Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 15, No.6, pp. 89~96 November 2001 논문 15-6-13

생물학적 하수처리에 소요되는 적정 폭기량의 판단 시스템 설계

(Designing a decision making system of inferring reasonable O_2 quantity needed to process wastewater via biological reaction)

이진락* · 양일화** · 이해영***
(Jin-Rock Lee · Il-hwa Yang · Hai-young Lee)

요 약

본 논문에서는 생물학적 반응을 이용한 하수처리에서 미생물의 유기물 분해 반응에 필요한 적정 폭기량을 판단하는 기법을 제안한다. 적정 폭기량의 판단 시스템은 크게 세가지 부분으로 구성된다. 첫 번째는 주어진 운전 데이터로부터 적정 폭기량을 판단하는 기능이며, 두 번째는 투입 폭기량을 판단된 적정 폭기량으로 변경했을 때의 처리 성능을 하수 처리 과정의 모델을 이용하여 계산하는 부분이고, 세 번째는 판단 결과를 보여주는 부분이다. 40일 동안의 하수처리장 운전데이터를 이용하여 제안된 판단 시스템의 성능을 확인하여 본 결과, 하수처리의 목적을 달성하면서도 폭기량을 10%이상 절감할 수 있음을 보였다.

Abstract

This paper presents a decision making technique of reasonable O_2 quantity needed to resolve organic matter via microbe in wastewater treatment. Decision making system of inferring reasonable O_2 quantity consists of three parts. The first part is to compute reasonable O_2 quantity with given process data. The second part is to find output features of processed wastewater using process model when O_2 quantity is changed to a value inferred from decision making system. The third part is to show the results of decision making system. In order to verify performance of proposed decision making system, computer simulation was done with process data gathered during 40 days. Simulation result shows that O_2 quantity can be reduced over 10% under the condition of satisfying the specifications for processed wastewater.

key words : wastewater treatment system, Process model, Air quantity, Biological oxygen demand, Suspended solids

* 정회원 : 영남대 전기공학과 박사과정
E-mail : hylee@yu.ac.kr
** 정회원 : 영남대 전기공학과 석사과정
*** 정회원 : 영남대 전자정보공학부 부교수 · 공박

접수일자 : 2001년 9월 17일
1차심사일 : 2001년 9월 21일
심사완료일 : 2001년 10월 13일

1. 서 론

본 논문에서는 생물학적 하수처리공정에서 반응조내에 존재하는 세균(Bacteria)이나 원생동물과 같은 미생물(Microbe)들[1]이 유기물(Organicmatter)을분해하는데 필요한 폭기량이 적정하게 투입되었는 지를 판단할 수 있는 적정 폭기량 판단 시스템을 제안한다.

하수처리의 핵심은 반응조내에 투입되는 유입수의 생물화학적 산소요구량(Biological oxygen demand: BOD)과 부유물질(Suspened solids: SS)의 값들을 생물학적 반응을 이용해 대개 20[㎎/ℓ] 이내로 낮춘 후 방류시키는 것이다[2]-[5].

그런데 반응조내에서 미생물들이 유기물을 분해하는 대사과정에는 산소가 필요하며, 대개 전동기를 이용하여 반응조내에 있는 하수를 휘저어 공기와 접촉하게 하는 방식으로 산소가 공급된다[6][7]. 이 과정에 사용되는 폭기용 전동기의 동력비가 하수처리에 소요되는 운영비의 대부분을 차지한다. 그런데 대개의 경우 반응조에 투입되는 폭기량은 처음에 하수처리 설비가 공급될 때 '안전한 처리'의 관점에서 설계되어 제공된 운영 지침에 따라서 정해지며, 결과적으로 반응조에서 나오는 방류수의 BOD와 SS는 모두 20[㎎/ℓ]보다 훨씬 낮은 값으로 유지되고 있다. 즉 폭기량이 너무 많은 것은 아닌 지를 판단할 필요가 있고, 이제는 '안전한 처리'에 '효율적 처리'의 개념을 추가할 시점이며, 이를 통해 하수처리비용을 절감할 수 있는 효과를 얻을 수 있다.

본 논문에서 제안된 적정 폭기량의 판단 시스템은 투입된 폭기량, 유입수와 방류수의 BOD 및 SS에 관한 운전데이터를 입력으로하여 보다 더 적절하다고 판단되는 폭기량을 추론하고, 유입수의 조건이 같을 때 산출된 폭기량으로 변경하면 방류수의 특성이 어떻게 변화하는 지와 절감되는 폭기량을 알려주는 기능을 가지고 있다.

제안된 판단 시스템의 성능을 확인하기 위해 40일 동안의 하수처리장 운전데이터를 이용하여 매일당 적정 폭기량을 판단하고 폭기량의 변경시 발생하는 방류수의 특성 변화를 관찰한 결과, 방류수의 BOD와 SS가 모두 항상 20[㎎/ℓ] 이내로 안전하게 유지되면서도 폭기량을 10%이상 절감할 수 있음을 보였다.

2. 생물학적 하수처리과정에서 적정 폭기량의 판단 문제

생물학적 하수처리란 세균과 원생동물같은 미생물들의 대사 과정을 이용하여 하수속에 포함된 유기물을 제거하는 기법이다[3][8]. 그림 1에 유기물의 생물학적 처리 원리를 보인다.

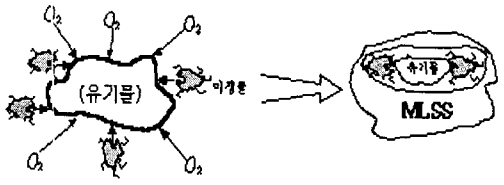

그림 1. 유기물의 생물학적 처리 원리
Fig. 1. Principle of biological processing for organic matter

그림 1에서 볼수 있듯이 미생물이 유기물을 섭취하여 혼합액 부유물질(Mixed liquor suspened solids: MLSS)이 되는 반응이 생물학적 하수처리의 핵심이며, 이 대사 과정에 산소가 반드시 필요하다. 이런 반응은 반응조(Reaction tank)에서 이루어지며, 반응조내에서 하수의 처리에 소요되는 산소를 공급하는 것을 폭기(Aeration)라고 하는데, 대개 그림 2에 보여진 것처럼 전동기를 이용하여 하수를 휘젓는 방식이 사용된다. 즉 폭기에 의해 하수가 공기와 접촉함으로서 반응조내에 용존산소(Dissolved oxygen: DO)가 공급되고, 이 용존산소가 유기물의 분해 과정에 사용된다.

하수의 생물학적 처리 성능을 판정하는 기준으로는 대개 BOD와 SS가 사용된다. 그림 2에 표기된 것처럼 k번째 샘플링시, 유입 하수의 BOD와 SS를 각각 $BOD_{input}(k)$ 및 $SS_{input}(k)$ 라 하고, 방류수의 BOD와 SS를 각각 $BOD_{out}(k)$ 및 $SS_{out}(k)$ 로 약속하며, 투입한 폭기량을 $Q_{air}(k)$ 로 정하면, 하수처리의 성능은 $BOD_{out}(k)$ 와 $SS_{out}(k)$ 의 크기로 판정하게 된다. 즉 유입 하수의 조건에 관계없이 항상 $BOD_{out}(k)$ 및 $SS_{out}(k)$ 가 각각 20[㎎/ℓ] 이내로 유지되면 하수 처리의 목적을 달성했다고 판정한다. 그런데 하수 처리장의 운전비용 중 가장 큰 요소는 반응조에 설치된 폭기용 전동기의 가동을 위한 전기요금이므로 필요한 만큼만 계산하여 폭기를 해야하는 것이 바람직하지만, 현재 국내에서 운영중인

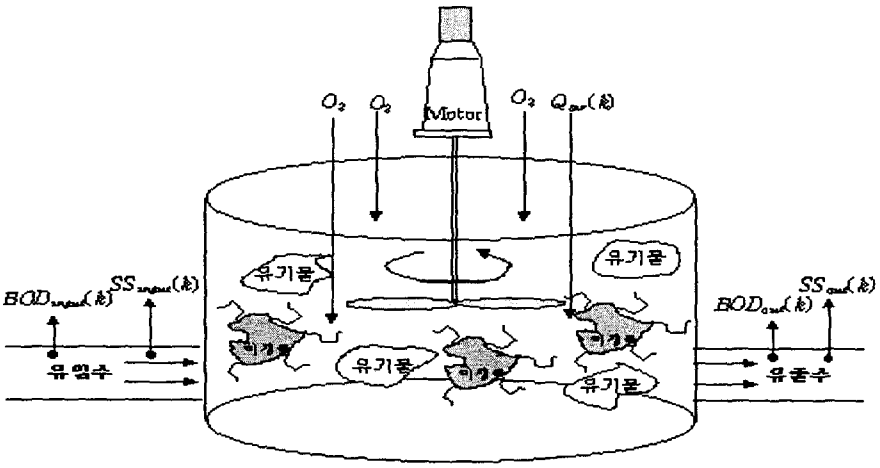

그림 2. 반응조의 구조
Fig. 2. A structure of reaction tank

하수처리장에서는 운영 기술의 축적이 미흡하여, 투입 폭기량, $Q_{air}(k)$,을 설비에서 공급할 수 있는 최대량으로 설정하고 있다. 즉 '효율적 운전'보다는 '안전한 운전'을 운영 방침으로 하고 있다. 따라서 $BOD_{out}(k)$ 및 $SS_{out}(k)$ 는 대개의 경우 각각 기준값보다 훨씬 낮은 값으로 유지되고 있지만, 하수처리에 소요되는 전기에너지는 지나치게 많이 사용되고 있는 것으로 볼수 있다. 그러므로 하수 처리장의 운전 데이터를 분석하여 해당 하수 처리장에서 폭기량을 적절하게 투입하고 있는 지를 판단한 후, 적정한 폭기량을 안내하여 줄수 있는 판단 시스템의 개발이 절실히 요구된다.

3. 적정 폭기량의 판단 시스템 설계

본 논문에서 개발된 적정 폭기량의 판단 시스템은 크게 세가지 부분으로 구성된다. 첫 번째는 주어진 운전 데이터로부터 적정 폭기량을 판단하는 기능이며, 두 번째는 하수 처리 과정의 모델을 이용해 투입 폭기량을 판단된 적정 폭기량으로 변경했을 때의 성능을 계산하는 부분이고, 마지막으로 세 번째는 판단 결과를 보여주는 부분이다.

3.1 적정 폭기량의 판단자 설계

적정 폭기량 판단자란 BOD와 SS에 대한 운전 데이터를 입력으로 하여 하수 처리를 위해 투입한 폭기량이 적정한 지를 판단한 후, 운전 비용을 절감하면서도 하수 처리의 목표를 달성할 수 있는 더욱 적절한 폭기량을 산출하여 출력하는 기능을 의미한다. BOD와 SS의 목표값들을 각각 $BOD_{목표값}$ 및 $SS_{목표값}$ 이라고 약속하고, 그림 3에 적정 폭기량 판단자의 입력 및 출력 관계를 보인다.

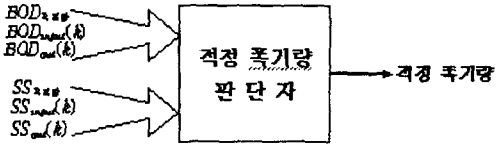

그림 3. 적정 폭기량 판단자의 입력 및 출력
Fig. 3. Inputs and outputs of a decision maker for computing reasonable O_2 quantity

적정 폭기량 판단자는 두가지 기능을 조합하여 설계하였다. 첫번째는 방류수에서 측정된 $BOD_{out}(k)$ 및 $SS_{out}(k)$ 들을 각각 $BOD_{목표값}$ 및 $SS_{목표값}$ 들과 비교하여 하수 처리 결과의 적정성을 평가하는 부분이며, 여기서 각 지표의 차이인 오차들은 식(1)과 (2)로 약속한다.

$$e_{BOD}(k) \triangleq BOD_{목표값} - BOD_{out}(k) \quad (1)$$

$$e_{SS}(k) \triangleq SS_{목표값} - SS_{out}(k) \quad (2)$$

그런데 미생물을 이용한 생물학적 반응을 이용하여 하수를 처리하기 때문에 반응조내에서의 반응에는 최소 2시간에서 최대 24시간정도의 시간이 소요된다. 따라서 적정한 폭기량을 판단할 수 있으려면 유입수의 특성에 변화가 발생했을 때 이 변동에 대해 미리 조치를 취해줄 수 있는 기능이 필요하며, 이것이 두번째 기능이다. 유입수의 특성 변동은 BOD 및 SS의 $k-1$ 번째 샘플값과 k 번째 샘플값의 차이로부터 판정할 수 있으며, 그 변동량들을 식(3)과 (4)로 정의한다.

$$\Delta BOD_{input}(k) \triangleq BOD_{input}(k) - BOD_{input}(k-1) \quad (3)$$

$$\Delta SS_{input}(k) \triangleq SS_{input}(k) - SS_{input}(k-1) \quad (4)$$

즉 BOD를 기준으로볼 때 적정한 폭기량은 $e_{BOD}(k)$ 와 $\Delta BOD_{input}(k)$ 로부터 산출될 수 있으며, SS를 기준으로볼때의 적정한 폭기량은 $e_{SS}(k)$ 와 $\Delta SS_{input}(k)$ 로부터 구해질 수 있다.

그런데 생물학적 하수 처리 반응은 수학적인 식으로 명확히 표현될 수 없으므로, 적정한 폭기량을 산출하는 과정을 식의 형태로 만들 수 없는 문제점이 있다. 하지만 폭기량을 증가시키면 생물학적 반응이 더욱 활성화되어 방류수의 BOD와 SS가 더욱 낮아지는 방향으로 작동하는 것과 같이 물리량들 사이에 방향성을 가지고 있는 것은 분명하다. 이와 같은 특성을 가진 시스템을 표현하는데 가장 적절한 방법이 퍼지 모델링[9]이므로, 본 논문에서는 $e_{BOD}(k)$ 와 $\Delta BOD_{input}(k)$ 및 $e_{SS}(k)$ 와 $\Delta SS_{input}(k)$ 로부터 적정한 폭기량을 판단하는 과정을 퍼지 규칙의 형태로 설계하였다.

또한 퍼지 규칙의 형태로 적정한 폭기량을 추론할 때는 결론부에서 최종 폭기량을 직접 계산하는 것보다 이전 값에서 변경되어야 할 량을 산출하는 '속도형'이 물리적 관계의 표현에 훨씬 적합하다[11]. 따라서 BOD 및 SS를 기준으로 적정한 폭기량을 산출하는 퍼지 규칙들을 독립적으로 설계하고, BOD를 기준으로한 폭기량의 변경값을 $\Delta Q_{air-BOD}(k)$ 및 SS를 기준으로한 폭기량의 변경값은 $\Delta Q_{air-SS}(k)$ 로 약속한다.

이제 $\Delta Q_{air-BOD}(k)$ 와 $\Delta Q_{air-SS}(k)$ 를 산출하기위한 퍼지 규칙들을 설계한다. 퍼지 규칙을 만들기 위해서는 먼저 퍼지 규칙에 사용될 모든 변수들의 용어집합[12]을 만들어야 하는데, 여기에 사용되는 물리량들은 의미의 관점에서 볼 때 용어집합을 세분화하여 설계할 필요가 없다. 따라서 하수처리장에서 수집한 BOD, SS 및 폭기량들의 운전데이터들을 분석하여 퍼지 규칙의 설계와 활용이 쉽도록 모든 변수들의 용어집합을 통일하여 식(5)와 같이 5개의 요소들을 갖도록 제안했다.

각 변수의 용어집합 = {NB, NS, ZO, PS, PB} (5)

여기서 NB는 Negative Big, NS는 Negative Small, ZO는 Zero, PS는 Positive Small 및 PB는 Positive Big의 약자다. 용어집합내의 각 요소에 대한 소속도 함수의 모양은 퍼지 추론[9][12]의 연산이 쉽도록 삼각형 형태[12]로 설계하였으며, 값의 범위는 운전데이터를 기준으로 선정하였다. 그림 4에서 9에 $e_{BOD}(k)$, $\Delta BOD_{input}(k)$, $\Delta Q_{air-BOD}(k)$, $e_{SS}(k)$, $\Delta SS_{input}(k)$ 및 $\Delta Q_{air-SS}(k)$ 의 소속도 함수들을 순서대로 보인다.

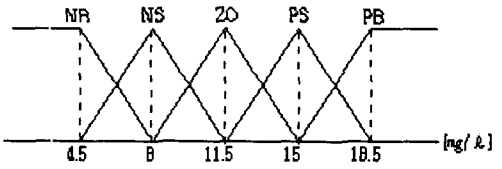

그림 4. $e_{BOD}(k)$ 에 대한 소속도 함수
Fig. 4. Membership functions for $e_{BOD}(k)$

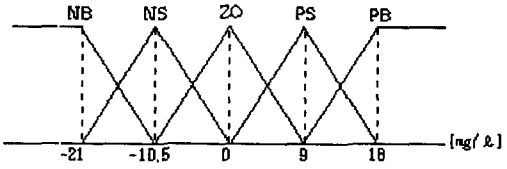

그림 5. $\Delta BOD_{input}(k)$ 에 대한 소속도 함수
Fig. 5. Membership functions for $\Delta BOD_{input}(k)$

설계된 변수들을 이용하여 적정한 폭기량을 산출하는 퍼지 규칙들은 BOD 및 SS에 대해 독립적으로 설계되었으며, 변수들간의 물리적 상관관계를 기준으로 만들어졌다. 표1에는 BOD를 기준으로 한 폭기량의 변경량($\Delta Q_{air-BOD}(k)$) 산출용 퍼지 규칙을,

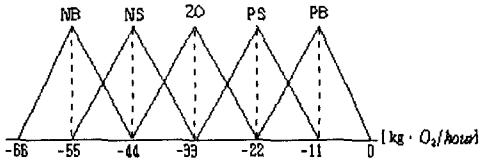

그림 6. $\Delta Q_{air-BOD}(k)$ 에 대한 소속도 함수

Fig. 6. Membership functions for $\Delta Q_{air-BOD}(k)$

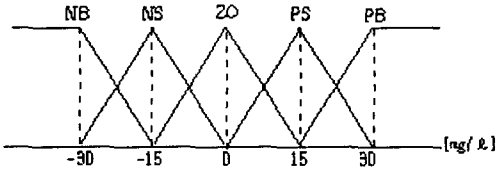

그림 8. $\Delta SS_{input}(k)$ 에 대한 소속도 함수

Fig. 8. Membership functions for $\Delta SS_{input}(k)$

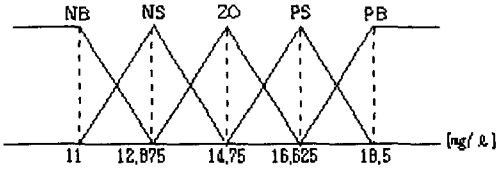

그림 7. $e_{SS}(k)$ 에 대한 소속도 함수

Fig. 7. Membership functions for $e_{SS}(k)$

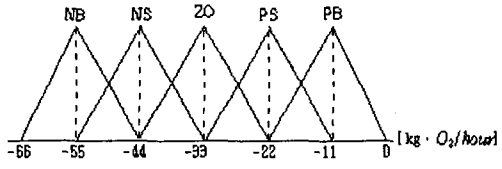

그림 9. $\Delta Q_{air-SS}(k)$ 에 대한 소속도 함수

Fig. 9. Membership functions for $\Delta Q_{air-SS}(k)$

표 1. $\Delta Q_{air-BOD}(k)$ 의 계산용 퍼지 규칙

Table 1. Fuzzy rules for computing $\Delta Q_{air-BOD}(k)$

$\Delta BOD_{input}(k)$ / $\Delta e_{BOD}(k)$	NB	NS	ZO	PS	PB
NB	NS	ZO	PS	PS	PB
NS	NB	NS	ZO	PS	PB
ZO	NB	NB	NS	ZO	PS
PS	NB	NB	NB	NS	ZO
PB	NB	NB	NB	NS	NS

표 2. $\Delta Q_{air-SS}(k)$ 의 계산용 퍼지 규칙

Table 2. Fuzzy rules for computing $\Delta Q_{air-SS}(k)$

$\Delta SS_{input}(k)$ / $\Delta e_{SS}(k)$	NB	NS	ZO	PS	PB
NB	NS	ZO	PS	PS	PB
NS	NB	NS	ZO	PS	PB
ZO	NB	NB	NS	ZO	PS
PS	NB	NB	NB	NS	ZO
PB	NB	NB	NB	NS	NS

표2에는 SS를 기준으로 한 폭기량의 변경량 ($\Delta Q_{air-SS}(k)$) 산출용 퍼지 규칙을 보인다.

퍼지 규칙으로부터 폭기량의 변경량을 계산하는 퍼지 추론 방식은 잘 알려진 Mamdani의 Min-max-gravity 방식[12]을 사용하였다. 이와 같이 설계된 적정 폭기량의 판단자에 대한 구성도를 그림 10에 보인다. 그림 10에서 볼수 있듯이 폭기량의 변경량에 대한 최종값은 BOD와 SS의 영향을 모두 반영할 수 있도록, BOD 및 SS를 기준으로 추론된 $\Delta Q_{air-BOD}(k)$ 와 $\Delta Q_{air-SS}(k)$ 를 산술 평균한 값으로 제안되었으며, 이를 $\Delta Q_{air}(k)$ 로 약속한다.

3.2 판단 시스템의 구성

이제 앞에서 만든 적정 폭기량 판단자를 이용하여 판단 시스템을 설계한다. 판단 시스템은 적정 폭기량 판단자에서 추론된 값을 이용하여 폭기량을 변경시켰을 때 유입수의 BOD와 SS가 생물학적 처리를 거친 후 어떻게 변화되는 지를 보여주는 기능이며, 적정 폭기량 판단의 성능을 평가할 수 있도록 해주는 역할을 한다. 그런데 폭기량을 변경시켰을때의 하수처리 성능을 변경시키기 전과 비교하려면 유입수의 조건이 동일해야 하므로 실제 공정에서는 시험할 수가 없다. 따라서 유입수의 BOD와 SS 및 폭기량을 입력으로하고 방류수의 BOD와 SS들이 출력이 되는 '생물학적 처리 과정의 공정 모델'이 필요한데, 이 반응 모델은 이미 모델의 신뢰성이 입증된 '생물학적 반응의 퍼지 모델'[13]을 사용하였다. 공정 모델의 입력중에 폭기량은 운전데이터인 $Q_{air}(k)$ 에 적정 폭기량 판단자의 출력($\Delta Q_{air}(k)$)이 더해진 값이며,

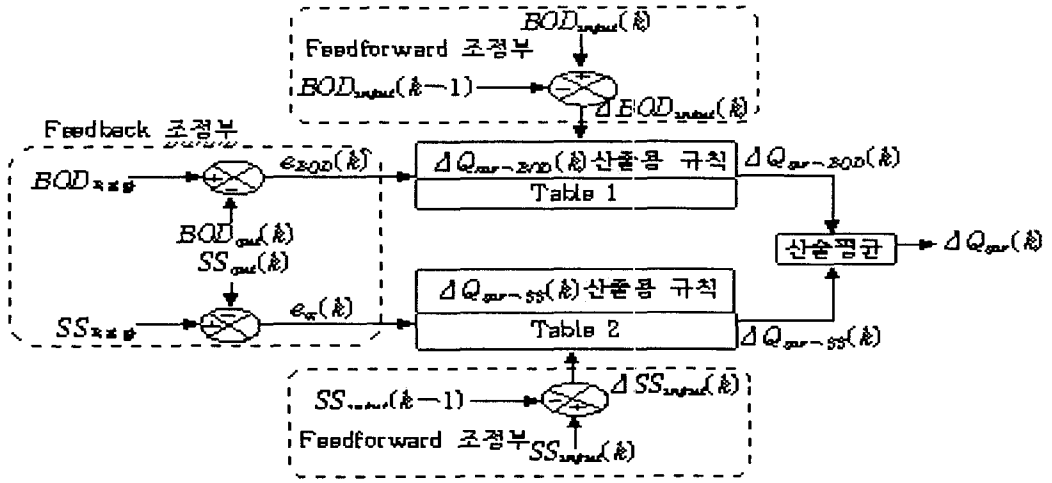

그림 10. 적정 폭기량의 판단자 구성도
Fig. 10. A schmatic diagram of deciding reasonable O_2 quantity

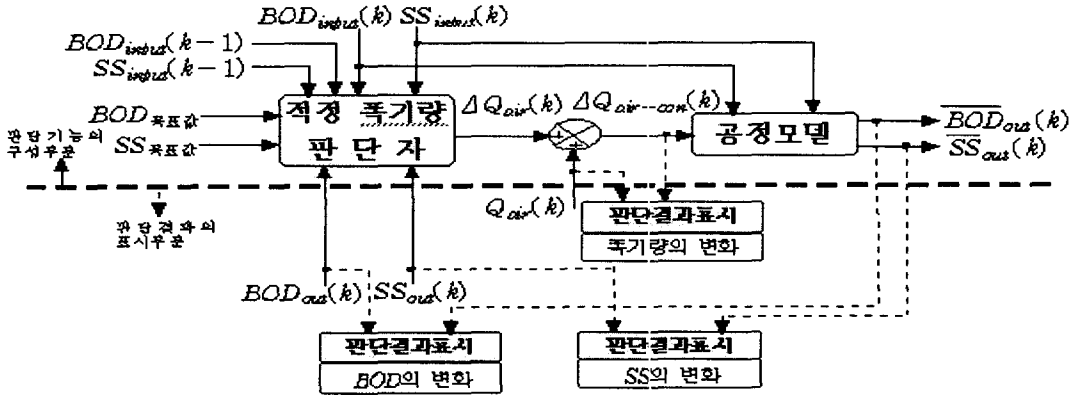

그림 11. 판단 시스템의 전체 구성도
Fig. 11. A overall structure of decision making system

이를 $Q_{air-con}(k)$ 이라 약속하면 식 (6)과 같다.

$$Q_{air-con}(k) = Q_{air}(k) + \Delta Q_{air}(k) \quad (6)$$

즉 공정 모델에 $\Delta Q_{air-con}(k)$, $BOD_{input}(k)$ 및 $SS_{input}(k)$ 이 입력되면, 공정 모델에서는 폭기량을 변경시켰을 때 예측되는 BOD와 SS의 값들이 계산되며, 이를 각각 $\overline{BOD}_{out}(k)$ 및 $\overline{SS}_{out}(k)$ 로 약속한다. 그러면 적정 폭기량의 판단 성능은 $BOD_{out}(k)$ 와 $\overline{BOD}_{out}(k)$, $SS_{out}(k)$ 와 $\overline{SS}_{out}(k)$ 및 $Q_{air}(k)$ 와 $Q_{air-con}(k)$ 를 각각 비교하므로서 평가될 수 있다. 그림 11에 이와 같이 설계된 판단 시스템의 전체 구성도를 보인다.

4. 모의실험을 통한 판단 성능의 시험

본 논문에서 설계된 적정 폭기량 판단 시스템의 성능을 확인해 보기 위해, BOD, SS 및 폭기량에 관한 40일간의 운전데이터를 이용하여 투입된 폭기량이 적정한 지와, 적정 폭기량 판단자의 출력값을 기준으로 폭기량을 변경시켰을 때 예상되는 BOD와

SS의 특성 변화를 알아 보았다. 모의실험의 결과를 그림 12부터 그림 14에 보인다.

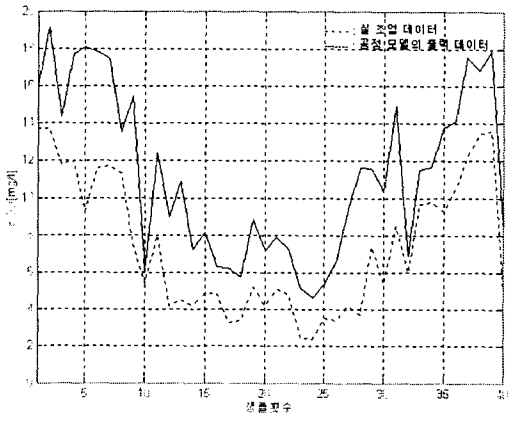

그림 12. $BOD_{out}(k)$ 와 $\overline{BOD}_{out}(k)$
Fig. 12. $BOD_{out}(k)$ and $\overline{BOD}_{out}(k)$

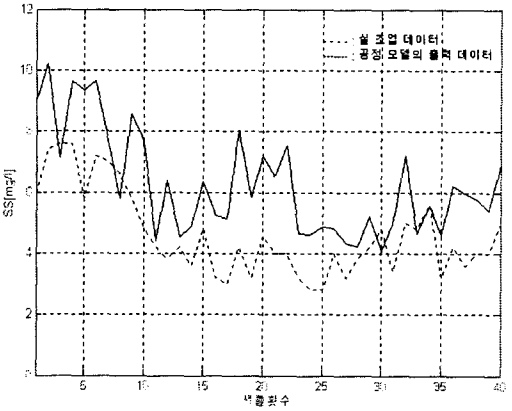

그림 13. $SS_{out}(k)$ 와 $\overline{SS}_{out}(k)$
Fig. 13. $SS_{out}(k)$ and $\overline{SS}_{out}(k)$

그림 12와 그림 13을 보면 폭기량을 $Q_{air}(k)$ 에서 적정 폭기량 판단자로부터 추론된 출력을 기준으로 변경한 $Q_{air-con}(k)$ 로 바꾸어 투입해도 방류수의 관리 기준들인 BOD와 SS는 모두 목표값인 20[mg/ℓ] 이내로 안전하게 유지됨을 알수 있다. 그럼에도 불구하고 그림 14를 보면 $Q_{air-con}(k)$ 는 모든 샘플링 시점에서 $Q_{air}(k)$ 보다 항상 작다. 즉 BOD와 SS의 목표값을 맞추기위해 반응조에 투입했던 폭기량이 지나치게 많았다고 판단할수 있으며, 결과적으로 하수처리비용을 절감할 수 있음을 확인할 수 있다. 각 샘플링 시점에서 폭기량의 절감율을 그림 15에 보인다. 따라서 본 논문에서 제안한 적정 폭기량 판단 방식으로 구한 $Q_{air-con}(k)$ 를 투입하면 평균적으로 보아도 하수처리용 폭기 전동기의 전기요금을 10%이상 절감할 수 있다. 다시말하면 '안전'위주의 운영에서 '효율'이 추가되는 방식의 운전이 가능하게 된다.

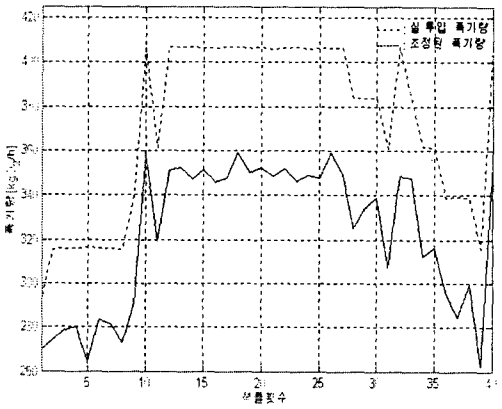

그림 14. $Q_{air}(k)$ 와 $Q_{air-con}(k)$
Fig. 14. $Q_{air}(k)$ and $Q_{air-con}(k)$

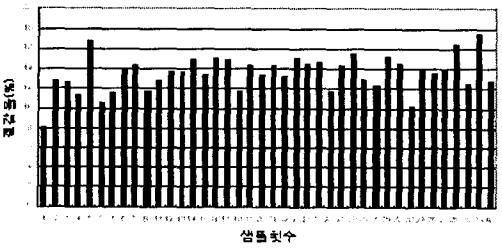

그림 15. 매 샘플링 시점에서 폭기량의 절감율
Fig. 15. Reducing rate of O_2 quantity at each sampling time

5. 결 론

본 논문에서는 생물학적 하수처리 공정에서 반응조내에 존재하는 미생물들이 유기물을 분해하는데 필요한 폭기량이 적정하게 투입되었는 지를 판단할

수 있는 적정 폭기량 판단 시스템을 제안하였다. 설계된 적정 폭기량의 판단 시스템은 투입 폭기량, 유입수와 방류수의 BOD 및 SS에 대한 운전 데이터로부터 적정 폭기량을 판단하는 기능, 하수처리 과정의 모델을 이용해 투입 폭기량을 판단된 적정 폭기량으로 변경했을 때의 성능을 계산하는 기능 및 판단 결과를 보여주는 기능 등으로 구성되었다. 모의실험을 통해 판단 성능을 확인해 보기 위해서 투입 폭기량, BOD 및 SS에 관한 40일간의 운전데이터를 이용하여 투입된 폭기량이 적정한 지와, 적정 폭기량 판단자의 출력값을 기준으로 폭기량을 변경시켰을 때 예상되는 BOD와 SS의 특성 변화를 관찰해 본 결과, 방류수의 BOD와 SS가 모두 목표값인 20[㎎/ℓ] 이내로 안전하게 유지되면서도 폭기량을 10%이상 절감할 수 있음을 알수 있었다. 따라서 본 논문에서 제안된 판단 시스템으로 하수처리성능을 판단한 후, 판단 시스템에서 산출한 폭기량으로 변경하여 운영하면 폭기용 동력비를 10%이상 절감할수 있는 효과가 기대된다.

참 고 문 헌

[1] 조병락 외, "활성슬러지 포기탱크의 미생물", 동화기술, 1997.
[2] Gabriel Bitton, "Wastewater Microbiology ", John Wiley & Sons, 1996.
[3] Metcalf & Eddy, "Wastewater Engineering", McGraw-Hill, 1993.
[4] W. Wesley Eckenfelder, "Industrial water pollution control. -- 2nd ed.", McGraw-Hill, 1992.
[5] 김동민 외, "폐수처리공학" 동화기술, 1997.
[6] Tom D. Reynolds, 외 "Unit operations and processes in environmental engineering ",Thomson Learning, 1998.
[7] Larry D. Benefield 외, "Biological process design for wastewater treatment", William Andrew Inc, 1998.
[8] 김남천 외, "생물학적 폐수처리" 동화기술, 1995.
[9] M.Sugeno, "Industrial Application of Fuzzy Control", Elsevier Science Publicshers B.V, 1985.
[10] Lennart Ljung, "System Identification : Theory for the User", Prentice-Hall, 1997.
[11] Karl J.Astrom, "Computer controlled system", Prentice-Hall International, pp.184-195, 1997.
[12] H.J.Zimmermann, "Fuzzy Set theory - and Its Applications", Kluwer-Nijihoff publishing, pp.83-98, 213-298, 1985.
[13] 이진락 외, "하수처리장에서 생물학적 반응 특성에 대한 모델", 한국조명·전기설비학회, vol 15, pp37-42, 2001.

◇저자소개◇

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

양 일 화(梁壹華)
1974년 8월 2일생. 2000년 영남대학교 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 석사과정.

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