

이차다항식을 이용한 질소제거 SBR공정의 모델링

Modeling of SBR Process for Nitrogen Removal Via Quadratic Polynomial

김동원*, 박장현**, 이호식***, 박영환****, 박귀태*

*고려대학교 전기공학과

**목포대학교 전기 및 제어공학부

***충주대학교 환경공학과

****충주대학교 제어계측공학과

Dong-Won Kim*, Jang-Hyun Park**, Ho-Sik Lee***, Young-Whan Park****, and Gwi-Tae Park*

*Department of Electrical Engineering, Korea University,

**School of Electrical Engineering, Mokpo National University,

***Department of Environment Engineering, Chungju University,

****Department of Information & Control Engineering, Chungju University.

E-mail : dwkim@elec.korea.ac.kr, Tel: 02-929-5185

ABSTRACT

본 논문에서는 이차다항식을 이용하여 생화학적인 공정의 모델링을 행한다. SBR 반응조에서 질소제거를 위한 수처리 공정이 제시되었으며, 이 공정의 ORP값을 모델링하고 동정하기 위해 서로 다른 형태의 선형모델이 소개되었으며 결과를 비교하고 분석한다. 시뮬레이션 결과로부터 합리적이고 효율적으로 모델링 될 수 있음을 검증한다.

Key words : 생화학적인 공정 모델링, SBR 반응조, 질소제거, ORP, 이차다항식

I. 서 론

물은 수많은 인간의 활동에 필요한 존재며, 산업용 혹은 농업용 등으로 사용된 후에는 폐수로 버려진다. 폐수는 자연환경으로 돌아가기 전에 공해화학물질이나 박테리아, 바이러스 등 위험한 물질이 제거되어야 한다 [1-3]. 폐수에서 질소나 인의 제거를 위해 생물학적인 공정이 자주 쓰이는데, sequencing batch reactor (SBR)이 대표적이다. SBR에서

oxidation reduction potential (ORP)값은 비선형성과 불확실성이 강하고, 유입 수질에 따른 무산소, 호기의 상태에 따라 매우 민감하게 반응한다. 따라서 dissolved oxygen (DO)농도와, 용액의 산도인 pH 등과 같은 화학적인 파라미터의 제어와 조절이 매우 어렵다.

본 논문에서는 최소자승법을 이용하여 최적의 파라미터를 가진 이차다항식을 이용하여 질소제거를 위한 SBR 공정의 ORP 모델링 및

제어에 목적을 둔다. 또한 질소제거를 위한 DO, ORP, pH의 실시간 변화를 관찰하여 질소 제거특성을 검토하였으며 이를 통해 얻은 실제의 입출력데이터를 가지고 SBR 반응조의 질소 제거 공정을 모델링 하였다.

II. 본 론

2.1 질소제거를 위한 SBR 공정

폐수에서 질소나 인을 제거하기 위해 생물학적인 SBR 공정이 주로 사용된다. 활성오수에 있는 박테리아는 유해한 성분을 물이나 질소가스등의 무해한 성분으로 바꾸며 반응조에서 폐수는 활성오수와 섞여진다. 그러므로 활성오수는 폐수와 섞인 상태로 유지되기 위해 혼합작업이 필요하다. SBR 공정에서 폐수처리 작업은 채우고 제거하는 (Fill-and-Draw)식의 활성오니 처리공정이며, 유입(Fill), 반응(React), 침전(Settle), 배출(Draw), 휴지(Idle)의 5단계로 이루어진다. 유입단계는 폐수를 반응조에 주입하는 것이며, 반응단계는 주입단계에서 시작된 반응을 완결시키는 것이다. 고형물이 분리되어 침전되는 침전단계와 침전된 상등액을 유출수로서 배출하여 반응조로부터 제거하는 배출단계, 시간적인 휴식기인 휴지단계로 구분된다.

전체 시스템의 구성은 다음과 같다. 본 논문에서 사용된 반응조는 단일 반응조에서 무산소, 혐기, 호기반응이 연속적으로 일어나는 SBR 반응조이다. 반응조는 아크릴로 제작하였으며 반응조의 용적과 실용적은 각각 15L 와 10L 이며, 처리용량은 3L 이다. 미생물의 혼합은 반응조내에 설치된 60rpm의 믹서를 이용하였고 동시에 반응조 바닥에 설치된 산소주입 포기장치에 의해 혼합이 이루어진다. 유출수는 솔레노이드 밸브를 달아 자동으로 조절되고 유입수량은 masterflux tubing pump (cole parmer model 7553-80)를 이용하여 조정되

었으며 이들은 타이머에 의해 제어되었다. ORP, pH, DO 센서를 반응조의 벽면에 일정하게 고정시켜 track study시 연속모니터링 하였고 2주에 한번씩 보정하였다. 전체동작은 6시간을 한 주기 (1cycle)로 해서 운전이 이루어진다. 무산소, 호기조건은 운전시간이 고정되어 있지 않고 반응조의 ORP나 DO 센서의 실시간 모니터링 자료에 의해 변화 운전되었다. 아울러 침전과 배수, 휴지기 시간은 각각 0.33hr, 0.17hr로 고정하였다. 반응조의 실험장치와 운전조건은 그림 1과 표 1과 같다.

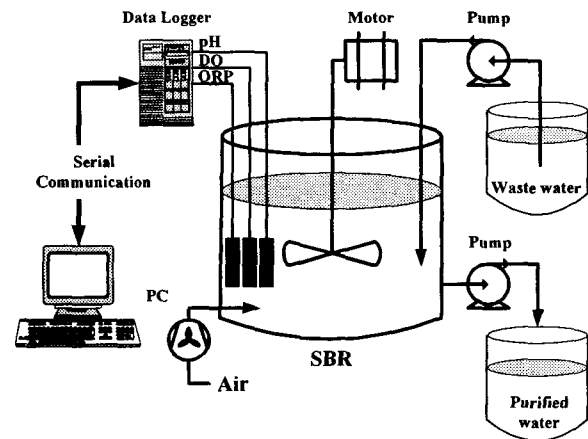


그림 1. 질소제거를 위한 반응조의 실험장치

표 1. SBR의 운전조건

Parameter	Average
volume	10 l
SRT	30 d
MLSS	2500 mg/l
MLVSS/MLSS	0.701
Temperature	23 ± 2 °C

2.2 SBR 공정모델링을 위한 다항식

모델링하고자 하는 대상시스템의 입력변수와 출력 y의 쌍에 대하여 여러 가지 형태의 다항식을 생성하여 출력을 예측한다. 본 논문에서 사용된 다항식의 형태는 주로 이차다항식이 되며, 이와 성능비교를 위해 일차다항식과

변형된 이차다항식을 이용하여 SBR공정을 모델링 하였다. 표 2에서 다양한 다항식형태를 나타내었으며, 이에 따라 다양한 모델링 성능을 확인할 수 있다.

표 2. 다양한 다항식 형태

No. of input Types of polynomial	1	2	3
Type 1	Linear	Bilinear	Trilinear
Type 2	Quadratic	Biquadratic	Triquadratic
Type 3	Modified quadratic	Modified biquadratic	Modified triquadratic

- Bilinear = $c_0 + c_1x_1 + c_2x_2$
- Biquadratic = $c_0 + c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_1^2 + c_4x_2^2 + c_5x_1x_2$
- Modified biquadratic = $c_0 + c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_1x_2$
- Trilinear = $c_0 + c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3$
- Triquadratic = $c_0 + c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + c_4x_1^2 + c_5x_2^2 + c_6x_3^2 + c_7x_1x_2 + c_8x_1x_3 + c_9x_2x_3$
- Modified triquadratic = $c_0 + c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + c_4x_1x_2 + c_5x_1x_3 + c_6x_2x_3$

III. 시뮬레이션 및 결과고찰

위에서 언급한 SBR 공정에서 급변하는 ORP를 모델링하기 위해 그림 1과 같이 질소 제거를 위한 반응조의 실험장치를 갖추었다. 이때 반응조의 DO, ORP, pH의 실시간 변화를 관찰하여 실제의 입출력데이터를 얻었으며, 이것을 이용하여 모델링을 수행한다.

시스템의 입력변수로는 반응조에 딸린 각 펌프를 on/off 시키는 스위치와 이에 따라 변화하는 ORP, DO, pH값이 사용되었으며, 출력변수로는 비선형성과 불확실성이 강한 ORP값이 사용되었다. 입력변수로 사용된 ORP는 출력변수로 사용된 것보다 한 샘플링이 지연된다. 총 데이터 개수는 71개가 사용되었으며, 모두 학습용 데이터로 이용하였다. 모델의 정밀도와 성능을 평가하기 위한 성능지수 (PI)는 평균자

승오차 (mean squared error: MSE)를 사용하였으며, 다음과 같이 계산된다.

$$PI = \frac{1}{71} \sum_{i=1}^{71} (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (1)$$

여기서, y_i 는 실제측정치이며, \hat{y}_i 는 모델의 출력값이다.

표3은 본 논문에서 사용된 다양한 형태의 다항식이 SBR공정의 모델링에 사용 되었을 때의 결과를 나타낸다. 표에서 보듯이 Type 2에 대한 결과가 가장 우수한 것으로 확인되었다. 표 3에 나타난 2nd Term은 아래와 같은 2차 선형식이 사용된 것을 의미한다.

$$y = 32693 - 936.09x_1 + 0.52771x_2 + 100.54x_3 - 9854.4x_4 + 984.49x_1^2 - 0.0011349x_2^2 - 24.122x_3^2 + 741.38x_4^2$$

표 3. 다양한 다항식형태의 시뮬레이션 결과

다항식 형태	MSE
Type 1	350.94
Type 2	14.795
Type 3	29.893
2 nd Term	119.33

그림 2는 표 3에서 나타난 4종류의 다항식 모델과 실제 출력값을 비교한 것이다.

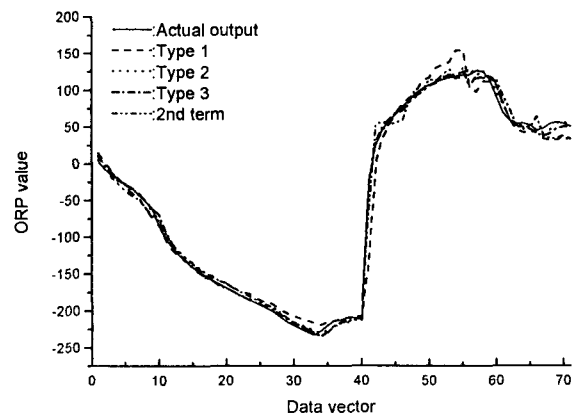


그림 2. 실제데이터와 다양한 다항식모델의 출력값 비교

표 3에서 보았듯이 Type 2 모델이 가장 우수한 성능을 나타냈으므로 이에 대하여 실제데이터와 Type 2 모델에서 나온 출력값 사이의 에러를 살펴보기 위해 그림 3에서 실제데이터와 Type 2 다항식모델의 출력값 사이의 오차를 나타내었다.

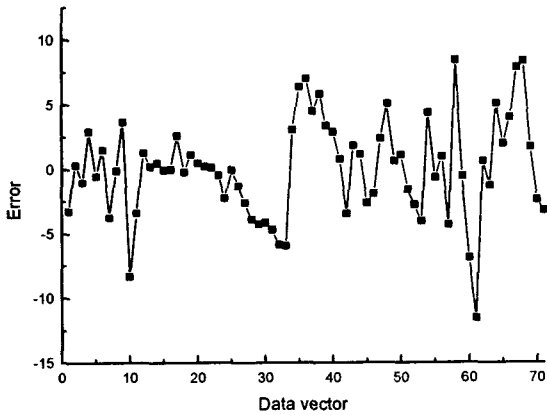


그림 3. 실제데이터와 Type 2 다항식모델의 출력값 사이의 오차

IV. 결론

본 논문에서는 질소제거를 위한 SBR 공정에서 유입수질에 따라 매우 민감하게 반응하는 ORP를 모델링 하기 위해 다양한 형태의 다항식 모델이 사용되었다. 그 결과 SBR공정을 합리적이고 효율적으로 모델링 할 수 있었다. 앞으로의 과제는 퍼지시스템과 뉴럴네트워크와 같은 지능시스템을 이용하여 모델링을 수행하고 이의 결과를 비교 분석하는 것이다.

V. 참고문헌

[1] 김창원, "활성슬러지 공정 연속호흡율 측정기 및 MLSS meter와 이를 이용한 활성슬러지 공정제어," Eco-2 상하수도 정보화 세미나, 2001.
 [2] H. Kim, and O. J. Hao, "pH and oxidation-reduction potential control strategy for

optimization of nitrogen removal in an alternating aerobic anoxic system," *Water Environ Res*, vol 73, pp. 95-102, 2001.

[3] 이호식, "TKN/COD비가 높은 소규모지역 오수의 생물학적 영양소 제거,"충주대학교 논문집, 2001.
 [4] 심문용, 부경민, 박지영, 전병희, 김창원, 우혜진, "On-line sensor (ORP, DO, pH)를 이용한 SBR (Sequencing Batch Reactor) 공정진단에 대한 기초평가," 대한환경공학회 춘계학술연구발표회 논문집, pp. 163-170, 2003.
 [5] 김동원, 박귀태, "다항식 뉴럴네트워크의 최적화: 진화론적 방법," *Trans. KIEE*, Vol. 52D, No. 7, 2003, 7.