

## 식물을 이용한 오수의 고도처리에 관한 연구

이용두·김현희  
제주대학교 환경공학과  
(1998년 11월 17일 접수)

### A Study on the Advanced Treatment of Wastewater by Plants

Yong-Doo Lee and Hyun-Hee Kim

Dept. of Environmental Engineering, Cheju National University  
(Manuscript received 17 November 1998)

In recent years increasing production and disposal of wastewater have caused an accelerated eutrophication of receiving waters. Therefore, in order to alleviate the detrimental impact of wastewater discharge, there is an increasing demand for removing the main nutrients, nitrogen and phosphorus, as well as the organic content of the waste water prior to disposal. This is effectively achieved by extended conventional treatment technology. However, the working expenses and energy requirements of such advanced treatment systems are rather high. So in a sparsely populated rural community is required development of wastewater treatment system combined with the regional characteristics.

In this study, the systems are planted with Reeds and Amaryllis in A.C and estimated purification potential of system. The results obtained are as follows.

BOD removal rate is 20% in the early stage, the last removal rate is 35% in A.C process and is 65% in Amaryllis+A.C process and is 50% in Reed+A.C process. T-N removal rate by Amaryllis is average  $2.6\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ , T-N removal rate by Reed is average  $1.76\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ . T-P removal rate by Amaryllis is average  $0.27\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ , T-P removal rate by Reed is average  $0.25\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ . BOD removal rate constant with retention time is  $1.4494(1/\text{d})$ , T-N removal rate constant is  $0.5428(1/\text{d})$ , T-P removal rate constant is  $0.5287(1/\text{d})$

Key words : wastewater, plants, Advanced Treatment, Activated Carbon, BOD removal rate, T-N removal rate constant, T-P removal rate constant.

#### 1. 서 론

최근, 산업의 발달, 인구의 증가, 생활수준의 향상 등으로 생활용수 및 공업용수의 수요량이 계속적으로 증가하고 있다. 이에 따라 하폐수 발생량의 증가로 하천의 오염이 가중되고 있다. 도시지역에서는 하수도과 같은 시스템이 도입되고 있지만, 인구밀도가 낮은 농산촌지역에서는 도시지역에서 이용되어지고 있는 에너지 다용형의 수질정화기술을 사용하는 것은 어렵다.<sup>1-3)</sup>

또한 재래식 오수 및 하수처리법은 유기물의 처리효율이 높은 장점은 있으나 건설비용이나 설비투자, 유지관리 측면에서 매우 높은 비용이 요구되고 있고, 특히 질소나 인에 대한 처리효율은 매우 낮아 이러한 방류수가 식수원에 유입되었을 때 수원의 부영양화를 일으키는 원인이 되고 있다.

질소와 인은 부영양화의 주요한 원인물질로서 생각되고 있지만, 고등식물에게 없어서는 안되는 필수 영양원이다. 이 때문에 고등식물을 이용하여 하수를 처리하는 연구가 다양하게 행해지고 있다.

그 주요한 이유로는 ① 종래의 활성오니법을 위주로 한 미생물처리법에 비해 처리법이 간단하고, ② 수처리에 요구되는 에너지 소비량이 적기 때문에 처리과정에 있어서 지구온난화의 주요원인 물질인 탄산가스 등의 대기오염물질의 발생이 적고, ③ 사용한 식물을 자원으로 하여 유효이용이 가능한 것들을 들 수 있다.<sup>4)</sup>

수질정화에 이용되고 있는 식물로는 부표식물인 부레옥잠이 가장 역사가 오래되었고, 부레옥잠의 수처리에 관한 연구보고도 많다. 또한 추수(抽水)식물인 갈대, 부들, 파피루스 등이 수로나 인공습지대 등에 심어져 오수정화연구가 실험되고 있다.

그 결과 The Root Zone Method<sup>3,5)</sup>, 유용식물과 천연 광물여재를 함께 이용한 바이오지오피터 수로(水路)<sup>1,6)</sup> 등과 Free water surface flow wetlands와 sub-surface flow wetland 등과 같은 습지형태들이 개발되었고,<sup>7-9)</sup> 많은 현장 자료가 축적되었다.

따라서 하수관거가 정비되지 않은 지역이나 인구밀도가 낮은 농촌지역에서는 지역특성에 적합한 수질정화

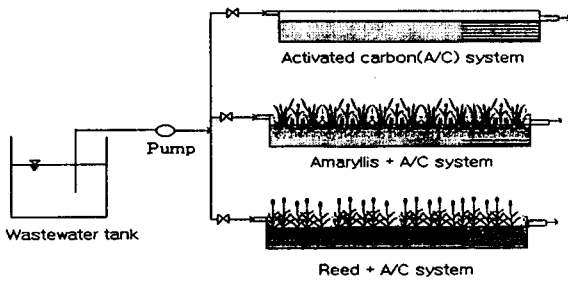


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

시스템의 개발이 요구되어지고, 또, 지하수 오염의 방지를 위하여 방류지역의 지역특성에 따라 고도처리가 요구되어지고 있다.<sup>10)</sup>

따라서, 본 연구에서는 유지관리가 간편하고, 저 동력형이며, 오수의 처리와 동시에 자원순환을 고려할 수 있는 식물을 이용하여 체류시간 및 식물종에 따른 처리효율과 경과시간에 따른 처리특성을 파악하여 실 설계시의 기초 자료를 도출하는 데 그 목적을 두었다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에 사용된 실험장치는 Fig.1과 같다. 장치는 투명아크릴을 이용하여 가로 180cm, 세로 30cm, 높이 30cm로 제작하였고, 반응조내에 높이 20cm로 Activated Carbon(이하 A.C로 표기)을 채워 실험을 실시하였다.

A.C는 비표면적이 넓어 미생물 부착능력이 높기 때문에 타여재에 비하여 부지 소요면적을 줄일 수 있다고 판단되어 이용하였다.

A.C는 입상활성탄(Coconet shell coal)으로 입경분포는 2.36-4.75m, 표면적은 900-1100m<sup>2</sup>/g을 이용하였다. 식물은 37본/m<sup>2</sup>로 식재하여 실험을 행하였다.

2.2 실험방법

실험에 이용된 원수는 제주대학교 해양과학대학의 오수처리장 방류수를 이용하였고, 실험은 2단계로 실시하였다.

1단계(1998년 3월 1일-1998년 6월 3일)는 식물에 따른 처리수의 수질특성을 파악하고자 장치별로 각각 유량을 75 ml/min으로 조정하여, 반응조의 각각에 Amaryllis, Reed를 심고, 또 한 조는 활성탄만을 채운 후 조사하였다. 2단계(1998년 6월 3일-1998년 7월 10일)는 한 개의 식물에 대한 유량 변화에 따른 처리특성을 파악하고자 각 재배조에 Amaryllis를 심고, 재배조의 유량을 각각 150ml/min, 300ml/min, 600ml/min로 하여 유량에 따른 제거율을 비교하였다.

유입수의 수질은 Table 1에 나타내었다.

Table 1에서 살펴보면 원수의 평균농도는 BOD는 68.4mg/l, COD 63.4mg/l, TS 730mg/l, VS 320mg/l, TSS 27.0mg/l, T-N 78.5mg/l, NH<sub>3</sub>-N

Table 1. Water quality characteristics of used raw wastewater

Parameter	Unit	Water quality
Temp.	℃	17-18
pH	-	7.03-7.41
BOD	mg/l	53.6-76.5
COD <sub>Mn</sub>	mg/l	48.0-76.0
TS	mg/l	570-950
VS	mg/l	180-480
TSS	mg/l	12.3-48.3
T-N	mg/l	62-89
NH <sub>3</sub> -N	mg/l	31.8-68.7
NO <sub>3</sub> -N	mg/l	13.6-21.1
T-P	mg/l	6.6-9.9

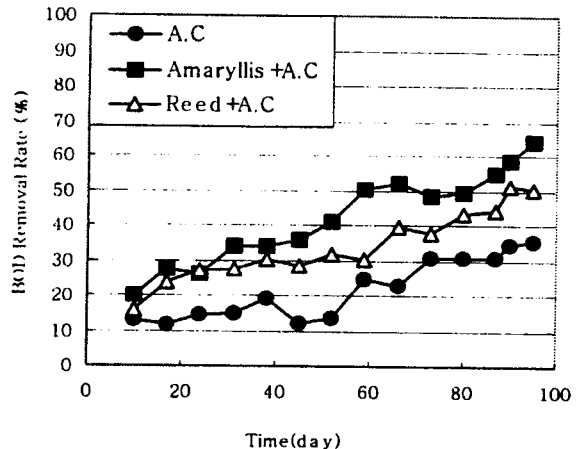


Fig. 2. Removal rate of BOD on each advanced wastewater treatment systems.

45.2mg/l, NO<sub>3</sub>-N 16.7mg/l, T-P 8.1mg/l로 나타났습니다.

실험기간 동안의 수질분석 항목은 pH, BOD, COD, TS, VS, TSS, T-N, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, T-P 농도를 수질오염공정시험방법에 따라 측정하였다.<sup>11)</sup>

3. 결과 및 고찰

3.1 식물종에 따른 제거특성

3.1.1 BOD 제거특성

Fig.2는 실험기간 중 각 재배조에서의 BOD 제거효율을 나타낸 것이다. 그림에서 보면 BOD 제거율은 초기에 각 장치의 제거율이 20% 전후의 제거율로 나타나고 있지만, 실험 종료시 제거율은 A.C장치에서 35% 나타났고, Amaryllis+A.C 장치에서는 65%, Reed+A.C 장치에서는 50%로 나타났다.

장치별 제거율은 식물이 장치에 적응을 하면서 또, 식

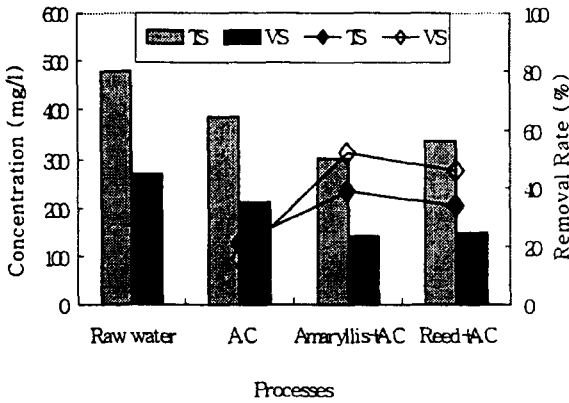


Fig. 3. Removal rate of TS and VS on each advanced wastewater treatment systems.

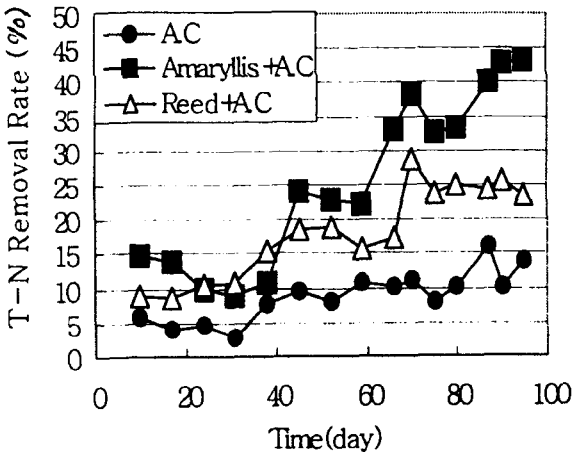


Fig. 4. Removal rate of T-N on each advanced wastewater treatment systems.

물과 미생물이 성장을 하면서 제거율이 높게 나타나고 있는 것으로 판단된다.

A.C 장치에서는 인위적인 산소 공급이 없기 때문에 주로 혐기성 미생물의 유기물 분해 작용에 의해 BOD가 제거되었고, Amaryllis+A.C 장치와 Reed+A.C 장치에서는 식물에 의한 산소공급에 의해 호기와 혐기 분해가 동시에 일어나 BOD가 제거되었다고 판단된다.

또한, Amaryllis+A.C 장치가 Reed+A.C 장치보다 BOD 제거율이 높은 이유는 육안으로 판단한 결과 Amaryllis의 뿌리 및 줄기가 Reed 보다는 많이 성장되어 미생물의 부착량 및 분해산물의 식물 흡수가 많았기 때문이라 판단된다.

### 3.1.2 TS 및 VS 제거특성

수생식물을 이용한 처리장치에서 오염물질은 침전, 토양입자에 의한 흡착, 식물조직에 의한 동화, 미생물에 의한 변형을 포함하는 물리적, 화학적, 생물학적 과정을 통해 제거된다.<sup>5,12)</sup>

Table 2. Removal rate of T-N with respect to plant species

Species	T-N Removal rate (g/m <sup>2</sup> ·day)
Water hyacinth	0.7-1.73
Marigold	0.48-0.61
Sorghum	0.96-1.27
Papyrus	0.66-1.48

Fig.3은 각 장치별 TS 및 VS의 농도와 제거율을 나타낸 것이다. 그림에서 보면 TS 제거율은 A.C 장치, Amaryllis+A.C 장치, Reed+A.C 장치에서 각각 20%, 40%, 35%로 나타났고, VS 제거율은 각각 20%, 55%, 50%로 나타났다. 각 장치별 VS 감소율은 Amaryllis 장치와 Reed 장치가 크게 나타나고 있는데, 이는 식물에 의한 산소의 공급에 의해 호기성 미생물의 작용이 활발하기 때문이라 판단된다.

### 3.1.3 T-N 제거특성

폐수중 유기질소는 침전과 여과로 제거되며, 유기질소는 더욱 분해되어 암모니아 이온을 방출하는 용존성 아미노산으로 가수분해 되어진다. 암모니아는 식물과 미생물이 섭취하기 용이하고, 호기성 조건에서 생물학적 질산화에 의하여 질산성 질소로 전환되는 데 사용된다.

식물이 이용할 수 있는 질소의 형태는 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>와 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>로서 식물의 뿌리에 부착된 미생물이 유기질소를 분해하여 식물이 이용할 수 있는 형태로 전환시켜 줌으로써 최종적으로 식물이 이를 흡수하게 되는 것이다. 그 외에도 질화와 탈질화는 질소제거에 중요한 역할을 한다.<sup>3,8,9)</sup>

질화를 위해 요구되는 산소는 대기로부터 직접 확산되거나 식물뿌리로 부터의 방출에 의해 제공되며, 질소는 식물에 의해 흡수되고, 미생물로 전환된다.<sup>13)</sup>

Fig.4는 각 장치별 T-N 제거율을 나타낸 것이다. 그림에서 보면 초기에는 T-N 제거율이 각 장치별 차이가 없이 각각 10% 전후로 나타나고 있지만, 실험을 종료할 때의 T-N 제거율은 A.C 장치가 15%, Amaryllis+A.C와 Reed+A.C 장치가 각각 40%, 25% 정도의 제거율을 나타내고 있다.

초기에는 T-N 제거율이 낮았다가 식물이 어느 정도 안정되고, 성장을 하면서 식물의 흡수에 의해 제거율이 증가되었기 때문이라 판단된다.

Table 2는 이미 보고된 식물종에 따른 질소 제거량을 나타낸 것이다.

표에서 살펴보면 부레옥잠은 평균 1.73g/m<sup>2</sup>·day, 파피루스는 평균 1.48g/m<sup>2</sup>·day 등으로 보고되고 있다.<sup>6)</sup>

Amaryllis에 의한 T-N 제거량은 초기에는 1.08g/m<sup>2</sup>·day, 최대 제거량은 3.48g/m<sup>2</sup>·day로 평균 2.6g/m<sup>2</sup>·day였고, Reed에 의한 T-N 제거량은 초기에는 0.48g/m<sup>2</sup>·day, 최대 2.03g/m<sup>2</sup>·day로 평균 1.76g/m<sup>2</sup>·

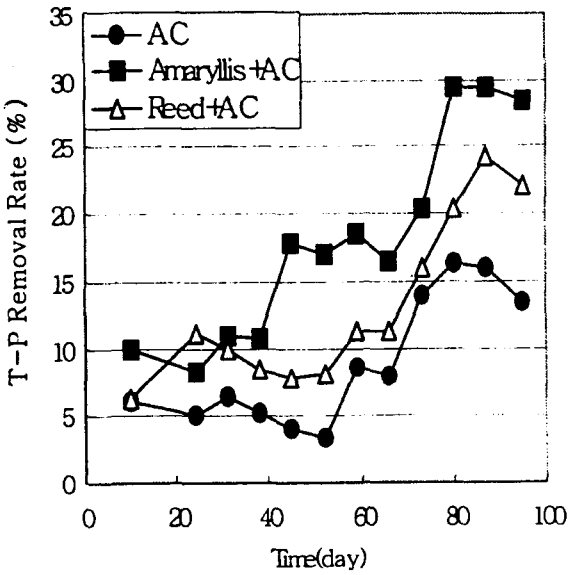


Fig. 5. Removal rate of T-P and VS on each advanced wastewater treatment systems.

day로 나타났다.

### 3.1.4 T-P 제거특성

폐하수처리에 적용 가능한 인제거 방법은 칼슘, 알루미늄, 철등의 금속염을 투입하고 생성되는 불용성 침전물을 걸러내는 화학적 방법과 미생물, 식물등을 이용하는 생물학적 처리법이 있다.<sup>14),15)</sup>

식물이 흡수할 수 있는 인은  $PO_4^{3-}$ ,  $H_2PO_4^-$ ,  $HPO_4^{2-}$ 의 형태이며 질소의 경우와 마찬가지로 부착미생물이 유기인을 분해함으로써 식물이 흡수할 수 있도록 만들어 준다.<sup>9)</sup>

Fig.5는 장치별 T-P 제거율을 나타낸 것이다. 그림에서 살펴보면 T-P의 제거율은 초기에는 10% 전후로 나타나고 있지만, 실험을 종료할 때에는 A.C 장치, A.C+Amaryllis 장치, A.C+Reed 장치에서 각각 15%, 30%, 25%전후로 나타나고 있다.

A.C 장치에서의 T-P 제거는 미생물의 흡수에 의한 제거로 생각되며, 다른 장치에서는 미생물에 의한 제거와 함께 식물의 흡수에 의한 제거가 함께 이루어지고 있다고 판단된다.

Table 3은 이미 보고된 식물중에 따른 총인 제거량을 나타낸 것이다.

표에서 살펴보면 부레옥잠은 평균  $0.384g/m^2 \cdot day$ , 파피루스는 평균  $0.22g/m^2 \cdot day$  등으로 보고되고 있다.<sup>6)</sup>

Amaryllis에 의한 T-P 제거량은 초기에는  $0.19g/m^2 \cdot day$ , 최대 제거량은  $0.55g/m^2 \cdot day$ 로 평균  $0.27g/m^2 \cdot day$ 였고, Reed에 의한 T-P 제거량은 초기에는  $0.13g/m^2 \cdot day$ , 최대  $0.44g/m^2 \cdot day$ 로 평균  $0.25g/m^2 \cdot day$ 로 나타났다.

Table 3. Removal rate of T-P with respect to plant species

Species	T-P Removal rate (g/m <sup>2</sup> · day)
Water hyacinth	0.155-0.384
Marigold	0.16-0.17
Sorghum	0.15-0.26
Papyrus	0.1-0.22

Table 4. Experimental results obtained by Amaryllis+A.C system (unit : mg/l)

		24hr	12hr	6hr	3hr
BOD	Influent	67	70.9	70.9	70.9
	Effluent	23.5	33.4	35.7	41.1
	Removal Rate	65.0	52.9	49.6	42.0
TS	Influent	480	730	730	730
	Effluent	288	460	515	530
	Removal Rate	40.0	37.0	29.5	27.4
VS	Influent	235	319	319	319
	Effluent	106	155	202	239
	Removal Rate	54.9	51.4	36.7	25.1
T-N	Influent	76.1	78.7	78.7	78.7
	Effluent	45.66	61.3	66.5	69.2
	Removal Rate	40.0	22.1	15.5	12.1
T-P	Influent	9.62	9.09	9.09	9.09
	Effluent	7.22	7.73	8.17	8.37
	Removal Rate	25.0	15.0	10.1	7.96

## 3.2 체류시간에 따른 제거특성

### 3.2.1 BOD 제거

식물 생존은 지상부의 내부통기 조직과 연결된 뿌리에서 근권으로의 산소 방출을 한다고 하였는데, 이와 같은 산소공급의 결과 근권내 혐기-호기층의 공존이 배출수의 질화작용과 탈질작용을 촉진시키며, 한편, 혐기층에서 폐수중 유기물을 이산화탄소와 메탄으로 분해시켜 그 결과 BOD가 낮아진다.<sup>12)</sup>

일반적으로 BOD 제거는 부하가 높을수록 증가하지만 산소이용도와 같은 요소는 BOD 생물분해를 제한할 수 있다. 그리고, 수생식물의 뿌리와 뿌리줄기, 미디어에 부착되어 있는 미생물이 용해성 BOD를 제거한다.<sup>5)</sup>

Table 4는 각 유량별 Amaryllis를 심은 장치에서의 제거율을 종합한 것이다. 여기에서 살펴보면 체류시간이 길수록 제거효율이 길게 나타나고 있음을 알 수 있다.

시험기간 중 처리수의 BOD 농도는 24hr에서는 16.5-55.5mg/l로 평균 23.5mg/l로 나타났고, 12hr에서는 21.6-35mg/l로 평균 33.4mg/l로 나타났고, 6hr에서는 25.5-37.2mg/l로 평균 35.7mg/l, 3hr에서는 유출수 농도가 26.9-42.2mg/l로 평균 41.1mg/l로 나타났다. 각 체류시간에 따른 평균 제거율은 각각 65.0%, 52.9%, 49.6%, 42.0%로 나타났으며, 체류일수가 길어질수록 BOD 제거율은 증가되었다.

이는 체류시간이 길수록 폐수와 여재의 접촉시간이 길어 여재에 부착된 미생물이 BOD를 분해할 수 있는 시간이 길기 때문이라 사려된다.

### 3.2.2 T-N 제거

NH<sub>3</sub>-N 제거는 질화-탈질에 의한 과정과 미생물에 의한 흡수, 식물에 의한 흡수 등으로 이루어진다. 질화에 필요한 산소는 대기로부터 액체표면으로 확산되거나 식물의 통기조직과 뿌리를 통해 장치로 들어온다.<sup>16-18)</sup>

용존성 암모니아는 암모니아 가스와 같이 휘발하여 대기중으로 직접 제거할 수 있으나 긴 체류시간과 pH 변화폭이 커서 휘발의 경로로 제거되는 경우는 적다(10% 미만). 자연적 처리 장치에서 대부분의 유입수내의 암모니아와 전환된 암모니아는 토양입자와 유기입자에서 이온교환 반응을 통해 일시적으로 흡수되고, 흡수된 암모니아는 식물과 미생물이 섭취하기에 용이하고, 호기적 상황에서 생물학적 질산화에 의하여 질산성 질소로 전환된다. 질소는 또한 생물학적 탈질에 의해 제거되기도 한다. 탈질화는 anoxic 상태 하에서 임의성 박테리아에 의해서 일어난다.

식물의 근권은 광합성 과정에서 광화학적 작용에 의해 생성된 산소가 뿌리를 통해 방출되어 호기성층, 준호기성층, 혐기성층이 형성되고, 호기성층에서는 암모니아가 질산이온으로 되고, 준혐기성층에서는 질소가스로 휘산되는 데, 체류일수가 길어질수록 질소 제거율이 향상된다.<sup>15)</sup>

체류시간에 따른 T-N 농도 변화를 살펴보면, 24hr에서는 평균 45.66mg/l, 12hr에서는 평균 61.3mg/l로 나타났고, 6hr에서는 평균 66.5mg/l, 3hr에서는 평균 69.2mg/l로 나타났고, 각각의 제거율은 40.0, 22.1, 15.5, 12.1%로 나타났다.

### 3.3 제거속도 상수

체류시간 3hr, 6hr, 12hr, 24hr의 실험조건으로 하여 각 영양염의 제거속도상수를 구하였다.

영양염 제거속도식은 1차 반응으로 표현가능하고 식(3-1)에 근사하였다.<sup>17-19)</sup>

$$\frac{C_t}{C_0} = \exp(-k \cdot t) \quad (3-1)$$

여기서 C<sub>t</sub>: t시간 후의 영양염 농도(mg/l)

C<sub>0</sub>: 유입수의 영양염 농도(mg/l)

t: 체류시간(day)

k: 영양염 제거속도상수(1/day)

Fig. 6은 각 체류시간에 따른 BOD 농도와 의 관계를 나타낸 것이다.

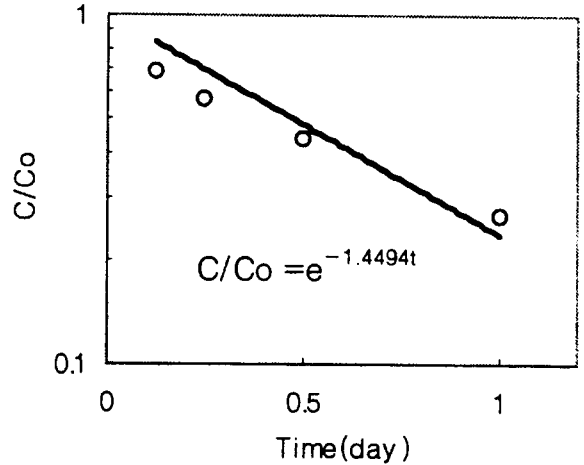


Fig. 6. BOD removal rate constant with retention time.

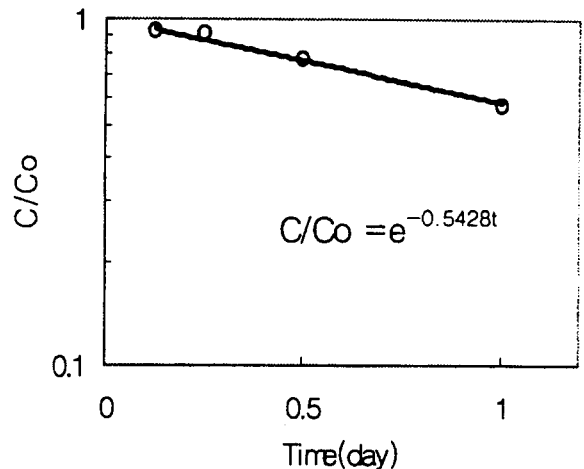


Fig. 7. T-N removal rate constant with retention time.

그림에서 보면, 체류시간에 따른 BOD 농도가 감소되는 것을 알 수 있다.

본 실험에서 얻어진 BOD 제거속도 상수는 1.4494(1/day)로 나타나고 있다.

Fig. 7은 각 체류시간에 따른 T-N 농도의 변화를 나타낸 것이다.

江成敬次郎(1996) 등은 줄을 이용한 수질개선의 시험에서 T-N 제거속도는 0.258-2.41 × 10<sup>-2</sup>(1/d)였다고 보고하고 있고, 尾崎保夫(1995) 등은 화훼(Tagetes spp., Impatiens sulatnii)와 자원식물(Papyrus)등을 이용한 실험에서 T-N 제거속도상수는 화훼식물에서는 0.350(1/d), 자원식물에서는 1.221(1/d)로 보고하고 있다.

본 실험에서 T-N 제거속도상수는 0.5428(1/day)로 나타나고 있다.

Fig. 8은 각 체류시간에 따른 T-P 농도의 변화를 나타

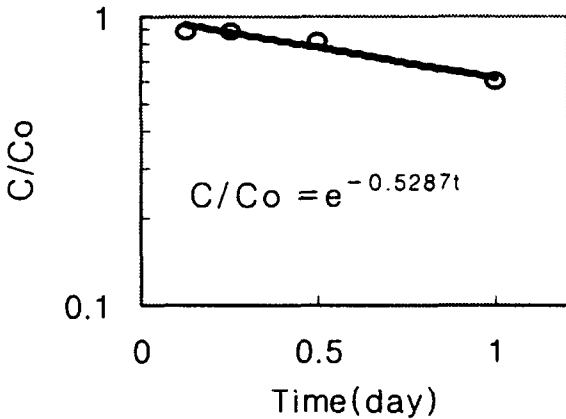


Fig. 8. T-P removal rate constant with retention time.

낸 것이다.

江成敬次郎(1996) 등은 줄을 이용한 수질개선의 시험에서 T-P 제거속도는  $3.0 \times 10^{-2}(1/d)$ 였다고 보고하고 있다.

본 실험에서 T-P 제거속도상수는 0.5287(1/day)로 나타나고 있다.

이상과 같이 다른 이유는 기상조건, 식물의 종류, 생육시기 및 수심 등에 따라 제거속도가 다르게 나타나기 때문이라 판단된다.

#### 4. 결 론

식물을 이용한 오수의 고도처리를 위해서 수면하 흐름(Subsurface flow)방식에 의한 실험실적 오수처리 실험을 실시한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) A.C system, Amaryllis+A.C system 및 Reed+A.C system에서 BOD 제거율은 초기에 모두가 20% 전후로 나타났지만, 최종 제거율은 각각 35%, 65%, 50% 전후로 나타났고, TS 제거율은 각각 20%, 40%, 35%로 나타났다.

대조구(Blank)인 A.C system에서의 BOD 제거는 A.C 표면의 부착 미생물들에 의한 혐기성 분해가 주요인이 될 것이지만 Amaryllis+A.C system과 Reed+A.C system에서는 식물의 산소공급에 의한 호기 및 혐기성 생물학적 분해가 가능하였기 때문이라 판단된다.

2) A.C system, Amaryllis+A.C system 및 Reed+A.C system에서 T-N 제거율은 각각 15%, 40%, 25%로 나타났고, Amaryllis에 의한 평균 단위제거량은 2.6g-N/m<sup>2</sup>·day, Reed에 의한 평균 단위제거량은 1.76g-N/m<sup>2</sup>·day로 Amaryllis가 Reed보다 단위제거량이 약 1.5배 정도 크다는 것을 알 수 있었는데, 이는 Amaryllis가 Reed보다도 미생물의 부착량과 분해산물의 식물 흡수가 많았기 때문이라 사려된다.

3) A.C system, Amaryllis+A.C system 및 Reed+A.C system에서 T-P 제거율은 각각 15%, 30%, 25%로 나타났고, Amaryllis에 의한 평균 단위제거량은 0.27g-

P/m<sup>2</sup>·day, Reed에 의한 평균 단위제거량은 0.25g-P/m<sup>2</sup>·day으로 나타나고 있음을 알 수 있었다.

4) 본 실험에서 3, 6, 12, 24hr의 체류시간 증가와 BOD, T-N, T-P의 제거효과는 서로 양의 상관관계를 나타냄을 확인할 수 있었으며, 체류시간 24hr에서의 최대 제거효율은 BOD 65%, T-N 40%, T-P 25%로 나타났다.

5) Amaryllis에 의한 BOD, T-N 및 T-P의 제거반응은 체류시간에 따라 1차식으로 나타낼 수 있었고, 제거속도 상수는 각각 1.4494(1/day), 0.5428(1/day), 0.5287(1/day)로 산출되었다.

#### 참 고 문 헌

- 1) 尾崎保夫, 尾崎秀子, 阿部薫, 雨谷恵夫, 1995. 資源循環・花卉植物を利用した生活排水の高度処理, 用水と廢水, 37(2), 111-118.
- 2) 尾崎保夫, 尾崎秀子, 阿部薫, 前田守弘, 1996. 有用植物を用いた生活排水の資源循環型浄化システムの開発, 用水と廢水, 38(12), 48-53.
- 3) Hans Brix, 1986. Treatment of wastewater in the rhizosphere of wetland plants-The Root-zone Method, Wat. Sci. Tech., 19(10), 107-118.
- 4) 平野浩二, 1994. 圃地浄化槽處理水による花卉の水耕栽培と榮養鹽除去, 用水と廢水, 36(7), 19-28.
- 5) Lucy M. Conhley, Richard I.Dick, Leonard.Lion, An assessment of the root zone method of wastewater treatment, Research Journal WPCF, 63(3), 239-247.
- 6) 尾崎保夫, 阿部薫, 1993. 植物の活用した資源循環型水質浄化技術の課題と展望. 用水と廢水, 35(9), 5~17.
- 7) Donald S. Brown, Sherwood C.Reed, 1994. Inventory of constructed wetlands in the united states, Wat. Sci. Tec., 29(4), 309-318.
- 8) Sherwood C. Reed, Donald Brown, 1995. Subsurface flow wetlands-A performance evaluation, Wat. Env. Res., 67(2), 244-248.
- 9) 안윤주·공동수, 1995. 생이가래를 이용한 영양물질의 제거방안 연구, 大韓環境工學會誌, 17(6), 593-603.
- 10) 이용두, 김현희, 1998. 식물을 이용한 오수중의 영양염류 제거특성, 한국환경과학회 1988년도 봄학술발표회 초록집, 171-175.
- 11) 동화기술 편집부, 1996. 수질오염공정시험법, 동화기술.
- 12) Hans Brix, 1994. Functions of macrophytes in constructed wetlands, Wat. Sci. Tech, 29(4), 71-78.
- 13) Hans Brix, 1994. Use of constructed wetlands in water pollution control ; Historical development, present status, and future perspectives, Wat. Sci. Tech., 30(8), 209-223.

- 14) Donald S Brown, 1994. Constructed wetlands in the USA, Water Quality International, NO. 4, 24-29.
- 15) 李德培, 金鍾九, 姜鍾國, 金善寬, 蘇在敦, 李景洙, 1994. 갈대砂床濾過法을 이용한 畜産廢水淨化, 한국환경농학회지, 13(2). 231~239.
- 16) Robert H.Kadlee, 1994. Phosphorus uptake in florida marshes, Wat. Sci. Tech., 30(8), 225-234.
- 17) 江成敬次郎, 鈴木淳, 1995. 水生植物(マコモ)による水質淨化, 環境技術, 24(4), 32-36.
- 18) A.J. van Oostrom and J.M.Russell, 1994. Denitrification in constructed wastewater wetlands receiving high concentrations of nitrate, Wat. Sci. Tech., 29(4), 7-14.
- 19) A.J. Van Oostrom, 1995. Nitrogen removal in constructed wetlands treating nitrified meat processing effluent, Wat. Env. Res., 32(3), 137-147.