

퍼지제어기를 이용한 하폐수처리공정의 최적화

Fuzzy Control and Optimization for the Wastewater Treatment Process

천성표, 김봉철, 김성신

부산대학교 전자전기통신공학부 (051-510-2367)

Division of Electronics and Electrical Engineering, Pusan National University
(051-510-2367)

ABSTRACT

There are increasingly important financial incentives and environmental consideration to improve the effluent quality of wastewater from domestic and industrial users. The activated sludge process is a widely used biological wastewater treatment process. The activated sludge process is complicated due to the many factors such as the variation of influent flowrate and concentration, the complexity of biological reactions and the various operation conditions. Nowadays, not only suspended solids and residual carbon, but also nitrogen and phosphorous concentration of the effluent water must be taken into account for the design and operation of wastewater treatment plants. Also, the effluent quality to be met are more stringent. Therefore, an intelligent control approach is required in order to successful biological nitrogen removal. In this paper, the strategies for dosage of extra carbon in the anoxic zone and *DO* concentration in the aerobic zone are presented and evaluated through the simulation using the denitrification layout of the IWA simulation benchmark implemented by Matlab[®]5.3/Simulink[®]3.0. The control strategy to achieve sufficient denitrification rates in an anoxic zone. Methanol is used as an external extra carbon source. The external extra carbon source is required for the nitrogen removal process because nitrogen and organic concentration are fluctuated in the influent flowrate. The dissolved oxygen is calculated by *So* concentration in the activated sludge model No.1. The air flowrate of each aerobic reactor is intelligently controlled to achieve the predefined setpoints. Air flowrate is adjusted by the fuzzy logic controller that includes two inputs and one output. The objective function for the optimization procedure is designed to improve effluent quality and reduce the operating cost.

I. 서론

현재의 하·폐수 처리공정은 대부분 생물학적 공정을 이용하고 있으며, 이는 미생물의 반응을 이용하여 유기물과 질소, 인등의 물질을 처리하는 것으로 효율적인 처리를 위해서는 미

생물의 활발한 활동에 필요한 위한 최적의 조건을 제공하는 것이 매우 중요하다. 하·폐수 처리에 있어서 생물학적 영양염 제거를 위한 연속식반응기의 운전관리는 다양한 변수들의 원인, 결과의 결합에 의하여 결정되기 때문에 그

특성을 분석하기가 쉽지 않다. 특히 미생물의 반응은 그 특성을 예측하기 힘들며, 한 번 성질이 변화한 미생물을 다시 회복시키기 위해서는 많은 시간이 흘러야 한다. 그리고, 변화하는 유입수의 유량 및 특성의 변화에도 불구하고 일단 처리시설 내로 유입된 모든 하·폐수는 반드시 일정 기준 이하의 오염도를 갖도록 처리하여야 한다. 생물학적 영양염 제거를 위한 연속식반응기는 각각의 반응조에 혐기, 무산소, 그리고 호기의 반응환경을 제공함으로써 탄소(유기물), 질소, 인을 제거하는 것으로, 조절해야 할 많은 변수들이 포함되어 있으며 반응기 공정의 설계와 운전을 위해서는 변화하는 유입수의 양과 수질에 적용할 수 있는 체계적인 운전 방법이 결정되어야 한다. 현재는 최초 플랜트 설계 과정에서 결정된 운전 방법과 시행착오를 통한 실질적인 운전자의 경험과 지식에 의하여 주관적으로 많은 부분이 결정되고 있으며 일단 결정된 운전 방법을 바꾸는 것이 사실상 불가능한 실정이다. 따라서 이를 개선하기 위하여 유입수의 유량 및 특성의 변화에 따라 각기 다른 조건의 반응기에서 수질 및 특성 변화를 분석한 후, 현장 기술자의 경험과 지식을 이용한 퍼지규칙[1][2]을 이용하여 모의실험한 결과를 검토하여 제어기의 성능 향상과 효율적인 에너지 관리의 관점에서 기존의 운전방법을 향상시킬 수 있는 제어 방법을 제안 할 것이다.

II. 질소제거공정에서의 외부 탄소원 투입

대부분의 생물학적 질산화 및 탈질화공정에서는 폐수내의 박테리아에 의하여 질산염이나 질소가스로 변환시키는데 충분한 탄소에너지(유기물)가 있어야 한다. 이 탄소소요량은 폐수나 미생물세포와 같은 내부 공급원(internal source), 또는 외부 공급원(즉, 메탄올)에서 공급되어야 한다. 본 연구에서는 유입수 내에서 공급되는 탄소 공급원의 부족분을 외부에서 메탄올을 이용하여 효율적으로 공급하여 전체적인 공정의 원활한 반응조건을 제공 할 것이다.

III. 호기조에서의 용존산소농도제어

호기 상태의 폐수처리에서 용존산소농도는 유입수 내의 기질과 함께 미생물의 가장 기본

적인 생육조건이다. 용존산소가 부족한 경우 미생물의 활동도가 감소하여 충분한 기질제거가 이루어지지 않아 유출수질의 악화를 초래하며, 반면, 산소공급량이 지나치게 많으면 내부반송에 의해 무산소조로 유입되어 탈질 현상에 방해가 되기 때문에 이를 적절한 농도로 유지하여야 한다. 아직까지 대부분의 하·폐수처리장에서는 숙련된 기술자가 직접 유입수를 관측하고 반응기의 상태와 유출수의 수질 등을 고려하여 수동으로 제어하고 있다. 본 논문에서는 안정적인 유출수의 수질을 확보함과 동시에 전체적인 공정의 효율을 향상시키기 위하여 퍼지논리 제어를 이용하여 이들의 지식을 구현하였다.

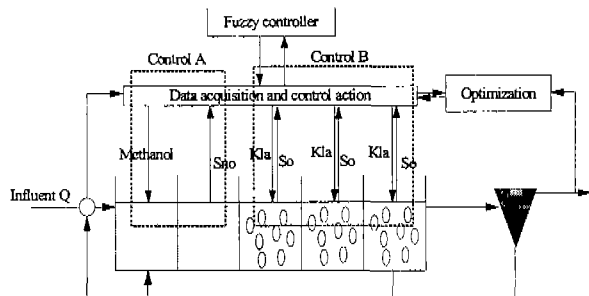


그림 1. 제어적용을 위한 전체시스템의 간략도

IV. 모의실험

실제적인 제어기법의 제안 및 적용에 우선하여 제어하고자 하는 플랜트의 특성을 분석하고 전반적인 하·폐수처리 시스템을 이해하는 과정은 필수적이다. 이를 위해서 Ulf Jeppsson의 Modelling Aspects of Wastewater Treatment Processes[3]와 IWA(International Water Association)에서 제시한 Benchmark[4][5]를 기반으로 하여 Activated Sludge Process No. 1(ASM No.1)[6]을 적용한 연속식반응기 시스템을 Matlab[®]5.3/Simulink[®]3.0를 이용하여 모델링하고 검증하였다[7]. 외부탄소원과 용존산소농도 제어를 위한 전체적인 구성은 그림 1에 나타나 있다. 무산소조에서의 외부탄소원은 두 번째 반응조의 S_{no} 의 농도값을 기준으로 무조건적으로 부족분을 투입하는 경우와 S_{no} 농도가 $2mg/l$ 이상일 경우에만 투입하는 경우를 고려하여 모의

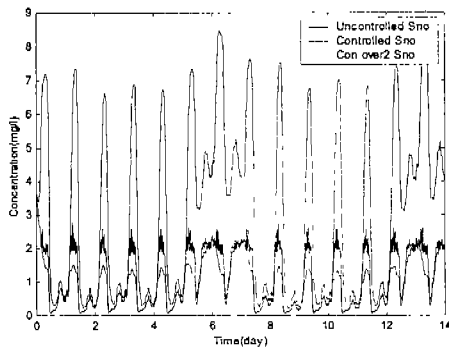


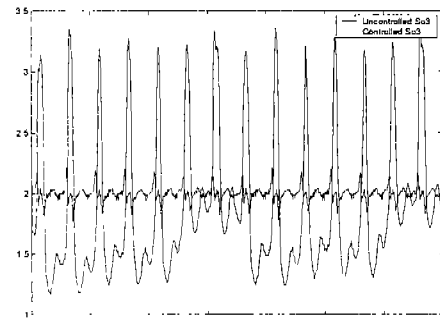
그림 2. 모의실험을 통한 반응조별 So농도의 변화

실험을 수행한 결과가 그림 2와 같다. 호기조에서의 용존산소농도제어는 DO probe를 통해 각 반응조내의 산소농도를 측정하여 퍼지로지칙으로 구성된 제어기를 통하여 Kla 값을 조절하여 반응조내의 DO농도를 제어하는 것이다. 퍼지제어기의 구성은 기준값과 현재상태값의 차를 오차로 정의하였고 이전 표본추출시간에서의 오차와 현재상태의 오차를 표본추출시간으로 나눈 값을 오차의 변화율로 정의하였다. 이를 바탕으로 21개의 규칙을 만들었다. 그 중 일부가 아래와 같다.

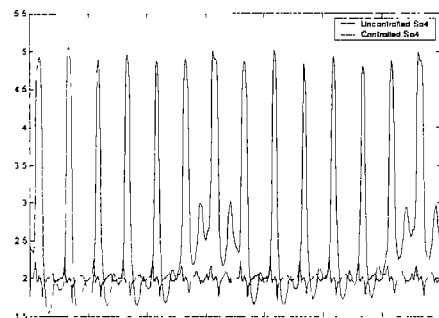
If Error is N and E is N then Kla is NS
 If Error is NS and E is N then Kla is ZR
 ...

If Error is NB and E is N then Kla is N
 If Error is PS and E is P then Kla is ZR
 If Error is P and E is P then Kla is PS
 If Error is PB and E is P then Kla is P

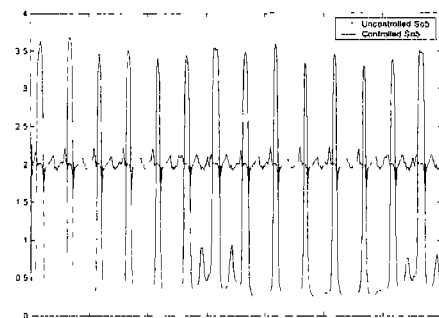
소속도함수는 가우시안함수를 이용하였으며, max-min operation을 이용하여 추론한 값을 무게중심값으로 비퍼지화 시켰다. 모의실험의 유입수조건은 IWA의 Dry Weather일 때 14일간의 data를 이용하였으며, 표본추출시간을 15분간격으로 하였다. 용존산소농도의 기준값을 $2mg/l$ 로 두었으며, 모의실험을 통하여 나온 각 반응조의 산소농도를 그림 3에 나타내었다. 외부탄소원 주입에 의해 두 번째 반응조와 이차 침전조로부터 나가는 유출수 내의 Sno농도가 감소함과 동시에 호기조 전체의 DO농도를 $2mg/l$ 로 어느 정도 범위내에서 유지되고 있다. 성능 변화를 쉽게 보기 위해서 제어하지 않을 경우 각 성분의 변화도 함께 제시하였다. 퍼지제어기에 의해 프로세서의 입력으로 들어가는 Kla 값의 변화와 각 반응조별 So농도의 변화를



(a)



(b)



(c)

그림 3. 각 호기조의 So값의 변화

보면 퍼지제어기의 성능이 상당히 타당성있게 나오고 있음을 알 수 있다.

V. 결론

연속식반응기는 매우 많은 조절되어야 할 변수들이 포함되어 있으며 반응기 공정의 설계를 위해서는 변화하는 유입수의 양과 수질에 적응할 수 있는 체계적인 운전 방법이 결정되어야 한다. 본 논문에서는 효율적인 에너지 관리를 포함한 최적의 운전조건을 도출하기 위한 방법으로 무산소조에서는 외부탄소원을 주입하고 호기조에서는 지식과 경험으로부터 추출한 퍼지규칙을 이용하여 퍼지제어기를 설계하여 보았다. 모의실험을 통하여 효율적인 에너지 관리

와 보다 안정적인 제어가 가능하며 시스템의 비선형성과 유입수의 변화를 극복할 수 있는 강인한 제어를 설계가능성을 알 수 있다.

VI. 향후과제

제어기의 최적화는 다양한 방법에 의해서 가능하다. 그러나 현장에서 사용될 제어기는 모의 실험을 통하여 최적화제어기와는 상당한 차이가 있는 경우가 많다. 본 연구에서는 향후 실제 현장에서 사용될 제어기를 최적화하기 위한 방법을 결정하기 위하여 일차적으로 모의실험에 사용된 제어기를 다양한 방법으로 최적화 할 것이다. 이를 위한 목적함수는 유출수의 수질과 운전비용을 고려할 것이다.

VII. 참고문헌

[1]. S. Kim, A. Kumar, J.L. Dorrity, and G. Vachtsevanos, "Fuzzy modeling, control, control and optimization of textile process," *Proc. of the 1994 Int. Joint Conf. of NAFIPS/IFIS/NASA*, pp. 32-38, Dec. 1994.

[2]. S. Kim, G. Vachtsevanos, "An Operator's Model for Control and Optimization of Mechatronic Processes," In Chapter13, "Mechatronics in Engineering Design and Product Development", Marcel Dekker, Inc. D. Popovic, L. Vlacic, pp. 565-584, Sep. 1998.

[3]. Jeppson, U. "Modelling Aspects of Wastewater Treatment Processes.", Ph.D Thesis, Dept. of Industrial Electrical Engeneering and Automation, Lund Institute of Technology, Sweden. 1996.

[4]. IAWQ Scientific and Technical Report Task Group: Respirometry in Control of the Activated Sludge Process Interim Report #1. 1999.

[5]. IAWQ Scientific and Technical Report Task Group: Respirometry in Control of the Activated Sludge Process Interim Report #2. 1999.

[6]. Henze, M., Grady, C.P.L.Jr., Gujer, W., Marais, G.v.R and Matsuo, T. "IAWQ Task Group on Mathematical Modelling for Design

and Operation of Biological Wastewater Treatment Activated sludge model No. 1", Scientific and Technical Reports No. 1, IAWQ, 1986

[7]. 천성표, 김성신, 김창원, "생물학적 영양염 제거를 위한 연속식 반응기 모델구현", 대한 환경공학회 '99추계 학술연구발표회 논문집(I), pp. 197-198, 1999.