

시계열 데이터 마이닝을 이용한 하수처리 연속 회분식 반응기 장비 진단

Defect Analysis of the SBR Wastewater Treatment Plant for Unmanned Automation Based on Time-series Data Mining

배현, 최대원, 천성표, 김성신, 김예진*

부산대학교 전자전기정보컴퓨터공학부

*부산대학교 환경공학과

Hyeon Bae, Dae-Won Choi, Seong-Pyo Cheon, 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

본 연구는 연속 회분식 반응기(SBR) 공정에서 시계열 데이터 마이닝을 이용하여 공정에 사용된 기기의 고장 진단 알고리즘 개발에 대한 내용을 보여주고 있다. 공정에서 비정상적인 반응을 유발하는 장비 관리에 대한 연구는 폭넓게 수행되고 있지 않으므로, 이러한 장비 진단은 소규모 하폐수처리장을 무인자동화로 통합관리에 유용하게 적용될 수 있다. 본 연구에서는 진동신호를 이용하여 무인자동화를 위해 선행되어야 하는 공정기기의 공장진단에 관한 알고리즘을 개발하였다.

Key words : 시계열 데이터 마이닝, SBR, 고장진단, 웨이블릿 변환, 푸리에 변환

1. 서 론

최근의 하·폐수 및 축산폐수 처리장의 대형화와 자동화에 따라 설비의 안정적 운전이 요구되고 있다[1]. 하·폐수 및 축산폐수 처리장에서 자동제어의 궁극적인 목적은 처리수의 수질 향상과 이에 따른 처리 시간의 감소 및 최적의 운전 조건을 도출하기 위해서이다. 연속 회분식 반응기(Sequencing Batch Reactor, SBR)는 다양한 원수의 성상, 독성 및 부하변동에 강하며 원수 투입량과 반응 시간의 조절이 가능한 가 효율적인 시스템이다. 반면 SBR 플랜트의 유출수에 가장 큰 교란을 야기하는

원인 중 대부분은 각종 기기 및 장비의 고장이다. 유출수에 영향을 직접적으로 미칠 수 있는 송풍기, 교반기, 펌프 등의 고장을 빠르게 감지하는 것은 SBR 플랜트의 안정적인 유출 수질을 보장하기 위해 필수적인 요소다. 대부분의 하수처리장에서 기기의 점검과 보수는 주기적인 점검에 의해 행해지기 때문에, 갑작스러운 기기의 고장을 자동으로 감지하지 못하여 유출수질의 악화를 초래하기 마련이다.

본 연구에서는 PC기반 제어 시스템을 이용하여 산화환원전위(ORP)와 용존산소(DO) 프로파일을 통한 상태 모니터링 및 공정 제어를 수행하고, 진동센서로부터 획득한 데이터의 전

처리와 의사결정나무(decision tree)를 이용한 기기 고장 진단에 관한 연구를 보여주고 있다.

II. 본 론

2.1 회분식(SBR) 하·폐수처리 플랜트

본 연구에서 사용한 대상 SBR공정에서는 4가지의 B(송풍기), M(교반기), P1(원수 펌프), P2(외부 탄소원 펌프)가 설치되어 있고, P1과 P2를 제외한 모든 기기는 다른 타입의 진동기로 구성되어 있다. 각 공정기기는 아래와 같은 SBR의 공정 조건에 따라서 On/Off를 병행하게 된다.

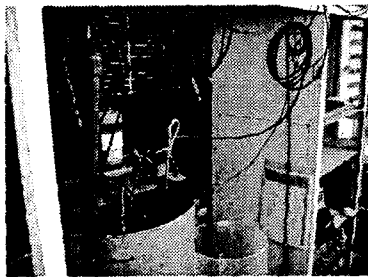


그림 1. 고장 진단을 위한 대상 SBR 플랜트.

2.2 시계열 데이터 마이닝

본 논문에서는 공정기에서 추출된 진동신호를 이용해서 시계열 데이터 마이닝을 적용시켰다. 데이터분석 기법은 진동신호에 대한 푸리에 변환과 웨이블릿 변환 그리고 의사결정나무, 의사결정규칙 등과 같은 기계학습 기법 등 크게 세 그룹으로 적용하였다. 기기로부터 획득한 진동신호를 푸리에 변환한 후 에너지 값에 대한 의사결정나무 기법을 적용해서 고장 진단 하였다. 푸리에 변환으로 진단이 불가능한 기기는 웨이블릿을 사용해서 분류 가능함을 연구하였다.

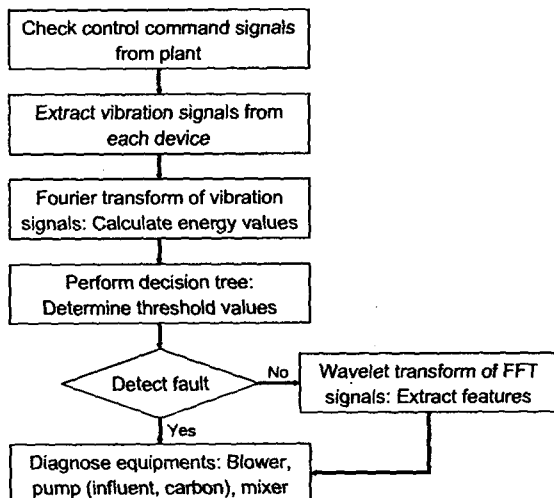
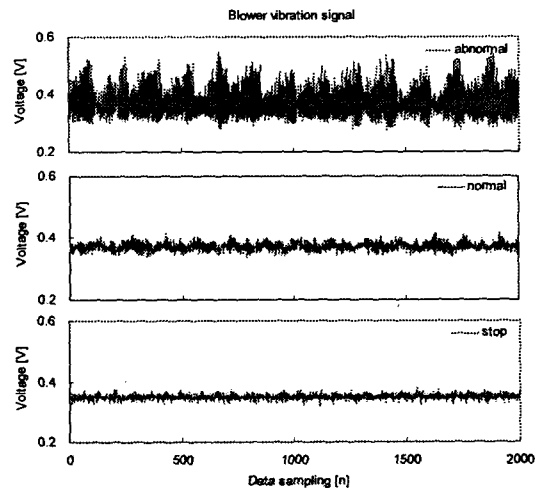


그림 2. 고장 진단 시계열 데이터 마이닝 알고리즘.

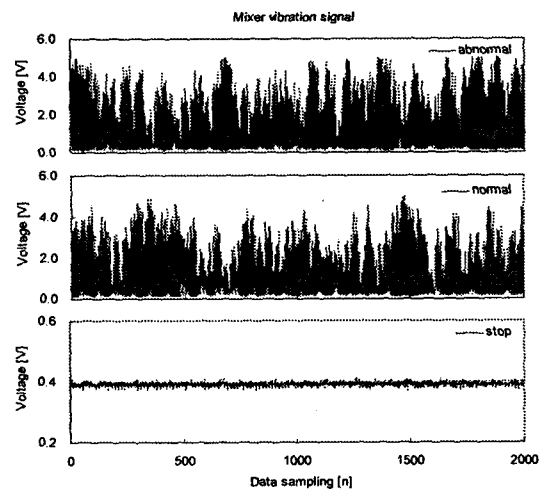
2.3 시계열 데이터를 통한 장비의 고장진단

2.3.1 진동신호 측정

공정기기의 고장 진단에 필요한 신호는 진동 센서(vibration sensor)를 공정기 송풍기, 교반기, 원수펌프, 외부탄소펌프의 회전자 부위 케이스에 수직방향으로 부착하였다. 실험에 있어서 공정기기의 상태는 정상, 비정상, 정지 상태로 구분하였다. 정상 상태는 일반적으로 SBR의 공정에 이상상태가 발견되지 않는 공정기기의 진동신호를 취득했으며, 비정상 상태는 SBR공정에서 비정상공정이 일어나는 조건을 똑 같이 주었다. 송풍기는 관의 막힘, 교반기는 팬의 불규칙적인 동작, 원수펌프 그리고 외부탄소펌프는 관의 슬러지에 의한 비정상적인 동작의 조건을 만들어 주었다. 그림 3에서 보여진 두 공정기기 진동신호로 기기의 이상 유무를 확인하는 것이 가능 하다. 그러나 보다 정확한 진동의 이상 유무를 분류하기 위해서는 다양한 전처리 기법과 데이터 마이닝 기법을 필요로 하게 됨을 알 수 있다.



(a) 송풍기 진동신호.

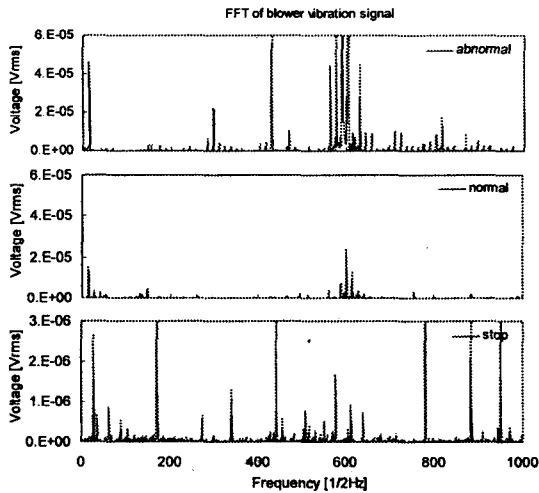


(b) 교반기 진동신호.

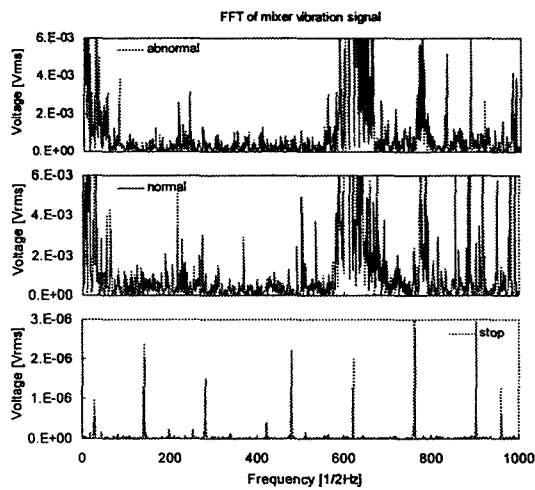
그림 3. 세가지 조건에서의 진동신호.

2.3.2 진동 신호의 푸리에 변환

진동센서로부터 취득한 데이터로 공정기기의 이상 유무를 판단하여 진단하는 데는 많은 어려움이 따른다. 정지의 진동 값과 비정상, 그리고 정상동작의 값은 구별이 쉽게 될 수 있지만, 비정상과 정상 데이터 값은 육안으로나 에너지 값으로 구별하기가 어렵다. 물론 진동센서에서 출력되는 전압의 최대값과 최소값의 차이를 구하면 가능하지만 노이즈에 취약하므로 현장에서 적용할 경우 성능을 보장하기 어렵다. 결국 신호의 전처리 기법인 푸리에 변환(Fourier transform) 기법을 적용하여 노이즈에 강하고 SBR 공정기기의 상태를 적절하게 진단하는 알고리즘을 개발하였다. 푸리에 변환을 통하여 합성되어 나타나는 진동신호에서 정지, 비정상, 정상동작의 진동성분을 분리 할 수 있고 각 기기의 진동특성으로부터 기기의 고장진단을 수행할 수 있다. 그림 4는 4개 기기의 진동 신호에 대한 푸리에 변환결과 중 송풍기와 교반기의 결과를 보여주고 있다.



(a) 송풍기 진동신호의 푸리에 변환.



(b) 교반기 진동신호의 푸리에 변환.

그림 4. 진동신호의 푸리에 변환 결과.

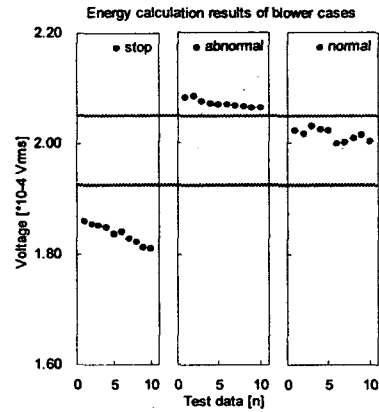
2.3.2.1 푸리에 변환의 에너지 값

정지 FFT, 비정상 FFT, 정상동작 FFT 모두 특정 주파수에서 특징점을 보인다는 것을 알 확인 할 수 있다. 각 기기의 이상 유무에 따른 FFT한 데이터의 에너지 값을 비교하였다. 에너지 값은 각 FFT한 데이터 값을 각 요소 별로 제곱해서 평균을 구한 것이다. 각 SBR 공정기기의 FFT된 데이터의 개수는 1000개이며 이 값에 대한 FFT의 에너지 값을 식 (1)을 통해 구하였다.

$$Energy = \frac{1}{n} \sum_{x=1}^n f^2(x) \quad (1)$$

그림 5는 송풍기의 정지, 비정상, 정상 동작에 관한 FFT 에너지 값을 비교한 것이다. 각 기기의 경우 각 상태별 에너지의 분포가 다르다는 것을 확인 할 수 있다.

FFT의 에너지 값으로 분류가 가능한 기기는 데이터 마이닝의 기법인 결정나무(decision tree)로 규칙을 도출하여 진단하였다. 교반기의 경우에는 푸리에 변환 결과로 분류하는 것이 어렵다는 것을 의사결정나무의 예러 값으로 확인 할 수 있다[2]. 의사결정나무로 고장분류가 가능한 SBR 공정기기는 의사결정나무에서 생성된 규칙(rule)에 의해서 실시간 공정기기 진단이 가능하다.



(a) 송풍기 에너지 값 분포.

Rules:

Rule 1: (10, lift 2.7)
 b-FFT-avr ≤ 0.0001859203
 → class 1 [0.917]

Rule 2: (10, lift 2.7)
 b-FFT-avr > 0.0001859203
 b-FFT-avr ≤ 0.0002030861
 → class 2 [0.917]

Rule 3: (10, lift 2.7)
 b-FFT-avr > 0.0002030861
 → class 3 [0.917]

(b) 도출된 진단 규칙.

그림 5. 푸리에 변환의 에너지값과 진단 규칙.

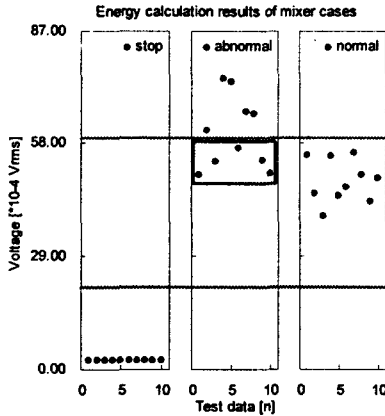


그림 6. 푸리에 변환으로 고장 진단이 되지 않는 교반기 고장.

2.3.3 푸리에 변환 신호의 웨이블릿 변환

FFT 에너지로 진단이 어려운 교반기의 경우 푸리에 변환으로 처리된 데이터를 웨이블릿으로 변환하여 적용하였다(그림 7). 웨이블릿 모함수로는 Coeiflet을 사용하였고[3], 10개의 detail level로 변환하였다. 레벨이 커질수록 FFT 데이터의 저주파 성분만 추출하게 된다. FFT된 데이터에서는 고주파 성분이 많이 포함되어있고 고주파 영역에서 M(믹서)의 고장 분류 가능하다[4]. 그림 8은 추출된 에너지 값과 규칙을 보여주고 있다.

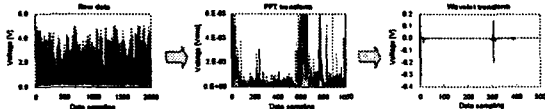
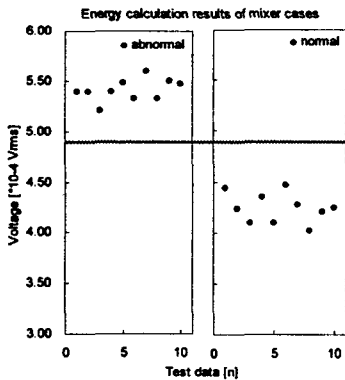


그림 7. 교반기 진단 알고리즘 적용 순서.



(a) 교반기 웨이블릿 에너지 분포.

Rules

Rule 1: (10, lift 1.8)
 M-Wavelet-avr > 0.000446892
 → class 1 [0.917]

Rule 2: (10, lift 1.8)
 M-Wavelet-avr ≤ 0.0003624962
 → class 2 [0.917]

(b) 교반기 진단 규칙.

그림 8. 교반기 진단 알고리즘 적용 순서.

그림 9는 최종 개발 시스템으로 본 시스템을 통해 공정 기기의 고장을 실시간으로 진단할 수 있다.

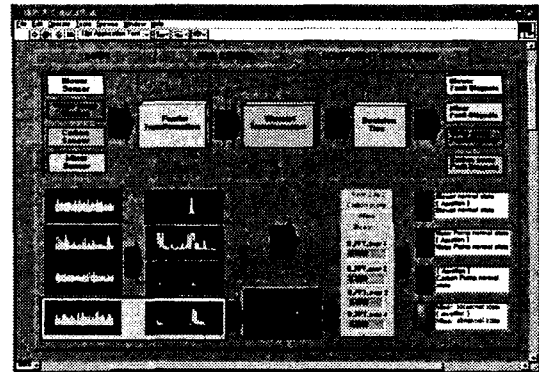


그림 9. 개발 적용된 진단 시스템.

III. 결 론

본 논문에서는 연속 회분식 반응기(SBR)의 공정기기에 대한 고장진단 연구이다. 공정기기 고장에 대한 확인은 DO, ORP, pH 센서의 데이터 분석만으로는 매우 어렵다. 진동센서로부터 취득된 데이터는 전처리 기법을 적용하여 고장 분류가 가능하도록 데이터를 가공했다. 먼저, 푸리에 변환과 에너지 값에 의해서 고장 분류를 수행하였고 FFT변환과 에너지 값만으로는 고장 분류가 불가능한 교반기의 경우에는 진동 센서로부터 취득한 데이터를 웨이블릿으로 변환하여 고장 진단을 수행하였다.

IV. 참고문헌

[1] A. Punal, E. Roca and J. M. Lema, "An expert system for monitoring dan diagnosis of anaerobic wastewater treatment plants," Water Reserch, vol. 36, no. 10, pp. 2656-2666, May. 2002.

[2] William J. E. Potts, Decision Tree Modeling, SAS Institute, Inc., pp. 14-24, 1999.

[3] W. J, Staszewski, "Wavelet Based Compression and Feature Selection for Vibration Analysis", J ournal of Sound and Vibration, 211(5), pp.735- 760, 1998.

[4] D. Boulahbal, M. F. Golnaraghi and F. Ismail, "Amplitude and Phase Wavelet Maps for the Detection of Cracks in Geared Systems," Mechanical Systems and Signal Processing, 13(3), pp.423- 436, 1999.