



〈그림-2〉 지하수면(SF) 인공습지의 단면도

성, 홍수 저류와 지하수 함양의 수문학적 기능, 침전물의 안정화와 부식 조절의 토양학적 기능, 독성물질 제거, 영양염류 흡착과 같은 환경적 기능 등 다양한 기능을 가지고 있다.

인공습지의 기능은 설계목적에 따라 다르다. 인공습지의 대부분은 하수처리과정의 일부분으로 설계되나 일부의 인공습지는 자연 생태계 복원이나 야생동물의 서식지의 확보, 홍수조절 및 지하수 함양을 위하여 설치되기도 한다.

4. 인공습지의 오염물질 정화작용

인공습지내의 오염물질 정화작용은 물리적, 화학적, 생물학적 및 생물화학적 작용을 받아 수행된다. 물리적 정화작용으로는 여과, 퇴적, 부상(Floatation), 회석 등이 있다. 화학적 정화작용으로는 흡착, 이온교환, 침전, 킬레이션, 휘산, 광분해 등이 있다. 생물 및 생물화학적 정화작용으로는 호기성 분해, 혐기성 분해, 광화, 질산화, 탈질화, 고정화, 식물섭취 등이 있다. 이들 정화작용은 인공습지의 설계목적, 위치 및 관리방법에 따라 복합적으로 작용하며 오염물질을 처리한다.

II. 인공습지의 설계

1. 인공습지의 주요한 정화요소

인공습지에서 오염물질이 목적대로 정화되기 위한 주요한 정화요소는 접촉여재(media),

식물, 물, 척추 및 무척추동물, 호기성 및 혐기성 미생물 등이다. SF 인공습지의 경우 접촉여재는 자갈이 많이 사용되며 FWS 인공습지는 수중식물의 줄기가 접촉여재의 역할을 한다. 접촉여재는 막힘이나 정체수역이 없이 물의 이동이 원활이 이루어질 수 있도록 설계되고 관리되어야 한다.

2. 인공습지의 목표 오염물질 (Target pollutant)

하수에 포함된 오염물질의 성질에 따라 인공습지를 설계해야 한다. 따라서, 목표 오염물질이 BOD, TSS, T-N, T-P, 병원균 혹은 중금속인가에 따라 인공습지의 설계방법이나 운영관리 방법도 다르다. 농업과 관련된 인공습지의 경우 BOD나 TSS가 주요 목표 오염물질이 되고 이들을 효과적으로 제거할 수 있도록 설계가 이루어진다. 설계방법에 따라 다소 차이는 있어도 TSS는 인공습지에서 효율적으로 제거되므로 TSS 보다는 BOD의 제거를 위한 습지설계가 많이 이루어지고 있다.

3. 인공습지의 설계원리

인공습지에서의 정화작용은 자연적 및 인위적인 변수에 영향을 받기 때문에 수학적으로 정확히 모델링할 수 있는 방법은 없다. 따라서 이론과 경험을 적절히 조화시킬 수 있는 평형방정식(Mass balance equation)을 이용하여 인공습지의 크기를 결정한다. 모델(1)과 (2)는 평형방정식에서 유도된 공식으로 인공습지의 표면적을 산출하는데 많이 이용된다.

$$A_s = \frac{Q(\ln C_0 - \ln C_e)}{K_p \nu a} \dots\dots\dots (1)$$

$$A_s = \frac{Wk_s(\ln C_0 - \ln C_e)}{K_t \alpha} \dots\dots\dots (2)$$

여기서, A_s = 습지의 표면적(m^2), Q = 유입 및 유출 유량(m^3/d), C_0 = 유입수의 오염물질 농도(g/m^3 혹은 mg/l), C_e = 유출수의 오염물질 농도(g/m^3 혹은 mg/l), K_t = 온도 t 에서의 오염물질 제거율 (d^{-1}), y = 인공습지의 깊이 (수심, m), α = 접촉여재(Media)의 공극율, W = 인공습지의 폭(m), k_s = 접촉여재의 수리전도도($m^3/m^2 \cdot d$), 그리고 s = 수면의 동수경사(SF 인공습지) 이다.

3. 모델 변수의 결정

가. 수심 (y)

SF 인공습지의 수심은 인공습지의 목표 오염물질에 따라 달라질 수 있다. 수중 유기물의 제거가 목적인 인공습지는 습지의 바닥까지 충분한 산소가 공급될 수 있도록 수심이 얕은 것이 좋다. 식물의 뿌리가 깊이 뻗는다 해도 산소공급이 원활히 이루어지지 못하면 유기물 분해가 늦어지고 냄새가 발생할 수 있기 때문에 수심을 깊게 하는 것은 바람직하지 않을 수 있다. 또한 SF 인공습지의 경우, 식재한 식물의 뿌리가 공극을 막아 수리전도도를 낮추고 산소공급을 차단할 수 있으므로 처리해야 할 하수의 농도가 높을 경우는 식물의 식재여부를 심각히 고려해야 한다. SF 인공습지의 수심은 통상적으로 60cm 내외로 결정한다. 굵은 자갈을 접촉여재로 사용할 경우는 습지의 표면에 잔 자갈층을 만들어 냄새를 줄이고 수초식물의 도복을 방지하는 것이 좋다. 약 15cm 정도 깊이의 잔 자갈층은 수심에 포함하지 않으며 접촉여재 속으로 스며들지 못하도록 필터재료로 구분하는 것이 좋다. FWS 인공습지의 수심은 습지바닥까지 산소공급량과 수중식물이 지탱할

수 있을 정도의 수심을 고려하여 결정한다. FWS 인공습지의 수심은 보통 15 cm에서 1m 까지 사용되고 있으나 습지의 용존산소 소모량을 고려하여 적절히 결정한다.

나. 공극률 (α)과 수리전도도 (k_s)

인공습지의 공극률은 습지의 수리학적 성능과 수명에 영향을 준다. 특히, 공극율은 설계 모델에서 나타난 것처럼 인공습지의 표면적과 밀접한 관계가 있다. 공극률이 균일하지 못하여 정체수역이 발생하거나, 난분해성 부유물질이 퇴적되어 수리전도도가 저하되는 지역이 발생하면 이 지역에서는 오염물질의 생물학적 분해가 원활히 일어나지 못하는 불활성 지역으로 변하며 궁극적으로는 인공습지의 기능을 약화시켜 오염물질을 처리할 수 없게 된다.

SF 인공습지의 공극률과 수리전도도는 <표-1>과 같이 접촉여재의 크기에 따라 변한다. FWS 인공습지의 공극은 시스템 내의 식물의 양에 따라 변화하는데, 주로 0.6~0.98의 범위를 갖는다.

<표 - 1> SF 인공습지 접촉여재용 자갈의 공극과 수리전도도

자갈의 종류	유효입경 (mm)	공극률 (%)	수리전도도 ($m^3/m^2 \cdot d$)
굵은 모래	2	32	1,000
작은 자갈	8	35	5,000
자갈1	16	38	7,500
굵은 자갈1	32	40	10,000
호박돌	128	45	100,000

수리전도도는 중요한 설계요소이다. 많은 SF 인공습지가 부적절한 수리전도도의 사용으로 제 기능을 발휘하지 못하고 실패했다. 대부

분의 SF 인공습지에서는 접촉여재로 자갈을 사용하나 사용하는 자갈의 크기가 일정하지 않고 또한 자갈공급회사의 자갈도 회사마다 다르기 때문에 수리전도도를 예측하기 어렵다. 또한 난분해성 유기물의 퇴적이나 미생물의 번식으로 접촉여재의 공극이 막히거나 줄어들면 수리전도도는 작아지기 때문에 설계수리전도도를 정확히 예측하기는 더욱 어렵다. 설계수리전도도가 실제보다 크게 예측되었다면 인공습지의 규모는 필요로 하는 크기보다 작게 되어 설계목적은 달성할 수 없게 된다. 반면에 설계수리전도도가 실제보다 작게 예측되었다면 인공습지의 크기는 필요로 하는 크기보다 크게 되어 건설 및 운영경비가 많이 들게 된다. 따라서 이론적인 수리전도도의 예측보다는 실험을 통해 정확한 수리전도도를 측정하여 설계에 반영해야 한다. 또한 유기물의 퇴적과 미생물의 번식으로 인한 공극의 감소로 발생할 수 있는 수리전도도의 감소를 예상하여 실제측정된 수리전도도보다 작은 수리전도도를 설계시 사용해야 한다.

다. 경사

FWS 인공습지의 수면 경사는 유입부와 유출부 사이의 수위차이로 조절하기 때문에 인공습지의 바닥을 경사지게 설계할 필요는 없다. SF 인공습지도 유입부와 유출부의 수위차를 조정하여 유입 및 유출수량을 결정할 수 있기 때문에 특별한 경우가 아니라면 바닥 경사를 줄 필요가 없다. 초기의 SF 인공습지 설계시에는 3~8%의 바닥경사를 주었으나 최근의 설계시에는 바닥경사를 0~1%로 작게 준다. SF 인공습지의 바닥경사는 접촉여재가 설계대로 물에 잠길 수 있도록 적절하게 주는 것이 중요하다. 경사가 급하면 인공습지의 상류부 접촉여재는 물에 잠기지 않고 하류부에서는 하수가 지면위로 스며나오게 된다. 반면

에 경사가 너무 완만하면 상류부 접촉여재는 물에 잘 잠기나 하류부에서는 접촉여재를 통과하는 동안 발생하는 수두손실로 접촉여재가 물에 잠기지 않고 따라서 정화기능이 약화되게 된다. 따라서 SF 인공습지의 경사는 접촉여재의 크기, 수리전도도, 하수의 농도 등을 고려하여 결정해야 한다.

라. 세장비 (Aspect Ratio)

인공습지 설계초기에는 세장비를 크게 하였다. 이는 하수가 충분히 긴 시간 동안 접촉여재를 통과하며 오염물질이 제거될 수 있도록 하자는 목적이었다. 그러나 하수에 포함된 많은 양의 부유물질이 인공습지의 입구에서 상당히 침전되며 공극을 막기 때문에 세장비가 크다고 해서 설계목적은 달성될 수 있다는 생각이 바뀌었다. 따라서 세장비는 접촉여재와 하수의 종류에 따라 0.4~4 정도가 많이 사용되고 있다. SF 인공습지의 세장비는 작고 그리고 FWS 인공습지의 세장비는 크게 설정하는 것이 일반적이다.

마. 반응율 상수 (Reaction Rate Constant)

반응율 상수는 인공습지의 오염물질 제거율을 수치로 표시한 것이다. 오염원별로 반응율 상수를 측정하여 목표 오염물질(Target pollutant)을 일정한 정화수준까지 정화하는데 필요한 인공습지의 규모결정에 사용된다. 반응율 상수는 인공습지에서 얼마나 많은 양의 오염물질이 얼마나 빨리 정화될 수 있는가를 설명할 수 있기 때문에 인공습지 설계의 가장 중요한 요소중의 하나이다.

인공습지에서 오염물 제거 반응은 1차 반응속도(First-order kinetics)로 가정하여 오염물질의 제거를 예측하고 있다. 1차 반응속도는 수학적으로 간단하게 예측할 수 있기 때문에 주로 많이 사용되고 있다. 농업 비점원 오염의

중요한 오염물질인 BOD와 부유물질(SS)의 제거율을 비롯하여 총인, 총질소 등의 제거율도 1차 반응속도로 가정하여 예측하고 있다.

인공습지의 반응율 상수는 온도, 오염원의 성질, 접촉여재의 비표면적, 용존산소량 등 많은 인공 및 자연적 인자에 영향을 받는다. 그러나 이들 인자들을 모두 고려하여 오염물질별 제거율을 결정하기는 어렵기 때문에 20°C 표준온도에서 각 오염물질별 제거율을 결정하고 온도의 영향을 고려해 설계에 필요한 각 오염물질의 제거율을 예측하는 방법이 보편적으로 사용되고 있다. 식(3)은 일반적으로 사용되는 제거율 상수와 온도와의 관계를 나타낸 식이다.

$$K_T = K_{20}\theta^{(T-20)} \dots\dots\dots (3)$$

여기서, K_T = T도에서의 제거율 상수, K_{20} = 20°C에서의 제거율 상수(day^{-1}), T = 온도 (°C), 그리고 θ = 계수이다. <그림 2~7>은 일반적으로 사용될 수 있는 오염원별 K_{20} 과 θ 의 예를 보여주고 있다. 그러나 이들 예는 과학적으로 입증되었다기 보다는 기존의 인공습지에서 실험적으로 측정된 값들의 평균값으로 측정치 사이의 편차가 매우 심하기 때문에 이들 값을 실제 설계에 반영하기 위해서는 상당한 주의가 요망된다.

<표 - 2> 지하수면 인공습지의 접촉여재 크기에 따른 BOD 제거상수 (USEPA, 1988)

접촉여재의 종류	최대 10% 입경(mm)	K (day^{-1})
모래	1	1.84
굵은 모래	2	1.35
자갈1	8	0.86

<표 - 3> BOD 제거용 인공습지의 연구자별 θ 값

시스템	θ	연구자
FWS 인공습지	1.06	Reed et al., 1995
SF 인공습지	1.1	USEPA, 1988
NADB	1.0	Kadlec and Knight, 1996
LWDB	0.94 - 1.17	GMP, 1997

* NADB: North American Treatment Wetland Data Base (1993)

** LWDB: Livestock Wastewater Treatment Wetland Data Base (1997)

<표 - 4> 계절별 BOD 제거상수(North American Constructed Wetland Data Base: Cothren, 1995)

계절	평균 K_{20} (day^{-1})	관측수	표준편차
가을	0.54	14	0.32
봄	0.44	16	0.29
겨울	1.19	17	0.75
여름	0.40	13	0.26

<표 - 5> 인공습지의 온도별 암모니아 제거상수 (Reed et al., 1995)

온도조건	지하수면 인공습지	자유수면 인공습지
0 °C	0	0
1 °C	$K_T = K_{NH} (0.4103)$	$0.2187(1.048)^{T-20}$
>1 °C	$K_T = K_{NH} (1.048)^{T-20}$	$0.2187(1.048)^{T-20}$

$$K_{NH} = 0.01854 + 0.3922(rz)^{2.6077}$$

rz = 인공습지의 바닥까지 뿌리의 평균 침투비(0.0~1.0)

<표 - 6> 자유수면 인공습지의 오염물질별 제거상수

오염물질	K_{20} (m/yr, NADB)	K_{20} , (범위) (m/yr, LWDB)
BOD	34	22 (7-68)
TSS	-	21 (3-51)
암모니아	18	10 (-1 to 26)
총질소	22	14 (5-32)
총인	12	8 (2-18)

〈표 - 7〉 NADB에 나타난 오염물질별 θ 값
(modified from GMP, 1997)

오염 물질	θ
BOD	1.00
TSS	1.00
유기 질소	1.05
암모니아 이온	1.04
총 질소	1.05
총 인	1.00

BOD 제거율 상수는 Reed et al. (1995)에 의해 다음과 같이 제시되었다.
SF 인공습지에서

$$K_T = 1.104(1.06)^{(T-20)} \dots\dots\dots (4)$$

FWS 인공습지에서

$$K_T = 0.678(1.06)^{(T-20)} \dots\dots\dots (5)$$

4. 인공습지의 설계순서

가. 설계기본조건

인공습지를 설계하기 위해서는 설계유입유량(Q), 설계온도(T), 유입수의 오염물질 농도(C_o), 그리고 유출수의 오염물질 농도(C_e) 등이 필요하다. 설계온도는 인공습지의 기능이 최저가 되는 겨울철의 평균 온도를 일반적으로 사용한다.

나. 인공습지의 설계순서

SF와 FWS 인공습지의 설계순서는 대략적으로 다음과 같다. FWS 인공습지의 경우 접촉여재를 사용하지 않고 또한 경사도를 0으로 한다는 점이 SF 인공습지와 다르고 나머지 설계순서는 동일하게 보아도 된다.

① SF 인공습지의 깊이(y)의 결정

② 접촉여재의 결정, 투수계수(K_s), 공극률(α)의 결정

③ 제거율 상수(R_T)의 결정

④ 인공습지의 표면적 결정

⑤ 인공습지의 경사도 결정

⑥ 인공습지의 세장비 결정

⑦ 인공습지의 폭 결정

⑧ 인공습지의 길이 결정

5. 인공습지의 한계

인공습지는 목표 오염 물질에 따라 설계를 달리해야 한다. 즉, 하수의 특성에 따라 BOD를 목표 오염 물질로 정하여 BOD를 제거하기 위한 인공습지를 설계하거나 혹은 다른 수질인자를 제거하기 위한 인공습지를 설계한다. 그러나 하나의 인공습지를 설계하여 하수에 포함된 모든 오염물질을 한꺼번에 제거하려면 하수에 포함된 모든 수질인자에 대해 인공습지를 설계하고 설계된 인공습지 중에서 가장 큰 것을 택하여 사용해야 한다. 인공습지에서 처리하고자 하는 수질인자가 많을수록 인공습지의 관리가 어려워지며 또한 실패할 가능성도 많다. 인공습지의 오염물질 제거기능은 하나의 화학물질을 독성이 약한 다른 유형의 화학물질로 바꾸어 주는 것이지 근본적으로 오염물질을 제거하는 것은 아니다. 다만 인공습지가 질소성분을 제거하기 위한 탈질반응을 유도할 수 있도록 설계되었다면 유기질소는 여러 가지 반응을 거쳐 질소 개스로 변하여 대기 중으로 방출될 수 있다. 따라서 질소외의 물질은 인위적으로 제거를 하지 않는 한 인공습지에 축적이 되거나 유출수와 함께 유출된다. 인공습지에서 영양염류를 제거하기 위해서는 습지에서 자라는 식물을 주기적으로 제거해 주어야 한다. 습지식물을 제거하지 않으면 인공습지는 오히려 영양염류를 생산하는 곳이 되어

하수의 영양염 농도를 높일 수 있다. 하수에 포함된 난분해성 부유물질이나 유사등이 인공습지에 퇴적하기 때문에 인공습지의 수명은 보통 20년 내지 40년 정도이나 하수에 포함된 부유물질의 양과 종류에 따라 인공습지의 수명은 길어지거나 짧아질 수 있다. 인공습지는 잘 관리하면 비교적 저렴한 가격으로 하수를 처리할 수 있지만 그렇지 못하면 오히려 오염물을 생산하는 습지로 변할 수 있다는 것을 명심해야 한다. 합리적인 인공습지의 설계를 위해서는 기존의 인공습지를 잘 연구하고 가용한 데이터 베이스 자료를 면밀히 검토한 후 설계와 시공을 해야 한다.

III. 인공습지의 설계 예

1. 농촌지역의 인공습지

농촌과 관련된 대부분의 인공습지는 가축의 오폐수 처리와 관련이 있다. 기존에 운영되고 있는 시설의 대부분은 대단위 시설이 아닌 연구 및 실험용이 많다. 주거지역의 오수처리를 위한 인공습지의 설계는 걸프만 계획(GMP, 1997)을 통하여 이루어졌다. 걸프만 계획에서 조사한 인공습지의 주요 내용은 다음과 같다.

가. 인공습지의 크기

주거지역의 하수처리를 위한 인공습지는 매우 작아 인공습지의 평균값은 0.6ha이고, 중앙값은 0.03ha 이다. 돼지, 닭, 그리고 젖소사육지역의 폐수처리를 위한 인공습지는 대부분 0.1ha 이하다. LWDB에서의 가장 큰 동물 폐수처리 시스템은 미국 아이오와주의 달라스센터에 있는 Brenton Cattle System으로 약 47ha이다.

나. 인공습지의 유입수량

실험이나 연구용 인공습지가 많은 관계로

인공습지의 유입수량은 크지 않다. 데이터 베이스에 보고된 인공습지의 유입유량은 대부분이 10m³/d 보다 작다. 미국 Maryland에 있는 Delmarva 농장의 돼지폐수 처리용 인공습지의 유입량이 103m³/d로 가장 크다. LWDB에 나타난 인공습지 유입수량의 평균은 습지 면적당의 수심으로 4.7cm/d이고, 중앙값은 3.9cm/d이다. 대표적인 가축오수를 처리하기 위한 인공습지의 유입수량은 젖소 오수는 5cm/d, 양계 오수는 5.5cm/d, 돈사 오수는 3.8cm/d 정도로 보고되고 있다.

다. 세장비, 설계수심 및 바닥경사

206개 인공습지의 평균 세장비는 6.5:1이고, 중앙값은 5.5:1이다. 최소값은 0.5:1, 그리고 최대값은 60:1이다. 인공습지의 평균 설계수심은 38cm이며 수심의 최소깊이는 1cm, 최대 깊이는 120cm이다. 83개 인공습지의 평균 바닥경사는 0.7%, 중앙 경사는 0.5%, 최소 설계경사는 0%, 그리고 최대 설계 경사는 2%이다.

라. 인공습지 식물

미국에서 가장 많이 식재되는 인공습지 식물로는 부들, Bulrush 그리고 갈대 등이다. 오수나 폐수의 특성에 따라 식물에 유해한 독성 물질을 포함할 수 있다. 인공습지 식물에 유해한 물질을 포함하는 하수는 인공습지에서 효율적으로 처리될 수 없다.

마. 하수의 전처리

인공습지의 기능은 용존산소의 양에 많이 영향을 받는다. 따라서 하수에 유기물이 많이 포함되어 있을 경우는 용존산소의 공급량이 부족하여 인공습지가 목적대로 기능을 발휘할 수 없게 된다. 인공습지가 효율적으로 하수를 처리할 수 있는 농도로 원수를 전처리한 후 인공습지에 공급해야 한다. 특히 SF 인공습지

에서는 하수의 전처리가 중요하다.

2. 인공습지 설계 예

설계조건은 유입수량 = 100m³/day, 유입수의 BOD₅ 농도 100mg/l, 유출수의 BOD₅ 농도 15mg/l, 겨울철의 평균 온도 4℃일 때, 하수의 BOD를 제거하기 위한 SF 인공습지의 설계 예이다.

가. SF 인공습지의 깊이(y)의 결정

부들을 습지식물로 선택한다. 부들의 뿌리는 약 0.3m 까지 내려가나 인공습지의 깊이는 50cm 이상되는 것이 경제적이므로 본 예에서는 y=0.6 m로 결정한다.

나. 접촉여재의 결정, 투수계수(Rs), 공극률(α)의 결정

<표 - 1>에서 고운 자갈을 접촉여재로 선택하면, 공극률 $\alpha = 0.38$, 수리전도도 $K = 7,500\text{m}^2/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 이다. 수리전도도는 시간이 지남에 따라 감소하므로 설계시는 초기 공극률과 수리전도도의 70%를 사용한다.

다. 제거율 상수(K_T)의 결정

$$K_T = 1.104(1.06)^{(T-20)} \\ = 1.104(1.06)^{(4-20)} = 0.43d^{-1}$$

라. 인공습지의 표면적 결정

$$A_s = \frac{Q(\ln C_0 - \ln C_e)}{K_T y \alpha} \\ = \frac{100(\ln 100 - \ln 15)}{(0.43)(0.6)(0.27)} = 2,723\text{m}^2$$

마. 인공습지의 경사도 결정

본 예의 경우 습지의 바닥경사는 0%로 한다.

바. 인공습지의 세장비 결정

세장비 L/W = 2.0로 결정한다.

사. 인공습지의 폭 결정

$$A_s = WL = 2W^2 = 2,723 \text{ m}^2 \\ W(\text{폭}) = 36.8 \text{ m}$$

아. 인공습지의 길이 결정

$$L(\text{길이}) = A_s/W = 2723/36.8 = 73.9\text{m}$$

이상의 기본적인 설계외에 인공습지 유입부와 유출부의 설계가 필요하다. 유입부는 유입수를 인공습지에 균등히 분배하여 공급할 수 있도록 설계가 되어야 하며, 유출부는 인공습지에서 처리된 유출수를 원활히 배제할 수 있도록 설계되어야 한다. 또한 인공습지의 유속을 조절하기 위한 유입부와 유출부의 수위차를 조절할 수 있는 시설이 동시에 설치되어야 한다.

참고문헌

1. Chen, S., R. Rynk, A. Kenimer and T. Hess. 1999. Natural treatment systems and water quality management. The final report for the higher education challenge grant program at the USDA agreement 96-38411-2821.
2. Cothren, G. M. 1995. Examination of 20 °C decay rate and subsurface flow constructed wetland performance. Unpublished Report. Department of Civil Engineering, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana, USA.
3. Gulf of Mexico Program (GMP). 1997. Constructed wetland for livestock wastewater management: Literature review, data

- base and reserach synthesis.
4. Gulf of Mexico Program (GMP). 1997. Constructed wetland for animal waste treatment, a manual on performance. Design and operation with case histories.
 5. Kadlec, R. H. and Knight, R. L. 1996. Treatment wetland. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, USA.
 6. Reed, S. C., Crites, R. W. and Middlebrooks, E. J. 1995. Natural systems for waste management and treatment, 2nd edition. McGraw Hill, Inc.
 7. USEPA. 1988. Constructed wetland and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment - Design Manual. EPA/625/1-88/022.
 8. Weaver, R. W., N. O. Dronen, B. G. Foster, F. C. Heck and R. C. Fehrmann. 1978. Sewage disposal on agricultural solids: Chemical and microbiological implications, Vol. II: Microbio- logical Implications. Prepared for US EPA, RSKERL, Ada, Oklahoma, USA.