

## 수생식물을 이용한 수질정화에 관한 연구

나규환 · 권성환 · 이장훈\*

연세대학교 환경과학과, 호서대학교 환경공학과\*

## Aquatic Plants for Wastewater Treatment

Kyu Hwan Ra, Seong Hwan Kwon, Jang Hoon Lee\*

Dept. of Environmental Science, Yonsei University,

\* Dept. of Environ. Eng., Hoseo University

### ABSTRACT

Water parsley(*Oenanthe javanica*(Blume) DC) was raised with varying population density(S) in the laboratory aquarium unit to determine the growth equation. The population density was measure after 7 days. The resultant growth curve was well fit to the equation  $1/S = A+B(1/S_0)$  with a high correlation coefficient ( $R^2 = 0.999$ ).

The maximum specific absorption rate was  $9.011 \times 10^{-5}$  kg  $\text{NO}_x\text{-N/kg}$  water parsley · day and  $1.31 \times 10^{-5}$  kg  $\text{PO}_4\text{-P/kg}$  water parsley · day when the average population density was  $2.62 \text{ kg/m}^2$ .

The relationship between population density and nutrient absorption rate, the absorption rate of  $\text{NO}_x\text{-N}$  was  $5.04 \sim 5.24 \text{ mg/l} \cdot \text{day}$  when the population density was  $7.51 \sim 10.0 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{day}$  and the absorption rate of  $\text{PO}_4\text{-P}$  was  $0.56 \sim 0.78 \text{ mg/l} \cdot \text{day}$  when the population density was  $5.02 \sim 10.0 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{day}$ .

Taking into account the nutrient absorption rate and growth rate, the population density between  $7.0 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{day}$  and  $8.0 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{day}$  was selected.

The removal rate of nutrient was investigated after 7 days culture. Removal rate of  $\text{NO}_x\text{-N}$  was  $95.6 \sim 99.95 \%$  with initial concentration of  $35 \text{ mg NO}_x\text{-N/l}$ , and the removal rate of  $\text{PO}_4\text{-P}$  was also high, indicating  $80.24 \sim 98.9 \%$  with initial concentration of  $5.95 \text{ mg PO}_4\text{-P/l}$ .

**Keywords :** Water parsley, absorption rate, removal rate,  $\text{NO}_x\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$

### I. 서 론

産業이 고도화되고 人口집중현상이 심화됨에 따라 産業廢水 및 生活下水가 급격히 증가하고 있다. 더욱이 가축폐수, 삼림 및 농경지 유출수 등으로 인하여 수역으로 유입되는 질소 및 인 등의 영양염류의 양도 증가하고 있다. 이들 영양성분이 지표수를 상수원으로 이용되는 호소 등에 유입되면 부영양화가 발생되며,<sup>1)</sup> 이로 인하여 상수원수 처리시에 맛과 냄새를 유발하고 상수원으로 부적합하게 된다. 또한 하천에서 산화과정을 거치면서 수중의 용존산소를 소모하여 하천의 자정작용에도 악영향을 주게 된다. 한편 藻類

의 대량증식을 억제하기 위해서는 증식촉진 인자인 영양염 등의 오염물질 유입을 막는 것이 중요하다고 하겠다. 그러나 호소 수질 개선을 위한 유역 관리는 예산소요가 많고 화학적 처리에 의한 효과를 기대하기는 미약하다. 따라서 자연의 정화능력을 이용한 처리기술의 개발이 요구된다. 水生植物을 이용한 수질정화 방법은 경비가 적게 들고 효과가 빠르며 생태계 파괴와 같은 2차오염도 없으며 때로는 증식된 식물체의 재이용도 기대 될 수 있어 이상적인 방법이라 생각된다. 실제 외국의 경우 토지를 이용한 처리법을 비롯하여 수생식물을 이용한 수질정화 시스템에 이르기까지 많은 연구가 발표되었다.<sup>2)</sup> 또한 수생식물은 영양염의 흡수율이 빠르고 저장기간이 짧으며, 재이용의 가치가 높다는 것이 밝혀졌다. 우리나라에서도 부레옥잠 등의 수생식물을 이용한 다양한 연구가

\*이 논문은 1994년도 교육부 학술연구 조성비(지역개발연구)에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

진행되어 왔으나<sup>3-6)</sup> 대부분 외국 식물종을 이용한 연구가 대부분이다. 이에 본 논문은 수생식물 중 우리나라에서 식용으로 재배 또는 자생되고 있는 미나리를<sup>7)</sup> 이용하여 실험실 내에서의 연구를 통하여 몇 가지 지견을 얻었기에 이에 보고하는 바이다.

## II. 실험방법

### 1. 식물재배 및 영양염류 측정

**Table 1.** Composition of synthetic nutrient solution

Ingredient	Concentration(mg/l)
KNO <sub>3</sub>	41.48
NaNO <sub>3</sub>	25.80
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	5.63
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	2.53
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	1.33
CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub>	1.60
HOOC(CHOH) <sub>2</sub> COOH	1.20
FeCl <sub>3</sub> · 6H <sub>2</sub> O	0.24
H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub>	0.21
NaMoO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	0.19

**Table 2.** Analytical conditions of ion chromatography

Component	
Eluent	2.8mM NaCO <sub>3</sub> /2.2mM NaHCO <sub>3</sub>
Pump	LKB 215
Injector	7161 Rheodyne
Column	DIONEX IONPAC AS4A-SC
Guard Column	DIONEX IONPAC AG4A-SC
Flow rate	1.3 ml/min
Detector	Shodex CD-5
Suppressor	DIONEX Anion Microsuppressor AMMS-II
Regenerant Sol.	25mM H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>

**Table 3.** Initial condition of each tank

Cultivated & experimental periods	'93. 6									
	Tank No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Density S <sub>0</sub> (wet kg/m <sup>2</sup> )	10.02	7.51	5.02	2.50	control	10.000	7.51	5.02	2.51	control
Conc. of NO <sub>x</sub> -N(ppm)	36.33	35.84	36.27	37.54	39.43	36.13	37.06	39.39	36.83	34.47
Conc. of PO <sub>4</sub> -P(ppm)	6.80	6.69	6.77	6.89	6.96	6.62	6.93	7.05	6.84	6.92
pH	5.70	5.56	5.44	4.96	4.58	5.66	5.61	5.40	4.97	4.82
Mean temp.(°C)	13.72	13.52	13.90	14.55	14.95	14.17	14.10	14.72	15.18	15.58

수생식물은 강원도 원주시 학성동에서 식용으로 재배하고 있는 미나리를 채취하여 다시 인공 재배지에서 상시 재배하며 실험시에 분취하였고 전체를 증류수로 수회 씻은 후 잎을 자르고 재배하였다. 재배조는 perspex로 만든 수조(20×20×18 cm)를 사용하였으며 배양액으로는 고등식물 수경재배에 주로 이용되고 있는 Table 1의 조성과 같은 인공배양액을 사용하였다.<sup>8-12)</sup> 실험은 1994년 6월초에 실시하였으며 장소는 기온의 일변화가 비교적 적은 실험실에서 1일 조사시간을 일정하게 유지하도록 하였다. NO<sub>x</sub>-N 및 PO<sub>4</sub>-P는 ion chromatography법<sup>2)</sup>을 이용하였으며 수온 및 pH는 Orion pH/ion meter(model 720A)로 초기 조건 및 2일 후부터 재배 기간 동안 24시간마다 연속 측정하였다.

### 2. 영양염류 흡수에 미치는 생육 개체밀도 실험

합성 배양액을 사용하여 각 수조의 용량을 일정하게 하였으며(4l, 수심 10 cm)초기 개체 밀도 및 각 수조의 조건은 Table 3과 같다. 각 수조의 영양염류 초기농도는 독성을 나타내지 않고 그 제거율이 양호한 범위내의 농도로 하였다. 즉 초기 개체 밀도는 2.51~10.02 kg/m<sup>2</sup>의 범위로 선정하였으며 영양염류의 농도는 NO<sub>x</sub>-N 및 PO<sub>4</sub>-P가 각각 35.84~39.39 mg/l 및 6.62~7.05 mg/l 범위로 조제하여 재배에 이용하였다. 수조는 각각 동일 생육밀도를 2조씩으로 하였으며 영양염류의 자연적인 변화를 관찰하도록 대조군을 두었다. 재배초기와 7일간의 재배후 각 수조에서 자란 미나리를 세척 15분 후 중량을 측정하였다.

### 3. 영양염류의 초기농도별 제거능

Table 1의 인공배양액으로 영양염류의 초기농도를 각각 달리 조제하였으며(Table 3) 실험시기는

'93년 6월중에 하였다. 장소는 기온의 日變化가 적은 실험실내에서 1일 照射시간은 14시간으로 일정하게 유지되도록 하였다. 대조수조를 제외한 모든 수조에 미나리 생육밀도를 7.51 kg/m<sup>2</sup> 으로 일정하게 하였으며 각 수질 측정 항목은 초기조건 및 2일간 고정 한 후 재배 기간 동안 24시간마다 동일하게 측정하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 식물생장과 영양염류 제거

재배수조 1과 6에서는 과밀도의 영향으로 재배 후 기 경에는 식물의 황엽현상이 관찰되었는데 이는 생육밀도가 높아 서로 경쟁적인 환경이 되었기 때문이라고 사료된다.<sup>13-15)</sup> 반면 2와 7 수조에서는 적당한 생육의 잎과 줄기가 관찰되었다. 수조에서의 미나리의 생장과 NO<sub>x</sub>-N 과 PO<sub>4</sub>-P 농도의 시간에 따른 변화를 재배초기 밀도와 7일 후의 밀도, 영양염류의 초기농도와 7일 후의 잔류 농도를 측정하여 Table 4에 나타내었다. 미나리의 습증량은 초기밀도 차이에 관계없이 평행적으로 증가하였으며 시간 경과에 따른 NO<sub>x</sub>-N과 PO<sub>4</sub>-P 영양염류의 변화는 개체밀도가 낮은 수조가 높은 수조보다 흡수제거량이 낮다는 것을 알 수 있다. 또한 미나리의 생장속도 역시 과밀도에 의한 영향이 나타나지 않는 범위내에서는 밀도가 클

수록 증가함을 알 수 있다.

#### 2. 식물생장과 개체밀도

영양염류의 흡수에 의한 식물 생장과 개체밀도의 영향을 靑山勳<sup>16)</sup> 등의 방법에 준하여 검토하였다.

$$1/S \cdot dS/dT = \lambda(1-S/Sm) \quad 1)$$

$$A(1-B)/Sm, \quad B = \exp(-\lambda T) \quad 2)$$

$$1/S = A + B(1/S_0) \quad 3)$$

S : 단위 수면적당 미나리의 중량(kg/m<sup>2</sup>)

dS/dT : 단위시간 · 단위수면적당 미나리의 중량 (kg/m<sup>2</sup> · day)

1/S · dS/dT : 단위시간 · 단위미나리 중량당 생장량(day<sup>-1</sup>)

λ : logistic 방정식의 초기 비생장속도(day<sup>-1</sup>)

Sm : logistic 곡선의 포화치(kg/m<sup>2</sup>)

A, B : 상수

식 1)에서 생육 기간 T를 일정하게 한 후 초기 생육 밀도 S<sub>0</sub>을 변화시켜 T일 후 생육 밀도 S를 측정하면 A, B 즉 Sm과 λ를 구할 수 있다.

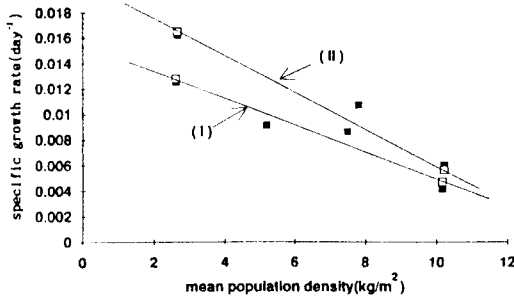
미나리의 재배기간을 7일로 한 후 가을의 조건하에서 식물 생장곡선인 logistic 방정식에 부합하는가를 조사하여 Table 5에 나타내었다.

**Table 4.** Growth of *Oenanthe javanica* and variation of NO<sub>x</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P  
C<sub>0</sub> ; initial conc. of nutrients, C<sub>7</sub> ; final conc. of nutrients

Tank No.	S <sub>0</sub> (kg/m <sup>2</sup> )	S(kg/m <sup>2</sup> )	NO <sub>x</sub> -N		PO <sub>4</sub> -P	
			C <sub>0</sub> (ppm)	C <sub>7</sub> (ppm)	C <sub>0</sub> (ppm)	C <sub>7</sub> (ppm)
1	10.02	10.68	36.33	2.04	6.80	2.53
2	7.51	7.99	35.84	0.58	6.69	2.76
3	5.02	5.25	36.27	6.64	6.77	3.42
4	2.50	2.83	37.54	20.25	6.89	4.57
5	10.00	11.44	36.13	0.55	6.62	1.19
6	7.51	8.12	37.06	0.41	6.93	1.93
7	5.02	5.36	39.39	4.77	7.05	3.60
8	2.51	2.83	36.83	24.94	6.84	4.80

**Table 5.** Coefficients of logistic equation

Tank No.	A(m <sup>2</sup> /kg)	B	λ	Sm(kg/m <sup>2</sup> )	Y(NO <sub>x</sub> -N)    Y(PO <sub>4</sub> -P)	
					Mean ± S. D.	
1~4	0.00702	0.896	0.0157	14.85	120.95 ± 17.76	1008.32 ± 136.7
5~6	0.00932	0.866	0.0206	14.38	167.67 ± 72.92	1198.18 ± 379.0

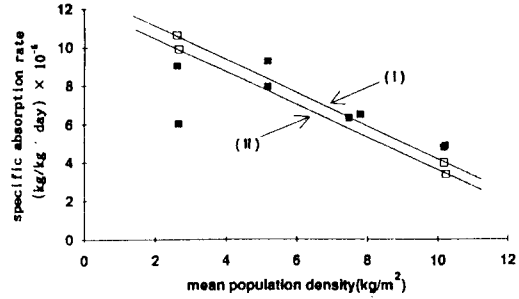


**Fig. 1.** The effects of mean population density on the specific growth rate (I): Tank No. 1~4, (II): Tank No. 6~9 □; calculated date, ■; experimental date

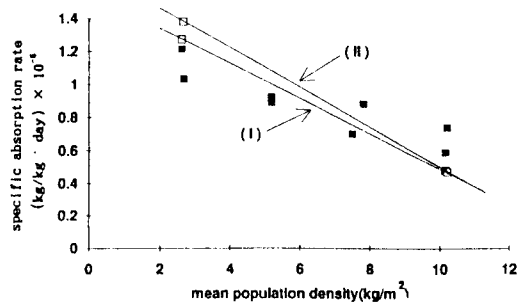
초기 생육밀도  $S_0$ 에서 7일간 재배후 생육밀도  $S$ 를 구하여 식 3)의 성립여부를 조사하였으며 여기서 얻은  $S_0$ 과  $S$ 를 이용하여  $1/S$ 와  $1/S_0$ 을 plot한 결과  $R^2$ 값이 0.999로 상관성이 대단히 높았음을 알 수 있다. A와 B는 최소자승법에서 구한 값이며 재배수조를 2개조로 하여 조사하였다. 따라서 식물의 일반생장곡선 방정식을 단순화한 식 3)에 부합한다는 것은 미나리 생장이 다른 식물체와 같이 logistic방정식을 통해 적절한 수확관리가 가능하다는 것을 의미한다고 사료된다. 또한 식 2)에서 A와 B를 이용하여  $S_m$ 과  $\lambda$ 를 구할 수 있으며 평균개체 밀도( $S_a$ )와 비성장 속도( $\text{day}^{-1}$ )와의 관계를 실험치와 logistic방정식을 이용한 계산치는 Fig.1에서 보는 바와 같이 크게 벗어나지 않음을 확인할 수 있다. 즉  $S_a$ 가  $1.55 \text{ kg/m}^2$ 에서  $12.33 \text{ kg/m}^2$ 까지 증가할수록 비성장 속도는 거의 직선적으로  $0.0126 \sim 0.0057 \text{ day}^{-1}$ 로 감소하는 경향이 있으며 이는 다른 수생식물인 부레옥잠의 실험결과와 유사하였다.<sup>19)</sup>

**3. 영양염류의 흡수와 개체 밀도**

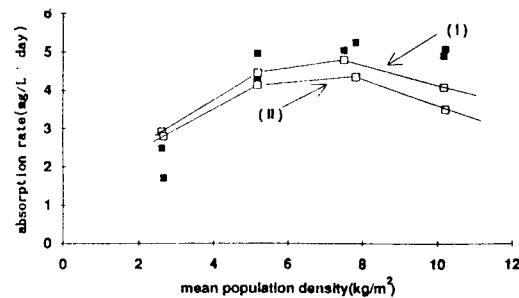
영양염류의 비흡수속도도 logistic방정식으로 나타낼 수 있으며 재배수조에서의 각 영양염류의 비흡수 속도와 평균개체 밀도와의 관계를 Fig. 2와 3에 나타내었다. 각 수조에서의 영양염류의 비흡수속도는 식  $(L_0 - L) / S_a \cdot T$ 에서 구하며  $L_0$ 는 각 수조의 영양염류의 초기 농도( $\text{mg/l}$ )이며  $L$ 는 T일 후의 잔류 농도이다. 또한 식 4)를 이용하여 영양염류의 비흡수속도 및 흡수속도도 logistic방정식으로<sup>16) 20)</sup> 구할 수 있다. Fig.2에서 계산치와 크게 벗어나는 예외는 있으나 전반적으로 실험치와 계산치간에 상당히 부



**Fig. 2.** The Effects of population density on the specific absorption rate of NOx-N (I): Tank No. 1~4, (II): Tank No. 6~9. □; calculated date, ■; experimental date



**Fig. 3.** The effects of population density on the specific absorption rate of PO<sub>4</sub>-P (I): Tank No. 1~4, (II): Tank No. 6~9. □; calculated date, ■; experimental date



**Fig. 4.** The effects of mean population density on the absorption rate of NOx-N (I): Tank No. 1~4, (II): Tank No. 6~9. □; calculated date, ■; experimental date

합함을 알 수 있다. 영양염류의 비흡수속도도 역시 평균개체 밀도가 증가할수록 거의 직선적으로 완만히 감소하는 경향을 보였다. 재배수조의 평균 개체

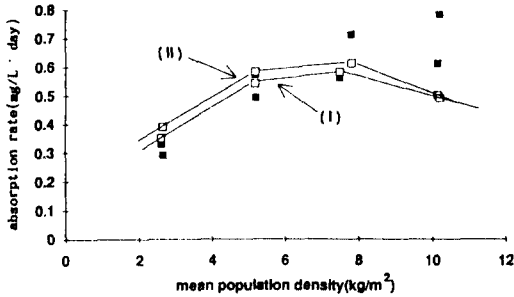


Fig. 5. The effects of mean population density on the absorption rate of  $PO_4\text{-P}$  (I): Tank No. 1~4, (II): Tank No. 6~9. □: calculated date, ■: experimental date

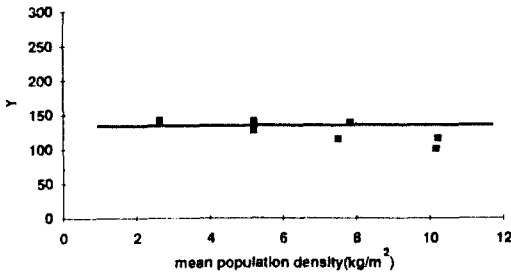


Fig. 6. The effects of mean population density on the yield coefficients(Y) of  $NO_x\text{-N}$

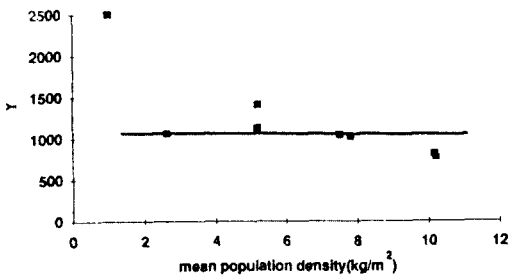


Fig. 7. The effects of mean population density on the yield coefficients(Y) of  $PO_4\text{-P}$

밀도가  $2.62 \text{ kg/m}^2$ 일 때  $NO_x\text{-N}$   $9.01 \times 10^{-5} \text{ kg/kg} \cdot \text{day}$ 와  $PO_4\text{-P}$   $1.31 \times 10^{-5} \text{ kg/kg} \cdot \text{day}$ 로 최고치를 나타내었다. 영양염류의 흡수속도는  $dL/dT$ 로 계산할 수 있으며 평균개체 밀도와  $NO_x\text{-N}$  및  $PO_4\text{-P}$ 와의 관계는 Fig.4 및 5에서 보는 바와 같다. 즉 logistic방정식에서 얻은 성장속도와 평균 개체밀도와의 관계와 유사함을 알 수 있으며 실험치와 계산치도 상당

히 부합하였다.

수조에서의  $NO_x\text{-N}$  및  $PO_4\text{-P}$ 에 대한 수확율 Y와 평균개체 밀도와의 관계는 Fig.6 및 7에서 보는 바와 같이 한 두 개의 값을 제외하고는 수확율이 일정하였다. 이러한 가정하에 영양염류의 비흡수속도를 logistic방정식으로 나타내면 식 4)와 같다.

$1/S \cdot dL/dT \cdot 1/a = \lambda/Y(1-S/S_m) \dots\dots 4)$  a는 각 수조의 수평면적이며 식 4)를 이용하면 Table 5에서 구한  $\lambda$ ,  $S_m$  및 Y를 대입하여 영양염류의 비흡수속도 및 흡수속도를 구할 수 있다.

#### 4. 최적개체 밀도의 선정

미나리의 수경재배에 의한 수처리 는 식물생장의 최적 개체밀도를 조사하는 것이 가장 중요하다. 주위환경과 영양염류의 농도를 일정하게 한 후 생육밀도를 조절하여 최대생장을 나타내는 경우를 선정하는 것이 바람직하다. 뿐만 아니라 배양액 중의 영양염의 흡수에 미치는 영향도 고려하여야 한다. 즉,  $NO_x\text{-N}$ 의 경우 2, 6 및 7 수조에서 각각  $5.04 \text{ mg/l} \cdot \text{day}$ ,  $5.08 \text{ mg/l} \cdot \text{day}$  및  $5.24 \text{ mg/l} \cdot \text{day}$ 로 흡수속도가 높았으며 이 때 개체 밀도는  $7.51 \text{ kg/m}^2$  및  $10.1 \text{ kg/m}^2$ 이었다.  $PO_4\text{-P}$ 의 흡수 속도에 있어서도 개체밀도가  $5.02 \sim 0.78 \text{ mg/l} \cdot \text{day}$ 로 높게 나타났다. 영양염류의 흡수속도와 성장속도를 고려하여 개체 밀도를  $7.0 \sim 8.0 \text{ kg/m}^2$ 범위로 선정하는 것이 바람직하다고 사료된다.

#### 5. 영양염류의 농도별 제거능

각 수조의 영양염류의 시간 경과에 따른 제거경향은 Fig. 8에서 보는 바와 같다. 초기농도가  $NO_x\text{-N}$   $35 \text{ mg/l}$  이하인 3과 4수조의 경우 7일간의 실험기간 동안 95.6% 및 99.95%의 대단히 높은 제거율을 보였으며  $PO_4\text{-P}$ 의 경우에도  $5.95 \text{ mg/l}$  이하에서 각각 80.24% 및 98.9%의 높은 제거율을 나타내었다. 반면  $NO_x\text{-N}$  농도  $100 \text{ mg/l}$  정도로 비교적 높은 1수조의 경우 45.83%의 낮은 제거율을 보였으며  $PO_4\text{-P}$ 의 경우도 1 및 2 수조에서 18.02% 및 55.8%로 비교적 낮게 나타내었다. 이는 황엽의 발생원인과 같은 과잉의 영양염류에 의한 독성으로 성장저해 되었기 때문이라고 생각된다. 미나리를 재배하지 않은 대조수조에서는 약간씩 상승하는 경향의 차이는 인정되는 듯 하나 이는 회분식 실험계로서 자연적 감소가 없는 것으로 생각된다.

부레옥잠의 경우에 질소와 인이 각각  $10 \text{ mg/l}$  및

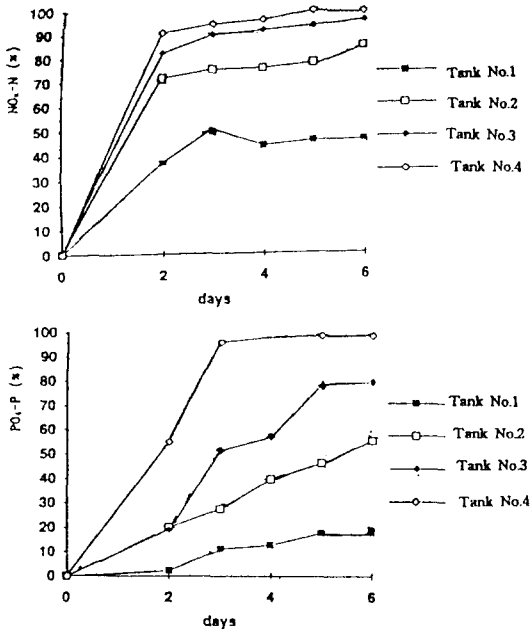


Fig. 8. The effects of cultivation period on the removal rate of NO<sub>x</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P

1.1 mg/l 일 때 최대의 성장율을 보이며 각각 40 mg/l 및 10 mg/l 이상에서는 그 생장이 점차 감소한다는 결과와 거의 일치함을 보였다.<sup>21)</sup> 또한 질소량이 NO<sub>x</sub>-N 24.5 mg/l 및 3.5 mg/l 일 때 부레옥잠의 최대생장율과 최고의 질소 제거율을 나타낸다는 연구 결과와도 유사한 경향을 보였다.<sup>22)</sup>

#### IV. 결 론

1. 미나리의 생육개체 밀도를 변경시키고 7일간 재배한 후 개체밀도 S를 측정된 결과 식물체 생장곡선 logistic방정식인  $1/S = A + B(1/S_0)$ 로 표현이 가능하였다. 또한 상관성도  $R^2 = 0.999$ 로 높게 나타내었다.

2. 영양염류의 비흡수속도는 평균개체 밀도가 2.62 kg/m<sup>2</sup>일 때 NO<sub>x</sub>-N 9.01 10<sup>-5</sup> kg/kg · day와 PO<sub>4</sub>-P 1.31 × 10<sup>-3</sup> kg/kg · day로 최고치를 나타내었다.

3. 개체밀도에 따른 영양염류의 흡수속도와와의 관계에서는 NO<sub>x</sub>-N은 개체밀도 7.51 kg/m<sup>2</sup> · day 및 10.1 kg/m<sup>2</sup> · day 일 때 5.04~5.24 mg/l · day이었으며 PO<sub>4</sub>-P는 개체밀도가 5.02~10.0 kg/m<sup>2</sup> · day 범위에서 0.56~0.78 mg/l · day로 각각 흡수속도가 높았다.

4. 영양염류의 흡수속도와 성장속도를 고려하여 개체밀도는 7.0~8.0 kg/m<sup>2</sup> · day의 범위로 선정하였다.

5. 7일간 재배 후 영양염류의 제거율은 초기농도가 NO<sub>x</sub>-N의 경우 35 mg/l이하에서 95.6~99.95 %로 상당히 높았으며 PO<sub>4</sub>-P의 경우는 5.96 mg/l이하에서 80.24~98.9 %의 높은 제거율을 나타내었다.

#### 참고문헌

- 1) 호소수질연구소 : 호소영양염화 방지대책에 관한 연구(I)-안정호, 주암호-, 국립환경연구원보, **14**, 289~298, 1992.
- 2) Tchobanoglous, G., Burton, F. L. : Wastewater Engineering, Treatment, Disposal & Reuse. 3th. McGraw-Hill, Inc. 927~957, 1991.
- 3) 이창기 외7인 : 폐수중 영양성분의 생물학적 제거기술에 관한 연구(II), 국립환경연구원보, **13**, 401~406, 1991.
- 4) 변종영 외2인 : 수생식물을 이용한 수질오염원 제거에 관한 연구, 제1보, 부레옥잠의 유기물 제거효과 및 생장에 미치는 주요인, 한국잡초학회지, **5**(2), 143~148, 1985.
- 5) 호소수질연구소 : 호소만입부에서의 조류 대량 증식 억제기술개발(II), 국립환경연구원보, **14**, 431~438, 1992.
- 6) 전 만식, 김 범철 : 부레옥잠의 성장특성과 영양염류 제거효율에 관한 연구, 93추계환경학술대회 요지집, 303~308, 1993.
- 7) K. H. Ra, et al. : Use of aquatic Macrophytes for wastewater treatment. The Korean Journal of Health Science, **4**, 29~32, 1994.
- 8) Kina, S., et al. : Study on yield, removal of nitrogen and management of waterhyacinth. Journal of Japan Society on Water Environment, Vol **16**(9), 638~644, 1993.
- 9) 喜納政修, 屋良朝徳 : ホテイアオイ生長と窒酸性窒素吸収におよぼす個體密度の影響, 水質汚濁研究, **8**(5), 296~303, 1985.
- 10) 喜納政修, 屋良朝徳 : ホテイアオイ生長と窒酸性窒素吸収および窒素含有率におよぼす窒酸性窒素濃度の影響, 水質汚濁研究, **9**(7), 445~452, 1986.
- 11) Anold, E. G., S. C. Lenore., & D. E. Andrew : Standard method for the water and wastewater, 18th, APHA AWWA WEF, 1992.
- 12) Okuda K, et al. : Uptake of nutrients by waterhyacinth in the case of lake teganuma. Journal of Environmental Pollution Control, **19**(1), 77~83, 1982.
- 13) Jamil, K., et al. : The role of waterhyacinth in abating aquatic pollution. Pollution Research, **4**, 67~75, 1985.

- 14) Boyd, C. E. & Scarsbrook : Influence of nutrient additions and initial density of plants on production of waterhyacinth *Eichornia crassipes*, *Aquatic Botany*, **1**, 253~261, 1975.
- 15) Center, T. D. and N. R. Spence : The Phenology and growth of waterhyacinth in eutrophic north-central Florida lake, *Aquatic Botany*, **10**, 1~32, 1981.
- 16) 青山 勳 : 水生植物を利用した水質改善, 用水と廃水, **24**, 87~94, 1982.
- 17) 喜納政修 外3人 : ホテイアオイによる有機廃水処理実験, 下水道協會誌, **13**(146), 37~40, 1976.
- 18) 喜納政修 外3人 : ホテイアオイ池によるラグ-ソ池出水の処理実験, 流球大學理工學部紀要, **15**, 81~94, 1978.
- 19) 喜納政修, 屋良朝徳 : ホテイアオイによる窒酸性窒素吸収とその生長に對するpHの影響, 流球大學理工學部紀要, **22**, 33~56, 1981.
- 20) 喜納政修, 屋良朝徳 : ホテイアオイによる窒酸性窒素吸収とその生長に關する窒酸性窒素の影響, 流球大學理工學部紀要, **25**, 59~83, 1983.
- 21) Ower, J., et al. : The effects of varying culture nitrogen and phosphorous levels on nutrient uptake and storage by the waterhyacinth, *Hydrobiologia*, **85**, 17~22, 1981.
- 22) 喜納政修 外2人 : ホテイアオイ收穫量おとび窒素除去と收穫栽培管理に關する研究, 水環境學會誌, **16**(9), 638~644, 1993.