

영양염류의 유입농도와 수리학적 체류시간에 따른 달뿌리풀(*Phragmites japonica* Steudel)의 질소와 인 제거능

신 정 이 · 차 영 일

(경희대학교 환경·응용화학부 환경학 및 환경공학전공)

적 요 - 영양염류의 농도와 수리학적체류시간에 따른 달뿌리풀의 질소·인 흡수 실험 결과로서 $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 흡수량은 각각 체류시간에 따라 유의한 영향을 미쳤으며 ($F=44.93, 95.52, 12.70, P<0.01$) 또한 농도에 따라서도 유의한 영향을 미쳤던 것으로 나타났다 ($F=1381.69, 3599.38, 1857.57, P<0.01$). 유입농도와 체류시간에 따른 흡수량이 예측되었고, 흡수량은 저농도에서 고농도로 갈수록, 체류시간이 짧을수록 높아지는 경향을 보였다. 사기막천의 달뿌리풀의 평균 현존식생량 335.9 g/m^2 , 평균 수질농도 $0.308 \text{ NH}_4\text{-N}$, $1.461 \text{ NO}_3\text{-N}$, $0.348 \text{ PO}_4\text{-P mg/L}$, 체류시간 1일~5일 범위에서 1 m^2 1일 기준의 흡수량이 각각 $7.31 \sim 20.15 \text{ NH}_4\text{-N}$, $31.15 \sim 95.84 \text{ NO}_3\text{-N}$, $4.09 \sim 11.48 \text{ PO}_4\text{-P mg/m}^2\text{/day}$ 로 추정되었고, 본 실험결과로서 달뿌리풀의 하천수질개선의 효과는 비교적 고농도의 질소·인 농도와 짧은 체류시간에서도 높을 것으로 예측되었다.

서 론

수계의 부영양화 촉진인자인 질소와 인은 수생식물의 생육에 필수적인 영양원소이고 질소와 인의 식물체내 축적은 이들의 제거에 큰 역할을 하게 된다. 실제로 수생식물은 질산염, 인산염, 중금속 등 각종 수질오염물질을 섭취하여 제거하는 수질정화능을 지니고 있을 뿐 아니라 대기로부터 수중으로 산소를 공급하고 수생 미생물의 수질 정화능을 증가시킨다(함 1996).

대형 수생식물에 의한 수환경의 개선은 자연정화의 하나로서 인식되어 왔으나 이러한 기능을 인위적으로 극대화 하려는 시도는 비교적 최근에 이르러 구체화 되었다(공 등 1996). Rogers와 Davis(1972)는 1 hectare의 부레옥잠이 800명의 사람이 하루에 배출하는 질소와 인 폐수를 흡수할 수 있다고 하였고, Wolverton과 McDonald(1979)는 성장기의 부레옥잠이 폐수 lagoon 유출수의 부유고형물질(SS)과 생물화학적 산소요구량(BOD_5) 뿐 아니라 유기탄소와 영양염류의 제거에 높은 효율이 있음을 밝혔다. Sato와 Kondo(1981)는 영양염류의 농도변화에 따른 부레옥잠의 질소와 인의 흡수량에 관한 연구를 하였는데 최대흡수량이 $1.31, 0.27 \text{ g/m}^2\text{/day}$ 임을 밝혔고,

Reddy와 Tucker(1983) 또한 질소와 인의 흡수량이 각각 $2.16, 0.54 \text{ g/m}^2\text{/day}$ 임을 밝혔다. Reddy와 Debusk(1987)는 식물에 의해서 암모니아와 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 일부가 흡수·제거될 수 있는데, 계절에 따라서 $0.3 \sim 7.0 \text{ kg/ha} \cdot \text{day}$ 정도까지 흡수가 가능하다고 하였다. 총질소의 제거효율은 체류시간과 깊은 관계가 있어 체류시간이 5일 이하에서 급격히 낮아진다고 하였으며(Knight *et al.* 1987), 암모니아의 제거효율을 극대화 하기 위해서는 수리학적 체류시간(Hydraulic Retention Time)이 3~5일 정도 되어야 한다고 보고하였다(WPCF 1990). 국내 연구로서 공 등(1996)은 애기부들, 꽃창포, 부레옥잠, 미나리식물로 늪지와 수로에서 정화처리실험을 하였는데 수질은 크게 실험 식물종, 체류시간, 재배유형, 유입수의 농도 및 수온에 의해 달라졌으며 처리효율은 체류시간의 증가와 함께 상승하고, 질소 및 인의 제거속도는 물질투하도에 따라 증가하였다고 보고하였다. 그러나 이들 기존의 연구에서는 식물이 자생하는 곳의 수환경과 식생량에 관한 조사가 없어 자생지에서의 정화력 평가가 어렵고, 연구자들마다 각각 다른 농도와 체류시간의 범위에서 실험하였으므로 같은 종에 대하여도 기존연구의 실험조건과 다른 조건에서는 흡수량 또는 제거율의 예측이 어려우며, 종별 영양염류의 흡수와 제거의 비교

분석 또한 난점이 있다. 본 연구에서는 실제로 하천변의 현존 식생량 조사결과 우점종으로 대형군락을 형성하고 있는 식물인 달뿌리풀(*Phragmites japonica* Steudel.)을 이용하여 수리학적 체류시간과 유입농도의 변화에 따른 질소와 인의 흡수량을 조사하고, 이로부터 하천변 식생에 의한 수질개선 효과를 추정하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

실험에 사용한 달뿌리풀은 1997년 9월 19일 경기도 양평군의 북한강 지류인 사기막천에서 경희대학교 구내 연못 주변에 이식하였다가 충분히 뿌리를 내렸다고 판단된 1개월 후 실험실 성장상으로 옮겨 사용하였다. 달뿌리풀의 채취지인 사기막천은 달뿌리풀 군락이 형성되어 있는 곳으로서 북한강의 제1지류인 준용하천이며 양평군 서종면 수입리에서 북한강 좌안으로 유입되는 하천으로 유량이 풍부하고 주변지역에서 유입되는 오염원이 별로 없기 때문에 BOD 기준으로 1~2급수, DO 및 SS 기준으로는 1급수가 유지되는 하천이다(건설기술연구원 1996, 1998).

2. 실험방법

1) 배양액의 공급

실제로 하천에서 수변 정수식물의 자연정화력을 알기 위해서는 토양에서 실험을 하여야 할 것이나 잘 알려진 바와 같이 토양에서의 실험은 실제로 식물 자체만의 정화력을 판정하기에 토양미생물 등 간섭요인이 많으며, 영양염류 흡수에 관한 연구를 위해서는 수경재배 기술이 매우 유용하다(Bowling 1976)고 보고되어 있어 본 연구에서는 광선이 metal halide 등 5개에 의해 494.24 kcal/m²/day, 25°C/18°C(14h day/10h night)조건의 성장상(2m*2m*2m)에서 실시하였다. 이 성장상 내에는 검은색 아크릴로 제작한 30L의 수조(0.03 m³, 0.129 m²)를 6개 배열하고 각 수조에 13개체씩의 달뿌리풀을 심어 정량펌프로 배양액을 체류시간에 따라서 주입하였다. 수조의 중앙부분에는 산소를 공급하고 배양액이 고르게 섞이게 하기 위한 에어펌프를 설치하였다. 수경재배액으로서 Hoagland 배양액(Horst *et al.* 1997)을 변형하여 사용하였다. 1997~1998 수질측정자료(건설기술연구원, 1996, 1997)를 기준으로 사기막천 수질의 질소와 인의 평균 농도를 구하여 이를 하천수의 기준 농도로 하고 여기에 3배, 9배, 25배, 75배의 농도로 1차 증류수로 조제하여 1일 단위로 공급하였다. 한 농도에 대한 실험을 3주간 실시한 후 다른 농도에 대한 실험을 하였다. 한

농도에 대한 실험시에 수조 5개에 체류시간을 1, 2, 3, 4, 5일로서 다르게, 즉 유입유량의 차이를 두어 실험하였으며 나머지 수조 1개는 식물이 없는 대조구로서 수조의 표면에 흡착되거나 미생물에 의한 영향을 보정하기 위하여 사용하였다. 수질시료는 매일 일정한 시간에 유입수와 유출수를 채수하여 4°C 이하에서 냉장 보관·분석하였다

2) 식생조사

달뿌리풀에 의한 수질개선의 효과를 추정하고자 현존 식생량을 조사하였다. 1998년 5월과 11월 2회에 걸쳐 사기막천의 수입교부터 노문교까지 선차단법으로(여천생태연구회 1997) 달뿌리풀의 분포를 구하였고 동일한 장소에 방형구를(25*25 cm) 설치하여 지상부를 수확한 후 실험실로 옮겨 85°C의 건조기에서 항량이 될 때까지 3일간 건조하여 건조중량을 측정하여 결과로서 사기막천 하천변의 m²당 현존량을 산정하였다.

3. 분석방법

유입수와 유출수 시료의 pH(Orion 290A), 수온(Orion 290A), DO(Orion 97-08-99), Conductivity(Oroon290A)를 측정하였고 NH₄-N, NO₃-N, PO₄-P의 유입과 유출수의 농도는 수질오염공정시험법(인도페놀법, 브루신법, 아스코르빈산환원법)에 따라서 분광광도계(UV1601pc, shimazu)로 측정하였다. 식물에 의한 질소와 인 흡수량 산정은 측정된 수질의 유입·유출수의 농도에 유량을 곱하여 하루 단위의 총 제거량을 계산하였고 이 값에서 식물이 없을 때의 자연감소량을 감하였고 최종적으로 식물의 단위 중량당 흡수량을 산정하였다. 실험식물의 건조중량은 20일 단위로 실험전·후를 측정하였고 수질의 농도는 하루단위로 분석하였으므로 실험 후의 건조중량에서 실험전의 건조중량을 감하여 실험전의 건조중량부터 등간격으로 건조중량이 증가하였다고 가정하고 하루단위로 변화된 생물량을 계산하여 흡수량을 산정하였다. 체류시간과 유입 농도에 따른 달뿌리풀의 1g당 1일 질소와 인 흡수량의 유의차를 검증하고, 관계식을 산출하기 위해서 Window용 SPSS 8.0을 사용하여 분산분석과 회귀분석을 하였다.

결과 및 고찰

1. 유입수의 농도와 체류시간에 따른 달뿌리풀의 질소와 인 흡수량

실험에 사용했던 모든 달뿌리풀을 평균한 1개체당 건조중량과 지상부와 지하부의 길이는 실험기간동안에 유의

Table 1. Dry weight and length (mean \pm SD) per plant before and after experiment

| | Before experiment | After experiment |
|-------------------|------------------------------|------------------------------|
| Dry weight (g) | 3.98 \pm 2.68 (n=252) | 3.90 \pm 2.68 (n=308) |
| Shoot length (cm) | 42.60 \pm 15.98 (n=252) | 43.00 \pm 16.95 (n=308) |
| Root length (cm) | 28.42 \pm 8.88 (n=265) | 28.71 \pm 9.5 (n=260) |

한 증감이 없었다 (Table 1).

달뿌리풀 1g 당 1일 흡수량 (Table 2)에 대하여 분산 분석을 실시한 결과 $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 흡수량은 각각 체류시간에 따라 유의한 영향을 미쳤으며 ($F=44.93$, 95.52 및 12.70 , $P<0.01$), 농도역시 유의한 영향을 미쳤던 것으로 나타났다 ($F=1381.69$, 3599.38 및 1857.57 , $P<0.01$). 식물의 단위 중량당 흡수량은 암모니아성 질소의 경우 체류시간이 1일, 유입수의 농도가 23.92 mg/L 즉 유입유량이 30 L/day 이며, 하천수 농도의 75배에서 5.05 mg/g/day 로 높은 흡수를 나타냈고, 체류시간이 4일, 유입수의 농도가 0.31 mg/L 즉 유입유량이 7.5 L/day , 하천수기준의 유입수농도에서는 0.04 mg/g/day 로 흡수량이 낮았다. 달뿌리풀의 암모니아성 질소 흡수 경향은 농도가 증가할수록 그리고 체류시간이 짧아질수록 증가경향을 보였다. 질산성질소에 있어서 흡수량은 체류시간 1일, 하천수 75배 농도 즉 유량 30 L/day , 유입수의 농도 110.17 mg/L 에서 17.64 mg/g/day 로 흡수량이 높았고 체류시간이 4일, 하천수 기준농도인 1.461 mg/L 일때의 흡수량이 0.163 mg/g/day 로 낮았다. 인산염의 경우 하천수농도, 체류시간 4일에서 즉, 유입수 농도 0.348 mg/L , 유입유량 7.5 L/day 에서 0.037 mg/g/day 로서 낮은 흡수를 보이고, 하천수 농도 75배, 체류시간 3일에서, 즉 유입수농도가 25.92 mg/L , 유입유량이 10 L/day 일 때 흡수량이 2.859 mg/g/day 로서 높았다 (Table 2). 식물의 단위 중량당 질소의 흡수경향은 저농도에서 고농도로 갈수록, 체류시간이 짧을수록 즉 유입량이 많아질수록 증가하였으며 인산염의 경우 질소에 비해서 농도나 체류시간에 따른 흡수경향이 뚜렷하지 않았다. 위의 흡수량 결과를 log scale로 도시하였다 (Figs. 1-3). 공 등 (1996)의 실험에서 처리효율은 체류시간의 증가와 함께 상승하였고, 질소 및 인의 제거속도는 물질 부하도에 따라 증가하였다고 하였는데 본 실험으로도 체류시간이 짧을수록 흡수량은 증가하였으나 이것은 그만큼 유입량이 많았기 때문이며, 유입량에 대한 제거효율은 체류시간이 짧을 때 보다 길어질수록 높아졌다. 본 실험에서 질산성 질소의 유입농도가 12.55 ppm 일 때 체류

Table 2. Uptake of N and P (mean \pm SD) by *Phragmites japonica* Steudel, as a function of hydraulic retention time (HRT) and concentration (mg/g/day). Each uptake represents the mean of fifteen determinations

| inflow con (mg/L) | HRT | | | | |
|-----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 1day | 2day | 3day | 4day | 5day |
| $\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/g/day) | | | | | |
| 0.308 | 0.099 (0.006) | 0.068 (0.006) | 0.051 (0.002) | 0.035 (0.001) | 0.039 (0.000) |
| 0.932 | 0.200 (0.017) | 0.074 (0.006) | 0.072 (0.007) | 0.068 (0.005) | 0.064 (0.009) |
| 2.794 | 0.484 (0.099) | 0.248 (0.036) | 0.188 (0.099) | 0.161 (0.060) | 0.110 (0.030) |
| 7.74 | 1.460 (0.279) | 0.662 (0.145) | 0.404 (0.065) | 0.426 (0.108) | 0.367 (0.070) |
| 23.92 | 5.048 (1.716) | 3.808 (0.343) | 4.506 (0.555) | 3.119 (0.530) | 3.006 (0.264) |
| $\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/g/day) | | | | | |
| 1.461 | 0.482 (0.017) | 0.293 (0.027) | 0.234 (0.011) | 0.163 (0.005) | 0.180 (0.001) |
| 4.268 | 1.367 (0.034) | 0.449 (0.011) | 0.333 (0.026) | 0.264 (0.091) | 0.224 (0.030) |
| 12.550 | 2.098 (1.295) | 0.833 (0.053) | 0.418 (0.133) | 0.430 (0.156) | 0.326 (0.062) |
| 36.088 | 5.924 (1.555) | 3.696 (0.864) | 2.398 (0.586) | 2.534 (0.757) | 2.301 (0.513) |
| 110.17 | 17.654 (3.343) | 13.623 (0.764) | 17.425 (0.892) | 12.749 (0.699) | 11.852 (0.540) |
| $\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/g/day) | | | | | |
| 0.348 | 0.079 (0.012) | 0.065 (0.011) | 0.053 (0.003) | 0.037 (0.002) | 0.042 (0.002) |
| 1.010 | 0.089 (0.037) | 0.035 (0.023) | 0.021 (0.014) | 0.022 (0.011) | 0.023 (0.011) |
| 3.860 | 0.198 (0.091) | 0.117 (0.054) | 0.072 (0.026) | 0.051 (0.025) | 0.045 (0.032) |
| 8.621 | 0.845 (0.352) | 0.370 (0.111) | 0.185 (0.056) | 0.192 (0.051) | 0.162 (0.069) |
| 25.92 | 2.185 (0.725) | 2.005 (0.276) | 2.859 (0.316) | 2.180 (0.176) | 2.356 (0.279) |

시간 1일에서 5일까지 52.6, 63.9, 70.6, 75.2%로 체류시간이 길어질수록 제거효율이 높아졌고, 암모니아성 질소의 유입농도 2.79 ppm 에서 체류시간이 길어질수록 제거효율은 44.2, 48.7, 61.9, 79.6, 88.5%로서 높아지는 경향을 보였다. 인산염의 경우 유입농도 3.86 ppm 에서 체류시간의 증가에 따라 제거효율이 27.01, 31.17, 29.47, 36.61, 42.44%로 증가경향을 보였다. 달뿌리풀의 농도와 체류시간에 따른 흡수량 실험결과로서 이 식물은 고농도에서 질소와 인의 유입량이 많아도 높은 흡수능력이 있음을 알 수 있었다. 최대의 성장은 비교적 낮은 범위의 영양염류 공급에서 일어나는 반면에 최대의 영양염

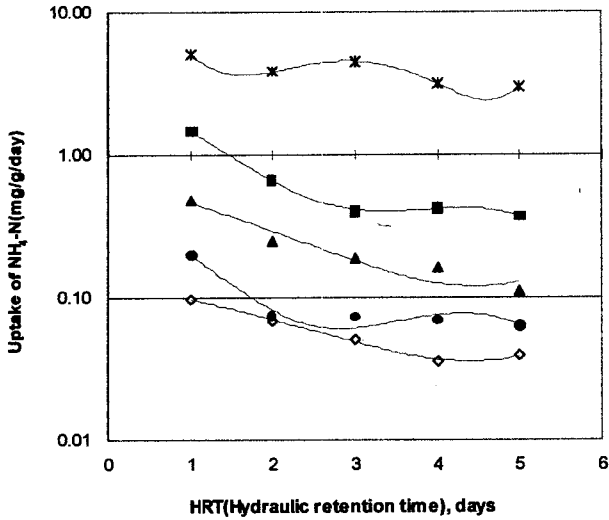


Fig. 1. The uptake of NH₄-N (mg/g/day) by *Phragmites japonica* Steudel. according to HRT. ◇, inflow of 0.308 mg/L; ●, 0.932 mg/L; ▲, 2.794 mg/L; ■, 7.740 mg/L; *, 23.920 mg/L. Each uptake represents the mean of fifteen determinations.

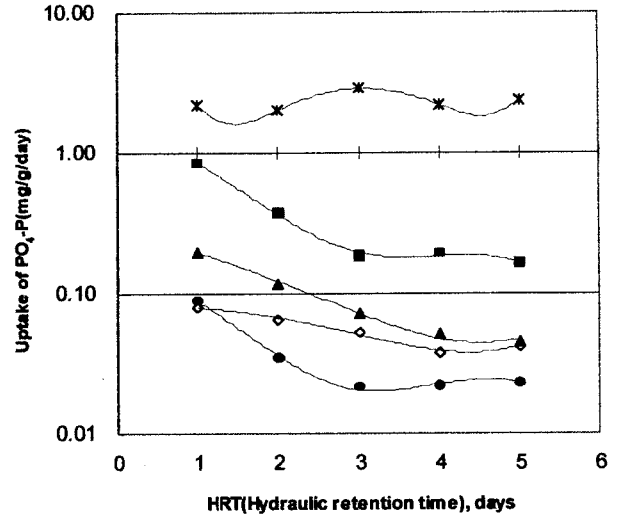


Fig. 3. The uptake of PO₄-N (mg/g/day) by *Phragmites japonica* Steudel. according to HRT. ◇, inflow of 1.461 mg/L; ●, 4.268 mg/L; ▲, 12.55 mg/L; ■, 36.088 mg/L; *, 110.170 mg/L. Each uptake represents the mean of fifteen determinations.

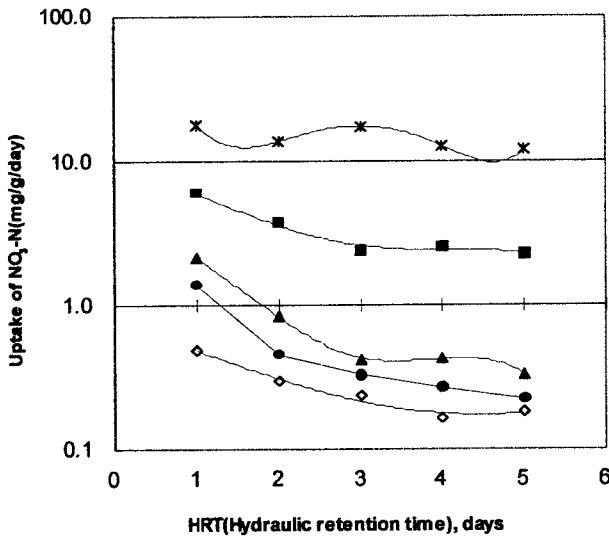


Fig. 2. The uptake of NO₃-N (mg/g/day) by *Phragmites japonica* Steudel. according to HRT. ◇, inflow of 1.461 mg/L; ●, 4.268 mg/L; ▲, 12.55 mg/L; ■, 36.088 mg/L; *, 110.170 mg/L. Each uptake represents the mean of fifteen determinations.

류 흡수속도는 고농도에 도달해서 얻어진다는 보고 (WEF 1998)가 있고 식물의 생체량변화와 농도에 따른 부레옥잠의 질소와 인 흡수실험으로서 Sato와 Kondo (1981)는 최대의 영양염류 흡수를 위한 최적농도는 최대의 식물성장을 위한 농도보다 약간 높은 경향을 보였고 유입수의 총질소 농도로서 약 100 ppm까지 체내축

적이 증가경향을 보였다고 하였는데 본 연구에서도 질소의 최대 유입농도인 134 ppm까지 증가경향을 보였다.

NH₄-N, NO₃-N, PO₄-P의 흡수량은 각각 체류시간에 따라 차이가 있었으며 유입농도와 체류시간에 따른 흡수량을 예측하기 위한 회귀식은 아래와 같은 수식으로 결정되었는데, 향후 이에 대한 검증을 위한 연구가 필요할 것으로 보인다.

$$\text{NH}_4\text{-N: } \log \text{Up} = -0.624 - 0.110 \text{ HRT} + 0.954 \log \text{NC} \quad (R^2=0.906, R=0.952)$$

$$\text{NO}_3\text{-N: } \log \text{Up} = -0.577 - 0.122 \text{ HRT} + 0.937 \log \text{NC} \quad (R^2=0.886, R=0.942)$$

$$\text{PO}_4\text{-P: } \log \text{Up} = -0.947 - 0.112 \text{ HRT} + 0.888 \log \text{NC} \quad (R^2=0.680, R=0.826)$$

(UP: amount of uptake (mg/g/day), HRT: hydraulic retention time, NC: Inflow concentration of Nutrient solution)

2. 사기막천 달뿌리풀의 현존식생량

공식식물인 달뿌리풀은 포복경의 마디에서 싹뿌리가 내려 계류의 하상에 활착, 밀생하여 홍수 때 주위 다른 식물들을 유실로부터 보호하며, 낙엽과 같은 부식질의 일시적 대량유출을 방지하고, 어류의 피난처 제공, 수많은 곤충의 서식처를 보존하는 중요한 식물로서 (건설기술연구원 1996) 자연형 하천공법에 식재되고 있는 식물이다. 사기막천에서의 달뿌리풀의 평균 분포길이는

47.34%, 평균 현존식생량은 709.61 g/m²로 나타났다. 평균현존식생량은 순 달뿌리풀 군락에서의 값으로서 실제 사기막천 전체 조사구간에서의 달뿌리풀의 현존식생량은 335.92g/m²로 추정되었다.

3. 사기막천 수질농도에서 체류시간에 따른 달뿌리풀의 질소와 인 흡수량

사기막천의 평균현존식생량이 335.92 g/m²이므로 이하천 수질의 평균 농도로서 NH₄-N, NO₃-N이 각각 0.308, 1.461 mg/L 일 때 단위 면적당 질소의 흡수량 추정값은 체류시간에 따라서 각각 7.31~20.15 mg/m²/day, 31.15~95.84 mg/m²/day의 범위에 있다. 도시하수의 질소농도의 범위를(유 등 1998) NH₄-N, NO₃-N의 농도가 7.74 mg/L, 36.08 mg/L로 가정하였을 때 체류시간에 따른 각각의 흡수량이 158~436, 628~1934 mg/m²/day의 범위로 추정되었다. PO₄-P는 사기막천의 평균 수질농도(0.348 mg/L)에서 체류시간에 따라서 흡수량이 4.09~11.48 mg/m²/day, 도시하수의 평균 인 농도를 8.621 mg/L로(유 등 1998) 가정했을 때 흡수량이 체류시간에 따라서 70.09~198.61 mg/m²/day의 범위에 있다.

Sato와 Kondo(1981)는 부레옥잠으로 48일동안 영양염류에서 NH₄-N, NO₃-N, PO₄-P이 각각 3.35, 24.5, 7.7 mg/L 일 때 최대의 제거율을 보였다고 하였고 이 때의 질소와 인의 흡수량을 1.31, 0.27 g/m²/day라고 하였다. 이 농도에서 본 연구의 체류시간 범위로 계산한 달뿌리풀에 의한 흡수량은 0.69~1.49 g N/m²/day 및 0.06~0.17 g P/m²/day의 범위가 된다. 본 실험에서 생중량은 1.7~3.3 kgFW/m²였는데 Sato와 Kondo(1981)의 부레옥잠 실험에서는 7.6 kgFW/m²로서 매우 높았던 것에 비하면 흡수속도의 차이는 크지 않았던 것으로 보인다. 공 등(1996)은 인공수로에서 부레옥잠에 의한 영양염류의 제거속도가 1 m²당 1일을 기준으로 표면부하가 3.2 gN, 0.13 gP일 때 체류시간 1일에서 1.51 gN, 0.12 gP이며, 미나리의 수로실험에서 부하가 2.76 gN, 0.11 gP 일 때 체류시간 1일에서 1.16 gN, 0.08 gP의 제거속도를 보였다고 보고하였는데, 본 연구의 결과를 단위면적당 표면부하로 계산하면 3.56 gN, 0.23 gP 조건에서 제거속도가 1 m²당 1일을 기준으로 0.883 gN, 0.02 gP으로 부레옥잠이나 미나리 보다 낮은 제거속도를 보였으나 식물의 성장단계, 식물의 식재밀도, 온도, 광 등 실험조건이 다르므로 농도와 체류시간에 따른 흡수속도의 단순한 비교는 어렵고 특히 본 실험에서 생중량은 단위면적당 1.7~3.3 kgFW/m²였는데 공 등(1996)의 실험에서는 부레옥잠이 441.9 kgFW/m², 미나리수로 실험이 43.7 kgFW/m²로서 많은 차이가 있었으므로 두 종의 식물에 대한 수질개선

효과를 단순 비교할 수는 없다. 정수식물은 뿌리가 밀생하여 미생물에 대한 부착매질로서 양호한 조건을 제공해 주고 통기조직을 통한 산소의 공급을 통해 유기물의 분해나 탈질을 유도함에 반해 체내의 질소, 인 함량이 낮고 성장속도가 낮아 영양염류의 흡수능은 미약하다는 보고(공 등 1996)가 있으나 본 연구결과에서 달뿌리풀은 비교적 높은 농도와 유입량까지 질소와 인의 흡수능력이 있는 것으로 나타났다.

참고 문헌

- 공동수, 천세억, 정원화, 김종택(1996a). 호소내 오염하천 유입부의 식물에 의한 정화처리 연구(II). 국립환경연구원 pp. 6-8, pp. 51.
- 공동수, 천세억, 류재근(1996b). 대형수생식물 및 부착조류를 이용한 호수질 정화 및 수확물의 재이용. 강원대학교 환경연구소 pp. 116.
- 건설기술연구원(1996a). 국내여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발 최종보고서 Vol. I. 환경부. pp. 359-387, pp. 364, pp. 380.
- 건설기술연구원(1996b). 국내여건에 맞는 자연형하천공법의 개발 최종보고서 Vol. II. pp. 432
- 건설기술연구원(1997a). 국내여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발 중간보고서. 환경부. pp. 56-58.
- 건설기술연구원(1997b). 국내여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발 최종보고서. Vol. 1. 환경부. pp. 97.
- 건설기술연구원(1998) 국내여건에 맞는 자연형하천공법의 개발 중간보고서. 환경부. pp. 276.
- 여천생태연구회(1997) 생태학실험서. 교문사. pp. 85-86.
- 유성환, 이승목, 이헌도, 은종극, 정용태, 최석순(1998). 기초폐수처리. 동화기술. pp. 45.
- 정충영, 최이규(1996) spsswin을 이용한 통계분석. pp. 290-313, pp. 219-231.
- 함용규(1996) 수생식물의 중금속 흡수능에 관한 연구. 석사학위 논문, 순천향대학교. pp. 24-27.
- Bowling DJF(1976) Uptake of ions by plant roots. London Chapman and Hall pp. 13-14.
- Horst WJ, AK Puschel & N Schmohl(1997) Induction of callose formation is sensitive marker for genotypic aluminum sensitivity in maize. *Plant and Soil*. **192** : 23-30.
- Knight RL, TW McKim & HR Kohl(1987) Performance of a Natural wetland treatment system for wastewater management, *J. Water Pollution Control Fed.* **59** : 746.
- Reddy KR & WR DeBusk(1987) Nutrient Storage Capabilities of Aquatic and Wetland Plants. Magnolia Pub., Inc., Orlando, Fla.
- Reddy KR & JC Tucker(1983) Effect of nitrogen source on productivity and nutrient uptake of water hyacinth.

- Econ. Bot.* **37** : 236-246.
- Rogers HH & DE Davis (1972) Nutrient Removal by Water hyacinth. *Weed Science.* **20** : 423.
- Sato H & T Kondo (1981) Biomass production of water hyacinth and its ability to remove inorganic minerals from water I. Effect of the concentration of culture solution on the rates of plant growth and nutrient uptake. *Jpn. J. Ecol.* **31** : 257-267.
- Wolverton BC & RC McDonald (1979) Upgrading facultative wastewater lagoons with vascular aquatic plants. *J. Water Pollution Control Fed.* **51** : 305-313.
- WEF (Water Environment Federation) (1998) Biological and Chemical Systems for Nutrient Removal. Alexandria, VA
- WPCF (Water Pollution Control Federation) (1990). Natural systems for Wastewater Treatment Manual of Practice FD-16, Alexandria, VA.

Effects of Nutrient Concentration and Hydraulic Retention Time on the Removal of N and P by *Phragmites japonica* Steudel

Jung-Yi Shin and Young Il Cha

(Department of Environmental Sciences and Engineering, Kyunghee University,
Yongin 449-701, Korea)

Abstract - Uptakes of N and P by *Phragmites japonica* Steudel. are determined in continuous flow tanks as a function of hydraulic retention time (HRT, days) and nutrient concentration (NC). Results show that the uptake was higher at shorter HRT and higher nutrient concentration, and the regression equations were estimated. Mean above ground biomass of *Phragmites japonica* in the middle reaches of Sagimak stream was 335.92 g/m², and estimated uptake by this vegetation were 7.31~20.15 NH₄-N, 31.15~95.84 NO₃-N, and 4.09~11.48 PO₄-P mg/m²/day in Sagimak stream, respectively when HRT was 1~5 days. According to this study, it is concluded that *Phragmites japonica* Steudel. are suitable for water quality improvement of stream through nutrient uptake at short HRT and high concentration. [Phragmites japonica Steudel., uptake, hydraulic retention time (HRT), concentration].