

갯버들 (*Salix gracilistyla* Miq.)의 질소와 인 제거능

신 정 이 · 차 영 일

(경희대학교 환경·응용화학부, 환경학 및 환경공학전공)

적 요 - 경기도 양평군 수입천에서 대형 군락을 형성하여 자생하는 갯버들의 영양염류의 농도와 수리학적 체류시간에 따른 질소·인 흡수 실험 결과로서 NH₄-N, NO₃-N, PO₄-P 제거효율은 저농도에서 체류시간이 길 때 높은 경향을 보였고, 제거능은 고농도와 짧은 체류시간에서 높은 경향으로 나타났다. 유입농도와 체류시간에 따른 지상부 1g당 제거능 추정식을 구하였다. 수입천 갯버들의 현존량은 4,880.81 g/m²로 추정되었고, 현존량과 제거능 추정식으로부터 자연정화량을 추정하였는데, 수입교부터 노문교까지 6 km 구간에서 하천양안을 합쳐 10 m 폭의 갯버들의 분포에 대해 체류시간 0.59~5.21이며 NH₄-N의 유입농도가 0.05~0.4, mg/L 일 때 제거능추정값은 0.49~15.49 kg/day, NO₃-N의 유입수의 농도가 1.42~11.36 mg/L 일 때 5.83~405.39 kg/day, PO₄-P 유입수의 농도가 0.1~0.27 mg/L 일 때 7.57~23.22 kg/day로 나타났다.

서 론

하천은 다양한 기능과 이용형태를 가지고 있으며 인간의 일상생활과 밀접한 관계를 유지해 왔다. 이러한 이용형태간의 비중은 장소와 시기에 따라서 다르게 나타나는데 근래에는 친수기능이나 생태기능보다는 홍수조절이나 우수의 배출로서의 하천의 이용과 변형이 가중되고 있다. 이로 인해 하천은 자정능력이 저하되거나 한계에 봉착해 그 생명력을 잃어버리게 되고 동시에 인근 유역의 오염물질의 과다한 유입으로 심각한 위협을 받고 있다. 특히 국내 하천형 호수의 경우 호안의 굴곡이 심해 오염하천이 유입되는 만입부는 하구 폭이 넓어지면서 체류시간이 길어져 영양염류의 축적으로 부영양화되어 있고 이러한 정체 수역에서 대량으로 발생한 조류는 여러 가지 이수상의 장애를 초래하고 있다(공 등 1996). 국내 하수처리 시설은 유기오염물질의 제거를 위한 처리시스템으로 무기영양염류의 제거에는 큰 효과를 볼 수 없으며 분해 처리된 물 속에는 원수가 지니고 있던 영양염이 용존태로 바뀌어 있고 이러한 영양염이 너무 많으면 식물성 플랑크톤이 이상 발생하게 되고 이상 발생한 플랑크톤은 죽어 부패되어 그 분해산물로 또 플랑크톤이 증식하는 cycle이 끝없이 반복되어, 물은 썩어 악취를 풍긴다. 이것이 부영양화로서 영양염 농도의 저하와 생태계의 수복에 의해서만 해결할 수 있는 문제가

다. 그 대안으로서 최근 질소와 인 등 무기영양염류를 제거하기 위한 자연정화방법이 부각되고 있으며, 수생식물에 의한 자연정화방법에 대해 국내·외 적으로 많은 연구가 진행되었으나, 주로 부레옥잠(Rogers & Davis 1972; Sato & Kondo 1981), 생이가래(안 등 1995)를 위시하여 부유식물에 대한 연구, 갈대(尾崎 & 阿部, 1993; 細見正明 1994; 심과 한 1998), 부들(공 1996), 줄(江成敬次郎 *et al.* 1996) 등 정수식물에 대한 연구가 주를 이루어왔다. Reddy와 Smith(1987)는 산림 습지에서의 질소와 인의 총 흡수율은 각각 26.6, 15.0 kg/hr/yr라고 보고한 바 있으나 갯버들과 같은 관목류의 자연 정화효과와 현존량에 대한 연구는 거의 없는 실정이고, 실제로 하천환경에서 식물의 영양염 흡수에 따른 자연정화력에 영향을 주는 요인은 여러 가지가 있겠으나 농도와 체류시간에 따른 영향이 크게 작용할 것으로 보인다. 또한 하천법 시행령의 개정으로(건설교통부 1998) 하천변에 1 m 이상의 수목식재가 가능해짐에 따라서 이들 식물을 자연하천으로의 복원 목적으로서 하천변에 식재하고자 할 때 수질 정화효과에 대한 기초자료가 필요할 것으로 사료되어 본 연구에서는 수입천의 현존량 조사결과 우점종으로 대형군락을 형성하고 있는 식물인 갯버들(*Salix gracilistyla* Miq.)을 이용하여 온도, 광, 일장 조건을 제어하고 농도와 수리학적 체류시간에 따른 질소 및 인의 제거능을 고찰하고, 이러한 실내 기초실험 자료로서 자생지인 수입천에서 우점종인 갯버들에 의한 자연

정화량을 추정하였다.

대형수생식물에 대한 선행연구들이 식물 자체의 제거가 아닌 식물의 뿌리에 부착된 미생물의 흡수와 토양입자의 여과 기능에 의한 질소와 인의 제거를 과대 평가하였던 것과는 달리 목본류인 갯버들에 수경재배를 하여 식물자체의 제거능에 대한 실험을 하였고, 자생지인 수입천의 수질농도, 체류시간, 현존량 자료와 연결시켜서 자연 정화량을 산정하였다는데 의미가 있으며 최근에 이르러 정부와 학계에서 많은 관심을 가지고 연구대상으로 되고 있는 자연형 하천으로의 복원 사업시 후 수질정화능 예측자료로 이용할 수 있다.

재료 및 방법

1. 실험재료

갯버들은 1998년 5월 경기도 양평군의 북한강 지류인 수입천에서 실험실 생장상으로 옮겨 적응시킨 후 사용하였다. 갯버들 채취지인 수입천은 갯버들 군락이 형성되어있는 곳으로서 북한강의 제1지류인 준용하천이며 양평군 서종면 수입리에서 북한강 좌안으로 유입되는 하천으로 유량이 풍부하고 주변지역에서 유입되는 오염원이 별로 없기 때문에 BOD기준으로 1~2급수, DO 및 SS기준으로는 1급수가 유지되는 하천이다(건설기술연구원 1996, 1998).

2. 실험방법

1) 실내 수경재배실험

본 연구에서는 광선이 metal halide 등 5개에 의해 16,000 Lux, 25°C/18°C(14 h day/10 h night)조건의 생장상(2m*2m*2m)에서 실시하였다. 이 생장상 내에는 검은색 아크릴로 제작한 30l의 수조(0.03m³, 0.129m²)를 6개 배열하고 각 수조에 13개체 썩의 갯버들을 심어 정량펌프로 배양액을 체류시간에 따라서 주입하였다. 수조의 중앙부분에는 산소를 공급하고 배양액이 고르게 섞이게 하기 위한 에어펌프를 설치하였다. 수경재배액은 Hoagland 배양액(Horst *et al.* 1997)을 변형하여 사용하였다. 1996~1998 수질측정자료(건설기술연구원 1996; 1997)를 기준으로 수질의 질소와 인의 기준농도를 구하여 이를 하천수의 1배 농도로 하고 여기에 3배, 9배, 25배, 75배의 농도로 1차 증류수로 조제하여 1일 단위로 공급하였다. 한 농도에 대한 실험을 30일간 실시하였다. 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 후 분석하였다. 수변 정수식물의 자연 정화력에 관한 연구를 위해서는 이들 식물들의 대부분이 주로 토양에 뿌리를 내리고 있기 때문에 토양배지로서 실험을 하여야 할 것이나 토양에서의 실험은 토양 미생물 등 간섭요인이 많아 실제로 식물 자체만의 정화력을 판정하기에 연구에 어려움이 따르므로 영양염류 흡수에 관한 연구를 위해서는 수경재배 기술이 매우 유용하다고 보고하였다(Bowling 1976).

2) 수입천의 갯버들 현존량 조사방법

수입천의 수입교 부터 노문교까지 6km 구간에서 선차단법으로(Martin *et al.* 1992) 갯버들의 분포를 조사하였다. 현존량은 근원직경(지면으로부터 20cm)과 수고의 범위에서 등급별로 안배한 11주를 표준목으로 선정하여 지상부 근원직경에서 caliper를 이용하여 직경을 잴 후 지상부를 수확하여 표본으로 하여 labeling 후 실험실로 옮긴 후 85°C의 건조기에서 향량이 될 때까지 건조하여 건조중량을 측정하였다 Alban *et al.* (1983)에 의하면 직경 외에 수고를 독립변수로 첨가하면 추정오차(standard error of the estimate)를 줄일 수 있다고 하여 근원직경(D)과 수고(H)와 건조량(W)과의 관계를 $\log W = A \log D^2H + B$ (홍 1991; 김 등 1985)로 나타내고, A와 B를 구하였다. 이 회귀식에 10개의 5*5 방형구 내의 근원직경과 수고의 조사자료를 대입하여 수입천의 지상부 현존량을 추정하였다.

3. 분석방법

유입수와 유출수 시료의 pH(Orion 290A), 수온(Orion 290A), DO(Orion 97-08-99), Conductivity(Orion 290A)를 측정하였고 NH₄-N, NO₃-N, PO₄-P의 유입과 유출수의 농도는 Standard Method(APHA 1998)에 따라서 분광광도계(UV1601pc, shimazu)로 측정하였다. 식물에 의한 질소와 인 제거능 산정은 측정된 수질의 유입·유출수의 농도에 유량을 곱하여 하루 단위의 총 제거량을 계산하였고 이 값에서 식물이 없을 때의 자연감소량을 감하였고 최종적으로 식물의 단위 중량당 제거능을 산정하였다. 실험식물의 건조중량은 30일 단위로 실험전·후에 측정하였고 수질의 농도는 하루단위로 분석하였으므로 실험 후의 건조중량에서 실험전의 건조중량을 감하여 실험전의 건조중량부터 등간격으로 건조중량이 증가하였고 가정하고 하루단위로 변화된 생물량을 계산하여 제거능을 산정하였다. 체류시간과 유입 농도에 따른 갯버

들의 1g당 1일 질소와 인 제거능의 유의차를 검증하고, 관계식을 산출하기 위해서 Window용 SPSS 8.0을 사용하여 분산분석과 회귀분석을 하였다.

결과 및 고찰

1. 실험전 · 후 건중량 변화

아래의 Table 1에 실험전과 후의 건중량, 그리고 실험 기간 30일 동안 중량이 등간격으로 증가했다고 가정하고 갯버들의 하루단위 성장률을 나타내었다. 각 건중량은 수조내 실험식물 13개체의 합이다.

실험전 추정된 실험수조 내 갯버들의 건조중량은 16.93~135.81 g이었고, 실험 후에는 21.84~139.20 g으로 나타났다. 이 중 함수율은 실험 전에 51~69%, 실험 후 60~77%로 나타났다.

실험전과 후에 건중량은 유의한 차이가 있었는데 ($p < 0.05$) 전체 농도와 체류시간에서의 평균성장률은 0.1 g/day로써 9배 농도의 체류시간 5일에서 하루단위 성장률이 높아 0.37 g/day였다. 각 농도별 평균성장률은 75배에서 높았는데, 하천수 75배 체류시간 5일에서 높았다. 실험 후 중량감소는 낙엽의 영향인 것으로 보이며 갯버들의 낙엽량은 실험기간 30일 동안 0.14~1.84g으로 측정되었다.

2. 질소와 인 제거효율

농도와 체류시간별 식물에 의한 영향 외 미생물 등에 의한 자연 제거에 대한 보정을 한 후의 제거효율 산정 결과를 아래에 도시하였다(Figs. 1-3).

암모니아성 질소는 하천수 농도에서 체류시간 1일에서 5일까지 체류시간에 따른 영향이 뚜렷하지 않았고, 농도에 따라서 고농도로 갈수록 제거효율이 감소하였는데 특히 체류시간 1일부터 4일까지는 하천수 9배 농도부터 급격히 감소하였고 체류시간 5일에서는 25배 농도부터 급격히 감소하였다. 제거효율은 하천수 농도에서 체류시간 1~5일까지 90.26~93.67%, 3배 농도에서 68.45~84.34%, 9배 농도에서 7.84~56.12%, 25배에서 4.24~11.48%, 75배에서 16.99~20.81%의 제거효율을 보였다. 하천수 농도와 3배 농도에서는 체류시간 1일에서 5일까지 모두 하천수 농도에서 제거효율이 높았고 체류시간에 따른 큰 차이가 나타나지 않았으며 하천수 농도의 3배에서 9배로 농도가 높아지면서 체류시간 5일 일 때를 제외하고 제거효율이 급격히 감소하였으며 25배와 75배 농도에서도 제거효율이 낮았다.

질산성질소는 하천수 농도와 3배 농도에서는 체류시

Table 1. Biomass of *Salix gracilistyla* before and after experiment (growth rate = Biomass (After - before)/30day)

Concentration	HRT (day)	Before (g)	After (g)	Growth rate(g/day)
1-fold	1	59.70	53.81	-0.20
	2	59.59	57.30	-0.08
	3	59.34	61.90	0.09
	4	62.90	74.50	0.39
	5	61.83	76.31	0.48
3-fold	1	106.87	103.52	-0.11
	2	108.59	103.16	-0.18
	3	135.81	139.20	0.11
	4	127.20	122.86	-0.14
	5	126.50	120.93	-0.19
9-fold	1	21.49	25.66	0.14
	2	26.40	29.38	0.10
	3	24.90	29.06	0.14
	4	30.44	34.16	0.12
	5	30.00	41.04	0.37
25-fold	1	17.66	19.05	0.05
	2	17.64	19.19	0.05
	3	17.68	18.68	0.03
	4	17.69	20.59	0.10
	5	19.14	20.70	0.05
75-fold	1	16.93	21.88	0.17
	2	16.97	26.62	0.32
	3	16.97	21.84	0.16
	4	16.87	24.23	0.25
	5	19.01	24.30	0.18

간의 증가에 따라서 제거효율이 증가경향을 보였으나, 9배 농도에서부터 75배 농도까지는 체류시간이 길어져도 제거효율은 증가경향을 보이지 않았다. 농도가 높아짐에 따라서 제거효율이 감소경향을 보였는데 특히 하천수 9배 농도 부터는 체류시간 3일부터 5일까지에서 제거효율이 급격히 감소하였다. 하천수 농도에서 체류시간 1일에서 5일까지 32.84~58.45%, 3배 농도에서 25.10~54.49%, 9배 농도에서 8.10~32.13%, 25배 농도에서 9.39~20.38, 75배 농도에서 4.39~11.28%의 제거효율을 보였다.

인산염은 체류시간이 길어짐에 따라서 제거효율이 증가하였으며 하천수 농도에서 75배 농도까지 증가함에 따라서 제거효율이 감소하였고 체류시간 3~5일까지는 하천수 농도에서 제거효율이 높고, 3배가 되면서 제거효율이 크게 감소하였다. 하천수 농도에서 체류시간 1일에서 5일까지 21.84~82.55%, 3배 농도에서는 13.05~49.25%, 9배 농도에서는 7.21~28.59%, 25배농도에서 5.48~10.99%, 75배 농도에서 7.26~12.62%의 제거효율을 보였다. 細見(1994)는 총 질소와 총 인의 유입농도

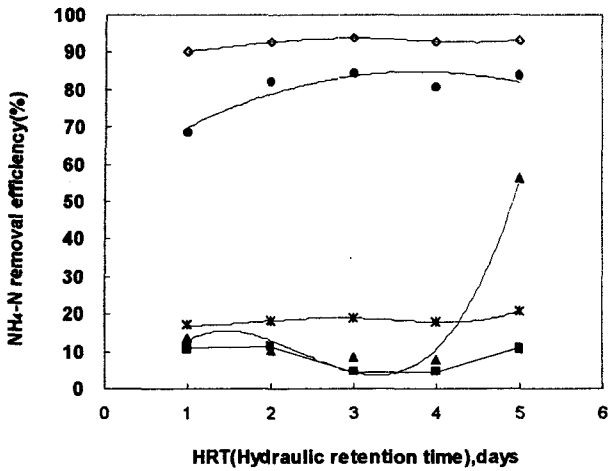


Fig. 1. NH₄-N removal efficiency (%) by *Salix gracilistyla* according to HRT. (◇, inflow of 0.31 mg/L; ●, inflow of 0.95; ▲, inflow of 2.81; ■, inflow of 7.74; *, 23.37. Each removal efficiency represents the mean).

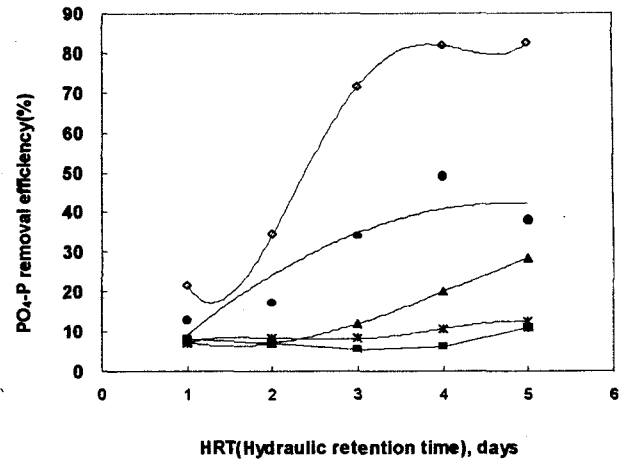


Fig. 3. PO₄-P removal efficiency (%) by *Salix gracilistyla* according to HRT. (◇, inflow of 0.33 mg/L; ●, inflow of 1.13; ▲, inflow of 3.70; ■, inflow of 8.76; *, 26.82. Each removal efficiency represents the mean).

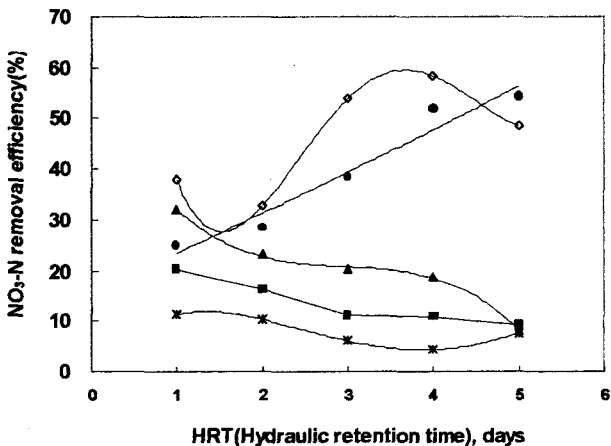


Fig. 2. NO₃-N removal efficiency (%) by *Salix gracilistyla* according to HRT. (◇, inflow of 1.44 mg/L; ●, inflow of 4.28; ▲, inflow of 12.66; ■, inflow of 34.23; *, 110.43. Each removal efficiency represents the mean).

가 각각 6.2, 0.97 mg/L의 범위에서 갈대습지의 제거효율은 각각 68%, 76%라고 보고하였다. 본 연구에서 암모니아성질소의 유입농도가 각각 2.81~7.74 mg/L 일 때 갯버들에 의한 제거효율은 체류시간에 따라서 4.24~56.12%로서 나타나 細尾의 갈대습지보다 제거효율이 낮았지만 본 실험에서는 식물에 의한 영향만을 계산한 점을 감안할 때 細尾 正明의 실험과의 차이는 미생물과 토양에 의한 영향제거로 보여진다. 질산성질소의 경우에도 유입수의 농도 1.44~4.28 mg/L 범위에서 제거효

율이 25.1~58.4% 인의 농도가 0.33~1.01 mg/L 일 때 제거효율은 13.05~38.25%로서 토양 등 매체와 미생물에 의한 영향과 함께 더 효율적으로 제거될 수 있을 것으로 생각된다.

3. 질소와 인 제거능

암모니아성질소와 질산성질소 인산염의 1일 1g 당 제거능을 실험시작 7일째부터 30일째까지의 평균값으로 아래의 Table로 제시하였다(Table 2).

갯버들 1g(전식물체)당 1일 제거능에 대하여 분산분석을 실시한 결과 NH₄-N, NO₃-N, PO₄-P의 제거능은 각각 체류시간에 따라 유의한 영향을 미쳤으며(P<0.01), 농도역시 유의한 영향을 미쳤던 것으로 나타났다(P<0.01). 식물의 단위 중량당 제거능은 암모니아성 질소의 경우 체류시간이 1일, 유입수의 농도가 23.36 mg/L 즉 유입유량이 30 L/day이며, 하천수 농도의 75배에서 5.882 mg/g/day로 높은 흡수를 나타냈고, 체류시간이 5일, 유입수의 농도가 0.369 mg/L 즉 유입유량이 7.5 L/day, 하천수 기준의 유입수 농도에서는 0.030 mg/g/day로 제거능이 낮았다. 갯버들의 암모니아성 질소 흡수는 농도가 증가할수록 그리고 체류시간이 짧아질수록 증가 경향을 보였다. 질산성질소에 있어서 제거능은 체류시간 1일, 하천수 75배 농도 즉 유량 30 L/day, 유입수의 농도 110.425 mg/L에서 30.012 mg/g/day로 제거능이 높았고 체류시간이 5일, 하천수 기준농도인 1.442 mg/L 일때의 제거능이 0.083 mg/g/day로 낮았다. 인산염의 경우 하천수 농도, 체류시간 5일에서 즉, 유입수 농도 0.332 mg/L,

Table 2. Removal potential of N and P (mean±SD) by total biomass of *Salix gracilistyla*, as a function of hydraulic retention time (HRT) and concentration (mg/L)

Inflow con (mg/L)	HRT				
	1day	2day	3day	4day	5day
NH ₄ -N (mg/g/day)					
0.369	0.142 (0.017)	0.080 (0.009)	0.062 (0.003)	0.032 (0.003)	0.030 (0.002)
0.953	0.188 (0.028)	0.117 (0.007)	0.065 (0.003)	0.046 (0.005)	0.041 (0.002)
2.813	0.552 (0.373)	0.229 (0.158)	0.177 (0.103)	0.121 (0.069)	0.316 (0.077)
7.730	1.402 (0.842)	1.012 (0.547)	0.415 (0.205)	0.328 (0.251)	0.419 (0.160)
23.360	5.882 (0.747)	3.124 (0.456)	2.863 (0.349)	1.887 (0.256)	1.773 (0.303)
NO ₃ -N (mg/g/day)					
1.442	0.294 (0.043)	0.146 (0.029)	0.189 (0.058)	0.100 (0.016)	0.083 (0.019)
4.280	0.370 (0.107)	0.238 (0.054)	0.170 (0.030)	0.165 (0.028)	0.153 (0.035)
12.659	5.419 (1.490)	1.864 (0.430)	1.320 (0.495)	0.851 (0.275)	0.439 (0.172)
34.234	11.015 (1.716)	5.758 (0.919)	3.659 (0.507)	2.707 (0.295)	2.022 (0.320)
110.425	30.012 (10.416)	16.181 (5.745)	12.780 (6.844)	9.325 (1.858)	9.423 (1.171)
PO ₄ -P (mg/g/day)					
0.332	0.038 (0.008)	0.032 (0.006)	0.051 (0.008)	0.030 (0.002)	0.028 (0.001)
1.127	0.042 (0.016)	0.027 (0.010)	0.031 (0.006)	0.032 (0.006)	0.021 (0.007)
3.695	0.381 (0.206)	0.182 (0.021)	0.217 (0.044)	0.214 (0.060)	0.217 (0.093)
8.758	1.244 (0.420)	0.727 (0.202)	0.507 (0.118)	0.420 (0.089)	0.451 (0.094)
26.818	3.355 (0.308)	2.036 (0.308)	1.776 (0.131)	1.636 (0.294)	1.502 (0.142)

유입유량 7.5L/day에서 0.028 mg/g/day로서 낮은 흡수를 보이고, 하천수 농도 75배, 체류시간 1일에서, 즉 유입수 농도가 26.818 mg/L, 유입유량이 30 L/day일 때 제거능이 3.355 mg/g/day로서 높았다 식물의 단위 중량당 질소의 흡수경향은 저농도에서 고농도로 갈수록, 체류시간이 짧을 수록 즉 유입량이 많아질 수록 증가하였으며 인산염의 경우 질소에 비해서 농도나 체류시간에 따른 흡수 경향이 뚜렷하지 않았다. 위의 제거능 결과를 log scale로 도시하였다(Figs. 4-6)

갯버들 지상부 건중량 1g당 1일 제거능에 대하여 분산분석을 실시한 결과 NH₄-N, NO₃-N, PO₄-P의 제거능은 각각 체류시간에 따라 유의한 영향을 미쳤으며 (P < 0.01), 농도역시 유의한 영향을 미쳤던 것으로 나타났다 (P < 0.01). 식물의 지상부 단위 중량당 제거능은 암모

니아성 질소의 경우 하천수 농도의 유입수에서 체류시간 1일~5일까지 감소경향을 보였으며 0.048~0.268 mg/g/day의 범위에 있었다. 하천수 3배 농도에서, 0.068~0.272 mg/g/day, 9배 농도에서 0.216~1.122 mg/g/day, 25배 농도에서 0.782~3.416 mg/g/day, 75배 농도에서 3.308~12.032 mg/g/day로서 흡수 경향은 농도가 증가할수록 그리고 체류시간이 짧아질 수록 증가하는 경향을 보였다. 질산성질소는 제거능이 하천수 농도에서 0.131~0.555 mg/g/day, 3배 농도에서 0.253~0.539 mg/g/day, 9배 농도에서 0.648~11.173 mg/g/day, 25배 농도에서 5.002~27.091 mg/g/day, 75배 농도에서 17.499~61.699 mg/g/day로서 체류시간이 짧을 때, 농도가 높을 때의 제거능이 높았다. 인산염은 하천수 농도에서 체류시간 1일에서 5일까지 0.045~0.081 mg/g/day, 하천수 3배 농도에서 0.035~0.062 mg/g/day, 9배 농도에서 0.318~0.787 mg/g/day, 25배 농도에서 1.010~3.045 mg/g/day, 75배 농도에서 2.849~6.870 mg/g/day로서 농도가 높아짐에 따라서 1일 지상부 1g 당 제거능은 증가하는 경향이 뚜렷했으나 체류시간에 따라서는 경향이 뚜렷하지 않았다. 특히 저 농도인 하천수와 3배, 9배에서는 체류시간에 따른 1g당 제거능이 뚜렷이 나타나지 않았고, 25배와 75배 농도에서는 체류시간 1일과 2일~5일까지의 제거능의 차이가 비교적 크게 나타났다.

위의 농도와 체류시간에 따른 제거효율과 제거능에 대한 결과는 中里 (1998)의 실험에서 수량부하가 많을 수록 제거속도는 높지만, 제거효율은 저하된다고 하였고, 원수의 농도와 제거속도와의 관계에서 식물의 생육 장애가 일어나지 않는 범위에서 원수에 포함된 오탁물질의 농도가 높을 수록 제거속도는 높아진다고 한 연구와 일치되는 결과이다.

실제 하천환경은 시간적, 공간적인 차이로 가변적인 환경요인이 많다. 본 실험의 결과를 실제 하천 환경의 농도와 체류시간에서 각각의 질소, 인의 제거능을 예측하기 위하여 아래와 같은 회귀방정식을 구하였는데 실제로 수입천에서 현존량조사는 지상부에 대해서만 되었기 때문에 관계식도 지상부 1g당 제거능으로 산정하였다.

$$\text{NH}_4\text{-N: } \log \text{Rp} = -0.281 - 0.142 \text{ HRT} + 0.935 \log \text{NC} \quad (\text{R}^2 = 0.878, \text{R} = 0.937)$$

$$\text{NO}_3\text{-N: } \log \text{Rp} = -0.484 - 0.165 \text{ HRT} + 1.196 \log \text{NC} \quad (\text{R}^2 = 0.917, \text{R} = 0.958)$$

$$\text{PO}_4\text{-P: } \log \text{Rp} = -0.819 - 0.065 \text{ HRT} + 1.098 \log \text{NC} \quad (\text{R}^2 = 0.860, \text{R} = 0.927)$$

(Rp : Removal potential (mg/g/day), HRT : hydraulic retention time, NC : Inflow concentration of Nutrient)

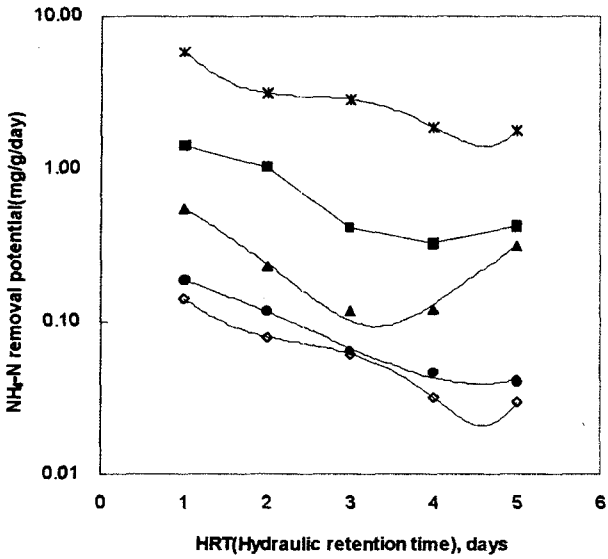


Fig. 4. $\text{NH}_4\text{-N}$ removal potential (mg/g/day) by *Salix gracilistyla* according to HRT (\diamond , inflow of 0.33 mg/L; \bullet , inflow of 1.13; \blacktriangle , inflow of 3.70; \blacksquare , inflow of 8.76; $*$, 26.82. Each removal potential represents the mean).

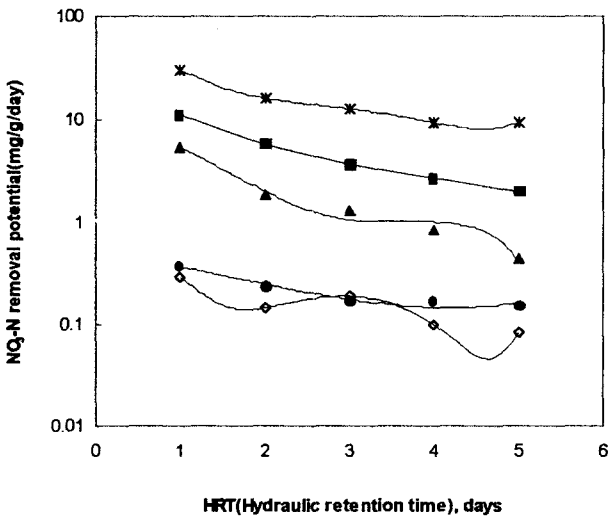


Fig. 5. $\text{NO}_3\text{-N}$ removal potential (mg/g/day) by *Salix gracilistyla* according to HRT (\diamond , inflow of 1.44 mg/L; \bullet , inflow of 4.28; \blacktriangle , inflow of 12.66; \blacksquare , inflow of 34.23; $*$, 110.43. Each uptake represents the mean).

solution)

또한 中里 (1998)는 1년간의 수경 생물여과법에 의한 정화능력을 평가한 결과 쿠우신사이의 질소와 인 제거 속도가 0.94, 0.16 $\text{g/m}^2/\text{day}$ 로 나타났다고 보고하였고, 카라를 사용한 하수처리 가능성에 대한 실험에서 제거속

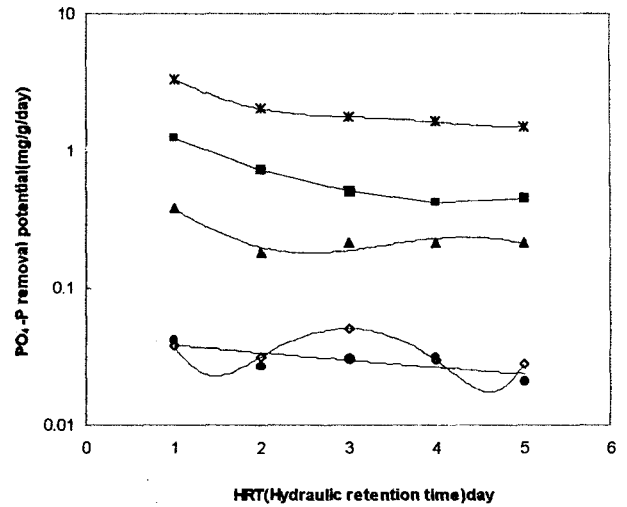


Fig. 6. $\text{PO}_4\text{-P}$ removal potential (mg/g/day) by *Salix gracilistyla* according to HRT (\diamond , inflow of 0.33 mg/L; \bullet , inflow of 1.13; \blacktriangle , inflow of 3.70; \blacksquare , inflow of 8.76; $*$, 26.82. Each removal potential represents the mean).

도는 질소의 원수농도 6 mg/L에 대해 0.78 $\text{g/m}^2/\text{day}$, 인의 원수농도 0.3 mg/L에 대해 0.10 $\text{g/m}^2/\text{day}$ 가 되었다고 하였다. 본 실험결과의 회귀식에 대입해보면 암모니아성 질소로 모두 유입된다고 하면 흡수속도가 0.022~0.078 $\text{g/m}^2/\text{day}$, 질산성질소로 유입될 때, 0.105~0.446 $\text{g/m}^2/\text{day}$, 인산염의 경우 0.005~0.009 $\text{g/m}^2/\text{day}$ 中里의 실험 결과 보다 낮게 추정된다. 이것은 실험조건이 달랐으므로 단순비교가 될 수 없다.

표면적 부하량당 식물의 질소와 인의 제거에 대한 결과는 수 처리효과를 위한 반응조의 설계시 유용하게 이용될 수 있을 것으로 생각되어 암모니아성 질소와 질산성 질소의 표면적 부하량당 제거속도와와의 관계를 아래의 Figs.7-8에 도시하였다.

질소의 표면적 부하량의 증가에 따른 제거속도와와의 관계에서 질소의 부하량 증가에 따라서 제거속도가 증가경향을 보여 표면적 부하량 0.09~29.04 $\text{g/m}^2/\text{day}$, 평균생물량 228~473 g/m^2 에서 제거속도는 0.06~5.39 $\text{g/m}^2/\text{day}$ 로서 아래와 같은 추정식으로 계산되었다.

$$\text{NR} = 0.1907 * \text{L} + 0.1473 \quad (\text{NR; 제거속도}(\text{g/m}^2/\text{day}) \\ \text{L; 표면부하량}(\text{g/m}^2/\text{day}))$$

인의 표면적 부하량에 따른 제거속도는 0.01~5.80 $\text{g/m}^2/\text{day}$ 에서 0.01~0.34 $\text{g/m}^2/\text{day}$ 로서 다음과 같이 추정되었다.

$$\text{PR} = 0.093 * \text{L} + 0.027 \quad (\text{PR; 제거속도}(\text{g/m}^2/\text{day}) \text{ L; 표면}$$

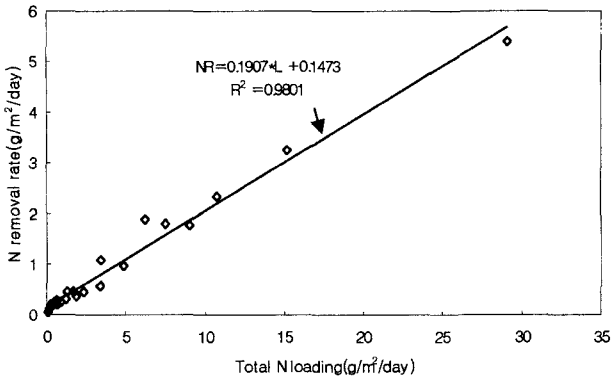


Fig. 7. N Removal rate (g/m²/day) as a function of surface loading by *Salix gracilistyla*. (NR; N removal rate (g/m²/day) L; Surface loading (g/m²/day)).

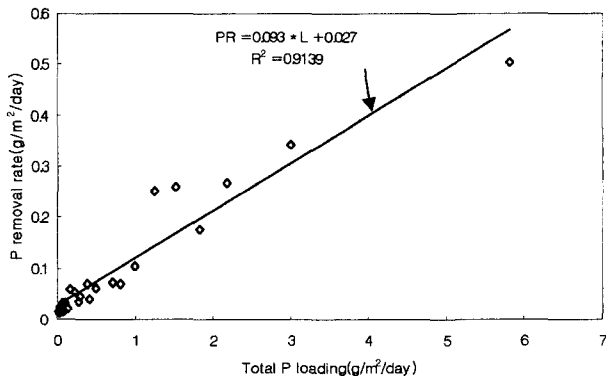


Fig. 8. P removal rate (g/m²/day) as a function of surface loading by *Salix gracilistyla*. (PR; P removal rate (g/m²/day) L; Surface loading (g/m²/day)).

부하량 (g/m²/day))

공 등(1996a)은 체류시간 1일 조건에서 표면 부하량이 3.2 g/m²/day N, 0.13 g/m²/day P 일 때 부레옥잠의 질소와 인의 제거속도가 1.51 g/m²/day N, 0.12 g/m²/day라고 하였고 미나리는 표면 부하량이 2.76 g/m²/day N, 0.16 g/m²/day P에서 1.16 g/m²/day N, 0.11 g/m²/day P라고 보고하였는데, 갯버들은 체류시간 1일 조건에서 표면 부하량 3.36 g/m²/day N 일 때, 1.09 g/m²/day, 0.07~0.27 g/m²/day P 조건에서 0.016~0.03 g/m²/day로서 질소의 제거속도는 부레옥잠이나 미나리에 비교해서 크게 차이가 없었고 인의 제거속도가 부레옥잠에 비해 낮았다.

4. 현존량 조사결과

갯버들의 현존량 추정을 위해 조사된 갯버들의 현존량 추정식은 근원경(D)과 수고(H)의 단위를 cm, 건중량

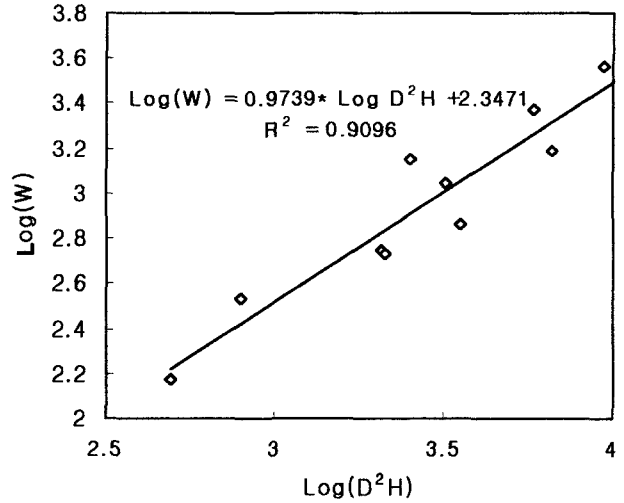


Fig. 9. Estimated equation between W and (D²*H) by *Salix gracilistyla*. (D: diameter (cm), H; Height (cm), W; weight (g)).

(W)의 단위를 g으로 표시했을 때 아래와 같았다(Fig. 7).

현존량 추정식은 근원경(D)과 수고(H)의 단위를 cm, 건중량(W)의 단위를 g으로 표시했을 때 아래와 같았다.

$$\text{Log } W = 0.9739 \log D^2H - 0.3993 \quad (R^2 = 0.9096)$$

신 등(1985)의 8년생 아까시나무 조림지에서의 상대생장계수 값은 0.9345였고, Peterson 등(1970)은 *Populus tremuloides* 임분에서의 상대생장계수가 0.9345라고 보고하였는데 본 논문에서는 상대생장계수가 0.9739로서 타 수종보다 다소 큰 값을 보인다.

위의 식에 의해 추정된 갯버들의 수입교 부터 노문교 까지 6 km 구간에서의 지상부 현존량의 평균은 4880.81 g/m²로 나타났다.

수입천의 갯버들이 대부분 8~9년생이었는데, 신 등(1985)은 아까시나무 조림지의 8년생 지상부 현존량을 36.72 ton/ha로 추정하였고, 일본의 Birch림은 40.0~46.0 ton로서 본 갯버들이 타수종보다 현존량이 높았고 외국의 경우 캐나다 Albert의 Aspen림은 77.11 t/ha (Peterson et al. 1970)로 추정하여 본 연구결과보다 높았다.

5. 갯버들에 의한 수입천의 자연정화량

조사구간인 수입교부터 노문교까지 6 km에서 하천양안을 합쳐 10m 폭의 갯버들의 분포에 대해 체류시간 0.59~5.21day 일 때, 1996~1998년 측정된 수질 최고농도에서 자연정화량을 추정하였는데, NH₄-N의 유입농도

가 0.05~0.4 mg/L 일 때 추정값은 0.49~15.49 kg/day로 나타났다. NO₃-N의 유입수의 농도가 1.42~11.36 mg/L 일 때 자연정화량은 5.83~405.39 kg/day로 나타났다. PO₄-P에 대한 추정값은 유입수의 농도가 0.1~0.27 mg/L 일 때 7.57~23.22 kg/day로 나타났다.

Sato와 Kondo(1981)의 부레옥잠을 이용한 48일 동안의 영양염류 흡수실험의 결과 최대 흡수속도는 13.1 kg N/ha/day, 2.7 kg P/ha/day이라고 하였는데, 암모니아성 질소와 질산성질소가 총 2.85 mg/L로 유입될 때 체류시간 0.59일 일 때의 갯버들에 의한 흡수속도가 13.10 kg N/ha/day, 유입수의 총 질소농도가 11.76 mg/L, 체류시간이 4.94, 5.21일 일 때 각각 13.55, 12.25 kg N/ha/day와 비슷한 값을 가진다. 인산염의 경우는 수입천의 갯버들에 의한 추정값의 최대치가 0.65 kg P/ha/day로서 Sato의 추정 흡수속도보다 상당히 낮는데 이것은 유입농도의 차이에 의한 것으로 생각된다. Sato와 Kondo의 실험에서 유입수의 농도가 3.35 mg/L NH₄-N, 24.5 mg/L NO₃-N, 7.7 mg/L PO₄-P였음을 감안하면 수입천의 갯버들에 의한 질소의 정화력은 관목류의 높은 현존량으로 인해 영양물질의 축적량이 높았던 결과인 것으로 생각된다.

갯버들의 생육환경이 1년 내내 침수되는 곳이 아니므로 향후 이들 갯버들을 이용하여 Trench법이나 복토법을 이용한 1, 2차 방류수 처리실험으로서 본 실험의 연구결과에 대한 검증이 필요하다.

참 고 문 헌

- 김갑덕, 김태우, 이경재, 김준오(1985). 아카시나무조림지의 물 질생산량에 관한 연구. 한국임학회지. **68** : pp. 60-68.
- 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 자연형 하천공법의 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. I. 환경부. pp. 97.
- 건설교통부(1998). 하천구역내 나무심기 및 관리에 관한 기준. pp. 68.
- 국내여건에 맞는 자연형하천공법의개발 중간보고서. 환경부. pp. 276.
- 김갑덕, 김태우, 이경재, 김준오(1985). 아카시나무조림지의 물 질생산량에 관한 연구. 한국임학회지. **68** : 60-68.
- 심우섭, 한인섭(1998). 울산지역에서 자생하는 갈대, 부들, 갈풀을 이용한 Reed-Bed의 생활하수 정화능력 연구. 한국환경과학회지. **7**(2) : 117-121.
- 홍성각(1991). 쉬나무의 생식지와 영양지의 바이오매스 연구. 임산에너지. **11**(1) : 11-17.
- 공정시험방법. 1992 동화기술.
- Alban DH. & RP Laidly(1983). Generalized equations for jack and red pine in the Lake States. *Can. J. For. Res.* **12** : 913-921.
- 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.
- Martin, K. & C Paddy(1992). Vegetation description and analysis, John wiley and sons. pp. 50-52.
- Peterson EB, YB. Chan & JB. Cragg(1970). Aboveground standing crop, leaf, and caloric value in an aspen near Calgary, Alberta. *Can. Jour. Botany.* **48** : 1459-1469.
- Reddy KR. & WH Smith(1987). Aquatic plants for water treatment and resource recovery, Magnolia publishing Inc., Orlando, Florida. pp. 337-353.
- Standard Method 20th Edition(1998). APHA.
- 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.
- Tadaki YT, Shidei T Sakasegawa & Ogino(1961). Studies on productive structure of forest (II). Estimation of standing crop and some analyses on productivity of young birch stand(*Betula platyphylla*). *J. Jap. For. Soc.* **43** : 19-20.
- 中里辛(1998). 바이오パーク 방식による作物生産お通じた浄化, 用水と 廢水. **40** : 867-873.
- 細見正明(1994). ヨシ 人工濕地 による水疾浄化法, 用水と 廢水. **36**(1) : 40-43.
- 尾崎 保夫. 阿部, 薫(1993). 植物お活用した 資源循環型水質浄化技術の課題と展望-潤いのある 農村景観の創出お目指して-, 用水と 廢水 **35**(9) : 773-783.
- 江成敬次郎 鈴木. 淳 杉山. 智洋, 崎 徹, & 佐木久雄(1996). 水生植物(マコモ)お利用した 水質改善の試み, 用水と 廢水. **38**(8) : 647-655.

Removal of Nitrogen and Phosphorus by *Salix gracilistyla* Miq.

Jung-Yi Shin and Young Il Cha

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

Abstract – Removal efficiency and potential of N and P by *Salix gracilistyla* Miq. are determined in continuous flow tanks as a function of hydraulic retention time (HRT, days) and nutrient concentration (NC). Results show that the removal efficiency was longer HRT and lower nutrient solution. And also removal potential was higher at shorter HRT and higher nutrient concentration, and the regression equations were estimated. Mean above ground biomass of *Salix gracilistyla* Miq. in the middle reaches of Suip stream was 4880.81 g/m², and estimated removal by this vegetation from biomass and estimated equation above were 0.49~15.49 NH₄-N kg/day, 5.83~405.39 NO₃-N kg/day, 7.57~23.22 PO₄-P kg/day in Suip stream, respectively when HRT was 0.59~5.21, inflow concentration was 0.05~0.4, mg/L NH₄-N, 1.42~11.36 mg/L NO₃-N, 0.1~0.27 mg/L PO₄-P. According to this study, it is concluded that *Salix gracilistyla* Miq. are contribute by their high biomass and for water quality improvement of stream through nutrient removal potential. [*Salix gracilistyla* Miq., Removal efficiency, Uptake, Hydraulic retention time (HRT), Concentration].