

가축폐수 처리 위한 인공습지에서 수생식물의 영양염류 흡수 특성

Characteristics of Nutrient Uptake by Aquatic Plant in Constructed Wetlands for Treating Livestock Wastewater

김 경 진* / 김 정 섭** / 김 이 형*** / 양 금 철****†

Kyeong Jin Kim* / Jeong Seob Kim** / Lee hyung Kim*** / Keum Chul Yang****†

요약 : 본 연구에서는 2011년 6월부터 11월까지 충청남도 논산시 양지리의 가축폐수 처리를 위해 조성된 인공 습지에서 정수식물인 갈대의 처리공정별 계절별 생물량 변이와 질소·인의 흡수량, 수처리 효율을 파악하기 위하여 수행되었다. 조사기간 동안 인공습지 내 갈대의 총 생물량은 200.1 ~ 669.4 kg의 범위로 보이며 계절별 총 생물량은 7월에 669.4 kg로 가장 높게 나타났다. 인공습지 내 갈대의 지상부 질소 함량은 $21.9 \pm 0.6 \sim 32.1 \pm 1.5$ mg/g, 지하부는 $15.1 \pm 5.5 \sim 24.9 \pm 5.7$ mg/g, 인의 함량은 지상부에서 $1.5 \pm 0.3 \sim 2.4 \pm 0.2$ mg/g, 지하부는 $1.6 \pm 0.6 \sim 2.5 \pm 0.6$ mg/g의 범위로 조사되었다. 인공습지 내 갈대의 질소 흡수량은 9.7 ~ 28.0 kg, 인의 흡수량은 0.7 ~ 2.8 kg의 범위로 조사되었다. 질소의 흡수량은 7월에 28.0 kg으로 가장 높게 나타났으며 11월에 9.7 kg으로 가장 낮게 나타났다. 인의 흡수량은 6월에 2.8 kg으로 가장 높게 나타났으며 11월에 0.7 kg으로 가장 낮게 나타났다. 인공습지로 이입되는 가축폐수의 질소·인 저감 효율은 각각 23.0, 59.1 %로 조사되었다. 본 연구결과는 향후 인공습지 내 오염물질 및 영양염류 순환 도출에 기여할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 가축폐수, 인공습지, 질소, 인

Abstract : This study is to investigate the removal rates of nutrient in water, the biomass of water plants, and the total amounts of T-N and T-P uptakes by water plants to evaluate the ecological characteristics of the constructed wetland for treatment of livestock wastewater in Yangji-ri, Nonsan-si from June through November 2011. During the experimental period, the monthly plant biomass of constructed wetland in July were the highest as 669.4 kg, while the lowest in November as 200.1 kg. The research showed that the average nitrogen and phosphorus contents in aboveground and underground biomass of *Phragmites australis* were $21.9 \pm 0.6 \sim 32.1 \pm 1.5$ mg/g, $15.1 \pm 5.5 \sim 24.9 \pm 5.7$ mg/g, $1.5 \pm 0.3 \sim 2.4 \pm 0.2$ mg/g and $1.6 \pm 0.6 \sim 2.5 \pm 0.6$ mg/g, respectively. The maximum amount of T-N and T-P uptake by *Phragmites australis* were 28.0 kg in July and 2.5 kg in June, respectively, while the minimum amount of T-N and T-P uptake by *Phragmites australis* were 9.7 kg and 0.7 kg in November, respectively. The removal rates of T-N and T-P in constructed wetland for treating livestock wastewater were 23.0 % and 59.1 %, respectively. The results of this study is expected to deduce the circulation of contaminants and nutrient in the wetland afterwards.

Keywords : Livestock wastewater, Constructed wetland, Nitrogen, Phosphorous

+ Corresponding author : yangkc@kongju.ac.kr

* 비회원 · 공주대학교 건설환경공학과 석사과정 · E-mail : kjhswls@kongju.ac.kr

** 비회원 · 공주대학교 건설환경공학과 박사과정 · E-mail : kjs0926@kongju.ac.kr

*** 정회원 · 공주대학교 건설환경공학과 교수 · E-mail : leehyung@kongju.ac.kr

**** 정회원 · 공주대학교 건설환경공학과 교수 · E-mail : yangkc@kongju.ac.kr

1. 서 론

가축폐수는 발생량에 비해 오염부하량이 매우 큰 고농도 유기물 폐수로 분류되고 있으며, 현재 가축폐수 처리장에서 단독으로 처리되거나, 분뇨·하수와 연계처리, 또는 일부분이 액비 및 퇴비 형태로 농지에 환원되고 많은 부분은 미처리 상태로 토지나 수계로 유입되고 있다. 이러한 미처리 상태로 토지나 수계로 유입된 가축폐수 오염물질은 토양 축적 및 지하수 오염을 초래하게 되며, 적절한 처리 없이 생태계로 방류되었을 경우 하천의 수질악화, 호소의 부영양화, 유기물의 분해로 인한 악취 및 해충 발생 등을 유발한다(Michael J. *et al.*, 1990). 따라서 가축폐수 방류수 수질 기준을 만족하기 위해 가축폐수처리장 후속공정의 필요성이 제기되었으며, 인공습지가 새로운 대안으로 제시되어 미국, 이탈리아, 남미, 호주 등과 같은 많은 국가에서 다양한 연구가 수행되고 있다(박재홍 등, 2004). 인공습지는 운영비용의 측면에서 경제적 타당성이 높기 때문에 일부 선진국에서 새로운 폐수 처리 방법으로 각광 받고 있다(Bachand and Horne, 2000). 습지에서 오염물질 제거는 정수식물의 지상부와 지하부의 조직, 미생물, 토양 수용성 영양염류 등의 생물학적 및 이화학적 상호 작용을 통하여 이루어지므로 습지에서 정수식물의 역할은 대단히 중요하다(Gersberg *et al.*, 1986). 국내외 인공습지에서 일반적으로 많이 이용하는 정수식물은 갈대(*Phragmites australis*), 애기부들(*Typha angustata*) 등이다(Nichols, 1983). 특히, 갈대는 각종 수질오염물질에 강한 내성을 나타내며, 뿌리줄기(rhizome)의 발달로 근권에 산소를 원활히 공급함으로써 호기성 미생물의 활성을 높이기 때문에 널리 이용된다(Copper and Boon, 1987). 국내에서는 김현철(2007)은 수생식물을 이용한 인공습지의 가축폐수 정화능을 조사하였고, 강세원 등(2011)은 비점오염원 처리를 위한 자유수면형 인공습지에서 수생식물의 영양염류 흡수특성

평가를, 남귀숙 등(2004)은 농업용 저수지 수질 개선을 위한 지하흐름 갈대 인공습지의 적용, 노희명 등(2002)은 시화지구 인공습지에서 갈대에 의한 질소 및 인 흡수, 인공습지의 적용을 조사한 바 있다.

본 연구에서는 가축폐수 처리를 위해 조성된 인공습지에서 정수식물인 갈대의 처리공정과 계절별 생물량 변이와 질소·인의 흡수량을 파악하여 인공습지의 양분 동태에 대한 자료를 축적하는데 목적이 있다.

2. 연구방법

2.1 인공습지의 현황 및 구조

본 연구의 대상지역은 충청남도 논산시 연무읍 양지리에 위치하고 있는 인공습지이며(Fig. 1), 2007년에 조성되어 2008년 9월에 운영하기 시작하였다. 본 시설은 비강우시에 가축폐수처리시설에서 처리된 양돈폐수를 유입시켜 연속흐름방식으로 처리하고 있다. 인공습지는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 침전지, 포기조(유로형 습지), 얇은 습지 및 깊은 습지 등의 총 6개 공정으로 구성되어 있으며, 각 공정별 자세한 현황을 Table 1에 정리하였다. 인공습지의 전체 표면적은 4,492 m²이며, 총 용량은 4,006 m³, 수리학적 체류시간은 48시간으로 설계되었으며, 수질이 악화 될 경우 얇은 습지에 설치된 순환 장치를 통해(0.1Q) 체류시간을 증가시켜 처리효율을 제고 할 수 있도록 계획하였다. 인공습지의 주요 도입 식물은 갈대(*Phragmites australis*), 물억새(*Miscanthus sacchariflorus*), 애기부들(*Typha orientalis*)이며, 가축폐수 유입으로 오염부하가 많기 때문에 일반 식생보다 우수한 처리효율을 얻기 위하여 주로 갈대를 적용하였다. 갈대는 각종 수질오염물질에 강한 내성을 나타내며, 뿌리줄기(rhizome)의 발달로 근권에 산소를 원활히 공급함으로써 호기성 미생물의 활성을 높이기 때문에 널리 이용된다(Copper and Boon, 1987).

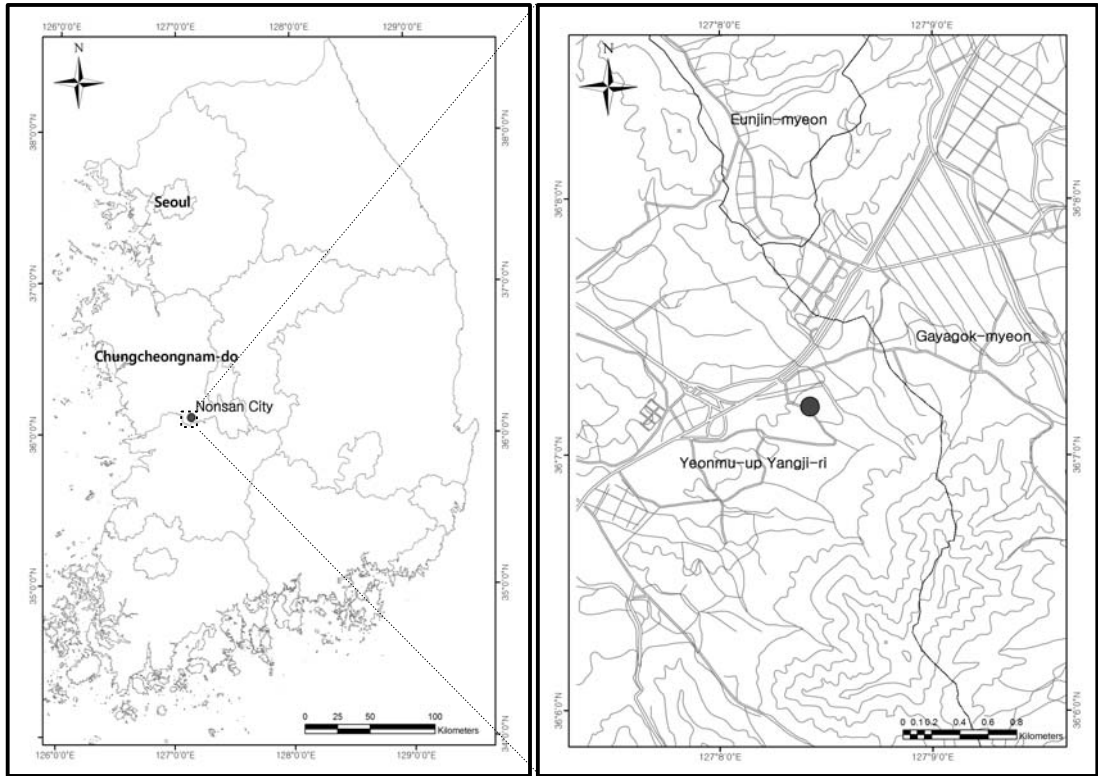


Fig. 1 Location of the constructed wetland in Nonsan city, Korea

Table 1 Characteristics of the constructed wetland

Cell No.	Treatment region	Surface area (m ²)	Storage volume (m ³)	water depth (cm)	HRT for design flow (hr)	Dominant plant species	
						2008	2011
Cell 1	Settling basin	560	453	80.9	5.5	Pa	Pa
Cell 2	Aeration pond	776	565	72.8	6.8	Pa	Pa
Cell 3	Deep marsh	805	810	100.6	9.8	Pa	Pa
Cell 4	Shallow marsh	527	280	53.1	3.4	Ms, Phj	Ms, Phj
Cell 5	Deep marsh	1,427	1,626	110.3	19.6	Pa, Ta	Pa, Ta
Cell 6	Settling basin	350	272	77.7	3.3	Nn	×
Total	-	4,492	4,006	-	48.4	-	-

Pa: *Phragmites australis*, Ms: *Miscanthus sacchariflorus*, Phj: *Phragmites japonica*, Ta: *Typha orientalis*, Nn: *Nelumbo nucifera*

2.2 공정별 수질분석 및 수생식물의 생물량과 영양염류 분석

가축폐수처리장의 후속공정인 인공습지에서

2011년 6월부터 11월까지 비강우시에 월 1회 조사를 실시하였다. 수질시료는 공정별 유입수와 인공습지의 말단부인 유출수를 채취하였으며 냉장상태로 실험실에 운반하여 분석에 이용하였다. 총

질소는 수질오염공정시험법에 의해 자외선 흡광광도법으로 분석하였고, 총 인은 Microwave - digestion 법(Model : MARS Xpress)으로 전처리(USEPA, 1990) 후 ICP / AES(Model : ICP - 7510)로 분석하였다(Allen *et al.*, 1974).

수생식물의 생물량 조사는 인공습지의 Cell 1, 2, 3, 5에 식재되어 있는 갈대를 대상으로 30 × 30 cm 크기의 방형구를 각각 3개씩 설치하였으며, 방형구내 모든 식생의 개체수와 평균 수고를

측정하였고 지상부와 지하부로 구분하여 채취하였다(Fig. 2). 채취한 수생식물은 실험실에서 60 ℃ 건조기에서 항량까지 건조 후 칭량하여 단위면적당 생물량(g/m²)을 측정하였고, 총 질소는 Micro - Kjeldal법(Allen *et al.*, 1974)으로 총 인은 Microwave - digestion 법(Model : MARS Xpress)으로 전처리(USEPA, 1990) 후 ICP / AES(Model : ICP - 7510)로 분석하였다(Allen *et al.*, 1974).

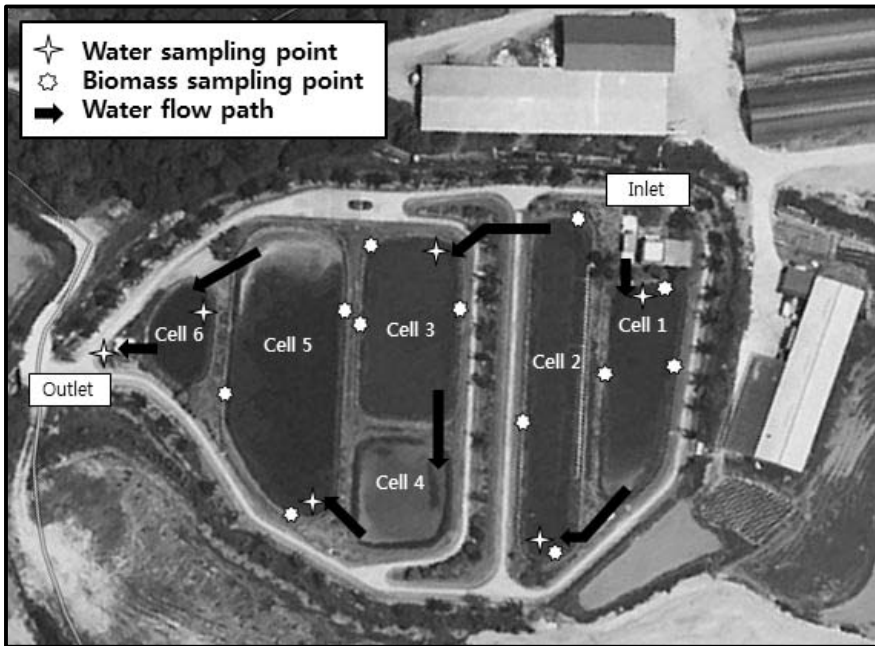


Fig. 2 Sampling points for water quality and plant samples

3. 연구결과 및 고찰

3.1 인공습지 유입·유출수의 질소·인 농도 및 저감 효율

인공습지의 월별 유입수와 유출수의 T-N과 T-P의 함량 변화를 Table 2에 나타내었다. 인공습지 유입 원수와 최종 유출수의 T-N의 함량은 각각 135.8 ~ 211.8, 72.1 ~ 169.2 mg/L로 시기별 편차가 컸으며, 연간 유입·유출수의 농도는 각각 178.3 ± 25.9, 137.4 ± 34.2 mg/L로 조사

되었다. 유입 원수와 최종 유출수의 T-P의 함량은 각각 4.8 ~ 14.9, 1.6 ~ 8.7 mg/L로 시기별 편차가 컸으며, 연간 유입·유출수의 농도는 각각 10.4 ± 4.3, 4.3 ± 2.7 mg/L로 조사 되었다. T-P의 경우 7월에 유출수의 농도가 유입수의 농도보다 높은 이유는 일시적으로 증가된 조류와 여름철 집중호우로 인해 퇴적물의 교란으로 유출수의 T-P가 증가한 것으로 판단된다. 따라서 본 인공습지의 연간 T-N·T-P의 저감 효율은 각각 23.0, 59.1 %로 조사 되었다. 최선화 등(2006)이 농경지의 농경배수를 이용하여 수질정화 효율의

Table 2. The concentration of T-N·T-P at influent and effluent in constructed wetland from June 2011 to November 2011

Month	Site	T-N(mg/L)	T-P(mg/L)
June	Influent	197.8	13.4
	Effluent	130.7	3.1
July	Influent	176.2	8.3
	Effluent	153.4	8.7
August	Influent	135.8	14.9
	Effluent	72.1	6.0
September	Influent	174.9	6.7
	Effluent	151.1	4.3
October	Influent	211.8	14.4
	Effluent	147.6	1.9
November	Influent	173.0	4.8
	Effluent	169.2	1.6
Mean ± SD	Influent	178.3 ± 25.9	10.4 ± 4.3
	Effluent	137.4 ± 34.2	4.3 ± 2.7
Removal rate(%)		23.0	59.1

체류시간에 따른 평가에서 본 인공습지와 같은 체류시간인 2일 일 때 T-N·T-P의 저감 효율을 각각 29.1 ~ 37.7, 26.0 ~ 83.5 %로, 백현주 등 (2007)은 오염된 하수처리를 위해 설치된 인공습지에서의 영양염류 제거 효율에서 T-N·T-P의 제거 효율을 각각 64, 69 %로 보고하였으며, 본 인공습지의 결과에 비해 다소 높은 값을 나타내었다. 이는 습지로 유입되는 유입원수의 농도 차이에 의한 것으로 판단된다.

3.2 인공습지 내 수생식물의 생물량

인공습지 내 갈대의 공정별 생물량과 식생 면적 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 조사기간 동안 총 단위면적 당 생물량은 9.0 ~ 31.8 kg/m²의 범위를 보이며 각 공정별 갈대의 단위면적 당 생물량은 Cell 3에서 8.1 ± 5.2 kg/m²으로 가장 높게 나타났으며, Cell 1에서 2.6 ± 1.6 kg/m²으로 가장 낮게 나타났다. 계절별 생물량은 8월에 31.8

kg/m²으로 가장 높게 나타났으며 이후 계절적인 영향으로 인해 점차 감소하는 것으로 나타났다.

인공습지의 총 식생 면적은 77.2 ~ 139.4 m²의 범위를 보이며 공정별 월 평균 식생 면적은 Cell 2에서 33.2 ± 8.6 m²으로 가장 높게 나타났으며, Cell 5에서 18.2 ± 6.2 m²으로 가장 낮게 나타났다. 7 ~ 9월의 식생 면적이 상대적으로 낮은 이유는 여름철에 집중강우로 인해 훼손된 식생을 면적에서 제외하고 측정하였기 때문으로 판단된다.

단위면적 당 생물량에 인공습지 내 갈대의 총 면적을 곱하여 조사기간 동안의 각 공정별 갈대의 총 생물량을 산정 하였다. 인공습지 내 갈대의 총 생물량은 200.1 ~ 669.4 kg의 범위로 보이며 7월에 가장 높은 값을 나타내었으며 이후 계절적인 영향으로 인해 점차 감소하였다. 각 공정별 월 평균 총 생물량은 Cell 3에서 146.1 ± 83.0 kg으로 가장 높게 나타났으며, Cell 1에서 75.1 ± 44.8 kg으로 가장 낮게 나타났다.

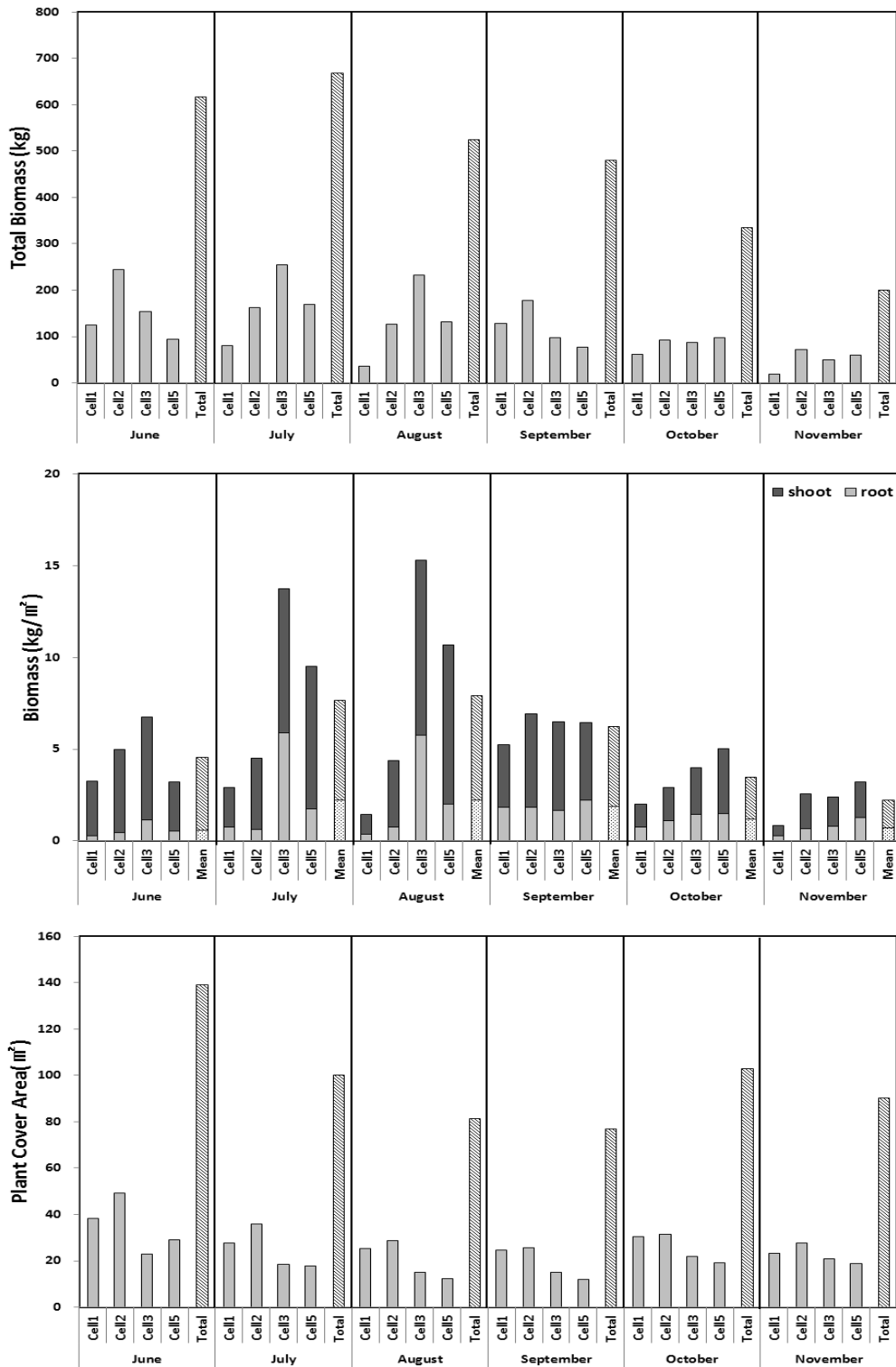


Fig. 3 Changes in biomass growth and plants cover area at the constructed wetland

3.3 인공습지 내 수생식물의 부위별 질소·인의 함량 및 흡수량

인공습지 내 갈대의 부위별 질소와 인의 함량을 Table 3에 나타내었다. 인공습지 내 갈대의 지상부 질소의 함량은 $21.9 \pm 0.6 \sim 32.1 \pm 1.5$ mg/g, 지하부는 $15.1 \pm 5.5 \sim 24.9 \pm 5.7$ mg/g의

범위로 조사되었다. 인의 함량은 지상부에 $1.5 \pm 0.3 \sim 2.4 \pm 0.2$ mg/g, 지하부는 $1.6 \pm 0.6 \sim 2.5 \pm 0.6$ mg/g의 범위로 조사 되었으며, 지상부와 지하부에서 시기와 상관없이 비슷한 경로로 조사 되었다. 강세원 등(2011)은 비점오염원 처리를 위한 자유수면형 인공습지에서 수생식물의 영양염류 흡수특성평가에서 갈대의 지상부와 지하부의 질소

Table 3. T-N and T-P contents of *Phragmites australis* in the constructed wetland

Month	Site	T-N(mg/g)		T-P(mg/g)	
		Shoot	Root	Shoot	Root
June	Cell 1	21.3	12.9	2.3	1.7
	Cell 2	22.2	15.8	2.2	2.2
	Cell 3	21.4	17.4	2.0	2.9
	Cell 5	22.5	18.2	2.2	3.0
	Mean ± SD	21.9 ± 0.6	16.1 ± 2.3	2.2 ± 0.1	2.5 ± 0.6
July	Cell 1	28.6	19.6	2.5	2.2
	Cell 2	24.5	18.7	2.1	1.7
	Cell 3	27.2	11.9	2.4	1.3
	Cell 5	22.9	18.6	2.3	1.7
	Mean ± SD	25.8 ± 2.6	17.2 ± 3.5	2.4 ± 0.2	1.7 ± 0.4
August	Cell 1	27.0	19.5	2.8	2.2
	Cell 2	23.1	17.3	1.9	1.9
	Cell 3	20.2	7.1	2.4	0.9
	Cell 5	21.1	16.5	2.3	1.4
	Mean ± SD	22.8 ± 3.0	15.1 ± 5.5	2.4 ± 0.4	1.6 ± 0.6
September	Cell 1	28.2	18.6	1.8	1.8
	Cell 2	31.2	21.7	1.9	1.6
	Cell 3	32.7	30.0	1.6	2.0
	Cell 5	33.4	29.5	2.1	1.7
	Mean ± SD	31.4 ± 2.3	24.9 ± 5.7	1.9 ± 0.2	1.8 ± 0.1
October	Cell 1	30.2	25.3	1.9	3.0
	Cell 2	33.4	25.3	2.0	2.2
	Cell 3	33.2	24.0	1.8	2.7
	Cell 5	31.5	21.4	1.6	1.8
	Mean ± SD	32.1 ± 1.5	24.0 ± 1.9	1.8 ± 0.2	2.4 ± 0.5
November	Cell 1	27.0	25.3	1.5	3.0
	Cell 2	24.0	25.3	1.1	1.7
	Cell 3	24.8	24.0	1.8	1.6
	Cell 5	24.2	21.4	1.6	2.2
	Mean ± SD	25.0 ± 1.3	24.0 ± 1.9	1.5 ± 0.3	2.1 ± 0.6

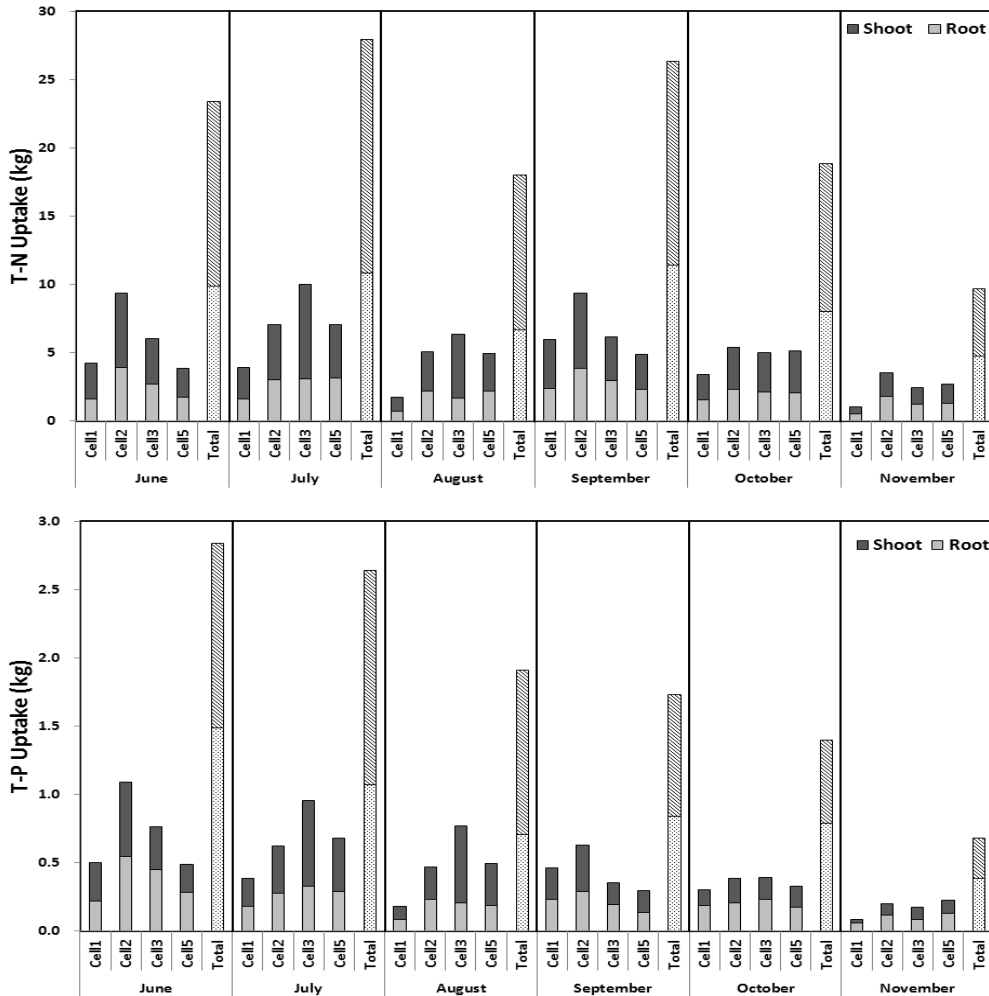


Fig. 4 T-N and T-P uptake of plants in the constructed wetland

함량을 22.0 ~ 23.3, 11.2 ~ 13.1 mg/g으로, 인의 함량은 7.5 ~ 8.4, 3.4 ~ 5.2 mg/g으로 규명하였다. 이는 본 인공습지 갈대의 질소 함량과는 비슷한 결과를 나타내었으며, 인의 함량은 본 인공습지에 비해 높은 값을 나타내었다.

인공습지 내 갈대의 총 생물량과 질소·인의 함량을 이용하여 갈대에 흡수되는 질소·인의 양을 산출하였다(Fig. 4). 인공습지 내 갈대 지상부의 질소 흡수량은 4.9 ~ 17.1 kg, 지하부는 4.8 ~ 11.4 kg, 인의 흡수량은 지상부에서 0.3 ~ 1.6 kg, 지하부는 0.4 ~ 1.5 kg의 범위로 조사되었다.

인공습지 내 수생식물에 의한 총 질소 흡수량은 7월과 9월에 비해 8월이 상대적으로 낮은 이유는 집중강우로 인해 식생 면적의 감소와 질소의 함량에 차이에 의한 것으로 판단된다. 총 인의 흡수량은 6월에 가장 높게 나타났으며 이후 점차 감소하는 것으로 조사되었다.

4. 결론

본 연구는 가축폐수의 후속공정에 위치한 인공습지에서 정수식물인 갈대의 처리공정과 계절별

생물량 변이와 질소·인의 흡수량을 파악하여 인공습지의 양분 동태에 대한 자료를 축적하기 위하여 수행되었으며, 다음과 같은 연구결과를 도출하였다. 본 인공습지의 질소·인의 저감효율 산정결과는 각각 23.0, 59.1 %로 조사되었으며 비교적 낮은 저감효율을 보이는 것으로 나타났다. 이는 유입수내 유기물의 농도에 비해 질소와 인의 농도가 매우 높아 인공습지 내 생물학적 처리가 잘 이루어지지 않은 것으로 판단되며 질소 및 인의 저감효율 향상을 위해 보다 긴 수리학적 체류시간이 요구되는 것으로 판단된다. 조사기간 동안 총 단위면적 당 생물량은 9.0 ~ 31.8 kg/m²의 범위로 조사되었으며 인공습지의 월별 총 식생 면적은 77.2 ~ 139.4 m²의 범위로 조사되었다. 인공습지 내 갈대의 총 생물량은 200.1 ~ 669.4 kg의 범위로 조사되었다. 인공습지 내 갈대의 지상부 질소 함량은 21.9 ± 0.6 ~ 32.1 ± 1.5 mg/g, 지하부는 15.1 ± 5.5 ~ 24.9 ± 5.7 mg/g, 인의 함량은 지상부에서 1.5 ± 0.3 ~ 2.4 ± 0.2 mg/g, 지하부는 1.6 ± 0.6 ~ 2.5 ± 0.6 mg/g의 범위로 조사되었다. 인공습지 내 갈대의 질소 흡수량은 9.7 ~ 28.0 kg, 인의 흡수량은 0.7 ~ 2.8 kg의 범위로 조사되었다. 현재 본 인공습지 시설에서는 수질 및 퇴적물, 식생의 오염물질 및 영양염류 함량 조사 등이 수행 중에 있으며, 지속적인 모니터링 결과를 이용하여 인공습지 내 오염물질 및 영양염류 순환 도출에 기여할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 국토해양부 지역기술혁신사업의 연구비 지원(과제번호 #09지역 기술혁신 B-01)에 의해 수행 되었습니다.

참 고 문 헌

강세원, 서동철, 최익원, 이준배, 임병진, 박종환, 김갑순, 김상돈, 허중수, 조주식. 2011. 비점

- 오염원 처리를 위한 자유수면형 인공습지에서 수생식물의 영양염류 흡수특성 평가, 한국환경농학회지, Vol. 30, No. 3, pp. 304-309.
- 김현철. 2007. 수생식물을 이용한 인공습지의 축산폐수 정화능에 관한 연구, 석사학위논문, 영남대학교.
- 남귀숙, 배요섭, 김형중, 이상준, 이관식. 2004. 농업용 저수지 수질 개선을 위한 지하흐름 갈대 인공습지의 적용, 한국습지학회지, Vol. 6, No. 4, pp. 59-69.
- 박재홍, 최의소, 조일형. 2004. 인공습지를 이용한 축산폐수의 처리, 한국물환경학회지, Vol. 20, No. 2, pp. 157-162.
- 백현주, 남종현, 정다운, 정태진, 최승익, 안태석. 2007. 오염된 하수처리를 위해 설치된 인공습지에서의 영양염 제거 효율, 대한상하수도학회·한국물환경학회 공동 추계학술발표회 논문집, pp 1075-1078.
- 최선화, 안열, 김호일. 2006. 인공습지의 수질정화 효율 평가, 한국물환경학회·대한상하수도학회 공동 추계학술발표회 논문집, pp 349-356.
- Allen, S.E., H.M. Grimshaw, J.A. Parkinson and C. Quarmby. 1974. Chemical analysis of ecological materials. Blackwell, Oxford.
- Bachand, P.A.M. and A.J. Horne. 2000. Denitrification in constructed free-water surface wetlands: II. Effects of vegetation and temperature. Ecol. Eng. 14: 17-32.
- Copper, P.F. and A.G. Boon. 1987. The use of phragmites for wastewater treatment by the root zone method: The UK approach. In K. R. Reddy and W.H. Smith (eds.), Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery. Magnolia Pub. Inc., Orlando, Florida. pp. 153-174.
- Gersberg, R.M., B.V. Elkins, S.R. Lyon and C.R., Goldman. 1986. Role of aquatic plants in wastewater treatment by artificial wetlands. Water Resear. 20: 363-368.

Michael, J. Semmens, Forester, D.M. and Cussler, E.L. 1990. Ammonia removal from water using microporous hollow fibers. Journal of Membrane Science, Vol. 51.

Nichols, D.S.. 1983. Capacity of natural wetlands to remove nutrients from wastewater. Res. J. WPCF 55: 495-505.

USEPA. 1990. Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils and oils. SW-846 Method 3051.

- 논문접수일 : 2011년 12월 26일
- 심사의뢰일 : 2011년 12월 27일
- 심사완료일 : 2012년 02월 20일