

*Helianthus annuus*에 의한 오염된 하천에서의 Phytoremediation에 관한 연구

최 문 술

군산대학교 해양과학대학 해양생명과학부

A Case Study on Phytoremediation in Polluted Stream by *Helianthus annuus*

MOON-SUL CHOI

Major in Aquaculture & Marine Bio-technology College of Ocean & Technology
Kunsan National University, Gunsan 573-701, Korea

본 연구는 비교적 저농도로 오염된 하천수를 대상으로 phytoremediation 기법으로 정화방안을 제시하고자 수행되었다. 온실에 식물 반응조를 설치하여 해바라기 일종인 *Helianthus annuus*의 성장에 따라 영양염의 처리량을 산정하였다. 또한 현장 적용성을 검토하기 위하여 *H. annuus*를 식재한 인공부도(artificial floating island)를 관개수로에 설치하여 식물의 질소, 탄소 및 수소 함유량 증가를 확인하였다. 실험결과 7월부터 9월에 이르기까지 유입수 용존 무기질소(DIN)의 농도를 28.5~199.2 mg/l, 유입수 용존무기인(DIP)의 농도를 13.3~25.4 mg/l까지 변동시켰을 때, 농업용수 기준보다 매우 높은 고농도임에도, 식물체의 성장장애는 나타나지 않았다. 이때 DIN 제거율은 평균 3일의 체류시간에서 81.7~98.6%였으며, DIP 제거율은 81.9~98.4%로 나타났다. 또한 효율적인 처리기간은 48시간으로 확인되었다. 인공부도에 식재한 *H. annuus*의 질소, 탄소 및 수소의 함유량을 보면 질소의 경우 줄기에서 3.2~7.8%, 뿌리에서 3.0~6.3%를 보였다. 탄소는 줄기에서 40.1~57.7%, 뿌리에서 43.4~53.8%의 함유량을 보였다.

This is the research to prepare a purification program for relatively less polluted stream by using phytoremediation. We calculated a treatment amount of nutrients followed by growth of *Helianthus annuus* (a kind of sunflower), setting up the plant reactor in the hothouse. Moreover, to investigate a field applicability, we could find increased contents of nitrogen, carbon and hydrogen in plants by setting up a *H. annuus* planted artificial floating island in an irrigation canal. When we changed the dissolved inorganic nitrogen(DIN) concentration of the influent from 28.5 to 199.2 mg/l and the dissolved inorganic phosphorus(DIP) concentration of the influent from 13.3 to 25.4 mg/l, growth disorder has not appeared though it is much higher than the criterion of water for irrigation. In this case, the removal rate of DIN was 81.7~98.6%, and that of DIP was 81.9~98.4% in 3 days stay on average. It has appeared that the efficient hydraulic retention time(HRT) was 48 hours. The following contents of nitrogen, carbon and hydrogen of *H. annuus* appeared in the artificial floating island: nitrogen was 3.2~7.8% in the trunk and 3.0~6.3% in the root. Carbon was 40.1~57.7% in the trunk and 43.4~53.8% in the root.

Keywords: Watertreatment, Phytoremediation, *Helianthus annuus*

서 론

부영양화된 수역의 수질을 정화하는 데에는 원천적으로 유입수의 완벽처리가 가장 바람직하다. 그러나 완벽한 처리는 여러 가지 여건으로 보아 사실상 불가능하여 악화된 호수의 수질을 직접 정화하는 방법을 강구해야만 될 것이다. 이를 위해 비교적 비용이 적게 소요되고 친환경적인 공간을 제공하는 식물을 이용한 처리

방법을 모색하고자 한다.

Phytoremediation은 오염된 토양이나 침전물, 또는 오염하수나 저농도의 폐수를 처리하는데 있어 식물을 이용하는 것을 뜻한다. 이 방법은 오염된 지역을 효과적, 저비용으로 처리할 수 있으며, 특히 비교적 저농도로 오염된 하천수나 호소수의 오염 정화를 위한 수처리 대안으로써 급부상하고 있다.

일반적으로 식물들은 bioremediation인 재래적인 수처리방법에 사용되는 미생물보다도 더 높게 오염된 지역에서도 살아남아 처리능력을 유지할 수 있다. Phytoremediation은 석유화학물질, 염소

*Corresponding author: cms218@kunsan.ac.kr

화합물, 매립지의 누출수 및 살충제와 비료를 함유하고 있는 농업 용수인 비점오염원을 처리할 수 있는 방식으로 다른 수처리 방식과 병합하는 방식으로 이용한다. 이런 식물을 이용하는 수처리 방식은 토양에 유기탄소의 양을 증가시키기 때문에 결과적으로 미생물의 활성을 자극시킬 수 있으며 깊게 뿌리를 내린 식물은 토양을 안정하게 한다. 수처리 진행도중 상당한 양의 물이 증산에 의해 소모되는데 이런 증산 작용은 화학물질의 토양침투를 막고 식물로의 흡착을 더욱 용이하게 할 수 있다(Jerald *et al.*, 1995).

식물을 이용한 여러 가지 환경처리 방법은 환경친화적 처리 방법으로 분류될 수 있는데, 국제적으로 과거 1970년대의 연구 단계를 지나 오스트리아, 뉴질랜드 등에서 부레옥잠이나 갈대 등을 이용하고, 중국에서는 벼재배에 의한 수질정화(Ziqing *et al.*, 1992)를 일본에서는 사상조류에 의한 수질정화(Aizaki, 1980)를, 그리고 미국에서는 특정폐기물을 육상식물인 포플러를 이용하여 수질을 효과적으로 정화시킨 보고가 있다(Paterson and Schnoor, 1992). 또한 TCE(trichloroethylene)를 제거하기 위한 많은 연구 사례 중 포플러를 이용해 처리한 보고(Gordon, 1997)가 있으며, PCB(poly chlorobiphenyl)를 제거한 보고도(Donnelly *et al.*, 1994) 있다. 특히 방사선에 오염된 토양이나 물로부터 방사선 동위원소를 축적하기 위해 식물을 이용한 다수의 연구 사례가 있다(Thiry *et al.*, 2002a; Victorova *et al.*, 2000b; Zhu and Shaw, 2000c).

한편, 우리나라에서도 식물을 이용한 수처리시스템에 대한 국가적인 투자와 관심이 점점 고조되고 있으나 아직은 소규모에 머물러 있다. 연구기관이나 학교 등 관련기관에서 이러한 수처리시스템의 기초성능과 적용가능성을 모색하고 있으며 관련 업체가 사업을 행하고 있다. 몇 가지 예를 보면, *Hibiscus cannabinas*를 이용한 Cd, Cr, Cu, Ni 및 Zn 등의 중금속 제거에 대한 연구(최 와 임, 2004)와 *H. cannabinas*를 이용한 영양염 및 중금속 제거에 대한 연구(손, 2004)가 있다. 또한 농어촌진흥공사에서는 갈대를 이용한 수처리 연구를 수행하고 있으며, 여러 환경연구기관 등에서 다양한 수생식물을 이용하여 이와 비슷한 연구를 진행 중에 있다. 대전광역시는 탑천 인근에 자연친화적 인공습지를 설치하였으며, 이미 그 현황이 잘 알려져 있는 시화호의 경우 시화호로 유입되는 하천인 안산천, 화정천, 반월천, 동화천 그리고 삼화천 유역에 인공습지를 설치하여 오염을 정화하겠다는 환경부의 발표가 있었다. 관련업체로는 주식회사 이썬에서 인공부도를 제작하여 판매하고 있다.

한편, 새만금 간척에 따라 형성될 새만금호의 수질개선책으로 phytoremediation 기법이 추진되고 있으며, 이는 시화호의 전철을 되밟지 않도록 할 수 있는 가장 경제적이면서 가능성 있는 방법으로 제안되고 있다. 그러나 phytoremediation은 아직도 광범위하게 이용되고 있지는 않다. 이는 재래적인 수처리 방법보다도 많은 처리시간이 요구되며 수처리 도중 토양이 오염될 수 있다는 단점이 있기 때문이다.

본 연구는 새만금 수역의 수질을 효과적으로 관리하기 위하여 동진강과 만경강을 통하여 유입하는 공장폐수와 농업배수 및 생활하수로 인해 오염된 하천수 정화방안을 마련하고자 시도 되었다. 또한 본 연구에서 제안하는 방법을 통해 일련의 수질 정화방법 중 많은 수량을 처리할 수 있으며 2차 오염을 최소화하는 자연친화적 처리방법을 확립 하고자 하였다. 대상 식물종으로는 해바라기 일종인 *H. annuus*를 이용하였는데 이종은 체르노빌 원전

사태이후 방사능오염 물질에 노출된 막대한 물량을 가진 인근 호수를 정화 시키는데 이용되었으며, 그 처리 기간도 대단히 짧은 것으로 나타났다. 본 연구의 초점이 되는 강어귀 및 새로이 생성되는 호수의 부영양화를 막고자 하는 수처리 방안을 고려할 때, 보다 많은 물량을 처리 할 수 있는 *H. annuus*를 선택하였고 *H. annuus*가 제거할 수 있는 질소와 인의 농도 및 양을 산정하였다.

재료 및 방법

온실실험

길이 30 cm, 폭 30 cm, 깊이 400 cm의 반응조(Fig. 1)를 제작하였다. 유입되는 우수 및 증발 등에 의한 오차를 줄이고자 아크릴 재질로 된 상자를 안착시킨 다음 검은색의 비닐로 포장하였다. 실험 식물외의 기작인 미생물에 의한 처리, 화학 흡착에 의한 농도 감소 및 증발 등에 농도 변화를 보상하기 위해 식물을 식재하지 않은 대조군의 반응조를 운영하였으며 대조군의 감소량을 실험군의 제거량에서 감하였다.

배수를 원활 하게 하기 위하여 유입부와 유출부의 구배를 1/250으로 한 다음 일반 농가의 양액배배의 배지로 활용중인 펄라이트를 이용하여 *H. annuus*의 뿌리를 활착시켰다. 본 실험을 위해서 파종, 육묘 및 정식의 단계를 거쳤다. 시중에서 구매한 씨앗은 조그마한 포트에서 정식에 이르는 육묘의 단계까지 성장 시켰으며, 길이가 15~20 cm에 도달했을 때 반응조에 *H. annuus*를 20 cm간격으로 18주를 정식하였다. 이때 유입수량은 일정한 총량을 연속적으로 주입시키되 일사량이 많은 오전 10시부터 오후 5시까지는 유입수량을 보다 많이 하였고, 그 이후의 일사량이 적은 시간에는 유입수량의 양을 적게 조절하였다. 채수는 매일 오후 6시에 실시하였으며 질소와 인을 대상으로 분석하여 처리효과를 조사하였다.

유입수의 용존산소 농도는 근부의 호흡 등을 위해 6.5 mg/l을 상회시켜 반응조내의 배지를 호기성으로 유지시켰다. 재순환수에 제거되는 흡수와 증산에 의해 제거되는 수량을 산정하였고 이를 이용하여 반응조에서 제거되는 질소와 인의 양을 계산하였다.

시험수로 이용한 합성폐수는 질소와 인의 농도를 조절하기 위해서 양액배배에서 이용하고 있는 양액 조성비로 조절하였다. 양액이 혼합되는 재순환수조에서 시약의 침전과 응결을 방지하기 위해 다량원소(A용액)와 미량원소(B용액)로 구분하여 Table 1과 같은 방식으로 제조하여 A용액과 B용액을 2:1의 비율로 급액 하였다. *H. annuus*의 성장단계에 따라 높은 농도의 질소나 인이 유지되도록 급액을 하였다. 유량은 변동 없이 균일하게 총 930 ml/tree·day로 하였으며 3일 동안의 평균 유입수농도, 유출수농도, 유입부하량, 제거량 및 제거율을 조사하여 차수별로 정리하였다.

한편 7월 3차 실험의 경우는 4일 이후의 처리 능을 알아보기 위해 하루 실험 기간을 연장해 보았으며 8월 1차의 경우에는 일기 불순으로 3일간 실험하였다.

인공부도(Artificial Floating Island) 실험

인공부도는 *H. annuus*의 온실실험 결과 질소와 인 등 영양염 처리능을 확인 하고 저오염수인 농수로에 부도(floating island)의 형태로 설계·제작 설치하였다(Fig. 2). 길이 1.8 m, 폭 0.9 m의 인공부도를 설치 운영하였으며, 농수로의 유동성 때문에 수질분석

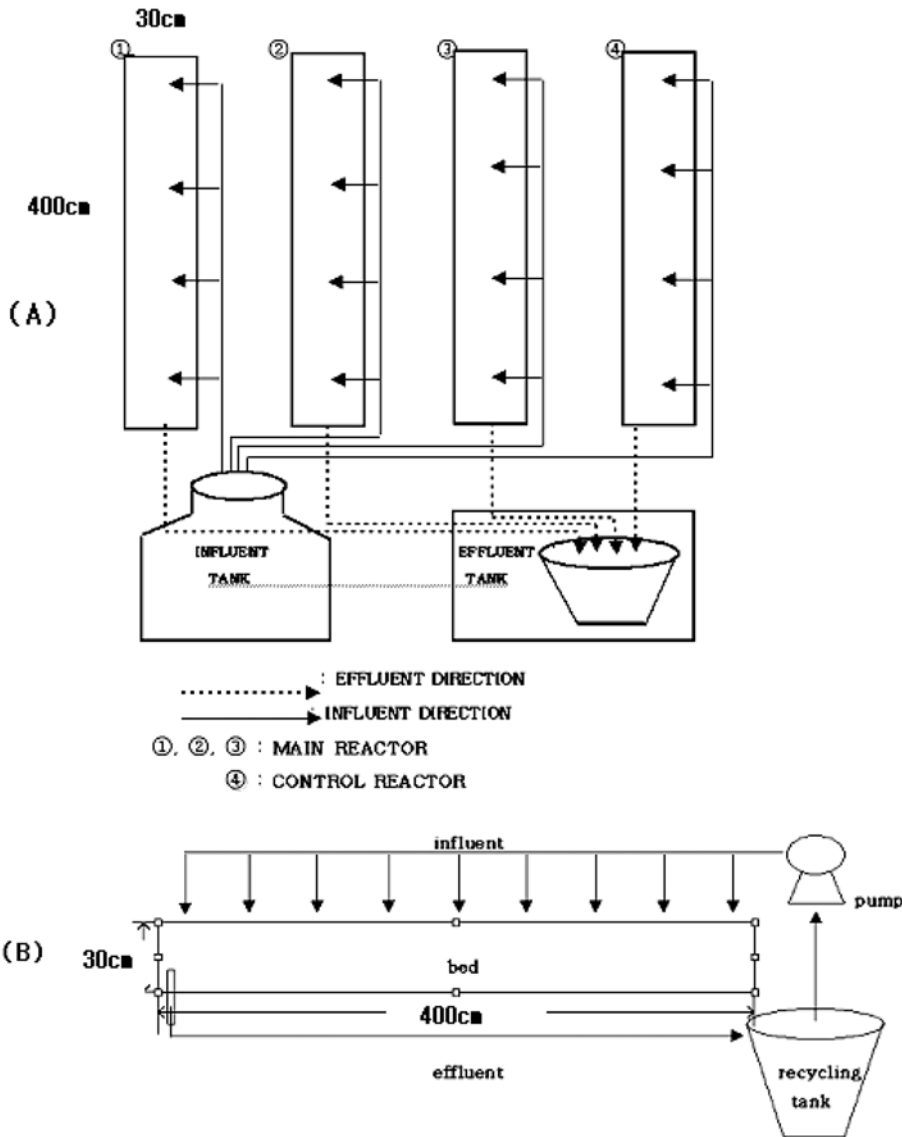


Fig. 1. Flow sheet for phytoremediation (A) a front view and (B) a plane figure.

Table 1. The composition of synthesized culture solution

Solution	Materials	Unit (g/l)
A	NH ₄ NO ₃	9
	KNO ₃	68.2
	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	56.7
	Fe(EDTA)	3.2
	MgSO ₄ ·7H ₂ O	29.4
B	KH ₂ PO ₄	24.6
	MnSO ₄ ·4H ₂ O	0.72
	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.52
	H ₃ BO ₃	0.74
	CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.075
	Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0.126



Fig. 2. The artificial floating island in an irrigation canal.

대신 *H. annuus*의 탄소 질소 및 수소함량을 분석 하였다. 식재된 식물의 뿌리가 항상 수면에 유지되도록 하기 위하여 원통형의 PVC 관을 격자 형태로 설치하였고 그 사이의 충전재는 가벼운 PE 재

질을 이용하였다. 강우 및 바람에 의해 쓰러지는 현상을 방지하기 위해 식물 지상부가 0.1 m까지 인공부도 내부에 잠기게 하였다.

이화학적 분석방법

모든 분석방법은 공해공정법(동화기술, 2000)과 standard methods(APHA-AWWA -WPCF, 1999)에 의거하여 분석하였으며 분석항목은 아스코르빈산법에 의한 인산인을 DIP로 하였으며, 인도페놀법에 의한 암모니아 질소(NH₄⁺-N), 에브릴 노리스법에 의한 아질산 질소(NO₂⁻-N), 구리-카드뮴 환원법에 의한 질산 질소(NO₃⁻-N)를 구해 그의 합을 DIN으로 하였다. 이때 유입수의 농도를 일정하게 하기 위한 전도도의 조정은 YSI model 30/10을 이용하였다. 식물체의 탄소 질소 및 수소 함량은 dry oven에서 건조한 시료를 마쇄하여 Element analyser(EA 1110, CE instruments, Italy)로 정량 분석하였다.

결 과

본 연구는 하천의 오염 및 호소의 부영양화를 유발할 수 있는 DIN과 DIP의 효과적 제거를 위하여 수행 하였다. 실험 대상 식물은 해바라기의 일종인 *H. annuus*이며 계절적으로 대사활동이 왕성한 7월에서 9월까지 수행 하였다. *H. annuus*는 심근성의 뿌리를 가지고 있어 rhizosphere의 범위가 넓고 다른 식물에 비하여 보다 많은 오염물을 제거 할 수 있다. 또한 호소나 하천 등에 실질적으로 적용 가능성을 검증하기 위해 농수로에 해바라기를 식재한 인공부도(artificial floating island)를 설치하고 이의 성장에 따라 생

체분석을 통해 탄소와 질소함유량을 알아보았다.

용존성 무기질소(DIN)

DIN의 농도는 7월부터 9월까지 차수별로 나누어 측정하였다 (Table 2, Fig. 3). 성장 단계별 유입수 DIN의 농도는 28.5~199.2 mg/l 까지 조절 하였으며, 정량적인 유입량은 1828.7~12784.3 mg/m² 였다. 이와 같이 고농도로 주입한 이유는 오염된 현상으로서의 적용 가능성을 시험하기 위한 것으로 Haper(1978)가 규정한 부영양화 호소수의 기준인 2690 µg/lN 보다 10배에서 100배 이상 높은 농도에 노출시켰다. 또한 우리나라 호소수질환경기준에서 등급인 1.0 mg/l 보다 약 28에서 200배 정도 높은 농도이다.

월별 제거율은 7월 평균 97.2%이며, 8월은 평균 86.4%, 9월은 평균 87.6%로 나타났다. 실험차수별 DIN의 일평균제거량을 보면 7월 1차 시기에는 809.3 mg/m²·day이며 제거율은 32.9%였다. 2차 시기의 일평균제거량은 677.9 mg/m²·day이며 제거율은 32.8%였다. 3차시기의 일평균제거량은 455.0 mg/m²·day 이며 제거율은 24.7%였고, 4차시기의 일평균제거량은 455.0 mg/m²·day이며 제거율은 31.2%였다. 8월 1차 시기의 일평균제거량은 3013.6 mg/m²·day 이며 제거율은 43.7%였으며, 2차시기의 일평균제거량은 2804.9 mg/m²·day이며 제거율은 30.0%였다. 3차시기의 일평균제거량은 2434.3 mg/m²·day이며 제거율은 27.3%였다. 9월 1차시기의 일평균제거량은 3735.0 mg/m²·day이며 제거율은 29.2%였다.

Table 2. Removal amount and rate of nutrient by *Helianthus annuus*.

Period	DIN			DIP		
	Influent quantity (mg/m ² ·day)	Removal quantity (mg/m ² ·day)	Removal rate (%)	Influent quantity (mg/m ² ·day)	Removal quantity (mg/m ² ·day)	Removal rate (%)
Jul. I	9	2461.7		1247.4		
	10		1452.8		888.4	71.2
	11		757.6		247.3	19.8
	12		217.6		92.8	7.4
	Total		2428.0		1228.5	98.4
	Average		809.3		409.5	
Jul. II	12	2068.5		862.4		
	13		900.0		572.8	66.4
	14		841.2		157.8	18.2
	15		292.5		106.9	12.3
	Total		2033.7		837.5	97.1
	Average		677.9		279.2	
Jul. III	20	1844.0		862.4		
	21		839.9		397.9	46.1
	22		493.0		148.5	17.2
	23		308.9		105.3	12.2
	24		178.0		193.4	22.4
	Total		1819.8		845.1	97.9
Average		455.0		211.3		
Jul. IV	25	1828.7		854.7		
	26		1038.7		482.8	56.4
	27		379.9		167.2	19.5
	28		290.9		147.8	17.2
	Total		1709.5		797.8	93.3
	Average		569.8		265.9	

Table 2. (continued)

Period	DIN			DIP		
	Influent quantity (mg/m ² ·day)	Removal quantity (mg/m ² ·day)	Removal rate (%)	Influent quantity (mg/m ² ·day)	Removal quantity (mg/m ² ·day)	Removal rate (%)
Aug. I	6	6893.0		1124.2		
	7		4929.7	71.5	754.5	67.1
	8		1097.5	15.9	204.3	18.1
	Total		6027.2	87.4	958.8	85.2
	Average		3013.6		479.4	
Aug. II	10	9337.0		1501.5		
	11		4239.8	45.4	570.7	38.0
	12		2317.2	24.8	550.2	36.6
	13		1857.7	19.8	252.1	16.7
	Total		8414.7	90.1	1373.0	91.4
Average		2804.9		457.7		
Aug. III	15	8930.3		1626.5		
	16		2344.1	26.2	246.9	15.1
	17		2411.9	27.0	674.7	41.4
	18		2546.9	28.5	411.2	25.2
	Total		7302.9	81.7	1332.8	81.9
Average		2434.3		444.3		
Sep. I	7	12784.3		1481.5		
	8		4884.1	38.2	566.9	38.2
	9		3560.3	27.8	328.0	22.1
	10		2760.7	21.5	375.4	25.3
	Total		11205.1	87.6	1270.3	85.7
Average		3735.0		423.4		

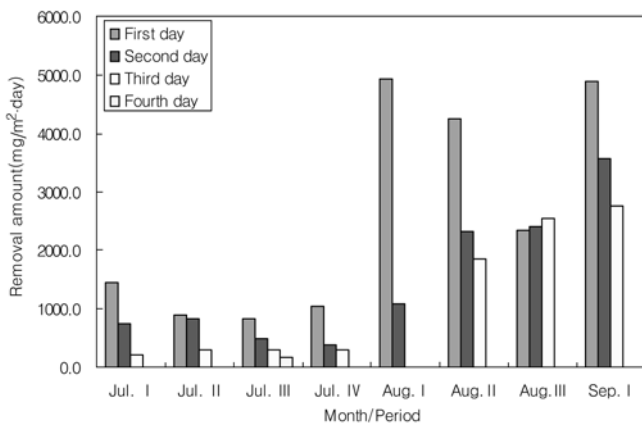


Fig. 3. Monthly removal amount of DIN by *Helianthus annuus*.

*H. annuus*의 DIN 일별 제거율을 보면 7월 첫째 날에는 43.5~59.0%의 제거율을 보였으며, 둘째 날에는 20.7~40.6%, 셋째 날에는 8.8~15.9%를 보였다. 8월 첫째 날에는 26.2~71.5%, 둘째 날에는 15.9~27.0%, 셋째 날에는 19.8~28.5%였다. 9월 첫째 날에는 38.2%, 둘째 날에는 27.8%, 셋째 날에는 21.5%로 나타났다. 실험 결과 반응 2일째의 제거율이 7월에는 72.2~89.7%, 8월에는 53.2~87.4%, 9월에는 66.0%로 나타나, 효과적인 제거율을 고려하여 볼 때 HRT이 2일 정도가 알맞은 것으로 확인 되었다.

한편 7월 3차의 경우 식물의 활성을 감안하여 다른 실험기간보

다 하루가 길어 더 많은 처리효과를 기대하였으나 그렇지 못하였으며 8월 1차의 경우엔 바람 등 일기 불순으로 3일간의 실험기간의 결과였다.

용존성 무기인(DIP)

용존성 무기인 실험은 용존성 무기질소의 실험과 같은 날짜에 채수하여 동시에 실험하였다. 실험초기에서부터 말기에 이르기까지 성장 단계별로 유입수 DIP의 농도는 13.3~25.4 mg/l 까지 조절 하였으며, 이에 따른 정량적인 유입량은 854.7~1626.5 mg/m²였다(Table 2, Fig. 4). 이와 같이 고농도로 주입한 이유는 오염된 현장에의 적용가능성을 시험하기 위한 것으로 Haper(1978)가 규정한 부영양화 호소수의 기준인 77 µg/P 보다 172배에서 324배 이상 높은 농도에 노출시켰다. 이는 우리나라 호소수질환경기준에서 등급인 0.1 mg/l 보다 약 13에서 25배 정도 높은 농도이다.

월별 제거율은 7월 평균 96.72%이며 8월은 평균 86.2%, 9월은 평균 85.7%로 나타났다. 차수별 DIP의 일평균제거량을 보면 7월 1차 시기에는 409.5 mg/m²·day이며 제거율은 32.8%였다. 2차시기의 일평균제거량은 279.2 mg/m²·day이며 제거율은 32.4%였다. 3차시기의 일평균제거량은 211.3 mg/m²·day 이며 제거율은 24.5%였고, 4차시기의 일평균제거량은 265.9 mg/m²·day이며 제거율은 31.1%였다. 8월 1차 시기의 일평균제거량은 479.4 mg/m²·day이며 제거율은 42.6%였으며, 2차시기의 일평균제거량은 457.7 mg/m²·day이며 제거율은 30.5%였다. 3차시기의 일평균제거량은 444.3 mg/m²·day이며 제거율은 27.3%

Table 3. Watertreatment capacity in artificial floating island by *Helianthus annuus*.

Item		Artificial floating island					
Plant dry weight(g/m ²)		683.5	681.6	802.3	580.9	559.3	
Content(%)	Nitrogen	Stem	4.1	7.8	5.6	5.6	3.2
		Root	5.4	6.4	3.8	6.3	3.0
	Carbon	Stem	46.3	57.7	46.6	42.8	40.1
		Root	43.4	53.8	49.6	47.7	46.7
	Hydrogen	Stem	3.2	6.0	5.0	5.8	4.6
		Root	6.1	5.5	5.2	5.2	5.6

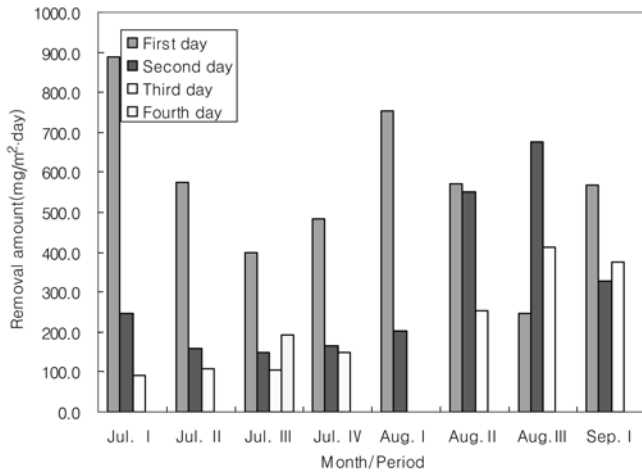


Fig. 4. Monthly removal amount of DIP by *Helianthus annuus*.

였다. 9월 1차시기의 일평균제거량은 423.4 mg/m²·day이며 제거율은 28.6%였다.

*H. annuus*의 DIP 일별제거율을 보면 7월 첫째 날에는 46.1~71.2%의 제거율을 보였으며, 둘째 날에는 17.2~19.8%, 셋째 날에는 7.4~17.2%였다. 8월 첫째 날에는 15.1~67.1%, 둘째 날에는 18.1~41.4%, 셋째 날에는 16.7~25.2%였다. 9월 첫째 날에는 38.2%, 둘째 날에는 22.1%, 셋째 날에는 25.3%로 나타났다. 실험결과 반응 2일째의 제거율이 7월에는 63.3~91.0%, 8월에는 56.5~85.2%, 9월에는 60.3%로 나타나, 효과적인 제거율을 고려하여 볼 때 용존질소와 마찬가지로 HRT는 2일 정도가 알맞은 것으로 확인되었다.

탄소와 질소 함유량

탄소와 질소함유량은 줄기와 뿌리 부분으로 나누어 탄소, 수소, 질소의 함량을 분석하였다. *H. annuus*의 원소분석 결과를 Table 3에 나타내었다. 인공부도에서 얻어진 *H. annuus*의 건중량은 최저 559.259 g/m²와 최고 802.279 g/m²이었다.

질소는 줄기에서 최저함유량은 3.2%이고 최고함유량은 7.8%로 평균 5.2%로 나타났다. 뿌리에서의 최저함유량은 3.0%이고 최고함유량은 6.3%였으며, 평균 5.0%로 나타났다.

탄소는 줄기에서 최저함유량은 40.1%이고 최고함유량은 57.7%로 평균 46.7%로 나타났다. 뿌리에서 최저함유량은 43.4%이고 최고함유량은 53.8%였으며, 평균 48.2%로 나타났다.

탄소대 질소비(C/N비)를 보면 줄기에서 최저 7.4, 최고 12.5로 평균 9.4의 비를 보였으며, 뿌리에서 최저 8.0, 최고 15.6으로 평균 10.7로 나타났다.

결 론

본 연구는 새만금 수역의 수질을 효과적으로 관리하기 위하여 동진강과 만경강을 통하여 유입하는 공장폐수와 농업배수 및 생활하수로 인해 오염된 하천수를 식물의 오염물질 동화능력을 이용한 담수의 정화방안을 마련하고자 하였다. 대상 식물종으로는 해바라기 일종인 *H. annuus*를 이용하여 제거할 수 있는 질소와 인의 농도 및 양을 산정하였다.

실험초기부터 말기에 이르기까지 유입수 DIN의 농도는 28.5~1992 mg/l 까지 변동시켰으며, 정량적인 유입량은 1828.7~12784.3 mg/m²까지였다. 전체적인 제거율은 81.7~98.6%였다.

일별제거율은 7월 첫째 날에는 43.5~59.0%의 제거율을 보였으며, 둘째 날에 20.7~40.6%, 셋째 날에 8.8~14.1%로 나타났다. 8월 첫째 날에는 26.2~71.5%, 둘째 날에는 15.9~27.0%, 셋째 날에는 19.8~28.5%로 나타났다. 전체적으로 볼 때 반응 2일째에 7월에는 72.5~89.7%를, 8월에는 53.2~87.4%였고, 9월에는 66.0%로 나타났다.

유입수 DIP 농도는 13.3mg/l에서 25.4mg/l까지 변화시켰으며, 정량적인 유입량은 854.7~1626.5 mg/m²였다. 전체적인 제거율은 81.9~98.4%로 나타났다.

일별제거율을 보면 7월 첫째 날에 46.1~71.2%의 제거율을 보였으며, 둘째 날에 17.2~19.8%, 셋째 날에 7.4~17.2%였다. 8월 첫째 날에 15.1~67.1%, 둘째 날에 18.1~41.4%, 셋째 날에 16.7~25.2%의 일별제거율을 보였다. DIN나 DIP의 제거율이 반응 2일째에 효과적인 제거율을 보여주어 HRT는 2일 정도가 알맞은 것으로 확인 되었다.

이와 같은 연구결과로 미루어 볼 때 *H. annuus*를 이용한 phytoremediation 기법은 도시하수처리장이나 공장폐수처리장의 배출수보다 훨씬 낮은 농도로 오염되어있는 하천, 강 및 호수수의 인과 질소 처리효율을 극대화 할 수 있으며, 비점오염원의 수질관리에 있어 경제적, 환경적 효과를 거둘 수 있을 것이다. 또한 phytoremediation기법을 이용할 경우 기존의 수처리 방법에 비해 시설유지비가 저렴하고 그 주변의 아름다운 경관조성으로 혐오시설이 아닌 친환경 효과를 다양한 목적으로 이용할 수 있을 것이다.

사 사

본 연구는 산업자원부가 지정하고, 전라북도가 지원하는 군산대학교 새만금환경연구센터의 지원으로 진행되었다. 현장조사 및 자료처리에 도움을 준 임철호군과 손용규군, 문성순양에게도 감사한다.

참고문헌

동화기술편집부, 2000. 공정시험방법. 동화기술, 서울, pp. 172-190.
 손용규, 2004. Phytoremediation of Nutrients and Heavy Metals Using *Hibiscus canabinas*. Master Thesis. Kunsan National University, Gunsan, 44 pp.
 최문술, 임철호, 2004. *Hibiscus canabinas*를 이용한 Cd, Cr, Cu, Ni 및 Zn의 제거. 한국환경생물학회, **22**: 120-126.
 Aizaki, M., 1980. Changes in standing crop and photosynthetic rate attendant on the film development of periphyton in a shallow eutrophic river. *Jap. J. Limnol.*, **41**: 225-234.
 Donnelly, P.K., R.S. Hegde and J. S. Fletcher, 1994. Growth of PCB-degrading bacteria on compounds from photosynthetic plants. *Chemosphere*. **28**: 981-988.
 Gordon, M.P., 1997. Phytoremediation of chlorinated solvents-poplars remove chlorinated solvents from soil in field trials. IBC's Second Annual Conference on Phytoremediation. June 18-19,

Seattle, WA.
 Harper, D.M., 1978. Limnological Studies on Three Scottish Lowland Freshwater Journal of Fisheries Lochs. Ph. D. Thesis, University of Dundee. 170 pp.
 Jerald, L.S., Louis, A.L., Steven, C.M., N. Lee, Wolfe and Laura, H.C., 1995. Phytoremediation of organic and nutrient contaminants. *Environ. Sci. & Tec.*, **29**(7): 46-58.
 APHA-AWWA-WPCF, 1999. Standard methods for the examination of water and wastewater : 17th ed. APHA 1220 pp.
 Thiry, Y.F. Goor and T. Riesen, 2002. The true distribution and accumulation of radiocaesium in stem of scots pine(*Pinus sylvestris* L.). *J. Environ. Radioact.*, **58**: 243-259.
 Paterson, K.G. and Schnoor, J.L.J., 1992. *Wat. Environ. Res.*, **64**: 274-283.
 Victorova, N.O. Voitesekhovitch, B. Sorochinsky, H. Vandenhove, A. Konoplev and I. Konopleva. 2000. Phytoremediation of Chernobyl contaminated land. *Rad. Protec. Dosimetr.*, **92**: 59-64.
 Zhu, Y.G. and G. Shaw, 2000. Soil contamination with radionuclides and potential remediation. *Chemosphere*, **41**: 121-128.
 Ziqing, O., Zhengmin G. and Tieheng S., 1992. Paddy rice slow-rate land treatment system -I. *Wat. Res.*, **26**(11): 1479-1486.

2006년 4월 28일 원고접수
 2006년 11월 24일 수정본 채택
 담당편집위원: 오재룡