

# 지능형 기법을 이용한 축산폐수처리장의 진단·제어 시스템

배현, 서현용, 전병희, 김성신, \*김예진  
부산대 전기공학과, \*부산대 환경공학과  
전화 : 051-510-2367 / 핸드폰 : 017-849-4822

## Diagnosis and Control System of Wastewater Treatment Processes Using Intelligent Approaches

Hyeon Bae, Hyun-Yong Seo, Byong-Hee Jun, Sungshin Kim, \*Yejin Kim  
School of Electrical and Computer Engineering, Pusan National University  
\*Department of Environmental Engineering, Pusan National University  
E-mail : baehyeon@pusan.ac.kr

### Abstract

Wastewater treatment processes are usually located in the outskirts of cities. But these processes should be dealt with continuous maintenance by expert operators. Therefore, in this paper, unmaned and automated control system is designed for the SBR(Sequencing Batch Reactor) plant. This plant is constructed in Gimhae city. Networks and wireless modules are employed for the data transmission. A local controller is in the SBR plant as a client and a monitoring system is located in the other place as a server. Remote control and monitoring system are constructed at the laboratory of ours. Measured data from plant sensors are translated to the remote site using communication modules, and then the data could be displayed and analyzed by means of remote monitoring and control systems.

### I. 서론

총괄적인 플랜트의 효율적인 관리·제어를 위하여 국지제어(local control) 및 하·폐수처리장을 중앙에서 직접적으로 관리 및 운영할 수 있는 관리자 제어(supervisory control) 시스템의 구성이 필요하다. SBR 플랜트의 국지제어는 ORP 데이터를 통한 ON/OFF 제어가 수행되므로 새로운 제어 알고리즘을 적용하기보다는 ON/OFF 제어에서 제어 시점을 효율적으로 찾기

위한 추론 시스템을 구성하여 현재 유입수 상태에서의 적절한 제어를 수행하고자 하였다. 또한 SBR 플랜트의 특성에 따라 다음 사이클에서의 유입수량을 추론 시스템을 통해 결정함으로써 고정된 운전 패턴을 적용하는 것 보다 가변적인 운전 조건을 적용함으로써 보다 효율적인 운전이 가능함을 데이터를 통해 확인하고자 하였다.

현장에서 플랜트가 정상적으로 동작할 경우에는 기존에 사용하고있는 국지제어기를 통하여 시스템을 원활하게 제어할 수 있지만, 시스템에 갑작스런 외부변동이 생기거나 비정상적인 상태에 들어가게 되면 국지제어기만으로 시스템을 제어하는 것이 어렵게 된다. 이러한 경우 운전자의 경험적 지식을 바탕으로 불안정한 시스템을 제어하게 되는데, 이러한 제어 기법을 자동화하기 위하여 관리자 제어 시스템을 구축하고자 하였다. 관리자 제어 시스템의 구축을 위한 기반 환경으로 네트워크를 이용한 데이터 파일 전송 프로그램을 개발하여 적용하였다. 실제 소규모 처리장에서 상주 운전원의 고용을 피함으로써 처리장 유지·관리비를 줄일 수 있으므로 플랜트로부터 전송된 데이터를 분석하고 수정된 파라미터 파일을 다시 플랜트로 보냄으로써 플랜트를 관리할 수 있는 원격 플랜트 제어 시스템을 구성하였다.

본 논문에서는 실제 현장에서 운전중인 파일럿 플랜트를 바탕으로 진단·제어 시스템을 구축하였다. 이 파일럿 플랜트는 현재 경남 김해시에 있는 축산폐수 처리하는 플랜트로서 축산폐수처리장에서 널리 쓰이는 SBR이다. 적용된 진단·제어시스템은 현장의 센서로부터 획득한 데이터를 전송 받을 수 있도록 구성되었

다. 특히, 원격 데이터베이스 접속 기법인 마이다스(MIDAS)를 이용하여 직접 플랜트 서버에 있는 데이터베이스에 접속하여 플랜트의 공정상태를 모니터링할 수 있도록 시스템을 구성하였다.

## II. SBR 공정 및 제어

### 2.1 SBR 축산폐수 처리 플랜트

SBR 플랜트는 주기적인 시간에 따라 질산화와 탈질화 공정을 반복함으로써 암모니아 성분을 질소가스로 배출하는 생물학적 처리 시스템으로서 운전 조건이 주기적으로 바뀐다는 것이 특징이다. 다시 말해, 호기조(aerobic reactor)와 무산소조(anoxic reactor)가 분리되지 않고 하나의 반응기 안에서 정해진 시간이나 ORP(Oxidation Reduction Potential)나 DO 곡선을 이용한 실시간 제어를 통해 하·폐수를 처리하는 플랜트이다.

탈질 미생물은 에너지원으로 탄소를 반드시 필요로 하는데, 일반적으로 탄소 산화반응이 질산화 반응보다 빨리 일어나므로 호기 단계에서 질산화가 완료되었을 경우 무산소 단계는 거의 모든 탄소원이 소비된 상태이다. 전통적인 방법으로 반응기를 운전하는 경우 무산소 단계에서 외부탄소원을 투입한다. 무산소 반응 동안에 원수를 유입시킴으로써 부족한 탄소원을 원수로 보충함으로써 운전비용을 절감할 수 있다. 원수는 유기물 이외에도 많은 질소 등을 함유하고 있으므로 추가로 공급되는 원수의 특성을 충분히 고려하여 무산소 단계에서 얼마만큼 유입할지를 결정하여야 한다. 본 논문에서는 현재 반응기의 DO농도를 분석하여 현재 부하량을 추정하고 부하량에 따라 유입량을 결정할 수 있는 퍼지 추론 시스템을 이용하여 유입량을 결정하고자 하였다.

### 2.2 시스템 구성

전체적인 시스템의 제어는 그림 1에서 보는 것과 같이 3대의 컴퓨터로 이루어진다. 하부 플랜트의 국지 제어는 PLC(Programmable Logic Controller)가 수행하고, 측정 데이터는 PC1의 하부 제어기로 저장된다. SBR 플랜트의 측정 파라미터들은 ORP, DO, 유입수량, 펌프 상태 등이다. 본 논문에서는 공정제어를 위해 ORP와 DO값을 이용하였다.

센서로부터 저장된 데이터는 원활한 조작을 위하여 PC2의 데이터베이스로 저장된다. 이렇게 저장된 데이터 값들은 DB 서버와 CDMA 무선 모듈을 통해 원격지에 있는 관리자 시스템으로 전송된다. 관리자 시스

템에서는 전송된 데이터들을 모니터링하게 되고, 데이터 분석을 통해 현재 공정 상태를 분석할 수 있다. 본 그림에서는 PC3이 관리자 시스템으로 사용된다.

이러한 플랜트 구성을 통해 원격지에 있는 관리자 제어 시스템은 두 개의 플랜트를 동시에 모니터링하고 현재 공정 상태를 분석함으로써 실제 현장에 적용할 경우에 적은 수의 운전자가 여러 곳으로 분산된 플랜트를 운전·관리할 수 있으므로 경제적인 효과를 유도할 수 있다.

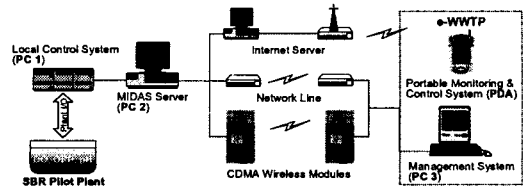


그림 1. 전체 시스템 구성도.

### 2.3 퍼지 논리

많은 실제 시스템에서 중요한 정보의 획득은 전문가의 지식이나 센서와 같은 측정 장비를 통해서 이루어진다. 따라서 시스템을 설계하기 위해 중요한 것은 이 두 가지를 적절하게 접목시키는 일이다. 그리고 인간의 지식을 수학적인 공식으로 어떻게 변화시키는가 하는 것이 중요한 문제이다. 이러한 변환을 수행할 수 있는 것이 퍼지 시스템이다.

퍼지 시스템의 핵심은 IF-THEN 규칙을 포함하고 있는 지식에 기초한 것이다. 이러한 규칙은 인간의 전문가적 지식 등에 기초하여 구성할 수 있다. 본 논문에서는 CSTR 플랜트의 DO농도 제어와 SBR 플랜트의 부하량 추정과 유입량, 그리고 외부탄소원량의 제어를 위한 제어 시스템에 퍼지 논리를 적용하였다.

## III. 진단 및 제어 결과

### 3.1 데이터 전송

#### (1) MIDAS: Multi-tier Distributed Application Services

원격 데이터 전송을 위하여 원격 DB 서버를 사용하였다. 본 논문에 적용한 DB 서버 MIDAS는 멀티-티어 분산 컴퓨팅을 가능하게 해주는 Inprise의 Borland 기술이다. 멀티-티어 컴퓨팅은 어플리케이션을 분산시켜 줌으로써 로컬 컴퓨터 상에 데이터베이스 툴들을 모두 가지고 있지 않아도 다른 컴퓨터 상의 데이터에 접근할 수 있게 해준다. 마이다스의 기본적인 특징을 살펴보면 다음과 같다.

- 고속의 데이터 베이스 연결
- 가벼운 클라이언트 측 애플리케이션 개발 가능
- 여러 종류의 데이터베이스와의 호환성

(2) CDMA 무선 모듈을 이용한 데이터 전송

본 논문에서 적용한 플랜트로 실제 현장에서 운전 중인 SBR 플랜트의 원격 감시 및 진단 시스템을 구성하였다. 전용선이 들어오지 않는 농촌 지역에 위치한 플랜트의 데이터 전송이나 전용선의 보완 장치로서 CDMA 무선 모듈을 사용하였다. 본 논문에서 사용한 무선 모듈은 휴대용 전화와 같은 제품으로서 직렬 포트를 통해 쉽게 연결·접속할 수 있고 개발도 용이하다. 또한 무선 모듈의 경우 필요한 데이터 전송 뿐만 아니라 필요에 따라 경고 문자 등을 운전자의 휴대 전화로 전송할 수 있기 때문에 비상시에 유용하게 사용될 수 있다. 그림 2는 CDMA 모듈들을 보여주고 있다.

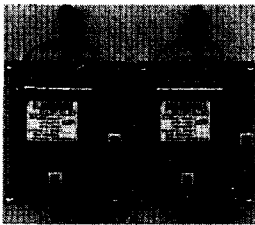


그림 2. CDMA 모듈.

3.2 공정 모니터링 및 제어시스템

그림 3은 SBR 플랜트의 공정 모니터링 창이다. 그림에서 보는 바와 같이 ORP와 DO 그리고 가동시간 및 현재 상태 등을 원격지에서 직접 연결하여 필요한 데이터들을 통해 플랜트의 현재 상태를 확인할 수 있도록 구성하였다. 그리고 공정의 원격제어를 위하여 마이더스 서버를 이용하여 플랜트의 제어 변수들을 관리자가 직접 수정할 수 있도록 구성하였다. 따라서 관리자는 본 시스템을 이용하여 언제 어디서나 공정 상태를 모니터링하여 공정을 제어할 수 있다. 이러한 시스템을 이용할 경우 관리자가 관리할 수 있는 플랜트의 개수가 많아지므로 인건비를 줄이면서 효율적인 관리가 가능하다.

그림 4는 실제 현장의 플랜트를 제어하기 위한 제어 화면으로, 플랜트 제어를 위하여 세 가지의 방법을 사용하고 있다. 그림은 DO 측정값을 이용한 플랜트 제어의 설정 화면이다. 제어화면은 현장에서 사용하는 MMI와 똑같은 모양과 기능으로 구성되어 운전원이 사용하기 용이하도록 구성하였다.

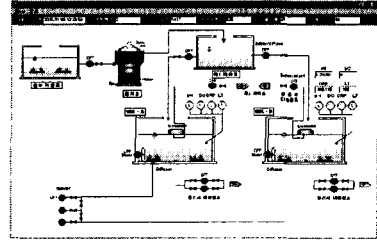


그림 3. SBR 플랜트의 원격 감시창.

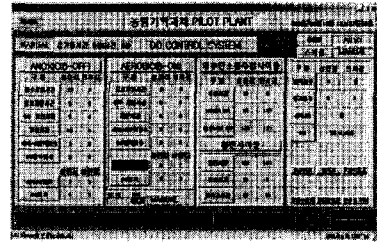


그림 4. DO 원격 제어 시스템.

3.3 퍼지 논리를 이용한 부하 추정

SBR 공정의 경우 하나의 반응기에서 순차적으로 공정을 진행시켜 유입수를 처리한다. 따라서 각 반응 공정의 모드를 바꾸는 시점이 중요하다. 즉, 호기 반응에서 폭기를 멈추는 시점과 무산소 반응에서 폭기를 시작하는 시점을 결정하는 것이 공정 관리를 위하여 매우 중요하다. 본 연구에서는 블로우의 ON/OFF 시점을 결정하는 방법으로 ORP와 DO 데이터를 측정값을 사용하였다. MIDAS 서버를 통하여 획득한 데이터를 이용하여 최적의 제어 지점을 찾을 수 있는 시스템을 구성하였는데, 공정의 특성상 퍼지 논리를 이용하였다. 퍼지 논리의 경우 운전자의 경험적 지식을 직접 규칙으로 적용할 수 있는 장점이 있기 때문에 적절하다고 고려된다.

SBR 플랜트의 경우 송풍기의 연속적인 제어 대신 단지 ON/OFF 제어만 수행함으로 제어 변수들이 아닌 각 공정의 운전 시간, 운전 횟수, 유입량, DO 곡선을 이용한 ON/OFF 제어를 위한 제어 결정값 등이 관리자 시스템으로부터 현장 플랜트로 전송된다. 유입량과 제어 결정값은 퍼지 추론 시스템을 통해 현재 반응기의 부하량을 유추하여 결정하게 된다. 그림 5에서 보는 것처럼 플랜트의 DO 프로파일의 지연시간은 부하량이 높고 낮음에 따라 길이가 다르게 나타난다. 다시 말해 DO의 농도가 순간적으로 상승하기까지의 시간이 고부하시 길어지고, 반대로 저부하시 짧게 나타난다. 이러한 패턴을 표 1과 같이 정리하여 퍼지 추론 시스템의 입력으로 사용하였다. 그림 6은 이러한 운전 정

보를 이용하여 구성된 퍼지 추론 시스템의 어플리케이션을 보여주고 있다. 이러한 퍼지 추론을 이용하여 전체적인 부하량도 추정할 수 있다.

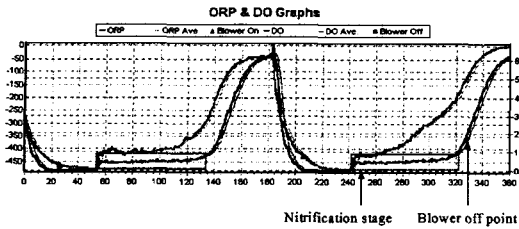


그림 5. 퍼지 추론 입력을 위한 DO와 ORP 곡선.

표 2. 퍼지 규칙을 위한 공정 정보.

Variable	Period (hrs)	Thershold (dORP/dt)	Influent (m <sup>3</sup> )
High load	3	≤0.5	0.2
Low load	1	≤0.75	0.4

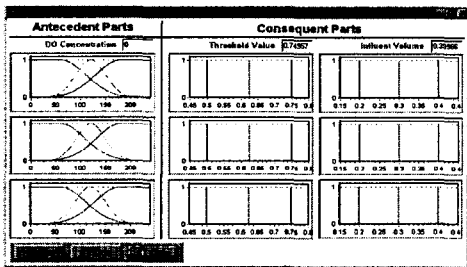


그림 6. 퍼지 추론과 비퍼지화 과정 윈도우.

### 3.4 퍼지 논리를 이용한 지식 기반 제어

본 논문에서는 운전자의 지식을 기반으로 하여 부하량을 추정하는 앞질의 부하량 추론시스템과, 다음 공정상태에 대한 원소 유입량과 외부 탄소원량을 결정할 수 있는 퍼지 제어시스템을 구성하였다. 아래의 규칙은 실시간 진단·제어 시스템에 적용한 퍼지규칙으로서 운전자의 지식을 바탕으로 구성되었다.

**Fuzzy rule 1:**  
 If load is high then Decrease the loading rate of -10%  
 If load is medium then Decrease the loading rate of 0%  
 If load is low then Increase the loading rate of +10%

**Fuzzy rule 2:**  
 If DO < 30(min) then Increase the MeOH of 30%  
 If 30(min) < DO < 1(hour) then Increase the MeOH of 0%  
 If DO > 1(hour) then Decrease the MeOH of -10%

이러한 퍼지 제어시스템을 실시간 원격 제어시스템에 적용시킴으로써 현재공정의 부하량에 대한 다음공정의 원소 유입량을 결정할 수 있으므로 유연한 공정운영이 가능하다. 또한 외부 탄소원의 경우 고가이므로 공정의 경제적인 운영을 위해서는 적절한 양의 선정이 중요하다. 이러한 제어를 운전자 지식에 기반하여 수행함으로써 효율적인 운전이 가능하다.

그림 7은 실시간으로 데이터가 모니터링되고 있는 창으로써 원으로 표시한 부분이 외부탄소원의 부하량이 결정되어 지는 부분을 나타내는 그래프이며, 부하량에 따른 다음구간의 외부탄소원량을 결정해주는 결과를 나타낸다. 즉, 이러한 지식기반 퍼지 제어시스템으로 예측제어를 수행할 수가 있다.

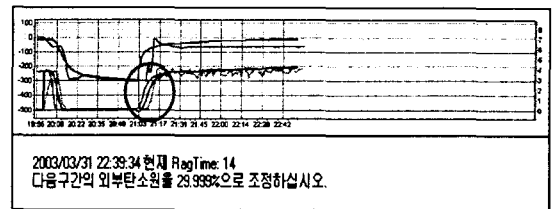


그림 7. 실시간 모니터링 및 퍼지추론 결과.

## V. 결론

본 연구를 통해 플랜트로부터 획득할 수 있는 데이터를 실시간으로 모니터링할 수가 있게 되었으며, 데이터를 이용하여 퍼지논리를 적용하여 플랜트를 능동적으로 관리가 가능하도록 구성하였다. 특히, 전문가의 경험적 지식을 바탕으로 하는 지식기반 제어를 실시간 원격 관리·제어 시스템에 적용함으로써 공정의 관리 측면에서 플랜트의 안정성과 효율성을 상당히 개선시킬 수 있을 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- [1] Hyeon Bae *et al.*, "Knowledge-Based Unmanned Automation and Control Systems for the SBR Wastewater Treatment Process," Proceeding of AROB 7th '02 vol. 1, pp. 50-53, Jan. 15-19, 2002.
- [2] 전병희 외 "DO와 ORP를 이용한 축산폐수처리 SBR운전 제어," 한국물환경학회, vol 18, no. 5, pp. 545-551, 2001.