

汚染深化 小河川の 浄化技術 實用化

A Practical Application of the Treatment
Technology of the Polluted Stream Water

研究機關
國立環境研究院

科 學 技 術 處

提 出 文

科學技術處長官 貴下

本 報告書를 “污染深化 小河川의 淨化 技術 實用化” 研究의 最終報告書로 提出합니다.

1991. 10. .

主管研究機關名 : 國立環境研究院

總括研究責任者 : 徐 胤 洙

研究責任者 : 洪 丁 善

先任研究員 : 林蓮澤, 尹照熙

研 究 員 : 徐正範, 俞順珠

研究助員 : 元鍾哲, 李圭浩

李修英, 吳熙瓊

李永煥, 金福賢

요 약 문

I. 제목

오염심화 소화천의 정화기술 실용화

II. 연구개발의 목적 및 중요성

산업의 발달, 인구의 증가 및 밀집화, 생활수준의 향상에 따라 오염물질의 배출량이 증가하고, 비점오염원에서의 오염물질부하량도 증가되어 수질환경이 악화되고 있다.

이러한 수질환경의 악화요인은 주로 폐하수에 의해 기인되며, 국내에서 하루에 발생하는 폐하수량은 약 1,760만 m^3 에 달하고 있다. 이중 하수가 58%, 산업폐수가 41%를 차지하여 하수에 의한 수질오염이 막대하다. 그러나 우리나라의 하수처리장 보급율은 '90년말 현재 31%정도로 선진국의 수준 즉, 영국의 95%, 미국의 73%, 서독의 91%, 캐나다의 74%에 비해 매우 낮은 실정이다.

따라서 하수처리장의 보급율이 미흡하고, 인구의 도시화가 급속히 이루어져 오수의 배출이 밀집화된 우리나라의 경우 하수처리장의 빠른 보급을 기대하기 어려운 현실을 감안할 때, 소규모 배출원에 적용가능한 오수처리기술 및 소규모 배출원이 산재되어 오수를 차집 처리하는 기술의 개발은 경제적으로나 기술적으로 그리고 시간적으로 어려운 실정이다.

따라서 미처리된 폐하수의 유입으로 수질오염이 심화된 소규모 하천에서 직접 오염된 하천수를 정화할 수 있는 기술을 실용화하여 수질개선을 위한 정화기술의 보급이 시급히 요구되고 있다.

Ⅲ. 연구개발내용 및 범위

본 연구는 오염이 심화된 소규모 하천에서 오염된 하천수를 직접 정화할 수 있는 정화기술을 실용화하기 위한 연구로, 실용화 대상 정화기술로 자연정화능을 이용한 토양트렌치법과 자갈층접촉 산화법을, 오염심화 소하천으로는 창능천을 선정하여 선정된 공법을 같은 하천의 고수부지에 파일롯 규모의 현장시설로 설치하여 우리나라의 자연 환경조건하에서 하천수의 정화능을 평가하기 위해 실험운전하였다.

1. 실용화공법의 선정

오수의 소규모 배출원이나 오염된 하천에 직접 적용할 수 있는 정화기술로는 경제적으로 저렴하게 설치 가능하고, 기술적으로 유지관리가 용이하며, 유량이나 수질 변동에 적응성이 강하고, 슬러지의 발생량이 적으며, 유기성 오염물질외에 질소와 인의 제거능이 양호하고, 처리시설이나 처리수가 위생적으로 안정하면서, 2차 공해를 유발하지 않는 것 등의 이점이 있는 것으로 알려져 있으며, 일부 외국에서 실용화되고 있는 토양트렌치법과 자갈층접촉 산화법을 선정하였다.

2. 현장실험시설의 설치

정화대상 하천으로 하천수질의 예비조사, 하천에서 평수기 수위와 고수부지 높이와의 차이, 고수부지 토양의 투수시험을 통해서 경기도 고양군 신도읍에 소재하는 창능천을 선정하여 같은 하천의 고수부지에 설계용량 각 2m³/일의 토양트렌치를 2조, 설계 용량 각 20m³/일의 폭기식과 무폭기식 자갈층접촉 산화시설을 설치하고 하천의 보에서 하천수가 자연유하되도록 유입관을 설치하여 1년간 실험운전 하였다.

3. 정화대상 하천의 특성

정화대상 하천수로 선정한 창능천의 특성, 즉 수질, 하천유량 및 오염물질의 부하

량을 파악하기 위해 연구기간중 매월 마지막 주의 수요일부터 목요일에 걸쳐 만 하루동안 2~4시간 간격으로 하천유량을 측정하고, 하천수를 채수하여 수질을 분석하였으며, BOD, COD, TOC, SS, TKN, T-P등의 부하량을 산정하고, 산정된 자료에서 월별, 시간별 평균 유량, 수질 및 부하량을 산출하였다.

4. 정화시설 유입수의 수질

오염하천수의 정화공법인 토양트렌치시설과 자갈층접촉 산화시설에 유입되는 창능천의 하천수질을 파악하기 위하여 실험기간중 매주 월요일과 목요일 2차례에 걸쳐 유입 하천수를 채수하여 유입수중의 유기성 오염물질, 부유물질, 영양염류, 용존 산소 등을 측정하였으며 월평균 수질의 변화추이를 파악하여 정화능을 평가하기 위한 기초자료로 사용하였다. 아울러 유기성 오염물질의 지표간 상관관계를 산출하였으며, 기상자료와 수질특성간의 관계를 검토하였다.

5. 토양트렌치시설의 정화능

토양트렌치시설은 트렌치 1m당 85 l/일와 115 l/일의 수리학적 부하를 갖는 2조를 설치하여 1년간 실험 운전하였으며, 휴지기간에 따른 영향을 검토하기 위해 시설트렌치중의 1조는 1개월동안 하천수를 유입시키지 않았다. 처리능을 검토하기 위해 유입수 및 처리수를 채수하여 분석하였으며, 분석된 수질결과를 이용하여 정화능을 평가하였다.

6. 자갈층접촉 산화시설의 정화능

자갈층접촉 산화시설은 자갈층의 바닥에 산기관을 설치한 폭기식과 무폭기식의 2조를 설치하여 1년간 실험운전하여 하천수질과 자연환경의 변화에 따른 정화능의 변화추이를 검토하였다. 여기에서는 폭기에 의한 정화능의 향상과 폭기하지 않는 경우에도 오염이 심화된 하천수의 정화가 가능한지의 여부를 평가하기 위해 2조를

운전하였다. 처리능을 평가하기 위하여 유입수 및 처리수를 동일하게 채수하고 분석하였으며 수질 분석결과를 이용하여 2방식간의 정화능을 비교 검토하였다.

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1. 정화대상 하천수인 창능천에서의 수질에 대한 월별 변화추이를 보면 BOD가 5.0-91.3mg/l범위이고, 연평균 23.0mg/l를 나타내었다. BOD부하량을 보면 2월에 1,462kg/일로 가장 컸으며 239kg/일을 기록한 8월에 가장 작았다.

또한 하천유량은 487.8mm의 집중 강우가 내린 7월에 174,381m³/일로 가장 많았으며 1월에는 13,088m³/일을 기록하여 가장 적었으며 시간대별로는 12:00시에 33,568m³/일로 최대치를 나타내었다.

2. 정화시설에의 유입수질은 BOD의 경우 연평균 36.29mg/l였으며, 2월에는 86.02mg/l을 나타내 최고치를 기록하였으며 8월에는 6.59mg/l로 최저치를 기록하여 갈수기와 홍수기에 따라 수질이 크게 변화하였다. 부유물질도 2월에는 40.20mg/l로 가장 높고, 8월에는 5.52mg/l로 가장 낮았으며 갈수기에 대체로 높았다.

3. 오염하천수를 정화하기 위한 토양트렌치시설은 트렌치 1m당 85 l/일과 115 l/일의 수리학적 부하조건하에서 운전한 트렌치 I 과 트렌치 II 에서의 유입수의 연평균 BOD농도는 36.29mg/l였으나, 처리수질은 BOD 의 경우 I 에서 8.69mg/l, II 에서 9.09mg/l로 전자의 경우가 다소 양호하였으며, 유입수의 농도변화(2.70-86.02mg BOD/l)에 크게 영향을 받지 않았다. 그러나 1개월간의 휴지기간후 3개월동안의 평균 BOD농도는 I 에서 12.35mg/l이고, II 에서 10.23mg/l로 휴지에 의해 처리수질이 개선되었다.

또한 부유물질의 경우 유입수에서 24.01mg/l였으나 I 과 II 에서의 처리수는 각각

3.54mg/l와 3.21mg/l를 나타내었으며, TKN은 유입수중 8.48mg/l였으나 처리수는 I에서 3.51mg/l, II에서 4.14mg/l를 나타냈으며 동절기에 상대적으로 처리수의 농도가 높았으며, T-P는 유입수가 1.10mg/l였으나 처리수는 I에서 0.26mg/l, II에서 0.30mg/l를 나타내었다.

4. 자갈층접촉 산화시설은 각각의 처리용량이 20m³/일·인 폭기식과 무폭기식을 설치하여 운전하였는데 유입수의 BOD가 36.29mg/l였으나 처리수의 경우 폭기식에서 15.58mg/l, 무폭기식에서 25.56mg/l를 나타내어 전자에서의 처리수질이 크게 향상되었다.

무폭기식의 경우 유입수의 농도에 따라 처리수질이 큰 차이를 나타냈는데, 유입수의 BOD가 30mg/l이상인 11-3월사이에는 유입수가 61.15mg/l였으나 처리수는 46.32mg/l로 처리수질이 악화되었으나, 30mg/l이하였던 4-10월 사이에는 유입수가 18.54mg/l이고 처리수가 10.72mg/l로 정화능이 크게 향상되어 하천수질이 30mg/l이상인 하천수를 정화하기 위해서는 폭기시설의 설치가 필수적인 것으로 판단된다.

부유물질은 유입수중 연평균 24.01mg/l였으나, 처리수는 폭기식에서 6.37mg/l, 무폭기식에서 9.15mg/l를 나타내어, 질소와 인의 제거는 기대하기 어려웠다.

5. 본 연구개발결과가 활용되기 위해서는

1) 토양트렌치시설과 자갈층접촉 산화시설은 유지관리의 용이성과 처리비용의 경제성이 큰 장점임을 감안하면 오염하천수를 자연유하식으로 정화시설에 유입시키는 것이 바람직하다.

그러나 국내 오염하천의 경우 하상에, 특히 보의 안쪽에 오염물질이 다량 퇴적되어 수온의 상승 또는 하천유속의 증가로 이들이 부상하여 정화시설에 유입되므로, 이를 방지하기 위한 기술이 개발되어야 할 것이다. 아울러 하천에 흐르는 비닐 등

찌꺼기를 효과적으로 제거하기 위한 방안이 강구되어야 할 것이다.

2) 이러한 정화시설을 하천의 고수부지에 설치하기 위해서는 홍수기에 시설물의 유실을 방지하기 위해 정화하고자 하는 하천에 대한 장기간의 수문자료의 확보가 필요하다.

3) 자갈층집축 산화시설의 경우 유입되는 부유물질과 시설내에서 생성된 슬러지를 효과적으로 제거하고, 이들을 처리하기 위한 기술의 개발이 요구된다. 또한 BOD농도가 30mg/l이상인 하천수를 정화하기 위해서는 폭기시설의 설치가 필수적이며, 하천수질의 변동에 따라 연계하여 폭기시설을 가동하는 방안의 연구가 요구된다.

4) 토양트렌치시설은 대체로 처리용량의 2배에 상당하는 용량을 설치하는 것이 일반적인 경향이나 하천수의 경우 본 연구기간인 1년내에는 막힘현상이 발생치 않아 이의 필요성은 인정되지 않으나, 확실한 자료의 확보를 위한 장기간의 연구가 필요하다.

S U M M A R Y

Water quality are gradually polluted domestically by the increase of the discharging amount of pollutants into the public water system and the insufficient sewage treatment plant.

So as to contribute to the improvement of river water quality by propagating practical technologies for the of polluted stream water treatment, which can be applied at the flood plane, soil trench and gravel contact oxidation processes were selected as the practical application process for the treatment of polluted stream water.

These processes were known as easy in the operation technology, moderate in the cost of the installation and the maintenance expenses and no causing the secondary pollution.

Soil trench (design capacity : 2 sets of $2\text{m}^3/\text{day} \cdot \text{trench}$) and gravel contact oxidation facilities (design capacity : aerated and non-aerated types of $20\text{m}^3/\text{day}$) were installed as the pilot-scales at the flood plane of the Changneung Stream at Shindo-Eup, Koyang-Kun, Kyungki province. And these facilities were operated for one year from Oct. 20, 1990 to Oct. 14, 1991 to estimate the practical possibility under the domestic natural environmental conditions.

The results of this research are as follows

1. Monthly average concentrations for pollutants for the Changneung Stream water were in the range of $5.0-91.3\text{mg BOD/l}$ and $6.7-38.3\text{mg SS/l}$. Annual average values of BOD and SS concentrations were 34.23mg/l and 23.0mg/l , respectively.

Monthly BOD loading was the most amount as $1,462\text{kg BOD/day}$ in Feb. and the

least as 239kg BOD/day in Aug.

It was judged that this decrease of BOD loading was caused by washing-out of pollutants precipitated at the bottom of the stream by the heavy rainfall of 487.8mm in July, 1991.

Monthly flowrate of the Changneung Stream was the most as 174,381m³/day in Jul. and the least as 13,088m³/day in Jan.. And the most amount of the stream water was flowed at 12:00 and the least was done at 04:00 in hourly average.

2. Monthly average concentrations of water quality of the influent to the facilities were widely ranged from 6.59mg BOD/l to 86.02mg BOD/l, 6.60–63.40mg COD/l and 5.52–40.20mg SS/l and were the highest in Feb. and the lowest in Aug., 1991. This water quality was much changed by the amount of precipitation and annual average concentrations of these parameters were 36.29mg/l, 24.78mg/l and 24.01mg / l , respectively.

Annual average concentrations of the influent TKN and T-P were 8.48mg/l and 1.10mg/l, and monthly average concentration values for these parameters were ranged from 3.22mg/l to 19.15mg/l and from 0.41mg/l to 2.30mg/l, respectively.

BOD, COD and TOC concentrations of the influent were shown to be correlated as follows

$$\text{BOD} = 1.231 \text{ COD} + 6.088 \quad (r^2 = 0.873)$$

$$\text{BOD} = 1.237 \text{ TOC} - 0.141 \quad (r^2 = 0.866)$$

$$\text{COD} = 0.949 \text{ TOC} - 3.433 \quad (r^2 = 0.886)$$

3. Two types of soil trench facilities with hydraulic loadings of 85 l/m trench · day (trench I) and 115 l/m trench · day (trench II) were installed and operated for one

year.

Annual average BOD concentrations of effluents from trench I and trench II with influent of 36.29mg BOD/l, were 8.69mg/l and 9.09mg/l, respectively and were not much changed by the variation of the influent BOD concentrations within the range of 6.59–86.02mg/l.

Monthly effluent BOD concentrations from trench I were ranged from 8.69mg/l to 9.46mg/l in the cold season from Dec. to Feb. and 10.53–13.43mg/l in the rainy season from May to Jul.. Effluent water quality during this period was become worse in comparison with the cold season. It was judged that this may be caused by the increase of hydraulic loadings in trenches because of monthly average 175.3mm amount of precipitation during this period.

Effluent water quality from trench II was similar to trench I but BOD concentration from May to Jul. was 10.23mg/l lower than 12.36mg/l of trench II. This was estimated to be caused by the one month deadlock period of Mar., 1991.

Annual SS concentration of influent to trenches was 24.01mg/l but effluent concentrations of SS were 3.54mg/l in trench I and 3.21mg/l in trench II, respectively.

Influent TKN concentration with 8.48mg/l was decreased to 3.51mg/l by trench I and 4.14mg/l by trench II and effluent TKN concentration were relatively high in the cold season. T–P concentration in influent was 1.10mg/l but effluent concentrations from trench I and trench II were 0.26mg T–P/l and 0.30mg T–P/l, respectively.

It was guessed that it was possible to apply practically this process to the purification of polluted stream water by judging the treating ability of organic pollutants, suspended solid and nutrients.

4. Gravel contact oxidation facilities of aerated and non-aerated types were installed and operated for one year.

Influent BOD concentration to these facilities was 36.29mg/1 in the annual average. Effluent BOD concentrations from aerated and non-aerated types were 15.58 mg/1 and 25.56mg/1, respectively. In the effluent water quality, the aerated type was better than the non-aerated.

In the non-aerated type, effluent BOD concentrations were much changed by the influent water quality. Average influent from Nov. to Mar., that BOD concentration was above 30mg BOD/1, was 61.14mgBOD/1 and the effluent concentration during this period was 46.32mgBOD/1, but average influent from Apr. to Oct., that this was below 30mg/1, was 18.54mg/1 and the effluent was 10.72mg/1 in average. And so it was essential that aeration apparatus had to be installed in this facility to treat the polluted stream water above 30mg/1.

TKN and T-P concentrations of the influent were 8.48mg/1 and 1.10mg/1, respectively. Effluent TKN and T-P concentrations were 6.85mg/1 and 0.86mg/1 in the aerated type and 8.79mg/1 and 0.99mg/1 in the non-aerated type in annual average, respectively.

In the case of applying this process to the treatment of the polluted stream water, it was judged that the treatment of organic pollutants was possible but treatment of nitrogen and phosphorus compounds was almost impossible.

Judging from results of research, it is possible that soil trench process can be applied to the heavily polluted stream water and the gravel contact oxidation process can be done to those of lightly polluted, relatively.

Further research topics for applying these results

1) Eliminating technology of the scum rised from the bottom by the increase of stream water temperature and of the current in the stream.

2) Collection of long—term hydrologic data at the site of the installation of these facilities

3) Technologies for eliminating and treating the sludge in the gravel contact oxidation facility and for anti—freezing the collection pipe.

4) Technology for linking the operation of aeration facilities with the pollution level of the stream water.

5) Further research for estimating the appropriate treatment scale of the soil trench facility in the treatment of polluted stream water, not to be clogged.

CONTENTS

Chapter 1	Introduction	29
Chapter 2	Status of Some Domestic Streams	33
Section 1.	Flowrates of Some Streams	33
Section 2.	Change of Pollution Level in Some Streams	35
Section 3.	Effect on Inflowed Rivers	36
Section 4.	Pollution Sources in the Changneung Stream Basin	37
Chapter 3	Selection of Treatment Processes for Practical Application	39
Section 1	Soil Trench Process	43
1.	Degradation of Organics in Soil	45
2.	Fate of Nitrogen and Phosphorus in Soil	48
3.	Types and Characteristics of Land Treatment Processes	50
4.	Design Criteria of Soil Trench	55
5.	Examples of Practical Application	58
Section 2	Gravel Contact Oxidation Process	65
1.	Principle of Purification	65
2.	Types of Gravel Contact Oxidation Process	67
3.	Facility of Gravel Contact Oxidation Process	68
4.	Attention for Installation and Operation	72
5.	Examples of Practical Application	76

Chapter 4	Status of Area at On-Site Experimental Facilities	77
Section 1	Conceptional Status of Selected Stream	77
1.	Flowrate of the Stream	77
2.	Meteorological Data in Seoul Area	77
3.	Status of Water Resource and Use	78
4.	Population in the Stream Basin	79
5.	Wastewater Source in the Stream Basin	79
Section 2	Permeability Test of the Soil at Experiment Site	81
1.	Permeameter Apparatus and Experimental Method	82
2.	Permeability Test of Soil	83
3.	Preliminay Survery of the Selected Stream	84
Chapter 5	Installation Status of Experimental Processes	87
Section 1	Concepts of Experimental Processes	87
Section 2	Soil Trench Process	88
Section 3	Gravel Contact Oxidation Process	90
Chapter 6	Experimental Method	93
Section 1	Collection Method and Management of Collection Pipe	93
Section 2	Sampling of Stream Water and Effluent from Processes	93
Section 3	Analysis of Samples	94
Section 4	Operation of Experimental Facilities	94

1. Soil Trench Facility	94
2. Gravel Contact Oxidation Facility	96
Chapter 7 Experimental Results and Consideration	97
Section 1 Characteristics of the Changneung Stream Water	97
1. Variation of Water Quality	97
2. Variation of Water Quantity	100
3. Variation of Loading Rate	103
Section 2 Quality of Inflowed Stream Water to the Facilities	104
1. Organic Pollutants	106
2. Nitrogen and Phosphorus	108
3. Suspended Solid and Dissolved Oxygen	110
4. Correlation among Organic Pollutants	111
Section 3 Purification by Soil Trench Process	113
1. Organic Pollutants	114
2. Suspended Solid	120
3. Nitrogen	121
4. Phosphorus	125
Section 4 Purification by Gravel Contact Oxidation Process	126
1. Organic Pollutants	127
2. Suspended Solid	133
3. Nitrogen and Phosphorus	134
Chapter 8 Conclusion	138

Reference 143

Index 147

List of Tables

Table 2.1	Flowrate of Some Domestic Streams	33
Table 2.2	Annual BOD Concentrations of Some Domestic Streams	35
Table 2.3	Annual SS Concentrations of Some Domestic Streams	36
Table 2.4	Discharging Amount of Municipal and Industrial Wastewater into Water System	37
Table 3.1	Approximate Numbers of Organisms Commonly Found in Soil	47
Table 3.2	Characteristics of Land Treatment Processes	52
Table 3.3	Comparison of Typical Design Features for Land Treatment Processes	54
Table 3.4	Conceptional Framework for Hydraulic Loading Rates for Subsurface Soil Treatment System	56
Table 3.5	Recommended Rates of Wastewater Application for Trench and Bed Bot- tom Areas	57
Table 3.6	Charateristics of Effluent from Septic Tank System	60
Table 3.7	Purpose and Effect of Land Treatment	61
Table 3.8	Charateristics of Effluent from Collection-Type Soil Trench Processes	63
Table 3.9	Local Autonomous Entities Recommenable Soil System as a Municipal Wastewater Treatment in Japan	63
Table 3.10	Specific Surface Areas of Some Contact Media	70
Table 3.11	Charateristics of Effluent from Gravel Contact Oxidation Proceses	76
Table 4.1	Meteorological Data in Seoul Area	78

Table 4.2	Population in Basin of the Changneung Stream	79
Table 4.3	Wastewater Discharging Plants in Basin of the Changneung Stream	80
Table 4.4	Standard Permeability Coefficients of Soils	82
Table 4.5	Results of Permeability Tests (site I)	83
Table 4.6	Results of Permeability Tests (site II)	83
Table 4.7	Water Quality of the Changneung Stream in Preliminary Survey	85
Table 6.1	Experiment Parameters and Methods	95
Table 7.1	Monthly Variations of Flowrates and Concentrations and Loadings of BOD, COD, TOC and SS in the Changneung Stream Water	100
Table 7.2	Hourly Variation of Flowrates and Concentrations and Loadings of BOD, COD, TOC and SS in the Changneung Stream Water	101
Table 7.3	Monthly Concentrations of Pollutants of Influent, the Changneung Stream Water	107
Table 7.4	Monthly Concentrations of N and P Compounds of Influent, the Changneung Stream Water	107
Table 7.5	Monthly Concentrations of Effluent Pollutants from Soil Trench I	115
Table 7.6	Monthly Concentrations of Effluent Pollutants from Soil Trench II	115
Table 7.7	Monthly Concentrations of N and P Compounds in Effluent from Soil Trench I	123
Table 7.8	Monthly Concentrations of N and P Compounds in Effluent from Soil Trench II	123
Table 7.9	Monthly Concentrations of Effluent Pollutants from Aerated Gravel Contact Oxidation Process	128
Table 7.10	Monthly Concentrations of Effluent Pollutants from Non-Aerated Gravel	

Contact Oxidation Process	128
Table 7.11 Monthly Concentrations of Effluent N and P Compounds from Aerated Gravel Contact Oxidation Process	135
Table 7.12 Monthly Concentrations of Effluent N and P Compounds from Non-Aera- ted Gravel Contact Oxidation Process	135

List of Figures

Fig. 3.1	Correlation among Regional Characteristics, Selection of System and Characteristics of Treatment Systems	41
Fig. 3.2	Typical Soil Treatment System	44
Fig. 3.3	Example Design Concepts for Soil Infiltration Systems	51
Fig. 3.4	Schematic Diagram of Septic Tank System	60
Fig. 3.5	Schematic Diagram of Surveyed Collection-Type Soil Trench	64
Fig. 3.6	Schematic Diagram of Gravel Contact Oxidation Process	66
Fig. 3.7	Conceptional Diagram of Purification by Gravel Contact Oxidation Process	69
Fig. 3.8	Types of Gravel Contact Oxidation Processes	69
Fig. 3.9	Basic Concepts of Gravel Contact Oxidation Process	75
Fig. 4.1	Status of Water Resources and Use	79
Fig. 4.2	Permeameter of Soil	81
Fig. 5.1	Stationary Map of Experimented Facilities	87
Fig. 5.2	Schematic Diagram of Soil Trench	89
Fig. 5.3	Cross Section of Soil Trench	89
Fig. 5.4	Schematic Diagram of Gravel Contact Oxidation Process	91
Fig. 5.5	Cross Section of Gravel Contact Oxidation Process	92
Fig. 7.1	Monthly Variations of BOD, COD, TOC and SS Concentrations of the Changneung Stream Water	99
Fig. 7.2	Hourly Variations of BOD, COD, TOC and SS Concentrations of the Changneung Stream Water	99
Fig. 7.3	Monthly Variations of Flowrate in the Changneung Stream Water	102

Fig. 7.4	Hourly Variations of Flowrate in the Changneung Stream Water	102
Fig. 7.5	Monthly Variations of BOD, COD, TOC and SS Loadings of the Changneung Stream Water	105
Fig. 7.6	Hourly Variations of BOD, COD, TOC and SS Loadings of the Changneung Stream Water	105
Fig. 7.7	BOD, COD and TOC Concentrations of Influent, the Changneung Stream Water	109
Fig. 7.8	TKN and T-P Concentrations of Influent, the Changneung Stream Water	109
Fig. 7.9	DO and SS Concentrations of Influent, the Changneung Stream Water	110
Fig. 7.10	Correlation between BOD and COD Concentrations in the Changneung Stream Water	111
Fig. 7.11	Correlation between BOD and TOC Concentrations in the Changneung Stream Water	112
Fig. 7.12	Correlation between COD and TOC Concentrations in the Changneung Stream Water	113
Fig. 7.13	Monthly Variations of Effluent BOD from Soil Trenchs	114
Fig. 7.14	Monthly Variations of Effluent COD from Soil Trenchs	118
Fig. 7.15	Monthly Variations of Effluent TOC from Soil Trenchs	119
Fig. 7.16	Monthly Variations of Effluent SS from Soil Trenchs	120
Fig. 7.17	Monthly Variations of Effluent TKN from Soil Trenchs	122
Fig. 7.18	Monthly Variations of Effluent T-P from Soil Trenchs	126
Fig. 7.19	Monthly Variations of Effluent BOD from Aerated and Non-Aerated Gravel Contact Oxidation Processes	129

Fig. 7.20 Monthly Variations of Effluent COD from Aerated and Non-Aerated Gravel Contact Oxidation Processes	132
Fig. 7.21 Monthly Variations of Effluent TOC from Aerated and Non-Aerated Gravel Contact Oxidation Processes	132
Fig. 7.22 Monthly Variations of Effluent SS from Aerated and Non-Aerated Gravel Contact Oxidation Processes	133
Fig. 7.23 Monthly Variations of Effluent TKN from Aerated and Non-Aerated Gra- vel Contact Oxidation Processes	137
Fig. 7.24 Monthly Variations of Effluent T-P from Aerated and Non-Aerated Gra- vel Contact Oxidation Processes	137

차 례

제1장 서론	29
제2장 국내 소규모 하천의 현황	33
제1절 소규모 하천의 유량현황	33
제2절 소규모 하천의 오염도 추이	35
제3절 유입 하천에의 영향	36
제4절 오염물질의 발생원	37
제3장 실용화공법의 선정	39
제1절 토양트렌치법	43
1. 토양내에서 유기물의 분해	45
2. 토양중에서 질소 및 인의 거동	48
3. 토양처리법의 종류와 특성	50
4. 시설설계인자	55
5. 실용화 사례	58
제2절 자갈층접촉산화법	65
1. 정화원리	65
2. 자갈층접촉 산화법의 종류	67
3. 자갈층접촉 산화시설	68
4. 설치 및 운영시의 유의사항	72
5. 실용화 사례	76
제4장 현장실험시설 설치지역의 현황	77
제1절 선정하천의 유역개요	77

1. 하천유량	77
2. 기상	77
3. 수자원의 이용현황	78
4. 유역내 인구	79
5. 유역내 폐수배출현황	79
제2절 설치지역 토양의 투수시험	81
1. 시험장치 및 시험방법	82
2. 투수시험결과	83
3. 선정하천의 수질예비조사	84
제5장 정화시설의 설치현황	87
제1절 정화시설의 개요	87
제2절 토양트렌치시설	88
제3절 자갈층접촉산화시설	90
제6장 실험방법	93
제1절 취수방식과 취수구 관리	93
제2절 하천수 및 처리수의 채취	93
제3절 시료의 분석	94
제4절 정화시설의 운전	94
1. 토양트렌치 시설	94
2. 자갈층접촉산화 시설	96
제7장 실험결과 및 고찰	97
제1절 창능천 하천수의 특성	97

1. 창능천의 수질변화	97
2. 창능천의 유량변화	100
3. 창능천의 오염물질 부하량 변화	103
제2절 유입하천수의 수질	104
1. 유기성 오염물질	106
2. 영양염류	108
3. 부유물질 및 용존산소	110
4. 유기성 오염물질의 지표간 상관성	111
제3절 토양트렌치시설에서의 정화능	113
1. 유기성 오염물질	114
2. 부유물질	120
3. 질소	121
4. 인	125
제4절 자갈층접촉산화시설에서의 정화능	126
1. 유기성 오염물질	127
2. 부유물질	133
3. 영양염류	134
제8장 결 론	138
참고문헌	143
부 록	147

제 1 장 서 론

산업의 발달, 인구의 증가 및 밀집화, 생활수준의 향상에 따른 오염물질 배출량의 증가, 농업생산성의 제고를 위한 농약 및 비료사용량의 증가 등으로 수질오염이 점차 심화되어 국지적으로는 수자원으로서의 가치를 상실한 지역도 나타나고 있다.

이러한 수질오염물질의 배출원은 산업폐수, 축산폐수 및 생활하수로 대별되는데 산업폐수 축산폐수의 경우는 일정시설 규모 이상에 대해서는 수질환경보전법(환경처, 1991a)과 폐기물관리법(환경처, 1991b)에 의해 규제되어 폐수처리 시설에서 처리 후 일정농도 이하로 배출되도록 하고 있으며, 생활 하수의 경우도 하수종말처리장이 설치된 지역에서는 방류수 수질기준 이하로 처리하도록 하고 있어서 큰 문제를 야기치 않으나, 미설치 지역에서는 미처리된 하수와 배출허용기준 이하로 처리된 산업폐수나 축산폐수는 상당량의 오염물질이 함유되어 있어서 이로 인한 하천수질오염이 심화되고 있다.

우리나라에서 하루에 발생하는 폐하수량은 약 1,760만 m^3 으로 이 중 하수가 58%, 산업폐수가 41%를 차지하여 하수에 의한 수질오염이 막대함을 알 수 있다. 그러나 우리나라의 하수처리장 보급율이 '90년 말 현재 31% 정도로(환경처, 1991c) 선진국 수준 즉 1989년 현재 영국의 95%, 미국의 73% 서독의 91%, 캐나다의 74% 등(稻森등, 1990)에 비해 매우 낮은 실정이다. 이러한 낮은 보급율을 감안하여 정부에서는 1996년까지 하수종말처리시설이 긴요한 도시지역에 대하여 연차적으로 설치하여 하수처리율을 65%까지 증가시킬 계획(환경처, 1991c)이나 계획대로 추진되더라도 35%는 그대로 공공수역에 방류되어 하천수질의 개선을 기대하기는 미흡한 실정이다.

특히 '90년 현재의 하수처리율이 31%로 미처리상태로 방류되는 나머지 69% 중 농촌지역의 인구 구성비인 약 22%(환경처, 1990)를 제외한 47%는 인구가 밀집된

소도시 지역에서 배출되어 인근수용하천을 오염시켜 하류지역에서 용수원으로서의 가치를 저감시키고 있는 실정이다.

따라서 하수처리장의 보급율이 미흡하고, 인구의 도시화가 급속히 이루어져 오수의 배출이 밀집화된 우리나라의 경우, 하수처리장의 빠른 보급을 기대하기 어려운 현실을 감안할 때 소규모 배출원에 적용가능한 오수처리공법이나, 소규모 배출원이 산재되어 오수의 차집이 경제적으로나 기술적으로 어렵고, 이들의 유입으로 수질오염이 심화된 소규모의 하천에 적용가능한 기술의 실용화가 시급히 요구되고 있다.

이러한 목적에 부응하기 위해서는 1) 경제적으로 매우 저렴하게 설치할 수 있고, 2) 유지관리가 용이하며, 3) 유량과 수질의 변동에 적응성이 좋고, 4) 슬러지의 발생량이 적으며, 5) 유기성 오염물질 이외에 질소와 인의 제거능이 양호하고, 6) 약품비와 전력비가 적게 소요되며, 7) 처리시설과 처리수가 위생적으로 안정하고, 8) 가능한한 빨리 보급할 수 있는 등의 조건을 만족해야 한다. 이러한 조건을 만족하는 처리법으로는 혐기성 반응을 응용한 처리, 간이생물산화처리, 자연정화기능을 응용한 처리 등이 있다.(稻森 등, 1985)

현재 소규모 오수처리기술로 실용화되거나 개발중에 있는 처리법(稻森 등, 1985)을 세분하면 1) 혐기성 라-군법, 2) 부폐조, 3) 혐기성 여상법, 4) 회전원판법, 5) 접촉폭기법, 6) 수로정화법, 7) 침전조, 8) 간이접촉폭기법, 9) 회분식활성슬러지법, 10) 산화구법, 11) 장기폭기 활성슬러지법, 12) 산화지법, 13) 폭기식 라-군법, 14) 토양처리법 등이 있다.

본 연구에서는 하수처리율이 미흡하고, 소규모 배출원이 산재되어 있어 모든 배출원에 처리시설을 설치하거나 소규모 배출원에서의 오수를 차집하여 하수종말처리장에 유입시켜 처리하는 것이 경제적으로나 기술적으로 어려운 현실을 감안하여, 이들이 유입되어 오염이 심화된 하천수를 정화할 수 있는 정화기술을 실용화하고자 수행하였다.

이러한 측면에서 실용화가 가능한 정화기술로는 오염된 하천수를 하천에서 직접

정화할 수 있는 처리기술을 고려할 수 있는데 이러한 정화기술로 연구개발 중이거나 실용화되어 있는 기술은 아래와 같다(稻森 등, 1990).

- 1) 하천에서 생물막의 부착면적을 증가시키거나 유량을 감소시켜 생물의 부착면적당 수량을 줄여 하천에서 직접 정화능을 향상시키기 위한 박층류(薄層流) 정화법,
- 2) 복류수(伏流水)를 인위적으로 펌핑하여 하천수에 유입시켜 회석정화하면서 지하침투속도를 증가시켜 침투과정에서 정화를 기대하는 복류정화법,
- 3) 자갈의 충전층을 만들어 부착생물막을 여러 층으로 형성시켜서 자갈에 형성된 부착미생물을 이용하여 정화능을 향상시키는 자갈층접촉산화법,
- 4) 도시의 하수로나 관개용수로 등 비교적 소규모의 수로를 대상으로 하고 정화원리는 자갈층접촉산화법과 같은 접촉재를 충전한수로(水路)정화법,
- 5) 수생식물의 자연정화능을 활용한 갈대밭 같은 습지를 이용하여 오염부하를 저감하는 수생식물식재정화법,
- 6) 오염이 심화된 하천수가 부영양화가 현저하게 진행된 호소 등에 유입되는 경우 하천수의 전량을 집수하여 정화하는 집수정화법 등이 있다.

따라서 오염이 심화된 하천수를 정화하기 위한 연구대상 실용화 기술로 소규모의 오수배출원에 실용시설로 적용하거나 하천변의 고수부지나 인근의 유희토지를 이용할 수 있는 오수처리기술중 토양처리법과 하천에 직접 적용가능한 기술 중 자갈층접촉산화법을 선정하였다.

토양처리법은 개방형(Open System)과 매설형(Buried System)으로 구분되며 전자는 주로 대규모 처리법으로 이용되며 여기에는 저속침투법(Slow Rate, SR), 급속침투법(Rapid Infiltration, RI)과 지표면 유하법(Overland Flow, OF) 등이 있다.(Crites, USEPA, 1981). 후자는 주로 소규모 처리법으로 이용되며 Subsurface Soil Adsorption System이라 불리는데 여기에는 베드(Bed)형과 트렌치(Trench)형이 있다(USEPA, 1980).

이러한 토양처리법 중 70년대 초기에는 오수를 처리하는데 저속침투법인 관개법 (Surface Irrigation)과 급속침투법이 주로 사용되었으나, '80년대 초기 시행된 지표면 유하법은 1, 2차 처리수와 스크린 처리된 오수를 처리하는데 효과적인 것으로 알려지면서 보급되고 있다(Crites, 1984).

본 실용화연구에서는 이러한 여러 형태의 토양처리법 중 우리나라의 기후 특성을 감안하여 한냉지에서 다른 방법보다 적응성이 우수하고(石崎, 1988), 비교적 설치면적이 적게 소요되며 악취 등 2차 공해를 유발하지 않고 미관상 장애를 일으키지 않는 토양 트랜치법(木村, 1981)과 하천에 직접 적용가능한 정화기술로 하천변의 고수부지 등을 활용할 수 있는 자갈충적축산화법을 선정하였다.

선정된 정화기술에 대해 오염이 심화된 하천의 고수부지에 현장시설을 설치하여 우리나라의 자연환경 즉, 여름철의 집중강우와 겨울철의 저온 및 강설과 하천수질의 조건하에서 실용화 가능성을 검토하고자 본 연구를 수행하였다.

제 2 장 국내 소규모 오염하천의 현황

제1절 소규모 하천의 유량현황

각종 용수 즉 농업용수, 공업용수 및 생활용수 등의 수요증가에 따라 하천에서의 취수량 증가로 인해 하천의 유량이 감소되는 추세에 있다. 우리나라의 연간 강수량은 1,159mm이고 총 수자원량은 1,140억톤이나 6~8월의 집중강우로 인한 홍수로 유실되는 양이 많으며 또한 갈수량과 풍수량간에도 큰 차이를 나타내고 있다.

국내 소규모 하천에서의 유량현황은 표 2.1과 같으며 갈수량과 풍수량간의 차이가 약 10배에 달하는 하천도 있음을 알 수 있다.

Table 2.1 Flowrate of Some Domestic Streams

(단위: m³/sec)

수계	구분			갈수량	저수량	평수량	풍수량
	하천명						
한 강	굴포천			0.24	0.58	1.27	2.73
	왕숙천			0.30	0.68	1.39	3.12
	중랑천			0.57	1.40	3.09	6.69
	양재천			0.11	0.27	0.59	1.28
	창릉천			0.50	—	2.00	—
	곡릉천			0.48	1.19	2.63	5.69
	북하천			0.60	0.74	0.90	1.40
	양근천			0.20	0.20	0.25	0.60
	계천천			0.38	0.72	1.34	3.02
낙동강	학장천			0.42	0.44	0.49	0.56
	양산천			2.25	3.12	4.48	6.48

(Continued)

수계	구분		갈수량	저수량	평수량	풍수량
	하천명					
낙동강	신천	천	0.06	0.19	0.25	0.61
	팔계천	천	0.04	0.12	0.17	0.41
	구미천	천	0.02	0.07	0.09	0.22
	황지천	천	0.56	1.77	2.89	-
금강	함건천	천	0.03	0.04	0.07	-
	보청천	천	0.34	0.50	0.84	-
	강경천	천	0.48	-	2.07	-
영산강	극락강	강	0.48	1.51	3.06	6.33
만경강	목천오천	천	0.06	-	0.22	-
동진강	조곡천	천	0.09	-	0.37	-
임진강	포천천	천	0.50	0.85	1.44	3.44
안성천	황구지천	천	0.71	1.24	2.12	4.95
	통북천	천	0.09	0.16	0.28	0.65
동해	남대천	천	0.47	0.81	1.17	1.89
	경포천	천	0.08	0.15	0.21	0.34
	청초천	천	0.21	0.37	0.54	0.87
	쌍천	천	0.64	1.11	1.59	2.58
서해	승기천	천	0.05	0.13	0.27	0.66
	반월천	천	0.05	0.19	0.33	0.77
	상리천	천	0.01	0.04	0.08	0.15
	죽교천	천	0.005	0.016	0.033	0.068
	남해천	천	0.006	0.02	0.04	0.082
	고창천	천	0.15	-	0.73	-
남해	동천(부산)		2.52	2.57	2.65	2.78
	동천(순천)		0.25	0.58	0.87	1.6

제2절 소규모 하천의 오염도 추이

인구의 증가 및 밀집화와 산업의 발달로 용수 수요가 증가하고 오염물질 배출량의 증가로 인해 하천수질오염도 지속적으로 증가하여 효율적인 수자원 관리가 요구되고 있다. 소규모 하천의 오염도를 보면 인구 및 산업체가 밀집된 경인지역을 비롯한 대도시인근의 소하천의 수질오염이 심각하며, 특히 공단지역을 관통하는 하천의 오염이 가장 우려되고 있다. 국내 대표적인 소하천의 연도별 BOD농도와 부유물질(SS) 농도의 추이는 표 2.2와 표 2.3과 같으며(환경처, 1990), 오염이 심한 하천의 경우 BOD농도가 100mg/l를 능가하여 하수천화되고 있는 실정이다.

Table 2.2 Annual BOD Concentrations in Domestic Streams

(단위:mg/l)

수계	연도별 하천명	'82	'83	'84	'85	'86	'87	'88	'89
		한 강	굴포천	46.9	89.7	126.4	95.6	92.1	105.7
	경안천	4.3	5.3	4.0	3.0	4.1	4.4	5.7	3.8
	왕숙천	20.7	14.9	25.7	20.4	12.1	17.4	29.1	18.9
	곡룡천	—	—	12.2	11.1	8.4	10.5	12.4	11.1
	북하천	4.7	8.9	8.5	2.8	4.0	5.2	18.5	7.1
	제천천	—	—	3.0	1.9	3.2	2.2	5.7	5.6
낙동강	구미천	3.9	1.7	1.6	1.8	1.7	1.5	2.1	1.6
	양산천	—	—	5.3	3.1	6.6	5.4	9.0	7.4
금 강	보청천	—	—	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2	1.8
	강경천	—	—	4.8	5.0	8.0	5.7	5.9	7.2
만경강	전주천	—	—	22.0	22.5	17.4	18.9	46.2	28.7
안성천	오산천	2.90	2.9	80.4	41.2	23.7	33.3	149.7	92.2
	황구지천	—	—	20.9	23.1	18.5	23.8	27.6	20.0
기 타	반월천	42.2	104.8	224.5	347.7	454.8	244.2	304.8	197.2

Table 2.3 Annual SS Concentrations in Domestic Streams

(단위:mg/l)

수계	연도별		'82	'83	'84	'85	'86	'87	'88	'89
	하천명									
한 강	굴포천	천	54.9	114.9	144.9	99.4	98.1	115.2	74.6	78.8
	경안천	천	7.6	14.5	17.1	6.2	9.4	6.4	8.0	7.1
	왕숙천	천	21.1	30.6	63.9	82.2	49.1	22.5	49.7	65.6
	곡룡천	천	—	—	30.9	19.5	15.3	13.6	10.7	29.0
	북하천	천	7.5	15.9	30.6	9.3	15.1	15.4	15.3	24.3
	제천천	천	—	—	4.4	3.1	4.7	3.4	5.8	7.4
낙동강	구미천	천	39.2	18.5	8.9	17.5	11.7	8.3	10.8	3.9
	양산천	천	—	—	10.9	5.5	12.8	12.4	8.9	10.3
금 강	보청천	천	—	—	0.9	1.0	1.3	1.6	2.2	2.2
	강경천	천	—	—	5.5	5.6	10.4	9.0	10.8	9.2
만경강	전주천	천	—	—	11.6	9.8	23.8	22.9	45.1	37.4
안성천	오산천	천	4.3	6.0	7.8	12.8	6.9	42.3	42.8	26.8
	황구지천	천	—	—	49.7	65.3	44.9	22.7	31.6	36.4
기 타	반월천	천	46.6	233.4	357.3	320.5	476.8	290.9	176.7	469.7

제3절 유입하천에의 영향

소규모 지천에서 오염된 하천수가 하천본류에 유입될 경우 유입하천을 오염시켜 하류로 내려갈수록 오염을 가중시키게 된다. 이러한 경향을 한강을 예(환경처, 1990)로 보면 '90년 현재 상류인 북한강, 청평에서의 BOD가 1.2mg/l이나 하류로 내려 오면서 오염물질이 지속적으로 유입되어 노량진과 영등포에서는 각각 3.4mg/l

와 3.6mg/l로 오염이 가중되고 있다.

하천오염이 심화되면 수생식물 및 어패류 등의 수생 생태계에 영향을 끼쳐 수질 상태에 민감한 어패류가 멸종되거나 감소하게 되며 오염하천수를 상수원으로 이용하게 되면 수인성 전염병을 유발할 가능성이 높아지고, 또한 중금속이 다량 함유된 공장폐수가 하천에 유입됨으로써 어패류의 체내에 중금속이 축적되고, 이러한 어패류를 사람이 섭취함으로써 중금속에 장기 폭로되어 만성중독 증상을 유발하게 된다. 또한 농업용수로 이용될 경우 농경지의 토양을 오염시켜 농작물에 이행되어 결국 사람이 유해한 오염물질을 섭취하게 되는 결과를 초래한다.

제4절 오염물질의 발생원

하천수질오염의 오염원들은 일반가정에서 배출되는 생활하수에 산업체로부터 배출되는 공장폐수 및 농축산물폐수로 구분할 수 있다. 이들 중 가장 많은 비율을 차지하는 오염원은 생활하수로서 전체 폐하수 발생량의 58%를 차지하여 전국적인 생활하수 배출량이 약 10,217천m³/day에 달하고 있다. 생활하수의 배출량은 생활수준의 향상과 비례관계가 있어 특히 인구가 밀집된 대도시 지역에서는 산업폐수에 의한 오염보다도 큰 오염원이 되고 있다.

산업폐수는 각종 제품의 생산 등 산업활동의 결과로 생성되는 폐수로서 일반적으로 고농도이며 중금속 등 유해물질을 함유하고 전국적으로 '90년 현재 13,504업소에서 7,280천m³의 산업폐수가 매일 배출되고 있다. 특히 독성을 나타내는 특정유해물질을 함유하는 폐수도 3,585업소에서 153천m³이 매일 공공수역에 유입되고 있다 (환경처, 1991d).

축산폐수는 최근의 육류소비 증가에 따라 가축사육두수가 늘어나는 추세에 있으며 그 발생량은 많지 않으나 고농도 유기성 물질을 함유하고 있어 수질오염 부하량이 높아 축산폐수의 발생량은 약 87천m³/day로 전체 폐하수 발생량의 약 1%를 차

지하고 있으나 처리 전의 BOD부하량으로 보면 16%를 차지하고 있다. 따라서 고농도의 유기성 오염물질을 함유하고 있는 이들의 적절한 관리가 시급히 요구되고 있다.

표 2.4는 오염물질 발생원별 및 수계별 배출량현황을 나타낸다.

Table 2.4 Discharging Amount of Municipal and Industrial Wastewater into Water Systems(1989)

(단위:천m³/day)

수계별 구분	계	한 강	낙동강	금 강	영산강	만경강	기 타
생활하수	10,217	3,992	1,547	725	456	232	3,265
공장폐수	7,279	451	998	153	39	39	5,560
축산폐수	87						

제 3 장 실용화공법의 선정

우리나라의 경우 하천, 호소, 해역 등 공공수역에서의 수질오염이 점차 심화되어 가고 있는 경향이며, 이러한 오염추세중 국내 용수원의 큰 비중을 차지하고 있는 호소수의 경우를 보면 환경기준의 달성율이 COD를 기준으로 하였을 때 '88년에는 19.1%로 오염이 심화됨을 알 수 있으며(조, 1989), 이러한 경향은 하천에서도 유사하게 나타나고 있다.

이러한 오염심화의 원인은 국내에서 하루에 약 1,760만톤의 폐하수가 발생되나 이들을 최종처리할 수 있는 하수종말처리시설의 보급율이 약 30% 수준에 불과하여 미처리된 하수, 수질환경보전법상 폐수배출허용기준 이하로 처리하더라도 제거되지 않은 오염물질이 함유된 방류수, 소규모 축산농가에서의 폐수, 비점오염원에서 오염물질 배출량의 증가(농약사용량은 10년간 약 2배, 비료사용량은 32%의 증가)등이 복합적으로 공공수역의 수질오염을 가중시키고 있다.

이러한 추세에 대응하기 위해 정부에서는 하수처리장의 보급율을 1996년까지는 65%로 확충할 계획하에 추진중에 있으나 이러한 보급율도 선진국의 수준, 즉 영국의 95%, 미국의 73%에 비해 매우 낮은 실정이다.

특히 소규모 집단거주지역 등에서 배출되는 하수나 비점오염원에서 배출되는 오염물질을 적절히 관리하기 위해서는 하수도의 정비, 오염물질을 발생원에서 집수하여 하수처리장까지 이송할 하수관거의 확충 및 하수처리장의 건설 등이 추진되어야 한다. 그러나 대도시에서의 하수처리시설의 보급율도 낮은 현실에서 이러한 소규모 배출원에서의 하수를 처리하기 위한 하수처리시설의 보급을 기대하기는 국내 제반 여건상 매우 어려운 실정이다. 이러한 현상은 다른 국가에서도 유사하여 중유럽과 북미에서도 주거인구의 약 20~30%만이 각자의 하수처리시스템이나 오수를 처리하기 위한 소규모 처리장을 갖추고 있으며, 개발도상국가에서는 도시지역에서 하수

도 보급율이 도시인구의 70%에 달하나 농촌지역에서는 불과 8%만이 처리시스템을 갖추고 있다(Laak, 1986).

하수처리시설의 보급이 어려운 이러한 지역에 대해서는 하수도 정비나 하수처리장의 건설 대신에 잠정적 또는 영구적인 대책으로 별도의 방법을 강구해야 한다. 특히 주거인구가 산재된 지역에서는 하수관거의 건설에 많은 비용이 소요되고 또한 단기간에 설치할 수도 없어 보급이 어려운 실정이다.

따라서 우리나라와 같이 갈수기의 기간이 대체로 긴 지역에서는 자연정화능을 이용한 오수처리기술의 이용이 바람직한 것으로 사려된다. 이러한 방법을 사용하기 위해서는 다음과 같은 조건을 만족하는 것이 바람직하다.

첫째로 정화시설의 설치와 유지관리비용이 상대적으로 저렴하고 상당한 처리효율을 갖는 시스템이 적합하다. 우리의 현실하에서 설치 및 운영관리하는데 경제적으로 비용이 많이 들면 시설을 보급하는데 큰 장애요인이 될 것이다.

둘째로 유지관리가 기술적으로 용이한 시스템이 필요하다. 실제 하수나 폐수의 종말처리시설이 설치된 대도시지역에서는 이들의 설치와 운영에 막대한 경제적 지원에 의해 이루어지고 있지만, 소도시 및 농어촌에서는 전문인력의 확보에 어려움이 있어서 처리시스템이 기술적으로 복잡해서는 안 된다. 즉 간단한 조작으로 운영관리할 수 있는 시스템이 바람직하다.

셋째로 유기물질의 제거능 외에도 질소나 인의 제거능이 양호한 처리시스템이 바람직하다. 우리나라와 같이 계절적 강수량의 변화폭이 커서 댐에 의한 용수의 의존율이 높음을 감안하면 정체수역에서 부영양화의 발생을 방지하기 위한 처리시스템이 효과적이다.

넷째로 계절적 또는 시간적으로 오수의 발생량이 크게 변화함을 감안하면 처리시스템이 오수의 유입량이나 오염물질의 부하량변동에 적응성이 양호해야 원하는 처리효율을 얻을 수 있다. 또한 처리비용이나 운전관리상의 슬러지의 발생량이 적은 시스템이 바람직하다.

다섯째 2차 공해를 유발하지 않으면서 배출원의 인근에 설치되어야 함을 감안하면 미관상 장애를 초래하지 않아야 한다. 이는 농어촌의 자연현상과 조화를 이루고, 악취의 발생으로 주민에 피해를 주지 않으면서 모기, 파리 등 해충이 발생하지 않는 시스템이 합리적이다. 또한 소음, 진동 등의 문제도 야기하지 않아야 된다.

이러한 일반적인 조건과 아울러 지역특성과 처리시스템의 특성이 종합적으로 검토되어야 하는 바, 이들 상호간의 관계는 아래의 그림 3.1과 같다(환경청, 1988).

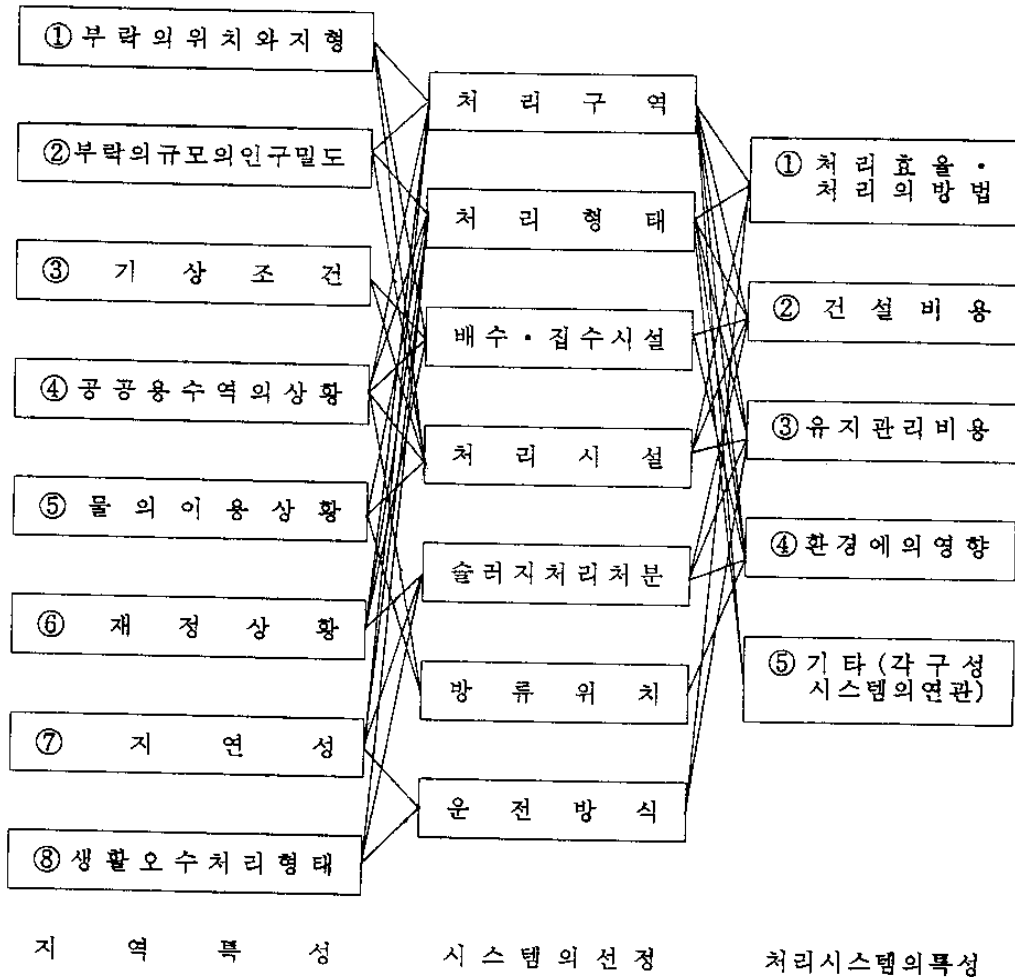


Fig. 3.1 Correlation among Regional Characteristics, Selection of System and Characteristics of Treatment Systems

이러한 제조건과 우리나라의 자연환경을 감안할 때 본 실용화 연구의 목적에 만족할 수 있는 정화법으로는 자연의 정화능을 이용한 시스템으로 인공수로법, 토양정화법, 자갈층접촉산화법 등의 활용을 생각할 수 있다.

인공수로법은 자연적으로 발생하는 수로내의 생물막에 의해 오염물질을 정화하는 방법으로, 인공적으로 수로를 설치하여 정화하는 시스템이 주류를 이루고 있다. 이는 생물막을 이용하기 때문에 선진국에서는 최근에 많은 미생물이 부착되도록 표면적을 넓히기 위해서 파도형, 벌집형 등의 매디아를 수로에 넣어 처리효율을 높이기도 하고 있다.

토양을 이용한 정화법은 1550년 독일에서 최초로 생활계 오수를 처리하기 위해 시도되었고 그 후 각국에서 실용화되었으며, 미국에서도 실용화되어 운영하고 있다(楠本 등, 1987, 木村, 1981) 토양처리법(Land Application Techniques)은 관개법(Surface Irrigation), 지표면유하법(Overland Flow), 침투여과법(Infiltration), 토양트렌치법(Soil Trench) 등으로 대별되는데 관개법은 스프링클러 등으로 경사가 적은 밭, 목초지, 잔디밭 등에 간헐적으로 지표에 살수하는 방법으로 오수중 영양염류의 재이용과 지표수분의 확보로 작물을 증수하고 도시내 녹지를 형성하는 이점이 있다.

지표면유하법은 투수성이 작은 점토질의 토양에 사용되는 방법으로 경사가 완만한 밭이나 목초지 등에 적용되는데 간단한 살수장치를 이용하여 경사지의 위에서 저농도의 처리수를 살수하여 경사면의 전표면에서 균등하게 흐르는 사이에 정화시키는 방법이다.

토양트렌치법은 통기성 토양층으로 알려진 지표하 30cm 정도의 일정면적에서 균등하게 살수하여 처리하는 방법으로, 토양처리법 중 전자의 3가지 방법은 많은 부지를 소요하고 2차공해를 유발하는 단점이 있는 반면 토양트렌치법은 적은 토지를 이용하여 정화효율을 향상시키는 방법으로 일본이나 미국 등 소규모 주거지역에서 상당히 보급되어 있는 오수처리시스템중의 하나이다.

또한 자갈층접촉산화법은 인공수로법을 발전시킨 방법으로 자갈층의 표면에 미생

물막을 형성시켜 이들에 의해 오수중 유기물질을 분해제거하는 방법이다.

이러한 방법을 이용하여 오염하천수를 직접 정화하거나 생활하수를 정화하는 경우 종래 일반적으로 이용하고 있는 활성슬러지법 등의 처리방법에 비해 처리시스템 자체가 간편하고, 관리의 용이성을 가지고 있다. 특히 영양염류의 하나인 인을 제거하는데는 활성슬러지법의 경우 화학약품을 이용한 응집침전법 등을 추가로 시설할 필요가 있지만 토양정화법을 이용할 경우에는 인의 흡착능이 우수한 토양을 그대로 사용할 수 있어서 고도처리와 함께 건설비도 절감할 수 있다.

따라서 본 오수정화기술의 실용화공법대상으로 국내의 제반여건 즉 정화시설의 설치비와 유지관리비, 시설의 운전관리를 위한 전문인력의 확보, 2차공해의 유발가능성, 미관상 문제점을 야기할 가능성 및 토지이용의 효율성 등을 감안하여 토양트렌치법과 자갈층집축산화법을 선정하였는 바, 이들의 오수정화원리와 시스템은 아래와 같다.

제1절 토양트렌치법

토양정화법이란 토양내 서식하는 호기성 토양미생물, 토양의 물리화학적 작용, 지표에 식재한 식물에 의한 영양염류 등의 흡수 등 종합적인 작용에 의해 오수중 오염물질을 처리하는 방법으로 이를 토양처리라 칭하는 사람도 있다. 토양정화법이라고 해도 그 형식, 규모 등에 따라 여러 방법이 있으며, 집축폭기조와 침전조를 토양으로 피복한 토양피복식 처리법도 토양정화법이라 부르고 있으며, 관개법을 포함한 비교적 규모가 큰 처리법(Land Application)과 소규모의 처리법(On Site Treatment Systems) 등도 토양정화법이라 한다. 이들 방법 중의 하나인 트렌치식 토양정화법, 즉 일반적으로 칭하는 토양트렌치법은 폐하수를 트렌치를 통하여 토양 중에 침투시키는 방식으로 호별처리나 소규모 취락지역 등 비교적 소규모의 처리에 이용하는

경우가 많다.

대표적인 토양트렌치법의 시스템은 그림 3.2와 같다.

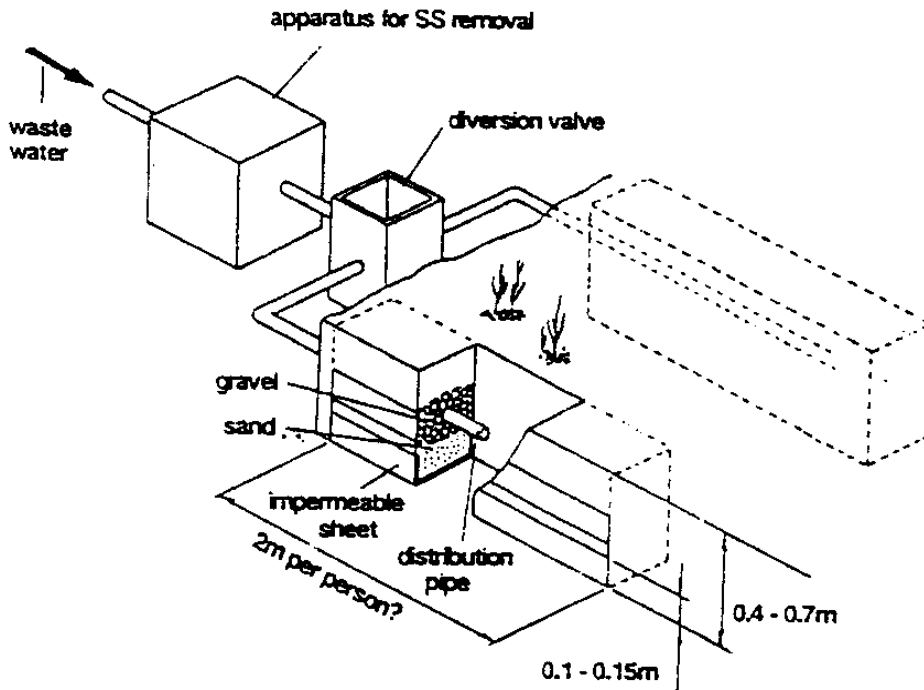


Fig. 3.2 Typical Soil Treatment System

모관형 트렌치법은 트렌치의 밑부분에 U자형으로 불투수성막(지수막)을 설치하여 폐하수가 막위에 남아 그곳으로부터 주변 토양에 불포화 침투하게 된다. 이에 반해서 중력침투형 트렌치법은 불투수성막(지수막)을 설치하지 않는다. 이 방법은 탈질현상이 일어나지 않아 질산화질소에 의한 지하수 오염을 야기시킬 수 있으므로 이를 방지하거나 처리수를 재이용하기 위하여 침투수를 집수할 수 있는 집수조를 불투수성막의 주위에 설치하는 것이 바람직하다. 이러한 목적을 위해 트렌치 주변에 불투수성막을 설치한 시스템을 집수형 트렌치라 부른다. 이에 대해 종래법과 같이 침투수를 집수하지 않은 형식을 지하침투형 트렌치 또는 단순히 침투형 트렌치라 한다.

1. 토양내에서 유기물의 분해

가. 토양환경요인

토양 중 유기물의 분해는 분해되는 유기물의 성질, 분해에 관여하는 미생물의 활성에 따라 영향을 받는다. 이들 중 미생물의 활성에 외부에서 영향을 미치는 것이 토양환경요인이다. 유기물의 분해는 주로 토양미생물에 의해 이루어지므로 미생물의 활동에 적합한 토양환경이 분해에 좋은 영향을 미치게 된다.

토양 중 미생물의 활성은 토양의 종류, 온도, 수분 및 pH의 영향을 받는다. 즉 미생물의 활성은 토양에서는 논토양보다는 밭토양에서, 심토보다는 경작토에서, 온도는 20°C보다는 30°C를 약간 초과한 곳에서, 수분은 논상태보다는 밭상태에서, pH는 5.5보다 6.5쪽이 높은 것으로 알려져 있다. 또한 이들 환경요인중 pH는 유기물의 침투 등의 영향을 받으며, 음이온 교환용량이 적은 경우에 변화하기 쉽다.

나. 탄소율의 영향

유기물의 분해에 관여하는 세균, 사상균, 방선균 등의 미생물은 토양중에서는 일반적으로 기질이 부족하여 활성이 낮은 상태에 있다. 유기물이 토양에 유입되면 미생물이 이것을 기질로 이용하여 분해하면서 증식하게 된다. 이로 인하여 미생물의 활성이 높아지고, 잔존 유기물을 차례로 분해한다.

미생물이 증식하는 경우 세포의 합성에 필요한 일정량의 탄소와 질소를 유기물에서 얻을 필요가 있는데, 미생물체의 C/N비는 대략 5~10으로 분해되는 유기물 C/N비가 큰 경우에는 질소가 부족하여 증식이 억제되어 유기물의 분해가 지연된다.

다. 유기물의 분해 예측

토양 중 유기물의 분해량은 유기물의 분해특성치와 지온에 따라 결정된다. 즉 유기물의 분해는 분해특성치로써 분해가능한 유기물함량, 분해속도정수, 활성화에너지의 3종류가 중요하다. 이들 특성치와 각지에서의 25°C에서 변환일수에서 지역별 유기물의 분해율(량)을 구할 수 있다. 여기에서 25°C(표준온도)로 변환시키면 몇 일

에 해당되는가를 나타내는 것으로

$DTS = \exp(Ea(T-298)/596 \cdot T)$ 로 표시된다.

Ea : 활성화에너지(kcal/mol·일)

T : 절대온도(°K)

유기물의 분해모델식은

$$Y = p \cdot A(1 - \exp(-k \cdot t)) \dots\dots\dots (1)$$

Y : 유기물의 분해량(mg/100g-건토)

A : 유기물량(mg/100g-건토)

p : 유기물 중 분해가능 유기물함량(%)

k : 분해속도정수(25°C, 1/일)

t : 시간(일)

1년간의 분해율을 R 로 하면

$$R = Y_y/p^A = 1 - \exp(-k \cdot t_y) \dots\dots\dots (2)$$

Y_y : 1년간 유기물 분해량

t_y : 1년간 25°C 변환일수

임의기간의 분해량을 구하기 위해서는 (1)식의 t 에 임의기간온도의 DTS적산치를 (2)식에 대입하여 구할 수 있다(新井 등, 1987).

라. 유기물의 한계부하량

미생물에 의한 유기물의 분해는 유기물의 화학조성이나 토양의 환경요인 등의 영향으로 복잡하여 미생물의 분해능에서 본 유기물의 한계부하량으로서 밝혀져 있는 것은 아직 없다. 그러나 식품공장에서의 슬러지를 수분 80%로 환산한 물량으로 2~30t/10a에 상당하게 미생물활성이 낮은 화산회로 된 밭토양의 심토에 가해서 배양한 결과, 각종 슬러지를 사용한 수준에서 질소의 무기화율이 0~42일간으로 대개 일정하여 토양의 유기물 분해능이 매우 우수한 것으로 알려져 있다.

마. 유기물 분해에 관여하는 생물상

토양내에는 유기물의 분해에 관여하는 많은 수의 토양동물 및 토양미생물이 있다. 토양미생물에는 바이러스, 세균, 사상균, 방사선균, 조류, 원생동물 등이 있다. 토양중에 서식하는 미생물의 수는 표 3.1과 같다. 이러한 미생물은 토양 1g당 0.1~1mg을 차지하며 종류수는 약 1만종으로 추정된다.

유기물을 호기적으로 분해하는 세균에는 *Pseudomonas* 속 등 많으며 유기물을 혐기적으로 분해하는 것은 여러 종류의 발효성 세균, 황산환원균 등이 있고 NO_3^- 를 이용하는 탈질균 등도 여기에 포함된다. 유기물이 필요하지 않고 화학반응에 의해 에너지를 얻는 세균중에는 암모니아 산화균(*Nitrosomonas*), 아질산 산화균(*Nitrobacter*) 및 수소 산화균 등이 있다.

방사선균은 균사상의 그람 양성세균의 일종으로 사상균에 가까운 *Streptomyces* 속이 중요하며, 호기성, 유기영양성으로 셀룰로즈 등을 분해하는 것도 있다.

사상균은 조균류, 포자균류, 담자균류, 불완전균류로 분류되며, *Penicillium* 속 종이 많고 *Fusarium*, *Mucor*, *Aspergillus*, *Achlya*, *Mortierella*, *Pythium* 속 등이 가끔 나타난다. 균수는 일반세균에 비해 적지만 균체가 크고 유기물분해활성세균과 거의 같다. 이러한 토양생물이 생식하고 활동하는데는 에너지원, 영양원, 공기의 유무, pH, 온도, 수분 등의 영향을 받는다.

Table 3.1 Approximate Numbers of Organisms Commonly Found in Soil

토 양 미 생 물	토양 1g중의 미생물 수
Bacteria	3,000,000—500,000,000
Actinomycetes	1,000,000—20,000,000
Fungi	5,000—900,000
Yeasts	1,000—10,000
Algae	1,000—500,000
Protozoa	1,000—500,000
Nematodes	50—200

2. 토양중에서 질소 인의 거동

가. 질소

질소는 많은 작물에 있어서 토양내에서 가장 필수적인 요소이며, 비료성분으로서 가장 유용한 요소이다. 토양내에서 질소는 거의 99%가 식물사체, 미생물 균체 및 부식 등 유기물성분(유기태)으로 함유되어 있지만, 분해 및 재합성된 유기태, 무기태, 다시 가스로 변화한다. 또한 양이온 또는 음이온으로서 행동하고 토양의 pH, 전기전도도(EC) 등의 이화학성에 크게 영향을 미친다.

(1) 무기화

토양내로 식물잔재나 동식물 사체로서 유기성 질소가 유입되면 많은 종류의 소동물 및 종속영양성의 미생물균에 의해서 무기화되어 암모니아로 된다. 생성된 무기태 질소는 다시 유기물 합성에 이용되지만, 생물이 죽으면 반대로 무기태 질소가 다시 유리되어 질소의 순환이 반복된다. 이런 과정에서 일부는 토양내에서 미생물 저항성이 강해 안정한 유기물로 섭취된다.

일반적으로 수분이 발상태 정도이고, 온도가 높고, pH가 중성 부근에서 질소의 무기화가 빠르게 진행된다. 또한 질소의 무기화는 유기물의 조성에 따라서도 좌우되고, 난분해성이 아니면 탄소, 질소 함유율의 비(C/N비)가 15~20을 경계로 하여 그 이하에서는 암모니아 생성이 이루어진다. 무기태 질소의 주된 공급원은 동식물의 단백질 및 아미노산 등이다.

(2) 유기화

토양에 C/N비가 높은 별짚 등을 첨가하면 미생물은 이것을 분해하고 균체합성을 행함으로써 암모니아 및 질산성 질소를 섭취한다. 이것을 질소의 유기화라 한다. 탄소원이 글루코즈인 경우에는 미생물에 의한 질소원 흡수가 직접 행해지지만, 재방출도 빠르게 행한다. 셀룰로즈 등 난분해성 유기물이 탄소원으로 되는 경우는 질소의 유기화와 무기화가 천천히 진행된다.

농경지에 있어서 질소의 유기화는 가끔 작물의 질소 부족의 원인이 되지만 토양

내에서 무기태 질소가 축적될 때는 별짚 등을 가해서 유기화를 촉진하면 토양내에서 무기태 질소를 안전하게 유지할 수 있다.

토양내에서 점토, 알루미늄 등의 산화물 또는 수산화물, 많은 수분에 의한 통기부족, 저온 등은 질소를 함유한 유기물의 분해를 억제하므로 유기태 질소가 축적하는 원인이 된다. 이외에도 토양에 투입되는 질소성분은 질산화, 탈질, 암모늄 이온(NH_4^+)의 흡착, 고정, 식물섭취 등의 분해작용이 복합적으로 발생된다. 그러나 토양처리공법이 호기성을 유지해야 하므로 탈질에 의한 질소의 제거는 어려우며, 토양흡착에 의한 처리는 흡착량이 적어 실질적으로 토양처리법에 있어서 생성된 질산성 질소의 제거는 식물에 의한 흡수 외에는 거의 제거하기 힘들며 대부분이 지하 함수층으로 유입되는 지하수 오염을 유발시킬 가능성이 있다. 이와같은 이유로 미국 EPA에서는 처리수내 질산성 질소의 농도를 10mg/l 이하로 규제하고 있다(EPA, 1981).

나. 인

(1) 인의 거동

토양내에서 인은 비료로서 투입되는 것 외에 토양내의 조암광물 및 생물체에서 유래된다. 인은 빗물에도 어느정도 함유되어 있으며 관계수 중에도 함유되어 있다. 비료중의 인은 퇴적암으로 제조되며, 천연 인의 대부분은 정인산염으로서 존재하지만, 동식물 및 공업제품에서는 정인산의 탈수 및 축합에 의해 축합인산염이 함유되게 된다. 토양내의 인산염에는 무기태 및 유기태가 있다. 유기태 인의 일부는 인을 함유한 농약에서 유래하지만 대부분은 동식물, 미생물의 성분에서 기원한다.

(2) 무기태 인산염의 거동

정인산염은 pH 3~9내의 일반적인 토양용액에서 H_2PO_4^- 또는 HPO_4^{2-} 로 존재하며, 공존하는 금속이온과 착체, 불용성염을 형성한다. 인산이온의 거동에 관계하는 주된 이온은 Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} 이다. 반응에는 각각의 상대농도, pH 및 기타 배위자가 영향을 미친다.

인산은 토양내에서 점토광물내의 규산과 치환되므로 결과적으로 산화물과 수산화물이 고용체로서 축합된다. 음이온 교환을 받지않는 이러한 특이적 인산흡착은 토양내에서 식물로의 공급을 줄이게 되고 인산고정의 원인이 된다. 또한 비료인 과인산석회의 주성분인 인산칼슘은 가용성이지만, Ca^{2+} 가 풍부하고 pH가 높은 토양내에서는 인산수소칼륨으로 Fe^{3+} , Al^{3+} 가 풍부하고 낮은 pH의 토양에서는 인산철 또는 인산 알루미늄염을 형성하여 난용성이 된다.

이러한 반응을 종합한 토양에서의 인산흡착량 관계는 다음과 같다.

$$\text{Log}Y = a \text{ pH} + b \log C + c \dots\dots\dots$$

Y:인산흡착량(mol/g)

C:최종인산농도(M)

a, b, c:계수

$$4 \leq \text{pH} \leq 8.5$$

$$10^{-3}M \leq C \leq 2M$$

3. 토양처리법의 종류 및 특성

토양처리법은 토양권에 서식하는 토양미생물이 유기물(경우에 따라 암모니아, 황화수소 등의 무기물도 포함)을 산화, 분해하는 기능을 활용한 공법으로 주로 생활오폐수의 처리에 이용되어 왔으나, 중금속을 포함한 유해성 물질을 함유한 공장폐수 등의 처리에 대해서도 연구되고 있다.

일반적으로 생활 오폐수를 처리하는데는 오폐수의 투입방법에 따라 Buried System(지하투입법)과 Open System(SR, RI, OF)으로 나눌 수 있으며 SR은 저속 지표투입법, RI는 고속 지표투입법, OF는 지표유하법으로 알려져 있다. 각 공법의 단면을 그림 3.3에 나타냈으며(Jenssen 등, 1989, USEPA, 1989), 각 공법의 특징은 표 3.2(石崎, 1985)에, 제원은 표 3.3(USEPA, 1981)에 나타냈다.

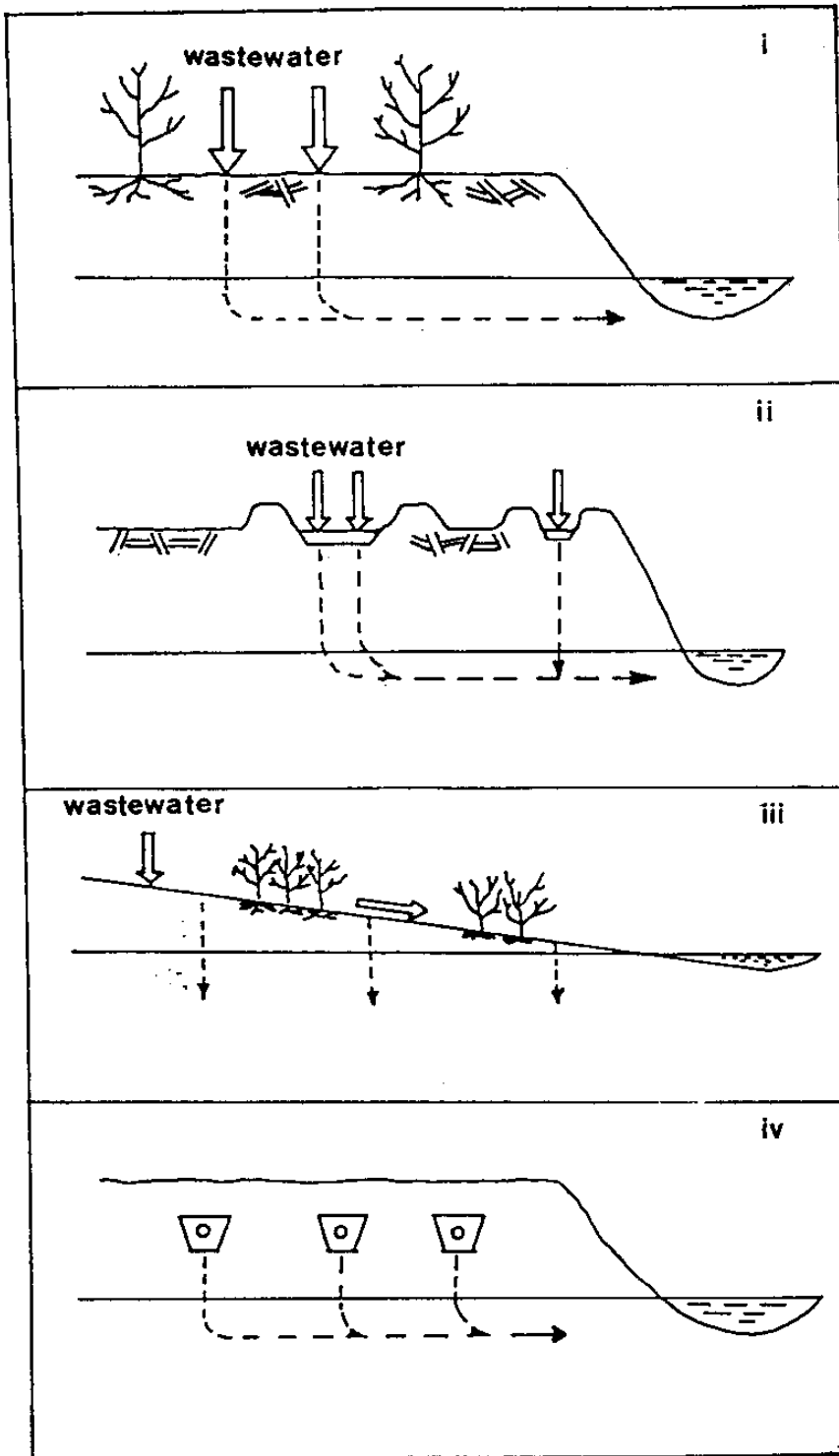


Fig. 3.3 Example Design Concepts for Soil Infiltration System

i: Surface Infiltration, slow rate

ii: Open System, rapid infiltration

iii: Overland Flow

iv: Buried System, slow rate

Table. 3.2 Characteristics of Land Treatment Processes

공 법	원 리	특 징	
		장 점	단 점
저속지표 투 입 법 (SR)	일반적으로 SR system (Slow Rate Infiltration)이라하며 식물이 성장하는 토양의 표면에 폐수를 투입하여 토양층을 통과하는 동안에 처리되는 방식으로 주로 식물과 토양 미생물에 의해 유기물이 제거된다. 처리방법으로는 Agricultural system, Forest system 등이 있다.	<ul style="list-style-type: none"> - 처리수를 관계수로 이용이 가능하다. - 처리효율이 좋다. - 작물의 수확량이 증가된다. - 잉여슬러지 생산이 없다. - 운전 관리비가 저렴하다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 질소 성분이 제한요소로 작용한다. - 막힘현상 유발가능성이 많다. - 많은 부지가 필요하다. (2.6~3.5ha/m³·sec)
고속지표 투 입 법 (RI)	RI(Rapid Infiltration) system이라하며 많은 양의 폐수를 토양내로 침투시켜 처리하는 방식을 주로 Sandy Loam으로 이루어진 불포화 지역에서 투입시켜 처리하는 방식으로 Ground Water Recharged라고도 한다. 처리 방식으로는 Sprinkling, Flooding, Spreading이 있으며 이중에 Flooding방식이 널리 쓰인다.	<ul style="list-style-type: none"> - 대부분의 자연 토양 조건에서 적용성이 좋다. - 지하 함수층의 지하수를 재 함양 할 수 있다. - 처리효율이 좋으며 경제적인 방법이다. (질소성분 최대 80%까지 제거 가능) 	<ul style="list-style-type: none"> - 3m 이상의 양질의 표토가 필요하다. - 온도와 강우등 기후 조건에 영향을 받는다. - 폐수가 투입되는 표토층에 막힘 현상이 생길 수 있다. - 토양이 산성화 될 수 있다.

Table 3.2 continued

공 법	원 리	특 징	
		장 점	단 점
지 표 유 하 법 (OF)	OF(Overland Flow)system이라하며 생물고정막 처리공법의 일종으로서 잔디가 덮힌 지표면에 경사를 주어 폐수를 유하시키면서 유하과정에서 지표면 아래로 침투시켜 처리하는 방식이며, 최종유출수는 도랑에 모아서 runoff시키는 방법이다. OF system은 경사도가 2~8%, 유하거리 30~90m인 지역에 적용이 가능하다.	<ul style="list-style-type: none"> -특별한 유지관리가 필요하지 않다. -막힘현상이 없다. -작물재배의 용이성을 도모할 수 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> -처리효율이 낮다. -악취가 발생할 수 있다. -넓은 부지가 필요하다. -양질의 표토가 15~20cm정도 필요하다
지 하 투 입 법 (SI)	SI(Subsoil Infiltration) system은 지표하 30cm 부근에서 폐수를 투입하여 토양의 모세관 현상에 의해 토양의 공극 내로 폐수가 이동하며 처리되는 방식으로 주로 Sandy Loam 토양이 이용되며 주택지의 폐수처분리 방법으로 단순성과 안정성, 비용면에서 가장 좋은 방법이다. 처리방식으로는 Trench법, 자갈층집축산화법 등이 있다.	<ul style="list-style-type: none"> -처리효율이 좋다. -유지관리가 용이하고 시설비가 저렴하다. -시설 설치후에도 미관상 보기 좋다. -슬러지의 생성이 없다. 	<ul style="list-style-type: none"> -처리유량이 비교적 작다. -양질의 표토가 1.5m 이상 있어야 한다. -폐수의 침투면(1~2cm부근)에 막힘현상이 생길 수 있다. -피복토양은 통기성이 유지되어야 한다.

Table. 3.3 Comparison of Typical Design Features for Land Treatment Processes

항 목	저속 지표투입법	고속 지표투입법	지표 유하법	지하 투입법
폐수투입방법	sprinkler, 지표	보통 지표	sprinkler, 지표	지하 trench
수량부하(L/m ² ·d)	1.4-16.4	16.4-350	8.2-54.8	7-73
부하속도(cm/day)	0.1-1.6	1.6-35	0.8-5.5	0.7-7.3
토 성	Clay Loam-Sandy Loam	Sand-Sandy Loam	Clay Loam-Clay	Sandy Loam-Loam
지표식물	필 요	어느정도 필요	필 요	어느 정도 필요
필요한 최소전처리	침 전	침 전	스크린, 침사	침 전

4. 시설설계 인자

가. 입지조건 및 토성

토양트렌치에 이용하는 피복토양은 생활 오폐수를 처리하는데 필요한 통기성과 투수성을 가지고 있어야 한다. 일반적으로 사용하는 피복토양은 사질토(Sandy Soil) 또는 점질양토(Loamy Soil)가 적당하며(EPA, 1981), 사질토의 경우 트렌치바닥과 최고 지하수위(Seasonal High Water Table)까지의 깊이, 즉 불포화층의 두께는 일반적으로 60~120cm 정도 되도록 권장하고 있다.(EPA, 1981) 트렌치 자체의 깊이가 60~70cm 정도임을 고려할 때 지표에서 1.5m까지 사질양토 또는 점질양토로 구성된 토양이 바람직하다. 노르웨이에서는 소규모 시설의 경우 1m, 대규모 시설의 경우 1m~2m 정도면 만족하다고 판단하고 있으며(Jenssen, 1989), 일본의 경우는 트렌치 바닥면에서 지하수위까지의 깊이가 최소 1.5m 이상인 지역이 바람직한 것으로 하고 있다(毛管淨化 硏究會, 1987).

또한 식수로 사용하는 우물과 트렌치와의 거리가 일본의 경우 30m 이상인 지역에 토양처리 시설을 설치하도록 권고하고 있으며(洞澤, 1981), 미국 텍사스주의 경우 50m 이상을 권고하고 있다.

나. 계획 처리수량 및 수리학적 부하율 산정

토양트렌치 시설을 설치하는데는 처리수량을 정확히 산정하는 것이 중요하며 일반 생활 오폐수의 경우 계획단위 처리수량은 0.2~0.25m³/인·일로 하며, 계획처리수량 산정공식은 다음과 같다(毛管淨化 硏究會, 1987).

$$Q=q \times n \times 10^{-3}$$

Q: 계획 처리수량(m³/일)

q: 계획 단위처리수량(m³/인·일)

n: 처리대상인구(인)

토양에 주입하는 생활 오폐수의 단위수량부하는 토양 입자사이의 공극에 미생물의 과도한 성장이나, 미생물의 유기물분해 부산물과 분해과정에서 생기는 가스나

공기, 폐수중의 부유물질 축적, 미세입자의 공극내로의 이동 등에 의해 막힘현상이 생긴다(Jenssen, 1988, Siegrist, 1987). 막힘현상에 대비하여 이들은 표 3.4와 같은 수리학적 부하율을 권장하고 있으며 또한 아래의 공식에 의하여 토양의 투수계수에 따른 장기주입율(Long-Term Acceptance Rate, LTAR)로 설계할 것을 권유하고 있다(Laak, 1986). EPA는 토성에 따라서 단위수량부하 기준으로 표 3.5을 제시하고 있다(EPA, 1981). 일본의 경우는 트렌치 단위 길이당 유량부하의 설계기준으로 100L/m·day를 권장하고 있다. 이 수치는 일본 전국에서 운영되고 있는 토양처리 장에서의 결과를 종합해서 얻은 경험적 설계기준이다(毛管淨化 研究會, 1987).

$$LTAR = 5K - \frac{1.2}{\log K}$$

$$LTAR = \text{장기주입율}(\text{gal}/\text{ft}^2 \cdot \text{day})$$

$$K = \text{투수계수}(\text{ft}/\text{min})$$

Table 3.4 Recommended Rates of Wastewater Application for Trench and Bed Bottom Area.

토 양 종 류	침 투 속 도 (min/in)	용 용 속 도 (gpd/ft ²) ^a
자갈, 왕모래	<1	부적당 ^b
왕모래-중간모래	1-5	1.2
잔모래, 양토질모래	6-15	0.8
모래질양토, 양토	16-30	0.6
양토, 다공성침투양토	31-60	0.45
침투진흙양토, 점토성양토 ^c	61-120	0.2 ^d

- 가정폐기물의 부패조를 통한 유출수에 기준한 속도
- 침투속도가 1min/in이하인 토양은 양토 혹은 모래로 된 얇은 층(>2ft)으로 적당히 치환된다면 사용할 수 있다.
- 확대될 수 있는 점토가 없는 토양
- 이들 토양은 설치되어 있는 동안 쉽게 파손될 수도 있다.

Table 3.5 Conceptional Framework for Hydraulic Loading Rates for Subsurface Soil Treatment System

유출수 형태	부 하 속 도 ¹⁾ (cm/일)		
	점토+양토+잔모래	고른 토양	왕모래+자갈토양
1. 부패조 유출수			
레스토랑·낙농하수	0.5	1.0	2.0
가정하수	1.0	2.5	5.0
침전가정하수	1.5	5.0	10.0
2. 호기조 유출수	2.0	7.5	15.0
3. 가정하수가 모래 여 과조를 통한 유출수	7.5	15.0	30.0

¹⁾ 수리적 용량이 제한된다면, 더 낮은 부하속도를 적용해야 한다.

이들은 모두 경험에 의해 정해진 수치로 토양의 구조, 자연환경 등에 따라서 다른 기준을 적용해야 한다.

다. 트렌치 규격 및 트렌치간 간격

트렌치 자체의 깊이는 미국의 경우 45cm-60cm, 일본의 경우는 그림 4.5에서 보는 바와 같이 60cm를 표준으로 한다(EPA, 1981).

트렌치의 폭은 상, 하부가 차이가 있으며 미국의 경우 상부폭이 50-60cm, 일본의 경우 대개 상부폭을 40cm로 설치하며 하부의 폭은 30cm 정도로 한다(EPA, 1981, 毛管淨化研究會, 1987).

일본에서는 트렌치 바닥에 불투수막을 설치하므로써 오수를 중력 침투시키지 않고 일시 저류시켰다가 좌우로 우회시키기 위하여 불투수막을 매설한다(EPA, 1981). 즉 불투수성 막을 트렌치 바닥과 측벽으로 약 15cm 돌출되게 트렌치 길이를 따라

설치하므로써 폐수와 토양입자간에 충분한 접촉이 이루어질 수 있도록 한다. 또한 불투수막을 설치하면 트렌치 전체에 균등배수가 이루어지므로 보다좋은 처리효율을 얻을 수 있을 것으로 예측된다(木村, 1985). 그러나 실제로 불투수막 트렌치공법의 처리효율을 증대시키는지는 아직 정확히 알려지지 않고 있으며 앞으로의 연구대상으로 남아 있다.

토양트렌치법에 있어서 트렌치시설 전체의 지표면적은 유입수의 수량, 수질, 토질 등에 따라 좌우되며 토양의 투수속도에 가장 큰 영향을 받는다. 일본의 분뇨정화조 구조기준에 따르면 일반토양의 경우 $4\text{m}^2/\text{인} \cdot \text{일}$ 을 기준으로 이용하고 있다. 이는 계획 단위처리수량을 $0.2\text{m}^3/\text{인} \cdot \text{일}$ 로, 수량부하율을 $0.1/\text{m}^3 \cdot \text{일}$ 로 가정할 경우 한 사람당 필요한 트렌치 길이는 2m가 되고 트렌치간의 간격이 2m가 되도록 설치한다는 것을 의미한다. 그러나 실제로는 막힘현상 등에 대비하여 이상에서 언급한 시설 설치기준에 의한 필요 트렌치 길이의 2배를 설치하는 것이 바람직하다. 그러나 휴양지 등 간헐적으로 쓰이는 시설에 대해서는 자연적으로 휴지기간(rest period)이 주어지므로 2배를 하지 않아도 된다. 일반적으로 트렌치 사이의 간격은 도관을 중심으로 양쪽에서 각각 1m 이상으로 전체가 2m 정도 되게 설치한다(木村, 1985, 洞澤, 1984). 토양내에서 오폐수의 횡방향 침투거리가 살수관의 좌우로 1m 정도이므로 좌우 1m 정도의 간격을 유지하면 오폐수의 수평침투에 저해가 생기지 않는다. 미국의 경우는 트렌치간의 측벽 사이 폭을 최소한 1.8m로 권장하고 있다(EPA, 1981). 통상 트렌치 1개의 길이는 20m 이내로 설치하며 최대 30m까지 권장하고 있으며, 일본의 경우는 트렌치를 약 6개월간 사용후 교대한다(洞澤, 1984).

5. 실용화사례

가. 미국

미국에서 소규모 처리시설로 널리 사용되고 있는 토양정화법은 예비처리 시설로 부패조를 설치하여 침전성 고형물과 부유성 유기류와 스컴을 제거한 후 토양흡착능

을 이용한 처리시스템으로 일반적으로 ST(Septic Tank and Soil Adsorption)공법이라 불려지고 있으며 그림 3.4과 같다(石崎, 1985). EPA에서는 ST공법에 대해서 총괄적인 연구를 실시해 토양 및 기후에 따라 이용해야 할 여러가지의 설계조건에 대해서 지침을 제시하고 있는데, 미국 가정의 30%가 이 처리시스템을 이용하고 있다. 이 시스템을 미국 가정에서의 오수가 부폐조에 유입하면 유지류와 스컴이 부상하고 고체입자는 바닥에 침전하여 슬러지층을 형성한다. 스컴과 슬러지는 3~5년에 1회 간격으로 펌핑하여 처리한다. 큰 토양에서도 자갈로 교체된 부분과 토양과의 경계면에 생물막이 형성되기 때문에 침투성이 하루에 30~50mm 정도이다. 이 시스템에 의한 처리수의 예는 표 3.6과 같다.

한편 중규모 이상의 폐(하)수처리에 있어서 토양처리는 크게 3가지가 주로 이용되고 있다(USEPA, 1980).

첫번째로, 관개법(Surface irrigation)으로 넓은 토지를 가지고 있는 미국에서 가장 많이 이용되는 방법이다. 그러나 우리나라 같이 국토면적이 좁은 나라에서는 유용한 방법이 아니다. 이 방법에서 중요한 부하결정은 수질부하와 질소부하가 중요하다.

두번째로, 지표면유하법(Overland flow)으로 이 방법은 침투성이 작은 점토질의 토양에서 이용되고 있는 방법으로 폐수를 지표면에 층류로 흘러 보내, 표면의 미생물의 작용에 의해 정화하는 방법이다. 일본에서는 인공수로법을 이용하여 하천수를 정화하기도 한다.

세번째로, 급속침투법(Rapid infiltration)으로 토양의 투수능력이 10~30mm/일 이상되는 모래, 모래흙에서 적합한 방법이다. 이 방법은 이용토지의 면적은 적지만, 전처리의 비용이 위 2가지보다 많이 든다는 결점이 있다.

이들의 보급실태를 보면 관개법이 '72년에 315개소에서 '81년에 839개소로 증가하였으며 급속침투법은 256개소에서 323개소로 증가한 반면, 지표면유하법은 '72년에는 설치되어 있지 않았으나 '81년에 18개소로 '80년대 초기부터 보급되고 있음을

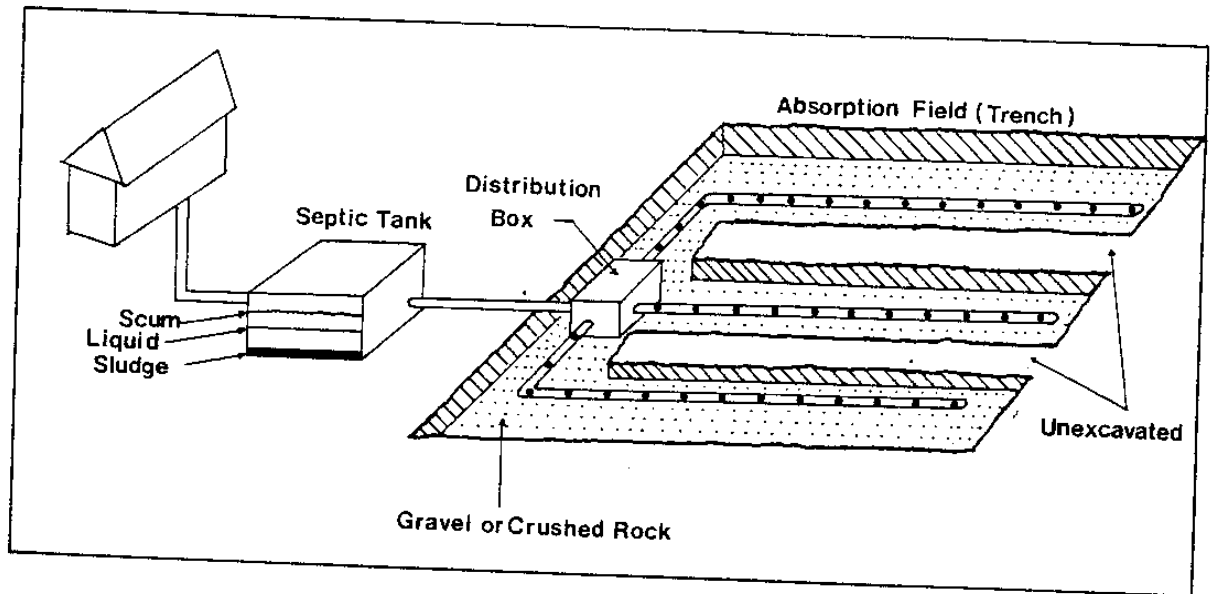


Fig. 3.4 Schematic Diagram of Septic Tank and Soil Adsorption System

Table 3.6 Characteristics of Effluent from Septic Tank System

항 목	유 입 수	ST탱크에서의	트렌치 밑	트렌치 밑
		유 출 수	30cm	90cm
BOD(mg/l)	270-400	140-175	0	0
SS(mg/l)	300-400	45-65	0	0
대장균군(MPN/100ml)	$1 \times 10^6 - 1 \times 10^8$	$1 \times 10^3 - 1 \times 10^6$	0-100	0
바이러스(PFU/ml/l) ^a	미확인	$1 \times 10^5 - 1 \times 10^7$	0-1,000	0
총질소(mg/l)	100-150	50-60	-	-
NH ₄ -N	60-120	30-60	B-60	B
NO ₃ -N	<1	<1	B-40	B-40
총인(mg/l)	10-40	10-30	B-10	B-1

a:PFU=plaque forming units

b:background

알 수 있다(Crites, 1984).

이상의 세방법에 대한 목적과 효과를 비교하면 표 3.7에 표시하였다(石崎, 1985).

나. 일본

토양정화법에 대한 인식이 달라짐에 따라 일본에서도 자연생태계의 활용, 에너지, 자원 등을 절약하는 측면에서 활발히 연구가 진행되어 왔다. 아래에서는 일본에서 종전의 방법과 현재에 실용화되어 있는 대표적인 토양정화법에 대해서 기술한다.

Table 3.7 Purpose and Effect of Land Treatment

목 적		치 리 법		
		관 개 법	지표면유하법	급속침투법
처리후의 물을 회수하는 처리 방법으로 사용		일반적으로 불가능	회수율 50-60%	회수율 90%까지
2차처리 이상의 방법으로 사용	BOD및부유고형물제거	90-99%	90-99%	90-99%
	질소제거	85-90%	70-90%	0-80%
	인제거	80-99%	50-60%	70-95%
판매목적작물의 재배용으로서의 사용		우수	양호	불가
토지에 직접환원으로서의 사용		완전	부분적	완전
지하수 함양법으로서의 사용		0-30%	0-10%	90%까지
한냉지역에 있어서 사용		a) 양호	b)	우수

a:데이터가 불통일, 삼림지의 관개는 양호, 농경지의 관개는 조금 가능

b:데이터 부족

종전에는 주로 종혈침투법, 증발산정화법 등이 사용되었다.

종혈침투법은 처리수에 의한 지하수의 오염문제와 눈막힘현상이 발생할 때 재생

이 거의 불가능한 단점을 가지고 있어 현재에는 거의 사용하고 있지 않다. 그러나 3차처리에 이용하여 처리수를 재사용하는 방향으로 공법 연구가 진행하기도 한다.

중발산정화법은 합리적이고 효율적인 방법은 아니지만, 오수, 슬러지에 의한 지하수오염 방지방법으로 일본에서 고안된 방법이다. 그러나 이 방법은 악취의 발생에 대한 대책과 슬러지의 유출방지 대책이 없다는 점, 또 과잉의 지표유출우수의 대책에 대한 문제가 있다.

이러한 문제점 등을 해결하고자 개발된 방법으로는 트렌치방법과 토양피복방법의 2가지 방법이 대표적이다.

전자는 오수와 그 대상물의 처리를 위하여 토양의 전부를 이용하며, 후자는 토양권의 일부를 이용하는 방법이다.

이런 토양트렌치법은 현재 일본에서 가장 많이 보급된 방법으로 처리대상의 폐(하)수는 1, 2, 3차 처리의 어느 폐(하)수도 적용되고 있으며, 현재 분뇨정화조 방류수, 즉 2차 처리수를 집수형 토양트렌치로 처리하고 있는 시설 및 생활하수를 혐기성여상을 설치하여 전처리한 다음에 집수형 토양트렌치로 처리하는 시설을 조사한 결과, 그 시설에 있어서의 정화특성은 표 3.8과 같으며, 개략적인 시설의 처리흐름도는 그림 3.5와 같다(稻森 등, 1988).

일본에서 토양트렌치법의 보급 및 현황을 보면 대부분이 소규모이고 또 거의가 2차처리 및 3차처리의 고도처리에 이용되고 있다. 표 3.9에는 일본에서 토양정화법을 채택하고 있는 지방자치단체이다(吉田, 1982).

Table. 3.8 Characteristics of Effluent from Collection-Type Soil Trench Processes

시설 항목	A		B		C		D	
	유입수	처리수	유입수	처리수	유입수	처리수	유입수	처리수
BOD (mg/ℓ)	12.0	0.4	5.0	0.5	30.0	2.0	100	1.0
COD (mg/ℓ)	17.5	1.2	6.2	1.2	35.0	4.2	47.5	2.5
TOC (mg/ℓ)	12.0	1.0	4.2	1.0	24.5	4.0	110	3.5
T-N (mg/ℓ)	48.2	38.0	30.0	28.2	96.5	4.2	12.5	4.8
NH ₄ -N(mg/ℓ)	13.0	0.02	0.1	0.1	47.0	0.1	6.0	0.1
NO ₂₊₃ -N(mg/ℓ)	30.5	35.5	25.0	28.0	47.5	1.5	0	2.6
T-P (mg/ℓ)	5.35	0.01	6.25	1.62	15.50	1.60	2.3	0.01
SS (mg/ℓ)	10.0	1.4	5.0	1.0	2.5	1.0	—	—
대장균군(N/ℓ)	100	2	5	0	15	1	—	—

A:사원 기숙사의 하수
 B:국민학교의 하수
 C:병원의 하수
 D:5인 가족의 개인가정 하수

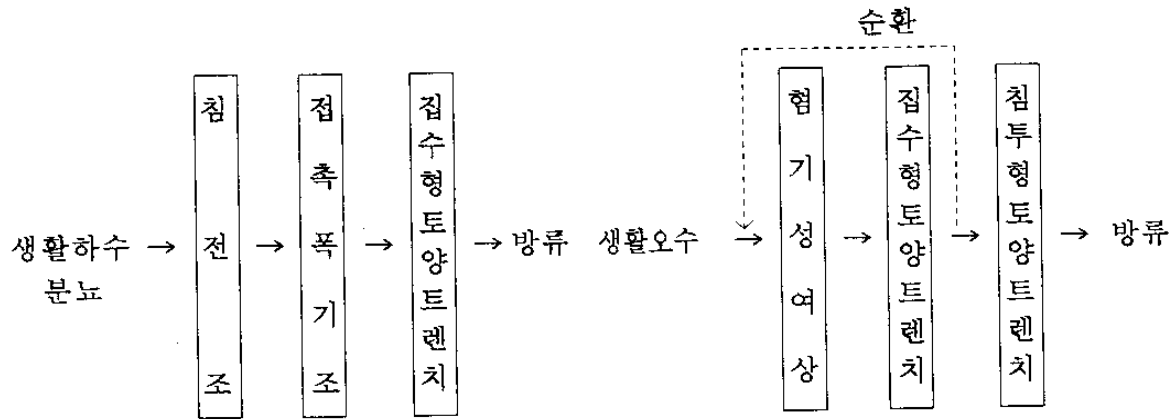
Table. 3.9 Local Autonomous Entities Recommendory Soil System as a Municipal Wastewater Treatment in Japan

현이름	자 치 단 체 명
秋田縣	千畑村
山形縣	羽黒町
茨城縣	海東村, 那珂湊市
栃木縣	小山市, 岩舟町, 太平町, 鹿沼市, 佐野施, 栃木市
群馬縣	新田町, 館林市, 塚本町, 尾島町, 富士見村
埼玉縣	秩父市, 本歴市, 江南村, 深谷市, 日高町
神奈川縣	座間市
長野縣	箕輪町, 南箕輪村, 駒ヶ根市, 辰野町, 飯島町, 堀金村, 高速町, 原村, 喬木村
岐阜縣	可兒町, 御高町
福岡縣	太力洗町, 夜須町, 甘木市

A), B) 시설

분뇨

D) 시설



A: 분뇨, 생활하수

B: 분뇨

C) 시설

E) 시설

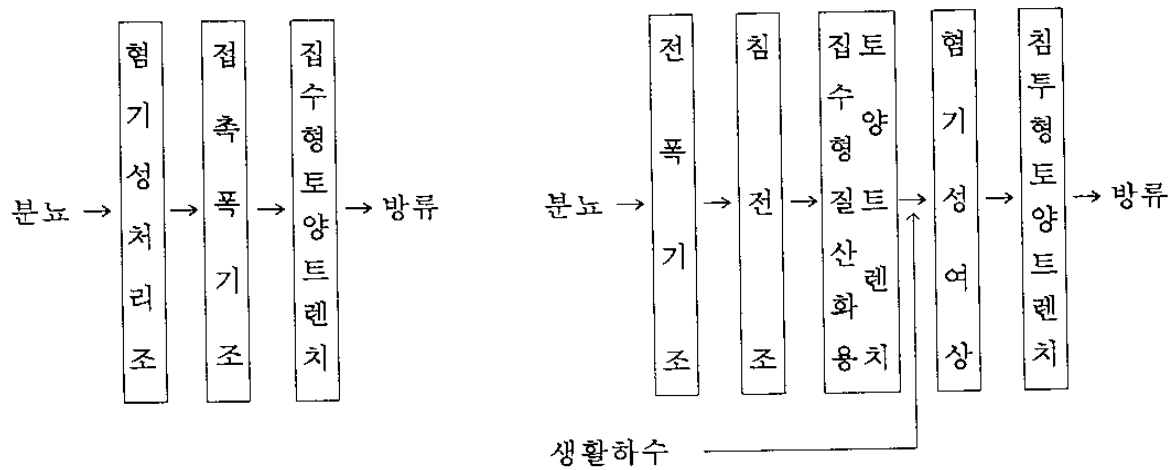


Fig. 3.5 Schematic Diagram of Surveyed Collection-Type Soil Trench

- A) : 사원 기숙사의 하수
- B) : 국민학교의 분뇨 2차처리수
- C) : 병원의 분뇨 2차처리수
- D) : 5인 가족의 개인가정 오수
- E) : 5인 가족의 개인가정 오수

제2절 자갈층접촉산화법

자연정화에 의해 하천수질을 향상시키기 위해서는 하상의 부착 생물막이 단층밖에 없기 때문에 긴 수로가 필요하게 된다. 이러한 단점을 줄이고 정화능력을 증강시키기 위해서 부착생물막을 다층으로 한 방법중의 하나가 자갈층접촉산화법이다. 다시말해, 단위표면적당 부착생물량을 인위적으로 증가시켜 정화능력을 향상시키도록 한 방법이다(加藤, 1988). 실제로 하천에 흐르는 물 1cm³당 포함되어 있는 세균의 수는 1,000개인데 반하여 강자갈에 부착되어 있는 세균수는 1,000만개 이상으로 수중의 미생물보다 10,000배 이상인 것으로 알려져 있다(有水, 1980).

- 1) 오염원에서 주로 제거되는 물질은 유기물, 부유물질 등이 비교적 잘 제거된다.
- 2) 하천의 고수부지, 공원, 소규모 유흥지 등을 이용할 수 있다.
- 3) 하천의 경우에는, 현지의 자갈을 이용할 수 있기 때문에 건설비가 저렴하게 든다.
- 4) 상층부를 토양으로 피복하여 탈취장치 및 녹지화를 할 수 있다.
- 5) 접촉재표면에 부착되어 있는 미생물량을 인위적으로 조절하기가 곤란하기 때문에 유연성이 부족하며 높은 정화효율을 요구하는데는 BOD용적부하의 한계가 있다.
- 6) 유입수를 자연공급에 의한 산소로 처리한다면, BOD농도에 따라 부착생물막의 내부가 혐기화되어 처리기능이 저하되는 경우가 있다.
- 7) 필요에 따라 역세 및 폭기장치시설이 요구된다.

1. 정화원리

자갈층 접촉산화법의 주된 공정은 침전부, 자갈층 및 용존산소의 회복부의 3부분으로 구성되어 있다. 그림 3.6은 자갈층 정화시설의 개략도를 나타낸 것이다. 그림 중의 (a)은 단면도이고 (b)는 측면도이다. 정화원리는 하천에서 자연적으로 일어나

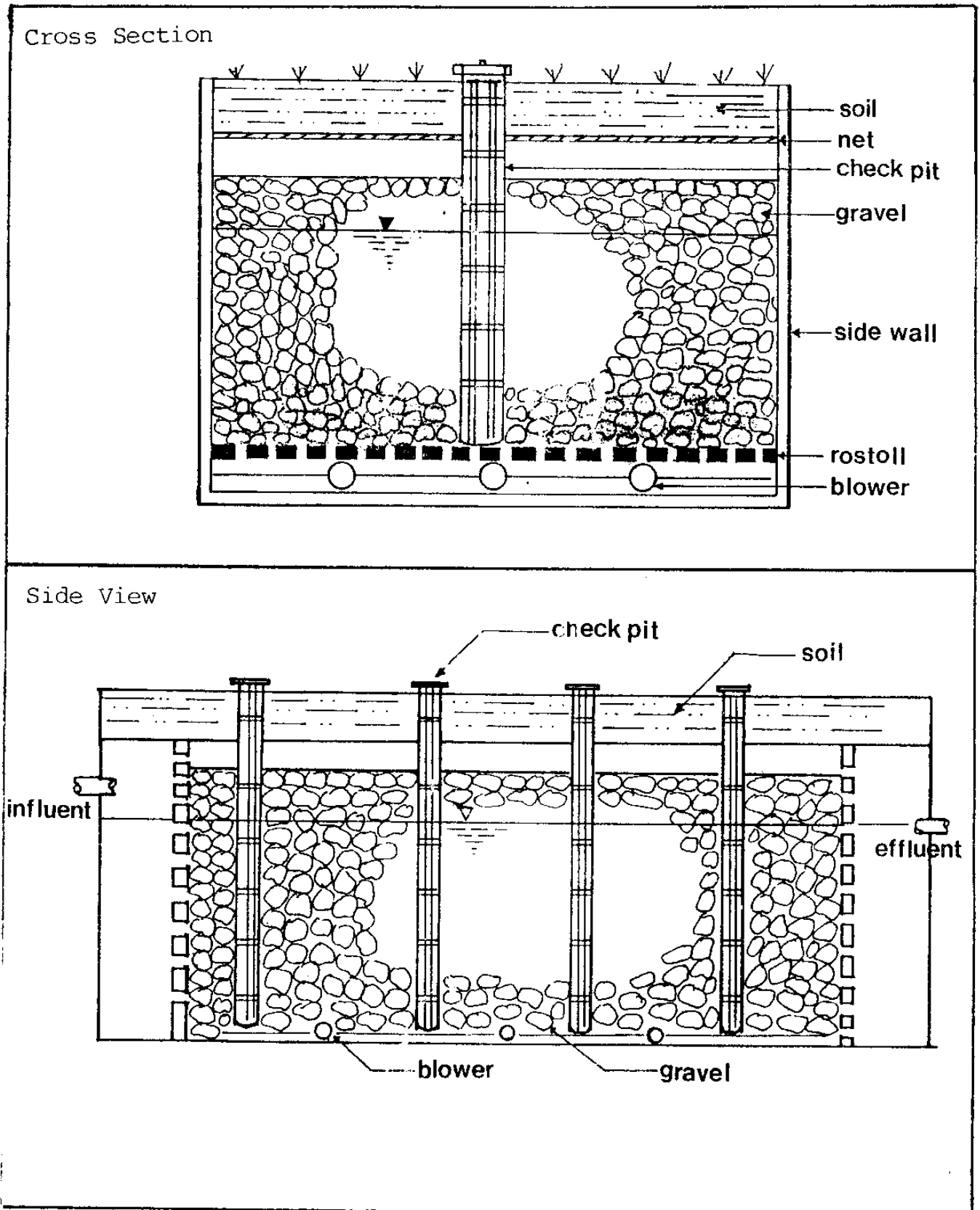


Fig. 3.6 Schematic Diagram of Gravel Contact Oxidation Process

고 있는 침전, 흡착, 분해 등의 정화기능을 인위적으로 증가시켜 오염원을 처리하는 방법으로 접촉재로 자갈을 사용하여 부착된 생물막의 작용으로 유기물질의 산화분해와 부유물질의 포집에 의해 오염하천수가 정화된다. 자갈표면에 정화미생물이 펠라틴상으로 증식하여 오염된 하천수가 자갈표면을 유하하는 과정에서 콜로이드상 물질, 용해성 유기물질등이 미생물 표면에 흡착되어 분해제거된다. 이 때에 미생물 성장에 필요한 영양염류의 일부와 용존산소 등이 소비된다. 오염하천수의 유기물부하량이 적절하고 산소공급이 충분하면 주로 호기성 생물막이 형성되어 유기물이 산화분해된다.

그러나 산소가 부족하면 혐기성 생물막이 형성되어 막의 호기기능을 상실하게 되고 생물막이 탈락하게 된다. 따라서 생물막의 정상기능을 발휘하기 위해서는 생물막의 성장속도와 탈락속도가 동적으로 균형을 이룰 수 있게 유기물부하를 산소공급과 함께 잘 조절 해야 한다. 즉 생물막의 과잉 발생에 의한 막힘(clogging)현상을 막아야 한다.

자갈층에 의한 정화능력 향상을 나타내는 개념도를 그림 3.7에 나타냈다. 그림에서 (a)는 하천에서 일반적으로 일어나는 정화현상을 나타낸 것이며 (b)의 경우는 간단한 매디아를 넣었을 때에 일어나는 정화현상을 나타낸 것이다. (c)의 경우는 자갈을 채웠을 때 일어나는 정화현상을 나타낸 것이다. 이들의 차이는 단위면적당 표면적이 다르며 이로 인한 biomass량이 다른 점이다. 이러한 처리법도 미생물 작용에 의한 정화기구이므로 유기물 제거는 다른 처리법과 본질적으로 같으나, 처리시설의 구조와 처리방법이 다르기 때문에 자갈층내에 생성된 생물환경이 다르고, 이에 따른 유기물 제거에 미치는 영향인자와 영향정도가 다른 것이다. 이러한 것은 자갈층 접촉산화시설을 설계할 때 뿐만 아니라 기타 시설에 대해서도 충분히 고려해야 한다.

2. 자갈층 접촉산화법의 종류

가. 무폭기식 자갈층 접촉산화법

그림 3.8에 개략도를 나타냈다. 자갈층을 크게 정화기능부분과 슬러지축적부분으로 구분할 수 있으며, 산기관을 바닥에 설치 역세를 통하여 퇴적 슬러지를 제거한다. 하천수의 BOD농도가 30mg/l 이하의 저부하에 적용가능하며 처리수의 BOD농도 대략 5-10mg/l까지가 한계이다.

나. 폭기식 자갈층 접촉산화법

하천수의 BOD농도가 30mg/l 이상의 부하에서는 혐기화를 방지하고 정화기능을 유지하기 위하여 항상 폭기할 수 있는 산기관을 설치해야 한다.

폭기를 전반부만 하는 방식과 전체를 폭기하는 방식이 있다. 이 경우에는 하수처리시설에 운전되고 있는 접촉폭기법과 거의 같은 BOD제거율 90% 이상을 달성할 수 있다.

3. 자갈층접촉산화시설

오염하천을 정화하기 위한 이 공법은 취수구와 방류구의 수위차를 이용한 자연유하상태로 시설할 수 있기 때문에 에너지가 절약되고 유지관리가 용이하며 시설 설치 후에 복토하여 녹지화하므로써 다른 용도로 사용할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이 방법은 BOD 및 SS제거에 대해 상당히 유효한 처리공법이나, 자갈층에서 제거된 SS와 발생 미생물이 슬러지로서 자갈사이에 퇴적물로 쌓이게 되므로 시설의 수명과 슬러지의 배출관리를 철저히 해야 한다. 유기물 및 부유물질제거에 영향을 주는 주요한 인자는 자갈층내의 유동특성, 생물막생성량, 슬러지발생량, 접촉시간, 산소공급량, 수온 등으로 충분한 검토를 해야한다.

가. 자갈층내의 유동특성

자갈층에서 유동은 BOD 및 SS 등의 정화효과, 생물막의 성장, 슬러지의 퇴적·이동 등에 영향을 미치므로, 실제 실험전에 통수의 기본조건을 설정하여 검토해야 한다. 직경이 100mm인 자갈의 비표면적과 다른 접촉재의 비표면적의 비교표를 표

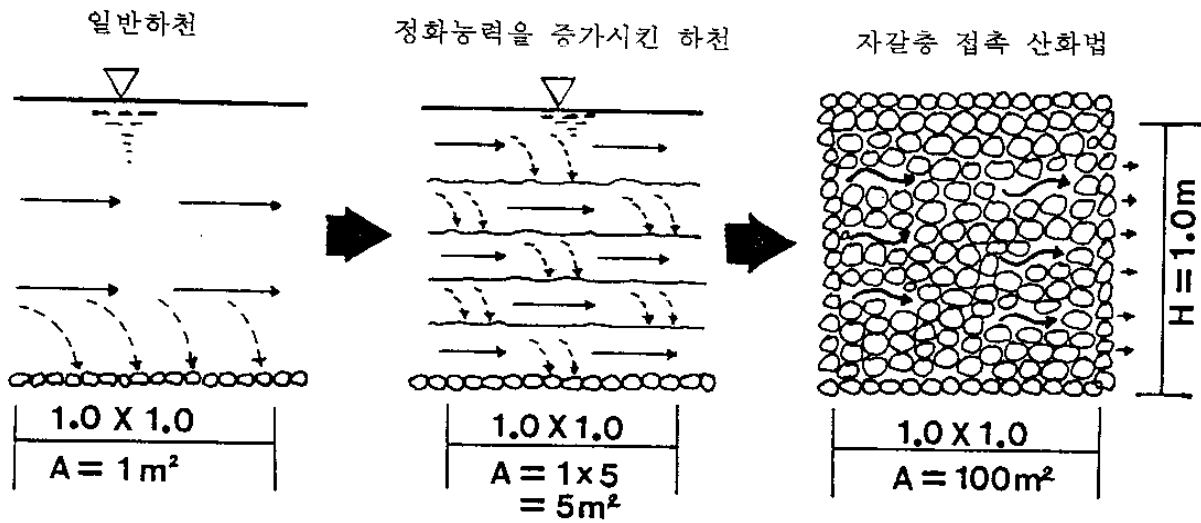
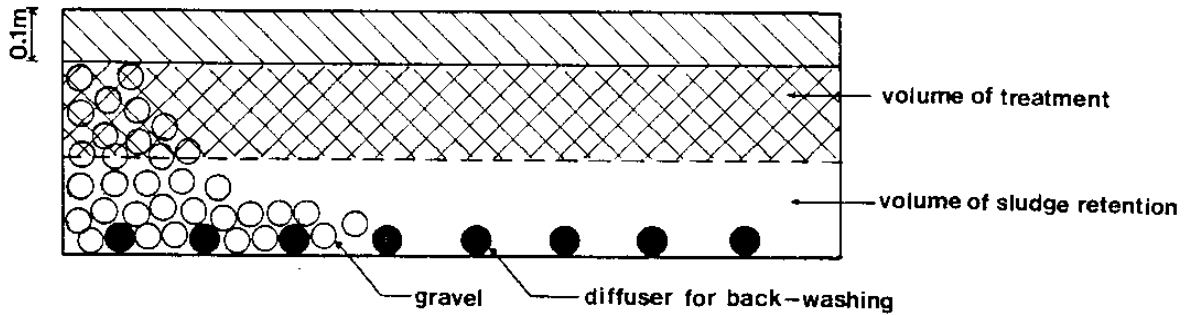


Fig. 3.7 Conceptual Diagram of Purification by Gravel Contact Oxidation Process

Gravel Contact Oxidation process (high concentration)



Aeration Gravel Contact Oxidation process (low concentration)

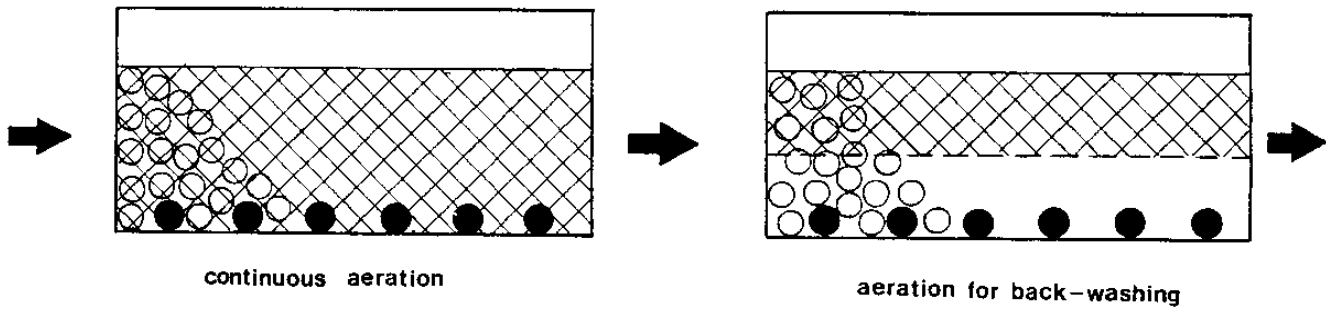


Fig. 3.8 Types of Gravel Contact Oxidation Process

3.10에 나타낸다.

Table. 3.10 Specific Surface Areas of Some Contact Media

접 촉 재 명	비표면적(m ² /m ³)
자 갈 직 경 (100mm)	30*
별 집 형 접 촉 재	50-200
섬 모 상 접 촉 재	40-50

*구형으로 가정하여 산정한 값

자갈층내의 유속을 측정하여 층류(laminar flow)인지 난류(turbulent flow)인지를 판단하고, 수두손실(head loss)은 설계하는데 중요한 인자이므로 이를 계산하여 정화시설의 수위관계의 설정 및 슬러지퇴적 현황의 파악, 그리고 시설의 유지관리 지표가 되도록 한다.

수두손실은 일반적으로 층류영역에서는 Darcy식이나 Chezy식이 적용되며, 난류 영역에서는 Manning의 마찰손실식이 적용되지만 자갈층에서는 양영역의 전환지역이기 때문에 어느쪽이 적용되는지는 분명하지 않다.

또한 접촉시간과 공급율과는 밀접한 관계를 가지고 있으므로 자갈층을 충전한 자갈층조에 물을 유입시켜 조에서 월류가 시작될 때까지의 유입량을 측정하고 공급율을 구한다. 자갈층내에서의 물의 흐름특성을 조사하는데 염화리튬을 사용하기도 한다.

$$\text{공급율(\%)} = \frac{\text{유입수량}}{\text{총 용 적}} \times 100$$

일반적으로 자갈의 직경을 100-150mm 정도로 하였을 때에 공급율이 40-50% 정도가 유지된다.

나. 부유물질(SS)의 제거

일반 하수처리장의 침전조의 수면적부하 $20-30\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ 에 비하여 자갈층접촉산화조의 경우는 동일 처리량으로 기준하여 계산하면 약 1/50~1/70 정도로 작다. 다시말해, 처리장의 침전조에 비해 1/50~1/70정도의 침강속도 입자까지 제거 가능하다는 것을 의미한다. 이것은 자갈층 공극내의 유로가 복잡하여 흡착, 여과에 의해서 제거되는 것도 상당한 역할을 하고 있기 때문으로 알려져 있다(加藤, 1988).

다. 생물막과 퇴적슬러지량

자갈층에서 생물막의 성장량과 퇴적슬러지량을 추정하는 것은 시설 유지관리면과 층내의 유동면에서 중요하다.

생물막의 성장량과 분해량을 고려하여 추정해야 한다.

생물막 농도는(C_b)는

$$C_b = (C_i - C_o) \times \alpha (\text{mg/l})$$

C_i, o = 유입, 유출수의 BOD농도(mg/l)

α : 슬러지전환율(-)

제거된 BOD량은

$$\Delta\text{BOD} = C_b \times Q \times 86,400 \times 365 (\text{g/yr})$$

생물막량은

$$V_o L_b = \Delta\text{BOD} / \rho (\text{m}^3)$$

단, ρ = 생물막 밀도 [kg/m^3]

하천수의 BOD농도를 추정하여 1년간 생물막생성에 의해 차지하는 부피는 자갈층 전체의 몇 %이내를 차지하고 있는가를 파악하고 이로 인한 막힘현상의 유무, 자갈층의 용적변화 등을 검토해야 한다.

한편, 자갈층에 퇴적슬러지량을 좌우하는 인자는 주로, 원수의 SS농도와 유기물 성분비, 원수의 용존산소, 원수의 수온, 슬러지의 퇴적기간, 슬러지의 퇴적 농도 등

과 같은 인자이다. 퇴적슬러지는 생물분해가 되지않는 무기성 SS성분(FSS)과 분해가 되는 SS성분(VSS)으로 구성되어 이들의 비가 중요하다. 퇴적슬러지의 이동은 생물막의 탈락은 전단력에 의한 것보다는 용존산소의 결핍으로 인한 탈락이 대부분이기 때문에 자갈층내의 용존산소량을 유지하는 것이 자갈층을 이용한 정화에는 가장 중요한 인자로 판단된다.

퇴적슬러지의 이동현상을 파악하기 위해서는 자갈층내의 유하방향 및 수심방향에서 고품물질량을 조사하여 슬러지분포를 파악할 필요가 있다. 이들 방향에서 고품물의 휘발성 물질의 구성비(VSS%)를 조사하여 퇴적의 이동특성을 조사하여야 한다.

4. 설치 및 운영시의 유의사항

자갈층 접촉산화법의 기능 및 특징을 충분히 유지하기 위해서는 다음과 같은 사항에 유의해야 한다.

우선 처리수질의 목표치를 설정한 후에 유하물질의 분포파악, 하천저질 및 부유물질의 파악, 공극율 조사, 수질조사, 발생슬러지조사 및 정화상태를 조사한다. 유하물질의 조사는 취수구에서 유량을 조절하기 위하여 필요하며, 하천수의 부유물질 및 저질파악은 침사조의 설치여부 및 정화효율 등을 결정하는데 중요하다. 공극율은 HRT와 밀접한 관계가 있어 정화율 및 자갈층의 용량을 결정하는데 중요한 인자이다. 수질조사는 BOD, SS제거기능을 파악하는데 필요하며 슬러지조사는 발생량 및 성장, 세척 빈도등을 결정하는데 중요한 요소이다.

가. 시설선정시의 유의사항

자갈층 접촉산화시스템을 이용하여 오염하천수를 정화하기 위해서는 시스템중 취수구의 막힘으로 인한 취수량 감소와 경관악화, 이로 인한 유기성 쓰레기부패로 악취발생 등의 문제점을 방지하기 위해서 사전에 유하물에 대한 충분한 조사가 이루어져야 설정한 목표를 달성할 수 있다. 이러한 취수구의 막힘현상은 대부분 유하물

에 의해 발생되기 때문에 이들을 조사할 필요가 있다. 일반적으로 효율적인 취수구의 유지관리를 하기 위해서는 다음과 같은 사항이 고려되어야 한다.

- ① 흘러내려와 쌓이는 유하물의 종류와 양의 실태 파악
- ② 흘러내려와 쌓이는 유하물의 종류별 발생원의 추적조사
- ③ 수위, 수심, 월류, 취수구 등의 취수현황의 관찰조사
- ④ 이들을 방지하기 위한 유지관리의 빈도 등을 검토조사
- ⑤ 원인분석을 통한 주기적 수거등 감소방안 강구
- ⑥ 수거된 유하물의 소각여부 등 제거방안 강구

저농도 부유물질 유입수가 자갈층에 유입되도록 강구하여야 한다. SS의 포집량이 많은 경우에 자갈층내의 유효면적의 감소, 단락류 발생 및 포집슬러지의 혐기화에 의한 처리기능의 저하 등이 발생하기 때문에 유입수 SS농도를 가능한 낮게 유지할 필요가 있다. 따라서 하천 및 취수구에서의 SS성분 및 저질퇴적 현상을 파악할 필요가 있다. 하천수의 SS농도는 조사지역의 도시화의 정도나 하수도 정비상황 및 하상에 부착된 조류량에 따라 다르다.

SS성분중에 유기물은 시간이 경과함에 따라 분해되어 무기화되기 때문에 자갈층에 유입되어 축적되는 양을 좌우하는 것은 무기물이다. 이러한 함유비를 나타내는 지표로서 일반적으로 작열감량(VSS%)이 이용되고 있다. 계절 및 강수량에 따라 크게 변화하므로 이에 대한 대책을 사전에 강구해야 한다.

마지막으로 생태계 보전에 유의하여야 한다. 시설설치전에 강수현황, 수로상태 등을 충분히 파악하여 물고기의 길을 만들어 주며 지형변경에 의한 수로변경을 가능한 하지 않도록 하여야 한다. 특히 홍수시의 대책을 충분히 검토한 후에 시설을 설치하여야 한다.

나. 시설설치시의 유의사항

자갈층 접촉산화 정화시설을 설치시에는 그림 3.9에 나타낸 바와 같은 사항을 유의해야 한다.

- ① A, B는 1m 정도가 필요하다. 그렇지 않으면 단락류가 발생할 가능성이 있다.
- ② C, D는 2-3cm 정도의 구멍을 뚫는다. 자갈의 공극율이 대략 40% 정도 이기 때문에 정류벽은 필요없다.
- ③ E는 DO회복을 위하여 30-50cm의 낙차를 두는 것이 바람직하다.
- ④ F는 물에 잠기지 않도록 한다. 전부 잠기면 위부분에 이끼가 끼어 막힘의 원인이 된다.
- ⑤ 자갈은 잘 씻어 충전한다.
- ⑥ 유입, 유출의 수두차는 20m를 기준으로 수cm 정도로 하면 자갈층내의 유속은 수mm/sec, 1m로 하면 수cm/sec이다.
- ⑦ 공기량은 유입수량의 최소한 2배로 하며, 산기관은 1m 간격으로 설치하면 충분하다.
- ⑧ 유출구에 슬러지 배출펌프를 설치한다.
- ⑨ 피복토양은 통기성 토양을 사용하도록 한다.

다. 유지관리시의 유의사항

- ① 취수구, 집수조 및 월류구 등의 막힘이 없도록 주기적인 청소와 관찰을 하여야 한다.
- ② 탈락 생물막, 퇴적 슬러지의 유출에 의한 수질악화에 대한 공기량 조절 및 퇴적슬러지 제거를 하여야 하며 제거된 슬러지의 처리처분도 고려하여야 한다. 퇴적슬러지 및 생물막의 상태를 관찰할 수 있도록 점검구를 설치하여야 한다. 슬러지의 퇴적상태를 파악하기 위하여 유입수 및 유출수를 대상으로한 부유성 고형물의 침강성에 대하여 검토하여야 하며, 자갈층내의 생물막의 분포, 미생물상 등을 파악하기 위해서는 설치한 점검구의 자갈에 부착된 생물막을 전부 회수해서 MLSS, MLVSS등을 측정하고 검경한다.
- ③ 수질조사는 통상조사(간이조사)와 정밀조사로 분류해서 실시하는 것이 바람직

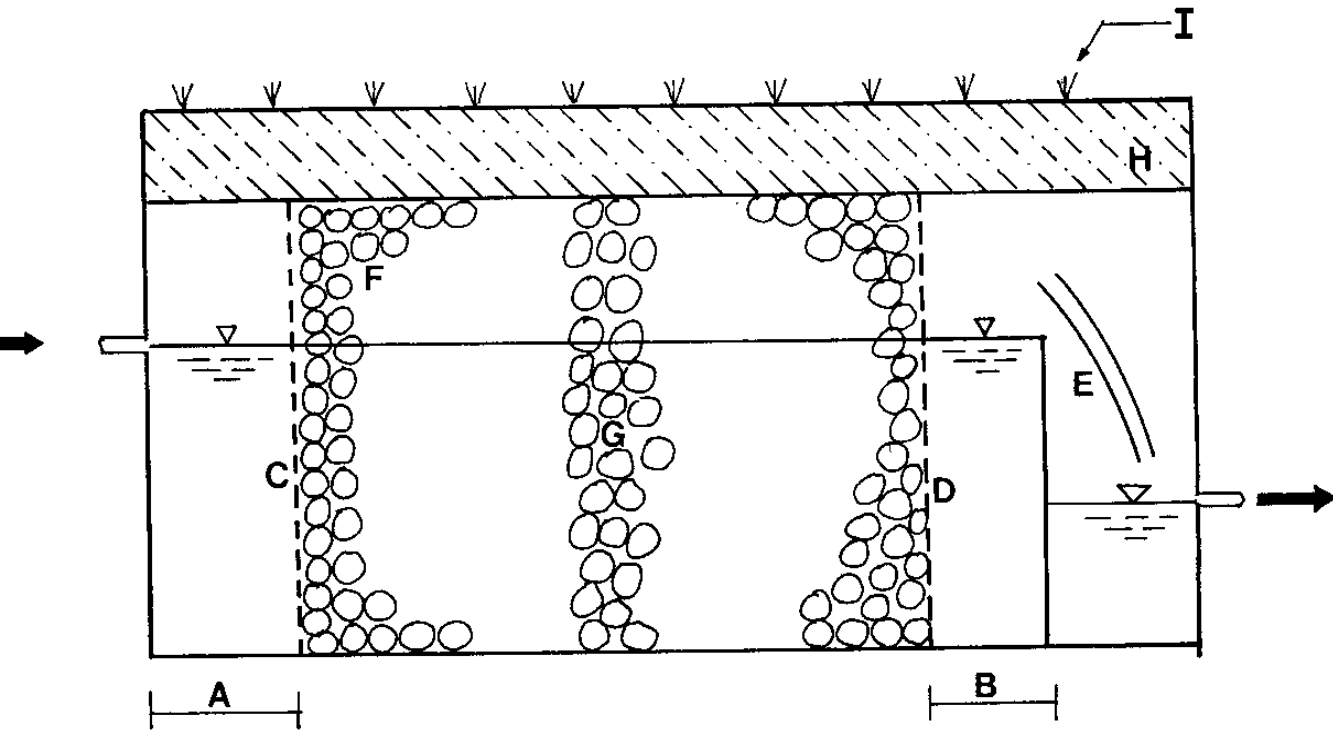


Fig. 3.9 Basic Concepts of Gravel Contact Oxidation Process

하다. 간이 수질조사는 가능한한 간단한 조사방법을 모색하여 이상현상을 즉시 판단할 수 있도록 한다. 예를 들어, 투시도와 BOD, SS와의 상관관계를 검토하여 수질상태를 파악하는 경우도 있다. 정밀조사는 목표한 수질분석항목을 원수, 유입수, 점검구의 수심 및 유하거리, 방류구등에 따라 조사, 유량등을 조사하며 필요에 따라 조사항목을 증감하여 검토하여야 한다.

- ④ 동력비, 인건비, 슬러지처분비 등의 유지관리비에 대해서 검토한다.
- ⑤ 용존산소 회복상태의 감시를 통하여 하천의 수질이 악화되는 현상이 없도록 한다.
- ⑥ 비상시의 처리에 대한 대책을 세워야 한다.

5. 실용화 사례

현재 일본에서 운전되고 있는 일부시설의 처리성능에 대해서 표 3.11에 정리했다.

Table 3.11 Characteristics of Effluent from Gravel Contact Oxidation Process

하 천 명	수 량(m ³ /min)	BOD(mg/L)	
		유 입 수	처 리 수
野 川	90,000	13	4
桑 納 川	70,000	20	5
大 堀 川	100,000	25	5
久 出 川	40,000	30	10
平 瀬 川	160,000	20	5
荒 川	260,000	15	3

제 4 장 현장실험시설 설치지역의 현황

제 1 절 선정하천의 유역개요

창능천은 한강의 지류로 북한산으로부터 시작하여 고양군을 거쳐 서남쪽으로 흘러 행주산성옛을 지나 하류로 흐르는 하천이다. 북한산에서 하구인 행주산성까지의 하도연장은 22.5km이며 유역면적도 약 79km²이다. (환경청, 1987)

창능천의 유역은 경기도 고양군 신도읍, 및 원당읍, 지도읍의 14개 리와 장능천의 지류인 진관천 유역 즉, 서울시의 진관내동과 진관외동이 포함되고 있다.

그러나 정화시설이 설치되어 있는 상류유역은 신도읍 북한리, 효자리, 지축리 및 서울 은평구 진관내동과 진관외동이 포함되어 있다.

1. 하천 유량

창능천의 평수기와 갈수기의 유속, 유량 및 수질의 예측치(환경청, 1987)에 의하면 창능천 상류에서 유속은 0.7m/초로 대체로 빠른 편이고 수심은 0.05-0.3m³/초이며 유량은 0.5-2.20m³/초 범위이다. 중류는 유속이 약 0.3m/초, 평균 수심은 0.3m/초, 유량은 2.20-1.88m³/초 정도이다. 하류는 유속이 0.15-0.33m/초, 평균 수심 0.4m정도이며, 유량은 창능천 하구에서 6.75m³/초 정도이다.

또한 토양트렌치시설과 자갈층접촉산화시설이 설치되어 있는 창능천의 덕수교 하류에서 측정된 유량의 월간변동 및 시간별 변화추이를 실측한 결과는 그림 6.1, 그림 5.2 및 표 6.1, 표 6.2와 같다.

2. 기상현황

정화시설이 설치된 경기도 고양군 소재 창능천은 여름철에는 열대의 남태평양과

겨울철의 북쪽 시베리아의 기후 영향을 받는다(조 등, 1987)

연구기간인 90. 11월부터 91년 10월까지 정화시설에 설치된 인근 서울지역에 연구기간인 90. 11~91. 10사이에 1162.2mm의 강수를 기록하였으며 이 기간 중 월평균은 96.85mm를 나타내었으며, 특히 강수량이 집중된 90년 7월에는 전체 강수량의 42%를 차지한 487.8mm의 강수를 나타내었다.

평균기온은 기간중 91년 1, 2월에만 영하를 기록하였고 91년 8월에는 25.5°C로 최고치를 나타내었다.

Table 4.1 Meteorological Date in the Seoul Area

구분 월별	평균 기온 (°C)	최고 기온 (°C)	최저 기온 (°C)	상대 습도 (%)	강 수 량 (mm)
90. 11	10.0	14.6	5.8	71	56.0
90. 12	1.7	8.8	-3.4	69	25.9
91. 1	-1.1	3.6	-4.7	63	14.4
91. 2	-0.9	3.1	-4.6	61	28.4
91. 3	4.9	9.6	0.8	63	65.5
91. 4	13.0	19.2	9.0	69	48.5
91. 5	17.5	22.9	12.7	59	83.2
91. 6	22.7	27.6	18.3	70	81.8
91. 7	24.3	27.8	21.4	84	487.8
91. 8	25.5	30.0	21.6	71	68.2
91. 9	21.1	25.5	17.3	70	175.2
91. 10	13.8	19.5	8.8	61	27.3

3. 수자원의 이용현황

창능천 유역내 강수량은 그림 4.1과 같이 $94.8 \times 10^6 \text{m}^3$ 이며, 하천유출량이 $56.1 \times 10^6 \text{m}^3$ 로서 약 59%가 된다. 하천 유출량중에서 평상시 유출이 $20.2 \times 10^6 \text{m}^3$ 로 36%에 해당되며, 이 중에서 이용량은 $4.2 \times 10^6 \text{m}^3$ 로 약 21%가 되어 하천수의 이용율은 낮은 편이며 손실량 48%중에 지하수 이용은 거의 없어 개발할 여유가 있다. 이용량 21%중 생활용수로 약 $10,000 \text{m}^3/\text{일}$ 과 공업용수로 $1,460 \text{m}^3/\text{일}$ 을 공급하고 있다(환경청, 1987).

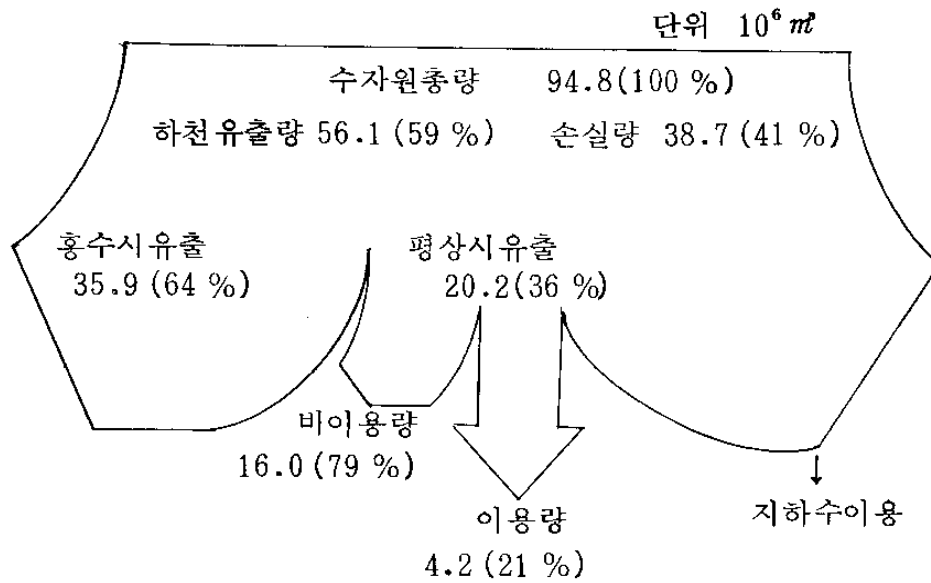


Fig. 4.1 Status of Water Resource and Water Use

4. 유역내 인구

실험시설이 설치되어 있는 고양군 신도읍 삼송리 14-4 창능천 고수부지의 상류의 주거 인구는 표 4.2와 같이 1989년 말 현재 경기도 지역에 약 13,000명과 서울 지역에 약 39,000명이 거주하고 있어, 유역내 전체인구는 약 52,000명에 달하고 있다.

Table 4.2 Population in the Basin of The Changneung Stream

행정구역	가구수	인구	남	여
경기도 고양군 신도읍				
북한리	99	366	188	178
효자리	300	1,175	571	604
지축리	2,815	11,364	5,867	5,497
소계	3,214	12,905	6,626	6,279
서울 은평구				
진관내동	4,774	18,810	9,471	9,339
진관외동	4,936	20,199	10,015	10,184
소계	9,710	39,009	19,486	19,523
합계	12,924	51,914	26,112	25,802

5. 유역내 폐수배출 현황

유역내에서 폐수를 배출하는 업소는 경기섬유를 비롯한 6개로 여기에서는 하루에

약 1,200m³의 폐수가 배출되는데, 공장의 위치가 수질환경보전법상의 배출허용기준 중 지역구분에서 “가” 지역에 해당되어 폐수처리장에서 처리후 유기성 오염물질을 나타내는 BOD와 COD의 경우는 100mg/l이하로 방류하도록 하고 있다.

폐수배출시설중 전체폐수배출량 1,200m³/일의 68%를 경기섬유(주)에서 배출하고 있으며, 이어서 (주)동아상사에서 320m³/일의 세탁폐수를 배출하고 있다. 또한 피혁폐수를 배출하고 있는 피혁공장이 2개가 위치하고 있으며, 지하철의 전동차를 세척하는 세척폐수가 하루에 150m³씩 배출되고 있으며, 폐수배출업도의 현황은 표 4.3과 같다.

Table 4.3 Wastewater Discharging Plants in the Basin of Changneung Stream

업 소 명	업 종	폐수량 (m ³ /일)	원 수(mg/l)			처 리 수(mg/l)		
			BOD	COD	SS	BOD	COD	SS
동아상사	세탁	320	179.0	189.0	310.0	39.0	48.1	58.0
원성두부	두부	6	709.9	661.3	1150.0	280.0	120.2	120.0
경기섬유	염색	700	445.0	721.4	202.5	18.0	42.1	31.0
대화피혁	피혁	13	156.0	126.0	88.0	12.8	30.5	15.0
대성피혁	피혁	15	42.0	92.2	72.0	13.5	31.3	20.0
지 하 철 지축기지	세차	150	—	55.1	44.7	—	13.8	7.3

정화시설이 설치된 상류지역에 위치하는 폐수 배출시설에서 하루에 1,204m³/일의 폐수가 유입되고 있으며 이들 중에는 376kg BOD/일, 579kg COD/일의 유기물을 함유하고 있으나 이들은 자체의 폐수처리장에서 처리후에 창능천에 실제로 유입되는 유기물 양은 27kg BOD/일과 48kg COD/일이 창능천에 부하된다.

제 2 절 설치지역 토양의 투수시험

토양의 정화능력과 침투능력은 그 성상에 따라 크게 다르므로 설치장소의 토질과 침투능력을 파악하는 것이 토양처리 시설을 설치하는데 가장 중요한 요건으로, 토양침투능의 일반적 기준은 토양분류도중 토양도와 표층지질도를 이용하여 대표적인 토양으로 분류해서 그 토양의 투수계수로부터 추정한다. 이 추정은 예비단계로 실시하고 처리시설의 설계단계에서는 현지에서의 투수시험에 기초한 자료를 입수해야 한다.

토양중에 통과하는 물의 속도는 토양중에서 포화상태인가 불포화상태인가에 따라 크게 변화한다. 실내실험에서는 시료의 흐트러짐이 있어 정확한 평가를 할 수 없으므로 현장에서 아래의 그림 4.2와 같은 투수속도 시험기를 설치하여 일일당 침투속도를 구한다. (茨城縣, 1985)

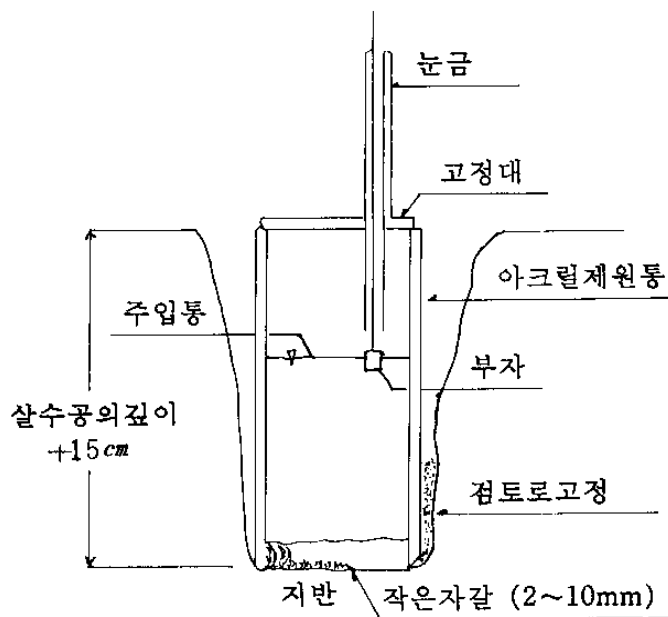


Fig. 4.2 Permeameter of Soil

Table 4.4 Standard Permeability Coefficient of Soils

특 수 성	K(cm/초)	대표적 토양
중간침투성	$0.1 - 1 \times 10^{-3}$	모래, 가는 모래
침투성이 낮음	$1 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-5}$	사질, 롬토양
침투성이 특히 낮음	$1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-7}$	실트
불투수성	1×10^{-7} - 이하	점토

1. 시험장치 및 시험방법

-시험장치의 직경은 40-45cm, 깊이는 살수관의 약 15cm를 더한 길이로 하여 바닥면을 수평으로 깎아 만든다.

-이 시험장치에 하단부를 뾰족하게 한 내경 30cm, 길이 60cm이상의 원통 파이프(합성수지제 또는 강제)를 설치하고 원통하단이 1-2cm정도 묻히도록 밀어넣는다.

-원통주위와 지반사이의 간격에는 점토를 충전하여 시험시 원통내에서 주위에 물이 침투하는 것을 방지한다.

-원통바닥에 두께가 5cm 되도록 자갈을 깔다.

시험방법

-최초의 자갈위 25cm의 수위가 되도록 맑은 물은 넣어 30분내에 수위가 10cm 이상 직하하면 본래의 수위까지 물을 반복해서 주입한다.

-30분이 경과후 수위가 자갈위 25cm가 되도록 물을 주입하여, 토질이 점토질인 경우 10mm, 기타의 경우 30mm의 수위가 낮아지는 데 걸리는 시간을 측정한다. 하나의 시험장치에 대해 이것은 3회 반복하고 3회를 평균하여 1일간의 침투속도를 구한다.

단, 이 침투속도는 맑은 물의 경우이므로 오수의 경우는 다음의 식으로 환산할 수 있다.

$$1\text{일당 오수의 침투속도 } L \text{ mm/일} = \ln^{0.566} \times 1.365$$

단, \ln = 맑은 물로 구한 1일 침투속도

$$* \text{ 토양처리에 필요한 면적} = \frac{\text{처리수량 1/일}}{L \text{ mm/일}}$$

2. 투수시험결과

정화시설의 설치대상 지역인 창능천의 덕수교 하류 고수부지토양중 설치예정지의

2 곳에 대한 투수시험결과는 표 4.5, 표 4.6와 같았다.

Table 4.5 Results of Permeability Tests(site I)

투수깊이 (cm)	시 간			
	1회	2회	3회	평 균
1	3분 17초	3분 0초	3분 20초	3분 12초
2	6분 10초	6분 0초	6분 30초	6분 13초
3	9분 10초	9분 10초	9분 20초	9분 13초

*투수계수 = 5.33×10^{-3} cm/sec

Table 4.6 Results of Permeability Tests(site II)

투수깊이 (cm)	시 간			
	1회	2회	3회	평 균
1	3분 2초	2분 20초	3분 23초	2분 55초
2	6분 32초	5분 45초	6분 51초	6분 23초
3	10분 5초	9분 25초	10분 20초	9분 57초

*투수계수 = 5.03×10^{-3} cm/sec

표 5.4와 표 5.5에서와 같이 대상지역 토양의 투수계수인 K 값이 각각 5.33×10^{-3} cm/초와 5.03×10^{-3} cm/초로 표 5.2에서 투수계수표준치를 적용할 경우 중간침투성의 모래, 가는 모래에 해당된다.

그러나 일반적으로 토양트렌치 처리에 있어서 트렌치 상층부의 호기성 부위에는 공기중의 산소가 원활하게 공급되도록 통기성 토양이 사용되는데, 일본의 경우 일반적으로 현지에서 구할 수 있는 양질의 발토양을 사용하나 통상 화산회토에 페라이트나 유기질 비료를 혼입하여 토양을 개량하는 경우도 있다 (毛管淨化研究會, 1987). 또한 미국의 경우 토양트렌치에서의 토양조성은 사질양토가 권장(USEPA, 1980)되고 있어서 현장토양으로는 처리효과를 기대하기 어려웠다.

따라서 적절한 사질양토를 구하기 위해 경기도 고양군 인근의 백제읍이나 원당읍에 소재한 5개 지역의 산에서 토양를 채취하여 토양분석 실험을 통해 62.6%의 모래, 16.1%의 점토와 21.3%의 미사토로 구성되어 있는 사질양토를 구하여 토양트렌치의 설치시 통기성 토양으로 사용하였다.

3. 선정하천의 수질예비 조사

연구대상공법인 토양트렌치법과 자갈층집축산화법의 설치를 위한 수질의 적합여부를 판단하기 위해 대상 하천인 창능천의 덕수교 하류의 수질을 분석한 결과는 아래의 표 4.7과 같다.

정화대상 하천수 즉, 창능천 하천수의 수질을 보면 표 4.7과 같이 pH는 측정기간중 6.8-7.2를 나타내 일반자연수역에서의 범위를 나타내고 있으나, BOD농도를 보면 23.0-48.0mg/l의 범위에서 평균 31.9mg/l를 나타냈다. 측정기간중(90. 4. 20-5. 10) 서울지역의 강수량은 64.0mm로 일평균 5.82mm의 비가 내린 반면, 4월과 5월의 월평균 강수량은 각각 105.2mm와 89mm로 일평균 3.24mm로 예년에 비해 1.79배의 많은 비가 내렸음을 알 수 있다. 이러한 많은 강수량에 의해 하천수가 예년에 비해 그만큼 희석되어 보다 양호한 수질을 나타낸 것으로 평균 강우량의 조건하에서는 약 57mg/l의 BOD 농도를 나타낼 것으로 추정되었다.

Table 4.7 Water Quality of the Changneung Stream in Preliminary survey

채수일자 \ 항목	pH	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	DO (mg/l)	비 고
4.20	7.2	23.0	19.0	51.1	7.1	
4.24	7.0	29.5	26.0	9.8		
4.25	6.8	29.0	26.3	3.0		
4.26	7.1	48.0	26.0	64.6		
4.30	7.2	25.0	28.1	29.2	4.3	
5. 9	7.2	38.0	28.1	7.0	6.0	
5.10	7.9	31.0	28.1	12.6	4.5	
평 균	7.2	31.9	26.9	25.3	5.5	

또한 COD농도는 1.0-36.1mg/l의 범위에서 평균 26.9mg/l를 나타내 BOD와 COD의 비가 1:0.84이었으며, 부유물질(Suspended Solid)은 3.0-6.46mg/l로 평균 25.3mg/l이나 채수일자별로 큰 변화를 보이는데, 이는 강우후에 하상의 퇴적물이 씻겨내려가서 부유물질농도에 차이가 많은 것으로 보인다. 즉 4월 24일과 25일에 각각 9.8mg/ l와 3.0mg/ l 로 매우 낮은 농도를 보이는데 이는 4월 23일과 24일 7.8mm의 강우에 의해, 5월 9일의7.0mg/l도 5월 7일 9.8mm의 강우에 의해 하천중 부유물질이 유실된 것에 기인된 것으로 추정된다.

제 5 장 정화시설의 설치 현황

제 1 절 정화시설의 개요

실용화공법의 토양트렌치법과 자갈층접촉산화법을 선정하여 경기도 고양군 신도읍 14-4의 창능천변 고수부지에 설치 후 90. 10. 20부터 91. 10. 14까지 운전하였으며, 정화시설의 설치 및 배치의 위치는 그림 5.1과 같다.

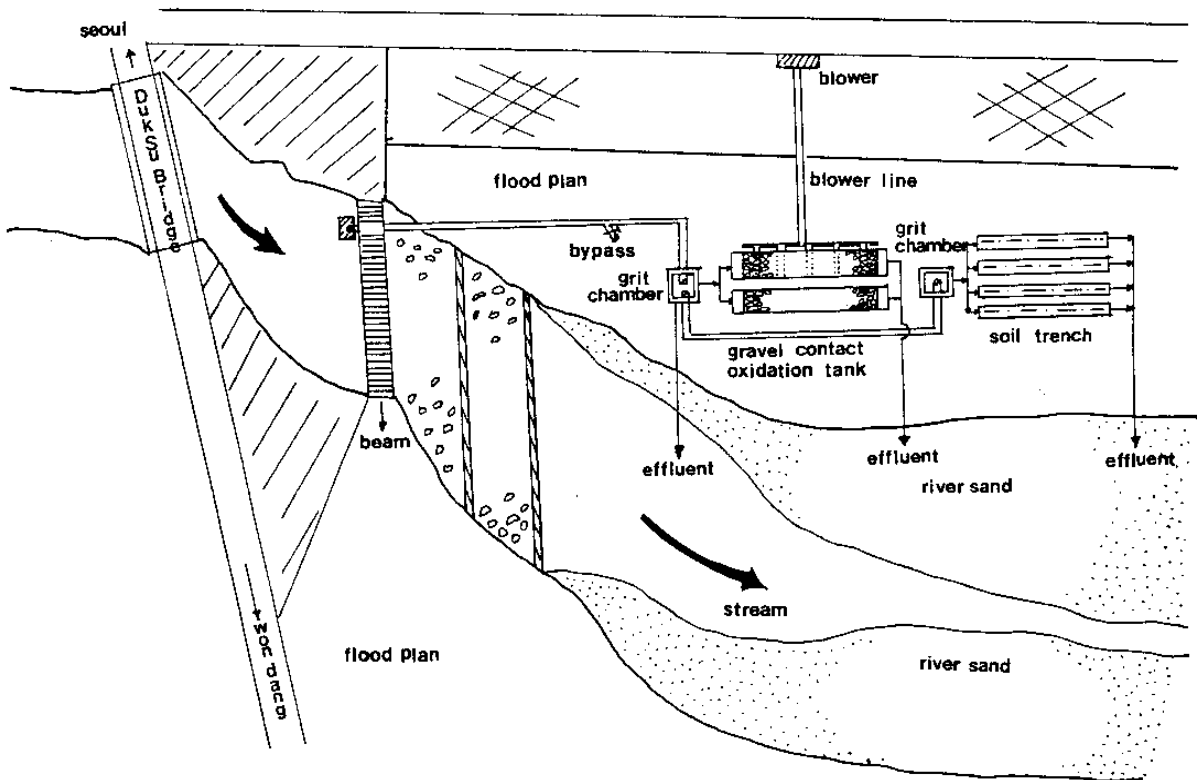


Fig 5.1 Stationing Map of Experimental Facilities

그림에서와 같이 창능천의 덕수교밑 하천둑의 취수구에서 하천수가 자연 유하되도록 취수파이프에 구배를 두어 설치하였으며, 취수구에는 여러가지 찌꺼기와 하상의 침전물이 부상하면서 생성된 스크의 유입으로 유입구의 막힘을 방지하기 위해 유입구에는 세목과 조목의 2중 스크린을 설치하였으며 막힌 쓰레기는 수시로 제거하였다.

유입된 하천수는 그림 5.1과 같이 침사지 겸용의 분배조에 유입되는데, 분배조에서는 폭기식과 예비폭기식의 2조로 설치된 자갈층접촉조에 하루 20m³씩의 하천수가 각각 유입되도록 삼각 웨어를 설치하였다. 토양트렌치에 유입하여 처리하기 위한 하천수는 토양트렌치용 분배조에 유입되도록 설치하였다. 2계열로 설치된 2조의 토양트렌치시설에 각각 하루에 2m³의 하천수가 유입되도록 오리피스를 설치하여 일정량의 하천수를 유입시켜 운전하였다. 각각의 시설에서 정화된 하천수는 창능천에 직접 방류되도록 방류관을 설치하였다.

제 2 절 토양트렌치시설

토양트렌치시설은 그림 5.2 그림 5.3과 같으며, 유입된 하천수가 침사지에서 토사등을 침전제거하고 2계열로된 2조의 토양트렌치에 하루에 2m³씩, 즉 각 계열마다 1m³씩 유입 처리되도록 하였다.

트렌치의 구조는 그림 5.3과 같이 지하 60cm의 위치에 불투수막을 깔고 그 위에 모래를 15cm정도 깔고, 그 위에 다시 자갈을 5cm정도 덮고, 이어서 그위에 내경 10cm의 도관을 느슨하게 연결하여 설치하고 자갈층의 도관이 약 20cm 두께의 자갈로 덮히도록 자갈층의 중심부위에 매설하였다. 자갈층위에 비닐로 된 모관망을 덮어 위에서의 통기성 토양이 자갈층에 흘러들어가지 않도록 하였다. 그리고 모관망위에 통기성 토양으로 사양토를 20cm깊이로 깔고 그 위에 잔디를 심어서 부수적으로 잔디에 의한 오염하천수의 정화가 이루어지도록 하였다.

동 시설의 설계조건은 아래와 같다.

—처리하천수량 : 2m³/일 · 조

—수리학적 부하 : 0.1m³/m trench 일

—설치트렌치수 : 1계열당 10m인 2계열로 각각 구성된 2조를 설치하여 막힘에 대비하여 예비설치

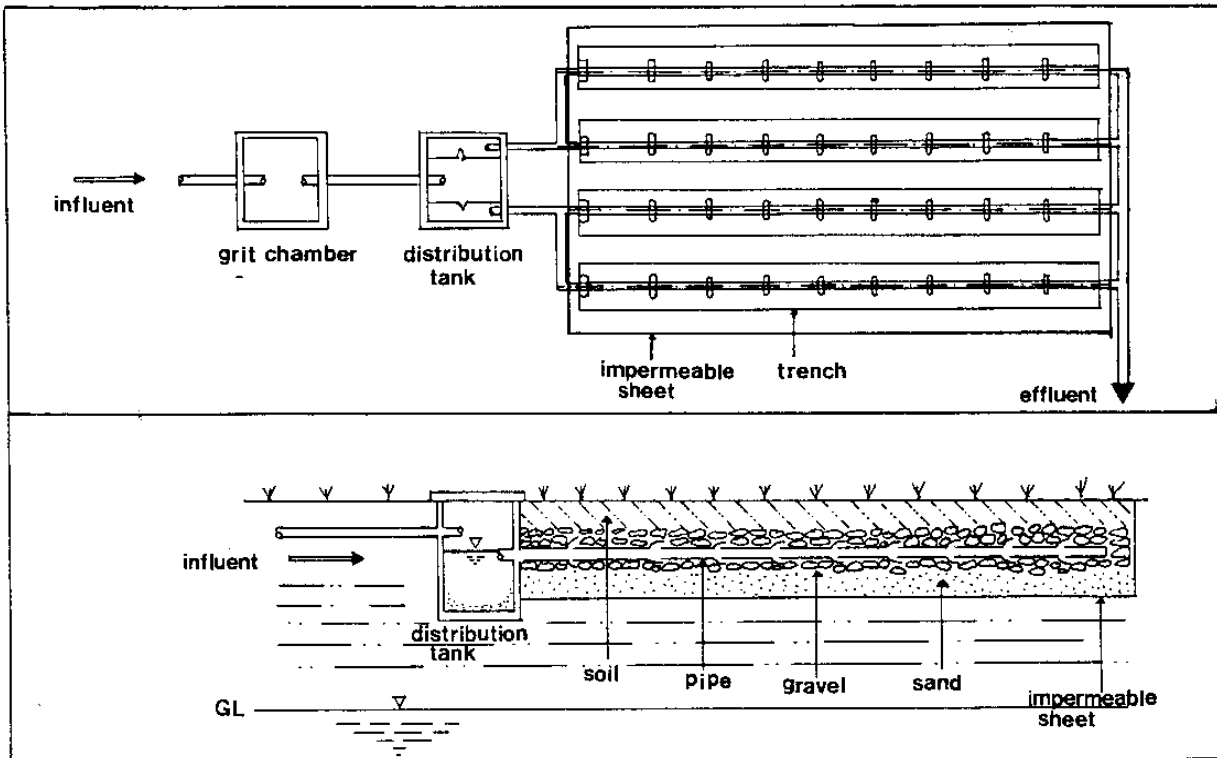


Fig 5.2 Schematic Diagram of Soil Trench

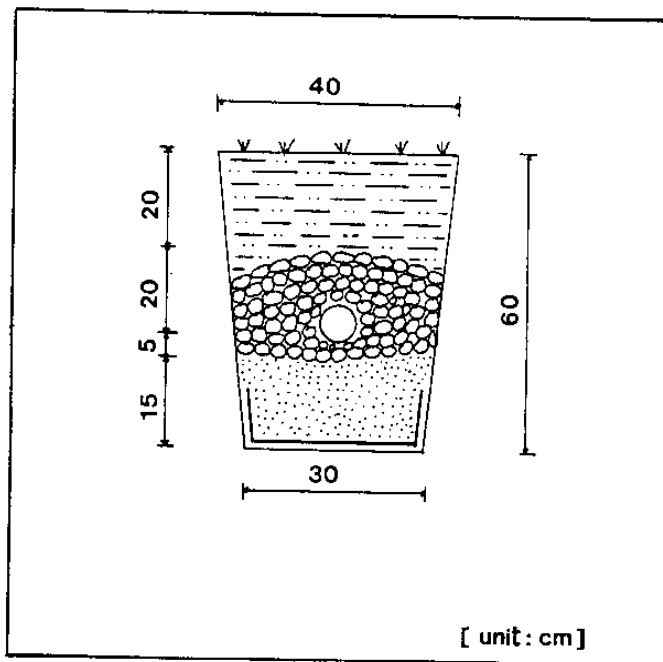


Fig 5.3 Cross Section of Soil Trench

- 트렌치길이 : $(2\text{m}^3/\cdot\text{일})/(0.1\text{m}^3/\text{m일})=20\text{m}$
- 1열당 길이 : $20\text{m}/2\text{열}=10\text{m}$
- 트렌치 단면의 규격 : 상부 40cm, 하부 30cm, 깊이 60cm
- 토양층 : 상부 20cm (통기성 토양)
- 중간 25cm (자갈은 $\phi 25\text{mm}$ 내외)
- 하부 15cm (모래)
- 토양층 바닥에 불투수막 설치

- 중간의 자갈층의 5cm 위에 $\phi 10\text{cm}(60\text{cm}/\text{개})$ 의 도관부설

또한 토양트렌치시설에서의 처리효율을 분석하기 위해 지표면에서 120cm의 위치에 집수막을 설치하여 집수된 처리수를 채수하여 분석하였으며, 나머지 집수된 처리수는 유출관을 통해서 창능천에 직접 방류하였다.

제 3 절 자갈층 접촉산화시설

자갈층 접촉산화시설은 그림 5.4, 그림 5.5와 같으며, 하천수질의 변동에 따른 정화 방안을 제시하기 위해 폭기식과 무폭기식을 각각 설치하였는 바, 설계조건은 아래와 같다.

- 처리하천수량 : $20\text{m}^3/\text{일}$
- 접촉재 : $\phi 100-150\text{mm}$ 의 강자갈
- 공극율 : 45%
- 체류시간 : 6시간 이상
- 자갈층의 높이 1.2m중 1m까지만 통수하고 자갈층의 상층부 20cm는 그대로 두어 자갈층위의 통기성 토양이 침수에 의해 자갈층에 흘러들어 자갈층을 막히지 않도록 하였으며 토양표면에는 잔디를 심어서 악취발생을 방지하도록 하였다.
- 폭기식의 자갈층의 밑부분에 산기관을 설치하여 산소를 공급하고 무폭기식은 산기관을 설치하지 않았다.

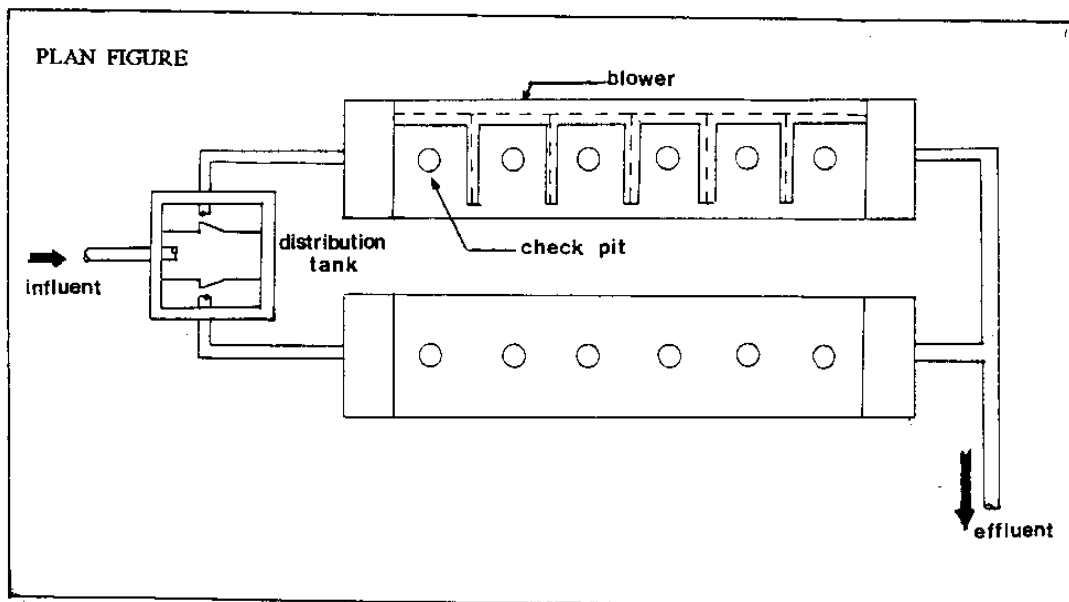
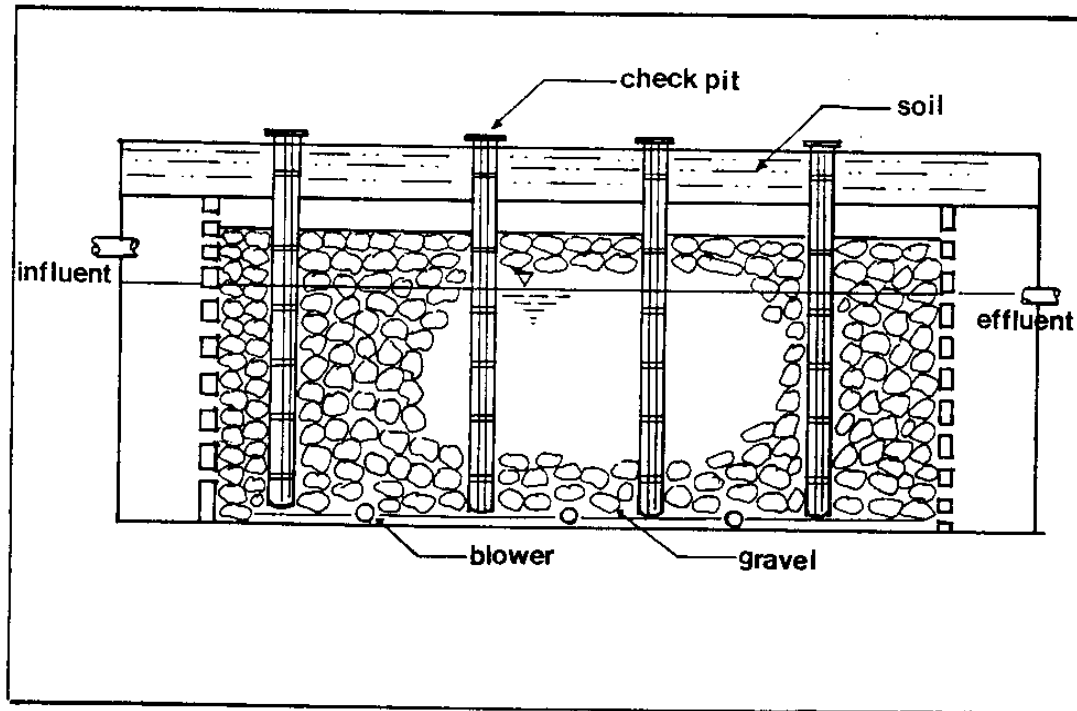


Fig 5.4 Schematic Diagram of Gravel Contact Oxidation Process

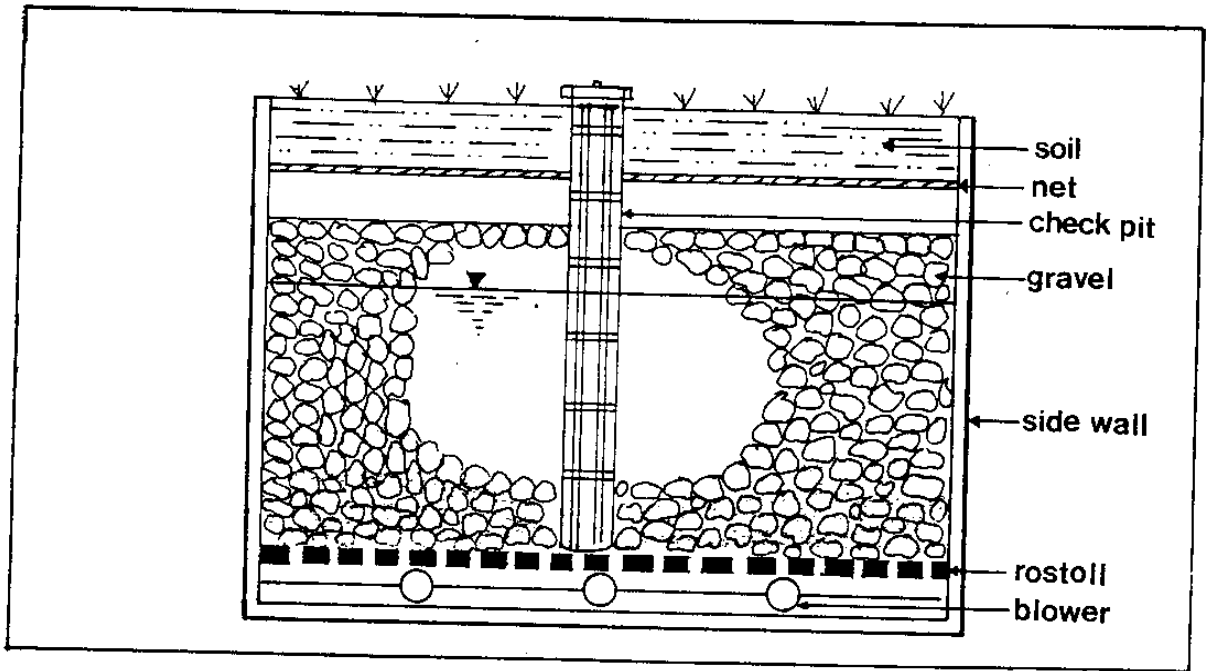


Fig 5.5 Cross Section of Gravel Contact Oxidation Process

- 유효용량 : $1.2\text{mW} \times 9\text{mL} \times 1.0\text{mH} = 10.8\text{m}^3$

- 체류시간 : $(10.8\text{m}^3 / 20\text{m}^3/\text{일}) \times 24 \times 0.45 = 5.83\text{시간}$

- 공기량 : $30\text{mgBOD/L} \times 20\text{m}^3 / 3 \times 10^{-3} \times 1\text{kgO}_2 / 1\text{kgBOD} = 0.6\text{kg/O}_2/\text{일}$

공기중의 산소량은 (1/0.21)로 보고 산기효율을 3%로 하면 $0.6 / 0.21 \times 1.440 \times 0.03 = 50\text{L/분}$

- 부설설비(폭기기) : $50\text{L/분} \times 0.1\text{g/m}^3 \times 0.4\text{kW} \times 2\text{대}$

자갈을 채운 탱크는 FRP로 제작하여 이동설치가 가능하게 하였으며, 유입구와 유출구에는 정류벽을 설치하여 단락류가 발생하지 않도록 하였으며, 유출부위에서 수위를 유지하기 위한 벽과 처리수 배출구 사이에는 40cm의 높이차를 두어 처리수가 낙하되면서 공기중의 산소가 처리수중으로 녹아들어가 용존산소가 다소간 회복되도록 하였다.

제 6 장 실험방법

연구대상의 오염하천수는 경기도 고양군 신도읍 14-4에 위치한 한강의 지류인 창능천의 하천수를 선정하였으며, 연구대상 시설로는 토양트렌치법과 자갈층 접촉산화법을 선정하여 같은 위치의 창능천변 고수부지에 설치하여 1990년 10월 20일부터 1991년 10월 14일까지 1년동안 운전하였다.

제 1 절 취수방식과 취수구 관리

선정공법의 경제적이고 관리의 용이성을 고려하여 하천수를 취수하는데 동력비의 절감을 위해 자연유하식을 선택하기 위해 정화시설이 설치된 고수부지에서 상류 약 70m 지점에 위치한 덕수교밑의 독에 파이프를 매설하여 하천수를 취수하였다.

취수구에는 하천에 흘러내리는 비닐봉지, 나무조각, 천조각 등이 유하되어 취수구가 막히고, 이들이 정화시설로 유입되는 것을 방지하기 위해 스크린을 설치하였다. 스크린은 2중으로 외측 스크린은 $\phi 4\text{mm}$ 의 눈금을 갖는 스크린을 내측에는 $\phi 2\text{mm}$ 의 눈금을 갖는 스크린을 설치하여 취수하였다.

취수구에 설치된 스크린이 여러가지 협잡물에 의해 막히므로 2~3일에 1차례씩 협잡물을 제거하였다. 그러나 3월부터 독의 내측 바닥에 침전된 퇴적물이 기온의 상승과 함께 생성된 가스에 의해 부상하여 스크린의 눈막힘 현상이 빈번하게 발생하여 매일 제거하였다.

제 2 절 하천수 및 처리수의 채취

창능천의 하천유량을 월별, 시간별로 측정하기 위해 매월 마지막주 수요일 12:00

부터 다음날 10:00시까지 2시간 간격으로 단면적의 변화와 유속의 변화를 유속계 (Valeport, Dartmouth제, 영국)를 이용하여 측정하였다. 아울러 수질 및 부하량의 변화를 측정하기 위해 2~4시간 간격으로 하천수를 채취하였다.

또한 정화시설에서의 처리효율을 측정하기 위해 하천수가 유입되는 분배조에서의 유입수와 정화시설에서의 처리수를 채취하였다. 토양트렌치 시설은 지표면에서 1.3m위치에 설치한 집수막에 집수된 처리수를 채취하였으며, 자갈층 접촉산화시설에서는 자갈층을 흘러나온 처리수가 월류되는 위치에서 처리수로서 채취하였다.

시료의 채취는 원수 즉 분배조에 유입되는 하천수와 각각의 정화시설에서의 처리수는 매주 월요일과 목요일에 채수하였다.

제 3 절 시료의 분석

채취한 시료는 신속히 연구원 실험실에 옮겨 즉시 분석하였으며 분석항목 및 분석 방법은 표 6.1과 같다.

제 4 절 정화시설의 운전

1. 토양트렌치 시설

토양트렌치 시설은 막힘 현상이 발생하여 처리수질의 악화 또는 처리시설내에서 문제가 발생될 것에 대비하기 위해 동일한 시설용량, 즉 5장에서와 같이 트렌치의 길이는 10m를 1계열로 한 2계열로 구성된 1조당 처리용량 2m³/일의 2조를 설치하였다. 이 경우 트렌치의 단위길이당 부하 수량은 100l/m · trench · 일이 되도록 설치하였다.

오염하천수 즉 유입수는 자갈층 접촉산화시설의 전단계에 위치한 침사지 겸용 분배조에서, 오리피스를 이용하여 1조당 2m³/일을 유입시키고, 나머지는 우회로를 경

유하여 창능천에 방류되도록 하였다.

Table 6.1 Experimented Parameters and Methods

분 석 항 목	분 석 방 법
TOC	TOC Analyzer(TOC - 5000, SHIMADZU)
COD	과망간산칼륨 시험법
BOD	Azide 법
TKN	환원중류법
NH ₃ -N	인도페놀 흡광광도법
NO ₂ -N	에브릴 노리스 흡광광도법
NO ₃ -N	카드뮴 구리환원 흡광광도법
T-P	Ascorbic Acid 법
PO ₄ -P	Ascorbic Acid 법
DO	Water Quality Instrument (YSI)
SS	환경오염공정 시험법
온도	온도계
pH	pH meter D - 14 (HORIBA)

그러나 분배조에서 오리피스를 이용하여 유입되는 양을 측정한 결과 하루 유입량은 트렌치 I 은 1.7m³/일, 트렌치 II 는 2.3m³/일이 유입되어 실제 트렌치 1m당 처리수량 부하는 각각 85 l/m · 일과 115 l/m · 일이 되었다.

토양트렌치시설의 2조중 트렌치 II 는 트렌치 I 과 함께 가동하였으나 갈수기 하천수질의 BOD농도가 90mg/l 이상을 나타내어 막힘 현상이 발생할 것에 대비하여 5개월 경과후 즉 4월에는 휴지기간을 1개월 두고 5월부터 하천수질의 BOD가 다시 낮아져서 계속 하천수에 유입시켜 처리하였다.

2. 자갈층 접촉산화시설

자갈층 접촉산화시설에 유입되는 유입수는 분배조검용 침사지에 삼각웨어를 설치하여 각 처리시설마다 하루 20m³의 하천수를 유입시켰다.

자갈층 접촉산화시설에는 자갈을 채운 탱크의 바닥에 산기관을 설치하여 2시간을 주기로 1시간 폭기한 폭기식 자갈층 접촉 산화시설과 탱크의 바닥에 산기관을 설치하지 않은 무폭기식 자갈층 접촉 산화시설의 2종류가 있다. 무폭기식의 경우 갈수기에 의한 영향으로 하천수의 수질이 매우 악화되어 처리 효율을 기대하기 어려웠으며 91년 2월부터 자갈층시설의 하천수 유입부에서 예비폭기를 실시하였으며 하천수질이 BOD 약 40mg/l로 개선된 4월 이후에는 예비폭기를 중지하였다.

자갈층 접촉산화시설의 밑바닥에는 자갈의 표면에 생성된 생물막과 취수구 부근에서 침전물의 부상으로 다량의 슬러지가 쌓여서 3월부터 6월까지는 한달에 1회씩 침전슬러지를 펌프를 이용하여 제거하였다.

제 7 장 연구결과 및 고찰

제 1 절 창능천 하천수의 특성

1. 창능천의 수질변화

현장 실험연구시설이 설치된 경기도 고양군 신도읍에 소재한 창능천의 덕수교 하류에서 수질변화를 측정하기 위해 1990년 10월부터 1991년 9월까지 매월 마지막주 수요일 12:00시부터 다음날 10:00시까지 2~4시간 간격으로 하천수를 채취하여 수질을 분석한 결과는 아래와 같다.

가. 월별 수질변화

조사대상지역에서 매월 1차례 2~4시간의 간격으로 하천수를 채취하여 분석한 BOD, COD, TOC 및 SS의 농도를 평균한 월별 수질 변화는 표 7.1 및 그림 7.1과 같다.

측정항목중의 하천수 중 유기성 오염물질을 대표하는 지표로 이용되고 있는 BOD 농도를 보면 연평균 34.23mg/l였으며, 강수량이 가장 많은 7월에는 5.0mg/l에 불과하였으나 갈수기인 1월에는 91.3mg/l였고, 2월에는 79.8mg/l로 매우 높은 농도를 나타내고 있다.

3월 이후부터 9월까지의 창능천 하천수의 BOD가 대체로 20mg/l이하의 수준을 유지하였으나 6월에는 31.5mg/l로 이 기간중에 가장 높았는데, 이는 6월중에 81.8mm의 강우가 있었으나 월초(11일의 26.6mm)와 월말(29일의 34.2mm)에 강우가 집중되어 채수시점(26일)에는 하천유량이 감소된 것에 기인되는 것으로 보인다.

반면 갈수기인 11월부터 2월 사이에는 62.8~91.3mg/l의 BOD 농도를 나타내고 있는데, 이는 국내 다른 하천에서 오염물질 농도가 높게 나타나는 현상과 동일하다.

유기성 오염물질의 지표가 되는 다른 항목 즉 COD와 TOC의 경우에는 BOD와 유사한 경향을 나타내고 있으며, 이들의 연평균 농도는 각각 28.6mg/l와 32.4mg/l

로 BOD 농도와 비교했을 때 각각 0.77배와 0.87배를 나타내고 있다.

부유물질의 경우 연평균 23.0mg/l를 나타내었으며, 계절별 변화의 폭이 유기성 오염물질의 지표항목과 다른 경향을 보이고 있으며, 시료의 채취시점과 강우시점간에 깊은 상관관계를 나타내고 있다.

즉 1개월의 강수량이 487.8mm를 기록한 7월에는 하상의 퇴적물이 유실되어 불과 6.7mg/l를 나타내었으며, 이러한 영향은 다음달까지 미쳐 8월에도 9.2mg/l를 나타내었다.

나. 시간별 수질변화

매월 1회씩 2-4시간 간격으로 하천수를 채취하여 분석한 결과를 같은 시간대별로 합산후 평균한 결과는 그림 7.2, 표 7.1와 같다.

시간별 수질의 변화를 BOD를 기준하였을 경우 하천 유량이 가장 적은 04:00에 44.6mg/l를 나타냈으며, 유량이 많은 14:00에는 31.0mg/l로 가장 낮은 농도를 나타내었다.

시간별 BOD농도의 변화는 오염물질의 발생원이 주로 공장에서의 산업폐수와 주거지에서의 생활하수이나, 조사지점의 상류유역에 위치하는 공장에서 배출되는 폐수는 일정하게 유입된 반면 하천의 유량이 감소되어 BOD농도가 증가한 것으로 보인다.

또한 다른 유기성 오염물질의 지표인 COD와 TOC의 경우에도 유사한 경향을 나타내고 있다.

그러나 부유물질의 경우 유기성 오염지표와는 다르게 변화의 폭이 심하다. 즉 14:00에 유기성 오염물질 항목은 가장 낮은데 반해, 부유물질 농도는 34.0mg/l로 가장 높는데 이는 기온의 상승과 함께 창능천의 하천수 수온도 상승함으로써 하천수중 미생물의 작용이 활발하게 되어 생성된 가스가 침전물질에 부착되어 스컴이 부상함에 따라 농도가 증가한 것으로 추정되며, 다른 시간대에는 유사한 농도 즉 17.4~25.3mg/l의 범위에서 변화하였다.

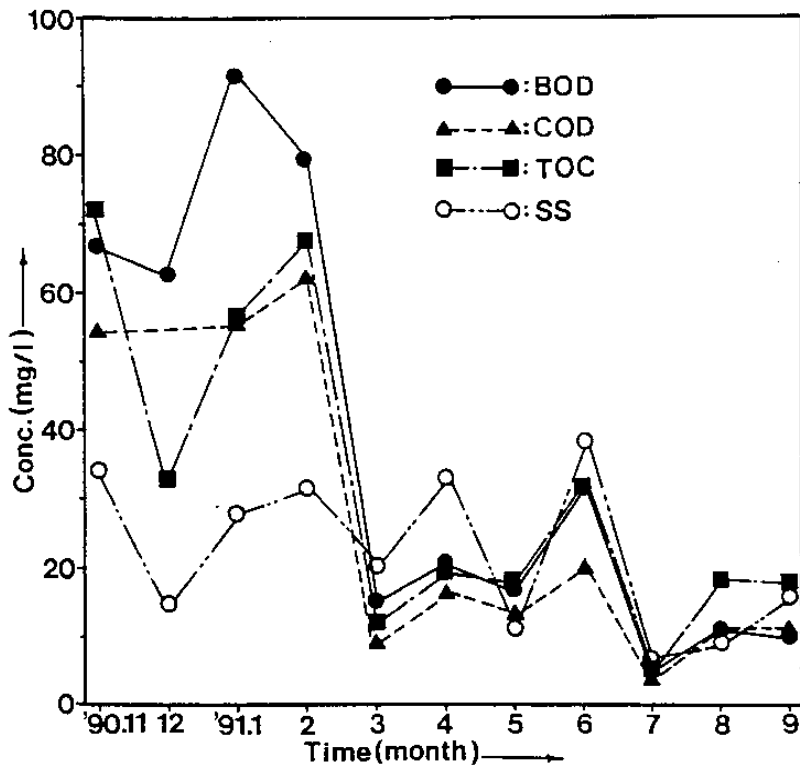


Fig. 7.1 Monthly Variations of BOD, COD, TOC and SS Concentrations of the Changneung Stream Water

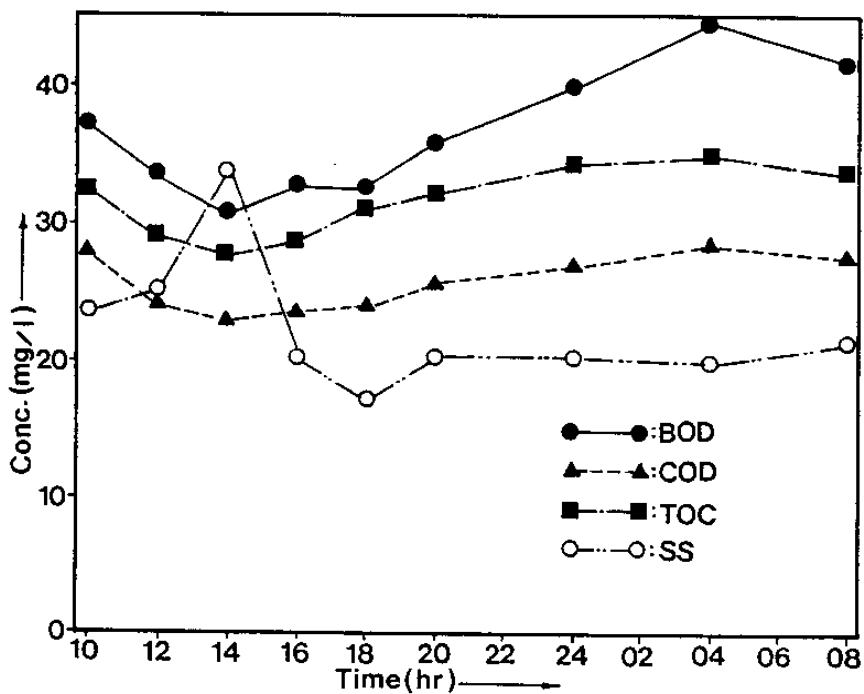


Fig. 7.2 Hourly Variation of BOD, COD, TOC and SS Concentrations of the Changneung Stream Water

2. 창능천의 유량변화

가. 월별 유량변화

창능천에는 6개의 폐수를 배출하는 공장에서 하루에 약 1,200m³의 폐수와 약 52,000명이 배출하는 하수가 유입되고 있다. 창능천의 유량을 매월 1회씩 2~4시간 간격으로 측정하고 이를 평균한 것을 일일 유량으로 산정한 결과 연평균 유량은 40,517m³/일이고, 월별 유량은 그림 7.3 및 표 7.1과 같다.

Table 7.1 Monthly variation of Flowrates and Concentration and Loadings of BOD, COD, TOC and SS in the Changneung Stream Water

month	flowrate (m ³ /d)	BOD		COD		TOC		SS	
		conc. (mg/L)	load. (Kg/d)	conc. (mg/L)	load. (Kg/d)	conc. (mg/L)	load. (Kg/d)	conc. (mg/L)	load. (Kg/d)
90. 10	20,906	44.0	920	38.9	813	53.7	1,123	31.8	665
11	20,516	67.0	1,375	54.5	1,118	72.1	1,479	34.1	700
12	14,812	62.8	930	45.8	6,784	32.9	487	14.9	221
91. 1	13,088	91.3	1,195	55.8	730	56.5	739	28.0	366
2	18,315	79.8	1,462	62.4	1,143	67.5	1,236	31.9	584
3	72,195	15.1	1,090	9.5	636	12.5	902	20.9	1,502
4	38,182	20.3	775	16.1	615	19.8	756	33.6	1,283
5	41,553	16.7	694	13.5	561	18.2	756	11.2	465
6	16,579	31.5	522	20.5	340	31.5	522	38.3	640
7	174,381	5.0	872	3.8	663	5.3	924	6.7	1,168
8	21,697	11.0	239	10.8	234	18.1	393	9.2	200
9	33,978	10.2	347	11.0	374	17.5	595	15.9	540

Table 7.2 Hourly Variation of Flowrate and Concentration and Loading of BOD, COD, TOC and SS in the Changneung Stream Water

month	flowrate (m ³ /d)	BOD		COD		TOC		SS	
		conc. (mg/l)	load. (Kg/d)	conc. (mg/l)	load. (Kg/d)	conc. (mg/l)	load. (Kg/d)	conc. (mg/l)	load. (Kg/d)
10:00	28,999	37.2	1,079	28.0	812	32.8	951	23.8	690
12:00	33,568	33.6	1,128	24.4	819	29.2	980	25.3	849
14:00	30,595	31.0	948	23.0	704	27.9	854	34.0	1,040
16:00	28,209	33.0	931	23.5	663	28.9	815	20.3	573
18:00	29,155	32.7	953	24.0	700	31.0	904	17.4	507
20:00	28,470	36.1	1,028	25.6	729	32.3	920	20.6	586
24:00	27,613	40.0	1,105	26.9	743	34.3	947	20.4	563
04:00	24,153	44.6	1,077	28.6	691	35.2	850	20.0	483
08:00	25,195	41.8	1,053	27.7	698	34.0	857	21.6	544

하천유량은 강수량과 매우 밀접하여 강수량이 487.8mm였던 7월에 측정 한 하천유량이 174,381m³/일에 달하였으나, 갈수기인 10월부터 2월까지에는 13,088m³/일~20,906m³/일의 유량을 나타내었다.

그러나 6월중의 강수량이 81.8mm에 달하였으나, 하천유량이 16,579m³/일로 적은 것은 6월중의 강우가 측정일후의 34.2mm와 측정일 15일전의 26.6mm가 2일간에 걸쳐 집중적으로 내려 측정된 유량이 적게 나타난 것으로 보인다.

나. 시간별 유량 변화

창능천에서 월별로 12회에 걸쳐 2~4시간 간격으로 유량을 측정하고 같은 시간대의 유량을 평균한 시간별 유량의 변화는 그림 7.4 및 표 7.2와 같다.

하루중에 최저유량을 나타내는 시간은 04:00시로 평균유량인 28,440m³/일 보다

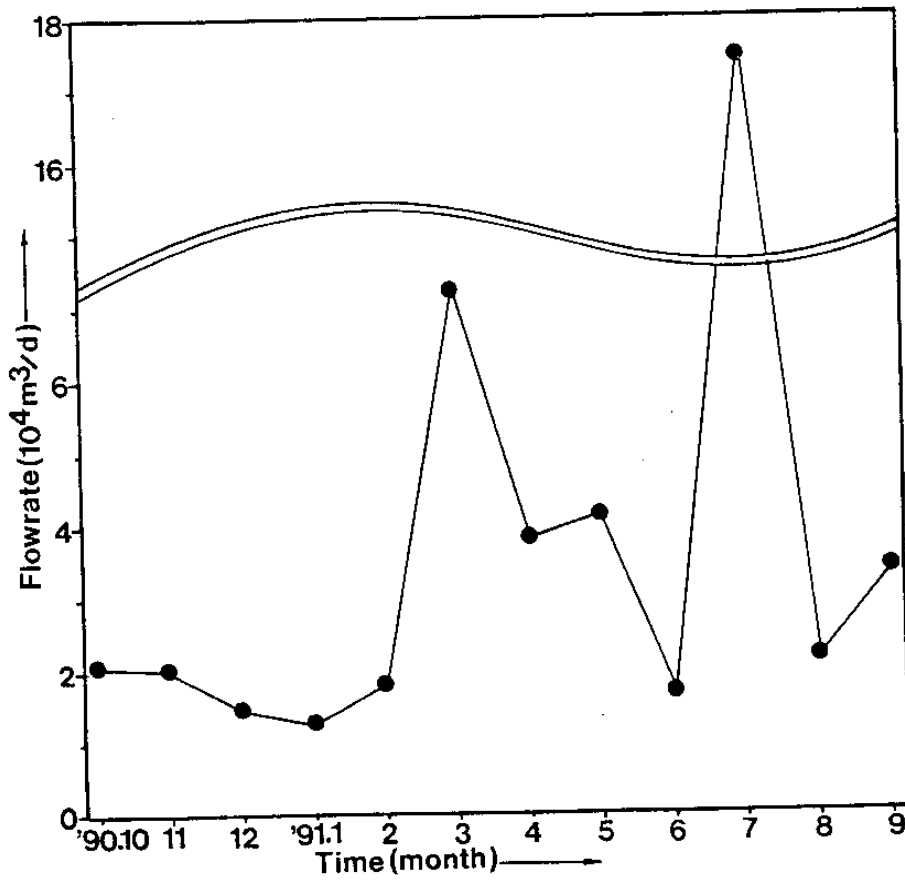


Fig. 7.3 Monthly Variations of Flowrate in the Changneung Stream Water

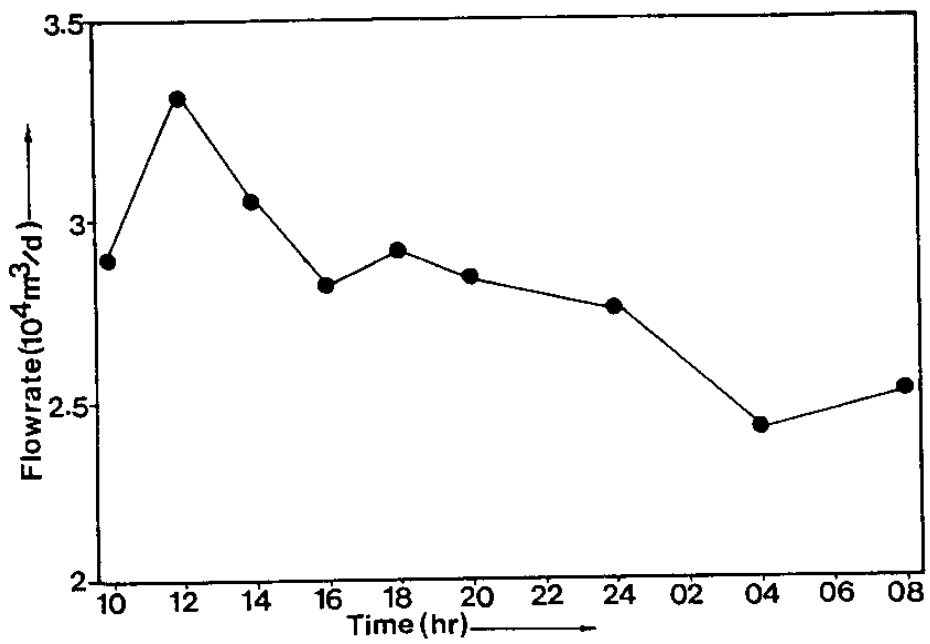


Fig. 7.4 Hourly Variations of Flowrate in the Changneung Stream Water

4,287m³/일이 적은 24,153m³/일을 나타내었다. 또한 12:00시 즉 정오에는 가장 많은 하천수가 흘러 33,568m³/일로 시간별 평균 유량보다 5,218m³/일이 많았다.

시간대별 최대유량과 최소유량의 차이인 9,415m³/일은 유역내 주거인구에 의한 하수, 공장에서 배출되는 폐수 및 농경지에서의 농업 배수의 변화에 기인되는 것으로 보인다.

하루를 주기로 하천 유량을 보면 사람이 생활하기 시작하여 생활하수가 측정지점에 유달되는 08:00부터 하천 유량이 증가하기 시작하여 12:00시에 최대치를 보이며 14:00시 이후에는 점차 감소추세를 보이다가 04:00에 최소유량을 나타내고 있는데, 이는 하천의 환경여건 즉 주거인구에 의한 하수와 공장에서 배출되는 폐수, 축산농가에서 배출되는 축산폐수 등 점오염원의 특성에 따라 다르게 된 것으로 추정된다.

3. 창능천의 오염물질 부하량 변화

창능천에서 매월 1회 2~4시간 간격으로 시료를 채취하고, 현장에서 유량을 측정하여 산정한 BOD, COD, TOC 및 SS의 부하량은 다음과 같다.

가. 월별 부하량 변화

유기성 오염물질의 지표별, 월별 부하량의 변화는 표 7.1 및 그림 7.5와 같다. BOD의 경우 갈수기이고 수온의 저하로 하천에서의 자정작용이 활발하지 않은 저온기간 즉 10월부터 3월 사이에는 900kg/일 이상의 부하량을 보이고 있으며 다른 기간에는 그 이하의 부하량을 보이고 있으나, 7월 중에 872kg/일로 많은 것은 이 기간에 많은 강우에 의해 비점오염원에서 유기성 오염물질이 유출되는데 기인되는 것으로 보인다.

BOD부하량의 경우 가장 적은 8월에 239kg/일이고 가장 많은 경우는 2월에 1,462kg/일을 나타내 최대치가 최저치의 6.1배를 나타내고 있으나, BOD농도의 경우는 18.3배, 하천 유량의 변화폭 즉 13배보다 적은 변화를 보이고 있다. 이는 유역

내 위치하는 BOD발생원이 대체로 한정되어 있어서 BOD부하량은 상대적으로 적게 변화하는 것으로 추정된다. 다른 유기성 오염물질의 지표인 COD, TOC의 경우에도 유사하였다.

그러나 부유물질 부하량의 경우 3월과 4월에 가장 많은 것은 이 기간에 기온이 상승하면서 하천수의 수온도 상승하여 하천수중의 미생물작용이 활발하게 이루어져 대사과정에서 생성된 가스가 침전된 퇴적물에 부착되어 함께 부상하여 스킴층을 형성하는데 기인되는 것으로 보인다.

7월에 부유물질부하량이 급격히 증가하는 것은 BOD부하량의 증가와 동일하게 487.8mm에 달하는 강우에 의해 유역내 산재된 비점오염원에서의 부유물질과 토사 등이 하천에 다량 유입되고, 하상의 침전물이 유속의 증가로 부상하는데 기인되는 것으로 보인다.

나. 시간별 부하량 변화

시간별 BOD 부하량의 변화를 보면 거의 유사한 경향을 보이고 있다. 그림 7.6 및 표 7.2와 같이 BOD부하량이 가장 적은 시간은 16:00시로 931kg/일 이었으며 가장 많은 시간은 12:00에 1,128kg/일을 나타내 변화폭이 매우 작아 불과 1.2배의 차이를 보이고 있는데 이는 하루중에는 특별한 환경의 변화가 없는 상태, 즉 폐수 처리장에서 정화된 폐수가 지속적으로 유입되고, 비점오염원에서의 오염물질도 일정하게 유입되고, 단지 생활하수의 변화에 따라서만 유입되는 오염물질 부하량이 변화하는 것으로 보인다.

부유물질의 경우 12:00와 14:00에 많은 부하량을 나타내는데 이는 가정에서의 설거지, 세탁, 청소 등이 주로 오전중에 이루어짐과 함께 기온의 상승으로 하천수의 수온이 상승하여 미생물의 작용이 활발하게 이루어지는데 기인되는 것으로 보인다.

제 2 절 유입하천수의 수질

오염하천수의 정화시설인 자갈층 토양 트렌치시설과 접촉 산화시설에서의 정화

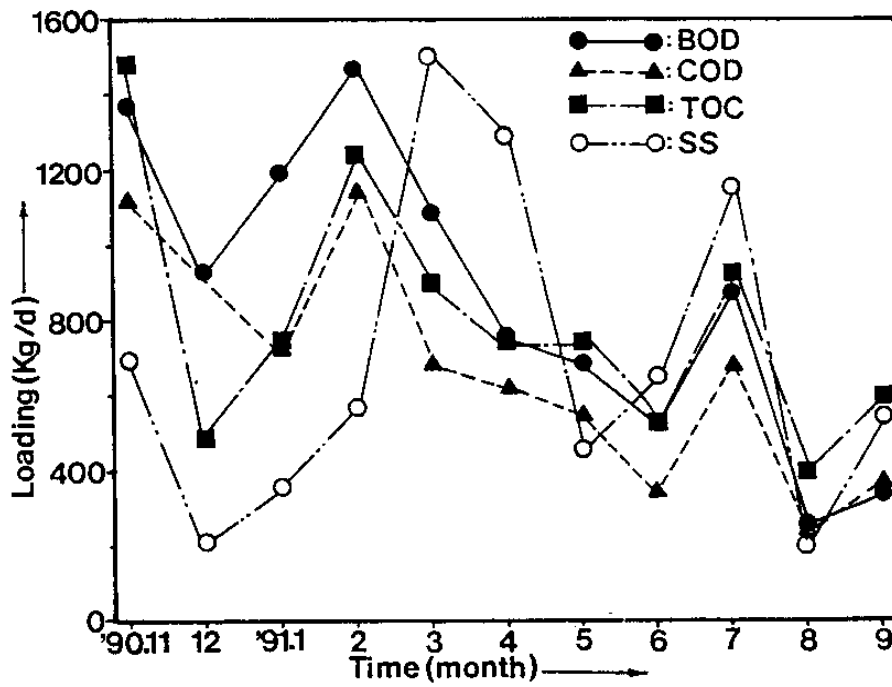


Fig. 7.5 Monthly Variations of BOD, COD, TOD and SS Loading of the Changneung Stream Water

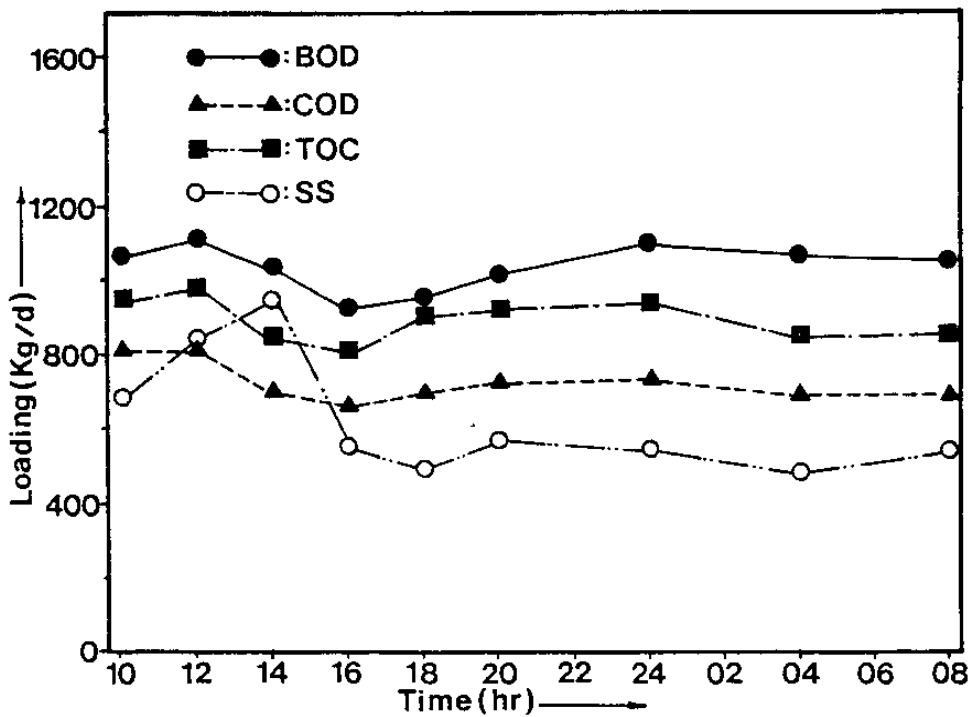


Fig. 7.6 Hourly Variations of BOD, COD, TOC and SS Loading of the Changneung Stream Water

효율을 검토하기 위해 정화대상인 창능천의 하천수가 정화시설에 유입되는 분배조에서 매주 월요일과 목요일 2차에 걸쳐 채수하여 분석한 오염물질의 농도를 월별로 평균하여 산출한 결과는 아래와 같으며, 측정 시료별 수질은 부록에 수록하였다.

1. 유기성 오염물질

창능천의 하천수 수질은 계절별로 큰 차이를 나타내는데, 이는 정화시설이 설치되어 있는 창능천의 덕수교 상류에서는 6개의 폐수를 배출하는 공장에서 자체처리 후 1,204m³/일의 폐수가 방류되고, 약 52,000명의 주거 인구에 의해 하수가 배출되는 여건하에서 오염물질 발생원에서의 배출량은 큰 차이가 없으나 계절별로 강수량에는 큰 차이가 있어서 유량의 차이에 따라 하천수질은 크게 변화하고 있다. 또한 유역내의 비점오염원 즉 산림지, 농경지 등에서의 오염물질 유입량도 강수빈도와 강수강도에 따라서 크게 변화하고 유역내 강수량의 대부분이 창능천에 유입됨에 따라서 하천에서의 희석율에 큰 차이가 발생하여 수질이 크게 변화하게 된다.

정화대상 하천수중 유기성 오염물질의 기본적인 지표가 되는 BOD, COD, TOC의 월별 변화추이는 표 7.3과 그림 7.7과 같다.

BOD, COD 및 TOC의 경우 유사한 경향을 나타내고 있는데, BOD의 경우 강수량이 감소하는 11월부터 농도가 증가하기 시작하여 강수량이 14.4mm인 1월에는 77.88mg/l이고 갈수기가 지속되는 2월에는 강수량이 28.4mm이나 BOD농도는 더욱 높아져 무려 86.02mg/l를 나타내고 있다.

Table 7.3 Monthly Concentrations of Pollutants of Influent, the Changneung Stream Water

Date	TOC	COD	BOD	DO	SS	Temp	pH
'90. 11	44.08	39.26	55.20	0.50	26.68	13.37	7.50
12	44.90	45.82	56.73	3.16	40.01	5.21	6.92
'91. 1	49.58	49.31	77.88	3.68	34.13	2.68	7.16
2	74.68	63.40	86.02	2.45	40.20	3.15	7.50
3	22.00	19.86	29.86	5.99	20.54	6.16	6.92
4	18.34	14.58	27.44	5.08	24.58	12.90	6.96
5	23.86	15.01	33.13	3.23	20.61	17.62	6.96
6	28.13	17.86	29.99	1.24	36.13	22.48	7.21
7	14.25	8.82	15.42	4.96	28.33	21.06	7.08
8	10.04	6.60	6.59	5.67	5.52	20.27	6.93
9	13.56	7.71	7.99	3.00	5.75	17.89	6.80
10	17.80	9.14	9.25	1.85	5.65	13.70	6.83
Avg.	30.10	24.78	36.29	3.40	24.01	13.04	7.06

Table 7.4 Monthly Concentrations of N and P Compounds of Influent, the Changneung Stream Water

Date	TKN	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	T-P	PO ₄ -P
'90. 11	7.81	4.50	0.41	1.67	2.07	0.35
12	9.17	4.19	0.17	2.36	1.10	0.21
'91. 1	13.26	5.46	0.18	2.47	1.05	0.26
2	19.15	4.13	0.28	2.15	2.30	0.88
3	5.57	2.47	0.12	1.82	1.02	0.08
4	5.12	1.53	0.19	1.42	1.60	0.06
5	8.52	3.34	0.22	0.66	0.81	0.21
6	13.29	3.40	0.03	0.19	0.86	0.45
7	6.33	2.18	0.11	1.28	1.02	0.24
8	3.22	0.79	0.36	2.25	0.57	0.14
9	4.63	2.00	0.33	2.02	0.41	0.25
10	5.68	4.65	0.30	0.61	0.43	0.25
Avg.	8.48	3.22	0.23	1.58	1.10	0.28

그러나 3월 이후에는 잦은 강우로 BOD농도가 낮아지기 시작하여 4월에는 27.44mg/l로 낮아지고, 강수량이 487.8mm를 기록한 7월에는 15.42mg/l를 나타내고, 이때 많은 강우에 의해 하상에 퇴적된 유기성 퇴적물이 씻겨 내려가 7월 이후에는 20mg/l 이하를, 특히 8월과 9월에는 10mg/l이하인 양질의 하천수를 나타내고 있으며, 연구기간중 연평균 BOD농도는 36.29mg/l를 나타내었다.

이러한 하천 수질의 변화는 우리나라의 강우 특성상 다른 하천에서도 유사한 경향을 나타내고 있다(환경처, 1990).

2. 영양염류

영양염류로 총킬달성 질소(TKN)와 총인(T-P)을 측정한 결과는 표 7.4 및 그림 7.8과 같으며 총킬달성 질소는 연구기간중 3.22mg/l~19.15mg/l의 농도를 나타내고 있으며 평균 8.48mg/l를 기록하고 있다.

월별 총킬달성 질소의 변화추이는 BOD농도와 같이 2월중에 가장 높은 농도를 나타내었으나 5~7월중에는 BOD농도와 달리 높은 농도를 나타내었는데, 이는 비점 오염원에서의 유출량 증가, 즉 산림지에서 퇴적된 낙엽 등이 분해되는 과정에서 생성된 질소화합물이 잦은 강우에 의해 유출되는데 기인되는 것으로 보인다.

특히 6월에는 13.29mg/l로 갈수기인 1월과 2월과 함께 매우 높은 농도를 나타내는 것은 농경지에서 농작물을 성장기에 대량으로 소비되는 질소질비료를 다량 살포하고, 이러한 비료성분이 강우에 의해 유실되어 하천에 유입됨에 따라 높은 농도를 나타내는 것으로 보인다.

그러나 총인을 보면 대체로 0.41~2.30mg/l를 나타내 갈수기에 대체로 낮은 농도를 보이고 전체적으로 큰 변화를 보이지 않는데 이는 인화합물의 배출원이 한정되어 있는 상태에서 강수량에 의해서만 영향을 받는데 기인되는 것으로 보인다.

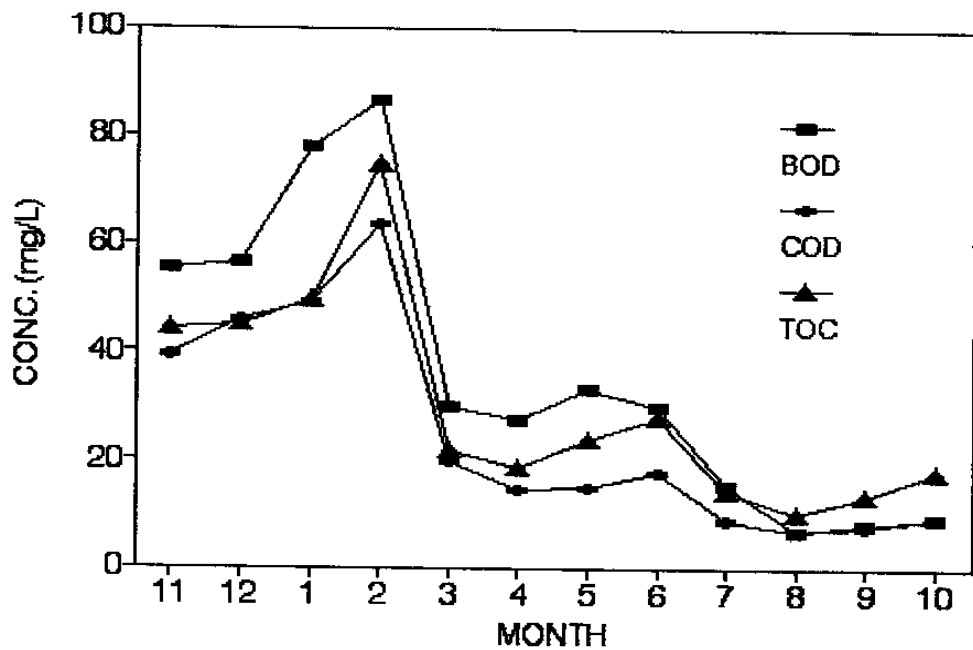


Fig. 7.7 BOD, COD and TOC Concentrations of Influent, the Changneung Stream Water

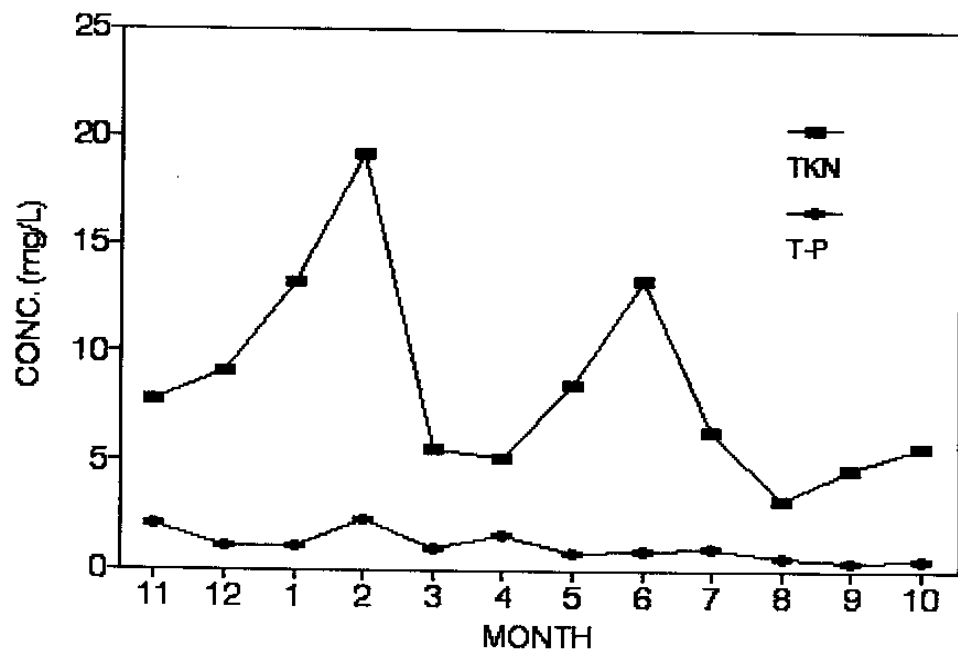


Fig. 7.8 TKN and T-P Concentrations of Influent, the Changneung Stream Water

3. 부유물질 및 용존산소

하천수중 부유물질의 농도는 표 7.3 및 그림 7.9와 같다. 하천수중 부유물질의 농도에 영향을 미치는 인자로는 강우에 의한 하천 유량증가로 부유물질의 농도가 희석되고, 강우에 의해 유역내에 산재된 부유물질이 유입되는 것과 하상에 퇴적된 침전물이 증가된 하천 유량에 의해 씻겨내려가거나 기온의 상승으로 하천수중 미생물의 작용으로 생성된 가스가 퇴적물에 부착되어 함께 부상하여 증가하는 등이 있다.

부유물질 농도의 연중 변화는 5.52~40.20mg/l이고, 연 평균으로는 24.01mg/l를 나타내었다. 11~2월사이에 부유물질 농도가 높은 것은 갈수기에 의한 영향, 4~7월사이에는 강우에 의해 유역내 부유물질의 유입과 더불어 수온의 상승으로 하천 퇴적물의 부상에 의한 것으로 보이며, 7월이후 부유물질 농도가 낮은 것은 7월의 집중강우에 의해 하천 퇴적물이 유실되어 퇴적물의 부상이 이루어지지 않은데 기인 되는 것으로 보인다.

용존산소의 경우 11월중에 가장 낮아 0.5mg/l를 나타내었으나 이후 대체로 1mg/l 이상을 나타내었으며 홍수기인 7~8월에는 4mg/l 이상을 나타내었다.

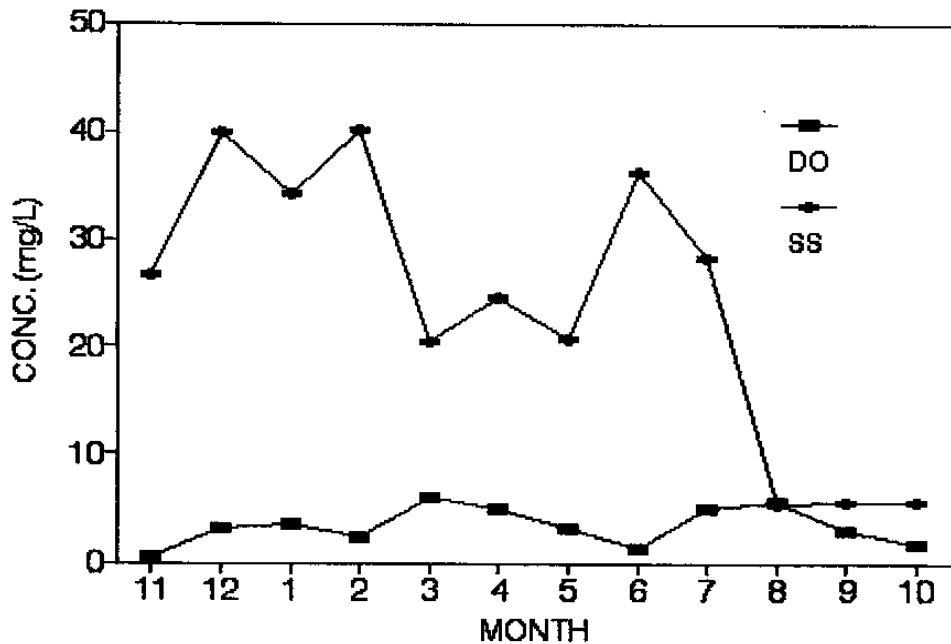


Fig. 7.9 DO and SS Concentrations of Influent, the Changneung Stream Water

4. 유기성 오염물질의 지표간 상관성

하천수중 유기성 오염물질의 대표적인 지표인 BOD와 COD 농도간에 상관관계를 보면 그림 7.10과 같이 91개의 측정치를 이용하여 회기분석 한 결과

$$Y=1.231X+6.088(r^2=0.873) \text{의}$$

$$Y=BOD(\text{mg/l})$$

$$X=COD(\text{mg/l})$$

상관식을 나타내어 창능천의 하천수중 BOD와 COD간에는 높은 상관성이 있는 것으로 나타났다.

또한 유기성 오염물질의 지표로 많이 이용되고 있는 총유기탄소 (TOC, Total Organic Carbon)의 경우에도 BOD와 COD간에서와 동일하게 91개의 측정치를 이용하여 회기분석한 결과 그림 7.11과 같이

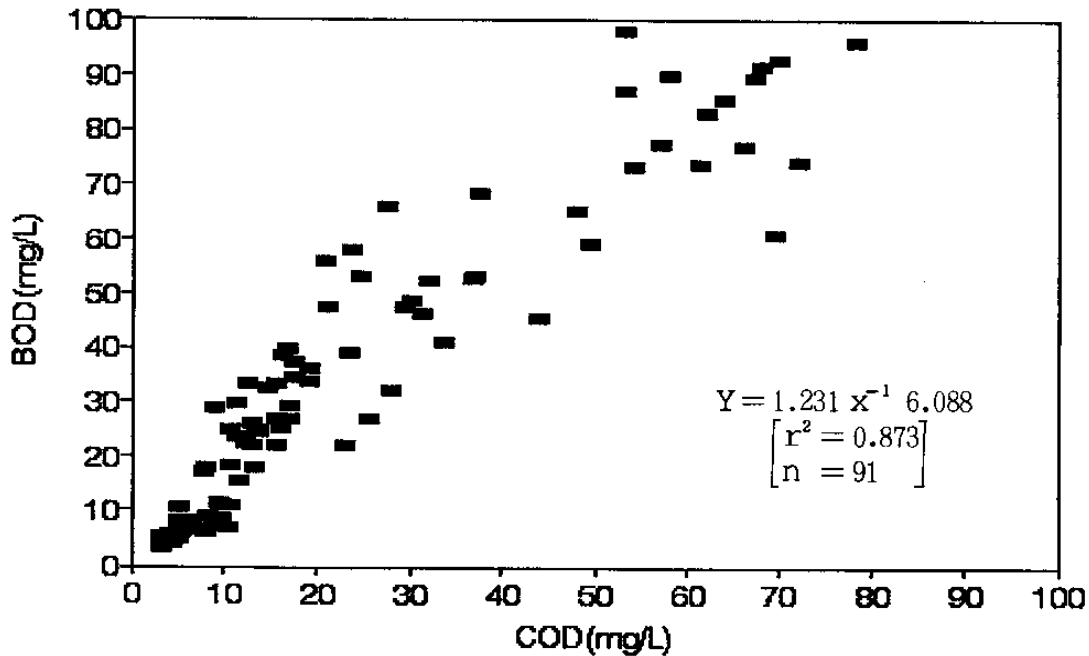


Fig. 7.10 Correlation between BOD and COD Concentrations in the Changneung Stream Water

$$Y = 1.237X - 0.141 \quad (r^2 = 0.866) \text{의}$$

Y ; BOD(mg/l)

X ; TOC(mg/l)

상관식을 나타내어 두오염지표간에 상관성이 높은 것으로 나타났다.

COD와 TOC간에도 측정된 91개의 자료를 이용하여 상관성을 검토하기 위해 회기 분석한 결과 그림 7.12와 같다

$$Y = 0.949X - 3.433 \quad (r^2 = 0.886) \text{의}$$

Y ; COD(mg/l)

X ; TOC(mg/l)

상관식을 나타내었다.

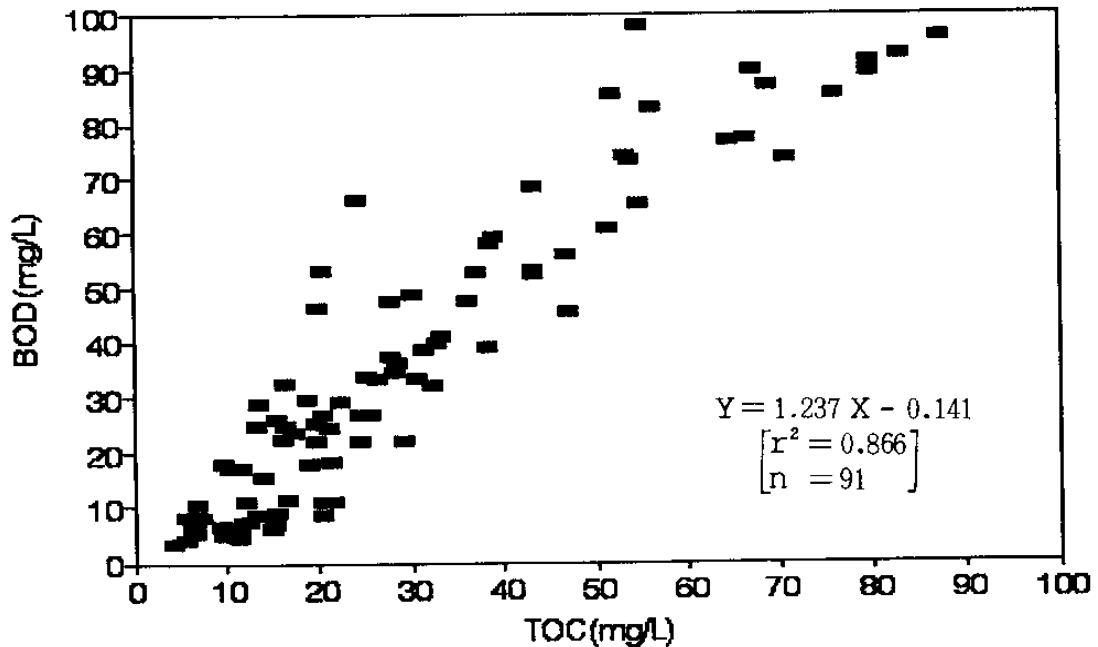


Fig. 7.11 Correlation between BOD and TOC Concentrations in the Changneung Stream Water

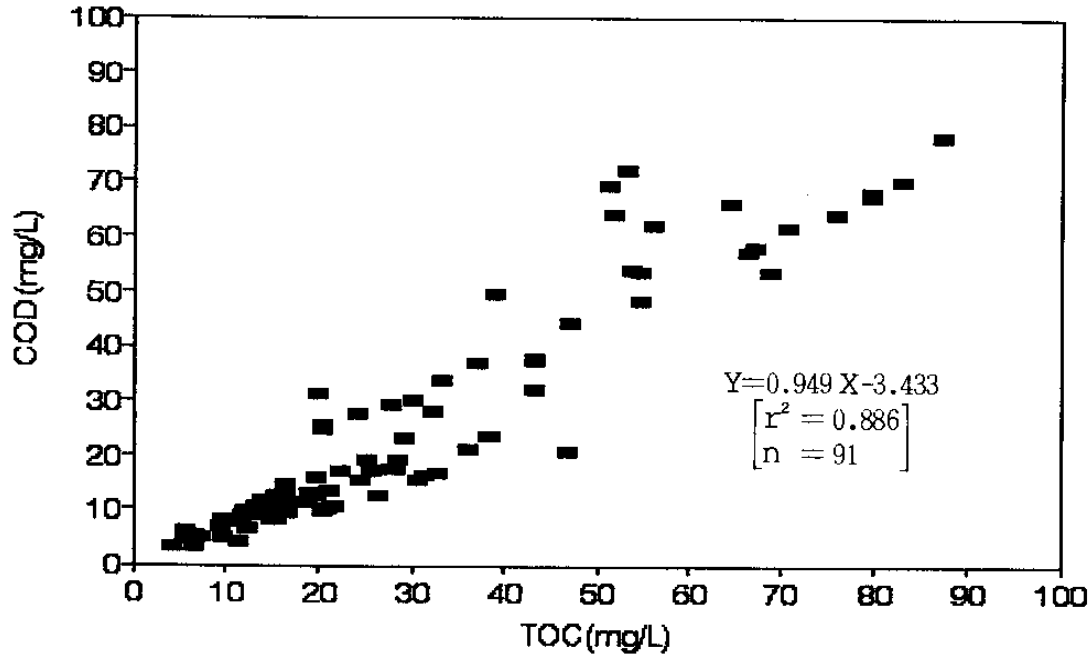


Fig. 7.12 Correlation between COD and TOC Concentrations in the Changneung Stream Water

제 3 절 토양트렌치시설에서의 정화능

토양은 유기물의 분해능, 인의 흡착능, 부유물질의 여과능을 갖고 있어서 오수처리에 이용되고 있는데 이러한 정화능은 유기물의 무기화와 탈질이라는 생물학적 작용과 인의 흡착, 여과 등 물리화학적 작용으로 구분된다.

생물학적 작용에 의한 정화는 토양중에 다량으로 서식하는 세균, 방선균, 원생동물 등은 미생물과 선충류, 빈모류 등의 후생동물의 작용에 의존하고 있으며, 물리화학적 작용에 의한 정화는 Ca, Mg, Al 등을 구성 성분으로 하는 토양 광물입자가 입체배열된 입단구조의 여과, 흡착 등의 기능에 의존하고 있다(稻森 등, 1984). 또한 식물의 뿌리에 의해서도 영양염류의 흡수가 이루어진다(楠本 등, 1987).

이러한 토양에 의한 오염물질의 제거능을 이용한 토양 트렌치시설은 오염하천수를 정화하기 위해 제5장 정화시설의 설치현황에서와 같이 현장시설로 10m인 트렌치를 4열 설치하여 각 2열을 1조로 2조를 설치하였다. 설치후 실제로 유입되는 하

천수량을 측정된 결과 트렌치 I 은 $1.7\text{m}^3/\text{일}$ ($85\text{l}/\text{트렌치m}\cdot\text{일}$), 트렌치 II 는 $2.3\text{m}^3/\text{일}$ ($115\text{l}/\text{트렌치m}\cdot\text{일}$)의 수리학적 부하를 나타내었다. 2종류의 트렌치간에 수리학적 부하율의 차이외에는 설치기준이나 운전관리인자 등을 동일하게 설치하고 운전하였다.

1. 유기성 오염물질

정화대상 하천수중 유기성 오염물질의 지표가 되는 BOD, COD, TOC의 농도는 표 7.3과 같이 연평균 각각 36.29mg/l , 24.78mg/l 및 30.10mg/l 를 나타내었다.

이러한 유기성 오염물질이 함유된 하천수가 토양트렌치에 유입되면 트렌치와 토양의 경계부근 상층부의 통기성 토양층에 서식하는 호기성 미생물에 의해 섭취·제거되고 나머지는 약 1m의 토양층을 통과하는 사이에 제거된다(稻森 등, 1988).

트렌치 1m당 하천수의 수리학적 부하를 $85\text{l}/\text{m}\cdot\text{일}$ 로 한 트렌치 I 과 $115\text{l}/\text{m}\cdot\text{일}$ 로 한 트렌치 II 에서 처리수의 BOD 농도는 그림 7.13과 표 7.5, 표 7.6과 같다.

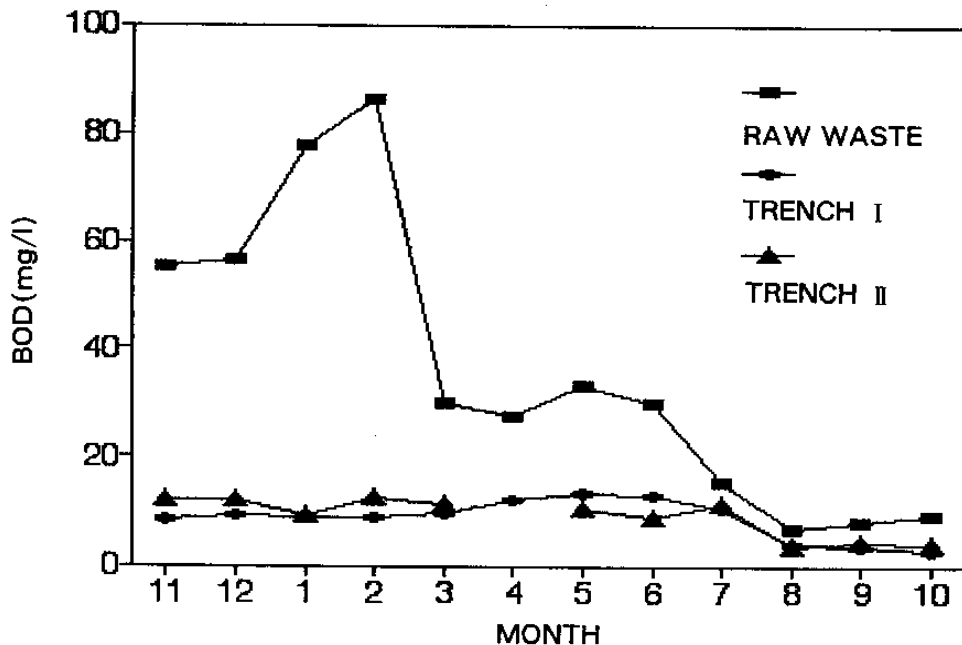


Fig. 7.13 Monthly Variations of Effluent BOD from Soil Trenches

2종류의 트렌치에서 처리대상 오염하천수는 동일하고 수리학적 부하가 1.35배인 트렌치 II 가 트렌치 I 에 비해 처리수의 BOD를 기준하였을 때 처리수 농도가 9.

Table 7.5 Monthly Concentrations of Effluent Pollutants from Soil Trench I

Date	TOC	COD	BOD	DO	SS	Temp	pH
'90.11	25.78	10.22	8.42	2.13	3.11	11.42	7.24
12	16.66	7.39	9.46	1.87	4.51	6.96	6.90
'91. 1	14.98	8.76	8.69	3.00	1.10	2.84	7.06
2	24.18	10.54	8.96	1.94	1.32	3.04	7.00
3	18.59	9.41	9.47	2.49	4.09	6.41	6.96
4	13.96	7.16	12.11	2.37	3.09	12.61	6.75
5	18.77	8.32	13.43	3.20	3.68	17.86	6.65
6	20.86	7.71	13.11	2.05	7.95	21.44	6.81
7	17.00	6.33	10.53	2.42	3.07	21.62	6.75
8	13.73	4.16	3.74	1.88	3.80	19.00	6.56
9	13.39	4.05	3.70	2.60	4.65	19.34	6.52
10	12.18	3.51	2.70	2.50	2.10	16.53	6.57
Avg	17.51	7.30	8.69	2.37	3.54	13.26	6.81

Table 7.6 Monthly Concentrations of Effluent Pollutants from Soil Trench II

Date	TOC	COD	BOD	DO	SS	Temp	pH
'90.11	23.46	11.21	12.08	1.88	5.19	11.09	7.12
12	17.83	8.54	12.11	2.31	3.73	6.89	6.89
'91. 1	17.11	9.74	9.39	2.80	4.20	2.86	7.04
2	28.60	12.23	12.60	2.03	3.13	3.18	7.08
3	19.70	10.58	11.42	2.38	4.82	6.03	6.98
4	deadlock period						
5	20.78	11.90	10.58	3.08	1.48	20.18	6.72
6	17.24	7.40	8.84	1.99	3.10	21.69	6.76
7	10.60	5.55	11.28	2.22	2.77	21.73	6.80
8	12.87	3.77	3.30	2.18	2.83	18.71	6.45
9	10.50	3.73	4.45	2.66	2.65	19.16	6.49
10	11.00	3.50	3.90	2.48	1.40	16.48	6.58
Avg	17.24	8.01	9.09	2.36	3.21	13.45	6.81

09mg/l로 트렌치 I 이 8.69mg/l 보다 0.4mg/l 정도 높았다.

전체적인 BOD의 제거효율면에서 보면 트렌치 I 의 76.05%, 트렌치 II 가 74.96%를 나타내었으나 처리수의 농도가 하천수의 농도와는 관계없이 거의 동일한 수준의 농도를 하고 있어서 토양트렌치에서의 제거능의 평가는 제거효율에 의한 것보다는 처리수질에 따라 평가하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

트렌치 I 과 트렌치 II 의 경우 처리수질이 유사하며, 전자를 예로 보면 월별처리수의 BOD 농도는 2.70mg/l~13.43mg/l의 범위를 나타내고 있는데, 토양트렌치 시설을 가동하기 시작한 11월에는 8.42mg/l의 BOD 농도를 나타내었다.

그러나 최저기온이 영하를 기록하기 시작한 12월부터 2월 사이와 최저기온이 0.7°C를 기록한 3월까지의 토양중, 특히 지표면에서 20~30cm의 통기성 토양층에 다량 서식하는 호기성 미생물의 활동이 지온저하의 영향으로 방해받아 처리수의 BOD 농도가 8.69~9.47mg/l로 다소 저하된 것으로 보인다.

또한 최저기온이 9°C를 기록한 4월부터 7월 사이에는 처리대상 하천수의 BOD 농도가 15.42~33.13mg/l로 개선되고 지온의 상승으로 미생물의 활동이 활발하여 처리수질이 개선된 것으로 추정하였다. 그러나 실제 처리수의 BOD 농도가 10.53~13.43mg/l로 다소 높은 농도를 나타내었다.

이것은 4월 이후 7월까지의 많은 강우(701.3mm, 월평균 175.3mm)에 의해 빗물이 트렌치내에 침투되어 트렌치시설의 수리학적 부하가 증가되고 체류시간이 단축되는 것에 기인되는 것으로 보이며, 지표면에서의 증발량이나 지표에 식재된 식물체에 의한 증산량의 감소도 정화에 악영향을 초래한 것으로 사료된다.

8월이후 처리수의 BOD 농도가 2.70~3.74mg/l로 급격하게 개선된 것은 7월의 집중강우에 의해 하천바닥에 침전된 퇴적물이 씻겨내려가 하천수의 BOD 농도가 6.59~9.25mg/l로 개선되었고, 유량의 증가로 오염물질이 희석되었으며, 기온의 상승에 따라 토양중 미생물의 작용이 활발하게 이루어졌고, 또한 이 기간에는 강우량이 많지 않아서 트렌치내의 수리학적 부하도 크지 않은데 기인된 것으로 보인다.

실험기간중 3월이후 하천수의 BOD 농도는 40mg/l를 유지하였으며, 11월부터 2월까지는 55.2~86.06mg/l를 나타내었으나, 처리수의 BOD 농도는 큰 변화를 나타내지 않아서 오염이 심화된 하천수의 정화기술로 토양트렌치법의 활용이 가능한 것으로 보인다.

실제로 토양트렌치 시설은 미국의 경우 단독주택이나 소규모 주거지에서 오수를 정화하는 시설로 보급되고 있으며(石崎, 1985, 楠本, 1987, U.S.EPA, 1980), 일본의 경우 부락단위오수처리시설(石崎, 1988, 田中등, 1985, 木材등, 1986), 탈질, 탈린시설(松本등, 1985), 축산폐수처리시설(原田, 1984) 등에 활용되고 있으며 지방자치단체에 따라서는 시설의 설치시 보조금을 교부하고 있다(吉田, 1982).

토양트렌치시설의 경우 겨울철에 토양층의 동결로 인해 토양미생물의 활성이 저해되고, 모세관력에 의한 오수의 통기성토양층내로의 이동, 공기중 산소의 통기성토양내 공급 등이 억제되어 처리효율에 나쁜 영향을 초래할 것으로 추정되었다.

그래서 동절기 토양층의 동결을 방지하기 위해서 토양트렌치시설을 설치시 지표면에서 15~30cm는 되메우기를 하고 있으며, 이러한 경우 트렌치시설은 연속식으로 가동시 동결심도가 1.5m인 지역에서도 지표면이 동결되지 않는 것으로 알려져 있다(U.S.EPA, 1980).

트렌치 II의 경우는 수리학적 부하가 트렌치 I보다 약 1.35배 커서 처리수의 BOD 농도도 휴지기간 즉 4월 이전 5개월간 트렌치 I에서는 9.00mg/l인 반면 트렌치 II는 11.52mg/l를 나타내어 2.52mg/l의 차이를 나타내었다.

그리하여 트렌치 II는 토양의 막힘현상에 의한 처리능의 저하를 방지하기위해 4월에 휴지기간을 1개월 둔 후에는 트렌치 II의 처리수의 수질이 개선되어 BOD 농도의 경우 처리수질이 비교적 좋지 않은 5~7월사이에 트렌치 I에서는 12.36mg/l였으나 트렌치 II에서는 10.23mg/l로 2.13mg/l의 개선효과를 나타내었다.

실제에 있어서 토양처리시 가장 문제시되는 막힘 현상(Jenessen 등, 1988, Laak, 1970, 1986)에 의해 오수의 침투속도가 저하되어 처리효율이 저하되는 것을 방지하

여 안정한 수질을 얻기위해서 시설용량을 처리수량의 2배를 설치하여 6개월 간격으로 교대로 사용하여 처리능을 유지시키고 있다(毛管淨化硏究會, 稻森 등, 1987).

그러나 본 연구시설에서는 유입하천수의 오염도가 낮고 미생물의 증식량이 상대적으로 적어서 휴지기간을 1개월 두었을 경우에도 처리수의 수질이 개선된 것으로 보인다.

본 연구시설의 운전중에도 토양트렌치시설은 동결되지 않았으며, 하천의 뚝에서 취수하는 취수관은 혹한기에 동결되어서 실시설로 이용시 취수관의 관리가 중요한 것으로 사료된다.

토양트렌치시설 I 과 II 에 있어서 유기성 오염물질의 다른 지표가 되는 COD와 TOC의 원수 및 처리수의 농도는 표 7.3, 표 7.4 및 표 7.5, 그림 7.14, 그림 7.15와 같다.

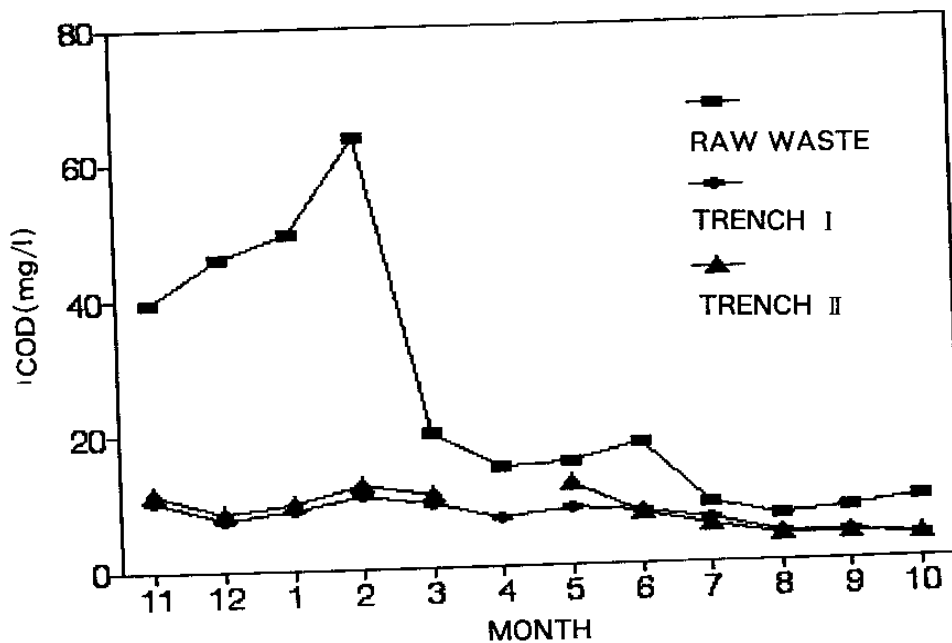


Fig. 7.14 Monthly Variations of Effluent COD from Soil Trenches

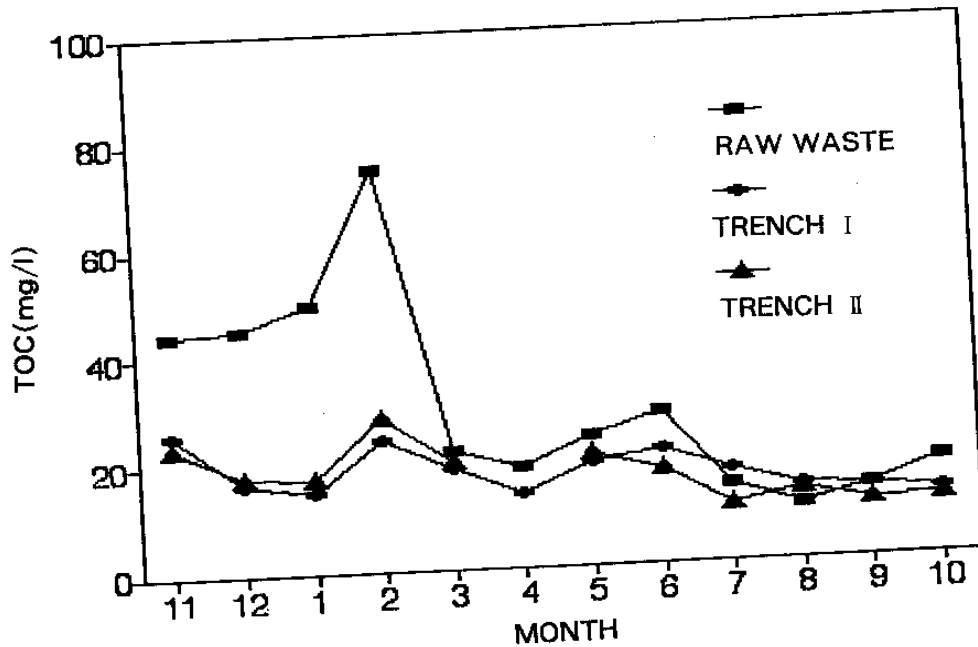


Fig. 7.15 Monthly Variations of Effluent TOC from Soil Trenches

처리대상 하천수의 COD 평균 농도가 24.78mg/l로 BOD 농도 36.29mg/l 보다 낮은 수치를 나타내고 있으며, 처리수의 경우에도 트렌치 I의 경우 BOD 농도가 8.69mg/l였고, COD는 7.30mg/l였으며, 반면에 트렌치 II의 경우는 각각 9.09mg/l와 8.01mg/l를 나타내었다.

실험기간중 월별 처리수의 COD 농도는 BOD와 유사한 경향을 나타내었는데 이는 하천유역에서의 오염물질배출원이 한정되어 있어서 하천수중 오염물질의 구성이 대체로 일정하게 유지되는 데에 기인되는 것으로 보이며, 월별 처리수질에 다소간의 차이가 나타나는 것은 BOD의 경우에서와 동일한 것으로 보인다.

TOC의 경우 처리대상 하천수의 연평균 농도가 30.10mg/l를 나타내었으며 처리수의 경우에는 트렌치 I이 17.51mg/l이고 트렌치 II가 17.24mg/l를 나타내었다.

2. 부유물질

부유물질은 토양중 여러 크기의 공극에 의해 체별(篩別) 또는 흡착 등에 의해 제거되는데(相田, 1984), 하천수중의 부유물질농도는 강수량, 강수강도, 강수에 의한 하천유량증가에 기인한 희석, 기온의 변화에 따른 하천퇴적물이 부패하는 과정에서 생성된 가스와 함께 부상하는 등 여러가지 인자에 의해서 영향을 받게 된다.

토양트렌치에 유입되는 하천수중 부유물질의 농도는 표 7.3에 나타냈으며 처리수중 부유물질(SS) 농도는 표 7.5 및 그림 7.16에 나타낸바와 같이 연평균으로 각각 3.54mg/l와 3.21mg/l를 나타내어 상당히 양호한 결과를 얻었다.

시설운전기간중 4월 한달간은 휴지기간으로 설정한 트렌치 II의 경우, 처리수중의 부유물질농도는 휴지기간전 즉 11월부터 3월까지 4.21mg/l로 트렌치 I 경우의 부유물질농도 2.83mg/l에 비해 상당히 높은 농도를 나타내었으나 휴지기간후에는 트렌치 II가 2.37mg/l로 트렌치 I의 4.21mg/l보다 수질이 크게 개선되는 것으로 보아 휴지에 의한 부유물질의 처리능이 상당히 향상됨을 알 수 있다.

특히 휴지기간후 3개월은 평균 부유물질의 농도가 2.45mg/l를 나타내어 동기간중 트렌치 I의 4.90mg/l에 비해 크게 향상된 수질을 나타내었다.

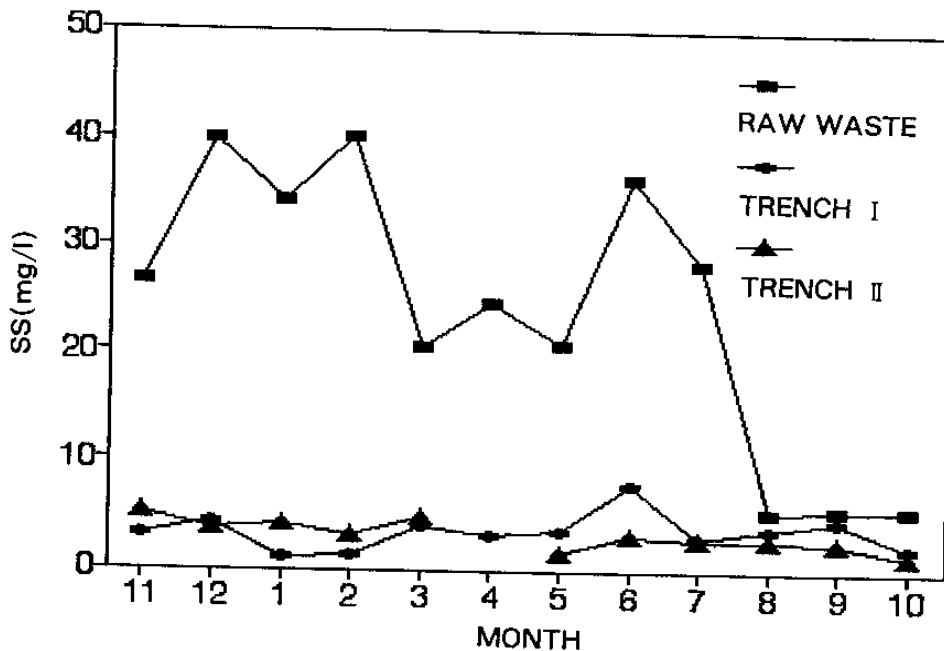
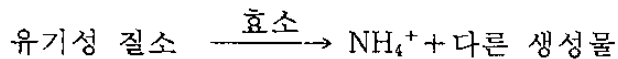


Fig. 7.16. Monthly Variations of Effluent SS from Soil Trenches

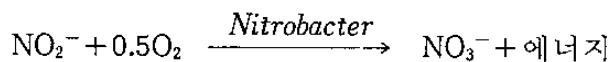
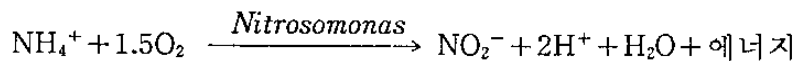
3. 질소

토양내에 유입된 질소는 무기화, 질산화, 흡착, 이온교환, 고정화, 생물학적 섭취 및 탈질화가 이루어지는데, 이들 작용의 개요는 아래와 같다(Laak, 1986).

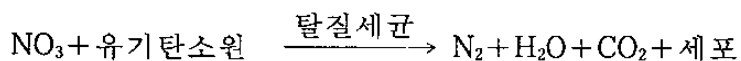
- 무기화는 혐기 또는 호기성 조건하에서 토양미생물에 의해 이루어진다.



- 질산화는 호기성조건하에서 적어도 2단계를 거쳐 질산성 질소를 만드는데, 질산화세균이 이산화탄소를 탄소원으로 암모니아를 에너지원으로 이용하며 호기성 상태의 토양에서 이루어진다.



- 암모늄이온의 흡착은 혐기성 상태에서 투수속도가 느린 유기성 콜로이드나 음(-)으로 하전된 점토에서 이루어 지는데 흡착능은 사질토에서 2mgN/100g, 미세토양에서는 100mgN/100g으로, 토질에 따라 변화하며 성장기의 식물체에 의해서도 흡수된다.
- 고정은 흡착과 반대로 상대적으로 안정하고, 식물에 의한 흡수에 저항성이며 재폭기에 의해 질산화되며, 진흙과 토양의 유기성분내에서 이루어진다.
- 암모니아의 휘발은 pH 11 이상에서 이루어져 실제 토양에서는 거의 이루어 지지 않아 휘발을 기대하기는 어렵다.
- 식물은 토양내 상당량의 질소를 제거가능한데, 식물의 종류에 따라 다르나 250kg/ha·년 또는 그 이상일 경우도 있다.
- 탈질작용은 질산성질소를 불활성의 질소가스로 환원하여 질소순환사이클을 마감한다.



세균은 무산소 상태에서 전자수용체로 질산성 질소를 이용하는데 최적반응을 위해서는 pH와 온도가 각각 5.5와 10°C 이상이어야 하며, *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Bacillus*, *Micrococcus* 등이 탈질반응을 일으키는 미생물로 알려져 있다.

위와 같은 여러가지 반응이 토양내에서 이루어지나 토양트렌치법은 호기성 상태에서 주로 이루어져 탈질에 의한 질소의 제거는 어려우며, 토양흡착에 의한 정화도 흡착능이 적어 토양처리에 의해 생성된 질산성 질소의 제거는 주로 식물에 의해 흡수되는 것 외에는 기대하기 어렵다.

처리대상 하천수중 질소화합물의 농도는 표 7.4, 토양트렌치 I 과 트렌치 II 에서의 처리수 농도는 각각 표 7.7, 표 7.8과 같으며, 트렌치별 처리수의 월별 총킬달성 질소(TKN)의 농도변화는 그림 7.17과 같다.

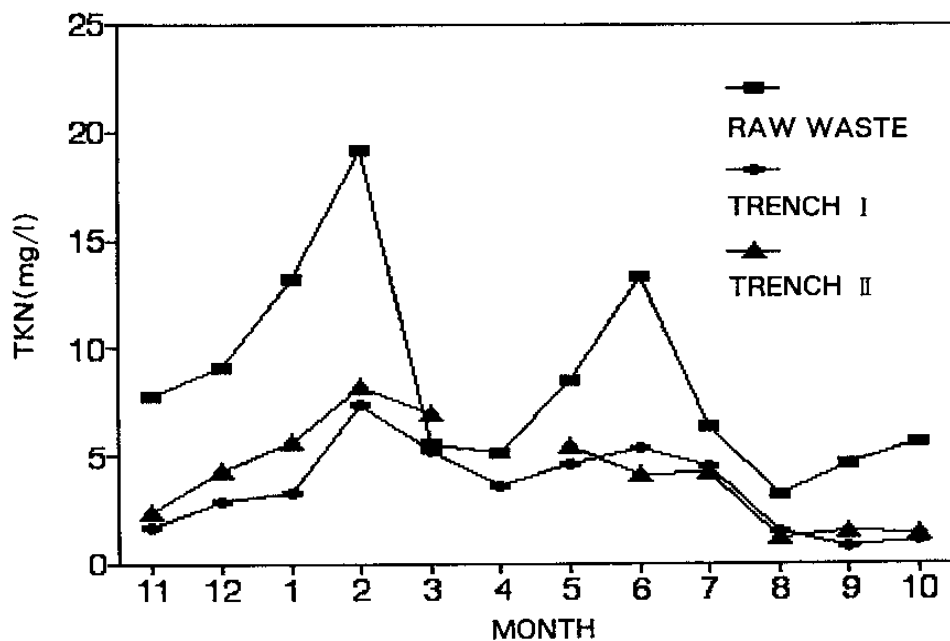


Fig. 7.17 Monthly Variations of Effluent TKN from Soil Trenches

Table 7.7 Monthly Concentrations of N and P Compounds in Effluent from Soil Trench I

Date	TKN	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	T-P	PO ₄ -P
'90.11	1.73	1.22	0.18	5.58	0.68	0.04
12	2.93	1.37	0.07	5.73	0.14	0.02
'91. 1	3.30	1.13	0.03	3.86	0.10	0.01
2	7.38	1.98	0.13	1.68	0.15	0.00
3	5.29	1.89	0.10	2.80	0.22	0.02
4	3.62	1.37	0.13	5.14	0.12	0.05
5	4.63	2.25	0.22	4.92	0.43	0.11
6	5.40	3.27	0.26	4.09	0.40	0.13
7	4.56	2.59	0.16	1.88	0.45	0.16
8	1.46	0.81	0.08	2.23	0.15	0.05
9	0.75	0.28	0.03	1.73	0.13	0.06
10	1.05	0.72	0.05	1.87	0.10	0.04
Avg	3.51	1.57	0.12	3.46	0.26	0.06

Table 7.8 Monthly Concentrations of N and P Compounds in Effluent from Soil Trench II

Date	TKN	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	T-P	PO ₄ -P
'90.11	2.42	1.79	0.19	5.37	0.48	0.06
12	4.29	2.64	0.12	3.39	0.29	0.04
'91. 1	5.65	1.56	0.06	2.84	0.15	0.02
2	8.28	3.00	0.16	2.04	0.33	0.01
3	7.03	2.37	0.06	1.46	0.49	0.02
4			deadlock period			
5	5.44	2.05	0.36	4.41	0.30	0.16
6	4.15	2.12	0.30	4.51	0.24	0.06
7	4.22	1.62	0.12	1.92	0.72	0.20
8	1.23	0.59	0.03	2.47	0.16	0.05
9	1.47	0.45	0.03	1.71	0.09	0.05
10	1.34	1.05	0.04	2.05	0.08	0.04
Avg	4.14	1.75	0.13	2.92	0.30	0.06

하천수중 TKN의 농도는 표 7.4와 같이 연평균 8.48mg/l였으며 암모니아성 질소, 아질산성 질소 및 질산성 질소는 각각 3.22mg/l, 0.23mg/l 및 1.58mg/l를 나타내었다.

토양트렌치 I에서의 처리수를 보면 TKN 농도가 연평균 3.51mg/l로 58.61%의 처리효율을 나타내었고, 월별 수질변화를 보면 하천수의 수질변화에 따라 상응하게 변화하였으며 대체로 11월부터 3월사이에는 하천수의 TKN이 10.99mg/l, 처리수의 TKN이 4.13mg/l로 제거율이 62.42%인 반면 4월부터 10월까지의 45.06%를 나타내었다.

이는 질산화 미생물의 최적온도가 28°C이고 10°C 정도에서는 질산화가 크게 저해받으며, 탈질균의 최적온도가 30°C 정도이고 30°C를 기준하였을 때 20°C에서는 탈질속도가 2~4배 지연되고 10°C 이하에서는 현저하게 지연되는 것으로 보고되고 있다. (楠本 등, 1987), 11월부터 3월까지의 평균기온이 29°C였음을 감안하면 이 기간내에 미생물에 의한 TKN의 제거보다는 토양 또는 토양유기물에 의한 흡착에 의해 TKN이 제거되는 것으로 보인다.

4월 이후에는 기온의 상승과 함께 토양미생물의 작용과 지표면에 심은 잔디에 의해 흡수제거되는 것으로 보인다.

질소화합물 즉 암모니아성 질소($\text{NH}_4\text{-N}$), 아질산성 질소($\text{NO}_2\text{-N}$), 질산성 질소($\text{NO}_3\text{-N}$)의 하천수중 농도가 각각 3.22mg/l, 0.23mg/l 및 1.58mg/l인데, 처리수의 경우에는 1.57 mg/l, 0.12mg/l 및 3.46mg/l로 $\text{NH}_4\text{-N}$ 과 $\text{NO}_2\text{-N}$ 은 처리수중에서 감소한 반면 $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 증가한 것은 질산화균에 의해 질산화가 활발하게 이루어졌는데 기인되는 것으로 보인다.

특히 5~7월 사이에 트렌치 I에서의 처리수중 TKN이 전월에 비해서 크게 변화하지 않았으나 $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 이전의 6개월 평균 1.49mg/l에서 2.70mg/l로 크게 증가하고, 4~6월에는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 도 크게 증가하였는데, 이는 토양중의 유기성 콜로이드나 음(-)으로 하전된 점토에 흡착되었던 $\text{NH}_4\text{-N}$ 이 이 기간 즉 5~7월 사이 월평균

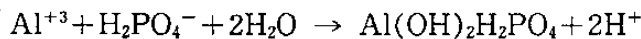
217.6mm의 강수량에 의해 용출되는 것으로 보인다(新井 등, 1987).

4. 인

토양에서 인의 흡착능은 토양-물의 농도, pH, 토성, 온도 및 접촉시간에 따라 다르는데 인산염의 흡착은 토양에 따라 달라 모래의 경우 1~100mg P/100g soil이고, 점토질의 경우에는 100mg P/100g soil까지 가능하다(Laak, 1986).

흡착능은 6개월 이내에 흡착과정과 동시에 재생되는데, 이 기간중에 인산염은 철, 알루미늄, 칼슘과 결합하여 보다 불용성인 염으로 된다.

즉 불용성염인 $Fe(OH)_3PO_4$, $Ca[AlH_2(PO_4)_2]_2$ 를 형성하는데 Al과의 반응은 아래와 같다.



생성된 $Al(OH)_2H_2PO_4$ 의 용해도적은 10^{-28} 이고, $Fe(OH)_2H_2PO_4$ 의 용해도적은 $10^{-32.5}$ 로 매우 작아 극히 불용성인 염을 형성하고, 다른 음이온에 의해서 교환되지도 않는다(國松, 1985).

이와 같은 반응과정에서 철, 알루미늄 및 칼슘이 모두 소비되면 이러한 원소가 다시 토양에서 토양용액으로 재용해된다. 이러한 방법으로 흡착위치가 재생성되면서 인은 토양내에서 멀리 이동하지 않게 된다(Laak, 1986).

정화대상 하천수중 총인(T-P)와 인산성 인(PO_4-P)의 농도는 표 7.4와 같이 각각 1.10mg/l와 0.28mg/l를 나타내었으며, 처리수의 경우 트렌치 I에서는 표 7.7과 같이 각각 0.26mg/l와 0.06mg/l를 나타내어 처리효율이 T-P가 76.4%, PO_4-P 가 78.6%를 나타내었다.

또한 트렌치 II의 경우에도 처리수중 T-P와 PO_4-P 의 변화는 트렌치 I과 유사한 경향을 나타내어 표 7.8과 같이 각각 0.30mg/l와 0.06mg/l로 처리효율은 전자가 72.7%이고 후자는 78.6%를 나타내 T-P의 경우 트렌치 I에 비해 3.7%의 처리효율이 저하되었다.

이는 트렌치 II의 경우 트렌치 I에 비해 수리학적 부하가 큰 데 원인이 있는 것으로 판단되며 T-P의 처리수중 농도는 그림 7.18과 같다.

토양처리시 인의 흡착능은 토질 및 접촉시간 등에 따라서 다르게 되나 토양자체의 흡착능에는 한계가 있으나 본 연구에서는 운전기간이 1년이고, 하천수중의 인농도가 일반 오수에 비해 낮아서 사용토양의 흡착능 이내로 유입되어 처리효율도 대체로 양호한 것으로 보인다.

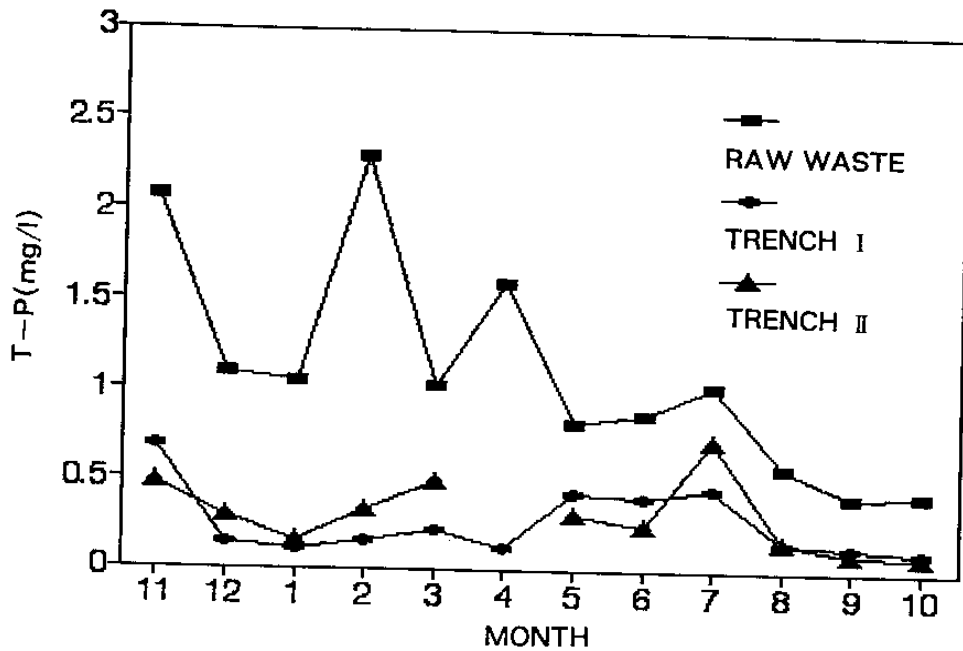


Fig. 7.18 Monthly Variations of Effluent T-P from Soil Trenches

제 4 절 자갈층 접촉산화시설에서의 정화능

자갈층 접촉산화법은 하천의 하상에는 한 층의 생물막만 형성되어 있으므로 하천수질이 자연적으로 정화되기 위해서는 긴 유하거리가 필요하게 된다. 이를 보완하는 방법으로 자갈을 충전한 층을 만들어 부착생물막을 여러 층으로 하여 자갈의 표

면에 생성된 부착생물막에 의해 자정능을 향상시키는 것을 목적으로 하고 있다. 즉 단위면적당 부착하는 생물막량을 증가시켜 하천수를 정화하는 것이다.

이와같은 생물량의 증가 현상은 하천에서 흐르는 물의 1cm^3 당 포함되어 있는 세균의 수는 1,000개인데 반해서, 하천의 자갈에 부착되어 있는 세균의 수가 자갈의 표면 1cm^2 당 1,000만개 이상으로 수중 미생물의 1만배 이상인 것으로 보고되고 있으며, 오염이 심화된 하천수중에서는 1cm^2 당 표면에 부착된 세균이 1,000배 이상 증가하여 100억개 이상이 되는 경우도 기록되어 있다(有水, 1980).

이와 같이 생물막량을 증가시켜 오염하천수를 정화하기위한 자갈층 접촉 산화시설은 제5장 정화시설의 설치현황에서와 같이 자갈층의 폭기식과 무폭기식의 2조를 설치·운전하였다.

자갈층내에서 하천수의 체류시간은 5.8시간이었으며 폭기식에서는 50l/분의 공기를 2시간 간격으로 1시간 동안 공급해 준 것 외에는 2조간의 운전조건은 동일하였다.

1. 유기성 오염물질

하천수중 유기성 오염물질의 지표가 되는 BOD, COD, TOC의 농도는 표 7.3과 같이 연평균 각각 36.29mg/l , 24.78mg/l 및 30.10mg/l 였다.

이러한 하천수가 자갈층 접촉산화시설에 유입되면 자갈의 표면에 생성된 생물막에 접촉되어 하천수중의 유기물이 흡착된다. 이것은 막의 표면에 가까운 곳에 하천수중의 용존산소가 공급되는데 그 농도는 표면일수록 높아지고, 산소의 농도에 비례하여 호기성 상태가 되어 활동하는 호기성 균의 수나 종류가 증가되어 산소의 소비량도 증가되며, 유기성 오염물질의 분해도 활발하게 된다(有水, 1987, 長内, 1990).

이와 같은 과정을 통해서 자갈층 접촉산화시설에서 정화된 하천수의 BOD 농도는 폭기식의 경우 표 7.9 무폭기식은 표 7.10 및 그림 7.19와 같다.

Table 7.9 Monthly Concentrations of Effluent Pollutants from Aerated Gravel Contact Oxidation Process

Date	TOC	COD	BOD	DO	SS	Temp	pH
'90.11	41.72	19.81	26.57	3.72	9.70	10.96	7.24
12	30.27	19.17	27.56	8.11	10.70	5.33	7.23
'91. 1	31.56	25.22	33.04	9.14	15.13	2.65	7.28
2	53.78	35.54	32.42	4.92	12.26	4.50	7.34
3	19.21	13.53	16.51	6.01	7.40	7.26	7.12
4	14.07	10.81	13.24	5.38	5.56	13.59	7.09
5	14.97	10.46	14.07	3.84	3.91	11.70	7.11
6	12.55	10.16	6.99	6.00	3.30	23.15	7.48
7	7.17	5.12	5.77	6.43	3.40	21.12	7.14
8	5.84	4.49	3.08	7.81	1.33	19.38	7.21
9	7.96	5.13	3.51	6.29	1.50	18.86	7.00
10	11.38	6.11	4.20	3.88	2.30	15.48	6.95
Avg	20.87	13.80	15.58	5.96	6.37	12.83	7.18

Table 7.10 Monthly Concentrations of Effluent Pollutants from Non - Aerated Gravel Contact Oxidation Process

Date	TOC	COD	BOD	DO	SS	Temp	pH
'90.11	46.78	32.98	42.34	0.37	15.91	11.01	7.21
12	39.46	33.09	50.00	1.00	25.33	5.67	7.02
'91. 1	37.09	35.34	58.41	0.63	15.88	2.74	7.08
2	59.80	53.44	52.94	0.62	17.40	3.44	7.20
3	22.40	18.26	27.93	0.93	7.01	7.83	6.98
4	19.49	15.28	21.57	1.12	6.08	13.38	6.99
5	20.26	15.97	22.10	1.63	6.07	17.42	7.26
6	19.30	13.76	11.94	1.15	5.60	23.30	7.57
7	9.18	6.68	7.55	1.90	4.62	21.10	7.14
8	7.61	5.58	3.67	1.04	2.31	19.40	6.97
9	9.37	5.88	4.59	0.91	1.90	18.53	6.87
10	12.85	6.17	3.65	0.80	1.70	15.50	6.93
Avg	25.30	20.20	25.56	1.01	9.15	13.28	7.10

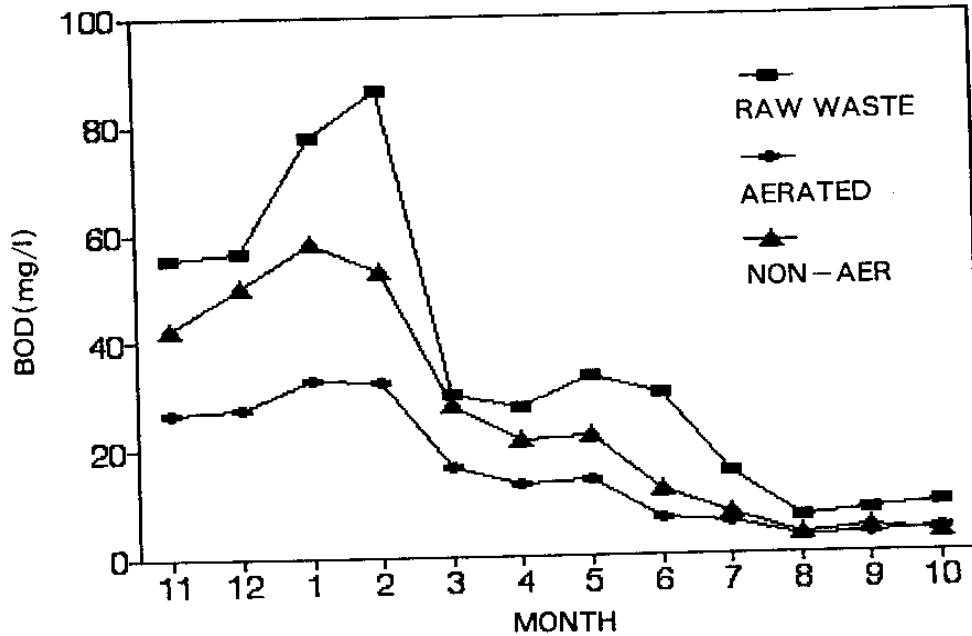


Fig. 7.19 Monthly Variations of Effluent BOD from Aerated and Non-Aerated Gravel Contact Oxidation Processes

폭기식 자갈층 접촉산화시설의 경우 처리수의 용존산소는 평균 5.96mg/l로 유지되었으며 무폭기식은 1.01mg/l가 유지되었다. 폭기식 자갈층 접촉산화시설에서 처리수의 연평균 BOD 농도는 15.58mg/l였고 무폭기식의 경우 25.56mg/l로 처리대상 하천수의 BOD 농도를 기준하였을 때 폭기에 의해 제거율이 27.5% 증가하였다.

폭기식 자갈층 접촉산화시설에서의 처리수 농도는 토양트렌치시설과는 반대로 대체로 유입 하천수의 농도에 비례하여 정화되고 있으며, 유입수의 농도가 가장 높은 2월에는 86.02mg/l였으나 처리수는 32.42mg/l로 62.3%의 제거효율을, BOD 농도가 가장 낮은 8월의 경우에는 유입수의 BOD가 6.59mg/l이나 처리수는 3.08mg/l로 53.3%의 제거율을 나타내었으며 연평균 57.07%를 나타내어 유입수의 농도에 관계없이 비슷한 처리효율을 나타내었다.

그러나 무폭기식의 경우 가장 오염이 심화되었던 2월의 월평균 처리수농도가 52.

94mg/l로 처리효율이 38.5%인 반면 하천수질이 양호한 7월에는 처리효율이 51.0%를 나타내어 유입하천수의 농도에 따라 처리효율에 12.5%의 차이를 나타내었는데 무폭기식의 연평균 처리효율이 29.57%임을 감안하면 처리효율의 유입수의 농도에 따라 크게 차이가 남을 알 수 있다.

또한 유입수의 농도가 30mg/l 이상을 나타낸 11월부터 3월 사이 평균 BOD 농도가 61.14mg/l이고 처리수의 평균 BOD가 46.32mg/l로 처리효율이 24.25%인 반면 BOD 농도가 대체로 30mg/l 이하를 나타낸 4월부터 10월까지에는 월평균 유입수농도가 18.54mg/l이고 처리수는 10.72mg/l로 42.18%의 정화효율을 나타내어 유입수의 농도가 30mg/l 이상일 경우와 대비하여 처리효율이 17.93%의 차이를 나타내었다.

따라서 자갈층 접촉산화시설에서 BOD 제거율을 기준하였을 경우 유입수의 BOD 농도가 30mg/l를 초과한 경우에는 폭기를 필수적으로 시행하여야 하며 폭기하지 않는 경우에는 정화를 기대하기 어렵게 된다. 이와 같은 결과는 기존의 보고(稻森, 1990)와 같은 현상을 나타내고 있다.

유입수의 농도가 낮은 8~10월의 경우 3개월간 유입하천수의 BOD 농도가 7.94mg/l였으나, 폭기식 자갈층 접촉산화시설에서의 처리수는 3.60mg/l, 무폭기식에서는 3.97mg/l로 각각의 처리효율은 54.7%와 50.0% 나타내었다. 처리효율은 이와 같이 낮으나, 처리수는 3.60~3.97mg/l로 양질의 수질을 나타내는데 이는 폭기와는 무관하게 하천수중에 유기물의 정화에 필요한 산소량이 충분히 함유되어 있는데 기인되는 것으로 보인다.

본 현장시설에서의 연평균 BOD 제거율이 폭기식의 경우 57.07%였으며, 일본의 노가와(野川)에 설치된 자갈층 접촉산화시설에서는 유입수의 BOD가 12.7mg/l이고 처리수는 5.2mg/l로 59.1%(長内, 1990)로 정화효율면에서는 매우 유사한 수치를 나타내었다. 그러나 본 연구에서는 유입하천수가 연평균 36.29mg/l인 반면 일본 노가와의 경우 12.7mg/l로 정화효율만에 의해 정화시설의 성능평가를 한다는 것은 무

리인 것으로 생각된다. 이와 같은 현장시설의 경우 유입수의 농도가 낮을 경우 제거율로서 제거효과를 나타내기 어렵기 때문이다(富士市, 1986).

오염하천수의 정화효과를 월별로 보면 폭기식의 경우 실험기간중 대체로 57% 정도를 유지하였으나 3월에는 44.71%로 처리효율이 낮아졌고, 무폭기식의 경우에도 30% 정도였으나 14.40%로 급격히 저하된 것은 기온의 상승과 함께 수온이 상승되어 하천수중에 침전된 슬러지가 부상하여 퇴적물의 유입과 5개월간 유입된 슬러지에 의해 유효용량의 감소와 유입수의 수질향상이 원인으로 판단되어 3월에는 퇴적된 슬러지를 펌프를 이용하여 제거하여 주었다.

유입수의 수질이 비슷한 3~6월 중에서 6월에 처리효율이 폭기식의 경우 76.70%, 무폭기식에서 60.20%로 4~5월에 비해 급격히 향상된 것은 6월중에 퇴적된 슬러지를 철저히 제거해 준 것에 의한 결과로 보인다. 그리고 이후 제거효율이 저하된 것은 유입수의 수질이 8~10월간 월평균 7.94mg/l로 낮은데 기인되고 있다.

유기성 오염물질의 다른 지표인 COD와 TOC의 처리수중 농도는 표 7.9, 표 7.10, 그림 7.20, 그림 7.21과 같다.

COD의 경우에도 BOD와 유사한 경향을 나타내고 있으며, 유입수의 농도가 BOD보다 낮아 처리수도 낮은 수치를 나타내고 있다.

즉 유입수의 COD는 24.78mg/l이고, 자갈층 접촉산화시설에서 처리수의 농도는 폭기식의 경우 13.80mg/l, 무폭기식에서는 20.20mg/l로 처리효율은 각각 44.31%와 18.5%를 나타내어 BOD에 비해 처리효율이 상대적으로 낮게 나타났다. 이와 같은 제거율은 일반적으로 자갈층 접촉산화시설을 이용하여 하수의 2차 처리수 수질정도인 오수를 처리시 처리 효율 20~30%(長內, 1990)와 비교하여 무폭기식의 경우 유사한 수질이 나타났고, 폭기식은 다소 향상된 수질을 나타내었으나 이는 정화효과의 향상보다는 유입수의 농도가 높는데 기인되는 것으로 보인다.

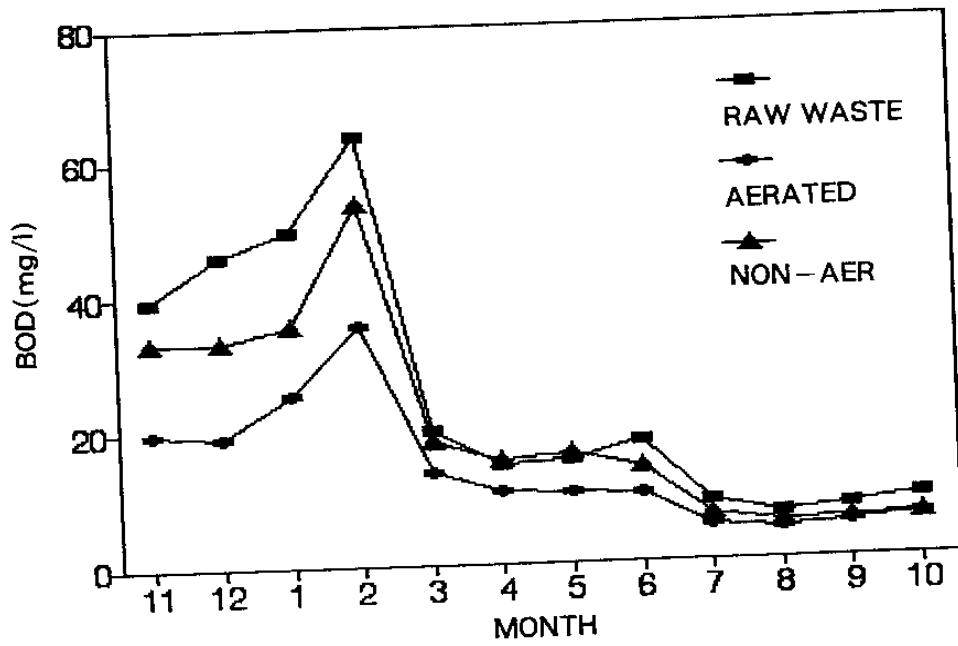


Fig. 7.20 Monthly Variations of Effluent COD from Aerated and Non - Aerated Gravel Contact Oxidation Processes

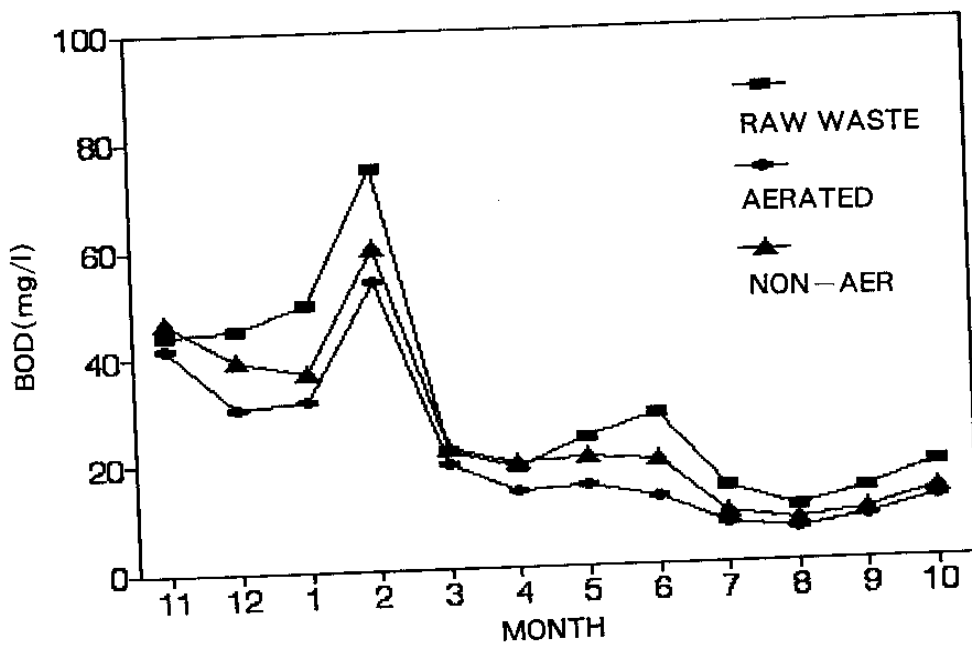


Fig. 7.21 Monthly Variations of Effluent TOC from Aerated and Non - Aerated Gravel Contact Oxidation Processes

TOC의 경우에도 유사한 경향을 나타내는데 이는 토양트렌치를 이용한 하천수의 정화에서와 동일하게 자갈층 접촉산화시설이 설치된 지역의 창능천 상류 유역에는 오염물질 배출원이 일정하여 유기성 오염물질의 구성성분자체가 일정한 조성을 이루고 있어 BOD, COD, TOC의 유기성 지표가 절대농도에서는 다르나 처리수의 변화경향은 유사한 것으로 보인다.

2. 부유물질

정화대상 하천수중의 부유물질농도는 연평균 24.01mg/l였으며 자갈층 접촉산화시설에서의 처리수는 폭기식의 경우 6.37mg/l였고, 무폭기식의 경우 9.15mg/l로 처리 효율을 보면 각각 73.46%와 61.19%를 나타내었는데 월별 부유물질의 농도와 변화는 표 7.9, 표 7.10, 그림 7.22와 같다.

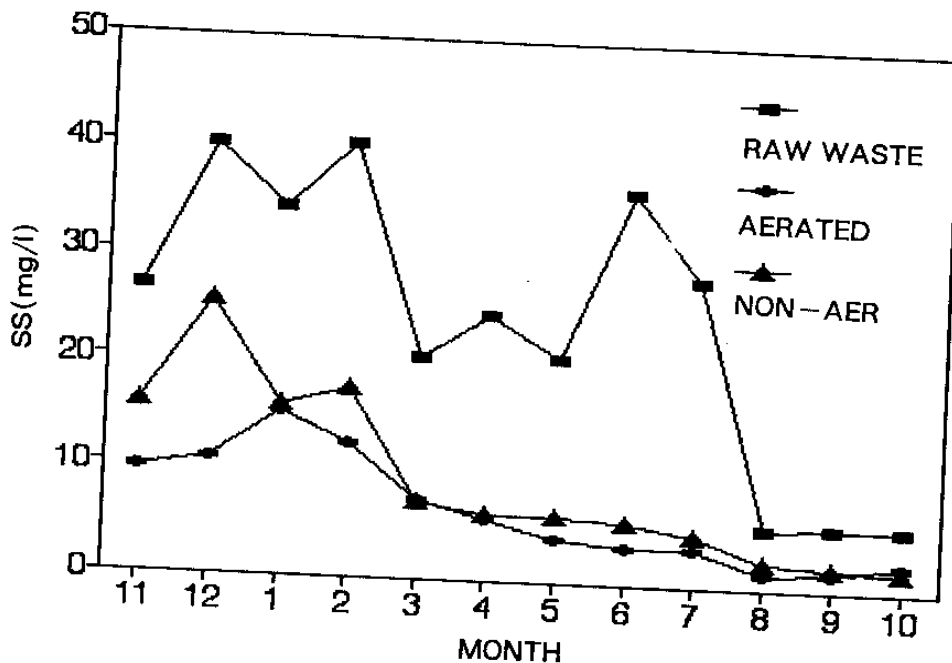


Fig. 7.22 Monthly Variations of Effluent SS from Aerated and Non-Aerated Gravel Contact Oxidation Processes

정화효율면에서는 유기성 오염지표항목인 BOD, COD, TOC에 비해서 높은 처리 효율을 나타내고 있으며 처리수의 농도도 낮았다.

자갈층 접촉산화시설에서 부유물질의 제거율을 보면 폭기식에서 73.46%이고, 무폭기식에서는 61.19%로 폭기에 의해서 12.27%가 더 제거되고 있는데, 이는 폭기에 의해 하천에서 유입된 부유물질이 자갈층 표면에 생성된 생물막과 하천수중 미생물에 충분한 산소가 공급되어 분해되는데 기인되는 것으로 보인다.

그러나 정화원리가 비슷한 플라스틱 여재를 사용한 침지여상에서의 제거율 92% (有水, 1980)와 비교하면 20% 정도의 차이가 나는데, 이는 처리시설내에서의 체류 시간과 여재의 차이에 기인되는 것으로 보인다.

유입수의 월간변화를 보면 유기성 오염물질의 농도와는 다른 양상을 보이고 있으며 특히 6, 7월에 높은 부유물질농도를 나타내는데 이는 이 기간중 많은 강수량에 의해 유역에서 하천에 유입되는 부유물질, 특히 토사와 같은 무기성 부유물질이 많은데 기인되는 것으로 보인다.

처리수의 경우 3월과 4월에 폭기식과 무폭기식의 모두에서 부유물질의 농도는 6~7mg/l 정도로 유사한 수치를 나타냈는데 이는 침전슬러지를 제거해준 효과로 보인다. 또한 6월과 7월에는 유입수의 농도가 높은데도 처리수가 유사한 농도를 나타낸 것은 부유물질의 구성분이 주로 무기성 부유물질로 자갈층내에서의 침전에 기인되는 것으로 보인다.

3. 영양염류

자갈층 접촉산화시설을 이용한 질소화합물과 인 화합물의 월별 유입수 및 처리수 중의 농도는 폭기식의 경우 표 7.4 및 표 7.11과 같다.

Table 7.11 Monthly Concentration of Effluent N and P Compunds from Aerated Gravel Contact Oxidation Process

DATE	TKN	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	T-P	PO ₄ -P
'90.11	9.81	3.88	0.07	1.01	1.17	0.22
12	10.32	3.52	0.12	0.61	1.11	0.16
'91. 1	13.58	5.46	0.11	0.59	1.01	0.24
2	17.54	3.96	0.15	0.78	1.36	0.40
3	7.79	2.60	0.08	0.68	1.61	0.22
4	7.30	1.13	0.24	1.23	1.44	0.16
5	7.16	2.73	0.28	1.77	0.44	0.31
6	2.55	0.84	0.24	4.62	0.65	0.42
7	2.42	1.12	0.11	2.62	0.49	0.24
8	0.78	0.12	0.04	3.63	0.44	0.20
9	1.03	0.27	0.14	5.07	0.26	0.23
10	1.93	1.19	0.34	5.18	0.30	0.23
Avg	6.85	2.24	0.16	2.32	0.86	0.25

Table 7.12 Monthly Concentration of Effluent N and P Compunds from Non-Aerated Gravel Contact Oxidation Process

DATE	TKN	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	T-P	PO ₄ -P
'90.11	11.38	4.54	0.05	0.33	1.43	0.23
12	11.40	5.84	0.07	0.13	1.09	0.27
'91. 1	14.63	5.45	0.01	0.06	1.49	0.28
2	18.10	5.26	0.00	0.07	2.08	0.44
3	7.55	3.37	0.10	1.01	1.55	0.15
4	6.72	4.31	0.03	0.12	1.51	0.18
5	10.21	4.74	0.04	0.06	0.66	0.35
6	10.21	4.95	0.01	0.01	0.64	0.45
7	5.16	2.69	0.24	1.18	0.57	0.18
8	2.35	0.73	0.24	1.52	0.26	0.12
9	3.48	2.00	0.26	2.35	0.26	0.22
10	4.27	3.65	0.25	1.80	0.29	0.25
Avg	8.79	3.96	0.11	0.72	0.99	0.26

질소화합물중 TKN을 보면 유입수중 8.48mg/l이고, 자갈층 접촉산화시설에서의 처리수중에는 폭기식의 경우 6.85mg/l, 무폭기식에서는 8.79mg/l로 질소성분의 제거를 기대하기 어려운데, 일본에서의 실시시설에서도 거의 제거되지 않은 것으로 보고되고 있다(長內, 1990).

그러나 하수처리장에서 최초침전지에서의 처리수중 총질소(T-N)가 22mg/l였으나, 17mg/l까지 처리하여 22.7%의 처리효율을 나타내었다는 보고(富士市, 1985)도 있으나 유입수중 총질소농도의 차이에 기인되는 것으로 보인다.

NH₃-N의 경우 유입수보다 무폭기식 자갈층 접촉산화시설에서의 처리수중 농도가 높는데, 이는 폭기를 하지 않아서 자갈층내가 혐기성 상태가 되어 증가된 것으로 보인다.

또한 NO₃+NO₂의 경우 폭기식 자갈층 접촉산화시설에서 5월이후 급격히 증가하는 것을 유입수중 유기성 오염물질의 농도가 낮아지면서 폭기조내 용존산소의 증가로 질산화균의 작용이 활발하게 이루어지는데 원인이 있는 것으로 보인다.

인의 경우 T-P가 유입수중 1.10mg/l이고, 처리수의 경우 폭기식에서 0.86mg/l, 무폭기식에서 0.99mg/l를 나타내어 자갈층 접촉산화법에서는 인의 제거를 기대하기 어렵다. 일본에서의 실처리시설에서도 인은 거의 제거되지 않는 것으로 보고되고 있다(長內, 1990).

PO₄-P의 경우도 유입수에서 0.28mg/l, 처리수의 경우 폭기식에서 0.25mg/l, 무폭기식에서 0.26mg/l로 유입수와 비슷한 농도를 나타내고 있는데, 자갈층 접촉산화시설에서의 처리수중 월별 TKN과 T-P의 농도변화는 그림 7.23과 그림 7.24와 같다.

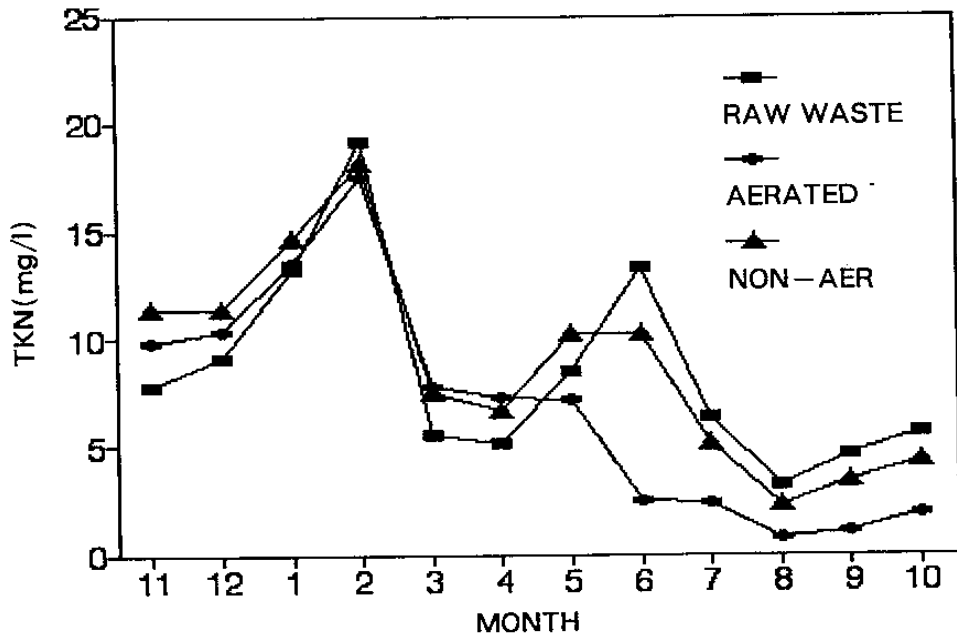


Fig. 7.23 Monthly Variations of Effluent TKN from Aerated and Non - Aerated Gravel Contact Oxidation Processes

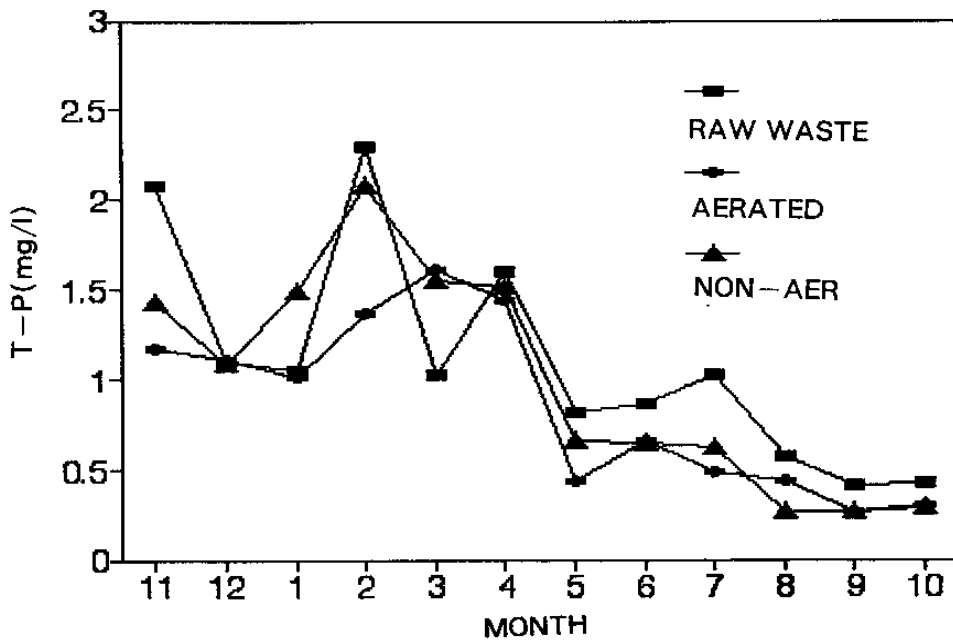


Fig. 7.24 Monthly Variations of Effluent T-P from Aerated and Non - Aerated Gravel Contact Oxidation Processes

제8장 결 론

수질오염이 점차 심화되고, 하수처리장의 보급율이 미흡한 국내의 여건에서 오염이 심화된 소규모 하천에서 직접 오염하천수를 정화하는 기술을 실용화하여 수질개선을 위한 정화기술의 보급에 기여하고자 시설의 유지관리가 용이하고, 시설비와 유지관리비가 저렴하며, 제2차 공해를 유발하지 않는 등의 잇점이 있는 것으로 알려진 토양트렌치법과 자갈층접촉산화법을 실용화를 위한 연구대상 시설로 선정하였다. 정화대상 하천은 경기도 고양군 신도읍 소재 창능천을 선정하여 같은 하천의 고수부지에 토양트렌치시설(시설용량 : 2m³/일의 2조)과 자갈층접촉 산화시설(폭기식과 무폭기식으로 각각 시설용량 : 20m³/일)을 설치하여 파일럿 규모의 현장시설로 1991. 10. 20-1991. 10. 14까지 운전한 결과는 다음과 같다.

1. 창능천 하천수의 월별 오염물질의 농도변화를 보면 BOD가 5.0mg/l-91.3mg/l이고, 연평균 34.23mg/l를 나타내었으며, 부유물질은 6.7mg/l-38.3mg/l였고 연평균 23.0mg/l를 기록하였다. BOD부하량의 월별 변화를 보면 농도가 가장 높은 2월에 1,462kg BOD/일로 가장 컸으며, 239kg BOD/일을 기록한 8월에 가장 작았는데, 이는 7월중 487.8mm에 달하는 집중강우로 하천의 유기물이 씻겨 내려간데 기인한 것으로 보인다. 창능천의 하천유량은 집중강우가 내린 7월에 174,381m³/일로 가장 많았고, 14.4mm를 기록한 1월에 13,088m³/일로 가장 적어, 유량이 강수량에 비례하여 크게 변화하였다. 또한 시간별로는 04:00에 24,153m³/일로 가장 적었으며 12:00에 33,568m³/일을 기록하여 최고치를 나타내었다.

2. 정화시설 유입수의 BOD 농도는 연평균 36.29mg/l로 최고치는 2월의 86.02mg/l이고, 8월에는 6.59mg/l로 최저치를 기록하였으며, 갈수기와 홍수기에 따라 수질이

크게 변화하였다. 부유물질도 2월에 40.20mg/1로 가장 높고, 8월에 5.52mg/1로 가장 낮았으며, 갈수기인 2-4월 사이에 대체로 높았다.

또한 TKN의 경우 6월에 13.29mg/1로 연평균치인 8.48mg/1를 크게 상회하고 있으며, 8월에는 3.22mg/1로 가장 낮는데, 이는 농경지에서의 시비량 차이에 기인되는 것으로 보인다. 유입하천수중 유기성 오염지표인 BOD, COD 및 TOC간에는 다음과 같은 상관식을 이루었다.

$$\text{BOD} = 1.231 \text{ COD} + 6.088 \quad (r^2 = 0.873, n = 91)$$

$$\text{BOD} = 1.237 \text{ TOC} - 0.141 \quad (r^2 = 0.866, n = 91)$$

$$\text{COD} = 0.949 \text{ TOC} - 3.433 \quad (r^2 = 0.886, n = 91)$$

3. 토양트렌치시설은 85 l/m trench · 일의 트렌치 I 과 115 l/m trench · 일의 트렌치 II 를 설치 · 운전하였는데, 유입수의 연평균 BOD가 36.29mg/1였으나, 처리수는 트렌치 I 에서 8.69mg/1, 트렌치 II 에서 9.09mg/1로 전자의 처리수질이 다소 양호하였으며, 유입수의 농도변화(6.59-86.02mg/1)에 따라 크게 영향 받지 않아 트렌치 I 의 경우 처리수는 2.70-13.43mg/1의 수준을 유지하였으며 트렌치 II 도 유사한 경향을 나타냈다.

처리수의 월별 BOD 변화추이는 트렌치 I 의 경우 동절기인 12-2월 사이에는 8.69-9.46mg/1였고, 5-7월 사이에는 10.53-13.43mg/1로 동절기에 비해 처리수질이 오히려 저하되었는데, 이 기간중 월평균 175.33mm의 강우에 의해 토양트렌치내에서의 수리학적 부하가 증가된 데 기인된 것으로 보인다.

트렌치 II 의 경우에도 트렌치 I 과 변화경향은 유사하였으나 4월을 휴지기간으로 두어서 5-7월 사이에는 트렌치 I 에서의 BOD 농도인 12.36mg/1보다 낮은 10.23mg/1를 나타내었다.

부유물질의 경우 유입수가 24.01mg/1였으나, 처리수의 경우 트렌치 I 에서 3.54mg/1, 트렌치 II 에서 3.21mg/1를 나타내 유사한 농도를 나타냈으나, 후자가 높은

수리학적 부하에도 처리수질이 약간 양호한 것은 4월 1개월간의 휴지기간에 기인된 것으로 보인다.

질소 화합물 중 TKN은 유입수중 8.48mg/1였으나, 처리수의 경우 트렌치 I에서 연평균 3.51mg/1, 트렌치 II에서 4.14mg/1였으며, 대체로 동절기에는 처리수 농도가 높았고, 인 화합물 중 T-P는 유입수에서 1.10mg/1였으나 처리수의 경우 트렌치 I에서 0.26mg/1, 트렌치 II에서 0.30mg/1를 나타내었다.

토양트렌치 시설에서는 유기성 오염물질, 부유물질 및 영양염류의 제거능이 양호하여 처리수질이 만족할 정도로, 오염하천수의 정화기술로 실용화가 가능한 것으로 판단된다.

4. 자갈층접촉산화시설은 폭기식과 무폭기식을 설치·운전하였으며, 유입수의 BOD가 연평균 36.29mg/1였으나, 처리수의 경우 연평균 BOD 농도가 폭기식에서 15.58mg/1, 무폭기식에서 25.56mg/1를 나타내어 폭기식에서 처리수질이 크게 향상되었다.

무폭기식에서는 유입수의 농도에 따라 처리성능에 큰 차이를 나타내어 유입수의 BOD가 30mg/1이상인 11-3월에는 평균 유입수가 61.14mg/1이고 처리수가 46.32mg/1인 반면, 30mg/1이하를 기록한 4-10월 사이에는 유입수가 평균 18.54mg/1이고 처리수는 10.72mg/1를 나타내어 정화능에 큰 차이를 나타내고 있다. 따라서 30mg/1이상의 하천수를 자갈층접촉산화시설을 이용하여 정화하고자 할 경우에는 폭기시설의 설치가 필수적인 것으로 판단된다.

부유물질의 경우 연평균 유입수 농도가 24.01mg/1였고, 처리수는 폭기식에서 6.37mg/1, 무폭기식에서 9.15mg/1를 나타내어 폭기에 의해 부유물질의 제거능이 향상되었다. 특히 자갈층접촉산화시설에서는 유입수중 부유물질과 자갈층내에서 생성된 슬러지의 제거를 위한 시설의 설치가 필수적이다.

질소와 인의 경우는 유입수중 TKN과 T-P의 농도가 각각 8.48mg/1와 1.10mg/1

였으나, 처리수의 경우 폭기식에서는 각각 6.85mg/1와 0.86mg/1였고, 무폭기식에서는 8.79mg/1와 0.99mg/1로 특히 무폭기식의 경우 이들의 제거를 기대하기 어려웠다.

자갈층접촉 산화시설에서는 유기성 오염물질의 제거는 가능하나 영양염류의 제거 효과는 거의 기대할 수 없으므로, 하천수중 유기물을 제거하기 위한 시설로서는 실용화가 가능한 것으로 판단된다.

이러한 시설은 하천 인근의 유희부지를 활용하여 설치가 가능하고, 특히 오염이 심화된 하천수가 흐르는 하천 또는 이들이 유입되는 지점의 큰 하천의 저수로 공사 시 이러한 시설을 설치할 경우 설치비용을 절감할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 오염하천수의 수질에 따라 크게 오염된 하천수의 경우 토양트렌치법을, 상대적으로 오염이 덜 된 하천수의 경우 자갈층접촉 산화법을 이용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 조병환, 우리나라 수질보전 정책방향, 하천 및 호수수질의 최적 관리방안. pp 31-48, 국립환경연구원 (1989)
2. 환경처, 환경법령집. pp749-1031 (1991a)
3. 환경처, 환경법령집. pp1281-1306 (1991b)
4. 환경처, 환경백서 1990. pp152-192 (1991c)
5. 환경처, 한국환경연감 제3호. pp119, pp205-344 (1990)
6. 환경처, '90 폐수배출시설 조사결과 보고서' (1991d)
7. Cogger, C. G, Septic System Performance on a Coastal Barrier Island, *J. Environ. Qual.*, 17(3) 401-408 (1988)
8. Crites, R. W., Land Use of Wastewater and Sludge. *J. Environ. Scil. and Tech.*, 18(5), 140-147 (1984)
9. Jenssen P .D. and R. L. Siegrist, Technology Assessment of Wastewater Treatment by Soil Infiltration System, International Specialized Conference on Design and of Small Wastewater Treatment Plants, Session. C. pp 499-508, Trondheim, Norway, June (1989)
10. Jenssen, P. D. and T. Krogstad, Particles Found in Clogging Layers of Wastewater Infiltration Systems May Cause Reduction in Infiltration Rate and Enhance P-Adsorption, *Wat. Sci. Tech*, 20(3), 251~253 (1988)
11. Laak. R., Wastewater Engineering Design for Unsewarred Areas, Technomic Publishing Co Inc, Lancater, PA 17604, U.S.A, pp 97-102 (1986)
12. Pal, D., and M. R. Overcash, Design of Land Treatment Systems for Industrial Wastes, Ann Arbor Science Publishers Inc/The Butterworth Group, Michigan

- 48160, pp104-110 (1981)
13. Reed, B. E., M. R. Matsumoto, Wake, A, Iwamoto, H, F., Takeda, Improvements in Soil Adsorption Trench Design, J. Environ. Engineer, 115(4), 858-857 (1989)
 14. Siegrist, R. L., Soil Clogging During Subsurface Wastewater Infiltration as Affected by Effluent Composition and Loading Rate., J. Environ. Qual, 16(2), 181-189 (1987)
 15. U.S, Enviromental Agency, Design Manual, On-site Wastewater Treatment and Disposal System EPA 625/1-80-012, Washington, (1980)
 16. U.S Envirommental Protection Agency, Process Design Manual for Land Treatment of Municipal Wastewater, EPA 625/1-81-013, Washington, (1981)
 17. Whelan, B. R., Disposal of Septic Tank Effluent in Calcareous Sands, J. Environ. Qual., 17(2), 272-277 (1988)
 18. 加藤善盛 等, 礫間接觸酸化法の水の移動特性, 環境技術, 17(5), 326-330 (1988)
 19. 加藤善盛 等, 礫間接觸酸化法の汚泥分解特性, 環境技術, 18(2), 34-36(1988)
 20. 谷本 修志, 土壌による汚水処理の應用と課題, 公害と対策, 12月 別策附録, 7-11 (1985)
 21. 國松孝男, 土壌による 廢水処理の實際と展望, 公害と対策 12月號 別冊附録, 13-33 (1985)
 22. 吉田一家, 土壌淨化法による 生活雜排水対策, 用水と廢水, 24(4), 29-34 (1984)
 23. 楠本 正康, 吉田 富男, 汚水の土壌處理に關する 實技技術指針(I), 用水と廢水, 29(6), 48-54 (1987)
 24. 楠本正康, 寺西 靖治, 松本 聽, 汚水の土壌處理に關する 實技技術指針(3), 用水と廢水, 29(9), 39-49(1987)

25. 稻森悠平, 須藤隆一, 小規模生活排水処理方式の特徴と問題点, 公害と対策 臨時増刊號, 23-31 (1985)
26. 稻森悠平, 須藤隆一, 土壤トレンチ法による生活系及び産業系排水の処理, 産業公害 24(8), 25-34 (1988)
27. 稻森悠平, 林紀男, 須藤隆一, 水路による汚濁河川水の直接浄化, 用水と廢水, 32(8), 32-37 (1990)
28. 稻森悠平, 林紀男, 須藤隆一, 直接浄化法とを活用した 河川水からの汚濁負荷の消滅, 用水と廢水, 32(11), 22-29 (1990)
29. 稻森悠平, 失木修身, 須藤隆一, 土壤浸透水の藻類生産の潜在能力, 用水と廢水, 26(4), 50-57 (1984)
30. 洞澤 男, 土壤處理設計指針, 用水と廢水, 26(4), 37-42 (1984)
31. 洞澤 男, 小規模廢水における各種處理法の特性と應用, 公害と対策, 29(7), 73-76 (1984)
32. 毛管浄化研究會, 土壤浄化法の實際, 經濟調査會, pp156-190(1987)
33. 木下英俊, 河川の浄化, 水質汚濁研究, 12(7), 19-24 (1989)
34. 木村 正二郎, 土壤浄化法による汚水處理の現状, 公害と対策, 17(7), 56-64 (1981) 辻
35. 木村 弘子, 辻秀造, 土壤浄化法による産業集落排水處理, 公害対策, 22(3), 83-96 (1986)
36. 富士市吉原下水處理場, 富士市吉原下水處理場礫間接觸酸化處理方式に関する評價書 (1986)
37. 相田徳二郎, 土壤浸透における浄化機構, 用水と廢水, 26(4), 3-8 (1984)
38. 石崎勝義, 米國における土壤式處理技術, 公害と対策, 臨時増刊號, 52-59 (1985)
39. 石崎勝義, 土壤による小規模排水の高度處理, 公害と対策, 24(13), 2-5 (1985)
40. 松本 聰, 大塚茂, 土壤處理を併用した脱空・脱小装置について, 土壤技術 14(6),

486-493 (1985)

41. 須河幸信, 土壤被覆型接觸ばば氣方式による農業集落排水處理の實際, 公害と對策, 21(9), 905-910(1985)
42. 新井重光, 杉原 進, 土壤中にあける窒素・リンの舉動, 水質汚濁研究, 10(7), 16-20 (1987)
43. 原田青生, 畜舎排水の 土壤處理, 用水と 廢水, 26(4), 29-34 (1984)
44. 有水 疆, 汚水處理への基本的な考え方-微生物池中心にへ-, 農業土木學會誌, 48(11), 791-796 (1980)
45. 長内武逸, “礫間接觸酸化法による河川水の直接淨化, 用水と廢水”, 32(8), 676-685(1990)
46. (財) 日本建築センター, 地下浸透方式に 關する中間報告書(1991)
47. 田中義郎, 吉田一良, 土壤淨化法による 集落排水處理施設の 現状と課題, 用水と 廢水, 25(1), 34-43 (1983)
48. 齋藤良一等, 土壤被覆型汚水處理方式の低氣温下における影響調査實驗, 公害と對策, 21(12), 99-104 (1985)
49. 茨城縣環境局霞ヶ浦村策課, 生活雜排水土壤處理施設の手引, (1985)
50. 環境廳 水質保全局, 生活雜排水對策推進指導指針, 38-74, (1988)

附 錄

Appendix 1. Concentrations of pollutants of Influent, the Changneung Stream Water

DATE	TOC	COD	BOD	TKN	NH3-N	NO2-N	NO3-N	T-P	PO4-P	DO	SS	TEMP	pH
90.11. 2	20.30	25.70	27.00	9.60	3.40	0.45	1.85	1.30	0.50	0.40	12.50	16.00	7.60
5	33.20	33.70	41.00	6.70	2.20	0.56	1.98	1.60	0.40	0.30	15.20	16.00	7.50
8	46.90	20.80	56.00	7.10	4.50	0.63	1.68	1.10	0.40	0.30	17.00	15.50	8.10
12	43.30	32.10	52.00	9.20	5.60	0.74	2.03	1.50	0.60	0.40	36.20	14.00	9.20
15	76.00	64.10	85.60	5.60	4.70	0.54	2.12	2.90	0.20	0.20	37.80	16.00	7.30
19	30.00	30.10	48.50	6.60	3.90	0.18	1.38	1.40	0.50	0.30	14.90	15.20	6.80
22	67.10	58.10	90.00	9.40	5.20	0.34	1.67	2.90	0.10	0.60	35.60	9.00	6.90
26	28.60	19.20	36.00	8.70	4.50	0.14	0.72	2.30	0.40	1.70	34.70	8.50	6.90
29	51.30	69.50	60.70	7.40	6.50	0.12	1.36	3.60	0.05	0.30	36.20	10.10	7.20
AVG	44.08	39.26	55.20	7.81	4.50	0.41	1.67	2.07	0.35	0.50	26.68	13.37	7.50
MIN	20.30	19.20	27.00	5.60	2.20	0.12	0.72	1.10	0.05	0.20	12.50	8.50	6.80
MAX	76.00	69.50	90.00	9.60	6.50	0.74	2.12	3.60	0.60	1.70	37.80	16.00	9.20
12. 3	70.80	61.40	73.70	9.80	6.10	0.14	1.87	1.40	0.30	3.40	73.90	4.30	8.50
6	47.10	44.10	45.30	8.70	4.50	0.30	1.63	0.50	0.20	0.50	51.90	9.00	7.00
10	32.20	28.10	32.00	8.70	3.00	0.30	1.89	0.80	0.20	0.30	84.30	10.50	6.80
13	38.90	49.40	59.00	5.50	2.10	0.08	2.15	2.10	0.10	2.80	36.40	8.10	6.40
17	27.80	29.40	47.30	8.40	5.80	0.26	2.29	0.90	0.40	3.60	16.60	3.50	6.70
20	53.40	72.10	74.30	11.10	3.80	0.06	3.23	1.10	0.10	2.40	13.00	5.00	6.50
24	43.20	37.10	53.00	9.40	4.20	0.05	2.19	1.00	0.30	4.30	32.00	3.00	6.80
27	53.70	54.10	73.50	10.30	5.10	0.15	3.73	0.80	0.20	6.10	16.00	1.50	7.00
31	37.00	36.70	52.50	10.60	3.10	0.20	2.30	1.30	0.10	5.00	36.00	2.00	6.60
AVG	44.90	45.82	56.73	9.17	4.19	0.17	2.36	1.10	0.21	3.16	40.01	5.21	6.92
MIN	27.80	28.10	32.00	5.50	2.10	0.05	1.63	0.50	0.10	0.30	13.00	1.50	6.40
MAX	70.80	72.10	74.30	11.10	6.10	0.30	3.73	2.10	0.40	6.10	84.30	10.50	8.50
91. 1. 3	20.40	24.70	53.00	10.80	4.50	0.05	1.90	0.80	0.20	5.30	29.00	1.80	6.40
7	56.20	62.10	83.20	8.40	3.20	0.10	1.80	1.60	0.20	3.80	36.00	3.00	7.20
10	51.90	64.00	85.50	10.00	4.40	0.16	2.40	1.60	0.20	3.90	61.00	2.50	7.20
14	43.30	37.60	68.50	13.30	6.70	0.22	2.94	1.30	0.40	5.50	37.00	0.50	6.90
17	66.40	57.10	77.20	14.70	7.10	0.26	1.80	0.80	0.30	0.20	33.00	3.50	7.30
21	54.70	53.40	98.00	15.90	4.50	0.21	2.70	0.80	0.20	3.00	22.50	3.60	6.60
28	24.10	27.60	66.00	13.90	5.90	0.20	2.50	0.10	0.30	4.80	18.50	2.00	7.40
31	79.60	68.00	91.60	19.10	7.40	0.21	3.70	1.20	0.30	2.90	36.00	4.50	8.30
AVG	49.58	49.31	77.88	13.28	5.46	0.18	2.47	1.05	0.26	3.68	34.13	2.68	7.16
MIN	20.40	24.70	53.00	8.40	3.20	0.05	1.80	0.10	0.20	0.20	18.50	0.50	6.40
MAX	79.60	68.00	98.00	19.10	7.40	0.26	3.70	1.60	0.40	5.50	61.00	4.50	8.30
2. 4	79.80	67.30	89.50	20.90	4.40	0.23	1.48	1.10	0.30	2.40	34.00	3.90	7.30
12	82.90	70.00	92.80	20.00	3.00	0.20	2.10	1.40	0.20	2.70	34.00	5.50	7.90
18	54.70	48.10	65.00	14.80	4.90	0.20	1.90	2.80	0.30	4.00	48.80	3.20	7.60
25	87.40	78.20	96.00	20.90	4.20	0.50	3.10	3.90	2.70	0.70	44.00	0.00	7.20
28	68.60	53.40	87.00	15.60	4.50	0.45	2.66	2.60	1.50	2.30	46.30	1.20	7.30
AVG	74.88	63.40	86.06	19.15	4.13	0.28	2.15	2.30	0.88	2.45	40.20	3.15	7.50
MIN	54.70	48.10	65.00	14.80	3.00	0.20	1.48	1.10	0.20	0.70	34.00	0.00	7.20
MAX	87.40	78.20	96.00	20.90	4.90	0.50	3.10	3.90	2.70	4.00	48.80	5.50	7.90

Appendix 1. Continued

DATE	TOC	COD	BOD	TKN	NH3-N	NO2-N	NO3-N	T-P	PO4-P	DO	SS	TEMP	pH
3. 7	64.50	66.10	77.00	12.60	4.40	0.10	0.90	2.10	0.30	2.30	23.00	7.50	7.23
11	13.90	11.60	15.70	5.60	1.57	0.16	2.54	0.82	0.08	2.10	35.00	3.20	6.86
14	19.60	16.00	25.00	5.31	2.08	0.11	2.31	1.22	0.05	9.50	16.50	2.70	6.54
18	16.30	13.70	24.60	5.98	2.60	0.13	2.21	1.14	0.07	6.90	7.00	4.00	6.62
21	13.10	10.50	24.80	3.66	2.15	0.07	2.25	0.74	0.04	7.50	18.80	8.00	6.76
25	16.30	13.50	24.60	3.54	2.31	0.18	1.97	0.72	0.01	5.50	26.50	10.50	7.16
28	10.30	7.60	17.30	2.29	2.15	0.06	0.57	0.37	0.00	8.10	17.00	7.20	7.27
AVG	22.00	19.86	29.86	5.57	2.47	0.12	1.82	1.02	0.08	5.99	20.54	6.16	6.92
MIN	10.30	7.60	15.70	2.29	1.57	0.06	0.57	0.37	0.00	2.10	7.00	2.70	6.54
MAX	64.50	66.10	77.00	12.60	4.40	0.18	2.54	2.10	0.30	9.50	35.00	10.50	7.27
4. 1	13.60	8.90	28.90	7.55	1.52	0.10	1.94	0.62	0.03	8.40	10.50	6.00	6.78
4	18.60	11.50	29.70	1.87	1.46	0.07	1.68	1.04	0.02	5.10	18.00	8.20	7.11
8	21.00	13.70	24.30	5.98	2.06	0.14	0.69	2.39	0.05	2.80	14.00	13.50	6.90
11	22.30	17.00	29.10	5.54	1.69	0.13	0.72	1.54	0.02	4.70	17.00	15.80	7.00
15	24.40	15.50	26.70	7.78	1.38	0.31	1.49	1.66	0.29	6.10	33.20	12.50	7.13
18	19.80	31.40	46.10	6.43	1.69	0.21	2.24	2.41	0.04	5.50	40.50	13.00	6.92
22	9.60	8.00	17.80	3.44	1.07	0.10	1.88	2.38	0.07	5.50	29.00	13.50	6.83
25	16.10	12.30	22.40	3.96	0.82	0.20	1.86	1.94	0.02	5.30	37.00	14.90	7.16
29	19.70	12.90	22.00	3.52	2.04	0.41	0.32	0.41	0.02	2.30	22.00	18.80	6.79
AVG	18.34	14.58	27.44	5.12	1.53	0.19	1.42	1.60	0.06	5.08	24.58	12.91	6.96
MIN	9.60	8.00	17.80	1.87	0.82	0.07	0.32	0.41	0.02	2.30	10.50	6.00	6.78
MAX	24.40	31.40	46.10	7.78	2.06	0.41	2.24	2.41	0.29	8.40	40.50	18.80	7.16
5. 2	15.40	12.90	26.00	5.68	1.91	0.21	1.10	0.85	0.13	6.30	19.00	12.70	6.96
6	25.60	17.00	27.00	8.00	1.15	0.34	0.09	0.67	0.42	2.40	11.00	13.60	6.95
9	16.40	14.70	32.40	6.43	1.76	0.55	0.54	0.43	0.21	5.40	24.00	18.60	7.00
13	26.20	12.60	33.40	8.38	2.36	0.07	0.65	0.83	0.14	2.10	24.00	15.10	6.80
16	38.50	23.60	58.00	12.42	8.67	0.11	0.16	1.66	0.10	1.30	27.00	17.80	7.11
20	32.60	16.80	40.00	12.34	8.78	0.01	0.23	1.25	0.22	1.30	41.00	18.50	6.90
23	36.10	21.00	47.30	11.74	2.48	0.09	0.03	0.83	0.31	1.70	20.00	21.20	7.15
27	6.70	5.00	10.50	2.09	0.98	0.16	1.92	0.19	0.08	3.30	7.00	15.50	6.94
29	17.20	11.50	23.60	9.57	1.95	0.43	1.24	0.59	0.29	5.30	12.50	25.60	6.86
AVG	23.86	15.01	33.13	8.52	3.34	0.22	0.66	0.81	0.21	3.23	20.61	17.62	6.96
MIN	6.70	5.00	10.50	2.09	0.98	0.01	0.03	0.19	0.08	1.30	7.00	12.70	6.80
MAX	38.50	23.60	58.00	12.42	8.78	0.55	1.92	1.66	0.42	6.30	41.00	25.60	7.15
6. 3	24.60	15.70	22.00	12.60	1.58	0.01	0.00	1.14	0.35	1.00	68.00	19.50	7.04
7	29.20	23.10	21.80	13.10	2.12	0.03	0.00	0.70	0.38	2.20	45.00	25.80	7.25
10	25.00	19.20	33.60	13.70	0.62	0.01	0.00	0.78	0.78	1.00	37.00	23.00	7.15
13	21.40	10.60	18.40	6.00	1.46	0.08	0.78	0.61	0.17	1.99	40.00	24.80	7.26
17	27.80	17.60	37.30	10.80	0.22	0.01	0.43	1.08	0.45	0.40	32.00	22.20	7.06
19	28.30	17.60	34.50	25.10	6.55	0.05	0.29	0.57	0.28	1.60	19.00	20.50	7.49
24	30.50	15.60	33.30	12.70	5.65	0.01	0.02	0.84	0.52	1.00	25.00	22.00	7.22
27	38.20	23.50	39.00	12.30	9.00	0.01	0.01	1.15	0.65	0.70	23.00	22.00	7.22
AVG	28.13	17.86	29.99	13.29	3.40	0.03	0.19	0.86	0.45	1.24	36.13	22.48	7.21
MIN	21.40	10.60	18.40	6.00	0.22	0.01	0.00	0.57	0.17	0.40	19.00	19.50	7.04
MAX	38.20	23.50	39.00	25.10	9.00	0.08	0.78	1.15	0.78	2.20	68.00	25.80	7.49

Appendix I. Continued

DATE	TOC	COD	BOD	TKN	NH3-N	NO2-N	NO3-N	T-P	PO4-P	DO	SS	TEMP	pH
7. 1	31.40	16.40	38.30	13.10	5.00	0.01	0.01	1.31	0.44	1.90	58.00	22.00	7.27
8	5.70	6.00	8.30	2.50	1.61	0.11	1.86	0.70	0.05	7.60	11.50	18.80	7.15
11	11.60	7.60	17.30	4.90	2.11	0.09	1.35	1.19	0.35	3.40	11.50	21.00	7.11
15	18.90	13.30	18.00	10.80	2.35	0.14	0.44	1.12	0.33	6.10	77.00	22.00	7.18
18	6.50	5.40	6.00	3.70	1.22	0.14	1.24	1.64	0.15	4.70	9.00	22.50	6.88
29	11.40	4.20	4.60	3.00	0.81	0.19	2.80	0.14	0.09	6.00	3.00	20.00	6.90
AVG	14.25	8.82	15.42	6.33	2.18	0.11	1.28	1.02	0.24	4.95	28.33	21.05	7.08
MIN	5.70	4.20	4.60	2.50	0.81	0.01	0.01	0.14	0.05	1.90	3.00	18.80	6.88
MAX	31.40	16.40	38.30	13.10	5.00	0.19	2.80	1.64	0.44	7.60	77.00	22.50	7.27
8. 1	4.20	3.20	3.20	2.10	0.38	0.20	2.11	0.75	0.01	6.30	2.80	22.40	6.73
5	5.60	4.40	4.20	2.60	0.65	0.22	3.16	1.50	0.07	7.70	4.40	17.70	6.80
8	7.40	5.00	8.00	1.50	0.70	0.23	2.87	0.80	0.05	6.90	6.00	20.20	6.93
12	6.20	5.00	6.00	2.00	0.54	0.32	4.01	0.18	0.08	8.60	3.60	17.50	6.86
16	11.70	8.80	7.20	2.20	0.03	0.41	2.27	0.27	0.11	6.40	5.20	17.60	7.01
19	9.40	7.00	6.70	3.90	0.86	0.54	2.04	0.32	0.14	3.40	6.00	17.80	6.89
22	13.20	9.60	8.40	3.90	0.96	0.42	2.09	0.48	0.21	5.60	10.50	17.70	7.38
26	12.30	6.60	7.20	5.20	0.88	0.41	0.95	0.44	0.32	4.10	3.60	28.80	6.62
29	20.40	9.80	8.40	5.60	2.13	0.51	0.76	0.41	0.29	2.00	5.60	22.70	7.13
AVG	10.04	6.60	6.59	3.22	0.79	0.36	2.25	0.57	0.14	5.67	5.52	20.27	6.93
MIN	4.20	3.20	3.20	1.50	0.03	0.20	0.76	0.18	0.01	2.00	2.80	17.50	6.62
MAX	20.40	9.80	8.40	5.60	2.13	0.54	4.01	1.50	0.32	8.60	10.50	28.80	7.38
9. 2	16.60	9.50	11.50	6.80	3.12	0.23	0.00	0.49	0.27	1.80	9.20	21.00	7.07
5	12.10	9.80	11.10	2.70	2.13	0.20	0.05	0.49	0.34	1.30	6.80	20.30	6.76
9	6.60	3.40	5.40	1.90	1.09	0.21	2.60	0.19	0.12	5.40	3.60	20.50	6.62
16	11.30	4.20	5.60	2.80	1.22	0.42	3.20	0.19	0.12	3.30	3.20	16.50	6.51
19	15.10	10.40	7.00	3.60	1.64	0.39	1.80	0.31	0.17	2.50	4.80	18.10	7.03
24	15.30	8.90	7.50	6.80	3.13	0.47	1.16	0.39	0.18	2.60	4.80	14.50	6.70
26	21.70	10.50	11.00	9.50	2.45	0.41	5.22	0.66	0.41	4.50	10.00	20.70	7.02
30	9.80	5.00	4.80	2.90	1.20	0.29	2.14	0.52	0.36	2.60	3.60	11.50	6.68
AVG	13.56	7.71	7.99	4.63	2.00	0.33	2.02	0.41	0.25	3.00	5.75	17.89	6.80
MIN	6.60	3.40	4.80	1.90	1.09	0.20	0.00	0.19	0.12	1.30	3.20	11.50	6.51
MAX	21.70	10.50	11.50	9.50	3.13	0.47	5.22	0.66	0.41	5.40	10.00	21.00	7.07
10. 2	14.80	8.02	6.00	3.90	2.33	0.30	0.05	0.30	0.20	2.50	5.00	18.00	6.76
7	15.40	8.24	9.00	4.90	4.79	0.31	0.59	0.48	0.24	2.00	4.80	12.30	6.86
10	20.70	10.27	11.00	6.10	4.19	0.32	1.50	0.45	0.26	1.50	5.20	13.50	7.01
14	20.30	10.02	11.00	7.80	7.30	0.25	0.31	0.50	0.29	1.40	7.60	11.00	6.70
AVG	17.80	9.14	9.25	5.68	4.65	0.30	0.61	0.43	0.25	1.85	5.65	13.70	6.83
MIN	14.80	8.02	6.00	3.90	2.33	0.25	0.05	0.30	0.20	1.40	4.80	11.00	6.70
MAX	20.70	10.27	11.00	7.80	7.30	0.32	1.50	0.50	0.29	2.50	7.60	18.00	7.01
T AVG	30.10	24.78	36.29	8.48	3.22	0.22	1.58	1.10	0.28	3.40	24.01	13.04	7.06
T MIN	4.20	3.20	3.20	1.50	0.03	0.01	0.00	0.10	0.00	0.20	2.80	0.00	6.40
T MAX	87.40	78.20	98.00	25.10	9.00	0.74	5.22	3.90	2.70	9.50	84.30	28.80	9.20

Appendix 2. Concentrations of pollutants of Effluent from Soil Trench I

DATE	TOC	COD	BOD	TKN	NH3-N	NO2-N	NO3-N	T-P	PO4-P	DO	SS	TEMP	pH
90.11. 2	29.40	14.80	11.50	1.50	1.00	0.02	6.30	0.20	0.06	2.30	3.20	12.30	7.40
5	35.30	14.80	7.80	1.40	1.20	0.28	5.90	0.30	0.07	2.10	3.40	11.50	7.60
8	30.30	7.70	8.30	1.30	1.10	0.10	5.60	0.40	0.06	2.50	2.40	10.30	7.50
12	29.90	7.70	6.50	1.10	0.70	0.37	5.70	1.80	0.09	1.80	4.70	9.50	7.60
15	26.50	8.70	8.30	2.00	1.90	0.10	4.60	0.60	0.02	2.40	6.60	12.50	7.30
19	12.80	12.70	8.20	1.90	0.90	0.09	5.40	0.60	0.04	1.80	0.50	14.00	6.90
22	15.20	7.70	10.70	1.70	1.00	0.15	7.20	0.50	0.02	2.70	0.40	12.00	7.00
26	25.10	10.60	5.00	1.80	1.70	0.43	4.60	0.90	0.02	1.80	4.50	10.30	6.80
29	26.50	7.30	7.50	2.90	1.50	0.08	4.90	0.80	0.02	1.80	2.30	10.40	7.10
RAW AVG	44.08	39.26	55.20	7.81	4.50	0.41	1.67	2.07	0.35	0.50	26.68	13.37	7.50
AVG	25.78	10.22	8.42	1.73	1.22	0.18	5.58	0.68	0.04	2.13	3.11	11.42	7.24
MIN	12.80	7.30	5.00	1.10	0.70	0.02	4.60	0.20	0.02	1.80	0.40	9.50	6.80
MAX	35.30	14.80	11.50	2.90	1.90	0.43	7.20	1.80	0.09	2.70	6.60	14.00	7.60
EFF	41.52	73.96	84.74	77.81	72.84	56.10	-	67.26	87.30	-	88.34	-	-
REM	0.04	0.06	0.09	0.01	0.01	0.00	-	0.00	0.00	-	0.05	-	-
12.3	16.70	8.40	7.20	3.60	1.70	0.06	7.20	0.10	0.03	2.30	2.40	8.40	7.20
6	27.90	8.90	10.70	2.80	1.20	0.06	6.80	0.09	0.05	2.00	9.20	7.50	7.30
10	17.20	8.30	6.50	3.00	1.60	0.20	6.40	0.05	0.02	1.60	1.40	10.00	6.90
13	13.90	5.00	13.00	2.70	1.60	0.03	5.66	0.10	0.07	1.60	0.10	8.80	6.80
17	13.70	7.30	5.70	2.20	1.90	0.08	6.05	0.10	0.01	1.70	1.50	6.90	6.90
20	14.70	8.20	9.20	2.40	1.00	0.06	6.58	0.30	0.01	1.80	11.50	6.00	6.60
24	16.60	7.80	10.00	1.90	0.80	0.01	4.46	0.10	0.01	1.90	8.00	5.50	6.80
27	15.70	6.60	3.80	5.40	1.10	0.08	3.71	0.30	0.01	2.00	3.00	5.00	7.10
31	13.50	6.00	19.00	2.40	1.40	0.05	4.69	0.14	0.01	1.90	3.50	4.50	6.50
RAW AVG	44.90	45.82	56.73	9.17	4.19	0.17	2.36	1.10	0.21	3.16	40.01	5.21	6.92
AVG	16.66	7.39	9.46	2.93	1.37	0.07	5.73	0.14	0.02	1.87	4.51	6.96	6.90
MIN	13.50	5.00	3.80	1.90	0.80	0.01	3.71	0.05	0.01	1.60	0.10	4.50	6.50
MAX	27.90	8.90	19.00	5.40	1.90	0.20	7.20	0.30	0.07	2.30	11.50	10.00	7.30
EFF	62.91	83.87	83.33	68.01	67.38	58.82	-	87.07	88.73	-	88.73	-	-
REM	0.06	0.08	0.09	0.01	0.01	0.00	-	0.00	0.00	-	0.07	-	-
91. 1. 3	6.00	6.20	6.70	1.30	0.10	0.05	1.25	0.20	0.01	4.10	1.60	3.20	6.60
7	15.90	6.60	4.50	1.90	1.00	0.03	4.03	0.09	0.01	3.80	0.80	2.80	7.40
10	14.70	7.30	14.70	1.60	0.60	0.03	2.30	0.10	0.01	2.60	1.20	3.20	7.10
14	15.40	8.50	6.00	3.00	0.20	0.03	5.23	0.10	0.01	2.70	0.80	2.00	7.00
17	8.40	8.50	6.20	3.40	1.90	0.03	3.97	0.08	0.01	2.50	0.40	3.00	6.90
21	21.90	9.20	4.80	3.70	1.10	0.03	5.50	0.06	0.01	2.30	0.80	3.00	6.90
28	15.00	10.20	8.30	3.30	2.70	0.03	4.20	0.05	0.01	2.50	2.00	3.20	7.10
31	22.50	13.60	18.30	8.20	1.40	0.02	4.40	0.09	0.00	3.50	1.20	2.30	7.50
RAW AVG	49.58	49.31	77.88	13.26	5.46	0.18	2.47	1.05	0.26	3.88	34.13	2.68	7.16
AVG	14.98	8.76	8.69	3.30	1.13	0.03	3.86	0.10	0.01	3.00	1.10	2.84	7.06
MIN	6.00	6.20	4.50	1.30	0.10	0.02	1.25	0.05	0.00	2.30	0.40	2.00	6.60
MAX	22.50	13.60	18.30	8.20	2.70	0.05	5.50	0.20	0.01	4.10	2.00	3.20	7.50
EFF	69.80	82.23	88.95	75.11	79.40	82.64	-	90.83	96.92	-	96.78	-	-
REM	0.07	0.08	0.14	0.02	0.01	0.00	-	0.00	0.00	-	0.07	-	-

Appendix 2. Continued

DATE	TOC	COD	BOD	TKN	NH3-N	NO2-N	NO3-N	T-P	PO4-P	DO	SS	TEMP	pH
2. 4	26.90	11.60	11.70	7.90	3.00	0.06	1.90	0.04	0.00	2.90	1.20	2.20	7.10
12	24.30	11.10	13.30	7.80	1.70	0.20	1.80	0.10	0.00	1.80	1.20	3.50	6.90
18	23.60	10.20	5.00	5.80	1.80	0.07	1.53	0.20	0.01	2.00	0.80	3.10	7.00
25	21.60	9.80	7.20	7.90	1.80	0.20	1.65	0.20	0.00	1.40	1.80	3.00	7.00
28	24.50	10.00	7.60	7.50	1.60	0.10	1.54	0.20	0.00	1.60	1.60	3.40	7.00
RAW AVG	74.68	63.40	86.06	19.15	4.13	0.28	2.15	2.30	0.88	2.45	40.20	3.15	7.50
AVG	24.18	10.54	8.96	7.38	1.98	0.13	1.68	0.15	0.00	1.94	1.32	3.04	7.00
MIN	21.60	9.80	5.00	5.80	1.60	0.06	1.53	0.04	0.00	1.40	0.80	2.20	6.90
MAX	26.90	11.60	13.30	7.90	3.00	0.20	1.90	0.20	0.01	2.90	1.80	3.50	7.10
EFF	67.62	83.38	89.59	61.46	52.06	55.00	21.67	93.57	99.75	-	96.72	-	-
REM	0.10	0.11	0.15	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.08	-	-
3. 7	26.60	14.00	11.00	8.50	3.00	0.15	3.80	0.20	0.00	2.20	4.40	4.50	7.01
11	22.80	9.80	9.20	6.50	1.70	0.10	2.41	0.20	0.02	2.10	5.20	4.20	7.14
14	20.80	8.70	10.30	4.49	1.52	0.08	3.17	0.26	0.01	2.90	4.90	4.00	6.83
18	15.40	9.80	11.30	5.76	1.30	0.07	2.32	0.26	0.01	2.80	3.20	6.00	6.75
21	15.50	9.90	12.30	4.79	2.22	0.08	2.00	0.20	0.02	2.90	4.40	7.50	6.76
25	14.50	6.80	7.20	3.37	1.78	0.08	2.70	0.18	0.02	2.00	4.50	9.50	7.07
28	14.50	6.90	5.00	3.59	1.69	0.12	3.21	0.22	0.03	2.50	2.00	9.20	7.13
RAW AVG	22.00	19.86	29.86	5.57	2.47	0.12	1.82	1.02	0.08	5.99	20.54	6.16	6.92
AVG	18.59	9.41	9.47	5.29	1.89	0.10	2.80	0.22	0.02	2.49	4.09	6.41	6.96
MIN	14.50	6.80	5.00	3.37	1.30	0.07	2.00	0.18	0.00	2.00	2.00	4.00	6.75
MAX	26.60	14.00	12.30	8.50	3.00	0.15	3.80	0.26	0.03	2.90	5.20	9.50	7.14
EFF	15.52	52.60	68.28	5.10	23.60	19.05	-	78.71	79.82	-	80.11	-	-
REM	0.01	0.02	0.04	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00	-	0.03	-	-
4. 1	12.20	6.40	11.70	2.99	1.18	0.13	4.00	0.18	0.03	3.20	4.50	8.50	6.63
4	12.10	5.00	11.60	3.14	1.03	0.08	4.70	0.36	0.02	2.20	6.00	9.00	6.74
8	15.60	6.50	11.70	4.41	1.31	0.08	3.50	0.33	0.02	1.80	2.00	11.60	6.69
11	17.30	8.30	12.80	4.19	1.51	0.10	4.21	0.74	0.03	2.00	4.50	13.50	6.71
15	17.60	8.30	13.30	3.44	0.84	0.10	4.22	0.33	0.03	2.10	2.80	14.00	6.86
18	13.90	7.30	9.50	3.07	2.53	0.14	6.04	1.09	0.04	2.40	2.50	13.20	6.83
22	12.00	7.40	20.00	2.80	1.13	0.14	5.83	1.65	0.09	2.10	2.00	14.00	6.77
25	10.90	7.20	10.10	2.84	1.04	0.18	6.50	2.02	0.11	2.90	1.00	14.70	7.09
29	14.00	8.00	8.30	5.68	1.80	0.23	7.25	0.44	0.06	2.60	2.50	15.00	6.42
RAW AVG	16.34	14.58	27.44	5.12	1.53	0.19	1.42	1.60	0.06	5.08	24.58	12.91	6.96
AVG	13.96	7.16	12.11	3.62	1.37	0.13	5.14	0.12	0.05	2.37	3.09	12.61	6.75
MIN	10.90	5.00	8.30	2.80	0.84	0.08	3.50	0.18	0.02	1.80	1.00	8.50	6.42
MAX	17.60	8.30	20.00	5.68	2.53	0.23	7.25	2.02	0.11	3.20	6.00	15.00	7.09
EFF	23.91	50.92	55.86	29.34	10.17	30.99	-	92.50	21.11	-	87.43	-	-
REM	0.01	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00	-	0.04	-	-

Appendix 2. Continued

DATE	TOC	COD	BOD	TKN	NH3-N	NO2-N	NO3-N	T-P	PO4-P	DO	SS	TEMP	pH
5. 2	10.50	6.80	7.80	3.37	1.22	0.27	6.78	0.10	0.09	3.70	8.00	14.80	6.57
6	14.80	6.60	15.00	4.11	3.39	0.21	5.05	0.20	0.13	4.20	5.00	14.90	6.58
9	8.40	7.00	14.80	3.22	1.10	0.17	3.92	0.12	0.07	2.80	1.50	16.50	6.63
13	20.80	10.00	12.30	4.19	3.21	0.20	5.38	0.27	0.09	3.50	5.00	17.50	6.57
16	19.70	8.24	25.00	4.41	3.48	0.17	4.25	0.70	0.14	1.70	3.00	18.20	6.62
20	22.60	8.91	8.00	5.76	2.62	0.15	4.16	0.17	0.11	2.10	1.50	19.00	6.73
23	23.70	9.52	15.20	6.43	1.73	0.12	5.16	0.36	0.14	1.90	1.90	20.10	6.67
27	22.20	8.27	12.30	5.09	1.60	0.29	5.05	0.61	0.12	4.40	4.40	19.50	6.79
29	26.20	9.52	10.50	5.09	1.88	0.36	4.51	1.38	0.15	4.50	2.80	20.20	6.69
RAW AVG	23.86	15.01	33.13	8.52	3.34	0.22	0.66	0.81	0.21	3.23	20.61	17.62	6.96
AVG	18.77	8.32	13.43	4.63	2.25	0.22	4.92	0.43	0.11	3.20	3.68	17.86	6.65
MIN	8.40	6.60	7.80	3.22	1.10	0.12	3.92	0.10	0.07	1.70	1.50	14.80	6.57
MAX	26.20	10.00	25.00	6.43	3.48	0.36	6.78	1.38	0.15	4.50	8.00	20.20	6.79
EFF	21.35	44.59	59.45	45.66	32.70	2.02	-	46.36	45.29	-	82.16	-	-
REM	0.01	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	-	0.00	0.00	-	0.03	-	-
6. 3	23.00	7.60	9.30	3.44	0.63	0.32	5.82	0.54	0.15	1.70	6.00	19.50	6.76
7	12.00	7.60	9.00	2.84	0.48	0.29	5.66	0.32	0.19	2.10	8.40	21.00	6.81
10	17.90	7.40	12.80	2.99	1.03	0.44	5.77	0.76	0.13	2.70	18.00	20.50	6.88
13	23.50	7.40	14.80	7.18	5.34	0.32	5.40	0.35	0.11	2.00	12.00	21.80	6.77
17	23.50	7.80	13.50	6.66	3.26	0.28	2.48	0.22	0.12	1.40	10.80	22.50	6.72
19	21.90	8.24	12.50	6.51	5.82	0.22	2.97	0.10	0.10	1.80	1.20	22.10	6.87
24	23.40	8.02	14.40	6.81	6.17	0.02	2.79	0.59	0.11	3.10	5.20	20.50	6.87
27	21.70	7.60	18.60	6.80	3.46	0.22	1.86	0.33	0.13	1.60	2.00	23.60	6.81
RAW AVG	28.13	17.86	29.99	13.29	3.40	0.03	0.19	0.86	0.45	1.24	36.13	22.48	7.21
AVG	20.86	7.71	13.11	5.40	3.27	0.26	4.09	0.40	0.13	2.05	7.95	21.44	6.81
MIN	12.00	7.40	9.00	2.84	0.48	0.02	1.86	0.10	0.10	1.40	1.20	19.50	6.72
MAX	23.50	8.24	18.60	7.18	6.17	0.44	5.82	0.76	0.19	3.10	18.00	23.60	6.88
EFF	25.84	56.84	56.28	59.34	3.71	-	-	53.34	71.11	-	78.00	-	-
REM	0.01	0.02	0.03	0.02	0.00	-	-	0.00	0.00	-	0.06	-	-
7. 1	19.10	8.00	11.70	6.30	4.40	0.32	1.68	0.30	0.11	2.70	2.60	22.00	7.08
8	21.70	6.80	8.30	6.51	4.10	0.12	1.71	1.15	0.09	1.70	2.80	22.50	6.92
11	16.20	5.60	13.50	3.70	1.75	0.14	1.58	0.25	0.25	1.80	4.50	21.50	6.97
15	18.90	6.40	11.80	6.13	2.23	0.12	1.11	0.20	0.11	3.70	2.50	22.20	6.74
18	12.60	5.80	12.50	3.30	2.82	0.11	2.88	0.50	0.28	1.50	4.00	22.50	6.47
29	13.50	5.40	5.40	1.40	0.26	0.13	2.31	0.28	0.10	3.10	2.00	19.00	6.59
RAW AVG	14.25	8.82	15.42	6.33	2.18	0.11	1.28	1.02	0.24	4.96	28.33	21.06	7.08
AVG	17.00	6.33	10.53	4.56	2.59	0.16	1.88	0.45	0.16	2.42	3.07	21.62	6.75
MIN	12.60	5.40	5.40	1.40	0.26	0.11	1.11	0.20	0.09	1.50	2.00	19.00	6.47
MAX	21.70	8.00	13.50	6.51	4.40	0.32	2.88	1.15	0.28	3.70	4.50	22.50	7.08
EFF	-	28.19	31.69	28.01	-	-	-	56.21	34.72	-	89.18	-	-
REM	-	0.00	0.01	0.00	-	-	-	0.00	0.00	-	0.05	-	-

Appendix 2. Continued

DATE	TOC	COD	BOD	TKN	NH3-N	NO2-N	NO3-N	T-P	PO4-P	DO	SS	TEMP	pH
8. 1	13.70	4.80	3.40	1.50	0.16	0.09	1.86	0.28	0.02	1.90	6.00	18.80	6.49
5	11.30	4.10	2.50	1.20	0.68	0.05	1.75	0.23	0.04	1.50	4.20	18.20	6.57
8	16.20	4.20	5.20	2.20	1.00	0.05	2.57	0.12	0.05	1.70	4.80	17.80	6.59
12	13.50	4.20	4.00	2.20	1.64	0.32	2.76	0.14	0.08	2.00	4.80	17.50	6.66
16	12.00	5.20	2.00	1.35	0.75	0.04	1.52	0.10	0.04	1.80	5.60	17.70	6.48
19	15.40	4.20	5.00	1.65	1.63	0.06	2.21	0.17	0.06	1.60	2.80	18.00	6.59
22	14.60	4.50	4.20	1.65	0.67	0.03	1.87	0.08	0.06	1.40	1.60	17.00	6.52
26	13.20	3.60	3.80	0.98	0.51	0.03	2.62	0.12	0.08	2.00	2.40	23.20	6.60
29	13.70	2.60	3.60	0.42	0.28	0.02	2.93	0.10	0.05	3.00	2.00	22.80	6.56
RAW AVG	10.04	6.60	6.59	3.22	0.79	0.36	2.25	0.57	0.14	5.67	5.52	20.27	6.93
AVG	13.73	4.16	3.74	1.46	0.81	0.08	2.23	0.15	0.05	1.88	3.80	19.00	6.56
MIN	11.30	2.60	2.00	0.42	0.16	0.02	1.52	0.08	0.02	1.40	1.60	17.00	6.48
MAX	16.20	5.20	5.20	2.20	1.64	0.32	2.93	0.28	0.08	3.00	6.00	23.20	6.66
EFF	-	37.04	43.18	54.62	-	78.70	0.79	73.88	61.90	-	31.16	-	-
REM	-	0.00	0.01	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00	-	-
9. 2	16.70	3.80	4.00	0.84	0.30	0.04	2.67	0.07	0.05	1.60	3.20	21.00	6.50
5	15.40	6.20	4.60	1.50	0.12	0.03	1.62	0.10	0.04	3.20	6.40	20.30	6.60
9	12.50	3.60	3.20	0.35	0.18	0.02	1.36	0.13	0.04	1.90	1.20	21.50	6.34
16	15.20	4.00	3.50	0.56	0.14	0.02	2.00	0.20	0.07	3.20	7.20	20.00	6.24
19	11.70	4.60	4.40	0.56	0.54	0.04	1.64	0.08	0.06	2.50	4.80	19.60	6.62
24	12.90	5.20	3.40	0.56	0.36	0.02	1.56	0.11	0.07	3.30	4.40	17.50	6.63
26	11.60	2.40	3.30	0.91	0.33	0.04	1.57	0.13	0.04	2.40	8.40	19.80	6.68
30	11.10	2.61	3.20	0.70	0.25	0.03	1.42	0.19	0.08	2.70	1.60	15.00	6.58
RAW AVG	13.56	7.71	7.99	4.63	2.00	0.33	2.02	0.41	0.25	3.00	5.75	17.89	6.80
AVG	13.39	4.05	3.70	0.75	0.28	0.03	1.73	0.13	0.06	2.60	4.65	19.34	6.52
MIN	11.10	2.40	3.20	0.35	0.12	0.02	1.36	0.07	0.04	1.60	1.20	15.00	6.24
MAX	16.70	6.20	4.60	1.50	0.54	0.04	2.67	0.20	0.08	3.30	8.40	21.50	6.68
EFF	1.27	47.45	53.69	83.86	86.13	90.91	14.36	69.21	77.50	-	19.13	-	-
REM	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00	-	-
10. 2	11.30	3.61	3.00	0.70	0.41	0.07	1.10	0.05	0.04	2.20	1.60	18.50	6.59
7	11.60	2.20	1.80	0.70	0.48	0.03	1.87	0.08	0.06	2.50	1.20	16.50	6.68
10	12.60	4.41	2.80	0.98	0.97	0.06	2.41	0.05	0.05	2.60	1.60	16.10	6.56
14	13.20	3.81	3.20	1.83	1.00	0.05	2.10	0.20	0.04	2.70	4.00	15.00	6.46
RAW AVG	17.80	9.14	9.25	5.68	4.65	0.30	0.61	0.43	0.25	1.85	5.65	13.70	6.83
AVG	12.18	3.51	2.70	1.05	0.72	0.05	1.87	0.10	0.04	2.50	2.10	16.53	6.57
MIN	11.30	2.20	1.80	0.70	0.41	0.03	1.10	0.05	0.04	2.20	1.20	15.00	6.46
MAX	13.20	4.41	3.20	1.83	1.00	0.07	2.41	0.20	0.06	2.70	4.00	18.50	6.68
EFF	31.60	61.62	70.81	81.47	84.62	82.50	-	77.85	82.40	-	62.83	-	-
REM	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	-	0.00	0.00	-	0.01	-	-
T AVG	17.50	7.30	8.69	3.51	1.57	0.12	3.46	0.25	0.06	2.37	3.54	13.25	6.81
T MIN	6.00	2.20	1.80	0.35	0.10	0.02	1.10	0.04	0.00	0.00	1.40	0.10	2.00
T MAX	35.30	14.80	25.00	8.50	6.17	0.44	7.20	1.80	1.80	0.28	4.50	18.00	23.60
T EFF	25.44	58.56	65.48	55.82	40.89	-	-	76.57	70.55	-	75.05	-	-
T REM	0.03	0.03	0.06	0.01	0.00	0.00	-	0.00	0.00	-	0.04	-	-

Appendix 3. Concentrations of pollutants of Effluent from Soil Trench II

DATE	TOC	COD	BOD	TKN	NH3-N	NO2-N	NO3-N	T-P	PO4-P	DO	SS	TEMP	pH
90.11. 2	31.10	14.80	12.50	1.80	1.20	0.01	6.30	0.20	0.05	2.30	5.50	10.30	7.10
5	33.40	15.20	10.00	2.40	1.80	0.01	5.80	0.30	0.10	2.10	4.80	10.40	7.30
8	31.70	8.00	16.00	2.80	1.70	0.13	5.40	0.40	0.09	1.80	5.90	9.80	7.50
12	30.00	7.70	13.00	1.40	1.00	0.54	6.20	0.50	0.09	1.60	4.20	9.50	7.40
15	10.90	10.40	12.00	2.30	2.00	0.14	5.70	0.40	0.03	1.40	4.10	13.00	7.10
19	11.00	13.30	5.20	2.40	1.40	0.12	5.20	0.60	0.05	1.70	6.40	14.00	7.00
22	9.00	9.40	11.00	1.70	1.50	0.22	4.30	0.70	0.04	2.40	2.80	12.00	6.90
26	26.60	11.40	8.00	2.90	2.30	0.43	5.20	0.70	0.03	1.70	7.40	10.30	6.60
29	27.40	10.70	21.00	4.10	3.20	0.10	4.20	0.50	0.02	1.90	5.50	10.50	7.20
RAW AVG	44.08	39.26	55.20	7.81	4.50	0.41	1.67	2.07	0.35	0.50	26.68	13.37	7.50
AVG	23.46	11.21	12.08	2.42	1.79	0.19	5.37	0.48	0.06	1.88	5.19	11.09	7.12
MIN	9.00	7.70	5.20	1.40	1.00	0.01	4.20	0.20	0.02	1.40	2.80	9.50	6.60
MAX	33.40	15.20	21.00	4.10	3.20	0.54	6.30	0.70	0.10	2.40	7.40	14.00	7.50
EFF	46.79	71.44	78.12	68.99	60.25	54.15	-	76.92	84.13	-	80.55	-	-
REM	0.04	0.06	0.09	0.01	0.01	0.00	-	0.00	0.00	-	0.04	-	-
12. 3	17.90	9.70	8.80	5.20	4.70	0.07	4.40	0.40	0.04	2.50	3.20	8.30	7.30
6	28.20	8.30	17.50	6.80	5.50	0.08	4.60	0.20	0.05	2.40	3.20	8.50	7.30
10	17.10	9.50	9.30	4.00	2.00	0.40	3.70	0.10	0.02	1.80	4.80	10.00	7.00
13	15.60	8.30	11.80	4.30	2.70	0.04	4.00	0.10	0.01	2.20	2.30	8.50	6.80
17	15.00	6.30	4.50	3.10	2.60	0.13	2.80	0.20	0.01	2.10	2.70	6.20	6.40
20	15.90	8.40	8.80	3.40	1.10	0.09	2.90	0.30	0.08	2.30	5.50	6.20	6.70
24	18.20	9.80	19.80	4.00	1.10	0.06	1.80	0.30	0.02	2.50	4.70	5.50	6.80
27	18.70	8.40	9.20	4.20	2.20	0.12	3.60	0.70	0.01	2.50	3.50	4.80	7.10
31	13.90	8.20	19.30	3.60	1.90	0.09	2.70	0.30	0.08	2.50	3.70	4.00	6.60
RAW AVG	44.90	45.82	56.73	9.17	4.19	0.17	2.36	1.10	0.21	3.16	40.01	5.21	6.92
AVG	17.83	8.54	12.11	4.29	2.64	0.12	3.39	0.29	0.04	2.31	3.73	6.89	6.89
MIN	13.90	6.30	4.50	3.10	1.10	0.04	1.80	0.10	0.01	1.80	2.30	4.00	6.40
MAX	28.20	9.80	19.80	6.80	5.50	0.40	4.60	0.70	0.08	2.50	5.50	10.00	7.30
EFF	60.28	81.35	78.65	53.23	36.89	29.41	-	73.74	83.07	-	90.67	-	-
REM	0.05	0.07	0.09	0.01	0.00	0.00	-	0.00	0.00	-	0.07	-	-
91. 1. 3	5.90	7.10	9.70	3.00	0.20	0.09	0.80	0.04	0.10	2.70	2.40	3.80	6.50
7	16.30	7.50	5.30	4.60	1.40	0.07	5.40	0.01	0.00	2.60	0.40	3.20	7.40
10	17.30	10.30	13.50	5.10	1.60	0.06	3.00	0.10	0.01	2.50	5.20	3.50	7.00
14	17.50	10.40	12.80	4.90	0.80	0.06	4.59	0.30	0.01	3.40	4.80	2.00	6.90
17	17.20	10.80	7.00	7.00	4.00	0.05	2.86	0.40	0.01	2.70	3.60	2.50	6.90
21	24.20	12.80	5.50	5.80	1.20	0.08	2.28	0.08	0.02	2.60	3.20	2.70	7.00
28	16.10	10.50	9.00	6.00	1.40	0.05	2.23	0.20	0.02	3.20	5.20	2.80	7.10
31	22.40	8.50	12.30	8.80	1.90	0.04	1.59	0.08	0.01	2.70	8.80	2.40	7.50
RAW AVG	49.58	49.31	77.88	13.26	5.46	0.19	2.47	1.05	0.26	3.68	34.13	2.68	7.16
AVG	17.11	9.74	9.39	5.65	1.56	0.06	2.84	0.15	0.02	2.80	4.20	2.86	7.04
MIN	5.90	7.10	5.30	3.00	0.20	0.04	0.80	0.01	0.00	2.50	0.40	2.00	6.50
MAX	24.20	12.80	13.50	8.80	4.00	0.09	5.40	0.40	0.10	3.40	8.80	3.80	7.50
EFF	65.49	80.25	87.95	57.39	71.38	65.28	-	85.65	91.44	-	87.69	-	-
REM	0.06	0.08	0.14	0.02	0.01	0.00	-	0.00	0.00	-	0.06	-	-

Appendix 3. Continued

DATE	TOC	COD	BOD	TKN	NH3-N	NO2-N	NO3-N	T-P	PO4-P	DO	SS	TEMP	pH
2. 4	30.10	13.50	18.50	8.50	3.30	0.05	1.05	0.20	0.00	2.20	3.20	2.20	7.10
12	33.50	13.70	17.80	10.10	3.20	0.07	1.10	0.30	0.01	1.80	3.20	3.50	7.00
18	26.80	11.30	6.30	9.00	2.60	0.10	1.40	0.50	0.02	1.80	4.30	3.50	7.10
25	24.00	10.40	7.80	5.50	2.90	0.40	4.60	0.30	0.00	2.30	1.80	3.50	7.10
RAW AVG	74.68	63.40	86.06	19.15	4.13	0.28	2.15	2.30	0.88	2.45	40.20	3.15	7.50
AVG	28.60	12.23	12.60	8.28	3.00	0.16	2.04	0.33	0.01	2.03	3.13	3.18	7.08
MIN	24.00	10.40	6.30	5.50	2.60	0.05	1.05	0.20	0.00	1.80	1.80	2.20	7.00
MAX	33.50	13.70	18.50	10.10	3.30	0.40	4.60	0.50	0.02	2.30	4.30	3.50	7.10
EFF	61.70	80.72	85.36	56.79	27.36	44.64	5.23	85.87	99.09	-	92.23	-	-
REM	0.09	0.10	0.15	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.07	-	-
3. 7	26.70	13.50	13.50	9.12	2.80	0.08	2.47	0.41	0.01	2.10	5.20	4.50	7.00
11	23.50	12.50	10.30	8.40	2.43	0.08	1.93	0.50	0.00	2.10	2.80	4.20	7.05
14	21.10	10.50	8.70	6.96	1.93	0.05	1.25	0.58	0.01	3.00	4.20	4.00	6.83
18	14.70	8.80	14.80	6.13	2.10	0.04	1.01	0.36	0.02	2.20	6.80	6.00	6.88
21	17.30	10.00	13.50	5.68	2.22	0.05	1.09	0.46	0.04	2.90	5.60	8.00	6.93
25	14.90	8.20	7.70	5.91	2.72	0.05	0.99	0.63	0.03	2.00	4.30	9.50	7.17
RAW AVG	22.00	19.86	29.86	5.57	2.47	0.12	1.82	1.02	0.08	5.99	20.54	6.16	6.92
AVG	19.70	10.58	11.42	7.03	2.37	0.06	1.46	0.49	0.02	2.38	4.82	6.03	6.98
MIN	14.70	8.20	7.70	5.68	1.93	0.04	0.99	0.36	0.00	2.00	2.80	4.00	6.83
MAX	26.70	13.50	14.80	9.12	2.80	0.08	2.47	0.63	0.04	3.00	6.80	9.50	7.17
EFF	10.45	46.71	61.77	-	4.18	51.39	19.96	51.96	78.96	-	76.55	-	-
REM	0.00	0.02	0.04	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.03	-	-
5. 20	23.70	12.90	10.00	5.09	2.70	0.28	5.50	0.13	0.04	1.90	2.50	20.00	6.60
23	28.30	15.70	14.50	5.50	2.62	0.26	3.24	0.19	0.05	1.80	1.00	21.20	6.86
27	16.70	10.30	7.50	5.76	1.46	0.61	4.78	0.21	0.11	4.00	1.60	19.50	6.70
29	14.40	8.70	10.30	5.39	1.40	0.28	4.13	0.65	0.11	4.60	0.80	20.00	6.90
RAW AVG	23.86	15.01	33.13	8.52	3.34	0.22	0.66	0.81	0.21	3.23	20.61	17.62	6.96
AVG	20.78	11.90	10.58	5.44	2.05	0.36	4.41	0.30	0.07	3.08	1.48	20.18	6.72
MIN	14.40	8.70	7.50	5.09	1.40	0.26	3.24	0.13	0.04	1.80	0.80	19.50	6.60
MAX	28.30	15.70	14.50	5.76	2.70	0.61	5.50	0.65	0.11	4.60	2.50	21.20	6.90
EFF	12.93	20.72	68.08	36.21	38.77	-	-	63.58	64.88	-	92.84	-	-
REM	0.01	0.01	0.05	0.01	0.00	-	-	0.00	0.00	-	0.04	-	-

Appendix 3. Continued

DATE	TOC	COD	BOD	TKN	NH3-N*	NO2-N	NO3-N	T-P	PO4-P	DO	SS	TEMP	pH
6, 3	15.70	6.60	7.80	3.59	0.99	0.98	7.45	0.37	0.08	1.50	2.00	19.50	6.67
7	11.80	6.60	7.00	2.77	1.07	0.38	7.46	0.10	0.09	2.10	1.60	21.00	6.70
10	15.60	6.40	7.40	2.77	1.64	0.21	7.61	0.29	0.06	2.30	4.40	20.50	6.77
13	18.20	7.40	10.20	4.94	2.60	0.29	4.56	0.21	0.07	1.90	6.00	21.60	6.70
17	20.10	8.00	8.00	5.09	2.49	0.19	2.70	0.08	0.07	1.60	6.00	22.60	6.74
19	17.70	8.40	10.10	4.49	2.02	0.16	2.30	0.03	0.01	1.80	1.20	23.00	6.83
24	19.30	7.01	9.80	4.86	3.78	0.02	2.61	0.05	0.01	3.10	1.60	21.70	6.88
27	19.30	8.80	10.40	4.70	2.40	0.18	1.36	0.79	0.06	1.60	2.00	23.60	6.81
RAW AVG	28.13	17.86	29.99	13.29	3.40	0.03	0.19	0.86	0.45	1.24	36.13	22.48	7.21
AVG	17.24	7.40	8.84	4.15	2.12	0.30	4.51	0.24	0.06	1.99	3.10	21.69	6.76
MIN	11.80	6.40	7.00	2.77	0.99	0.02	1.36	0.03	0.01	1.50	1.20	19.50	6.67
MAX	20.10	8.80	10.40	5.09	3.78	0.98	7.61	0.79	0.09	3.10	6.00	23.60	6.88
EFF	38.72	58.56	70.53	68.76	37.54	-	-	72.09	87.50	-	91.42	-	-
REM	0.02	0.02	0.04	0.02	0.00	-	-	0.00	0.00	-	0.07	-	-
7, 1	18.50	6.70	12.30	6.90	1.70	0.21	1.42	0.34	0.17	1.00	4.20	22.50	7.01
8	8.00	6.80	9.40	4.20	1.90	0.12	0.98	1.74	0.29	1.50	3.20	23.00	6.91
11	12.00	4.80	15.00	4.50	3.00	0.13	2.64	0.15	0.15	1.60	2.00	21.50	6.71
15	8.80	6.60	17.50	5.10	1.50	0.12	0.51	0.28	0.12	3.40	4.00	22.40	6.87
18	8.50	4.60	9.80	3.10	1.50	0.11	1.49	1.73	0.39	1.70	1.60	22.50	6.67
29	7.80	3.80	3.70	1.50	0.14	0.05	4.48	0.09	0.06	4.10	1.60	18.50	6.62
RAW AVG	14.25	8.82	15.42	6.33	2.18	0.11	1.28	1.02	0.24	4.96	28.33	21.06	7.08
AVG	10.60	5.55	11.28	4.22	1.62	0.12	1.92	0.72	0.20	2.22	2.77	21.73	6.80
MIN	7.80	3.80	3.70	1.50	0.14	0.05	0.51	0.09	0.06	1.00	1.60	18.50	6.62
MAX	18.50	6.80	17.50	6.90	3.00	0.21	4.48	1.74	0.39	4.10	4.20	23.00	7.01
EFF	25.61	37.07	26.83	33.39	25.54	-	-	29.25	18.06	-	90.23	-	-
REM	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	-	-	0.00	0.00	-	0.05	-	-
8, 1	6.50	1.60	3.20	1.20	0.15	0.04	3.45	0.14	0.03	2.90	1.60	19.00	6.34
5	12.40	4.80	3.20	1.10	0.30	0.04	2.32	0.45	0.03	2.00	4.30	16.80	6.44
8	8.00	3.40	2.60	1.40	0.59	0.03	1.57	0.13	0.02	2.40	3.20	18.00	6.50
12	11.50	4.10	1.60	1.10	0.33	0.05	2.84	0.09	0.06	2.20	2.80	16.50	6.63
16	16.40	5.80	3.60	2.47	2.37	0.05	2.01	0.25	0.06	2.00	4.00	17.70	6.39
19	10.20	4.00	3.50	0.90	0.21	0.03	1.80	0.07	0.05	1.80	1.60	18.00	6.36
22	12.80	3.20	3.40	0.90	0.20	0.01	2.17	0.09	0.07	2.20	2.00	16.40	6.39
26	19.10	3.80	3.20	0.70	0.26	0.02	3.19	0.10	0.07	2.10	2.40	22.50	6.43
29	18.90	3.20	5.40	1.34	0.93	0.02	2.86	0.11	0.07	2.00	3.60	23.50	6.55
RAW AVG	10.04	6.60	6.59	3.22	0.79	0.36	2.25	0.57	0.14	5.67	5.52	20.27	6.93
AVG	12.87	3.77	3.30	1.23	0.59	0.03	2.47	0.16	0.05	2.18	2.83	18.71	6.45
MIN	6.50	1.60	1.60	0.70	0.15	0.01	1.57	0.07	0.02	1.80	1.60	16.40	6.34
MAX	19.10	5.80	5.40	2.47	2.37	0.05	3.45	0.45	0.07	2.90	4.30	23.50	6.63
EFF	-	42.93	49.92	61.66	24.89	91.05	-	72.12	63.49	-	48.67	-	-
REM	-	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00	-	0.01	-	-

Appendix 3. Continued

DATE	TOC	COD	BOD	TKN	NH3-N	NO2-N	NO3-N	T-P	PO4-P	DO	SS	TEMP	pH
9. 2	13.10	3.80	6.40	1.83	1.00	0.04	1.51	0.05	0.02	2.30	3.20	22.00	6.49
5	15.80	6.20	5.00	0.91	0.28	0.05	2.71	0.14	0.06	4.00	6.40	20.00	6.57
9	7.50	3.60	4.20	0.70	0.29	0.02	1.28	0.06	0.06	2.10	0.80	20.00	6.28
16	8.60	2.80	3.40	0.35	0.31	0.02	2.43	0.06	0.05	2.60	1.60	20.00	6.18
19	9.70	4.80	4.60	5.41	0.41	0.02	1.30	0.11	0.04	2.50	2.80	19.00	6.51
24	10.40	4.00	4.00	0.63	0.37	0.02	1.17	0.08	0.05	3.00	0.40	17.50	6.60
26	10.10	2.20	4.00	0.98	0.53	0.06	1.85	0.08	0.02	2.20	3.20	19.80	6.66
30	9.80	2.40	4.00	0.98	0.44	0.02	1.46	0.17	0.07	2.60	2.80	15.00	6.62
RAW AVG	13.56	7.71	7.99	4.63	2.00	0.33	2.02	0.41	0.25	3.00	5.75	17.89	6.80
AVG	10.50	3.73	4.45	1.47	0.45	0.03	1.71	0.09	0.05	2.66	2.65	19.16	6.49
MIN	7.50	2.20	3.40	0.35	0.28	0.02	1.17	0.05	0.02	2.10	0.40	15.00	6.18
MAX	15.80	6.20	6.40	5.41	1.00	0.06	2.71	0.17	0.07	4.00	6.40	22.00	6.66
EFF	22.57	51.69	44.31	68.17	77.31	90.53	15.16	77.07	81.85	-	53.91	-	-
REM	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.01	-	-
10. 2	10.80	3.60	4.40	0.84	0.63	0.04	1.50	0.04	0.04	2.20	0.40	18.50	6.59
7	10.70	2.60	3.20	1.27	0.93	0.03	1.58	0.04	0.04	2.50	0.40	16.50	6.68
10	10.90	3.80	3.60	1.27	1.16	0.05	2.82	0.04	0.04	2.50	0.40	16.10	6.62
14	11.60	4.01	4.40	1.97	1.48	0.05	2.31	0.21	0.04	2.70	4.40	14.80	6.42
RAW AVG	17.80	9.14	9.25	5.68	4.65	0.30	0.61	0.43	0.25	1.85	5.65	13.70	6.83
AVG	11.00	3.50	3.90	1.34	1.05	0.04	2.05	0.08	0.04	2.48	1.40	16.48	6.58
MIN	10.70	2.60	3.20	0.84	0.63	0.03	1.50	0.04	0.04	2.20	0.40	14.80	6.42
MAX	11.60	4.01	4.40	1.97	1.48	0.05	2.82	0.21	0.04	2.70	4.40	18.50	6.68
EFF	38.20	61.68	57.84	76.45	77.42	86.08	-	80.64	84.60	-	75.22	-	-
REM	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	-	0.00	0.00	-	0.01	-	-
T AVG	17.24	8.01	9.09	4.14	1.75	0.13	2.92	0.30	0.05	2.36	3.21	13.45	6.81
T MIN	5.90	1.60	1.60	0.35	0.14	0.01	0.51	0.03	0.00	1.00	0.40	2.00	6.18
T MAX	33.50	15.70	21.00	10.10	5.50	0.98	7.61	1.74	0.39	3.40	8.80	23.60	7.50
T EFF	32.24	57.56	64.49	50.75	43.78	-	-	69.90	76.10	-	80.00	-	-
T REM	0.03	0.04	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.04	-	-

* AVG : average(mg/L)
 ** MIN : minimum(mg/L)
 *** MAX : maximum(mg/L)
 **** EFF : efficiency(%)
 ***** REM : remval quantity(m3/d)

Appendix 4. Concentrations of Pollutants of Effluent from Aerated Gravel Contact Oxidation Process

DATE	TOC	COD	BOD	TKN	NH3-N	NO2-N	NO3-N	T-P	P04-P	DO	SS	TEMP	pH
90.11. 2	48.90	18.02	29.00	9.20	2.90	0.00	1.60	0.80	0.20	3.40	5.30	10.30	7.20
5	42.30	25.70	38.32	8.60	3.40	0.05	1.20	1.10	0.50	4.20	5.10	8.90	7.20
8	43.70	19.20	30.39	6.90	3.00	0.06	0.80	0.80	0.10	3.20	5.10	9.20	7.40
12	32.30	10.80	17.30	9.00	5.00	0.34	0.95	0.70	0.40	2.90	13.90	9.50	7.60
15	61.80	23.47	28.00	9.50	3.00	0.02	1.30	0.80	0.07	2.80	8.10	15.00	7.40
19	29.00	19.90	12.80	9.60	4.40	0.00	0.98	1.70	0.60	2.40	23.70	15.50	7.20
22	39.60	31.60	44.30	13.40	3.20	0.00	0.74	1.30	0.04	1.00	14.50	9.00	7.00
26	28.00	16.50	16.00	8.80	4.20	0.14	0.66	1.60	0.05	9.50	6.10	10.20	6.90
29	49.90	13.10	23.00	13.30	5.80	0.02	0.87	1.70	0.03	4.10	5.50	11.00	7.30
RAW AVG	44.08	39.26	55.20	7.81	4.50	0.41	1.67	2.07	0.35	0.50	26.68	13.37	7.50
AVG	41.72	19.81	26.57	9.81	3.88	0.07	1.01	1.17	0.22	3.72	9.70	10.96	7.24
MIN	28.00	10.80	12.80	6.90	2.90	0.00	0.66	0.70	0.03	1.00	5.10	8.90	6.90
MAX	61.80	31.60	44.30	13.40	5.80	0.34	1.60	1.70	0.60	9.50	23.70	15.50	7.60
EFF	5.35	49.54	51.87	-	13.83	82.90	39.45	43.64	36.83	-	63.64	-	-
REM	0.05	0.39	0.57	-	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	-	0.34	-	-
12. 3	35.50	22.50	34.42	13.40	5.10	0.42	0.70	0.60	0.10	8.90	16.80	4.30	7.90
6	44.60	28.70	29.30	10.20	2.40	0.10	0.50	0.50	0.40	3.60	8.00	9.20	7.40
10	19.90	14.00	11.50	9.40	3.10	0.04	0.40	0.40	0.20	6.90	5.80	11.60	7.60
13	32.30	22.93	35.00	7.60	2.20	0.01	0.49	0.30	0.20	10.50	8.60	6.20	6.80
17	18.90	12.00	21.61	9.30	7.20	0.08	0.32	2.90	0.05	9.90	6.10	4.90	7.30
20	34.20	13.92	24.00	12.30	2.50	0.08	0.90	0.60	0.20	9.50	12.00	5.00	6.90
24	19.80	17.00	27.71	10.20	2.40	0.03	0.17	2.00	0.20	7.90	16.00	2.50	6.90
27	41.60	20.48	32.00	10.20	3.40	0.25	1.85	0.60	0.20	5.80	10.00	1.50	7.20
31	25.60	21.00	32.50	10.30	3.40	0.10	0.19	2.10	0.09	10.00	13.00	2.80	7.10
RAW AVG	44.90	45.82	56.73	9.17	4.19	0.17	2.36	1.10	0.21	3.16	40.01	5.21	6.92
AVG	30.27	19.17	27.56	10.32	3.52	0.12	0.61	1.11	0.18	8.11	10.70	5.33	7.23
MIN	18.90	12.00	11.50	7.60	2.20	0.01	0.17	0.30	0.05	3.60	5.80	1.50	6.80
MAX	44.60	28.70	35.00	13.40	7.20	0.42	1.85	2.90	0.40	10.50	16.80	11.60	7.90
EFF	32.59	58.16	51.42	-	15.94	27.45	74.01	-	13.23	-	73.26	-	-
REM	0.29	0.53	0.58	-	0.01	0.00	0.03	-	0.00	-	0.59	-	-
91. 1. 3	15.90	18.50	29.54	13.20	4.20	0.12	0.56	1.50	0.20	9.60	11.00	1.20	6.50
7	33.50	33.40	18.30	9.30	3.60	0.10	0.19	1.20	0.20	11.00	13.00	2.00	7.60
10	29.20	11.46	21.00	10.50	4.30	0.13	0.60	0.80	0.20	9.40	10.00	2.20	7.20
14	21.80	17.50	21.50	13.20	6.50	0.15	0.50	1.30	0.20	11.20	13.00	1.00	7.20
17	36.90	12.86	22.70	13.30	7.00	0.10	0.00	0.90	0.20	8.50	9.00	3.90	7.40
21	37.20	27.40	35.00	14.70	4.60	0.08	0.21	0.70	0.30	8.20	21.00	4.20	6.90
28	19.90	21.60	37.30	16.10	6.10	0.08	0.97	0.50	0.30	9.20	16.00	2.50	7.70
31	58.10	59.00	79.00	18.30	7.40	0.10	1.70	1.20	0.30	6.00	28.00	4.20	7.70
RAW AVG	49.58	49.31	77.88	13.26	5.46	0.18	2.47	1.05	0.26	3.68	34.13	2.68	7.16
AVG	31.56	25.22	33.04	13.58	5.46	0.11	0.59	1.01	0.24	9.14	15.13	2.65	7.28
MIN	15.90	11.46	18.30	9.30	3.60	0.08	0.00	0.50	0.20	6.00	9.00	1.00	6.50
MAX	58.10	59.00	79.00	18.30	7.40	0.15	1.70	1.50	0.30	11.20	28.00	4.20	7.70
EFF	36.34	48.86	57.57	-	-	40.28	76.06	3.57	8.65	-	55.68	-	-
REM	0.36	0.48	0.90	-	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	-	0.38	-	-

Appendix 4. Continued

DATE	TOC	COD	BOD	TKN	NH3-N	NO2-N	NO3-N	T-P	P04-P	DO	SS	TEMP	pH
2. 4	66.50	61.50	57.00	19.10	6.50	0.07	0.90	0.90	0.30	1.50	12.00	3.60	7.30
12	73.30	33.02	47.30	17.10	5.20	0.06	0.70	1.10	0.20	1.00	10.00	5.20	7.20
18	29.10	28.10	21.50	16.40	4.40	0.10	1.90	1.80	0.20	5.40	8.00	5.00	7.20
25	49.90	40.10	11.00	18.60	1.60	0.20	0.20	1.57	0.70	8.90	17.00	4.50	7.60
28	50.10	14.99	25.30	16.50	2.10	0.30	0.20	1.45	0.60	7.80	14.30	4.20	7.40
RAW AVG	74.68	63.40	86.06	19.15	4.13	0.28	2.15	2.30	0.88	2.45	40.20	3.15	7.50
AVG	53.78	35.54	32.42	17.54	3.96	0.15	0.78	1.36	0.40	4.92	12.26	4.50	7.34
MIN	29.10	14.99	11.00	16.40	1.60	0.06	0.20	0.90	0.20	1.00	8.00	3.60	7.20
MAX	73.30	61.50	57.00	19.10	6.50	0.30	1.90	1.80	0.70	8.90	17.00	5.20	7.60
EFF	27.99	43.94	62.33	8.41	4.12	47.86	63.72	40.70	54.55	-	69.50	-	-
REM	0.42	0.56	1.07	0.03	0.00	0.00	0.03	0.02	0.01	-	0.56	-	-
3. 7	43.10	29.65	31.00	14.59	3.70	0.03	0.13	4.10	0.62	5.30	13.00	8.20	7.38
11	20.80	10.23	16.30	13.20	2.60	0.06	2.12	1.50	0.31	7.50	10.00	5.50	7.18
14	15.60	12.00	17.50	6.81	2.43	0.10	0.26	2.17	0.07	7.10	2.50	4.50	6.97
18	15.30	12.60	19.50	8.08	3.00	0.12	0.42	1.14	0.13	6.10	6.00	6.00	6.83
21	13.70	10.30	12.00	4.64	2.02	0.08	0.42	0.86	0.12	5.90	8.80	8.00	6.88
25	16.40	12.30	13.00	3.87	2.32	0.04	0.13	1.14	0.28	4.20	8.50	11.00	7.29
28	9.60	7.60	6.30	3.37	2.15	0.15	1.31	0.33	0.00	6.00	3.00	7.60	7.31
RAW AVG	22.00	19.86	29.86	5.57	2.47	0.12	1.82	1.02	0.08	5.99	20.54	6.16	6.92
AVG	19.21	13.53	16.51	7.79	2.60	0.08	0.68	1.61	0.22	6.01	7.40	7.26	7.12
MIN	9.60	7.60	6.30	3.37	2.02	0.03	0.13	0.33	0.00	4.20	2.50	4.50	6.83
MAX	43.10	29.65	31.00	14.59	3.70	0.15	2.12	4.10	0.62	7.50	13.00	11.00	7.38
EFF	12.66	31.89	44.69	-	-	30.60	62.42	-	-	-	63.97	-	-
REM	0.06	0.13	0.27	-	-	0.00	0.02	-	-	-	0.26	-	-
4. 1	13.10	9.10	15.07	9.05	0.82	0.15	0.84	0.72	0.09	5.80	9.70	8.50	6.82
4	17.90	11.70	22.80	7.18	0.29	0.06	0.31	1.10	0.12	4.20	5.00	10.30	7.14
8	20.80	14.30	12.00	13.31	1.07	0.16	0.19	1.22	0.37	5.40	9.00	15.00	7.03
11	17.90	13.70	20.80	8.08	1.71	0.13	0.13	2.19	0.12	6.20	4.50	14.50	7.24
15	9.50	7.50	6.70	5.24	1.02	0.37	0.64	1.02	0.11	6.30	2.80	14.50	7.19
18	13.00	11.40	10.00	5.43	2.22	0.49	1.33	1.77	0.10	6.90	2.00	14.00	7.14
22	9.30	8.80	9.80	3.89	0.89	0.28	1.68	2.70	0.16	3.70	3.50	14.00	6.91
25	12.50	10.80	16.00	5.31	0.82	0.35	2.17	1.90	0.20	7.00	9.50	15.40	7.56
29	12.60	10.20	6.00	7.18	1.55	0.14	3.77	0.31	0.13	2.90	4.00	16.10	6.81
RAW AVG	18.34	14.58	27.44	5.12	1.53	0.19	1.42	1.80	0.06	5.08	24.58	12.91	6.96
AVG	14.07	10.81	13.24	7.30	1.13	0.24	1.23	1.44	0.16	5.38	5.56	13.59	7.09
MIN	9.30	7.50	6.00	3.89	0.29	0.06	0.13	0.31	0.09	2.90	2.00	8.50	6.81
MAX	20.80	14.30	22.80	13.31	2.22	0.49	3.77	2.70	0.37	7.00	9.70	16.10	7.56
EFF	23.30	25.85	51.75	-	26.00	-	13.45	10.21	-	-	77.40	-	-
REM	0.09	0.08	0.28	-	0.01	-	0.00	0.00	-	-	0.38	-	-

Appendix 4. Continued

DATE	TOC	COD	BOD	TKN	NH3-N	NO2-N	NO3-N	T-P	P04-P	DO	SS	TEMP	pH
5. 2	12.30	10.90	14.00	5.39	1.26	0.23	2.47	0.59	0.22	8.30	7.00	5.20	7.01
6	14.70	9.40	9.00	5.31	0.56	0.37	2.99	0.37	0.46	3.40	4.00	8.20	6.99
9	10.50	10.50	15.80	5.08	0.99	0.35	2.89	0.35	0.14	4.20	5.50	5.50	7.05
13	17.70	10.00	21.00	8.89	5.25	0.16	2.41	0.61	0.33	4.20	4.50	4.50	6.99
16	21.40	14.00	27.00	11.37	4.96	0.15	0.76	0.38	0.32	2.80	2.50	6.00	7.22
20	18.40	12.30	9.00	11.97	7.00	0.10	0.26	0.49	0.36	2.70	7.50	19.00	7.27
23	23.20	12.40	15.00	10.70	2.57	0.19	0.45	0.63	0.51	2.30	1.50	21.30	7.34
27	6.70	6.40	7.00	2.32	1.29	0.24	1.62	0.26	0.22	2.40	1.50	17.00	6.84
29	9.80	8.20	8.80	3.44	0.67	0.77	2.12	0.27	0.19	4.30	1.20	18.60	7.31
RAW AVG	23.86	15.01	33.13	8.52	3.34	0.22	0.66	0.81	0.21	3.23	20.61	17.62	6.96
AVG	14.97	10.46	14.07	7.16	2.73	0.28	1.77	0.44	0.31	3.84	3.91	11.70	7.11
MIN	6.70	6.40	7.00	2.32	0.56	0.10	0.26	0.26	0.14	2.30	1.20	4.50	6.84
MAX	23.20	14.00	27.00	11.97	7.00	0.77	2.99	0.63	0.51	8.30	7.50	21.30	7.34
EFF	37.27	30.34	57.54	15.92	18.33	-	-	45.82	-	-	81.02	-	-
REM	0.18	0.09	0.38	0.03	0.01	-	-	0.01	-	-	0.33	-	-
6. 3	10.20	8.20	6.20	2.17	1.16	0.01	2.12	1.14	0.35	7.50	4.00	21.50	7.07
7	12.40	12.30	6.30	1.27	0.38	0.09	2.32	0.42	0.34	8.20	2.40	23.00	7.69
10	11.70	9.80	7.20	1.27	0.13	0.01	2.29	0.54	0.52	8.00	3.20	23.50	8.01
13	11.40	9.00	3.60	1.12	0.04	0.09	9.15	0.46	0.38	6.50	3.20	24.90	7.66
17	12.20	9.40	3.60	0.90	0.04	0.09	5.99	0.84	0.51	7.20	6.00	23.00	7.20
19	11.10	12.30	6.30	3.74	0.88	0.60	3.89	0.46	0.31	3.70	2.00	23.00	7.47
24	11.90	8.00	7.60	1.65	0.39	0.54	7.76	0.42	0.37	4.80	1.60	23.00	7.34
27	19.50	12.30	14.50	8.30	3.70	0.46	3.47	0.91	0.55	2.10	4.00	23.30	7.40
RAW AVG	28.13	17.86	29.99	13.29	3.40	0.03	0.19	0.86	0.45	1.24	36.13	22.48	7.21
AVG	12.55	10.16	6.99	2.55	0.84	0.24	4.82	0.65	0.42	6.00	3.30	23.15	7.48
MIN	10.20	8.00	3.60	0.90	0.04	0.01	2.12	0.42	0.31	2.10	1.60	21.50	7.07
MAX	19.50	12.30	14.50	8.30	3.70	0.60	9.15	1.14	0.55	8.20	6.00	24.90	8.01
EFF	55.39	43.10	76.70	80.79	75.29	-	-	24.56	7.50	-	90.87	-	-
REM	0.31	0.15	0.46	0.21	0.05	-	-	0.00	0.00	-	0.66	-	-
7. 1	14.50	8.20	9.72	7.80	4.70	0.29	1.22	0.82	0.43	3.20	6.80	22.80	7.45
8	3.30	2.60	3.80	1.40	1.63	0.04	2.50	0.90	0.10	8.30	2.80	18.00	7.18
11	7.20	5.00	5.20	1.30	0.09	0.02	2.12	0.31	0.28	6.60	3.20	22.80	7.26
15	8.80	7.30	9.20	2.30	0.18	0.24	5.45	0.35	0.29	6.00	4.50	22.10	7.04
18	4.70	4.20	4.30	0.90	0.08	0.07	1.24	0.44	0.23	5.90	1.60	22.00	6.80
29	4.50	3.40	2.40	0.80	0.06	0.01	3.16	0.11	0.11	8.60	1.50	19.00	7.08
RAW AVG	14.25	8.82	15.42	6.33	2.18	0.11	1.28	1.02	0.24	4.95	28.33	21.05	7.08
AVG	7.17	5.12	5.77	2.42	1.12	0.11	2.62	0.49	0.24	6.43	3.40	21.12	7.14
MIN	3.30	2.60	2.40	0.80	0.06	0.01	1.22	0.11	0.10	3.20	1.50	18.00	6.80
MAX	14.50	8.20	9.72	7.80	4.70	0.29	5.45	0.90	0.43	8.60	6.80	22.80	7.45
EFF	49.71	41.99	62.58	61.82	48.47	-	-	52.12	0.00	-	88.00	-	-
REM	0.14	0.07	0.19	0.08	0.02	-	-	0.01	0.00	-	0.50	-	-

Appendix 4. Continued

DATE	TOC	COD	BOD	TKN	NH3-N	NO2-N	NO3-N	T-P	P04-P	DO	SS	TEMP	pH
8. 1	3.30	3.20	2.80	0.80	0.05	0.02	2.56	0.55	0.03	6.30	1.60	19.00	6.84
5	4.40	5.00	3.60	0.90	0.06	0.00	1.40	1.33	0.17	8.50	1.20	18.10	6.89
8	3.50	3.20	2.20	0.60	0.10	0.01	3.84	0.45	0.03	8.70	2.00	16.20	7.04
12	4.50	3.20	2.40	0.70	0.19	0.01	4.36	0.17	0.15	7.90	1.20	17.50	7.22
16	7.40	6.80	3.40	0.55	0.08	0.01	3.93	0.24	0.19	7.50	1.60	18.60	7.25
19	4.80	3.40	3.00	0.67	0.09	0.01	4.45	0.22	0.22	6.70	0.80	19.80	7.26
22	6.90	4.40	4.00	0.67	0.09	0.01	3.24	0.40	0.37	7.70	0.40	19.70	7.59
26	5.80	4.40	2.80	0.84	0.18	0.01	2.81	0.32	0.32	9.20	1.60	23.00	7.35
29	12.00	6.80	3.70	1.27	0.23	0.29	6.04	0.32	0.29	7.80	1.60	22.50	7.48
RAW AVG	10.04	6.60	6.59	3.22	0.79	0.36	2.25	0.57	0.14	5.67	5.52	20.27	6.93
AVG	5.84	4.49	3.08	0.78	0.12	0.04	3.63	0.44	0.20	7.81	1.33	19.38	7.21
MIN	3.30	3.20	2.20	0.55	0.05	0.00	1.40	0.17	0.03	6.30	0.40	16.20	6.84
MAX	12.00	6.80	4.00	1.27	0.23	0.29	6.04	1.33	0.37	9.20	2.00	23.00	7.59
EFF	41.79	31.99	53.30	75.85	84.95	88.89	-	22.03	-	-	75.85	-	-
REM	0.08	0.04	0.07	0.05	0.01	0.01	-	0.00	-	-	0.08	-	-
9. 2	7.70	4.80	3.80	0.84	0.14	0.03	5.28	0.30	0.29	6.70	1.60	24.00	7.23
5	5.80	7.00	3.00	0.35	0.19	0.01	4.54	0.35	0.35	8.70	0.80	20.70	7.31
9	4.00	2.60	2.10	0.28	0.00	0.01	3.19	0.20	0.19	8.50	0.80	22.00	6.73
16	7.40	4.00	2.20	0.77	0.22	0.15	5.09	0.18	0.14	7.40	0.40	18.30	6.73
19	10.80	8.00	3.80	0.84	0.32	0.24	3.29	0.24	0.20	5.30	2.40	18.50	7.27
24	9.80	6.80	4.60	2.18	0.73	0.20	5.17	0.22	0.18	3.00	2.00	16.00	6.85
26	12.00	4.01	4.80	2.18	0.44	0.31	9.46	0.33	0.27	4.20	3.20	18.90	6.96
30	6.20	3.81	3.80	0.77	0.14	0.16	4.54	0.27	0.23	6.50	0.80	12.50	6.88
RAW AVG	13.56	7.71	7.99	4.63	2.00	0.33	2.02	0.41	0.25	3.00	5.75	17.89	6.80
AVG	7.96	5.13	3.51	1.03	0.27	0.14	5.07	0.26	0.23	6.29	1.50	18.86	7.00
MIN	4.00	2.60	2.10	0.28	0.00	0.01	3.19	0.18	0.14	3.00	0.40	12.50	6.84
MAX	12.00	8.00	4.80	2.18	0.73	0.31	9.46	0.35	0.35	8.70	3.20	24.00	7.31
EFF	41.28	33.50	56.04	77.83	86.38	58.11	-	36.28	7.50	-	73.91	-	-
REM	0.11	0.05	0.09	0.07	0.03	0.00	-	0.00	0.00	-	0.09	-	-
10. 2	10.30	6.01	3.00	0.98	0.07	0.15	7.30	0.24	0.24	4.50	1.60	17.30	6.98
7	9.60	4.61	4.60	2.53	2.20	0.30	4.03	0.34	0.21	3.00	2.00	15.00	6.96
10	14.10	8.02	5.40	1.55	0.79	0.49	4.44	0.27	0.23	4.20	2.80	15.10	7.12
14	11.50	5.81	3.80	2.67	1.70	0.42	4.95	0.34	0.25	3.80	2.80	14.50	6.74
RAW AVG	17.80	9.14	9.25	5.68	4.65	0.30	0.61	0.43	0.25	1.85	5.65	13.70	6.83
AVG	11.38	6.11	4.20	1.93	1.19	0.34	5.18	0.30	0.23	3.88	2.30	15.48	6.95
MIN	9.60	4.61	3.00	0.98	0.07	0.15	4.03	0.24	0.21	3.00	1.60	14.50	6.74
MAX	14.10	8.02	5.40	2.67	2.20	0.49	7.30	0.34	0.25	4.50	2.80	17.30	7.12
EFF	36.10	33.12	54.59	65.98	74.41	-	-	30.81	7.00	-	59.29	-	-
REM	0.13	0.06	0.10	0.07	0.07	-	-	0.00	0.00	-	0.07	-	-
T AVG	20.87	13.79	15.58	6.85	2.24	0.16	2.32	0.86	0.25	5.96	6.37	12.83	7.18
T MIN	3.30	2.60	2.10	0.28	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	1.00	0.40	1.00	6.50
T MAX	73.30	61.50	79.00	19.10	7.40	0.77	9.46	4.10	0.70	11.20	28.00	24.90	8.01
T EFF	33.31	39.36	56.70	21.97	36.86	-	-	21.28	-	-	72.70	-	-
T REM	0.18	0.22	0.41	0.03	0.02	0.00	-	0.01	0.00	-	0.35	-	-

Appendix 5. Concentrations of pollutants of Effluent from Non-Aerated Gravel Contact Oxidation Process

DATE	TOC	COD	BOD	TKN	NH3-N	NO2-N	NO3-N	T-P	PO4-P	DO	SS	TEMP	pH
90.11.2	53.30	40.90	50.00	9.30	3.50	0.01	0.30	0.80	0.20	0.20	13.80	10.20	7.30
5	50.70	36.90	42.00	8.60	3.30	0.02	0.20	1.10	0.50	0.50	15.60	10.10	7.40
8	59.00	26.10	38.30	14.00	7.00	0.03	0.40	0.80	0.10	0.30	14.70	9.80	7.60
12	40.30	14.50	33.50	8.60	4.90	0.36	0.50	0.70	0.40	0.40	17.50	9.50	7.40
15	50.50	46.10	29.50	10.40	4.20	0.02	0.10	2.50	0.30	0.50	22.40	14.00	7.30
19	27.80	27.70	26.50	10.10	3.60	0.00	0.30	1.10	0.40	0.30	10.90	15.50	7.00
22	51.10	28.10	65.00	14.90	7.10	0.00	0.20	1.20	0.06	0.30	20.00	9.50	7.00
26	37.00	19.40	32.00	12.50	4.80	0.02	0.40	1.70	0.10	0.50	14.80	9.50	6.90
29	51.30	57.10	64.30	14.00	2.50	0.02	0.60	3.00	0.05	0.30	13.50	11.00	7.00
RAW AVG	44.08	39.26	55.20	7.81	4.50	0.41	1.67	2.07	0.35	0.50	26.68	13.37	7.50
AVG	46.78	32.98	42.34	11.38	4.54	0.05	0.33	1.43	0.23	0.37	15.91	11.01	7.21
MIN	27.80	14.50	26.50	8.60	2.50	0.00	0.10	0.70	0.05	0.20	10.90	9.50	6.90
MAX	59.00	57.10	65.00	14.90	7.10	0.36	0.60	3.00	0.50	0.50	22.40	15.50	7.60
EFF	-	16.00	23.29	-	-	86.94	80.04	30.76	33.02	-	40.36	-	-
REM	-	0.13	0.25	-	-	0.01	0.03	0.01	0.00	-	0.22	-	-
12.3	53.40	26.70	52.30	13.60	11.20	0.02	0.30	0.90	0.20	5.00	31.70	8.40	7.90
6	53.20	33.10	35.30	9.70	4.40	0.01	0.20	0.50	0.80	0.30	19.50	7.40	7.10
10	29.50	25.10	40.50	9.60	6.00	0.02	0.10	0.60	0.20	0.30	18.40	11.80	7.00
13	40.20	44.10	44.00	13.20	7.10	0.03	0.08	0.60	0.20	0.60	20.90	6.20	6.50
17	26.80	18.00	41.30	9.60	6.20	0.01	0.01	0.60	0.20	0.50	15.50	5.20	7.20
20	40.50	52.80	52.30	11.80	3.50	0.12	0.03	0.80	0.20	0.60	57.00	5.00	6.90
24	33.60	25.40	62.00	11.40	3.50	0.04	0.02	1.00	0.30	0.50	32.00	2.50	6.90
27	44.40	42.80	50.00	11.40	4.80	0.31	0.45	3.60	0.20	0.70	18.00	1.50	7.20
31	33.50	29.80	72.30	12.30	5.90	0.06	0.00	1.20	0.10	0.50	15.00	3.00	6.50
RAW AVG	44.90	45.82	56.73	9.17	4.19	0.17	2.36	1.10	0.21	3.16	40.01	5.21	6.92
AVG	39.46	33.09	50.00	11.40	5.84	0.07	0.13	1.09	0.27	1.00	25.33	5.67	7.02
MIN	26.80	18.00	35.30	9.60	3.50	0.01	0.00	0.50	0.10	0.30	15.00	1.50	6.50
MAX	53.40	52.80	72.30	13.60	11.20	0.31	0.45	3.60	0.80	5.00	57.00	11.80	7.90
EFF	12.13	27.79	11.86	-	-	59.48	94.40	1.01	-	-	36.68	-	-
REM	0.11	0.25	0.13	-	-	0.00	0.04	0.00	-	-	0.29	-	-
91.1.3	22.90	21.80	61.30	13.90	4.90	0.03	0.04	0.50	0.20	0.60	13.00	1.50	6.50
7	23.20	37.40	25.30	12.30	8.80	0.01	0.00	0.30	0.20	0.70	12.00	2.00	7.10
10	41.40	49.00	58.00	10.80	2.50	0.01	0.08	1.40	0.30	0.50	21.00	2.20	7.20
14	38.80	26.00	50.50	13.90	2.00	0.01	0.03	1.40	0.30	0.60	16.00	1.00	6.80
17	50.20	48.70	62.70	16.90	6.00	0.01	0.00	4.40	0.30	0.80	12.00	3.90	7.10
21	47.40	32.10	68.30	14.80	3.90	0.02	0.03	0.80	0.30	0.50	14.00	4.20	7.00
28	29.30	31.60	66.00	16.50	7.70	0.01	0.10	1.50	0.20	0.70	15.00	2.70	7.20
31	43.50	36.10	75.20	17.90	7.80	0.02	0.20	1.60	0.40	0.60	24.00	4.40	7.70
RAW AVG	49.58	49.31	77.88	13.26	5.46	0.18	2.47	1.05	0.28	3.68	34.13	2.68	7.16
AVG	37.09	35.34	58.41	14.63	5.45	0.01	0.06	1.49	0.28	0.83	15.88	2.74	7.08
MIN	22.90	21.80	25.30	10.80	2.00	0.01	0.00	0.30	0.20	0.50	12.00	1.00	6.50
MAX	50.20	49.00	75.20	17.90	8.80	0.03	0.20	4.40	0.40	0.80	24.00	4.40	7.70
EFF	25.20	28.34	25.00	-	0.18	92.22	97.57	-	-	-	53.49	-	-
REM	0.25	0.28	0.39	-	0.00	0.00	0.05	-	-	-	0.37	-	-

Appendix 5. Continued

DATE	TOC	COD	BOD	TKN	NH3-N	NO2-N	NO3-N	T-P	PO4-P	DO	SS	TEMP	pH
2. 4	71.70	58.80	78.00	20.20	5.20	0.01	0.07	0.90	0.40	0.80	15.00	3.50	7.20
12	70.30	72.10	73.70	18.60	3.40	0.00	0.09	1.30	0.30	0.40	16.00	6.00	7.10
18	43.60	40.10	47.50	16.80	7.30	0.01	0.09	3.30	0.30	0.50	12.00	5.20	7.20
25	56.80	46.80	32.00	17.60	5.30	0.00	0.04	2.50	0.70	0.80	26.00	0.00	7.20
28	56.60	49.40	33.50	17.30	5.10	0.00	0.05	2.40	0.50	0.60	18.00	2.50	7.30
RAW AVG	74.68	63.40	66.06	19.15	4.13	0.28	2.15	2.30	0.88	2.45	10.20	3.15	7.50
AVG	59.80	53.44	52.94	18.10	5.26	0.00	0.07	2.08	0.44	0.62	17.40	3.44	7.20
MIN	43.60	40.10	32.00	16.80	3.40	0.00	0.04	0.90	0.30	0.40	12.00	0.00	7.10
MAX	71.70	72.10	78.00	20.20	7.30	0.01	0.09	3.30	0.70	0.80	26.00	6.00	7.30
EFF	19.93	15.71	38.48	5.48	-	98.71	96.84	9.57	50.00	-	-	-	-
REM	0.30	0.20	0.66	0.02	-	0.01	0.04	0.00	0.01	-	-	-	-
3. 7	57.40	47.10	58.00	14.10	7.08	0.04	0.14	1.90	0.42	0.30	12.00	8.70	7.20
11	25.30	22.90	32.30	11.40	3.79	0.01	0.07	1.80	0.19	0.50	4.00	5.20	7.00
14	17.00	12.40	20.30	4.55	3.21	0.28	0.67	3.19	0.08	1.30	10.00	5.50	6.95
18	18.70	14.70	41.30	8.30	2.60	0.16	0.16	1.04	0.11	0.90	5.50	6.50	6.83
21	10.10	8.77	14.00	4.04	2.36	0.05	4.67	1.24	0.06	1.10	3.60	9.00	6.84
25	19.10	15.36	18.60	7.18	2.09	0.00	0.10	1.21	0.20	1.00	12.50	11.00	7.13
28	9.20	6.61	11.00	3.29	2.46	0.15	1.24	0.49	0.00	1.40	1.50	8.90	6.91
RAW AVG	22.00	19.86	29.86	5.57	2.47	0.12	1.82	1.02	0.08	5.99	20.54	6.16	6.92
AVG	22.40	18.28	27.93	7.55	3.37	0.10	1.01	1.55	0.15	0.93	7.01	7.83	6.98
MIN	9.20	6.61	11.00	3.29	2.09	0.00	0.07	0.49	0.00	0.30	1.50	5.20	6.83
MAX	57.40	47.10	58.00	14.10	7.08	0.28	4.67	3.19	0.42	1.40	12.50	11.00	7.20
EFF	-	8.04	6.47	-	-	17.62	44.68	-	-	-	65.85	-	-
REM	-	0.03	0.04	-	-	0.00	0.02	-	-	-	0.27	-	-
4. 1	16.10	11.30	24.80	6.36	4.47	0.03	0.20	0.66	0.16	1.70	4.00	8.50	6.78
4	25.00	17.60	32.10	6.81	4.08	0.01	0.01	0.96	0.22	0.70	5.00	11.00	6.94
8	28.60	22.10	38.50	7.65	7.40	0.02	0.01	1.84	0.38	0.70	12.00	15.00	6.88
11	29.90	23.10	34.00	9.65	5.63	0.01	0.04	1.48	0.17	1.20	6.00	13.60	6.92
15	15.10	14.40	17.00	5.54	2.53	0.00	0.02	0.91	0.25	0.80	3.20	13.50	7.09
18	16.00	12.80	11.00	5.09	2.71	0.03	0.19	1.95	0.07	1.00	9.00	13.60	7.02
22	11.10	9.50	19.50	4.11	2.57	0.01	0.02	3.24	0.09	1.00	3.00	14.00	6.95
25	13.90	10.30	7.40	5.39	1.55	0.13	0.58	1.59	0.05	1.60	6.00	15.30	7.37
29	19.70	16.40	9.80	9.87	7.85	0.01	0.03	0.93	0.23	1.40	6.50	15.90	7.00
RAW AVG	18.34	14.58	27.44	5.12	1.53	0.19	1.42	1.60	0.06	5.08	24.58	12.91	6.96
AVG	19.49	15.28	21.57	6.72	4.31	0.03	0.12	1.51	0.18	1.12	6.08	13.38	6.99
MIN	11.10	9.50	7.40	4.11	1.55	0.00	0.01	0.66	0.05	0.70	3.00	8.50	6.78
MAX	29.90	23.10	38.50	9.87	7.85	0.13	0.58	3.24	0.38	1.70	12.00	15.90	7.37
EFF	-	-	21.40	-	-	86.02	91.39	5.83	-	-	75.27	-	-
REM	-	-	0.12	-	-	0.00	0.03	0.00	-	-	0.37	-	-

Appendix 5. Continued

DATE	TOC	COD	BOD	TKN	NH3-N	NO2-N	NO3-N	T-P	P04-P	DO	SS	TEMP	pH
5. 2	15.80	13.50	13.00	9.13	2.33	0.07	0.11	0.64	0.25	1.70	11.50	13.00	7.12
6	18.50	10.60	12.00	8.68	2.28	0.00	0.00	0.46	0.23	2.30	2.00	16.10	7.15
9	14.50	16.00	18.60	9.35	4.77	0.00	0.00	0.54	0.34	1.00	7.00	16.50	7.18
13	21.20	14.00	32.00	10.62	7.84	0.00	0.00	0.58	0.31	1.40	6.00	16.00	7.07
16	27.70	19.50	36.00	13.91	8.20	0.00	0.01	1.56	0.31	0.90	14.00	17.50	7.26
20	29.30	22.60	30.00	14.06	7.60	0.00	0.02	0.64	0.42	0.70	5.50	20.00	7.12
23	33.80	25.60	28.00	14.59	6.43	0.01	0.01	0.68	0.59	0.50	6.00	21.40	7.40
27	10.30	13.20	15.00	5.61	2.17	0.01	0.00	0.47	0.42	2.50	1.00	18.00	7.52
29	11.20	8.70	14.30	5.98	1.07	0.28	0.42	0.35	0.24	3.80	1.60	18.30	7.42
RAW AVG	23.86	15.01	33.13	8.52	3.34	0.22	0.66	0.81	0.21	3.23	20.61	17.62	6.96
AVG	20.26	15.97	22.10	10.21	4.74	0.04	0.06	0.66	0.35	1.64	6.07	17.42	7.25
MIN	10.30	8.70	12.00	5.61	1.07	0.00	0.00	0.35	0.23	0.50	1.00	13.00	7.07
MAX	33.80	25.60	36.00	14.59	8.20	0.28	0.42	1.56	0.59	3.80	14.00	21.40	7.52
EFF	15.11	-	33.29	-	-	80.71	90.39	18.79	-	-	70.56	-	-
REM	0.07	-	0.22	-	-	0.00	0.01	0.00	-	-	0.29	-	-
6. 3	16.30	9.80	11.00	9.10	2.78	0.01	0.01	0.70	0.44	0.60	6.80	21.50	7.39
7	18.00	16.00	12.60	10.80	2.81	0.01	0.01	0.57	0.36	1.30	4.40	24.00	7.57
10	16.90	11.70	10.20	10.90	3.65	0.01	0.00	0.57	0.35	0.80	4.40	24.50	7.68
13	18.60	12.90	10.10	9.10	3.50	0.01	0.00	0.98	0.45	0.50	10.40	24.80	7.47
17	19.80	14.40	11.30	8.70	4.81	0.01	0.03	0.64	0.53	0.40	8.40	23.50	7.55
19	19.10	16.40	20.30	9.60	3.44	0.01	0.02	0.47	0.41	0.70	3.60	22.00	7.73
24	18.60	10.90	9.00	10.50	6.78	0.01	0.03	0.46	0.40	3.30	2.00	23.00	7.66
27	27.10	18.00	11.00	13.00	11.79	0.01	0.01	0.70	0.65	1.60	4.80	23.30	7.47
RAW AVG	28.13	17.86	29.99	13.29	3.40	0.03	0.19	0.86	0.45	1.24	36.13	22.48	7.21
AVG	19.30	13.76	11.94	10.21	4.95	0.01	0.01	0.64	0.45	1.15	5.60	23.33	7.57
MIN	16.30	9.80	9.00	8.70	2.78	0.01	0.00	0.46	0.35	0.40	2.00	21.50	7.39
MAX	27.10	18.00	20.30	13.00	11.79	0.01	0.03	0.98	0.65	3.30	10.40	24.80	7.73
EFF	31.39	22.94	60.20	23.16	-	66.67	92.96	26.02	0.28	-	84.50	-	-
REM	0.18	0.08	0.36	0.06	-	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.61	-	-
7. 1	19.10	13.00	15.60	10.50	8.80	0.01	0.01	0.97	0.52	0.50	7.60	23.00	7.63
8	3.10	3.20	6.60	2.17	1.37	0.50	0.66	1.53	0.02	1.60	4.00	18.00	7.05
11	10.00	5.60	7.20	7.30	3.72	0.05	0.01	0.28	0.11	0.90	4.00	22.40	7.11
15	12.50	9.30	7.60	7.60	1.16	0.05	0.00	0.51	0.26	6.20	6.50	22.20	7.26
18	5.70	5.40	5.30	2.10	0.82	0.48	4.35	0.34	0.11	1.10	1.60	22.50	6.79
29	4.70	3.60	3.00	1.30	0.28	0.36	2.07	0.09	0.05	1.10	4.00	18.50	6.97
RAW AVG	14.25	8.82	15.42	6.33	2.18	0.11	1.28	1.02	0.24	4.95	28.33	21.05	7.08
AVG	9.18	6.68	7.55	5.16	2.69	0.24	1.18	0.62	0.18	1.90	4.62	21.10	7.14
MIN	3.10	3.20	3.00	1.30	0.28	0.01	0.00	0.09	0.02	0.50	1.60	18.00	6.79
MAX	19.10	13.00	15.60	10.50	8.80	0.50	4.35	1.53	0.52	6.20	7.60	23.00	7.63
EFF	35.56	24.23	51.04	18.46	-	-	7.55	39.22	26.04	-	83.70	-	-
REM	0.10	0.04	0.16	0.02	-	-	0.00	0.01	0.00	-	0.47	-	-

Appendix 5. Continued

DATE	TOC	COD	BOD	TKN	NH3-N	NO2-N	NO3-N	T-P	PO4-P	DO	SS	TEMP	pH
8. 1	4.00	3.20	2.00	1.40	0.11	0.15	2.23	0.17	0.01	0.60	0.80	19.00	6.64
5	4.40	6.40	4.00	2.60	0.83	0.00	0.02	0.70	0.03	0.70	6.80	18.70	6.71
8	3.90	2.80	2.40	0.70	0.10	0.15	3.50	0.20	0.03	1.90	1.60	16.20	6.89
12	5.40	4.00	2.80	1.40	0.32	0.19	3.23	0.14	0.07	1.20	2.00	17.50	7.21
16	8.60	8.00	3.40	1.42	0.53	0.25	2.08	0.19	0.13	0.80	1.20	18.80	6.91
19	8.10	5.60	3.60	3.81	1.13	0.38	1.04	0.18	0.13	0.90	1.60	19.10	6.92
22	10.70	6.80	5.60	3.81	0.78	0.41	0.21	0.23	0.18	0.40	0.80	19.30	6.97
26	7.30	5.60	3.40	2.00	1.04	0.18	0.49	0.23	0.23	1.60	1.60	23.50	7.02
29	16.10	7.80	5.80	4.00	1.75	0.42	0.92	0.29	0.25	1.30	4.40	22.50	7.45
RAW AVG	10.04	6.60	6.59	3.22	0.79	0.36	2.25	0.57	0.14	5.67	5.52	20.27	6.93
AVG	7.61	5.58	3.67	2.35	0.73	0.24	1.52	0.26	0.12	1.04	2.31	19.40	6.97
MIN	3.90	2.80	2.00	0.70	0.10	0.00	0.02	0.14	0.01	0.40	0.80	16.20	6.64
MAX	16.10	8.00	5.80	4.00	1.75	0.42	3.50	0.70	0.25	1.90	6.80	23.50	7.45
EFF	24.19	15.49	44.36	27.05	7.31	34.17	32.25	54.58	-	-	58.13	-	-
REM	0.05	0.02	0.06	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	-	-	0.06	-	-
9. 2	10.90	6.00	7.00	5.13	3.35	0.31	0.56	0.30	0.26	0.70	1.60	22.80	7.07
5	8.80	8.00	5.80	4.57	3.33	0.12	0.01	0.42	0.36	1.80	4.00	21.00	7.04
9	3.40	3.00	1.80	0.77	0.73	0.14	2.46	0.13	0.11	0.60	0.40	21.00	6.44
16	8.60	4.40	4.70	1.76	1.62	0.23	3.45	0.15	0.14	1.20	0.40	17.30	6.52
19	11.50	8.20	5.10	2.74	1.31	0.30	1.68	0.22	0.20	0.60	2.40	18.50	7.10
24	11.00	6.20	5.40	4.64	2.56	0.28	1.52	0.21	0.18	0.90	2.00	16.00	6.95
26	13.30	7.01	4.10	5.76	1.81	0.46	6.54	0.33	0.25	0.70	3.60	18.60	7.00
30	7.48	4.21	2.80	2.46	1.32	0.20	2.61	0.30	0.22	0.80	0.80	13.00	6.81
RAW AVG	13.56	7.71	7.99	4.63	2.00	0.33	2.02	0.41	0.25	3.00	5.75	17.89	6.80
AVG	9.37	5.88	4.59	3.48	2.00	0.26	2.35	0.26	0.22	0.91	1.90	18.53	6.87
MIN	3.40	3.00	1.80	0.77	0.73	0.12	0.01	0.13	0.11	0.60	0.40	13.00	6.44
MAX	13.30	8.20	7.00	5.76	3.35	0.46	6.54	0.42	0.36	1.80	4.00	22.80	7.10
EFF	30.88	23.77	42.58	24.87	-	22.73	-	37.20	14.00	-	66.96	-	-
REM	0.08	0.04	0.07	0.02	-	0.00	-	0.00	0.00	-	0.08	-	-
10. 2	12.10	6.41	3.20	3.80	2.33	0.28	2.04	0.26	0.25	0.80	2.00	17.00	6.96
7	11.00	3.61	3.40	4.78	4.71	0.19	1.46	0.31	0.24	1.00	1.20	15.50	6.95
10	15.70	8.46	4.40	3.23	3.14	0.31	2.22	0.27	0.25	0.70	2.00	15.00	7.01
14	12.60	6.21	3.60	5.27	4.40	0.20	1.46	0.31	0.26	0.70	1.60	14.50	6.80
RAW AVG	17.80	9.14	9.25	5.68	4.65	0.30	0.61	0.43	0.25	1.85	5.65	13.70	6.83
AVG	12.85	6.17	3.65	4.27	3.65	0.25	1.80	0.29	0.25	0.80	1.70	15.50	6.93
MIN	11.00	3.61	3.20	3.23	2.33	0.19	1.46	0.26	0.24	0.70	1.20	14.50	6.80
MAX	15.70	8.46	4.40	5.27	4.71	0.31	2.22	0.31	0.26	1.00	2.00	17.00	7.01
EFF	27.81	32.47	60.54	24.82	21.61	18.33	-	33.14	0.00	56.76	69.91	-	-
REM	0.10	0.06	0.11	0.03	0.02	0.00	-	0.00	0.00	0.02	0.08	-	-
T AVG	25.30	20.20	25.56	8.79	3.96	0.11	0.72	0.99	0.26	1.01	9.15	13.28	7.10
T MIN	3.10	2.80	1.80	0.70	0.10	0.00	0.00	0.14	0.00	0.20	0.40	0.00	6.44
T MAX	72.70	72.10	78.00	20.20	11.79	0.50	6.54	4.40	0.80	6.20	57.00	24.80	7.90
T EFF	17.33	16.97	34.88	-	-	45.34	43.11	13.90	-	-	52.90	-	-
T REM	0.10	0.09	0.21	-	-	0.00	0.02	0.00	0.00	-	0.25	-	-

주 의

1. 이 보고서는 과학기술처에서 시행한 특정연구개발사업의 연구보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 과학기술처에서 시행한 특정연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.