한국환경농학회지 제19권 제4호(2000)
Korean Journal of Environmental Agriculture
Vol. 19, No. 4, pp. 339~344

축산폐수 처리 연못시스템의 처리수 재활용 양어

양홍모
전남대학교 농과대학

Aquaculture Recycling Effluent from a Pond System Treating Animal Excreta Ecologically

Hongmo Yang (*College of Agriculture, Chonnam National University, Kwangju, 500-757, Korea, email: hmy@chonnam.ac.kr*)

ABSTRACT : Utilization of animal excreta in aquaculture can have potentials of high fish production and low maintenance costs for fish farming and it can reduce water pollution caused by animal waste disposal. Integration of wastewater treatment pond system with aquaculture has been utilized in many countries. Ecologically balanced pond ecosystem is formed through the stabilization of wastes, the growth of aquatic plants, and the cultivation of fish. The most appropriate fish for rearing in these ponds are those which can feed directly on phytoplankton, especially algae. Carp were introduced into a tertiary pond - water depth of 2.2 m, water surface area of 130 m^2, volume of 148 m^3 - of a pond system treating milk cow excreta. The carp production was 125g·$m^{-2}$$year^{-1}$ which falls into upper range of 18 - 137g·$m^{-2}$$year^{-1}$ of treated sewage-fed carp farming of other countries. Average BOD_5 and T-N of the pond was 19.8 and 21.0 mg·L^{-1} respectively, and the ecological environment of it was suitable for growth of carp. Several carp of 100g were introduced in August into a secondary pond of the treatment system, whose average BOD_5 and T-N was 27.9 and 30.8 mg·L^{-1} respectively. They were died within one week, which may be attributed to the depletion of dissolved oxygen at dawn. Effluents from primary treatment can be used in fish pond with dilution and those from secondary treatment can be directly funnelled into it. Waste stabilization pond treating animal excreta can be utilized for fish rearing when its water quality maintains secondary treatment level.

Key Words : Wastewater treatment pond system, Treated sewage-fed aquaculture, Fish pond, Carp, Dissolved oxygen depletion

서 론

축산폐수나 생활하수에 함유되어 있는 유기물을 처리해야할 대상으로보다는 자원으로 재활용하는 방법이 활용되고 있다. 축산폐수 혹은 생활하수를 하수처리장이나 연못시스템에서 처리한 후 그 처리수를 양어지에 공급하여 물고기를 생산하는 방법과 축산폐수나 생활하수를 처리하는 연못시스템의 연못에서 직접 물고기를 생산하는 방법이 응용되고 있다. 이런 양어기법은 사료를 공급하지 않고 물고기를 생산할 수 있으며, 저렴한 운영비와 관리비가 소요되고, 하·폐수에 함유되어 있는 유기물의 재활용을 통하여 수질오염을 저감시키는 장점이 있어 세계 여러 나라에서 활용되고 있다.

최근에는 농촌지역의 축산폐수가 하천과 호수의 중요한 수질오염원으로 대두되고 있다. 젖소와 한우 사육시설에 설치되어 있는 정화조와 산화지는 처리효율이 낮아 상당량의 축산폐수가 하천과 호수로 유입되고 있는 실정이다. 수질정화 연못시스템(wastewater treatment pond system)은 자연상태에서 태양에너지와 생태계의 작용에 의해 각종 하·폐수를 처리하는 시설로 연못시스템의 처리수에는 다량의 조류(algea)가 함유되어 있어 처리수를 양어에 활용할 수 있다. 연못시스템은 농촌지역의 축산폐수를 효율적으로 처리하면서 처리수를 재활용하여 양어가 가능한 시스템이다.

본 연구는 축산폐수를 처리하는 연못시스템의 처리수를 실험양어지에 공급하여 사육한 잉어의 성장분석을 토대로 잉어사육에 적합한 양어지의 수질을 파악하고, 축산폐수 처리 연못시스템을 구성하고 있는 연못에 잉어를 직접 넣어 사육한 잉어의 성장을 분석하여 축산폐수를 양어에 재활용하는 방법을 연구하는데 목적이 있다.

재료 및 방법

하·폐수 활용 양어

Fig. 1처럼 축분(animal manure)을 양어지에 넣어 물고기를

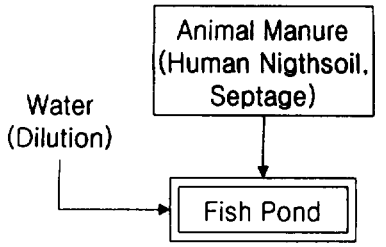

Fig. 1. Fish Pond Recycling Animal Manure.

생산하는 방법은 중국과 동남아시아에서 수세기에 걸쳐 활용해오고 있으며, 대부분 소규모 농장이나 마을에서 이용하고 있다. 대만과 태국 등 열대권 국가에서는 인분과 정화조의 슬러지를 양어지에 공급하여 물고기를 생산하는 경우도 있다. 축분을 이용하는 양어는 축분을 모아서 어느 정도 분해시킨 후 양어지에 넣는 방법과, 양어지에 인접하여 소와 돼지를 사육하면서 분해되지 않은 분뇨를 양어지에 자연유하시키는 방법이 있다[1) 2)]. 양어지에서 박테리아는 분해자 기능을 하며, 녹조(algae)와 정수 및 침수 식물은 생산자의 역할을 하고, 동물성 프랑크톤, 물고기 등은 소비자의 역할을 한다. 다양한 먹이연쇄와 영양단계가 상호연관되어 축산분뇨가 정화되고 물고기가 성장한다. 이런 양어지를 생태연못(eco-pond)이라 부른다. 생태연못의 방류수는 유기농에 관수하여 작물생산에 활용하기도 한다.

Fig. 2는 생활하수나 축산폐수를 처리하는 연못시스템을 구성하는 연못에 양어를 하는 경우이다. 연못시스템의 일부 연못을 양어지로 활용하는 경우, 유기물 분해과정에서 성장하는 조류(algae)가 물고기의 먹이가 되며, 일부 조류는 물고기 성장과정에서 영양소 역할을 한다.[3)]

Fig. 3은 생활하수를 하수처리장 혹은 연못시스템에서 1차처리 수준(primary treatment level)으로 정화한 후 방류수를 양어지에 넣어서 물고기를 생산하는 경우이다. 생활하수를 이용하는 양어는 열대나 아열대에서 많이 활용하고 있으며, 독일과 헝가리 등 겨울에 기온이 영하로 내려가는 국가에서도 활용하고 있다[4)].

독일의 하수재활용 Birkenof 양어단지(233 ha)는 뮨헨(Munich)의 50만인구가 배출하는 생활하수를 임호프탱크(Imhoff Tanks)에서 1차처리(primary treatment)한 후 방류수 전량을 30여개의 대형 연못으로 구성된 연못시스템에 유입시켜 수질을 정화하면서 양어를 하고 있다. 30여개 대형 연못 중 약 절반은 1차처리장 방류수와 하천의 물을 약 1:2로 희석하여 양어지에 유입시키며, 약 7 ha에 해당하는 소형 연못은 물고기의 부화, 치어성장, 겨울철 물고기보호, 수확된 물고기를 시장에 출하하기 전에 저장하는데 사용하고 있다. 어린 잉어(carp) 200 - 500g를 ha당 약 500마리 정도 넣어 사료공급 없이 3년 동안 기른 후 시장에 출하한다. 시장출하 전 약 2주 동안 맑은 물에 넣어(depuration) 물고기의 냄새를 제거하고 있다[5)].

인도 캘커타(Calcutta)에서 운영하는 하수재활용 양어단지는 임호프탱크(Imhoff Tank)에서 일차 처리한 하수를 양어지에 유입시키고 있다. 고온으로 5 - 6개월이면 시장에 출하할 정도로 잉어와 민물돔이 성장한다. 양어지의 물을 2월에서 3월 사이에 완전히 빼서 식물과 슬러지를 제거하며, 수로의 물을 15cm 깊이로 관수한 후 1차처리 방류수를 90cm 깊이가 되도록 유입시켜 하수처리장 방류수와 하천수가 약 1:5의 비율이 되도록 한다. 약 3주 후 양어지에 조류가 번식하면 어린 물고기를 넣는다. 물고기 입식 후 약 5 - 10일 간격으로 하수처리장 방류수와 양어지의 물이 1:4 정도가 되도록 하수처리장 방류수를 유입시킨다[6) 7)].

본 연구의 양어 실험은 Fig. 2와 Fig. 3의 하·폐수 재활용 양어개념을 응용하여 축산폐수를 연못시스템에서 처리하면서 그 처리수를 양어에 재활용하는 방법을 연구하였다.

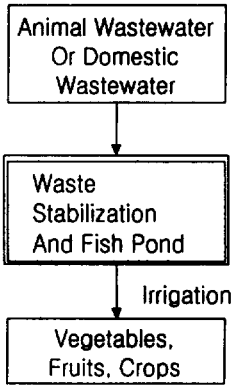

Fig. 2. Aquaculture of Pond System Treating Animal Excreta or Domestic Wastewater.

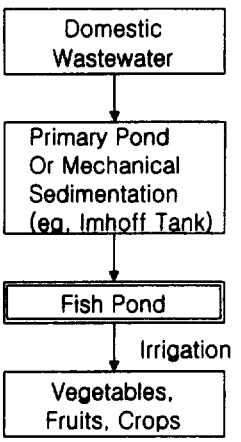

Fig. 3. Fish Pond Utilizing Effluent from Pond System or Imhoff Tank Treating Domestic Wastewater to Primary Treatment Level

연못시스템 및 실험 양어지 구조

Fig. 4는 축산폐수 처리 및 재활용 연못시스템과 실험양어지의 시설개념도이다. 연못시스템과 양어지는 전라남도 나주시 봉황면에 위치한 전남대학교 동물사육장 부지에 조성되어 있다. 연못시스템은 조건성(Pond 1) - 조건성(Pond 2) - 호기성(마무리, Pond 3) 연못으로 구성되어 있으며, 첫번 연못 바닥에 Pit가 설치되어 있다. 슬러지나 축분으로 유입수 BOD_5가 고농도일 때는 최종 처리수를 이용하여 유입수를 희석 (recirculation)하며, 처리수를 유기농업에 관수하여 처리수의 조류(algae)를 유기퇴비화할 수 있다.

실험양어지는 6개의 셀로 구성되어 있으며 각 셀의 구조는 Table 1과 같다. 각 셀은 수심 1.3m, 수표면적 약 $21m^2$, 체적 약 14 m^3이다. 3차연못은 수심 2.2m, 수표면적 약 $130m^2$, 체적 약 148 m^3이다. 양어지와 3차연못의 양어에는 사료를 공급하지 않았다.

Table 1은 양어 실험기간 동안 연못시스템의 처리수준과 처리효율을 보여준다. 1차연못, 2차연못, 3차연못 처리수의 평균BOD_5는 각각 50mg·L^{-1}, 28mg·L^{-1}, 20mg·L^{-1}이었다.

실험 어종

양어실험에는 잉어(Common carp, *Cyprinus carpio*)를 사용하였다. 우리 나라 평지에서 살고 있는 잉어는 여름철 수온 30℃를

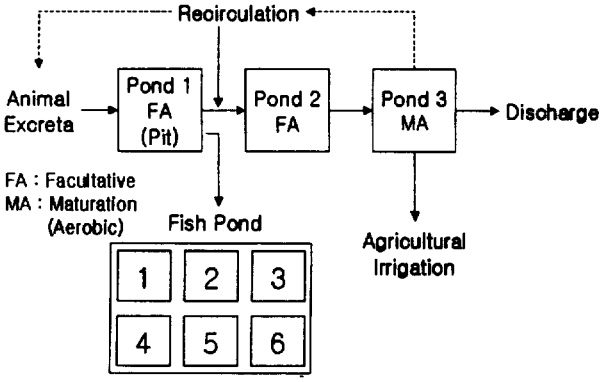

Fig. 4. Pond System Treating and Recycling Animal Excreta and Experimental Fish Ponds Using Effluent of Pond System

Table 1. Design Parameters of Fish Ponds and Treatment Pond 3

	Water Depth (m)	Free Board (m)	Levee Height (m)	Pond Surface (m^2)	Volume (m^3)	Detention Time (day)
Fish ponds	1.3	0.3	1.6	4.6 × 4.6	14.2	
Pond 3	2.2	0.5	3.0	11.5 × 11.5	148	30

Table 2. BOD, SS, T-N, T-P Concentrations of Pond Effluent and Removal Rate of Each Pond

	Influent		Pond 1		Pond 2		Pond 3	
	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD
BOD_5 (mg·L^{-1})	398.7	20.7	49.1	7.0	27.9	4.3	19.8	3.0
SS (mg·L^{-1})	360.5	16.6	53.4	8.8	45.7	9.7	32.7	4.4
TN (mg·L^{-1})	206.8	13.1	48.6	8.4	30.8	4.6	21.0	2.6
TP (mg·L^{-1})	20.7	1.3	5.3	1.0	3.2	0.9	2.1	0.6

넘는 물에도 잘 견디며, 겨울에는 얼음 밑 물 속에서도 견뎌내는 어종이다. 잉어는 잡식성이며, 조류(Filamentous algae), 동물성프랑크톤(zooplankton), 진흙 속의 작은 벌레(benthos), 동·식물의 찌꺼기 등을 먹는다. 호소, 저수지, 강 등이 잉어의 좋은 서식지이며, 맑은 물보다 약간 흐린 물을 더 좋아한다. 잉어는 우리나라를 비롯한 아시아 여러 나라, 유럽, 소련, 중동 아시아, 아프리카 등 세계 여러 지역에서 양식되고 있다.

결과 및 고찰

실험양어지 양어

실험양어지 잉어사육 실험의 일차적 목적은 어느 정도의 수질이 잉어성장에 적합한가를 파악하는 것이다. 실험 양어지에 1차 연못의 처리수를 유입시켜 2주 후인 1997년 8월에 1996년 봄에 부화하여 육성 중이던 잉어를 구입하여 양어지에 수용했다. 평균 BOD_5 49.1mg·L^{-1}, T-N 48.6 mg·L^{-1}인 1차연못 처리수를 1주에 2 - 3회 처리수 공급유량과 실험양어지의 유량이 1:4가 되도록 공급하여 잉어의 성장을 조사하였다. 실험양어지의 평균 BOD_5는 15 - 20 mg·L^{-1}였다. 실험 양어지에 잉어 72마리를 각 셀에 12마리 씩 수용하면서, 전장과 체중을 측정했다. 전장의 범위는 14.7 - 28.0 cm이었다. 매월 한 번씩 잉어의 수를 확인하여 생잔율을 조사하였으며, 전장과 체중을 측정하여 성장률을 조사했다. 생잔율은 금월 마리수를 전월 마리 수로 나누어 백분율로 표시했으며, 일간성장률은 평균체중 증가분을 사육 일수로 나누어 구했다.

실험결과는 Table 3과 같다. 잉어의 몸길이는 실험 시작할 때에 평균 전장이 22.6 cm이었고, 매월 약 1 cm씩 증가했다. 평균 체중은 8월에 204.2 g에서 9월과 10월에 210.4 g와 219.3 g로 각각 늘었다. 그러나 8월에 잉어 72마리로 시작한 것이 9월에는 66마리가 남아 6마리가 죽었고(생잔율 92%), 10월에는 60마리가 남았다 (생잔율 82%). 양식을 시작할 때 잉어의 총중량은 14.81 kg이었으나 9월에는 14.01kg으로 0.8 kg이 줄었고, 10월에는 13.89 kg으로 전월에 비하여 0.21 kg이 줄었다. 8월에서 9월까지의 일간 성장률은 0.21 g·일$^{-1}$마리$^{-1}$였고 9월에서 10월까지는 0.31 g·일$^{-1}$마리$^{-1}$였다.

Table 3. Growth and Survival Rate of Carps in Six Experimental Fish Ponds in Which Treated Animal Wastewater is funneled.

	96. 8.	96. 9.	96. 10.	97. 4.
Length (cm) (Mean±SD)	22.6±6.1	23.8±6.2	24.9±6.3	23.7±3.1
Weight (g) (Mean±SD)	204.2±110.2	210.4±120.1	219.3±125.5	205.3±48.7
Population	72	66	60	50
Survival Rate (%)	--	90	82	83
Total Weight (kg)	14.81	14.10	13.89	10.56
Mean Growth Rate ($g \cdot day^{-1}$per fish)	--	0.21	0.31	-0.08

총 60일간 사육에서 생잔율이 82%를 넘었고 운반 및 조사시 충격을 감안하면 양어지의 수질은 잉어 성장에 나쁘지 않았다고 사료된다. 몸길이와 무게가 다소 증가하고 있는 것이 이를 뒷받침해주고 있다. 1차연못에서 처리된 축산폐수를 양어지에 유입시킨 것이 조류, 물벼룩 등 잉어의 먹이생물을 증가시켜 잉어가 성장한 것으로 사료된다. 잉어는 봄에 수온이 10℃ 정도로 올라가면 먹이를 찾기 시작하고, 약 15℃를 넘으면 더욱 활발해진다. 잉어의 최적 수온은 24~28℃이며, 30℃를 넘으면 먹이를 먹지 않는 습성이 있다. 본 실험에서 잉어의 일간성장률이 0.21~0.31 g/일/마리로 비교적 높게 나타났는데, 이것은 조사기간에 양어지 수온이 25~30℃로 최적 수온에 가깝게 유지되었기 때문이라고 여겨진다.

월동실험 결과 생잔율과 총증량이 감소하고, 일간성장률도 음으로 나타났다. 월동 후인 1997년 4월의 조사에서 잉어의 평균체중은 205.3g으로 감소하였고, 평균전장도 23.7cm로 월동 전 10월보다 1.2cm 감소하였다. 10월에 60마리였던 잉어는 월동 기간 중 10마리가 죽어 이듬해 4월에 50마리가 남아 생잔율이 83%였으며, 총증량은 3.33kg이 줄어든 10.56kg였다. 월동 중에 비교적 몸이 큰 개체가 죽은 데 원인이 있으며, 잉어가 죽은 원인은 먹이 부족일 가능성이 높다. 양어지 바닥에 설치했던 그물을 제거하여 바닥의 진흙을 먹을 수 있게 하고 축산폐수를 충분히 공급하여 천연 먹이생물이 양어지에서 많이 발생하면 잉어의 생잔율은 높아질 것으로 본다. 겨울에 수온이 2 - 3℃ 가까이 떨어지는 우리나라에서 잉어가 월동할 때 10-20% 정도 몸무게가 주는 것이 보통이다.

하·폐수 재활용 양어에서 고려해야할 중요한 사항은 물고기가 죽게되는 용존산소결핍 현상이다. 녹조(algae)가 성장하는 낮에는 양어지의 용존산소가 올라가나 밤에는 물고기와 기타 생물(biota)의 호흡으로 용존산소가 낮아진다. Edward[9]의 하·폐수 재활용 양어지 연구에 의하면, 수면에서 대기로 이동하는 용존산소의 양은 늦은 오후 약 4 $mg \cdot L^{-1}$정도이며, 3,000 $kg \cdot ha^{-1}$ 정도의 물고기가 성장하는 양어지는 밤중에 물고기에 의해 용존산소가 약 1 $mg \cdot L^{-1}$ 낮아지며, 양어지 유입수의 BOD는 용존산소를 약 0.5$mg \cdot L^{-1}$ 낮게 만든다. 밤중에 녹조의 호흡으로 용존산소가 약 8 - 10 $mg \cdot L^{-1}$ 낮아질 수 있어 주의가 필요하다고 지적하고 있으며, 새벽에 양어지의 용존산소가 가장 낮아지므로, 낮에 처리수를 양어지의 표면에 소규모로 유입시킬 필요가 있다고 권장하고 있다. 대형 하·폐수 재활용 양어의 경우 양어지의 표면에 폭기시설을 설치하여 새벽에 산소를 공급하는 경우도 있다.

실험 결과 양어지의 평균 BOD_5가 15 - 20 $mg \cdot L^{-1}$이면 용존산소결핍으로 잉어가 일시에 죽는 현상은 발생하지 않았다. 평균 BOD_5 28 $mg \cdot L^{-1}$, 평균 T-N 30 $mg \cdot L^{-1}$인 2차연못에 체중 약 100g의 잉어 10마리를 조류(algae) 성장이 왕성한 8월에 넣어 보았으나 1주일 이내에 모두 죽는 현상이 나타났다. 새벽에 조류호흡에 의한 용존산소결핍 현상에 원인이 있다고 여겨진다. 2차연못은 조건성 연못으로(facultative pond)로 연못하층은 혐기성을 유지하고 있었다.

3차연못 양어

실험 양어지의 잉어사육 결과 양어지의 BOD_5가 15 - 20 $mg \cdot L^{-1}$을 유지하고, 조류 등 천연 먹이생물이 자랄 수 있으면 잉어의 성장에 적합한 양어지의 환경조건으로 판단되어 실험양어지의 수질과 유사한 3차연못에 잉어사육을 실험하였다. 3차연못은 2차연못에서 발생한 조류가 점진적으로 죽어 연못바닥으로 침전되는 마무리연못(maturation pond)으로 연못전체가 호기성을 유지하는 호기성연못(aerobic pond)이다. 실험양어지 사육실험에서 잉어의 성장을 측정하기 위해 매달 실험연못의 물을 빼내고, 잉어의 체중과 체장을 동시에 측정하여 잉어가 스트레스를 받아 생존율이 저하되는 경향이 있었다. 3차연못의 양어실험에서는 측정 횟수를 줄이고 잉어의 체중만 측정하였다.

1997년 7월에 평균체중이 약 100 g인 잉어를 3차연못에 70마리를 넣었다. 2개월 후의 성장을 알아보려고 9월에 잉어 전체의 체중을 측정하였으며, 1년 후의 성장을 파악하기 위해 1998년 9월에 체중을 측정하였다. 실험에서 얻어진 결과는 Table 4와 같다. 잉어를 3차연못에 넣은 후 1주일 내에 5마리가 죽었다(생잔율 90%). 운반 중 스트레스와 사육환경의 변화에 적응하지 못한 때문으로 여겨진다.

잉어의 체중은 실험 시작할 때에 평균 107.5g이었으나, 2개월 후에는 평균 57.7g 증가한 165.2g였다. 일간 성장률은 2.75 $g \cdot 일^{-1}$ $마리^{-1}$였다. 1997년 10월부터 1998년 10월의 사육 1년 후의 평균 체중은 478.2g로 약 3배 증가하였다.

3차연못에 직접 양어를 시작하여 약 1년 후에 잉어 생잔율이 86%로 높게 나타났다. 월동을 고려하면 매우 좋은 사육결과로 여겨진다. 사육실험에서 생잔율이 높게 나타난 원인은 성장측정에 따른 스트레스가 적었으며, 3차연못의 환경조건 (수질, 먹이 등)이 잉어사육에 적합했다는 점에서 찾을 수 있다. 1년간 일간성장률이 1.31 $g \cdot 일^{-1}$ $마리^{-1}$로 높게 나타났다. 사육환경 중 먹이공급이 충분하여 성장이 좋았기 때문이라고 생각된다.

Table 4. Growth and Survival Rate of Carps in Tertiary Pond of Pond System Treating Animal Wastewater.

	97. 7.	97. 10.	98. 10.
Weight (g) (Mean±SD)	107.5±39.2	165.2±86.2	478.2±159.3
Population	70	65	56
Survival Rate (%)	--	92	86
Total Weight (kg)	7.525	10.738	26.779
Growth Rate ($g \cdot day^{-1}$ per fish)	--	2.75	1.31

하·폐수를 재활용하는 양어지의 중요한 물고기 먹이는 식물성프랑크톤(phytoplankton) 특히 조류(algae)이다.[9) 10)] 하·폐수의 유기물은 박테리아에 의해 유기영양염류로 분해되며, 햇빛이 쪼이면 조류가 영양염류를 섭취하여 성장하게 된다. 조류의 C:N:P의 구성비는 약 50:10:1로 구성되어 있다고 알려져 있다. 탄소는 물 속에 다량 존재하며, 인이 물고기 성장에 제한 요소로 작용하지 않아, 질소가 물고기 성장에 중요한 제한 인자가 된다.[11)] 3차연못의 평균 T-N은 21 $mg \cdot L^{-1}$였다.

Table 5는 연못시스템에서 성장한 조류를 회수하여 건조기에서 건조한 후 성분을 분석한 결과이다. 단백질이 약 43.9%로 좋은 물고기 사료가 될 수 있다.

3차연못의 잉어 성장은 먹이공급 없이 자연적으로 발생하는 먹이에 의존한 것이다. 하·폐수처리 측면에서 3차연못의 수질은 2차처리수준(secondary treatment level)인 BOD_5 20 $mg \cdot L^{-1}$를 유지하였다. 따라서 하·폐수 재활용 잉어사육 양어지의 수질은 2차처리수준을 유지하는 연못이 적합하다고 사료된다.

Table 6은 먹이공급 없이 하·폐수를 재활용하는 양어지의 잉어 생산량을 나타낸다[12),13),14)]. 생산량은 18 - 137$g \cdot m^{-2}year^{-1}$로 범위가 넓다. 물고기 생산량은 기후조건, 유입하수의 유기물정도, 양식형태(단종 양식, 다종 양식), 물고기 종, 양식기술에 따라 차이가 있다. 본 연구의 3차연못 잉어생산량은 약 125 $g \cdot m^{-2}year^{-1}$로 다른 나라의 잉어생산량과 비교하면 매우 양호한 생산량이다.

Table 5. Components of Algae Growing in Pond System Treating Animal Excreta (%)

Water	Fat	Ash	Protein	Soluble Carbohydrates
4.3	8.8	19.8	43.9	23.2

Table 6. Fish Production of Ponds Using Effluent from Wastewater Treatment Facilities or Treating Wastewater Without Feeding

Country	Species	Production
Germany	carp	56$g \cdot m^{-2}year^{-1}$
Hungry	carp	170$g \cdot m^{-2}$par 7months
India	carp	96-137$g \cdot m^{-2}year^{-1}$
China	carp	18$g \cdot m^{-2}year^{-1}$

요 약

축산폐수를 처리하는 연못시스템의 1차연못 처리수(평균 BOD_5 49.1$mg \cdot L^{-1}$, T-N 48.6 $mg \cdot L^{-1}$)를 1주에 2 - 3회 실험양어지에 공급하여 잉어의 성장을 조사하였다. 처리수 공급유량과 실험양어지의 유량이 1:4가 유지되도록 공급하였으며, 실험양어지의 평균 BOD_5는 15 - 20 $mg \cdot L^{-1}$였다. 양어지에 수용한 잉어의 평균 체중은 8월에 204.2 g에서 9월과 10월에 210.4 g와 219.3 g로 각각 늘었으며 60일간 사육에서 생잔율이 82%였다. 운반 및 조사시 잉어에 주는 스트레스를 감안하면 양어지의 수질과 환경은 잉어 성장에 나쁘지 않았다고 여겨진다. 8월부터 10월 사이의 다소 낮은 성장률은 양어지의 물을 빼내고 잉어를 잡아 체중과 체장을 측정하는 과정이 잉어에 스트레스를 준데 원인이 있다고 사료된다. 월동 후인 이듬해 4월에 잉어의 평균 체중은 205.3g로 감소하였으며 전년도 10월과 비교하여 생잔율은 83%였다. 일반적으로 잉어는 월동 후에 체중이 약 10 - 20 % 감소하는 경향이 있다.

양어지 실험결과 양어지의 평균 BOD_5가 15 - 20 $mg \cdot L^{-1}$로 유지되면 용존산소결핍으로 잉어가 일시에 죽는 현상은 일어나지 않음을 알 수 있었다. 평균 BOD_5와 T-N이 각각 27.9, 30.8 $mg \cdot L^{-1}$인 2차연못에 체중 약 100g 정도의 잉어 10마리를 8월에 넣어 보았으나 1주일 이내에 모두 죽었다. 새벽 무렵의 급격한 용존산소결핍 현상에 원인이 있다고 사료된다.

연못시스템의 3차연못에 잉어를 직접 넣어 성장을 분석하였다. 3차연못의 평균 BOD_5와 T-N은 각각 19.8 $mg \cdot L^{-1}$, 21.0 $mg \cdot L^{-1}$였다. 3차연못은 2차연못에서 발생한 조류(algae)가 죽어 연못바닥으로 침전되는 마무리연못(maturation pond)으로 연못전체가 호기성을 유지하고 있었다. 3차연못에 8월에 넣은 잉어의 평균체중은 107.5g였으며 2개월 후에 165.2g으로 증가하였다. 사육 1년 후의 평균체중은 478.2g으로 약 3배 증가했으며, 1년 후의 잉어 생잔율도 86%로 높게 나타났다. 월동을 했다는 것을 고려한다면 매우 좋은 성장이다. 생잔율이 높게 나타난 원인은 측정 횟수가 적어 측정에 따른 스트레스가 적었다는 점과 3차연못의 환경조건(수질, 먹이 등)이 잉어사육에 적합했다고 사료된다. 사료공급 없이 하·폐수를 재활용하는 세계 여러나라의 잉어 생산량은 약 18 - 137$g \cdot m^{-2}year^{-1}$이다. 3차연못 잉어생산량은 125 $g \cdot m^{-2}year^{-1}$로 아주 양호한 생산량이다.

산업폐수가 유입되지 않은 생활하수나 축산폐수의 처리수를 이용한 양어의 고기는 생체실험결과 인체에 해가 없다고 규명되어 왔다[15),16),17)]. 축산폐수를 자연생태적으로 처리하는 연못시스템의 연못에서 잉어를 사육할 경우 연못의 수질이 2차처리수준인 BOD_5 20 $mg \cdot L^{-1}$ 정도를 유지하는 것이 적절하다고 사료된다. 연못시스템은 축산폐수를 효율적으로 처리할 수 있을 뿐만 아니라, 양어의 수확으로 축산농가의 소득증대에도 기여할 수 있다.

참 고 문 헌

1. Youan, C., O. Zhao, and J. Zhen (1993) Comparing-hog-fish agroecosystems with conventional fish culturing in China, *Ecological Engineering*. 2, pp. 231-242
2. Devendra, C. (991) *Integrated Animal-Fish-Mixed Cropping Systems*, Presented at the FAO International Workshop on Integrated Livestock-Fish Production Systems, Kuala Lumpur, Malaysia, December 16-20, 1991.
3. dePauw, N., J. Verboven, and C. Clus (1983) Large-scale Micro-algae Production for Nursery Rearing of Marine Bivalves, *Aquacult. Eng.*, 2:27.
4. Yang, H. (1992), *Ecological Design of Estuarine Environment for a Sustainable Urban Ecosystem*, Ph.D. Dissertation, University of California, Berkeley. pp. 142-161.
5. Beck, V. P. (1984) Das Teichut Birkenhof der Kraftwerkstreppe Mittle Isar, *Oesterreichische Wasserwirts charft*. 36(5/6):127-129.
6. Edwards, P. (1985) *Aquaculture: a Component of Low Cost Sanitation Technology*, World Bank Technical Paper Number 36, Washington, D.C. pp. 1-40
7. Jana, B.B. (1998) Sewage-fed aquaculture: The Calcutta model, *Ecological Engineering* 11, pp. 73-85
8. Edwards, P. (1985) *Aquaculture: a Component of Low Cost Sanitation Technology*, World Bank Technical Paper Number 36, Washington, D.C. pp. 1-40
9. Bhowmik, M.L., U.K. Sarkar, and B.K. Pandey (1993) Plankton abundance and composition in sewage-fed fish pond, *J. Inland Fish*, Soc. India 25:23-29
10. Bhowmik, M.L., B.K. Pandey, and U.K. Sarkar (1994) Microbial and chemical changes in water and sediment of an experimental wastewater-fed fish pond, in Paul Raj, S. (Ed.), *Proceedings of the National Symposium on Aquaculture for 2000 AD*, pp. 323-328
11. Bhattarai, K.K., C. Polprasert, and B.N. Lohani (1986) Models for Aquacultural Treatment of Septage, *Wat. Sci. Tech.* 18:103-112.
12. Beck, V. P. (1984) Das Teichut Birkenhof der Kraftwerkstreppe Mittle Isar, *Oesterreichische Wasserwirts charft*. 36(5/6):127-129.
13. Baozhen, W. (1987) The Development of Ecological Wastewater Treatment and Utilization Systems (EWTUS) in China, *Wat. Sci. Tech.* 19:51-63.
14. Edwards, P. (1985) *Aquaculture: a Component of Low Cost Sanitation Technology*, World Bank Technical Paper Number 36, Washington, D.C. pp. 1-40
15. Guerrin, F, v. Burgat-sacaze, and P. de Saqui-sannes (1990) Levels of Heavy metals and Organochlorine Pesticides of cyprinid fish reared four Years in a wastewater treatment pond, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 44: 461-467.
16. Buras, N. (1990) Bacteriological guidelines for the sewage-fed fish culture In: Edwards, P., Pullin, R.S.V. (Eds.), *Wastewater-fed aquaculture*. Proceedings of the International Seminar on Wastewater Reclamation and Reuse for Aquaculture, Calcutta, India, pp. 223-236
17. Srivastava, C.B., and M. Mukherjee (1994) Parasitic infections in sewage-fed fishery of Sunderban delta. *Environ. Ecol.* 12, pp. 441-443