

하수처리장에서 생물학적 반응 특성에 대한 모델

(A Biological Reaction Modeling in Sewage Water Treatment Systems)

이진락* · 양일화** · 이해영***

(Jin-Rock Lee · Il-hwa Yang · Hai-young Lee)

요 약

본 논문에서는 하수처리장에서 활성슬러지를 통한 하수의 처리 과정을 표현할 수 있는 반응 모델을 제안한다. 제안된 모델은 관리대상 물리량들에 영향을 미치는 요소들을 고려하여 퍼지 규칙의 조합 형태로 설계되었다. 생물학적 산소요구량과 부유 물질량은 입력 및 출력 변수에 공통으로 사용되었으며, 폭기량은 입력 변수로 선정되었다. 입력 변수들에 대한 소속 함수들은 계산의 편리성을 위해 삼각형 형태로 설계했으며, 운전데이터를 기준으로 소속도를 선정하였다. 시뮬레이션을 통해 제안된 모델의 타당성을 확인해 본 결과, 퍼지 모델의 출력은 운전데이터와 거의 동일하였다.

Abstract

This paper presents a biological reaction model of describing processing features in treating wastewater via activated sludge. A proposed model is designed by combining fuzzy rules investigating several elements which have influence on variables to be supervised. BOD and SS are suggested as common variables in input and output variables, and O_2 quantity is proposed as input variable. We chose triangular type membership functions for input variables and determined the grades in each membership function based upon process data. According to simulation result to show the validity of proposed model, fuzzy model's outputs give almost similar data to process output under same input conditions.

1. 서 론

본 논문에서는 하수처리장에서 발생하는 미생물의 유기물 분해에 관한 생물학적 반응을 퍼지 모델로 표현하는 방법을 다룬다.

하수처리장은 생활 하수나 축산 폐수등을 관로를

통해 유입 받아 주로 미생물을 이용한 생물학적 처리 기법으로 유입수의 생물화학적 산소요구량 (Biological oxygen demand : BOD)과 부유고형물질 (Suspended solids : SS)을 대개 20[mg/l] 이내로 낮춘 후 방류시키는 설비다[1]-[4].

하수처리장을 운영하기 위해서는 미생물의 반응에 필요한 산소를 공급해줘야 하는데, 주로 모타를 이용한 폭기 방식이 사용되며, 여기에 많은 동력이 소요된다. 이 동력비는 하수처리장의 운영비중 가장 큰 요소이므로, 하수처리의 목적을 달성하는 범위 내에

* 정회원 : 영남대 전기공학과 박사과정
 ** 정회원 : 영남대 전기공학과 석사과정
 *** 정회원 : 영남대 전자정보공학부 부교수 · 공박
 접수일자 : 2001년 5월 11일

하수처리장에서 생물학적 반응 특성에 대한 모델

서 최소의 동력을 투입하는 것이 하수처리장의 효율적 운영에 대한 핵심이 된다.

그러나 현재 하수처리장은 도입의 초기 단계이므로 효율적인 운영보다는 처리의 안전에 주 관점을 두다 보니 거의 모든 하수처리장에서 BOD와 SS를 20[mg/l]으로 유지하는데 필요한 폭기량을 알지 못하고 있는 실정이다. 따라서 생물학적으로 처리된 하수의 BOD와 SS는 20[mg/l] 이내로 확실히 유지되고 있지만 그 만큼 필요이상의 전력을 사용함으로써 하수처리장의 운전비용이 과다하게 지출되는 문제점을 가지고 있다.

하수처리에 필요한 산소량의 적정값을 산출할 수 있기 위해서는 먼저 하수처리장에서 발생하는 미생물의 생물학적 반응 과정을 표현할 수 있는 모델이 필요하다. 그런데 미생물이 유기물을 분해하는 생물학적 반응은 수학적식으로 간단히 표현될 수 없는 문제가 있다. 생물학적 반응을 단순화 시켜 수학적인 관계로 표현하는 방법[5]-[6]은 적용시 현실과 잘 맞지 않는 문제점이 있고, 신경회로망을 이용하여 블랙박스 형태로 모델하는 기법[7]은 생물학적 반응의 특징을 활용하지 못하여 적용이 어려운 단점이 있다.

본 논문에서는 하수처리장의 수질 관리 항목을 기준으로 처리 대상 물리량을 선정하고, 처리전 하수와 처리후 하수에서 대상 물리량들간의 관계를 퍼지 모델(Fuzzy model) 형태[8]로 표현하였다. 선정된 처리 대상 물리량들은 가장 널리 사용되고 있는 BOD와 SS다. 퍼지 모델은 상수의 튜닝과 계산의 편리성을 위해 결론부가 선형식인 형태[8]로 제안되었다.

설계된 퍼지 모델의 타당성을 확인해 보기 위해 경주시 하수처리장의 운전데이터를 이용하여 제안된 모델내의 설계 상수들을 계산한 후, 같은 입력 조건에서 제안된 모델의 출력과 운전데이터를 비교한 결과, 설계된 퍼지 모델이 운전데이터와 거의 동일한 결과를 출력함을 알 수 있었다.

2. 하수처리장의 구성과 생물학적 반응

2.1 경주시 하수처리장의 설비 구성

경주시 하수처리장은 생물학적으로 하수를 처리하는 공법중 고도 처리 기법에 속하는 A/O(An aerobic

oxic process) 공법[2]으로 설계 및 시공되었으며, 그림 1에 공정도를 보인다.

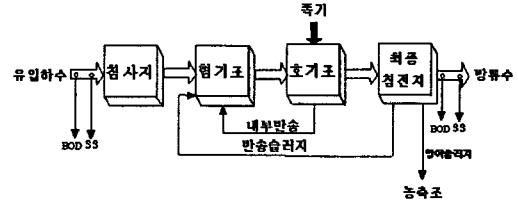


그림 1. 하수처리장의 공정도
Fig. 1. A Process Diagram of the sewage water Treatment System to be treated

침사지(Grit chamber)는 유입 하수 중에 포함된 오물 중에 입자가 큰 것을 걸러내는 역할을 하는 것이며, 후단에서 생물학적 처리를 할 때 부담을 덜어 주는 효과가 있다. 혐기조(Anaerobic tank)는 고도 처리 기법에서 사용하는 설비인데, 주로 하수에 포함된 인(P)의 비율을 낮추는 효과가 있다. 호기조(Aerobic tank)는 생물학적 하수 처리 기법의 핵심 설비로서, 조내에 생존하고 있는 미생물들(Microbe)이 하수에 포함된 유기물을 섭취하는 방법으로 유기물을 제거하며, 이 생물학적 유기물 분해 과정에 필요한 산소의 공급을 위해 폭기(Aeration) 설비가 부착된다[2]. 최종침전지(Final clarifier)는 호기조에서 미생물에 의해 유기물이 제거된 하수를 일정 시간동안 저장하여 미생물과 유기물이 혼합된 슬러지(Sludge)를 침전시킴으로서 슬러지와 방류수를 분리시키는 역할을 한다. 이 과정에서 발생한 잉여슬러지(Excess sludge)중 일부는 미생물의 유지를 위해 혐기조로 반송되고, 나머지는 농축조(Sludge thickener)로 보내어 탈수(脱水)한 후 해양에 버린다.

2.2 생물학적 반응

본 하수처리 방식의 핵심은 호기조에서 발생하는 미생물의 생물학적 반응이며, 그림 2에 이 반응 과정을 보인다.

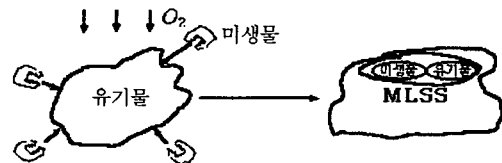


그림 2. 호기조에서의 유기물 분해 반응
Fig. 2. Resolving reaction of organic matter in aerobic tank

호기조에는 폭기에 의해 산소가 공급되고, 용존산소(Dissolved oxygen)를 이용하여 미생물이 유기물을 섭취하여 혼합액 부유물질(Mixed liquor suspended solids : MLSS)이 되는 반응이 발생한다. 유기물 분해에 관여하는 미생물들은 주로 세균(Bacteria)과 원생동물이며, 이 반응은 미생물의 생물학적 대사 과정이기 때문에 이를 수학적으로 표현하는 것은 불가능하다. 따라서 유입 하수의 조건과 폭기 조건을 주었을 때 하수의 처리 성능이 어떻게 될 지를 예측하기가 매우 어려우며, 처리 성능을 알기 위해서는 반드시 실제로 처리를 해 보아야만 하는 문제점이 있다. 이 문제점은 하수 처리장을 운영하는데 있어서의 큰 장애 요인이 되고 있다.

즉 예를 들어 유입하수의 조건이 바뀌었을 때 폭기 조건이 이전 상태 그대로 유지되는 경우, 어떤 형태의 반응 모델을 이용하여 처리 성능이 어떻게 변화될 지를 예측할 수 있다면 원하는 성능을 낼 수 있도록 폭기 조건을 변경시켜 줄수 있는 제어 행위를 할 수 있는데, 반응 모델이 없기 때문에 처리 성능에 문제가 발생한 후 시료분석실에서 분석되어야만 그에 대응할 수 있는 조작을 할 수 있다. 그러므로 새로운 조작에 의해 처리 성능이 원래 상태로 환원되는 동안에는 제대로 처리되지 못한 방류수가 하천에 유입되어 하천을 오염시키게 된다. 따라서 호기조에서 발생하는 미생물의 생물학적 반응 과정을 표현할 수 있는 적절한 모델이 필요하다.

3. 생물학적 반응의 퍼지 모델

미생물에 의해 발생하는 생물학적 반응에 대한 모델을 만들기 위해서는 먼저 설계할 모델의 입력 변수, 출력 변수 및 조절 변수를 정의해야 한다. 대개 하수처리장에서는 방류수에 대한 관리 기준으로 BOD와 SS를 사용하고 있으므로 이 두가지 물리량이 입력 변수와 출력 변수에 공통으로 사용될 수 있다. 또한 처리 성능을 제어할 수 있는 조절 변수는 앞에서 언급한 하수처리장의 구조를 참고하면 폭기량 임을 알 수 있다. 이런 생물학적 반응의 경우에는 입력 변수, 조절 변수와 출력 변수사이의 관계가 수학식으로 명료하게 표현될 수 없지만, 각 변수의 값이 변화하는 방향에 대해서는 상관관계를 가지는 특성을 가지고 있다. 이러한 특성을 활용하여 반응 모

델을 얻을 수 있는 가장 적절한 기법이 퍼지 모델이다[8][9]. 다음에 본 논문에서 제안된 생물학적 반응의 퍼지 모델을 설명한다.

3.1 퍼지 모델의 구성

하수처리공정에서 발생하는 미생물의 생물학적 반응을 퍼지 모델로 표현하려면, 먼저 퍼지 규칙의 조건부와 결론부에서 사용될 변수를 선정해야 한다. 그런데 앞에서 설명한 입력 변수, 출력 변수 및 조절 변수를 상기하면, 조건부 변수에는 BOD, SS 및 폭기량이 포함되고, 결론부 변수로는 BOD와 SS가 됨을 알 수 있다. 조건부와 결론부 변수들간의 관계를 도식적으로 보이면 그림 3과 같다.

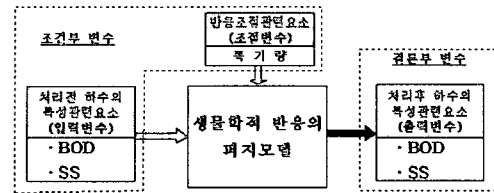


그림 3. 제안된 퍼지 모델의 조건부 및 결론부 변수들

Fig. 3. Variables in conditional and conclusive parts of a proposed fuzzy model

그리고 퍼지 모델의 형태는 결론부가 조건부에 포함되는 변수들의 선형 결합 형태로 표현되는 선형식형[5]을 채용함으로써 모델의 설계과정을 단순화시키고 계산도 편리하게 하였다.

3.2 퍼지 모델에 사용될 변수들의 설계

이제 퍼지 모델의 조건부 변수들에 대한 용어집합(Term set)[8]과 용어집합내 각 요소에 대한 소속 함수(Membership function)[8]를 설계한다. 먼저 표현을 간단히 하기 위해 몇 가지 변수를 정의한다. 즉 유입 하수의 특성에서 X_1 을 BOD 및 X_2 를 SS 라 하고, 조절 변수인 폭기량을 X_3 이라고 약속한다. $X_i, i=1,2,3$,의 용어집합과 소속 함수들을 구하기 위해서는 운전데이터가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 경주시 하수처리장에서 2000년 1월 1일부터 169일 동안 매일 1회씩 시료분석실에서 측정된 운전 데이터를 이용하였다.

폭기량을 그림 6과 같이 하였을 때 얻어진 BOD 및 SS의 운전데이터가 그림 4,5와 같다.

하수처리장에서 생물학적 반응 특성에 대한 모델

$X_i, i=1,2,3$, 의 용어집합과 소속 함수의 범위는 운전데이터의 변동 범위와 그 의미를 기준으로 선정하였다.

BOD는 30~130 [mg/l], SS는 30~120 [mg/l]의 범위 내에서 변동하며, 물리량 자체의 의미로 볼 때 용어집합을 세분화하여 설계할 필요가 없다. 따라서

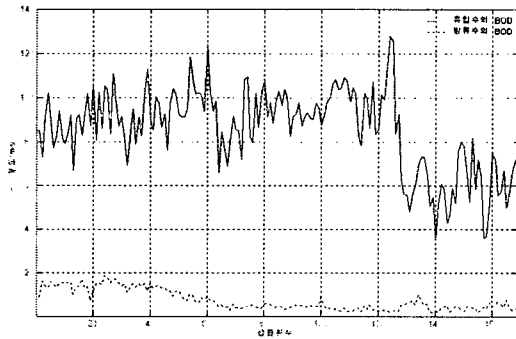


그림 4. BOD에 대한 운전데이터
Fig. 4. Process data for BOD

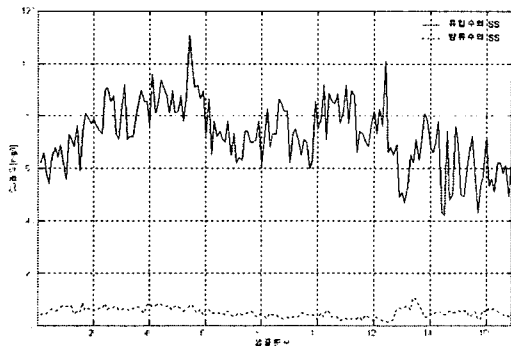


그림 5. SS에 대한 운전데이터
Fig. 5. Process data for SS

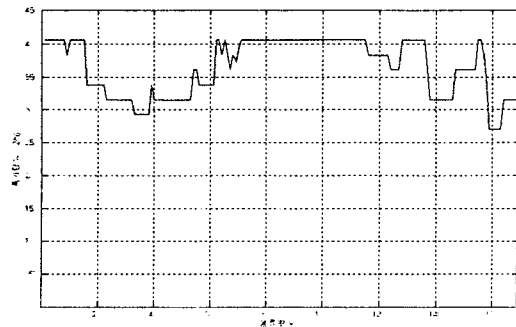


그림 6. 폭기량에 대한 운전데이터
Fig. 6. Process data for O_2 quantity

X_1 과 X_2 의 용어집합은 모두 (SA, MM, LA)로 선정되었으며, 여기서 SA는 Small, MM은 Medium 및 LA은 Large의 약자이다. X_1 과 X_2 의 각 요소에 대한 소속 함수도 동일하며 그림 7과 8에 보인다.

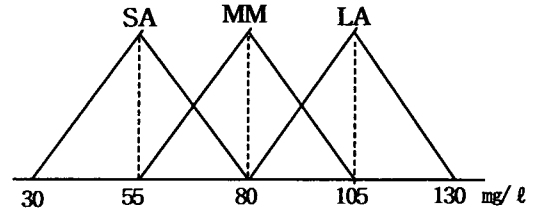


그림 7. X_1 의 각 요소에 대한 소속 함수
Fig. 7. Membership functions for X_1

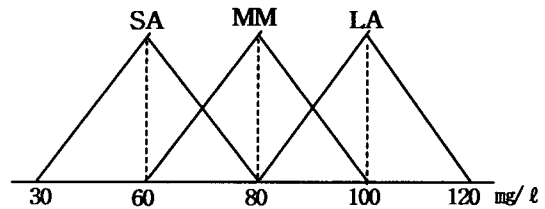


그림 8. X_2 의 각 요소에 대한 소속 함수
Fig. 8. Membership functions for X_2

폭기량은 260~420 [$kg \cdot O_2 / hour$]의 범위에서 조절되고 있고, 생물학적 반응이 급격한 변동 속도를 갖지 않으므로, 용어집합은 BOD나 SS와 동일하게 설계되었다. 따라서 소속 함수도 유사한 형태로 그림 9와 같이 설계되었다.

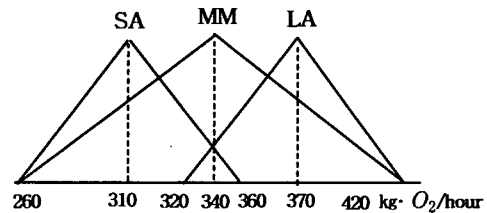


그림 9. X_3 의 각 요소에 대한 소속 함수
Fig. 9. Membership functions for X_3

3.3 설계된 퍼지 모델

먼저 생물학적 처리를 거친 방류수에 대한 특성을

나타내는 변수들, 즉 퍼지 모델의 결론부에 사용될 변수들의 기호를 약속한다. $i = 1, 2, \dots, 27$ 에 대해 BOD_i 및 SS_i 를 각각 퍼지 모델에서 i 번째 규칙의 결론인 BOD 및 SS값이라고 정의한다. 그러면 BOD_i 및 SS_i 를 이용하여 BOD 및 SS에 대해 반응 특성을 표현하는 퍼지 모델을 각각 독립적으로 설계할 수 있다. 그런데 퍼지 모델의 결론부는 선형식 형태로 제안했으므로 BOD에 대해서는 표 1 및 SS에 대해서는 표 2와 같이 퍼지 모델을 설계하였다. 표 1 및 표 2에 있는 퍼지 규칙의 의미를 표1의 R1으로 설명하면 다음과 같다.

R1: If $X_1 = SA, X_2 = SA, X_3 = SA$, Then

$$BOD_1 = 4.5987 + 0.0334 X_1 + 0.0814 X_2 - 0.0205 X_3$$

즉 이런 규칙들을 이용하면 폭기량을 변동시켰을 때 유입하수의 BOD와 SS가 어떻게 달라지는 지를 알 수 있다. 표1 및 표2에서 각 퍼지 규칙의 선형식 내에 있는 계수들은 앞에서 설명한 운전데이터를 가지고 최소자승법[10][11]으로 계산되었다.

최소자승법에 의한 계산식은 대상 물리량과 관계 없이 구조가 일정하므로 BOD의 경우에 대해서만 간단히 설명한다. $m, m = 1, 2, 3, \dots, 27$, 번째 퍼지규칙을 튜닝할 때 최소자승법에 사용된 데이터

조합의 갯수를 k 라 하고, $X_i^m(j), i=1,2,3, j=1,2,\dots,k$,를 j 번째 데이터조합 내에서 각 X_i 의 데이터라 약속한다. 또한 $BOD^m(j)$ 를 j 번째 데이터 조합에 포함된 BOD의 측정값이라고 하고, T 를 전치(Transpose)라 할때 벡터 $Z(j)$ 를

$$Z^T(j) = [1 \ X_1(j) \ X_2(j) \ X_3(j)] \quad (1)$$

로 정의하면, m 번째 퍼지 규칙에 포함된 설계 상수는 식(2)와 같이 구해진다.

$$\begin{bmatrix} BOD^m(1) \\ BOD^m(2) \\ \vdots \\ BOD^m(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z^T(1) \\ Z^T(2) \\ \vdots \\ Z^T(k) \end{bmatrix}^T I_{k \times k} \begin{bmatrix} Z^T(1) \\ Z^T(2) \\ \vdots \\ Z^T(k) \end{bmatrix} I_{k \times k} \begin{bmatrix} BOD^m(1) \\ BOD^m(2) \\ \vdots \\ BOD^m(k) \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서 $I_{k \times k}$ 는 $k \times k$ 의 단위 행렬을 의미한다.

4. 시뮬레이션

본 논문에서 설계된 생물학적 반응에 대한 퍼지 모델의 타당성을 확인해 보기 위해, 퍼지 모델을 구축할 때 사용한 운전데이터 중 입력 및 조절 변수의 값들을 설계된 퍼지 모델에 넣어 BOD 및 SS가 어떻게 처리되는 지를 확인하여 보았으며, 그 결과를 각각 그림 10과 그림 11에 보인다.

표 1. BOD에 대한 퍼지 모델
Table 1. Fuzzy model for BOD

Rule	X_1	X_2	X_3	결론부의 선형식	선형식의 계수들			
					상수항의 계수	X_1 의 계수	X_2 의 계수	X_3 의 계수
R1	SA	SA	SA	$B_1 = a_1 + b_1 X_1 + c_1 X_2 + d_1 X_3$	4.5987	0.0334	0.0814	-0.0205
R2	SA	SA	MM	$B_2 = a_2 + b_2 X_1 + c_2 X_2 + d_2 X_3$	4.5987	0.0334	0.0814	-0.0205
R3	SA	SA	LA	$B_3 = a_3 + b_3 X_1 + c_3 X_2 + d_3 X_3$	-30.7442	-0.1765	0.1734	0.0920
R4	SA	MM	SA	$B_4 = a_4 + b_4 X_1 + c_4 X_2 + d_4 X_3$	8.9461	0.0912	0.1551	-0.0597
R5	SA	MM	MM	$B_5 = a_5 + b_5 X_1 + c_5 X_2 + d_5 X_3$	8.9461	0.0912	0.1551	-0.0597
R6	SA	MM	LA	$B_6 = a_6 + b_6 X_1 + c_6 X_2 + d_6 X_3$	-7.9053	-0.1962	0.0316	0.0636
R7	SA	LA	SA	$B_7 = a_7 + b_7 X_1 + c_7 X_2 + d_7 X_3$	59.1618	0.0063	0.0098	-0.1506
R8	SA	LA	MM	$B_8 = a_8 + b_8 X_1 + c_8 X_2 + d_8 X_3$	59.1618	0.0063	0.0098	-0.1506
R9	SA	LA	LA	$B_9 = a_9 + b_9 X_1 + c_9 X_2 + d_9 X_3$	-0.2181	-0.1899	-0.1261	-0.0802
R10	MM	SA	SA	$B_{10} = a_{10} + b_{10} X_1 + c_{10} X_2 + d_{10} X_3$	5.7119	0.0601	0.1361	-0.0408
R11	MM	SA	MM	$B_{11} = a_{11} + b_{11} X_1 + c_{11} X_2 + d_{11} X_3$	5.7119	0.0601	0.1361	-0.0408
R12	MM	SA	LA	$B_{12} = a_{12} + b_{12} X_1 + c_{12} X_2 + d_{12} X_3$	-44.6591	-0.1849	0.1952	0.1243
R13	MM	MM	SA	$B_{13} = a_{13} + b_{13} X_1 + c_{13} X_2 + d_{13} X_3$	18.9782	0.0737	0.1472	-0.0844
R14	MM	MM	MM	$B_{14} = a_{14} + b_{14} X_1 + c_{14} X_2 + d_{14} X_3$	18.9782	0.0737	0.1472	-0.0844
R15	MM	MM	LA	$B_{15} = a_{15} + b_{15} X_1 + c_{15} X_2 + d_{15} X_3$	-7.5649	-0.2063	-0.0047	-0.0728
R16	MM	LA	SA	$B_{16} = a_{16} + b_{16} X_1 + c_{16} X_2 + d_{16} X_3$	63.8724	0.0034	-0.0083	-0.1590
R17	MM	LA	MM	$B_{17} = a_{17} + b_{17} X_1 + c_{17} X_2 + d_{17} X_3$	63.8724	0.0034	-0.0083	-0.1590
R18	MM	LA	LA	$B_{18} = a_{18} + b_{18} X_1 + c_{18} X_2 + d_{18} X_3$	0.2863	-0.1676	-0.1383	0.0776
R19	LA	SA	SA	$B_{19} = a_{19} + b_{19} X_1 + c_{19} X_2 + d_{19} X_3$	-40.6172	0.2224	0.3691	0.0186
R20	LA	SA	MM	$B_{20} = a_{20} + b_{20} X_1 + c_{20} X_2 + d_{20} X_3$	-40.6172	0.2224	0.3691	0.0186
R21	LA	SA	LA	$B_{21} = a_{21} + b_{21} X_1 + c_{21} X_2 + d_{21} X_3$	20.8363	-0.3204	0.0290	0.0118
R22	LA	MM	SA	$B_{22} = a_{22} + b_{22} X_1 + c_{22} X_2 + d_{22} X_3$	25.5211	-0.0575	0.1587	-0.0734
R23	LA	MM	MM	$B_{23} = a_{23} + b_{23} X_1 + c_{23} X_2 + d_{23} X_3$	25.5211	-0.0575	0.1587	-0.0734
R24	LA	MM	LA	$B_{24} = a_{24} + b_{24} X_1 + c_{24} X_2 + d_{24} X_3$	-26.6138	-0.1338	-0.0467	0.1153
R25	LA	LA	SA	$B_{25} = a_{25} + b_{25} X_1 + c_{25} X_2 + d_{25} X_3$	53.6814	-0.0550	-0.0037	-0.1126
R26	LA	LA	MM	$B_{26} = a_{26} + b_{26} X_1 + c_{26} X_2 + d_{26} X_3$	53.6814	-0.0550	-0.0037	-0.1126
R27	LA	LA	LA	$B_{27} = a_{27} + b_{27} X_1 + c_{27} X_2 + d_{27} X_3$	-20.4637	-0.1382	-0.1023	0.1145

표 2. SS에 대한 퍼지 모델
Table 2. Fuzzy model for SS

Rule	X_1	X_2	X_3	결론부의 선형식	선형식의 계수들			
					상수항의 계수	X_1 의 계수	X_2 의 계수	X_3 의 계수
R1	SA	SA	SA	$S_1 = a_1 + b_1 X_1 + c_1 X_2 + d_1 X_3$	6.1689	-0.0132	0.0465	-0.0101
R2	SA	SA	MM	$S_2 = a_2 + b_2 X_1 + c_2 X_2 + d_2 X_3$	6.1689	-0.0132	0.0465	-0.0101
R3	SA	SA	LA	$S_3 = a_3 + b_3 X_1 + c_3 X_2 + d_3 X_3$	-24.8367	-0.0207	0.0201	0.0763
R4	SA	MM	SA	$S_4 = a_4 + b_4 X_1 + c_4 X_2 + d_4 X_3$	8.0024	0.0193	0.0303	-0.0191
R5	SA	MM	MM	$S_5 = a_5 + b_5 X_1 + c_5 X_2 + d_5 X_3$	8.0024	0.0193	0.0303	-0.0191
R6	SA	MM	LA	$S_6 = a_6 + b_6 X_1 + c_6 X_2 + d_6 X_3$	1.0984	-0.0631	-0.0459	0.0296
R7	SA	LA	SA	$S_7 = a_7 + b_7 X_1 + c_7 X_2 + d_7 X_3$	14.2716	0.0451	-0.0088	-0.0334
R8	SA	LA	MM	$S_8 = a_8 + b_8 X_1 + c_8 X_2 + d_8 X_3$	14.2716	0.0451	-0.0088	-0.0334
R9	SA	LA	LA	$S_9 = a_9 + b_9 X_1 + c_9 X_2 + d_9 X_3$	-4.7252	-0.0606	-0.0301	0.0397
R10	MM	SA	SA	$S_{10} = a_{10} + b_{10} X_1 + c_{10} X_2 + d_{10} X_3$	5.3420	-0.0132	0.0529	0.0062
R11	MM	SA	MM	$S_{11} = a_{11} + b_{11} X_1 + c_{11} X_2 + d_{11} X_3$	5.3420	0.0062	0.0529	-0.0132
R12	MM	SA	LA	$S_{12} = a_{12} + b_{12} X_1 + c_{12} X_2 + d_{12} X_3$	-1.2832	-0.0533	-0.0100	0.0284
R13	MM	MM	SA	$S_{13} = a_{13} + b_{13} X_1 + c_{13} X_2 + d_{13} X_3$	7.5460	0.0391	0.0216	-0.0202
R14	MM	MM	MM	$S_{14} = a_{14} + b_{14} X_1 + c_{14} X_2 + d_{14} X_3$	7.5460	0.0391	0.0216	-0.0202
R15	MM	MM	LA	$S_{15} = a_{15} + b_{15} X_1 + c_{15} X_2 + d_{15} X_3$	0.9205	-0.0643	-0.0515	0.0315
R16	MM	LA	SA	$S_{16} = a_{16} + b_{16} X_1 + c_{16} X_2 + d_{16} X_3$	17.2611	0.0372	-0.0256	-0.0358
R17	MM	LA	MM	$S_{17} = a_{17} + b_{17} X_1 + c_{17} X_2 + d_{17} X_3$	17.2611	0.0372	-0.0256	-0.0358
R18	MM	LA	LA	$S_{18} = a_{18} + b_{18} X_1 + c_{18} X_2 + d_{18} X_3$	-4.8128	-0.0589	-0.0307	0.0398
R19	LA	SA	SA	$S_{19} = a_{19} + b_{19} X_1 + c_{19} X_2 + d_{19} X_3$	-8.4791	0.0398	0.1194	0.0066
R20	LA	SA	MM	$S_{20} = a_{20} + b_{20} X_1 + c_{20} X_2 + d_{20} X_3$	-8.4791	0.0398	0.1194	0.0066
R21	LA	SA	LA	$S_{21} = a_{21} + b_{21} X_1 + c_{21} X_2 + d_{21} X_3$	-33.8626	0.1043	-0.0123	-0.0835
R22	LA	MM	SA	$S_{22} = a_{22} + b_{22} X_1 + c_{22} X_2 + d_{22} X_3$	6.5298	0.0026	0.0260	-0.0085
R23	LA	MM	MM	$S_{23} = a_{23} + b_{23} X_1 + c_{23} X_2 + d_{23} X_3$	6.5298	0.0026	0.0260	-0.0085
R24	LA	MM	LA	$S_{24} = a_{24} + b_{24} X_1 + c_{24} X_2 + d_{24} X_3$	-6.3595	-0.0863	-0.0536	0.0545
R25	LA	LA	SA	$S_{25} = a_{25} + b_{25} X_1 + c_{25} X_2 + d_{25} X_3$	11.9148	0.0034	-0.0192	-0.0118
R26	LA	LA	MM	$S_{26} = a_{26} + b_{26} X_1 + c_{26} X_2 + d_{26} X_3$	11.9148	0.0034	-0.0192	-0.0118
R27	LA	LA	LA	$S_{27} = a_{27} + b_{27} X_1 + c_{27} X_2 + d_{27} X_3$	-20.4837	-0.1382	-0.1023	0.1145

하수처리장에서 생물학적 반응 특성에 대한 모델

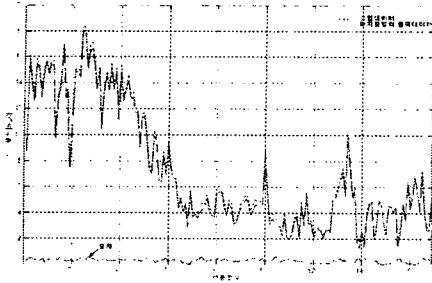


그림 10. BOD에 대한 퍼지 모델의 출력
Fig. 10. Output data of fuzzy model for BOD

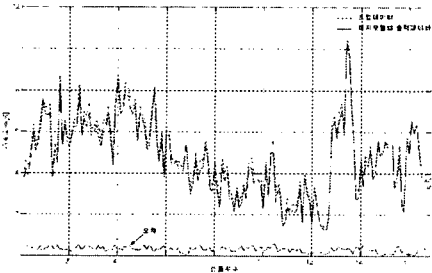


그림 11. SS에 대한 퍼지 모델의 출력
Fig. 11. Output data of fuzzy model for SS

그림 10과 그림 11을 보면 하수처리장에서 미생물에 의한 유기물의 분해 과정인 생물학적 반응을 퍼지 모델로 표현하고, 모델내의 상수들을 운전데이터로부터 산출한 퍼지 모델이 주어진 입력 하수 및 폭기 조건에서 실제로 생물학적 처리를 거친 특성과 거의 동일한 출력을 발생시킴을 알 수 있다. 또한 운전데이터와 퍼지모델 출력데이터의 차이인 오차의 크기도 하수 처리의 성능을 다루는 분야에서 충분히 허용될 수 있는 정도로 나타났으며, BOD와 SS에 대해 오차의 최대값, 최소값 및 평균값은 각각 0.566, 0, 0.3081 및 0.5699, 0, 0.3124[mg/l]이다. 다시 말하면 제안된 생물학적 반응의 퍼지 모델이 실제로 하수처리장에서 발생하고 있는 생물학적 처리 과정을 적절하게 표현하고 있는 것이다.

5. 결론

본 논문에서는 하수처리장에서 활성슬러지를 이용한 하수의 처리시 생물학적 반응 과정을 표현할 수 있는 퍼지 모델을 제안하였다. 퍼지 모델은 여러개의 퍼지 규칙으로 구성되었는데, 각 규칙의 조건부 변수

로는 BOD, SS 및 폭기량이 선정되었으며 결론부 변수로는 BOD와 SS가 사용되었다. 또한 퍼지 규칙들을 결론부가 선형적인 형태로 만들어 모델의 튜닝과 계산의 편리를 도모하였다. 제안된 모델의 타당성을 확인해 보기위해 5~6개월간의 운전데이터를 이용하여 모델내의 계수들을 튜닝한 후, 모델에 튜닝시와 동일한 입력 데이터를 넣었을 때 모델의 출력을 실제 운전데이터와 비교해 본 결과 거의 유사함을 볼 수 있었다. 따라서 제안된 퍼지 모델은 향후 적절한 폭기량을 산출하는 알고리즘을 개발하는데 긴요한 도구가 될 것이다.

참고 문헌

- (1) 오계현 외, "폐수미생물" 동화기술, 1996.
- (2) 고광백 외, "폐수처리공학" 동화기술, 1995.
- (3) 감동민 외, "폐수처리공학" 동화기술, 1997.
- (4) 조병락 외, "활성슬러지 포기탱크의 미생물", 동화기술, 1997.
- (5) 현길수, 강용태, Modeling for optimum Design and Operation of Biological Wastewater Treatment Process, 수처리기술, Vol. 1.5, PP.43-35, 한국수처리기술학회, 1997.
- (6) 최진혁, 하수처리 활성오니 공정을 위한 그래픽 시뮬레이터 개발, 연세대학교 학위논문, 1994.
- (7) 이대성, 신경회로망을 이용한 생물학적 하·폐수 처리 공정의 모델링, POSTECH 박사학위논문, 2000.
- (8) M.Sugeno, "Industrial Application of Fuzzy Control", Elsevier Science Publishers B.V, 1985.
- (9) H.J.Zimmermann, "Fuzzy Set theory-and Its Applications", Kluwer-Nijhoff publishing, 1985.
- (10) Lennart Ljung, "System Identification : Theory for the User", Prentice-Hall, 1997.
- (11) Karl J.Astrom, "Computer controlled system", Prentice-Hall International, 1997.

◇ 저자 소개 ◇

이진락 (李鎭洛)

1963년 5월 10일생. 1985년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 석사과정 졸업. 1987년~1994년 포항중합제철(주) 기술연구소 연구원. 현재 영남대학교 전기공학과 대학원 박사과정, 서라벌 대학 겸임교수 및 경주시의회 의원.

양일화 (梁壹華)

1974년 8월 2일생. 2000년 영남대학교 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 석사과정.

이해영 (李海榮)

1963년 7월 5일생. 1984년 부산대학교 전기기계공학과 졸업. 1986년 한국과학기술원 전기전자과 석사과정 졸업. 1990년 동 대학원 박사과정 졸업. 1990년~1993년 8월 포항중합제철(주) 기술연구소 연구원. 1993년 9월~현재 영남대학교 전자정보공학부 부교수.