

신경회로망을 이용한 순환식 돈분폐수 처리시스템의 모니터링

최정혜, 손준일*, 양현숙**, 정영륜**, 이민호*, 고성철

한국해양대학교 토목환경공학부, 경북대학교 센서공학과*, 경상대학교 미생물학과**

전화 (051) 410-4418, FAX (051) 410-4415

Abstract

A recycling reactor system operated under sequential anoxic and oxic conditions for the swine wastewater has been developed, in which piggery slurry is fermentatively and aerobically treated and then part of the effluent recycled to the pigsty. This system significantly removes offensive smells (at both pigsty and treatment plant), BOD and other loads, and appears to be cost effective for the small-scale farms. The most dominant heterotrophs were *Alcaligenes faecalis*, *Brevundimonas diminuta* and *Streptococcus* sp. in order while lactic acid bacteria were dominantly observed in the anoxic tank. We propose a novel monitoring system for a recycling piggery slurry treatment system through neural networks. Here we tried to model treatment process for each tank (influent, fermentation, aeration, first sedimentation and fourth sedimentation tanks) in the system based on population densities of heterotrophic and lactic acid bacteria. Principle component analysis (PCA) was first applied to identify a relation between input (microbial densities and parameters for the treatment such as population densities of heterotrophic and lactic acid bacteria, suspended solids (SS), COD, NH₃-N, *ortho*-P, and total-P) and output, and then multilayer neural networks were employed to model the treatment process for each tank. PCA filtration of input data as microbial densities was found to facilitate the modeling procedure for the system monitoring even with a relatively lower number of input. Neural networks independently trained for each treatment tank and their subsequent combinatorial data analysis allowed a successful prediction of the treatment system for at least two days.

서론

축산분뇨는 고농도의 유기성 폐수로서 처리되지 않은 상태로 수계로 유입되면서 하천의 수질악화와 호소의 부영양화를 초래하며, 분뇨에 포함된 병원성 미생물에 의한 지하수 오염도 가져 올 수 있다³⁾. 전국의 축산농가에서 하루 발생하는 축산폐수 발생량은 약 197천m³으로서 이중 범규제 대상미만 축산폐수가 50%를 차지하고 있다. 축산폐수의 발생량은 산업폐수 및 생활하수에 비해 비교적 소량이지만 유기물질의 농도가 높아(BOD 20,000 ppm이상) 수계에 대한 오염부하량 측면에서 그 의미는 중대해진다⁴⁾. 공공수계에 대한 축산 폐수의 오염부하는 수역에

따라 다르게 나타나지만 최고 전체 오염부하의 19.9%를 차지하는 경우도 있다⁶⁾. 제도적으로는 법규제 규모미만의 소규모 축산농가가 많고 규제대상 농가도 규제기준이 낮은 실정이고, 축산폐수처리 관리상으로는 축산농가의 환경에 대한 인식부족과 운영능력 미흡 등으로 축산폐수처리시설의 운영관리가 부실하고, 이에 대한 지도·점검·인력도 턱없이 부족하여 효율적인 관리가 되고 있지 못한 실정이다. 본 연구의 궁극적 개발 대상이 되고있는 순환식 돈분처리 시스템은 규제대상에서 제외된 소규모의 농가에 적합한 시스템으로서 사실상 무방류 시스템이다⁵⁾. 인간의 정보 처리 방식을 공학적으로 모델링한 신경회로망은 자기 조직화, 대용량의 병렬처리 및 임의의 비선형 함수를 근사화할 수 있으며 적응적 학습기능 등의 장점들을 가지고 있어 기존의 방법으로 해결하기 어려웠던 여러 가지 문제들을 정확한 수학적 모델링이나 시스템의 파라미터에 대한 상세한 정보 없이도 원하는 결과들을 얻을 수 있어 패턴 인식, 비선형 동적 시스템의 동정화와 제어 등에 이용되고 있다^{1,2)}. 본 연구에서는 돈분폐수의 생물학적처리에 있어서 미생물의 밀도 그리고 처리효율평가에 중요한 요인들 즉 부유고형물(suspended solids: SS), 총질소(total-N), 암모니아태질소(NH₃-N), 총인(total-P), 무기인(ortho-P), COD 등을 입력 또는 출력변수로 하여 비선형함수를 잘 모델화할 수 있는 다층구조 신경회로망기법을 적용한 폐수 처리시스템의 에플레이터를 구축하여 궁극적으로 최적폐수처리의 실시간 모니터링 시스템을 구현하고자 하였다.

재료 및 방법

그림 1은 미생물을 이용한 pilot 순환식 돈분 처리시스템의 개략도를 나타낸다. 여기서 1번 탱크는 돈사로부터 나온 분뇨와 돈사내 세척수로 사용된 처리된 일부 방류수가 모이는 곳이며 이 유입수는 발효조(fermentation tank; 2번 탱크; 15L)로 유입된다. 3번 탱크는 폭기조(aeration tank; 15L)로서 송풍기(blower)에 의해 공기가 주입(7.8v/v/m)되었으며 폭기조의 폐수는 침전조인 6번과 7번 탱크에서 침전과정을 거치고 8번 저장탱크에 저장되며 그 일부는 돈사를 세척하는데 이용되었다. 본 연구에 사용된 돈분폐수는 김해 축산폐수 공동처리장의 혼합저류조에서 채취하였으며 성상은 약 COD 4000 (mg/L), BOD 7000(mg/L), T-N 2100(mg/L), T-P 172(mg/L)였다. 매 8 일마다 유입수를 원수 : 방류수 : 수도수 = 33% : 57% : 10% 섞어서 공급 하였다. 이 때 포도당을 첨가하여 C/N 비를 100 : 15로 조절하였고 현장조건을 고려하여 유입수 및 폭기조에 미생물 제재 1%(w/v)를 첨가하였다. 발효조 및 폭기조의 수리학적 체류시간은 4일 이었고 47일간 운전하였다. 처리시스템의 미생물(유산균 및 종속영양세균)의 밀도, SS, total Kjeldahl-N, NH₃-N, total-P, ortho-P, COD 및 BOD 등의 측정은 이전 보고⁵⁾에 준하여 실시하였다.

결과 및 고찰

그림 2는 47일 동안 처리 시스템내의 대표적 호기성 균주 TSA-3(*Alcaligenes faecalis*)의 밀도변화를 각 탱크별로 나타낸 것으로서 폭기조에서 유입수 및 발효조에 비해 우점하고 있는 것으로 나타났다.

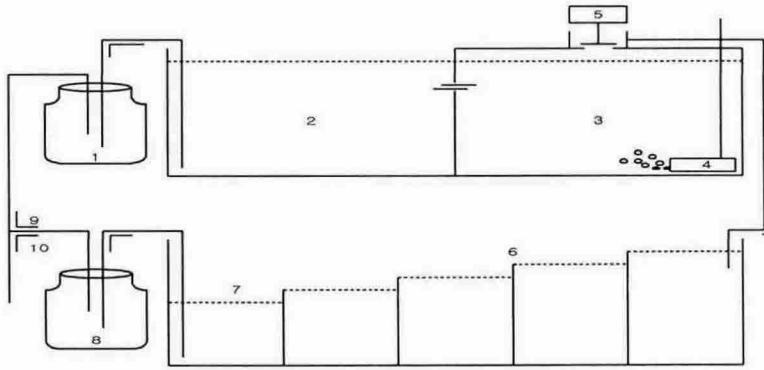


Figure 1. Schematic diagram of the recycling treatment system for piggery slurry. 1 Influent; 2 Fermentation tank; 3 Aeration tank; 4 Blower; 5 Antifoaming device; 6 Sediment tank; 7 Reservoir; 8 Storage tank; 9 Recycling flow; 10. For fertilizer.

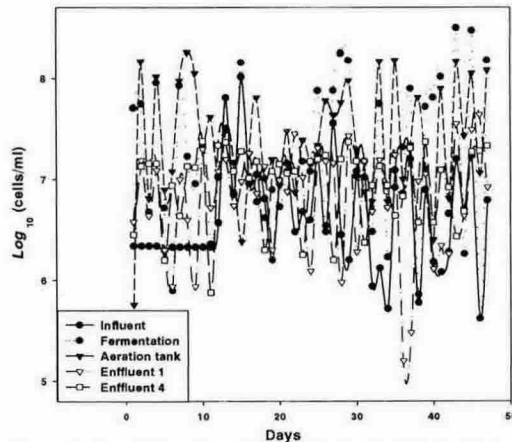


Figure 2. Population dynamics of a heterotrophic bacterium (*Alcaligenes faecalis*) in the recycling treatment system.

순환식 돈분처리 시스템을 모델링하기 위해 47일 간의 측정 데이터 중에서 6, 11, 16, 21, 26, 31, 36 41일째 데이터와 46일과 47일째 데이터는 학습이 끝난 후 완성된 모델의 성능을 평가하기 위한 테스트 데이터로 사용하기 위해 학습에서 제외하였다. 학습에 사용된 신경회로망의 형태는 하나의 은닉층을 가지는 구조를 이용하였고 각각의 연결강도는 오류역전파 알고리즘에 의해 수정되었다. 신경회로망을 이용한 각 탱크 특성 모델링은 각각의 탱크에서 복잡한 함수관계를 잘 근사화 하여 실제 측정치와 유사한 값을 출력하고, 학습하지 않은 테스트 데이터에 대해서도 어느정도 추정할 수 있음을 확인할 수 있었다. 각각의 탱크 특성을 모델링하는 신경회로망을 연결하여 순환식 돈분 처리 시스템의 모니터링을 위한 전체 시스템을 구성하고 46일째 유입수의 데이터로부터 이들 동안의 시스템의 출력을 예상한 결과를 조사하였다. 그림 3과 4에서 COD와 NH₃의 실측값 및 신경망 출력치를 그래프로 비교하여 나타내었다. 여기서 가로축의 숫자는 46일과 47일째 시스템에서의 각각의 탱크를 의미한다. 여기서 보는 것 처럼 제안한 방법을 이용한

순환식 돈분폐수 처리모니터링 시스템이 수일 동안 실제 측정치와 유사함을 알 수 있다.

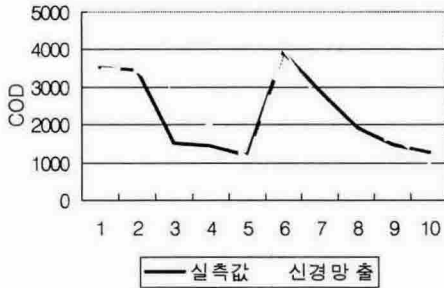


Figure 3. COD의 2일 동안의 예상 결과

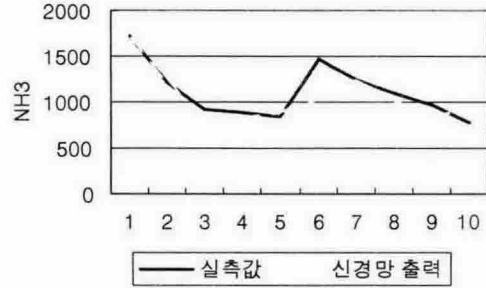


Figure 4. NH₃의 2일 동안의 예상 결과

요약

본 연구에서는 순환식 돈분 폐수 처리 시스템에서의 미생물 분포에 따른 폐수 처리 효과를 모델링하기 위해 신경회로망과 PCA를 이용하는 새로운 방법을 제안하였다. PCA 분석 결과를 바탕으로 신경회로망의 최적 입력 조건을 찾고, 실측 데이터를 이용하여, 폐수 처리 시스템의 각 탱크를 별도로 학습함으로써 비교적 적은 수의 데이터에도 불구하고 정확한 모델링 결과를 얻었다. 제안한 시스템은 폐수 처리 시스템의 효과적인 모니터링 시스템으로 사용할 수 있으며, 향후 실제 돈분 처리 시스템에서 원하는 기준의 방류수를 얻기 위한 최적의 입력조건 (미생물밀도 등)을 결정하는데 있어서 에플레이터로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Barto, A.G., R.S. Sutton, and C.W. Anderson, Neuronlike adaptive elements that can solve difficult learning control problems(1983), *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. SMC-13, No. 5, pp. 834-846.
2. Weigend, AS., N.A. Gershenfeld, *Time series prediction: Forecasting the Future and Understanding the Past*(1994), Addison-Wesley Publishing Co.
3. 정연구, 상수원 보호를 위한 축산분뇨의 적정관리방안(1990). 한국과학기술원.
4. 최경민 등, 광합성 세균을 이용한 돈분 폐수처리에 관한 연구(1996), 폐기물 자원화 제 4권 제 2호, p. 1121.
5. 최정혜, 정영륜, 고성철, Microbial Treatment of Swine Wastewater by Recycling Reactor System with Sequential Oxidic and Anoxic Conditions(1999), 대한환경공학회(춘계)
6. 환경청, 환경보전법 및 폐기물 관리법 (1988).