한국환경농학회지 제17권 제1호(1998)
Korean Journal of Environmental Agriculture
Vol. 17, No. 1, pp. 70~75

생태적 축산폐수 처리 및 재활용 연못시스템의 폐수처리수준

양홍모, 이종욱[1)]
전남대학교 조경학과, [1)]전남대학교 식품공학과

Treatment Level of a Pond System for Ecological Treatment and Recycling of Animal Excreta

Hongmo Yang and Chong-Ouk Rhee[1)](Dept. of Landscape Architecture, Chonnam National University, Kwangju, 500-757, Korea, Tel 062-530-2101, [1)]Dept. of Food Science and Technology Chonnam National University, Kwangju, 500-757, Korea)

Abstract : A model of pond system is developed for treatment and recycling of excreta from twenty-five adult dairy cattle. It is composed of wastewater treatment ponds and small fish ponds. Those are three facultative ponds in series; primary - secondary - tertiary pond and these are designed to rear carps without feeding.

A pit is constructed at the bottom of primary pond for efficient sludge sedimentation and effective methane fermentation. It is contrived to block into it the penetration of oxygen dissolved in the upper layer of pond water. The excreta from the cattle housed in stalls are diluted by water used for clearing them. The washed excreta flow into the pit.

The average yearly BOD_5 concentration of influent is 398.7 mg/ℓ. That of the effluent from primary, secondary and tertiary pond of the system is 49.18, 27.9, and 19.8 mg/ℓ respectively. Approximate 88, 93, and 95 % of BOD5 are removed in each pond. The mean yearly SS concentration of influent is 360.5 mg/ℓ. That of the effluent from each pond is 53.4, 45.7, and 32.7 mg/ℓ respectively. Approximate 86, 88, and 91 % of SS are removed in each pond. The BOD_5 concentration of secondary and tertiary pond can satisfy 30 mg/ℓ secondary treatment standard. The SS concentration of effluent from tertiary pond, however, is slightly greater than the standard, which results from activities of carps growing in the pond.

The average yearly total nitrogen concentration of influent is 206.8 mg/l and that of the effluent from each pond is 48.6, 30.8, and 21.0 mg/ℓ respectively. Approximate 74, 88, and 90 % of total nitrogen are removed in each pond. The mean yearly total phosphorous concentration of influent is 20.7 mg/ℓ and that of the effluent from each pond is 5.3, 3.2, and 2.1 mg/ℓ respectively. Approximate 97, 98, and 99 % of total phosphorous are removed in each pond. The high removal of nitrogen and phosphorous results from active growth of algae in the upper layer of pond water.

Important pond design parameters for southern part of Korea -- areal loading of BOD5, liquid depth, hydraulic detention time, free board, and pond arrangement -- are taken up.

Key Words : Wastewater treatment pond system, Ecological treatment, Recycling, Facultative pond, Fish pond, pit, Dairy cattle excreta.

서 론

축산폐수중 돈사와 우방 및 착유실에서 배출되는 슬러리, 소 운동장에서 우수시 씻겨내려오는 분이 수질오염을 야기하는 원인이 되고있다. 이들을 처리하기위해 다양한 처리방법이 이용되고 있으나 처리효율과 설치운영비가 축산실정에 적합하지 않아, 축산폐수를 보다 안전하고, 효율적이며, 경제적으로 처리하면서 축산폐수를 재활용하여 농가소득을 높일 수 있는 처리방법이 절실히 요구되고 있다.

연못시스템(Wastewater Treatment Pond System)은 자연상태하에서 태양에너지와 생태계의 작용에 의해 각종 하폐수가 처리되는 시설을 의미한다[1)]. 연못시스템은 열대에서 한대에 걸쳐 도시나 마을에서 이용되고 있으며 미국의 경우 약 5,000개가 설치 운영되고 있다.

국내의 경우 연못시스템의 일부 과정을 수행하는 酸化池(Oxidation Pond)가 기계식 처리후 배출되는 공장폐수나 간이정화조 처리후 유출되는 축산폐수를 처리하기 위해 이용되고 있으며 체계적인 연못시스템의 이용은 없는 실정이다. 산화지와 간이정화조가 대다수 축산농가에 설치되어 있으나 처리효율이 매우 낮아 연못시스템으로의 대체 기술개발이 필요하다.

연못시스템의 처리수에는 다량의 藻類(Algae)가 있어 양어에 이용하거나, 농업관수로 사용하여 조류를 유기퇴비화

본 논문은 1994년도(1994-1997) 농림부 현장애로기술 개발사업 연구비에 의하여 연구 되었음.

할 수 있다. 廢水-藻類-養漁의 생태적 처리 및 재활용의 과정이 지속적으로 일어나는 연못시스템은 축산폐수를 효율적으로 처리할 수 있을 뿐만 아니라, 양어와 작물의 수확으로 축산농가의 소득증대에도 기여할 수 있다.

본 연구는 우리나라 기후조건에 적합하며, 축산폐수를 효율적으로 처리 및 재활용하기 위해 설계시공한 실험 연못시스템의 초기 폐수처리 수준을 조사분석하여 폐수처리 효율을 검토하고 우리나라 남부지방의 기후조건에 적합한 연못시스템의 설계인자를 추출하는데 연구의 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 연못시스템 구성 및 처리기작

하폐수를 처리하는 연못의 종류는 嫌氣性 연못, 好氣性 연못, 호기층과 혐기층이 공존하는 條件性 연못(Facultative Pond), 瀑氣 연못, 수심 30 - 40 ㎝의 高速處理 연못(High-Rate Pond)이 있다.[2] 연못시스템은 이들 연못을 적절히 조합하여 구성한다. 호기성연못이 유기물 부하량이 증가할 경우, 혹은 혐기성 연못이 유기물 부하량이 감소할 경우 조건성연못으로 변하기 때문에 일반적으로 조건성연못이 많이 사용되고 있다. 온대권에서는 조건성연못을 3 - 5개 직렬로 연결한 시스템을 가장 많이 이용하고 있다[3].

연못속의 하폐수는 수많은 생물학적, 화학적, 물리적 반응에 의해서 처리된다. 1)沈澱 2)有機酸生成, 3)메탄醱酵, 4)好氣性酸化5)光合成 酸素排出(藻類成長), 6)黃 및 窒素 變形 7)營養素, 重金屬, 寄生蟲알 및 病原菌 除去가 규명되어 왔다.[4] 이들 반응중 연못시스템을 설계할 때 고려하는 핵심반응은 호기상태에서 일어나는 호기성 산화와 광합성 산소배출, 혐기상태에서 일어나는 유기산 생성과 메탄발효이다.

수심 1.5 - 2.5 m의 조건성연못은 태양열로 Thermocline이 형성되어 밀도가 낮은 上層과 밀도가 높은 下層으로 구분된다. 상하층이 구분되면 수직으로 물의 이동이 없어 바닥에 고형물이 침전되며, 엷은 슬러지층이 형성된다. Thermocline 아래는 혐기상태로 유기산 박테리아가 침전된 유기물을 분해시켜 유기산을 생성한다. 이 유기산을 메탄박테리아가 메탄과 이산화탄소로 분해시킨다. Thermocline 위에서는 호기성 미생물에 의해 유기물이 이산화탄소, 물, 영양분으로 분해된다. 햇빛이 쪼이면 藻類(algae)가 이산화탄소와 영양분을 흡수하여 성장하면서 산소를 배출한다. 호기성 분해와 조류의 성장은 共生關係이며 배출산소는 물이 분해되면서 생성된다.[12] 연못에 충분한 태양에너지가 공급되고 적절한 온도가 유지되면, 산소가 무한정 생성되고, 하폐수의 有機物이 메탄발효에의해 메탄으로 전환되거나 藻類의 성장에 이용되면서 하폐수가 처리된다.

2. 기존 연못시스템 설계기법

연못시스템 설계기법들은 BOD_5 부하량에 기초를 두고있다. 면적부하율모델(areal loading rate)[5], Gloyna 모델[6], 완전혼합모델(complete mix model)[7] , 프러그유하모델(plug flow model)[8], Oswald 모델[9] 등이 연못시스템 설계를 위해 개발되어 왔다. 온대권에서는 면적부하율모델을 중심으로 Gloyna 모델과 Oswald 모델을 응용하는 것이 바람직하다.

미국 환경처(EPA)에서 개발한 면적부하율 모델은 Table 1을 기준으로 연못시스템의 설계를 권장한다. 이 모델은 최근에 메탄발효 효율을 증대시키기위해 연못바닥에 설치하는 Pit를 고려하지 않은 모델이다.

Table 1. Design parameters of a pond system utilizing areal loading rate

Average Winter Air Temperature	Hydraulic Detention Time(day)	Water Depth(m)	Average BOD_5 Loading (kg/ha/day)	Pond Arrange-ment	No. of Ponds
0 - 15°C	40 - 60	1.2 - 1.8	22.4 - 44.8	Serial	3 - 4+
Below 0°C	80 - 120	1.5 - 2.4	11.2 - 22.4	Serial	3 - 4+

겨울 평균기온이 0°C이하인 지역(예, 서울지역 - 1.8°C)에, EPA기준에 따라 연못시스템를 설계했을때 많은 면적이 요구되는 원인은 첫번째 조건성연못의 수심을 1.5 m로 하면서, H2S 냄새를 막기위해 BOD_5 부하량을 40 kg/ha/day 이하로 하기 때문이다. 면적부하율모델에서는 후속 연못의 수심을 2.4 m로 권장한다. 겨울철 평균기온이 0 - 15oC인 지역의 첫번연못의 BOD_5 부하량은 100 kg/ha/day를 제시하고 있다. 온대권에 위치한 연못시스템의 폐수 총체류기간은 약 90 - 100일정도가 일반적이다.

수심 1.5 m의 연못에서는 강한 바람이 불면 수직으로 물이 섞이게되어 윗층의 용존산소가 바닥으로 침투하여 혐기성분해가 정지하는 결함이 있다. 첫째번 조건성연못의 문제점인 소요면적을 축소하고 용존산소의 바닥침투를 차단하기위한 방안으로 선진국을 중심으로 Pit에 관한 연구가 수행중에 있다[10][11][12]. 기존의 연못시스템이 효율적으로 폐수처리를 하지못하는 원인으로 지적되는 폐수의 단기이동현상(short-circuiting)을 해소하는 방안도 연구가 필요하다. 국내의 연못시스템 연구로 미국 Corinne과 Eudora에 설치된 연못시스템의 설계요소들을 국내에 응용하기 위해 김포지역의 기온과 태양복사열을 비교한 연구가 있다[13]

3. 실험 연못시스템의 구조

Fig. 1은 축산폐수처리 및 재활용 실험 연못시스템의 개념도이다. 조건성(Pond 1) - 조건성(Pond 2) - 호기성(마무리, Pond 3) 연못으로 연못시스템을 구성하였으며 첫번 연못 바닥에 Pit를 설치하였다.

처리수를 양어지에 관수하여 양어를 하거나, Pond 3에 인공먹이 공급없이 직접 양어를 할 수 있으며, 처리수를 유기농업에 관수하여 처리수의 조류(Algae)를 유기퇴비화할 수 있다. 슬러지나 분등 BOD_5가 고농도일때는 처리수를 재이용(recirculation)한다.

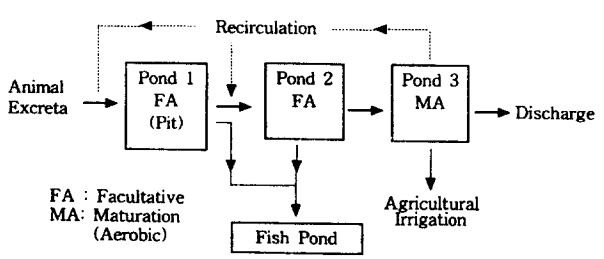

Fig. 1. Design concept of the pilot pond system

실험 연못시스템은 전라남도 봉황면 전남대학교 사육장부지에 설치하였다. 동 사육장은 젖소 성우 25두를 사육하고 있다. 착유실의 세척과 우방에서 내려오는 축산폐수의 평균 BOD_5가 400 ㎎/ℓ 이나 안전성을 고려하여 유입폐수의 설계 BOD_5를 500 ㎎/ℓ 로 설정하였다. 일일 평균유량은 4.5

㎥이나 안전성을 고려하여 설계유량을 5 ㎥ 로 하였다. 일일 BOD_5 부하량은 2.5 ㎏이다.

유입폐수(Influent)는 스크린조 - Pit - 1차연못(Pond 1) - 2차연못(Pond 2) - 3차연못(Pond 3)으로 이동한다. BOD_5 유입량과 최종처리수의 수질기준에 따라 1차연못만 필요하거나, 3차연못까지 필요한 경우를 생각하여 시스템을 설계하였다.

Pit는 표면적이 3.24 m^2 (1.8 m x 1.8 m), 깊이가 연못바닥 지하 1.6 m, 연못바닥 위 1.4 m로 체적이 9.72 ㎥ 이다. 폐수체류기간이 9.72 ㎥ ÷ 5 ㎥/day = 1.9 일이다. 연못시스템에서 이상적인 하수처리는 유기물의 탄소가 연못바닥에서 일어나는 메탄발효에 의해 메탄으로 변형되어 유기물의 양이 줄어드는 것이다. 메탄발효는 혐기성상태가 유지되어야 한다. 강한 바람(2 - 3 m/sec)에 의해서 용존산소가 많은 상층의 물이 제방에 부딪쳐(surface drift) 연못바닥으로 이동하여도 Pit내부로 용존산소의 침투를 차단하여 메탄발효를 보호하도록 설계하였다. Table 2는 실험 연못시스템의 주요 설계인자들이다.

Table 2. Important design parameters of the pilot pond system

	Water Depth (m)	Free Board (m)	Sludge Depth (m)	Levee Height (m)	Pond Surface (m^2)	Volume (m^3)	Detention Time(day)
Pond 1	2.2	0.5	0.3	3.0	12.5x12.5	166	33
Pond 2	2.2	0.5	0.3	3.0	11.5x11.5	148	30
Pond 3	2.2	0.5	0.3	3.0	11.5x11.5	148	30

4. 유입수 및 처리수의 조사분석

1996년 11월부터 폐수를 연못시스템으로 유입시켜 1997년 1월부터 11월까지 일주일에 두번 월요일과 목요일에 샘플을 채취하였다. 3차연못은 수위가 정상으로 올라온 3월부터 조사하였다. 연못시스템 샘플채취시각으로 흔히 이용되는 24시간대표성을 갖는 오전 10시 30분에 채취하였다. 폐수처리 수준을 분석하기 위해 유입폐수, 1차연못, 2차연못, 3차연못의 처리수의 COD(화학적 산소요구량), BOD_5(생물학적 산소 요구량), SS(부유물), TN(총질소), TP(총인), 온도, pH를 분석하였다. 유입폐수 샘플은 착유실, 우방, 소규모 사육 실험실에서 스크린조로 유입되는 폐수가 시간대별로 현저한 차이를 보여, 평균 BOD5를 측정할 수 없어 저류조에 채워진 폐수를 저어서 채취하였다.

결과 및 고찰

1. 초기폐수 처리수준

대부분의 하폐수처리 기법은 하폐수에 함유되어 있는 유기물의 제거에 일차적 목적이 있으며, 유기물의 제거정도를 일반적으로 BOD_5로 나타낸다[4]. 일반적으로 2차처리수준(Secondary Treatment) 하폐수 처리장의 방류수질기준으로 BOD_5와 SS의 농도를 각각 30 mg/ℓ 로 적용한다. Table 3은 국내 축산폐수 처리시설의 방류수 수질기준을 나타낸다. Table 4는 실험기간 11개월의 유입폐수와 각 연못처리수의 평균 COD, BOD_5, SS, TN, TP와 처리수준을 나타낸다.

Table 3. Effluent criteria of animal excreta treatment facilities in Korea

		BOD5 (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)	TN (mg/ℓ)	TP (mg/ℓ)
Treatment Facilities for Collected Excreta from Several Farms		≦30	≦30	≦120	≦16
Treatment Facility Established in Each Farm	Permitted Treatment Facilities (more than 75 cattle farm) Located in Watershed of a Domestic Water Supply Reservoir	≦50	≦50	-	-
	Permitted Treatment Facilities (more than 75 cattle farm)	≦150	≦150	-	-
	Reported Treatment Facilities (75-25 cattle farm)	≦1,500	-	-	-

Table 4. Average treatment level of each pond effluent

	Influent		Pond 1		Pond 2		Pond 3	
	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD
COD (mg/ℓ)	556.5	25.4	61.5 (89%)	11.0	41.6 (93%)	4.7	30.1 (95%)	2.9
BOD_5 (mg/ℓ)	398.7	20.7	49.1 (88%)	7.0	27.9 (93%)	4.3	19.8 (95%)	3.0
SS (mg/ℓ)	360.5	16.6	3.4 (86%)	8.8	45.7 (88%)	9.7	32.7 (91%)	4.4
TN (mg/ℓ)	206.8	13.1	48.6 (77%)	8.4	30.8 (86%)	4.6	21.0 (90%)	2.6
TP (mg/ℓ)	20.7	1.3	5.3 (75%)	1.0	3.2 (85%)	0.9	2.1 (90%)	0.6
pH	7.1	0.1	8.8	0.8	9.5	0.8	9.3	0.3

a) (%): Removal Rate Compared with Influent Concentrations
b) SD : Standard Deviation

Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4는 유입폐수, 1차연못, 2차연못, 3차연못 처리수의 월평균 COD, BOD_5, SS의 농도를 나타낸다. Table 4에서 유입폐수의 평균 COD는 556.2 mg/ℓ 이며, 1차연못, 2차연못, 3차연못 처리수의 평균 COD는 각각 61.5 mg/ℓ, 41.6 mg/ℓ, 30.1 mg/ℓ 이다. 1차연못, 2차연못, 3차연못에서 유입폐수 COD의 89%, 93%, 95%가 각각 제거된다. 유입폐수의 평균 BOD_5는 398.7 mg/ℓ 이며, 1차연못, 2차연못, 3차연못 처리수의 평균 BOD_5는 각각 49.1 mg/ℓ, 27.9 mg/ℓ, 19.8 mg/ℓ 이다. 1차연못, 2차연못, 3차연못에서 유입폐수 BOD_5의 88%, 93%, 95%가 제거된다. 유입폐수의 평균 SS는 360.5 mg/ℓ 이며, 1차연못, 2차연못, 3차연못 처리수의 평균 SS는 각각 53.4 mg/ℓ, 45.7 mg/ℓ, 32.7 mg/ℓ 이다. 1차연못, 2차연못, 3차연못에서 유입폐수 SS의 86%, 88%, 91%가 제거된다.

유입폐수의 COD, BOD_5, SS가 1차연못에서 대부분 제거됨을 알수 있다. 연못시스템에서 1차연못은 폐수의 정화에 중요한 역할을 한다. 유기물이 바닥에 침전되어 슬러지층이 형성되고, 쌓인 슬러지가 메탄발효에의해 없어지는 것이 이

상적인 1차연못의 조건이다.

Fig. 5, Fig. 6은 유입폐수, 1차연못, 2차연못, 3차연못 처리수의 월평균 TN, TP의 농도를 나타낸다. Table 4에서 유입폐수의 연평균 TN은 206.8 mg/l 이며, 1차연못, 2차연못, 3차연못 처리수의 평균 총질소는 각각 48.6 mg/l, 30.8 mg/l, 21.0 mg/l 이다. 1차연못, 2차연못, 3차연못에서 유입폐수 TN의 77%, 86%, 90%가 제거된다. 유입폐수의 평균 총인은 20.7 mg/l 이며, 1차연못, 2차연못, 3차연못 처리수의 평균 총인은 각각 5.3 mg/l, 3.2 mg/l, 2.1 mg/l 이다. 1차연못, 2차연못, 3차연못에서 유입폐수 TP의 75%, 85%, 90%가 제거된다. 연못시스템은 녹조(Algae)의 성장으로 영양소 특히 질소와 인을 동시에 제거할 수 있다. 2차처리수준의 기계적 활성오니처리법은 이들을 처리할 수 없어 과다한 비용이 소요되는 3차이상의 처리수준이 요구된다. 연못시스템은 영양소(질소, 인)뿐만 아니라, 기생충알 및 병원균, 중금속을 동시에 제거하는 장점이 있다.[15]

조사분석 결과 1차연못 처리수의 평균 BOD_5 49.1 mg/ l 는 상수원보호구역의 방류수질 기준을 충족시키며, 2차연못 처리수의 BOD_5 27.9 mg/l 는 공동처리시설의 처리수준을 만족시키고 있다. 1차연못 처리수의 총질소 48.6 mg/l 와 총인 5.3 mg/l 는 공동처리시설 방류기준치보다 훨씬 낮은 수준이다.

1차연못 처리수의 평균 SS는 53.4 mg/l 이며, 2차연못이 45.7 mg/l, 3차연못이 32.7 mg/l 이다. 1차연못과 2차연못의 처리수의 평균 SS는 공동처리시설 및 상수원보호구역의 수질기준보다 다소 높다. 연못시스템에서는 연못의 상층에 조류(Algae)가 성장하기 때문에 SS가 다소 높다. 연못시스템의 방류수에 어느정도 함유되어 있는 조류는 방류하는 하천에 반드시 나쁜 영향을 미치는 것은 아니다. 미국에서는 2 mgd (million gallons per day, 7,572 m³/day)이하를 처리하는 연못시스템의 최종처리수 SS기준으로 70 - 100 mg/l 를 적용하고 있다. Alaska주는 70 mg/l, California주는 95 mg/l, Wyoming주는 100 mg/l 를 적용하고 있다[16]. 따라서 1차연못 처리수의 SS 53.4 mg/l 는 문제가 되지 않는다. 1996년도 3차연못의 평균 SS는 30 mg/l 이였다. 1997년도에 3차연못 처리수의 SS가 1996년도 보다 다소 증가한 이유는 3차연못에 잉어를 사육하여 잉어들의 활동에 원인이 있다고 사료된다.

실험결과 실제 유입폐수 평균 BOD_5 가 398.7 mg/l, 실제 평균 일일 유량이 4.5 m³로, 실제 일일 BOD5 부하량은 약 1.8kg이다. 1차연못의 표면적이 156 m² 이므로 1차연못의 실제 BOD_5 표면부하가 약 113 kg BOD_5 /ha/day가 된다. 실험 연못시스템의 1차연못 처리수의 평균 BOD_5가 49.1 mg/l

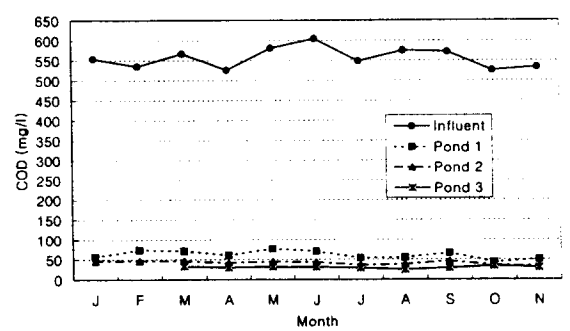

Fig. 2. Average monthly COD concentrations

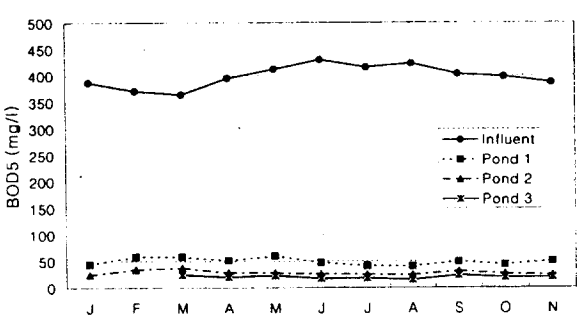

Fig. 3. Average monthly BOD_5 concentrations

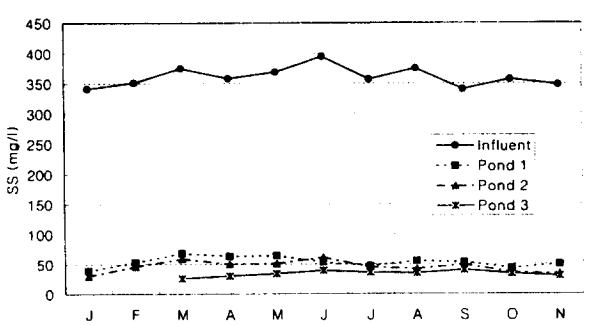

Fig. 4. Average monthly SS concentrations

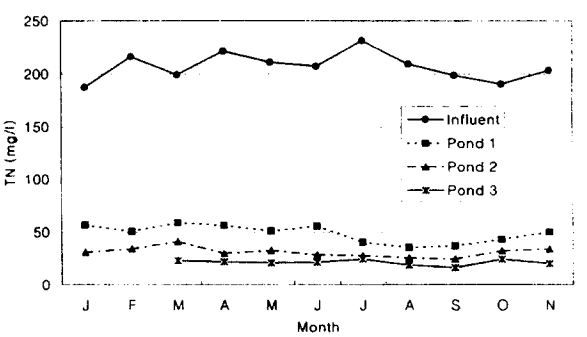

Fig. 5. Average monthly TN concentrations

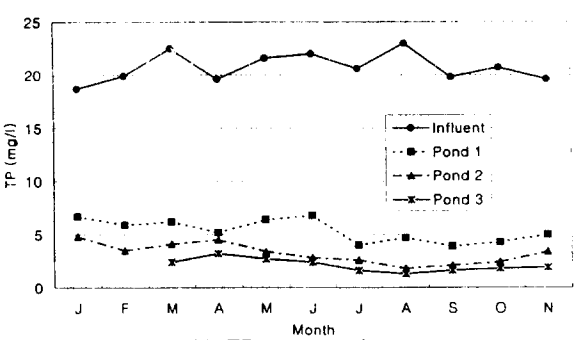

Fig. 6. Average monthly TP concentrations

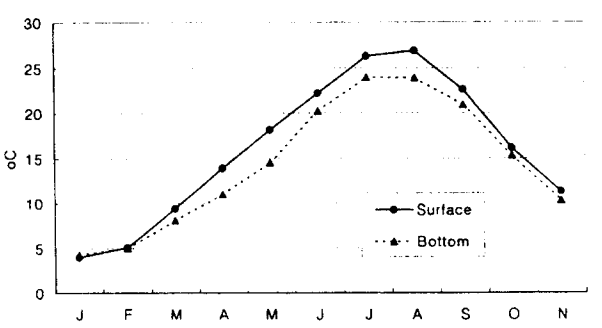

Fig. 7. Average monthly water temperatures

이다.

실험 연못시스템의 폐수처리수준과 미국 Eudora 연못시스템의 폐수처리수준을 비교하여 본다. Eudora 시스템은 3개의 조건성연못으로 구성되어 생활하수를 처리하는 연못시스템이다. 미국 환경처(EPA)에서 설계가 잘된 연못시스템으로 선정하여 일년간 처리수준을 조사한 시스템이다.[2] Eudora 시스템 지역의 기온 및 태양복사열은 실험 연못시스템 지역과 유사하며, 1차연못의 수심이 약 1.5 m이고 연못바닥에 Pit가 설치되어 있지 않다. Eudora 데이타는 가동 5년후에 측정한 것이다. 두 시스템의 1차연못의 수온은 비슷하며 실험 연못시스템이 평균 1°C정도 낮다.[17] Eudora시스템의 1차연못 처리수의 평균 BOD_5가 48 mg/l 로 실험연못시스템과 처리수준이 비슷하다.

Eudora 시스템의 1차연못의 실제 BOD_5 표면 부하량은 43 kg BOD_5 /ha/day이다. 실험 연못시스템 1차연못의 실제 부하량이 2배정도 높으나 1차연못 처리수의 BOD_5는 비슷하다. 실험 연못시스템에 설치된 Pit의 역할이 중요함을 알 수 있다. 실험 연못시스템의 Pit에서 BOD_5의 제거율이 약 50 - 60 %로 예측된다. 실험 연못시스템의 Pit의 BOD_5제거율을 고려하면 1차연못의 실제 표면부하는 40 - 50 kg BOD_5/ha/day가 되어 Table 1의 미국 EPA의 기준에 근접하게 된다.

Fig. 7은 1차연못의 수면 30cm와 연못바닥의 온도를 나타낸다. Oswald[10]의 연구에 의하면 메탄박테리아는 14℃에서 거의 활동을 멈추게 되어 슬러지가 쌓이기 시작하며, 19℃에서는 일일 슬러지 침전량과 분해량이 같아지고, 24℃에서 왕성한 활동을 하여 분해량이 침전량보다 많아진다고 보고하고 있다. 연못시스템 바닥의 온도가 19℃이상이 되는 기간이 6월, 7월, 8월, 9월로 이 기간에는 바닥에 쌓이는 슬러지의 양이 줄어들게 된다. 10월중순부터 이듬해 5월중순까지는 슬러지의 침전이 분해보다 빠르게 되어 슬러지가 쌓이게 된다. 온대권에서는 슬러지의 퇴적을 위해 0.3m 정도 여분의 연못깊이를 설계하여 10-20년에 한번 연못바닥의 슬러지를 제거한다. 본 실험 연못시스템도 슬러지퇴적을 위해 0.3m 여분의 깊이를 설계하였다.

2. 연못시스템 설계인자 추출

실험결과를 토대로 우리나라 남부지방 기후조건에서 최종처리수의 BOD_5를 30 mg/l 이하로 유지하기에 적합한 연못시스템 설계인자는 Table 5와 같다. 제시한 설계인자를 적용하기 위해서는 1차연못의 바닥에 Pit를 설치하여야 한다. 요구되는 처리수준에 따라 연못의 수와 폐수 총체류기간은 달라질 수 있으나 기타의 인자들은 Table 5에서 제시한 수치를 적용하는 것이 바람직하다. 이들 인자중 수심, 1차연못 평균 BOD_5 표면부하량, 연못시스템 전체 평균 BOD_5 표면부하량, 시스템구성 형은 국내에서 다른 하수나 폐수를 연못시스템으로 처리할 때 적용이 가능한 수치들이다[20]. 1차연못의 바닥에 Pit를 설치하여 Pit에서 유입폐수의 BOD_5 부하량의 50 - 60 %를 제거할 수 있어 1차연못의 표면적을 대폭줄일 수 있었다.

실험 연못시스템의 경우 젖소 25두의 슬러리를 BOD_5 30 mg/l 이하로 처리하기 위해서는 1차연못과 2차연못만으로 가능하며 BOD_5 150 mg/l 이하로 처리하기 위해서는 1차연못 (9m x 9m)으로도 가능하다고 사료된다.

Table 5. Design Parameters for a Pond System Operating in Southern Part of Korea

Effluent BOD5 (mg/l)	Total Hydraulic Detention Time(day)	Water Depth (m)	BOD_5 Loading to Primary Pond (kg/ha/day)	BOD_5 Loading to Pond System (kg/ha/day)	Pond Arrangement	No. of Ponds
≤30	90	2.4	100	35	Serial	3

적 요

실험결과 최종처리수의 BOD_5를 30 mg/l 이하로 유지하는 것이 충분히 가능하다. 최종처리수의 총질소와 총인은 축산폐수처리시설의 방류수 수질기준보다 월등히 낮다. 연못상층에서 조류(Algae)가 성장하면서 질소와 인을 흡수하기 때문이다. 연못시스템은 질소와 인을 동시에 제거하는 장점이 있다.

최종처리수의 평균 SS가 30 mg/l 보다 다소 높아 2차처리수준의 방류수 수질기준을 충족시키지 못하는 경우가 발생할 수 있으나 연못상층의 조류(Algae)성장에 원인이 있어 문제가 되지 않는다. 2차연못과 3차연못의 SS는 거의 조류가 차지하고 있다. 조류를 회수하여 사료로 사용하거나 처리수를 유기농업 관수로 이용하여 조류를 비료로 이용하는 재활용 방법이 바람직하다.

실험 연못시스템의 모델은 연못의 수, 연못의 종류, 각 연못의 크기, 유입폐수의 BOD_5 부하량을 적절히 조절하면 액상폐수(뇨 · 오수)뿐아니라 분 · 뇨 · 오수를 동시에 처리할 수 있다. 국내 여건에서는 중소규모 축산시설의 폐수를 처리하는데 연못시스템이 적합하며, 토지확보가 가능하면 대형 축산폐수 공동처리시설로 사용할 수 있다. 대부분 축산농가에 설치되어 있는 간이정화조와 산화구를 연못시스템으로 대치하여 이들의 낮은 처리효율의 문제점을 해결할 수 있다고 사료된다. 다른 처리기법에 비해 연못시스템은 관리운영에 적은 인력과 경비가 소요하여 노동력이 부족한 농촌지역에 적합하다.

찾는 말 : 하 · 폐수처리 연못시스템, 생태적 처리, 재활용, 조건성 연못, 양어연못, 피트, 축산폐수

인용문헌

1. WHO, (1987), Wastewater Stabilization Ponds: Principles of Planning & Practice, Regional Office for the Eastern Mediterranean Alexandria, WHO EMRO Technical Publication No. 10, World Health Organization
2. EPA, (1983), Design Manual: Municipal Wastewater Stabilization Ponds, U.S. Environmental Protection Agency, EPA-625/1-83-015, Washington, D.C. pp. 2-7
3. Finney, B.A and Middlebrooks, E.J. (1979), Evaluation of Facultative Waste Stabilization Ponds Design, in Performance and Upgrading of Wastewater Stabilization Ponds, EPA, EPA-600/9-79-011, pp. 18-35
4. Oswald, W.J., (1988), Large-Scale Algal Culture Systems (engineering aspects), in Micro-Algal Biotechnology, M.A. Browitzka and L.J. Borowitzka (Eds.), Cambridge University Press, pp. 357-414

5. EPA, (1983), Design Manual: Municipal Wastewater Stabilization Ponds, U.S. Environmental Protection Agency, EPA-625/1-83-015, Washington, D.C. pp. 2-7
6. Gloyna, E.F. and L.F. Tischler, (1979), Design of Waste Stabilization Pond Systems, Progress in Water Technology, II(4/5):47-70
7. Yang, H. (1992), Ecological Design of Estuarine Environment for a Sustainable Urban Ecosystem, Ph.D. Dissertation, University of California, Berkeley. pp. 103-167
8. Middlebrooks, E.J. *et al.* (1982), Wastewater Stabilization Lagoon Design, Performance and Upgrading, Macmillan Publishing Co., New York, pp. 1-12
9. Oswald, W.J., (1988), Large-Scale Algal Culture Systems (engineering aspects), in Micro-Algal Biotechnology, M.A. Browitzka and L.J. Borowitzka (Eds.), Cambridge University Press, pp. 357-414
10. Green F.B., Bernstone, L., Lundquist, Tresan, R.B. and Oswald, W.J, (1995), Methane Fermentation, Submerged Gas Collection, and The Fate of Carbon in Advanced Integrated Wastewater Pond Systems, Wat. Sci. Tech., 31(12):55-65
11. Green F.B., Lundquist, T.J. and Oswald, W.J. (1995), Energetics of Advanced Integrated Wastewater Pond Systems, Wat. Sci. Tech., 31(12):9-20
12. Oswald, W.J., Green, F.B. and Lundquist, T.J. (1994), Performance of Methane Fermentation Pits in Advanced Integrated Wastewater Pond Systems, Wat. Sci. Tech., 30(12):287-295
13. Yang, H. (1995), Application of a Pond System to Korea for Treatment and Recycling of Wastewater, Journal of the Korean Society of Water and Wastewater, 9(2):108-117
14. Metcalf & Eddy, Inc., (1979), Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuses, 2nd Ed., McGraw-Hill Book Company, New York. pp. 64
15. Oswald, W.J., (1988), A Syllabus on Waste Pond Fundamentals, University of California, Berkeley, Spring 1988, BEHS 259, pp. 66-68
16. Yang, H. (1992), Ecological Design of Estuarine Environment for a Sustainable Urban Ecosystem, Ph.D. Dissertation, University of California, Berkeley. pp. 103-167
17. EPA (1977), Performance Evaluation of an Existing Lagoon System at Eudora, Kansas, U.S. Environmental Protection Agency, EPA-600/2-77-167, Municipal Environmental Research Laboratory, Cincinnati, Ohio, pp. 35-135
18. Yang, H. (1995), Application of a Pond System to Korea for Treatment and Recycling of Wastewater, Journal of the Korean Society of Water and Wastewater, 9(2):108-117
19. Oswald, W.J. (1968), Advances in Anaerobic Pond System Designs, in Advances in Water Quality Improvement, E.F. Gloyna and W.W. Jr. Eckenfelder (Eds.), University of Texas Press, Austin, pp. 186-194
20. Yang, H *et al.* (1997), A Pond System for Treatment and Recycling of Animal Excreta, Ministry of Agriculture and Forestry