으로 사용하는 지역중 연수화가 요구되는 지역이나 계곡수를 급수원으로 사용할 때 부식질로 인한 THM생성능이 높게 검출되는 지역 등에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

7) 잔류염소 자동주입장치를 이용한 소독실험 결과, 대상원수의 미생물은 모두 사멸하는 것으로 나타났고, 유량이 변화가 심한 경우에도 처리수중의 잔류염소농도는 최초 설정한 목표치에 대해 계기허용오차 범위내에서 달성함을 보였다.

## 6. 간이상수도 시설표준화

수도는 도관 및 기타 공작물을 사용하여 원수 또는 정수를 공급하는 시설을 말하며, 수도에는 지방상수도, 간이상수도, 전용상수도, 광역상수도가 있다. 이중 간이상수도는 급수인구가 5,000명 미만 또는 1일 공급량이 1,000톤 미만인 수도시설을 말한다.

일반적으로 수도는 상수도시설기준에 의거하여 설치하며, 급수체계가 단순하고 규모가 작은 간이상수도는 별도로 간이상수도 설치 및 관리요령에 따른다. 또한 간이상수도를 설치할 때는 일정한 기준에 의거 설치해야 향후 유지관리에 효율성을 도모할 수 있으며, 설치 자재 또한 표준화 되어 있어야 유지보수에 어려움이 없다.

표 2-6-1 간이상수도의 취수시설, 정수시설, 배수시설 설치기준

시설의 종류	시 설 구 분	시설구조 및 설치조건
수 원	· 수원의 종류	· 지하수, 지표수, 용천수, 계곡수, 복류수
취수시설	· 용천수 · 우물과 양수기 · 집수암거시설 · 소형댐 및 취수관	· 콘크리트박스+도수관+월류관+환기관 · 원심펌프, 왕복펌프, 젯트펌프 중 택일 · 유공관 이용 · 소형댐+소형저수지+취수관+월류관
정수시설	· 침전지 · 여과지 · 소독설비	· 보통침전지와 약품침전지중 보통침전지(수심 2.5m, SS 제거율 30%) 사용 · 침전지+유입관+유출관+월류관 · 완속여과지와 급속여과지중 완속여과지(두께60cm이상, 여과속도 4m/일) 사용 · 여과지+유입관+유출관+유입수조절장치 · 수도전의 잔류염소농도가 2mg/l 유지될 수 있는 소독 시설 설치
배수시설	· 저수탱크 · 도수관 · 송수관 · 배수관 · 관의 설치	· 용량 : 1일 사용 총급수량의 6~12시간분 · 설치위치 : 마을중심에서 15m 이상 높은 곳 · 저수탱크+유입관+유출관+월류관+환기관+제수밸브+맨홀 · 취수시설에서 정수시설까지의 관 · 정수시설에서 저수탱크까지의 관 · 저수탱크에서 가정까지 공급하는 관 · 지하 90cm 이상 깊게 매설 · 도로동 무거운 하중이 걸리는 곳을 횡단하는 경우에는 1m 이상 깊게 매설 또는 콘크리트등으로 보호조치

간이상수도의 취수·정수·배수시설을 설치할 때는 다음표와 같은 시설기준을 만족하도록 설치해야 한다. 간이상수도에서 주로 사용하는 관은 PVC관, 경질염화비닐관, 아연도강관, 주철관 등이 있는데, 특별히 압력을 필요로 하는 경우 외에는 PVC관이나 경질염화비닐관을 사용한다. 가장 많이 사용하는 PVC관은 상수도용, 하수도용, 전기용, 화학약품용 등 용도에 따라 여러 가지가 있으므로 반드시 상수도용 KS규격품을 사용해야 한다.

## 7. 간이상수도 관리

수도법 제 3조 제 9호에서 「“간이상수도”라 함은 지방자치단체가 대통령령이 정하는 간이한 수도시설에 의하여 급수인구 5천인이내에게 정수를 공급하는 일반수도로서 1일 공급량이 1천세제곱미터 미만인 수도를 말한다」로 정의하고 있다. 또한 시행령 제 3조에서 「법 제 3조 제 9호에서 “대통령령이 정하는 간이한 수도시설”이라 함은 수도사업자인 지방자치단체가 관할지역 주민의 음용 등에 제공하기 위하여 원수를 법 제 18조 제 2항의 규정에 의한 수질기준에 적합하게 처리할 수 있는 침전지·여과지·소독시설 등의 정수시설을 갖춘 수도시설을 말한다. 다만, 소독시설을 제외한 정수시설로서 수질이 양호하여 그 설치가 필요하지 아니하다고 인정되는 정수시설에 대하여는 이를 갖추지 아니할 수 있다」라고 명시되어 있다.

미국의 경우는 급수인구가 최소 25인 이상 3,300인 이하의 시설을 소규모시설 (Small Water Supply System)이라 하며 59,266개소로 전체시설의 87%를 차지하나 급수인구수는 25.6백만명으로 전체 급수인구의 11%를 차지한다고 하였다. 또한 일본에서는 계획급수 인구가 101인 이상 5,000인 이하에게 정수를 공급하는 수도라고 정의하였고, 우리나라의 경우 1994년말 환경부 통계자료를 보면 총 28,283개의 수도 중 간이상수도는 26,363개소가 설치되어 있는 것으로 조사되어 전체 급수시설의

93%로 나타났다.

서울대학교 보건대학원 조사자료 (1993)와 연구대상 지역의 면단위 간이급수시설 현황 자료를 중심으로 현재의 간이급수 시설관리 제도를 살펴보았다. 우리나라 농어촌 지역의 간이급수시설 보급은 위생적이고 사용에 편리한 물의 공급으로 생활환경의 개선 등 지역주민에게 기여한 점이 많은 것으로 평가하고 있다. 그러나 수원 주변의 관리소홀로 인한 수질의 악화, 불완전한 정수처리 등으로 인한 수질불량, 취수능력이 물 사용량의 증대를 따르지 못하는 수량부족, 계절적인 급수량 변동 등이 간이급수도 시설의 큰 문제점으로 나타나고 있다. 또한 수원부근에 위치한 주택, 축사, 화장실, 농경지에서 사용하는 비료와 농약 등과 소규모 공장에 배출하는 폐수가 수질악화에 큰 영향을 주고 있는 것으로 나타났고, 간이급수 시설을 설치한 시기도 대부분 10~20년이 지나 급수관이 노후, 파손되어 오염물이 유입되어 먹는물 수질기준을 초과하는 경우도 있었다.

간이급수 시설을 설치한 지역에서는 시장, 군수, 구청장 관할하에 유지관리위원회를 두게 되어있으며, 시설물의 유지·관리, 급수의 위생관리, 기타 급수와 관련된 사항 등의 업무를 수행하도록 하고 있다. 위원회는 관리비를 징수하고 시설관리책임자 (관리인)를 두어 보수를 지급하며, 관리인은 시설물의 운용, 보수, 소독실시 등 급수시설의 운용, 관리 일체를 담당하도록 하고 있다. 그러나 위원회가 조직화되어 있지 않고, 유지관리기금도 조성되어 있지 않은 상황에서 시설관리인은 일정한 보수를 지급받지 않고 전담주민이 대부분 관리를 하므로 책임 소재가 불명확하고 실제적인 책임관리가 이루어지지 않은 실정이며, 교육상태 역시 미비하여 실제로 급수시설에 이상이 발생되면 적절히 대처하지 못하고 있다. 또한 관리기금의 확보부족으로 양수식의 경우에는 전기요금으로 거의 사용되므로 노후시설이나 시설보수에 대한 근본적인 대책마련을 할 수 없는 것으로 나타났다.

간이급수시설 중 일부에서만 염소소독장치를 설치하여 물을 처리하고 있으며 대부분의 시설에서는 단지 수원에서 물을 취수하여 처리하지 않고 원수를 급수관을 통하여 공급하고 있는 실정이므로 소독을 하지 않는 미비한 처리시설 등 시설관리와 운영의 부실

역시 간이급수 급수시설의 효율성을 낮추는 원인이 되고 있다. 현재 농촌지역의 간이급수 시설관리는 군청 사회과 위생계에서 관장하고 있으나 위생계의 평균인력은 3~5명으로 간이급수 시설관리 이외에도 다른 업무도 관장해야 하므로 업무가 과다하고 효과적으로 관리할 수 있는 장비도 부족하여 현 상태로서는 많은 간이급수 시설을 관리하기에는 역부족인 것으로 판단된다.

지방자치단체장인 시장·군수는 수도를 합리적으로 설치·관리하기 위하여 10년 단위로 수도정비기본계획을 수립하도록 수도법 제4조에 명시되어 있다. 이중 주로 농어촌지역에 설치되는 간이상수도는 지자체에서 조례를 제정하여 관리토록 수도법 제32조에 규정되어 있다. 북일·현도지구가 위치한 충북 청원군은 '95년 12월에 조례를 제정하였고, 도고지구와 천북지구가 위치한 아산시와 보령시는 각각 '95년 2월과 1월에 조례를 제정하여 시행하고 있다.

연구대상지역의 각 지자체별 간이상수도 시설관리 조례를 보면 청원군의 경우 지방자치단체장인 군수가 주체가 되어 시설을 관리하고, 주민단체인 사용자협의회는 군수로부터 위탁받은 간이상수도 시설의 정기적인 청소와 소독업무만을 담당하도록 되어 있다. 반면 아산시와 보령시의 경우 시장은 주로 행정적인 지원을 하고, 실질적인 시설관리는 주민단체인 유지관리위원회가 주축이 되어 별도의 시설관리인을 두고 관리토록 되어 있으며, 시설보수예산은 지자체와 주민이 각각 50%씩 부담하도록 되어 있다.

간이상수도는 그 특성상 시설들이 한 시·군 내에 여러 개소에 산재해 있고, 급수 인구가 적어 체계적인 관리가 어려우므로 효율적인 유지관리를 위해서는 지자체와 해당지역 주민과의 유기적인 협조체제가 필요하다. 따라서 지자체에는 간이상수도 행정업무를 전담하는 공무원을 두고, 각 간이상수도 시설은 급수지역 주민단체가 전담관리인을 두고 관리하는 업무구조가 가장 합리적이다.

재정적인 뒷받침은 신규설치나 시설보수를 위한 비용은 지자체의 보조금으로 하고, 관리인 급여와 같은 유지관리 비용은 관리비를 징수하는 안을 검토한다. 이렇

게 할 경우 주민의 참여도를 높이는 결과도 가져오게 되므로 절수효과와 급수시설의 위생적 관리도 기대할 수 있다.

표 2-7-1 간이상수도 시설관리 규정

구 분	항 목	충북 청원군	충남 아산시	충남 보령시
관 리	· 관리자 · 주민단체 · 시설관리	군 수 사용자협의회 군 수	시 장 유지관리위원회 위 원 회	시 장 유지관리위원회 위 원 회
보 수	· 보수주체 · 보수예산 · 보수추진	군 수 - 군 수	시장, 위원회 공동 각각 50%씩 부담 위 원 회	시장, 위원회 공동 각각 50%씩 부담 위 원 회
기 타	· 관리인 급여 · 관리비 징수 · 관리인 교육 · 주민단체의업무	- 군 수 - 정기적인 청소 및 소독 (군수 위탁 사항)	위원회에서 지급 위 원 회 시장이 실시 시설물 유지관리 및 기타 급수관련사항	위원회에서 지급 위 원 회 시장이 실시 시설물 유지관리 및 기타 급수관련사항



## 8. 간이상수도를 위한 전문가 시스템 개발

### 가. 전문가 시스템

#### 1) 개 요

전문가의 자문과 판단 등을 필요로 하는 분야에서 전문가를 대신하여 그 기능을 수행하도록 하기 위하여 전문가 시스템을 많이 이용하는데, 전문가 시스템은 특정분야의 전문가들이 가지고 있는 전문지식과 경험을 컴퓨터가 이용할 수 있도록 표현한 후, 이 지식을 바탕으로 논리적 추론과정을 거쳐 문제의 해결방안을 제시함으로써 일반 사용자들에게 전문적인 자문이나 도움을 제공하는 지식형 컴퓨터 프로그램이라고 정의할 수 있다.

간이상수도 설치계획시 급수량 산정 및 수질에 따른 상수처리방법을 결정하기 위해서는 전문가의 다양한 경험과 지식을 필요로 하기 때문에 경험과 지식이 적은 시설관리자가 이를 신속히 해결하기에는 어려움이 있을 것이다. 또한 간이상수도가 많이 설치되어 있어 이를 운영하기 위해서는 많은 인력, 장비 및 시간이 투자되어야 하나 현실적으로 어려우므로 실제로 적은 시설관리자가 이 시설들을 효율적으로 운영·유지·관리할 수 있도록 전문적인 자문과 도움을 줄 수 있는 전문가 시스템의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 간이상수 시설의 급수용량을 산정하기 편리하도록 계획하였고, 수원수질의 특성에 따라 상수처리방법을 결정해 주는 전문가 시스템을 개발하였다. 또한 급수시설의 전기 및 기계의 이상이나 고장시 적절한 대처방안을 신속히 제시해주고, 맑은 물을 공급할 수 있도록 하는 수원관리 및 급수시설 상태에 대한 여러 가지 조치법을 제안하였다. 즉, 많은 간이상수도를 적은 인원으로 효율적으로 운영·유지·관리할 경우에 경험이 많은 시설관리자의 경험적인 요소를 체계적인 방법으로 수집·정

리하여 지식을 축적시킨 전문가 시스템으로부터 비전문 시설관리인일지라도 간이급수 시설 제반사항에 대한 적절한 대처방안을 지원받아 전체 시설을 합리적으로 운영할 수 있도록 시스템을 개발하였다.

인공지능 (AI:artificial intelligence)을 이용한 응용분야 중에서 가장 활발한 연구가 진행되는 분야가 지식 베이스 시스템을 이용한 전문가 시스템이다. 전문가 시스템은 전문가가 가지고 있는 지식을 인위적으로 컴퓨터에 부여하여 그 방면에 비전문가라 할지라도 그러한 전문가의 지식을 이용하여 상호대화를 통하여 원하는 결과를 얻는 일종의 자문형 컴퓨터 프로그램이다. Edward Feigenbaum은 “전문가 시스템은 상당한 전문지식을 필요로 하는 어려운 문제를 해결하기 위해 지식과 추론과정을 사용하는 인공적인 컴퓨터 프로그램이다. 즉, 전문가의 의사결정 능력을 대신 실행하는 시스템이다” 라고 정의하였다<sup>1)</sup>. 전문가 시스템의 장점은 다음과 같으며, 전문가 시스템을 개발하는 이유를 인간전문가와 비교하여 <표 2-8-1>에 나타내었다<sup>2)</sup>.

- 전문지식에 대한 접근이 용이하다.
- 사용자에게 전문지식을 제공하는 비용이 매우 저렴하다.
- 전문가가 은퇴하거나 그만두거나 죽게되면 그 지식은 사라지는 것이지만 전문가 시스템의 지식은 영원히 지속될 것이다.
- 한 문제에 대해 여러 전문가들의 지식을 동시에 끊임없이 이용할 수 있으며, 여러 혼합된 전문가의 지식수준은 한 전문가의 지식보다 훨씬 나올 것이다.
- 전문가에게 다른 의견을 제공함으로써 정확한 결정이 이루어지도록 확신을 증가시키거나 또는 많은 전문가들 사이에서 서로 다른 의견을 갖는 경우에 조정해 준다.
- 전문가 시스템은 결론에 도달하게 된 추론과정을 상세히 설명해 준다.
- 신속하고 실시간의 반응이 필요한 경우 전문가 시스템이 유용하다.

---

1) Giarratano, J. and Riley, G., Expert Systems - principles and programming, PWS Publishing Company, 1994.

2) Durkin, J., Expert Systems - design and development, Prentice Hall International, inc., 1994.

- 스트레스나 피로 때문에 인간이 효율적으로 일을 행할 수 없는 경우, 전문가 시스템은 실시간과 비상상황에서 중요하다.
- 전문가 시스템은 지능적인 방법으로 데이터베이스를 제어할 수 있다.

표 2-8-1 인간전문가 (Human Expert)와 전문가 시스템의 비교

	인간 전문가	전문가 시스템
time availability	workday	always
geographic	local	anywhereavailability
safety	irreplaceable	replaceable
perishable	yes	no
performance	variable	consistent
speed	variable	consistent (usually faster)
cost	high	affordable

전문가 시스템은 대상물의 기본구조, 작용, 행동 등에 기초한 Deep Knowledge보다는 경험적이고 휴리스틱 지식에 기초한 Shallow Knowledge를 프로그램시키는 것이 더 쉽다. 예를 들면, 한 사람의 두통에는 아스피린을 조제하라는 것이 인체의 모든 생화학적, 물리학적, 해부학적 및 신경학적인 지식을 프로그램화 시키는 것보다 훨씬 쉽다는 것이다. Shallow Knowledge의 한 형태가 Heuristic Knowledge이며, 휴리스틱은 경험으로 얻어지는 경험법칙으로 문제를 해결하는 것이며 완전한 것은 아니나 여러분야에서 많이 이용되고 있다. 정확한 해결책을 알고 있다고 하더라도 비용이나 시간제약 등으로 실용적이지 못할 때가 있는데 이 경우에 휴리스틱 방법은 시간과 비용을 절감시킬 수 있는 방법이다.

전문가 시스템은 기존의 알고리즘적인 문제해결 방식으로는 해결하기 어려운 ‘잘 정의되어 있지 않은 문제 (Ill-Defined Problem)’ 또는 ‘비알고리즘적인 문제 (Non-Algorithmic Problem)’ 의 해결에 있어서 인간의 추론능력과 유사한 추론기능 (Inference Engine)을 사용하여 마치 전문적인 지식과 경험을 갖춘 인간이 문제를 해결하는 것과 같은 방식으로 문제해결 방안을 모색하고, 컴퓨터에 내장된 지식

(Knowledge Base)과 사용자로부터 획득한 정보를 이용하여 문제의 해를 도출하게 된다. 즉, 수학적으로 정형화될 수 없는 경우에는 알고리즘적인 방법으로 문제를 해결하려는 것보다는 경험적인 지식을 기반으로 문제에 접근하는 방식이 더 바람직하다고 할 수 있다.

## 2) 전문가 시스템의 구조

전문가 시스템은 <그림 2-8-1>과 같이 6가지 요소로 구성되어 있다<sup>3)</sup>.

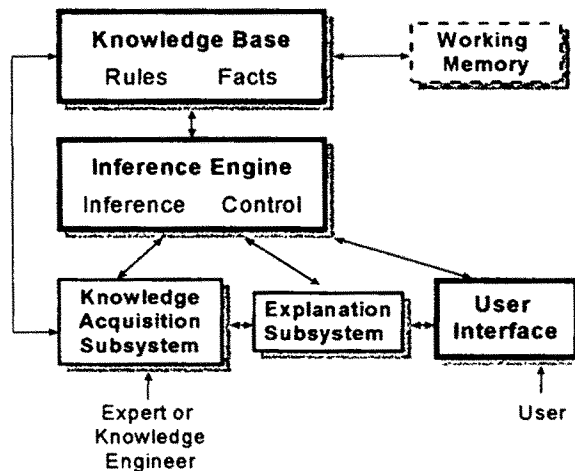


그림 2-8-1 Knowledge-Based Expert System의 구조<sup>4)</sup>

- 가) Knowledge Acquisition Subsystem : Knowledge Base를 구축하거나 확장하기 위해 Knowledge Source로부터 컴퓨터 프로그램으로 지식을 축적, 이송, 변형시키는 것을 지식획득이라 하며, Knowledge Source에는 전문가, 문헌, 데이터베이스, 연구 보고서, 그림 등이 있다.
- 나) Knowledge Base : 문제를 이해하고 해결하는데 필요한 지식이 저장된 곳으로,

3) Turban, E., Expert Systems and Applied Artificial Intelligence, Macmillan, 1992.

4) Harmon, P. and King, D., Expert Systems - artificial intelligence in business, John Wiley & Sons, inc., 1985.

사실 (Facts)과 규칙 (Rules)으로 이루어진다. 특정분야에서 문제 해결을 위해 전문가가 사용하는 Facts, Procedures, Heuristics이 포함된다.

다) Inference Engine : Working Memory에 있는 Fact와 Knowledge Base에 있는 전문지식을 이용하여 추론을 통해 새로운 정보를 이끌어 내는 모듈이며, 전문가 시스템의 핵심이다.

라) Blackboard (Workplace) : 사용자에게 의해 제공되거나 전문가 시스템에 의해 추론된 정보들이 포함되는 Working Memory의 한 부분으로, 사용자가 어떤 문제에 대한 정보를 입력하면 Working Memory에 저장되며, Knowledge Base에 있는 지식과 Match시켜 새로운 사실 (Fact)을 추론하고, 이 사실을 Working Memory에 다시 저장하는 과정을 통해 결론에 도달하게 된다.

마) User Interface : 사용자가 시스템을 편리하게 이용할 수 있도록 시스템과 사용자간을 연결시켜 주는 통로역할 기능을 수행하는 모듈이다.

바) Explanation Subsystem : 설명모듈은 “어떻게 (How) 결론을 내렸는가?”, “왜 (Why) 특별한 어떤 데이터를 필요로 하였는가?” 하는 결론이나 중간결과에 도달하게 된 추론과정을 사용자에게 설명해 주는 기능을 가지고 있다. 즉, 추론의 수행과정에 대하여 사용자에게 설명하여 줌으로써 사용자의 의문을 해소하고 신뢰를 얻을 수 있도록 하여 주는 모듈이다.

또한 전문가 시스템을 개발하기 위해서는 다음과 같은 4 단계가 있다.

- ① Knowledge Acquisition : 가장 중요하며 시간이 많이 걸리는 단계이다. 전문가로부터 지식을 획득하는 방법에는 여러 가지가 있으나, 일반적으로 인터뷰, 관찰, 역할연기 (Role Playing), 가설문제 해결 등을 통해 전문가와 상호작용하는 과정을 통해 획득한다. 전문가로부터 필요한 지식을 끌어내기 위해서는 지식공학자 (Knowledge Engineer)가 필요하며, 이는 적합한 지식표현과 추론전략을 선택하고, 지식베이스를 개발하고, 전문가 시스템을 실현시키는 사람을 말한다. 그러나

전문가 시스템 개발을 위한 효율적인 도구들이 개발되었기 때문에 지식공학자의 필요성이 감소되고 있다.

지식획득과정은 3가지로 나눌 수 있다. 첫째, 지식공학자가 어떤 분야에 대한 복잡성과 특수용어 등에 익숙하기 위해서는 철저히 그 분야에 대해 연구해야 한다. 지식공학자는 전문가에게 전문가 시스템에 대해 설명해줌으로써 협력이 쉽게 이루어지도록 하기 때문에 상호관계에 있다. 둘째, 지식공학자는 전문가가 문제, 목표, 가능한 해결책, 대안 등에 관한 그의 지식을 나타내도록 이끈다. 셋째, 전문가로부터 끌어낸 지식을 Subcomponent 나 Subproblem으로 조직화시켜 각각의 Component에 대한 빈도, 목표, 해결책, 시나리오, 전략 등을 학습한다. 지식획득은 어떤 특정문제를 해결할 때 이용하는 지식을 끌어내고, 분석하고, 해석하는 것을 포함한다.

- ② Implementation of the Expert System : Knowledge Base는 선택한 소프트웨어에 맞는 형태로 바뀌어져야 하며, 전문가 시스템의 다른 부분과 통합되어야 한다.
- ③ 검증 (Verification) : System이 원래 사양대로 제대로 수행하는지를 실행하는 단계이다. Implementation 과정에서 생긴 변환오차 (Translation Error)를 올바르게 고치는 단계이다.
- ④ 타당성 (Validation) : 전문가 시스템에 의해 수행된 추론과정과 실행결과를 전문가의 추론과정 및 실행결과와 비교하므로써, 시스템이 적합한지 테스트하는 단계이다.

### 3) 지식획득

지식획득모듈이란 전문가, 서적, 데이터베이스, 직관, 경험 등으로부터 얻은 지식을 컴퓨터 내부에 주어져 있는 지식표현구조로 나타내는데 사용되는 모듈이다. 이러한 지식획득 과정에 관련되는 인적인 요소들은 지식공학자 (Knowledge Engineer)와 도메인 전문가 (Domain Expert)이다. 지식공학자는 인간 사고의 메커니즘 자체를 연

구하기 위해 여러 가지 지식이 어떻게 사용되는가를 연구하는 인력을 말하며, 도메인 전문가는 어떤 특정 영역에 국한하여 전문적인 지식을 가지고 있는 사람을 말한다. 도메인 전문가로부터 지식을 획득하는 과정에는 다음과 같이 몇 가지 어려움이 있다.

- 전문가들은 대부분 경험과 직관을 통해 지식 (Shallow Knowledge)을 얻게 되므로 특정문제에 대한 물리적 법칙, 기본구조, 작용, 행동 등의 상세한 지식 (Deep Knowledge)을 설명하는데 어려움을 가진다.
- 자전거를 타는 방법처럼 지식을 말로 구체화시킬 수 없는 경우가 있다.
- 전문가가 상관없는 지식을 제공하거나 불완전한 지식을 제공함으로써 결과 역시 완전하지 못한 경우가 있다.
- 전문가는 일관적인 지식을 제공하지 못하는 경우가 있어 처음에는 중요한 사항이라 하더라도 나중에 별로 중요하지 않은 경우가 있다.

#### 4) 지식표현

전문가 시스템을 구축하고자 할 때 가장 먼저 고려할 사항은 적용하고자하는 분야에 대한 문제를 명확하게 이해하여야 한다. 그 다음에는 주어진 문제에 가장 적합한 전문가 시스템 도구를 선정하거나 개발하고, 획득된 지식을 전문가 시스템 도구가 제공하는 언어로 표현하여야 한다. 전문가 시스템을 개발하는데 있어 많은 노력을 투자해야 할 분야가 지식을 획득하고 획득한 지식을 정확하게 저장하고, 저장된 지식을 이용하여 추론함으로써 정확한 결론에 도달하도록 하는 것이다. 획득한 지식을 컴퓨터가 이해할 수 있는 언어로 Knowledge Base에 입력하는 것을 지식표현이라 한다.

지식표현방법에는 여러 가지가 있으나 Smart Elements 전문가 시스템 도구는 생성 규칙과 객체지향 기법을 이용한 혼합형 방법으로 지식을 구축하므로 이에 대해 알

아보겠다.

### 가) 생성규칙 (Production Rule)에 의한 지식표현

조건절 (If) 및 결론절 (Then)의 형태로써 지식을 표현하며, Situation-Action Rule 이라고도 하는데 이는 어떤 상황이 일어난다면 어떤 행동이 취해질 수 있다는 규칙으로, 전문가 시스템에 대표적으로 사용되는 지식표현 방법이다. 생성규칙에 의한 지식표현의 장점<sup>5)</sup>은 규칙이 자연어 형태이므로 이해하기 쉽고, 추론과 설명이 쉽게 도출되며, 수정과 유지가 쉽고, 불확실성이 규칙과 쉽게 결합되며, 또한 각각의 규칙은 서로 독립적이라는 것이다. 그러나 복잡한 지식에는 많은 규칙들이 필요하므로 시스템을 사용하고 유지하는데 문제가 생길 수 있다는 단점이 있다.

### 나) 객체지향 기법 (Object-Oriented Programming)<sup>6)</sup>

객체지향 기법이란 실세계가 자동차, 꽃, 별 등과 같은 객체 (Object)로 이루어져 있고 이러한 객체를 지식으로 표현하는 방법을 말하는 것으로, 객체를 만들고, 속성을 나타내고, 그리고 그 객체가 어떻게 행동하는지를 나타내는 것이다. 객체지향 기법에는 다음과 같은 기반 요소들이 있다.

#### (1) 객체 (Object)

객체란 물리적인 것, 어떤 개념, 또는 사건일 수 있다. 자동차, 우주, 코스, 컴퓨터 프로그램 등과 같이 우리가 표현하려고 하는 어떤 것이다. 객체는 Data와 Method (Procedure)를 포함하는 하나의 소프트웨어 모듈이며, Message를 주고 받을 수 있다.

---

5) Turban, E., Expert Systems and Applied Artificial Intelligence, Macmillan, 1992.

6) Durkin, J., Expert Systems - design and development, Prentice Hall International, inc., 1994.



○ Instantiation : 이미 존재하는 객체 (Parent Object)를 모방하여 모객체와 다르게 행동하도록 함으로써 새로운 객체를 만들 수 있다. 예를 들면, Parent Object가 "Vehicle"이라고 할 때 "Can Fly"라는 특성을 첨가하면, "Vehicle"은 "Airplane"이라는 새로운 객체가 된다. 이 "Airplane"을 Child나 Offspring이라고 한다. 이렇게 새로운 객체를 만드는 것을 Instantiation이라고 한다.

○ Class와 Inheritance : 객체들 사이의 공통적인 유형을 Class라고 한다. Animal 이라는 Class는 Bird 나 Mammal 이라는 Subclass를 포함하고, 상위 Class로부터 속성을 상속받게 된다. 속성상속이란 이미 정의된 상위 Class 혹은 객체를 기반으로 자신에게 추가되는 사항만을 첨가함으로써 Class나 객체를 만드는 것이다.

## (2) Message

정의된 객체들은 마치 데이터 통신에서처럼 정보를 Message 라는 덩어리로 주고 받으며 이러한 Message 교환이 객체들 사이에 정보교환을 위한 유일한 수단이다. 메시지를 받자마자 객체는 시스템이나 다른 객체로 Response를 보낸다.

## (3) Method

Method는 메시지와 무엇을 할 것인지 그리고 어떻게 할 것인지를 알려주는 것이다. Method는 객체의 데이터 구조에 저장되고, 객체가 다른 객체로부터 Message를 받게되면 반응을 나타낸다<sup>7)</sup>. 각각의 객체는 각각의 Method를 가지기 때문에 같은 메시지에 대해서도 서로 다르게 반응을 나타낸다.

---

7) Prerau, D. S., Developing and Managing Expert Systems Proven Technoloques for Business and Industry, Addison-Wesley Publishing Company, 1990.

위와 같은 객체지향 기법의 특성은 프로그램의 유지·보수, 확장성의 증대, 주어진 문제들을 최적의 문장으로 표현해 줄 뿐만 아니라 일상생활에서 인간이 생각하는 자연스러운 방식을 프로그래밍 언어로 그대로 표현하기 때문에 현실세계에 대한 모델링을 보다 쉽게 해 준다.

다) Decision Tree<sup>8)</sup>

Tree란 정보나 지식을 저장하고 있는 Node와 Node를 연결해주는 Branch로 이루어진 계층적인 데이터 구조를 말한다. Decision Tree는 문제 탐색 공간을 그래픽으로 나타내는 것이며 문제에 관련된 정보를 이용하여 해결책에 도달하게 된다<sup>9)</sup>. Decision Tree를 Decision Structure이라고도 하며, 이는 지식을 표현하는 조직표가 되기도 하고 지식을 추론하는 방법이기도 하기 때문이다. <그림 2-8-2>는 하나의 Node당 0, 1, 또는 2개의 Branch을 갖는 일반적인 Binary Tree를 나타낸 것으로 이는 만들기 쉽고 매우 효율적이다. 만약 Binary Tree의 모든 Leaves가 대답을 하고 모든 Node가 질문이라면 N개의 질문당 최대  $2^N$ 개의 대답을 할 수 있다. Root Node는 최초의 Node이며 Leaves는 후계노드가 없는 가장 낮은 Node이다.

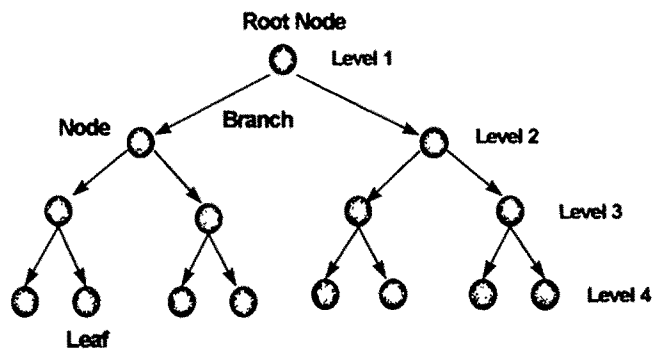


그림 2-8-2 Binary Tree

8) Giarratano, J. and Riley, G., Expert Systems - principles and programming, PWS Publishing Company, 1994.

9) Durkin, J., Expert Systems - design and development, Prentice Hall International, inc., 1994.

## 5) 추론제어 기법<sup>10)</sup>

추론기관은 전문가 시스템을 제어하고 논리적 추론기능을 수행하는 전문가 시스템의 핵심적인 부분으로 사용자의 요구사항을 해석하고 문제의 해결을 위하여 Knowledge Base를 탐색하거나 사용자에게 추가적인 정보를 제공하도록 요구하기도 하면서 주어진 정보나 사용자의 반응에 따라 처리방향을 결정짓는 소프트웨어이다.

### 가) 추론기법

추론기관은 근본적으로 매우 단순한 논리적 기능을 이용하여 일들을 수행하게 되는데 추론을 진행시키는 방향에 따라 전방향 추론과 역방향 추론이 있다.

#### (1) 전방향 추론 (Forward Chaining Inference) 기법

“집에서 나갈 때 비가 내린다면 (Fact) 우산을 갖고 나간다 (Conclusion)” 와 같이 이용가능한 정보로부터 출발하여 적절한 결론을 찾는 방법으로, 주어진 상황에 해당하는 사실에 의하여 조건부가 만족되는 규칙을 찾아 결론부를 실행하고, 또 다음 단계로 계속 진행하여 나가는 추론기법의 일종이다. 전방향 추론은 Planning, Monitoring, Control, Interpretation 등과 같은 일을 수행하는데 유용하다.

#### (2) 역방향 추론 (Backward Chaining Inference) 기법

“밖을 볼 수 없는 상황에서, 누군가 신발이 젖고 우산을 들고 있다면 당신은 비가 내린다고 가정을 할 수 있다.” 와 같이 목표나 가정을 증명하기 위하여 그 목표를 지지하는 증거를 찾아내고 다시 이 증거들을 뒷받침해 주는 또 다른 증거를 찾아가

---

10) 김화수 외 2인, 전문가 시스템, 집문당, 1995.

는 방법으로 가설이 설정되면 관계있는 규칙만을 찾아 실행하여 조건부가 만족되었는지를 검사한다. 이때 조건부가 만족되었다면 끝내고, 그렇지 않다면 그 조건부를 다시 새로운 가설로 설정하여 이러한 과정을 계속 반복하는 방법이다. 역방향 추론은 Diagnostics, Prescription, Debugging 등의 일을 수행하는데 유용하다.

## 나) 탐색기법

전문가 시스템은 문제공간 (Problem Space)을 탐색함으로써 문제를 해결하며, 문제공간이란 규칙의 전제와 결론을 나타내는 Node와 그들의 관계를 나타내는 Branch를 포함하는 Tree나 Graph를 말한다<sup>11)12)</sup>.

### (1) 깊이우선 탐색 (Depth-First Search)

<그림 2-8-3>에 나타난 바와 같이 깊이우선 탐색은 초기노드 (Root Node)를 가지고 시작하여 어떤 후계노드를 선정하여 확장하고 계속적으로 선정된 후계노드의 후계노드를 선정하여 확장시키는 방법이다. 이 탐색기법은 목표노드를 찾을 때까지 계속되거나 만약 더 이상 후계노드가 없는 종점노드 (Dead-End Node)에 다다르면 가지를 가진 다음의 높은 노드로 백트래킹하여 탐색을 계속하게 된다. 경로가 짧은 경우나 Sub-Branch가 깊지 않은 경우에 유용하다.

### (2) 넓이우선 탐색 (Breath-First Search)

초기노드 (Root Node)에서 시작하여 다음 단계의 왼쪽에서 오른쪽으로 모든 노드를 탐색하는 기법으로 <그림 2-8-4>에 나타나 있다. 각 목표로부터 뻗어나가는 경

---

11) Durkin, J., Expert Systems - design and development, Prentice Hall International, inc., 1994.

12) Turban, E., Expert Systems and Applied Artificial Intelligence, Macmillan, 1992.

로수가 상대적으로 적을 때에나 각 Branch에 있는 Level수가 서로 다른 깊이를 가질 경우에 유용하다.

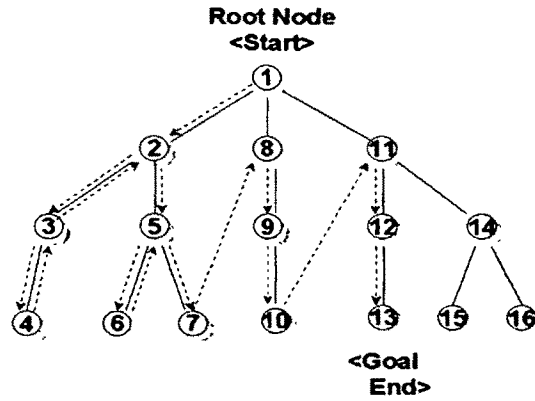


그림 2-8-3 Depth-first search

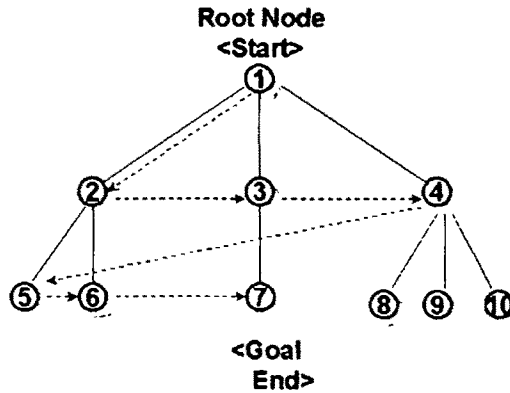


그림 2-8-4 Breadth-First Search

### (3) 최적우선 탐색 (Best-First Search)

탐색을 할 때 어디서 시작하는 것이 좋은지 어떻게 목표노드를 찾는 것이 좋은지에 대해 휴리스틱 지식을 이용하여 문제공간상의 목표노드를 찾는 기법이다.

## 나. 간이상수 처리기법과 관리방안을 위한 지식의 획득

### 1) 지식획득 방법 및 범위

본 연구에서는 국내·외 문헌으로부터 관련지식을 수집하여 간이급수량 산정과 수원 수질에 따른 처리기법을 분석하고, 간이급수도 유지관리시 나타나는 전기·기계 시설의 이상현상 및 대처방안을 결정하였다. 또한 수원 주변의 오염원이 인간의 건강에 미치는 영향을 조사하여 안전한 물 공급을 위한 수원관리를 판단하였고 급수 시설 오염상태에 대한 여러 가지 조치방안도 제시하였다. 이러한 지식들을 Decision Tree형태로 구조화하여 Knowledge Base를 구축하였으며 전문가가 참여하여 Knowledge Base의 검증작업을 수행하였다. 전문가 시스템에서 가장 핵심적인 Knowledge Base의 범위와 깊이는 개발자가 계속 확장시키고 개선함에 따라 상당히 커지고 보다 정확한 추론을 할 수 있게 된다. 본 연구에서는 <그림 2-8-5>와 같이 4가지 전문가 시스템 모듈로 설계를 하였다.

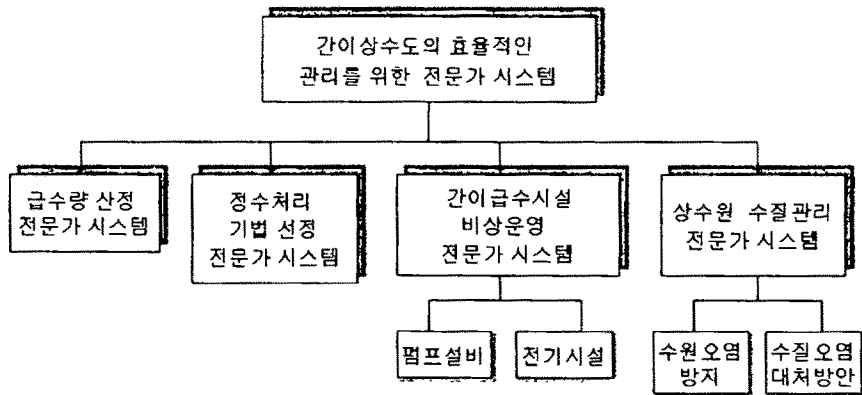


그림 2-8-5 전문가 시스템 개발 모듈

## 가) 급수량 산정<sup>13)</sup>

급수원의 용량은 계획목표 연차, 계획급수 구역, 계획급수 인구를 결정하고 계획급수량을 산정한 후 계획최대 급수량의 10% 증가치를 급수원의 용량으로 결정한다. 급수원의 용량이 결정되면 용량에 맞는 수원을 개발하고, 수원이 모자랄 경우에는 여러 수원을 개발하여 통합, 급수하여야 한다.

### (1) 계획목표연차

계획 목표 연차를 너무 길게 설정하면 건설비가 과대해지고, 시설 능력을 최대한으로 이용하기까지의 기간이 너무 길고, 자산을 잘 이용하지 못하는 비경제적인 계획이 된다. 반대로 계획 목표 연차를 너무 짧게 설정하면 준공한 다음, 즉각 확장 공사를 시작해야 하므로 비경제적이 된다. 수도를 시설하기 위한 계획연차는 10~15년 후 정도를 목표로 하는 것이 바람직할 것이다.

### (2) 계획급수 인구

계획급수 인구는 계획급수 지역내의 상주인구와 과거 인구동태를 기본으로 하여 목표연차의 인구를 추정하고, 이에 급수보급율을 곱하여 구하는 것이다. 인구의 증가가 예상되는 경우에는 계획시점으로부터 계획목표년도에 있어서의 상주인구로 정한다. 그러나 장래 인구가 증가하지 않고 계획목표년도의 인구가 현재의 인구보다 적을 경우는 현재의 인구에 대한 시설을 하여야 목표연차까지의 시설능력이 부족하지 않게 된다. 우리나라 농어촌 인구의 일반적인 추세는 증가보다는 감소나 정지 상태를 나타내는 경우가 많다. 과거의 인구변화 실적을 참고하여 실정에 맞는 인구 추정방법이 선정되어야 한다.

---

13) 厚生省環境衛生局 水道環境部 水道整備課監修, 簡易水道施設設計指針, 昭和 53年.

### (3) 계획 급수량

1994년말 현재 우리나라 1일 1인당 급수량이 전국 평균 408 ℓ 이고, 특별·직할시의 평균은 453 ℓ, 도평균은 347 ℓ 이다<sup>14)</sup>. 상수도 중장기 계획에 의한 인구 2만 이하인 도시의 1인당 1일 평균 급수량은 1996년에 240 ℓ, 2011년에는 314 ℓ 로 지속적으로 증가할 것으로 전망하고 있으나 농어촌 지역의 인구가 현상을 유지하거나 감소하고 있는 현실을 감안할 때 간이급수도를 이용하는 자연마을 단위의 인구는 크게 증가하지 않을 것으로 전망되므로 현재는 약 250 ℓ 를 평균급수량으로 보는 것이 일반적이다<sup>15)</sup>. 따라서 본 연구에서는 평균급수량을 250 ℓ, 최대급수량은 일평균의 1.5배인 375 ℓ 로 각각 선정하였다. <표 2-8-2>는 일본의 간이수도시설 설계지침을 참고로 작성한 것이다.

표 2-8-2 계획급수량 산정시 가산기준

용도구분	기본수량 (A)	1인 1일 최대급수량 (B) (ℓ/인·일)	1인 1일 평균급수량 (C) (ℓ/인·일)	가산수량
일반	계획급수 1인당	50	40	(A)×(B)~(C)
학교	수용인원 1인당	100	50	
여관	숙박수용인원 1인당	300	200	
관공서	상근직원 1인당	120	80	
병원	병상 1인당	450	300	
기타	필요하다고 인정되는 수량			

일반용을 가산할 수 있는 경우에는 계획 급수 인구가 5,000명을 넘는 수도(광역간 수도) 및 5,000명 이하이나 지역 내 인구밀도가 높다든지, 생활수준이 높고, 사회·경제적으로 다량의 물을 필요로 하는 조건을 갖춘 경우이다. 학교에는 유치원, 보육원을 포함하며, 여관에는 양로원, 민박이 포함된다. 기타에는 특별히 다량의 물

14) 환경부, 상수도 통계, 1995.

15) 환경부, 간이상수도 시설 설치 및 관리요령, 1995.



을 사용하는 역 등의 공공시설과 가내산업으로 사용되는 수량 또는 관광지, 해수욕장 등에서 관광객에게 공급되는 수량이 포함된다.

#### (4) 급수원 용량

계획최대 급수량의 10% 증가치를 그 급수원 용량으로 결정한다.

### 나) 수원 수질에 따른 처리기법

#### (1) 우리나라 간이상수도 수질 초과 항목

환경부에서 실시한 먹는 물 수질검사에서 간이상수도 295개소 (광역시 : 19개소, 시·군 : 276개소)를 대상으로 먹는물 수질기준 43항목 및 잔류염소농도를 측정하였다<sup>16)</sup>. 상반기와 하반기로 나누어 조사를 하였으며 각각 다른 간이상수도의 수질을 측정한 것이다. <표 2-8-3>은 수질기준을 초과한 간이상수도수와 기준초과 항목을 나타낸 것이며 유기물질 기준을 초과한 곳은 검출되지 않았다. <표 2-8-4>는 기준초과 항목을 세부적으로 분류한 것이다. 지하수가 수원인 곳에서는 대장균군, 일반세균, 질산성 질소 등이 수질기준을 초과하는 곳이 많았으며, 계곡수와 용천수에서는 대장균군, 일반세균, 탁도 등이 먹는 물 수질기준을 초과하는 곳이 많은 것으로 나타났다.

표 2-8-3 수질기준초과 간이상수도 현황 (환경부, 1996)

	간이상수도 시설수	기준 초과수	기준초과항목				
			소 계 (43항목)	미생물 (2항목)	무기물질 (10항목)	유기물질 (15항목)	심미적 물질 (16항목)
상반기 (1996.4.1~5.31)	295	44 (14.9%)	68	42	14	0	12
하반기 (1996.9.1~10.31)	295	69 (23.4%)	123	66	18	0	39

16) 환경부, 먹는 물 수질검사 결과, 1996.

표 2-84 간이상수도 수질기준 초과 세부항목

	미생물		무기물질				심미적 물질										
	heterotrophs	E.coli	F	As	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	hardness	color	pH	Zn	Cl	total solids	Fe	Mn	turbidity	SO <sub>4</sub> <sup>4-</sup>	Al
상반기	19	23	6	-	-	8	2	-	3	1	-	3	-	-	-	1	2
하반기	32	34	6	1	1	10	3	4	1	1	5	6	2	5	3	2	7

농어촌 상수보존에 관한 1차년도 보고서에서는 충북 청원군과 충남 아산시, 보령시를 대상으로 지표수를 수원으로 하는 2곳, 지하수를 수원으로 하는 20곳을 포함한 22개의 간이급수의 수질검사를 실시한 결과 역시 일반세균, 대장균군, 질산성 질소 및 철분의 4항목이 먹는물 기준을 초과하여 우리나라 간이급수 시설의 수질기준 초과항목과 비슷하게 나타났다.

## (2) 표준모델의 제시

농어촌 지역의 수원의 오염과 급수시설의 관리소홀, 처리시설의 미비로 주민에게 공급되는 상수의 수질은 점차로 악화되고 있으며 일부 지역에서만 염소소독장치를 설치하여 물을 처리하고 있을 뿐 대부분의 시설에서는 단지 수원에서 물을 취수하여 처리하지 않고 원수를 급수관을 통하여 공급하고 있는 실정이다. 수원이 지표수인 경우나 지하수인 경우에도 미생물에 오염된 경우가 많으므로 간단한 소독장치와 여과장치 개발이 필수적이다<sup>17)</sup>.

기존의 간이급수도는 시설별 구조가 통일되어 있지 않으며, 규모도 작고 자연마을 단위로 세분되어 있으며 상수도에 대한 전문지식이 부족한 사람들이 설계하고 비전문가가 시설을 운영하고 있어 설계자는 물론 시설 운영관리자들이 어려움을 겪고 있다. 시설에 대한 설계와 운영관리는 제반 여건을 고려하여 결정되어야 하므로 확

17) 이홍근, 정문호, 백남원, 상수공급 취약지역의 안전급수에 대한 연구, 한국과학재단, 1993.

일적으로 그 기준을 제시할 수는 없으나 가장 보편적인 경우에 대한 기본적인 사항들을 알 수 있으면 불합리한 설계나 불필요한 시설의 설계를 방지할 있어 시설의 운영관리에 도움이 되므로 환경부에서 <그림 2-8-6>과 같은 표준모델을 제시하였다<sup>18)</sup>. 다음 사항은 간이상수도 설치 및 관리요령을 중심으로 각 시설을 나타내었고 그 관리방안도 나타내었다.

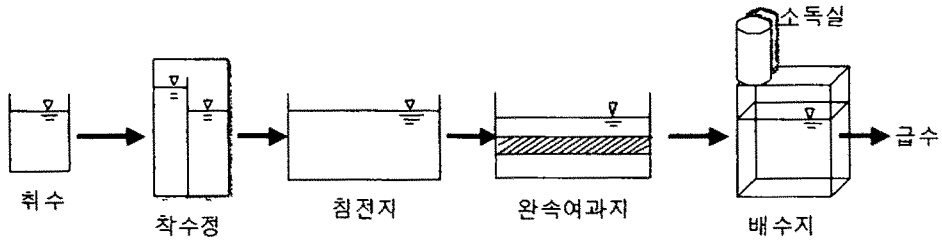


그림 2-8-6 간이상수도 표준모델

#### (가) 침전지

간이급수도에서는 설치관리상 보통침전지를 사용하며 이는 용집제를 사용하지 않고 원수를 8시간 정도 체류시킴으로써 침전가능한 물질을 제거하는 시설이다. 부유물질의 제거율은 30% 내외이다. 부유물질에는 실트, 점토, 유기물질, 미생물 등이 있으며, 부유물질을 제거함으로써 깨끗하고 안전한 음용수를 생산하기 때문에 중요하다<sup>19)</sup>.

#### (나) 완속여과지

간이급수도에서는 설치관리상 완속여과를 사용한다. 완속여과는 운전하기가 간단하고 신뢰성이 있고, 저렴하며, *Giardia cyst*를 99.9%이상 제거할 수 있다. 단점으로

18) 환경부, 간이상수도 시설 설치 및 관리요령, 1995.

19) Tchobanoglous, G. and Schroeder, E. D., Water Quality, Addison-Wesley Publishing Company, 1985.

는 고탁도 발생시 적합하지 않고 부지면적을 많이 차지한다는 것이다<sup>20)</sup>.

Legand 등<sup>21)</sup>이 오레곤주의 인구 310명인 Westfir시에 완속여과를 설치하여 실험실 규모로 실험한 결과, 평균적으로 총대장균 99%, 분변성 대장균 100%, 탁도 50%의 제거율을 각각 나타내었다. 원수의 평균 탁도는 1.5~2 NTU 이었고 DO는 높고, algae, 색도, 침전물질이 거의 나타나지 않는 양호한 수질 상태이기 때문에 완속모래 여과가 적합하였다.

Fogel 등<sup>22)</sup>은 완속여과에 의한 *Giardia*와 *Cryptosporidium*의 제거율을 실험하여 평균적으로 *Giardia*는 93%, *Cryptosporidium*은 48%를 나타내었다. *Cryptosporidium*의 제거율이 낮은 이유는 여재의 균등계수가 3.5로 너무 높았기 때문이었으며, 탁도의 제거율은 평균 55%인데 이는 콜로이드성 입자가 상대적으로 높았기 때문이나 1NTU 미만이 전체 시료 중 94%를 차지하였다.

LeChevallier 등<sup>23)</sup>은 *Giardia*, *Cryptosporidium*, 탁도 및 입자 수 상호간의 상관관계를 평가한 실험 결과, 5 $\mu$ m 이상의 입자성 물질과 탁도의 제거는 *Giardia* 와 *Cryptosporidium*제거의 유용한 예측인자로 나타났다. 즉, 입자성 물질과 탁도를 90% 제거하면 *Giardia*은 59%, *Cryptosporidium*은 80% 제거됨을 알 수 있었다.

완속여과시설에서 모래의 입경은 0.15~0.40 mm (0.3 mm가 가장 일반적)가 효과적이며, 균등계수는 1.5~3.6 범위이며 주로 2인 것을 사용하고, 여재 깊이는 0.46~1.52 m 범위로 0.9 m가 일반적이다. 지지층으로 사용되는 자갈층의 깊이는 0.15~0.91 m인데 주로 0.45~0.60 m로 설치한다. 전처리 시설이 없는 경우 원수를 여과하는 속도는 0.04~0.40 m/h 정도이며 주로 0.07~0.12 m/h 로 하며, 손실수두 역시 0.76~4.3 m로 범위가 넓으나 주로 0.9~1.5 m가 일반적이다. 손실수두를 초과하는 경

---

20) Goodrich, J. A., Safe Drinking Water from Small Systems: Treatment Options, *Jour. AWWA*, pp.49-55, 1992.

21) Leland, D. E. and Damewood III, M., Slow Sand Filtration in Small Systems in Oregon, *Jour. AWWA*, pp.50-59, 1990.

22) Fogel, D. et al., Removing *Giardia* and *Cryptosporidium* by Slow Sand Filtration, *Jour. AWWA*, pp.77-84, 1993.

23) LeChevallier, M. W. and Norton, W. D., Examining Relationships Between Particle Counts and *Giardia*, *Cryptosporidium*, and Turbidity, *Jour. AWWA*, pp.54-60, 1992.

우 모래 표면을 13~50 mm 정도 제거하도록 하며 전형적인 모래 교체주기는 원수의 수질과 여과율에 따라 1~6 개월이다<sup>24)</sup>.

완속여과는 원수의 탁도가 30 ppm, 색도는 20 ppm 미만인 경우에 적합한 공정이며, 색도의 제거율은 25% 정도로 적으나 대부분 원수의 색도는 이 범위내이므로 별 문제가 되지 않는다.

Visscher<sup>25)</sup>은 완속모래여과를 통해 유기물질의 60~70%를 감소시키고, 철과 망간도 대부분 제거하며 중금속도 30~95% 감소시킨다고 보고하였다. 또한 완속여과를 실시하면 물을 소독하기 위해 필요한 염소농도를 상당히 절감시킬 수 있는 장점이 있다고 하였다.

완속모래 여과 표면의 미생물에 의한 생물학적인 작용에 의해서 질산성 질소가 57~69%로 제거된다고 나타났다<sup>26)</sup>. 따라서 생활하수, 축산폐수 등에 의해 오염된 지하수인 경우에 완속여과를 실시함으로써 안전한 물을 공급할 수 있다.

현재 간이급수도 시설에서 완속여과시설이 설치된 곳은 극소수이며 설치되어 있다고 하여도 제대로 이루어지지 않고 있는 실정이다. 완속모래여과를 실시하면 부유물질이 거의 대부분 제거되고 용해성 물질과 수인성 병원균 역시 일부분 제거되어 보다 안전한 물을 공급받을 수 있으므로 반드시 간이급수 처리 공정에 필수적으로 포함되도록 하여야 한다.

#### (다) 소독

미국 EPA에 의해 시행된 지표수 처리법안 (SWTR, 1989)에 의하면 월 채취시료 중

---

24) Pontius, F. W., *Water Quality and Treatment - a Handbook of Community Water Supplies*, MacGraw-Hill, Inc., pp.537-540. 1990.

25) Visscher, J. T., *Slow Sand Filtration: Design, Operation, and Maintenance*, *Jour. AWWA*, pp.67-71, 1990.

26) 이흥근, 정문호, 백남원, 상수공급 취약지역의 안전급수에 대한 연구, 한국과학재단, 1993.

95%의 처리수 탁도가 0.5 NTU 미만이 되도록 규정하였고, 적어도 *Giardia* cyst를 99.9%, enteric viruses를 99.99% 제거하고 잔류소독 농도를 0.2 ppm 유지하도록 하였다.

간이급수에서 주로 사용하는 소독제로는 염소를 가장 많이 사용한다. 이는 매우 효과적이고 수인성 질병을 막아주며, 널리 사용되고, 어느 지점에서든 적용가능하며, 저렴하고 1차 살균제와 2차 살균제로 적합하기 때문이다<sup>27)</sup>. 1차 살균은 병원균을 목표치까지 죽이거나 활동하지 못하게 하는 것이고, 2차 살균은 병원균이 급수관에서 자라지 못하도록 일정량 잔류시키는 것이다. 단, 천연유기물질 (NOM)과 같은 전구물질이 있을 때에는 인체에 유해한 THM을 형성하는 단점이 있다.

Geldreich<sup>28)</sup>의 연구에 따르면 분변성 대장균균이 20/100 ml, 탁도 1NTU, 색도 15 ACU, 염소요구량 2 ppm인 지표수의 경우에는 여과가 필요없이 소독만 하여도 수질기준을 만족한다고 하였다.

간이급수도에서 사용하는 염소는 유효염소량이 70~75% 정도인 분말 형태의 차아염소산칼륨이다<sup>29)</sup>. 염소소독 장치를 갖춘 지역에서도 장치조작의 미숙, 장치의 노후 및 고장 등으로 손으로 직접 관리자가 투여하고 있는 것으로 나타났다<sup>30)</sup>. 잔류염소 농도가 너무 높으면 THM이나 HAA등의 염소 살균부산물이 생성되어 인체에 해로우며, 잔류염소 농도가 너무 낮으면 수인성 질병을 일으키는 *Giardia* 와 *Cryptosporidium* 등이 다시 활동을 하게 되므로 적절히 잔류농도를 유지하는 것이 중요하다. 따라서 염소를 자동으로 주입할 수 있는 염소자동 주입장치의 개발과 실용화가 고려되어야 한다.

---

27) Goodrich, J. A., Safe Drinking Water from Small Systems: Treatment Options, *Jour. AWWA*, pp.49-55, 1992.

28) Geldreich, E. E., Goodrich, J. A., and Clark, R. M., Characterizing Surface Waters that may not Require Filtration, *Jour. AWWA*, pp.40-50, 1990.

29) 환경부, 간이상수도 시설 설치 및 관리요령, 1995.

30) 이흥근, 정문호, 백남원, 상수공급 취약지역의 안전급수에 대한 연구, 한국과학재단, 1993.

### (3) 정수처리 방식의 선정

간이급수시설에서는 건설비와 운전비가 경제적이고, 조작이 간단하고, 간헐적인 운전을 적용할 수 있으며, 유지비가 낮고, 슬러지 문제가 발생하지 않는 정수방법이 요구된다<sup>31)</sup>. 가능한한 소독설비만으로 충분하거나 완속여과법으로 정수처리가 가능한 수원을 찾아야 하며, 그러한 수질을 만족시키는 수원이 없을 경우에는 새로운 수원을 구하거나 고도정수 처리시스템의 도입을 고려하여야 한다<sup>32)</sup>. 정수처리 방식을 선정하기 위한 Knowledge Base을 구축하기 위한 지식<sup>33)34)35)</sup>을 <표 2-8-5>에 나타내었으며, 대상선정 항목에는 우리나라 간이상수도 수질초과 항목중 가장 빈도가 높은 대장균군, 일반세균, 탁도, 질산성 질소 등으로 정하였다.

표 2-8-5 정수방법의 선정 기준

원수 수질	처리방법		원수상태	모델선정 번호
대장균군 50MPN/100ml 이하 일반세균 500MPN/1ml 이하 기타 항목은 수질기준에 적합	소독설비만으로 가능		-	원수-소독-급수
대장균군 1000MPN/100ml 이하 년평균 탁도 10도 이하 년평균 NO <sub>3</sub> -N 20 mg/ℓ 이하	완속 여과법	침전지 불필요	년최고탁도 10도 이하 년최고 NO <sub>3</sub> -N 30 mg/ℓ 이하	원수-완속여과-소독-급수
		보통침전지	년최고탁도 10~30도 년최고 NO <sub>3</sub> -N 30~40 mg/ℓ	원수-보통침전-완속여과-소독-급수
		약품처리침전지	년최고탁도 30도 이상 년최고 NO <sub>3</sub> -N 40 mg/ℓ 이상	원수-약품침전-완속(급속)여과-소독-급수
상기 이외에	급속 여과법	약품침전지 고속응집침전지	① 탁도 : 최저 10도 전후, 최고 약 1,000도 이하 ② 처리수량 변동폭이 적을 때	원수-고속응집침전-급속여과-소독-급수

31) Goodrich, J. A., Safe Drinking Water from Small Systems: Treatment Options, *Jour. AWWA*, pp.49-55, 1992.

32) 육군사관학교 화랑대 연구소, 군용 급수 시스템을 위한 정수처리 방안 연구, 1995.

33) 厚生省環境衛生局 水道環境部 水道整備課監修, 簡易水道施設設計指針, 昭和 53年.

34) 이홍근, 정문호, 백남원, 상수공급 취약지역의 안전급수에 대한 연구, 한국과학재단, 1993.

35) 환경부, 간이상수도 시설 설치 및 관리요령, 1995.

## 다) 전기·기계(펌프) 시설

간이상수도 시설관리 부문에서 전기·기계시설의 사고발생과 이상현상 등에 대한 대처방안은 사고발생시에 따르는 2차 사고, 즉 화재, 침수, 감전, 정전 등으로 확대 되는 것을 방지하는 것으로 상당히 중요하다.

### (1) 전기시설

전기시설에서의 사고원인과 대처방안에 대한 Knowledge Base을 구축하기 위한 지식<sup>36)</sup>을 <표 2-8-6>에 나타내었다. 전기시설의 이상이나 사고는 허용치 이상의 전류 및 전압의 발생으로 인한 전기적 저항에서 발생하는 전기시설의 파손이 대부분이다. 전기시설과 관련된 용어를 정의하면 다음과 같다.

- ◇ 케이블 (cable) : 마 또는 철사로 만든 약 25.4 mm 이상의 굵은 로프 또는 지하전선이나 가공선, 해저 전선 등의 가설에 사용되는 것으로 여러가닥의 전선을 한 묶음으로 하여 이에 적당한 피복처리를 한 것이나 아크용 접구의 일종으로 용접기와 용접 홀더, 용접기와 모체를 연결하는 것이다.
- ◇ 콘덴서 (condenser) : 축전기라고도 하며, 전기용량을 갖는 장치로 특히 회로소자로써 사용되는 것으로 2개의 도체판을 공기 또는 다른 유전체에 끼워 대향시킨 구조를 기본으로 한다.
- ◇ 트랜스 (transformer) : 변압기라고도 하며, 전자유도를 이용하여 교류의 전압을 높이거나 낮추는 장치를 말한다.
- ◇ 낙뢰방지기 : 폭우시 번개 혹은 벼락이 쳤을 때 일반주택의 전기시설을 보호하기 위한 피뢰침과 같은 역할을 한다.

---

36) 김웅석, 수도권 광역상수도 시설의 사고발생시 효율적 대처방안에 관한 연구, 고려대학교 토목환경공학과 석사논문, 1996.



표 2-8-6 전기시설의 이상현상, 원인 및 대처방안

이 상 현 상	원 인	대 처 방 안
모터속의 코일이 타 버린 경우	허용치 이상의 전압발생으로 절연체가 파괴되어 일어난다	코일을 교체하고 손실된 부분을 수리한다
변압기 고장 및 손실	전압을 바꾸어주는 변압기에서 과전압 발생으로 인해 절연체가 파괴되어 발생하는 데 이때 차단기가 자동으로 작동하도록 되어있다	부분수리를 하거나 전체를 교체한다
케이블의 손실	필요이상의 과전압이 전선을 따라 흐르다가 이를 견디지 못하고 저항에 의해서 열화되거나 또는 전선의 접지 불량 및 제작 불량으로 발생한다	손실된 케이블을 모두 교체한다
콘덴서의 손실	절연저항 불량이 원인이며, 손실시 육안으로 식별이 가능하다	전체를 교체한다
차단기의 파손	고장나면 자동으로 자동벨이 작동한다. 보통 제작불량인 경우와 동물들에 의한 파손이 원인이다	지지예자만 교체하거나 접점부위만 교체한다
낙뢰방지기의 파손	폭우시 동반되는 벼락 (낙뢰)에 의해서 파손된다	새것으로 교체한다

(2) 기계 (펌프) 시설

연구대상 지역의 간이급수 시설현황을 살펴보면 취수장 모터 불량 및 노후에 대한 사항이 많이 나타났다. 이에 대해 관련문헌<sup>37)</sup>을 통해 <표 2-8-7>과 같이 펌프의 이상 및 고장현상, 원인 및 대처방안을 조사하여 전문가 시스템을 구축하기 위한 지식을 수집하였다.

37) Wright, F. B., Rural Water Supply, Robert E. Krieger publishing company, pp.156-160, 1977.

표 2-8-7 펌프의 이상현상, 원인 및 대처방안

이상현상	원 인	대 처 방 안
① 펌프모터가 작동하지 않을 경우	fuse가 끊어졌거나 회로차단기가 열려져 있다	fuse를 새것으로 교환하거나 회로차단기를 초기화시킨다
	압력스위치가 작동하지 않는다	다이어프램을 교체한다
	배선이 고장났다	배선을 고친다
	전원이 꺼져 있다	펌프전원을 확인하고 펌프회사에 연락한다
	모터가 닳거나 시작스위치가 고장났다	모터를 조사하고 고친다
	임펠러에 이물질이 쌓여 있다	펌프를 분리하여 이물질을 제거한다. 임펠러가 고장났다면 새것으로 교체한다
	펌프가 열었다	펌프를 온수로 녹인다. 단, 불을 사용하여서는 안된다
② 펌프는 작동하나 양수할 수 없는 경우	수원의 물이 말랐다	새로운 수원을 개발한다
	수위가 펌프의 흡입고 미만이다	진공계이저로 확인할 수 있으며, 물을 채우거나 펌프를 더 낮춘다
	취수장에 공기가 과다하게 있다	펌프의 가동/멈춤 동작을 연속하여 실시한다
	프라이밍(priming)기능을 잃었다	진공계이저로 확인할 수 있다. 제조자의 지시를 받는다
	하나 또는 그 이상의 모터벨브가 쓰레기나 이물질로 인해 열려져 있다. (왕복펌프인 경우)	벨브를 교체한다
	제트펌프의 경우 제트가 쓰레기나 이물질로 막혀있다	제트를 없애고 깨끗이 청소한다
	제트나 원심펌프의 경우 임펠러가 이물질이나 모래로 차 있다	펌프를 분해하여 깨끗이 청소하고, 흡입라인에 모래제거 장치를 설치한다
	흡입펌프가 이물질이나 철박테리아 또는 침전물로 막혀있다	진공계이저로 확인할 수 있다, 흡입파이프를 제거하고 청소하거나 새것으로 교체한다
	왕복펌프의 경우 펌프실린더가 깨졌다	실린더를 새것으로 교체한다
	왕복펌프의 경우 펌프가죽이 닳았다	펌프가죽을 새것으로 교체한다
	벨브나 벨브시트가 닳았거나 부식되었다	벨브와 벨브시트를 새것으로 교체한다
	차단벨브가 닫혀있다	차단벨브를 연다
	새로 설치하는 경우, 모터의 방향이 잘못되어 있다	안내지침서로 다시 확인한다
수중 터빈펌프의 경우, 펌프가 너무 깊거나 프로펠러가 깨어졌거나 수위가 가장 낮은 임펠러보다 낮다	펌프가 사양서대로 설치되고 운전되는지 확인한다. 수위를 확인한다	
③ 모터 과부하 스위치가 자주 작동하는 경우	펌프속에서 바인딩되어 과부하가 되었다	직접 펌프를 돌려 바인딩 되었는지 확인한다. 패킹상자, 실린더 또는 임펠러 주변에서 문제가 발생할 수 있다
	전압이 낮다	펌프에서 전압이 상당히 낮다면 (10%이상), 이는 펌프에 대한 배선이 충분하지 않기 때문이다. 메터기에서 전압이 낮다면, 이는 전력선에 문제가 있으므로 전력회사에 알린다
	탱크압력이 너무 높게 설정되어 있어 펌프를 멈출 수 없다	탱크압력을 낮춘다
	모터가 220v 대신 100v에 잘못 연결되었다	배선 연결을 확인하여 필요하다면 바꾼다
④ 펌프가 작동하나 소량의 물만 양수되는 경우	펌프벨브가 샌다	벨브를 고친다
	수원의 물이 충분하지 않다	물수요를 감소시키거나 새로운 수원을 개발한다
	실린더가 깨졌다	실린더를 교체한다
	임펠러가 닳았다	임펠러를 교체한다
	스트레이너/임펠러가 이물질로 막혀있다	이물질을 없애고 깨끗이 청소한다

이상현상	원 인	대 처 방 안
	모터 전압이 낮아 펌프가 천천히 작동하거나 멈추게 된다	펌프의 배선을 크게한다
	우물이 과잉공기로 차 있다	펌프의 가동/멈춤 동작을 연속하여 실시한다
	흡입라인에 공기가 차 있다	진공게이지로 확인할 수 있다. 탱크압력을 감소시키고 가능하면 공기를 펌핑하여 밖으로 내보낸다. 자주 문제가 발생하면 흡입관이 새는지 확인한다
	스크린이 막혀있다	깨끗이 청소한다
	흡입관이 너무 적다	진공게이지로 확인할 수 있으며 큰 관으로 교체한다
	탱크압력이 너무 높게 설정되어 있다	압력범위를 낮춘다
	제트펌프의 경우 제트노즐에 이물질이 쌓여 있다	제트노즐을 교체하거나 깨끗이 청소한다
	제트펌프에서 압력조절기가 수위에 비해 너무 낮게 설정되어 있다	압력 조절기를 다시 설정한다
⑤ 펌프가 작동하나 자주 멈추는 경우	압력탱크내에 공기가 충분하지 않거나 탱크가 물에 잠겼다	공기제어장치를 고치거나 교체한다. 공기튜브가 연결된 펌프의 Schrader valve가 달라붙어있는지를 확인한다
	foot valve나 check valve가 샌다	밸브를 고친다
	배관이 샌다	새는 부분을 고친다. 새는 부위가 지하에 있다면 위치지점까지 판다
	탱크가 너무 적다	큰 탱크를 설치한다
⑥ 펌프의 소음이 발생하는 경우	펌프가 물에 잠겼거나 풀런저 타입이면 펌프의 확장챔버에 공기가 부족하다	공기제어장치를 고친다
	진공챔버 없이 흡입관이 길다	흡입관에 진공챔버를 설치한다
	배어링이나 다른 부속품이 느슨해져 있다	조이거나 새로 교체한다
	모터나 펌프가 장비에 느슨하게 연결되었다	장비를 조인다
	제트펌프, 원심력 펌프, 터빈펌프의 경우, 흡입관이 새어 펌프내에 공기가 차 있거나, 공기제어기가 고장났거나, 수위가 낮다	진공게이지를 확인하고 공기가 새는 부위를 점검하거나 너무 낮게 펌핑하는 것을 피한다

## 라) 상수원 수질관리

### (1) 수원오염 방지

수도는 청정하고 풍부한 물을 널리 주민에게 공급하고 공중위생의 향상과 생활환경 개선에 기여하는 것이므로 관리를 철저히 하여야 한다. 무엇보다도 수원이 오염되지 않도록 보호하는 것이 중요하며, 수원부근에 위치한 오염원으로는 주택, 축사, 화장실, 농경지에서 사용하는 비료와 농약 등과 소규모 공장에 배출하는 폐수 등이 있다. 이러한 오염원들이 상수의 수질악화를 초래하므로 수원부근에 어떤 오염원들이 존재하

는가를 조사하여 오염원들이 인체에 미치는 영향<sup>38)</sup>을 <표 2-8-8>에 나타내었으며, 조치 방안에 대해서도 조사하였다. 본 연구에서는 수원으로부터 반경 15m 이내에 세균성 오염원 (분뇨, 퇴비, 쓰레기장 등)의 유무, 수원으로부터 100m 이내에 유독성 물질 (공장폐수)의 유무, 수원으로부터 100m 이내에 논과 밭의 유무 등에 관련된 사항을 조사하여 Knowledge Base를 구축하였다.

표 2-8-8 인체에 미치는 오염물질의 영향

오염물질	건강에 미치는 영향	발생원
미생물	급성 위장 장애, 설사, 간염, 장티푸스, 콜레라, giardiasis, cryptosporidiosis 등	인간과 동물의 분뇨
비소	피부와 신경계에 독성을 나타낸다	지각에 포함
납	신경계에 손상을 입히며, 신장에 영향을 주고 특히 태아와 임산부에 대한 독성이 매우 높다	납 파이프와 납땀물에서 우려나올 수 있다
질산성 질소	blue baby syndrome	비료, 하수, feed lots
불소	skeletal damage 치아 불소 침착증 (dental fluorosis)	지각에 포함
농약과 살초제	신경계에 독성을 준다 암 유발	농경, 원예
트리할로메탄	암 유발	부산물
방사선물질	암	지각에 포함

## (2) 수질오염 대처방안

현재 사용하고 있는 급수시설에 문제가 발생하였을 때 시설관리인이 취해야 하는 대처방안을 관련 문헌<sup>39)40)</sup>을 토대로 <표 2-8-9>와 같이 나타내었다.

38) US Environmental Protection Agency, Drinking Water Treatment for Small Communities - A Focus on EPA's Research, 1994.

39) 이홍근, 정문호, 백남원, 상수공급 취약지역의 안전급수에 대한 연구, 한국과학재단, 1993.

40) WHO, Guideline for Drinking-Water Quality, Vol. 3. pp36-37. 1984.

표 2-8-9 안전한 물 공급과 수질오염 방지를 위한 관리대책

수원과 급수 방법	시설상태	신속한 조치법	재발 방지를 위한 예방조치법
뚜껑이 없는 우물	오염발생 가능성이 있음	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 우물을 청소한다</li> <li>· 가정에서 물을 끓여 마신다</li> <li>· 가정에서 소독약을 사용하거나 여과를 하여 마신다</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 뚜껑이나 보호시설을 설치한다</li> <li>· 지역주민을 교육시키고 참여하도록 한다</li> </ul>
뚜껑있는 우물 또는 관정호	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 위생상태가 불량한 경우</li> <li>- 수인성 전염병이 유행할 경우</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 가정에서 물을 끓여 마신다</li> <li>· 가정에서 소독약을 사용하거나 여과를 하여 마신다</li> <li>· 미생물 검사를 다시 한다</li> <li>· 위생조사를 정밀히 하여 잘못된 곳을 시정한다</li> <li>· 안전한 수원으로 대체한다</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 오염원을 제거한다</li> <li>· 지역주민을 교육시키고 참여를 유도한다</li> </ul>
처리시설을 갖추지 않은 간이급수시설	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 위생상태가 불량한 경우</li> <li>- 수원 수질에 미생물이 기준초과할 경우</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 미생물 검사를 다시 한다</li> <li>· 가정에서 물을 끓여 마신다</li> <li>· 가정에서 소독약을 사용하거나 여과를 하여 마신다</li> <li>· 염소처리를 한다</li> <li>· 위생조사를 정밀히 하여 잘못된 곳을 시정한다</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 오염원을 제거하고, 시설이 잘못된 곳은 고친다</li> <li>· 수원과 저류조들 보호한다</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 급수시설 수질에 미생물이 기준초과할 경우</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 미생물 검사를 다시 한다</li> <li>· 가정에서 물을 끓여 마신다</li> <li>· 가정에서 소독약을 사용하거나 여과를 하여 마신다</li> <li>· 염소처리를 한다</li> <li>· 위생조사를 정밀히 하여 잘못된 곳을 시정한다</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 급수시설의 정기적인 감독 및 보수작업 실시한다</li> <li>· 정기적인 위생검사작업 실시한다</li> <li>· 노후시설이나 파손된 시설은 교체한다</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수인성 전염병이 유행할 경우</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 미생물 실험을 하기 위해 시료를 채취한다</li> <li>· 염소처리작업 한다</li> <li>· 가정에서 물을 끓여 마신다</li> <li>· 가정에서 소독약을 사용한다</li> <li>· 수원과 급수시설에 대한 위생조사를 정밀히 하여 잘못된 곳은 시정한다</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 수원과 급수시설의 정기적인 감독 및 보수작업 실시한다</li> </ul>
처리시설을 갖춘 간이급수시설	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수원, 처리시설 및 급수시설의 위생상태가 불량할 경우</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 미생물 검사를 다시 한다</li> <li>· 가정에서 물을 끓여 마신다</li> <li>· 가정에서 소독약을 사용하거나 여과를 하여 마신다</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 전체 시스템에 대한 정기적인 감독 및 보수작업 실시한다</li> <li>· 위생상태를 점검한다</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 처리 후 또는 급수시설에서 미생물이 기준초과할 경우</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 염소처리가 적합한지 확인한다</li> <li>· 가정에서 물을 끓여 마신다</li> <li>· 가정에서 소독약을 사용한다</li> <li>· 전체 시스템을 정밀조사하여 잘못된 곳을 찾아 시정한다</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 전체 시스템에 대한 정기적인 감독 및 보수작업 실시한다</li> <li>· 위생상태를 점검한다</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수인성 전염병이 유행할 경우</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 미생물 실험을 하기 위해 시료를 채취한다</li> <li>· 염소처리작업 한다</li> <li>· 가정에서 물을 끓여 마신다</li> <li>· 가정에서 소독약을 사용한다</li> <li>· 수원과 급수시설에 대한 위생조사를 정밀히 하여 잘못된 곳은 시정한다</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 전체 시스템에 대한 정기적인 감독 및 보수작업 실시한다</li> <li>· 위생상태를 점검한다</li> </ul>

2) 획득된 지식의 구조화

이미 획득한 지식을 Decision Tree 형태로 <그림 2-8-7>, <그림 2-8-8>, <그림 2-8-9>, <그림 2-8-10>에 나타내었다.

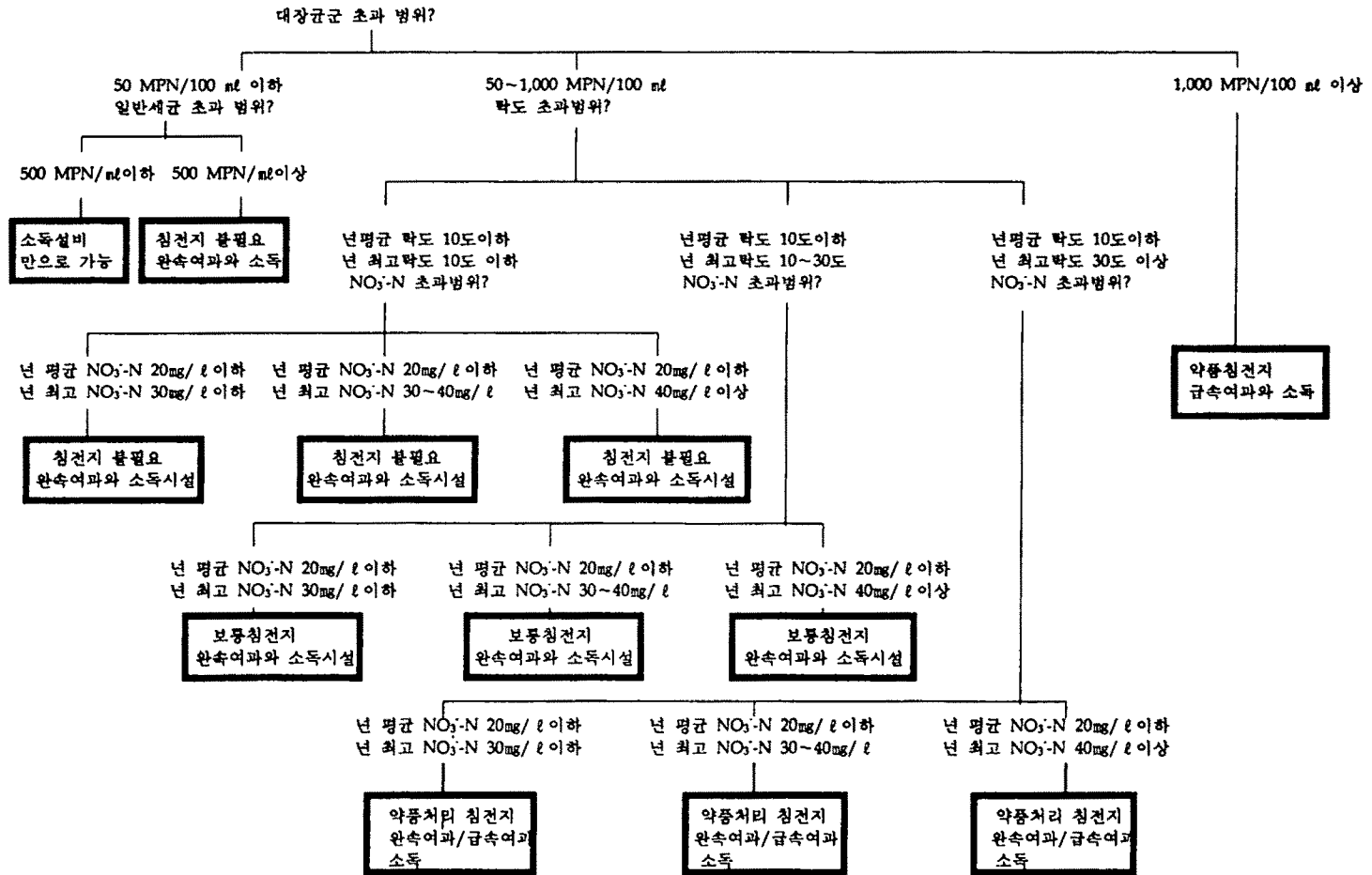


그림 2-8-7 Decision Tree 예 (1)

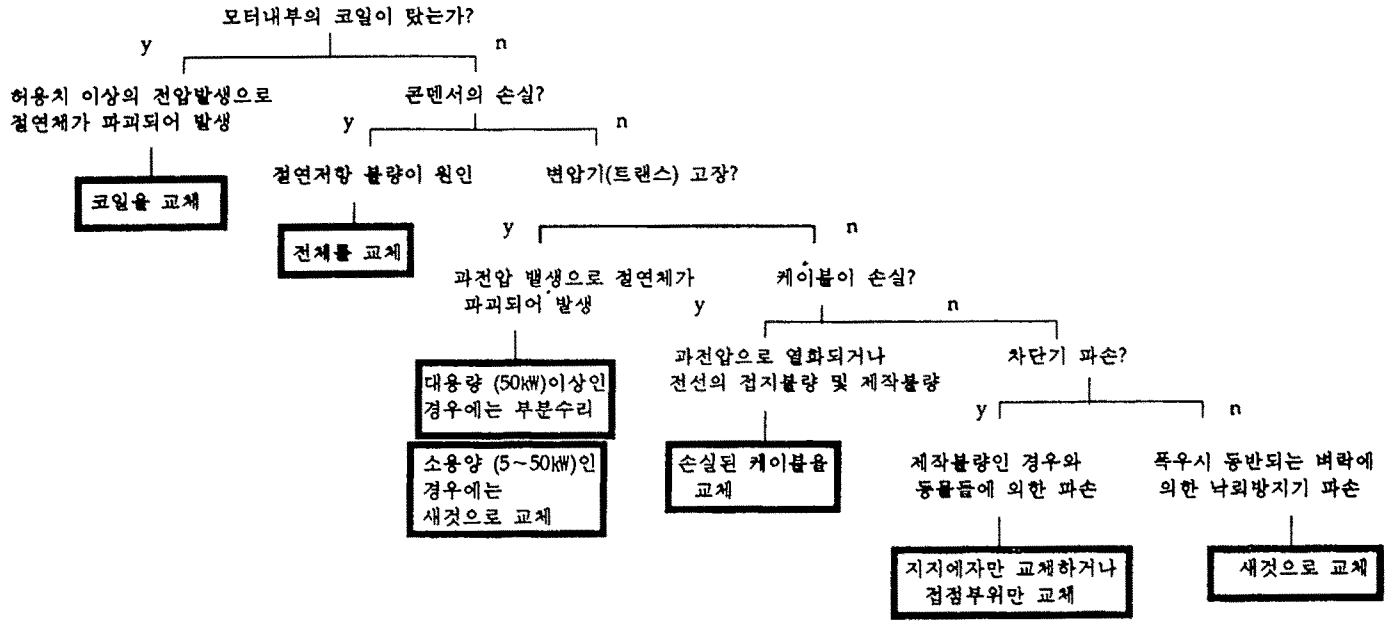


그림 2-8-8 Decision Tree 예 (2)

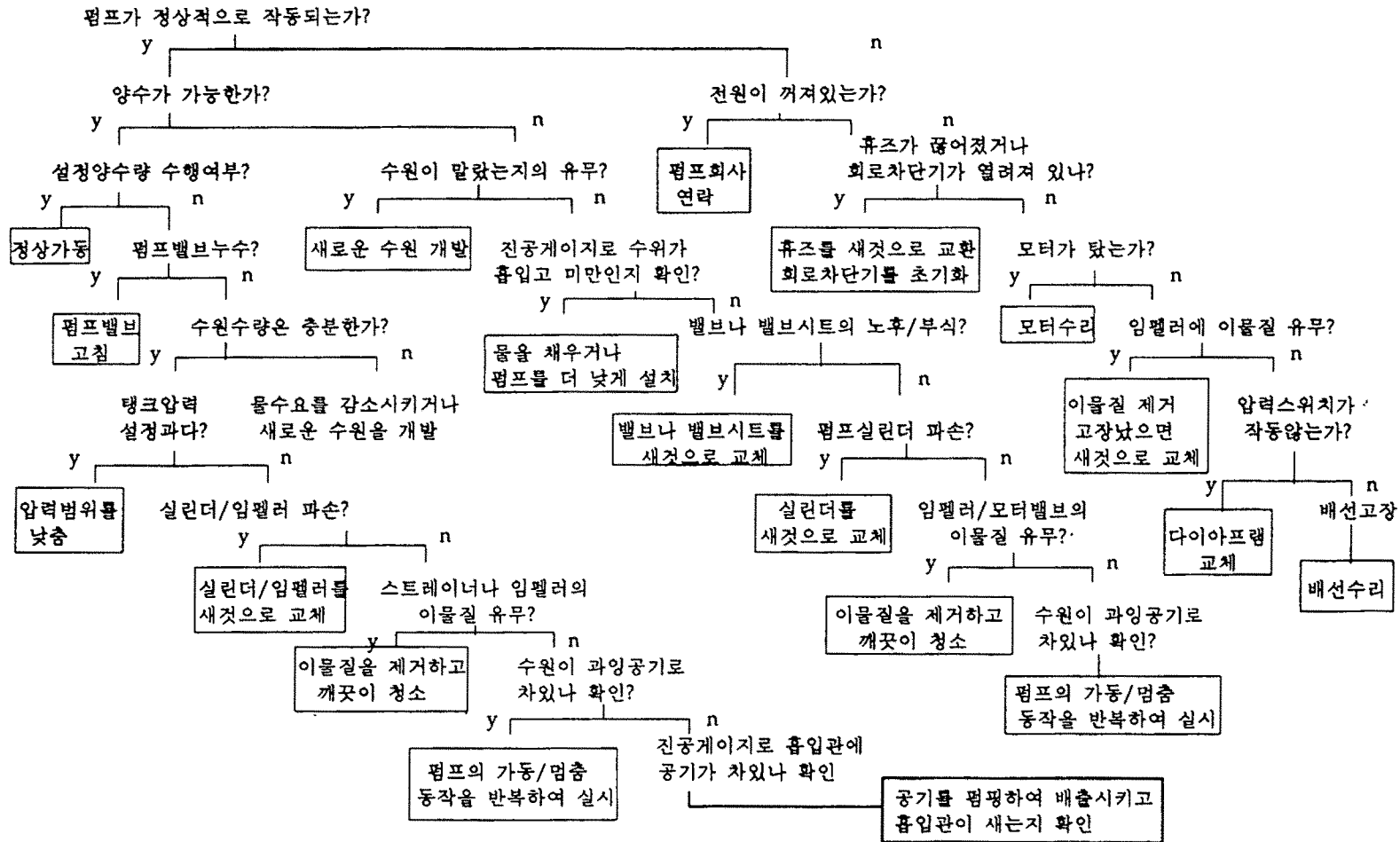


그림 2-8-9 Decision Tree 예 (3)



수원으로부터 15m 이내에 미생물 오염원

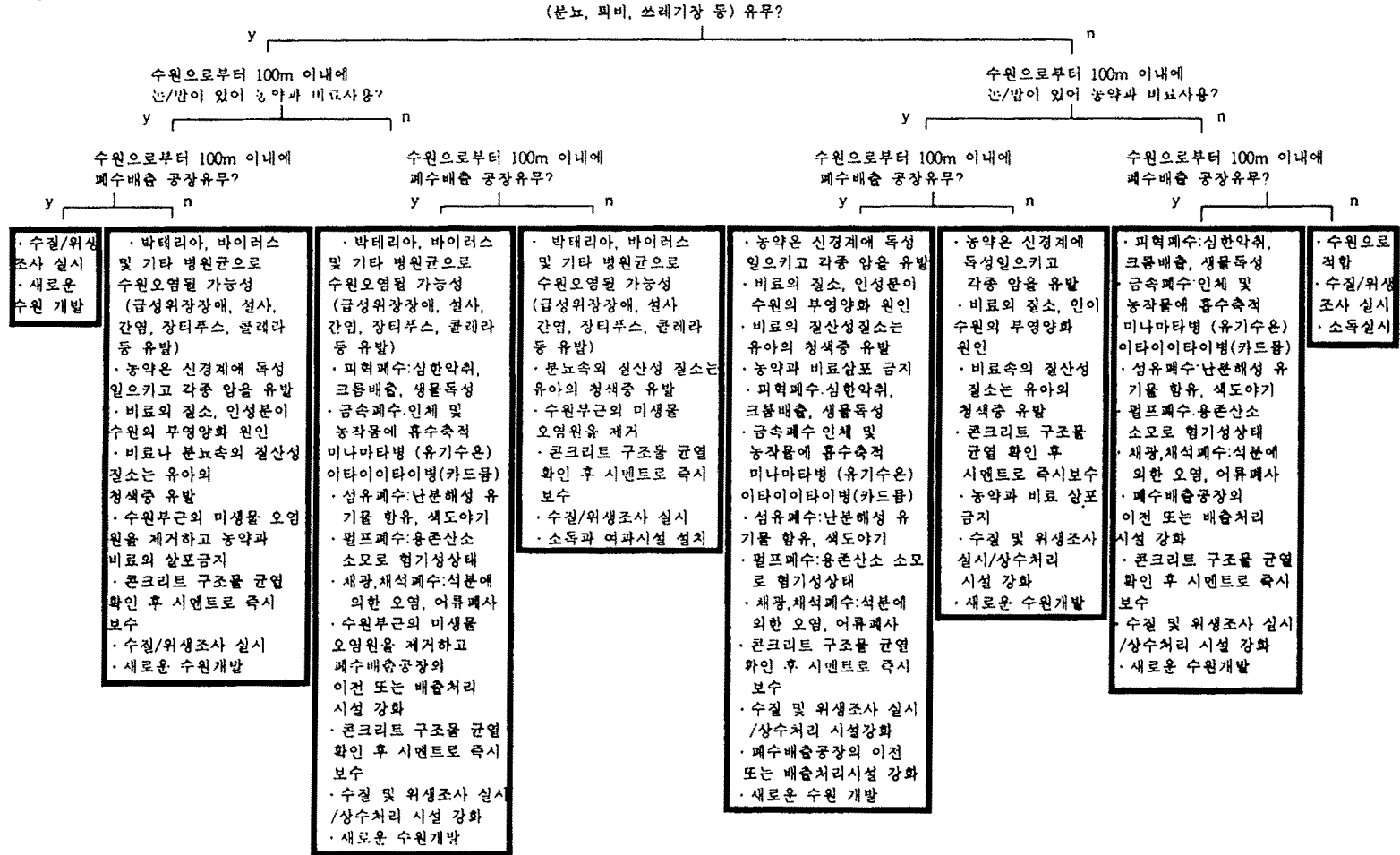


그림 2-8-10 Decision Tree 예 (4)

## 다. 전문가 시스템 개발

### 1) 전문가 시스템 개발 도구

전문가 시스템의 개발은 추론기관과 사용자를 위한 각종 지원 기능을 갖추고 있는 기존의 전문가 시스템 개발도구인 전문가 시스템 셸 (Expert System Shell)을 이용하는 방법과 LISP, C 등과 같은 프로그래밍 개발 언어를 사용하여 추론기관부터 Knowledge Base까지 직접 작성하는 두가지 방법을 고려해 볼 수 있다. 시스템의 골격을 설계하고 Knowledge Base를 구축하는 단계에서는 전문가 시스템 셸을 사용하는 것이 시스템 개발에 소요되는 시간과 노력을 상당히 절감할 수 있는 것으로 알려져 있다. 즉, 효율적으로 지식을 구축할 수 있으며 자체적으로 각종 추론기법이 내장되어 있어 저장된 지식을 이용하여 원하는 결과를 추론할 수 있게 해 준다.

본 연구에서는 전문가 시스템 개발도구로 Smart Elements를 선정하였으며 이는 개발환경을 제공하는 개발모드 (Development Mode)와 실행환경을 위한 실행 모드 (Runtime Mode)로 구성되어 있다. 개발환경에서는 Knowledge Base 구축 및 전반적인 전문가 시스템 구축을 위한 각종 지원기능이 제공되며, 실행환경에서는 개발환경에서 구축된 Knowledge Base 등을 활용할 수 있다.

Smart Elements의 중요한 특징은 다음과 같다.

- ① 생성규칙과 객체지향 기법을 혼합한 형태로써 If/Then 형식으로 지식을 편리하게 구축할 수 있고, 데이터 베이스나 스프레드시트의 자료를 이용하여 지식베이스를 생성할 수 있는 기능을 갖추고 있다.
- ② C, 포트란, 코볼 등 다양한 언어와 호환이 가능하며, dBASE III, Lotus 1-2-3, 또는 일반 ASCII 텍스트 파일과 직접적으로 정보의 교환이 가능하다.
- ③ 역방향 추론 및 순방향 추론의 기능을 모두 구사할 수 있으며 일곱가지 추론 메

카니즘이 자동적으로 지원된다.

④ 외부에서 작성된 응용프로그램과 호환이 가능하며, 기존에 작성된 데이터베이스 자료를 쉽게 이용할 수 있기 때문에 기존의 프로그램 기능을 확장할 수 있다.

전문가 시스템 도구는 여러 가지 지식표현 형태를 지니고 있어야 하며, 다양한 추론형태를 가지고 있어서 문제 영역에 따라 추론형태를 선택하여 사용할 수 있어야 한다. 또한 도구는 다른 프로그램이나 다른 프로그래밍 언어로 쓰여진 전문가 시스템과의 연결이 가능해야 한다. 이러한 조건은 기존에 작성된 프로그램과 복합된 시스템을 구축하는데 가장 절실한 문제이다. 에러를 찾아주는 디버거와 에디터 등의 여러 가지 기능을 갖추고 있으면 편리하며, 사용자의 편의를 위하여 Window/Menu 양식을 제공하고 그래픽 라이브러리를 구축하여 필요시 도면을 사용할 수 있어야 한다. 결국 전문가 시스템 도구는 전문가 시스템의 구축을 보다 편리하게 해주는 프로그램으로 지식표현 방법, 추론 방식, 조절 기능 등을 기본적으로 지니고 있어야 한다.

## 2) 전문가시스템 개발내용

### 가) Knowledge base 구축

전문가 시스템을 구축하기 위한 도구로써 Smart Elements를 이용하여 Decision Tree로부터 Knowledge base를 구축하였으며 그 과정은 다음과 같다.

Rule을 구성하는 요소에는 Object, Class, Property가 있으며 이들을 각각 Object Editor, Class Editor, Property Editor를 이용하여 만들었다. 이렇게 Rule을 만들기 전에 구성요소들을 먼저 만듦으로써 Rule의 구조를 먼저 정의하고, 또한 Rule을 입력하는 과정에서 발생할 수 있는 오류를 방지할 수 있게 된다.

Object는 자동차, 우주, 코스, 컴퓨터 프로그램 등과 같이 우리가 표현하려고 하는

어떤 것으로 가장 작은 기본단위이다. Class는 비슷한 특성을 갖는 Object들의 집합체이며, Class를 구성하는 멤버들이 갖고 있는 특성을 정의하는 하나의 틀로써 사용된다. Animal 이라는 Class는 Bird 나 Mammal 이라는 보다 세부적인 특징들을 정의하는 Subclass를 포함시킬 수도 있다. Property는 Object나 Class의 특성을 나타내기 위하여 사용되어진다. Property 유형으로는 String, Integer, Float, Boolean, Data, Time등이 있다. 특이한 사항은 Smart Elements에서는 Value라는 Property를 제공하는데 이는 사용자가 Class나 Object에 어떤 Property도 부여하지 않았을 경우에 자동적으로 시스템이 부여하는 것이다. 이 때 Value Property는 주어진 상황에 따라 String, Integer, Float, Boolean, Data, Time 등의 유형을 자동적으로 부여받게 된다.

<그림 2-8-11>은 이와같이 방법으로 만들어진 Class, Object, Property 간의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 Class는 ○, Object는 △, Property는 □로 나타나고 있다.

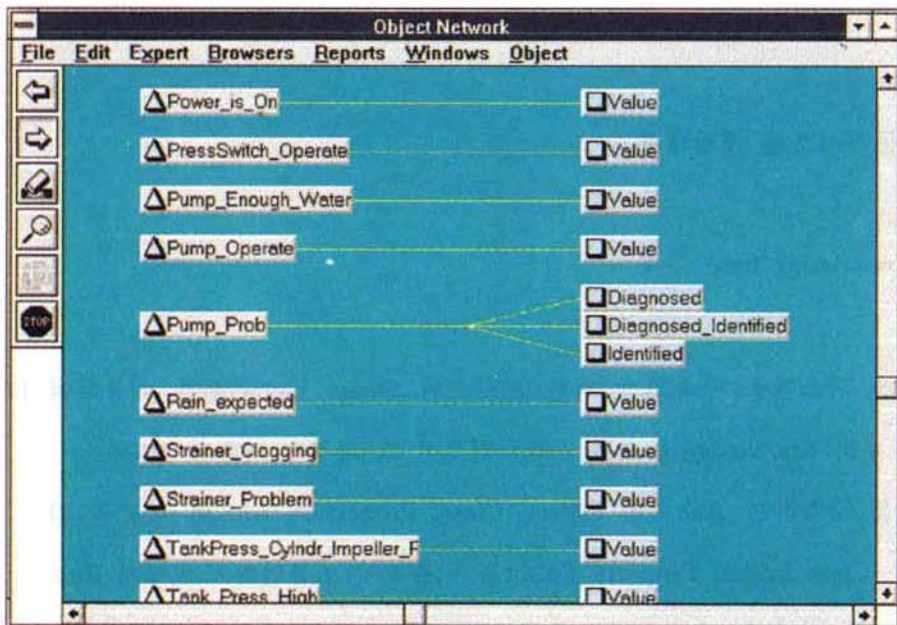


그림 2-8-11 Object Network Diagram

어떤 것으로 가장 작은 기본단위이다. Class는 비슷한 특성을 갖는 Object들의 집합체이며, Class를 구성하는 멤버들이 갖고 있는 특성을 정의하는 하나의 틀로써 사용된다. Animal 이라는 Class는 Bird 나 Mammal 이라는 보다 세부적인 특징들을 정의하는 Subclass를 포함시킬 수도 있다. Property는 Object나 Class의 특성을 나타내기 위하여 사용되어진다. Property 유형으로는 String, Integer, Float, Boolean, Data, Time등이 있다. 특이한 사항은 Smart Elements에서는 Value라는 Property를 제공하는데 이는 사용자가 Class나 Object에 어떤 Property도 부여하지 않았을 경우에 자동적으로 시스템이 부여하는 것이다. 이 때 Value Property는 주어진 상황에 따라 String, Integer, Float, Boolean, Data, Time 등의 유형을 자동적으로 부여받게 된다.

<그림 2-8-11>은 이와같이 방법으로 만들어진 Class, Object, Property 간의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 Class는 ○, Object는 △, Property는 □로 나타나고 있다.

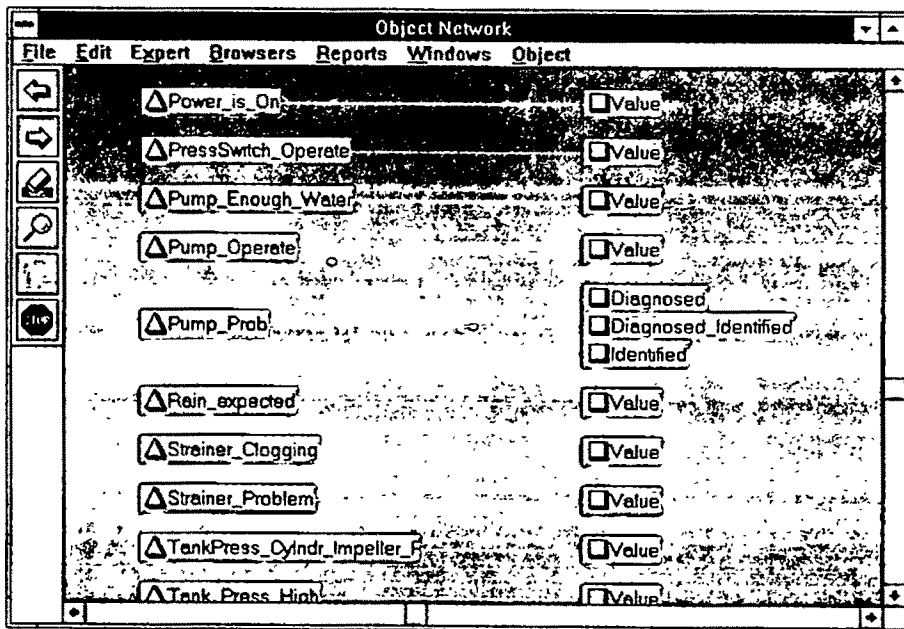


그림 2-8-11 Object Network Diagram

이렇게 만든 Class, Object, Property는 어떤 분야의 지식을 나타낼 수 있는 효율적인 구조를 제공해주며, 이러한 요소들을 이용하여 Rule을 만든다. Rule은 조건부분 (Left Hand Side Conditions), 실행부분 (Right Hand Side Actions), Hypothesis (Boolean)의 세부분으로 이루어지며, <그림 2-8-12>는 Rule Editor를 이용하여 Rule을 작성하는 화면으로, 화면의 조건부분에서 펌프가 제대로 작동되고, 양수가 가능하나 양수량이 충분하지 않고, 수원의 수량이 충분하다면 펌프가 미미한 기계적인 문제가 있다라는 규칙을 부여하였다.

<그림 2-8-13>은 Rule Editor 내에 조건부분이 실행되면 WriteTo 기능이 있어 결론에 도달한 내용들을 보여주는 것이다.

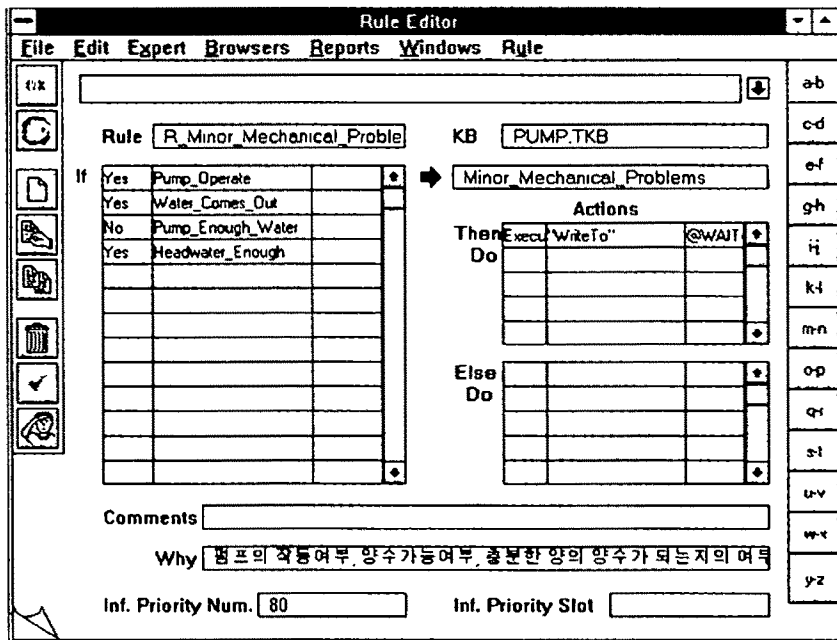


그림 2-8-12 Rule Editor Window

Rule Editor의 메뉴 중 Browser에 들어가면 작성된 Rule들의 관계를 보여주는 Dynamic Rule Network Investigation을 나타내는 기능이 있다.

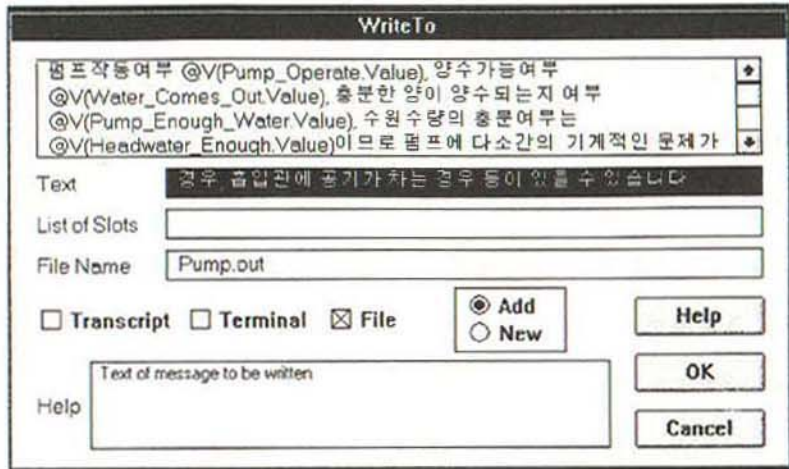


그림 2-8-13 Rule Editor의 Write to 기능

<그림 2-8-14>는 Rule Editor를 이용하여 작성된 전체 Rule들이 실제로 어떻게 상호작용하는지를 그래픽 화면상에서 테스트하면서 Knowledge Base를 검증할 수 있도록 하는 것을 나타내고 있다. 특정한 Rule들을 선택하여 볼 수 있으며 테두리 안에 들어있는 Rule들을 상세히 보면 <그림 2-8-15>와 같다. <그림 2-8-16>은 Rule들이 나타내는 것을 텍스트로 보여주는 것이다.

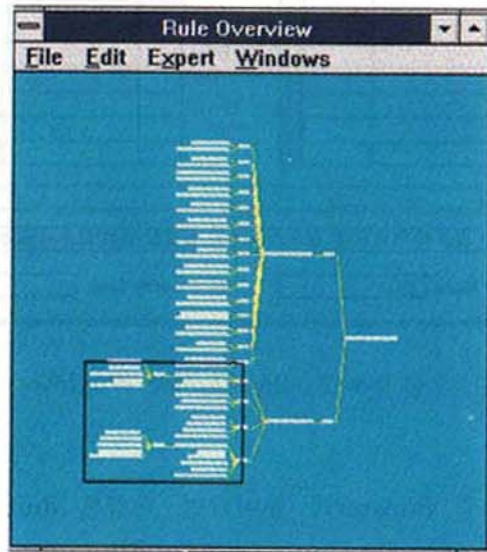


그림 2-8-14 Dynamic Rule Network Investigation의 전체화면

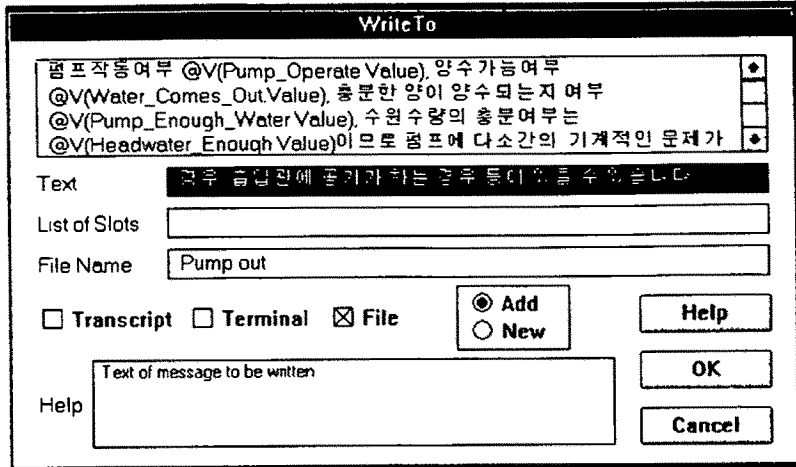


그림 2-8-13 Rule Editor의 Write to 기능

<그림 2-8-14>는 Rule Editor를 이용하여 작성된 전체 Rule들이 실제로 어떻게 상호작용하는지를 그래픽 화면상에서 테스트하면서 Knowledge Base를 검증할 수 있도록 하는 것을 나타내고 있다. 특정한 Rule들을 선택하여 볼 수 있으며 테두리 안에 들어있는 Rule들을 상세히 보면 <그림 2-8-15>와 같다. <그림 2-8-16>은 Rule들이 나타내는 것을 텍스트로 보여주는 것이다.

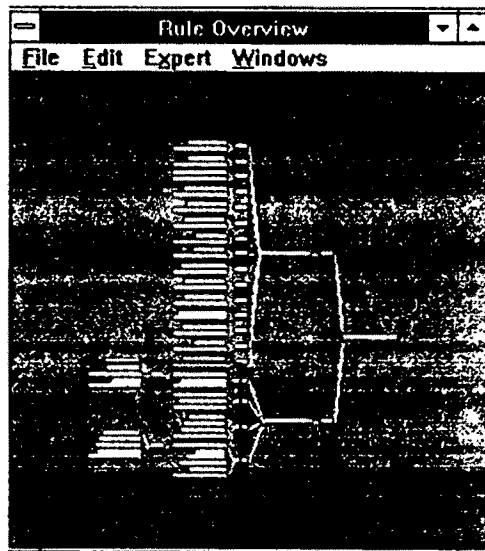


그림 2-8-14 Dynamic Rule Network Investigation의 전체화면





그림 2-8-15 Dynamic Rule Network Investigation 일부 화면

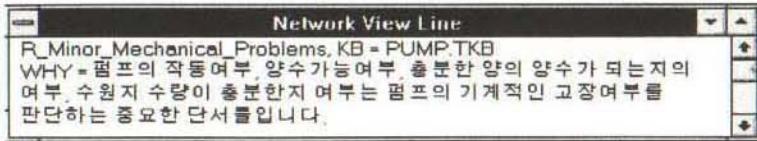


그림 2-8-16 Network View Line

이렇게 작성된 Rule들은 Production Rule 형태로 표현되며 그 구성형태는 <그림 2-8-17>과 같다.

```

-----
(@RULE=      R_Minor_Mechanical_Problems
              @INFCAT=80;
              @WHY="펌프의 작동여부, 양수가능여부, 충분한 양의 양수가 되는지의 여
부, 수원지 수량이 충분한지 여부는 펌프의 기계적인 고장여부를 판단하는 중요한
단서들입니다. ";
              (@LHS=
                (Yes   (Pump_Operate))
                (Yes   (Water_Comes_Out))

```

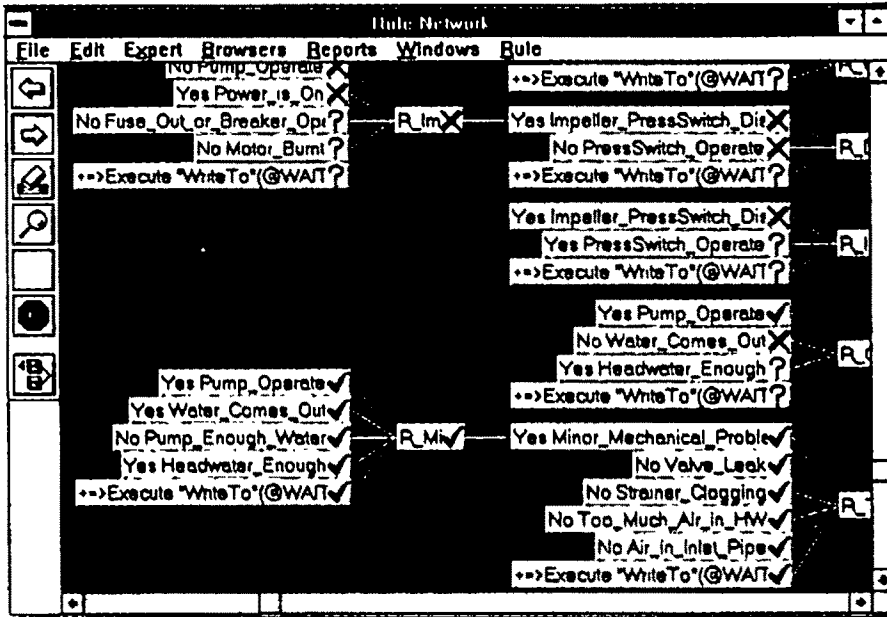


그림 2-8-15 Dynamic Rule Network Investigation 일부 화면

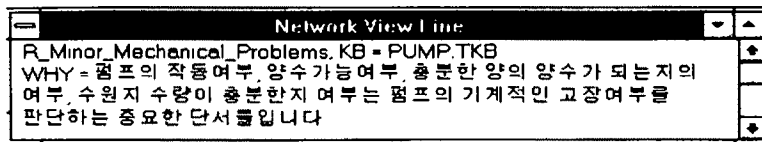


그림 2-8-16 Network View Line

이렇게 작성된 Rule들은 Production Rule 형태로 표현되며 그 구성형태는 <그림 2-8-17>과 같다.

```

-----
(@RULE=      R_Minor_Mechanical_Problems
              @INFCAT=80;
              @WHY="펌프의 작동여부, 양수가능여부, 충분한 양의 양수가 되는지의 여
부, 수원지 수량이 충분한지 여부는 펌프의 기계적인 고장여부를 판단하는 중요한
단서들입니다. ";
              (@LHS=
                (Yes   (Pump_Operate))
                (Yes   (Water_Comes_Out))

```

```

                (No      (Pump_Enough_Water))
                (Yes      (Headwater_Enough))
            )
            (@HYPO=      Minor_Mechanical_Problems)
            (@RHS=
                (Execute ("WriteTo")
                (@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=Pump.out,\
                @TEXT=펌프작동여부 @V(Pump_Operate.Value),\
                양수가능여부 @V(Water_Comes_Out.Value), 충분한 양이 양수되는지 여부
                @V(Pump_Eno\
                ugh_Water.Value), 수원수량의 충분여부는 @V(Headwater_Enough.Value)이므로 펌
                프에 \ 다소간의 기계적인 문제가 있는 것으로 판단됩니다. 여기에는 펌프밸브이
                상,\ 탱크압력과다, 실린더나 임펠러 파손, 스트레이너나 임펠러에 이물질유입,\
                수원에 과잉공기 차는 경우, 흡입관에 공기가 차는 경우 등이 있을 수 있습니다.\
                @ADD;))
            )
        )
    )

```

---

그림 2-8-17 Smart Element의 Production Rule 예

#### 나) User Interface 개발

Microsoft사의 Visual Basic 프로그램을 이용하여 Windows 95 환경에서 구동이 가능한 User Interface를 개발하였다. User Interface 설계시 중점을 둔 사항은 사용자의 편의성을 최대로 하고 입력시 오차를 줄이는데 두었기 때문에 직접 사용자가 자료를 입력하는 것보다는 스크롤바를 사용하여 범위를 선택하도록 하였다.

<그림 2-8-18>은 Visual Basic 프로그램으로 설계된 수원수질에 따른 정수처리방법을 선정하는 전문가 시스템의 User Interface 화면이다. 스크롤바를 움직이면 그에 해당되는 값이 동시에 숫자로 상단에 표시되도록 설계하였으며 대장균군, 일반세균, 탁도 및 질산성 질소에 대한 값을 선택하도록 하였다. 또한 양 끝 단추를 클릭하게 되면 1 단위씩 값이 내려가거나 올라가게 되도록 설계하였다. 그런 다음 '전문가

시스템 추론시작' 버튼을 누르면 프로그램 작동간의 프로그램 상태를 알려주기 위해 <그림 2-8-19>와 같은 메시지가 나타나고, 확인버튼을 누르면 추론결과가 <그림 2-8-20>과 같이 나타나게 하였다. '이전화면으로 이동' 을 클릭하게 되면 <그림 2-8-18>이 다시 나타나서 입력을 다시 실행할 수 있도록 설계하였고, '주메뉴 화면으로 이동' 버튼을 클릭하면 초기화면으로 되돌아가게 된다. 또한 '종료' 버튼을 누르면 전문가 시스템이 종료되도록 하였다.

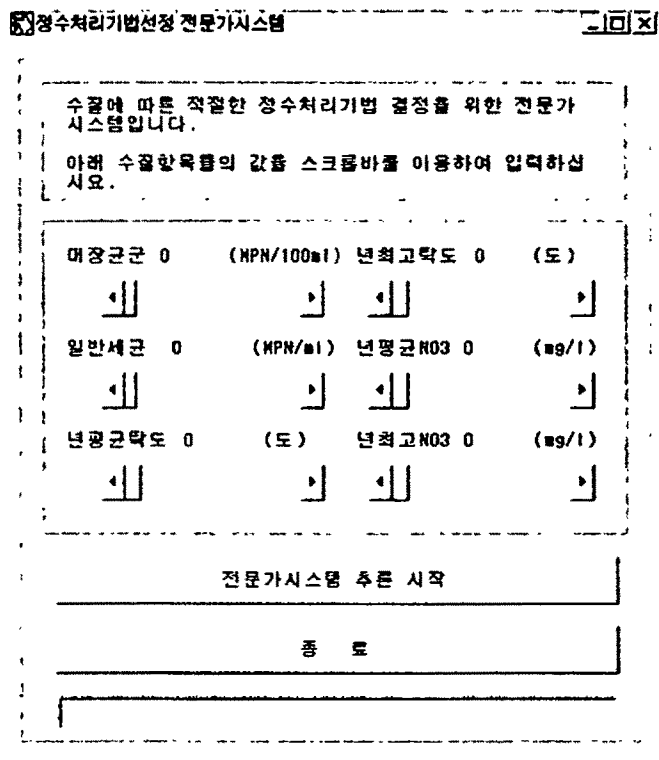


그림 2-8-18 User Interface 예

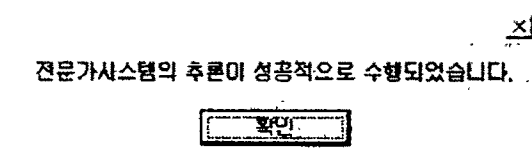


그림 2-8-19 User Interface 예

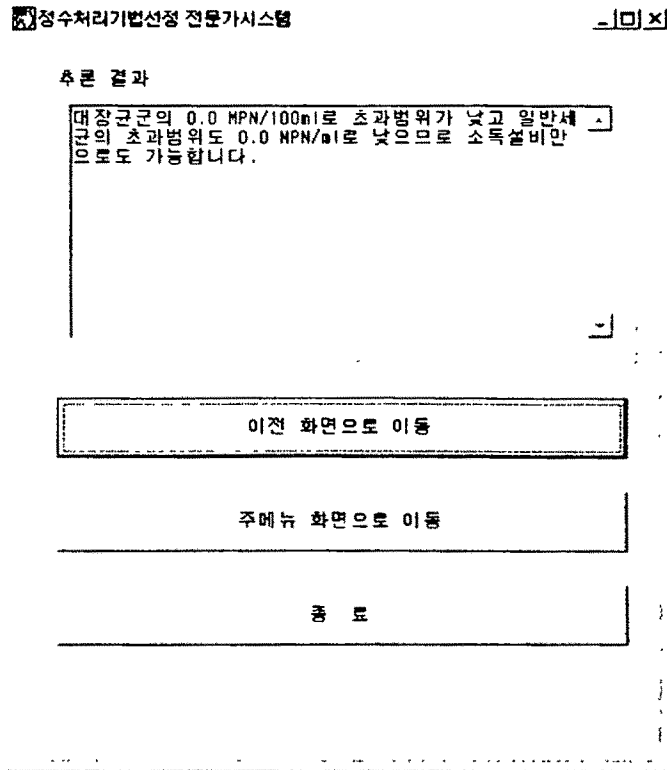


그림 2-8-20 User Interface 예

#### 다) 시스템 통합

시스템을 구성하는 요소들로는 <그림 2-8-21>과 같이 Inference Engine과 Knowledge Base를 내장하고 있는 전문가 시스템, 사용자가 대화식으로 자료를 입력하는 User Interface, 이 두 요소를 연결하는 Application Programming Interface (API)와 같이 크게 3가지로 나눌 수 있다. API는 User Interface와 전문가 시스템의 Inference Engine 사이의 데이터 교환과 시스템의 제어 등을 수행하게 된다. 다시 말해 사용자가 화면에 자료를 입력하면 API가 전문가 시스템을 불러와 추론을 수행한다. Smart Element의 API는 C 언어로 작성되어 있으며 C/C++ Library 형태로 제공되어진다. 기본적인 API의 구조는 <그림 2-8-22>와 같다.

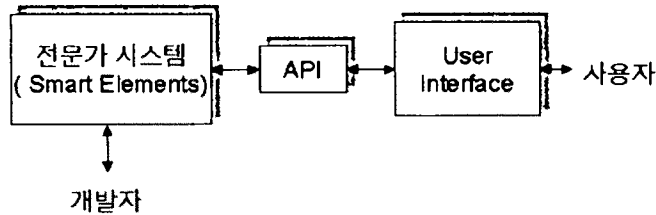


그림 2-8-21 통합된 전문가 시스템 구조

---

```

NXP_Control(NXP_CTRL_INIT);
NXP_LoadKB(kbName,theKBID);
NXP_Volunteer(theAtom,desc,thePtr,prio);
NXP_Suggest(theAtom,prio);
NXP_Control(NXP_CTRL_KNOWCESS);
NXP_GetAtomInfo(theAtom,code,optAtom,optint,desc,thePtr,len);
NXP_Control(NXP_CTRL_EXIT);

```

---

그림 2-8-22 기본적인 API의 구조

<그림 2-8-22>에서 각 행의 프로그램 코드는 C/C++ API Library들이다. 기능을 살펴보면 먼저 추론기관을 초기화하고 Knowledge Base를 메모리상에 불러들인다. 그리고 데이터를 추론기관에 제공하는 Volunteer를 이용하여 사용자가 입력한 자료를 추론기관에 전송하고, 시험할 가설을 Suggest을 이용하여 추론기관에 알려주게 된다. 그 다음에 Knowledge Process을 의미하는 KNOWCESS에 의하여 추론결과를 가져온 후에 모든 과정이 종료되면 추론기관과의 연결을 끊고 빠져나오게 된다.

본 연구에서는 User Interface와 Knowledge Base가 구축되어 있는 Smart Elements를 API (Application Programming Interface) 명령어를 이용하여 연결하였으며, 수

질관리 전문가로 하여금 개발된 시스템을 테스트하여 Knowledge base의 내용과 전반적인 문제해결 방법이 적합한지를 검증하며 필요한 사항을 수정·보완하였다.

#### 라. 전문가시스템 적용

본 연구에서 개발한 전문가 시스템은 4개의 모듈로 이루어져 있으며 제대로 작동하는지를 알아보기 위하여 상황을 설정하여 각각의 시스템을 실험해 보았다. 간이 급수도 관리 전문가 시스템의 초기화면은 <그림 2-8-23>과 같다. F1을 누르면 <그림 2-8-24>와 같은 도움말 메뉴가 나타나게 되도록 개발하였으며 목차 중 ‘전문가 시스템이란’ 메뉴를 클릭하면 <그림 2-8-25>와 같은 내용이 나타나게 된다. 도움말 기능은 구축된 전문가 시스템의 어떤 모듈에서도 나타나게 되며 ESC 키를 치면 없어지게 된다.



그림 2-8-23 전문가 시스템 초기 화면

질관리 전문가로 하여금 개발된 시스템을 테스트하여 Knowledge base의 내용과 전반적인 문제해결 방법이 적합한지를 검증하며 필요한 사항을 수정·보완하였다.

#### 라. 전문가시스템 적용

본 연구에서 개발한 전문가 시스템은 4개의 모듈로 이루어져 있으며 제대로 작동하는지를 알아보기 위하여 상황을 설정하여 각각의 시스템을 실험해 보았다. 간이 급수도 관리 전문가 시스템의 초기화면은 <그림 2-8-23>과 같다. F1을 누르면 <그림 2-8-24>와 같은 도움말 메뉴가 나타나게 되도록 개발하였으며 목차 중 '전문가 시스템이란' 메뉴를 클릭하면 <그림 2-8-25>와 같은 내용이 나타나게 된다. 도움말 기능은 구축된 전문가 시스템의 어떤 모듈에서도 나타나게 되며 ESC 키를 치면 없어지게 된다.



그림 2-8-23 전문가 시스템 초기 화면



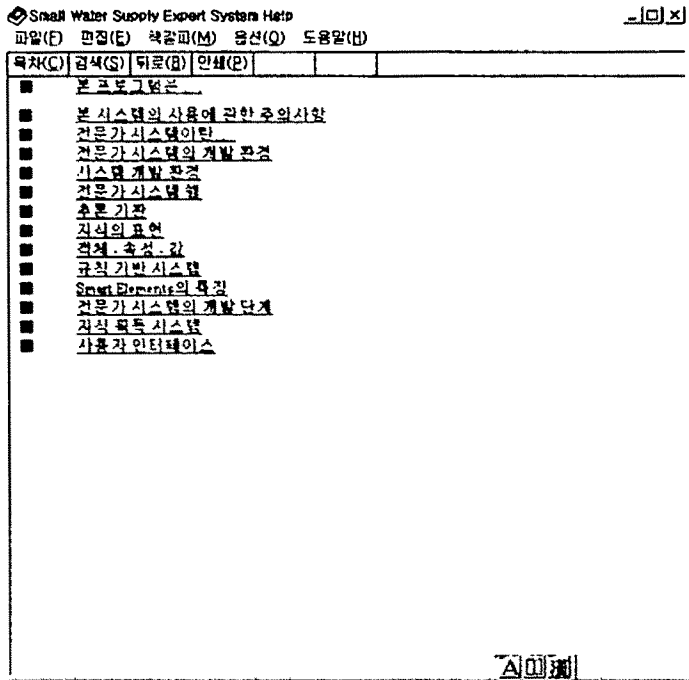


그림 2-8-24 전문가 시스템의 도움말 기능

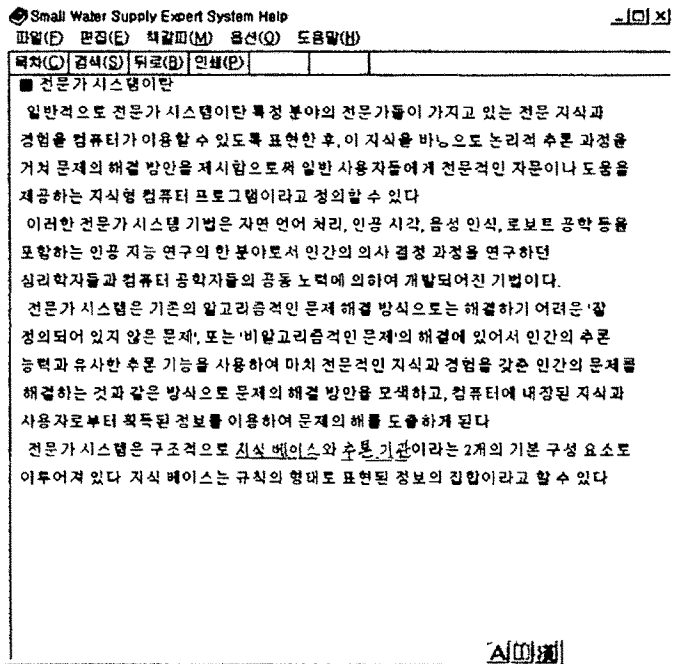


그림 2-8-25 전문가 시스템의 도움말 기능 예

### 1) 계획급수량 산정 전문가 시스템

전문가 시스템 초기화면에서 계획급수량 메뉴를 클릭하면 <그림 2-8-26>과 같은 화면이 나타나고 사용자에게 현재인구와 계획목표연차를 선택하도록 하였다. 본 사례에서는 현재인구 1,590명, 계획목표연차 15년으로 선택하였다. 사용자가 '인구 추정 수행' 버튼을 클릭하면 DOS 상태로 돌아가 FORTRAN으로 작성된 회귀분석에 의해 15년 후의 인구를 추정하여 그 결과를 계획급수인구에 나타내었다. 본 사례에서는 5년간의 감소추세에 있는 과거인구를 입력하였기 때문에 <그림 2-8-27>과 같은 메시지가 나오게 된다. 계획목표연차의 인구가 현재의 인구보다 적을 경우는 현재의 인구에 대한 시설을 하여야 목표연차까지의 시설능력이 부족하지 않기 때문이다.

**계획급수량산정 전문가시스템** [이미지]

---

계획급수인구값 추정하기 위한 모듈입니다.  
아래에 해당되는 사항을 입력하십시오.

---

현재인구	1590	(명)			
< >			< >		
계획목표연차	15	(년)			
< >			< >		

인구추정방법 : 선형회귀분석/동차증가법

---

인구 추정 수행

---

인구추정결과

인구증가율	(X)		계획급수인구		
< >			< >	1590	(명)

---

계획급수량산정모듈로 진행

---

종 료

그림 2-8-26 급수량 산정 전문가 시스템 테스트 (1)

'계획급수량 산정모듈로 진행' 버튼을 클릭하면 <그림 2-8-28>과 같은 모듈이 나타나고 해당되는 항목의 인구수를 선택하도록 하였다. 사용자가 해당되는 항목의 인

구수를 스크롤바로 선택하면 계획급수량 산정결과가 결정되어 나타났다.

급수량 산정 전문가 시스템 모듈에서는 전문가의 지식을 필요로 할 정도의 어려운 문제가 아니므로 추론기관을 사용하지 않았다.

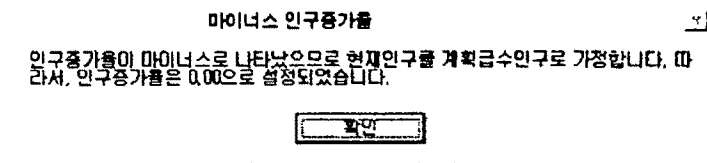


그림 2-8-27 급수량 산정 전문가 시스템 테스트 (2)

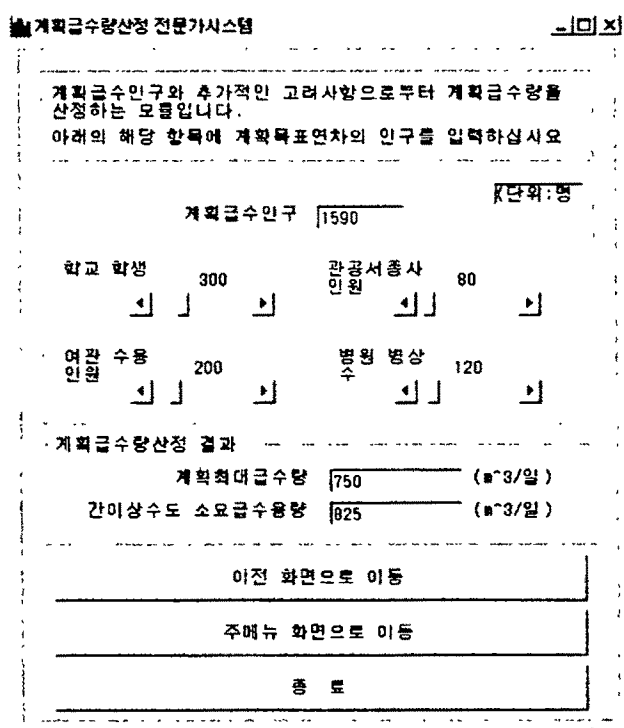


그림 2-8-28 급수량 산정 전문가 시스템 테스트 (3)

지금까지 이 시스템을 실행한 결과에서 나타난 바와 같이 여러 가지 경우에 대하여 테스트해 본 결과 자료의 입·출력이 정상적으로 이루어지고 있음을 확인할 수 있었다.

## 2) 정수처리기법 선정 전문가 시스템

수원 수질에 따른 간이급수 시설의 정수처리 기법을 결정하는 전문가 시스템 모듈로써, 초기 주메뉴 화면에서 정수처리기법 메뉴를 클릭하면 <그림 2-8-29>와 같은 화면이 나타났다. 사용자가 대장균군수 970 MPN/100ml, 일반세균수 80 MPN/ml, 년 평균탁도 3도, 년 최고탁도 5도, 년 평균 질산성 질소 10 mg/l, 년 최고 질산성 질소 20mg/l 을 각각 선택하였다. '전문가 시스템 추론시작' 버튼을 클릭하면 입력한 수질항목에 적합한 정수처리 기법을 선정하기 위한 추론을 시작하였다. 화면에 추론의 진행을 표시하는 Progress Bar가 나타나고 추론의 성공적인 종료를 알리는 Message Box가 나타났다. 이 때 Message Box의 확인 버튼을 클릭하면 <그림 2-8-30>과 같이 추론결과가 Text Box에 나타났다.

정수처리기법선정 전문가시스템

수질에 따른 적절한 정수처리기법 결정을 위한 전문가 시스템입니다.  
아래 수질항목들의 값을 스크롤바를 이용하여 입력하십시오.

대장균군 970 (MPN/100ml) 년최고탁도 5 (도)

일반세균 80 (MPN/ml) 년평균NO3 10 (mg/l)

년평균탁도 3 (도) 년최고NO3 20 (mg/l)

전문가시스템 추론 시작

종료

그림 2-8-29 정수처리기법 선정 전문가 시스템 예 (1)

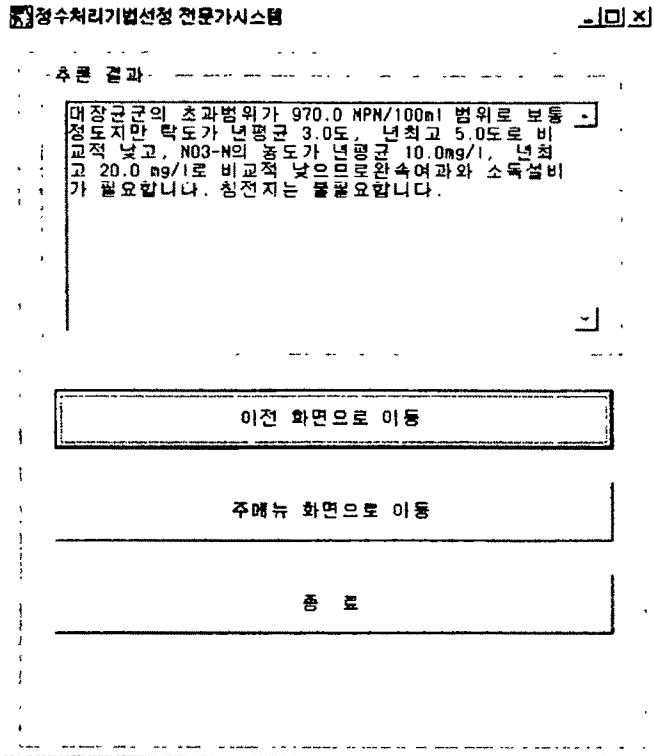


그림 2-8-30 정수처리기법 선정 전문가 시스템 (2)

추론결과는 “대장균군의 초과범위가 970.0 MPN/100ml 범위로 보통정도지만 탁도가 년평균 3.0도, 년최고 5.0도로 비교적 낮고, NO3-N의 농도가 년평균 10.0mg/l, 년최고 20.0 mg/l로 비교적 낮으므로 완속여과와 소독설비가 필요합니다. 침전지는 불필요합니다.” 로 나타났다.

이 전문가 시스템 모듈도 실행해 본 결과 최초 Knowledge Base를 설계할 때 의도 하던 바대로 자료의 입·출력과 추론이 정상적으로 이루어지고 있음을 확인할 수 있었다.

### 3) 간이급수 시설 비상운영 전문가 시스템

초기 주메뉴 화면에서 ‘시설운영지원’ 메뉴를 선택하자 ‘펌프관리’와 ‘전기시

설' 이라는 두 개의 풀다운 메뉴가 나타났다. 사용자가 '펌프관리' 를 클릭하자 <그림 2-8-31>과 같이 펌프의 이상과 관련된 여러 증상이나 원인을 나타낸 화면이 나타났다. Check Box를 이용하면 사용자가 해당되는 사항을 여러 개 동시에 선택할 수 있으므로 사용자는 '물이 안 나옴, 전원이 나감, 밸브가 샘' 을 선택한 후 '전문가 시스템 추론시작' 버튼을 클릭하자 화면에 추론의 진행을 표시하는 Progress Bar 가 나타나고 추론의 성공적인 종료를 알리는 Message Box가 나타났다. 이 때 Message Box의 확인 버튼을 클릭하면 <그림 2-8-32>와 같이 추론결과가 Text Box 에 나타났다.

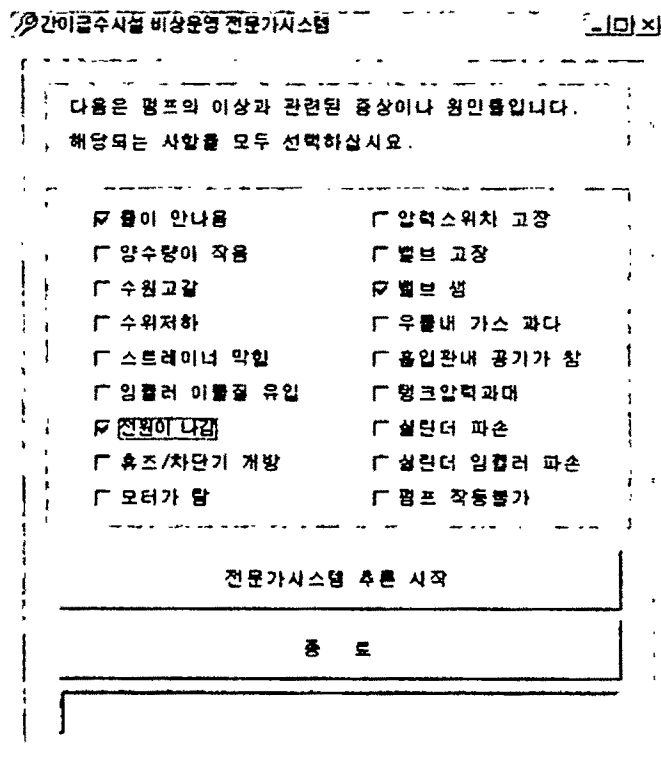


그림 2-8-31 펌프관리 전문가 시스템 (1)

추론결과는 “전원이 꺼져있는지를 확인하고 전원을 연결하십시오. 만일 전원이 연결되었는데도 펌프가 전혀 작동하지 않을 경우에는 펌프제조회사나 수리회사에 연락하십시오. / 펌프의 밸브가 새고 있는 경우입니다. 이런 경우에는 펌프도 작동되

고, 양수도 가능하나 양수량이 충분치 않게 됩니다. 밸브를 고치도록 해야합니다. / 수원의 수량은 충분하고 펌프도 작동하지만 물이 나오지 않는 경우로서 펌프에 기계적인 문제가 있는 것으로 판단됩니다. 펌프의 기계적인 결함이나 고장으로는 밸브 나 밸브시트의 노후 또는 부식과 같은 펌프밸브의 이상, 펌프 실린더 파손, 임펠러 나 모터밸브에 이물질 유입, 수원에 과잉공기가 차는 경우 등 여러 가지 원인이 있을 수 있습니다.” 로 나타났다. 추론결과를 보면 이상현상에 대한 각각의 대처방안을 제시하고 있음을 알 수 있었다.

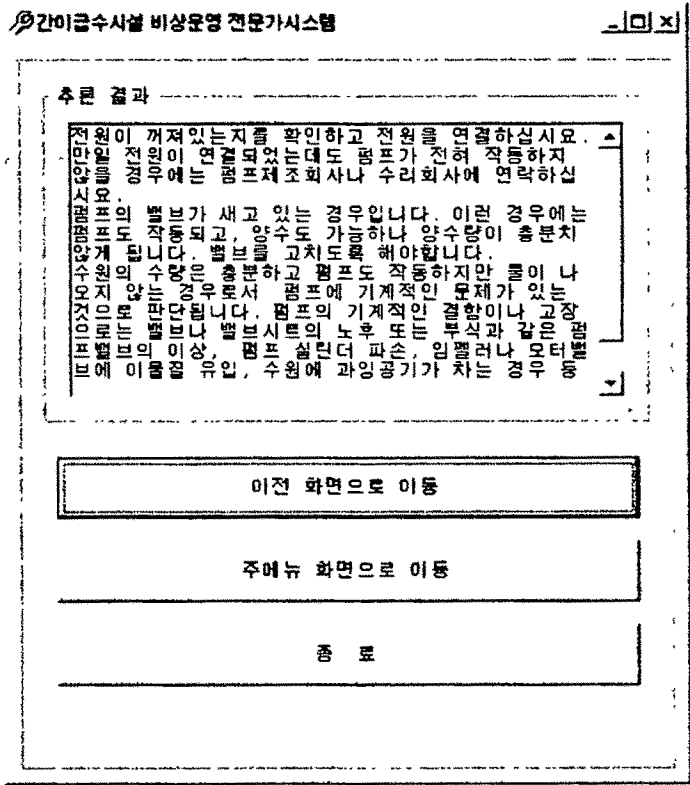


그림 2-8-32 펌프관리 전문가 시스템 (2)

‘시설운영지원’ 메뉴 중 ‘전기시설’ 을 선택하여 클릭하면 <그림 2-8-33>과 같은 전기시설의 이상이나 고장과 관련된 사항들을 사용자가 선택하도록 하는 화면이 나타났다. 본 사례에서는 사용자가 ‘휴즈가 끊어지거나 차단기가 작동됨, 모타가 타

버림'의 두 가지 사항을 선택하고 난 다음 '전문가 시스템 추론시작' 버튼을 클릭하였다.

추론결과가 <그림 2-8-34>와 같이 Text Box에 “전원을 연결하면 곧바로 차단기가 작동하거나 휴즈가 끊어지는 경우입니다. 이것은 누전 등에 의한 것으로 판단됩니다. 수리기술자를 불러 누전여부를 확인하십시오. / 모터속의 코일이 타버린 것 같습니다. 모터코일이 타는 것은 허용치 이상의 전압발생으로 절연체가 파괴되어 일어납니다. 코일을 교체하고 손실된 부분을 수리하도록 하십시오.”로 출력이 되었다. 이 역시 각각의 이상현상에 대한 대처방안을 나타내었다.

지금까지 간이급수 시설 비상운영 전문가 시스템을 실행한 결과에서 나타난 바와 같이 여러 가지 경우에 대하여 테스트해 본 결과, 최초 Knowledge Base를 설계할 때 의도한 대로 자료의 입·출력과 추론이 정상적으로 이루어지고 있음을 확인할 수 있었다.

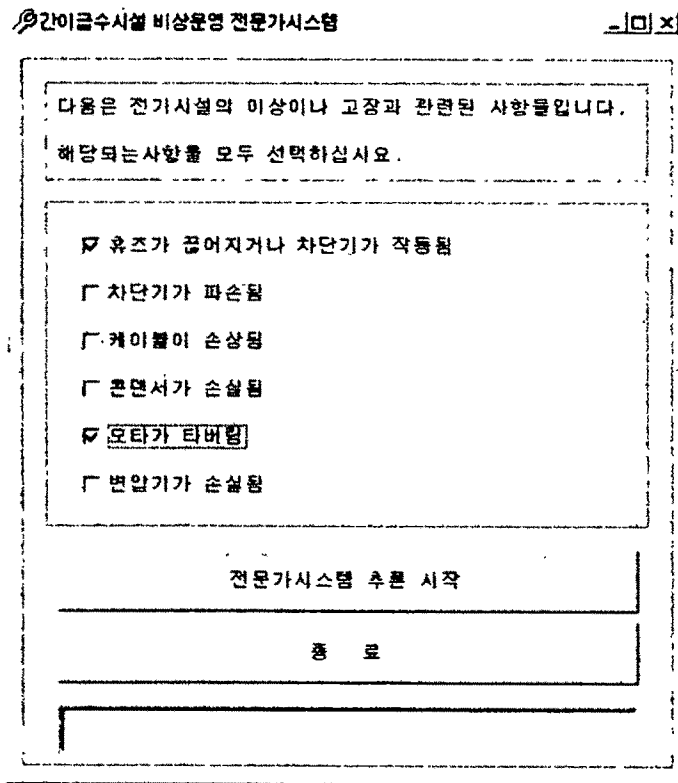


그림 2-8-33 전기시설 전문가 시스템 (1)



추론 결과

전원을 연결하면 곧바로 차단기가 작동하거나 후조가 끊어지는 경우입니다. 이것은 누전 등에 의한 것으로 판단됩니다. 수리기술자를 불러 누전여부를 확인하십시오.  
 모터속의 코일이 타버린 것 같습니다. 모터코일이 타는 것은 허용치 이상의 전압발생으로 절연체가 파괴되어 일어납니다. 코일을 교체하고 손상된 부분을 수리하도록 하십시오.

- 이전 화면으로 이동
- 주메뉴 화면으로 이동
- 종료

그림 2-8-34 전기시설 전문가 시스템 (2)

4) 상수원 수질관리 전문가 시스템

초기 주메뉴 화면에서 '수질관리' 메뉴를 선택하자 '수원오염방지'와 '수질오염 대처방안'이라는 두 개의 풀다운 메뉴가 나타났다. 사용자가 '수원오염방지' 메뉴를 선택하였더니 <그림 2-8-35>와 같이 상수원의 수질에 영향을 주는 오염원이 수원 부근에 있는지를 질문하게 된다. 본 사례에서는 수원으로부터 15m 이내에 미생물 오염원 (변소, 퇴비, 쓰레기장 등)이 있고 또한 수원으로부터 100m 이내에 논과 밭이 있다고 선택하였다.

이와 같이 오염원 종류를 선택하게 되면 <그림 2-8-36>에 나타난 바와 같은 추론 결과 화면이 나타났다. 추론결론은 "수원으로부터 100m 이내에 농약과 비료를 사

용하는 논밭이 있는 경우입니다. 1) 농약은 신경계에 독성을 일으키고 각종 암을 유발 할 수 있습니다. 2) 비료의 질소, 인 성분이 수원의 부영양화를 초래하여 조류가 번성하여 수질을 크게 악화시킬 수 있습니다. 3) 비료나 분뇨속의 질산성 질소는 유아의 청색증을 일으킬 수 있습니다. 수원으로부터 15m 이내에 분뇨, 퇴비, 쓰레기장과 같은 미생물 오염원이 있는 경우입니다. 박테리아, 바이러스 및 기타 병원균으로 수원이 오염될 가능성이 높습니다. 미생물에 오염될 경우에는 급성위장장애, 설사, 간염, 장티푸스, 콜레라 등을 유발할 수 있습니다. 수원으로부터 15m 이내에 분뇨, 퇴비, 쓰레기장과 같은 미생물 오염원이 있으며, 수원으로부터 100m 이내에 농약과 비료를 사용하는 논밭이 있는 경우입니다. 오염에 상당히 취약한 경우입니다. 대처방안으로는 1) 수원부근의 미생물 오염원을 제거하고 농약과 비료의 살포를 금지한다. 2) 콘크리트 등의 균열이 발견되면 즉시 보수하여 오염물질 유입을 차단한다. 3) 수질 및 위생조사를 강화하고 상수처리시설을 설치한다, 4) 가능하면 오염되지 않은 새로운 수원을 개발한다.” 라는 내용이였다.

**상수원 수질관리 전문가시스템**

수원부근에 산재해 있는 가축사, 변소, 쓰레기장 등과 공장으로부터 배출되는 폐수는 지표수나 지하수 상수원의 수질에 영향을 줄 수 있으며, 논밭에서 사용하는 농약과 비료도 수원을 오염시키는 주요 오염원이 됩니다.

다음중에서 해당되는 사항을 모두 선택하십시오.

오염원 종류

수원으로부터 15미터 이내에 미생물 오염원 (변소, 퇴비, 쓰레기장 등) 있음

수원으로부터 100미터 이내에 논이나 밭이 있음

수원으로부터 100미터 이내에 폐수배출 공장이 있음

전문가시스템 추론 시작

---

종 료

그림 2-8-35 수원오염방지 전문가 시스템 (1)

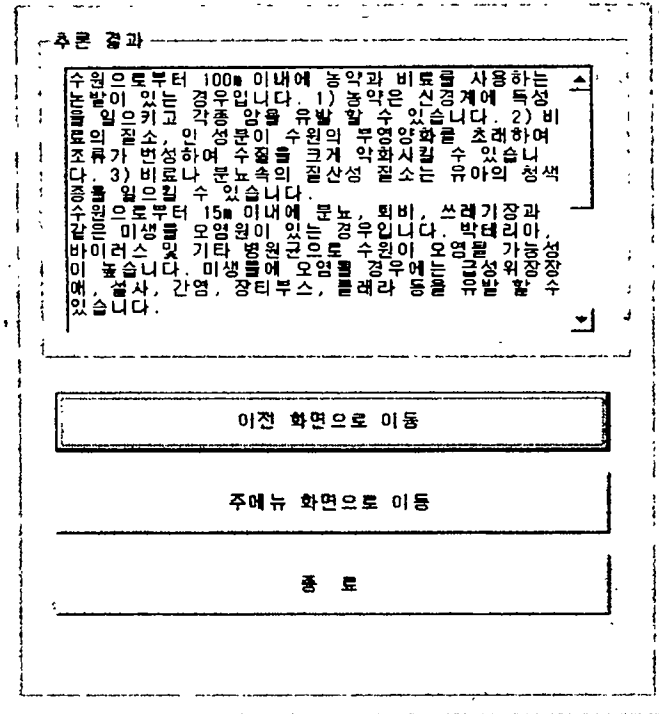


그림 2-8-36 수원오염방지 전문가 시스템 (2)

‘수질관리’ 메뉴 중 ‘수질오염대처방안’ 을 선택하면 <그림 2-8-37>과 같이 간이급수시설 상태에 따라 필요한 조치를 취하기 위한 전문가 시스템 화면이 나타났다. 사용자가 간이 급수시설에 뚜껑이 설치되어 있으나 정수처리시설이 없다고 대답하고, 급수시설내 미생물이 과다하게 검출되었다고 선택하도록 하였다. 그 다음 ‘전문가 시스템 추론 시작’ 버튼을 클릭하면 추론이 시작되면서 <그림 2-8-38>과 같은 결론을 나타내었다.

추론결론의 내용은 “처리시설을 갖추지 않은 간이급수시설에서 가정에 공급된 물이 미생물 기준을 초과한 경우입니다. 이에 대한 당면한 신속조치법은 다음과 같습니다. 1) 미생물검사를 다시한다. 2) 가정에서 물을 끓여 마신다. 3) 가정에서 소독약을 사용하거나 여과를 하여 마신다. 4) 위생조사를 정밀히하여 잘못된 곳을 시정한다. 5) 염소처리를 한다.

재발방지를 위한 예방조치법은 다음과 같습니다. 1) 급수시설의 정기적인 감독 및 보수를 실시한다. 2) 정기적인 위생검사를 실시한다. 3) 노후시설이나 파손된 시설은 교체한다.” 으로 나타냈다.

지금까지 간이급수 시설 수질관리 전문가 시스템을 실행한 결과에서 나타난 바와 같이 여러 가지 경우에 대하여 테스트해 본 결과, 최초 Knowledge Base를 설계할 때 의도한 대로 자료의 입·출력과 추론이 정상적으로 이루어지고 있음을 확인할 수 있었다.

◆간이급수시설 수질관리 전문가시스템

그림 2-8-37

급수시설의 상태로부터 필요한 조치를 판단하기 위한 전문가시스템입니다.

해당되는 사항을 선택하십시오.

급수시설 상태

두경미 있음       두경미 없음

정수처리시설 있음       정수처리시설 없음

급수시설 오염 요인

수인성전염병 유행       수원지 미생물 과다 검출

급수시설 위생상태 불량       급수시설내 미생물 과다 검출

전문가시스템 추론 시작

종 료

그림 2-8-37 수질오염대처방안 전문가 시스템 (1)

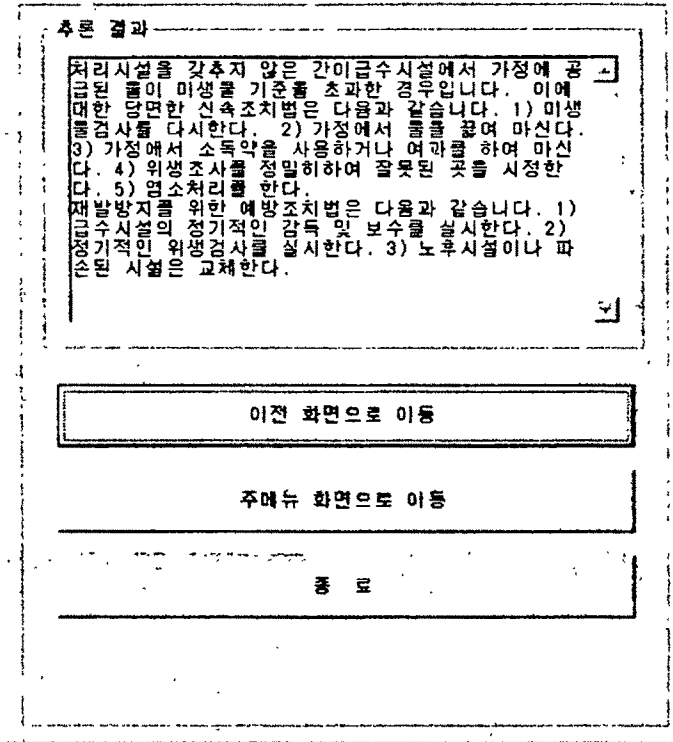


그림 2-8-38 수질오염대처방안 전문가 시스템 (2)

마. 전문가시스템 개발결과

1) 간이상수도 관리전문가 시스템을 4가지 모듈로 구성하였다. 국내·외 문헌으로부터 관련지식을 수집하여 간이급수시설의 용량을 결정하는 급수량 산정 전문가 시스템, 수원 수질에 따른 처리기법을 제시하는 정수처리 기법 선정 전문가 시스템, 간이상수도 전기·기계시설의 유지관리를 위한 간이급수 시설 비상운영 전문가 시스템, 수원 주변의 오염원이 인간의 건강에 미치는 영향을 조사하여 안전한 물 공급을 위한 수원관리를 판단하였고 급수시설 오염상태에 대한 여러 가지 조치방안도 제시하는 상수원 수질관리 전문가 시스템으로 이루어져 있다.

2) 정수처리 기법을 결정하는 수질항목으로는 대장균군, 일반세균, 탁도, 질산성 질소를 선정하여 Decision Tree를 설계하였고, 간이급수 시설 비상운영 전문가 시스템에는 전기고장의 원인과 대처방안, 펌프의 이상현상에 대한 원인과 대처방안에 대해 Decision Tree로 표현하였다. 또한 수원 부근에 미생물 오염원 (분뇨, 퇴비, 쓰레기장 등) 유무, 논과 밭의 유무, 폐수배출 공장 유무에 따라 인체에 미치는 영향과 조치방안을 Decision Tree로 형태로 구조화하였다.

3) Microsoft사의 Visual Basic 프로그램을 이용하여 Windows 95환경에서 구동이 가능한 User Interface를 개발하였다. User Interface 설계시 중점을 둔 부분은 사용자의 편의성을 최대로 하면서 데이터 입력시 오차를 줄이는 데 두었기 때문에 사용자가 직접 자료를 입력하는 것보다는 스크롤바를 사용하도록 설계하였다.

4) 전문가 시스템 도구인 Smart Elements을 이용하여 If-Then 형태의 Production Rule로 Knowledge Base를 구축하였으며, 역방향 추론기법을 적용하여 개발된 Prototype System을 테스트해 본 결과 자료의 입·출력과 추론이 정상적으로 이루어짐을 확인할 수 있었다. 따라서 본 전문가 시스템이 간이급수 시설을 효율적으로 운영·유지·관리할 수 있도록 전문적인 자문과 도움을 줄 수 있을 것으로 판단되었다.

## 제5절 결과 및 고찰

본 연구는 농어촌 상수보존에 대한 연구로서 농어촌지역의 생활용수공급과 관련한 현황 파악 및 문제점을 분석하고 안정적인 급수 및 관리방안을 제시하고자 하며, 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 연구대상지구의 평균급수량은 294 ℓ/인/일 로서 인근 지역인 충북 군지역 299 ℓ/인/일과 충남 군지역 283 ℓ/인/일 과 비교할 때 비슷한 수준이다.
2. 현재 급수량에 대한 주민설문조사 결과 “충분” 또는 “보통”이라고 응답한 주민은 전체의 68%였으며, “부족하다”라고 생각하는 주민은 32% 였다.
3. 연구대상지구의 향후 급수량은 현재 294 ℓ/인/일 에서 2000년에 332 ℓ/인/일, 2005년에는 380 ℓ/인/일에 이를 것으로 추정된다.
4. 연구대상지역의 간이상수도 취수원 및 수도전에 대한 수질조사결과 조사대상 지점의 약 90%가 미생물에 의해 오염되어 있다.
5. 통계처리기법인 군집분석과 주성분분석을 이용하여 간이상수도의 오염원인을 분석한 결과 가축분뇨 또는 생활하수가 취수원으로 유입되고 있는 것으로 판단되며, 급수과정중에 급수관의 파손된 부분으로 오염물질이 유입되어 수도전의 수질을 오염시키고 있는 것으로 보인다. 따라서 수도전의 오염원인을 차단하기 위하여는 여과시설·소독시설과 같은 정수처리시설을 추가설치하거나 정비토록 하고, 급수시설에 대하여는 노후 급수관교체등 시설정비를 하여야 하며, 취수원이 오염된 곳은 가급적 원수의 수질이 양호한 심층지하수를 개발하는 방향으로 검토할 필요가 있다.

6. 처리대상물질은 다음과 같은 기준에 의해 선정하였다. 연구대상지역의 상수원 및 수도전의 수질기준 초과물질과 국내 간이급수시설의 기준 초과물질, 문헌 및 관련자료에서 제시하는 문제가능성이 높은 미량유기물질 도출 등을 선정기준으로 하여, 수질오염도가 전반적으로 높은 일반세균과 대장균군, 탁도, 질산성 질소, 암모니아성 질소 및 경도유발물질과 미량유기물질의 총량지표로 사용되는  $\text{KMnO}_4$ 소비량, 염소 처리시 THM전구물질로 작용하는 부식질등 8개물질을 처리대상물질로 선정하였다.

7. 최종 선정된 정수처리공정은 완속모래여과를 중심으로 염소소독과 막분리법을 조합하여 3가지 유형의 정수처리공정을 구성하였다. 구성된 공정은 원수 + 염소소독, 원수 + 수직완속모래여과 + 염소소독, 원수 + 수직완속모래여과 + 막 + 소독의 형태로 실험장치구성도 이러한 3가지 유형의 공정이 도출될 수 있도록 제작하여 장치 및 공정별 처리효율에 대한 실험을 실시하였다.

8. 실험장치는 모래층 깊이를 80cm, 60cm, 45cm로 구성된 수직완속여과지와 나노여과막을 사용한 막분리장치를 제작하여  $\text{KMnO}_4$ 소비량,  $\text{NH}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ , 탁도, 대장균군, 일반세균, 경도 및 부식질에 대한 실험을 하였고, 연속적인 주입과 계측이 가능한 소독장치를 이용하여 잔류염소농도, 대장균군, 일반세균 등에 대한 실험을 실시하였다.

9. 염소소독을 실시하지 않은 모래층 깊이가 80cm, 60cm인 수직완속모래여과의  $\text{KMnO}_4$ 소비량,  $\text{NH}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ , 탁도 등에 대한 처리효율은 높게 나타났으나 대장균군과 일반세균에 대해서는 먹는물 수질기준에 적합한 것으로 나타났다. 또한 모래층 깊이가 45cm인 경우에는  $\text{KMnO}_4$ 소비량,  $\text{NH}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ , 탁도, 대장균군, 일반세균 전항목에 대한 처리효율이 매우 낮게 나타나 간이급수시설로서 부적합한 것으로 나



타났다.

10. 염소소독을 병행하였을 경우 모래층 깊이가 80cm, 60cm인 수직완속모래여과의 처리효율은  $\text{KMnO}_4$  소비량,  $\text{NH}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ , 탁도 등에 대해 높게 나타났고, 대장균군과 일반세균은 거의 사멸되어 먹는물 수질기준에 적합한 것으로 나타났다. 그러나 모래층의 깊이가 45cm인 경우에는 대장균군과 일반세균은 거의 사멸했으나  $\text{KMnO}_4$  소비량,  $\text{NH}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ , 탁도에 대한 처리효율이 매우 낮게 나타나 간이급수시설로서 부적합한 것으로 분석되었다.

11. 나노여과막을 이용하여 완속여과에서 제거율이 낮은 물질로 나타난  $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 경도, 부식질에 대해 처리효율 실험을 실시하였다. 부식질 및 경도의 제거율은 높았으나 완속모래여과에서 미제거된  $\text{NO}_3\text{-N}$ 에 대한 처리효율의 향상 정도는 미흡하였다. 경도의 경우 2가이온에 대한 선택성이 높은 나노여과의 특성상 간이급수시설의 적용은 지하수를 급수원으로 사용하는 지역중 연수화가 요구되는 지역이나 계곡수를 급수원으로 사용할 때 부식질로 인한 THM생성능이 높게 검출되는 지역 등에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

12. 잔류염소 자동주입장치를 이용한 소독실험 결과, 대상원수의 미생물은 모두 사멸하는 것으로 나타났고, 유량이 변화가 심한 경우에도 처리수중의 잔류염소농도는 최초 설정한 목표치에 대해 계기허용오차 범위내에서 달성함을 보였다.

13. 간이상수도를 설치할 때는 일정한 기준에 의거 설치해야 향후 유지관리에 효율성을 도모할 수 있으며, 설치자재의 표준화가 되어 있어야 유지보수에 어려움이 없다.

14. 간이상수도의 시설관리는 '95년도부터 지방자치단체장인 시장·군수가 조례를 제정하여 시행토록 되어 있어 지자체에 따라 시행방법에 다소 차이가 있다. 효율적인 간이상수도의 유지관리를 위해 지자체에는 간이상수도 행정업무를 전담하는 공무원을 두고, 각 간이상수도 시설은 급수지역 주민단체가 전담관리인을 두고 관리하는 업무구조가 가장 합리적이다.

15. 간이상수도 관리전문가 시스템을 4가지 모듈로 구성하였다. 국내·외 문헌으로부터 관련지식을 수집하여 간이급수시설의 용량을 결정하는 급수량 산정 전문가 시스템, 수원 수질에 따른 처리기법을 제시하는 정수처리 기법 선정 전문가 시스템, 간이상수도 전기·기계시설의 유지관리를 위한 간이급수 시설 비상운영 전문가 시스템, 수원 주변의 오염원이 인간의 건강에 미치는 영향을 조사하여 안전한 물 공급을 위한 수원관리를 판단하였고 급수시설 오염상태에 대한 여러 가지 조치방안도 제시하는 상수원 수질관리 전문가 시스템으로 이루어져 있다.

16. 정수처리 기법을 결정하는 수질항목으로는 대장균군, 일반세균, 탁도, 질산성 질소를 선정하여 Decision Tree를 설계하였고, 간이급수 시설 비상운영 전문가 시스템에는 전기고장의 원인과 대처방안, 펌프의 이상현상에 대한 원인과 대처방안에 대해 Decision Tree로 표현하였다. 또한 수원 부근에 미생물 오염원 (분뇨, 퇴비, 쓰레기장 등) 유무, 논과 밭의 유무, 폐수배출 공장 유무에 따라 인체에 미치는 영향과 조치방안을 Decision Tree로 형태로 구조화하였다.

17. Microsoft사의 Visual Basic 프로그램을 이용하여 Windows 95환경에서 구동이 가능한 User Interface를 개발하였다. User Interface 설계시 중점을 둔 부분은 사용자의 편의성을 최대로 하면서 데이터 입력시 오차를 줄이는 데 두었기 때문에 사용자가 직접 자료를 입력하는 것보다는 스크롤바를 사용하도록 설계하였다.

18. 전문가 시스템 도구인 Smart Elements을 이용하여 If-Then 형태의 Production Rule로 Knowledge Base를 구축하였으며, 역방향 추론기법을 적용하여 개발된 Prototype System을 테스트해 본 결과 자료의 입·출력과 추론이 정상적으로 이루어짐을 확인할 수 있었다. 따라서 본 전문가 시스템이 간이급수 시설을 효율적으로 운영·유지·관리할 수 있도록 전문적인 자문과 도움을 줄 수 있을 것으로 판단되었다.

여 백

## 제 3장 오폐수처리분야

---

제1절 서설

제2절 농어촌 마을오폐수 발생특성 및 처리시설 현황조사

제3절 농어촌 마을오폐수 처리시설의 효율적 정비방안

제4절 토양피복형 접촉산화공법의 개선을 위한 실험적 연구

제5절 결과요약

여 백

## 제3장 오폐수처리분야

### 제1절 서설

우리 나라의 오폐수처리시설의 보급 정도는 선진국에 비해 매우 저조하며, 기존 오폐수처리시설의 보급도 대도시의 오폐수를 처리하기 위한 대규모 처리시설로서, 농어촌지역 등 부락단위의 마을에서 배출되는 오폐수 처리시설은 거의 없는 실정이다. 또한 농어촌지역에서 배출되는 오폐수의 유기물질 및 질소, 인등으로 인해 발생하는 하천이나 해역의 부영양화와 적조에 의한 수질오염 피해는 가중되고 있으며, 하천, 호소 및 해역으로 유입되지 않는 오폐수는 토양오염과 지하수오염을 유발한다. 따라서 이들 지역의 오폐수를 처리하기 위한 소규모 마을오폐수처리시설의 보급이 절실히 요구된다.

본 연구에서는 농어촌지역의 오폐수처리 실태 및 관련제도 검토를 통하여 체계적인 오폐수처리시설 정비방안을 제시하고, 소규모 마을오폐수처리에 적용성이 클 것으로 판단되는 토양피복형 접촉산화공법에 관한 실험연구를 수행하여 처리공법을 개선함으로써, 농어촌의 열악한 생활환경을 개선하고 수질오염을 방지하고자 한다.

## 제2절 농어촌 마을오폐수 발생특성 및 처리시설 현황조사

### 1. 주민 설문조사

연구대상지역의 주민 설문조사는 농어촌지역 주민의 생활환경과 생활환경 개선에 대한 의지를 파악하기 위하여 실시하였다. 설문조사 대상인 표본집단은 상수보존분야에서 간이상수도 수질조사를 위하여 선정한 가구와 동일하게 하였으며, 연구대상지구인 북일, 현도, 도고 및 천북면의 60가구를 대상으로 설문조사를 실시하여 분석하였다. 오폐수와 관련된 일반적인 생활환경에 대한 설문조사결과는 <그림 3-2-1-1>에서 <그림 3-2-1-4>와 같다. 총 60가구 중 신축을 한 17가구 경우에는 수세식 화장실과 목욕탕 및 입식 부엌을 갖추고 있고, 기존 가옥에 증축하여 부엌이나 화장실을 수세식으로 개량한 경우도 있어, 60가구 중 재래식 부엌을 가지고 있는 가구는 14가구로서 조사대상의 23%를 차지하며, 재래식 화장실만을 사용하는 가구는 39가구로서 65%이다. 이 결과로부터 농어촌지역에서 부분적으로 주거시설을 개선할 경우 화장실이나 목욕시설보다는 부엌의 편리성이 먼저 고려된다는 것을 알 수 있었다. 세탁기를 이용하는 가구는 36가구로서 손세탁만을 하는 24가구 보다 많고, 손세탁을 할 경우 합성세제보다 비누를 사용하는 경우가 81%로서 높았으나, 세탁기의 보급률이 비교적 높은 편으로 세탁기에 의한 합성세제의 사용량이 적지 않다.



그림 3-2-1-1 연구 대상지의 부엌 형태에 대한 설문조사 결과



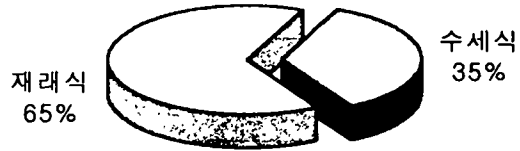


그림 3-2-1-2 연구 대상지의 화장실 형태에 대한 설문조사 결과

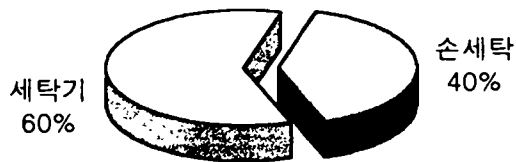


그림 3-2-1-3 연구 대상지의 세탁 방법에 대한 설문조사 결과

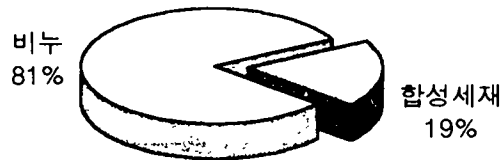


그림 3-2-1-4 연구 대상지의 세탁용 세제 사용에 대한 설문조사 결과

생활 환경 개선에 대한 관심에 대한 설문조사 결과는 <그림 3-2-1-5>에서 <그림 3-2-1-8>과 같이 농어촌지역에 오폐수 처리시설이 필요하다고 답한 것은 응답자 54명 중 47명의 87%의 대다수 주민이 오폐수 처리시설이 필요하

다고 생각하고 있다. 오폐수처리시설이 필요한 이유 중 악취문제가 가장 크게 인식되고 있었고, 그 외에도 위생, 미관 등이 문제점으로 지적되었다. 주민의 가장 많은 수가 오폐수처리시설의 설치 및 운영을 위해서는 경제적인 지원이 가장 필요하다고 생각하고 있으며, 설치시설의 장소확보 및 처리시설의 효율적 운영에 대해서도 검토되어야한다고 생각하고 있다. 90% 대다수 주민이 오폐수 처리시설의 관리에 능동적으로 참여할 의지를 가지고 있다고 답하고있어 환경개선에 대한 강한 의지를 보여주었다.

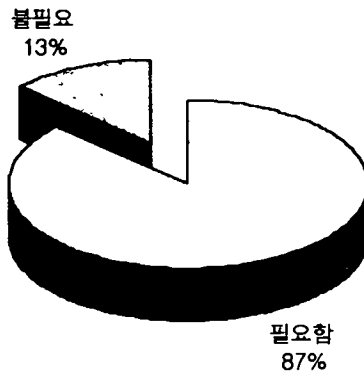


그림 3-2-1-5 가정하수처리시설의 필요성에 대한 설문조사 결과

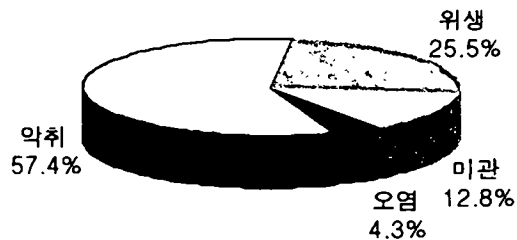


그림 3-2-1-6 가정하수처리가 필요한 이유에 대한 설문조사 결과

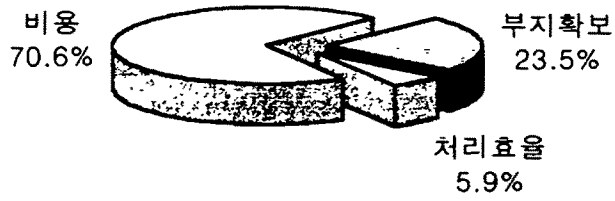


그림 3-2-1-7 하수처리시설 운영시 예상되는 문제점에 대한 설문조사 결과

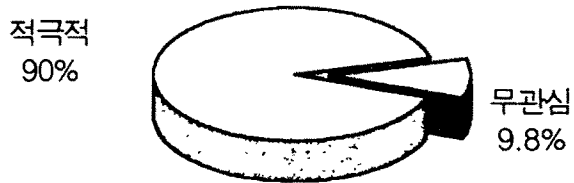


그림 3-2-1-8 하수처리시설 운영시 참여의지에 대한 설문조사 결과

## 2. 농어촌 마을오폐수 발생특성

### 가. 조사 및 분석방법

농어촌지역에 적합한 오폐수처리방법의 선정 및 처리시설 효율 극대화방안 연구를 위한 기초자료로 이용하고자, 농어촌지역에서 발생하는 오폐수의 발

생특성을 조사하였다. 농촌지역의 가정하수 발생특성이 계절의 영향을 받을 것이라는 가정하에서 계절에 따라 년3회 반복 조사하였다. 개별농가의 발생 특성은 도고, 북일, 천북지구를 대상으로 조사하였고, 다가구 농가의 혼합하수 특성은 현도지구를 대상으로 조사하였다. 개별농가중 도고지구의 경우 2시간 간격으로 24시간동안 시료를 채수하여 시간에 따른 하수발생 특성을 조사하였다. 북일과 천북지구는 오폐수 발생 분포에 따라 식사시간을 중심으로 발생시간을 3등분하여 시료를 취하여 분석하였다. 다가구에서 발생하는 혼합하수의 특성은 17가구의 가정하수가 모여 소하천으로 유입되는 지점을 선택하여 2시간 간격으로 24시간동안 조사하였다. 현장에서 온도, 유량, pH, 용존산소, 전기전도도 및 BOD를 측정하였고, 신속하게 실험실로 운반하여 T-N, T-P, SS함량 등을 분석하였다. 각 분석항목에 대한 분석방법은 수질환경공정 시험방법을 근거로 하였으며, 각각의 방법은 <표 3-2-2-1>과 같다.

표 3-2-2-1 분석 항목 및 분석방법

분석항목	단위	분석방법
유량	ℓ / hrs	10 ℓ 용기와 초시계이용
온도	℃	직접측정법
pH	-	직접측정법
용존산소(DO)	mg/ ℓ	윙클러-아지드화나트륨 변법
BOD	mg/ ℓ	표준회석법
T-N	mg/ ℓ	환원중류-킬달법
NH <sub>4</sub> -N	mg/ ℓ	인도페놀법
T-P	mg/ ℓ	아스코르빈산환원법
PO <sub>4</sub> -P	mg/ ℓ	아스코르빈산환원법
SS	mg/ ℓ	유리섬유여지법

## 나. 오폐수 발생량

3개 지구에서 년 3회 조사한 가정오폐수 발생량 범위를 비교해보면 <표 3-2-2-2>에서와 같이 100~200 ℓ/人/日으로 지역에 따른 큰 차이를 보여준다. 도시지역 일인당 가정하수 발생량은 200 ℓ/人/日로서 도고, 천북지구의 발생량과는 비슷한 수준이나, 북일지역과는 상당한 차이가 나타났다. 가정 오폐수의 발생량은 지역에 따라 다양하며, 충분한 수자원이 확보된 경우에는 도시지역과 큰 차이가 없는 것으로 추정할 수 있다. 그러므로 농어촌지역 오폐수처리시설의 용량을 결정할 때 농어촌지역특성을 잘못 이해하여 발생량을 적게 산정하는 오류를 범해서는 안되겠다.

표 3-2-2-2 개별농가의 가정하수 발생량 특성

구분	1가구당 1일 발생량 (ℓ/家口/日)	1인당 1일 발생량 (ℓ/人/日)
도고(6인가족)	1122	187
천북(3인가족)	615	205
북일(4인가족)	408	102

## 다. 오폐수 발생의 일간 변동특성

도고지구에서 연 3회 동안 2시간 간격으로 24시간 동안 발생량을 조사하여 계절과 시간의 변화에 따른 발생량, BOD, T-N 및 T-P양을 분석하였다. 그 결과는 <그림 3-2-2-1> 에서 <그림 3-2-2-4>와 같다.

8월에 실시한 2차조사에서 오폐수 발생량이 타 조사시기에 비하여 많고,

하절기등 용수수요가 많은 시기로서 계절적 편향이 심한 것으로 분석된다. 3회의 조사결과 가정하수는 아침과 저녁 식사시간에 집중적으로 발생되고 있음을 알 수 있고, 이러한 경향은 도시지역의 가정하수 발생특성이 오전 11시와 오후 9시에 최고점에 이르는 두 개의 정점을 갖는 완만한 곡선형태의 특징을 나타내는 것과 구별된다. 도고지구 2차조사시 <그림 3-2-2-1>에서와 같이 자정시간 발생량이 400 l/hr으로 최고치를 기록하였으며, 이것을 일인당 발생량으로 환산하면 67 l/hr/人으로서, 이것은 연간일일평균발생량 187 l/人/日의 35%가 한시간동안 발생하였음을 의미한다.

농어촌지역에서의 오폐수가 도시지역과 달리 특정시간대에 집중적으로 발생하므로 가정으로부터 오폐수처리시설에 이르는 하수관거의 직경은 하절기 최고 발생량을 감안하여 충분한 크기로 설계하여야 한다. 또한 발생량이 집중되어 있어 특정시간대에 많은 양의 오폐수가 발생한다는 것은 처리시설공법의 선정단계에서 고려되어야하는 중요한 인자가 될 수 있다.

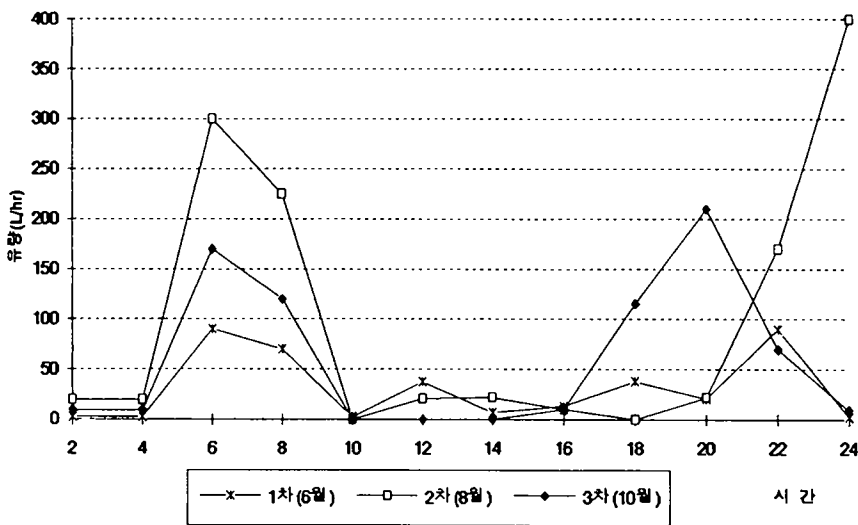


그림 3-2-2-1 시간에 따른 도고지구의 가정하수 발생량 변화

BOD, T-N 및 T-P오염부하량도 아침, 저녁시간에 높은 경향을 보이거나 하수 발생량과 정비례하여 증가하지 않으므로, 비교적 처리효율이 낮은 수세식 정화조에서 발생하는 오수의 영향을 받았음을 알 수 있다.

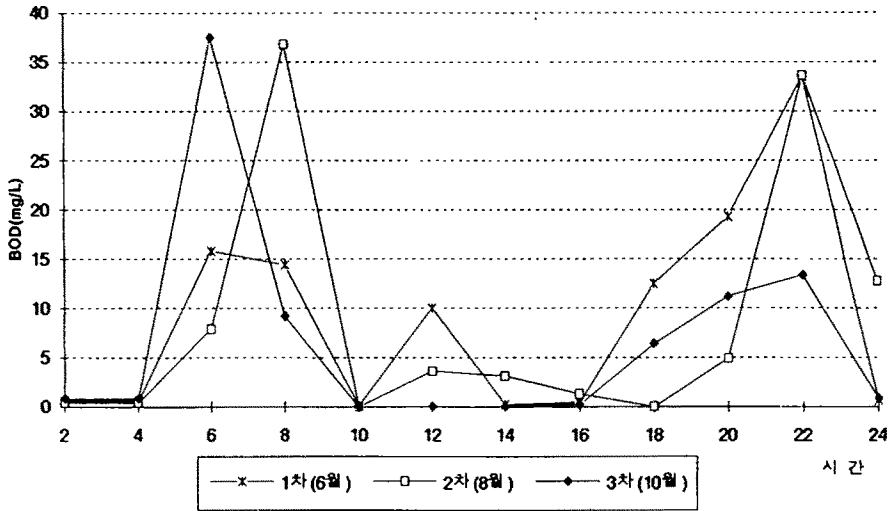


그림 3-2-2 시간에 따른 도고지구의 BOD 변화

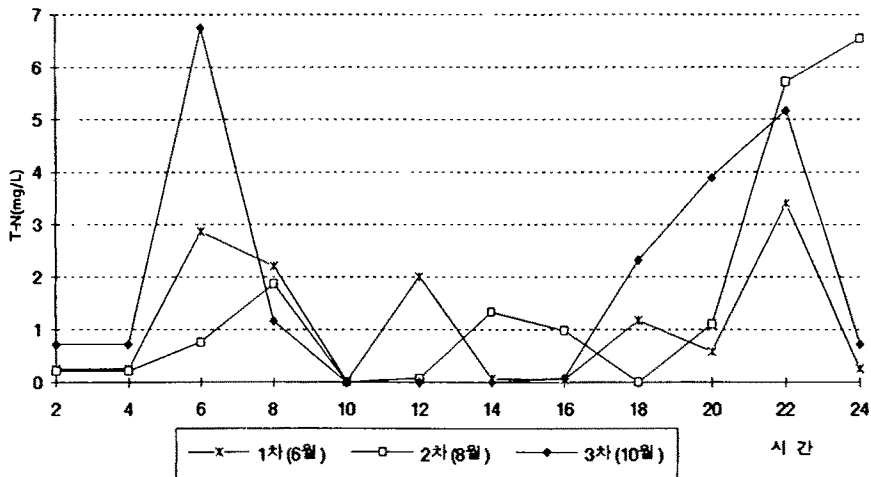


그림 3-2-3 시간에 따른 도고지구의 T-N 변화

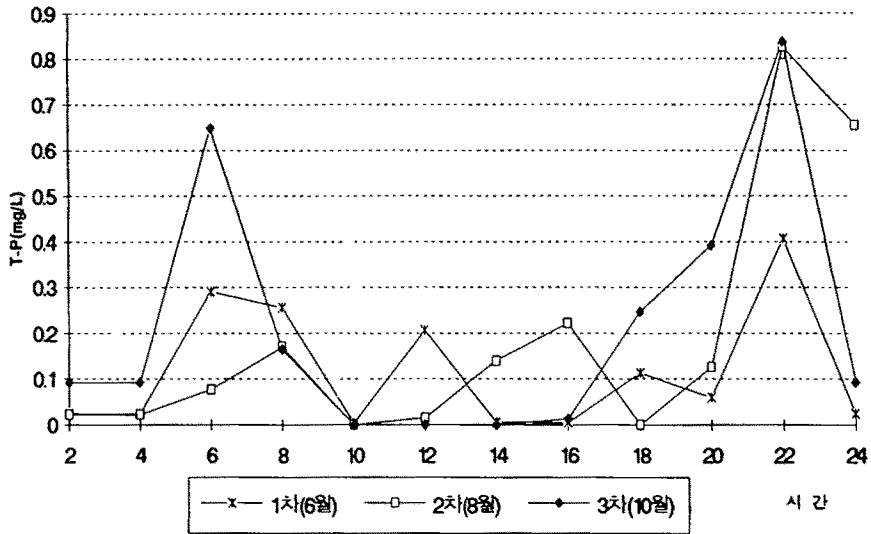


그림 3-2-24 시간에 따른 도고지구의 T-P 변화

#### 라. 오폐수의 수질특성

개별농가에서 24시간동안 발생한 생활하수와 오수를 모두 수집하여 분석하였고, 분석결과로부터 평균값을 취하여 비교하면 <표 3-2-2-3>과 같다.

BOD는 157~242mg/ℓ으로 비교적 높은 수치였으며, 발생량이 가장 적은

표 3-2-2-3 개별농가의 가정하수 수질 특성

구분	BOD(mg/ℓ)	T-N(mg/ℓ)	T-P(mg/ℓ)
도고	202	30.6	3.54
천북	157	25.0	3.77
북일	242	32.3	5.92



북일지구에서 가장 높았다. T-N과 T-P도 북일지구에서 가장 높았으나 큰 차이는 없다. T-N과 T-P는 지역에 따라 다소의 차이는 있으나 유사한 값을 보였으며, 3개 지구 수질의 평균 BOD, T-N 및 T-P는 200.3mg/ℓ, 29.3mg/ℓ 및 4.41mg/ℓ 이다.

#### 마. 오염부하량

오염부하량은 발생량과 수질특성이 모두 고려되어지는, 하수처리시설의 설계시 중요한 인자이다. 3회의 조사에 의한 3개지구의 평균 오염부하량은 <표 3-2-2-4>와 같다. 이(1985)에 의해 보고된 농촌지역의 가정 오폐수 BOD 부하량은 19.4±4.7g/人/日로 나타났지만, 본 조사에서는 3개 지구 평균 오염부하량(BOD)이 29.2g/人/日로 비교적 높다. 이러한 현상은 처리효율이 낮은 수세식화장실의 영향이라 사료된다.

표 3-2-2-4 개별농가의 가정하수의 원단위 오염부하량

구 분	BOD(g/人/日)	T-N(g/人/日)	T-P(g/人/日)
도 고	32.9	5.59	0.66
천 북	30.6	4.91	0.76
북 일	24.2	3.13	0.53

#### 바. 다가구 혼합하수 발생특성

하수관거 시설이 완벽하지 못한 농어촌 지역에서 개별농가에서 발생한 하수

가 소하천에 도달할 때 얼마만큼 가정하수가 유실 또는 회석 등에 의해 자정되는지 파악하기 위하여 다가구 혼합하수의 발생특성을 관찰하였다. 조사 지점은 17가구의 가정하수가 모여서 소하천으로 유입되는 곳으로서 가장 먼 농가는 100m정도 떨어져 있고, 인근에 논이 산재해 있다. 5월과 7월 2회 조사결과는 <표 3-2-2-5>와 같다. 하천수와 가정하수의 혼합하수로 계산된 BOD 오염부하량은 12.5g/人/日로 개별가구를 대상으로 측정한 가정하수의 BOD 오염부하량 29.2mg/ℓ 보다 매우 낮게 나타났다. 흐르는 동안 계곡수가 유입되어 회석되고 주변에 산재해 있는 담에 관개 또는 배수되는 동안 하천유지수의 회석으로 인해 유기물질 및 영양소의 오염부하량은 적어졌다.

표 3-2-2-5 혼합하수 발생량 및 BOD오염부하량

구 분	1일발생량 (ℓ/日)	가구당 1일발생량 (ℓ/家口/日)	평균 BOD (mg/ℓ)	1인당 BOD오염부하량 (g/人/日)
현 도	59,140	3,479	16.2	12.5

### 3. 마을오폐수처리시설 현황조사

#### 가. 오폐수처리시설 보급 현황

농어촌지역 마을오폐수처리 시설사업은 현재 농림부, 내무부, 환경부등 3개 부서에서 각기 별도의 예산과 시행체제로 사업을 추진하고 있으며, 농어촌지역의 소규모 분산마을(20~50호 규모의 마을)을 대상으로 하는 내무부 주관의

마을단위 하수도 정비사업은 농특세의 지원으로 가장 활발하게 사업이 추진되고 있다. 91년도부터 내무부에서 추진하고 있는 '농어촌 마을 단위 하수도 정비사업'은 '95년도에 제정된 '농어촌 주택개량 촉진법'을 근거로 하고 있으며, 1996년말 현재 전국적으로 470여개의 시설이 설치되어 가동중이다(표 3-2-3-1). 모관침윤트렌치공법이 68%의 가장 높은 비중을 차지하고 있으며, 강원도·경기도·전남을 중심으로 모관유공트렌치공법이 보급되어 있다. 96년부터 경기·충남·경북지역을 중심으로 고효율오수정화시설이 시공되기 시작하였다.

표 3-2-3-1 농어촌지역 오폐수처리시설 보급 현황(내무부주관 마을단위 하수도 정비사업)

구분	모관 침윤 트렌치	모관 유공 트렌치	토양 피복형 접촉산화	접촉 산화	고효율 오수 정화	장기 폭기	기타	계
경기	5	11	1	-	5	3	4	29
강원	28	11	-	22	-	-	-	61
충북	26	-	-	-	1	-	-	27
충남	29	-	-	1	15	2	-	47
전북	40	4	-	1	1	-	-	46
전남	90	8	4	4	1	-	5	112
경북	50	-	-	7	11	-	3	71
경남	51	5	3	8	-	1	-	68
제주	2	-	2	3	-	5	-	12
계	321	39	10	46	34	11	12	473

## 나. 처리효율 조사방법

농어촌지역에 보급되어있는 소규모오폐수처리시설의 각 공법에 따른 처리효율을 조사하기 위하여 경기·강원지역과 우리공사에서 추진한 문화마을의 오폐수처리시설을 중심으로 처리효율을 조사하였다. 현장조사결과 시공자와 관리자 및 주민의 지속적인 관심으로 원활하게 운영·관리되는 시설도 있었으나 전기시설이 가동되지 않는 상태로 방치한 시설도 있었으며, 관리자의 전문기술수준이 미흡하여 관리상 어려움도 있었다. 하수관거의 정비는 처리시설의 효율만큼 중요한데 일부지역에서는 가정하수가 유실되거나 우수가 유입되는 현상이 보여 문제점으로 지적되었다.

<표 3-2-3-2>에서와 같이 접촉산화법, 모관침윤트렌치, 모관유공트렌치법의 조사시설수는 13, 7, 7 등으로 총 34개의 오폐수처리시설을 대상으로 현장에서의 처리효율을 조사하였다. 시료채취는 처리효율을 구하기위해 처리시설로 유입되는 유입수와 처리시설에서 방류되는 방류수를 취하였으며, 현장에서 pH, EC, DO, BOD 등을 측정하였고, 신속하게 실험실로 운반하여 T-N, T-P, SS 등을 분석하였다. 분석항목과 각각의 분석방법은 <표 3-2-3-3>과 같다.

표 3-2-3-2 소규모 마을 오폐수 처리시설 처리효율 조사 시설수

구 분	모관침윤 트렌치	모관유공 트렌치	접촉산화	토양 피복형 접촉산화	고효율 오수정화	장기폭기	계
조사 시설수	7	7	13	3	3	1	34
전국 시설수	321	39	46	10	34	11	473

표 3-2-3-3 분석 항목 및 분석방법

분석항목	단위	분석방법
pH	-	직접측정법
EC	$\mu$ mhos/cm	직접측정법
용존산소(DO)	mg/ $\ell$	윙클러-아지드화나트륨 변법
BOD	mg/ $\ell$	표준회석법
T-N	mg/ $\ell$	환원중류-킬달법
T-P	mg/ $\ell$	아스코르빈산환원법
SS	mg/ $\ell$	유리섬유여지법

#### 다. 처리효율 조사결과

34개의 시설로 유입되는 유입수의 평균 BOD는  $67.0 \pm 55.1 \text{ mg/ } \ell$  로서, 2절에서의 실험 결과에 비해 오염부하량은 낮고 편차는 큰 것으로 조사되었다. 농어촌지역 오폐수처리시설은 생활하수와 정화조에서 발생하는 오수를 한꺼번에 처리하는데, 유입수 BOD가 50이하인 경우는 15개로서, 오염부하가 높은 오수가 많은 양의 생활하수에 의해 희석되어 유입수의 BOD가 낮아진 것으로 보이나, 우수 등의 유입 가능성도 배제할 수 없음을 보여준다.

표 3-2-3-4 각 공법에 따른 소규모 오폐수처리시설의 BOD제거효율

구 분	접촉산화	토양피복형 접촉산화	모관침윤 트렌치	모관유공 트렌치	장기폭기
방류수BOD (mg/ $\ell$ )	$9.6 \pm 7.3$	$8.6 \pm 2.0$	$5.7 \pm 4.0$	$26.2 \pm 15.9$	5.6
BOD제거율 (%)	$85.7 \pm 11.6$	$79.1 \pm 0.5$	$80.5 \pm 12.9$	$65.3 \pm 24.9$	71.4

시설별 방류수의 BOD와 BOD제거율은 <표 3-2-3-4>와 같다. 접촉산화공법 13개 시설에서 시료를 채취하여 분석하였는데 유입수와 방류수의 수질분석 및 BOD제거율을 검토한 결과 2개의 시설은 정상적으로 가동되지 않음을 알 수 있었다. 2개의 시설을 제외한 정상적으로 가동되는 11개의 시설에서 발생하는 방류수의 평균BOD는 9.6mg/ℓ이며 BOD제거율은 85.7%로서 타공법에 비해 BOD처리효율이 가장 높았다. 접촉산화공법의 시설은 비교적 적은 부지에 전기로 가동되는 기계시설을 중심으로 건물과 지하에 설치된 처리조로 구성되며, 처리흐름도는 <그림 3-2-3-1>와 같으며, 처리시설 전경은 <그림 3-2-3-2>와 같다.



그림 3-2-3-2 접촉산화법에 의한 처리시설 전경(홍천군 동면 속초리 덕고개)

시설별 방류수의 BOD와 BOD제거율은 <표 3-2-3-4>와 같다. 접촉산화공법 13개 시설에서 시료를 채취하여 분석하였는데 유입수와 방류수의 수질분석 및 BOD제거율을 검토한 결과 2개의 시설은 정상적으로 가동되지 않음을 알 수 있었다. 2개의 시설을 제외한 정상적으로 가동되는 11개의 시설에서 발생하는 방류수의 평균BOD는 9.6mg/ℓ이며 BOD제거율은 85.7%로서 타공법에 비해 BOD처리효율이 가장 높았다. 접촉산화공법의 시설은 비교적 적은 부지에 전기로 가동되는 기계시설을 중심으로 건물과 지하에 설치된 처리조로 구성되며, 처리흐름도는 <그림 3-2-3-1>와 같으며, 처리시설 전경은 <그림 3-2-3-2>와 같다.



그림 3-2-3-2 접촉산화법에 의한 처리시설 전경(홍천군 동면 속초리 덕고개)

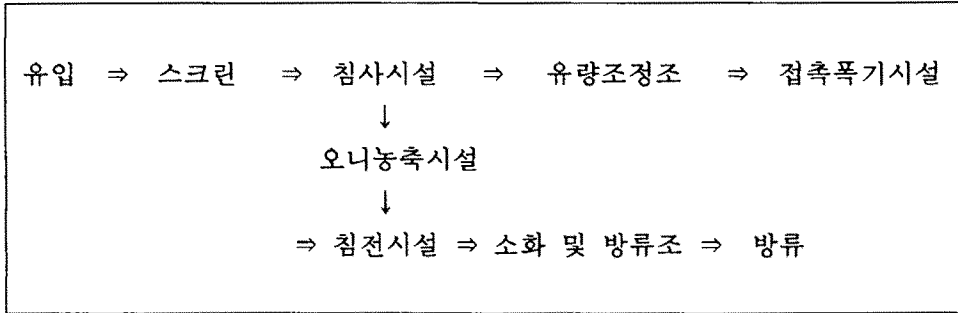


그림 3-2-3-1 접촉산화법 처리흐름도

토양피복형접촉산화공법은 접촉산화공법을 개량한 것으로 조사시설수는 적었으나 운영 및 관리에 문제가 있는 시설은 없었다. 황성에 위치한 우천문화마을의 오폐수처리시설은 모범적인 운영이 이루어지는 시설로서 유입수와 방류수의 채수가 간편하며 방류수의 수질을 육안으로 판별할 수 있도록 설계되어 있어, 타시설에도 이와같은 구성이 참조되었으면 한다. 본 공법의 시설에서 발생하는 방류수의 평균BOD는 8.6mg/ℓ이며 BOD제거율은 79.1%였다.

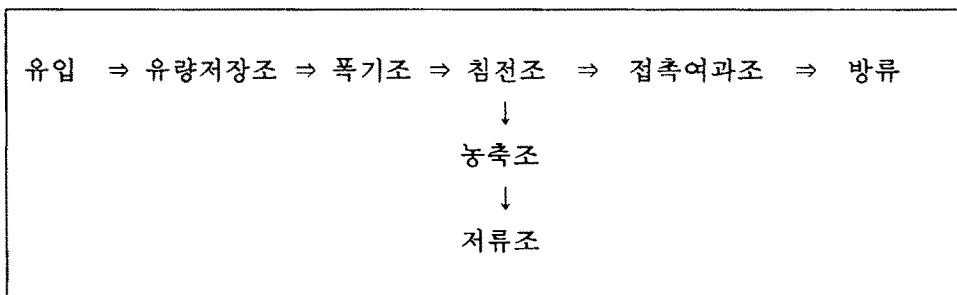


그림 3-2-3-3 토양피복형접촉산화공법의 처리흐름도





그림 3-2-3-4 토양피복형접촉산화법 처리시설 전경(횡성군 우천면 우항리)

모관침윤트렌치공법은 기계적 시설이 전혀 없는 무동력 시설로서, 비교적 넓은 부지를 요구한다. 현장에서 파악된 본 시설의 단점으로는 악취가 심각하다는 것과 운영이 잘되고 있는지 판단할 기준이 없다는 것이다. 문화마을이나 패키지마을의 경우 하수관거 길이의 최소화와 부지확보의 용이성 때문에 주거지로부터 매우 근접한 곳에 오폐수시설을 설치하는데 본 공법에 의한 시설의 경우 불쾌할 정도로 악취가 심각하다. 또한 본 시설이 정상적으로 운영되고 있는지 파악하기가 어려운 이유는 방류수의 채취가 용이하지 않기 때

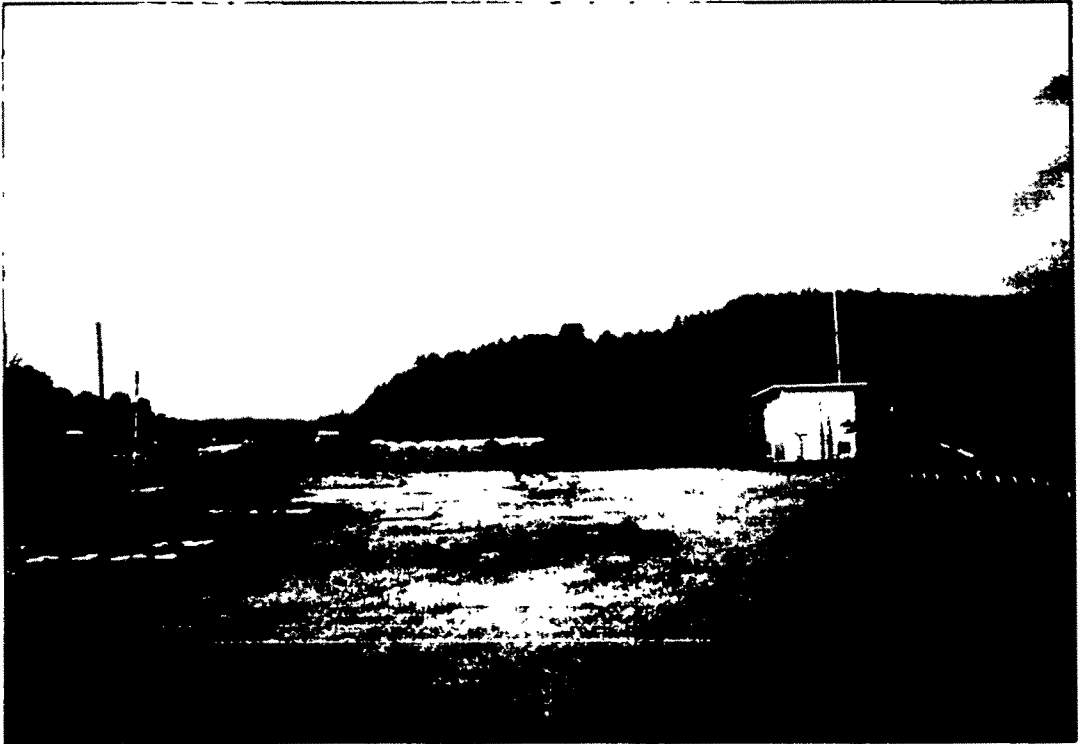


그림 3-2-3-4 토양피복형접촉산화법 처리시설 전경(황성군 우천면 우항리)

모관침윤트렌치공법은 기계적 시설이 전혀 없는 무동력 시설로서, 비교적 넓은 부지를 요구한다. 현장에서 파악된 본 시설의 단점으로는 악취가 심각하다는 것과 운영이 잘되고 있는지 판단할 기준이 없다는 것이다. 문화마을이나 패키지마을의 경우 하수관거 길이의 최소화와 부지확보의 용이성 때문에 주거지로부터 매우 근접한 곳에 오폐수시설을 설치하는데 본 공법에 의한 시설의 경우 불쾌할 정도로 악취가 심각하다. 또한 본 시설이 정상적으로 운영되고 있는지 파악하기가 어려운 이유는 방류수의 채취가 용이하지 않기 때

문이다. 방류수가 전혀 없는 경우도 있으며, 현장에서 운영의 정상 여부를 판단할 수 있는 다른 지표가 필요하다. 모관침윤트렌치공법의 처리흐름도는 <그림 3-2-3-5>와 같다.

유입 ⇒ 여과조 ⇒ 토양부패식정화조 ⇒ 토양필터 ⇒ 분수조 ⇒ 모관침윤트렌치

그림 3-2-3-5 모관침윤트렌치공법의 처리 흐름도



그림 3-2-3-6 모관침윤트렌치공법 처리시설 전경  
(춘천시 신북읍 발산리 바미리)

문이다. 방류수가 전혀 없는 경우도 있으며, 현장에서 운영의 정상 여부를 판단할 수 있는 다른 지표가 필요하다. 모관침윤트렌치공법의 처리흐름도는 <그림 3-2-3-5>와 같다.

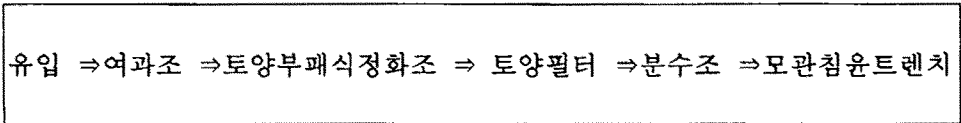


그림 3-2-3-5 모관침윤트렌치공법의 처리 흐름도



그림 3-2-3-6 모관침윤트렌치공법 처리시설 전경  
(춘천시 신북읍 발산리 바미리)

모관침윤트렌치공법의 효율을 파악하기 위하여 15개의 시설을 조사하였는데, 그중 7개의 시설에서 시료를 채취할 수 있었고, 수질조사 결과 2개의 시설은 정상적으로 운영되지 못함을 알 수 있었다. 2개중 하나의 시설은 하수관거에 문제가 있다고 판단되는데 유입수의 BOD가 10mg/ℓ 이하였다. 정상적으로 운영된다고 생각되는 5개 시설에서 발생하는 방류수의 평균BOD는 5.7mg/ℓ이며 BOD제거율은 80.5%로서 효율은 비교적 높게 평가되었다.

모관유공트렌치공법도 무동력 오페수처리시설로서 특정기업(동국산업(주))에서 특허를 받아 단독적으로 설계·시공하는 공법이다. 7개의 시설중 수질분석결과 1개의 시설이 정상적으로 운영되지 못하고 있다고 생각되며, 정상적으로 운영되는 시설에서 발생하는 방류수의 평균BOD는 26.2mg/ℓ이며 BOD제거율은 65.3%로서, 타공법에 비해 BOD제거효율이 낮게 나타났다. 방류수의 DO가 거의 0mg/ℓ이었으며 탁도가 높고 악취가 심하였다. 그러나 96년도에 준공된 오원리에 위치한 시설의 경우 BOD처리효율이 94.1%로 높았고, 방류수의 탁도도 낮았으며 악취도 낮은 편이었다. 방류수 BOD 및 BOD처리효율의 편차가 매우 크게 조사된 것은 동일한 처리공법일지라도 시공 및 관리에 의해 처리효율이 다양한 결과를 나타낸다는 것을 시사한다. 본 공법의 처리흐름도는 <그림 3-2-3-7>과 같다.

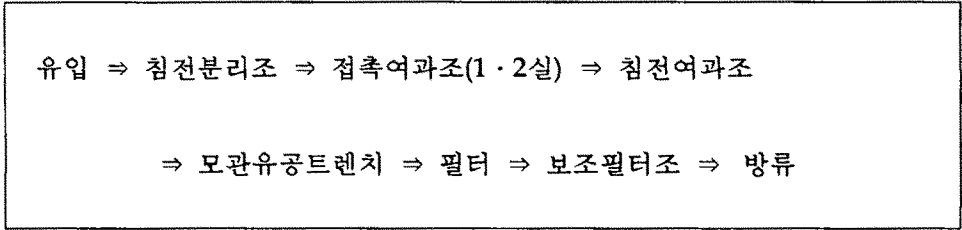


그림 3-2-3-7 모관유공트렌치공법 처리흐름도



그림 3-2-3-8 모관유공트렌치공법 시설 전경 (춘천시 동내면 거두리 방아골)

고효율오수정화시설은 과학기술원과 동성하이테크에서 공동 개발한 혐기성 및 호기성 생물학적 처리방법으로, 비교적 적은 공간에도 시공이 가능하나, 전기동력을 요구한다. 96년말 현재 경기지역에는 5개의 시설이 가동 중이어야 하나 현장조사결과 패키지마을의 시공이 지연되어 2개 시설은 준공되지 못하고 있고, 3개의 시설이 97년 7월 준공된 상태였다. 수질분석 결과 미생물상이 정상적으로 자리잡지 못한 준비상태로 평가되며, 본공법의 평가·분석은 불가능하였다. 고효율오수정화시설의 처리흐름도는 <그림 3-2-3-9>와 같다.

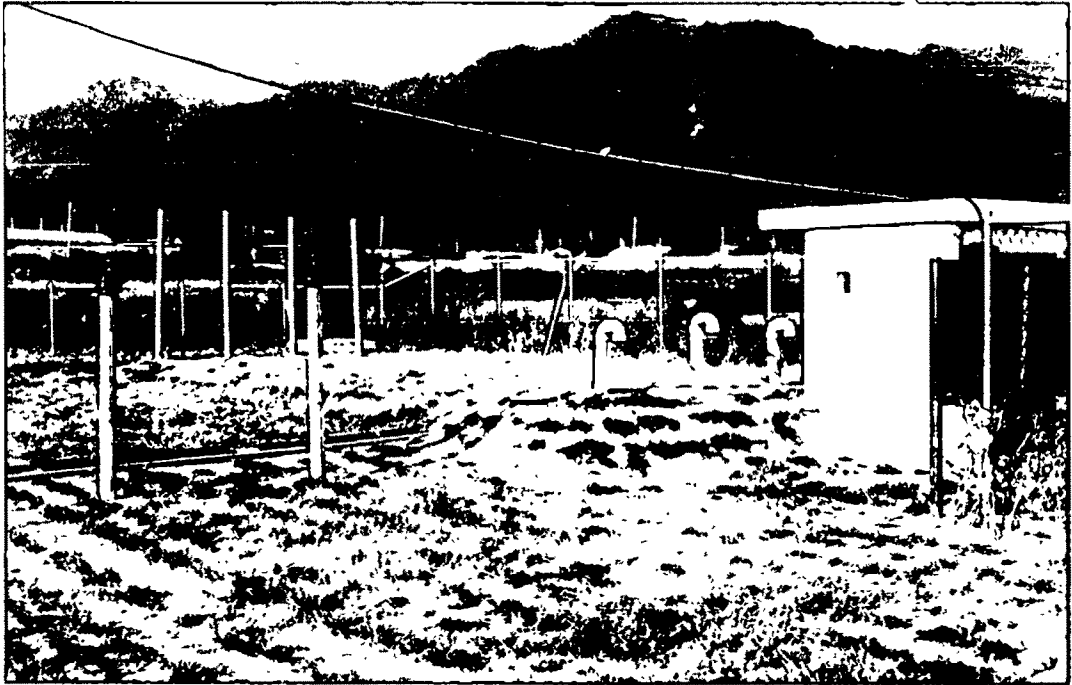


그림 3-2-3-8 모관유공트렌치공법 시설 전경 (춘천시 동내면 거두리 방아골)

고효율오수정화시설은 과학기술원과 동성하이테크에서 공동 개발한 혐기성 및 호기성 생물학적 처리방법으로, 비교적 적은 공간에도 시공이 가능하나, 전기동력을 요구한다. 96년말 현재 경기지역에는 5개의 시설이 가동 중이어야 하나 현장조사결과 패키지마을의 시공이 지연되어 2개 시설은 준공되지 못하고 있고, 3개의 시설이 97년 7월 준공된 상태였다. 수질분석 결과 미생물상이 정상적으로 자리잡지 못한 준비상태로 평가되며, 본공법의 평가·분석은 불가능하였다. 고효율오수정화시설의 처리흐름도는 <그림 3-2-3-9>와 같다.

유입 ⇒ 제1협기성조 ⇒ 제2협기성조 ⇒ 폭기조 ⇒ 최종침전실  
⇒ 순환조 ⇒ 방류

그림 3-2-3-9 고효율오수정화공법의 처리흐름도



그림 3-2-3-10 고효율오수정화공법 시설 전경 (김포군 월곶면 포내2리 박골)



유입 ⇒ 제1협기성조 ⇒ 제2협기성조 ⇒ 폭기조 ⇒ 최종침전실  
⇒ 순환조 ⇒ 방류

그림 3-2-3-9 고효율오수정화공법의 처리흐름도

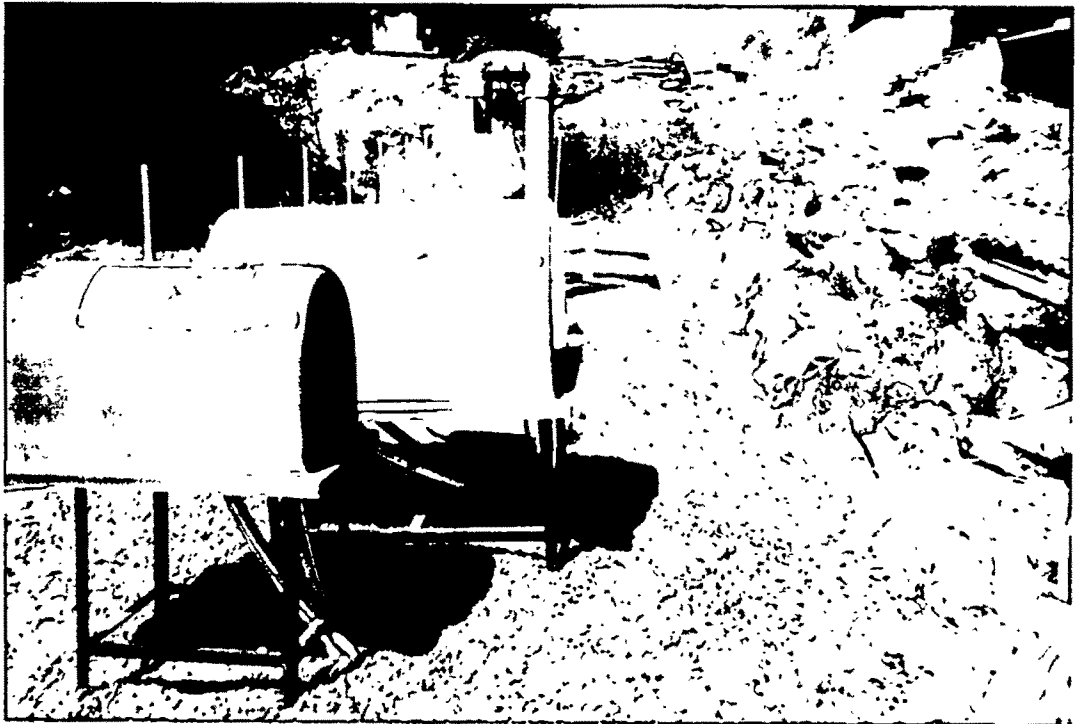


그림 3-2-3-10 고효율오수정화공법 시설 전경 (김포군 월곶면 포내2리 박골)

장기폭기법은 전국적으로 11개의 시설이 설치되어 있고 경기강원지역에는 3개의 시설이 존재하며, 본 연구조사에서는 1개의 시설만이 조사되었다. 95년에 준공된 시설이었으나 유지·관리는 정상적으로 운영되어 방류수의 BOD는 5.6mg/ℓ이며 BOD제거율은 71.4%였다. 본 공법의 처리흐름도는 <그림 3-2-3-11>과 같다.

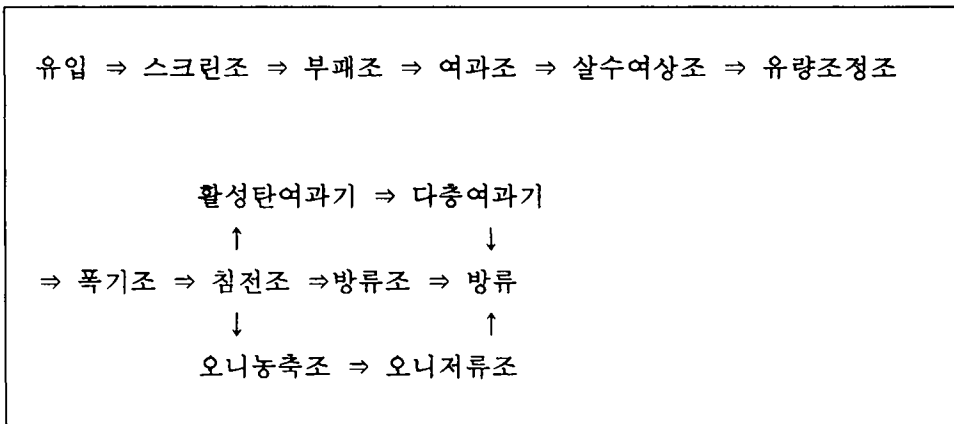


그림 3-2-3-11 장기폭기법의 처리흐름도

가동중인 소규모 오폐수처리시설의 효율을 BOD제거 관점에서 평가하면, 접촉산화법, 토양피복형접촉산화법, 모관침윤트렌치, 장기폭기법의 경우 방류수의 평균BOD가 모두 10mg/ℓ 이하이고, BOD제거효율도 70%이상이므로 BOD제거효율이 높다고 판단된다. 모관유공트렌치공법의 경우 방류수의 BOD가 6~42 mg/ℓ로서 범위도 넓고 비교적 높은 수치이며, BOD제거효율도 약 65%로서 타공법에 비해 낮았다. 방류수BOD농도와 BOD제거율은 모두 모든 공법에서 편차가 크다고 생각되며 이것은 현장에서의 시공 및 관리의 차이에서 기인한다고 생각된다. 관리가 소홀하여 정상적으로 가동되지 못하고 있는 시설수가 34개중 5개의 시설이었으며 관리에 용이하지 않은 시설도 많아 현

장에서 문제점으로 지적된다.

각 공법에 따른 소규모 오폐수처리시설의 T-N, T-P 및 SS의 제거율은 <표 3-2-3-5>와 같다. T-N제거율은 전체적으로 편차가 매우 크나 모관유공트렌치의 경우 약 40%정도로서 가장 낮고, 나머지 공법은 70~80%의 수준이었다. T-P제거율은 모관침윤트렌치공법과 장기폭기법의 경우 80%정도로 비교적 높았고, 나머지 공법들은 30~50%로서 효율이 매우 저조하였다.

SS제거율은 전체적으로 70~80%수준으로 큰 차이가 없었다. BOD제거와 비교하여 T-P와 T-N의 제거효율은 매우 저조한데, 이는 하천이나 호소등으로 배출되는 소규모오폐수처리시설 방류수에 의해 부영양화가 야기될 가능성을 시사하는 결과로서, 농어촌지역 소규모오폐수처리시설에 있어 T-N 및 T-P의 처리도 고려되어야 한다.

표 3-2-3-5 각 공법에 따른 소규모오폐수처리시설의 T-N, T-P 및 SS 제거효율

구 분	접촉산화	토양피복형 접촉산화	모관침윤 트렌치	모관유공 트렌치	장기폭기
T-N제거율 (%)	70.7±23.8	68.6±27.5	69.3±34.7	39.6±35.6	85.9
T-P제거율 (%)	48.2±25.4	54.6±19.8	82.2±17.2	34.4±19.6	86.3
SS 제거율 (%)	78.7±19.3	79.2±21.6	69.3±24.4	77.1±17.9	76.9

### 제3절 농어촌 마을오폐수처리시설의 구비조건과 효율적 정비방안

#### 1. 농어촌지역 오폐수 관리실태

우리 나라 농어촌지역의 수질오염원인과 오폐수 관리실태는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 상수도 사용량 증가와 수세식 화장실의 확대보급에 따른 생활오수 발생량의 증가

농어촌지역에서 발생하는 생활오수량은 현재 우리나라 전체 생활오수 발생량의 10.2%를 차지하고 있다.

현재 우리 나라 농어촌주민의 1인당 생활오수 발생량은 150~200 ℓ c.d 정도이나 향후 농어촌주민의 생활수준 향상과 더불어 계속 증가하여 도시수준에 접근 할 것으로 예상된다.

- 가정생활잡배수의 무처리 방류

도시지역은 대부분 하수도정비구역에 포함되므로 생활잡배수를 하수종말처리장으로 유입처리하고 있으나 농어촌지역 분산마을의 경우는 생활잡배수에 관한 법적,제도적 장치 미비로 무처리 방류하고 있는 실정으로 수질오염의 주요요인이 되고 있다.

- 수세식 화장실 정화조의 처리효율 미흡과 관리소홀

농어촌의 주거환경이 개선됨에 따라 재래수거식 화장실이 점차 수세식 화장실로 개량되고 있는 추세이다. 그러나 관련법규(오수·분뇨 및 축산폐수처리에 관한 법)에 규정된 분뇨정화조의 BOD 제거율은 50%로서 처리기준이 낮

게 책정되어 있다. 더구나 정화조 침전물의 주기적인 청소 등 적절한 관리가 이루어지지 않고 있어 실제 BOD 제거율은 50%보다 훨씬 낮을 것으로 예상된다.

#### ○ 오수관로시설 및 마을오폐수처리시설의 미비

기존의 농어촌마을에서는 우수(빗물)와 오수를 동일관거로 배출하고 있으며 우·오수의 주요 방류선은 농경지, 하천 및 마을배수로, 용수로 등으로서, 우·오수 분류식의 관로정비사업이 요구되고 있다.

마을단위 오폐수처리시설은 농어촌의 생활환경개선 및 수질오염방지를 위한 농어촌의 중요한 환경기초시설임에도 불구하고 도시지역의 하수처리시설사업에 우선순위가 뒤져 본격적인 사업추진이 이루어지지 않고 있는 실정이다.

#### ○ 가축사육두수 증가와 가축분뇨 및 축산폐수 발생량 증가

젖소(사육두수)는 1970년 대비 23배 증가 되었고, 돼지(사육두수)는 1970년 대비 5배 증가 되었다. 그 결과 우리나라 하천에 유입되는 총 BOD부하량의 18%차지 하고 있다. 축산폐수는 고농도 유기폐수로서 유기물 뿐만 아니라 질소(N), 인(P), 박테리아 등을 많이 함유하고 있어 농촌의 지하수 및 지표수를 오염시키고 호소의 부영양화를 초래하는 요인이 되고 있다.

#### ○ 소규모 축산농가에서의 축산분뇨의 관리부실 및 축산폐수 무처리 방류

농어촌 마을 내 또는 마을인근에 위치하는 대부분의 소규모 축산농가의 경우 축산분뇨에 대한 적정관리가 부실(야적 및 강우시 유출, 재활용시스템 미흡 등)하여 마을주민의 보건위생 등 생활환경에 악영향을 주고 있으며, 하천 수질오염의 주요원인이 되기도 한다. 한육우 및 젖소의 경우 법적규제 규모 이하가 사육두수기준으로 각각 88%, 63%나 되어 환경오염에 미치는 영향이

심각하다. 양돈의 경우는 사육두수기준을 법적규제 이상 규모가 77.6%, 법적 규제 이하 규모가 22.4%를 차지하고 있어 양돈폐수에 의한 환경오염은 상대적으로 적을 것으로 예상된다.

## **2. 마을오폐수처리시설의 구비조건과 처리기술의 발전방향**

### **가. 마을오폐수처리사업의 특징 및 시설의 구비조건**

농어촌 지역은 인구규모가 적은 소규모마을이 분산되어 있는 저밀도 공간이므로 마을특성에 적합한 소규모 처리시설을 마을공동으로 설치하는 것이 바람직하며, 마을오폐수 처리시설 사업의 특징을 요약하면 다음과 같다.

#### **○ 공공성이 강조되는 사업**

농어촌 생활환경 개선과 농어촌용수 수질보전을 도모하는 공공성이 큰 환경기초시설 사업이다.

#### **○ 농어촌 환경과 조화되고 주민에게 수용될 수 있는 시설**

주택 가까이 처리시설이 위치하고 마을부근에서 처리수가 방류되어 농업용수로 재이용 되는 등 지역주민의 일상생활과 밀접한 시설이므로 농촌 주변 환경과 조화되고 지역주민에게 적극 수용될 수 있는 시설이어야 한다.

#### **○ 자원의 순환 재이용을 지향하는 사업**

처리시설에서 발생하는 슬러지의 양을 최소화하는 한편, 발생한 슬러지는 농지환원으로 재이용하는 등 지역의 농업 형태와 조화된 시설이어야 한다.

농어촌 마을오폐수 처리시설은 위에서 언급한 사업의 특징을 고려하여 설치되어야하며 특히 다음과 같은 구비조건을 갖추는 것이 요구된다.

**○ 농어촌지역이 가지는 자연정화기능을 최대한 활용한 구조**

토양이나 수역 등의 자연정화기능을 최대한 활용한 처리시스템으로서 기계장치를 최소화 한 구조이어야 한다.

**○ 유지관리가 용이한 구조**

마을주민에 의한 일상관리와 전문기술자의 순회점검으로 시설의 유지관리가 가능한 구조이어야 한다.

**○ 유입부하 변동에 대응할 수 있는 구조**

생활양식이 비슷한 농촌사회의 특성을 고려할 때 피크 유출이 매우 높아질 가능성이 있으므로 유량조정시설이 요구된다.

**○ 기상조건의 영향을 받지 않는 구조**

동절기 수온저하로 처리효율이 떨어질 것에 대비할 수 있는 구조이어야 한다.

**○ 잉여슬러지의 농지환원에 적합한 구조**

슬러지 저류조, 전처리설비 보강 등의 필요성을 검토하여야 한다.

**나. 우리 나라 및 선진외국의 마을오폐수처리기술의 특성 및 발전방향**

## 1) 우리 나라

### 가) 처리기술의 특징

○주요처리공법으로는 장시간폭기법, 침전분리형 접촉폭기법, 토양피복형 접촉산화법, 모관침윤트랜치법 등이 사용되고 있다.

○장시간폭기법과 침전분리형 접촉폭기법은 도시지역의 하수처리 또는 오수정화시설에 사용되는 인공적인 처리시스템으로서 농촌지역에 그대로 적용하고 있는 실정이다.

○농촌형으로는 토양의 정화기능을 간접 또는 직접적으로 이용하는 토양피복형 접촉산화법과 모관침윤트랜치법이 보급되고 있으나, 시설기준이나 유지관리기법 등에서 불명확한 부분이 있다.

### 나) 발전방향

○장시간폭기법과 침전분리형 접촉폭기법은 농촌의 오폐수 특성과 유지관리특성을 고려하여 우리 농촌실정에 적합한 농촌형으로 시스템을 보완하면 농촌 중심부락의 오폐수 처리에 적용할 수 있을 것이다.

○토양피복형 접촉산화법과 모관침윤트랜치법은 처리효율의 이론적, 실증적 검증과 함께 현재 제기되고 있는 문제점을 개선하면 농촌의 분산마을(자연마을)의 소규모 오폐수 처리에 효과적으로 적용할 수 있을 것이다.



○ 농촌오폐수는 축산분뇨수를 포함하는 경우가 있으므로 질소나 인 등 영양염류를 적절히 처리할 수 있는 시스템도 개발하여야 할 것임

## 2) 프랑스

### 가) 주요처리공법

자연형 산화지법, 폭기형 산화지법, 원형 산화구법, 토양트랜치법, 습지식물정화법 등이 적용되고 있다.

### 나) 처리기술의 특징

과거에는 자연형 산화지법이나 토양처리법 등 자연형 처리법이 많이 적용되었으나, 근래 처리수준이 강화됨에 따라 폭기형 산화지법, 원형 산화구법 등이 적용되고 있다. 또한 과거 설치한 기존 처리시설의 처리효율을 효과적으로 높이는 것이 주요과제로 대두되고 있으며 이를 위한 기술개발에 주력하고 있다.

### 다) 우리나라 농촌에의 적용성

원형 산화구법은 중심부락 오수처리에, 그리고 습지식물정화법과 산화지법 등은 자연마을 오수처리에 기후조건과 지형 및 지역 여건을 고려하여 적용할 수 있을 것이다.

### 3) 일본

#### 가) 주요처리공법

과거에는 농촌지역 합병정화조의 보급에 주력하였으나 1980년대 이후에는 농업집락배수사업을 중심으로 마을공동오폐수 처리시설을 중점적으로 설치하고 있으며, 처리공법으로는 접촉폭기법, 회전원판 접촉법, 회분식처리법, 토양식 처리법 등이 적용되고 있다.

#### 나) 처리기술의 특징

도시지역의 소규모 오수처리에 적용되는 공법을 농촌형으로 개량하여 보급하고 있으며(예: JARUS 오수처리시설), 유지관리의 편리를 위하여 처리시스템내에 자동화 된 각종 기계장치를 설치하므로써 시설비가 고가이다. 일반적으로 마을오폐수처리시설에 가정분뇨를 직투입하여 처리하고 있어 처리구역내의 각 가정에는 분뇨정화조를 설치할 필요가 없으며, 따라서 처리시설 유입오수의 농도가 높은 편이다.

#### 다) 우리나라 농촌에의 적용성

처리시설에 자동화 된 각종 기계장치를 사용하므로써 설치비용이 고가이며 또 기계장치의 보수 점검등 유지관리비용 부담이 커서 현재 우리의 농촌 실정에는 적합치 못하다. 따라서 이러한 처리시설을 우리농촌에 적용하기 위해서는 시스템을 보다 단순화시킬 필요가 있다.

### 3. 농어촌 마을오폐수처리시설의 효율적 정비방안

#### 가. 처리구 계획과 오폐수처리 종합계획

##### 1) 처리구역의 구분

저밀도 공간의 분산마을로 구성된 농어촌지역의 처리구역 계획은 농촌의 특성을 충분히 고려하여 설정되어야 한다. 일반적으로 처리구역을 집중처리(2개 이상의 마을 공동처리)구역과 분산처리(단위마을 공동처리)구역, 그리고 현장처리등으로 구분하여 처리계획을 수립하는 것이 바람직하다.

##### 2) 처리구역계획의 순서와 방법

처리구역계획에서는 대상지구에 관련되는 제반계획과의 일관성, 지역특성에의 적합성, 시설비의 경제성, 관리운영의 원활성 등을 고려하고 특히 처리수의 방류와 순환재이용에 의해서 처리장주변과 하류환경에 지장을 주지 않도록 배려하여야 한다. 처리구역계획의 일반적인 순서와 방법은 다음과 같다.

- ㉠ 처리구역의 개략결정
- ㉡ 상위계획 및 관련계획과의 일관성 검토
- ㉢ 자연적, 지리적조건과의 적합성 검토
- ㉣ 생산 및 생활환경과의 적합성 검토
- ㉤ 지역관계와의 적합성 검토
- ㉥ 비용분석을 통한 경제성 검토

### 3) 집중처리의 타당성 판단기준

어느 마을 하나를 놓고 볼 때 인접되어있는 마을의 오수를 합쳐서 하나의 처리장에서 집중 처리하는 경우와 각 마을단위 분산처리로 계획하는 경우에 대한 타당성 판단기준이 필요하다.

경제성을 바탕으로 하여 집중처리시의 비용과 분산처리시의 비용을 비교 검토하여 집중처리의 타당성을 가지는 한계거리를 구할 수 있다. 검토대상 항목으로는 처리장 건설비, 처리장 유지관리비, 관로시설의 건설비 및 유지관리비, 두 마을간의 연결관로 건설비 등을 포함하였으며, 집중처리의 타당성 여부는 두 마을간을 연결하는 관로거리( L )에 크게 좌우된다. 일반적으로 마을간 연결관로 길이가 가옥수×50m 보다 길게되는 경우는 집중처리의 이점이 없는 것으로 판단할 수 있다.

### 4) 농어촌지역 오폐수시설 종합정비기본계획수립의 필요성

'90년대 이후 농어촌마을 오폐수처리시설 사업이 확대 추진되고 있으나 종합적인 정비기본계획 없이 소규모 마을단위로 사업이 시행되고 있어 보다 체계적이고 효율적인 사업추진이 요구되고 있다. 또한 마을오폐수처리(마을 하수도)사업은 농어촌의 생활환경개선과 수질환경보전을 위한 것이므로, 이를 효율적이고 체계적으로 시행하기 위해서는 농어촌 소수계의 수질관리를 고려한 면단위 규모의 종합정비기본계획의 수립을 적극 검토할 필요가 있다.

## 나. 농어촌마을의 소규모축산폐수와 생활오수의 연계처리방안

마을내에서 발생하는 소규모의 축산폐수는 가능한 범위에서 마을 오폐수처리시설에서 받아들여 생활오수와 함께 처리하는 것이 바람직하다. 여기서는 축산폐수와 생활오수와의 연계처리형태를 3개 형태 즉, 재택처리 시스템, 공동처리 시스템, 복합처리 시스템 등으로 구분하고 시스템별 특성을 비교 검토한 결과는 다음과 같다.

### 1) 재택처리 시스템

축산폐수 발생량이 큰 반면에 생활오수 발생량은 적어서 자연정화가 가능한 경우에 축산폐수 발생원 지점에서 각각 개별 처리하는 형태이다. 소규모의 축산폐수 재택처리에 적용되는 적정 처리공법으로는 톱밥발효사, 밀폐퇴비화, 토양침투법, 정화조법 등이 있다.

### 2) 공동처리 시스템

축산폐수 발생량이 생활오수 발생량에 비하여 적은 경우에 축산폐수를 고액분리 등의 전처리를 조건으로 하여 마을오폐수처리시설에 받아들여 생활오수와 공동으로 처리하는 형태이다.

축산폐수가 포함되어 처리장 유입오수의 농도가 설계기준치 이상으로 높아질 때에는 희석수를 이용하여 농도를 적절히 낮추어야 한다.

### 3) 복합처리 시스템

재택처리와 공동처리를 병행 처리하는 시스템으로서, 먼저 고농도의 축산폐수를 재택 처리한 후 다시 마을 오폐수 처리장에서 생활오수와 함께 공동 처리하는 형태이다. 이러한 형태는 축산폐수 발생량이 비교적 많은 마을의 경우에 해당되며, 1차 재택처리를 통하여 3,000 - 4,000 ppm 의 유기물 농도를 500 - 600 ppm 이하로 정화한 후 다시 처리장에서 생활오수와 함께 공동 처리하여 방류하도록 한다.

#### 라. 현행 관련법규 및 제도 검토

우리 나라의 농어촌 오폐수처리와 관련된 현행 법규·제도 등을 검토한 결과 문제점 및 개선방안은 다음과 같다. 주요 관련법으로는 수질환경보전법, 하수도법, 오수·분뇨 및 축산폐수처리에 관한법 등이 있으며, 지금까지 설치되어온 농어촌오폐수처리시설(내무부의 간이오수처리시설, 농림부의 문화마을 오폐수처리시설등)은 법적 지위가 모호하여 오수정화시설 또는 불법시설물로 간주되는 등 시설의 기준이나 유지관리 주체의 불명확성 등이 문제가 되어왔다. 이러한 문제를 해소하기 위하여 마을하수도의 개념과 법적 지위를 부여하는 하수도법 개정이 추진되어 앞으로 농어촌 오폐수처리시설은 하수도법의 마을하수도로써 사업이 추진될 것이다.

따라서 현재 내무부가 농어촌주택개량 촉진법에 의거 설치하는 간이오수처리시설과 농림부가 농어촌정비법에 의거 설치하는 문화마을 오폐수처리시설은 하수도법상의 마을하수도 관련제반규정에 의거 설치, 운영, 관리될 것이다.

또한 이러한 관련법규의 정비에 맞추어서 현재 각 부서에서 분산 추진되고

있는 농어촌마을오폐수처리사업의 시행 부서간 합리적인 업무조정과 시행체  
계정비가 요구되며, 관련 기술의 공동개발 및 상호교류, 종합계획기법도입을  
위한 제도개선이 요구된다.

## 제4절 토양피복형 접촉산화공법의 개선을 위한 실험적 연구

### 1. 토양피복형 접촉산화공법의 문제점 및 개선방향

#### 가. 토양피복형 접촉산화공법의 구조특성 및 처리특성

본 공법은 일반적인 접촉산화법과는 달리 처리시설 상부에 토양을 피복하고  
접촉여재로서 쇄석을 사용한 장수로다실형구조의 폭기조로 구성되어 있어 접  
촉산화에 의한 처리기능, 피복토양의 정화능력 및 유용한 기능을 복합적으  
로 이용하는 공법으로서 주요 특성을 요약하면 다음과 같다.

- 처리조의 구조가 장수로 다실형으로서 자연월류에 의한 압출류의 형태로  
오수를 하류로 이동시킨다. 이러한 수평압출류가 처리조 밑바닥에 배치된 산  
기장치에 의하여 불규칙한 난류가 형성되어 접촉여재에 계속 접촉하게 되며,  
일반적인 선회류교반방식보다 접촉여재 충전율을 높일 수 있다.

- 토양미생물을 풍부하게 보유하고 있는 부식질 통기성 토양을 피복하므로  
써 토양과 오수의 접촉부분에 공기의 순환과 적절한 습도가 유지되어 처리조  
수면의 부상성오니(스킴)가 고결되지 않고 토양미생물의 먹이와 피복토양에

식재된 식생의 비료로 흡수되어지므로 오니 발생량을 감소시킬 수 있다.

- 피복토양은 단열효과와 토양미생물의 분해열 등으로 겨울철에도 처리조 내의 온도가 적절히 유지되어 처리효율의 저하를 방지할 수 있다.

- 피복토양에 의한 탈취효과와 2차공해(해충발생, 병원균 비산)방지 등을 기대 할 수 있어 마을 주거지에 인접하여 처리장을 설치하는 것이 가능하다. 또한 피복토양에 잔디 등을 식재하여 조경지역으로 이용할 수 있으므로 미관상 유리하고 농촌 경관에 조화롭게 어울릴 수 있다.

#### **나. 현행 토양피복형 접촉산화공법의 문제점 및 개선방향**

현재 토양피복형 접촉산화공법이 설치 운영되고 있는 처리장 시설에 대하여 유지관리현황을 조사한 결과 나타난 문제점을 요약하면 다음과 같다.

- 처리장 유지관리의 형태와 유지관리의 적정성 여부에 따라 처리효율과 처리장의 미관 및 청결성 등에 큰 차이가 나타나고 있어 적절한 유지관리가 요망된다

- 특히 퇴적 오니의 주기적인 제거가 이루어지지 않거나 산기장치의 작동이 미흡한 것이 처리효율 저하의 주 요인이 되고 있었다.

- 처리장 방류구의 수위가 낮게 설정되어 강우시에 방류하천 수위가 올라가면 처리수가 방류 되지 못하여 침수되는 경우가 있으므로, 방류구 수위 결



정에 보다 신중한 검토가 요구된다.

○ 전처리 과정인 유입부침사조에서 부상오니(스컴)가 많이 발생되어 이의 제거에 상당한 노력이 소모되고 있었다.

○ 오수관로시설의 밀폐도가 미흡하여 지하불명수가 설계치보다 많이 처리장으로 유입되는 경향이 있었다

또한 토양피복형 접촉산화공법과 관련된 국내의 연구자료 및 관련기술자료의 검토와 사례지구 현지조사 등을 통하여 파악된 본 공법의 문제점 및 이에 대한 개선방향을 정리하면 <표 3-4-1-1>과 같다.

표 3-4-1-1 토양피복형 접촉산화공법의 문제점 및 개선방안

문 제 점	개 선 방 향	검 토 대 상 항 목
처리시설 상부를 토양으로 피복하므로써 보수점검이 곤란하여 유지관리에 어려움이 있음	시스템의 내부구조를 보수 점검이 용이하도록 개선함	- 맨홀 및 점검구 - 산기장치 점검보수의 용이성 - 퇴적오니 점검제거의 용이성
접촉여재로서 쇄석을 사용하므로 시공 및 구조상의 문제와 유지 관리상의 어려움이 예상됨	쇄석 대신 사용할 수 있는 대체접촉여재를 개발하고 충진방법을 개선함	- 인공접촉여재의 적용 가능성 - 접촉여재의 충전방법과 구조적 안정성 - 피복토양과의 연속성
현재 피복토양에 혼합사용하고 있는 Z-균 콤포스트는 가격이 고가여서 시설설치비 증가의 한 요인이 되고 있음	Z-균 콤포스트를 대신할 수 있는 가격이 저렴한 대체물질 개발함	- 피복토양의 통기성 및 토양미생물의 성장을 - 식물의 식재와 성장도
접촉폭기조 유입부에 오염부하과다로 인한 접촉여재 공극의 막힘현상 발생으로 처리효율 저하	접촉여재의 세정 등으로 막힘현상 해소	- 폭기집중에 의한 역세정(back washing) - 차리수의 순환으로 오염부하 감소
소독조와 처리관련 각종 부대시설 미비로 위생문제 및 유지관리 곤란	처리시설 규모에 적합한 부대시설 설치	- 기본적인 계측장치 설치 - 관리동 설치, 소독조 설치

## 2. 토양피복형 접촉산화공법개선 실험의 실험설계 및 방법

### 가. 실험설계

#### 1) 실내모형실험

본 연구 실내실험에서는 토양피복형 접촉산화 시스템의 오염물질(유기물 및 무기물) 제거효율을 검증하였다. 또한 토양필터의 유기물제거 효율증진 및 피복토양혼합재인 Z균-Compost 대체혼합재 개발을 위한 실험을 수행하였다.

#### 가) 접촉여재 충전방법별 효율검증 실험

접촉산화조내의 충전여재는 이미 '96년도 여재선정 실험에서 최적의 여재로 선정된 kureharon lock 여재의 충전방법에 따른 효율성을 검증하기 위해 충전방법을 달리하여 1997년 6월 8일부터 7월 26일까지 49일간 실험을 수행하였다. 실험의 진행은 유기물 부하량과 폭기량에 따른 오염물질 제거효율(BOD<sub>5</sub>, COD<sub>cr</sub>, SS, T-N, T-P)을 비교하고, 효율성증진을 위한 적정 운전조건을 결정하였다. 이를 위한 실험설계는 <표 3-4-2-1>과 같다.

표 3-4-2-1 여재선정을 위한 실험설계

E X P E R I M E N T	유기물부하량 (BOD <sub>5</sub> )	폭기량 (Air)	여재충진방법	
			상자형 lock충진	침적식 lock충진
	0.15kg/m <sup>3</sup> /일	14.4m <sup>3</sup> /일	TEST 1	TEST 5
		8.64m <sup>3</sup> /일	TEST 2	TEST 6
	0.20kg/m <sup>3</sup> /일	14.4m <sup>3</sup> /일	TEST 3	TEST 7
		8.64m <sup>3</sup> /일	TEST 4	TEST 8

**(1) kureharon lock 여재의 특성**

lock란 동식물의 천연섬유 또는 합성섬유 등을 스프링 상태로 쉘(curl) 가공하여 탄성체를 만들고 수지 등을 이용하여 피복결합한 것이며, 그 섬유의 모양이 양의 감긴 털을 닮았다고 하여 lock(권모)이라고 명명하게 되었다. kureharon lock의 재질은 합성섬유로 되어 있어 물리적, 화학적으로 매우 안정적이다. 특히 공극율이 커서 공기나 액체가 통과할 때, 마찰저항이 아주 적고, 입자나 기체가 충돌하여 흡착될 수 있는 표면적도 매우 크므로 집진, 기체, 액체 접촉재, 미생물의 생육장소, 식물뿌리 생육제(인공배토인 경우)등 다방면에 이용되고 있다. 실험에 이용한 kureharon lock의 물리적 특성은 <표 3-4-2-2>와 같다.

표 3-4-2-2 kureharon lock의 물리적 특성

Material	Specific surface area (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	Density	Absorbability	Intensity (kg/KL element)	BOD removal efficiency (%)
polyvinylidene	400	1.7	0	10	above 95

※ (株)東城 lab-tech. catalogue(1995)

kureharon lock은 합성수지로서 耐水性, 耐藥品性, 耐日光性이 우수하고 섬유 자체의 넓은 공간, 즉 공극율이 크므로 기체나 액체가 통과할 때, 저항이 적고 입자의 흡착에 작용하는 비표면적이 크므로 미생물막의 형성에 적합한 것으로 보고되어 있다. 생물막을 형성시키는 여재는 생물증식에 저해작용이 없도록 불활성이어야 하므로 kureharon lock의 경우 이러한 요건을 충족시키고 있다. lock의 재질은 폴리비닐리덴계로서 기계적인 강도가 다른 합성수지 제품에 비하여 강하며, 물리적·화학적으로도 안정적이다. 특히 부하량의 변동과 고부하에 적응성이 강하고 BOD 제거효율이 상당히 커 95% 이상

의 매우 우수한 능력을 가지는 장점이 있다.

#### 나) 토양식 필터 효율증진 실험

토양피복형 접촉산화시스템의 여재충진방법에 따른 효율성을 비교분석하여 적정 운전조건을 결정한 후, 접촉산화조의 효율검증과 토양식 필터의 효율검증을 병행하여 수행하였다. 따라서 유기물질(BOD<sub>5</sub>, COD<sub>cr.</sub>, SS) 및 영양염류(T-N, T-P)의 제거효율을 유입수와 유출수의 수질을 분석하여 토양식 필터의 효율을 검증하였다.

#### 다) Z균-Compost와 축분-Compost의 비교실험

현재 토양피복형 접촉산화시스템의 피복토양 혼합재로 미생물제재인 Z균-Compost를 사용하고 있으나, Z균-Compost는 수입에 의존하고 있기 때문에 경제적 부담이 되고 있다. 그러므로 Z균-Compost의 대체가능물질로서 축분-Compost를 선정하여 효과에 대한 비교실험을 수행하였다. 본 실험에 사용된 축분-Compost는 돈슬러리를 이용하여 밀폐형 퇴비화시스템에서 특수처리공된 것으로 Z균-Compost를 대조구로 하여 혼합토양의 물리적 특성과 경시별 미생물상의 변화를 관찰하였다. 혼합토양의 물리적특성으로는 밀도(Bulk Density), 입자밀도(Particle Density), 다공율(Porosity), 함유율(Water Content), FAS(free air space)를 분석하였으며, 경시별 미생물상의 변화를 관찰하였다.

## 2) 현장실험

본 연구에서 현장실험은 서울대학교 농업생명과학대학 부속목장에 설치된 Pilot 규모의 현장실험시설을 보완하여, 시스템의 최적화를 위한 실증실험을 수행하였다. 토양피복형 접촉산화시스템 및 토양필터의 오염물질 제거효율을 비교하기 위해 유기물질 (BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Cr</sub>, SS) 및 영양염류(T-N, T-P)의 제거효율을 분석하고 비교검증하였다. 실험설계는 <표 3-4-2-3>과 같다.

표 3-4-2-3 현장실험의 실험설계

유기물 부하량 (BOD <sub>5</sub> ) kg/m <sup>3</sup> /일	폭 기 량 (Air) m <sup>3</sup> /일	여재충진
		상자형L·P혼합여재 (lock and plastic ring)
0.08~0.2	66.24	Test 1

### 나. 실험장치

#### 1) 실내 모형실험

##### 가) 모형 접촉산화시스템 실험장치

본 실험에 이용된 모형 실험시스템은 유량조정조, 제 1폭기조, 제 2폭기조, 침전조로 구성되어 있으며 재질은 투명 아크릴수지로 제작되었다. 기본 구조의 설계는 Pilot규모의 토양피복형 접촉산화시스템을 기하학적으로 1/4로 축소한 후 모든 제원을 동일축적으로 제작하였다. 실험장치는 돈슬러리와 생활오수를 혼합한 유입수를 연속식으로 공급할 수 있도록 제작되었으며, 아

크릴 원통으로 만든 주반응조의 크기는 지름이 35cm, 높이 45cm로 유효용량은 폭기조 2조 35ℓ, 침전조 1조 28ℓ로써 동일한 환경조건(온도, 습도 등)에서 충전방법을 달리한 kureharon lock 여재의 효율 비교실험을 하기 위하여 2식의 실험장치를 동일하게 설치하였다. 반응조의 하단에 산기관을 부착하고 Blower(SPP-40GJ-L, 46ℓ/min, 0.13kgf/cm<sup>2</sup>)에 연결하여 원활한 공기공급이 가능하게 하였으며, 폭기량을 조절하기 위해 각각의 실험장치에 Air Flowmeter를 부착하였다. 그리고 실제 접촉산화조의 피복된 상황을 模寫(simulation)하기 위해 상부에 혼합토양을 덮을 수 있도록 제작하여 실제 시스템에서 이용되는 시설과 최대한 같은 환경을 만들도록 하였다. <그림 3-4-2-1>에서 <그림 3-4-2-5>는 실내실험장치의 공정흐름과 각 반응조의 여재충진방법을 나타낸 것이다.

유입오수는 생활오수와 든슬러리를 시료혼합조에서 적절하게 완전혼합시켜 만든 합성오수를 정량펌프를 이용하여 각 실험에 맞게 정량을 제1 폭기조로 유입한다. 접촉여재가 충전된 제 1폭기조와 제 2폭기조에서 유입오수중의 유기오염물질을 영양원으로 하여 성장한 미생물은 침전조에서 Floc을 형성하면서 침전하게 되고, 이후 오니저류조의 상등수는 폭기조로 반송된다.

처리된 오수는 최종침전조에서 상등액만 분리되어 접촉산화시스템 외부로 방출되게 되며, 방출된 처리수는 다시 토양필터로 유입되고, 처리되어 방류된다. 유입오수는 전실험기간 동안 매일 유입되며, 농도측정은 Sampling Site 1에서는 매일, Sampling Site 2와 3에서는 4일에 1회씩 채취하여 농도를 측정하였다.

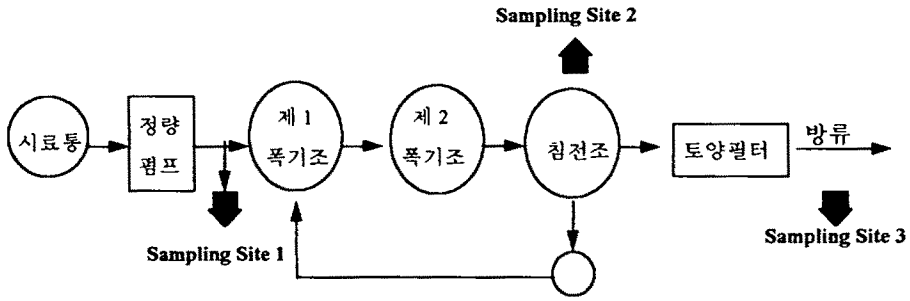


그림 3-4-2-1 모형실험장치의 공정흐름도(lab scale)

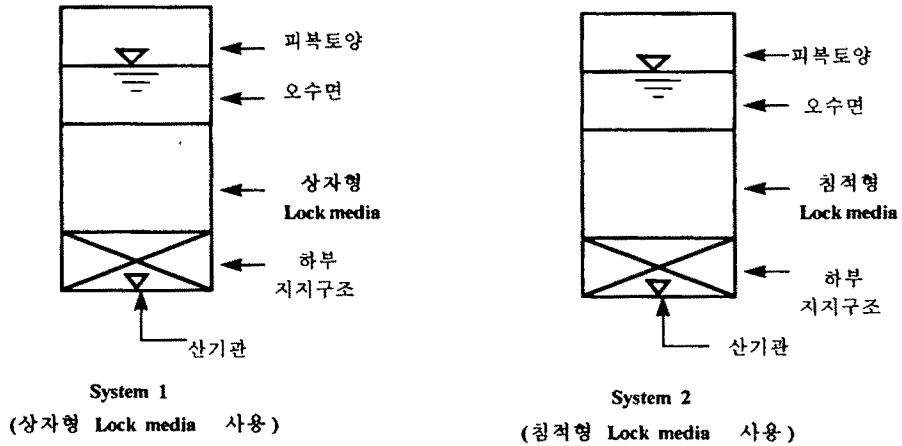


그림 3-4-2-2 여재충진반응조의 단면도(lab scale)

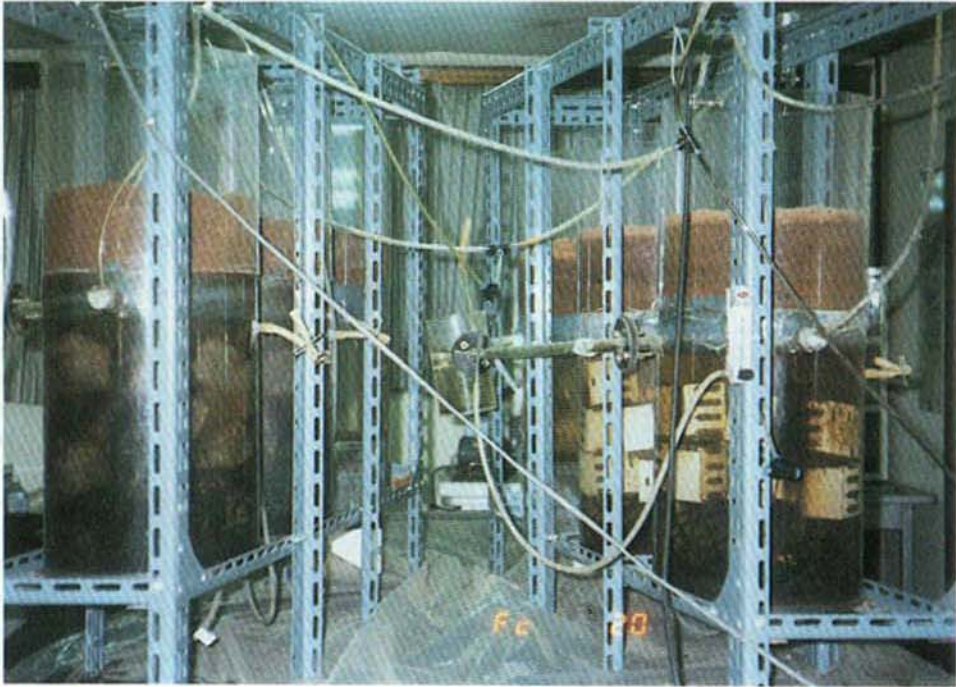


그림 3-4-2-3 모형 접촉산화시스템 실상도(lab scale)



그림 3-4-2-4 상자형 kureharon lock 여재충진 실상도 (lab scale)



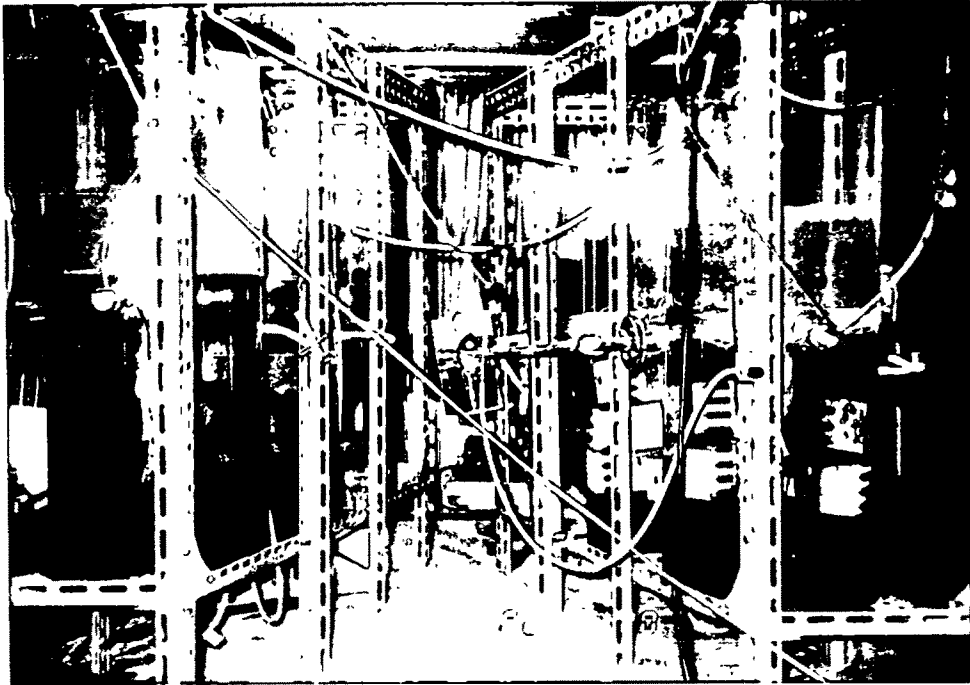


그림 3-4-2-3 모형 접촉산화시스템 실상도(lab scale)



그림 3-4-2-4 상자형 kureharon lock 여재충진 실상도 (lab scale)

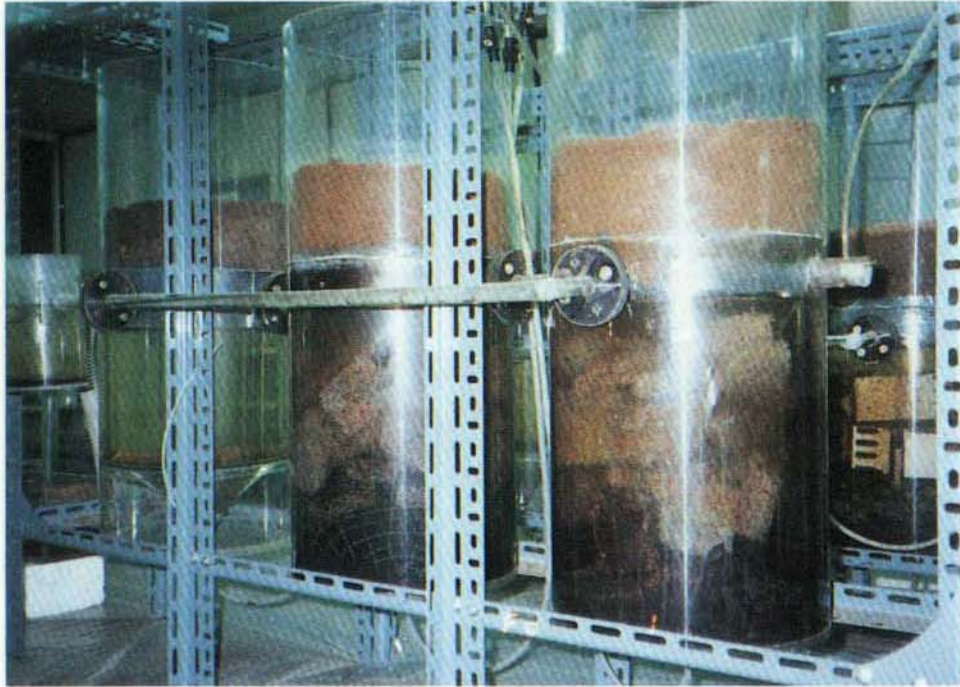


그림 3-4-2-5 침적형 kureharon lock 여재충진 실상도(lab scale)

#### 나. 모형 토양필터시스템

본 실험장치는 크게 반응bin, 유공형 오수분배관과 최종 침전조로 구성되어 있다. 반응bin의 유효용량은 15.6 l로 설계하였으며, 有孔 오수분배관의 상하단에 공기흡입관과 소형팬을 이용한 공기 배출관을 설치하여 필터내 호기적 조건을 유지하도록 설계하였다. 토양필터에 유입된 오폐수는 일정한 경사도 (5/100)를 가지는 유공오수분배관을 지나면서 반응bin안으로 유입되고, 반응 bin 내부의 접촉재와 접촉하면서 정화될 수 있도록 하였다. 2조의 토양필터를 제작하였으며, 한조는 하부로부터 소나무 목편, 그린탄소, 쇠석층을 충전하고

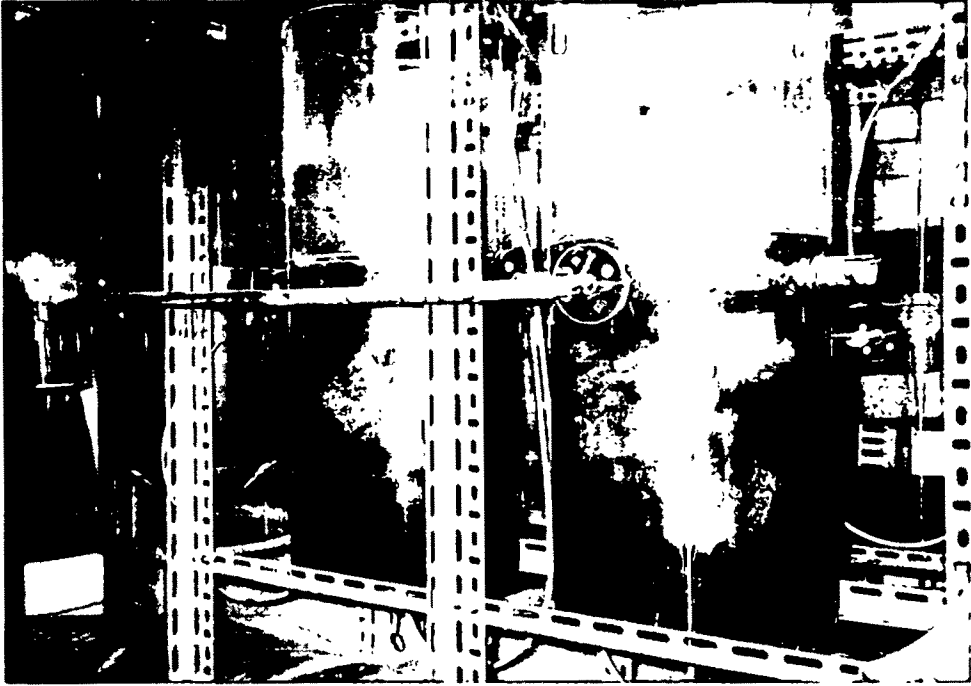


그림 3-4-2-5 침적형 kureharon lock 여재충진 실상도(lab scale)

#### 나. 모형 토양필터시스템

본 실험장치는 크게 반응bin, 유공형 오수분배관과 최종 침전조로 구성되어 있다. 반응bin의 유효용량은 15.6 l로 설계하였으며, 有孔 오수분배관의 상하단에 공기흡입관과 소형팬을 이용한 공기 배출관을 설치하여 필터내 호기적 조건을 유지하도록 설계하였다. 토양필터에 유입된 오폐수는 일정한 경사도 (5/100)를 가지는 유공오수분배관을 지나면서 반응bin안으로 유입되고, 반응 bin 내부의 접촉재와 접촉하면서 정화될 수 있도록 하였다. 2조의 토양필터를 제작하였으며, 한조는 하부로부터 소나무 목편, 그린탄소, 쇠석층을 충전하고

혼합토양(토양+Z균 Compost)을 피복하였으며, 다른 한조는 소나무목편, 그린 탄소, 쇠석층으로 충전하고, 혼합토양(토양+축분 Compost)을 피복하여 둘간의 (<그림 3-4-2-6>, <그림 3-4-2-7>참조)제거효율을 비교하였다..

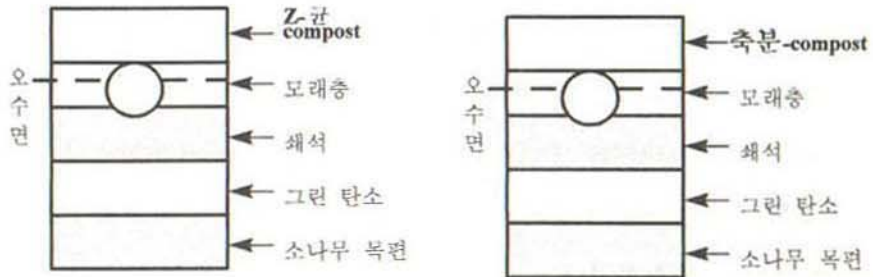


그림 3-4-2-6 모형 토양필터 단면도(lab scale)



그림 3-4-2-7 모형 토양필터 실상도(lab scale)

혼합토양(토양+Z균 Compost)을 피복하였으며, 다른 한조는 소나무목편, 그린 탄소, 쇄석층으로 충전하고, 혼합토양(토양+축분 Compost)을 피복하여 둘간의 (<그림 3-4-2-6>, <그림 3-4-2-7>참조)제거효율을 비교하였다..

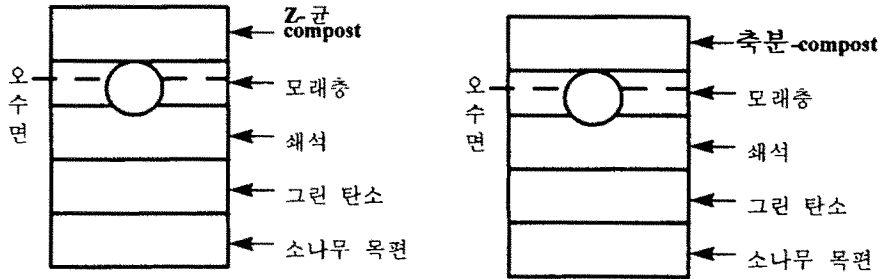


그림 3-4-2-6 모형 토양필터 단면도(lab scale)

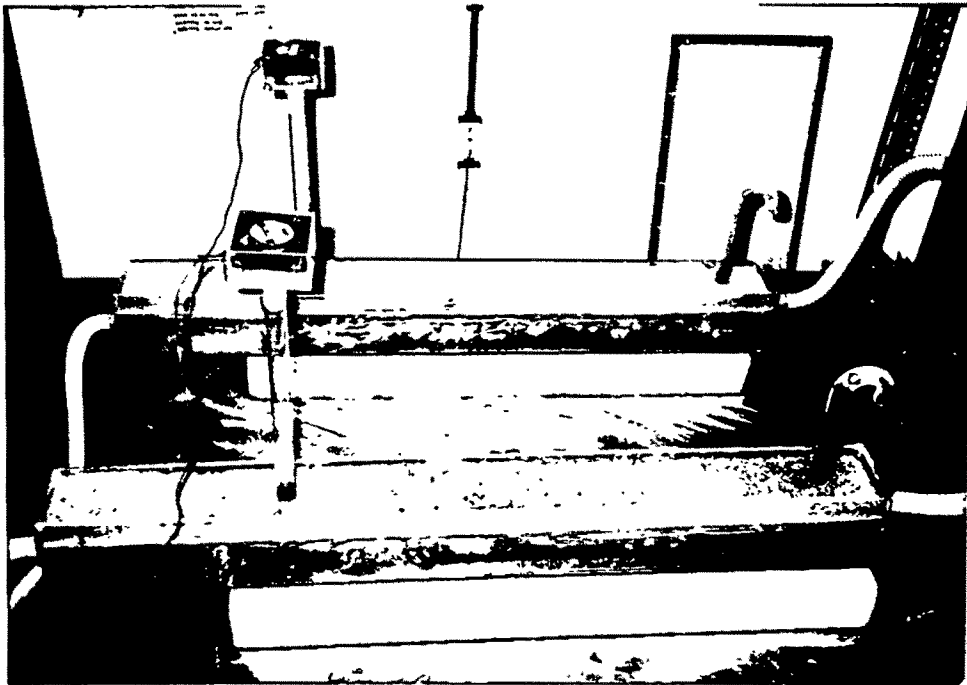


그림 3-4-2-7 모형 토양필터 실상도(lab scale)

### 다) Z균-Compost대체물질 실험장치

본 연구에 이용된 실험장치는 실제의 접촉산화조에 피복된 상황을 모델링하기 위해서 투명 아크릴수지(6cm)를 이용하여 제작하였다. 아크릴 원통으로 만든 주반용기의 크기는 지름이 35cm, 높이 45cm로서 유효용량은 폭기조 35ℓ였으며 하단에 폭기를 위한 에어스톤(Air stone)을 설치하고 전기기포발생기와 연결하여 공기를 공급하였다. 그리고 상부의 피복토양은 Z-균 콤포스트와 축분-콤포스트를 토양과 용적비 1 : 1로 혼합하여 합성토양을 만든 후 동일한 두께로 피복하였다.

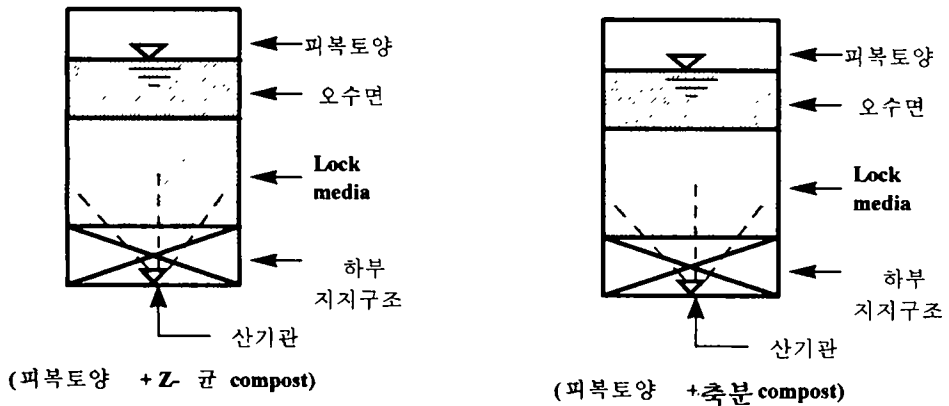


그림 3-4-2-8 Z균-Compost 대체물질 실험장치 단면도(lab scale)



그림 3-4-2-9 Z균-Compost 대체물질 실험장치 실상도(lab scale)

## 2) 현장실험

본 실험에 이용된 토양식오수 정화시스템의 전공정은 크게 유입조, 처리시스템, 토양필터, 토양트렌치 등으로 나눌 수 있다. 유입조는 생활오수를 저류하거나 생활오수와 돈슬러리를 혼합하여 합성오수를 만들어 처리시스템으로 투입하는 역할을 하며, 처리시스템은 토양피복형 접촉산화시스템으로 배출된 방류수는 토양필터와 토양트렌치를 거친다.

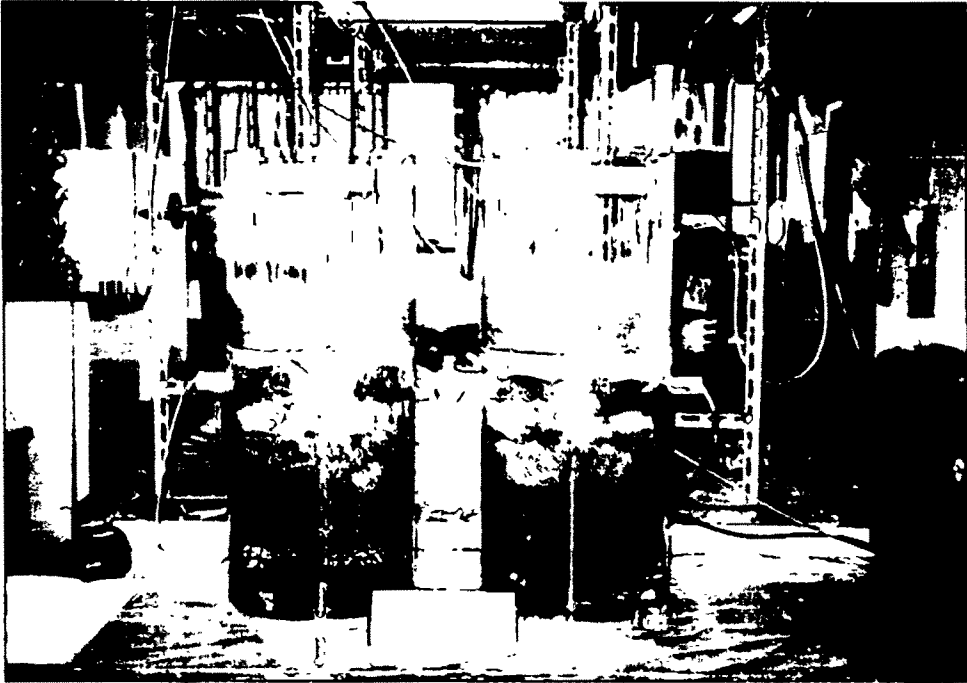


그림 3-4-2-9 Z균-Compost 대체물질 실험장치 실상도(lab scale)

## 2) 현장실험

본 실험에 이용된 토양식오수 정화시스템의 전공정은 크게 유입조, 처리 시스템, 토양필터, 토양트렌치 등으로 나눌 수 있다. 유입조는 생활오수를 저류하거나 생활오수와 돈슬러리를 혼합하여 합성오수를 만들어 처리시스템으로 투입하는 역할을 하며, 처리시스템은 토양피복형 접촉산화시스템으로 배출된 방류수는 토양필터와 토양트렌치를 거친다.



## 가) 토양피복형 접촉산화시스템 실험장치

토양피복형 접촉산화시스템의 실험장치는 최초침전조, 제1폭기조, 제2폭기조, 최종침전조로 구성되어 있다(<그림 3-4-2-10>참조). 제1폭기조와 제2폭기조에서 오수중의 유기오염물질을 영양원으로 하여 성장한 미생물은 침전조에서 Floc을 형성하면서 침전하게 되고, 처리된 오수는 최종침전조에서 상등액만 분리되어 접촉산화시스템 외부로 방출되게 된다. 본 시스템에 이용된 폭기조의 공기공급량은  $46 \text{ l/min}$ ,  $0.13 \text{ kgf/cm}^2$  의 SPP-40GJ-L 송풍기를 이용하였으며, 제 1, 2폭기조와 침전조에서 각각 분리되어 공급된다. 또한 자동유량공급장치를 부착하여 임의로 폭기량을 조절할 수 있게 하였으며, 酸氣管은 Sam Hwan Ball Diffser SH100LS를 이용하여 오수의 역류를 방지하였다.

본 접촉산화시스템의 폭기조에 충전된 접촉여재는 kureharon lock 과 plastic media를 용적비 1:1로 혼합하여 상자에 넣은 상자형 LP혼합여재를 60% 정도로 충전하였으며(<그림 3-4-2-12>참조), 각 침전조에도 토양피복시 하중을 고려하며, 침전되지 않은 부유물을 여과하기 위해 상자형 LP혼합여재를 10%정도 충전하였다. 또한 접촉산화시스템의 유효용량은 폭기조 2조 모두 각각  $1.2 \text{ m}^3$ , 침전조 2조 모두 각각  $1 \text{ m}^3$ 로 제작하였으며(<그림 3-4-2-10>,<그림 3-4-2-11>참조), 유입오수는 생활오수와 돈슬러리를 시료혼합조에서 적정하게 혼합하여 만든 합성오수를 유량조정조에서 유량을  $700 \text{ l/min}$ 으로 일정하게 최초침전조로 유입되게 한다. 유입오수는 실험기간 동안 매일 유입되며, Sampling Site 1에서는 매일 채취되고, Sampling Site 2와 3에서 3일에 1회씩 채취된다. 현장실험 장치의 공정 흐름도는 다음<그림 3-4-2-10>과 같다.

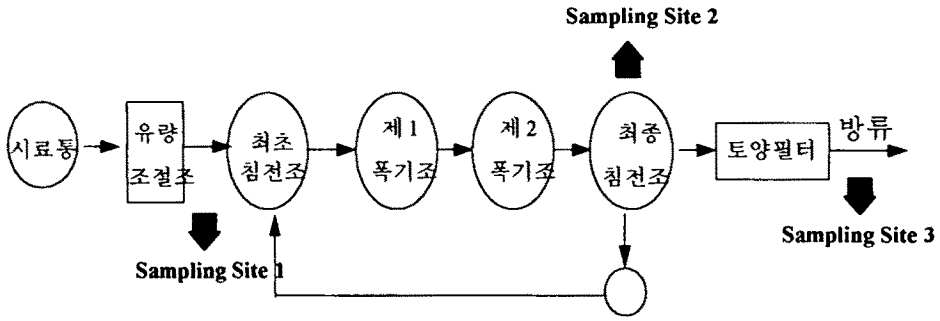


그림 3-4-2-10 접촉산화처리시스템의 공정흐름도(field scale)

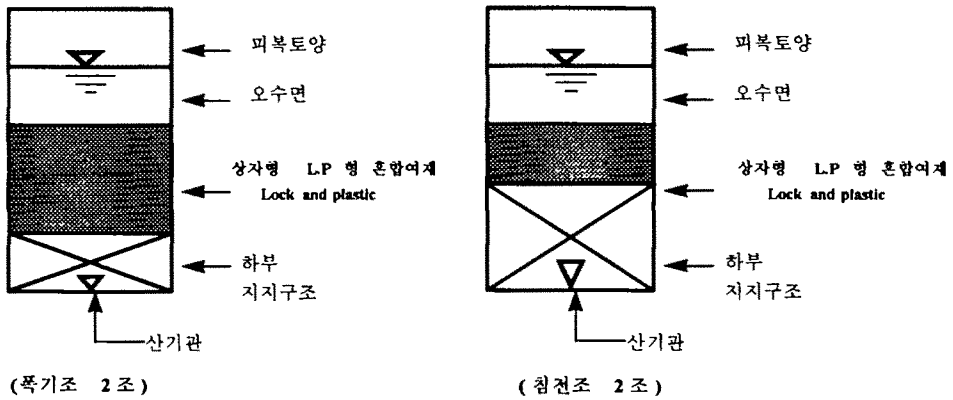


그림 3-4-2-11 상자형 LP혼합여재충진 단면도(field scale)



그림 3-4-2-12 상자형 LP혼합여재층진 실상도(field scale)

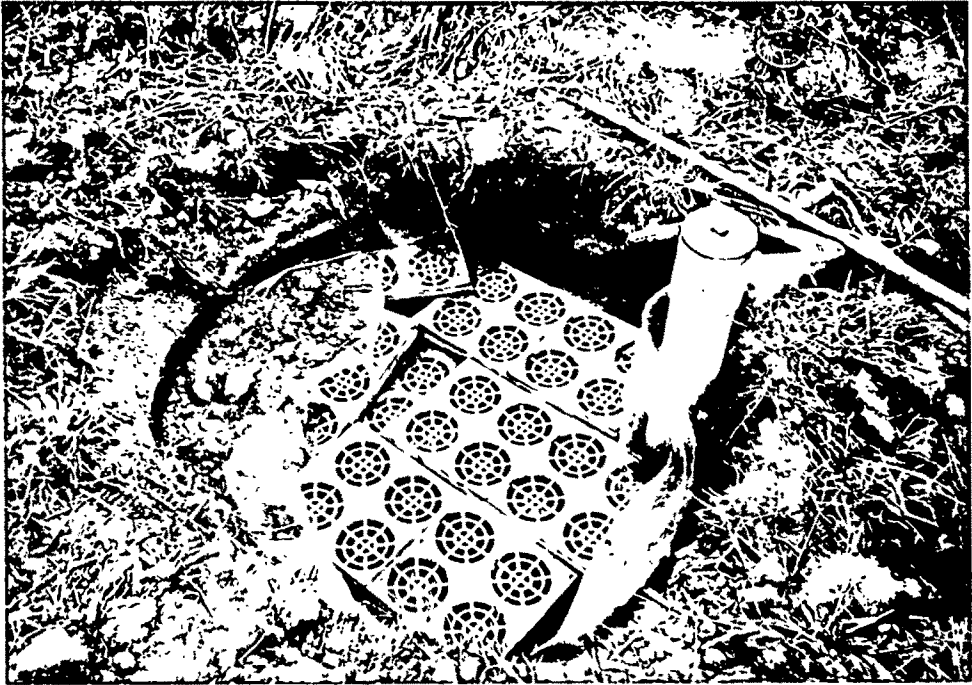


그림 3-4-2-12 상자형 LP혼합여재충진 실상도(field scale)



그림 3-4-2-13 토양피복전(상)과 후(하)의 집축산화시스템(field scale)

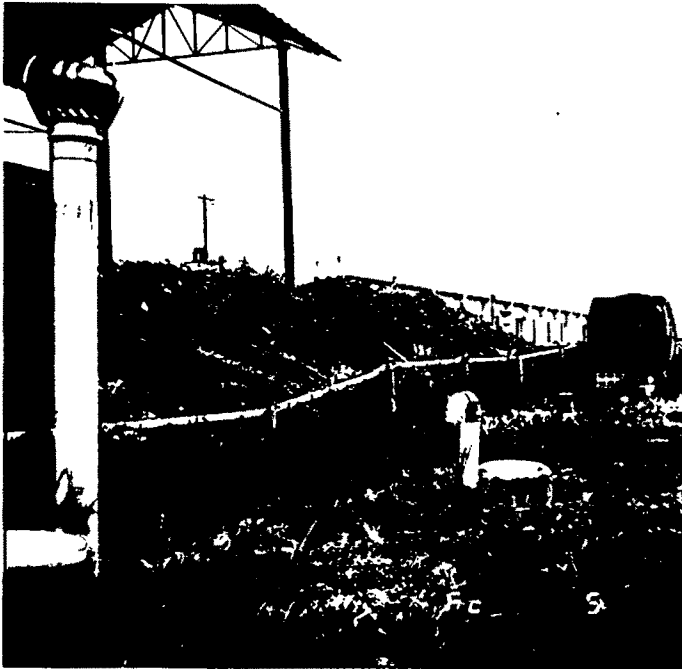


그림 3-4-2-13 토양피복전(상)과 후(하)의 접촉산화시스템(field scale)

## 나) 토양식 필터시스템

본 실험에서는 주공정시스템 즉 토양피복형 접촉산화시스템을 거친 오수를 5m의 토양식필터로 유입시킨다. 실험장치는 크게 반응조, 유공형 오수 분배관과 최종 침전조로 구성되어 있다. 유공형의 오수분배관의 상하단에 공기 흡입구와 배출구를 만들어 호기성 미생물의 성장을 촉진하도록 하였다. 토양식 필터에 유입된 오수는 일정한 경사도(5/100)를 가지는 유공오수분배관을 지나면서 반응조 안으로 유입되고 반응조 내부의 접촉재와 접촉하면서 토양미생물을 증식시켜 오수내의 유기물질을 미생물 성장원으로 이용하여 오수를 정화시키는 생물막공법을 이용하였다. 기존 토양식필터의 1차 개선은 반응조내 충전층을 필터하부로부터 소나무 목편, 그린탄소, 쇠석층을 충전한 것이며, 2차 개선은 조립모래, 쇠석, kureharon lock층으로 충전하여 토양필터 개선 실험을 수행하였다. (<그림 3-4-2-14,15,16,17,18>참조)



그림 3-4-2-14 시공중인 토양필터시스템(field scale)

## 나) 토양식 필터시스템

본 실험에서는 주공정시스템 즉 토양피복형 접촉산화시스템을 거친 오수를 5m의 토양식필터로 유입시킨다. 실험장치는 크게 반응조, 유공형 오수 분배관과 최종 침전조로 구성되어 있다. 유공형의 오수분배관의 상하단에 공기 흡입구와 배출구를 만들어 호기성 미생물의 성장을 촉진하도록 하였다. 토양식 필터에 유입된 오수는 일정한 경사도(5/100)를 가지는 유공오수분배관을 지나면서 반응조 안으로 유입되고 반응조 내부의 접촉재와 접촉하면서 토양미생물을 증식시켜 오수내의 유기물질을 미생물 성장원으로 이용하여 오수를 정화시키는 생물막공법을 이용하였다. 기존 토양식필터의 1차 개선은 반응조내 충전층을 필터하부로부터 소나무 목편, 그린탄소, 쇠석층을 충전한 것이며, 2차 개선은 조립모래, 쇠석, kureharon lock층으로 충전하여 토양필터 개선 실험을 수행하였다. (<그림 3-4-2-14,15,16,17,18>참조)



그림 3-4-2-14 시공중인 토양필터시스템(field scale)





그림 3-4-2-15 토양필터의 유공 오수분배관 실상도(field scale)

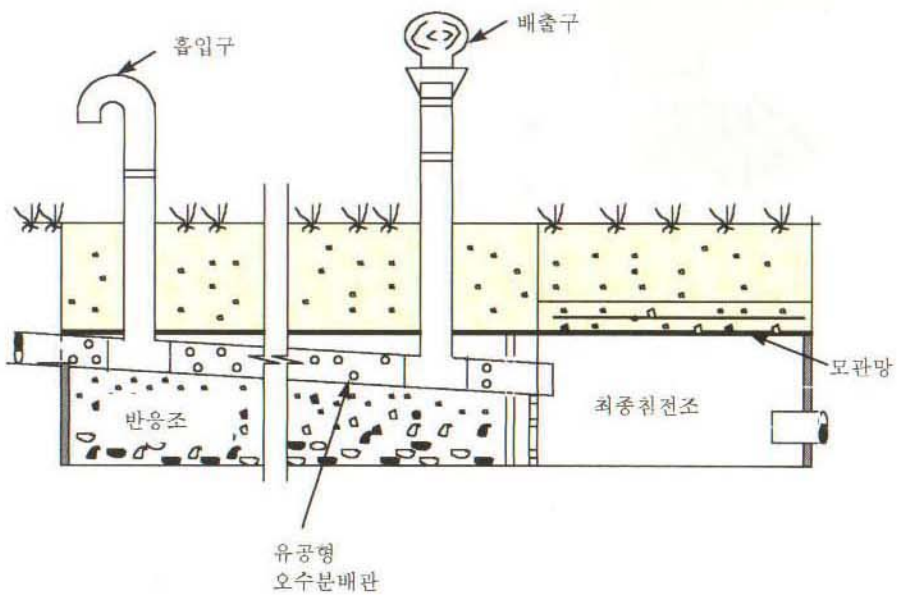


그림 3-4-2-16 토양필터 설계 단면도(field scale)



그림 3-4-2-15 토양필터의 유공 오수분배관 실상도(field scale)

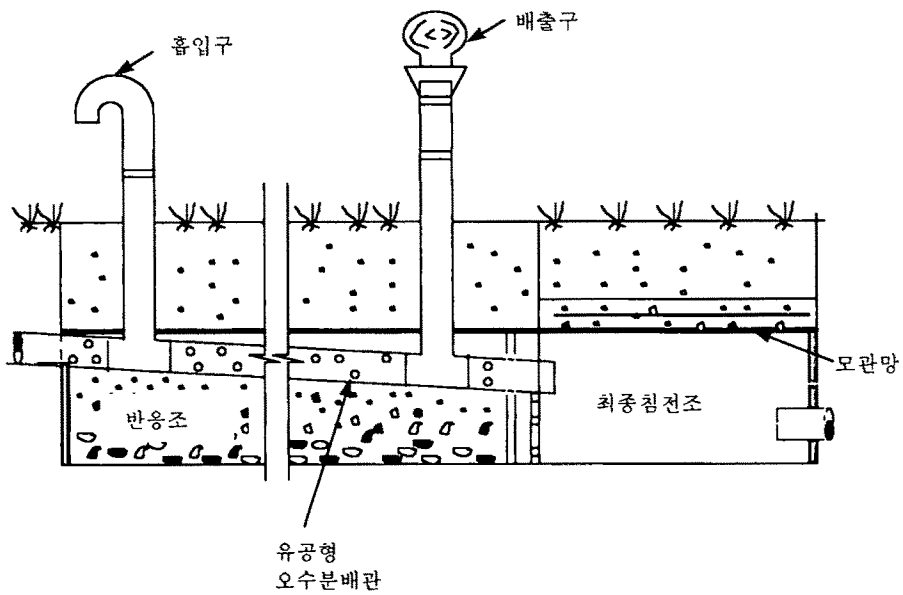


그림 3-4-2-16 토양필터 설계 단면도(field scale)

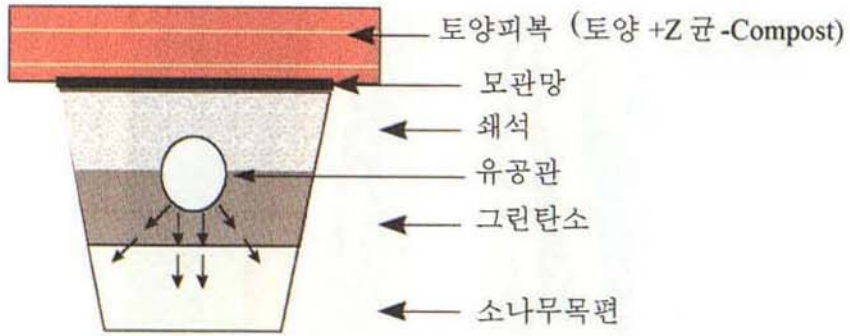


그림 3-4-2-17 1차 개선 토양필터의 여재충진 단면도(field scale)

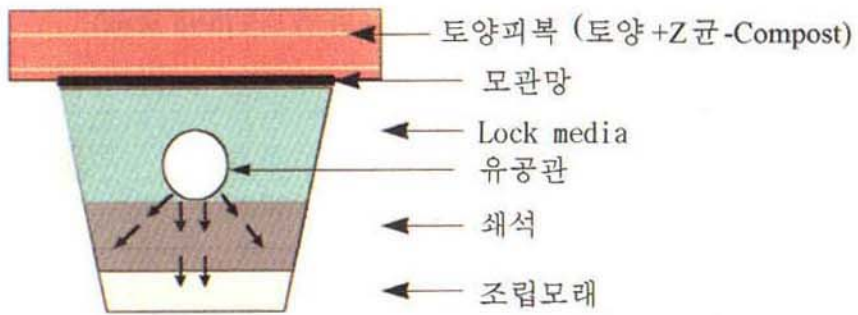


그림 3-4-2-18 2차 개선 토양필터 여재충진 단면도(field scale)

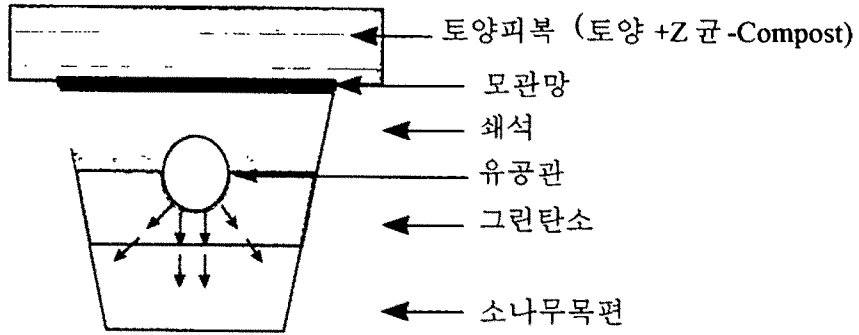


그림 3-4-2-17 1차 개선 토양필터의 여재충진 단면도(field scale)

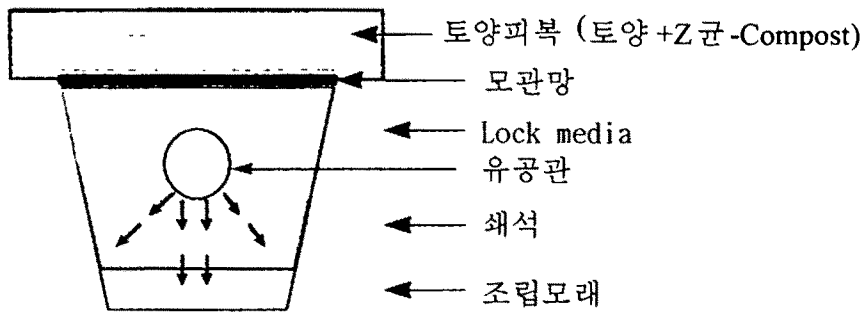


그림 3-4-2-18 2차 개선 토양필터 여재충진 단면도(field scale)

## 다. 실험방법

### 1) 실내 모형실험

#### 가) 여제선정의 효율검증 실험

실험1, 2, 3, 4는 접촉산화조의 접촉여재를 플라스틱상자속에 넣어 충전하고, 유기물 부하량을 0.15, 0.2kg/m<sup>3</sup>/일에 따른 폭기량을 8.64, 14.4m<sup>3</sup>/일 달리하여 실험이 수행되었으며, 이를 대조구로 한 실험5, 6, 7, 8은 동일한 접촉여재를 가로,세로 10cm로 잘라서 같은 양으로 충전하여 유기물부하량 및 폭기량을 동일하게 하여 실험을 수행하였다. 처리효율을 검증하기 위한 시료채취구는 <그림 3-4-2-1>에서와 같이 2구를 정하여 4일간씩 3반복으로 채취하였다.

#### 나) 1차 개선 토양필터 효율검증실험

2조의 토양필터를 제작하였으며, 한조는 하부로부터 소나무 목편, 그린탄소, 쇠석층을 충전하고 혼합토양(토양+Z균-Compost)을 피복하였으며, 다른 한조는 소나무목편, 그린탄소, 쇠석층으로 충전하고, 혼합토양 (토양+축분-Compost)을 피복하였다. 유입수는 주처리공정인 접촉산화조의 처리수를 유입시켜 접촉산화조와 효율을 비교하기 위해 시료채취구를 <그림 3-4-2-1>에서와 같이 3구를 정하여 4일간씩 3반복으로 시료를 채취하였다.

#### 다) Z균-Compost 대체물질 가능성 실험

아크릴 원통으로 만든 2개의 반응조에 각각 kureharon lock 여재를 70%충

진하여 생활오수와 돈슬러리를 혼합한 합성오수를 채우고 상부에 20cm의 두께로 토양을 피복하였다. 상부에 피복된 토양은 Z균-Compost 혼합토양을 대조구로 하여 축분-Compost 혼합토양을 각각 반응조에 피복하였다. 또한 폭기량을 14.4m<sup>3</sup>/일로 하여 두반응조에 각각 분리되어 공급되었다. 미생물 서식밀도를 위한 시료채취는 3일간씩 4반복으로 시료를 채취하였다.

## 2) 현장실험

1차년도에 pilot규모 실험을 위하여 설치된 토양피복형 접촉산화시스템의 공정순서를 바꾸어 여과조를 침전조로 수정보완하였으며, 폭기조에 충전된 조개껍질을 상자형 LP혼합여재로 대체하여 충전하였다. 각 반응조의 용적은 폭기조 2조 각각 1.2m<sup>3</sup>, 침전조 2조 각각 1m<sup>3</sup>로 설치하였으며, 전실험기간 동안 유기물 부하량을 0.08~0.2kg/m<sup>3</sup>/일로 다양하게 변화를 주어 부하량 변화에 따른 처리효율을 검정하고자 하였다. 폭기량은 46 l/min으로 하여 폭기조 2조와 반송을 위한 최종 침전조에 분리하여 공급하였다. 전실험기간 동안의 용존산소는 1mg/l ~5mg/l의 변화를 보였다. 또한 현장에 설치된 토양 필터시스템의 충전재인 쇄석, 그린탄소, 소나무목편층으로 충전한 1차 개선 토양필터와 kureharon lock, 쇄석, 잔자갈층으로 충전한 2차 개선 토양필터의 제거효율을 비교분석하였다. 유입수는 주처리공정인 접촉산화조의 처리수를 유입시켜 접촉산화조와 효율을 비교하기 위해 시료채취구를 <그림 3-4-2-10>에서와 같이 3구를 정하여 3일간씩 5반복으로 채취하였다.

## 3) 실험대상 오수의 성상

소규모 농어촌 마을의 오폐수는 일상생활에서 발생하는 생활오수와 소규모로 가축을 사육하는 재래식 축사내에서 배출되는 가축분뇨오수로 나눌 수

있다. 실험에 이용된 오수는 최대한 실제 환경과 같게 하여 실험을 수행하기 위해서 자연오수를 선정하고, 가축분뇨오수로는 돈슬러리를 사용하였다. 유입 오수는 생활오수와 돈슬러리를 혼합하여 BOD<sub>5</sub> 150~300 mg/ℓ로 유입하고, 생활오수의 채취는 서울대학교 농생대 정문앞에 위치한 서호천으로 유입되는 하수도구에서 채취하였으며, 가축분뇨오수중 돈슬러리는 서울대학교 부속 실험목장내 돈사의 후면에 위치한 저류조로부터 상등액을 채취하여 적절하게 희석하여 실험에 이용하였다. 실험에 이용된 가축분뇨수는 분성분과 뇨성분, 청소수 및 잔류음용수와 강우시 유입우수로 혼합되어 있다. 실험대상 오수의 수질 분석결과는 <표 3-4-2-4>와 같다. 실험에 이용된 시료는 <그림 3-4-2-19>와 <그림 3-4-2-20>의 장소에서 채취되었다.

표 3-4-2-4 실험대상 오수의 수질분석

구분	생활오수 (mg/ℓ)	돈슬러리 (mg/ℓ)	생활오수+돈슬러리 (mg/ℓ)
pH	7.25	8.15	7.3
BOD <sub>5</sub>	100	10,500	210
COD <sub>Cr</sub>	550	32,000	4,100
SS	50	2,400	145
T-N	30	2,200	60
T-P	11	234	25

농촌지역에서 발생하는 오수에는 생활오수와 가축으로부터 발생하는 분뇨수 그리고 논·밭 등의 비점오염원으로부터 자연적으로 발생하는 영양염류 등이 포함되게 된다. 이중 특히 생활오수의 경우 방류시점 뿐만 아니라 주거 형태, 영농방법 등에 따라, 또한 돈사에서 발생하는 돈슬러리도 양돈형태 및 수거방식에 따라 오염물질의 양과 질의 다양한 성상을 가지고 있다.

유입되는 혼합오수를 분석한 결과, pH는 평균 7.3의 범위로 나타났으며, 유기물의 경우  $COD_{Cr}$ 농도는 평균 4,100mg/ℓ의 범위였으며,  $BOD_5$  농도는 평균 210mg/ℓ의 범위였다. 부유물의 농도는 침전 및 여과, 회석을 통하여 제거하였으므로 유기물의 농도에 비하여 비교적 낮은 농도인 145mg/ℓ로 나타났다. T-N 농도는 평균 60mg/ℓ의 범위였으며, T-P의 농도는 평균 25mg/ℓ의 범위로 나타났다.



그림3-4-2-19 시료채취 하수토구(서호천)



유입되는 혼합오수를 분석한 결과, pH는 평균 7.3의 범위로 나타났으며, 유기물의 경우  $COD_{cr}$ 농도는 평균  $4,100mg/l$ 의 범위였으며,  $BOD_5$  농도는 평균  $210mg/l$ 의 범위였다. 부유물의 농도는 침전 및 여과, 희석을 통하여 제거하였으므로 유기물의 농도에 비하여 비교적 낮은 농도인  $145mg/l$ 로 나타났다. T-N 농도는 평균  $60mg/l$ 의 범위였으며, T-P의 농도는 평균  $25mg/l$ 의 범위로 나타났다.



그림3-4-2-19 시료채취 하수토구(서호천)



그림 3-4-2-20 시료채취 대상 돈슬러리 저류조

#### 4) 오수의 유입

실험장치내 오수의 유입은 1일 1회 시료를 서호천으로 유입되는 하수토구로부터 채취한 후 1차로 침전시킨 돈슬러리를 적정부하량에 맞게 회석(10~15%)하여 정량펌프(Model Eyela SMP-23)를 사용하여 유량을 조정하면서 실시하였으며, 과다유입시 발생할 수 있는 충격부하를 줄이기 위하여 자동 timer를 이용해서 연속적인 유입을 수행하였으며, 현장실험에서는 유량조정조를 통하여 일정량(700 l/min)을 유입시켰다. 반응조의 온도는 실내온도와 실외온도를 그대로 적용하였으며 오수의 유입상태 및 여재의 미생물막 형성을 지속적으로 관찰하였다.



그림 3-4-2-20 시료채취 대상 돈슬러리 저류조

#### 4) 오수의 유입

실험장치내 오수의 유입은 1일 1회 시료를 서호천으로 유입되는 하수토구로부터 채취한 후 1차로 침전시킨 돈슬러리를 적정부하량에 맞게 희석(10~15%)하여 정량펌프(Model Eyela SMP-23)를 사용하여 유량을 조정하면서 실시하였으며, 과다유입시 발생할 수 있는 충격부하를 줄이기 위하여 자동 timer를 이용해서 연속적인 유입을 수행하였으며, 현장실험에서는 유량조정조를 통하여 일정량(700 l/min)을 유입시켰다. 반응조의 온도는 실내온도와 실외온도를 그대로 적용하였으며 오수의 유입상태 및 여재의 미생물막 형성을 지속적으로 관찰하였다.

## 5) 예비운전

실내실험은 실험 시작전 반응조내에 존재하는 협잡물의 제거와 초기 미생물의 안정화를 위해서 수돗물을 이용하여 3일간 관류한 후 식중종균을 폭기조내에 투입하였다. 식중종균은 수원시 오목천동 축산기술연구소 활성오니 시스템의 폭기조에서 1997년 5월 25일 채취한 활성오니로서 폭기조당 6ℓ를 투입하였다. 식중오니의 MLSS는 3,800mg/ℓ, MLVSS는 2,600mg/ℓ이었다.

현장실험은 실험시작전 반응조내 유입된 이물질 제거를 위해 수돗물을 이용하여 3일간 관류한 후, 생활하수와 돈슬러리를 회석하여 BOD 90~100mg/ℓ 하여 700ℓ/min로 3일 동안 유입시키고, 접촉산화조의 유출수를 매일 채취하여 분석하였다. 예비실험 결과는 <표 3-4-2-5>와 같다.

표 3-4-2-5 현장 접촉산화조 예비실험 결과(단위:mg/ℓ)

구 분	BOD <sub>5</sub>			COD <sub>Cr</sub>			SS		
평균유입수	95			800			85		
농도	Day1	Day2	Day3	Day1	Day2	Day3	Day1	Day2	Day3
유출수농도	2	3	12	10	12	60	-	1	6

예비실험 결과로 보면, 유입 1, 2일에서는 BOD<sub>5</sub>농도가 2, 3mg/ℓ에서 유입 3일째는 12mg/ℓ로 높아진 것은 유입 3일째에 접촉산화조에서 처리된 유출수가 배출되는 것으로 판단된다. 따라서 본 실험장치의 유입유량에 따른 유기물 체류시간은 2~3일로 판단하였으며, 시료채취시간을 이에 맞추어 분석하였다.

## 6) 분석방법

유입원수의 시료채취 및 DO, pH, 온도측정은 매일 되었으며, 모든 분석방법은 특별한 경우를 제외하고는 Standard Method에 따라 실시하였다. <표 3-4-2-6>은 각 항목별 분석방법을 나타내고 있다.

표 3-4-2-6 시료분석항목 및 실험방법

분석항목	분석방법	분석방법 및 기구
BOD <sub>5</sub>	Standard Dilution Method	BOD Incubator HK-BIO25
COD	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> Closed Reflux	Smart Colourimetric device
SS	Standard Method	Whatmann GF/C filter
T-N	Kjeldahl분해법	Kjeltec System 1035/1038
T-P	Ascorbic acid환원 흡광광도법	Spectrophotometer HITACHI 1001
pH		pH Meter(Model : ANALAB 88ATC)
DO		DO Meter(Model : KRK-DO2F)
Temp.		DO Meter(Model : KRK-DO2F)

### 3. 토양피복형 접촉산화공법 개선실험의 결과 및 고찰

#### 가. 실내모형실험

본 연구에서는 토양피복형 접촉산화시스템의 오염부하량의 제거효율을 극대화하기 위해서 투입오수의 부하량과 이에 따른 적정 폭기량 결정, 고효율 여재의 선정, 접촉산화시스템의 공정별 효율검증 등을 위하여 가변이 가능한 실내 모형실험을 수행하였다. 또한 시스템에서 폭기조내 선정여재의 충전방법에 따른 접촉산화시스템의 효율을 분석하였으며, 토양필터에서의 오염물질 제거효율을 분석하고, 현재 피복토양 혼합재로 이용되고 있는 Z균-Compost의 경제성 문제 등을 해결하기 위한 대체 피복토양혼합재의 개발을 위한 실험도 수행하였다.

#### 1) 폭기량에 따른 시스템의 효율검정

폭기량의 결정을 위해서 앞 절의 실험설계와 같이 두 가지 실험군에 따라 각각 네 가지의 실험을 수행하였다. 따라서 실험1에서 실험4까지는 여재의 충전방법을 상자형으로 실험5에서 실험8까지는 침적형 여재를 충전한 후, 각각 다른 초기 유입오수의 BOD부하량과 폭기량을 변수로하여 실험하였다.

#### 가) 상자형 lock충진여재

rate \ loading		pollutant loading(kg/m <sup>3</sup> /일)	
		0.15	0.2
aeration rate (m <sup>3</sup> /일)	14.4	test 1	test3
	8.6	test 2	test4

(1) 실험 1

실험 1에서는 Lock여재를 상자안에 넣어 충전한 후, 초기유입오수의 유기물 부하량을 0.15kg/m<sup>3</sup>/일로 하고, 폭기량을 14.4m<sup>3</sup>/일로 하여 약 12일간을 운전한 결과 <표 3-4-3-1>와 <그림 3-4-3-1>과 같이 처리수의 오염부하량의 변화를 보였다.

표 3-4-3-1 실험 1의 오염부하량변화 및 제거율

구분 항목	6/9~6/12			6/13~6/16			6/17~6/20		
	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)
BOD <sub>5</sub>	234	10.5	96	206	7.5	96	195	7	96
COD <sub>Cr</sub>	951	80	92	937	180	80	870	94	89
SS	86	4	95	86	2	98	67	2	97
T-N	50	37	26	51	27	47	58	29	50
T-P	13	10.5	19	20	15	25	20	16	19

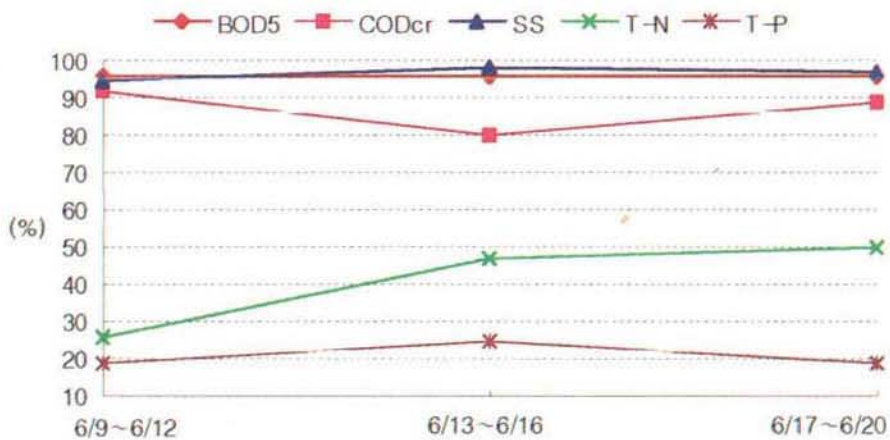


그림 3-4-3-1 실험1의 경시별 오염물질 제거율

(1) 실험 1

실험 1에서는 Lock여재를 상자안에 넣어 충전한 후, 초기유입오수의 유기물 부하량을 0.15kg/m<sup>3</sup>/일로 하고, 폭기량을 14.4m<sup>3</sup>/일로 하여 약 12일간을 운전한 결과 <표 3-4-3-1>와 <그림 3-4-3-1>과 같이 처리수의 오염부하량의 변화를 보였다.

표 3-4-3-1 실험 1의 오염부하량변화 및 제거율

구분 항목	6/9~6/12			6/13~6/16			6/17~6/20		
	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)
BOD <sub>5</sub>	234	10.5	96	206	7.5	96	195	7	96
COD <sub>Cr</sub>	951	80	92	937	180	80	870	94	89
SS	86	4	95	86	2	98	67	2	97
T-N	50	37	26	51	27	47	58	29	50
T-P	13	10.5	19	20	15	25	20	16	19

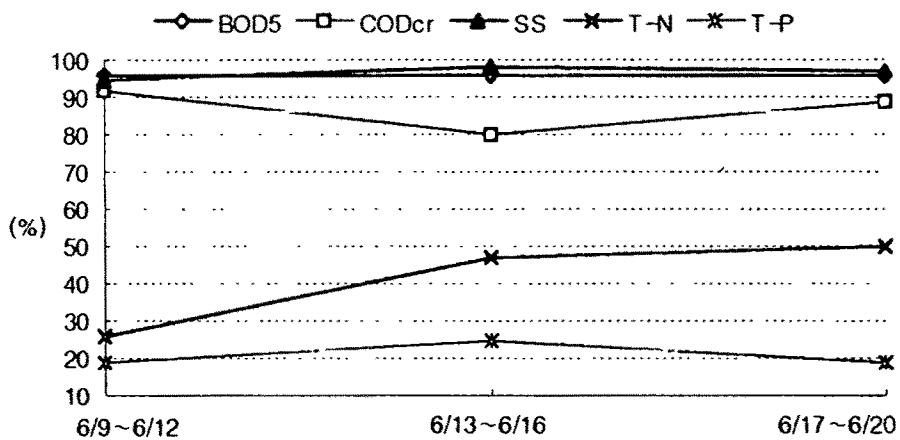


그림 3-4-3-1 실험1의 경시별 오염물질 제거율



BOD<sub>5</sub>의 경우 96%의 제거율을 보였으며, COD<sub>Cr</sub> 약 86%, SS는 97%, T-N은 약 40%, T-P는 약 20%의 제거율을 나타내었다. 여기에서 BOD<sub>5</sub>, SS의 제거율은 비교적 양호하지만 최근 규제가 강화되고 있는 T-N, T-P의 제거율이 매우 낮은 것을 알 수 있다. 따라서 T-N, T-P의 제거율을 높이기 위해서 유입오수의 부하량의 변화 또는 공기공급량의 변화와 같은 물리적인 조건의 변경 뿐만 아니라 생화학적 처리 등을 포함시키는 것을 고려해볼 만하다.

## (2) 실험 2

실험2에서는 여재를 상자형으로 충전한 후, 유입수의 유기물 부하량을 0.15kg/m<sup>3</sup>/일로 하고, 폭기량을 8.64m<sup>3</sup>/일로 하여 약 12일간을 운전한 결과 <표 3-4-3-2> 및 <그림 3-4-3-2>와 같은 처리수의 오염부하량의 변화를 얻었다. 실험 2에서는 실험 1과 같은 조건에서 폭기량의 차이에 따른 오염부하량의 변화를 관찰하였다.

표 3-4-3-2 실험 2의 오염부하량변화 및 제거율

구분 항목	6/21~6/24			6/25~6/28			6/29~7/2		
	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)
BOD <sub>5</sub>	122	4	97	138	5	96	165	4	97
COD <sub>Cr</sub>	658	76	88	580	55	91	595	69	88
SS	68	3	96	66	1	98	67	2	97
T-N	60	41	32	44	25	43	39	23	40
T-P	26	24	9	18	16	13	27	21	24

BOD<sub>5</sub>의 경우 97%의 제거율을 보였으며, COD<sub>Cr</sub>의 경우에는 약 89%, SS는 97%, T-N은 약 40%, T-P는 약 16%의 제거율을 나타내었다. 여기에서도

실험1과 마찬가지로 BOD<sub>5</sub>, SS의 제거율은 비교적 양호한 결과를 보였으며, COD<sub>Cr</sub>의 제거율이 실험 1에 비해 3%정도 높았으며, T-N, T-P의 경우에는 제거율이 실험1과 같이 매우 낮았으며, T-P의 경우에는 4% 정도 감소하였다. 실험 1과 비교해보면 큰 차이는 없었다. 그러므로 폭기량의 변화는 오염부하량의 제거에 큰 영향을 미치지 못함을 보여주고 있지만, 유입오수의 오염부하가 비교적 낮기 때문일 수도 있으며, 실제 적정 공기공급량은 실험시보다 낮을 수도 있음을 유의할 필요가 있다. 향후 실험에는 오염부하량, 처리량, 폭기량 등을 고려한 수식을 유도할 필요가 있다.

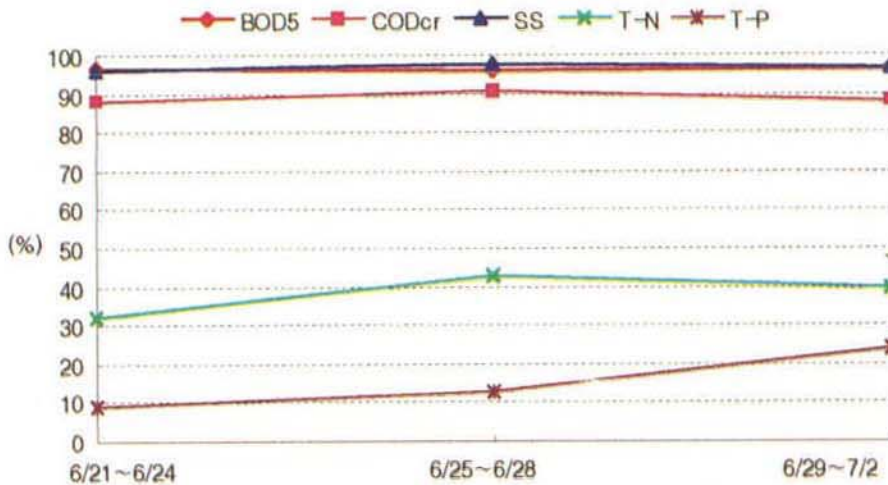


그림 3-4-3-2 실험2의 경시별 오염물질 제거율

### (3) 실험 3

실험3은 여재를 상자형으로 충전한 후 초기 유입오수의 유기물 부하량을  $0.20\text{kg}/\text{m}^3/\text{일}$ 로 하고, 폭기량을  $14.4\text{m}^3/\text{일}$ 로 하여 실험 1, 2와 같이 약 12일간을 운전한 결과 <표 3-4-3-3> 및 <그림 3-4-3-3>과 같이 처리수의 오염부하량의 변화 및 제거효율을 보였다.

BOD<sub>5</sub>의 경우 98%의 제거효율을 보였으며, COD<sub>Cr</sub>의 경우에는 약 90%,

실험1과 마찬가지로 BOD<sub>5</sub>, SS의 제거율은 비교적 양호한 결과를 보였으며, COD<sub>Cr</sub>의 제거율이 실험 1에 비해 3%정도 높았으며, T-N, T-P의 경우에는 제거율이 실험1과 같이 매우 낮았으며, T-P의 경우에는 4% 정도 감소하였다. 실험 1과 비교해보면 큰 차이는 없었다. 그러므로 폭기량의 변화는 오염부하량의 제거에 큰 영향을 미치지 못함을 보여주고 있지만, 유입오수의 오염부하가 비교적 낮기 때문일 수도 있으며, 실제 적정 공기공급량은 실험시보다 낮을 수도 있음을 유의할 필요가 있다. 향후 실험에는 오염부하량, 처리량, 폭기량 등을 고려한 수식을 유도할 필요가 있다.

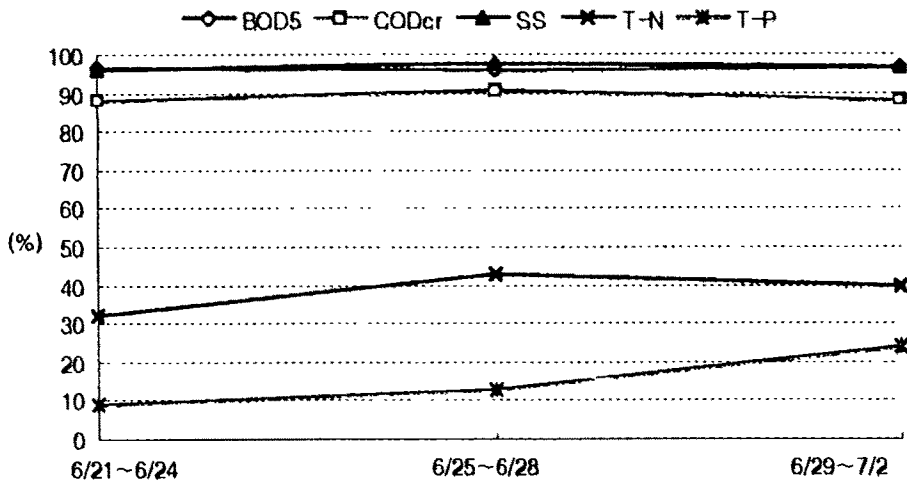


그림 3-4-3-2 실험2의 경시별 오염물질 제거율

### (3) 실험 3

실험3은 여재를 상자형으로 충전한 후 초기 유입오수의 유기물 부하량을 0.20kg/m<sup>3</sup>/일로 하고, 폭기량을 14.4m<sup>3</sup>/일로 하여 실험 1, 2와 같이 약 12일간을 운전한 결과 <표 3-4-3-3> 및 <그림 3-4-3-3>과 같이 처리수의 오염부하량의 변화 및 제거효율을 보였다.

BOD<sub>5</sub>의 경우 98%의 제거효율을 보였으며, COD<sub>Cr</sub>의 경우에는 약 90%,

SS는 97%, T-N은 약 44%, T-P는 약 22%의 제거효율을 나타내었다. 실험 1, 2에서와 마찬가지로 BOD<sub>5</sub>, COD<sub>cr</sub>, SS의 제거율은 90%이상을 나타냈으며, T-N, T-P의 경우에는 실험 1, 2에 비해서 약간 높게 나타났지만, 효율의 상승으로 보기에는 미흡하지만 COD<sub>cr</sub>, T-N의 제거율은 실험1에 비해서 높게 나타난 것을 알 수 있다. 이는 유입오수의 부하량과 폭기량과의 관계에서 실험 1에 비해서 적정함을 뜻하며, 따라서 적정수준의 폭기량 결정을 위해서 이론적인 검증이 필요할 것으로 판단된다.

표 3-4-3-3 실험 3의 오염부하량 변화 및 제거율

구분 항목	7/3~7/6			7/7~7/10			7/11~7/14		
	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)
BOD <sub>5</sub>	183	3	98	174	2	99	190	4	98
COD <sub>cr</sub>	850	86	90	726	54	93	779	122	84
SS	82	3	96	72	2	97	81	2	98
T-N	52	28	46	45	24	46	34	20	41
T-P	6	5	17	8	6	25	11	8.3	25

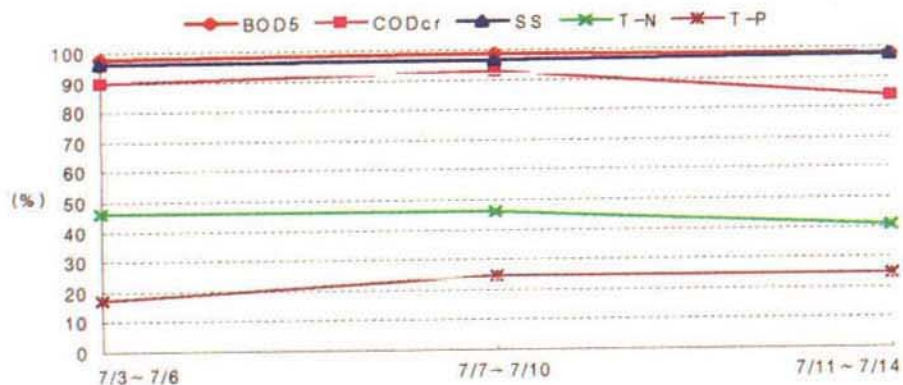


그림 3-4-3-3 실험3의 경시별 오염물질 제거율

SS는 97%, T-N은 약 44%, T-P는 약 22%의 제거효율을 나타내었다. 실험 1, 2에서와 마찬가지로 BOD<sub>5</sub>, COD<sub>cr</sub>, SS의 제거율은 90%이상을 나타냈으며, T-N, T-P의 경우에는 실험 1, 2에 비해서 약간 높게 나타났지만, 효율의 상승으로 보기에는 미흡하지만 COD<sub>cr</sub>, T-N의 제거율은 실험1에 비해서 높게 나타난 것을 알 수 있다. 이는 유입오수의 부하량과 폭기량과의 관계에서 실험 1에 비해서 적정함을 뜻하며, 따라서 적정수준의 폭기량 결정을 위해서 이론적인 검증이 필요할 것으로 판단된다.

표 3-4-3-3 실험 3의 오염부하량 변화 및 제거율

구분 항목	7/3~7/6			7/7~7/10			7/11~7/14		
	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)
BOD <sub>5</sub>	183	3	98	174	2	99	190	4	98
COD <sub>cr</sub>	850	86	90	726	54	93	779	122	84
SS	82	3	96	72	2	97	81	2	98
T-N	52	28	46	45	24	46	34	20	41
T-P	6	5	17	8	6	25	11	8.3	25

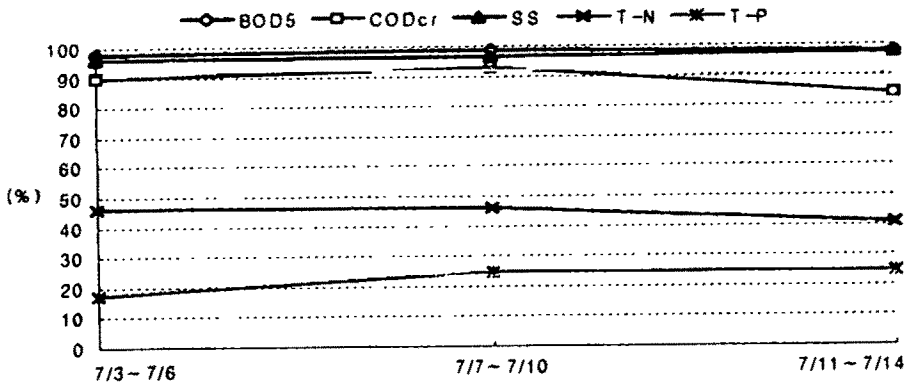


그림 3-4-3-3 실험3의 경시별 오염물질 제거율

#### (4) 실험 4

실험4는 여재를 상자형으로 충전한 후, 초기 유입오수의 유기물 부하량을  $0.20\text{kg}/\text{m}^3/\text{일}$ 로 하고, 폭기량을  $8.64\text{m}^3/\text{일}$ 로 하여 실험 1, 2, 3과 같이 약 12일간을 운전한 결과 <표 3-4-3-4> 및 <그림 3-4-3-4>과 같이 처리수의 오염 부하량의 변화 및 제거율을 보였다.

표 3-4-3-4 실험 4의 오염부하량변화 및 제거율

구분 항목	7/15~7/18			7/19~7/22			7/23~7/26		
	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)
BOD <sub>5</sub>	193	5	97	183	4	98	171	19	88
COD <sub>Cr</sub>	829	95	89	804	109	86	710	132	81
SS	86	3	97	82	3	96	74	6	91
T-N	33	20	39	38	26	32	35	27	23
T-P	11	9.4	16	9	7.2	20	9.4	7.6	19

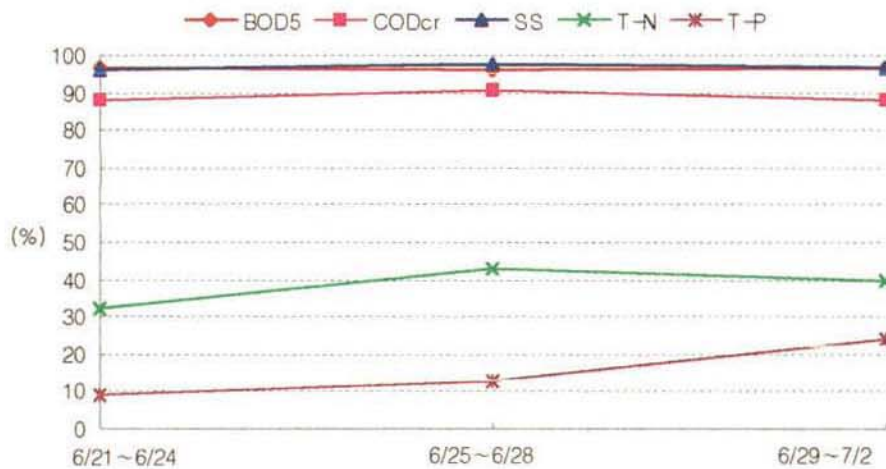


그림 3-4-3-4 실험4의 오염부하량 제거율

#### (4) 실험 4

실험4는 여재를 상자형으로 충전한 후, 초기 유입오수의 유기물 부하량을  $0.20\text{kg}/\text{m}^3/\text{일}$ 로 하고, 폭기량을  $8.64\text{m}^3/\text{일}$ 로 하여 실험 1, 2, 3과 같이 약 12일간을 운전한 결과 <표 3-4-3-4> 및 <그림 3-4-3-4>과 같이 처리수의 오염 부하량의 변화 및 제거율을 보였다.

표 3-4-3-4 실험 4의 오염부하량변화 및 제거율

구분 항목	7/15~7/18			7/19~7/22			7/23~7/26		
	평균 유입수 ( $\text{mg}/\ell$ )	처리수 ( $\text{mg}/\ell$ )	제거율 (%)	평균 유입수 ( $\text{mg}/\ell$ )	처리수 ( $\text{mg}/\ell$ )	제거율 (%)	평균 유입수 ( $\text{mg}/\ell$ )	처리수 ( $\text{mg}/\ell$ )	제거율 (%)
BOD <sub>5</sub>	193	5	97	183	4	98	171	19	88
COD <sub>cr</sub>	829	95	89	804	109	86	710	132	81
SS	86	3	97	82	3	96	74	6	91
T-N	33	20	39	38	26	32	35	27	23
T-P	11	9.4	16	9	7.2	20	9.4	7.6	19

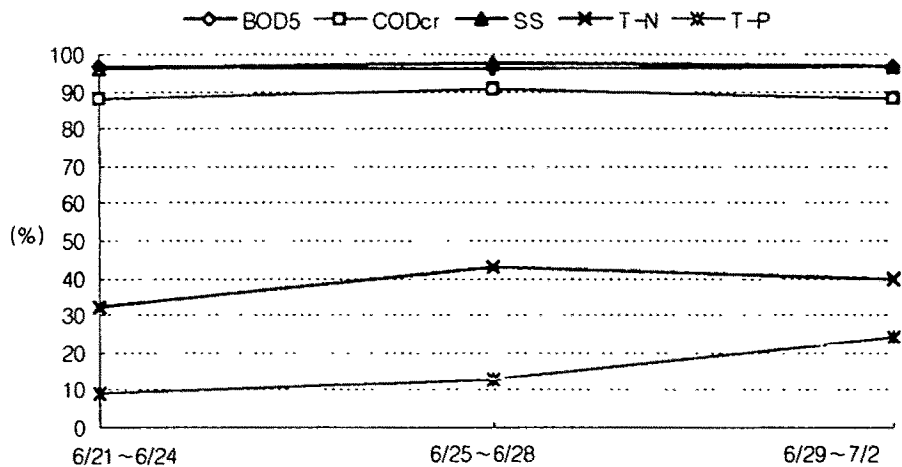


그림 3-4-3-4 실험4의 오염부하량 제거율

BOD<sub>5</sub>의 경우 94%의 제거효율을 보였으며, COD<sub>Cr</sub>은 약 88%, SS는 95%, T-N은 약 31%, T-P는 약 18%의 제거효율을 나타내었다. 실험 1, 2, 3에 비해서 전체적으로 성적이 낮았으며 이는 유입오수의 부하량에 따른 폭기량의 수준이 적었기 때문으로 이해된다. 또한 오염물질 제거율도 경시적으로 감소되었다. 이는 낮은 폭기율 때문에 산화되지 못한 유기물이 집적에 기인한다.

#### 나) 침적식 lock충진여재(일반충진)

loading rate		pollutant loading(kg/m <sup>3</sup> /일)	
		0.15	0.2
aeration (m <sup>3</sup> /일)	rate 14.4	test 5	test7
	8.6	test 6	test8

#### (1) 실험 5

실험 5에서는 Lock여재를 침적형태로 충진한 후 초기 유입오수의 유기물 부하량을 0.15kg/m<sup>3</sup>/일로 하고, 폭기량을 14.4m<sup>3</sup>/일로 하여 약 12일간을 운전한 결과 <표 3-4-3-5> 및 <그림 3-4-3-5>와 같이 처리수의 오염부하량의 변화를 보였다. 여재충진방법이 제거효율에 미치는 영향을 구명하기 위하여 실험5에서의 실험조건은 실험1과 같으며, 단지 여재를 충진하는 방법을 달리 하였다.

BOD<sub>5</sub>의 경우 96%의 제거효율을 보였으며, COD<sub>Cr</sub>은 약 88%, SS는 97%, T-N은 약 47%, T-P는 약 14%의 제거효율을 나타내었다. 실험 5에서도 실험 1과 마찬가지로 BOD<sub>5</sub>, SS의 제거율은 비교적 양호한 결과를 보였으며, COD<sub>Cr</sub>와 T-N의 경우에는 실험 1에 비해 5-7%의 제거효율이 상승하였으나 T-P는 오히려 제거효율이 낮아졌다. 이는 단정하기는 이르지만, 침적 충진일



경우 여재표면적이 상자형에 비해 증가함에 따라 오염물질의 질산화가 가속된 듯하다. 따라서 오염부하량의 제거율은 유입오수의 유기물부하량에 따른 폭기량, 여재의 충전방법 및 충전비율도 처리효율에 영향을 미칠 수 있음을 인식할 필요가 있다.

표 3-4-3-5 실험 5의 오염부하량변화 및 제거율

구분 항목	6/9~6/12			6/13~6/16			6/17~6/20		
	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)
BOD <sub>5</sub>	234	13.5	94	206	5	98	195	6	97
COD <sub>cr</sub>	951	73	92	937	172	82	870	85	90
SS	86	5	94	86	2	98	84	2	98
T-N	50	32	36	51	26	49	58	25	57
T-P	13	11.8	9	20	16.2	21	20	17.8	12

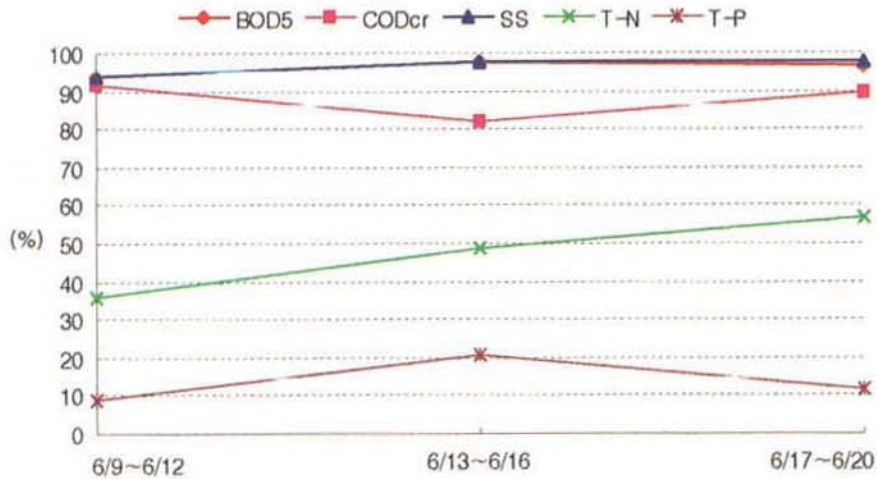


그림 3-4-3-5 실험 5의 경시별 오염물질 제거율

경우 여재표면적이 상자형에 비해 증가함에 따라 오염물질의 질산화가 가속된 듯하다. 따라서 오염부하량의 제거율은 유입오수의 유기물부하량에 따른 폭기량, 여재의 충전방법 및 충전비율도 처리효율에 영향을 미칠 수 있음을 인식할 필요가 있다.

표 3-4-3-5 실험 5의 오염부하량변화 및 제거율

구분 항목	6/9~6/12			6/13~6/16			6/17~6/20		
	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)
BOD <sub>5</sub>	234	13.5	94	206	5	98	195	6	97
COD <sub>cr</sub>	951	73	92	937	172	82	870	85	90
SS	86	5	94	86	2	98	84	2	98
T-N	50	32	36	51	26	49	58	25	57
T-P	13	11.8	9	20	16.2	21	20	17.8	12

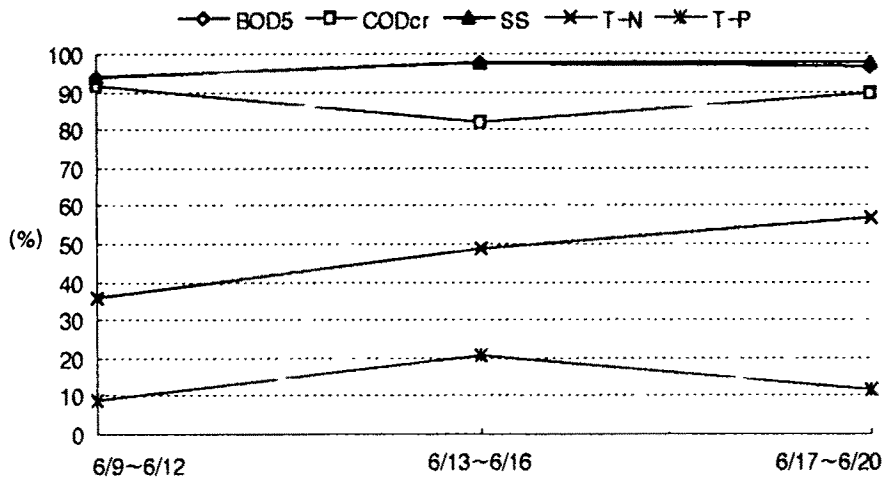


그림 3-4-3-5 실험 5의 경시별 오염물질 제거율

(2) 실험 6

실험 6은 실험 2와 같은 조건하에서 여재의 충전방법을 침적식 Lock충진 방법으로 충전한 후 초기 유입오수의 유기물 부하율을 0.15kg/m<sup>3</sup>/일로 하고, 폭기량을 8.64m<sup>3</sup>/일로 하여 약 12일간을 운전한 결과 <표 3-4-3-6> 및 <그림 3-4-3-6>과 같은 처리수의 오염부하량의 변화를 얻었다. 실험 6에서는 실험 5와 같은 조건에서 폭기량의 차이에 따른 오염물질의 제거효율변화를 관찰하였다.

표 3-4-3-6 실험 6의 오염부하량 변화 및 제거율

구분 항목	6/21~6/24			6/25~6/28			6/29~7/2		
	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)
BOD <sub>5</sub>	122	3	98	138	4	97	165	3	98
COD <sub>Cr</sub>	658	72	89	580	59	90	595	87	85
SS	68	2	97	66	1	98	67	3	96
T-N	60	43	28	44	27	39	39	26	33
T-P	26	25	4	18	16.5	8	27	21	24

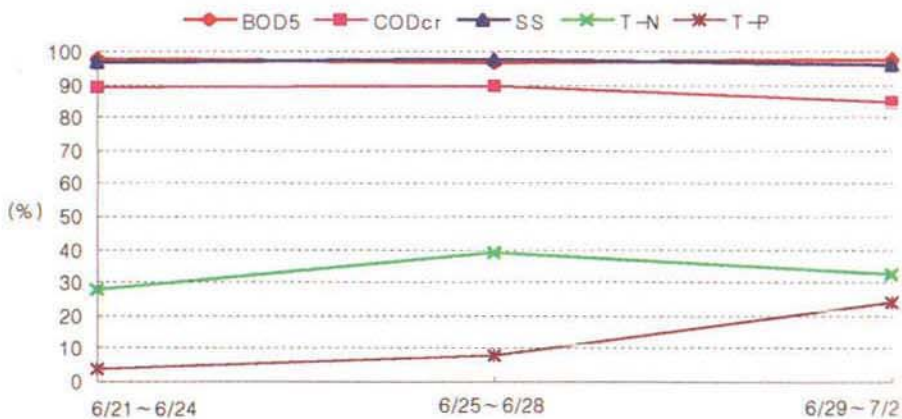


그림 3-4-3-6 실험 6의 경시별 오염물질 제거율

(2) 실험 6

실험 6은 실험 2와 같은 조건하에서 여재의 충전방법을 침적식 Lock충진 방법으로 충전한 후 초기 유입오수의 유기물 부하율을 0.15kg/m<sup>3</sup>/일로 하고, 폭기량을 8.64m<sup>3</sup>/일로 하여 약 12일간을 운전한 결과 <표 3-4-3-6> 및 <그림 3-4-3-6>과 같은 처리수의 오염부하량의 변화를 얻었다. 실험 6에서는 실험 5와 같은 조건에서 폭기량의 차이에 따른 오염물질의 제거효율변화를 관찰하였다.

표 3-4-3-6 실험 6의 오염부하량 변화 및 제거율

구분 항목	6/21~6/24			6/25~6/28			6/29~7/2		
	평균 유입수 (mg/ℓ)	처리수 (mg/ℓ)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/ℓ)	처리수 (mg/ℓ)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/ℓ)	처리수 (mg/ℓ)	제거율 (%)
BOD <sub>5</sub>	122	3	98	138	4	97	165	3	98
COD <sub>Cr</sub>	658	72	89	580	59	90	595	87	85
SS	68	2	97	66	1	98	67	3	96
T-N	60	43	28	44	27	39	39	26	33
T-P	26	25	4	18	16.5	8	27	21	24

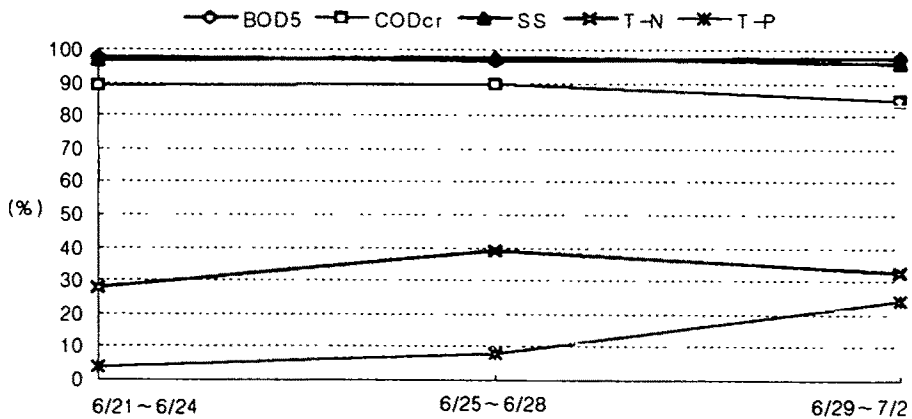


그림 3-4-3-6 실험 6의 경시별 오염물질 제거율

BOD<sub>5</sub>의 경우 98%의 제거율을 보였으며, COD<sub>cr</sub>의 경우에는 약 88%, SS는 97%, T-N은 약 33%, T-P는 약 12%의 제거율을 나타내었다. 여기에서도 실험2와 비교하면 유기물의 제거효율은 거의 비슷하게 나타났으나 T-N, T-P의 제거율은 5~10% 정도 감소한 것을 알 수 있다. 이는 여재 충전방법의 차이도 이러한 저효율에 한 원인일 수 있다.

### (3) 실험 7

실험 7은 여재를 침적식Lock으로 충전한 후 초기 유입오수의 유기물 부하량을 0.20kg/m<sup>3</sup>/일로 하고, 폭기량을 14.4m<sup>3</sup>/일로 하여 실험 1, 2와 같이 약 12일간을 운전한 결과 <표 3-4-3-7>, <그림 3-4-3-7>과 같이 처리수의 오염부하량의 변화 및 제거효율을 보였다.

표 3-4-3-7 실험 7의 오염부하량 변화 및 제거율

구분 항목	7/3~7/6			7/7~7/10			7/11~7/14		
	평균 유입수 (mg/ℓ)	처리수 (mg/ℓ)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/ℓ)	처리수 (mg/ℓ)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/ℓ)	처리수 (mg/ℓ)	제거율 (%)
BOD <sub>5</sub>	183	4	98	174	2	99	190	4	98
COD <sub>cr</sub>	850	78	91	726	38	95	779	98	87
SS	82	2	98	72	3	97	81	2	98
T-N	52	27	48	45	22	51	34	18	47
T-P	6	5	17	8	6.5	19	11	9.6	13

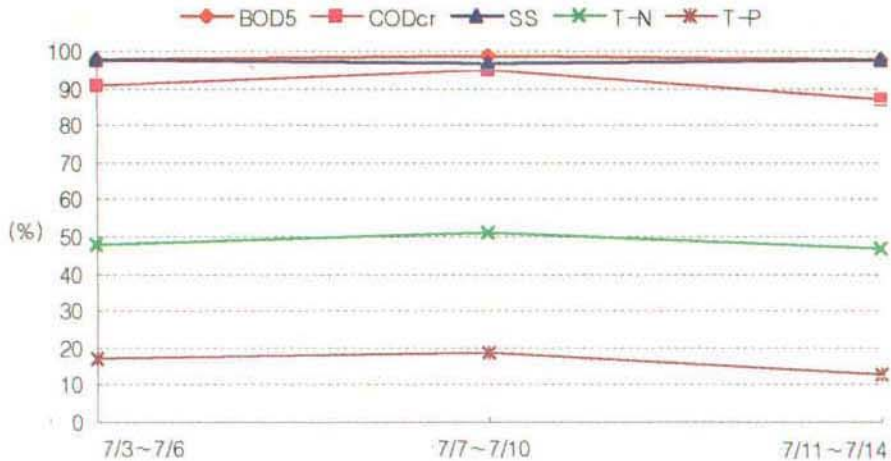


그림 3-4-3-7 실험 7의 경시별 오염물질의 제거율

BOD<sub>5</sub>의 경우 98%의 제거율을 보였으며, COD<sub>cr</sub>은 약 91%, SS는 98%, T-N은 약 49%, T-P는 약 16%의 제거율을 나타내었다. 실험3에서와 마찬가지로 BOD<sub>5</sub>, COD<sub>cr</sub>, SS의 제거율은 90% 이상을 나타냈으며, T-N은 실험3보다 양호하였으나 T-P의 경우에는 실험3에 비해 약 6% 정도의 제거율이 감소하였다. 이는 고폍기율로 인하여 침적식에서 질산화는 가속된 반면, 침적되면서 흡착성은 낮아져 상자형보다 인의 제거효율이 감소된 듯하다. 실험 7의 경우에 실험5, 6에 비해서 비교적 오염물질 제거율이 높았다.

#### (4) 실험 8

실험 8은 여재를 침적 Lock으로 충전한 후 초기 유입오수의 유기물 부하량을 0.20kg/m<sup>3</sup>/일로 하고, 폭기량을 8.64m<sup>3</sup>/일로 하여 실험 1, 2, 3과 같이 약 12일간을 운전한 결과 <표 3-4-3-8> 및 <그림 3-4-3-8>과 같이 처리수의 오염부하량의 변화 및 제거효율을 보였다.

BOD<sub>5</sub>의 경우 92%의 제거율을 보였으며, COD<sub>cr</sub>은 약 82%, SS는 95%, T-N은 약 31%, T-P는 약 10%의 제거율을 나타내었다. 이는 앞의 실험결과에

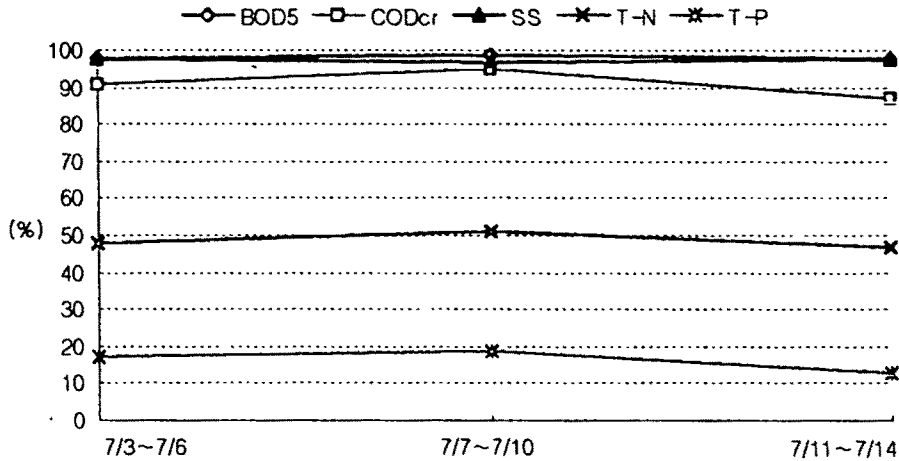


그림 3-4-3-7 실험 7의 경시별 오염물질의 제거율

BOD<sub>5</sub>의 경우 98%의 제거율을 보였으며, COD<sub>cr</sub>은 약 91%, SS는 98%, T-N은 약 49%, T-P는 약 16%의 제거율을 나타내었다. 실험3에서와 마찬가지로 BOD<sub>5</sub>, COD<sub>cr</sub>, SS의 제거율은 90% 이상을 나타냈으며, T-N은 실험3보다 양호하였으나 T-P의 경우에는 실험3에 비해 약 6% 정도의 제거율이 감소하였다. 이는 고퍽기율로 인하여 침적식에서 질산화는 가속된 반면, 침적되면서 흡착성은 낮아져 상자형보다 인의 제거효율이 감소된 듯하다. 실험 7의 경우에 실험5, 6에 비해서 비교적 오염물질 제거율이 높았다.

#### (4) 실험 8

실험 8은 여재를 침적 Lock으로 충전한 후 초기 유입오수의 유기물 부하량을 0.20kg/m<sup>3</sup>/일로 하고, 폭기량을 8.64m<sup>3</sup>/일로 하여 실험 1, 2, 3과 같이 약 12일간을 운전한 결과 <표 3-4-3-8> 및 <그림 3-4-3-8>과 같이 처리수의 오염부하량의 변화 및 제거효율을 보였다.

BOD<sub>5</sub>의 경우 92%의 제거율을 보였으며, COD<sub>cr</sub>은 약 82%, SS는 95%, T-N은 약 31%, T-P는 약 10%의 제거율을 나타내었다. 이는 앞의 실험결과에

비해서 전체적으로 성적이 낮을 뿐만 아니라 결과가 실험4와 비슷한 것을 미루어 1차적으로 저폭기율이 저효율에 주된 원인인 듯하며, 부차적으로 여재 충전 방법도 저효율에 기여하였음을 알 수 있다.

표 3-4-3-8 실험 8의 오염물질의 변화 및 제거율

구분 항목	7/15~7/18			7/19~7/22			7/23~7/26		
	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)
BOD <sub>5</sub>	193	5	97	183	5	97	171	24	85
COD <sub>Cr</sub>	829	130	84	804	142	82	710	143	79
SS	86	2	98	82	3	96	74	5	93
T-N	33	22	34	38	27	35	35	29	18
T-P	11	9.8	13	9	8.3	7.7	9.4	8.4	11

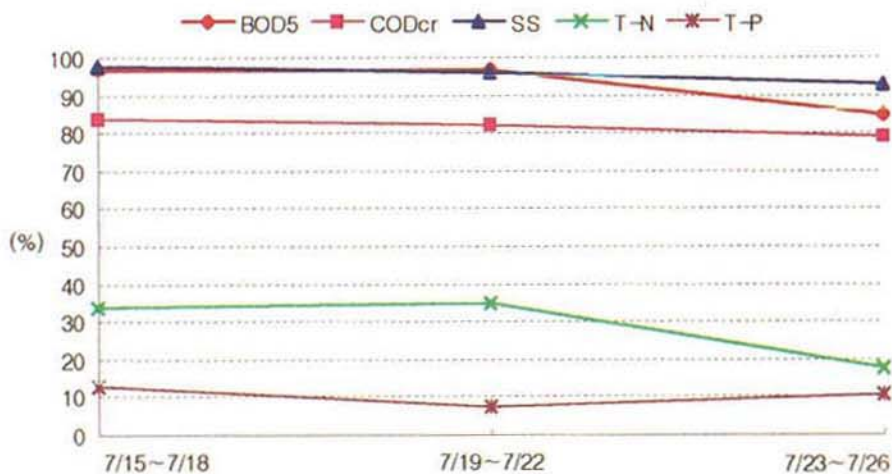


그림 3-4-3-8 실험 8의 경시별 오염물질 제거율



비해서 전체적으로 성적이 낮을 뿐만 아니라 결과가 실험4와 비슷한 것을 미루어 1차적으로 저폭기율이 저효율에 주된 원인인 듯하며, 부차적으로 여재 충전 방법도 저효율에 기여하였음을 알 수 있다.

표 3-4-3-8 실험 8의 오염물질의 변화 및 제거율

구분 항목	7/15~7/18			7/19~7/22			7/23~7/26		
	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)
BOD <sub>5</sub>	193	5	97	183	5	97	171	24	85
COD <sub>Cr</sub>	829	130	84	804	142	82	710	143	79
SS	86	2	98	82	3	96	74	5	93
T-N	33	22	34	38	27	35	35	29	18
T-P	11	9.8	13	9	8.3	7.7	9.4	8.4	11

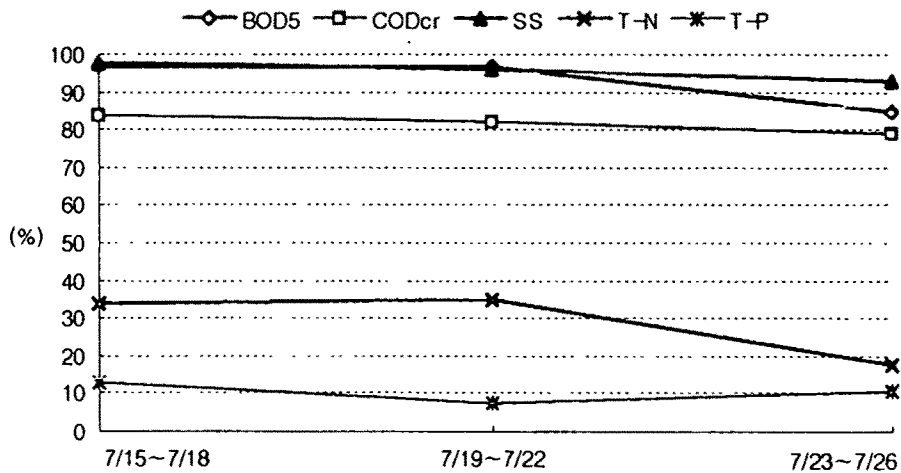


그림 3-4-3-8 실험 8의 경시별 오염물질 제거율

다) 적정 유기물부하량 및 폭기량

(1) BOD<sub>5</sub>제거율

실험 1~실험4의 BOD<sub>5</sub>변화 및 제거율은 <표 3-4-3-9>, <그림 3-4-3-9>와 같다. 실험1에서는 약 195~234mg/ℓ, 실험2는 122~165mg/ℓ, 실험 3는 174~190mg/ℓ, 실험 4는 171~193mg/ℓ의 농도로 각각 유입하였을 때, 처리수의 농도는 대부분 10mg/ℓ 이하로 나타났으며, 제거율을 살펴보면 실험 1, 실험 2, 실험 3, 실험 4에서 각각 96%, 97%, 98%, 95%로 나타났다. 상대적으로 실험 2, 3의 경우가 효율이 높게 나타난 것을 알 수 있다. 이는 유입수 오염부하량이 폭기량과과 상관관계에 있음을 뜻한다.

표 3-4-3-9 상자형 여재충진의 경우 유입수,처리수의 BOD<sub>5</sub>변화량 및 제거율

구분 실험 (시기)	4일간			4일간			4일간		
	평균 유입수 (ppm)	처리수 (ppm)	제거율 (%)	평균 유입수 (ppm)	처리수 (ppm)	제거율 (%)	평균 유입수 (ppm)	처리수 (ppm)	제거율 (%)
Test 1 (6/9~6/20)	234	10.5	96	206	7.5	96	195	7	96
Test 2 (6/21~7/2)	122	4	97	138	5	96	165	4	97
Test 3 (7/3~7/14)	183	3	98	174	2	99	190	4	98
Test 4 (7/15~7/26)	193	5	97	183	4	98	171	19	88

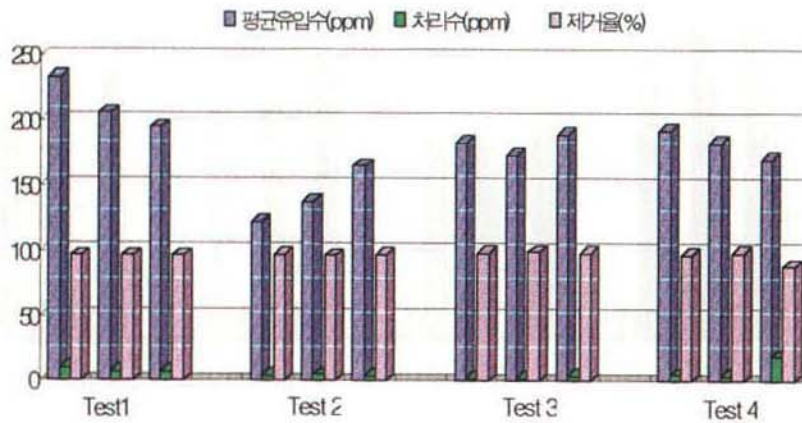


그림 3-4-3-9 상자형 여재충진의 경우 유입수,처리수의 BOD<sub>5</sub>변화량 및 제거율

## (2) COD<sub>Cr</sub>의 변화 및 제거율

실험 1~실험 4까지의 COD<sub>Cr</sub>변화 및 제거율을 비교하여 살펴본 결과 <표 3-4-3-10>, <그림 3-4-3-10>와 같은 결과를 얻었다.

표 3-4-3-10 상자형여재충진의 경우 유입수,처리수의 COD<sub>Cr</sub>변화량 및 제거율

구분 실험 (시기)	4일간			4일간			4일간		
	평균 유입수 (ppm)	처리수 (ppm)	제거율 (%)	평균 유입수 (ppm)	처리수 (ppm)	제거율 (%)	평균 유입수 (ppm)	처리수 (ppm)	제거율 (%)
Test 1 (6/9~6/20)	951	80	92	937	180	80	870	94	89
Test 2 (6/21~7/2)	658	76	88	580	55	91	595	69	88
Test 3 (7/3~7/14)	850	86	90	726	54	93	779	122	84
Test 4 (7/15~7/26)	829	95	89	804	109	86	710	132	81

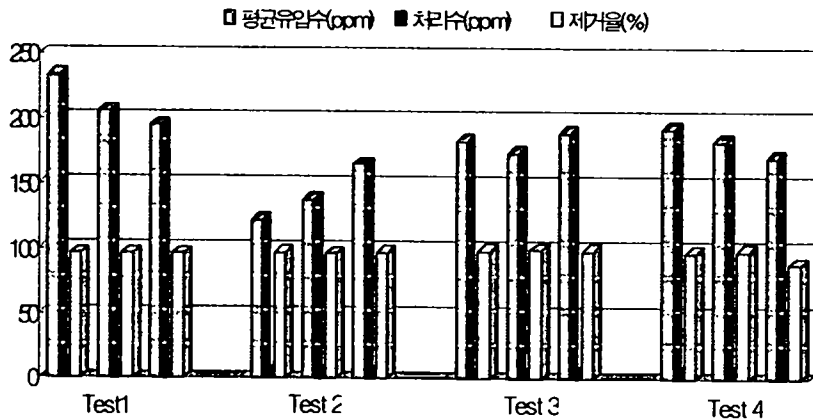


그림 3-4-3-9 상자형 여재충진의 경우 유입수,처리수의 BOD<sub>5</sub>변화량 및 제거율

## (2) COD<sub>Cr</sub>의 변화 및 제거율

실험 1~실험 4까지의 COD<sub>Cr</sub>변화 및 제거율을 비교하여 살펴본 결과 <표 3-4-3-10>, <그림 3-4-3-10>와 같은 결과를 얻었다.

표 3-4-3-10 상자형여재충진의 경우 유입수,처리수의 COD<sub>Cr</sub>변화량 및 제거율

구분 실험 (시기)	4일간			4일간			4일간		
	평균 유입수 (ppm)	처리수 (ppm)	제거율 (%)	평균 유입수 (ppm)	처리수 (ppm)	제거율 (%)	평균 유입수 (ppm)	처리수 (ppm)	제거율 (%)
Test 1 (6/9~6/20)	951	80	92	937	180	80	870	94	89
Test 2 (6/21~7/2)	658	76	88	580	55	91	595	69	88
Test 3 (7/3~7/14)	850	86	90	726	54	93	779	122	84
Test 4 (7/15~7/26)	829	95	89	804	109	86	710	132	81

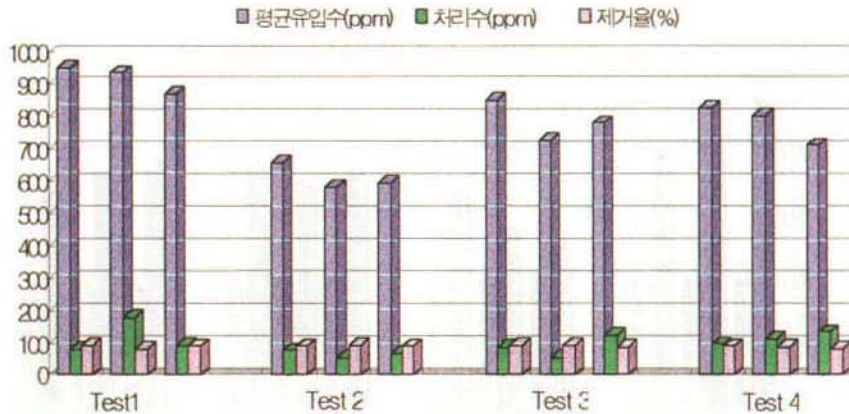


그림 3-4-3-10 상자형여재충진의 경우 유입수,처리수의 CODcr변화량 및 제거율

위의 결과에서 살펴보면 유입수의 CODcr는 실험1에서는 약 900mg/ℓ, 실험2는 약 600mg/ℓ, 실험3은 약 800mg/ℓ, 실험4는 약 750mg/ℓ의 농도로 각각 투입하였다. 그 결과, 처리수의 CODcr농도는 70~130mg/ℓ로 실험 1~4의 제거율은 각각 87%, 89%, 88%, 83%로 나타났다. 실험4를 제외하고는 실험간 유의성을 찾을 수 없었다.

### (3) SS농도 및 제거율변화

실험 1~실험 4까지의 SS변화 및 제거효율을 비교분석한 결과는 <표 3-4-3-11>, <그림 3-4-3-11>과 같다. 살펴보면 유입수를 실험 1에서는 약 86mg/ℓ, 실험 2는 약 67mg/ℓ, 실험 3은 약 77mg/ℓ, 실험 4는 약 80mg/ℓ의 농도로 각각 유입하였을 때, 처리수의 SS는 대부분 2~3mg/ℓ로 나타났다으며, 제거효율은 실험 1~실험 4에서 각각 95%, 97%, 97%, 94%정도로 나타났다. SS의 경우에도 BOD<sub>5</sub>, CODcr와 마찬가지로 실험4를 제외하고는 실험간 유의성이 없었다. 이는 SS는 화학적 반응보다는 주로 물리적 반응에 의하여 제거되므로 폭기량의 크기보다는 여재 표면적의 크기에 더 영향을 받는 듯하다. 그러므로 본 연구의 실내 모형실험에서는 유입수의 유기물부하량이

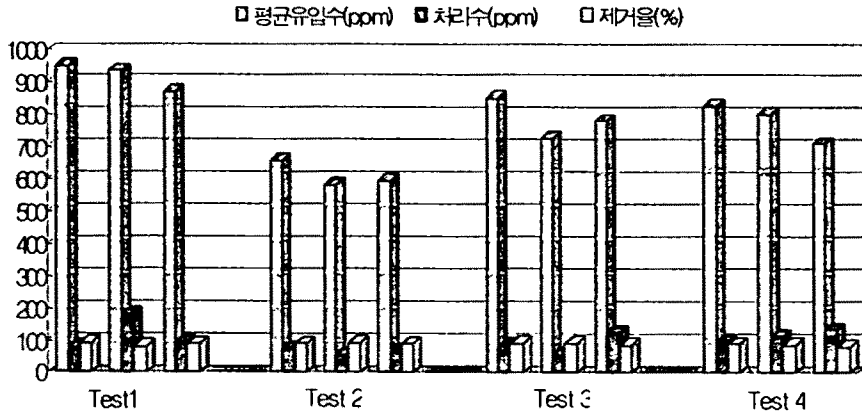


그림 3-4-3-10 상자형여재층진의 경우 유입수,처리수의 CODcr변화량 및 제거율

위의 결과에서 살펴보면 유입수의 CODcr는 실험1에서는 약 900mg/l, 실험2는 약 600mg/l, 실험3은 약 800mg/l, 실험4는 약 750mg/l의 농도로 각각 투입하였다. 그 결과, 처리수의 CODcr농도는 70~130mg/l로 실험 1~4의 제거율은 각각 87%, 89%, 88%, 83%로 나타났다. 실험4를 제외하고는 실험간 유의성을 찾을 수 없었다.

### (3) SS농도 및 제거율변화

실험 1~실험 4까지의 SS변화 및 제거효율을 비교분석한 결과는 <표 3-4-3-11>, <그림 3-4-3-11>과 같다. 살펴보면 유입수를 실험 1에서는 약 86mg/l, 실험 2는 약 67mg/l, 실험 3은 약 77mg/l, 실험 4는 약 80mg/l의 농도로 각각 유입하였을 때, 처리수의 SS는 대부분 2~3mg/l로 나타났으며, 제거효율은 실험 1~실험 4에서 각각 95%, 97%, 97%, 94%정도로 나타났다. SS의 경우에도 BOD<sub>5</sub>, CODcr와 마찬가지로 실험4를 제외하고는 실험간 유의성이 없었다. 이는 SS는 화학적 반응보다는 주로 물리적 반응에 의하여 제거되므로 폭기량의 크기보다는 여재 표면적의 크기에 더 영향을 받는 듯하다. 그러므로 본 연구의 실내 모형실험에서는 유입수의 유기물부하량이

0.2kg/m<sup>3</sup>/日일 때 폭기율 14.4m<sup>3</sup>/일(= 10 l/min)이 오염물질 제거효율이 상대적으로 높은 것으로 판단된다.

표 3-4-3-11 상자형 여재충진의 경우 유입수, 처리수의 SS변화량 및 제거율

구분 실험 (시기)	4일간			4일간			4일간		
	평균 유입수 (ppm)	처리수 (ppm)	제거율 (%)	평균 유입수 (ppm)	처리수 (ppm)	제거율 (%)	평균 유입수 (ppm)	처리수 (ppm)	제거율 (%)
Test 1 (6/9~6/20)	86	4	95	86	2	98	84	2	98
Test 2 (6/21~7/2)	68	3	96	66	1	98	67	2	97
Test 3 (7/3~7/14)	82	3	96	72	2	97	81	2	98
Test 4 (7/15~7/26)	86	3	97	82	3	96	74	6	91

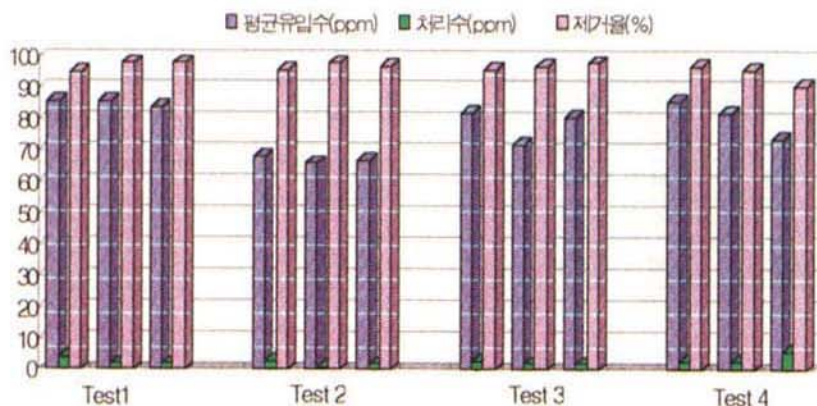


그림 3-4-3-11 상자형 여재충진의 경우 유입수, 처리수의 SS변화 및 제거율

0.2kg/m<sup>3</sup>/日일 때 폭기율 14.4m<sup>3</sup>/일(= 10 ℓ/min)이 오염물질 제거효율이 상대적으로 높은 것으로 판단된다.

표 3-4-3-11 상자형 여재충진의 경우 유입수, 처리수의 SS변화량 및 제거율

구분 실험 (시기)	4일간			4일간			4일간		
	평균 유입수 (ppm)	처리수 (ppm)	제거율 (%)	평균 유입수 (ppm)	처리수 (ppm)	제거율 (%)	평균 유입수 (ppm)	처리수 (ppm)	제거율 (%)
Test 1 (6/9~6/20)	86	4	95	86	2	98	84	2	98
Test 2 (6/21~7/2)	68	3	96	66	1	98	67	2	97
Test 3 (7/3~7/14)	82	3	96	72	2	97	81	2	98
Test 4 (7/15~7/26)	86	3	97	82	3	96	74	6	91

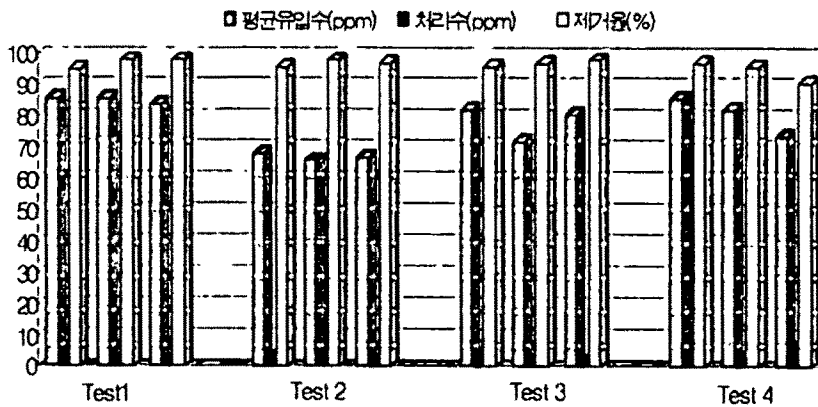


그림 3-4-3-11 상자형 여재충진의 경우 유입수, 처리수의 SS변화 및 제거율



## 2) 여재충진방법 차이에 따른 오염물질 제거효율 비교

본 연구에서와 같이 토양피복에 따른 사하중 및 시공후 토양 위의 여러 형태의 활동으로 인한 활하중 때문에 폭기조의 내구성이 문제가 될 수 있기 때문에 상자형 충진이 현실적일 수 있다. 그러나 본 연구에서는 순전히 학문적 구명을 위하여 상자형 여재충진과 침적형 여재충진을 비교분석하여 제거효율의 유의성을 검증하고자 하였다.

### 가) BOD<sub>5</sub> 제거효율

유기물 부하량을 0.15kg/m<sup>2</sup>/일로 하고, 폭기량을 8.64m<sup>3</sup>/일로 하여 상자형 lock여재충진과 침적형 lock충진방법으로 달리하였을 때, 두 충진방법간의 BOD<sub>5</sub> 제거효율 비교하였다. 다음의 <표 3-4-3-12>, <그림 3-4-3-12>는 실험의 결과를 나타내었다.

표 3-4-3-12 여재충진방법의 차이에 따른 BOD<sub>5</sub> 변화

구 분		기 간		
		6/21 ~ 6/24	6/25 ~ 6/28	6/29 ~ 7/2
유입수 농도(mg/l)		122	138	165
상자형 lock 충진	처리수농도(mg/l)	4	5	4
	제거율(%)	97	96	97
침적형 lock 충진	처리수농도(mg/l)	3	4	3
	제거율(%)	98	97	98

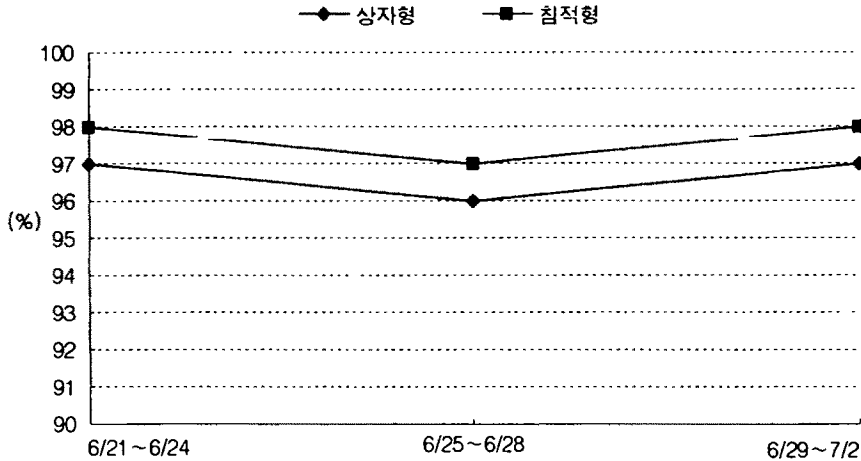


그림 3-4-3-12 여재충진방법의 차이에 따른 BOD<sub>5</sub> 변화

초기 BOD<sub>5</sub> 122mg/ℓ의 유입수가 유입될 때 처리수의 농도는 상자형 여재충진형의 경우 4mg/ℓ, 침적식 여재충진의 경우 3mg/ℓ으로 나타났다. 제거효율도 공히 98%로 차이가 없었다. 그리고 전실험기간 동안 처리수의 BOD농도 및 제거효율은 거의 같았다. 이는 여재의 충진방법이 BOD<sub>5</sub>의 처리 효율에는 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 그러나 실내실험에 사용된 폭기조의 용량은 35ℓ에 지나지 않아 1 mg/ℓ 차는 상대적으로 적으나, 현장실험에 적용된 폭기조의 용량은 1000ℓ로 적은 농도차라 하더라도 누적되어 나타날 수도 있으므로 단정적으로 여재충진의 방법에 따른 처리효율의 차는 없다고 말할 수 없다.

#### 나) COD<sub>Cr</sub> 제거효율

유기물 부하량을 0.15kg/m<sup>3</sup>/일로 하고, 폭기량을 8.64m<sup>3</sup>/일로 하여 상자형 lock여재충진과 침적형 lock충진방법으로 달리하였을 때, 두 충진방법간의 COD<sub>Cr</sub> 제거효율 비교한 결과 <표 3-4-3-13> <그림 3-4-3-13>은 실험의 결과

를 나타내었다.

표 3-4-3-13 여재충진방법의 차이에 따른 CODcr 변화

구 분		기 간		
		6/21 ~ 6/24	6/25 ~ 6/28	6/29 ~ 7/2
유입수 농도(mg/ℓ)		658	580	595
상자형 lock 충전	처리수농도(mg/ℓ)	76	55	69
	제거율(%)	88	91	88
침적형 lock 충전	처리수농도(mg/ℓ)	72	59	87
	제거율(%)	89	90	85

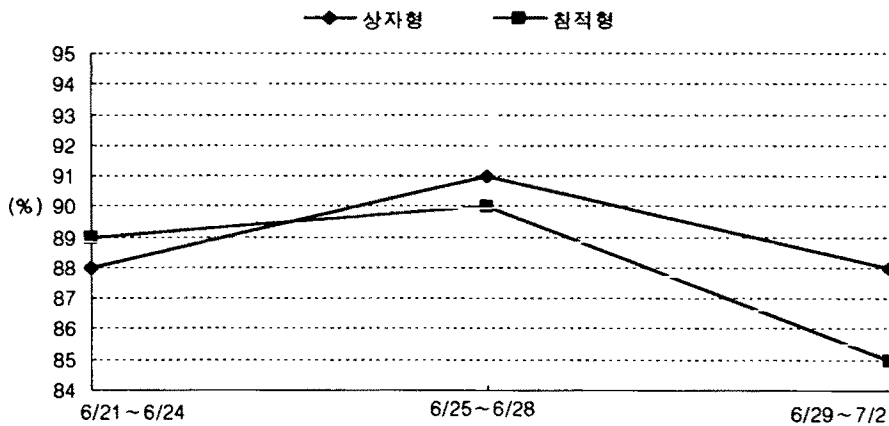


그림 3-4-3-13 여재충진방법의 차이에 따른 CODcr 변화

CODcr의 경우, 각각 658mg/ℓ, 580mg/ℓ, 595mg/ℓ로 유입수농도를 달리하여 유입하였을 때, 처리수의 농도는 상자형 여재충진의 경우에 76mg/ℓ, 55mg/ℓ, 69mg/ℓ, 침적형 여재충진의 경우에는 72mg/ℓ, 59mg/ℓ, 87mg/ℓ로 나타났다. CODcr 658mg/ℓ일 때는 침적형 충전의 경우가 4mg/ℓ 정도 낮게 나타났으나, CODcr 580mg/ℓ, 595mg/ℓ일 때는 상자형 충전방법이 오히려 4~18mg/ℓ 정도 낮게 나타났다. 이는 탈리슬러지가 처리수에 유입되

어 CODcr의 농도를 상승시킬 수 있기 때문에 원인규명을 위한 심도있는 연구가 필요하다.

#### 다) SS 제거효율

유기물 부하량을 0.15kg/m<sup>3</sup>/일로 하고, 폭기량을 8.64m<sup>3</sup>/일로 하여 상자형 lock여재충진과 침적형 lock충진방법으로 달리하였을 때, 두 충진방법간의 SS 제거효율을 알아보았으며, 그 결과 <표 3-4-3-14>, <그림 3-4-3-14>와 같은 결과를 얻었다. SS의 농도변화 분석을 위하여 유입수농도를 각각 68mg/ℓ, 66mg/ℓ, 67mg/ℓ로 하였을 때, 상자형 여재충진형의 경우에 처리수의 농도는 3mg/ℓ, 1mg/ℓ, 2mg/ℓ, 침적형 여재충진의 경우에는 2mg/ℓ, 1mg/ℓ, 3mg/ℓ로 나타났다. SS제거효율을 보면, 두 가지 충진방법 모두 96%~98%로 거의 차이가 없는 것을 알 수 있었다. SS의 경우도 BOD<sub>5</sub>와 마찬가지로 충진방법에 따른 처리효율에는 큰 영향을 미치지 못하는 듯하다.

표 3-4-3-14 여재충진방법의 차이에 따른 SS 변화

구 분		기 간		
		6/21 ~ 6/24	6/25 ~ 6/28	6/29 ~ 7/2
유입수 농도(mg/ℓ)		68	66	67
상자형 lock 충진	처리수농도(mg/ℓ)	3	1	2
	제거율(%)	96	98	97
침적형 lock 충진	처리수농도(mg/ℓ)	2	1	3
	제거율(%)	97	98	96

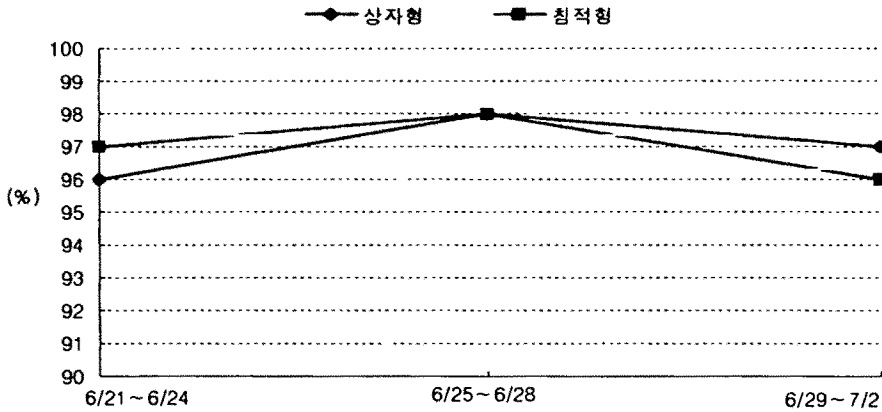


그림 3-4-3-14 여재충진방법의 차이에 따른 SS의 제거율

## 나. 실내모형 토양필터의 효율검증 실험

앞절의 접촉산화시스템의 유기물 및 영양염류 제거효율 실험 결과 일반적으로 BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Cr</sub>, SS의 경우에는 제거효율이 높은 반면 T-N, T-P의 경우에는 비교적 낮았다. 따라서 BOD<sub>5</sub>, SS, COD<sub>Cr</sub>의 제거효율도 상승시킴과 동시에 T-N, T-P의 제거율을 높이기 위해서 유출수를 토양으로 피복한 토양필터를 통과시키므로써 제거율을 제고시키고자 하였다.

### 1) BOD<sub>5</sub> 제거효율

유입수의 BOD<sub>5</sub>농도는 130~195mg/ℓ 이었으며, 접촉산화조를 거친 처리수의 농도는 3~4mg/ℓ 로, 토양필터를 거친 최종 처리수는 2~8mg/ℓ 로 나타나 토양필터가 BOD<sub>5</sub> 제거보다는 10~40%의 T-N, T-P 제거효율을 제고하기 위하여 설계되고 시공되어야 한다. 특히 개선전 토양필터는 경시적으로 토양필터의 효율이 점차 감소하여 처리수의 BOD<sub>5</sub>농도가 접촉산화조의 처리 임계농도인 4mg/ℓ 보다 높은 8mg/ℓ 을 나타내었다. 이는 토양필터내의 침전되어 있던 유기물 입자가 다른 batch의 유입수가 유입될 때 발생할 수 있는 관

성력 때문에 유기물입자가 부유되어 최종 유출수에 포함되어 방류되었을 가능성이 있다.

표 3-4-3-15 접촉산화조 및 토양필터에 의한 처리수의 BOD<sub>5</sub>변화

구 분		기 간		
		8/15 ~ 8/17	8/18 ~ 8/20	8/21 ~ 8/23
유입수 농도(mg/ℓ)		130	145	195
접촉산화조	처리수농도(mg/ℓ)	3	4	4
	제거율(%)	98	97	98
토양필터	처리수농도(mg/ℓ)	2	4	8
	제거율(%)	98	97	94

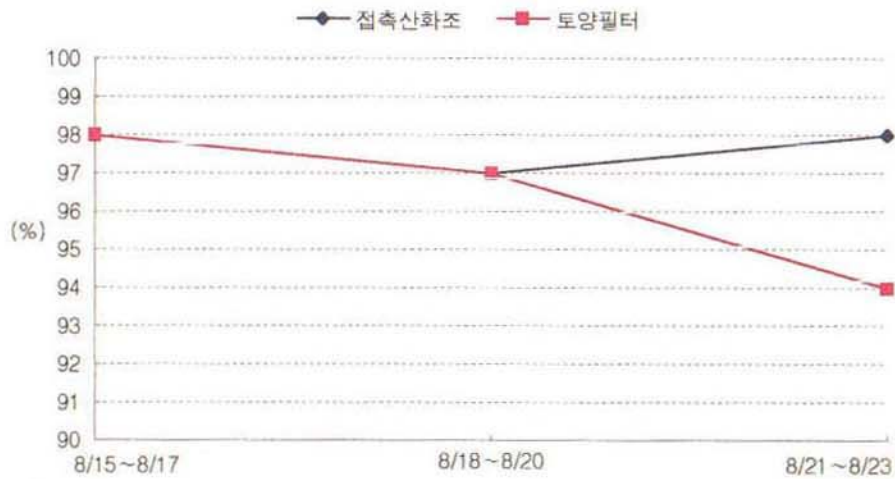


그림 3-4-3-15 접촉산화조 및 토양필터에 의한 BOD<sub>5</sub>농도의 제거율

성력 때문에 유기물입자가 부유되어 최종 유출수에 포함되어 방류되었을 가능성이 있다.

표 3-4-3-15 접촉산화조 및 토양필터에 의한 처리수의 BOD<sub>5</sub>변화

구 분		기 간		
		8/15 ~ 8/17	8/18 ~ 8/20	8/21 ~ 8/23
유입수 농도(mg/ℓ)		130	145	195
접촉산화조	처리수농도(mg/ℓ)	3	4	4
	제거율(%)	98	97	98
토양필터	처리수농도(mg/ℓ)	2	4	8
	제거율(%)	98	97	94

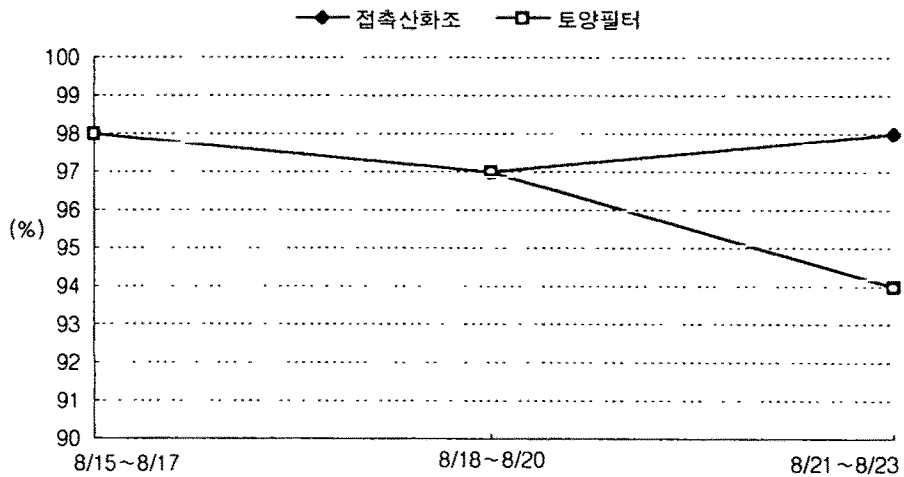


그림 3-4-3-15 접촉산화조 및 토양필터에 의한 BOD<sub>5</sub>농도의 제거율

## 2) COD<sub>Cr</sub> 제거효율

유입수의 COD<sub>Cr</sub>농도는 750~820mg/ℓ이었으며, 접촉산화조를 거친 처리수의 농도는 76~100mg/ℓ로 감소되었으며, 토양필터를 거친 최종 처리수는 80~92mg/ℓ로 나타났다. 전공에서의 제거효율을 살펴보면, 접촉산화조에서 약 89%의 제거효율을 나타내고 있었으며, 토양필터에서는 1%로 내외로 COD<sub>Cr</sub>의 제거에 기여하고 있지 못함을 알 수 있다. 그러므로 BOD<sub>5</sub>, 뿐만 아니라 COD<sub>Cr</sub> 농도의 제거효율을 높이기 위해서는 토양필터의 충전재 변경 등 토양필터의 여재선정 및 설계를 보다 정교하게 할 필요가 있다.

표 3-4-3-16 접촉산화조 및 토양필터에 의한 처리수의 COD<sub>Cr</sub> 변화

구 분		기 간		
		8/15 ~ 8/17	8/18 ~ 8/20	8/21 ~ 8/23
유입수 농도(mg/ℓ)		750	780	820
접촉산화조	처리수농도(mg/ℓ)	84	76	100
	제거율(%)	89	90	88
토양필터	처리수농도(mg/ℓ)	80	75	92
	제거율(%)	89	90	89

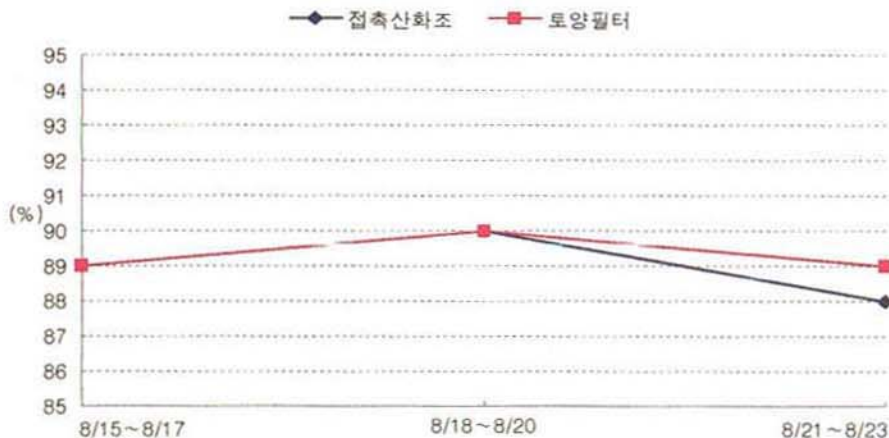


그림 3-4-3-16 접촉산화조 및 토양필터에 의한 COD<sub>Cr</sub>농도의 제거율



## 2) CODcr 제거효율

유입수의 CODcr농도는 750~820mg/ℓ이었으며, 접촉산화조를 거친 처리수의 농도는 76~100mg/ℓ로 감소되었으며, 토양필터를 거친 최종 처리수는 80~92mg/ℓ로 나타났다. 전공에서의 제거효율을 살펴보면, 접촉산화조에서 약 89%의 제거효율을 나타내고 있었으며, 토양필터에서는 1%로 내외로 CODcr의 제거에 기여하고 있지 못함을 알 수 있다. 그러므로 BOD<sub>5</sub>, 뿐만 아니라 CODcr 농도의 제거효율을 높이기 위해서는 토양필터의 충전재 변경 등 토양필터의 여재선정 및 설계를 보다 정교하게 할 필요가 있다.

표 3-4-3-16 접촉산화조 및 토양필터에 의한 처리수의 CODcr 변화

구 분		기 간		
		8/15 ~ 8/17	8/18 ~ 8/20	8/21 ~ 8/23
유입수 농도(mg/ℓ)		750	780	820
접촉산화조	처리수농도(mg/ℓ)	84	76	100
	제거율(%)	89	90	88
토양필터	처리수농도(mg/ℓ)	80	75	92
	제거율(%)	89	90	89

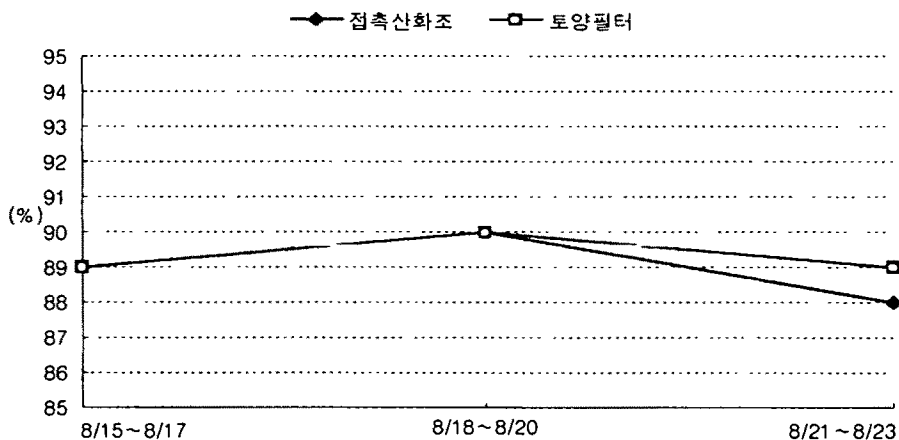


그림 3-4-3-16 접촉산화조 및 토양필터에 의한 CODcr농도의 제거율

### 3) SS 제거효율

유입수의 SS농도는 100~132mg/ℓ이었으며, 접촉산화조를 거친 처리수의 농도는 2~8mg/ℓ, 토양필터를 거친 최종 처리수는 2~6mg/ℓ로 분석되었다. 제거율을 살펴보면 접촉산화조에서 약 95% 이상의 제거율을 나타내었으나, 토양필터에서는 전공정 SS 제거율의 1%에 지나지 않아 BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Cr</sub> 과 마찬가지로 기여가 거의 없는 것으로 나타났다.

표 3-4-3-17 접촉산화조 및 토양필터에 의한 처리수의 SS변화

구 분		기 간		
		8/15 ~ 8/17	8/18 ~ 8/20	8/21 ~ 8/23
유입수 농도(mg/ℓ)		100	106	132
접촉산화조	처리수농도(mg/ℓ)	2	4	8
	제거율(%)	98	96	94
토양필터	처리수농도(mg/ℓ)	2	3	6
	제거율(%)	98	97	95

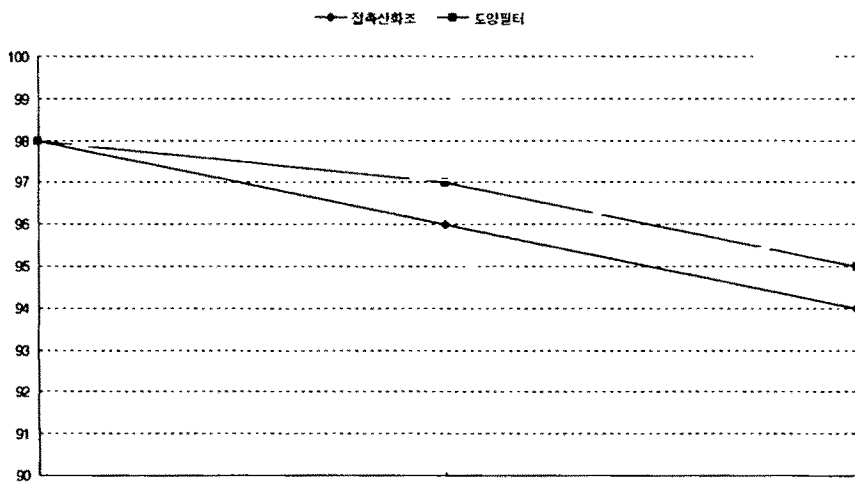


그림 3-4-3-17 접촉산화조 및 토양필터에 의한 SS농도의 제거율

#### 4) T-N 제거효율

<표 3-4-3-18>와 <그림 3-4-3-18>은 토양필터에 의한 T-N의 제거효율을 나타낸 것이다. 초기 유입수의 T-N농도는 39~56mg/ℓ이었으며, 접촉산화조를 거친 처리수의 농도는 25~35.6mg/ℓ, 토양필터를 거친 최종처리수는 15.1~32.2mg/ℓ로 분석되었다. 제거율을 살펴보면, 접촉산화조에서 약 37%, 토양필터에서 53%의 제거효율을 보였다. 따라서 T-N농도의 경우에 토양필터에 의한 전공정에 대한 제거율은 약 15%로 나타났다. 이는 BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Cr</sub>, SS에 비해서 제거율이 높게 나타났지만 크게 향상되지는 않았다. 따라서 T-N의 제거효율을 높이기 위해서 토양필터의 여재변형 등의 보완을 고려해볼 필요가 있다.

토양필터의 T-N의 제거효율은 경시적으로 저하되었다. 이는 토양필터내 유입수의 공급 변화에 따른 효율감소로 판단되므로 효율의 연속성을 위해서 토양필터의 경사도 및 유입구의 형태변형도 고려해볼 필요가 있다.

표 3-4-3-18 접촉산화조 및 토양필터에 의한 처리수의 T-N변화

구 분		기 간		
		8/15 ~ 8/17	8/18 ~ 8/20	8/21 ~ 8/23
유입수 농도(mg/ℓ)		48	39	56
접촉산화조	처리수농도(mg/ℓ)	25	28	35.6
	제거율(%)	48	28	36
토양필터	처리수농도(mg/ℓ)	15.1	20.4	32.2
	제거율(%)	68	47	40

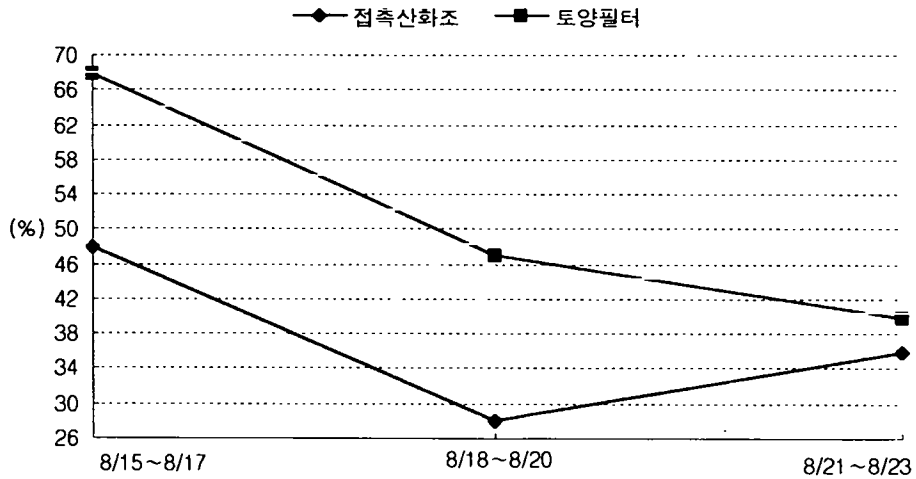


그림 3-4-3-18 접촉산화조 및 토양필터에 의한 T-N농도의 제거율

#### 5) T-P 제거효율

<표 3-4-3-19>와 <그림 3-4-3-19>는 토양필터에 의한 T-P의 제거효율을 나타낸 것이다. 초기 유입수의 T-P농도는 4.5~6.4mg/ℓ이었으며, 접촉산화조를 거친 처리수의 농도는 4.2~5.2mg/ℓ, 토양필터를 거친 최종처리수는 3.5~4.8mg/ℓ로 나타났다. 제거효율을 살펴보면 접촉산화조에서 약 15%, 토양필터에서 26%의 제거효율을 보였다. 따라서 T-P농도의 변화는 T-N의 경우와 마찬가지로 제거효율이 비교적 낮았다. 또한 토양필터에 의한 제거율은 약 11%정도로 다른 변수들에 비해 가장 제거율이 낮게 나타났다. 따라서 P화합물의 흡착을 위한 새로운 여재의 선정이 필요할 것으로 판단된다.

표 3-4-3-19 접촉산화조 및 토양필터에 의한 처리수의 T-P변화

구 분		기 간		
		8/15 ~ 8/17	8/18 ~ 8/20	8/21 ~ 8/23
유입수 농도(mg/ℓ)		5.5	4.5	6.4
접촉산화조	처리수농도(mg/ℓ)	4.2	4	5.2
	제거율(%)	24	11	19
토양필터	처리수농도(mg/ℓ)	3.8	3.5	4.8
	제거율(%)	30	22	25

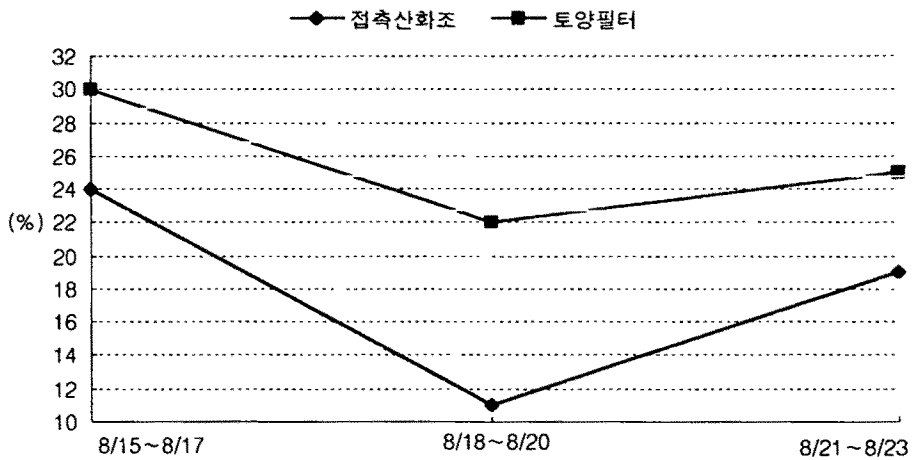


그림 3-4-3-19 접촉산화조 및 토양필터에 의한 T-P농도의 제거율

#### 다. Z균-Compost 대체물질 선정

밀폐형 퇴비화 시스템에서 처리·가공된 축분-Compost로써 Z균-Compost의 대체 가능성을 검토하기 위하여 두 재료의 물리적 특성을 비교분석하였

다. 그리고, 폭기조 상부에 각각 피복한 후, 경시별 미생물상의 변화를 관찰하였다.

### 1) Z균-Compost 와 축분-Compost 비교실험

Z균-Compost 와 축분-Compost을 각각 일반토양과 동일하게 1 : 1의 용적비로 혼합하여 두 혼합물질간의 물리적 특성을 비교분석하였다. Z균-Compost와 축분-Compost의 물리적 특성 분석결과는 <표 3-4-3-20>에 제시하였다.

표 3-4-3-20 Z균-Compost 와 축분-Compost의 물리적 특성

Media materials	Particle density (g/cm <sup>3</sup> )	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	Porosity (%)	Water content (%)	FAS (free airspace) (%)
Z균-Compost 혼합토양	2.36	0.57	75.8	14	67
축분-Compost 혼합토양	2.34	0.57	75.6	32	57

축분-Compost와 현재 시판용인 Z균-Compost를 비교분석한 결과, 두 물질간의 물리적 특성은 크게 차이를 보이지 않았으나, 축분-Compost의 함수율 32%정도, FAS(Free Air Space)는 57%로, Z균-Compost보다 함수율은 18% 정도 높게, FAS는 10% 정도 낮게 나타났다. 이는 전자는 미생물 증식에 필요한 함수율에, 후자는 통기성인 FAS에 호의적인 조건을 가지고 있었다.

### 2) Z균-Compost와 축분-Compost의 경시별 미생물상 변화

Z균-Compost와 축분-Compost의 경시별 미생물상 변화는 <표 3-4-3-21>와

같다.

표 3-4-3-21 Z균-Compost와 축분-Compost의 경시별 미생물상 변화

구 분 \ 기 간	총 미생물 수(CFU/g)				
	실험 전	실험3일 후	실험6일 후	실험9일 후	실험12일 후
Z균-Compost 혼합토양	$1.53 \times 10^7$	$1.10 \times 10^7$	$4.52 \times 10^7$	$4.78 \times 10^7$	$4.59 \times 10^7$
축분-Compost 혼합토양	$1.21 \times 10^7$	$3.84 \times 10^8$	$2.41 \times 10^7$	$4.20 \times 10^7$	$4.25 \times 10^7$

두 재료 모두 미생물의 총수가 전실험기간 동안 order of ( $10^7$ )을 나타내어 현저한 차를 관찰할 수가 없었다. Z균-Compost와 축분-Compost의 미생물 서식밀도는 전실험기간 동안 경시적으로 계속 증가되는 경향을 관찰할 수 있었으며, 실험종료시(실험시작 12일후)에는 Z균-Compost와 축분-Compost 미생물총수가 각각  $4.59 \times 10^7$ ,  $4.25 \times 10^7$ 로 거의 차이가 없었다.

따라서 Z균-Compost와 축분-Compost간의 물리적 성상 뿐만 아니라 미생물의 서식밀도에서도 거의 차이를 관찰할 수 없었으므로 피복재인 Z균-Compost를 이용할 경우, 기능성은 떨어지지 않으면서 경제적 부담을 덜 수 있으므로 대체재료로서 가능하다고 판단된다.

### 3) 축분-Compost의 통기율 제고실험

축분-Compost의 통기율제고를 위해 왕겨혼입이 혼합토양의 통기성에 미치는 영향을 실험하였다. 100ml의 비이커를 사용하여 축분-Compost와 일반토양을 2 : 4의 용적비로 혼합한 것을 대조구로 하고, 축분-Compost와 왕겨 및 일반토양을 2 : 1 : 3의 용적비로 혼합한 토양을 실험구로 하여 각각의 물리

적 특성을 분석한 결과는 <표 3-4-3-22>와 같다.

표 3-4-3-22 축분-Compost 및 축분-Compost·왕겨 혼합토양 물리적 특성

Media materials	Particle density (g/cm <sup>3</sup> )	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	Porosity (%)	Water content (%)	FAS (free airspace) (%)
축분-Compost 혼합토양	2.14	0.77	64	6.5	59
축분-Compost 및 왕겨혼합토양	2.15	0.7	67	7.5	62

축분-Compost+일반토양과 축분-Compost+왕겨+일반토양의 다공성을 검정하는 입자밀도(particle density)는 각각 2.14, 2.15g/cm<sup>3</sup> 이었으며, 흡수능력을 검정하는 부피밀도(bulk density)는 각각 0.77, 0.7g/cm<sup>3</sup>로 분석되어 왕겨혼입에 의한 혼합토양의 입자밀도와 부피밀도의 유의성을 관찰할 수 있었다. 예 측한대로 왕겨혼입토양의 공극률(porosity)과 FAS는 각각 67%,62%로 그렇지 않는 토양의 64%, 59%보다 약 3% 정도 높게 나타났다.

#### 4) Z균-Compost를 혼합피복한 토양필터 효율 검증

토양으로 피복된 토양필터의 경우 피복토양의 물리화학적 성상이 토양필터의 효율에 직접적인 영향을 줄 수 있으므로 현재 많이 이용되고 있는 Z균-Compost를 일반토양에 혼합하여 피복한 토양필터의 경우 오염부하량의 제거효율을 관찰하였다. 그 결과 <표 3-4-3-23>, <그림 3-4-3-20>과 같다.



표 3-4-3-23 Z균-Compost를 혼합피복한 토양필터에 의한 오염물질의 변화 및 제거효율

구분 항목	8/15~8/17			8/18~8/20			8/21~8/23		
	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)
BOD <sub>5</sub>	130	2	98	145	2	98	195	7	96
COD <sub>Cr</sub>	750	80	89	780	75	90	820	92	89
SS	100	2	98	106	3	97	132	6	95
T-N	48	15.1	68	39	20.4	47	56	33.2	40
T-P	5.5	3.8	30	4.5	3.5	22	6.4	4.8	25

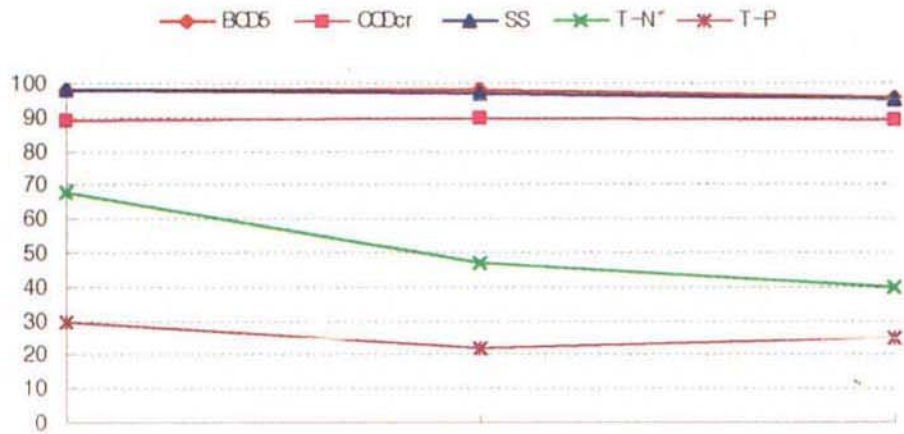


그림 3-4-3-20 Z균 Compost를 혼합피복한 토양필터에 의한 오염물질의 변화 및 제거효율

### 5) 축분-Compost를 혼합피복한 토양필터 효율 검증

Z균-Compost의 수입에 따른 여러 가지 문제점을 해결하고자 대체재료로서 축분-Compost를 일반토양에 혼합하여 피복한 토양필터의 경우 오염부하량의 제거효율을 관찰하였다. 그 결과 <표 3-4-3-24>, <그림 3-4-3-21>과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

표 3-4-3-23 Z균-Compost를 혼합피복한 토양필터에 의한 오염물질의 변화 및 제거효율

구분 항목	8/15~8/17			8/18~8/20			8/21~8/23		
	평균 유입수 (mg/ℓ)	처리수 (mg/ℓ)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/ℓ)	처리수 (mg/ℓ)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/ℓ)	처리수 (mg/ℓ)	제거율 (%)
BOD <sub>5</sub>	130	2	98	145	2	98	195	7	96
COD <sub>Cr</sub>	750	80	89	780	75	90	820	92	89
SS	100	2	98	106	3	97	132	6	95
T-N	48	15.1	68	39	20.4	47	56	33.2	40
T-P	5.5	3.8	30	4.5	3.5	22	6.4	4.8	25

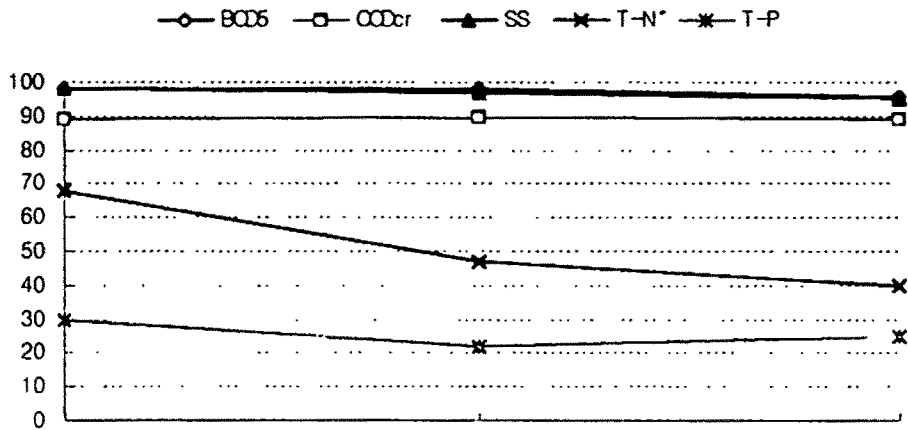


그림 3-4-3-20 Z균 Compost를 혼합피복한 토양필터에 의한 오염물질의 변화 및 제거효율

### 5) 축분-Compost를 혼합피복한 토양필터 효율 검증

Z균-Compost의 수입에 따른 여러 가지 문제점을 해결하고자 대체재료로서 축분-Compost를 일반토양에 혼합하여 피복한 토양필터의 경우 오염부하량의 제거효율을 관찰하였다. 그 결과 <표 3-4-3-24>, <그림 3-4-3-21>과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

표 3-4-3-24 축분-Compost를 혼합피복한 토양필터에 의한 오염부하량의 변화 및 제거율

구분 항목	8/31~9/2			9/3~9/5			9/6~9/8		
	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)
BOD <sub>5</sub>	80	2	98	124	5	96	183	8	95
COD <sub>Cr</sub>	832	92	90	789	81	89	785	97	87
SS	102	8	92	98	5	95	104	7	93
T-N	50	18.2	63	47.5	20.4	57	48.5	25	48
T-P	-6	4.1	32	7.3	5.6	23	5.1	3.8	25

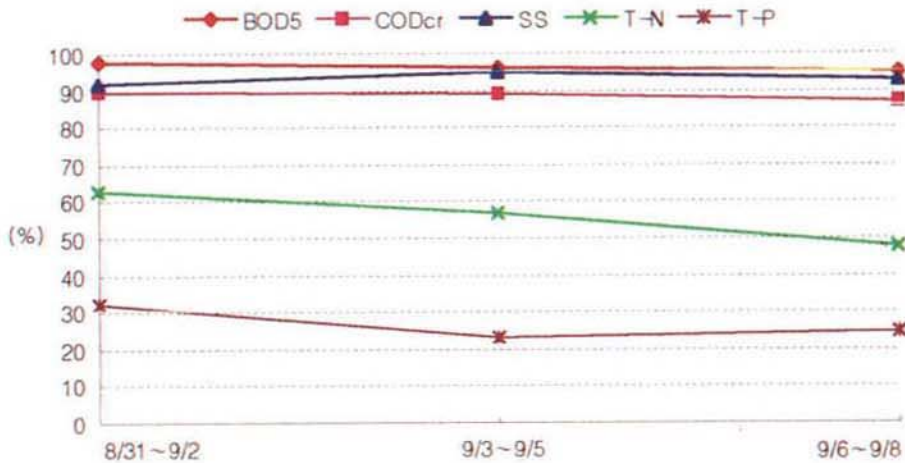


그림 3-4-3-21 Z균 Compost를 혼합피복한 토양필터에 의한 오염물질의 변화 및 제거효율

BOD<sub>5</sub>의 제거효율은 Z균-Compost가 97%, 축분-Compost의 경우 96%를 나타냈으며, COD<sub>Cr</sub>의 경우 각각 공히 89%, SS는 약96%, 94%, T-N은 53%, 56%, T-P는 26%, 27%의 제거효율을 보였다. 이와 같이 두 혼합재료를 토양 피복한 경우 오염물질 제거효율의 차이가 없음이 관찰되었다. 앞서서도 언급 하였듯이 Z균-Compost의 대체재로서 축분-Compost의 사용이 가능함을 확인

표 3-4-3-24 축분-Compost를 혼합피복한 토양필터에 의한 오염부하량의변화 및 제거율

구분 항목	8/31~9/2			9/3~9/5			9/6~9/8		
	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)	평균 유입수 (mg/l)	처리수 (mg/l)	제거율 (%)
BOD <sub>5</sub>	80	2	98	124	5	96	183	8	95
COD <sub>Cr</sub>	832	92	90	789	81	89	785	97	87
SS	102	8	92	98	5	95	104	7	93
T-N	50	18.2	63	47.5	20.4	57	48.5	25	48
T-P	-6	4.1	32	7.3	5.6	23	5.1	3.8	25

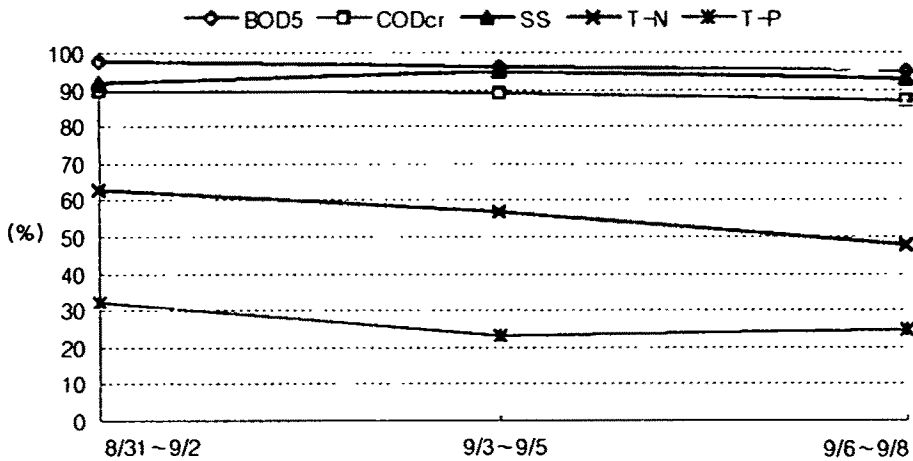


그림 3-4-3-21 Z균 Compost를 혼합피복한 토양필터에 의한 오염물질의 변화 및 제거효율

BOD<sub>5</sub>의 제거효율은 Z균-Compost가 97%, 축분-Compost의 경우 96%를 나타냈으며, COD<sub>Cr</sub>의 경우 각각 공히 89%, SS는 약 96%, 94%, T-N은 53%, 56%, T-P는 26%, 27%의 제거효율을 보였다. 이와 같이 두 혼합재료를 토양 피복한 경우 오염물질 제거효율의 차이가 없음이 관찰되었다. 앞서서도 언급 하였듯이 Z균-Compost의 대체재로서 축분-Compost의 사용이 가능함을 확인

하였다. Z균-Compost의 수입에 따른 경제적인 부담을 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 최근 가축분뇨오수의 처리에 따른 생산물의 부차적인 이익도 얻을 수 있다고 판단된다.

## 라. 현장실험

### 1) 토양피복형 접촉산화시스템 효율

앞 절의 실내 모형실험을 기초자료로 현재 시공되어 있는 토양피복형 접촉산화시스템을 처리공정의 개선, 토양필터의 변형한 후 효율검증 실험을 수행하였다.

#### 가) BOD<sub>5</sub>제거율

앞 장의 실험방법에서 언급하였듯이 현장의 기존 토양피복형 접촉산화시스템의 일부 침전조와 여과조를 변형시켜 운전한 결과 처리수의 BOD<sub>5</sub>농도의 변화는 <표 3-4-3-25>, <그림 3-4-3-22>와 같은 결과를 얻었다.

표 3-4-3-25 접촉산화조의 처리수 BOD<sub>5</sub>변화 및 제거율

구 분	개 선 전	개 선 후				
		8/15~8/17	8/18~8/20	8/21~8/23	8/24~8/26	8/27~8/29
유입수 농도 (mg/l)	100	95	130	158	173	238
처리수 농도 (mg/l)	31	23	14	20	15	18
제거율(%)	69	76	89	87	91	93

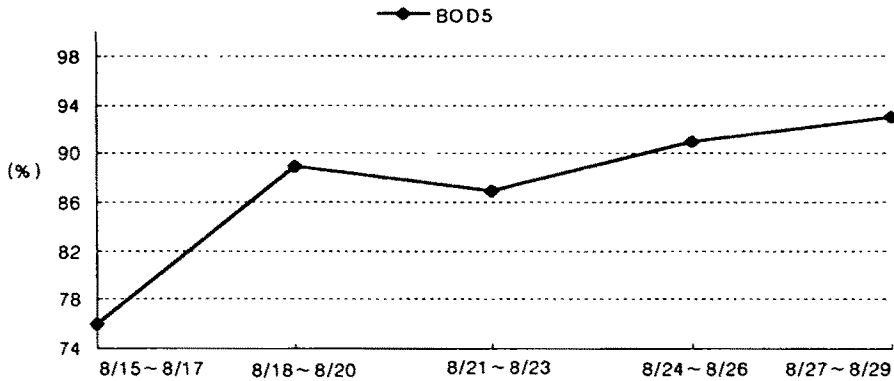


그림 3-4-3-22 경시별 접촉산화조의 처리수 BOD<sub>5</sub>제거율

1차년도 토양피복형 접촉산화시스템의 전공정을 폭기조1→폭기조2→침전조→여과조으로 구성하고 폭기조에 조개껍질을 충전한 개선전의 접촉산화시스템의 효율을 보면, 유입수 BOD<sub>5</sub>농도를 100mg/ℓ로 유입하였을 때, 처리수의 농도가 56mg/ℓ로써 69%의 유기물제거효율을 보였다. 그러나 3차년도 연구에서는 이의 공정을 최초침전조→폭기조1→폭기조2→최종침전조로 개선시킨 공정과 폭기조내의 상자형 LP혼합여재(lock+plastic ring media)를 충전시킨 개선후의 효율을 보면, 유입수 BOD<sub>5</sub>농도를 95~238mg/ℓ로 하여 유입시켰을 때, 처리수의 농도가 14~23mg/ℓ 정도로 관찰되어, 76~93%의 제거효율을 보여 공정 재구성에 따른 효율제고는 약 15% 이상으로 나타났다.

#### 나) SS 제거효율

현장의 기존 토양피복형 접촉산화시스템의 일부 침전조와 여과조를 변형시켜 운전한 결과 처리수의 SS농도의 변화는 <표 3-4-3-26>, <그림 3-4-3-23>와 같은 결과를 얻었다.

표 3-4-3-26 접촉산화조의 처리수 SS 변화 및 제거율

구분	개선 전	개 선 후				
		8/15~8/17	8/18~8/20	8/21~8/23	8/24~8/26	8/27~8/29
유입수 농도 (mg/ℓ)	1429	95	85	84	164	168
처리수 농도 (mg/ℓ)	62	8	12	2	2	6
제거율(%)	93	92	86	98	98	96

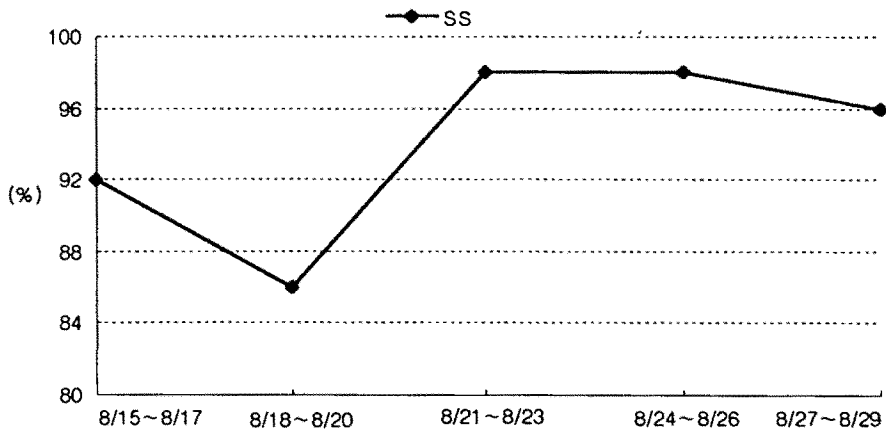


그림 3-4-3-23 경시별 접촉산화조의 처리수 SS 제거율

前공정시스템에서는 SS농도 1429mg/ℓ의 원수가 유입되었을 때 처리수의 농도는 62mg/ℓ으로 93%의 제거효율을 보였으며, 공정 재구성후 유입 SS 농도가 84~168mg/ℓ일 때, 처리수의 농도는 2~12mg/ℓ 정도로 나타나 8

6~98%의 제거효율을 보였다. 따라서 공정 재구성에 따른 효율증가는 5%이상으로 분석되었다. 이러한 효율제고는 일차적으로 여재의 일부를 오염물질 제거효율이 높은 lock media로 대체하여 증진시킨 결과로 판단되며, 이차적으로 공정의 재구성이 제거효율제고에 일조한 것으로 이해된다. 그러므로 본 연구에 의한 접촉산화시스템의 효율증진실험은 기존의 농가오폐수의 처리에 적용된 개선전의 실험에 비해서 개선후의 실험결과는 현저하게 효율이 증가한 것을 알 수 있다. 따라서 본 시스템을 현장적용하는데 있어서, 오염부하량의 측면에서 충분히 효과적이라 할 수 있다.

## 2) 토양식 필터의 1차 개선 효율 증진실험

앞 절의 실내실험을 배경으로 토양필터의 효율 제고를 위해서 여재의 변경 및 교환 후 현장에서 토양필터를 변형한 후의 효율을 검증하였다.

### 가) BOD<sub>5</sub>제거율

앞장의 실험방법에서 <그림 3-4-2-15>에서와 같이 상부에서부터 토양피복, 모관망, 쇄석, 그린탄소, 소나무목편의 순서로 충전한 후 토양필터시스템을 가동한 후 처리수의 BOD<sub>5</sub>농도의 변화는 <표 3-4-3-27>, <그림 3-4-3-24>와 같은 결과를 얻었다. BOD<sub>5</sub> 95~238mg/ℓ의 오수를 유입하였을 때, 접촉산화조를 거친 처리수의 농도는 14~23mg/ℓ로, 토양필터를 거친 최종처리수는 5~35g/ℓ로 나타났으며, 이를 제거효율로 표현하면, 접촉산화조에서 76~93%, 토양필터에서는 최대 9.7%를 나타내었다. 그러나 앞에서도 서술하였지만, 토양필터를 거치면서 오히려 BOD<sub>5</sub>의 농도가 증가하는 경우도 있어 이는 침전슬러지의 유입이나 시료채취중 토양입자의 유입 등을 이유로 생각할



표 3-4-3-27 접촉산화조 및 토양필터의 유입수,처리수 BOD<sub>5</sub>변화 및 제거율

구분		기간				
		8/15~8/17	8/18~8/20	8/21~8/23	8/24~8/26	8/27~8/29
유입수 농도(mg/ℓ)		95	130	158	173	238
접촉산화조	처리수농도(mg/ℓ)	23	14	20	15	18
	제거율(%)	76	89	87	91	93
토양필터	처리수농도(mg/ℓ)	19	5	18	18	35
	제거율(%)	80	96	89	90	85

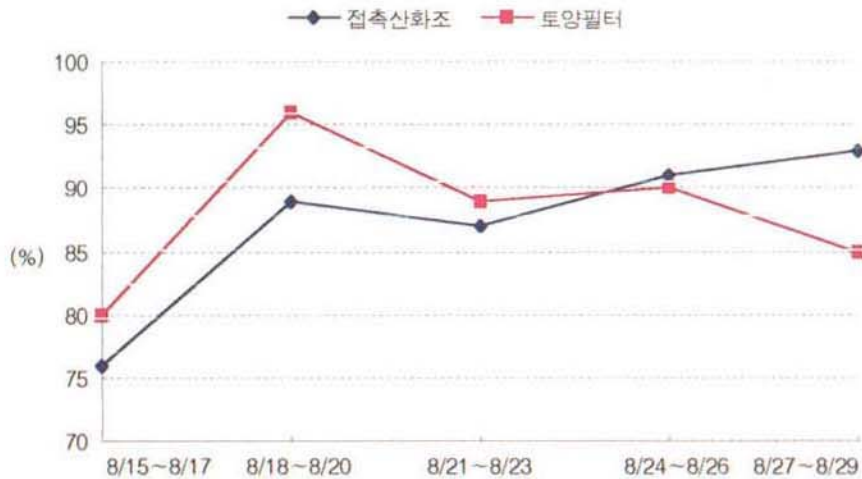


그림 3-4-3-24 접촉산화조 및 토양필터의 유입수, 처리수 BOD<sub>5</sub>제거율

수 있다. 이러한 제거효율은 실내실험의 결과의 33%보다 약간 낮은 수준이며, 이는 실내실험과 현장 원형실험간의 유사성(similarity) 적용의 문제에 기인한 듯하다. 즉, 실내모형과 원형시스템간에 동적(dynamic), 역학적(kinematic), 기하학적(geometric) 유사성이 일관되게 적용되어야 하나, 현실적

표 3-4-3-27 접촉산화조 및 토양필터의 유입수, 처리수 BOD<sub>5</sub> 변화 및 제거율

구분		기간				
		8/15~8/17	8/18~8/20	8/21~8/23	8/24~8/26	8/27~8/29
유입수 농도(mg/ℓ)		95	130	158	173	238
접촉산화조	처리수농도(mg/ℓ)	23	14	20	15	18
	제거율(%)	76	89	87	91	93
토양필터	처리수농도(mg/ℓ)	19	5	18	18	35
	제거율(%)	80	96	89	90	85

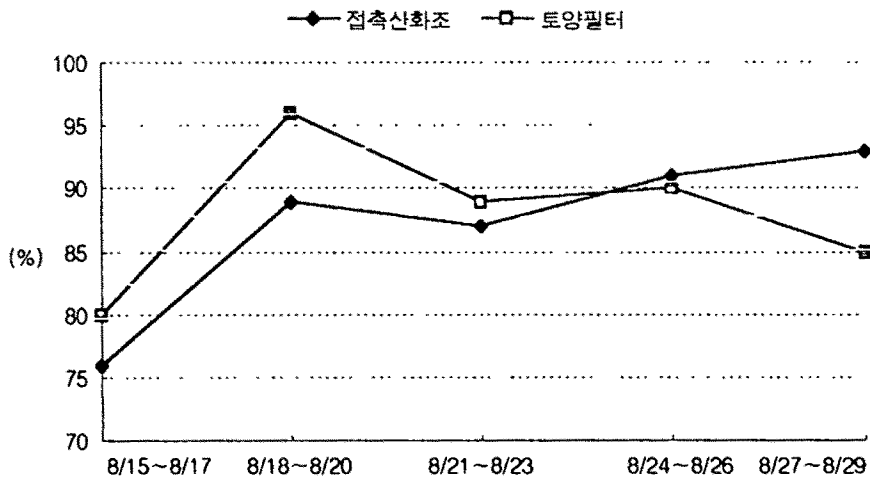


그림 3-4-3-24 접촉산화조 및 토양필터의 유입수, 처리수 BOD<sub>5</sub> 제거율

수 있다. 이러한 제거효율은 실내실험의 결과의 33%보다 약간 낮은 수준이며, 이는 실내실험과 현장 원형실험간의 유사성(similarity) 적용의 문제에 기인한 듯하다. 즉, 실내모형과 원형시스템간에 동적(dynamic), 역학적(kinematic), 기하학적(geometric) 유사성이 일관되게 적용되어야 하나, 현실적

으로 현장적용을 하면서 이런 유사성 비의 일관성이 적용되지 못하므로써 나타난 결과로 유추된다. 여기서도 실내실험의 결과와 마찬가지로 시간이 경과함에 따라 토양필터의 경우 효율이 증가하다가 어떤 시점에 이르러 최종처리수의 BOD<sub>5</sub> 35mg/ℓ로 나타나 오히려 증가함을 알 수 있었다. 이는 실내실험의 결과와 마찬가지로 판단되므로 토양필터의 설계에 있어서는 운전조건을 고려하여 유입수의 가변화가 필요할 것으로 판단된다.

### 나) COD<sub>Cr</sub> 제거효율

앞장의 실험방법에서 <그림 3-4-2-15>에서와 같이 상부에서부터 토양피복, 모관망, 쇠석, 그린탄소, 소나무목편의 순서로 충전한 후 토양필터시스템을 가동한 후 처리수의 COD<sub>Cr</sub>농도의 변화는 <표 3-4-3-28>, <그림 3-4-3-25>와 같은 결과를 얻었다.

유입수의 COD<sub>Cr</sub>농도는 1300~3360mg/ℓ이었으며, 접촉산화조를 거친 처리수의 농도는 165~350mg/ℓ로 나타났으며, 토양필터를 거친 최종처리수는 150~327mg/ℓ로 나타났다. 접촉산화조와 토양필터의 전공정에서 제거효율을 보면, 평균 90%의 제거효율을 나타내고 있었다. 접촉산화조와 토양필터의

표 3-4-3-28 접촉산화조 및 토양필터의 유입수,처리수 COD<sub>Cr</sub>변화 및 제거율

구분		기간				
		8/15~8/17	8/18~8/20	8/21~8/23	8/24~8/26	8/27~8/29
유입수 농도(mg/ℓ)		1360	1300	1800	2710	3360
접촉 산화조	처리수농도(mg/ℓ)	165	350	264	280	250
	제거율(%)	88	73	85	90	93
토양 필터	처리수농도(mg/ℓ)	54	150	282	300	327
	제거율(%)	96	88	84	89	90



그림 3-4-3-25 접촉산화조 및 토양필터의 유입수, 처리수 CODcr 제거율

각각의 제거효율을 비교해 보면, 접촉산화조에서는 75~93%로 나타났으며, 토양필터에서는 전실험기간 동안 제거효율이 1%에도 미치지 못하였다. 그러므로 토양필터 공정을 아예 없애거나, 유지할 경우라도 대체충진재 또는 근원적인 토양필터의 재설계 등이 필요할 것으로 판단된다.

#### 다) SS 제거효율

앞장의 실험방법에서 <그림 3-4-2-15>에서와 같이 상부에서부터 토양피복 모관망, 쇠석, 그린탄소, 소나무목편의 순서로 충전한 후 토양필터시스템을 가동한 후 처리수의 SS농도의 변화는 <표 3-4-3-29>, <그림 3-4-3-26>과 같은 결과를 얻었다.

유입수의 SS농도는 84~168mg/ℓ이었으며, 접촉산화조를 거친 처리수의 농도는 2~12mg/ℓ로, 토양필터를 거친 최종 처리수는 5~14mg/ℓ로 나타났다. 접촉산화조 공정의 제거효율은 평균 92%에 이르나 토양필터 공정에서

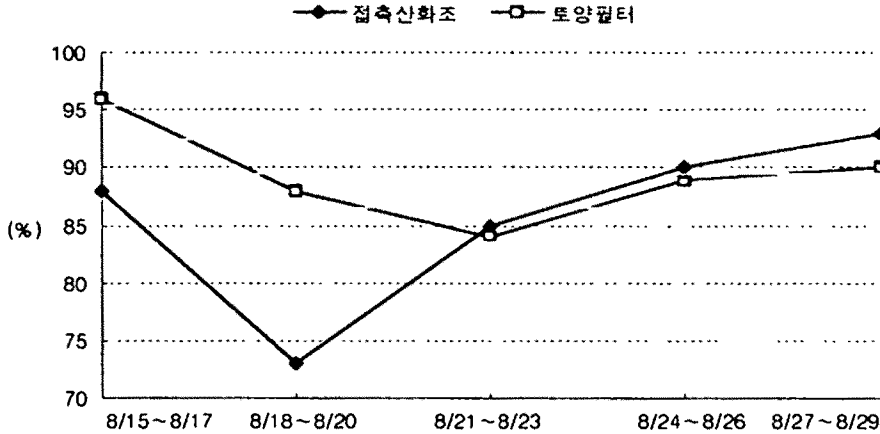


그림 3-4-3-25 접촉산화조 및 토양필터의 유입수, 처리수 CODcr제거율

각각의 제거효율을 비교해 보면, 접촉산화조에서는 75~93%로 나타났으며, 토양필터에서는 전실험기간 동안 제거효율이 1%에도 미치지 못하였다. 그러므로 토양필터 공정을 아예 없애거나, 유지할 경우라도 대체충진재 또는 근원적인 토양필터의 재설계 등이 필요할 것으로 판단된다.

#### 다) SS 제거효율

앞장의 실험방법에서 <그림 3-4-2-15>에서와 같이 상부에서부터 토양피복 모관망, 쇠석, 그린탄소, 소나무목편의 순서로 충전한 후 토양필터시스템을 가동한 후 처리수의 SS농도의 변화는 <표 3-4-3-29>, <그림 3-4-3-26>과 같은 결과를 얻었다.

유입수의 SS농도는 84~168mg/ℓ이었으며, 접촉산화조를 거친 처리수의 농도는 2~12mg/ℓ로, 토양필터를 거친 최종 처리수는 5~14mg/ℓ로 나타났다. 접촉산화조 공정의 제거효율은 평균 92%에 이르나 토양필터 공정에서

는 오히려 높아져 이는 BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Cr</sub>에서 언급된 유기물의 유입이 원인인 듯하다.

표 3-4-3-29 접촉산화조 및 토양필터의 유입수, 처리수 SS 변화 및 제거율

구분		기간				
		8/15~8/17	8/18~8/20	8/21~8/23	8/24~8/26	8/27~8/29
유입수 농도(mg/l)		95	85	84	164	168
접촉산화조	처리수농도(mg/l)	8	12	2	2	6
	제거율(%)	92	86	98	98	96
토양필터	처리수농도(mg/l)	5	10	7	11	14
	제거율(%)	95	88	92	95	92

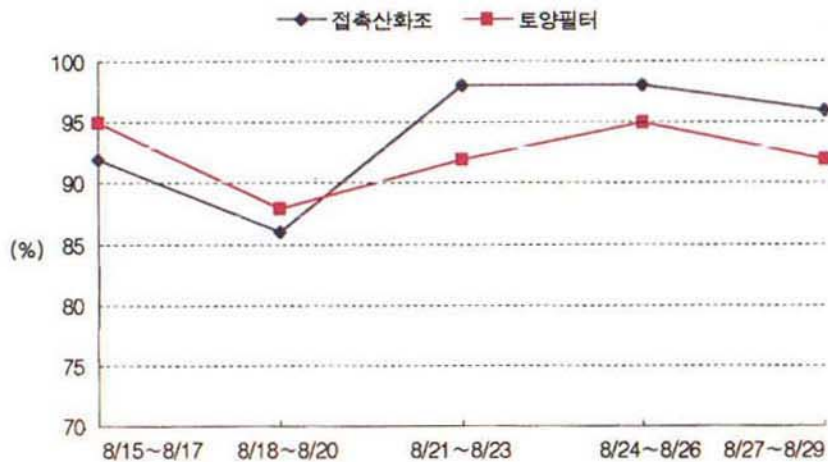


그림 3-4-3-26 접촉산화조 및 토양필터의 유입수, 처리수의 SS제거율

는 오히려 높아져 이는 BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Cr</sub>에서 언급된 유기물의 유입이 원인인 듯하다.

표 3-4-3-29 접촉산화조 및 토양필터의 유입수, 처리수 SS 변화 및 제거율

구분		기간				
		8/15~8/17	8/18~8/20	8/21~8/23	8/24~8/26	8/27~8/29
유입수 농도(mg/ℓ)		95	85	84	164	168
접촉산화조	처리수농도(mg/ℓ)	8	12	2	2	6
	제거율(%)	92	86	98	98	96
토양필터	처리수농도(mg/ℓ)	5	10	7	11	14
	제거율(%)	95	88	92	95	92

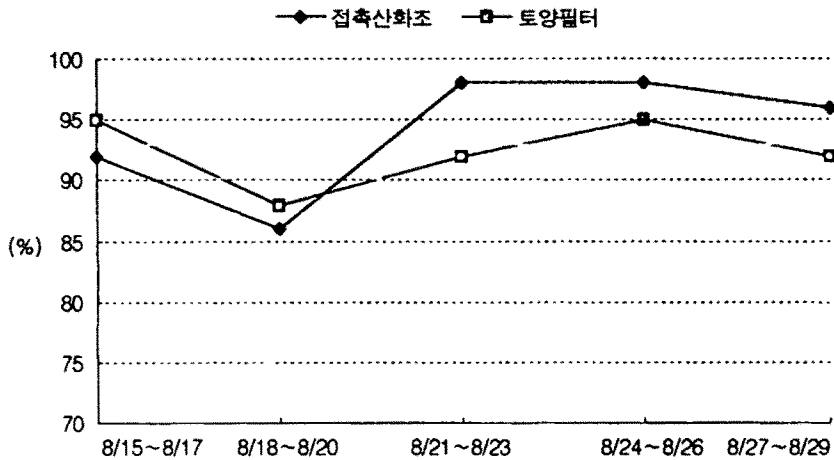


그림 3-4-3-26 접촉산화조 및 토양필터의 유입수, 처리수의 SS제거율

라) T-N 제거효율

토양필터의 상부에서부터 토양피복, 모관망, 쇠석, 그린탄소, 소나무목편의 순서로 충전한 후 토양필터시스템을 가동한 후 처리수의 T-N농도의 변화는 <표 3-4-3-30>, <그림 3-4-3-27>과 같은 결과를 얻었다.

유입수의 T-N농도는 87~145mg/ℓ이었으며, 접촉산화조를 거친 처리수의 농도는 43.8~102mg/ℓ로 나타났으며, 그 후 토양필터를 거친 최종처리수는 27.2~98.7mg/ℓ로 나타났다. 제거효율을 보면, 접촉산화조에서 약 40%, 토양필터에서 약 46%정도의 제거효율을 보였다. 따라서 T-N농도의 경우에 토양필터에 의한 제거효율은 약 5%정도로 나타났다. 이는 BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Cr</sub>에 비해서 제거효율이 높게 나타났지만 효과적인 처리라고 보기에는 최종유출수의 농도가 높다. 따라서 T-N의 제거효율을 높이기 위해서 토양필터의 여재변형 등의 보완을 고려해볼 필요가 있다.

표 3-4-3-30 접촉산화조 및 토양필터의 유입수, 처리수 T-N 변화 및 제거율

구분		기간				
		8/15~8/17	8/18~8/20	8/21~8/23	8/24~8/26	8/27~8/29
유입수 농도(mg/ℓ)		87.6	87.3	125	145	131
접촉산화조	처리수농도(mg/ℓ)	43.8	49	83.5	77.8	102
	제거율(%)	50	44	33	46	22
토양필터	처리수농도(mg/ℓ)	27.2	48.2	70.3	74.3	98.7
	제거율(%)	69	45	44	49	25



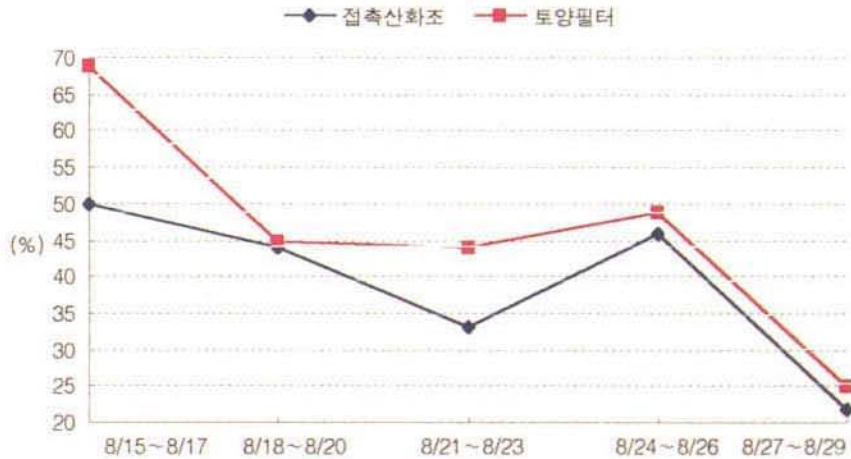


그림 3-4-3-27 접촉산화조 및 토양필터의 유입수, 처리수 T-N제거율

#### 마) T-P 제거효율

토양필터의 상부에서 부터 토양피복, 모관망, 쇠석, 그린탄소, 소나무목편의 순서로 충전한 후 토양필터시스템을 가동한 후 처리수의 T-P농도의 변화는 <표 3-4-3-31>, <그림 3-4-3-28>과 같은 결과를 얻었다.

표 3-4-3-31 접촉산화조 및 토양필터의 유입수, 처리수 T-P 변화 및 제거율

구분		기간				
		8/15~8/17	8/18~8/20	8/21~8/23	8/24~8/26	8/27~8/29
유입수 농도(mg/l)		10.1	14	10.3	11	16.2
접촉산화조	처리수농도(mg/l)	5.1	8.6	8	8.5	9.8
	제거율(%)	50	39	22	23	40
토양필터	처리수농도(mg/l)	4.2	6.5	6.9	6.3	7.5
	제거율(%)	58	53	33	43	53

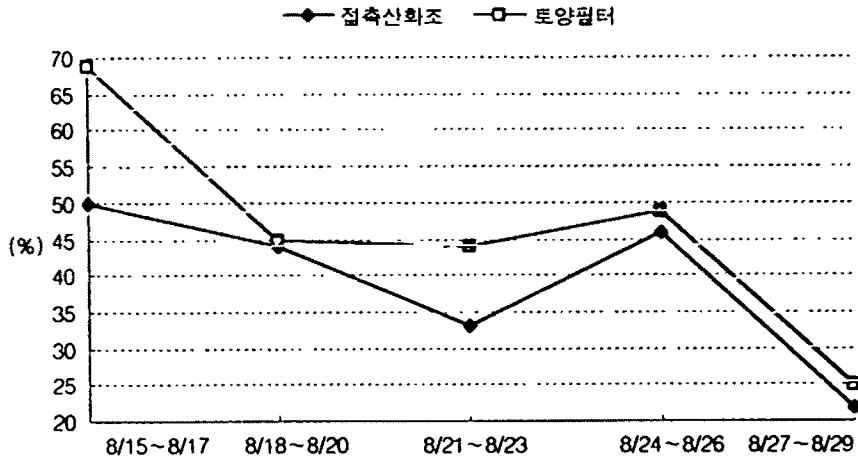


그림 3-4-3-27 집축산화조 및 토양필터의 유입수, 처리수 T-N제거율

#### 마) T-P 제거효율

토양필터의 상부에서 부터 토양피복, 모관망, 쇠석, 그린탄소, 소나무목편의 순서로 충전한 후 토양필터시스템을 가동한 후 처리수의 T-P농도의 변화는 <표 3-4-3-31>, <그림 3-4-3-28>과 같은 결과를 얻었다.

표 3-4-3-31 집축산화조 및 토양필터의 유입수, 처리수 T-P 변화 및 제거율

구분		기간				
		8/15~8/17	8/18~8/20	8/21~8/23	8/24~8/26	8/27~8/29
유입수 농도(mg/l)		10.1	14	10.3	11	16.2
집축산화조	처리수농도(mg/l)	5.1	8.6	8	8.5	9.8
	제거율(%)	50	39	22	23	40
토양필터	처리수농도(mg/l)	4.2	6.5	6.9	6.3	7.5
	제거율(%)	58	53	33	43	53

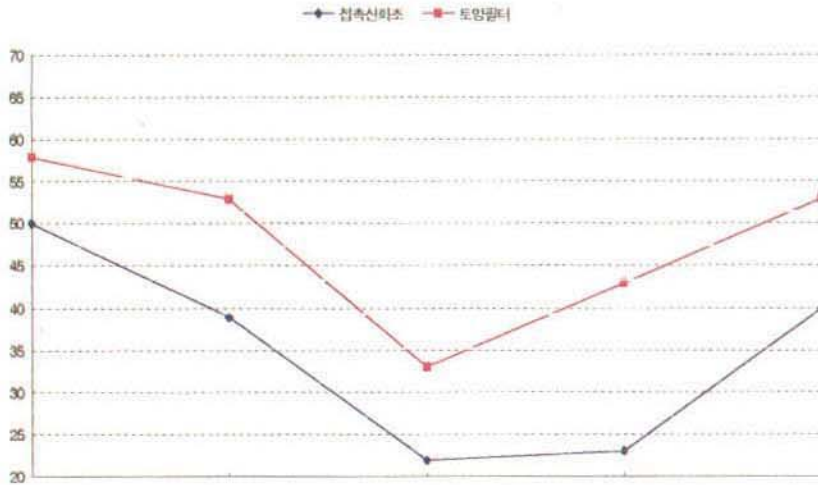


그림 3-4-3-28 접촉산화조 및 토양필터의 유입수, 처리수 T-P제거율

유입수의 T-P농도는 10.1~16.2mg/ℓ이었으며, 접촉산화조를 거친 처리수의 농도는 5.1~9.8mg/ℓ로 나타났으며, 그 후 토양필터를 거친 최종처리수는 4.2~7.5mg/ℓ로 나타났다. 제거율에서 살펴보면 접촉산화조에서 약 22~50%의 제거율을 나타내고 있었으며, 토양필터에서 33~58%정도의 제거율을 보였다. 따라서 T-P농도 변화는 T-N의 경우와 비교해서 살펴보면 큰 차이가 없으나, 토양필터의 제거율측면에서 살펴보면 T-P의 제거율이 약간 높은 것을 알 수 있다. 그러나 초기유입수의 T-P농도가 매우 낮기 때문에 상대적인 비교는 어렵다고 판단되며, 오염부하량이 상대적으로 높은 수준에서의 처리효율의 검증이 필요할 것으로 생각된다.

### 3) 토양식 필터의 2차 개선 효율증진실험

상부로부터 쇄석, 그린탄소, 소나무목편 층으로 증진하여 실험한 前토양

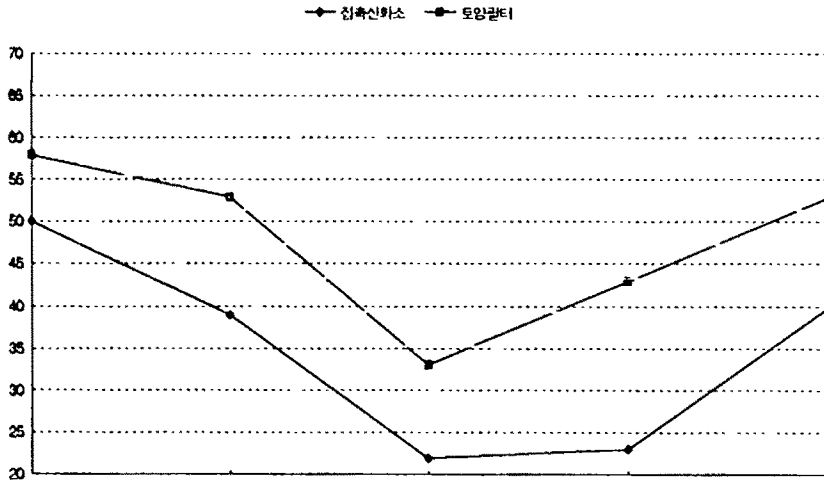


그림 3-4-3-28 집축산화조 및 토양필터의 유입수, 처리수 T-P제거율

유입수의 T-P농도는 10.1~16.2mg/ℓ이었으며, 집축산화조를 거친 처리수의 농도는 5.1~9.8mg/ℓ로 나타났으며, 그 후 토양필터를 거친 최종처리수는 4.2~7.5mg/ℓ로 나타났다. 제거율에서 살펴보면 집축산화조에서 약 22~50%의 제거율을 나타내고 있었으며, 토양필터에서 33~58%정도의 제거율을 보였다. 따라서 T-P농도 변화는 T-N의 경우와 비교해서 살펴보면 큰 차이가 없으나, 토양필터의 제거율측면에서 살펴보면 T-P의 제거율이 약간 높은 것을 알 수 있다. 그러나 초기유입수의 T-P농도가 매우 낮기 때문에 상대적인 비교는 어렵다고 판단되며, 오염부하량이 상대적으로 높은 수준에서의 처리효율의 검증이 필요할 것으로 생각된다.

### 3) 토양식 필터의 2차 개선 효율증진실험

상부로부터 쇄석, 그린탄소, 소나무목편 층으로 충전하여 실험한 前토양

필터는 실내 및 현장실험의 처리수의 BOD<sub>5</sub>, COD<sub>cr</sub>, SS의 농도가 주처리공정인 접촉산화조의 처리수보다 높아 오히려 수질이 악화되어 배출되는 현상을 보였다. 그러므로 이를 개선하기 위하여 토양필터 상부로부터 kureharon lock 과 쇄석과 잔자갈층 순으로 충전하였으며, 주 처리공정시스템의 접촉산화조에서 1차처리된 처리수의 BOD<sub>5</sub> 농도를 50mg/ℓ 이하의 처리수를 분당 500ml로 토양필터내로 유입시켰다. 다음의 <표 3-4-3-32>, <그림 3-4-3-29>는 토양필터를 재설계하여 효율개선 실험의 결과이다.

표 3-4-3-32 토양필터의 유입수, 처리수 오염물질 변화 및 제거효율

구분 항목	10월 21일			10월 22일			10월 23일			10월 24일			10월 25일		
	유입수 mg/ℓ	처리수 mg/ℓ	제거효율 %	유입수 mg/ℓ	처리수 mg/ℓ	제거효율 %	유입수 mg/ℓ	처리수 mg/ℓ	제거효율 %	유입수 mg/ℓ	처리수 mg/ℓ	제거효율 %	유입수 mg/ℓ	처리수 mg/ℓ	제거효율 %
BOD <sub>5</sub>	52	20	62	47	20	58	42	16	62	46	17	63	48	15	69
COD <sub>cr</sub>	400	115	71	350	115	67	350	72	79	350	78	78	400	85	79
SS	26	12	54	27	9	66	23	8	65	24	7	70	41	12	70
T-N	8.2	7	15	8.6	7.1	17	11.3	9.5	16	8.2	6.8	17	9	7.5	17
T-P	35.4	27.7	22	30	23	23	30.4	20.4	32	32	21.2	34	34.2	22.5	34

유입수의 BOD<sub>5</sub>농도는 42~52mg/ℓ 이었으며, 토양필터를 거친 처리수는 15~20mg/ℓ 로 나타나, 제거효율이 현저하게 개선되었다. 또한 시간이 경과하면서 제거효율도 증가하여 62, 63, 69%로 매일 1~6%의 증가가 관찰되었다. 이는 상부피복토양과 오수면 사이에 lock media를 충전하여 상부토양과 오수간의 생물막이 형성되어 시간의 변화에 따라 미생물의 부착이 증가된 것으로 판단된다. COD<sub>cr</sub>의 경우, 유입수의 농도가 350~400mg/ℓ 이었으며, 토양필터를 거친 처리수는 72~115mg/ℓ 로 나타났다. 제거효율은 67~79%수준으로 나타났다. COD<sub>cr</sub>도 BOD<sub>5</sub>와 마찬가지로 시간이 경과하면서 효율이 더 좋

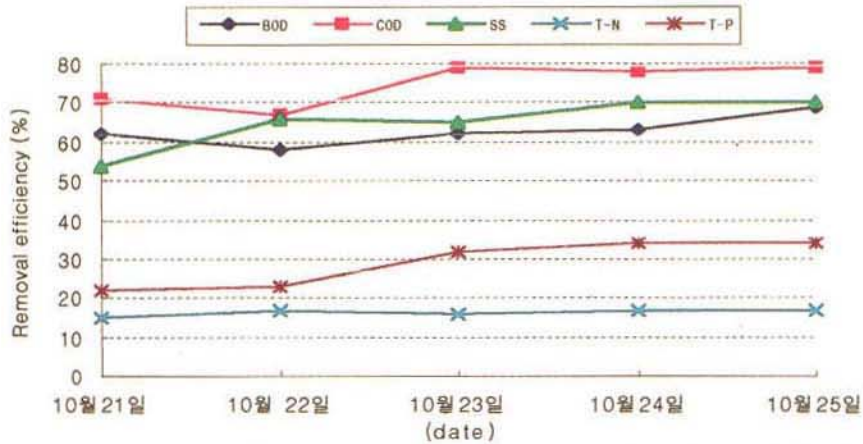


그림 3-4-3-29 토양필터의 유입수, 처리수 오염물질 변화 및 제거효율

아지는 것을 볼수 있었다. SS의 경우, 유입수의 SS농도는 23~41mg/ℓ이었으며, 토양필터를 거친 처리수는 7~12mg/ℓ로 나타났다. 평균 65%이상의 제거효율을 나타내었다. T-N의 경우, 유입수의 T-N농도는 8.2~11.3mg/ℓ이었으며, 토양필터를 거친 처리수는 6.2~9.5mg/ℓ로 나타났으며, 제거효율은 평균 16.5%정도로 다른 변수에 비해 낮지만 시간의 경과에 따라 제거효율이 약간씩 증가되는 경향을 보였다. T-P의 경우, 유입수의 T-P농도는 30~35.4mg/ℓ이었으며, 토양필터를 거친 처리수는 20~27mg/ℓ로 나타났다. 30%정도의 제거효율로 T-N보다 높게 나타났다. 이는 토양필터에서 탈질보다 lock media에 의한 흡착이 더 효율적으로 일어나고 있음을 의미한다. 쇄석, 그린탄소, 소나무목편을 충전한 前토양필터에서 시간이 경과함에 따라 충전재의 흡착력저하로 인한 처리수질이 악화되는 현상은 관찰되지 않았으며, 오히려 시간이 경과함에 따라 처리효율의 증가하였다. 이는 앞서서도 언급하였듯이 미생물 부착밀도 증가에 원인이 있는 듯하다. 그러므로 개선 토양필터의 현장적용을 적극 검토할 필요가 있다.

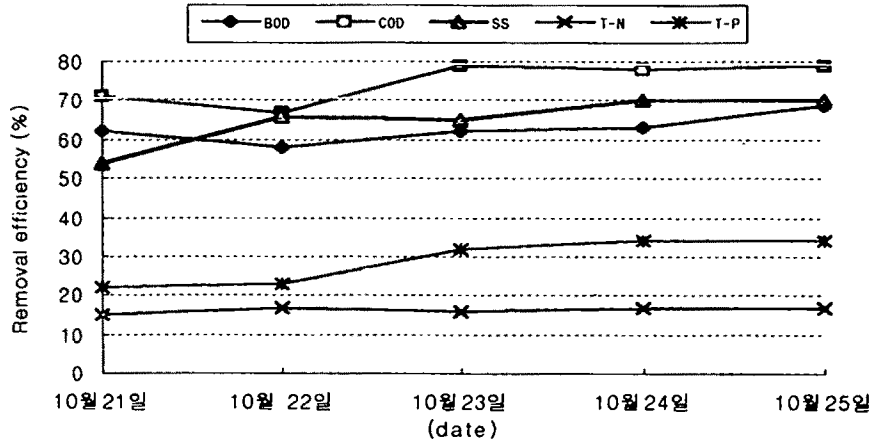


그림 3-4-3-29 토양필터의 유입수, 처리수 오염물질 변화 및 제거효율

아지는 것을 볼수 있었다. SS의 경우, 유입수의 SS농도는 23~41mg/ℓ 이었으며, 토양필터를 거친 처리수는 7~12mg/ℓ 로 나타났다. 평균 65%이상의 제거효율을 나타내었다. T-N의 경우, 유입수의 T-N농도는 8.2~11.3mg/ℓ 이었으며, 토양필터를 거친 처리수는 6.2~9.5mg/ℓ 로 나타났으며, 제거효율은 평균 16.5%정도로 다른 변수에 비해 낮지만 시간의 경과에 따라 제거효율이 약간씩 증가되는 경향을 보였다. T-P의 경우, 유입수의 T-P농도는 30~35.4mg/ℓ 이었으며, 토양필터를 거친 처리수는 20~27mg/ℓ 로 나타났다. 30%정도의 제거효율로 T-N보다 높게 나타났다. 이는 토양필터에서 탈질보다 lock media에 의한 흡착이 더 효율적으로 일어나고 있음을 의미한다. 쇄석, 그린탄소, 소나무목편을 충전한 前토양필터에서 시간이 경과함에 따라 충전재의 흡착력저하로 인한 처리수질이 악화되는 현상은 관찰되지 않았으며, 오히려 시간이 경과함에 따라 처리효율의 증가하였다. 이는 앞에서도 언급하였듯이 미생물 부착밀도 증가에 원인이 있는 듯하다. 그러므로 개선 토양필터의 현장적용을 적극 검토할 필요가 있다.

## 제5절 결과요약

우리나라 농어촌지역의 마을오폐수 발생특성 및 처리시설 현황과 실태를 조사분석하고, 마을오폐수처리시설의 구비조건과 처리시설사업관련 제도 및 법규를 검토하여 보다 체계적이고 효율적인 마을오폐수처리시설정비방안을 제시하며, 소규모 분산마을의 오폐수처리에 적용성이 클것으로 판단되는 토양피복형 접촉산화공법을 대상으로 처리효율과 경제성 및 유지관리성 등을 개선하기 위한 실험연구를 수행하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 농어촌주민을 대상으로 하여 오폐수처리에 관한 설문조사 결과 주민의 87%가 마을오폐수처리시설이 필요하다고 답하였으며, 그 이유로서는 악취발생, 위생문제, 수질오염 등을 들었다.
2. 연구대상지역의 마을 오폐수 발생특성을 실측조사한 결과, 생활오폐수 발생량은 165 ℓ/인/일 이었으며, 식사시간을 중심으로 한 특정시간대에 발생량이 집중되는 현상을 보였다. 오폐수의 평균BOD농도는 200 mg/ℓ 전후로서 비교적 높게 나타났는데, 이는 처리효율이 낮은 수세식 화장실 정화조의 영향이라고 추정된다.
3. 농어촌지역에 보급되어 있는 마을오폐수처리시설은 약 470여개소이며, 모관침윤트렌치공법이 68%로서 주종을 이루고 있으며, 그 외에도 접촉산화법, 토양피복형 접촉산화법, 고효율정화조, 장기폭기법 등이 적용되고 있다. 한편 마을오폐수시설 샘플지구에 대한 조사결과 정상적으로 운영되지 못하고 있는 시설이 다수 있었는데, 모관침윤트렌치시설은 7개소중 2개소, 접촉산화



공법은 13개소중 2개소, 모관유공트렌치의 경우는 7개소중 1개소의 시설이 정상적으로 운영되지 못하고 있었다.

4. 정상적으로 가동되고 있는 시설에서 배출되는 방류수의 BOD는 모관유공트렌치가 26.2 mg/ℓ 인 것을 제외하면 나머지는 모두 10 mg/ℓ 이하였다. BOD제거효율은 모관유공트렌치가 평균 65.3%로서 가장 낮았으며, 나머지는 71.4 ~ 85.7 %로서 비교적 높은 처리효율을 보였다.

5. 농어촌 마을오폐수처리시설사업은 그 동안 관련법규의 미비로 시설의 법적성격이 불명확하여 사업추진에 혼선이 있었으나 금번 하수도법의 개정에 따라 앞으로는 공공시설물의 하나인 마을하수도시설로서 설치운영될수 있게 되었다. 이러한 관련 법규의 정비에 맞추어서 현재 농림부,내무부 및 환경부 등에서 분산시행하고 있는 마을오폐수처리시설사업의 시행부서간 합리적인 업무조정이 요망된다.

6. 현행 농어촌 마을오폐수처리시설사업은 종합적인 정비기본계획없이 소규모 마을단위로 사업이 시행되고 있어 보다 체계적이고 효율적인 사업추진이 요망되고 있다. 이를 위해서는 농어촌지역 소수계구역 (예: 농어촌용수구역)의 수질관리를 고려한 면단위규모의 농어촌오폐수시설 종합정비 기본계획이 우선적으로 수립되는것이 필요하며, 이러한 기본계획에 의거 마을단위 오폐수처리시설사업이 년차적으로 시행되도록 하여야 할 것이다.

7. 농어촌지역 소규모분산마을의 오폐수처리시설이 갖추어야 할 기본적인 조건은 첫째, 농어촌환경과 조화되고 주민에게 수용될 수 있는 시설로서 자

연정화기능을 최대한 활용한 구조일 것, 둘째, 유지관리가 용이하고 동절기 기상조건에 영향을 받지 않을 것 등이다. 현재 농어촌지역에서 적용되고 있는 처리공법중 이러한 기본적인 조건을 비교적 잘 만족하는 공법으로서 토양피복형 접촉산화공법을 선정하고, 이에 대하여 현장실용상의 문제점을 파악하는 동시에 문제점을 개선보완하기 위한 실험연구를 수행하였다. 현행 토양피복형 접촉산화공법개선을 위한 실험으로서는 접촉산화조내의 접촉여재 개선실험, 토양식필터의 효율증진실험 및 피복토양혼합재 대체물질기초실험 등을 수행하였다.

8. 기존의 토양피복형 접촉산화공법에서 접촉여재로 많이 사용되는 쇠석여재의 문제점을 개선하기위하여 LP(Lock media + Plastic media)혼합여재를 넣은 유공상자, 즉 상자형 LP혼합여재를 개발하고 이에 대한 처리효율 검증실험을 실시한 결과, BOD는 87%, SS는 94%의 양호한 처리효율을 나타냈다. 따라서 현재 일반적으로 사용되고 있는 쇠석여재를 상자형 LP혼합여재로 대체하는 것이 처리효율면이나 시공 및 유지관리면에서 보다 효과적일 것으로 판단된다.

9. 현재 일부처리장에서 방류수 처리수준 향상을 목적으로 접촉산화공정의 최종침전조 후단에 설치하고 있는 토양식필터에 대하여, 그 처리효율을 증진시키기 위하여 필터재의 보완과 오수 접촉단면의 확대, 상부 피복토양의 혼입방지 등에 개선의 주안점을 두었다. 개선된 토양식 필터의 효율을 실험한 결과 BOD와 SS의 경우는 60% 이상의 양호한 제거효율을 보였으며, T-N은 16%, T-P는 30%의 제거효율을 나타냈다. 실험에 사용된 필터유입오수의 수질은 BOD가 42~52 mg/ℓ, SS는 23~41 mg/ℓ 이었으며, 필터의 단면은 상부

로부터 피복토양, 모관망, Lock여재, 쇄석, 잔자갈층으로 구성하였다.

10. 현재 토양식 오수처리시설의 피복토양혼합재로서 사용되고 있는 고가의 Z균 콤포스트를 가격이 저렴한 축분콤포스트(돈슬러리를 밀폐형 퇴비화시스템에서 처리가공한 콤포스트)로 대체하기위하여 Z균 콤포스트혼합토와 축분콤포스트혼합토의 물리성 특성과 미생물 성장성을 비교분석하였다. 두 물질간의 물리적특성 비교에서는 통기성을 표시하는 FAS(Free Air Space)에서 축분콤포스트혼합토가 10% 정도 낮게 나타나서 통기성이 불리한 것으로 나타났다. 미생물성장성에서는 비슷하게 나타났다. 따라서 왕겨혼입등의 방법으로 축분콤포스트의 통기율을 제고한다면 Z균콤포스트를 대체할수 있을것으로 판단된다.

## 제 4장 결 론

---

여 백

## 제4장 결 론

### <상수보전분야>

농어촌지역의 상수공급은 간이상수도나 자가수도에 의존하고 있으며, 취수원인 지표수와 천층지하수의 오염, 계절적인 수요량 변동, 급수시설의 노후화, 위생적인 정수처리 기술부족, 관리운영제도의 미흡 등 여러가지 문제점을 안고 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점들을 면밀히 분석하기 위한 연구대상지의 급수현황, 취수원 및 수도전의 수질현황 및 오염원인분석, 정수처리현황 등을 조사하였으며, 정수처리 모형실험, 시설표준화, 운영·관리 제도분석 및 최선 관리기법인 전문가 시스템 개발하여 안정적인 농어촌 상수공급 및 관리방안을 제시하고자 2개년(1996. 12 ~ 1997. 11)에 걸친 연구결과는 다음과 같다.

1. 연구대상지는 농어촌유형에 따라 수도권 근교촌, 내륙농업 중심촌, 내륙교통 중심촌, 해안 평야촌 등으로 1지구씩 선정하여 8차에 걸친 설문조사, 현장조사 및 자료조사를 실시하였으며 평균급수량은 294 ℓ/인/일로 일부 주민은 급수량이 부족하다고 생각하고 있으며 농어촌 주민의 생활수준의 향상에 따른 급수요구량은 증가할 것이다.
2. 간이상수도 및 수도전 수질조사 결과 미생물에 의한 오염이 약 90%를 차지하고 있으며, 취수원에 가축분뇨 및 생활하수가 유입되고, 급수과정중에서 시설의 불비에 따른 오염물질의 유입으로 추정된다.

3. 정수처리공정은 완속모래여과를 중심으로 염소소독과 막분리법을 조합하여 ①염소소독, ②수직완속 모래여과 + 염소소독 ③수직완속 모래여과 + 막분리법 + 염소소독으로 실험을 실시하였으며 ②공정에서는  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{NH}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ , 탁도등의 제거효율이 높은 것으로 나타났으며, ③공정은 부식질과 경도의 제거율이 좋은 결과를 얻었다.

4. 농어촌 간이상수도 관리 전문가시스템(Expert System)을 개발하여 농어촌 지역에 보급 함으로서 유지관리 효율화를 기할 수 있다. 본 연구에서 개발한 전문가 시스템은 급수량 산정 전문가 시스템, 전기·기계시설의 유지관리를 위한 간이급수시설 비상운영 전문가 시스템, 상수원 수질관리 전문가 시스템으로 구성되었다.

5. 농어촌 상수도의 유지관리 효율성을 제고하기 위해서는 설치자재의 표준화, 지자체별 간이상수도 전담 공무원을 두고 각각의 간이상수도시설은 주민 자치제로 운영하는 것이 합리적이라 판단된다.

#### <오폐수처리분야>

우리나라 농어촌지역의 마을오폐수 발생특성 및 처리시설 현황과 실태를 조사분석하고, 마을오폐수처리시설의 구비조건과 처리시설사업관련 제도 및 법규를 검토하여 보다 체계적이고 효율적인 마을오폐수처리시설정비방안을 제시하며, 소규모 분산마을의 오폐수처리에 적용성이 클것으로 판단되는 토양피복형 접촉산화공법을 대상으로 처리효율과 경제성 및 유지관리성 등을 개선하기 위한 실험연구를 수행하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 연구대상지역의 마을 오폐수 발생특성을 실측조사한 결과, 생활오폐수 발생량은 165 ℓ/인/일 이었으며, 식사시간을 중심으로 한 특정시간대에 발생량이 집중되는 현상을 보였다. 오폐수의 평균BOD농도는 200 mg/ℓ 전후로서 비교적 높게 나타났는데, 이는 처리효율이 낮은 수세식 화장실 정화조의 영향이라고 추정된다. 한편 오폐수처리에 관한 설문조사 결과 주민의 87%가 마을오폐수처리시설이 필요하다고 답하였으며, 그 이유로서는 악취발생, 위생문제, 수질오염 등을 들었다.

2. 마을오폐수시설 샘플지구에 대한 조사결과 정상적으로 운영되지 못하고 있는 시설이 다수 있었는데, 모관침윤트렌치시설은 7개소중 2개소, 접촉산화공법은 13개소중 2개소, 모관유공트렌치의 경우는 7개소중 1개소의 시설이 정상적으로 운영되지 못하고 있었다. 정상적으로 가동되고 있는 시설에서 배출되는 방류수의 BOD는 모관유공트렌치가 26.2 mg/ℓ 인 것을 제외하면 나머지는 모두 10 mg/ℓ 이하였다. BOD제거효율은 모관유공트렌치가 평균 65.3%로서 가장 낮았으며, 나머지는 71.4~ 85.7 %로서 비교적 높은 처리효율을 보였다.

3. 현행 농어촌 마을오폐수처리시설사업은 종합적인 정비기본계획없이 소규모 마을단위로 사업이 시행되고 있어 보다 체계적이고 효율적인 사업추진이 요망되고 있다. 이를 위해서는 농어촌지역 소수계구역 (예: 농어촌용수구역)의 수질관리를 고려한 면단위규모의 농어촌오폐수시설 종합정비 기본계획이 우선적으로 수립되는것이 필요하며, 이러한 기본계획에 의거 마을단위 오폐수처리시설사업이 년차적으로 시행되도록 하여야 할 것이다. 또한 현재 농



림부, 내무부 및 환경부 등에서 분산시행하고 있는 마을오폐수처리시설사업의 시행부서간 합리적인 업무조정과 역할분담이 요망된다.

4. 기존의 토양피복형 접촉산화공법에서 접촉여재로 많이 사용되는 쇠석여재의 문제점을 개선하기위하여 LP(Lock media + Plastic media)혼합여재를 넣은 유공상자, 즉 상자형 LP혼합여재를 개발하고 이에 대한 처리효율 검증실험을 실시한 결과, BOD는 87%, SS는 94%의 양호한 처리효율을 나타냈다. 따라서 현재 일반적으로 사용되고 있는 쇠석여재를 상자형 LP혼합여재로 대체하는 것이 처리효율면이나 시공 및 유지관리면에서 보다 효과적일 것으로 판단된다.

5. 일부처리장에서 방류수 처리수준 향상을 목적으로 접촉산화공정의 최종 침전조 후단에 설치하고 있는 토양식필터에 대하여, 그 처리효율을 증진시키기 위하여 필터재의 보완과 오수 접촉단면의 확대, 상부 피복토양의 혼입방지 등에 개선의 주안점을 두고 실험을 통하여 처리효율증진을 검증하였다. 또한 현재 토양식 오수처리시설의 피복토양혼합재로서 사용되고 있는 Z균 콤포스트를 가격이 저렴한 축분콤포스트로 대체하기위하여 Z균 콤포스트혼합토와 축분콤포스트혼합토의 물리성 특성과 미생물 성장성을 비교분석하여 대체가능성을 확인하였다.

## 참 고 문 헌

### <상수보존분야>

1. 양상현, 상하수도공학, 동화기술, 1991.
2. 정문식, 이흥근, 이용욱, 농어촌의 안전급수대책과 분뇨처리방안의 모형 설정, 한국개발 연구원, 1977.
3. 김기영, 전명식, SAS 군집분석, 자유아카데미, 1989.
4. 김기영, 전명식, SAS 인자분석, 자유아카데미, 1989.
5. 김기영, 전명식, SAS 주성분분석, 자유아카데미, 1989.
6. 권순탁, 정용, 유진수, 신민웅, 김정태, 한강하류 수질에 대한 인자분석 및 중회기 분석, 한국상수도협회지, 2, 6-17, 1974.
7. 오영민, 백성욱, 주성분분석을 이용한 하천 수질자료의 해석, 대한 환경공학회지, 6(1), 56-62, 1984.
8. 박영규, 이철희, 정휘수, 다변량분석에 의한 금호강의 수질평가, 영남대학교 환경문제연구소보, 6(1), 101 - 117, 1986.
9. 이흥재, 이형진, 한진석, 권속표, 주성분 분석에 의한 인천연안 수질의 평가, 수질보전학회지, 제 7권, 9-19, 1991
10. 김태오, 김동술, 나진균, Target Transformation Factor Analysis를 이용한 부산시 분진오염원의 양적 추정, 한국대기보전학회지, 제 6권 제 2 호, 135-146, 1990.
11. 환경처, 환경오염공정시험법, 1986.
12. 김상흠, 정문식, 이흥근, 강원도 춘성군 신동지역의 공동정호에 대한 위생학적조사, 공중보건잡지, Vol 10, No 2, 207-215, 1972.
13. 채서일, 김범중, SPSS/PC+를 이용한 통계분석, 법문사. 1989.
14. 김동민, 농촌간이상수도 물사용량에 관한 조사연구, 대한환경공학지, No.1, 11 - 22, 1979.
15. 정문호, 송금순, 일부 농촌 지역의 간이 상수도와 Pump수의 수질에 관한 비교 연구조사, 한국환경위생학회지, 제9권 제1호, 77-84, 1983.
16. 보건사회부, 음용수 수질관리 지침서, 1990.

17. 보건사회부, 음용수 수질기준에 관한 기준, 1991.
18. 정문호, 일부 농촌지역의 간이 상수도 운영실태와 개선방안에 관한조사 연구, 한국환경위생학회지, 제 17권 제 1호 별책, 1991.
19. 춘성군 통계연보, 1991.
20. 보건사회부, 간이급수시설의 시공 및 관리
21. 정용, 음용수 수질의 안전성평가에 따른 대책, 연세대학교 보건대학원, 1990.
22. 김화수 외 2인, 전문가 시스템, 집문당, 1995.
23. 이흥근 외 2인, 상수공급 취약지역의 안전급수에 대한 연구, 한국과학재단, 1993.
24. 과학기술처, 농어촌 간이위생 급수에 관한 시설기준 연구, 1972.
25. 국토개발연구원, 외국의 간이상수도 사례조사, 1994.
26. 환경부, 상수도 통계, 1995.
27. 환경부, 간이상수도 시설 설치 및 관리요령, 1995.
28. 환경부, 먹는 물 수질검사 결과, 1996.
29. 육군사관학교 화랑대 연구소, 군용 급수 시스템을 위한 정수처리 방안 연구, 1995.
30. 김병직, 간이상수도에서 대형정수장까지 사용되는 증공사 UF막 여과 정수플랜트의 설계 및 UF에 대하여, 수도 제 23권 제 1·2호, 1996.
31. 김용석, 수도권 광역상수도 시설의 사고발생시 효율적 대처방안에 관한 연구, 고려대학교 토목환경공학과 석사논문, 1996.
32. 정지훈, 수질오염사고의 진단 및 대책을 위한 전문가 시스템 개발, 서울대학교 보건대학원 석사논문, 1997.
33. 하수처리장 이상진단 및 대책을 위한 전문가 시스템 개발에 관한 연구, 서울대학교 토목공학과 박사논문, 1990.
34. 坂本博明, 濱九龍司, 岩瀬政吉, 東北海道 茶内地區 河川の 多變量解析法 による汚濁評價, 用水と廢水, 30(3), 27-33, 1988.

35. 太田立男, 嶋 建一, 高柳俊博, 主成分分析による三河灣 海況解析, 用水と 廃水 28(11), 16-19, 1986.
36. 勝本千鶴, 廣崎昭太, 千葉縣内河川水質の総合水質指標による経年變化の 評價, 水質汚濁研究, 9(11), 46-53, 1986.
37. 鈴木正明, 大内 東, 小峰 淳, 福岡二郎, 加地郁夫, 主成分分析による水質 デ-ダの 解析-東京灣における 營養鹽クロロフ イルなどの變動-, 海と空, 56(4), 161-169 , 1981.
38. Norusis, J. M., SPSS/PC+ V2.0 Advanced Statistics, SPSS INC., 1988
39. Briford, I.H., A Factor Analysis Model of Large Scale Pollution, Atmospheric Environment, 1, 147, 1967.
40. Kutzbach, J.E., Empirical Eigenvector of Sea Level Pressure Surface Temperature and Precipitation Complexes Over North America, J. of App. Meteorology, 6, 791, 1967.
41. Stidd, C. K., The Use of Eigenvectors for Climatic Estimates, J. of App. Meteorology, 6, 255, 1967.
42. Jonson, R.A. & Wichern, D.W., Applied Multivariate Statistical Analysis, Prentice-Hall Inc. 1988.
43. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA and WPCF, 17th Ed., 1989.
44. Soetiman, S., Priority Setting for the Rural Water Supply Program in Indonesia, Ann Arbor Science Publishers, 103-146, 1982.
45. Desia, M.K., Rural Water Supply Development in India - A Success Story - , International Water Supply Association, 191 -199, 1985.
46. Louis, L., Pierre, L., Numerical Ecology, Developments in Environmental Modeling 3, Elsevier, 1983.
47. Gollnitz, W. D., Source Protection and the Small Utility, Jour. AWWA, pp.52-57, 1988.
48. Nix, S. J. and Collins, A. G., Expert Systems in Water Treatment Plant Operation, Jour. AWWA, pp.43-51, 1991.
49. US Environmental Protection Agency, Drinking Water Treatment for Small Communities - A Focus on EPA's Reseach, 1994.

50. Visscher, J. T., Slow Sand Filtration: Design, Operation, and Maintenance, Jour. AWWA, pp.67-71, 1990.
51. LeChevallier, M. W. and Norton, W. D., Examining Relationships Between Particle Counts and Giardia, Cryptosporidium, and Turbidity, Jour. AWWA, pp.54-60, 1992.
52. Fogel, D., et al., Removing Giardia and Cryptosporidium by Slow Sand Filtration, Jour. AWWA, pp.77-84, 1993.
53. Geldreich, E. E., Goodrich, J. A., and Clark, R. M., Characterizing Surface Waters that may not Require Filtration, Jour. AWWA, pp.40-50, 1990.
54. Goodrich, J. A., Safe Drinking Water from Small Systems: Treatment Options, Jour. AWWA, pp.49-55, 1992.
55. Luxhoj, J. T. and Tao, P. C., Knowledge-Based System for Maintenance, Jour. AWWA, pp.54-61, 1994.
56. Shepherd, A. and Ortolano, L., Water-Supply System Operations: Critiquing Expert-System Approach, J. Water Resour. Plng. and Mgmt., ASCE, pp.348-355, 1996.
57. Ladiges, G. and Kayser, R., On-line and Off-line Expert Systems for the Operation of Wastewater Treatment Plants, Wat. Sci. Tech. Vol. 28, No. 11-12, pp. 315-323, 1993.
58. Ichikawa, M., Simizu, K. and Iwahori, K., Diagnosis Expert Systems for the Activated Sludge Process Using Biota Observed by Microscopic Examination, Wat. Sci. Tech. Vol. 28, No. 11-12, pp. 231-237, 1993.
59. Hushon, J. M., Expert Systems for Environmental Applications, American Chemical Society, 1990.
60. Giarratano, J. and Riley, G., Expert Systems - principles and programming, PWS Publishing Company, 1994.
61. Prerau, D. S., Developing and Managing Expert Systems Proven Technoloques for Business and Industry, Addison-Wesley Publishing Company, 1990.
62. Gurewich, N. and Gurewich, O., Visual Basic 4: Third Edition, SAMS Publishing, 1996.

63. Durkin, J., Expert Systems - design and development, Prentice Hall International, inc., 1994.
64. Harmon, P. and King, D., Expert Systems - artificial intelligence in business, John Wiley & Sons, inc., 1985.
65. Wright, F. B., Rural Water Supply, Robert E. Krieger publishing company, 1977.
66. Pontius, F. W., Water Quality and Treatment - a Handbook of Community Water Supplies, MacGraw-Hill, Inc., 1990.
67. USEPA, Quality criteria for water, 1978.
68. USEPA, Guideline for Drinking-Water Quality, 1984.

#### <오폐수처리분야>

1. 양홍모(전남대 농대 조경학), 농촌 및 도시하수의 생태적 처리 연못 시스템, 전남대 농업과학기술연구 28('93.12):p85-91
2. 김동민(서울시립대 환경공학), 농촌의 하수처리 실태와 대책, 농촌진흥청 농촌생활과학 45('91.5):p30-35
3. 이병헌(부산수산대 환경공학), 농촌하수처리 방안에 대한연구, 부산수산대 연구보고 25('85.12):117-121
4. 이병헌(부산수산대 환경공학), 소규모 지역에서의 토양하부주입에 의한 하수처리방안에 대한연구, 부산수산대 연구보고 28('88.12)
5. 김상용(부산공업대학 토목공학), 소규모 하수처리시설의 건설과 그 효과, 대한토목학회지, 159('92.2):36-42
6. 이관영(대구대 토목공학과), 중소도시 하수처리를 위한 수질특성에 대한 연구(I), 대구대산업기술연구 11('92.4)
7. 김갑수(한국건설기술연구원), 소도시의 최적 하수처리 시스템 개발, 국토와 건설, 64('89.11):109-113
8. 이상일, 서인석, 조항문, 임종국, 농어촌 소규모공단 및 공단의 오폐수 처리기술 -해수에의한 알칼리성 산업폐수 처리기술 개발, 한국환경과학연구협의회

9. 우리나라 오폐수 처리시설현황, 환경관리공단, 1990
10. 이찬기, 김정제(강원대), 윤주환(고려대), 중소기업 축산폐수의 효율적 처리방안 개발에 관한 연구, 한국과학재단, 1992
11. 양현철, 조홍연, 성하진(고려대), 광합성 세균에 의한 고농도 유기폐수 처리 및 부산물의 자원화, 한국과학재단, 1994
12. 오염토양의 정화 방법에 관한 연구 -토양세정제 및 식물을 이용한 토양정화 효과, 국립환경연구원, 1993
13. 오염토양의 정화 방법에 관한 연구 (Ⅲ), -객토 및 식물에 의한 토양정화 효과, 국립환경연구원, 1993
14. 수중에 용해된 잔류농약, 세제 및 암모니아성 질소분등의 제거를 위한 연구, 한국 과학 기술 연구원
15. 수질에서의 유해 화학 물질의 분석 및 표준화 연구, -반휘발성 유기물질, 한국 과학 기술 연구원
16. 오폐수 처리 신공법 연구 (Ⅳ), 국립 환경 연구원
17. 하천수질 관리 시스템 개발, 국립 환경 연구원 1993
18. 수질 개선 시스템 개발, 국립 환경 연구원 1994
19. 수질 정보 종합 관리 시스템 개발, 국립 환경 연구원 1993
20. 최용수 (한국과학기술연구원), 폐수 탈질·탈인 기술 (1차년도 연차 보고서)-농어촌 오폐수 탈질·탈인 장치 개발, 1995
21. 오염심화 소하천의 정화기술 실용화, 국립환경연구원 1991
22. 國松孝男. 1985. 토양에폐수처리의 실제와 전망. 공해와 대책. 12월 별책 부록. 제13-33.
23. 毛管淨化硏究會. 1987. 토양정화법의 실제. 경제조사회(동경) pp 9-11.
24. 浴本修志. 1985. 토양에서 오수처리의 응용과 과제. 공해와 대책. 12월 별책부록. p7-11.
25. 김한태, 권순국. 1993. 농촌유역에서의 수질오염 특성에 관한 연구. 한국 환경농학회지. 12(2) : 129-143.
26. 농어촌진흥공사. 1994. 농어촌마을 배수처리시스템에 관한 연구. 농어촌

진흥공사.

27. 서윤수 외 12인. 1991. 오염심화 소하천의 정화기술 실용화(I) : 자갈층접촉산화법. 국립환경연구원보, 13 : 421-429.
28. 서윤수 외 12인. 1991. 오염심화 소하천의 정화기술 실용화(II) : 토양트렌치법. 국립환경연구원보, 13 : 431-442.
29. 양상현, 권영호. 1994. Media를 충전한 간접폭기식 침지여상에 의한 BOD 제거특성에 관한 연구. 대한토목학회 논문집. 14(3) : 669-678.
30. 환경청. 1989. 농촌소규모 취락지역 오수처리시스템 개발사업.
31. Antonie, R. L., and Welch, F. M. 1969. Preliminary results of novel biological process for treating dairy wastes. Proc. Purdue Ind. Waste conf. 24 : 115-125.
32. Antonie, R. L., and Van Acken. 1971. Rotating disk fulfill dual wastewater role. Water and Wastes Engineering. 8(1) : 37-48.
33. APHA-AWWA-WPCF. 1992. Standard methods 18 th. ed. American Public Health Association.
34. Bonde, G. J., 1977. Bacteria indication of water pollution Academic Press, New York.
35. Brady, N. C. 1984. The nature and properties of soils. MacMillan Publishing Company New York. p3.
36. Chipperfield, P. N. J., et al., 1972. Multistage plastic-media treatment plants. JWPCF. 44 : 1955-1967.
37. Cooke, M. D. 1976. Antibiotic resistance in coliform and fecal coliform bacteria from natural waters effluents. Newzealand J. Marine and Freshwater Research. 10 : 391.
38. EPA. 1980. Small Wastewater Systems : Alternative systems for small communties and rural area.
39. EPA Tech. 1976 Land Treatment of Municipal Wastewater Effluents ; Case Histories, Transfer Seminar Pub.
40. Fleming, M., and Cook, E. E. 1972. The effects of specific surface aera provided by synthetic medium on the performance of a trickling filter. 27th Annual Purdus Ind. Waste Conference, Purdue Univ.



41. Fuller, W. H., et al. 1985. Soils in waste treatment and utilization. CRC Press. Inc. Boca Raton, Florida vol(1) p3.
42. Hoehn, R. C., and Ray, W. R. 1973. Effects of thickness on bacterial film. JWPCF. 45(11) : 2302- 2320.
43. Jenssen, P. D., and Siegrist, R. L. 1989. Technology assessment of wastewater treatment by soil infiltration systems. Agricultural University of Norway(Conference report).
44. Kinner, N. E., and Maratea, D. 1984. Evaluation of RBC biofilm bacteria A biogeochemical approach. Proc. 2nd Intern. conference on Fixed Film Biological Process. 1 : 21-47.
45. Kinner, N. E. 1984. An evaluation of the feasibility of using Protozoa and Metazoa as indicators of RBC effluent quality. 2nd Intren. Conf. on Fixed Film Biological Processes. 1 : 74-122.
46. Nutrition control manual of practice No. FD-7. 1983. Water Pollution Control Fed. Washington, D. C.
47. Rittmann, B. E., and McCarty, P. L. 1980. Evaluation of steady- state biofilm kinetics. Biotechnonology and Bioengineering 22 : 2359 -2373.
48. Rittmann, B. E., and McCarty, P. L. 1980. Model of steady- state biofilm kinetics. Biotechnonology and Bioengineering 22 : 2343 -2357.
49. Schulze, K. L. 1957. Experimental vertical screen trickling filter. Sewage and Industrial Wastes. 29 : 458.
50. Schulze, K. L., 1960. Load and efficiency of trickling filters. JWPCF. 32(3) : 238-247.
51. Sudo, R., et al. 1977. Rotating biological contactor microbe control in RBC.J. Water Waste. 19 : 1-17.
52. Truler, M. G., and Characklic, W. G. 1982. Dunimic of biofilm process. JWPCF. 54(12) : 1288-1301.
53. Willams, D.G., "Land treatment of wastewaters institutional and regulatiry agency approach," in Land Treatment and Disposal of Municipal and Industrial Wastewater, Sank, R. and T. Asano, pp 1~15, Annartor Sci., 1976

# 부 록

---

1. 상수보존분야
2. 오폐수처리분야

여 백

## 부 록 표 목 차

### <상수보존분야>

- 표 1-1 간이상수도 수질조사 성적표(1차년도, '96. 8)
- 표 1-2 간이상수도 수질조사 성적표(2차년도, '97. 5)
- 표 1-3 인구추정을 위한 선형회귀분석 FORTRAN 프로그램
- 표 1-4 수원오염 대처방안 Knowledge Base
- 표 1-5 전기시설 Knowledge Base
- 표 1-6 펌프설비 Knowledge Base
- 표 1-7 수원오염 방지 Knowledge Base
- 표 1-8 정수처리결정 Knowledge Base

### <오폐수처리분야>

- 표 2-1 도고지구 임의의 한가구(6인) 가정하수 특성('96. 6. 13~6. 14)
- 표 2-2 도고지구 임의의 한가구(6인) 가정하수 특성('96. 8. 21~8. 22)
- 표 2-3 도고지구 임의의 한가구(6인) 가정하수 특성('96. 10. 20~10. 21)
- 표 2-4 천북지구 임의의 한가구(2인) 가정하수 특성('96. 6. 14~6. 15)
- 표 2-5 천북지구 임의의 한가구(2인) 가정하수 특성('96. 8. 28~8. 29)
- 표 2-6 천북지구 임의의 한가구(3인) 가정하수 특성('96. 10. 24~10. 25)
- 표 2-7 북일지구 임의의 한가구(4인) 가정하수 특성('96. 5. 17~5. 18)
- 표 2-8 북일지구 임의의 한가구(4인) 가정하수 특성('96. 7. 29~7. 30)
- 표 2-9 북일지구 임의의 한가구(4인) 정화조 상징액 특성('96. 5. 17~5. 18)
- 표 2-10 현도지구 임의의 하천에서 혼합하수 특성('96. 5. 16~5. 17)
- 표 2-11 현도지구 임의의 하천에서 혼합하수 특성('96. 7. 28~7. 29)
- 표 2-12 접촉산화공법 오폐수처리시설 처리효율 분석 결과
- 표 2-13 모관침윤트렌치공법 오폐수처리시설 처리효율 분석 결과
- 표 2-14 모관유공트렌치공법 오폐수처리시설 처리효율 분석 결과

여 백

표 1-1 간이상수도 수질조사성적표(1차년도, '96. 8)

A: 상수원, B: 가까운 수도전, C: 먼 수도전

마을	구분	일반세균	대장균군	6가 크롬	암모니아성질소	질산성 질소	경도	과망간산칼륨 소비량	동	아연	철	망간	탁도	황산이온	전기전도도	수온	수소이온농도
				mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	μmhos/cm	℃
북일면 초정리 교재	A	28,000	음성	불검출	0.038	4.569	39.9	1.4	불검출	0.116	0.001	불검출	적합	5.233	190	21.0	6.9
	B	>30,000	음성	불검출	0.018	40.432	39.8	1.5	불검출	0.070	0.001	불검출	적합	5.179	200	20.8	6.8
	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
북일면 우산2 인평	A	4,000	음성	불검출	불검출	6.422	43.5	2.1	0.001	0.036	0.002	불검출	적합	6.567	193	22.1	7.3
	B	16,500	음성	불검출	불검출	6.505	44.0	2.0	0.001	0.215	0.006	불검출	적합	6.751	121	23.6	7.3
	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
북일면 저곡리 골다골	A	13,000	양성	불검출	0.038	1.166	13.5	2.6	불검출	0.094	0.002	0.016	적합	1.929	70	24.3	7.1
	B	29,000	양성	불검출	0.015	1.179	13.5	2.6	불검출	0.024	0.002	불검출	적합	1.914	70	23.0	7.0
	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
북일면 비중리 비홍	A	10,000	양성	0.001	0.005	5.790	91.9	1.2	불검출	0.013	0.004	0.008	적합	19.529	420	17.9	7.4
	B	7,600	음성	불검출	0.010	5.791	90.2	1.1	0.001	0.009	0.002	불검출	적합	19.644	400	18.9	7.0
	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
북일면 풍정2 법덕	A	>30,000	음성	불검출	0.007	23.227	107.9	1.9	불검출	0.051	0.001	0.024	적합	26.670	610	18.5	6.6
	B	>30,000	음성	불검출	0.003	22.861	106.4	1.6	0.002	0.015	0.001	0.026	적합	26.632	610	22.8	6.6
	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
북일면 덕암리 상덕	A	28,000	음성	불검출	0.027	0.924	26.5	0.4	불검출	0.037	0.003	불검출	적합	2.612	120	22.4	7.3
	B	>30,000	음성	불검출	불검출	0.968	26.1	1.0	불검출	0.052	0.005	불검출	적합	2.466	120	26.0	7.3
	C	24,000	음성	불검출	불검출	0.938	26.6	0.5	불검출	0.035	0.005	불검출	적합	2.617	120	24.4	6.9
북일면 은곡1 오리골	A	28,000	양성	불검출	불검출	5.101	51.3	1.0	불검출	0.062	0.002	0.001	적합	11.323	280	18.6	6.9
	B	24,000	음성	불검출	불검출	4.989	51.8	1.2	0.001	0.188	0.004	0.003	적합	11.042	270	22.4	6.9
	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
북일면 구성리 원구성	A	12,000	음성	불검출	0.007	1.498	26.5	1.6	불검출	0.017	0.009	불검출	적합	7.290	120	17.1	7.2
	B	15,000	양성	불검출	0.160	1.498	26.6	0.9	0.001	0.018	0.008	불검출	적합	7.233	120	17.7	7.2
	C	29,000	음성	불검출	0.013	1.464	26.7	1.0	불검출	0.024	0.021	불검출	적합	7.081	120	19.8	7.2

(표 1-1 계속)

마을	구분	일반세균	대장균군	6가	암모니	질산성	경도	과망간	동	아연	철	망간	탁도	황산	전기	수온	수소
				크롬	아성질	질소		산칼륨						이온	전도도		
				mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l	$\mu\text{mhos/cm}$	℃	
현도면 하석1 대원이	A	불검출	음성	불검출	0.009	3.945	40.8	0.3	0.003	0.041	0.001	불검출	적합	5.563	179	20.5	6.8
	B	2,500	양성	불검출	0.013	4.030	41.5	0.6	0.003	0.061	0.002	불검출	적합	5.473	180	20.5	7.0
	C	1,570	양성	불검출	0.01	4.129	41.6	0.7	0.009	0.139	0.002	불검출	적합	5.607	200	26.6	6.9
현도면 하석1 노봉	A	17,100	양성	불검출	0.016	0.943	22.2	0.9	0.002	0.003	0.013	0.001	적합	2.964	80	21.1	6.4
	B	3,880	양성	불검출	0.013	0.960	22.6	0.8	0.003	0.019	0.015	0.001	적합	2.964	80	21.3	6.5
	C	830	양성	불검출	0.015	0.850	21.9	0.7	0.001	0.002	0.014	0.001	적합	2.936	92	21.4	6.4
현도면 선동리 배다리	A	1,560	양성	불검출	0.009	3.020	61.8	1.1	0.004	0.004	0.008	0.001	적합	10.221	159	19.4	6.3
	B	불검출	음성	불검출	불검출	3.020	34.6	1.0	0.004	0.019	0.011	0.001	적합	9.993	180	19.5	6.5
	C	불검출	음성	불검출	불검출	3.006	35.1	0.9	0.003	0.132	0.008	불검출	적합	9.862	190	25.0	6.5
현도면 죽전1 배오개	A	3,300	양성	불검출	0.046	7.487	85.9	0.6	0.001	0.009	0.004	0.001	적합	29.543	430	18.7	7.3
	B	1,600	양성	불검출	0.012	8.257	86.3	0.4	불검출	0.006	0.001	0.001	적합	32.455	370	18.9	7.0
	C	5,700	양성	0.001	불검출	8.432	84.3	1.0	0.001	0.011	0.002	0.001	적합	30.629	420	26.0	7.1
현도면 시북3 아랫잼	A	>30,000	양성	0.001	불검출	7.117	55.9	0.4	0.001	0.009	불검출	불검출	적합	14.275	300	19.1	6.9
	B	17,000	양성	0.002	0.008	5.946	56.5	0.8	0.002	0.011	불검출	불검출	적합	11.317	300	19.6	6.7
	C	29,000	양성	-	-	6.844	-	-	-	-	-	-	적합	13.409	290	21.7	7.0
현도면 시동리 시낭골	A	2,300	양성	0.001	0.056	0.461	17.3	1.2	불검출	0.012	0.014	0.002	적합	3.448	100	19.8	7.1
	B	5,500	양성	0.002	0.112	0.434	17.7	0.6	불검출	0.017	0.007	불검출	적합	2.892	100	20.3	7.3
	C	12,000	양성	0.001	0.056	0.473	17.6	0.6	0.001	0.009	0.008	불검출	적합	3.400	100	22.8	7.3
도고면 석당리	A	8,300	양성	0.003	0.056	1.304	36.6	0.2	불검출	0.117	0.007	0.001	적합	4.951	190	21.2	7.4
	B	23,000	양성	불검출	불검출	3.394	26.2	0.6	불검출	0.050	0.006	0.001	적합	3.365	200	21.4	7.2
	C	15,000	양성	불검출	0.112	2.374	42.2	0.4	불검출	0.022	0.004	불검출	적합	6.495	190	21.9	7.7
도고면 봉농리	A	8,400	음성	불검출	불검출	0.233	54.1	0.6	불검출	0.007	0.705	0.141	적합	5.491	280	15.3	7.5
	B	>30,000	양성	불검출	불검출	0.227	55.1	1.0	불검출	0.003	0.354	0.160	적합	6.050	280	18.9	7.5
	C	>30,000	양성	불검출	불검출	0.199	55.0	0.9	0.001	0.004	0.102	0.169	적합	5.925	280	20.1	7.5

(표 1-1 계속)

마을	구분	일반세균	대장균군	6가 크롬	암모니아성질소	질산성 질소	경도	과망간산칼륨 소비량	동	아연	철	망간	탁도	황산이온	전기전도도	수온	수소이온농도
				mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l	$\mu\text{mhos/cm}$	$^{\circ}\text{C}$	
도고면 효자리 연봉정	A	3,800	양성	불검출	불검출	6.723	42.8	0.6	불검출	0.004	0.001	0.001	적합	19.905	270	18.8	6.8
	B	10,000	양성	불검출	0.056	6.625	46.3	1.0	불검출	0.001	0.012	0.001	적합	19.506	270	19.0	6.7
	C	>30,000	양성	불검출	불검출	6.630	43.4	1.1	불검출	0.002	0.012	0.002	적합	19.586	270	21.2	6.7
천북면 사호3	A	<30	음성	불검출	불검출	0.202	42.0	0.0	불검출	0.088	0.010	0.001	적합	3.622	170	18.7	7.8
	B	60	음성	0.001	불검출	0.202	41.1	0.0	불검출	0.084	0.011	불검출	적합	3.659	200	19.8	7.7
	C	<30	음성	불검출	불검출	0.205	41.7	0.2	0.001	0.085	0.014	불검출	적합	3.862	190	20.9	7.8
천북면 궁포1 오만	A	65	음성	불검출	불검출	0.573	14.6	0.1	불검출	0.024	0.004	불검출	적합	1.516	90	16.6	7.5
	B	99	음성	0.001	0.056	0.570	13.9	0.2	불검출	0.010	0.004	불검출	적합	1.506	90	18.1	7.4
	C	93	음성	불검출	0.056	0.570	14.0	0.4	0.001	0.002	0.005	불검출	적합	1.508	90	18.1	7.4
천북면 궁포2 천궁	A	290	양성	0.001	0.056	1.730	40.7	0.4	0.002	0.009	0.008	불검출	적합	3.045	200	18.9	7.5
	B	>30,000	양성	0.001	0.112	1.705	40.6	0.2	불검출	0.010	0.005	불검출	적합	3.188	200	19.2	7.4
	C	350	양성	불검출	불검출	1.703	40.5	0.2	0.004	0.009	0.009	불검출	적합	3.041	210	25.6	7.5
천북면 선덕2 큰마을	A	3,200	양성	불검출	0.050	5.256	49.2	0.2	불검출	0.008	0.002	0.020	적합	12.514	200	17.2	7.5
	B	4,100	양성	불검출	0.056	5.256	49.4	0.4	불검출	0.004	0.001	0.020	적합	12.484	230	18.3	7.5
	C	2,400	양성	불검출	0.056	5.378	49.6	0.3	불검출	0.016	0.002	0.020	적합	12.845	230	19.3	7.5
천북면 장은리 진구치	A	36	음성	불검출	불검출	0.240	36.9	0.1	불검출	0.001	0.021	불검출	적합	2.205	160	20.2	7.7
	B	90	음성	불검출	불검출	0.241	36.8	0.4	불검출	0.001	0.004	0.003	적합	2.233	160	21.4	7.7
	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
북일면 비상리 비홍	A	2,430	양성	불검출	불검출	1.100	14.8	1.6	불검출	불검출	불검출	불검출	적합	4.000	82	25.1	7.3
	B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
도고면 도산리 느랭이	A	20,000	음성	불검출	불검출	1.700	59.7	0.7	불검출	0.020	불검출	불검출	적합	16.300	254	18.1	7.6
	B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



표 1-2 간이상수도 수질조사성적표(2차년도, '97. 5)

A: 상수원, B: 가까운 수도전, C: 먼 수도전

마을	구분	일반세균	대장균군	6가크롬 mg/l	암모니아성질소 mg/l	질산성질소 mg/l	경도 mg/l	과망간산칼륨소비량 mg/l	동 mg/l	아연 mg/l	철 mg/l	망간 mg/l	탁도	황산이온 mg/l	전기전도도 μmhos/cm	수온 ℃	수소이온농도
북일면 조정리교재	A	1,690	음성	불검출	불검출	4.686	62.4	0.8	0.020	0.188	0.006	불검출	적합	4.850	188	19.9	6.7
	B	<30	음성	불검출	불검출	4.834	61.0	0.2	0.040	0.109	불검출	불검출	적합	4.950	196	19.8	6.7
	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
북일면 우산2인평	A	64	음성	불검출	불검출	6.785	65.6	0.5	0.013	0.050	0.007	불검출	적합	6.812	201	21.2	7.0
	B	<30	음성	불검출	불검출	6.653	65.1	0.8	0.013	0.046	0.006	0.001	적합	6.675	197	22.5	7.1
	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
북일면 저곡리골다골	A	350	양성	불검출	불검출	3.204	23.4	6.5	0.002	0.005	0.039	불검출	적합	1.599	77	23.2	7.3
	B	310	양성	불검출	불검출	3.312	23.6	6.5	0.005	0.015	0.015	불검출	적합	1.758	80	22.1	7.3
	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
북일면 비중리비홍	A	<30	음성	불검출	0.056	6.956	143.3	4.0	0.006	0.015	0.126	0.002	적합	23.799	401	16.8	6.5
	B	<30	양성	불검출	불검출	6.393	141.3	0.9	0.008	0.068	0.004	불검출	적합	20.818	401	17.8	6.5
	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
북일면 풍정2법득	A	368	음성	불검출	불검출	23.728	152.2	1.7	0.015	0.061	0.002	0.027	적합	24.305	601	17.4	6.1
	B	<30	음성	불검출	불검출	23.625	152.4	1.7	0.019	0.073	0.015	0.026	적합	24.382	590	21.7	6.1
	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
북일면 덕암리상덕	A	75	음성	불검출	불검출	0.953	41.8	4.3	0.003	0.006	0.003	0.001	적합	2.529	129	21.4	7.3
	B	160	양성	불검출	불검출	0.956	42.0	0.2	0.002	0.010	0.004	불검출	적합	2.601	129	24.1	7.5
	C	92	양성	불검출	불검출	0.974	42.7	0.5	0.020	0.022	0.004	불검출	적합	2.712	130	23.4	7.7
북일면 은곡1오리골	A	<30	양성	불검출	불검출	5.873	80.0	0.8	0.020	0.111	0.003	0.006	적합	11.222	273	17.4	6.5
	B	<30	양성	불검출	불검출	6.060	78.7	0.8	0.017	0.171	0.015	0.002	적합	11.981	262	21.0	6.5
	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
북일면 구성리원구성	A	<30	음성	불검출	불검출	1.715	38.6	0.5	0.012	0.034	0.013	불검출	적합	6.793	125	16.1	7.3
	B	89	양성	불검출	불검출	4.691	45.7	1.1	0.021	0.500	0.011	0.001	적합	11.460	188	16.6	6.6
	C	<30	음성	불검출	불검출	1.531	39.4	0.8	0.002	0.022	0.010	불검출	적합	6.048	123	18.2	7.2

(표 1-2 계속)

마을	구분	일반세균	대장균군	6가 크롬	암모니아성질소	질산성 질소	경도	과망간산칼륨 소비량	동	아연	철	망간	탁도	황산이온	전기전도도	수온	수소이온농도
				mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	μmhos/cm	℃	
현도면 하석1대원이	A	<30	음성	불검출	불검출	3.181	53.1	0.5	0.017	0.030	0.002	불검출	적합	4.720	192	19.8	7.0
	B	313	양성	불검출	불검출	3.172	52.1	0.2	0.012	0.042	불검출	불검출	적합	4.693	195	19.4	6.9
	C	불검출	양성	불검출	불검출	3.814	57.4	8.2	0.004	0.037	0.004	불검출	적합	5.708	189	25.1	6.9
현도면 하석1노봉	A	48	양성	불검출	불검출	0.631	33.4	3.6	0.007	0.006	0.064	0.007	적합	3.543	108	20.0	7.2
	B	41	양성	불검출	0.056	0.580	33.4	3.6	0.007	0.008	0.039	0.007	적합	3.173	109	20.1	7.2
	C	127	양성	불검출	0.056	0.596	33.3	4.3	0.005	0.007	0.041	0.007	적합	3.259	107	20.9	7.2
현도면 선동리배다리	A	890	양성	불검출	불검출	4.308	61.0	3.6	0.014	0.012	0.129	0.003	적합	9.822	223	18.2	6.7
	B	37	양성	불검출	불검출	4.099	58.4	0.9	0.015	0.015	0.037	0.002	적합	8.235	216	18.5	6.8
	C	224	양성	불검출	불검출	4.401	57.8	0.8	0.007	0.031	0.009	0.002	적합	8.909	214	24.1	6.8
현도면 죽전1배오개	A	328	양성	불검출	불검출	9.015	138.8	1.1	0.013	0.021	0.003	0.001	적합	34.532	450	17.6	7.0
	B	201	음성	불검출	불검출	9.040	151.5	2.1	0.019	0.023	불검출	0.002	적합	49.509	580	17.9	6.3
	C	419	음성	불검출	불검출	8.998	140.2	0.5	0.008	0.011	0.003	0.001	적합	34.270	447	25.1	7.0
현도면 시북3아랫괘	A	351	음성	불검출	0.056	8.272	94.6	1.3	0.016	0.022	불검출	불검출	적합	18.519	313	18.0	6.7
	B	<30	음성	불검출	불검출	8.294	94.9	1.6	0.012	0.011	0.009	불검출	적합	18.434	305	18.6	6.6
	C	<30	음성	불검출	불검출	9.063	103.4	1.3	0.107	0.127	0.041	0.001	적합	16.42	339	20.6	6.6
현도면 시동리시낭골	A	42	양성	불검출	불검출	0.636	30.6	0.5	0.001	0.012	0.002	불검출	적합	3.975	107	18.7	7.2
	B	<30	양성	불검출	불검출	0.571	30.5	0.6	0.011	0.024	0.002	불검출	적합	3.532	107	19.3	7.2
	C	<30	양성	불검출	불검출	0.585	30.9	1.4	0.001	0.010	0.002	불검출	적합	3.603	107	21.7	7.2
도고면 석당리	A	<30	양성	불검출	불검출	0.582	73.0	1.5	불검출	0.024	불검출	불검출	적합	7.508	194	20.1	7.7
	B	44	음성	불검출	불검출	0.587	71.8	1.4	0.008	0.028	불검출	불검출	적합	7.654	199	20.4	7.7
	C	460	양성	불검출	불검출	0.566	74.0	2.3	0.004	0.072	0.014	불검출	적합	7.334	194	20.8	7.0
도고면 봉농리	A	<30	음성	불검출	0.168	0.041	113.9	1.2	불검출	0.003	0.035	0.139	적합	8.732	317	15.1	7.0
	B	41	양성	불검출	불검출	0.032	114.0	1.5	불검출	0.002	0.058	0.127	적합	8.316	320	17.8	7.1
	C	2,135	음성	불검출	불검출	0.022	113.5	0.9	0.004	0.003	0.129	0.133	적합	8.996	318	19.0	7.1

(표 1-2 계속)

마을	구분	일반세균	대장균군	6가	암모니	질산성	경도	과망간	동	아연	철	망간	탁도	황산	전기	수온	수소
				크롬	아성질소	질소		산칼륨						이온	전도도		
				mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l	$\mu\text{mhos/cm}$	$^{\circ}\text{C}$	농도
도고면	A	134	양성	불검출	불검출	9.176	116.4	3.7	0.005	0.010	0.002	0.001	적합	14.755	382	17.7	6.2
효자리	B	113	양성	불검출	불검출	8.802	116.2	1.1	0.004	0.002	0.002	불검출	적합	14.400	394	18.1	6.3
연봉정	C	112	양성	불검출	불검출	8.989	117.9	0.9	0.002	0.005	0.004	불검출	적합	14.635	390	20.1	6.2
천북면	A	83	음성	불검출	불검출	0.040	71.8	0.3	0.001	0.116	0.012	불검출	적합	2.827	188	17.6	7.4
사호3	B	89	양성	불검출	불검출	0.038	73.1	0.6	0.002	0.144	0.009	불검출	적합	2.841	185	18.9	7.5
	C	38	양성	불검출	불검출	0.040	71.8	0.3	0.001	0.126	0.007	불검출	적합	2.814	185	20.1	7.6
천북면	A	<30	음성	불검출	불검출	0.639	28.0	0.4	불검출	0.004	불검출	불검출	적합	1.205	107	16.1	7.0
궁포1	B	<30	음성	불검출	불검출	0.634	28.1	0.1	불검출	0.003	불검출	불검출	적합	1.194	107	17.9	7.1
오만	C	<30	음성	불검출	불검출	0.661	28.3	0.4	불검출	불검출	불검출	불검출	적합	1.269	105	17.9	7.1
천북면	A	39	양성	불검출	0.056	1.726	77.7	0.7	0.002	0.008	0.001	0.001	적합	2.529	216	17.8	7.0
궁포2	B	2,400	양성	불검출	불검출	1.818	78.0	0.3	불검출	0.016	불검출	불검출	적합	2.682	215	18.2	7.1
천궁	C	2,930	양성	불검출	0.112	1.699	77.8	0.7	0.010	0.005	불검출	불검출	적합	2.429	219	24.1	7.1
천북면	A	2,775	양성	불검출	불검출	3.845	95.0	0.6	불검출	0.006	0.003	0.005	적합	14.253	243	16.9	7.4
선덕2	B	730	양성	불검출	불검출	3.822	96.0	0.9	불검출	0.006	0.005	불검출	적합	14.129	253	17.3	7.4
큰마을	C	3,700	양성	불검출	불검출	3.819	93.6	0.9	불검출	0.016	0.008	불검출	적합	14.287	246	18.1	7.3
천북면	A	70	음성	불검출	불검출	1.425	62.3	0.1	0.002	0.052	0.076	0.041	적합	1.164	197	19.1	6.8
장은리	B	90	음성	불검출	불검출	3.466	16.4	0.9	불검출	0.044	0.003	0.002	적합	0.611	95	20.3	6.0
진구지	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
천북면	A	730	양성	불검출	0.112	1.201	113.1	0.7	0.005	0.046	0.023	0.002	적합	6.815	266	19.4	7.3
사호2	B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

표 1-3 인구추정을 위한 선형회귀분석 FORTRAN 프로그램

```

        DIMENSION X(50),Y(50)
        REAL SIG(50)
        OPEN(UNIT=5,FILE='FIT.DAT')
        OPEN(UNIT=7,FILE='FIT.OUT')
        SX=0.0
        SY=0.0
        ST2=0.0
        B=0.0
C      NDATA=30
        READ(5,*) NDATA
C 110 FORMAT(I5)
        READ(5,*) (X(I),Y(I),I=1,NDATA)
C 100 FORMAT(2I5)
        DO 12 I=1,NDATA
            SX=SX+X(I)
            SY=SY+Y(I)
12    CONTINUE
        SS=FLOAT(NDATA)
        SXOSS=SX/SS
        DO 14 I=1,NDATA
            T=X(I)-SXOSS
            ST2=ST2+T*T
14    B=B+T*Y(I)
        B=B/ST2
        A=(SY-SX*B)/SS
        SIGA=SQRT((1.0+SX*SX/(SS*ST2))/SS)
        SIGB=SQRT(1.0/ST2)
        CHI2=0.0
        DO 15 I=1,NDATA
            CHI2=CHI2+(Y(I)-A-B*X(I))**2
15    CONTINUE
        Q=1.0
        SIGDAT=SQRT(CHI2/(NDATA-2))
        SIGA=SIGA*SIGDAT
        SIGB=SIGB*SIGDAT
        WRITE(7,200) A,B
200  FORMAT(F10.2,F10.2)
        WRITE(7,200) SIGA,SIGB
        CLOSE(UNIT=5)
        CLOSE(UNIT=7)
        STOP
        END

```

## 표 1-4 수원오염 대처방안 Knowledge Base

```
(@VERSION= 031)

(@OBJECT= Epidemic_Spread
  (@PROPERTIES=
    Value @TYPE=Boolean;
  )
)

(@OBJECT= Measure_Identified
  (@PROPERTIES=
    Value @TYPE=Boolean;
  )
)

(@OBJECT= Micro_High
  (@PROPERTIES=
    Value @TYPE=Boolean;
  )
)

(@OBJECT= No_Cover
  (@PROPERTIES=
    Value @TYPE=Boolean;
  )
)

(@OBJECT= No_Trmt
  (@PROPERTIES=
    Value @TYPE=Boolean;
  )
)

(@OBJECT= Potential_Pollution
  (@PROPERTIES=
    Value @TYPE=Boolean;
  )
)

(@OBJECT= Potential_Vandalism
  (@PROPERTIES=
    Value @TYPE=Boolean;
  )
)
```

```

)
(@OBJECT= Sanitary_Bad
  (@PROPERTIES=
    Value @TYPE=Boolean;
  )
)
(@OBJECT= Source_Micro_High
  (@PROPERTIES=
    Value @TYPE=Boolean;
  )
)
(@OBJECT= Tap_Micro_High
  (@PROPERTIES=
    Value @TYPE=Boolean;
  )
)

(@RULE= R_Cover
  (@LHS=
    (No (No_Cover))
    (Yes (Potential_Pollution))
  )
  (@HYPO= Measure_Identified)
  (@RHS=
    (Execute ("WriteTo")
(@WAIT=TRUE;@STRING="@TRANSCRIPT,\
@FILE=drk_mgmt.out,@TEXT=뚜껑이 있는 우물이나 관정호에 위생상태가 불량하거
나 수인성 전염병이 유행하여 오염발생 가능성이 있는 경우입니다. 이에 대한 당면
한 신속조치법은 다음과 같습니다. 1) 미생물검사를 다시한다. 2) 가정에서 물을 끓
여 마신다.
3) 가정에서 소독약을 사용하거나 여과를 하여 마신다. 4) 위생조사를 정밀히하여
잘못된 곳을 시정한다. 5) 안전한 수원으로 대체한다.\
@ADD";))
    (Execute ("WriteTo")
(@WAIT=TRUE;@STRING="@TRANSCRIPT,\
@FILE=drk_mgmt.out,@TEXT=재발방지를 위한 예방조치법은 다음과 같습니다. 1)
오염원을 제거한다. 2) 지역주민을 교육시키고 상수원 보호에 적극 참여토록 한
다.\

```

```
@ADD";))
)
)
```

```
(@RULE=      R_Measure_Identified
  (@LHS=
    (Yes      (No_Cover))
    (Yes      (Potential_Pollution))
  )
  (@HYPO=      Measure_Identified)
  (@RHS=
    (Execute ("WriteTo"))
```

```
(@WAIT=TRUE;@STRING="@TRANSCRIPT,\
```

```
@FILE=drk_mgmt.out,@TEXT=뚜껑이 없는 우물에 위생상태가 불량하거나 수인성 전염병이 유행하여 오염발생 가능성이 있는 경우입니다. 이에 대한 당면한 신속조치법은 다음과 같습니다. 1) 우물을 청소한다. 2) 가정에서 물을 끓여 마신다. 3) 가정에서 소독약을 사용하거나 여과를 하여 마신다.,@ADD";))
```

```
(Execute ("WriteTo"))
```

```
(@WAIT=TRUE;@STRING="@TRANSCRIPT,\
```

```
@FILE=drk_mgmt.out,@TEXT=재발방지를 위한 예방조치법은 다음과 같습니다. 1) 뚜껑이나 보호시설을 설치한다. 2) 지역주민을 교육시키고 상수원 보호에 적극 참여토록 한다
? ,@ADD";))
```

```
)
)
```

```
(@RULE=      R_No_Trmt
  (@LHS=
    (Yes      (No_Trmt))
    (Yes      (Potential_Pollution))
  )
  (@HYPO=      Measure_Identified)
  (@RHS=
    (Execute ("WriteTo"))
```

```
(@WAIT=TRUE;@STRING="@TRANSCRIPT,\
```

```
@FILE=drk_mgmt.out,@TEXT=처리시설을 갖추지 않은 간이급수시설에 위생상태가 불량할때 수인성 전염병이 유행하여 오염발생 가능성이 있는 경우입니다. 이에 대한 당면한 신속조치법은 다음과 같습니다. 1) 미생물검사를 다시한다. 2) 가정에서 물을 끓여 마신다. 3) 가정에서 소독약을 사용하거나 여과를 하여 마신다. 4) 위생조사를 정밀히하여 잘못된 곳을 시정한다. 5) 염소처리를 한다.,\
```

```

@ADD;))
      (Execute ("WriteTo")
(@WAIT=TRUE,@STRING="@TRANSCRIPT,\
@FILE=drk_mgmt.out,@TEXT=재발방지를 위한 예방조치법은 다음과 같습니다. 1)
오염원을 제거하고 시설이 잘못된 곳은 고친다. 2) 수원과 저류조를 보호한다.\
@ADD;))
      )
)

```

```

(@RULE=      R_No_Trmt_1
  (@LHS=
    (Yes      (No_Trmt))
    (Yes      (Source_Micro_High))
  )
  (@HYPO=      Measure_Identified)
  (@RHS=

```

```

      (Execute ("WriteTo")
(@WAIT=TRUE,@STRING="@TRANSCRIPT,\
@FILE=drk_mgmt.out,@TEXT=처리시설을 갖추지 않은 간이급수시설의 수원지 미생
물이 초과한 경우입니다. 이에 대한 당면한 신속조치법은 다음과 같습니다. 1) 미생
물검사를 다시한다. 2) 가정에서 물을 끓여 마신다. 3) 가정에서 소독약을 사용하거
나 여과를 하여 마신다. 4) 위생조사를 정밀히하여 잘못된 곳을 시정한다. 5) 염소처
리를 한다.@ADD;))

```

```

      (Execute ("WriteTo")
(@WAIT=TRUE,@STRING="@TRANSCRIPT,\
@FILE=drk_mgmt.out,@TEXT=재발방지를 위한 예방조치법은 다음과 같습니다. 1)
오염원을 제거하고 시설이 잘못된 곳은 고친다. 2) 수원과 저류조를 보호한다.\
@ADD;))
      )
)

```

```

(@RULE=      R_No_Trmt_2
  (@LHS=
    (Yes      (No_Trmt))
    (Yes      (Tap_Micro_High))
  )
)

```



```

(@HYPO=      Measure_Identified)
(@RHS=
      (Execute ("WriteTo")
(@WAIT=TRUE;@STRING="@TRANSCRIPT,\
@FILE=drk_mgmt.out,@TEXT=처리시설을 갖추지 않은 간이급수시설에서 가정에 공
급된 물이 미생물 기준을 초과한 경우입니다. 이에 대한 당면한 신속조치법은 다음
과 같습니다 1) 미생물검사를 다시한다. 2) 가정에서 물을 끓여 마신다. 3) 가정에
서 소독약을 사용하거나 여과를 하여 마신다. 4) 위생조사를 정밀히하여 잘못된 곳
을 시정한다.\
5) 염소처리를 한다.,@ADD";))
      (Execute ("WriteTo")
(@WAIT=TRUE;@STRING="@TRANSCRIPT,\
@FILE=drk_mgmt.out,@TEXT=재발방지를 위한 예방조치법은 다음과 같습니다. 1)
급수시설의 정기적인 감독 및 보수를 실시한다. 2) 정기적인 위생검사를 실시한다.
3) 노후되거나 파손된 시설은 교체한다. ,@ADD";))
      )
)

(@RULE=      R_No_Trmt_3
(@LHS=
      (Yes      (No_Trmt))
      (Yes      (Epidemic_Spread))
      )
(@HYPO=      Measure_Identified)
(@RHS=
      (Execute ("WriteTo")
(@WAIT=TRUE;@STRING="@TRANSCRIPT,\
@FILE=drk_mgmt.out,@TEXT=처리시설을 갖추지 않은 간이급수시설에서 수인성 전
염병이 유행할 경우입니다. 이에 대한 당면한 신속조치법은 다음과 같습니다. 1) 미
생물검사를 다시한다. 2) 가정에서 물을 끓여 마신다. 3) 가정에서 소독약을 사용한
다. 4) 급수시설에 대한 위생조사를 정밀히하여 잘못된 곳을 시정한다. 5) 염소처리
를 한다.,@ADD";))
      (Execute ("WriteTo")
(@WAIT=TRUE;@STRING="@TRANSCRIPT,\
@FILE=drk_mgmt.out,@TEXT=재발방지를 위한 예방조치법은 다음과 같습니다. 수
원과 급수시설의 정기적인 감독 및 보수를 실시한다.\

```

```
@ADD";))
)
```

```
(@RULE= R_Potential_Pollution
(@LHS=
(Yes (Sanitary_Bad))
)
(@HYPO= Potential_Pollution)
)
```

```
(@RULE= R_Potential_Pollution__1
(@LHS=
(Yes (Epidemic_Spread))
)
(@HYPO= Potential_Pollution)
)
```

```
(@RULE= R_Potential_Pollution__2
(@LHS=
(Yes (Potential_Vandalism))
)
(@HYPO= Potential_Pollution)
)
```

```
(@RULE= R_Trmt_1
(@LHS=
(No (No_Trmt))
(Yes (Epidemic_Spread))
)
(@HYPO= Measure_Identified)
(@RHS=
(Execute ("WriteTo"))
```

```
(@WAIT=TRUE;@STRING="@TRANSCRIPT,\
@FILE=drk_mgmt.out,@TEXT=처리시설을 갖춘 간이급수시설에서 수인성 전염병이
유행할 경우입니다. 이에 대한 당면한 신속조치법은 다음과 같습니다. 1) 미생물검
사를 다시 한다 2) 가정에서 물을 끓여 마신다. 3) 가정에서 소독약을 사용한다. 4)
수원과 처리시설에 대한 위생조사를 정밀히하여 잘못된 곳을 시정한다. 5) 염소처리
를 한다.\
@ADD";))
```

```
(Execute ("WriteTo"))
```

```
(@WAIT=TRUE;@STRING="@TRANSCRIPT,\
@FILE=drk_mgmt.out,@TEXT=재발방지를 위한 예방조치법은 다음과 같습니다. 1)
전체 시스템에 대한 정기적인 감독 및 보수를 실시한다. 2) 위생상태를 점검한다.\
```

```
@ADD";))  
    )  
)
```

```
(@RULE=      R_Trmt_2  
  (@LHS=  
    (No      (No_Trmt))  
    (Yes     (Tap_Micro_High))  
  )  
  (@HYPO=    Measure_Identified)  
  (@RHS=  
    (Execute ("WriteTo"))
```

```
(@WAIT=TRUE;@STRING="@TRANSCRIPT,\n@FILE=drk_mgmt.out,@TEXT=처리시설을 갖춘 간이급수시설에서 처리후 또는 급수  
시설에서 미생물이 기준을 초과할 경우입니다. 이에 대한 당면한 신속조치법은 다  
음과 같습니다. 1) 염소처리가 적합한지 확인한다. 2) 가정에서 물을 끓여 마신다.  
3) 가정에서 소독약을 사용한다. 4) 전체 시스템을 정밀조사하여 잘못된 곳을 시정  
한다. \n@ADD";))
```

```
(Execute ("WriteTo"))
```

```
(@WAIT=TRUE;@STRING="@TRANSCRIPT,\n@FILE=drk_mgmt.out,@TEXT=재발방지를 위한 예방조치법은 다음과 같습니다. 1)  
전체 시스템에 대한 정기적인 감독 및 보수를 실시한다. 2) 위생상태를 점검한다.\n@ADD";))  
  )  
)
```

```
(@RULE=      R_Trmt_3  
  (@LHS=  
    (No      (No_Trmt))  
    (Yes     (Sanitary_Bad))  
  )  
  (@HYPO=    Measure_Identified)  
  (@RHS=  
    (Execute ("WriteTo"))
```

```
(@WAIT=TRUE;@STRING="@TRANSCRIPT,\n@FILE=drk_mgmt.out,@TEXT=처리시설을 갖춘 간이급수시설에서 수원, 처리시설 및  
급수시설의 위생상태가 불량한 경우입니다. 이에 대한 당면한 신속조치법은 다음과  
같습니다. 1) 미생물 검사를 다시 한다. 2) 가정에서 물을 끓여 마신다.\n
```

```
3) 가정에서 소독약을 사용하거나 여과하여 마신다. \
@ADD";))
        (Execute ("WriteTo")
(@WAIT=TRUE;@STRING="@TRANSCRIPT,\
@FILE=drk_mgmt.out,@TEXT=재발방지를 위한 예방조치법은 다음과 같습니다. 1)
전체 시스템에 대한 정기적인 감독 및 보수를 실시한다. 2) 위생상태를 점검한다.\
@ADD";))
        )
)
```

## 표 1-5 전기시설 Knowledge Base

```
(@VERSION= 031)
```

```
(@OBJECT= Breaker_Open  
  (@PROPERTIES=  
    Value @TYPE=Boolean;  
  )  
)
```

```
(@OBJECT= Breaker_Prob  
  (@PROPERTIES=  
    Value @TYPE=Boolean;  
  )  
)
```

```
(@OBJECT= Cable_Prob  
  (@PROPERTIES=  
    Value @TYPE=Boolean;  
  )  
)
```

```
(@OBJECT= Condenser_Prob  
  (@PROPERTIES=  
    Value @TYPE=Boolean;  
  )  
)
```

```
(@OBJECT= Motor_Prob  
  (@PROPERTIES=  
    Value @TYPE=Boolean;  
  )  
)
```

```
(@OBJECT= Prob_Identified  
  (@PROPERTIES=  
    Value @TYPE=Boolean;  
  )  
)
```

```
(@OBJECT= Transformer_Prob  
  (@PROPERTIES=  
    Value @TYPE=Boolean;
```

```
)  
)
```

```
(@RULE=      R_Breaker_Open  
  (@LHS=  
    (Yes    (Breaker_Open))  
  )  
  (@HYPO=    Prob_Identified)  
  (@RHS=  
    (Execute ("WriteTo"))
```

```
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=electric.out,\
```

```
@TEXT=전원을 연결하면 곧바로 차단기가 작동하거나 휴즈가 끊어지는 경우입니  
다. 이것은 누전 등에 의한 것으로 판단됩니다. 수리기술자를 불러 누전여부를 확인  
하십시오\  
.,@ADD";))
```

```
)
```

```
)
```

```
(@RULE=      R_Breaker_Prob  
  (@LHS=  
    (Yes    (Breaker_Prob))  
  )  
  (@HYPO=    Prob_Identified)  
  (@RHS=  
    (Execute ("WriteTo"))
```

```
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=electric.out,\
```

```
@TEXT=차단기가 파손된 경우입니다. 고장나면 자동으로 벨이 작동하도록 되어 있  
는 곳도 있습니다. 보통 제작불량이거나 동물들에 의한 파손이 그 원인입니다. 지지  
애자만 교체하거나 접점부위만 교체하도록 합니다.\  
@ADD";))
```

```
)
```

```
)
```

```
(@RULE=      R_Cable_Prob  
  (@LHS=  
    (Yes    (Cable_Prob))  
  )  
  (@HYPO=    Prob_Identified)  
  (@RHS=  
    (Execute ("WriteTo"))
```

```
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=electric.out,\
```

```
@TEXT=전원을 연결하면 곧바로 차단기가 작동하거나 휴즈가 끊어지는 경우입니  
다. 이것은 누전 등에 의한 것으로 판단됩니다. 수리기술자를 불러 누전여부를 확인  
하십시오\  
.,@ADD";))
```

```
)
```

```
)
```

@TEXT=케이블이 손실된 경우입니다. 과전압이 전선에 흐름에 따라 이를 견디지 못하고 저항에 의해서 열화되거나 또는 전선의 접지 불량 및 제작불량으로 발생합니다. 손실된 케이블을 모두 교체하도록 합니다.,@ADD";))

)  
)

```
(@RULE=      R_Condenser_Prob
  (@LHS=
    (Yes      (Condenser_Prob))
  )
  (@HYPO=      Prob_Identified)
  (@RHS=
    (Execute ("WriteTo")
```

```
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=electric.out,\
@TEXT=콘덴서의 손실은 육안으로 식별이 가능합니다. 절연저항의 불량이 원인이며 일단 손실된 경우에는 콘덴서 전체를 교체해야 합니다.,\
@ADD";))
  )
)
```

```
(@RULE=      R_Motor_Prob
  (@LHS=
    (No       (Motor_Prob))
    (No       (Transformer_Prob))
    (No       (Condenser_Prob))
    (Yes      (Cable_Prob))
  )
  (@HYPO=      Prob_Identified)
  (@RHS=
    (Execute ("WriteTo")
```

```
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=electric.out,\
@TEXT=모터나 변압기, 콘덴서 등은 이상이 없는데 케이블만 손실된 경우입니다. 이것은 국부적으로 케이블의 피복 불량이나 접속 불량 등으로 누전이 발생하여 케이블이 손실되었을 가능성이 높습니다. 케이블 상태와 접속 상태를 면밀히 조사하고 누전의 원인인 부분은 확인하여 수리하도록 하십시오.,\
@ADD";))
  )
)
```

```

(@RULE=      R_Transformer_Prob
  (@LHS=
    (Yes      (Transformer_Prob))
  )
  (@HYPO=      Prob_Identified)
  (@RHS=
    (Execute ("WriteTo")
  (@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=electric.out,\
  @TEXT=변압기가 고장 또는 손실된 경우입니다. 전압을 바꾸어주는 변압기에서 과
  전압 발생으로 인해 절연체가 파괴되어 발생하는데 이때 차단기가 자동으로 작동하
  도록 되어 있습니다. 일반적으로,대용량 (50kW) 인 경우에는 수리를 하도록 하고,
  소용량 (5-50kW) 인 경우에는 새로 교체합니다.\
  @ADD";))
  )
)

```



## 표 1-6 펌프설비 Knowledge Base

```
(@VERSION= 031)
(@PROPERTY= Diagnosed @TYPE=Boolean;)
(@PROPERTY= Diagnosed_Identified @TYPE=Boolean;)
(@PROPERTY= Identified @TYPE=Boolean;)
```

```
(@OBJECT= Action
  (@PROPERTIES=
    Value @TYPE=String;
  )
)
```

```
(@OBJECT= Air_in_Inlet_Pipe
  (@PROPERTIES=
    Value @TYPE=Boolean;
  )
)
```

```
(@OBJECT= Critical_Mechanical_Problems
  (@PROPERTIES=
    Value @TYPE=Boolean;
  )
)
```

```
(@OBJECT= Cylinder_Broken
  (@PROPERTIES=
    Value @TYPE=Boolean;
  )
)
```

```
(@OBJECT= Cylinder_Impeller_Problem
  (@PROPERTIES=
    Value @TYPE=Boolean;
  )
)
```

```
(@OBJECT= Cyl_Imp_Broken
  (@PROPERTIES=
    Value @TYPE=Boolean;
  )
)
```

```

(@OBJECT=      Distribution_Line_Prbl
  (@PROPERTIES=
    Value  @TYPE=Boolean;
  )
)

(@OBJECT=      Enough_Water
  (@PROPERTIES=
    Value  @TYPE=Boolean;
  )
)

(@OBJECT=      Fuse_Out_or_Breaker_Open
  (@PROPERTIES=
    Value  @TYPE=Boolean;
  )
)

(@OBJECT=      Headwater_Enough
  (@PROPERTIES=
    Value  @TYPE=Boolean;
  )
)

(@OBJECT=      Impeller_Jamming
  (@PROPERTIES=
    Value  @TYPE=Boolean;
  )
)

(@OBJECT=      Impeller_or_Diaphragm_Prbl
  (@PROPERTIES=
    Value  @TYPE=Boolean;
  )
)

(@OBJECT=      Impeller_Prbl
  (@PROPERTIES=
    Value  @TYPE=Boolean;
  )
)

(@OBJECT=      Impeller_PressSwitch_Distribution_Prbl
  (@PROPERTIES=

```

```

        Value @TYPE=Boolean;
    )
)

(@OBJECT=    Inlet_Pipe_Air_Problem
  (@PROPERTIES=
    Value @TYPE=Boolean;
  )
)

(@OBJECT=    Low_Water_Level_Problem
  (@PROPERTIES=
    Value @TYPE=Boolean;
  )
)

(@OBJECT=    Mechanical_Problems
  (@PROPERTIES=
    Value @TYPE=Boolean;
  )
)

(@OBJECT=    Minor_Mechanical_Problems
  (@PROPERTIES=
    Value @TYPE=Boolean;
  )
)

(@OBJECT=    Motor_Burnt
  (@PROPERTIES=
    Value @TYPE=Boolean;
  )
)

(@OBJECT=    Normal_Operation
  (@PROPERTIES=
    Value @TYPE=Boolean;
  )
)

(@OBJECT=    Power_is_On
  (@PROPERTIES=
    Value @TYPE=Boolean;
  )
)

```

```
(@OBJECT=    PressSwitch_Operate
  (@PROPERTIES=
    Value    @TYPE=Boolean,
  )
)
```

```
(@OBJECT=    Pump_Enough_Water
  (@PROPERTIES=
    Value    @TYPE=Boolean,
  )
)
```

```
(@OBJECT=    Pump_Operate
  (@PROPERTIES=
    Value    @TYPE=Boolean,
  )
)
```

```
(@OBJECT=    Pump_Prob
  (@PROPERTIES=
    Diagnosed
    Diagnosed_Identified
    Identified
  )
)
```

```
(@OBJECT=    Rain_expected
  (@PROPERTIES=
    Value    @TYPE=Boolean,
  )
)
```

```
(@OBJECT=    Strainer_Clogging
  (@PROPERTIES=
    Value    @TYPE=Boolean,
  )
)
```

```
(@OBJECT=    Strainer_Problem
  (@PROPERTIES=
    Value    @TYPE=Boolean,
  )
)
```

```
(@OBJECT=      TankPress_Cylndr_Impeller_Prbl
  (@PROPERTIES=
    Value  @TYPE=Boolean;
  )
)
```

```
(@OBJECT=      Tank_Press_High
  (@PROPERTIES=
    Value  @TYPE=Boolean;
  )
)
```

```
(@OBJECT=      Tank_Press_Problem
  (@PROPERTIES=
    Value  @TYPE=Boolean;
  )
)
```

```
(@OBJECT=      Too_Much_Air_in_HW
  (@PROPERTIES=
    Value  @TYPE=Boolean;
  )
)
```

```
(@OBJECT=      Too_Much_Air_Problem
  (@PROPERTIES=
    Value  @TYPE=Boolean;
  )
)
```

```
(@OBJECT=      Valve_Deteriorated
  (@PROPERTIES=
    Value  @TYPE=Boolean;
  )
)
```

```
(@OBJECT=      Valve_Leak
  (@PROPERTIES=
    Value  @TYPE=Boolean;
  )
)
```

```
(@OBJECT=      Valve_Problem
  (@PROPERTIES=
    Value  @TYPE=Boolean;
  )
)
```

```

)
)
(@OBJECT=      Water_Comes_Out
  (@PROPERTIES=
    Value  @TYPE=Boolean;
  )
)
(@OBJECT=      Water_Level_Low
  (@PROPERTIES=
    Value  @TYPE=Boolean;
  )
)
(@OBJECT=      Water_Shortage_Problem
  (@PROPERTIES=
    Value  @TYPE=Boolean;
  )
)
(@OBJECT=      Weather_Forcated
  (@PROPERTIES=
    Value  @TYPE=Boolean;
  )
)

(@RULE=        R_Critical_Mechanical_Problems
  @INFCAT=90;
  @WHY="펌프의 작동여부, 양수가능여부, 충분한 양의 양수가 되는지의 여부, 수원지 수량이 충분한지 여부는 펌프의 기계적인 고장여부를 판단하는 중요한 단서들입니다. ";
  (@LHS=
    (Yes      (Pump_Operate))
    (No       (Water_Comes_Out))
    (Yes      (Headwater_Enough))
  )
  (@HYPO=      Pump_Prob.Identified)
  (@RHS=
    (Execute ("WriteTo"))
  )
  (@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=Pump.out,\
  @TEXT=수원의 수량은 충분하고 펌프도 작동하지만 물이 나오지 않는 경우로서 펌프에 기계적인 문제가 있는 것으로 판단됩니다. 펌프의 기계적인 결함이나 고장으로 는 밸브시트의 노후 또는 부식과 같은 펌프밸브의 이상, 펌프 실린더 파손, 임펠러

```

나 모터밸브에 이물질 유입, 수원에 과잉공기가 차는 경우 등 여러 가지 원인이 있을 수 있습니다.\

@ADD";))

)

)

(@RULE= R\_Cylinder\_Broken

@WHY="펌프의 실린더가 파손되었을 경우 제대로 양수가 되지 않습니다. 밸브와 밸브시트의 상태를 점검하십시오. ";

(@LHS=

(Yes (Cylinder\_Broken))

)

(@HYPO= Pump\_Prob.Diagnosed)

(@RHS=

(Execute ("WriteTo"))

(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=Pump.out,\

@TEXT=펌프의 실린더가 파손되어 펌프가 제대로 작동하지 않고 있습니다. 실린더를 새것으로 교체하십시오.@ADD";))

)

)

(@RULE= R\_Cylinder\_Impeller\_Problem

@WHY="실린더나 임펠러의 파손여부는 그 자체로도 중요한 문제이지만 다른 원인을 추정하는데도 도움이 됩니다. ";

(@LHS=

(Yes (Cyl\_Imp\_Broken))

)

(@HYPO= Pump\_Prob.Diagnosed)

(@RHS=

(Execute ("WriteTo"))

(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=Pump.out,\

@TEXT=실린더나 임펠러의 파손여부가 @V(Cyl\_Imp\_Broken.Value)로서 펌프가 작동되고, 양수도 가능하나 양수량이 충분치 않은 주 원인 중의 하나로 추정됩니다. 실린더나 임펠러를 새것으로 교체하십시오.@ADD";))

)

)

(@RULE= R\_Distribution\_Line\_Prbl

@INFCAT=40;

@WHY="압력스위치의 작동여부는 배선상의 문제점을 판단하는데 중요합니다. ";

```

(@LHS=
    (Yes    (Impeller_PressSwitch_Distribution_Prb))
    (No    (PressSwitch_Operate))
)
(@HYPO=      Pump_Prob.Identified)
(@RHS=
    (Execute ("WriteTo")
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=Pump.out,\
@TEXT=펌프작동여부 @V(Pump_Operate.Value),\
전원공급상태 @V(Power_is_On.Value),   휴즈나   회로차단기   상태
@V(Fuse_Out_or_Break\
er_Open.Value), 모터의 화재여부 @V(Motor_Burnt.Value)이므로 전기적인 문제는
없는 것으로 보입니다. 그리고, 압력스위치가 작동하지 않는 것으로 볼때 배선상에
문제가 발생했을 가능성이 높습니다.@ADD";))
    )
)

(@RULE=      R_Fuse_Out_or_Breaker_Open
    @WHY="펌프의 작동여부, 전원의 공급여부, 휴즈나 회로차단기의 개방여
부, 모터의 화재여부 등은 펌프의 고장원인-특히 전기적인 원인-을 밝히는 중요한
단서들 입니다. ";
    (@LHS=
        (Yes    (Fuse_Out_or_Breaker_Open))
    )
    (@HYPO=      Pump_Prob.Diagnosed)
    (@RHS=
        (Execute ("WriteTo")
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=Pump.out,\
@TEXT=휴즈가 끊어졌거나 회로차단기가 열려져 있는 경우입니다. 만일 재연결했
는데 바로 끊어질 경우에는 펌프제조회사나 수리회사에 연락하십시오.\
@ADD";))
        )
    )

(@RULE=      R_Impeller_Jamming
    @WHY="임펠러에 이물질이 끼어들 경우 제대로 양수가 되지 않습니다. 임
펠러의 이물질유입여부를 점검하십시오. ";
    (@LHS=
        (Yes    (Impeller_Jamming))
    )
    (@HYPO=      Pump_Prob.Diagnosed)

```



```

    (@RHS=
        (Execute ("WriteTo")
    (@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=Pump.out,\
@TEXT=임펠러에 이물질이 끼어들어 펌프가 제대로 작동하지 않고 있습니다. 이물
질을 제거하고 깨끗이 청소하십시오.,@ADD";))
    )
)

```

```

(@RULE=      R_Impeller_or_Diaphram_Pr
@INFCAT=50;
@WHY="압력스위치의 작동여부는 배선상의 문제점을 판단하는데 중요합니
다.";
(@LHS=
    (Yes    (Impeller_PressSwitch_Distribution_Pr
    (Yes    (PressSwitch_Operate))
    )
(@HYPO=      Pump_Prob.Identified)
(@RHS=
    (Execute ("WriteTo")
    (@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=Pump.out,\
@TEXT=펌프작동여부 @V(Pump_Operate.Value),\
전원공급상태 @V(Power_is_On.Value), 휴즈나 회로차단기 상태
@V(Fuse_Out_or_Break\
er_Open.Value), 모터의 화재여부 @V(Motor_Burnt.Value)이므로 전기적인 문제는
없는 것으로 보입니다. 그리고, 압력스위치가 작동하는 것으로 볼때 임펠러에 이물
질이 유입되었거나 고장났을 가능성 또는 압력스위치의 다이어프램이 고장났을 가
능성이 높습니다.,@ADD";))
    )
)

```

```

(@RULE=      R_Impeller_PressSwitch_Distribution_Pr
@INFCAT=60;
@WHY="펌프의 작동여부, 전원의 공급여부, 휴즈나 회로차단기의 개방여
부, 모터의 화재여부 등은 펌프의 고장원인-특히 전기적인 원인-을 밝히는 중요한
단서들 입니다. ";
(@LHS=
    (No    (Pump_Operate))
    (Yes   (Power_is_On))
    (No    (Fuse_Out_or_Breaker_Open))
    (No    (Motor_Burnt))
    )
)

```

```

(@HYPO=      Impeller_PressSwitch_Distribution_Prbl)
(@RHS=
      (Execute ("WriteTo")
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=Pump.out,\
@TEXT=펌프작동여부 @V(Pump_Operate.Value),\
전원공급상태 @V(Power_is_On.Value), 휴즈나 회로차단기 상태
@V(Fuse_Out_or_Break\
er_Open.Value), 모터의 화재여부 @V(Motor_Burnt.Value)이므로 전기적인 문제는
없는 것으로 보입니다. 따라서, 임펠러에 이물질이 유입되었거나 압력스위치의 다이
아프램이 문제가 있거나 배선의 고장일 가능성이 높습니다.\
@ADD";))
      )
)

```

```

(@RULE=      R_Inlet_Pipe_Air_Problem
@WHY="흡입관에 공기가 차있는지의 여부는 그 자체로도 중요한 문제이지
만 다른 원인을 추정하는데도 도움이 됩니다. 진공계이지로 흡입관에 공기가 차있
는지를 확인하십시오.";
(@LHS=
      (Yes (Air_in_Inlet_Pipe))
)
(@HYPO=      Pump_Prob.Diagnosed)
(@RHS=
      (Execute ("WriteTo")
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=Pump.out,\
@TEXT=흡입관에 공기가 차있는지의 여부가 @V(Air_in_Inlet_Pipe.Value)로서 펌프
가 이상이 있거나 양수도 가능하나 양수량이 충분치 않은 주 원인 중의 하나로 추
정됩니다. 공기를 펌핑하여 배출시키고 흡입관이 새는지 확인하십시오.\
@ADD";))
      )
)

```

```

(@RULE=      R_Low_Water_Level_Problem
@WHY="수원의 수위가 낮아서 흡입고 미만인 경우 제대로 양수가 되지 않
습니다. 진공계이지로 수위가 흡입고 미만인지를 확인하십시오.";
(@LHS=
      (Yes (Water_Level_Low))
)
(@HYPO=      Pump_Prob.Diagnosed)
(@RHS=
      (Execute ("WriteTo")

```

```
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=Pump.out,\
@TEXT=수원의 수위가 낮아서 흡입고 미만인 경우입니다. 물을 채우거나 펌프를 더
낮게 설치해야 할 것입니다,@ADD");)
)
```

```
(@RULE=      R_Minor_Mechanical_Problems
@INFCAT=80;
@WHY="펌프의 작동여부, 양수가능여부, 충분한 양의 양수가 되는지의 여
부, 수원지 수량이 충분한지 여부는 펌프의 기계적인 고장여부를 판단하는 중요한
단서들입니다. ";
@LHS=
      (Yes   (Pump_Operate))
      (Yes   (Water_Comes_Out))
      (No    (Pump_Enough_Water))
      (Yes   (Headwater_Enough))
)
@HYPO=      Minor_Mechanical_Problems)
@RHS=
      (Execute ("WriteTo")
```

```
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=Pump.out,\
@TEXT=펌프작동여부 @V(Pump_Operate.Value),\
양수가능여부 @V(Water_Comes_Out.Value), 충분한 양이 양수되는지 여부
@V(Pump_Eno\
ugh_Water.Value), 수원수량의 충분여부는 @V(Headwater_Enough.Value)이므로 펌
프에 다소간의 기계적인 문제가 있는 것으로 판단됩니다. 여기에는 펌프밸브이상,
탱크압력과다, 실린더나 임펠러 파손, 스트레이너나 임펠러에 이물질유입, 수원에 과
잉공기 차는 경우, 흡입관에 공기가 차는 경우 등이 있을 수 있습니다.\
@ADD");)
)
```

```
(@RULE=      R_Motor_Burnt
@WHY="펌프의 작동여부, 전원의 공급여부, 휴즈나 회로차단기의 개방여
부, 모터의 화재여부 등은 펌프의 고장원인-특히 전기적인 원인-을 밝히는 중요한
단서들 입니다. ";
@LHS=
      (Yes   (Motor_Burnt))
)
@HYPO=      Pump_Prob.Diagnosed)
@RHS=
      (Execute ("WriteTo")
```

```
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=Pump.out,\
```

```

@TEXT=모타가 타버린 경우입니다. 펌프제조회사나 수리회사에 연락하십시오.\
@ADD";))
)
)

```

```

(@RULE=      R_Normal_Operation
  @INFCAT=100;
  @WHY="펌프의 작동여부, 양수가능여부, 충분한 양의 양수가 되는지의 여
부, 수원지 수량이 충분한지 여부는 펌프의 기계적인 고장여부를 판단하는 중요한
단서들입니다. ";
  (@LHS=
    (Yes  (Pump_Operate))
    (Yes  (Water_Comes_Out))
    (Yes  (Pump_Enough_Water))
  )
  (@HYPO=      Pump_Prob.Identified)
  (@RHS=
    (Execute ("WriteTo"))
  )
  (@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=Pump.out,\
@TEXT=펌프작동여부가 @V(Pump_Operate.Value),\
양수가능여부 @V(Water_Comes_Out.Value), 충분한 양이 양수되는지 여부
@V(Pump_Eno\
ugh_Water.Value)이므로 펌프는 정상가동상태라고 판단됩니다.\
@ADD";))
)
)

```

```

(@RULE=      R_Power_Prob
  @WHY="펌프의 작동여부, 전원의 공급여부, 휴즈나 회로차단기의 개방여
부, 모터의 화재여부 등은 펌프의 고장원인-특히 전기적인 원인-을 밝히는 중요한
단서들 입니다. ";
  (@LHS=
    (No  (Power_is_On))
  )
  (@HYPO=      Pump_Prob.Diagnosed)
  (@RHS=
    (Execute ("WriteTo"))
  )
  (@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=Pump.out,\
@TEXT=전원이 꺼져있는지를 확인하고 전원을 연결하십시오. 만일 전원이 연결되었
는데도 펌프가 전혀 작동하지 않을 경우에는 펌프제조회사나 수리회사에 연락하십
시오.\
@ADD";))
)
)

```

```

(@RULE=      R_PressSwitch_Prob
  @WHY="압력스위치의 작동여부는 배선상의 문제점을 판단하는데 중요합니다.";
  @LHS=
    (No      (PressSwitch_Operate))
  )
  @HYPO=      Pump_Prob.Diagnosed)
  @RHS=
    (Execute ("WriteTo")
  @WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=Pump.out,\
  @TEXT=압력스위치가 작동하지 않는 것은 배선상의 원인일 가능성이 높습니다. 배
  선상 이상유무를 확인하십시오.;@ADD";))
  )
)

(@RULE=      R_Pump_Prob_Diagnosed_Identified1
  @LHS=
    (Yes      (Pump_Prob.Diagnosed))
  )
  @HYPO=      Pump_Prob.Diagnosed_Identified)
)

(@RULE=      R_Pump_Prob_Diagnosed_Identified2
  @LHS=
    (Yes      (Pump_Prob.Identified))
  )
  @HYPO=      Pump_Prob.Diagnosed_Identified)
)

(@RULE=      R_Strainer_Problem
  @WHY="스트레이너의 막힘여부는 그 자체로도 중요한 문제이지만 다른 원
  인을 추정하는데도 도움이 됩니다. ";
  @LHS=
    (Yes      (Strainer_Clogging))
  )
  @HYPO=      Pump_Prob.Diagnosed)
  @RHS=
    (Execute ("WriteTo")
  @WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=Pump.out,\
  @TEXT=스트레이너의 막힘여부가 @V(Strainer_Clogging.Value)로서 펌프가 작동되
  고, 양수도 가능하나 양수량이 충분치 않은 주 원인 중의 하나로 추정됩니다. 스트
  레이너 주위의 이물질을 제거하고 깨끗이 청소하십시오.;\

```

```

@ADD");))
    )
)

(@RULE=      R_TankPress_Cylndr_Impeller_Prb
  @INFCAT=70;
  @WHY="밸브의 누수여부, 스트레이너의 막힘여부, 수원의 공기 과잉여부,
흡입관에 공기침 여부 등은 비교적 용이하게 파악할 수 있는 문제점들입니다. 이러
한 사항들은 그 자체로도 중요하지만 탱크의 압력과다, 실린더나 임펠러 내부의 문
제점인지를 판단하는데도 도움이 됩니다. ";
  (@LHS=
    (Yes   (Minor_Mechanical_Problems))
    (No    (Valve_Leak))
    (No    (Strainer_Clogging))
    (No    (Too_Much_Air_in_HW))
    (No    (Air_in_Inlet_Pipe))
  )
  (@HYPO=      Pump_Prob.Identified)
  (@RHS=
    (Execute ("WriteTo"))
  )
  (@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=Pump.out,\
@TEXT=펌프가 작동되고, 양수도 가능하나 양수량이 충분치 않을 경우인데,\
  밸브이상이나 스트레이너 막힘, 수원에 공기 과잉,\
  흡입관 공기 차는지 여부를 확인한 결과 이상이 없는 것으로 나타났습니다. 따라
서,\
  탱크 압력이 과다하게 설정되었거나 실린더 또는 임펠러의 파손,\
  임펠러의 이물질 유입 등이 의심되므로 확인하십시오.\
@ADD");))
  )
)

(@RULE=      R_Tank_Press_Problem
  @WHY="탱크의 압력 과다여부는 그 자체로도 중요한 문제이지만 다른 원
인을 추정하는데도 도움이 됩니다. ";
  (@LHS=
    (Yes   (Tank_Press_High))
  )
  (@HYPO=      Pump_Prob.Diagnosed)
  (@RHS=
    (Execute ("WriteTo"))
  )
  (@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=Pump.out,\
@TEXT=탱크의 압력 과다여부가 @V(Valve_Leak.Value)로서 펌프가 작동되고,\
  양수도 가능하나 양수량이 충분치 않은 주 원인 중의 하나로 추정됩니다. 탱크의
압력을 적절한 범위로 낮추도록 하십시오.@ADD");))

```

```

)
)

(@RULE=      R_Too_Much_Air_Problem
  @WHY="수원이 과잉공기로 차있는지의 여부는 그 자체로도 중요한 문제이지만 다른 원인을 추정하는데도 도움이 됩니다. ";
  @LHS=
    (Yes    (Too_Much_Air_in_HW))
  )
  (@HYPO=      Pump_Prob.Diagnosed)
  (@RHS=
    (Execute ("WriteTo"))
  )
  (@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=Pump.out,\
  @TEXT=취수장에 공기가 과다하게 있는 경우입니다. 펌프가 작동되지만 양수가 불가능하여 양수량이 충분치 않을 수 있습니다. 펌프를 가동시켰다가 멈추는 동작을 반복하여 실시하십시오.@ADD";))
  )
)

(@RULE=      R_Valve_Deteriorated
  @WHY="밸브나 밸브시트가 노후화 되었거나 부식되었을 경우 제대로 양수가 되지 않습니다. 밸브와 밸브시트의 상태를 점검하십시오. ";
  @LHS=
    (Yes    (Valve_Deteriorated))
  )
  (@HYPO=      Pump_Prob.Diagnosed)
  (@RHS=
    (Execute ("WriteTo"))
  )
  (@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=Pump.out,\
  @TEXT=밸브나 밸브시트가 낡았거나 부식된 경우입니다. 이런 경우 펌프는 작동하지만 양수할 수 없게 됩니다. 밸브와 밸브시트를 새것으로 교체하십시오.\
  @ADD";))
  )
)

(@RULE=      R_Valve_Problem
  @WHY="밸브의 누수여부는 그 자체로도 중요한 문제이지만 다른 원인을 추정하는데도 도움이 됩니다. ";
  @LHS=
    (Yes    (Valve_Leak))
  )
)

```

```

(@HYPO=      Pump_Prob.Diagnosed)
(@RHS=
      (Execute ("WriteTo")
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=Pump.out,\
@TEXT=펌프의 밸브가 새고 있는 경우입니다. 이런 경우에는 펌프도 작동되고,\
양수도 가능하나 양수량이 충분치 않게 됩니다. 밸브를 고치도록 해야합니다.\
@ADD";))
      )
)

(@RULE=      R_Water_Shortage_Problem
      @WHY="수원수량이 충분한지 여부는 그 자체로도 중요한 문제이지만 다른
원인을 추정하는데도 도움이 됩니다. 수원수량이 모자랄 경우 물이 잘나오지 않는
원인이 될 수 있습니다.";
      (@LHS=
      (No      (Headwater_Enough))
      )
      (@HYPO=      Pump_Prob.Diagnosed)
      (@RHS=
      (Execute ("WriteTo")
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=Pump.out,\
@TEXT=수원의 물이 말랐거나 수위가 펌프의 흡입고 이하인 경우입니다. 이러한 경
우에는 펌프는 작동되지만 양수가 불가능하거나 양수량이 충분치 않게 됩니다. 물수
요를 충족할 수 있는 새로운 수원을 개발할 필요가 있습니다. 이러한 문제는 펌프
의 압력계이지를 확인해 보면 정상압력보다 크게 나타나므로 쉽게 확인할 수 있습
니다.\
@ADD";))
      )
)

```



## 표 1-7 수원오염 방지 Knowledge Base

(@VERSION= 031)

```
(@OBJECT=   Agricult_Source_100m
  (@PROPERTIES=
    Value   @TYPE=Boolean;
  )
)
```

```
(@OBJECT=   Indust_Source_100m
  (@PROPERTIES=
    Value   @TYPE=Boolean;
  )
)
```

```
(@OBJECT=   Micro_Source_15m
  (@PROPERTIES=
    Value   @TYPE=Boolean;
  )
)
```

```
(@OBJECT=   Problem_Identified
  (@PROPERTIES=
    Value   @TYPE=Boolean;
  )
)
```

```
(@OBJECT=   Solution_Identified
  (@PROPERTIES=
    Value   @TYPE=Boolean;
  )
)
```

```
(@RULE=     R_A
  (@LHS=
    (Yes   (Agricult_Source_100m))
  )
  (@HYPO=   Problem_Identified)
  (@RHS=
    (Execute ("WriteTo"))
  )
)
```

```
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=poll_src.out,\
@TEXT=수원으로부터 100m 이내에 농약과 비료를 사용하는 논밭이 있는 경우입니
다. 1) 농약은 신경계에 독성을 일으키고 각종 암을 유발 할 수 있습니다. 2) 비료의
질소, 인 성분이 수원의 부영양화를 초래하여 조류가 번성하여 수질을 크게 악화시
킬 수 있습니다. 3) 비료나 분뇨속의 질산성 질소는 유아의 청색증을 일으킬 수 있
습니다.\
@ADD";))
)
)
```

```
(@RULE=      R_AI
(@LHS=
(Yes      (Problem_Identified))
(No       (Micro_Source_15m))
(Yes      (Agricult_Source_100m))
(Yes      (Indust_Source_100m))
)
(@HYPO=      Solution_Identified)
(@RHS=
```

```
(Execute ("WriteTo")
```

```
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=poll_src.out,\
@TEXT=수원으로부터 100m 이내에 논밭과 폐수배출공장이 있는 경우입니다. 오염
에 상당히 취약한 경우입니다.@ADD";))
```

```
(Execute ("WriteTo")
```

```
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=poll_src.out,\
@TEXT=대처방안으로는 1) 수원부근의 논밭에서 농약과 비료의 살포를 금지하고
폐수 배출업소의 이전 또는 배출처리시설을 강화한다. 2) 콘크리트 등의 균열이 발
견되면 즉시 보수하여 오염물질 유입을 차단한다. 3) 수질 및 위생조사를 강화하고
상수처리시설을 설치한다, 4) 가능하면 오염되지 않은 새로운 수원을 개발한다.\
@ADD";))
```

```
)
```

```
)
```

```
(@RULE=      R_A_
(@LHS=
(Yes      (Problem_Identified))
(No       (Micro_Source_15m))
(Yes      (Agricult_Source_100m))
(No       (Indust_Source_100m))
```

```

)
(@HYPO=      Solution_Identified)
(@RHS=
      (Execute ("WriteTo")
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=poll_src.out,\
@TEXT=수원으로부터 100m 이내에 논밭이 있는 경우입니다. 오염에 취약한 경우입
니다.\
@ADD";))
      (Execute ("WriteTo")
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=poll_src.out,\
@TEXT=대처방안으로는 1) 수원부근의 논밭에서 농약과 비료의 살포를 금지한다. 2)
콘크리트 등의 균열이 발견되면 즉시 보수하여 오염물질 유입을 차단한다. 3) 수질
및 위생조사를 강화하고 상수처리시설을 설치한다.\
4) 가능하면 오염되지 않은 새로운 수원을 개발한다.\
@ADD";))
)
)

(@RULE=      R_Clean
(@LHS=
      (Yes   (Problem_Identified))
      (No    (Micro_Source_15m))
      (No    (Agricult_Source_100m))
      (No    (Indust_Source_100m))
)
(@HYPO=      Solution_Identified)
(@RHS=
      (Execute ("WriteTo")
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=poll_src.out,\
@TEXT=수원으로부터 15m 이내에 미생물 오염원이 없으며,\
100m 이내에 논밭이나 폐수배출공장이 없는 경우입니다. 오염에 비교적 안전한 수
원이라고 판단됩니다. 수질-위생조사를 실시하여 필요한 상수처리시설을 하고 소독
을 실시하여 상수원으로 사용하면 될 것입니다.,@ADD";))
)
)

(@RULE=      R_Clean__1
(@LHS=
      (No    (Problem_Identified))
      (No    (Micro_Source_15m))
      (No    (Agricult_Source_100m))
      (No    (Indust_Source_100m))
)

```

```

)
(@HYPO=      Solution_Identified)
(@RHS=
      (Execute ("WriteTo")
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=poll_src.out,\
@TEXT=수원으로부터 15m 이내에 미생물 오염원이 없으며,\
100m 이내에 논밭이나 폐수배출공장이 없는 경우입니다. 오염에 비교적 안전한 수
원이라고 판단됩니다. 수질-위생조사를 실시하여 필요한 상수처리시설을 하고 소독
을 실시하여 상수원으로 사용하면 될 것입니다.@ADD";))
)
)

(@RULE=      R_I
(@LHS=
      (Yes      (Indust_Source_100m))
)
(@HYPO=      Problem_Identified)
(@RHS=
      (Execute ("WriteTo")
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=poll_src.out,\
@TEXT=수원으로부터 100m 이내에 폐수배출공장이있는 경우입니다. 1) 공장중에 피
혁공장이 있을 경우에 심한 악취와 생물독성이 높은 피혁폐수가 유입될 수 있으며,
크롬과 같은 중금속오염의 가능성도 있습니다. 2) 공장으로부터 나오는 금속폐수는
인체 및 농작물에 흡수축적될 수 있으며 미나마타병(유기수은), 이따이이따이병(카드
뮴)과 같은 병을 일으킬 수 있습니다. 3) 섬유폐수는 난분해성 물질을 함유하며 색
도를 야기시킵니다.@ADD";))
      (Execute ("WriteTo")
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=poll_src.out,\
@TEXT=4) 펄프폐수는 용존산소를 소모하여 혐기성 상태를 일으킵니다. 5) 채광이나
채석장 폐수는 석분이나 비소 등에 의한 오염과 물고기 폐사를 가져올 수 있습니
다.\
@ADD";))
)
)

(@RULE=      R_I_
(@LHS=
      (Yes      (Problem_Identified))
      (No      (Micro_Source_15m))
)
)

```

```

                (No    (Agricult_Source_100m))
                (Yes    (Indust_Source_100m))
            )
        (@HYPO=      Solution_Identified)
        (@RHS=
            (Execute ("WriteTo")
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=poll_src.out,\
@TEXT=수원으로부터 100m 이내에 폐수배출공장이 있는 경우입니다. 오염에 취약
한 경우입니다.
,@ADD";))
                (Execute ("WriteTo")
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=poll_src.out,\
@TEXT=대처방안으로는 1) 폐수배출공장의 이전 또는 배출처리시설을 강화한다. 2)
콘크리트 등의 균열이 발견되면 즉시 보수하여 오염물질 유입을 차단한다. 3) 수질
및 위생조사를 강화하고 상수처리시설을 설치한다.\
4) 가능하면 오염되지 않은 새로운 수원을 개발한다.\
,@ADD";))
            )
        )
    (@RULE=      R_M
        (@LHS=
            (Yes    (Micro_Source_15m))
        )
        (@HYPO=      Problem_Identified)
        (@RHS=
            (Execute ("WriteTo")
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=poll_src.out,\
@TEXT=수원으로부터 15m 이내에 분뇨, 퇴비,\
쓰레기장과 같은 미생물 오염원이 있는 경우입니다. 박테리아, 바이러스 및 기타
병원균으로 수원이 오염될 가능성이 높습니다. 미생물에 오염될 경우에는 급성위장
장애, 설사, 간염, 장티부스, 콜레라 등을 유발 할 수 있습니다.,@ADD";))
            )
        )
    (@RULE=      R_MA
        (@LHS=
            (Yes    (Problem_Identified))
            (Yes    (Micro_Source_15m))
            (Yes    (Agricult_Source_100m))
            (No     (Indust_Source_100m))
        )
    )

```

```

)
(@HYPO=      Solution_Identified)
(@RHS=
      (Execute ("WriteTo"))
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=poll_src.out,\
@TEXT=수원으로부터 15m 이내에 분뇨, 퇴비,\
  쓰레기장과 같은 미생물 오염원이 있으며, 수원으로부터 100m 이내에 농약과 비료
를 사용하는 논밭이 있는 경우입니다. 오염에 상당히 취약한 경우입니다.,\
@ADD";))
      (Execute ("WriteTo"))
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=poll_src.out,\
@TEXT=대처방안으로는 1) 수원부근의 미생물 오염원을 제거하고 농약과 비료의 살
포를 금지한다. 2) 콘크리트 등의 균열이 발견되면 즉시 보수하여 오염물질 유입을
차단한다. 3) 수질 및 위생조사를 강화하고 상수처리시설을 설치한다, 4) 가능하면
오염되지 않은 새로운 수원을 개발한다.,\
@ADD";))
)
)

(@RULE=      R_MAI
(@LHS=
      (Yes  (Problem_Identified))
      (Yes  (Micro_Source_15m))
      (Yes  (Agricult_Source_100m))
      (Yes  (Indust_Source_100m))
)
(@HYPO=      Solution_Identified)
(@RHS=
      (Execute ("WriteTo"))
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=poll_src.out,\
@TEXT=수원으로부터 15m 이내에 분뇨, 퇴비,\
  쓰레기장과 같은 미생물 오염원이 있으며, 수원으로부터 100m 이내에 농약과 비료
를 사용하는 논밭이 있고, 수원으로부터 100m 이내에 폐수배출공장이 있는 경우입
니다. 오염에 극히 취약한 경우입니다. 수질-위생 조사를 실시하고 그 결과에 따라
새로운 수원을 개발하도록 해야 합니다.,@ADD";))
)
)

```

```

(@RULE=      R_MI
  (@LHS=
    (Yes      (Problem_Identified))
    (Yes      (Micro_Source_15m))
    (No       (Agricult_Source_100m))
    (Yes      (Indust_Source_100m))
  )
  (@HYPO=     Solution_Identified)
  (@RHS=
    (Execute ("WriteTo"))

    (@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=poll_src.out,\
    @TEXT=수원으로부터 15m 이내에 분뇨, 퇴비,\
    쓰레기장과 같은 미생물 오염원이 있으며, 수원으로부터 100m 이내에 폐수배출공
    장이 있는 경우입니다. 오염에 상당히 취약한 경우입니다.\
    @ADD";))
    (Execute ("WriteTo"))
    (@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=poll_src.out,\
    @TEXT=대처방안으로는 1) 수원부근의 미생물 오염원을 제거하고 폐수배출공장의
    이전 또는 배출처리시설을 강화한다. 2) 콘크리트 등의 균열이 발견되면 즉시 보수
    하여 오염물질 유입을 차단한다. 3) 수질 및 위생조사를 강화하고 상수처리시설을
    설치한다.\
    4) 가능하면 오염되지 않은 새로운 수원을 개발한다.\
    @ADD";))
  )
)

(@RULE=      R_M_
  (@LHS=
    (Yes      (Problem_Identified))
    (Yes      (Micro_Source_15m))
    (No       (Agricult_Source_100m))
    (No       (Indust_Source_100m))
  )
  (@HYPO=     Solution_Identified)
  (@RHS=
    (Execute ("WriteTo"))

    (@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=poll_src.out,\
    @TEXT=수원으로부터 15m 이내에 분뇨, 퇴비,\
    쓰레기장과 같은 미생물 오염원이 있는 경우입니다. 미생물에 의한 오염에 취약한
    경우입니다.@ADD";))
    (Execute ("WriteTo"))
    (@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=poll_src.out,\

```

@TEXT=대처방안으로는 1) 수원부근의 미생물 오염원을 제거한다. 2) 콘크리트 등의  
균열이 발견되면 즉시 보수하여 오염물질 유입을 차단한다. 3) 수질 및 위생조사를  
강화한다, 4) 소독과 여과시설을 설치한다.@ADD";))

)  
)



## 표 1-8 정수처리 결정 Knowledge Base

```
(@VERSION= 031)
(@PROPERTY= Identified @TYPE=Boolean;)
(@PROPERTY= Number @TYPE=Float;)
(@PROPERTY= Range @TYPE=String;)
```

```
(@OBJECT= Avg_NO3
  (@PROPERTIES=
    Value @TYPE=Float;
  )
)
```

```
(@OBJECT= Avg_Trubidity
  (@PROPERTIES=
    Value @TYPE=Float;
  )
)
```

```
(@OBJECT= Avg_Turb
  (@PROPERTIES=
    Value @TYPE=Float;
  )
)
```

```
(@OBJECT= Coli
  (@PROPERTIES=
    Identified
  )
)
```

```
(@OBJECT= Coliform
  (@PROPERTIES=
    Number
    Range
    Value @TYPE=Float;
  )
)
```

```
(@OBJECT= Max_NO3
  (@PROPERTIES=
    Value @TYPE=Float;
  )
)
```

```

)
)
(@OBJECT=      Max_Turb
  (@PROPERTIES=
    Value      @TYPE=Float;
  )
)
(@OBJECT=      Max_Turbidity
  (@PROPERTIES=
    Value      @TYPE=Float;
  )
)
(@OBJECT=      Micro
  (@PROPERTIES=
    Identified
    Range
    Value      @TYPE=Float;
  )
)
(@OBJECT=      NO3
  (@PROPERTIES=
    Identified
    Range
  )
)
(@OBJECT=      Other_Micro
  (@PROPERTIES=
    Number
  )
)
(@OBJECT=      Treatment_Method
  (@PROPERTIES=
    Identified
  )
)
(@OBJECT=      Trmt
  (@PROPERTIES=
    Identified

```

```

)
)
(@OBJECT=      Trmt_Method
  (@PROPERTIES=
    Value      @TYPE=String;
  )
)

```

```

(@OBJECT=      Turb
  (@PROPERTIES=
    Identified
    Range
    Value      @TYPE=Float;
  )
)

```

```

(@OBJECT=      WQ
  (@PROPERTIES=
    Identified
  )
)

```

```

(@RULE=        Rule_Coli_Low
  @INFCAT=5;
  @WHY="대장균은 병원균에 의한 수질오염 가능성을 나타내는 대표적인 지
표입니다. 따라서 대장균군의 초과범위는 정수처리기법을 결정하는데 중요한 고려요
소가 됩니다. 일반적으로 50 MPN/100ml 이하, 50~1,000 MPN/100ml , 1,000
MPN/100ml 이상의 경우로 구분하여 정수처리기법의 적용을 달리합니다.";
  (@LHS=
    (<      (Coliform)      (50))
  )
  (@HYPO=      Coli.Identified)
  (@RHS=
    (Assign ("Low") (Coliform.Range))
  )
)
)

```

```

(@RULE=        Rule_Coli_High
  @INFCAT=5;
  @WHY="대장균은 병원균에 의한 수질오염 가능성을 나타내는 대표적인 지
표입니다. 따라서 대장균군의 초과범위는 정수처리기법을 결정하는데 중요한 고려요
소가 됩니다. 일반적으로 50 MPN/100ml 이하, 50~1,000 MPN/100ml , 1,000
MPN/100ml 이상의 경우로 구분하여 정수처리기법의 적용을 달리합니다.";

```

```

    (@LHS=
      (>      (Coliform)      (1000))
    )
    (@HYPO=      Coli.Identified)
    (@RHS=
      (Assign ("High") (Coliform.Range))
    )
  )
)

```

```

(@RULE=      Rule_Coli_Med
  @INFCAT=5;
  @WHY="대장균은 병원균에 의한 수질오염 가능성을 나타내는 대표적인 지
표입니다. 따라서 대장균군의 초과범위는 정수처리기법을 결정하는데 중요한 고려요
소가 됩니다. 일반적으로 50 MPN/100ml 이하, 50~1,000 MPN/100ml , 1,000
MPN/100ml 이상의 경우로 구분하여 정수처리기법의 적용을 달리합니다.";
  (@LHS=
    (>=      (Coliform)      (50))
    (<      (Coliform)      (1000))
  )
  (@HYPO=      Coli.Identified)
  (@RHS=
    (Assign ("Med") (Coliform.Range))
  )
)
)

```

```

(@RULE=      Rule_Micro_High
  @INFCAT=4;
  @WHY="일반세균은 병원균에 의한 수질오염 가능성을 나타내는 대표적인
지표입니다. 따라서 일반세균의 초과범위는 정수처리기법을 결정하는데 중요한 고려
요소가 됩니다. 일반적으로 500 MPN/ml 이하일 경우와 그 이상일 경우로 구분하
여 정수처리기법을 달리합니다. ";
  (@LHS=
    (>=      (Micro) (500))
  )
  (@HYPO=      Micro.Identified)
  (@RHS=
    (Assign ("High") (Micro.Range))
  )
)
)

```

```

(@RULE=      Rule_Micro_Low
  @INFCAT=4;
  @WHY="일반세균은 병원균에 의한 수질오염 가능성을 나타내는 대표적인
지표입니다. 따라서 일반세균의 초과범위는 정수처리기법을 결정하는데 중요한 고려
요소가 됩니다. 일반적으로 500 MPN/ml 이하일 경우와 그 이상일 경우로 구분하

```

여 정수처리기법을 달리합니다. ";

```
(@LHS=
    (<      (Micro) (500))
)
(@HYPO=      Micro.Identified)
(@RHS=
    (Assign ("Low") (Micro.Range))
)
)
```

(@RULE= Rule\_NO3\_High1

@INFCAT=2;

@WHY="질산성질소 (NO3-N)에 의한 오염은 주로 비료 등에 사용되었던 질소성분이 하천이나 지하수로 유입되어 발생합니다. 어린이에게 특히 치명적인데, 청색증후군 (블루베이비 증후군)과 같은 질병을 유발하기도 합니다. 년평균 NO3-N 농도는 20mg/l 이하와 이상으로 구분하며, 년최고 NO3-N농도는 30mg/l 이하, 30~40mg/l 사이, 40mg/l 이상 등으로 구분하여 정수처리기법의 선정시 고려합니다.

";

```
(@LHS=
    (>=     (Avg_NO3)      (20))
)
(@HYPO=      NO3.Identified)
(@RHS=
    (Assign ("High") (NO3.Range))
)
)
```

(@RULE= Rule\_NO3\_High2

@INFCAT=2;

@WHY="질산성질소 (NO3-N)에 의한 오염은 주로 비료 등에 사용되었던 질소성분이 하천이나 지하수로 유입되어 발생합니다. 어린이에게 특히 치명적인데, 청색증후군 (블루베이비 증후군)과 같은 질병을 유발하기도 합니다. 년평균 NO3-N 농도는 20mg/l 이하와 이상으로 구분하며, 년최고 NO3-N농도는 30mg/l 이하, 30~40mg/l 사이, 40mg/l 이상 등으로 구분하여 정수처리기법의 선정시 고려합니다.

";

```
(@LHS=
    (>=     (Max_NO3)      (40))
)
(@HYPO=      NO3.Identified)
(@RHS=
    (Assign ("High") (NO3.Range))
)
)
```

(@RULE= Rule\_NO3\_Low

@INFCAT=2;

@WHY="질산성질소 (NO3-N)에 의한 오염은 주로 비료 등에 사용되었던 질소성분이 하천이나 지하수로 유입되어 발생합니다. 어린이에게 특히 치명적인데, 청색증후군 (블루베이비 증후군)과 같은 질병을 유발하기도 합니다. 년평균 NO3-N 농도는 20mg/l 이하와 이상으로 구분하며, 년최고 NO3-N농도는 30mg/l 이하, 30~40mg/l 사이, 40mg/l 이상 등으로 구분하여 정수처리기법의 선정시 고려합니다."  
";

```
(@LHS=
    (<      (Avg_NO3)      (20))
    (<      (Max_NO3)     (30))
)
(@HYPO=      NO3.Identified)
(@RHS=
    (Assign ("Low") (NO3.Range))
)
)
```

(@RULE= Rule\_NO3\_Med

@INFCAT=2;

@WHY="질산성질소 (NO3-N)에 의한 오염은 주로 비료 등에 사용되었던 질소성분이 하천이나 지하수로 유입되어 발생합니다. 어린이에게 특히 치명적인데, 청색증후군 (블루베이비 증후군)과 같은 질병을 유발하기도 합니다. 년평균 NO3-N 농도는 20mg/l 이하와 이상으로 구분하며, 년최고 NO3-N농도는 30mg/l 이하, 30~40mg/l 사이, 40mg/l 이상 등으로 구분하여 정수처리기법의 선정시 고려합니다."  
";

```
(@LHS=
    (<      (Avg_NO3)      (20))
    (>=     (Max_NO3)     (30))
    (<      (Max_NO3)     (40))
)
(@HYPO=      NO3.Identified)
(@RHS=
    (Assign ("Med") (NO3.Range))
)
)
```

(@RULE= Rule\_Turb\_High1

@INFCAT=3;

@WHY="어느 정도의 탁도는 건강상에 직접적으로 위해를 끼치지 않는으나 심미적으로 거부감을 가져오며, 유기질 또는 무기질 형태의 다른 오염물질을 내포하고 있을 가능성이 높습니다. 일반적으로 탁도는 년평균 10도 이하와 이상, 년최고탁도는 10도 이하, 10~30도, 30도 이상으로 구분하여 정수처리기법의 선정시에 고려합니다."  
";

```
(@LHS=
    (>=     (Avg_Turb)     (10))
)
```

```

)
(@HYPO=      Turb.Identified)
(@RHS=
  (Assign ("High") (Turb.Range))
)
)

```

```

(@RULE=      Rule_Turb_High2
  @INFCAT=3;
  @WHY="어느 정도의 탁도는 건강상에 직접적으로 위해를 끼치지 않으나
심미적으로 거부감을 가져오며, 유기질 또는 무기질 형태의 다른 오염물질을 내포하
고 있을 가능성이 높습니다. 일반적으로 탁도는 년평균 10도 이하와 이상, 년최고탁
도는 10도 이하, 10~30도, 30도 이상으로 구분하여 정수처리기법의 선정시에 고려
합니다.";
  (@LHS=
    (>=      (Max_Turb)      (30))
  )
  (@HYPO=      Turb.Identified)
  (@RHS=
    (Assign ("High") (Turb.Range))
  )
)
)

```

```

(@RULE=      Rule_Turb_Low
  @INFCAT=3;
  @WHY="어느 정도의 탁도는 건강상에 직접적으로 위해를 끼치지 않으나
심미적으로 거부감을 가져오며, 유기질 또는 무기질 형태의 다른 오염물질을 내포하
고 있을 가능성이 높습니다. 일반적으로 탁도는 년평균 10도 이하와 이상, 년최고탁
도는 10도 이하, 10~30도, 30도 이상으로 구분하여 정수처리기법의 선정시에 고려
합니다.";
  (@LHS=
    (<      (Avg_Turb)      (10))
    (<      (Max_Turb)      (10))
  )
  (@HYPO=      Turb.Identified)
  (@RHS=
    (Assign ("Low") (Turb.Range))
  )
)
)

```

```

(@RULE=      Rule_Turb_Med
  @INFCAT=3;
  @WHY="어느 정도의 탁도는 건강상에 직접적으로 위해를 끼치지 않으나
심미적으로 거부감을 가져오며, 유기질 또는 무기질 형태의 다른 오염물질을 내포하
고 있을 가능성이 높습니다. 일반적으로 탁도는 년평균 10도 이하와 이상, 년최고탁

```

도는 10도 이하, 10~30도, 30도 이상으로 구분하여 정수처리기법의 선정시에 고려합니다.;

```

    (@LHS=
      (<      (Avg_Turb)      (10))
      (>=     (Max_Turb)      (10))
      (<      (Max_Turb)      (30))
    )
    (@HYPO=      Turb.Identified)
    (@RHS=
      (Assign ("Med") (Turb.Range))
    )
  )

(@RULE=      Rule_WQ_Identified
  (@LHS=
    (Yes      (Coli.Identified))
    (Yes      (NO3.Identified))
    (Yes      (Turb.Identified))
  )
  (@HYPO=      WQ.Identified)
)

(@RULE=      R_Disinf_FastFilt_Floc
  (@LHS=
    (Yes      (Coli.Identified))
    (=        (Coliform.Range) ("High"))
  )
  (@HYPO=      Trmt.Identified)
  (@RHS=
    (Execute ("WriteTo")
  (@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=trmt.mtd,\
@TEXT=대장균군의 초과범위가 @V(Coliform.Value) MPN/100ml 이상으로 매우 높
으므로 급속여과와 소독설비가 필요합니다. 그리고, 약품처리침전지도 필요합니
다.,@NEW";))
    )
  )

(@RULE=      R_Disinf_Only
  @INFCAT=10;
  (@LHS=
    (Yes      (Coli.Identified))
    (Yes      (Micro.Identified))
    (=        (Coliform.Range) ("Low"))
    (=        (Micro.Range) ("Low"))
  )

```



```

)
(@HYPO=      Trmt.Identified)
(@RHS=
      (Execute ("WriteTo")
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=trmt.mtd,\
@TEXT=대장균군의 @V(Coliform.Value) MPN/100ml로 초과범위가 낮고 일반세균
의 초과범위가 @V(Micro.Value) MPN/ml로 낮으므로 소독설비만으로도 가능합니
다.\
@NEW";))
)
)

(@RULE=      R_Disinf_SlowFilt1
(@LHS=
      (Yes   (Coli.Identified))
      (Yes   (Micro.Identified))
      (=     (Coliform.Range) ("Low"))
      (=     (Micro.Range)   ("High"))
)
(@HYPO=      Trmt.Identified)
(@RHS=
      (Execute ("WriteTo")
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=trmt.mtd,\
@TEXT=대장균군은 @V(Coliform.Value) MPN/100ml로초과범위가 낮지만 일반세균
은 @V(Micro.Value)로 초과범위가 높으므로 완속여과와 소독설비가 필요합니다. 침
전지는 불필요합니다.
,@NEW";))
)
)

(@RULE=      R_Disinf_SlowFilt2
(@LHS=
      (Yes   (WQ.Identified))
      (=     (Coliform.Range) ("Med"))
      (=     (Turb.Range)    ("Low"))
      (=     (NO3.Range)    ("Low"))
)
(@HYPO=      Trmt.Identified)
(@RHS=
      (Execute ("WriteTo")
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=trmt.mtd,\
@TEXT=대장균군의 초과범위가 @V(Coliform.Value) MPN/100ml 범위로 보통정도
지만 탁도가  년평균 @V(Avg_Turb.Value)도,  년최고 @V(Max_Turb.Value)도로 비
교적 낮고,\

```

```

NO3-N의 농도가 년평균 @V(Avg_NO3.Value)mg/l,
년최고 @V(Max_NO3.Value) mg/l로 비교적 낮으므로완속여과와 소독설비가 필
요합니다. 침전지는 불필요합니다.,@NEW";))
)
)

```

```

(@RULE=      R_Disinf_SlowFilt3
(@LHS=
(Yes      (WQ.Identified))
(=      (Coliform.Range) ("Med"))
(=      (Turb.Range)      ("Low"))
(=      (NO3.Range)      ("Med"))
)
(@HYPO=      Trmt.Identified)
(@RHS=
(Execute ("WriteTo")
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=trmt.mtd,\
@TEXT=대장균군의 초과범위가 @V(Coliform.Value) MPN/100ml 범위로 보통정도
지만 탁도가 년평균 @V(Avg_Turb.Value)도, 년최고 @V(Max_Turb.Value)도로 비
교적 낮고,\
NO3-N의 농도가 년평균 @V(Avg_NO3.Value)mg/l,
년최고 @V(Max_NO3.Value) mg/l로 비교적 낮으므로완속여과와 소독설비가 필
요합니다. 침전지는 불필요합니다.,@NEW";))
)
)

```

```

(@RULE=      R_Disinf_SlowFilt4
(@LHS=
(Yes      (WQ.Identified))
(=      (Coliform.Range) ("Med"))
(=      (Turb.Range)      ("Low"))
(=      (NO3.Range)      ("High"))
)
(@HYPO=      Trmt.Identified)
(@RHS=
(Execute ("WriteTo")
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=trmt.mtd,\
@TEXT=대장균군의 초과범위가 @V(Coliform.Value) MPN/100ml 범위로 보통정도
지만 탁도가 년평균 @V(Avg_Turb.Value)도, 년최고 @V(Max_Turb.Value)도로 비
교적 낮고,\

```

```

NO3-N의 농도가 년평균 @V(Avg_NO3.Value)mg/l,\
  년최고 @V(Max_NO3.Value) mg/l로 비교적 높으므로 완속여과와 소독설비가 필
요합니다. 침전지는 불필요합니다.,@NEW");)
)
)

```

```

(@RULE=      R_Disinf_SlowFilt_SedPon1
  (@LHS=
    (Yes      (WQ.Identified))
    (=        (Coliform.Range) ("Med"))
    (=        (Turb.Range)     ("Med"))
    (=        (NO3.Range)     ("Low"))
  )
  (@HYPO=      Trmt.Identified)
  (@RHS=
    (Execute ("WriteTo"))
  )
  (@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=trmt.mtd,\
  @TEXT=대장균군의 초과범위가 @V(Coliform.Value) MPN/100ml 범위로 보통정도
  지만 탁도가 년평균 @V(Avg_Turb.Value)도, 년최고 @V(Max_Turb.Value)도로 비
  교적 높고,\
  NO3-N의 농도가 년평균 @V(Avg_NO3.Value)mg/l,\
  년최고 @V(Max_NO3.Value) mg/l로 비교적 낮으므로 완속여과와 소독설비가 필
  요합니다. 보통침전지가 필요합니다.,@NEW");)
  )
)

```

```

(@RULE=      R_Disinf_SlowFilt_SedPon2
  (@LHS=
    (Yes      (WQ.Identified))
    (=        (Coliform.Range) ("Med"))
    (=        (Turb.Range)     ("Med"))
    (=        (NO3.Range)     ("Med"))
  )
  (@HYPO=      Trmt.Identified)
  (@RHS=
    (Execute ("WriteTo"))
  )
  (@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=trmt.mtd,\
  @TEXT=대장균군의 초과범위가 @V(Coliform.Value) MPN/100ml 범위로 보통정도
  지만 탁도가 년평균 @V(Avg_Turb.Value)도, 년최고 @V(Max_Turb.Value)도로 비
  교적 높고,\
  NO3-N의 농도가 년평균 @V(Avg_NO3.Value)mg/l,\

```

년최고 @V(Max\_NO3.Value) mg/l로 비교적 높으므로 완속여과와 소독설비가 필요합니다. 보통침전지가 필요합니다.@NEW";))

)  
)

(@RULE= R\_Disinf\_SlowFilt\_SedPon3

(@LHS=

(Yes (WQ.Identified))  
(= (Coliform.Range) ("Med"))  
(= (Turb.Range) ("Med"))  
(= (NO3.Range) ("High"))

)

(@HYPO= Trmt.Identified)

(@RHS=

(Execute ("WriteTo"))

(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=trmt.mtd,\

@TEXT=대장균군의 초과범위가 @V(Coliform.Value) MPN/100ml 범위로 보통정도  
지만 탁도가 년평균 @V(Avg\_Turb.Value)도, 년최고 @V(Max\_Turb.Value)도로 비  
교적 높고,\

NO3-N의 농도가 년평균 @V(Avg\_NO3.Value)mg/l,\

년최고 @V(Max\_NO3.Value) mg/l로 비교적 높으므로 완속여과와 소독설비가 필  
요합니다. 보통침전지가 필요합니다.@NEW";))

)  
)

(@RULE= R\_Disinf\_SlowFilt\_SedPon4

@WHY="질산성질소 (NO3-N)에 의한 오염은 주로 비료 등에 사용되었던  
질소성분이 하천이나 지하수로 유입되어 발생합니다. 어린이에게 특히 치명적인데,  
청색증후군 (블루베이비 증후군)과 같은 질병을 유발하기도 합니다. 년평균 NO3-N  
농도는 20mg/l 이하와 이상으로 구분하며, 년최고 NO3-N농도는 30mg/l 이하,  
30~40mg/l 사이, 40mg/l 이상 등으로 구분하여 정수처리기법의 선정시 고려합니다.  
";

(@LHS=

(>= (Avg\_NO3) (20))

)

(@HYPO= Trmt.Identified)

(@RHS=

(Execute ("WriteTo"))

(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=trmt.mtd,\

@TEXT=NO3-N의 년평균농도가 @V(Avg\_NO3.Value)mg/l로서 년평균 20mg/l 이상  
으로 높은\

정도이므로 완속여과와 소독설비가 필요합니다. 그리고,\

```

보통침전지도 필요합니다.@NEW");)
)
)

(@RULE=      R_Disinf_SlowFilt_SedPon5
  (@LHS=
    (>=      (Max_NO3)      (40))
  )
  (@HYPO=      Trmt.Identified)
  (@RHS=
    (Execute ("WriteTo")
  (@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=trmt.mtd,\
@TEXT=NO3-N의 년최대농도가 @V(Avg_NO3.Value)mg/l로서 40mg/l 이상으로
높은 정도이므로 완속여과와 소독설비가 필요합니다. 그리고,\
보통침전지도 필요합니다.@NEW");)
  )
)

(@RULE=      R_Disinf_SlwFastFilt_Floc1
  (@LHS=
    (Yes      (WQ.Identified))
    (=      (Coliform.Range) ("Med"))
    (=      (Turb.Range)      ("High"))
    (=      (NO3.Range)      ("Low"))
  )
  (@HYPO=      Trmt.Identified)
  (@RHS=
    (Execute ("WriteTo")
  (@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=trmt.mtd,\
@TEXT=대장균의 초과범위가 @V(Coliform.Value) MPN/100ml 범위로 보통정도
지만 탁도가 년평균 @V(Avg_Turb.Value)도, 년최고 @V(Max_Turb.Value)도로 비
교적 높고,\
NO3-N의 농도가 년평균 @V(Avg_NO3.Value)mg/l,\
년최고 @V(Max_NO3.Value) mg/l로 비교적 낮으므로 완속여과/급속여과와 소독
설비가 필요합니다. 그리고, 약품처리침전지도 필요합니다.\
@NEW");)
  )
)

(@RULE=      R_Disinf_SlwFastFilt_Floc2
  (@LHS=
    (Yes      (WQ.Identified))
    (=      (Coliform.Range) ("Med"))
    (=      (Turb.Range)      ("High"))
    (=      (NO3.Range)      ("Med"))

```

```

)
(@HYPO=      Trmt.Identified)
(@RHS=
      (Execute ("WriteTo")
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=trmt.mtd,\
@TEXT=대장균군의 초과범위가 @V(Coliform.Value) MPN/100ml 범위로 보통정도
지만 탁도가 년평균 @V(Avg_Turb.Value)도, 년최고 @V(Max_Turb.Value)도로 비
교적 높고,\
NO3-N의 농도가 년평균 @V(Avg_NO3.Value)mg/l,\
년최고 @V(Max_NO3.Value) mg/l로 비교적 높으므로 완속여과/급속여과와 소독
설비가 필요합니다. 그리고, 약품처리침전지도 필요합니다.\
@NEW";))
)
)

```

```

(@RULE=      R_Disinf_SlwFastFilt_Floc3
(@LHS=
      (Yes      (WQ.Identified))
      (=      (Coliform.Range) ("Med"))
      (=      (Turb.Range)      ("High"))
      (=      (NO3.Range)      ("High"))
)
(@HYPO=      Trmt.Identified)
(@RHS=
      (Execute ("WriteTo")
(@WAIT=TRUE;@STRING="@FILE=trmt.mtd,\
@TEXT=대장균군의 초과범위가 @V(Coliform.Value) MPN/100ml 범위로 보통정도
지만 탁도가 년평균 @V(Avg_Turb.Value)도, 년최고 @V(Max_Turb.Value)도로 비
교적 높고,\
NO3-N의 농도가 년평균 @V(Avg_NO3.Value)mg/l,\
년최고 @V(Max_NO3.Value) mg/l로 비교적 높으므로 완속여과/급속여과와 소독
설비가 필요합니다. 그리고, 약품처리침전지도 필요합니다.\
@NEW";))
)
)

```

표 2-1 도고지구 임의의 한가구(6인) 가정하수 특성(96. 6. 13 - 6.14)

시료채취시간	유량 (ℓ/hr)	온도 (℃)	DO (mg/ℓ)	pH	EC (μmhos/cm)	BOD (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ)	T-N (mg/ℓ)	NH4-N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	PO4-P (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)
06:00	90.0	21.5	5.5	7.1	959	175.4	33.2	31.9	29.3	3.23	3.22	79.6
08:00	70.0	23.0	3.6	7.0	4740	206.2*	37.2	31.6	27.5	3.66	3.24	83.6
10:00	3.0	26.5	6.8	7.0	827	26.2	12.6	6.1	4.8	1.03	0.72	89.2
12:00	37.5	25.5	4.1	7.3	735	1147.4*	39.2	53.7	48.7	5.51	5.46	101.6
14:00	7.3	30.0	6.1	7.0	309	30.2	9.2	8.1	6.7	0.82	0.78	103.6
16:00	13.4	26.9	7.0	6.7	262	33.5	10.8	3.6	2.3	0.34	0.21	99.6
18:00	38.1	23.0	4.1	7.1	512	327.6	43.0	30.8	27.9	2.97	2.84	24.4
20:00	21.0	22.0	5.6	7.1	487	918.3	29.2	27.8	3.2	2.79	2.76	40.8
22:00	90.0	24.0	4.4	6.7	538	372.5	42.4	37.8	32.2	4.52	4.32	75.2
23:00-05:00	2.7	20.5	3.4	7.4	1100	236.6	50.4	96.8	90.4	9.25	-	31.2
평균	31.5	24.3	5.1	7.0	1429	373.1	36.5	34.8	29.7	3.74	3.40	73.97
계	756.8 ℓ/day					282.4 g/day	27.6 g/day	26.3 g/day	22.5 g/day	2.84 g/day	2.57 g/day	55.98 g/day

표 2-2 도고지구 임의의 한가구(6인) 가정하수 특성(96. 8. 21 - 8. 22)

시료채취시간	유량 (ℓ/hr)	온도 (℃)	DO (mg/ℓ)	pH	EC (μmhos/cm)	BOD (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ)	T-N (mg/ℓ)	NH4-N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	PO4-P (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)
06:00	100	20	5.3	7.1	271	79.3	36.0	7.56	2.13	0.774	0.007	65.6
08:00	225	22	3.0	8.5	514	163.6	56.0	8.29	2.30	0.757	0.032	119.6
10:00	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:00	21	27	2.8	7.4	267	169.8	49.0	3.81	0.78	0.723	0.028	67.6
14:00	22	28	1.5	7.7	741	139.3	87.0	60.42	47.71	6.365	5.633	89.6
16:00	10	26	1.5	8.0	1109	133.2	100.0	98.00	84.28	22.194	10.879	87.2
18:00	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20:00	22	25	2.3	7.3	663	221.7	107.0	50.18	40.15	5.720	4.593	145.0
22:00	170	19	4.0	7.3	503	197.5	91.0	33.66	25.87	4.860	3.552	96.0
23:00-05:00	100	19	4.5	7.5	298	21.3	14.0	10.92	8.51	1.092	0.921	16.8
평균	55.8	23	3.1	7.6	545	139.2	62.9	22.56	15.63	2.843	1.824	93.0
계	1340 ℓ/day					186.6 g/day	84.3 g/day	30.23 g/day	20.95 g/day	3.809 g/day	2.445 g/day	124.6 g/day



표 2-3 도고지구 임의의 한가구(6인) 가정하수 특성(96. 10. 20 - 21)

시료채취시간	유량 ( $l/hr$ )	온도 ( $^{\circ}C$ )	DO ( $mg/l$ )	pH	EC ( $\mu mhos/cm$ )	BOD ( $mg/l$ )	COD ( $mg/l$ )	T-N ( $mg/l$ )	NH <sub>4</sub> -N ( $mg/l$ )	T-P ( $mg/l$ )	PO <sub>4</sub> -P ( $mg/l$ )	SS ( $mg/l$ )
06:00	170	18.5	5.0	8.7	821	220.6	152.0	39.704	27.720	3.812	2.460	132.4
08:00	120	17.3	5.3	7.7	377	76.4	66.4	13.384	7.784	1.371	0.461	62.4
10:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16:00	10	16.4	4.5	7.5	302	15.3	21.2	8.344	6.160	1.259	1.162	32.8
18:00	115	17.3	4.8	7.6	448	55.6	38.0	20.216	15.792	2.141	1.674	42.0
20:00	210	23.3	3.5	7.6	361	53.5	30.0	18.536	15.008	1.867	1.308	15.2
22:00	70	15.8	3.7	7.9	825	191.6	180.0	73.920	64.712	11.988	7.589	66.0
23:00-05:00	9.3	10.0	5.2	7.9	940	86.2	94.0	77.672	68.208	9.849	9.524	31.6
평균	53					97						
계	1275 $l/day$					123 $g/day$						

표 2-4 천북 지구 임의의 한가구(2인) 가정하수 특성 (96. 6. 14 - 15)

시료채취시간	발생량	온도 (℃)	DO (mg/l)	pH	EC (μmhos/cm)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (mg/l)	NH4-N (mg/l)	T-P (mg/l)	PO4-P (mg/l)	SS (mg/l)
아침	160 l	21.0	3.7	6.5	1034	469.7	135.8	50.2	33.7	6.26	-	238.5
점심	118 l	25.0	4.5	6.5	543	216.4	91.0	16.4	14.7	3.36	-	320.8
저녁	37 l	22.1	5.1	6.7	628	217.0	54.0	26.3	20.0	2.41	-	152.0
평 균	13.1 l/hr	22.0	4.2	6.5	802	345	109.4	34.7	25.0	4.44	-	259.2
계	315 l/day					108.7 g/day	34.5 g/day	10.9 g/day	7.88 g/day	1.40 g/day	-	81.6 g/day

- 377 -

표 2-5 천북 지구 임의의 한가구(2인) 가정하수 특성 (96. 8. 28 - 29)

시료채취시간	유량 (l)	온도 (℃)	DO (mg/l)	pH	EC (μmhos/cm)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (mg/l)	NH4-N (mg/l)	T-P (mg/l)	PO4-P (mg/l)	SS (mg/l)
아침	220	20	4.5	7.7	733	70.0	71.0	37.80	26.15	5.419	4.798	251.6
점심	260	25	4.8	7.5	874	67.8	61.5	8.01	2.138	0.972	0.138	103.2
저녁	250	19	5.0	7.5	660	67.1	52.0	23.69	12.99	5.144	2.836	86.0
평 균	30.4 l/hr	21	4.7	7.5	758	68.2	61.1	22.36	13.09	3.740	2.466	142.0
계	730 l/day					49.8 g/day	44.6 g/day	16.32 g/day	9.56 g/day	2.730 g/day	1.800 g/day	103.7 g/day

표 2-6 천북 지구 임의의 한가구(3인) 가정하수 특성 (96. 10. 24 - 25)

시료채취시간	유량 (ℓ)	온도 (℃)	DO (mg/ℓ)	pH	EC (μmhos/cm)	BOD (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ)	T-N (mg/ℓ)	NH4-N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	PO4-P (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)
아침	240			7.0	563	52.0	68.0	18.256	12.712	4.090	-	72.4
점심	95			6.9	445	57.3	70.0	33.040	20.300	0.837	0.192	122.0
저녁	310			6.9	403	62.0	73.0	12.824	7.840	3.098	0.933	71.0
평균	27 ℓ/hr			6.9		57.5						
계	645 ℓ/day					37.1g/day						

표 2-7 북일지구 임의의 한가구(4인) 가정하수 특성 (96. 5. 17 - 5. 18)

시료채취시간	유량 (ℓ)	온도 (℃)	DO (mg/ℓ)	pH	EC ( $\mu$ mhos/cm)	BOD (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ)	T-N (mg/ℓ)	NH4-N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	PO4-P (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)
00:00~07:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
07:00~08:00	28.0	16.5	3.0	6.6	1549	268.0	318.0	25.6	20.4	-	10.14	422.0
08:00~09:00	25.0	19.5	6.1	7.3	686	124.0	157.0	13.3	8.0	3.4	3.19	44.8
09:00~09:30	62.0	21.0	6.2	6.6	949	322.4	456.0	32.5	25.2	15.6	12.14	568.4
09:30~10:00	56.0	18.8	6.3	6.6	575	95.7	47.0	9.2	4.2	8.9	6.11	42.8
10:00~10:30	42.0	18.2	6.6	6.6	565	42.5	69.0	8.0	3.95	6.2	2.12	53.4
10:30~12:00	10.0	27.0	5.3	6.6	637	312.5	304.0	21.0	14.5	10.4	5.92	372.4
12:00~13:00	13.5	26.0	6.0	7.2	1482	35.8	48.0	4.8	2.93	3.2	2.16	54.0
13:00~14:00	36.0	21.0	6.0	6.4	991	243.2	334.0	29.4	14.3	13.1	10.90	506.8
14:00~18:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18:00~19:00	25.0	19.5	6.1	7.3	594	87.8	65.0	12.5	8.2	4.2	3.19	54.4
19:00~20:00	2.5	27.0	4.5	6.5	817	70.7	39.6	5.4	4.4	3.9	0.97	35.2
20:00~21:00	8.8	20.5	5.3	6.8	606	83.8	52.4	32.3	27.9	9.3	7.73	54.4
21:00~22:00	10.0	20.0	6.0	6.6		90.5	92.0	16.9	3.8	8.5	7.15	110.8
22:00~24:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
평 균	15.0	21.3	5.6	6.8	841	148.2	170.2	17.8	12.3	7.0	5.08	192.5
합 계	360.0 ℓ/day					54.1 g/day	54.3 g/day	5.7 g/day	3.93 g/day	2.23 g/day	1.62 g/day	61.37 g/day

표 2-8 북일지구 임의의 한가구에서 가정하수 특성(96. 7. 29 - 7. 30)

시료채취시간	유량 (ℓ)	온도 (℃)	DO (mg/ℓ)	pH	EC (μmhos/cm)	BOD (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ)	T-N (mg/ℓ)	NH4-N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	PO4-P (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)
아침	182.5	24	3.6	7.2	1136	292.4	140.0	72.02	54.43	6.85	0.49	224.8
저녁	231.5	24	3.7	6.7	1061	370.3	124.0	26.77	12.38	3.25	0.10	202.4
평 균	17.3 ℓ/hr	24	3.6	7.0	1099	336.2	46.7	46.7	30.9	4.83	0.266	212.3
합 계	414.0 ℓ/day					139.2 g/day	54.3 g/day	19.34 g/day	12.80 g/day	2.00 g/day	0.11 g/day	87.9 g/day

표 2-9 북일지구 임의의 한가구(4인) 정화조 상징액 특성 (96. 5. 17 - 5. 18)

시료채취시간	유량 (ℓ)	온도 (℃)	DO (mg/ℓ)	pH	EC (μmhos/cm)	BOD (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ)	T-N (mg/ℓ)	NH4-N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	PO4-P (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)
07:00	9.5	22.5	2.5	7.1		40,000	39,600	324.2	259.4	65.8	54.1	195.0
09:00	10.0											
13:00	11.0	19.7	2.1	7.2		42,000	42,800	332.1	298.9	64.7	51.5	196.0
19:00	10.5											
평균	10.3	21.1	2.3	7.2		41,000	41,200	328.2	279.2	65.3	52.8	195.5
계	41.2 ℓ/day					1689.2 g/day						

표 2-10 현도지구 임의의 하천에서 혼합하수 특성(96. 5. 16 - 5. 17)

시료채취시간	유량 ( ℓ/hr)	온도 (℃)	DO (mg/ℓ)	pH	EC ( $\mu$ mhos/cm)	BOD (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ)	T-N (mg/ℓ)	NH <sub>4</sub> -N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	PO <sub>4</sub> -P (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)
01:00	182.2	16.5	3.9	7.5	338	15.0	18.4	8.3	6.7		1.63	12.4
03:00	(228.8)											
05:00	275.4	14.5	5.2	7.5	198	24.7	27.0	0.8	0.7	0.42	0.31	21.2
07:00	3375.5	14.5	6.7	7.7	234	29.9	29.8	1.3	0.3	0.43	0.41	50.0
09:00	2442.8	16.0	6.1	7.3	458	23.2	23.6	11.1	8.3	-	2.39	14.0
11:00	2252.6	19.5	6.6	7.7	609	20.9	22.4	14.7	11.1	4.72	4.43	15.6
13:00	2223.6	20.3	6.6	7.7	655	18.0	18.4	32.6	16.7	-	7.65	10.4
15:00	1512.0	20.7	6.3	7.7	682	30.0	32.0	53.3	39.1	-	13.06	11.2
17:00	1375.2	20.9	4.5	7.1	361	16.2	18.5	6.6	3.7	1.64	1.59	10.8
19:00	1989.4	17.4	4.5	7.6	322	27.8	30.3	9.2	7.2	-	2.97	11.6
21:00	433.6	16.0	3.5	7.3	335	14.6	15.0	9.0	6.3	-	2.53	29.2
23:00	115.8	17.8	3.9	7.5	546	12.1	18.3	9.0	7.2	-	2.20	24.4
평 균	1367.0	17.6	5.3	7.5	378	23.8	24.9	15.6	10.3	-	2.35	19.2
합 계	32813.8 ℓ/day					768.7 g/day	806.3 g/day	503.5 g/day	333.3 g/day	-	76.0 g/day	621.3 g/day

표 2-11 현도지구 임의의 하천에서 혼합하수 특성(96. 7. 28 - 7. 29)

시료채취시간	유량 (l/hr)	온도 (℃)	DO (mg/l)	pH	EC (μmhos/cm)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (mg/l)	NH4-N (mg/l)	T-P (mg/l)	PO4-P (mg/l)	SS (mg/l)
02:00	890.1	25	5.6	7.1	276	6.1	8.8	2.91	1.62	0.55	0.61	4.0
04:00	870.0	24	5.9	7.3	285	4.5	8.8	2.74	1.57	0.57	0.61	1.6
06:00	948.8	23	5.8	7.2	325	7.6	8.8	3.69	2.18	-	0.73	4.0
08:00	1167.0	24	5.0	7.3	460	18.9	10.8	10.75	8.40	-	1.07	5.2
10:00	187.3	26	3.9	7.2	597	18.3	13.4	12.32	9.58	-	1.31	8.8
12:00	92.9	28	4.9	7.5	584	12.2	12.6	9.80	8.34	2.74	1.33	8.0
14:00	138.4	29	4.5	7.5	627	12.9	13.4	10.47	8.46	-	1.39	5.2
16:00	10213.5	27	6.5	7.1	131	5.5	8.2	1.57	0.62	0.77	0.27	45.6
18:00	10520.0	26	6.9	6.9	125	12.1	9.6	1.46	0.22	0.25	0.15	41.2
20:00	14646.9	25	6.5	6.9	123	7.4	9.6	1.40	0.50	-	1.88	49.2
22:00	2049.4	24	6.3	7.1	168	7.6	7.6	2.07	1.01	-	4.22	21.6
24:00	1008.0	24	5.1	7.2	281	7.8	9.0	3.69	2.02	-	0.58	12.0
평 균	3561 l/hr	25	6.4	7.2	156	8.5	9.2	1.95	0.90	-	1.05	39.6
합 계	85,464.6 l/day					720.5 g/day	786.3 g/day	166.7 g/day	76.92 g/day		89.74 g/day	3384.4 g/day

표 2-12 접촉산화공법 오폐수처리시설 처리효율 분석 결과

번호	지구명	유입수BOD (mg/l)	방류수BOD (mg/l)	BOD제거율 (%)	T-N제거율 (%)	T-P제거율 (%)	SS제거율 (%)	준공년월	비고
1	나포	24.8	8.4	66.4	70.2	32.9	91.5	95. 6	
2	서면	40.0	24.4	39.0	85.4	83.3	98.3	96. 5	운영상태불량
3	초왕	40.4	6.1	84.9	87.1	61.8	89.0	95.12	
4	거치	77.4	3.7	95.2	93.9	5.6	91.7	95.12	
5	금융	164.9	20.7	87.5	37.4	38.1	60.0	94.12	
6	윗뜰	66.6	48.6	27.0	20.3	22.8	35.0	96. 5	운영상태불량
7	암실	76.4	3.7	95.2	87.7	66.4	98.9	96. 5	
8	와룡	54.2	6.0	88.9	76.5	21.9	33.3	96. 5	
9	두곡	75.2	4.7	93.8	97.6	76.7	84.4	95.12	
10	도룡	105.8	18.4	82.6	33.5	14.2	74.3	95.12	
11	덕고개	61.1	21.6	64.7	48.6	10.0	84.0	96. 5	
12	굴운	59.3	1.6	97.3	93.1	71.8	79.6	96. 7	
13	서석	28.7	11.2	61.0	52.3	60.5	?		



표 2-13 모관침윤트렌치공법 오폐수처리시설 처리효율 분석 결과

번호	지구명	유입수BOD (mg/ℓ)	방류수BOD (mg/ℓ)	BOD제거율 (%)	T-N제거율 (%)	T-P제거율 (%)	SS제거율 (%)	준공년월	비고
1	접죽	15.1	2.7	61.5	89.8	84.8	26.5	96.10	
2	저른	3.9	5.8	?	?	?	?	96.12	운영상태불량
3	어산	74.8	12.0	84.0	48.6	79.5	79.5	96. 4	
4	명당	72.3	49.2	32.0	5.5	10.2	47.0	95.12	운영상태불량
5	마산포	30.9	7.6	75.4	18.0	54.4	76.9	95.12	
6	솔밭	70.7	2.7	96.2	96.8	97.6	75.3	93.12	
7	삭골	25.4	3.7	85.4	93.4	94.8	88.2	95.12	

표 2-14 모관유공트렌치공법 오폐수처리시설 처리효율 분석 결과

번호	지구명	유입수BOD (mg/ℓ)	방류수BOD (mg/ℓ)	BOD제거율 (%)	T-N제거율 (%)	T-P제거율 (%)	SS제거율 (%)	준공년월	비고
1	신북	17.6	12.5	29.0	28.4	22.4	76.6	96. 5	
2	양지	84.7	42.3	50.1	?	35.1	85.0	96. 1	
3	회룡	193.4	17.9	90.7	21.3	21.6	47.9	96.11	
4	아래문	59.9	51.9	13.4	22.4	19.6	51.4	96. 6	운영상태불량
5	발산2	121.5	35.7	70.6	93.7	12.7	65.4	97. 5	
6	방아골	99.2	42.2	57.5	1.0	49.8	95.6	96. 5	
7	오원	106.7	6.3	94.1	53.7	64.6	91.8	96.12	