

6년 동안 운영한 인공습지의 처리효율 분석

허재규¹⁾ · 남종현¹⁾ · 김용전¹⁾ · 김인선¹⁾ · 최경숙¹⁾ · 최승익²⁾ · 안태석¹⁾

¹⁾ 강원대학교 환경학과 · ²⁾ 강원대학교 환경연구소

Analysis of Efficiency of Artificial Wetland for Waste Water Treatment Past Six Year Operation

Hur, Jai-Kyou¹⁾ · Nam, Jong-Hyun¹⁾ · Kim, Yong-Jeon¹⁾ · Kim, In-Seon¹⁾
Choi, Kyoung-Suk¹⁾ · Choi, Seung-Ik²⁾ and Ahn, Tae-Seok¹⁾

¹⁾ Kangwon National University, Department of Environmental Science,

²⁾ Institute of Environmental Research of Kangwon National University, Chuncheon, Korea.

ABSTRACT

For waste water treatment, artificial wetland was constructed in 1998. The size of artificial wetland is 20m × 200m, with sand and gravel as media and *Phragmites japonica* was implanted. The removal rate of BOD, TN, and TP were 86%, 33% and 25% from June 2004 to November 2005 respectively, while those were 88%, 38% and 55% in 1999. Organic materials and nitrogen compounds are still effectively removed, after 6 years of construction, but the removal efficiency of phosphorus compounds is reduced. So for sustaining of artificial wetland as waste water treatment system, the removal efficiency of phosphorus compounds must be elevated.

Key Words : *Monitoring, Nutrient removal, Subsurface flow wetlands, Total phosphorous.*

I. 서 론

인공습지를 이용한 오수처리 방안은 건설비용과 운전비용이 적게 든다는 경제적인 장점과 새로운 생태계를 만든다는 장점이 있다(Ahn and Kong, 1998). 국내에서는 1995년 군부대에 인공습지를

건설하여 오수처리 시설로 활용한 사례가 있고(김도선, 1998), 이후 여러 곳에 설치하여 운영 중이다. 군부대는 유량이 풍부하지 않은 계곡이나 소하천에 생활 오수를 처리하지 않은 상태로 방류하여 하천이나 계곡을 오염시키고, 이로 인해 하천 주변 주민들의 민원이 발생하게 된다. 예

Corresponding author : Ahn, Tae-Seok. Department of Environmental Science, College of Natural Sciences, Kangwon National University Hyojadong 192, Chuncheon 200-701, Korea,
Tel : +82-33-250-8574, E-mail : ahnts@kangwon.ac.kr

Received : 4 January, 2007. **Accepted** : 12 May, 2007.

로 1995년에 하천오염에 따른 민원이 발생한 군부대에 지표면흐름방식의 인공습지를 조성한 결과 이 민원 사항이 해결된 경우도 있다(안태석 등, 1987).

인공습지는 구성물에 의해 다양한 제거기작으로 오염물을 처리하는데, 제거 기작은 크게 침전, 흡착과 같은 물리적인 기작과 식물과 미생물에 의한 흡수, 분해 같은 생물학적 기작으로 구분된다(황순진·공동수, 1999). 또한, 인공습지의 영양염류의 비축(mass budget)은 질소의 경우 물리적으로 제거되는 비율이 14.0%, 식물에 의해 제거하는 비율이 8.6% 이었다. 인의 경우는 물리적으로 34.7%, 식물에 의해 4.1%가 제거되었(Ahn and Kong, 1998). 즉, 식물자체로 흡수되는 질소와 인의 양은 적으나, 이들이 인공습지 생태계를 활성화시켜 미생물에 의한 생물학적인 제거보다 물리적으로 제거되는 양이 더 많음을 확인 할 수 있었다. 그리고 식물의 주기적인 제거를 통하여 인공습지의 정화 기능을 지속적으로 유지할 수 있었다(공동수 등, 1996). 한편, 물리적 제거는 주로 흡과 모래층으로 이루어진 습지의 몸통인 토양층(media)의 물리·화학적 성질에 크게 의존한다. 따라서 오염이 장기간 유입될 경우, 이 토양층(media)의 물리·화학적 성질이 조성 초기의 상태와 다르게 변화 된다. 따라서 인공습지 조성 초기에는 매우 높은 제거효율을 보이지만, 시간의 경과 후에는 제거효율이 저하되는 경우가 많다. 이는 습지로 유입되는 TP의 양이 습지가 처리할 수 있는 능력을 벗어나 제거가 이루어지지 못하는 것이다. 일반적으로 습지의 TP의 저장능력은 1.0g/m²/year 정도로 보고되었다(Richardson and Craft, 1993). 즉, 이 저장능력을 넘는 경우, TP의 제거효율은 낮아지는 것이다.

기존의 연구들은 인공습지를 조성한 직후 나 인공습지가 생태계적으로 안정된 후 처리효율을 분석하였으며, 이 연구에서처럼 장기간에 걸쳐 이 처리 효율이 유지되는지 보고된 바는 없다. 이 연구는 1998년 11월 군부대의 하수처리용으로

조성된 인공습지에서 1999년 1월부터 7월까지의 분석자료(박현진, 2001)와 6년이 지난 후인 2004년 6월부터 2005년 11월까지의 분석 자료를 활용하여 오염물질 제거능력이 제대로 유지되고 있는지를 확인하였다. 기존의 연구와는 달리 인공습지의 조성 후 관찰을 통하여 제거율이 유지되고 제거가 안정적으로 이루어지는 지를 각각의 항목별로 분석하였다. 이는 국외와는 다른 뚜렷한 계절적인 특징을 가진 국내 기후에서 인공습지 조성에 있어서 필요한 요인을 확인하는데 있다. 또한 이 결과는 국내에 설치된 인공습지의 유지관리에 필요한 자료로 사용될 수 있을 것이다.

II. 재료 및 방법

1. 인공습지 제원

이 연구는 1998년 11월부터 군부대에 설치되어 운영 중인 인공습지에서 수행되었다. 인공습지는 중간지점에 폭기조가 설치된 지표면하 흐름

Table 1. Design parameters of artificial wetland installed at army base for wastewater treatment system (김, 1998).

System type	Subsurface flow	
Surface Area(m ²)	70.0m × 21.0m	
Depth(m)	0.6	
Q(m ³ /day)	150	
Retention time(day)	2 ~ 3	
Pretreatment	Septic tank Volume control tank	
Substrate material	Gravel + Sand	
Vegetation	<i>Phragmites japonica</i>	
Cell Number	30	
BLOWER	Type	ROOT type
	Size	100A × 5.5KW × 6.31m ³ /min × 0.kgf/cm ²
	No.	2 set(1 set spare)

방식(Subsurface flow type)이고, 독립적으로 30개의 cell로 구성되어있으며, 각 cell에 media로 자갈, 모래($\Phi 20 \sim 50\text{mm}$)를 깊이 0.6m로 채우고, 여기에 달뿌리풀(*Phragmites japonica*)을 m²당 4~5개체를 식재하여 조성되었다. 습지제원은 Table 1에 나타냈다(김도선, 1998).

2. 시료채취 및 분석

인공습지를 조성한 직후인 1999년의 조사결과는 박현진(2001)의 자료를 인용하였다. 인공습지 조성후 6년의 경과 후에 시료 채취는 2004년과 2005년에 걸쳐 총 6회(2004년 6월 25일, 2004년 9월 17일, 2005년 4월 11일, 2005년 8월 5일, 2005년 10월 18일, 2005년 11월 29일) 실시하였다. 유입수와 방류수를 각각 채취하였으며(Figure 1), 현장에서 수온(Digital Thermometer), pH(TR.104), 전기전도도(YSI 85)를 각각 측정하였고, 시료는 냉장 보관하여 실험실로 옮겨 생물화학적산소요구량(BOD), 총질소(TN), 총인(TP)을 표준공정시험법(Standard Methods)에 따라 분석하였다(APHA, 2001).

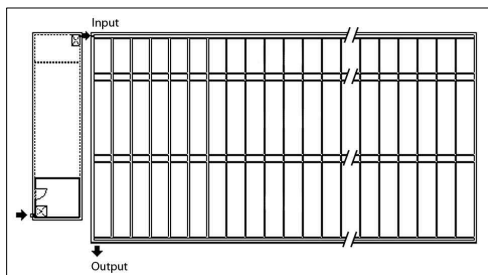


Figure 1. Sampling site of artificial wetland installed at army base for wastewater treatment system.

3. 통계분석

각 지점의 BOD, TN, TP를 분석한 후 각각의 자료를 통하여 1999년과 이번 조사에서 파악된 처리효율간의 관련성 여부와 관계를 밝히기 위한 통계 분석을 실시하였다. 각각의 결과에 유의성을 알아 보기위해 SPSS 12.0을 이용하여 처리효율의 통계처리를 T-test로 실시하였다. 통계분석

을 위한 SPSS처리에서 각각의 인자로 n=5개로 분석하였으며, 각각의 측정항목을 유입수와 방류수로 나누어 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 일반 환경 조사

유입수의 수온은 13.6~21.0°C 범위였고, 방류수는 1.4~23.0°C 범위로 계절에 따른 외부기온에 영향을 받아 유입수보다는 큰 온도 변화를 보였다. 수소이온농도인 pH는 유입수와 방류수 각각 6.3~8.3, 6.9~8.0 범위로 계절에 따른 큰 변화가 없었다. 유입수의 전기전도도는 0.58~0.93 $\mu\text{s/cm}$, 방류수는 0.39~0.76 $\mu\text{s/cm}$ 의 범위 값을 나타냈다. 계절변화에 따른 주기적인 변화는 보이지 않았다(Table 2).

Table 2. The variation of water quality parameters in artificial wetland system at army bases.

Date	Site	Temp. (°C)	pH	Cond (ms/cm)
Jun. 25. 2004	Input	-	-	-
	Output	21.6	7.6	0.76
Sep. 17. 2004	Input	21.0	7.0	0.93
	Output	19.0	7.2	0.65
Oct. 18. 2005	Input	17.9	7.2	0.73
	Output	15.7	7.1	0.43
Nov. 29. 2005	Input	13.6	6.3	0.58
	Output	5.2	7.3	0.39
Jan. 18. 1999	Input	-	-	-
	Output	1.4	7.65	0.44
Feb. 25. 1999	Input	13.7	7.17	0.90
	Output	1.1	6.94	0.61
Apr. 05. 1999	Input	13.8	8.10	-
	Output	9.4	7.85	-
May. 21. 1999	Input	18.3	8.26	1.01
	Output	19.3	7.97	1.11
Jun. 24. 1999	Input	19.4	6.78	0.58
	Output	21.6	7.69	0.76
Jul. 23. 1999	Input	21.0	6.73	0.90
	Output	23.0	7.18	0.60

2. 분석 측정 결과

인공습지에서 2005년에 시행된 BOD, TN, TP의 결과는 Table 3에, 1999년(박현진, 2001)의 결과는 Table 4에 나타내었다.

Table 3. The mean concentrations of BOD, TN and TP at input and outflow in artificial wetland system from June 2004 to November 2005.

DATE	Site	BOD (mg O ₂ /ℓ)	TN (mg N/ℓ)	TP (mg P/ℓ)
Jun. 25. 2004	Input	141.2	-	-
	Output	10.8	-	-
Sep. 17. 2004	Input	119.6	-	-
	Output	24.1	-	-
Apr. 11. 2005	Input	176.9	3.1	0.8
	Output	43.7	2.7	0.7
Aug. 05. 2005	Input	107.3	9.2	1.3
	Output	6.2	1.3	0.3
Oct. 18. 2005	Input	175.9	25.1	7.0
	Output	35.8	16.3	5.6
Nov. 29. 2005	Input	187.1	27.4	6.9
	Output	6.9	22.8	5.4
Average	Input	161.8	16.2	4.0
	Output	23.1	10.8	3.0
Removal rate		85.7	33.4	24.7

Table 4. The mean concentrations of BOD, TN and TP at input and outflow in artificial wetland system from JANUARY to JULY in 1999(박현진, 2001).

DATE	Site	BOD (mg O ₂ /ℓ)	TN (mg N/ℓ)	TP (mg P/ℓ)
Jan. 18. 1999	Input	128.0	65.8	4.8
	Output	21.3	47.0	1.9
Feb. 25. 1999	Input	153.0	89.0	8.0
	Output	18.4	82.7	3.5
Apr. 05. 1999	Input	134.3	131.0	9.4
	Output	17.9	54.0	1.5
May. 21. 1999	Input	114.4	106.9	10.0
	Output	18.9	68.6	2.4
Jun. 24. 1999	Input	188.6	45.5	5.7
	Output	16.7	47.2	4.3
Jul. 23. 1999	Input	231.4	65.8	3.5
	Output	15.3	330.1	2.5
Average	Input	158.3	84.0	6.9
	Output	18.1	55.02	2.7
Removal rate		87.7	36.7	55.0

1) 유기물(BOD)

2005년에 분석한 BOD의 제거효율은 평균 85.7%이었고, 유입수와 방류수의 평균 농도는 각각 161.8, 23.1mg O₂/ℓ 이었다. 인공습지의 조성 직후인 1999년(박현진, 2001)의 결과인 87.7%와 약 2%의 차이로, 유사한 제거율을 보였다. 이때의 제거효율 결과와 2005년의 결과를 T-test 분석한 결과(Table 5) 유의 확률은 0.748로 유의수준 0.05보다 크게 나와 두 결과의 유의성이 있는 것으로 나타났으나 그 값의 차이는 매우 작다.

인공습지에서 유기물의 제거는 주로 물리적으로 제거된다. 즉, 유입수를 통하여 유입되는 입자 형태의 유기물질이 저층으로 가라앉거나 식물체와 media에 부착하여 제거된다. 이들 대부분은 미생물에 의한 분해 과정을 거쳐 분해산물인 TP, TN, 저분자 유기물질 등은 식물과 미생물이 이용한다(Kaldec and Knight, 1996). 인공습지에서 일어나는 미생물학적 처리과정은 유기물질분해 과정, 질산화 과정, 탈질화 과정 및 병원성균의 제거가 포함이 된다. 이러한 미생물학적 처리과정은 온도, pH, DO 등과 같은 주위 환경에 큰 영향을 받고, 식생조건과 같은 생물학적 조건에 의해서도 영향을 받는다(Reed et al., 1995). 예로 식생이 발달한 습지에서는 그렇지 않은 습지보다 더 많은 유기물을 부착하여 여과하고 미생물의 분해과정이 더 컸다. 예를 들어 동일한 오수를 처리한 경우, 식생이 잘 발달된 곳에서는 유기물의 축적량이 4kg/m²이었고, 식물이 식재되지 않은 습지에서는 축적량이 0.4~2.3kg/m²이었다(Tanner and Sulias, 1995). 즉 식생이 잘 발달된 곳에서 더 많은 유기물을 여과하여 제거할 수 있다.

BOD의 제거율은 오랜 시간이 경과 후에도 안정된 제거율을 유지하고 있었는데, 이는 군부대 오수의 특성상 년 중 일정한 온도가 배출되고, 식물의 안정적인 산소공급과 폭기조의 운영으로 인한 것으로 사료된다. 또한 유입수의 유기물 농도가 인공습지에서 제거 가능한 농도범위는 초과하지 않았기에 인공습지의 제거효율이 안정적으로

Table 5. The T-test Results of BOD, TN and TP(between 1999 data and 2005data).

	Mean	SD	t	p
BOD(1999)	87.7	4.0	0.34	0.748
BOD(2004)	86.3	9.0		
TN(1999)	32.6	21.3	0.143	0.895
TN(2004)	28.4	44.5		
TP(1999)	69.3	13.3	1.923	0.149
TP(2004)	31.7	30.4		

유지된 것으로 확인되었다.

2) 총질소(TN)

인공습지에서 2005년에는 TN의 제거효율은 평균 33.4%의 제거효율을 보였고, 유입수와 방류수의 농도는 각각 16.2, 10.8mg N/ℓ 이었다. 제거효율은 1999년의 36.7%보다 약 3.3% 낮아졌고, 2004년 유입수의 평균 TN의 농도는 1999년에 비해 TN 농도가 약 1/5 수준이었다. 이는 1999년 정화조와 유량조정조 사이에 저류지(5×5×0.5m)가 없었으나, 유입정화조 상류에 인공연못을 설치하고, 여기에 부레옥잠을 키운 결과로 인공습지에 유입되는 TN 농도가 낮아진 것으로 사료된다. 1999년의 결과와 2005년의 결과를 T-test로 분석한 결과(Table 5) 유의 확률은 0.895로 처리효율의 평균값들에 변화가 있는 것으로 나타났으나, 그 차이는 작았다.

3) 총인(TP)

인공습지에서 2005년에 분석한 TP의 제거효율은 평균 24.7%이었고, 유입수와 방류수의 농도는 각각 4.0과 3.0mg p/ℓ 이었다. 인공습지의 조성직후인 1999년(박현진, 2001)에 조사한 결과에서는 55.0%로 2005년의 제거효율은 1999년의 약 1/2정도에 불과하였다. 두 자료를 분석한 T-test 결과(Table 5) 유의 확률은 0.149로 처리효율의 평균값에 변화가 있었다.

인공습지에서 TP의 제거는 질소보다 상대적

으로 효율이 좋지 못하며, 인공습지가 저장하는 능력이 한계에 이르면 처리효율이 낮아지지만 (Richaedson, 1985), 한계수준에서도 침전에 의한 퇴적물 매립(sediment burial) 현상이 진행되어 인의 제거는 어느 정도 가능하다(Howard-Williams, 1985). Sato and Kondo(1981)는 영양염류의 농도 변화에 따른 부레옥잠(*water hyacinth*)의 TN과 TP의 흡수량은 각각 최대 1.31, 0.27g/m²/day를 제거가능하다고 하였다. 박현진(2001)의 연구에서는 갈대의 경우 TP의 최대 흡입량은 2.71mg/g이었다. 또한 팔당호 수생식물의 TN과 TP의 흡수량은 1.20~2.41g/m²/day과 0.22~0.45g/m²/day으로 연구되었다(공동수 등, 1996).

인공습지를 조성한 후 6년의 시간이 경과 후 BOD, TN의 차이는 크게 없이 유사한 제거율을 나타냈다. TP의 제거율은 약 1/2정도인 평균 24.7%로 낮아졌다. 인공습지의 제거율을 유지하기 위해서는 무엇보다 TP의 제거율을 높여주어야 한다. 인공습지는 조성과 유지에 있어서 기기를 이용한 공정보다 경제적이지만 장기간의 운영에서는 TP의 제거율이 낮아진다. 이는 인의 제거가 주로 물리적인 토양층 여과효과(filter media)의 흡착특성에 의존하기 때문이다(Machlum, 1998).

인공습지를 장기간 운영할 경우는 낮아지는 TP의 제거율을 높여주어야 한다. 질소보다 상대적으로 제거율이 낮은 인의 제거율을 높이기 위해서는, 첫 번째로 인공습지 식생식물을 주기적으로 제거해주어야 한다. 수생식물제거에 의한 영양염류의 제거는 연중 9월에 수생식물을 제거 해주었을 때 가장 높은 효과가 있는 것으로 보고되었다(공동수 등, 1996). 둘째로 습지내의 식생 기반재인 토양층(media)을 주기적으로 교체하여 습지내 영양염류의 흡착정도를 일정하게 유지하는 방안이 있다. 이를 위해서는 토양층(media)분석을 하여 토양층(media)의 흡착이 포화되는 시간을 확인하여 최적시간에 토양층(media)를 교체하여 주는 방안이 있다. 이 방법은 인공습지 계획 단계에 반영을 해서 토양층(media)가 교체 가능

하도록 고안을 하여야 한다. 세 께로 인공습지에서 토양층(media)의 구성에 있어서 인 등의 영양염류를 잘 흡착하는 인공 토양층(media)를 이용하여 건설하는 방법이 있다. 이미 많은 연구가 이루어진 인공토양 중 흡착정도가 높고 꾸준히 지속되는 인공토양을 토양층(media)로 선택하여 조성한다. 흡착제로 이용되는 제올라이트(zeolite)의 연구에서 파쇄골패각의 영양염류 제거력은 3~6분만에 최대 76%의 제거력을 보였다(김종인, 1996). 네 번째 방법은 유입수가 인공습지로 유입되기 직전에 유입수의 SS를 제거해 주는 방법이다. 일반적으로 환경에서 SS는 T-P, PO4-P와 유의성 있는 중상관관계를 가지고 있는 것으로 보아 강우의 영향을 많이 받는 부유물질에 인(P)이 다량 포함되어 유입되는 것으로 연구되었다(황선경, 2006).

IV. 결 론

초기 습지건설 후 측정된 1999년(박현진, 2001)년 결과와 6년 후인 2004, 2005년의 BOD, TN, TP의 제거효율에서 1999년의 제거효율은 87.7%, 36.7%, 55.0%의 제거효율을 보였고, 최근에 제거효율은 BOD, TN, TP가 각각 85.7%, 33.4%, 24.7%로 BOD와 TN은 다소 낮긴 하였지만 비슷하였고, TP는 1999년 결과에 비해 1/2의 낮은 효율을 나타냈다. 이는 인공습지운영 초기에는 식생한 식물이 안정된 성장을 위해서 보다 많은 양의 영양염류 및 유기물을 필요로 하고, 토양층(media) 공극이 비어있어 많은 양을 흡착하고 침전시킨 것으로 사료된다. 인 이외에는 모두 인공습지 건설 직후와 비슷한 비교적 안정적인 제거 효율을 나타내었는데, 이로 인해 지표면하 흐름방식의 인공습지는 6년의 시간 경과 후에도 주변 환경에 잘 적응하여 안정적으로 운영됨을 확인 할 수 있었다. 현재까지 영양염류제거에서 특히 인의 제거는 잘 이루어지지 않는다는 연구 결과가 있다. 하지만 영양염류의 제거를 극대화 시키는 방법은

있으나 영양염류가 어느 시기부터 제거가 잘 안 되는지에 대한 연구는 대략적인 결과 말고는 없다. 이에 이 연구에서는 장기적인 모니터링을 통하여 국내 적용하여 운영중인 인공습지중 하나를 선택하여 이 연구를 실시하였다. 앞으로 이 연구는 영양염류 중 제거효율이 낮아지는 인에 대해서는 국내에 맞는 개선방안이 필요하며, 지속적이고 보다 안정적인 인공습지운영 방안을 얻기 위하여 인공습지에서 장기적인 관찰(monitoring)을 통한 연구가 필요하다.

감사의 글

이 논문은 2006년도 정부(과학기술부)의 재원으로 국제과학기술협력재단의 아 수행된 연구임(No. 2006-00519).

인 용 문 헌

- 김도선. 1998. 군부대 오수처리 효율성 향상을 위한 인공습지의 이용방안. 강원대학교 대학원 이학석사 학위논문.
- 김종인. 1996. 골폐각을 이용한 세제의 인(燐) 흡착 제거 및 *Daphnia magna* 독성실험. 경남대학교 대학원 이학석사 학위논문.
- 공동수 · 정원화 · 천세억 · 김종택. 1996. 호소내 오염하천 유입부의 식물에 의한 정화처리 연구(II). 국립환경연구원 NIER 96-17-488 : 247.
- 박현진. 2001. 생활오수 처리를 위한 지표면하 흐름식 인공습지의 적용. 강원대학교 이학석사 학위 논문.
- 안태석 · 정의호 · 이찬기 · 박상균 · 최지용. 1997. 인공습지를 이용한 군부대 오수정화 처리에 관한 연구. 과학기술정책관리 연구소.
- 장정렬. 2005. 농업유역 비점원오염 저감을 위한 인공습지 설계인자 평가, 서울대학교 대학원 박사학위논문.

- 황순진 · 공동수. 1999. 습지의 인 Sink 기능에 영향을 미치는 생물학적요인들. 한국육수학회지 32(2) : 79-91.
- 황선경. 2006. 비점오염물질 저감을 위한 인공습지의 수질정화효율 평가 -전남 무안 감돈 지구를 대상으로-. 한양대 대학원 공학석사 학위논문.
- Ahn Tae-Seok and Kong Dong-Soo. 1998. Application of ecotechnology for nutrients removal. Kangwon national university. 환경연구 15 : 145-152.
- APHA(American Public Health Association). 2001. Standard method for the examination of water and wastewater.
- Brix, H. 1990. Gas exchange through the soil-atmosphere interphase and through dead culms of *Phragmites australis* in a constructed reed bed receiving domestic sewage. *Water Research*, 24 : 259-266.
- Gersberg, R. M., Elkins, B. V. and Goldman. C. R. 1984. The use of artificial wetlands to remove nitrogen from wastewater. *J. Water Pollut. Control Fed*, 56 : 152-156.
- Howard-Williams, C. 1985. Cycling and retention of nitrogen and phosphorus in wetlands : a theoretical and applied perspective. *Fresh Water Biol*, 15 : 391-431.
- Jing, S. R., Lin, Y. F., Lee, D. Y., and Wang, T. W. 2001. Nutrient removal from polluted river water by using constructed wetland, *Bioresource Technology*, 76(22) : 131-135.
- Kadlec, R. H., and R. L. Knight. 1996. *Treatment wetlands*. CRC Lewis Publishers. Boca Raton. Florida.
- Mæhlum, T. 1998. Cold-climate constructed wetlands : Aerobic pre-treatment and horizontal subsurface flow system for domestic sewage and landfill leachate purification : Doctor scientiarum theses, Agricultural University of Norway.
- Reed S. C., Middlebrooks, E. J., and Crites, R. W. 1998. *Natural Systems for Waste Management and Treatment*. Mc. Graw-Hill, New York.
- Reed S. C., Middlebrooks, E. J., and Crites, R. W. 1995. *Natural Systems for Waste Management and Treatment*, 2nd ed. Mc. Graw-Hill, New York.
- Richardson, C. J., and C. B. Craft. 1993. Effective phosphorus retention in wetland : fact or fiction (In Moshiri, C.B. ed., "Constructed Wetland for Water Quality Improvement"). Lewis Publishing Inc., Boca Raton, FL, 271-282.
- Richardson, C. J. 1985. Mechanism controlling phosphorus retention capacity in freshwater wetlands. *Science*, 228 : 1424-1426.
- Rogers, H. H., and D. E. Davis. 1972. Nutrient Removal by Water hyacinth. *Weed Science*, 20 : 423.
- Spiels, D, J., and W. J. Mitsch. 2000. The effects of seasons and hydrologic and chemical loading on nitrate retention in constructed wetland : a comparison of low-and high-nutrient riverine system. *Eco. Eng*, 14 : 77-91.
- Sato, H., and T. Kando. 1981. Biomass production 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. Eol*, 31 : 257-267.
- Tanner C. C., and J. P. Sukias. 1995. Accumulation of organic solids in gravel-bed constructed wetlands. *Wat. Sci. Tech*, 32(3) : 29-239.