

활성오니 공정의 퍼지 모델 베이스형 제어기의 설계

김 현 기

오 성 권 황 희 수 우 광 방

○ 수원대학교 공과대학 전기공학과

연세대학교 공과대학 전기공학과

Design of Fuzzy Model-Based Controller for Activated Sludge Process

Hyun-Ki Kim

Sung-Kwun Oh, Hee-Soo Hwang, Kwang-Bang Woo

Dept of Electrical Engineering
Suwon University

Dept of Electrical Engineering
Yonsei University

ABSTRACT

This study is aimed to investigate a design problem of the fuzzy logic controller for the activated sludge process(ASP) in sewage treatment. The modeling technique proposed by Sugeno is used to express the ASP effectively and identification of a fuzzy model of the ASP is carried out utilizing actual operational data obtained from a metropolitan sewage plants. The model-based fuzzy controller is designed by rules generated from the identified ASP fuzzy model. Feasibility of the designed controller is tested through computer simulations.

1. 서론

하수처리는 1차 처리후에 하수중에 잔존하는 용해물질을 미생물의 힘에 의해 제거하는 활성오니 처리가 필요불가결하며 수질의 향상과 질적 변화를 줄이기 위해 하수처리 시스템에서의 활성오니의 질과 양의 관리 및 최적화가 중요하다. 이 공정은 생물학적 메카니즘의 특성으로 1) 수질 측정이 어려우며, 2) 부하변화가 심하고, 3) 공정 특성이 복잡하여 제어량과 조작량의 선택이 명확치 않아 조작자는 의사결정에 있어 경험을 기초로 하는 질적 정보의 사용을 필요로한다. 따라서 활성오니공정은 공정의 운전자가 경험적 지식에 기초하여 공정 제어를 수행하여왔다. R. M. Tong[3]은 활성오니공정을 자동제어하기 위해 운전자가 제어 조작량을 결정할 때 사용하는 제어 전략을 언어적 기술 형태인 제어 규칙으로 변환하고, 여기에 퍼지 집합 개념을 도입하여 퍼지 제어를 설계하였다. 그러나 이와같은 운전자의 경험 및 지식에 기초한 제어는 숙련된 운전자의 제어 조작 이상의 효과를 기대할 수 없다. 공정이 복잡한 경우 이를 효과적으로 제어할 수 있는 숙련된 운전자의 경험과 지식을 언어적 제어 규칙의 집합으로 만드는데도 한계가 있다.

본 논문에서는 이러한 점을 개선하기 위하여 Sugeno[2]가 제안한 모델링 기법을 사용하여 활성오니공정을 퍼지 "if-then" 규칙들로 모델링하고 동정된 퍼지 모델에 기초한 퍼지 제어를 설계한다. 설계된 제어기는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 검증된다.

2. 하수처리 시스템에서 활성오니공정

하수처리 시스템의 구성은 그림 1과 같으며 침사지, 최

초 침전지, 폭기조 및 최종 침전지로 이루어지며 그 중 활성오니공정은 폭기조와 최종 침전지를 중심으로 이루어진다. 폭기조에서는 연속적으로 수시간 하수중에 공기가 흡입되고 하수중의 유기물질과 활성오니(미생물)를 접촉시켜 폭기조내 공기로부터 용해한 산소에 의해 유기물을 생물화학적 산화해서 증식하고 미생물 덩어리인 플록(floc)을 형성한다. 최종 침전지에서는 플록이 침강 제거되고 맑은 물이 유출된다. 최종 침전지에서 침강한 미생물은 폭기조 입구로 재순환되어 다시 유기물 제거에 사용된다. 이때 일부는 활성오니 양의 과도한 증가를 방지하기 위하여 인발해 오니처리공정으로 보내진다.

활성오니공정의 적절한 제어를 위해서는 1) 하수 중에 포함된 부유성 및 용해성 유기물질의 산화, 그리고 흡착하는 역할을 하는 활성오니의 농도를 최적으로 유지하기 위해 반송 오니량이 적절히 조절되어야하고, 2) 활성오니가 용해성 및 부유 유기물질을 산화, 흡착시켜 침강성의 플록을 형성하는데 필요한 DO(Dissolved Oxygen)를 최적으로 유지하기 위해 적당 양의 공기를 폭기조에 유입시켜 주어야 하며, 3) 수질의 향상과 질적 변화를 줄이기 위한 활성오니의 양적 관리를 위해 폭기조로부터 유출된 오니는 최종 침전지에서 회수되어 폭기조로 되돌려지는데 이때 활성오니의 양의 과도한 증가를 피하기 위해 적당 양을 인발해 오니처리하여야 한다.

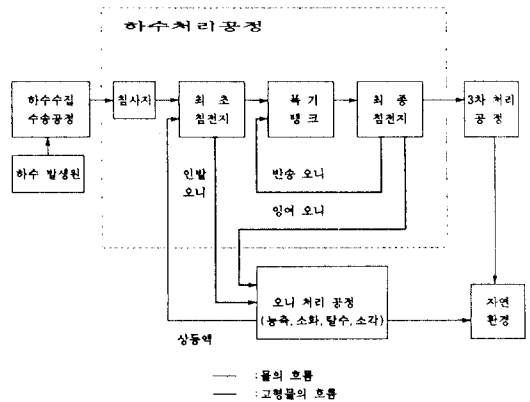


그림 1. 하수처리 시스템의 기본 구성

4 활성오니 공정을 위한 퍼지모델에 기초한 제어기 설계

공정이 복잡하면, 그것을 효율적으로 제어할 수 있는 숙련자는 기대할 수 없게 된다. 이 경우에는 공정의 퍼지 모델로부터 통상의 제어이론으로 퍼지 제어기를 설계하는 것이 바람직하다.

본 절에서는 활성오니 공정이 3절에서 기술된 퍼지 모델에 의해 표현되는 경우에, 그 퍼지 모델로부터 퍼지 제어기를 설계하는 방법을 고찰한다. 공정의 퍼지 모델은 복수의 공정 법칙으로부터 구성되는 비선형 모델이기 때문에, 1개의 선형 제어기로 제어하는 것은 곤란하다. 그런데, 1개의 퍼지 공정 법칙은 전반부에 의해 정해지는 퍼지 부분 공간에서 성립하는 1개의 선형 시스템을 후반부에 표현하고 있다. 따라서 각 퍼지 공정 법칙의 후반부 선형 시스템에 대한 선형 제어기를 설계하고, 그것을 전반부의 퍼지 부분 공간상의 제어기로 하는 것이 가능하다. 그러면, 공정의 퍼지 모델과 같은 수의 규칙을 갖고 전반부가 공정의 퍼지 모델의 전반부와 동일한 퍼지 제어기가 구성되어진다.

공정의 퍼지 모델에서는, 출력의 추정치는 각 공정 법칙의 출력을 무게치 평균으로 하여 식 (6)과 같이 구해진다.

$$y_r = \frac{\sum_{i=1}^n w_i y_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (6)$$

여기서 $w_i = \prod A_j^i(x_j^0)$

그것에 대해 퍼지 제어기는 공정의 제어가 가능하도록 각 제어 규칙의 출력으로부터 조작량을 구하는 방법을 결정하지 않으면 안된다. 여기서는 공정이 단일 입출력시스템인 경우와 다변수 시스템인 경우 각각에 대하여 고찰한다.

다음의 퍼지 공정 법칙과 퍼지 제어기 규칙에서 Rⁱ의 전반부의 퍼지 부분공간ⁱ는 Lⁱ의 전반부의 퍼지 부분공간ⁱ와 동일하고, Rⁱ의 후반부의 제어기ⁱ는 Lⁱ의 후반부의 선형 시스템ⁱ로 부터 설계된다.

<퍼지 공정 법칙>

- L¹ : 퍼지 부분공간 → 선형 시스템 1
- L² : 퍼지 부분공간 → 선형 시스템 2
-
- Lⁿ : 퍼지 부분공간 → 선형 시스템 n

<퍼지 제어 규칙>

- R¹ : 퍼지 부분공간 → 제어기 1
- R² : 퍼지 부분공간 → 제어기 2
-
- Rⁿ : 퍼지 부분공간 → 제어기 n

1) 단일 입출력 시스템의 퍼지 제어기

공정이 단일 입력, 단일 출력 시스템인 경우는 퍼지 공정 법칙의 후반부는 식 (7)과 같다.

$$y_i = a_0^i + a_1^i x_1 + \dots + a_m^i x_m + b^i u \quad (7)$$

여기서, y_i : i번째 퍼지 공정 법칙으로부터의 출력

x_j : 변수 u : 조작량

a_jⁱ 와 bⁱ: 파라미터이다.

지금 (x₁, x₂, ..., x_m)인 어떤 입력치 (x₁⁰, x₂⁰, ..., x_m⁰)에 대해 공정의 출력이 어떤 값 y₀로 되도록 u_r(조작량)를 퍼지 제어기로부터 구하는 방법을 고찰한다. 첫번째 공정 법칙의 출력이 y₀로 되도록 조작량을 첫번째 제어 규칙의 후반부 제어기로부터 구해 그것을 u₁으로 한다. 동일하게,

각 공정 법칙의 출력이 y₀가 되도록 조작량을 각 제어 규칙으로부터 구한다. 그러면 규칙의 수가 n개인 경우, 식 (8)을 만족시키는 u₁, u₂, ..., u_n이 얻어진다.

$$y_0 = a_0^1 + a_1^1 x_1^0 + \dots + a_m^1 x_m^0 + b^1 u_1$$

$$y_0 = a_0^2 + a_1^2 x_1^0 + \dots + a_m^2 x_m^0 + b^2 u_2$$

$$\dots \dots \dots \quad (8)$$

$$y_0 = a_0^n + a_1^n x_1^0 + \dots + a_m^n x_m^0 + b^n u_n$$

입력치 (x₁⁰, x₂⁰, ..., x_m⁰, u_r)에 대한 공정 모델의 y의 추론치 y_r는 식(9)와 같다. 즉

$$y_r = \frac{\sum_{i=1}^n w_i (a_0^i + a_1^i x_1^0 + \dots + a_m^i x_m^0 + b^i u_r)}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (9)$$

여기서, w_i는 입력치 (x₁⁰, x₂⁰, ..., x_m⁰, u_r)에 대한 i번째 퍼지 공정 법칙의 전반부 적합도이다. 식 (7)의 각각의 식에 전반부의 적합도 w_i를 곱하면 식 (10)과 같다.

$$\sum_{i=1}^n w_i y_0 = \sum_{i=1}^n w_i (a_0^i + a_1^i x_1^0 + \dots + a_m^i x_m^0 + b^i u_i) \quad (10)$$

지금 공정의 출력이 y₀로 되는 것을 목적으로 하기 때문에 y_r=y₀로 하면 식 (9)와 식 (10)에 의하여 식 (11)로 된다.

$$\sum_{i=1}^n w_i b^i u_r = \sum_{i=1}^n w_i b^i u_i \quad (11)$$

로 된다.

따라서, 조작량 u_r는 u₁, u₂, ..., u_n으로 부터 얻어진다.

(1) 조작량 u가 전반부 변수가 아닌 경우

식 (11)로부터 u_r는 식 (12)와 같이 구해진다.

$$u_r = \frac{\sum_{i=1}^n w_i b^i u_i}{\sum_{i=1}^n w_i b^i} \quad (12)$$

(2) 조작량 u가 전반부 변수인 경우

i번째 공정 법칙과 i번째 제어 규칙의 전반부인 퍼지 부분공간ⁱ는 < x₁ is A₁ⁱ, x₂ is A₂ⁱ, ..., x_m is A_mⁱ, u is Bⁱ >로 되어 전반부의 적합도는 다음과 같다.

$$w_i = \prod_{j=1}^m A_j^i(x_j^0) B(u_r) = g^i B^i(u_r) \quad \text{여기서 } g^i = \prod_{j=1}^m A_j^i(x_j^0)$$

따라서 식 (11)은 식 (13)과 같이 된다.

$$\sum_{i=1}^n g^i B^i(u_r) b^i u_r = \sum_{i=1}^n g^i B^i(u_r) b^i u_i \quad (13)$$

퍼지 변수 Bⁱ가 그림 2와 같이 직선으로 구성하는 경우는 Bⁱ(u_r)를 1개의 식으로 표시할 수 없다. 따라서 다음과 같이 u의 구간을 나누어 고찰한다.

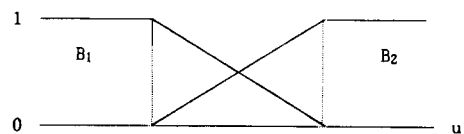


그림 2. 입력 퍼지 변수의 멤버십 함수

(i) 활성오니 공정의 멤버십 함수는 그림 2와 같은 형태로 주어졌기 때문에 2개의 퍼지 변수가 중복되는 구간(예를들면 그림 2에서 a ≤ u ≤ b)의 퍼지 변수를 B₁, B₂로 하고, B₁을 전반부로 가지는 퍼지 규칙의 번호의 집합을 K₁, B₂를

전반부로 가지는 집합을 K_2 로 한다. 그때, $K_1 \cap K_2 = \emptyset$ 로 된다. 또,

$$B_1(u) = a_1 u + \beta_1$$

$$B_2(u) = a_2 u + \beta_2 \text{로 된다.}$$

따라서 식 (13)으로부터 u_r 의 2차 방정식인 식 (14)가 구해진다.

$$(a_1 u_r + \beta_1) \sum_{i \in K_1} g^i b^i u_r - \sum_{i \in K_1} g^i b^i u_i + (a_2 u_r + \beta_2) \sum_{i \in K_2} g^i b^i u_r - \sum_{i \in K_2} g^i b^i u_i = 0 \quad (14)$$

(ii) 1개의 퍼지 변수가 있고, 멤버십 값이 "1"인 구간 (예를 들면, 그림 2에서 $a \geq u, b \leq u$)

그 퍼지 변수를 전반부에 가지는 퍼지 규칙의 번호의 집합을 K 로 하면, 식(13)으로부터, u_r 은 식 (15)와 같이 된다.

$$u_r = \frac{\sum_{i \in K} g^i b^i u_i}{\sum_{i \in K} g^i b^i} \quad (15)$$

$$\left(\sum_{i=1}^n g^i B^i(u_r) b^i u_r = \sum_{i=1}^n g^i B^i(u_r) b^i u_i \right)$$

2) 다변수 시스템의 퍼지 제어기

p입력, q출력 시스템의 경우는, i번째 퍼지 공정 법칙의 후반부는 식 (16)과 같이 된다.

$$y^i = a_0^i + a_1^i x_1 + \dots + a_m^i x_m + b^i u \quad (16)$$

여기서, y^i : i번째 q 벡터의 출력

a_j^i : q 벡터의 파라미터

x_j : 변수, b^i : (q×p) 행렬의 파라미터

u : p 벡터의 조작량이다.

y의 추정치 y 가 y^0 가 되는 조작량 u 를 퍼지 제어기로부터 구할때는, 식 (17)이 얻어진다.

$$\sum_{i=1}^n W^i b^i u_r = \sum_{i=1}^n W^i b^i u_i \quad (17)$$

조작량 u 가 전반부 변수가 아닌 경우에는 조작량 u 는 식 (17)로부터 식 (18)이 얻어진다.

$$u_r = (b^T b)^{-1} b^T \sum_{i=1}^n W^i b^i u_i \quad (18)$$

여기서, $b = \sum_{i=1}^n W^i b^i u_i$ 이고,

($b^T b$)는 nonsingular 하다.

조작량 u 가 전반부 변수인 경우, u 에 대한 1개의 관계 식인 식 (17)로부터 조작량이 구해진다.

공정의 입출력 관측 데이터를 이용해서 공정의 퍼지 모델을 동정할때 퍼지 공정 법칙의 후반부는 식 (16)과 같은 형식이 아닌 경우가 많다. 즉, 각 출력에 대해 각각의 퍼지 모델을 작성하기 때문에 만일 q개의 출력일 경우 q개의 퍼지 모델이 작성된다. 따라서, 퍼지 제어기를 설계하기 위해서는, q개의 퍼지 모델로부터 후반부가 식 (16)과 같이 전 출력을 나타내는 퍼지 모델을 작성하는 것이 필요하다.

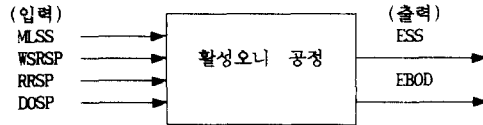
5. 시뮬레이션

본 논문에서는 수도권 하수 처리장의 수질 데이터를 토대로 활성오니 공정을 모델링하고, 동정된 모델로부터 활성오니 공정 퍼지 제어기를 구성하고 그 제어기의 성능을 평가한다.

1) 활성오니 공정 모델링

활성오니 공정은 폭기조 및 최종 침전지를 하나의 단일 모델로 선정하였다. 실제 최종 침전지로 유입되는 BOD(생물

학적 산소 요구량) 및 SS(유입수의 부유물) 농도를 측정하고, 최종 침전지에서 유출되는 EBOD 및 ESS 농도가 주요 측정 대상이 된다. 활성오니 공정의 DOSP(Dissolved Oxygen Set-Point) 및 RRSF(Recycle Sludge Ratio Set-Point)는, 유입수의 BOD 및 SS농도에 따라 유출수의 EBOD, ESS농도가 영향을 받으므로 조작자가 이 유출수의 농도를 소정치 이하로 낮추기 위해 사용되는 데이터이다. 유출수의 BOD 및 SS 농도는 측정된 데이터의 MLSS, WSRSP, RRSF, DOSP에 의존하며 BOD, SS 농도는 서로 일정한 상관 관계를 가지고 있다. 따라서 그림 3의 입력 및 출력 데이터를 사용하여 퍼지 모델링한다.



- MLSS : 폭기조내 오타중의 부유물
- WSRSP : 잉여오타 흐름율
- RRSF : 반송율 설정치
- DOSP : 용존산소 설정치
- ESS : 유출수의 부유물 농도
- EBOD : 유출수의 생물학적 산소 요구량

그림 3. 활성오니 공정내의 입, 출력 변수

시뮬레이션을 위한 퍼지 모델 입력 변수의 멤버십함수는 그림 4에 보이는 형식을 갖게 되며 각 변수에 대해 동정된 전반부 파라미터인 a, b가 표 1에 주어진다.

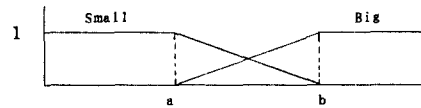


그림 4 입력 퍼지 변수의 멤버십함수

표 1. 동정된 각 입력변수의 멤버십 파라미터인 a, b 및 PI

	a	b	PI
MLSS	1750	2200	11.10
WSRSP	0.55	2.25	11.03
RRSF	25.3	37.0	13.31
DOSP	2.4	6.0	12.38

활성오니공정 모델의 동정을 완료 했을때의 최적 퍼지 모델 규칙이 표 2에 주어진다. 규칙 R1-R6은 출력 ESS, R7-R16은 출력 EBOD에 대한 것으로 규칙의 후반부에서 x_1 은 MLSS, x_2 는 WSRSP, x_3 는 RRSF이고, x_4 는 DOSP이며 모델의 후반부 파라미터 계수는 표 3에 주어진다.

표 2. 활성오니공정 모델 규칙

규칙 수	규칙의 전반부	규칙의 후반부
R1	WSRSP is small, DOSP is small, MLSS is small	$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4$
R2	WSRSP is small, DOSP is small, MLSS is big	$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4$
R3	WSRSP is small, DOSP is big, MLSS is small	$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4$
R4	WSRSP is small, DOSP is big, MLSS is big	$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4$
R5	WSRSP is big, DOSP is small, MLSS is small	$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4$
R6	WSRSP is big, DOSP is small, MLSS is big	$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4$
R7	WSRSP is big, DOSP is big, MLSS is small	$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4$
R8	WSRSP is big, DOSP is big, MLSS is big	$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4$
R9	WSRSP is small, MLSS is small, RRSF is small	$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4$
R10	WSRSP is small, MLSS is small, RRSF is big	$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4$
R11	WSRSP is small, MLSS is big, RRSF is small	$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4$
R12	WSRSP is small, MLSS is big, RRSF is big	$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4$
R13	WSRSP is big, MLSS is small, RRSF is small	$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4$
R14	WSRSP is big, MLSS is small, RRSF is big	$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4$
R15	WSRSP is big, MLSS is big, RRSF is small	$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4$
R16	WSRSP is big, MLSS is big, RRSF is big	$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4$

표 3. 모델 규칙의 후반부 파라미터 계수

	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄
R ₁	-69.38	0.03	-70.36	3.84	-12.96
R ₂	-2114.8	-1.61	908.91	180.30	-0.96
R ₃	-1.92	-0.02	24.41	1.33	-2.07
R ₄	119.01	0.02	-54.28	-2.46	-6.28
R ₅	42921.22	-48.33	-36917.6	2.24	20771.75
R ₆	-7112.75	6.37	4553.26	-361.35	-588.89
R ₇	-694.99	0.11	79.17	-0.23	54.94
R ₈	44.4	-0.02	-42.7	1.91	7.52
R ₉	-167.04	0.02	1.65	6.26	-2.13
R ₁₀	154.77	-0.14	18.70	-0.65	8.99
R ₁₁	166.35	0.02	49.85	-9.07	2.80
R ₁₂	581.64	-0.03	-38.70	-9.71	-15.20
R ₁₃	295.44	-0.13	-113	1.47	9.49
R ₁₄	-923.16	0.37	41.12	9.78	1.21
R ₁₅	-244.85	-0.04	71.48	10.53	-12.09
R ₁₆	-382.69	0.10	-43.40	0.88	27.57

2) 모델에 기초한 퍼지 제어기 설계

표 2의 활성오니 공정 모델의 퍼지 법칙에서 제어기의 퍼지 제어 규칙을 추출한다. 이 제어기의 출력으로는 DOSP 를 조작량으로한 플랜트의 출력 ESS 및 EBOD를 구한다. 추출된 퍼지 제어기의 규칙은 다음과 같다.

- R₁ : IF WSR is small, DOSP is small, MLSS is small THEN DOSP = REF₁ - (b₀+b₁x₁+b₂x₂+b₃x₃)
- R₂ : IF WSR is small, DOSP is small, MLSS is big THEN DOSP = REF₁ - (b₀+b₁x₁+b₂x₂+b₃x₃)
- R₃ : IF WSR is small, DOSP is big, MLSS is small THEN DOSP = REF₁ - (b₀+b₁x₁+b₂x₂+b₃x₃)
- R₄ : IF WSR is small, DOSP is big, MLSS is big THEN DOSP = REF₁ - (b₀+b₁x₁+b₂x₂+b₃x₃)
- R₅ : IF WSR is big, DOSP is small, MLSS is small THEN DOSP = REF₁ - (b₀+b₁x₁+b₂x₂+b₃x₃)
- R₆ : IF WSR is big, DOSP is small, MLSS is big THEN DOSP = REF₁ - (b₀+b₁x₁+b₂x₂+b₃x₃)
- R₇ : IF WSR is big, DOSP is big, MLSS is small THEN DOSP = REF₁ - (b₀+b₁x₁+b₂x₂+b₃x₃)
- R₈ : IF WSR is big, DOSP is big, MLSS is big THEN DOSP = REF₁ - (b₀+b₁x₁+b₂x₂+b₃x₃)
- R₉ : IF WSR is small, DOSP is small, MLSS is small THEN DOSP = REF₂ - (b₀+b₁x₁+b₂x₂+b₃x₃)
- R₁₀ : IF WSR is small, DOSP is small, MLSS is big THEN DOSP = REF₂ - (b₀+b₁x₁+b₂x₂+b₃x₃)
- R₁₁ : IF WSR is small, DOSP is big, MLSS is small THEN DOSP = REF₂ - (b₀+b₁x₁+b₂x₂+b₃x₃)
- R₁₂ : IF WSR is small, DOSP is big, MLSS is big THEN DOSP = REF₂ - (b₀+b₁x₁+b₂x₂+b₃x₃)
- R₁₃ : IF WSR is big, DOSP is small, MLSS is small THEN DOSP = REF₂ - (b₀+b₁x₁+b₂x₂+b₃x₃)
- R₁₄ : IF WSR is big, DOSP is small, MLSS is big THEN DOSP = REF₂ - (b₀+b₁x₁+b₂x₂+b₃x₃)
- R₁₅ : IF WSR is big, DOSP is big, MLSS is small THEN DOSP = REF₂ - (b₀+b₁x₁+b₂x₂+b₃x₃)
- R₁₆ : IF WSR is big, DOSP is big, MLSS is big THEN DOSP = REF₂ - (b₀+b₁x₁+b₂x₂+b₃x₃)

여기서 REF₁, REF₂ 는 기준 입력치이고, b₀, b₁, b₂, b₃는 표 3의 후반부 파라미터 계수이다. 그림 5, 7 및 그림 6, 8은 각각 조작량 DOSP, 플랜트의 출력 ESS 및 EBOD를 나타낸다. 그림 6, 8은 플랜트의 출력이 일정치(15mg/l)로 잘 제어되고 있음을 나타내고 있지만 사이사이 제어가 되지 않는 구간은 DO(배기풍량) 제어만으로는 출력 ESS를 일정치로 제어할 수 없음을 나타내고 있다. 이러한 경우 조작량 DOSP 농도를 조절함으로써 출력을 어느정도 보상하거나 조작량 DOSP 이외에 실제의 하수 플랜트에서 이용되고 있는 MLSS, 잉여오니량 제어를 조작량 변수로 사용하면 출력이 개선될 것으로 전망된다.

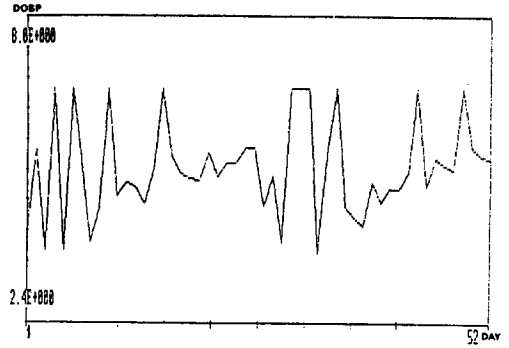


그림 5. 출력 ESS에 대한 퍼지 제어기의 조작량(DOSP)

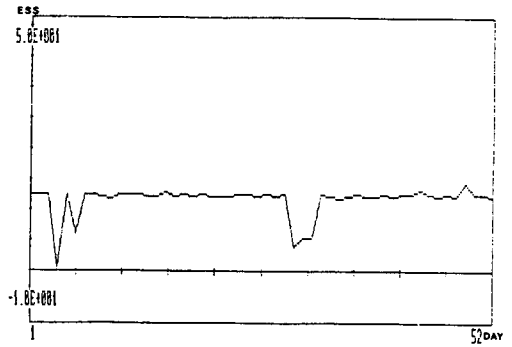


그림 6. 퍼지 제어기에 의한 플랜트 출력(ESS)

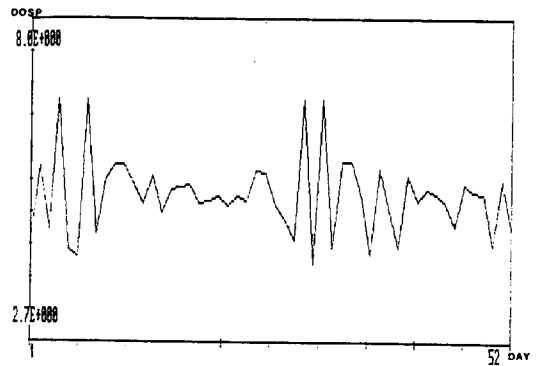


그림 7. 출력 EBOD에 대한 퍼지 제어기의 조작량(DOSP)

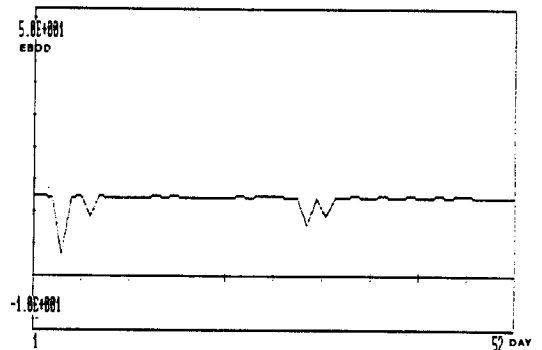


그림 8. 퍼지 제어기에 의한 플랜트 출력(EBOD)

6. 결론

본 논문에서는 비선형 특성을 갖는 하수처리 시스템의 활성오니 공정에 선형 퍼지 추론법을 적용하여 퍼지 모델링을 행하였으며 이 퍼지 모델을 기초로 퍼지 제어기를 설계하였다. 이 퍼지 제어기는 모델로부터 규칙을 추출한 것으로 비선형적인 활성오니 공정에 대해 정확한 목표치 제어를 수행함을 볼 수 있다.

7. 참고문헌

1. M.Hiraoka, and K.Tsumura, and T.Oka, "Interactive control system in the activated sludge process", Proceeding of 3rd PACHEC, pp.243-248, Seoul, 1983.
2. T.Takagi, and M.Sugeno, "Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control," IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-15, No.1, pp.116-132, 1985.
3. R.M.Tong, M.B.Beck, and A.Latten, "Fuzzy control of the activated sludge wastewater treatment process", Automatica, Vol. 16, pp. 695-701, 1980.
4. R.M.Tong, "A control engineering review of fuzzy systems". Automatica, Vol.13, pp. 559-569, 1977.
5. M.Sugeno and G.T.Kang, "Fuzzy modeling and control of multilayer incinerator", Fuzzy Sets and Systems, Vol. 18, pp. 329-346, 1986.
6. M.Sugeno and G.T.Kang, "Structure identification of fuzzy model", Fuzzy Sets and Systems, Vol. 24, pp. 15-33, 1988.