

시화지구 인공습지에서 갈대에 의한 질소 및 인 흡수

노희명[†] · 최우정 · 이은주* · 윤석인 · 최영대

서울대학교 농생명공학부, 서울대학교 생명과학부*

적 요: 시화지구 인공습지에 식재된 정수식물인 갈대(*Phragmites australis*)의 관리 방안을 모색하기 위해 갈대에 의한 질소 및 인 흡수 제거 양상과 갈대 성장과 관련된 토양 특성을 조사하였다. 습지 조성 초기에 갈대의 생장은 토양 염농도에 의해 저해된 것으로 나타났으며, 토양 유기물 함량은 갈대 비생육기 동안 고사체의 집적에 의해 증가하였지만, 서서히 분해되어 감소한 것으로 조사되었다. 갈대의 건물중과 질소 및 인 흡수량은 생장기인 여름과 가을에는 증가하였지만, 비생육기인 가을에는 감소하였다. 따라서 생장기 동안 갈대의 흡수에 의해 상당한 양의 질소와 인이 제거되었지만, 비생장기 동안 갈대 고사체의 형태로 토양에 환원되어 미생물의 분해에 의해 영양염류가 재방출될 가능성이 높은 것으로 판단되었다. 본 연구 결과에 의하면 인공습지 조성의 목적인 수질 정화와 생태공원으로서의 기능을 위해서는 갈대를 생육기간 중에 수확하는 방안을 적극적으로 모색해야 될 필요성이 있다.

검색어: 갈대, 시화지구, 영양염류 인공습지, 인 흡수, 재방출 정수식물, 질소 흡수

서 론

인공습지는 운영비용의 측면에서 경제적 타당성이 높기 때문에 일부 선진국에서 새로운 폐수 처리 방법으로 각광 받고 있다 (Bachand and Horne 2000). 습지에서 오염물질은 그 특성에 따라 물리적(흡착, 침전 및 여과), 화학적(탈질 및 암모니아 휘산), 생물학적(정수식물 및 미생물에 의한 흡수 동화) 기작에 의해 제거된다(최와 김 1999).

이와 같은 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). Hammer(1996)는 인공습지에 적합한 식물 종의 조건으로 1) 지역의 기후와 토양에 적합한 자생종, 2) 오염원에 대한 내성, 3) 높은 생산력, 4) 다년생이며 생장이 빠르고 번식이 쉬우며, 5) 경관도 좋고 야생동물의 서식처로서의 기능을 제시하였다. 이와 같은 요구 조건을 충족시키는 식물로서 현재 국내외 인공습지에서 일반적으로 많이 이용하는 정수식물은 갈대(*Phragmites australis*), 줄(*Zizania latifolia*), 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). 따라서 인공습지에서 영양염 정화에 대한 정수식물의 역할은 식물 자체의 직접적인 흡수 축적과 근권 미생물의 활동 증가에 의한 영양염 제거의 두 가지로 구분할 수 있다(Cooper and Boon 1987).

시화지구 인공습지는 국내에서 최초로 건설된 대규모(총면적 1,037,500 m², 습지면적 750,923 m²)의 인공습지로서 시화호 상류에 있는 반월천, 동화천, 삼화천의 3개 하천에서 유입되는 오염물질을 정수식물인 갈대를 이용하여 자연적으로 정화하여 시화호로 방류함으로써 시화호 수질 개선에 기여하고자 현재 시험 가동하고 있다. 시화지구 인공습지는 하천수를 표면수로 유입시키고 토양과 갈대와의 접촉 과정에서 흡수, 침전, 분해 등의 과정을 통해 수질을 정화하고 표면부터 처리수를 배출시키는 표면류 방식이다(한국수자원공사 2002). 현재까지 인공습지를 이용한 오염물질 정화에 관한 연구는 주로 양어장 배출수(정과 노 2002), 생활 및 농업 폐수(Kern and Idler 1999, Begg *et al.* 2001), 수경재배 양액 폐수(Lin *et al.* 2002), 가축분뇨 폐수(Kim *et al.* 1988), 산업 폐수(Vrhovsek *et al.* 1996) 등 특정 폐수 처리를 중심으로 진행되어 왔고, 하천수 중 오염물질 정화에 대한 연구는 매우 제한적이다. 또한 갈대가 식재된 인공습지에서 오염물질 정화 연구는 인(Arias *et al.* 2001), 병원성 미생물(Duggan *et al.* 2001), COD(Kern and Idler 1999), 질소(이와 곽 2000, Kern and Idler 1999) 등 다양하지만, 실제 인공습지에서 갈대가 직접 흡수 제거한 오염물질의 양을 평가한 연구는 매우 제한적이다(최와 김 1999). 특히 우리나라에서의 인공습지에 대한 연구는 소규모의 파일릿 수준이 대부분이다.

따라서, 본 연구는 우리나라에서 최초로 건설된 대규모의 시화지구 인공습지에서 정수식물인 갈대의 질소 및 인 흡수 제거능의 계절적 변이를 평가하고, 갈대 성장과 관련된 토양 특성을 조사하여 갈대를 이용한 습지의 수질 정화능을 극대화 할 수 있는 식생관리 방안을 모색하고자 수행하였다.

[†] Author for correspondence; Phone; 82-31-290-2403, e-mail: hmro@snu.ac.kr

연구 방법

연구 구역 및 시료 채취

시화지구 인공습지는 경기도 안산시 사동, 본오동, 화성시 비봉면에 걸쳐 위치하고 있으며(126° 50' N, 37° 17' E), 과거 하천과 해수 유입에 의해 형성된 퇴적층으로 형성된 기반토양은 대부분 실트와 점토의 함량이 높은 실트질 식양토(silty clay loam)이다(한국수자원공사 2001). 시화호 인공습지는 수질정화기능과 생태공원의 역할을 수행하기 위하여 하중도(야생조류 서식지), 개방수면(어류 및 야생동물 활동공간), 폐쇄수면(갈대를 이용한 수질 개선 및 생태공원 기능) 등으로 구성되어 있으며, 반월천(B), 동화천(D), 삼화천(S)의 3개 하천수가 습지 내로 유입되어 처리되고 있다(Fig. 1). 인공습지는 반월천과 동화천 유역에서

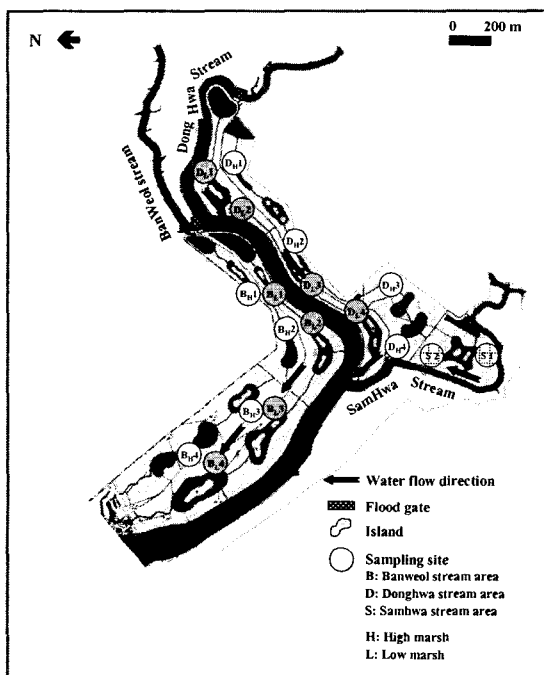


Fig. 1. Constitution of Shihwa constructed wetland and sampling sites.

표고 3.5 m 인 고습지(H)와 1.5 m 인 저습지(L)로 구분되어 운영되고 있으며, 저지대 인공습지는 자연 수리 구배에 의해 하천수가 유입되지만, 고지대 인공습지는 펌프를 이용해 하천수를 유입시킨다. 정상적인 조건에서 담수위는 0.6 m 정도이지만, 갈수기에는 0.1 m 이하인 경우도 있다(한국수자원공사 2002). 습지내 물 흐름 속도(flow velocity)는 저습지 0.2 m³ sec⁻¹, 고습지 0.10 m³ sec⁻¹, 삼화천 0.15 m³ sec⁻¹이고, 수리학적 체류 기간(hydraulic retention time)은 저습지 2.4~4.7 day, 고습지 6.4~7.9 day, 삼화천 1.9 day(김, 2002) 이다. 한편 갈대는 1999년 7월에 인공습지에 이식하여 재배하고 있다.

습지 토양 및 갈대시료는 반월천 고습지(BH-1~BH-4) 및 저습지(BL-1~BL-4), 동화천 고습지(DH-1~DH-4) 및 저습지(DL-1~DL-4), 삼화천(S-1, S-2)의 18 지점에서 2000년 6월부터 2002년 5월까지 2년 동안 총 8회에 걸쳐 주기적으로 채취하였다. 토양 및 갈대 시료 채취를 위해 각 지역 별로 4개 지점에 100 cm×100 cm 규모의 시료 채취구를 선정하였는데, 매 시료 채취시 이전 시료 채취구 인근에 새로운 채취구를 설정하였다. 토양 시료는 시료 채취구의 표층(20 cm)에서 채취하였다. 갈대 시료는 각 지점에서 채취시 생육하는 갈대의 개체 수를 조사하고, 그 중 평균적인 생육상태를 나타내는 20 개체의 지상부를 채취하여 측정하였다.

시료 분석 방법

갈대 시료는 60°C에서 1 주일간 건조한 후 분쇄기로 0.5 mm 이하의 크기로 간 후 분석에 사용하였다. 식물체 총질소와 총인 함량분석을 위해 갈대 시료를 산분해(H₂SO₄-HClO₄) 하였다(농업기술연구소 1988). 총질소 함량은 산분해액을 켈달증류하여 정량하였고, 총인 함량은 ammonium paramolybdate-vanadate 발색법으로 분석하였다(농업기술연구소 1988).

토양은 갈대 고사체는 제거하고 풍건 후 2 mm 체를 통과한 시료를 대상으로 분석하였다. 토양의 pH와 EC는 토양:증류수의 비율을 1:5로 하여 침출한 후 각각 pH 미터(DMP2000, DMS, 한국)와 EC 미터(PW9509/20, Philips, GT Britain)로 측정하였다. 토양 유기물 함량은 원소분석기(IsoPrime-EA, Micromass, UK)로

Table 1. Changes in electrical conductivity of wetland soil (unit: dS m⁻¹)

Sites ^a	Sampling time							
	Jun-00	Aug-00	Nov-00	Mar-01	Jul-01	Sep-01	Mar-02	May-02
B _H	1.50 (0.4) ^b	0.64 (0.2)	0.66 (0.4)	0.36 (0.2)	0.26 (0.0)	0.94 (0.5)	0.38 (0.1)	0.37 (0.1)
B _L	1.44 (0.1)	1.04 (0.1)	0.93 (0.2)	0.31 (0.1)	0.75 (0.3)	0.70 (0.4)	0.72 (0.1)	0.46 (0.1)
D _H	2.35 (0.5)	1.57 (0.1)	0.65 (0.2)	0.50 (0.1)	0.61 (0.1)	0.64 (0.1)	0.72 (0.1)	0.31 (0.0)
D _L	1.87 (0.4)	1.02 (0.2)	0.83 (0.5)	0.22 (0.1)	0.47 (0.1)	0.35 (0.2)	0.37 (0.1)	0.23 (0.1)
S	2.12 (0.0)	1.96 (0.3)	1.26 (0.2)	1.30 (0.0)	1.05 (0.3)	2.45 (0.4)	2.70 (0.4)	2.42 (0.5)

^a B_H, Banwoel high marsh; B_L, Banwoel low marsh; D_H, Donghwa high marsh; D_L, Donghwa low marsh; S, Samhwa marsh.

^b Numbers in parentheses are standard deviations.

Values are the means of four sampling sites for B_H, B_L, D_H and D_L area and two sampling sites for S area.

분석하였다.

갈대의 질소 및 인 흡수력

갈대가 흡수한 질소 및 인의 양은 단위 면적당 갈대 건물중과 갈대의 질소 및 인 농도의 곱으로 계산하여 $g\ m^{-2}$ 의 단위로 표시하였다.

결과 및 고찰

토양 특성 변화

토양 pH는 지역간, 시간별 큰 변이 없이 6.5~7.5의 범위로 조사되어 기반 토양인 간석지의 특성을 반영하였다. 토양 EC(1:5)는 삼화천 유역 습지를 제외하고는 2000년 6월의 1.4~2.4에서 2002년 5월의 0.2~0.5 $dS\ m^{-1}$ 로 감소하였다. 주(1998)는 갈대가 식재된 간석지 토양의 제염에 관한 연구를 통해 간석지 토양에서는 모세관 상승에 의해 염이 표토에 축적되기 때문에 담수의 제염효과가 없는 것으로 보고한 바 있지만, 본 연구 결과에서는 담수 상태에서 제염이 진행된 것으로 나타났다. 그러나 삼화천 유역 습지의 EC는 전반적으로 타 습지보다 높았으며, 2000년 6월부터 2001년 7월까지 2.1에서 1.1 $dS\ m^{-1}$ 로 감소하였으나, 그 후 급격히 상승하여 2002년 5월에는 2.4 $dS\ m^{-1}$ 로 조사되었다 (Table 1).

토양 유기물 함량은 계절적 변이가 뚜렷했는데, 2000년 6월에 7.2~12.2 $g\ kg^{-1}$ 에서 갈대 비생육기간인 2000년 11월에 15.2~17.6 $g\ kg^{-1}$ 으로 증가하였으며, 전반적으로 3월에 유기물 함량이 가장 낮았다(Table 2).

갈대 성장 변화

갈대의 건물중은 식재 연수가 증가함에 따라 감소하였는데 (Table 3), 이는 인위적으로 식재된 갈대 중 일부가 습지 환경에 적응하지 못하고 시간이 경과함에 따라 고사한 결과로 판단하였다(주 1998). 조사기간동안, 식재 연수가 증가함에 따라 갈대의 밀도는 감소한 반면, 습지내 수질의 생물학적 산소요구량(BOD)과 화학적 산소요구량(COD)은 증가하였는데(한국수자원

공사 2002), 이는 갈대의 잔존물이 습지에 축적되거나 또는 유입수의 오염물질이 증가하면서 갈대의 생장이 위축되었을 가능성을 제시하였다. 표 3에서 보는 바와 같이 계절적 성장 특성에 따른 변이를 나타내었는데, 일반적으로 갈대는 5~8월에 급격히 성장하고 9월 이후에는 생장이 감소하지만(정과 김 1989), 초기 생육 조건에 따라 후기 성장 양상이 변할 수도 있다(한국수자원공사 2001). Ostendorp(1989)은 습지에서의 갈대 생장은 1) 사람의 활동에 의한 직접적인 피해, 2) 바람 및 부유물질에 의한 기계적인 피해, 3) 야생 동물의 섭식, 4) 토양 및 수질 악화, 5) 담수 위 변화 등의 복합적인 요인에 의해 저해된다고 보고한 바 있다.

본 연구에서는 2001년 3월~7월과 2002년 3월~5월 사이에 갈대의 건물중이 크게 증가하지 않거나 오히려 감소한 것으로 나타났는데, 이는 갈대의 성장 특성에 따른 결과로 판단할 수 있다. 즉, 갈대의 동면기에 해당하는 3월에 조사된 갈대의 건물중은 대부분 전년에 성장한 지상부가 반영된 것임에 반해, 5월과 7월에는 이 지상부가 완전히 고사되어 건물중에 반영되지 못한 반면 당년도 새롭게 발아한 싹을 대상으로 건물중을 조사한 결과라 판단하였다(한국수자원공사 2002). 김 등(1986)은 낙동강 하구의 갈대 군락의 최대 현존량은 10월에 나타났다고 관찰하였는데, 이러한 경향은 본 연구에서도 절대량은 이듬해에 감소하였으나 항상 가을에 최대치를 나타냈다.

삼화천 유역 습지의 갈대 건물중이 가장 작았는데, 이는 표 1에서 보는 바와 같이 토양의 염농도가 높게 유지되었기 때문이라 판단하였다. 이러한 경향은 해안염습지 갈대군락의 최대 건물생산량은 토양 EC가 낮은 지역에서 2,533 $g\ m^{-2}$ 인 반면, 토양 EC가 높은 지역의 경우 1,719 $g\ m^{-2}$ 으로 감소한 민과 김(1983)의 결과와 일치하였다. 그러나 표 1에서 보는 바와 같이 토양EC가 거의 비슷하게 유지되었던 반월천과 동화천 지역의 경우, 건물중은 반월천 지역에서 대부분 높았다. 이러한 현상에 관하여 정확한 원인은 제시할 수 없었으나, 반월천 지역의 경우 토양내 유효인과 구리, 아연 등 미량원소의 함량이 높았다(한국수자원공사 2002). Fig. 2는 2000년 6월과 8월에 채취한 시료를 대상으로 갈대의 면적당 건물중과 토양 EC에 대한 회귀분석 결과로서, 이는 EC가 1 $dS\ m^{-1}$ 증가함에 따라 단위 면적당 건물중이

Table 2. Changes in organic matter contents of wetland soil (unit: $g\ kg^{-1}$)

Sites ^a	Sampling time							
	Jun-00	Aug-00	Nov-00	Mar-01	Jul-01	Sep-01	Mar-02	May-02
B _H	12.2 (3.2) ^b	10.2 (2.9)	17.6 (3.0)	10.2 (2.9)	13.6 (1.9)	12.0 (4.1)	6.2 (1.2)	11.5 (3.5)
B _L	10.7 (1.8)	8.94 (2.0)	15.3 (3.0)	10.6 (3.7)	13.2 (1.9)	15.9 (2.8)	5.8 (1.7)	9.4 (0.7)
D _H	7.2 (2.5)	8.8 (2.6)	15.2 (2.4)	7.6 (2.2)	9.9 (2.9)	11.4 (3.0)	5.7 (1.8)	8.4 (2.4)
D _L	9.3 (0.3)	9.7 (0.2)	16.7 (0.4)	8.2 (1.0)	12.8 (1.9)	15.7 (1.3)	5.2 (1.5)	9.2 (0.3)
S	10.6 (1.9)	9.3 (1.0)	16.0 (1.7)	8.5 (2.2)	10.1 (2.2)	14.4 (2.6)	5.7 (0.8)	9.2 (2.0)

^a B_H, Banweol high marsh; B_L, Banweol low marsh; D_H, Donghwa high marsh; D_L, Donghwa low marsh; S, Samhwa marsh.

^b Numbers in parentheses are standard deviations.

Values are the means of four sampling sites for BH, BL, DH and DL area and two sampling sites for S area.

Table 3. Seasonal variations in dry matter of above-ground parts of reeds collected from wetland (unit: g m⁻²)

Sites ^a	Sampling time							
	Jun-00	Aug-00	Nov-00	Mar-01	Jul-01	Sep-01	Mar-02	May-02
B _H	3047 (696) ^b	5095 (335)	5261 (473)	4482 (235)	3348 (714)	3647 (702)	2225 (629)	1247 (654)
B _L	2557 (781)	3370 (870)	4420 (680)	2657 (671)	2446 (596)	2905 (822)	1199 (515)	1711 (800)
D _H	1326 (827)	2639 (595)	2623 (543)	1876 (550)	2037 (579)	2342 (558)	1457 (223)	928 (336)
D _L	2517 (361)	2295 (689)	3061 (619)	1798 (480)	1693 (366)	2364 (559)	922 (289)	1983 (350)
S	1123 (210)	2153 (255)	2002 (502)	1228 (569)	1350 (650)	1318 (488)	444 (145)	764 (154)

^a B_H, Banweol high marsh; B_L, Banweol low marsh; D_H, Donghwa high marsh; D_L, Donghwa low marsh; S, Samhwa marsh.

^b Numbers in parentheses are standard deviations.

Values are the means of four sampling sites for BH, BL, DH and DL area and two sampling sites for S area.

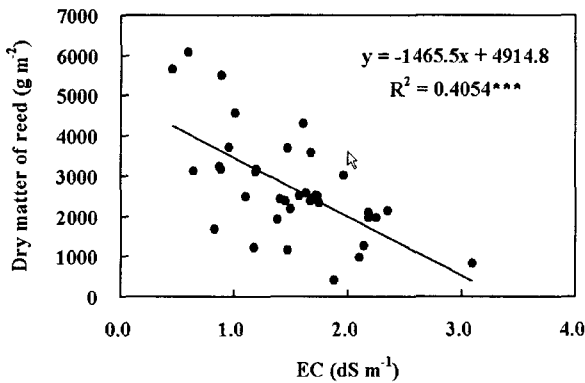


Fig. 2. Correlation between dry matter of reeds and electrical conductivity (EC_{1:5}) of soil for samples collected in June and August, 2000.

1,465.5 g 감소하는 것을 의미하고 있다. 그러나 2000년 11월 이후에 채취한 시료의 경우 Fig. 2에서 보는 바와 같이 삼화현 유역을 제외하고는 EC가 급격히 감소하여 유의한 상관관계가 나타나지 않았다. 주(1998)는 간석지 토양에서 염생식물인 갈대의 생육은 제염방법에 따라 차이가 나타나지 않았다고 보고하였지만, 연구 기간이 2개월로 비교적 짧기 때문에 본 연구와 상이한 결과가 나타났으리라 판단하였다. 하지만, 염농도 증가에 따른

갈대의 생육저해가 삼투포텐셜 감소에 의한 결과인지, 아니면 특정 이온에 의한 효과인지는 불명확하다.

갈대의 질소 및 인 함량 변화

갈대의 질소 및 인 함량은 계절에 따라 큰 차이를 보였는데, 생장이 왕성한 8월에는 질소 7.7~14.7 g kg⁻¹, 인 1.0~2.3 g kg⁻¹이었으며, 동면기에 해당하는 3월에는 질소 4.6~10.3 g kg⁻¹, 인 0.7~1.4 g kg⁻¹로 비교적 낮은 반면, 새순이 형성되는 5월~7월에는 질소 14.8~24.8 g kg⁻¹, 인 2.0~4.2 g kg⁻¹로 가장 높은 값을 나타냈다(한국수자원공사 2002).

갈대의 질소 및 인 함량 변화 양상은 서로 유사하였으며, 여름과 가을에 증가하였고, 겨울과 봄에 감소하였다(Table 4, 5). 건물중이 상대적으로 높았던 3월의 양분 함량이 건물중이 낮았던 5월과 7월보다 작은 것은 앞에서 언급한 갈대의 질소 및 인 농도가 3월에 가장 낮았기 때문이었다.

질소 함량은 2000년에 최대값을 보인 8월에 28.2~53.2에서 2001년 3월에 3.9~8.1 g N m⁻²으로 감소하여, 이에 따른 질소함량감소는 23.8~45.1 g N m⁻²으로 계산되었다. 또한 2001년에는 7월과 2002년 3월 사이에는 13.1~36.1 g N m⁻²이 감소하였다(Table 4). 인 함량 역시 같은 기간에 각각 2.1~5.9와 0.9~2.7 g P m⁻²이 감소하였다(Table 5).

이와 같은 변화는 갈대의 생육이 중단된 직후, 지상부 고사에

Table 4. Seasonal variations in the amount of nitrogen retained by reeds (unit: N g m⁻²)

Sites ^a	Sampling time							
	Jun-00	Aug-00	Nov-00	Mar-01	Jul-01	Sep-01	Mar-02	May-02
B _H	29.6 (9.5) ^b	53.2 (4.3)	20.3 (2.8)	8.1 (1.6)	44.6 (9.0)	34.1 (6.5)	8.4 (2.9)	39.3 (5.6)
B _L	21.5 (4.6)	41.7 (5.3)	14.0 (0.5)	6.0 (1.2)	30.9 (4.4)	24.0 (8.7)	7.8 (2.6)	22.9 (6.9)
D _H	10.5 (4.2)	28.6 (5.1)	8.1 (2.0)	4.7 (1.4)	20.0 (4.6)	26.1 (7.6)	5.7 (2.2)	26.6 (3.3)
D _L	19.8 (2.4)	28.2 (3.1)	11.6 (3.0)	4.4 (0.5)	20.6 (8.7)	27.1 (4.9)	4.3 (2.8)	13.2 (6.9)
S	12.8 (1.9)	30.6 (3.1)	6.7 (2.3)	3.9 (0.9)	15.9 (3.5)	12.9 (4.9)	2.8 (0.8)	7.6 (2.7)

^a B_H, Banweol high marsh; B_L, Banweol low marsh; D_H, Donghwa high marsh; D_L, Donghwa low marsh; S, Samhwa marsh.

^b Numbers in parentheses are standard deviations.

Values are the means of four sampling sites for BH, BL, DH and DL area and two sampling sites for S area.

Table 5. Seasonal variations in the amount of nitrogen retained by reeds (unit: P g m⁻²)

Sittes ^a	Sampling time							
	Jun-00	Aug-00	Nov-00	Mar-01	Jul-01	Sep-01	Mar-02	May-02
B _H	4.7 (1.3) ^o	7.0 (0.7)	3.6 (0.6)	1.2 (0.3)	4.2 (0.5)	3.2 (0.5)	1.5 (0.4)	3.8 (0.8)
B _L	3.7 (1.2)	4.9 (0.6)	2.0 (0.6)	1.0 (0.2)	2.9 (0.6)	2.2 (0.7)	1.2 (0.4)	4.8 (1.0)
D _H	1.8 (0.5)	3.2 (0.6)	1.4 (0.4)	0.8 (0.1)	2.2 (0.5)	2.8 (0.7)	1.2 (0.5)	2.2 (0.3)
D _L	3.6 (0.4)	3.2 (0.5)	2.3 (0.7)	0.6 (0.1)	2.2 (0.6)	3.0 (0.6)	0.8 (0.2)	5.1 (0.9)
S	1.6 (0.2)	2.8 (0.5)	1.2 (0.4)	0.7 (0.1)	1.8 (0.5)	1.5 (0.4)	0.4 (0.0)	1.9 (0.1)

^a B_H, Banweol high marsh; B_L, Banweol low marsh; D_H, Donghwa high marsh; D_L, Donghwa low marsh; S, Samhwa marsh.

^b Numbers in parentheses are standard deviations.

Values are the means of four sampling sites for BH, BL, DH and DL area and two sampling sites for S area.

따른 건물중의 감소(Table 3)와 월동을 위한 영양분의 지하경로의 이동에 의한 결과로 여겨졌다(김, 1975). 갈대에는 굵고 빠르게 성장하는 지하경이 있는데, 이는 최대 1 m 까지 성장하기 때문에(김, 1996), 표 4와 5에서 보는 바와 같이 질소 및 인 흡수량 감소에 대한 지하경으로의 양분 이동이 기여하는 정도를 무시할 수 없는 것으로 생각되지만, 본 연구에서는 갈대 지하경을 분석하지 않았기 때문에 지하경으로 이동한 질소와 인의 양을 추정할 수 없었다. 반대로 Table 2와 같이 갈대의 비생육기간에 해당하는 시점인 2000년 11월과 2001년 9월에 토양 유기물 함량이 상대적으로 증가한 것은 고사한 지상부가 토양에 유입되었음을 의미하였다. 비록 갈대 고사체의 분해 속도가 느려 즉각적인 부영양화가 일어나지 않더라도(주, 1998) 토양에 축적된 고사체는 장기적으로 습지 담수의 생물학적 산소 요구량을 증가시켜 부영양화의 원인이 될 수 있는데, 이러한 조건에서는 갈대의 생육이 저해될 수도 있다(최와 김 1999; Ostendorp 1989).

따라서, 본 연구는 갈대의 흡수에 의해 상당한 양의 질소 및 인이 인공습지에서 제거 될 수 있지만, 비생육기 동안 갈대 고사체의 분해 과정에서 영양염류가 다시 수중으로 방출될 수 있는 가능성을 제시한다. 비록 재방출된 영양염류의 습지생태계에 대한 영향은 조사하지 않았지만, 갈대 식재의 목적이 수질 정화이므로 갈대를 적정 시점에서 수확하는 등 필요한 관리를 하지 않을 경우에는 기존에 갈대가 함유한 영양염류가 인공습지로 재방출 되는 것은 물론, 대기로부터 고정된 이산화탄소가 습지생태계로 유입되어 오염물질의 양을 가중시키는 역효과가 나타날 수 있을 것이다. 하지만, 연구 대상 습지의 기능이 수질정화와 생태공원 조성이므로, 이 두 가지 기능을 유지시킬 수 구체적인 갈대 처리 방안을 모색할 필요가 있다.

인용문헌

김준호, 조경제, 문형태, 민병미. 1986. 낙동강 하구 사주의 갈대, 천일사초 및 갯잔디 군락의 생산동태. 한국생태학회지. 9: 59-71.
 김철수. 1975. 갈대군락의 현존량과 환경요인에 관한 연구. 한국

식물학회지 18: 129-134.
 김태경. 1996. 한국의 자원식물 V. 서울대학교 출판부. 서울. 56 p.
 김판건. 2002. 인공습지 토양에서 중질소 추적법을 이용한 질소의 형태변환 및 탈질 평가. 서울대학교 석사학위논문. 수원. 7 p.
 농업기술연구소. 1988. 토양화학분석법-토양, 식물체, 토양미생물. 수원. pp. 222-226.
 민병미, 김준호. 1983. 해안염습지 갈대군락의 무기영양소 순환과 분배. 한국식물학회지. 26: 17-32.
 이충일, 광영세. 2000. 정수식물의 내염성 및 NH₄⁺-N 흡수제거능 평가. 한국생태학회지. 23: 45-49.
 정연숙, 김준호. 1989. 간척지 갈대의 영양생장과 지상부 모듈의 개체군 동태. 한국생태학회지. 12: 171-182.
 정연숙, 노찬호. 2002. 양어장 배출수의 수처리를 위한 수생관속 식물의 적용 II. 정수식물인 줄 및 애기부들의 식물섬에서의 성장과 영양염류의 흡수력. 한국생태학회지 25: 45-49.
 주용규. 1998. 간척지에서의 갈대 시공법에 관한 연구. 한국정원학회지 16: 35-40.
 최동환, 김태섭. 1999. 인공습지의 수질정화: 갈대인공습지의 수질정화를 중심으로. 농공기술 9: 78-85.
 한국수자원공사. 2001. 시화호 인공습지 조성사업 모니터링 보고서. 수원.
 한국수자원공사. 2002. 시화호 인공습지 운영관리 방안. 수원.
 Arias C. A., M. D. Bubba and H. Brix. 2001. Phosphorus removal by sands for use as media in subsurface flow constructed reed beds. Wat. Res. 35: 1159-1168.
 Bachand, P. A. M. and A. J. Home. 2000. Denitrification in constructed free-water surface wetlands: II. Effects of vegetation and temperature. Ecol. Eng. 14: 17-32.
 Begg J. S., R. L. Lavigne, P. L. Veneman. 2001. Reed beds: constructed wetlands for municipal wastewater treatment plant sludge dewatering. Water Sci. Technol. 44: 393-398.
 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.
- Duggan, J., M. P. Bates and C. A. Philips. 2001. The efficiency of subsurface flow reeds bed treatment in the removal of *Campylobacter* spp., faecal coliforms and *Escherichia coli* from poultry litter. *Int. J. Environ. Health Res.* 11: 168-180.
- 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.
- Hammer, D. A. 1996. *Creating freshwater wetlands*. Lewis Publishers, N.Y. 406 p.
- Kern, J. and C. Idler. 1999. Treatment of domestic and agricultural wastewater by reed bed systems. *Ecol. Eng.* 12: 13-25.
- Lin Y. F., S. R. JIng, D. Y. Lee and T. W. Wang. 2002. Nutrient removal from aquaculture wastewater using a constructed wetlands system. *Aquaculture* 209: 169-184.
- Nichols, D. S. 1983. Capacity of natural wetlands to remove nutrients from wastewater. *Res. J. WPCF* 55: 495-505.
- Ostendorp, W. 1989. 'Die-back' of reeds in Europe -a critical review of literature. *Aqua. Bot.* 35: 5-26.

(2002년 9월 15일 접수 ; 2002년 10월 10일 채택)

Uptake Patterns of N and P by Reeds (*Phragmites australis*) of Newly Constructed Shihwa Tidal Freshwater Marshes

Ro, Hee-Myong[†], Woo-Jung Choi, Eun Ju Lee*, Seok-In Yun and Young-Dae Choi

School of Agricultural Biotechnology, Seoul National University

*School of Biological Sciences, Seoul National University**

ABSTRACT : This study was conducted to examine the seasonal pattern of N and P uptake by reeds (*Phragmites australis*) planted in newly constructed Shihwa tidal freshwater marshes. Reed and soil samples were collected from the wetland periodically from June 2000 to May 2002. Reed samples were analyzed for dry weight and content of N and P. Soil organic matter content and salinity were also determined. Dry matter content of reed increased during the growing season but decreased in the fall and winter. However, this seasonal pattern was not so evident in the second year. In particular, throughout the measurement period, dry matter content of reed was lowest at a site showing high soil salinity. Regression analyses between dry matter content of reed and soil EC(1:5) suggested that dry matter content per unit square meter would decrease by 1.5 kg with every 1 dS m⁻¹ increase in soil EC(1:5). The amount of N and P assimilated by reed significantly decreased from the fall and was lowest in the spring. Net decrease in N content from reed during the fall and next spring was calculated as 34.5 and 24.6 g m⁻² in the first and second years, respectively, while the corresponding P loss was 4.0 and 1.8 g m⁻². Soil organic matter content increased in the fall and winter, but decreased in the spring and summer. The results of this study suggested that the removal of N and P by reed would be considerable during the growing season but the nutrients taken up by reeds would return as detritus to the marshes in the fall and winter. Based on the results of the study, therefore, the harvest of the reed at the latter part of the growth would be recommended to prevent further water quality degradation. However, the long-term effects of reed harvest needs further study.

Key words : Nitrogen, Phosphorus, Reeds, Shihwa, Tidal freshwater marshes, Uptake, Wetland
