

컴퓨터 예측모델을 활용한 간헐폭기 활성슬러지 시스템의 운영인자 결정

이상일·서인석·이원호·손종렬*

충북대학교 환경공학과

*고려대학교 보건전문대학

Determination of operation parameter on intermittently aerated activated sludge system by computer simulation model

Sang Ill Lee·In Seok Seo·Won Ho Lee·Jong Ryeul Sohn*

Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University

**Junior College of Allied Health Science, Korea University*

Abstract

In this research, effect of SRT, feeding pattern and reactor configuration on intermittently aerated activated sludge system was evaluated by using computer simulation model. T-N removal was affected to the SRT. SRT for the effective T-N removal was 15day or longer. Feeding pattern in intermittently aerated activated sludge system was affect to the T-N removal. Feeding pattern which 100% loading to the first reactor was most effective for T-N removal. When multi-stage of 2-stage or more was operated, COD and T-N in effluent removal was nearly the same.

I. 서 론

최근 컴퓨터 예측모델은 하수 및 폐수처리

장의 설계시 설계인자의 도출 및 운영인자의 검토시 효과적으로 이용되고 있다.¹⁻⁵⁾ 예측모델은 프로그램 구성에 고려된 반응의 적정성

이 무엇보다도 중요하며, 동력학적인자 및 폐수의 특성분류도 많은 영향을 끼치게 된다.^{5), 6)} 1986년 IAWPRC task group²⁾에서는 유기물 산화, 질산화 및 탈질산화 반응에 관련된 여러 가지 상수 및 계수를 체계적으로 조사하여 적용함으로써 비교적 정확하게 농도를 예측할 수 있는 예측모델인 activated sludge model No.1을 발표하였다. 그리고 최근 인의 제거기작을 고려하여 구성한 모델인 activated sludge model No.2가 IAWPRC에 의해 발표되어 환경공학 분야에서 많은 관심의 대상이 되고 있다.⁷⁾ 실험실 규모나 현장 규모로 실험을 하여 최적의 운영조건을 결정하는 데는 많은 시간과 장비등이 소요된다. 그러나 컴퓨터 예측모델은 많은 운영조건을 짧은 시간내에 검토함으로써 최적의 운영조건을 결정하는데 있어서 많은 시간과 경비를 절약할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

본 연구에서는 IAWPRC에서 개발한 예측모델을 간헐폭기 형태에 맞게 재구성한 예측모델을 영양염류 처리를 목적으로 운영되는 간헐폭기 활성슬러지 시스템에 적용하였다. SRT, 유입수 주입방법에 따른 영향과 간헐폭기 활성슬러지 시스템을 다단으로 운영시 각각의 반응조내에서의 변화를 검토하였다.

II. 실험재료 및 방법

1. 간헐폭기 활성슬러지 시스템의 예측모델

본 연구에서는 IAWPRC(1986)에서 구성한 예측모델인 activated sludge model No.1을 간헐폭기 형태의 활성슬러지 시스템에 적용할 수 있게 재구성하였다⁸⁾. 본 예측모델은

Peterson에 의해 제안되었던 matrix 형태로 구성되었다. 본 모델에서는 5개의 stoichiometric parameter와 14개의 kinetic parameter가 이용 되었으며 유기물, 암모니아성 질소, 질산성질소, 타가영양 미생물의 농도, 자가영양 미생물의 농도등 13가지의 항목을 예측할 수 있게 구성되었다. 또한, 본 모델에서는 각 항목의 증가 및 감소에 관련된 8가지의 반응이 고려되었으며 기본적인 모델의 구성요소는 IAWPRC에서 제안한 것과 같다^{1), 5)}.

하나의 반응조내에서 폭기 및 비폭기 상태가 주기적으로 반복되며 운영되는 간헐폭기 활성슬러지 시스템에서 반응조내 오염물질 거동을 예측하기 위해서는 시간의 변화에 따른 용존 산소의 조정이 필수적으로 이루어져야 한다. 따라서, 기존의 IAWPRC에서 프로그램을 구성시 이용한 언어 대신 Borland C++ 과 spreadsheet 프로그램인 Quttro pro 프로그램을 사용하여 각각의 반응조내의 용존산소 농도를 시간에 따라 임의로 설정하여 호기성과 무산소 상태를 유지할 수 있도록 하였다. 시간에 따른 용존산소 농도의 변화를 간단하게 표현하기 위해 spreadsheet 프로그램인 Quttro pro 프로그램의 각각의 cell에 입력하여 읽어들이는 방식을 이용하였다. 입력된 자료를 이용하여 여러가지 parameter 및 운영형태에 따라 반응조내에서의 농도를 계산한다. 계산된 자료는 다시 Quttro pro 프로그램의 각각의 자료 file에 입력되며 동시에 컴퓨터 모니터에 동적화상으로 나타나기 때문에 예측결과를 손쉽게 확인할 수 있다. 모든 프로그램은 Quttro pro 프로그램에서 매크로 프로그램을 구성하여 작동하였다.

2. 2단 간헐폭기 활성슬러지 시스템에서 SRT 및 유입수 주입방법에 의한 영향 검토

2단 간헐폭기 활성슬러지 시스템을 운영시 SRT에 의한 영향을 검토하기 위해 모든 운영 조건은 일정하게 고정시키고 SRT를 5, 10, 15 및 20일로 변화시켜 예측모형을 적용하였다. 이때, HRT는 24시간 이었으며, 유입수는 100% 제1반응조로 주입되는 것으로 하였다. 모델의 운영시 이용한 동력학적 인자는 표(1)과 같다. 모델운영에 이용한 폐수는 양돈폐수로서 이의 특성을 이용하였다. 유입수의 유기물 특성중 readily biodegradable COD, Soluble inert COD 및 particulate COD는 각각 691, 200 및 210.9mg/l 이었으며, 질소특성중 유입수의 TKN, soluble inert nitrogen, ammonia nitrogen은 각각 216.3, 20.1 및 110.3 mg/l 이었다.

유입수의 주입방법에 의한 영향을 검토하기 위해 제1반응조와 제2반응조의 유입비율을 각각 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40 및 50 : 50으로 변화시켜 예측모형을 운영하였다. 예측모델의 운영조건은 SRT를 20일로 하였으며, 나머지 조건은 SRT의 영향을 검토한 상기의 조건과 동일하게 하였다.

본 연구에서 행한 간헐폭기 활성슬러지 시스템의 모든 예측시, 폭기 및 비폭기 시간은 각각 1시간/1시간으로 하였으며, 폭기 및 비폭기 상태에서 용존산소의 농도는 각각 3 및 0.1mg/l로 하였다.

3. 컴퓨터 예측모델에 의한 다단 간헐폭기 활성슬러지 시스템의 해석

다단 간헐폭기 활성슬러지 시스템을 컴퓨터

예측모델로 해석하기 위해 2단, 3단 및 4단 간헐폭기 활성슬러지 시스템을 대상으로 하였다. 다단 간헐폭기 활성슬러지 시스템의 각 반응조 크기는 같은 크기의 반응조를 직렬로 연결하였으며 2단, 3단 및 4단 간헐폭기 활성슬러지 시스템의 전체 반응조 크기는 동일하였다. 예측모델의 운영시 이용한 동력학적 인자 및 폐수의 특성은 상기 유입수 주입방법의 영향검토에서와 동일하게 하였으며, SRT는 20일, HRT는 24시간으로 하였다. 유입수의 주입방법은 100% 제1반응조로 행해지는 것으로 하였으며, 반응은 유입수의 100%로 제1반응조로 행해졌다.

III. 결과 및 고찰

1. 2단 간헐폭기 활성슬러지 시스템에서 SRT 및 유입수 주입방법에 의한 영향 검토

SRT를 5, 10, 15 및 20일로 변화시켜 예측모형을 운영한 결과, 각 반응조내에서 soluble COD(SCOD) 및 T-N의 농도는 Figure. 1 및 Figure. 2와 같다. Figure. 1에서 보는 바와 같이 제1반응조에서는 SRT가 5일 일때의 SCOD가 가장 높았으며, 10일 이상의 SRT에서는 SRT가 증가함에 따라 약간 낮지만, 큰 차이는 나지 않는 것으로 나타났다. 제2반응조에서도 SRT 5일에서 SCOD의 농도가 가장 높았으며, SRT 10일 이상에서는 거의 같은 농도를 나타내고 있다. Figure. 2의 제1반응조에서 T-N농도는 SRT가 5일 일때는 SRT가 너무 짧아 질산화 반응이 효과적으로 이루어지지 않으므로 유입수중의 상당량의 질소성분이 반응조내에 존재하는 것을 알 수

있다. 유입수의 T-N은 216.3mg/ℓ 이었으나, 반응조내에는 약 105mg/ℓ 정도 존재하는 것으로 나타났다. SRT가 10일 이상에서는 질산화 및 탈질산화가 효과적으로 일어나 질소성분의 상당량이 제거된 것을 알 수 있다. 제2 반응조에서 SRT가 5일 일때, 제1반응조와 비교하여 T-N의 농도가 차이가 없으며 유입수 중의 상당량이 처리되지 않고 유출되는 것으로 나타났다. 이상의 결과로부터, SRT가 길어짐에 따라 T-N 제거에 효과적이거나, SRT 15일 이상에서는 농도 차이가 크지 않은 것으로 나타났다. 따라서, SRT를 15일 및 20일 정도로 운영하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

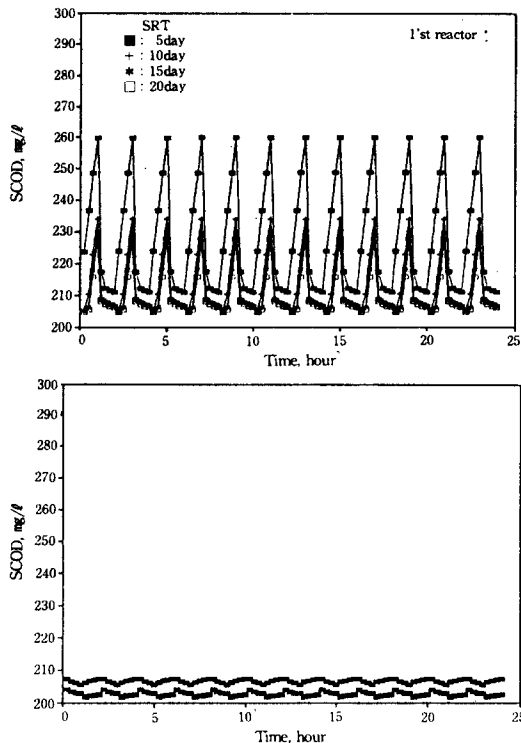


Fig. 1 Predicted influence of SRT on SCOD in 2-stage intermittently aerated activated sludge system

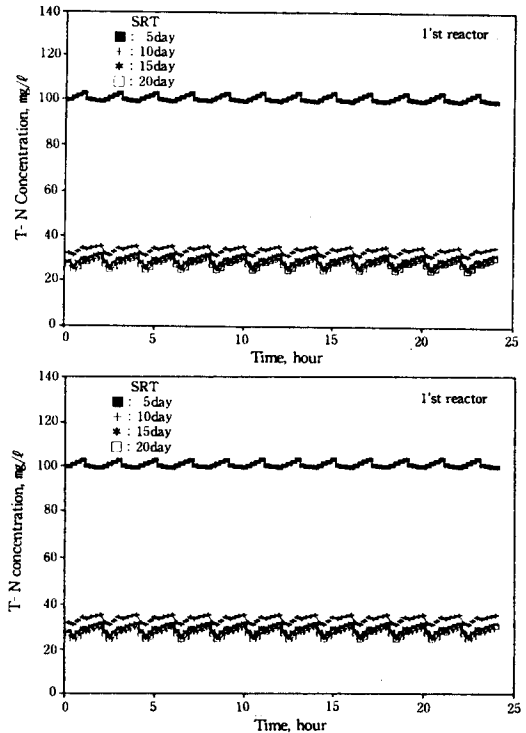


Fig. 2 Predicted influence of SRT on T-N in 2-stage intermittently aerated activated sludge system

2단 간헐폭기 활성슬러지 시스템에서 제1반응조와 제2반응조의 유입비율을 조정하여 최적의 비율을 결정하기 위해 제1반응조와 제2반응조의 유입비율을 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40 및 50 : 50으로 변화시켜 반응조내에서의 SCOD 거동을 예측한 결과는 Figure. 3과 같다. 제1반응조에서는 제1반응조의 유입비율이 작아짐에 따라 반응조내에서의 변화폭은 작게 나타났으며, 비율이 커짐에 따라 변화폭은 커짐을 알 수 있다. 그러나 제2반응조내에서는 제2반응조로의 유입비율이 커짐에 따라 반응조내에서의 변화폭은 커짐을 알 수 있다. 각 반응조내에서의 T-N 농도의 변화는 Figure. 4와 같다. 제1반응조의 변화는

SCOD의 변화에서와 같이 제1반응조로의 유입비율이 커짐에 따라 변화폭은 커졌다. 그러나 제2반응조에서는 제2반응조로의 유입비율이 작아짐에 따라, 즉 제1반응조로 유입수를 100% 유입시키는 것이 T-N 제거에 가장 좋은 것으로 나타났다.

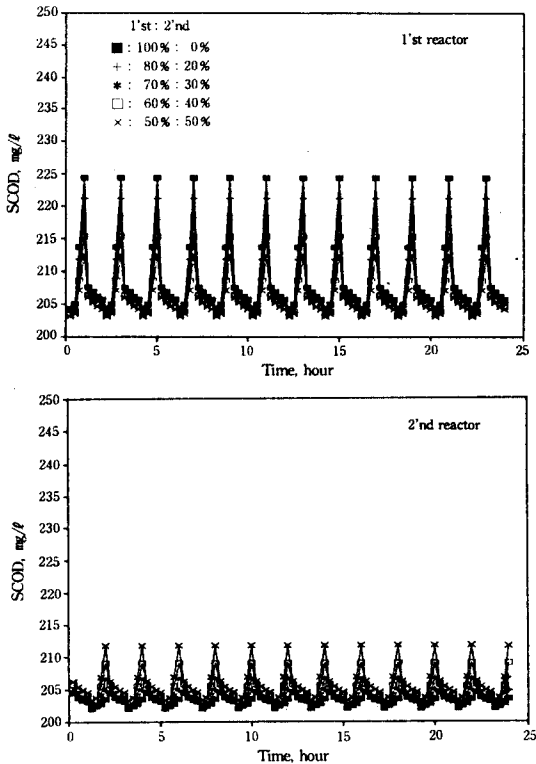


Fig. 3 Predicted influence of feeding pattern on SCOD in 2-stage intermittently aerated activated sludge system

2. 컴퓨터 예측모델에 의한 다단 간헐폭기 활성슬러지 시스템의 해석

상기의 예측에서 구한 최적조건인 SRT 20 일 및 유입수 주입방법을 제1반응조로 100% 행해지는 것으로 하여 2단, 3단 및 4단 간헐폭기 활성슬러지 시스템의 각 반응조에서 SCOD의 농도를 예측한 결과는 Figure. 5와 같다. 간헐폭기 활성슬러지 시스템의 운영시

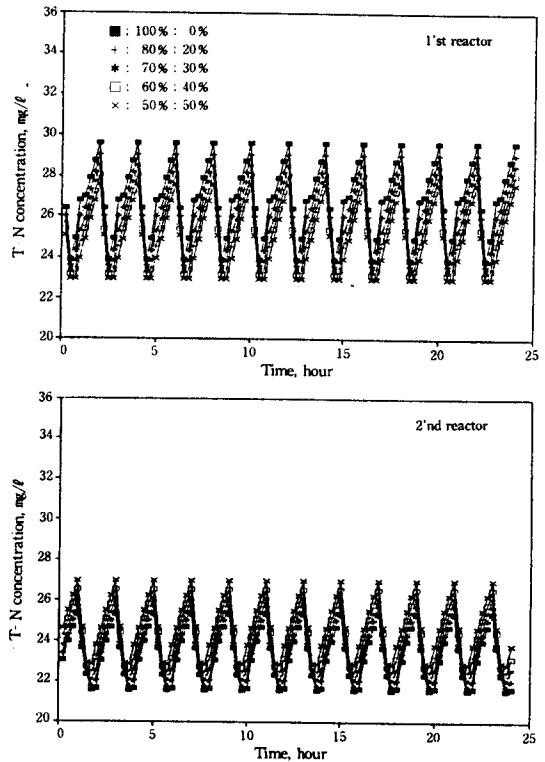


Fig. 4 Predicted influence of feeding pattern on T-N in 2-stage intermittently aerated activated sludge system

폭기 및 비폭기 시간은 1시간/1시간으로 하였다. 예측 결과, 각 반응조에서의 SCOD 농도는 폭기시간에는 감소하고 비폭기 시간에는 증가하였다. 2단 간헐폭기 활성슬러지 시스템의 제1반응조에서 SCOD 농도는 205~227mg/l의 범위에서 변화하였으며, 제2반응조의 SCOD는 202~204mg/l로 크게 변화하지 않았다. 3단으로 운영시에는 제1반응조의 SCOD 농도는 206~248mg/l의 범위이었으며, 제3반응조에 비해 제2반응조에서의 농도가 약간 높기는 하지만 약 203mg/l 정도이었다. 활성슬러지 시스템을 4단으로 운영시에도 2단으로 운영시와 비슷한 결과를 나타냈다. 즉, 제1반응조에서의 농도는 208~267mg/l

의 범위에 있었으며 2, 3, 4반응조에서의 농도는 203mg/l로 비슷하였다. 상기에서 예측한 2단, 3단 및 4단 간헐폭기 활성슬러지 시스템에서 SCOD 농도를 비교해본 결과, 반응조의 수가 커짐에 따라 제1반응조에서의 SCOD 농도는 고농도이며, 변화폭도 커졌으나, 마지막 반응조에서의 수질은 안정적임을 알 수 있다.

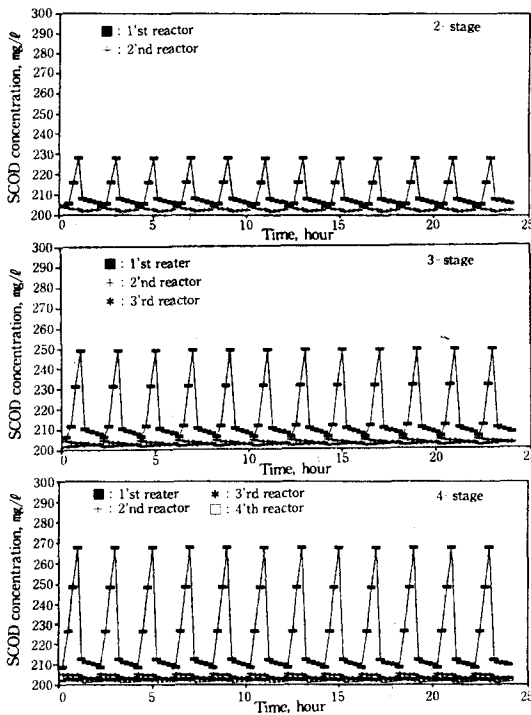


Fig. 5 Predicted SCOD on reactor configuration of intermittently aerated activated sludge system

2단, 3단 및 4단 간헐폭기 활성슬러지 시스템의 각 반응조에서 T-N의 농도를 예측한 결과는 Figure. 6과 같다. SCOD 농도의 예측시와 같이 반응조의 갯수가 많아짐에 따라 제1반응조에서의 농도는 고농도에서 변화하였다. 즉, 2단, 3단 및 4단으로 운영시 제1반응조에서

의 농도는 24.5~30.5, 29~35 및 32~39 mg/l의 범위에서 변화하였다. 또한, 반응조의 갯수가 많아짐에 따라 마지막 반응조에서의 농도는 안정적이었다. 즉, 2단, 3단 및 4단으로 운영시 마지막 반응조에서의 T-N농도는 21.3~25.1, 21~24.7 및 20.3~24mg/l의 범위에서 변화하였다.

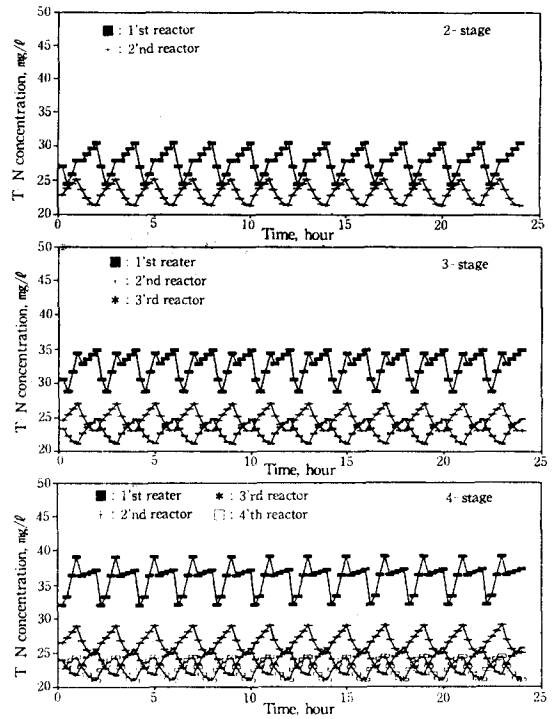


Fig. 6 Predicted T-N on reactor configuration of intermittently aerated activated sludge system

간헐폭기 활성슬러지 시스템의 운영 및 설계인자인 SRT, 유입수의 주입방법 및 반응조의 배열에 대해 컴퓨터 예측모델을 이용하여 예측한 결과, 질소제거의 측면에서 SRT는 15~20일, 유입수는 제1반응조로 100% 유입시키는 것이 바람직하며, 2단 이상으로 운영시에는 반응조의 배열에 크게 영향을 받지 않는

것으로 나타났다.

IV. 결 론

간헐폭기 활성슬러지 시스템에서 컴퓨터 예측모델을 적용하여 운영인자 및 설계인자를 검토한 본 연구에서는 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 질소제거 측면에서, 효과적인 제거를 위해서는 SRT를 15일 이상으로 유지하는 것이 바람직하다.

2. 2단 간헐폭기 활성슬러지 시스템을 운영시, 유입수의 주입은 1반응조로 100% 시키는 것이 질소제거효율이 가장 우수하였다.

3. 2단 이상의 다단으로 간헐폭기 활성슬러지 시스템을 운영시 질소의 제거효율에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. Koopman B., G. Lyberatos, S.A. Sovoronos, P. Antoniou, J. Hamilton, R. Jaina : Mathematical modeling and experimental verification for the predenitrification process, University of Florida, 1989.
2. Rittmann, B.E, Wayne E. Langeland : Simultaneous denitrification with nitrification in single-channel oxidation ditch, WPCF, 57, No.4, 300-308, 1985.
3. Henze, M., C.P.L Grady, W.Gujer, G.v.R. Marais and T. Matuo : Activated sludge model No.1, IAWPRC Scientific and Technical report No. 1. London, IAWPRC, 1987.
4. Dold, P.L, G.A. Ekama and G.v.R. Marais : A general model for the activated sludge process, Prog Wat Tech, 12, 47-77, 1980.
5. Henze, M., C.P.L. Grady, W. Gujer, G.v. R Marais and T. Matuea : A general model for single sludge wastewater systems, Water research, 21, 505-515, 1987.
6. Ekama G.A., P.L. Dold and G.V.R. Marais : Procedures for determining influent COD fractions and the maximum specific growth rate of heterotrophs in activated sludge systems, Wat. Sci. Tech., Vol. 18, Copenhagen, 91-114, 1986.
7. W. Gujer, M. Henze, T. Mino, T. Matsuo, M.C. Wentzel and R. Marais : The activated sludge model No. 2, biological phosphorus removal, Wat. Sci, Tech., Vol. 31, No. 2, 1-11, 1995.
8. 서인석 : 간헐폭기 활성슬러지 시스템을 이용한 양돈폐수의 영양염류 처리, 충북대학교 박사학위논문, 1995.
9. Marais, G.V.R., R. E Ekama : The activated sludge processa : part I- steady state behavior, Water SA, 2, 164-200, 1976.