

축산폐수 처리 및 재활용을 위한 조건성연못의 메탄발효

양 홍 모

전남대학교 농과대학 조경학과

Methane Fermentation of Facultative Pond in Pond System for Ecological Treatment and Recycling of Livestock Wastewater

Hongmo Yang (Dept. of Landscape Architecture, College of Agriculture, Chonnam National University, Kwangju, 500-757, Korea, Tel 062-530-2101)

ABSTRACT: A wastewater treatment pond system was developed for treatment and recycling of dairy cattle excreta of 5 m³ per day. The wastes were diluted by the water used for clearing stalls. The system was composed of three ponds in series. A submerged gas collector for the recovery of methane was installed at the bottom of secondary pond with water depth of 2.4m. This paper deals mainly with performance of methane fermentation of secondary pond which is facultative one. The average BOD₅, SS, TN, and TP concentrations of influent into secondary pond were 49.1, 53.4, 48.6, and 5.3 mg/l, and those of effluent from it were 27.9, 45.7, 30.8, 3.2 mg/l respectively. Methane fermentation of 2.4-meter-deep secondary pond bottom was well established at 16 °C and gas garnered from the collector at that temperature was 80% methane. Literature on methane fermentation of wastewater treatment ponds shows that methane bacteria grow well around 24 °C, the rate of daily accumulation and decomposition of sludge is approximately equal at 19 °C, and activities of methanogenic bacteria are ceased below 14 °C. The good methane fermentation of the pond bottom around 16 °C, about 3°C lower than 19 °C, results from temperature stability, anaerobic condition, and neutral pH of the bottom sludge layer. It is recommended that the depth of pond water could be 2.4m. Gas from the collector during active methane fermentation was almost 83% methane, less than 17% nitrogen. Carbon dioxide was less than 1% of the gas, which indicates that carbon dioxide produced in bottom sludges was dissolved in the overlaying water column. Thus a purified methane can be collected and used as energy source. Sludge accumulation on the pond bottom for a nine month period was 1.3cm and annual sludge depth can be estimated to be 1.7cm. Design of additional pond depth of 0.3m can lead to 15 - 20 year sludge removal.

Key Words : Wastewater Treatment Pond System, Facultative Pond, Methane Fermentation, Submerged Gas Collection

서 론

연못시스템(Wastewater Treatment Pond System)은 자연상태에서 태양에너지와 생태계의 작용에 의해 각종 하·폐수를 처리하는 기법으로 생활하수, 공장폐수, 축산폐수를 처리하기 위해 열대에서 한대에 걸쳐 전 세계적으로 이용되고 있다. 미국의 경우 약 5,000개의 연못시스템이 운영 중에 있다.¹⁾ 국내의 경우 연못시스템의 일부 과정을 수행하는 산화지(oxidation pond)가 기계식 처리 후 배출되는 공장폐수나 간이정화조 처리 후 유출되는 축산폐수를 처리하기 위해 이용되고 있으며, 체계적인 연못시스템의 연구가 최근에 시도되고 있다.²⁾

하·폐수를 처리하는 연못의 종류는 혐기성연못, 호기성연못, 호기층과 혐기층이 공존하는 조건성연못(facultative pond), 기계로 공기를 폭기시키는 폭기연못(aerated pond), 수심 30 - 40cm의

고속처리연못(high-rate pond)이 있다.^{3,4)} 호기성 연못은 유기물 부하량이 증가할 경우 조건성연못으로 변하고, 혐기성연못은 유기물 부하량이 감소할 경우 조건성연못으로 변하기 때문에 일반적으로 조건성연못이 많이 사용되고 있다.

연못시스템의 하·폐수는 수많은 생물학적, 화학적, 물리적 반응에 의해서 처리된다. 1)침전, 2)유기산생성, 3)메탄발효, 4)호기성산화, 5)광합성산소배출(藻類성장), 6)질소 및 황 변형, 7)영양염류(N, P) 및 중금속 제거, 8)기생충알 및 병원균 제거 등이 규명되어 왔다.^{5,6)} 연못시스템은 질소, 인, 중금속, 기생충 알을 동시에 제거하는 장점이 있다.⁷⁾ 2차처리수준의 활성오니법은 이들의 처리가 어려워 과도한 비용이 소요되는 고도(3차)처리가 요구된다.

상기 반응들 중에서 조건성연못을 설계할 때 고려하는 두 가지 핵심반응은 연못바닥 혐기상태에서 일어나는 메탄발효와 연못상층 호기상태에서 일어나는 조류(algae)성장에 의한 광합성 산소

배출이다. 조건성연못에서 유기물의 탄소는 메탄발효에 의해 메탄으로 전환되어 대기중으로 이탈하여 제거되거나, 박테리아와 조류의 세포성장에 의해 흡수되어 제거된다. 성장한 박테리아와 조류는 연못바닥으로 침전되어 슬러지층을 형성하게 된다. 온대권에서는 메탄발효에 의해 슬러지가 분해되는 양보다 쌓이는 양이 많아 슬러지층이 증가하게 된다. 쌓이는 슬러지는 연못의 체적을 줄이고 처리효율을 떨어뜨려 10 - 20년에 한번 슬러지를 제거하도록 설계한다. 최근에는 처리수의 조류(algae)를 침전시켜 제거하기보다 조류를 회수하여 사료로 사용하거나 처리수를 농업관수로 이용하여 조류를 퇴비화하는 재활용기법이 활용되고 있다. 따라서 메탄발효 효율을 높여 유기물의 탄소를 메탄으로 최대한 전환시키면서 처리수의 조류를 적은 비용으로 회수하여 재활용 할 수 있는 시스템이 이상적인 연못시스템이라 할 수 있다.

본 연구의 목적은 축산폐수를 처리 및 재활용하기 위해 설계·시공한 실험 연못시스템의 조건성연못 바닥에서 일어나는 초기 메탄발효와 폐수처리 환경을 분석하여 우리나라 기후조건에 적합한 조건성연못의 설계인자를 검토하는데 있다.

재료 및 방법

연못시스템의 폐수처리 및 구성

수심 1.5 - 2.5m의 조건성연못은 태양열로 Thermocline이 형성되어 밀도가 낮은 상층과 밀도가 높은 하층으로 구분된다. 상하층이 구분되면 수직방향으로 물의 이동이 없어 바닥에 유기물과 고형물이 침전되어 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 쬐이면 조류(algae)가 이산화탄소와 영양염류를 흡수하여 성장하면서 산소를 배출한다. 연못에 충분한 태양에너지가 공급

되고 적절한 온도가 유지되면, 산소가 무한정 생성되고¹¹⁾, 하·폐수의 유기물이 메탄발효에 의해 메탄으로 전환되거나 조류의 성장에 이용되면서 하·폐수가 처리된다.¹¹⁾ 온대권에서 운영중인 극히 일부 조건성연못에서 봄 혹은 가을에 상하층이 회전(turnover)하는 현상이 일어나며¹⁰⁾, 회전으로 SS가 높아지면 4 - 7일정도 SS를 침전시켜 방류하고 있다. 연못시스템의 각 연못의 여유고는 7일정도의 유입량을 충분히 저류 할 수 있도록 설계하고 있다. 본 연구에서 실험한 조건성연못은 회전현상이 발생하지 않았다.

효율적인 하·폐수처리를 위해 온대권에서는 조건성, 호기성 연못을 적절히 연결시켜 병렬형(parallel), 직렬형(series), 혹은 병렬과 직렬 혼합형으로 연못시스템을 설계하고 있다.¹²⁾ 호기성 연못은 흔히 마무리연못 (Fig. 1의 Pond 3)으로 사용되며 처리수의 녹조(algae)를 침전시키는 기능을 한다.

연못시스템의 구조

Fig. 1은 축산폐수 처리 및 재활용 실험 연못시스템의 개념도이다. 1차연못(Pond 1, 조건성) - 2차연못(Pond 2, 조건성) - 3차연못(Pond 3, 마무리 연못, 호기성)으로 시스템을 구성하였으며 1차연못 바닥에는 Pit를 설치하였다.

처리수를 양어지에 관수하여 양어를 하거나, 3차연못에 먹이 공급 없이 직접 양어를 할 수 있으며, 처리수를 유기농업에 관수하여 조류(algae)를 퇴비화 할 수 있다.¹²⁾

실험 연못시스템은 전라남도 나주군 봉황면 전남대학교 젓소 사육장부지에 설치하였다. 착유실의 세척과 우방에서 내려오는 축산폐수의 평균 BOD₅가 400mg/L이나 안전성을 고려하여 유입폐수의 설계 BOD₅를 500mg/L로 설정하였다. 평균유량은 4.5m³/day이나 안전성을 고려하여 설계유량을 5m³/day로 하였다. 설계 BOD₅ 부하량은 2.5kg/day이다. 유입폐수는 Pit - 1차연못 - 2차연못 - 3차연못으로 자연유하한다. 유입폐수를 2차연못과 3차연못으로, 1차연못의 처리수를 2차연못과 3차연못으로 유입시킬 수 있도록 우회파이프를 설치하였다.

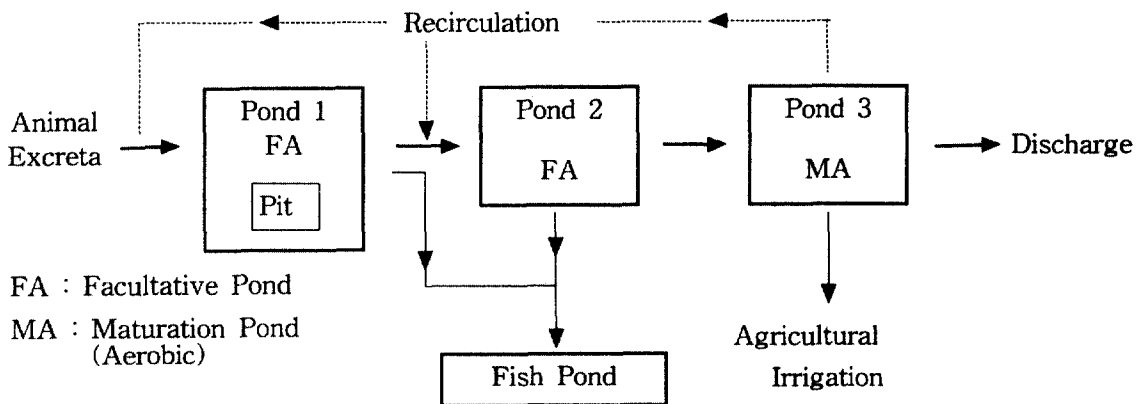


Fig. 1. Design concept of the demonstration integrated pond system

결과 및 고찰

Table 1. 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	12.5×12.5	166	33
Pond 2	2.2	0.5	0.3	3.0	11.5×11.5	148	30
Pond 3	2.2	0.5	0.3	3.0	11.5×11.5	148	30

조건성연못 및 가스회수시설 구조

Fig. 2는 2차연못(Fig.1의 Pond 2)의 구조와 기능, 연못중앙에 설치된 수중 가스회수시설(submerged gas collector)을 보여준다. Table 1은 실험 연못시스템의 주요 설계인자들이다.

2차연못은 연못바닥에서 제방상단의 높이가 3.0m, 슬러지 퇴적을 위해 바닥에 여분의 0.3m 슬러지 깊이를 두어 10 - 20년에 한번 슬러지를 제거하도록 설계하였다. 슬러지가 0.3m 쌓이면 수심이 2.2m가 되나 초기에는 수심이 2.4m 정도가 된다. 2차연못의 처리수를 3차연못으로 보내는 율류파이프를 여유고 0.5m에 설치하였다. 제방은 내경사를 1:1.5, 외경사를 1:1로 설계하였다. 제방상단으로부터 0.5m 아래의 수면적이 132.25m² (11.5m × 11.5m)이며, 따라서 연못체적이 148m³가 된다. 설계유량이 5m³/day이므로 폐수체류기간이 약 30일이 된다. 1차연못의 처리수는 2차연못의 바닥에서 0.6m 높이로 유입된다.

가스회수시설의 4각형 수중구조물을 연못바닥에서 0.4m 위에 설치하여 슬러지가 연못의 바닥에 확산될 수 있도록 하였다. 연못바닥에서 발생한 가스가 4각형 수중구조물 상단에 설치된 공기가 투과되지 않는 우산모양의 천막으로 집적되어, 가스통과 구멍을 지나 상단에 고정된 스텐레스 집적통을 거쳐 가스측정기에 도달하도록 설계하였다. 가스집적 천막의 평면적이 2.25m²로 연못바닥의 슬러지층 표면적 2.25m²에서 발생하는 가스를 포집할 수 있다. Fig. 2에서 가스집적 천막의 가장자리와 4각형 수중구조물 내측 사이에 직경 15cm PVC관을 설치하여 관속으로 측정센서를 넣어 연못바닥의 온도, pH 등을 측정하였으며, Coretaker를 PVC 관속으로 넣어 슬러지 깊이를 측정하였다.

초기 폐수처리 수준

1996년 11월 중순부터 시스템으로 축산폐수를 유입시켰다. 1차연못의 처리수가 2차연못으로 12월 중순부터 유입되어 1997년 1월 중순경 2차연못의 수심이 정상으로 유지되었다. 일반적으로 연못시스템의 샘플채취와 온도, pH 등의 측정은 연못상층의 수온이 일일 평균수온에 근접하는 오전 10시 30분 경에 실시하고 있어 본 연구에서도 10시 30분 경에 샘플채취와 측정을 실시하였다. 1997년 2월부터 1997년 11월까지 일주일에 2회 샘플을 채취하여 처리정도를 분석하였다.

Table 2는 국내의 2차 하수처리장 및 축산폐수 공동처리장의 방류수 수질기준과 미국의 2차 하수처리장 및 연못시스템의 방류수 수질기준을 나타낸다.^{13,14,15} 미국의 경우 연못시스템의 방류수 수질로 BOD₅와 TSS 각각 45mg/L이하를 적용하는 이유는 연못시스템의 처리수에 녹조(algae)가 어느 정도 함유되어 있는 것을 허용하기 때문이다.

Table 3은 유입폐수와 각 연못처리수의 평균 COD, BOD₅, SS, TN, TP의 처리수준을 나타낸다. 유입폐수의 평균 BOD₅는 398.7 mg/L이며, 1차연못, 2차연못, 3차연못 처리수의 평균 BOD₅는 각각 49.1mg/L, 27.9mg/L, 19.8mg/L이다. 1차연못, 2차연못, 3차연못까지 각 연못에서 유입폐수 BOD₅가 88%, 93%, 95%가 제거된다. 2차연못 유입수의 평균 BOD₅, SS, TN, TP는 각각 49.1, 53.4, 48.6, 5.3mg/L이며, 2차연못 유출수의 평균 BOD₅, SS, TN, TP는 각각 27.9, 45.7, 30.8, 3.2mg/L로 2차연못에서 BOD₅ 43%, SS 14%, TN 37%, TP 40%가 제거된다. SS를 제외하면 국내의 2차처리 수질기준을 충족시킨다. 2차연못 처리수의 SS가 높은 이유는 연못상층에 조류(algae)가 성장하기 때문이다. 2차연못 처리수에 함유되어 있는 조류 일부는 3차연못에서 침전되어 제거된다.

Table 3에서 실제 체류기간은 1차연못, 2차연못, 3차연못이 각각 36일, 32일, 32일이다. 온대권에서 연못시스템의 총 체류기간은 일반적으로 90 - 100일로 설계한다. 1차연못, 2차연못, 3차연못의

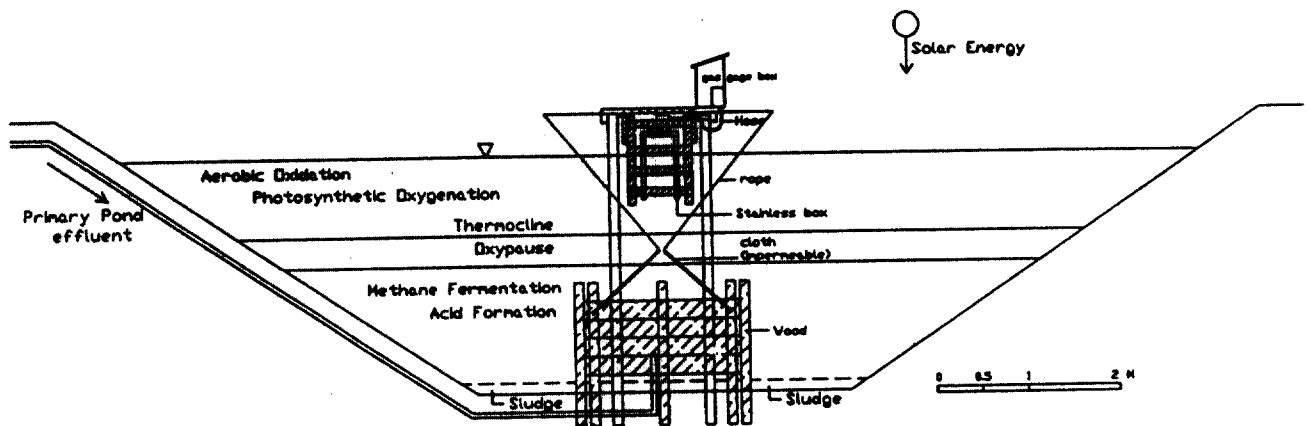


Fig. 2. Structure and Function of Facultative Pond (Secondary Pond) and Gas Collector

Table 2. Regulatory Criteria of the Effluent from Wastewater Treatment Systems in Korea and USA

Constituent	KOREA		USA	
	Secondary Effluent Criteria	Collected Livestock Wastewater Treatment	Secondary Effluent Criteria (30 consecutive days)	Stabilization Ponds (30 consecutive days)
BOD ₅ (mg/L)	≤ 20	≤ 30	≤ 30	≤ 45
TSS(mg/L)	≤ 20	≤ 30	≤ 30	≤ 45
TN(mg/L)	≤ 60	≤ 120	-	-

Table 3. Treatment Level of Each Pond Effluent, Actual Detention Time and BOD₅ load

	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	53.4(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
ADT(day)	-	-	36	-	32	-	32	-
BOD ₅ Load (kg/ha/day)	-	-	115.0	-	16.7	-	9.5	-

- a) (%) : Removal Rate Compared with Influent Concentrations
- b) SD : Standard Deviation
- c) ADT : Actual Detention Time

BOD₅ 부하량은 115, 16.6, 9.5kg/ha/day 이다. 일반적으로 바닥에 Pit가 설치되지 않은 1차연못의 BOD₅ 제거율은 60%정도이다.¹⁶⁾ 본 연구 시스템의 1차연못 바닥에 설치된 Pit가 BOD₅ 제거에 상당한 역할을 하고 있음을 알 수 있다.

조건성연못의 반응

Fig. 3은 연못상층의 조류성장이 왕성한 시간인 1997년 8월 18일 오후 2시경 수심에 따른 2차연못의 온도, DO, pH 변화를

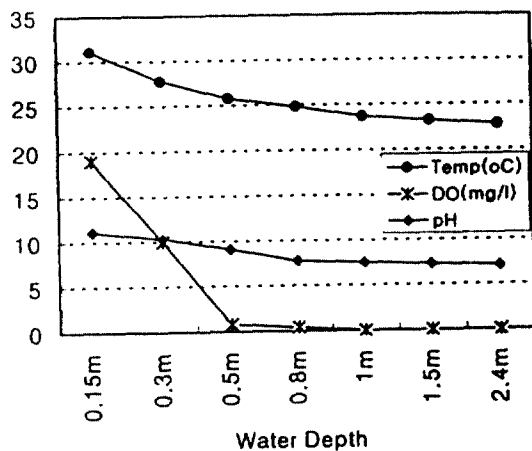


Fig. 3. Temperature, DO and pH of Facultative Pond

보여준다. 수심 0.15m 상층의 수온이 31.1°C에 달하고, 왕성한 조류의 활동으로 상층의 pH가 11.1에 이르며, DO가 19로 포화상태에 달하였다. 2차연못이 조건성 상태를 유지하고 있었으며, 수심이 0.3m 깊어지면 수온이 약 1°C 내려간다. 일반적으로 연못이나 호수에서 수심 약 1m마다 수온이 약 1°C 내려가나 강한 태양열 아래서는 수온의 변화가 많음을 알 수 있다. 수심 약 1m 깊이에서 thermocline이 형성되고 0.5m에서 oxypanne가 형성된다. 연못 바닥은 혐기성이며 pH가 7.1이었다. 같은 날 오전 10시 30분 경의 수심 0.15m 상층의 수온, DO, pH는 각각 26°C, 11, 10.1로 오후 2시경의 수심 0.3m의 수온, DO, pH와 유사하였다.

조건성연못의 메탄발효

2차연못의 바닥에 슬러지층의 형성을 유도하기 위해 1월 중순경 유입폐수를 우회파이프를 이용하여 2차연못으로 일주일간 유입시켰다. 가스는 1997년 3월부터 미량이 발생하기 시작하여 1997년 5월에는 포집이 가능할 정도로 발생하였다. 발생한 가수량은 가스메타기로 측정하였으며 일주일에 한번 샘플을 포집하여 가스를 분석하였다.

Fig. 4는 포집한 가스의 CH₄, N₂, CO₂의 구성비율을 나타내며, Fig. 5는 연못바닥(수심 2.4m)과 연못상층(수심 0.3m)의 온도를 보여준다. Fig. 4에서 CO₂ 구성비율은 0.4% 이하로 극히 적으며 거의 CH₄와 N₂로 구성되어 있다. 조사일의 연못바닥은 혐기성으로 평균 pH가 7.2였다.

Fig. 4에서 5월 19일과 5월 26일의 사이의 CH₄와 N₂의 구성비율이 현격한 차이를 보인다. CH₄가 41.6%에서 77.9%로, N₂가 58.3%에서 22.1%로 변화하였다. Fig. 5에서 5월 19일, 5월 26일, 6월 2일의 연못바닥 온도가 14.8°C, 16.2°C, 16.6°C로 연못바닥 온도가 16°C에 이르면 CH₄의 함량이 80%에 달한다. 슬러지층의 온도가 16°C 이상일 때 메탄발효가 원활히 일어남을 알 수 있다.

기존의 하·폐수처리 조건성연못 연구에 의하면 메탄박테리아는 14°C에서 거의 활동을 멈추게 되어 슬러지가 쌓이기 시작하며, 19°C에서는 일일 슬러지 침전량과 분해량이 같아지고, 24°C에서 왕성한 활동을 하여 분해량이 침전량보다 많아진다.¹⁷⁾ 실험 조건성연못의 메탄발효는 3°C 낮은 16°C에서도 메탄발효가 원활히 일어나고 있다. 이는 연못상층의 용존산소가 연못바닥으로 침투하

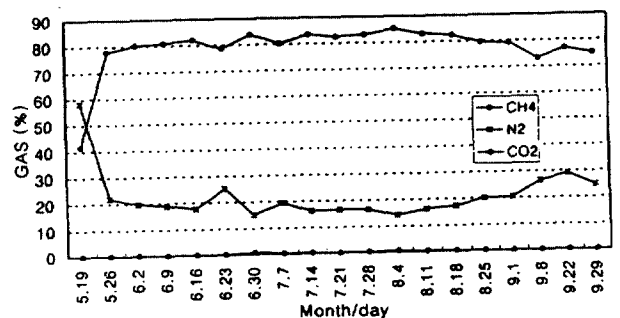


Fig. 4. Composition of Biogas Produced from Facultative Pond

는 현상이 차단되어 연못바닥이 혐기성 상태로 유지되고, 연못바닥의 온도변화가 적으며, 연못바닥이 중성 pH를 유지하고 있는데 원인이 있다고 본다. 남미 볼리비아의 La Paz에서 운영중인 연못시스템은 연못바닥의 온도가 8°C에서도 메탄발효가 활발히 일어나고 있다.¹⁸⁾ 고원기후로 연못의 온도변화가 상대적으로 적기 때문이다.

Fig. 4에서 9월 8일부터 CH₄가 차지하는 비율이 낮아져 메탄발효의 효율이 점점 낮아지고 있다. 이는 Fig. 5에서 9월 8일부터 연못바닥의 온도가 낮아지는데 일차적 원인이 있다고 본다. Fig. 4에서 CH₄가 6월 16일 82.1%에서 6월 23일 78.6%로 낮아진 원인은 강한 바람에 의해 연못상층의 용존산소가 연못바닥으로 침투하여 메탄박테리아의 활동이 일시적으로 저하되는데 원인이 있다고 본다. 1960년대 초기 연못시스템의 조건성연못은 수심 1.5m로 설계하여 강한 바람이 불면 수직으로 물이 섞이게 되어 상층의 용존산소가 바닥으로 침투하여 혐기성분해가 정지하는 결함이 있었다. 미국 환경청(EPA)에서 개발한 면적부하율모델(areal loading rate)은 임의성연못의 수심을 1.5m 보다 깊게 설계하도록 권장하고 있다.¹⁹⁾

Fig. 6은 연못 바닥면적 2.25m²에서 발생한 월별 CH₄ 발생량을 나타낸다. CH₄ 발생량은 5, 6, 7, 8, 9월에 각각 0.1, 0.45, 0.42, 0.29, 0.23 l/day이다.

연못시스템에서 유기성 질소와 NH₄-N(암모니아)는 질산화(nitrification)와 탈질소화(denitrification) 작용으로²⁰⁾ N₂로 전환되어 제거되거나, 유기성 질소가 암모니아 상태로 전환되었을 때 조류가 성장하면서 흡수하여 제거된다.²¹⁾ 조건성연못 바닥에 설치

한 Pit의 슬러지 표면에서 포집한 가스와 연못상층에서 포집한 가스의 비교연구에 의하면 슬러지 표면에서 포집한 가스는 CH₄ 59%, N₂ 23%, CO₂ 16%이나 연못상층에서 포집한 가스는 CH₄ 90%, N₂ 10%, CO₂ 2%로 변한다는 연구가 있다.^{22,23)} 연못 표면층의 N₂ 구성비율이 연못바닥보다 낮아지는 이유는 연못바닥에서 발생한 N₂가 수중에서 어느 정도 용해되는데 기인한다. Fig. 4에서 메탄발효가 원활할 때 연못상층에서 포집한 가스의 구성비율이 CH₄ 83%, N₂ 약 16%이며, CO₂ 1% 이하이다. 연못바닥에서 발생한 CO₂가 연못상층으로 이동하면서 거의 용해되어 정제된 CH₄를 회수할 수 있다.

요 약

조건성연못의 메탄발효 환경조건은 용존산소가 없고, 혐기성 및 중성 pH가 유지되어야 하며, 온도변화가 적어야 한다. 분석결과 실험 조건성연못의 바닥은 이러한 조건들을 충족시키고 있어 설계인자가 비교적 적절하다고 본다. 조건성연못의 수심이 2.4m 일 경우도 강한 바람이 불면 상층의 용존산소가 바닥으로 이동하여 연못바닥의 메탄발효를 일시적으로 저하시키는 현상이 있을 수 있다. 용존산소의 바닥침투를 완화하기 위해 수심을 깊게 설계할 수 있으나 수심이 깊어지면 연못바닥의 수온이 낮아져 메탄발효의 효율이 저하된다. 실험결과 조건성연못의 수심은 2.4m 정도가 적합하다고 본다. 최근에는 용존산소의 연못바닥 침투를 차단하기 위해 연못바닥에 Pit를 설치하는 방법이 연구되고 있으나 시설비용이 추가되는 단점이 있다.

실험 조건성연못의 슬러지층의 온도가 16°C 이상에서 메탄발효가 원활히 일어나고 있다. 기존 조건성연못의 메탄발효 연구에 의하면 연못바닥 슬러지층의 온도가 19°C에서 슬러지 분해량과 침전량이 같아진다고 보고되고 있다. 실험 조건성연못에서는 19°C보다 3°C 낮은 온도에서도 메탄발효가 원활히 일어나고 있다. 실험 조건성연못의 바닥온도 분석결과 메탄발효가 거의 정지되는 14°C이하가 되는 기간이 약 7 개월이 되어, 매년 어느 정도의 슬러지는 바닥에 쌓이게 된다. 1997년 1월부터 9월까지 9개월 동안 연못바닥에 형성된 슬러지 깊이가 1.3cm였다. 따라서 연간 약 1.7cm가 쌓일 것으로 예측된다. 실험 조건성연못처럼 연못의 수심을 2.4m로 유지하고, 연못바닥에 슬러지 퇴적을 위해 여분의 0.3m 깊이를 두어 15 - 20년에 한번 슬러지를 제거할 수 있도록 설계하는 것이 바람직하다고 사료된다.

메탄발생이 왕성한 기간에 연못상층에서 포집한 가스의 83%가 메탄으로 구성되어 있어 축산폐수를 처리하면서 메탄가스를 회수하여 연료로 사용하는 것이 가능하다. Parker(1979)의 연구에 의하면 슬러지층이 형성되지 않은 연못이 슬러지층이 형성된 연못의 BOD 제거수준에 이르는 데는 약 1년이 소요된다.²⁴⁾ 메탄박테리아 활동이 슬러지층의 표면에서 훨씬 높기 때문이다. 본 연구는 조건성연못의 초기 메탄발효를 분석한 것으로 조건성연못이 생태적으로 적용하면 초기단계보다 메탄발효의 효율이 증가할 것으로 예측된다.

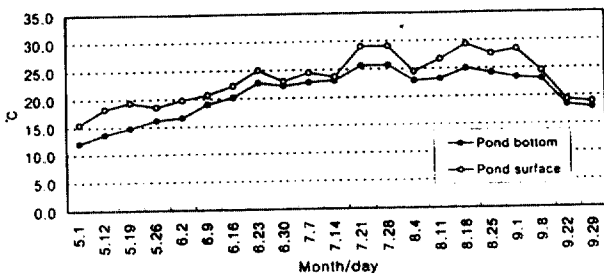


Fig. 5. Temperatures of Bottom and Surface of Facultative Pond

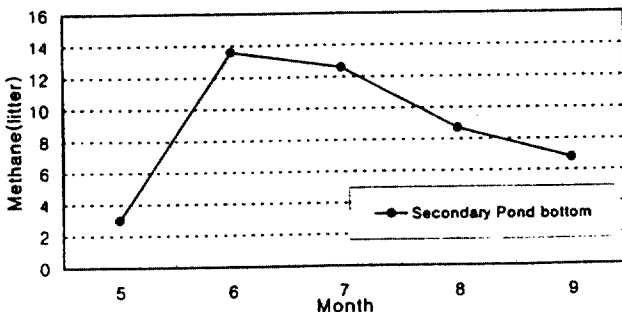


Fig. 6. Monthly Methane Production of Sludge Surface of 2.25 m² of Facultative Pond

참 고 문 헌

1. Middlebrooks, E.J., et al., (1982), *Wastewater Stabilization Lagoon Design, Performance and Upgrading*, Macmillan Publishing Co., New York, pp. 1~12.
2. Yang, H. et al., (1997), A Pond System for Treatment and Recycling of Animal Excreta, Ministry of Agriculture (Korea).
3. EPA, (1983), *Design Manual: Municipal Wastewater Stabilization Ponds*, U.S. Environmental Protection Agency, EPA-625/1-83-015, Washington, D.C. pp. 2~7.
4. 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.
5. Oswald, W.J., (1988), *A Syllabus on Waste Pond Fundamentals*, University of California, Berkeley, Spring 1988, BEHS 259, pp. 66~68.
6. EPA, (1983), *Design Manual: Municipal Wastewater Stabilization Ponds*, U.S. Environmental Protection Agency, EPA-625/1-83-015, Washington, D.C. pp. 2~7.
7. Yang, H., (1995), Application of a Pond System to Korea for Treatment and Recycling of Wastewater, *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, 9(2):108-117
8. Yang, H., (1992), *Ecological Design of Estuarine Environment for a Sustainable Urban Ecosystem*, Ph.D. Dissertation, University of California, Berkeley. pp. 103~167.
9. Yang, H., Rhee, C., (1998) Treatment Level of a Pond System for Ecological Treatment and Recycling of Animal Excreta, *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 17(1):70-75.
10. Middlebrooks, E.J., et al., (1982), *Wastewater Stabilization Lagoon Design, Performance and Upgrading*, Macmillan Publishing Co., New York, pp. 1~12.
11. Yang, H. et al., (1997), A Pond System for Treatment and Recycling of Animal Excreta, Ministry of Agriculture (Korea).
12. Shuval, H., (1988), Rationale for Engelberg Guidelines, *IRCWD (International Reference Center for Waste Disposal) News*, 24/25:18~19.
13. Water Quality Act(1994), Korea.
14. Treatment Regulations for Sewage, Night Soil, and Animal Wastes(1993), Korea.
15. Tchobanoglous, G. and Burton, F.L., (1991), *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*, McGraw-Hill, New York, pp.121~144.
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. 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.
18. Oswald, W.J., (1989), *Bolivia Sojourn 1989*, Presented before a Seminar held at the University de San Simon, October pp. 1~10.
19. EPA, (1983), *Design Manual: Municipal Wastewater Stabilization Ponds*, U.S. Environmental Protection Agency, EPA-625/1-83-015, Washington, D.C. pp. 2~7.
20. Verstraete, W. and Alexander, M. (1973), Heterotrophic denitrification, *Appl. Microbiol.*, 7:39~42.
21. Oswald, W.J., Green, F.B. and Lundquist, T.J., (1994), *Advanced Integrated Wastewater Pond Systems for Nitrogen Removal*, Paper presented at the EPA National Wastewater Treatment Technology Transfer Workshop, Kansas City, Missouri, June 8.
22. 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.
23. 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.
24. Parker, C.D., (1979), Biological Mechanisms in Lagoons, *Progress in Water Technology*, II(4/5):71~85.