

포플러나무를 이용한 비점오염원 제어 기초 연구

○ 백승식, 장순용, 이시진,
경기대학교 토목환경공학부 환경공학전공

I. 서론

1990년대 이후 산업의 발전 등 여러 요인들로 인하여 팔당상수원의 오염이 심각한 상황으로 변하고 있으며 그 원인으로 여러 원인들이 거론되어 왔으나 현재까지는 주로 생활하수와 산업폐수 등의 점오염원에 국한하여 중점적으로 수질관리를 실행하여 부분적으로 효과를 얻을 수 있었다. 그러나 이러한 노력에도 불구하고 팔당상수원의 호소와 하천 등의 오염저감에는 큰 효과가 없었으며 그 이유는 점오염원에 대한 관리 소홀보다는 점오염원 이외의 비점오염원이 대량으로 하천 및 호소에 유입되기 때문인 것으로 추정할 수 있다. 여러 연구조사에 의하면 하천 및 호소 등의 수질오염악화 및 수질개선 효과가 적은 원인으로 비점오염원에 의한 영향도 크다는 사실도 밝혀지고 있다^{1,2)}. 따라서, 비점오염원에 의한 팔당상수원의 오염을 방지하기 위해 최적관리기술 개발이 시급한 실정이며, 경제적이고 장기적으로 운영 가능한 관리기술이 요구되어지고 있다.

특히, 비점오염원의 방류점은 무수히 많고 빗물과 함께 토지로부터 하천으로 유입하는 형태이므로 오염발생원 관리를 하더라도 제거되지 않은 비점오염원의 대책에는 하천연변(Riparian Area)의 관리가 중요하다. 수변선의 연안을 따라 일정거리의 너비를 가진 식생여과대, 인공습지와 같은 일종의 완충지대(Buffer Strips)를 설치하는 것이며, 그 역할은 식물정화공정(Phytoremediation) 기능에 의해 지표유출수의 오염물질을 침전, 여과, 흡착하고 유입수를 일시 저지하여 지하침투를 지연시키는 능력을 지닌다. 선진외국에서의 BMP(Best Management Practices) 실시 예를 살펴보면 완충지대 식생의 자연정화능력을 이용한 처리가 대단히 효과적임이 밝혀지고 있고, 비점오염원의 배출 특성에 부합되는 처리방식이다^{1,3,4,5,6)}.

포플러나무를 식생완충대로 이용하려는 근본적인 이유를 정리하면 다음과 같다. 포플러 나무는 이용 가능한 여러 식물중에서 식생완충대로서의 역할을 효율적으로 할 수 있는 식물로 판단되는데, 이는 오염물질의 독성에 저항력이 강하며 상대적으로 다른 식물에 비하여 높은 농도의 오염물질의 존재시에도 생존하는 특성이 있다. 특히 전 세계적으로 25여종이 분포되어 있고 어떠한 조건에서라도 쉽게 적응하며 성장도 매우 빨라 줄기는 1년에 3~5m까지 성장하고 뿌리는 지표면에서 약 3~4m까지 뻗어나가는 장점을 가지고 있다. 그리고 약 5년된 포플러 나무는 증산량이 100L/day 정도로 상당히 많은 양의 물을 흡수함으로써 비점오염원의 효율적인 제어가 가능하다. 특히 최근 외국에서의 연구결과는 일반적인 오염원과 더불어 비점오염원 중에서도 다소 난분해성인 농약 및 유기성 오염물질의 처리에도 효율적인 결과를 보여주고 있어 연구의 필요성을 높여주고 있다^{7,8,9,10)}.

본 연구에서는 5월초에 식종하여 약 3개월 성장된 현사시나무를 대상으로 하수 및 1차 처리를 거친 축산폐수 상등수를 대상으로 현사시나무에 의한 처리 가능성을 조사하였다.

II. 실험 및 분석 방법

1. 실험 방법

국내에서 자생하는 포플러나무에 의한 비점오염원 처리 능력을 조사하기 위해 현사시나무를 5월 중순경에 삽목하였다. 그리고 약 3개월 동안의 성장기간을 거쳐 8월초에 PVC Pipe(직경 10cm * 높이 15cm, Figure 1)에 Table 1의 물리화학적 성상을 가진 토양을 이용하여 이식한 후 본 실험을 진행하였다. 현사시나무를 이식한 후 약 3주 동안은 하수를 관수하여 현사시나무의 정상적인 성장 및 뿌리활착을 도모하였다.

하수는 과천하수처리장, 축산폐수는 용인환경사업소의 1차 처리수를 채취하여 하수, 축산폐수를 각각 농도별로 희석하여 관수하였고, 현사시나무 3개체의 반복 실험을 진행하였다. 하수 및 축산폐수의 관수는 8월 20일부터 시작하여 10월 25일까지 실시하였다. 관수처리 사이의 간격은 평균 3일이었으나, 처리 당시의 온도, 습도조건 및 현사시나무의 증산량에 따라 처리간격을 조절하였다. 그리고 각 화분 밑에는 받침접시를 두어 관수 후 배수의 양을 측정하여 현사시나무의 증산량을 간접적으로 측정하였고 이때 자연증발에 의한 수분의 양을 보정하기 위해 현사시나무를 식종하지 않은 대조구 실험을 통해 비교실험을 진행하였으며, 하수 및 축산폐수 처리에 따른 현사시나무의 성장을 비교하기 위해 실험시작 전과 실험이 끝난 후 묘고 및 근원경 성장을 측정하였다.

Table 1. Physical and chemical properties of soil used in this study.

soil texture	pH	Organic matter (%)	TN (%)	TP (mg/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)
sandy loam	6.4	2.14	0.26	35.8	16.5

2. 분석 방법

하수 및 축산폐수 농도별(25%, 50%, 75%, 원액)로 토양 및 식물체의 근권을 통과하면서 그 성분의 변화여부를 조사하기 위해 원수 및 원수를 관수 후 화분 밑으로 흘러나오는 배출수를 채취하여 수질분석항목을 조사하였다. 측정된 수질항목은 COD_{Cr}, BOD, T-N, NO₂⁻, NO₃⁻, T-P, pH 등으로 수질오염공정시험방법¹¹⁾에 의해 분석하였다. 또한 식물체내에 축적된 T-N, T-P는 실험 후 식물체시료를 건조하여 식물체 분쇄기로 미세하게 분쇄한 후 토양화학시험법¹²⁾에 의해 분석하였다. 토양시료인 경우, pH, P₂O₅, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N을 토양화학시험법¹²⁾에 의해 분석을 하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 하수 및 축산폐수의 처리에 따른 현사시나무의 성장 비교

하수 및 축산폐수를 관수한 현사시나무의 수고생장의 비교는 각 농도별로 3본의 현사시나무를 대상으로 하였으나 중간에 고사한 개체들은 제외하고 2본의 성장결과를 바탕으로 하였다. 약 2달여간 성장한 현사시나무를 8월 20일부터 10월 25일까지 2달여간 하수 및 농도별 축산폐수를 관수한 결과 성장에 별다른 차이점이 없었음을 볼 수 있다. 특히, 축산폐수 원액을 관수한 경우가 평균 23cm로 성장이 다소 우수하였고, 그 이외에는 별다른 차이가 없음을 볼 수 있다. 즉, 축산폐수 원액처럼 높은 농도의 오염원에 노출되어도 활착이나 성장에 어려움이 없을 것으로 판단된다. 직경성장 비교에 있어서도 별 차이가 없었다. 그러나, 5월 이후 삽목하였기 때문에 직경생장의 차이가 거의 없었고 크기가 작았다. 구 등¹³⁾은 포플러류를 대상으로 침출수로 처리한 실험에서 양황철 및 이태리포플러인 경우, 지하수를 관수한 경우나 침출수 원액을 관수한 경우 모두 수고생장에 별 차이가 없었으며 현사시나무인 경우 오히려 침출수 원액을 공급한 경우가 성장이 더 우수했다고 보고하고 있다. 즉 본 연구에서는 축산폐수를 대상으로 한 실험이므로 직접적으로 비교하기는 어려우나, 현사시나무를 포함한 포플러류는 고농도의 축산폐수 등에는 적응이 우수한 것으로 사료된다.

Table 2. Comparison of uptake amount of T-N, T-P in batch experiment.

	Leave		Stem		Root	
	T-N % (mg/kg)	T-P mg/kg (%)	T-N % (mg/kg)	T-P mg/kg (%)	T-N % (mg/kg)	T-P mg/kg (%)
Sewage	2.335 (23,350)	710 (0.071)	0.63 (6,300)	160 (0.016)	1.18(11,800)	375 (0.0375)
Pigery w. w. 25%	2.790 (27,900)	880 (0.088)	0.89 (8,900)	485 (0.0485)	1.390 (13,900)	540 (0.054)
Pigery w. w. 50%	3.16 (31,600)	920 (0.092)	0.99 (9,900)	585 (0.0585)	1.495 (14,950)	515 (0.0515)
Pigery w. w. 75%	3.275 (32,750)	970 (0.097)	1.15 (11,500)	705 (0.0705)	1.575 (15,750)	650 (0.065)
Pigery w.w. 100%	3.32 (33,200)	1,010 (0.101)	1.20 (12,000)	805 (0.0805)	1.765 (17,650)	680 (0.068)

2. 하수 및 축산폐수 처리 후 식물체 및 토양에서의 흡수 및 흡착량 비교

8월 20일부터 10월 25일까지 2개월간 하수 및 농도별 축산폐수를 적용한 회분식 실험이 끝난 후 현사시나무를 부위별(잎, 줄기, 뿌리)로 채취하여 건조한 후 분석방법에 제시된 방법으로 수체내의 질소 및 인 함유량을 비교, 분석하였다. 질소의 경우 부위별로 살펴보면, 전체적으로 잎, 뿌리, 줄기 순으로 높게 축적되었다.

하수를 관수했던 경우를 비교해보면, 잎은 건중량 kg당 23,350mg(2.335%), 뿌리는 건중량 kg당 11,800mg(1.18%), 줄기는 건중량 kg당 6,300mg(0.63%)의 질소가 함유되어 있어, 일부분에 축적된 질소의 양이 뿌리보다 약 1.97배, 줄기부분보다 약3.7배 이상 높게 축적되어 있음을 볼 수 있다. 인의 경우를 살펴보면, 하수인 경우와 축산폐수의 농도가 높아질수록 인의 함유량 변화가 관찰되었다. 특히, 하수를 관수했던 경우에는 잎, 뿌리, 줄기 순으로 인의 함유량이 높게 함유되어 있었다. 잎은 건중량 kg당 710mg(0.071%), 뿌리는 건중량 kg당 375mg (0.0375%), 줄기는 건중량 kg당 160mg(0.016%)로 함유되어 있어, 일부분에 다소 많은 양의 인이 축적됨을 알 수 있었다. 또한 축산폐수 농도가 증가할수록, 일부분에 축적된 인의 함유량은 가장 많으나, 줄기에 함유된 인의 양(805mg/kg)이 뿌리(680mg/kg)보다 높게 함유되어 있음을 볼 수 있었다. 그리고 전반적으로 오염원의 농도가 매우 높아짐에도 불구하고 각 부위별로 축적된 질소와 인의 함유량은 크게 증가하지 않았다. 하수를 관수한 경우, 일부분의 질소 및 인 함유량이 각각 23,350mg/kg, 710mg/kg이었고, 축산폐수 원액을 관수한 경우가 각각 33,200mg/kg, 1,010mg/kg으로 약 1.4배 정도의 함유량의 차이를 보였다(Table 2).

3. 현사시나무에 의한 하수 및 축산폐수의 처리율 비교

2~3일 간격으로 하수 및 농도별 축산폐수를 60여일간 관수하면서 현사시나무에의 흡수량 및 토양에의 흡착량을 비교하였고, 또한 관수 전과 관수 후 처리수의 수질 비교를 통해 간접적으로 하수 및 축산폐수의 처리율을 관찰하였다.

하수를 관수한 경우, 전체적으로 높은 제거효율을 보여주고 있다. COD 41.6%, T-N 46.3%, T-P 46.8%의 제거율을 보이고 있다. 그러나 축산폐수를 관수해 준 경우, 축산폐수의 농도가 증가할수록 처리효율은 전체적으로 감소함을 볼 수 있다. 본 연구에서의 결과는 하수 및 축산폐수가 토양 근권을 통과하고 난 후의 결과

이므로 토양에의 흡수와 현사시나무 근권에 생존하는 토양미생물에 의한 분해 등의 요인으로 인해 실제 현사시나무에 의한 처리보다 높은 처리효율이 얻어진 것으로 사료된다. BOD 결과를 비교해보면, 하수인 경우, 76.2%의 제거율을 보이는 반면, 축산폐수 원액을 공급한 경우, 44.6%의 제거율을 보이고 있다. 그러나, 축산폐수 원액을 공급한 경우, 제거율은 감소하였으나 상대적으로 제거량은 증가하였다. COD 및 T-N의 경우 상대적으로 BOD에 비해 제거율이 다소 떨어졌고, 처리전의 농도가 높을수록 처리율은 감소함을 알 수 있다.

그러나 전반적으로 약 2달여간의 성장기간을 거친 현사시나무의 크기가 작아서 본 실험의 결과를 바탕으로 포플러류인 현사시나무에 의한 처리율이 떨어진다고 결론 내리기는 어렵다. 최소 6개월 이상 성장한 포플러류를 이용한다면, 축산폐수를 공급한 경우에도 좀 더 높은 처리 결과를 얻을 수 있으리라 판단된다. 또한 본 실험의 결과를 바탕으로 할 때, 현사시나무를 식생완충대로 이용한 비점오염원 제어에 가능성을 보여준 결과라고 보여진다.

IV. 참고문헌

- 1) 최지용 : 우리나라 비점오염원 배출특성과 관리방안, 한국환경정책 평가연구원 환경포럼, 통권47호, pp.1-12(1996)
- 2) 환경부 고시 제 96-32호, 토양오염공정시험법, 동화기술(1996)
- 3) Paterson, K.G. and Schnoor, J.L. : Vegetative Alteration of Nitrate Fate in Unsaturated Zone, J. Environ. Eng., Vol.119, No.5, pp. 986-993(1993)
- 4) 이길철, 이홍재, 이민호, 김성수, 김동호, 김상돈, 김용훈 : 오염토양의 정화방법에 관한 연구(I)-식물에 의한 정화, 국립환경연구원보, 제14권, pp.231~254(1992)
- 5) 하성훈 : 식물정화기술을 활용한 오염지역의 환경복원, 현대환경리포트, 통권 9호, pp.72- 86(1999)
- 6) 허인량, 오근찬, 신용건, 최지용, 정의호 : 인공습지를 이용한 영양염류 제거, 한국환경공학회지, 21(5), pp.921~928(1999)
- 7) Jensen, R. : Natural Wastewater Treatment System, Texas Water Resources, Vol.14, No.3, pp.1-18(1983)
- 8) Burkin, J.G. and Schnoor, J.L. : Phytoremediation: Plant Uptake of Atrazine and Role of Root Exudates. J. Environ. Eng., Vol.122, No.12, pp.958-963(1996)
- 9) Burkin, J.G. and Schnoor, J.L. : Uptake and Metabolism of Atrazine by Poplar Trees, Environ. Sci. Technol., Vol.31, No.5, pp.1399 -1406(1997)
- 10) Burkin, J.G. and Schnoor, J.L. : Predictive Relationships for Uptake of Organic Contaminants by Hybrid Poplar Trees, Environ. Sci. Technol., Vol.32, No.21, pp.3379-3385(1998)
- 11) 환경부 고시 제 96-32호, 수질오염공정시험법, 동화기술(1996)
- 12) 농업기술연구소, 토양화학시험법, 농촌진흥청(1988)
- 13) 구영본, 노의래, 우수영, 이성규 : 포플러를 이용한 쓰레기매립지의 녹화 및 침출수 처리, 포플러, 15, pp.19-29(1998)