

## 정화조생산업체의 생산성 향상에 관한 연구 A Study of Progress Productivity on affiliated water-purification tank Product Company

박주식\*(Park, Joo Sic), 강경식\*\*(Kang, Kyong Sic)  
\*명지대학교 산업공학과 박사과정 \*\* 명지대학교 산업공학과 교수

### 1. 서론

최근에 각 언론기관 및 인터넷 게시판들에서 하수/정화처리 시설의 문제가 크게 제기 되고 있다. 상수원 지역에 설치된 개별 하수처리장인 합병정화조는 하수가 모아지면 미생물이 오염 물질을 분해해서 깨끗한 물로 만들어 보내게 된다. 그러나 상당수의 합병정화조들은 제구실을 못하고 있는 실정이다. 이러한 문제는 미생물이 제기능을 할 수 있도록 하기 위해 산소를 공급 하고, 적정 온도를 유지할 수 있는 제어장치가 있는데 사용자들이 가동시키지 않고 있기 때문 이라고 한다. 그것은 설치만 해놓고 유지비용 때문에 가동을 제대로 하지 않아 정화조는 오염 물질을 거르지 못하고 배출하게 되는 것이다.

또한, 제조업체에서는 이러한 제어를 대부분 외주업체에서 제작 의뢰하여 설치하기 때문 에 제조원가가 높아지는 것은 물론이고, 고장발생시 사후관리에 많은 애를 먹고 있다. 이러한 문제해결을 위해서 국내에 가장 많이 보급되어 있는 오톤 처리 공정을 대상으로 하여, 오톤 감 시 및 제어처리 공정의 방법에 있어서 퍼지이론을 적용하여 최적 유지관리기법과 자동화 시스 템으로 오톤 및 폐수 처리장의 운전제어 및 최적화를 연구하고, 저장된 가동상태 정보를 사용 자, 제조자 및 관리자들이 배출물의 효율적인 점검 및 관리를 하는데 목적이 있다.

그래서, 본 연구에서는 불규칙하게 유입되는 오수와 주위환경에 정화능력을 최적인 방안을 모색하고자 한다. 그래서 정화조내의 상태와 배출수의 위험성을 적시에 찾아서 그 예방과 제어에 필요한 안전조치를 도모하기 위해, 이를 컴퓨터 기반 지식베이스 퍼지이론과 연계하여 현재 상태에 대하여 감시 및 제어를 통해 실시간적으로 데이터를 저장하고 관리하고자 해서 궁극적으로는 하수처리를 정확히 하여 수질환경오 염을 줄일 수 있는 연구를 수행하였다.

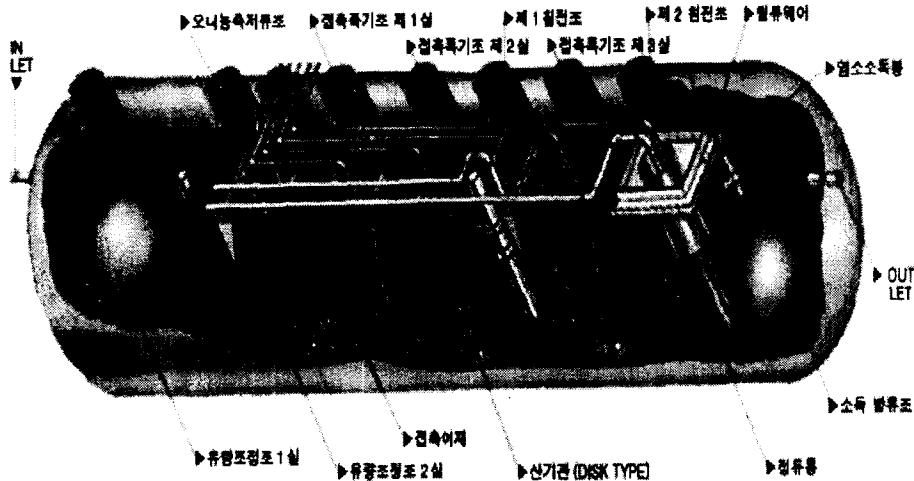
## 2. 연구내용 및 방법

현재 국내의 대부분 오폐수처리장에서 시설 투자는 막대하나, 운전관리 미비로 투자효율이 저하되고, 오폐수 처리장의 급증으로 국가 단위의 운전관리비 부담이 증가하며, 인건비, 전력비 등 운전관리비용이 상승하고 있다. 또한 운전관리기술이 부족하고 인력확보의 곤란에 대한 대책이 절실한 상황이다. 기술적으로 폐수처리장의 처리능력 및 효율을 최적화할 수 있는 기술이 개발, 보급이 시급하고, 이 분야에 대한 국제적 기술수요가 급증할 것으로 전망되고 있다.

그래서, 오니 감시제어 및 자동처리방법, 운전 진단용 전문가 시스템 개발, 계측기기 개발 등을 서둘러야 하겠다. 본 연구는 정화조생산업체인 H사에서 생산하는 50인용 합병정화조를 이용하여 퍼지를 통한 오니의 측정과 폭기제어, 순환펌프제어를 통한 배출수의 오염상태를 감시제어하고 제어하는 전처리공정 최적화를 연구하고, 현장운전자료를 구축하고, 규칙을 도출하며, 추론기관을 구성하는 시스템에 대한 연구를 한다.

정화시설물들은 오염물을 정화하기 위해 <그림 1>과 같이 여러 개의 정화처리 방으로 나누어지며 <표 1>은 각 실의 기능들을 설명하였다. 이러한 각 실의 오염농도상태, 장치의 가동상태를 자동으로 검사 및 제어를 한다. 각 실(침전조, 폭기조, 혐기조)에 오니 검출센서, 온도센서를 설치하여 각 실의 농도와 미생물이 잘 자랄 수 있는 환경을 유지할 수 있도록 제어반에 센서, 계측기와 계측된 정보를 퍼지제어와 정화조 배출수 수치를 DB화 저장하여 항상 최적의 장비가동, 장비이력관리로 고장예측 가동중지 시간을 줄이는데 있다.

본 연구는 정화조내에 MLSS측정 센서, 온도측정, 산기조절 및 순환펌프 제어장치를 장착하여 진단 지식베이스에 저장하도록 설계하였다. 데이터베이스 Tool은 Visual Basic 6.0, Borland C, Clipper와 Delphi 5.0으로 설계한다.



<그림 1> 실험정화조 구조도

<표 1> 정화조 각 실의 기능

구분	기능
1협기성조	정화시설내로 유입된 오수를 1차적으로 협잡물, 침전고형물 및 부유물질의 침전, 분리 등 물리적 제거, 피처리물의 균등화가 이루어지며 혐기성 미생물의 증식, 분해작용에 의하여 유기물질이 제거되고 유입수, 반송처리수 및 슬러지의 탈질반응, 혐기성 분해가 이루어지며 생성슬러지를 장기간 보관.
순환여과 분해실	미생물여재를 충전하여 미생물을 확보, 유출미생물과 잔류용존산소를 이용 미분해 유기물을 제거하며 침전성이 불량한 Pin floc을 제거, 최종처리수를 안정화시켜 높은 처리효율을 확보한다.
슬러지 침전부	여과침전되어 밑바닥에 침전되어 슬러지가 형성되어 혐기성상태로 진행되는 것을 방지하기 위하여 슬러지 침전부로 유입된 슬러지를 반송하여 슬러지 제거는 물론 지속적인 자동정소가 이루어져 유지관리가 매우 편리하다.
접촉폭기실	폭기실내에 설치된 다공성판형 미생물담체에 서식중인 호기성 미생물군의 물질대사에 의하여 유기물질이 산화분해되고, 질산화 및 인의 과잉섭취가 이루어지며 미생물 조정으로부터 용출된 활성미생물이 유입되어 처리효율 및 처리안정성이 극대화된다.
접촉형2협기성조	제1협기성조를 경유한 피처리물질은 재차 혐기성 분해 및 탈질작용, 인의 방출작용이 진행되고 오염물의 안정화, 감광화가 이루어진다. 접촉성미생물여재에서 부착된 탈질미생물에 의해 질소가 제거된다.
최종침전실	침전실로 유입된 피처리물은 처리수와 미생물, 탈라오니 및 슬러지 등의 고액분리되고, 침전슬러지는 공기이송장치에 의하여 1협기성조로 반송되어 오니, 제거 및 탈질화작용이 이루어지도록 하며, 최적의 폭기실 상태를 유지.
미생물조정조	미생물조정조에서 용출되는 각종 광물질 및 활성자생미생물이 Bio Clod, Mineral층을 통과하면서 활성화되어 접촉폭기실로 유입되어 활발한 산화 및 증식작용으로 다량의 유기물을 제거하고 플록형성을 촉진하며 원수에 포함된 미생물 저해요소에 대한 완충역할을 충분히 발휘하여 처리안정성을 유지

2.1 연구방법

기존의 염수투입법과 산기관인 산소공급의 일관적인 작동방법에서 정화조내부의 각 실의 오니량 및 오니의 농도를 감시(MLSS계) 하여 산고공급량과 중화제의 양을 제어하여 막모듈과 침지형 여재의 보호와 여재에 대량의 미생물이 부착될 수 있도록 배양시스템 제어를 한다.

현재 정화조 제품으로 장착되어 설치되고 있는 상황에서 고려하여야 할 내용을 보면 첫째, 오수/합병정화조의 고도정화방법중 미생물반응으로 고부하 BOD를 처리가능한 유동방법으로 반응조에 산소가압부 그리고, 용존산소를 다량 포함하는 접촉산화방식으로 미생물이 다량부착으로 오니 발생을 최소화하여 BOD의 고도처리가 자연스러운 시스템으로 한다. 둘째, 유입수의 BOD, SS 농도가 항상 일정하게 공급되어지지 않고 유입수 양도 항상 변화하기 때문에 Water pump, 오니 이송용 펌프 및 에어 브로워를 기존의 일관된 작동으로 해서 여재의 미생물배양과 막의 오염을 줄이는 제어방법을 구현한다. 셋째, 역세척의 자동화 운전으로 인하여 막이 오염되기 전에 역세척을 하기 때문에 막의 오염을 최소화하고, 막의 처리수 용량을 낮게 하기 때문에 막에 걸리는 부하가 적어서 오염이 줄어든다.

2.2 퍼지이론에 의한 진단 및 제어 전문가시스템

전문가시스템에서는 전문가의 지식을 이용하여 추론함으로써 사람의 판단과 유사한 결과를

나타내고자 한다. 그러나 전문가가 다루는 지식중에는 불완전하고 부정확하여 논리적 추론을 적용하기에 부적당한 경우가 많다. 예를 들어 좋다, 나쁘다, 크다, 작다 등은 기준이 애매하여 수량화하기에 어려움과 실세계에 불확실성이 발생하는 상황은 매우 많이 볼 수 있다. 이처럼 불완전하고 불확실한 상황에 대한 지식을 일반화 또는 근사화시켜 추론이 가능하도록 할 수 있는 방법에는 Bayesian approach, Decision table and tree, Fuzzy theory 등의 방법이 이용된다.

특히, 퍼지이론은 Zadeh에 의해 제안되어 불확실한 실세계의 상황을 다루는 다양한 분야에서 성공적으로 사용되고 있다. 불확실성을 다루는 퍼지 이론중에서 언어적 변수(linguistic variable)는 퍼지집합(fuzzy set)과 확률(probability)개념에 의해 적용되어질 수 있다.

### 3. 정화조 오니측정 및 방법내용

#### 3.1 폭기조 운전 방법(WATER PUMP/AIR BLOWER)

폭기조 공기량 조절은 공기량 조절밸브의 제어로 구분할 수 있다. 즉 폭기조 각 지별로 측정된 용존산소량에 따라 해당 공기량 조절밸브를 조절하여 공기량을 조절하고, 공기량 조절밸브의 조절으로도 용존산소량 값이 정상범위를 벗어나 송풍량의 증감을 필요로 할 경우에 송풍기 운전 대수를 제어하는 것이 바람직하다.

폭기조 폭기량을 제어하기 위하여 하수처리에 적용하는 일반적인 방법으로는 ①포기조내 용존산소량을 측정하여 산소량 목표치와 비교하여 폭기 풍량을 제어하는 용존산소량 일정제어 방식과 ②유입하수의 BOD를 측정하여 BOD제거율( $\beta$ )을 유입하수량(Q)에 비례(계수  $\alpha$ )하여 목표 풍량 ( $F = \alpha \cdot \beta \cdot BOD \cdot Q$ )을 결정하는 비례제어 방식이 있다.

용존산소량 일정제어 방식은 폭기조내 용존산소량 값을 설정된 목표치에 이르도록 강제적으로 풍량 제어를 함으로서 유입하수의 수질변동이나 유량변동 그리고 계절별 온도변화와 날씨 변화에 대하여 불안정하고 폭기조 내의 용존산소량 계측기의 설치 위치에 따라 측정되는 용존산소량 수치가 균일하지 않게 나타났다. <표 2>는 폭기조내의 용존산소량 조절을 위한 제어방법과 <표 3>은 계절별 폭기량 조절방법을 나타내었다.

<표 2> 용존산소량 제어 실험방법

제어조건	내용
폭기조 원폐수 유입 시작전	원폐수 유입 30 분 전 폭기조 BLOWER를 가동하여 폭기조내 미생물이 활성화할 수 있도록 사전 환경을 조성후 원폐수 유입
반송펌프(침전조→폭기조)	원폐수의 폭기조 유입 10 분 경과후 반송
침전조 구동 감속기	원폐수의 폭기조 유입 10 분 경과후 운전
폐수처리 정지시	폭기조내 원폐수 유입 정지후 30 분이 경과할 때 까지 BLOWER를 가동 폭기조내 유입된 유기물을 분해하여 유기물에 의한 혐기화를 사전에 예방
원폐수의 폭기조 유입 중단시 BLOWER 가동	폭기조내 원폐수의 유입중단 및 BLOWER 가동 중단으로 인해 발생 될 수 있는 미생물의 부패를 사전예방하고 원폐수 유입시 정상적인 활동을 할 수 있도록 함.

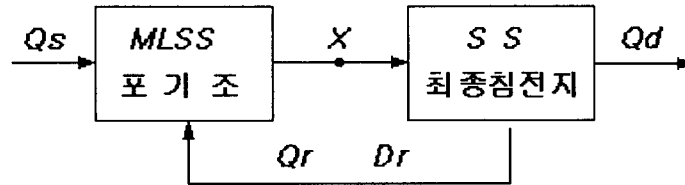
<표 3> 계절별 폭기량 조절장치 가동시간

계절	제어조건
하절기	원폐수의 폭기조 유입 중단후 3시간 간격으로 30분 BLOWER 가동
동절기	원폐수의 폭기조 유입 중단후 4시간 간격으로 5-10분 BLOWER 가동
환절기	원폐수의 폭기조 유입 중단후 4시간 간격으로 5-10분 BLOWER 가동

3.2 반송오니 유량 제어의 이론적 운전 방법

폭기조 내의 MLSS를 일정하게 유지하기 위하여 MLSS를 목표치로부터 반송오니 유량을 결정하기 위한 계산 방법은 다음과 같다.

Qs : 유입 유량      MLSS : 폭기조 부유물질 농도  
 Qr : 반송오니 유량      Dr : 반송오니 농도  
 Qd : 방류 유량      SS : 최종침전지 부유물질 농도



<그림 2> 최종침전지 반송오니 유량 흐름제어

<그림 2>에서 폭기조와 최종침전지 중간의 X 지점에서 최종침전지 유출 DS(유량×농도)=폭기조 DS 이므로 물질의 유입과 유출에 대한 균형을 수식으로 표현하면

$$Q_r \cdot D_r + Q_d \cdot SS = (Q_s + Q_r) \cdot MLSS$$

$$Q_r \cdot D_r + Q_d \cdot SS = Q_s \cdot MLSS + Q_r \cdot MLSS$$

$$Q_r \cdot D_r - Q_r \cdot MLSS = Q_s \cdot MLSS - Q_d \cdot SS \text{ 이고, } Q_s \approx Q_d \text{ 이므로}$$

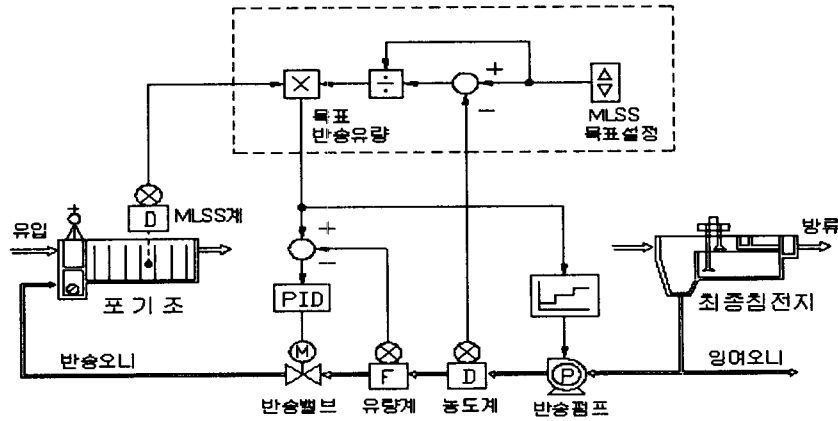
$$Q_r (D_r - MLSS) = Q_s (MLSS - SS)$$

∴ 반송오니 유량  $Q_r = Q_s(MLSS - SS)/(D_r - MLSS)$  이고  $MLSS \gg SS$  이므로

반송오니 유량  $Q_r \approx Q_s \cdot MLSS / (D_r - MLSS)$  에 의해 결정되고  
 위 식에서  $Q_s$ 는 유입유량이므로  $MLSS / (D_r - MLSS) =$  반송비가 된다.

폭기조 유지관리에서 MLSS를 적정하게 유지하기 위한 반송오니 유량제어는 매우 중요하다. 반송오니 유량 제어는 ①폭기조 유입 하수량에 비례하여 반송오니 유량을 결정하는 유량 비율 제어 방식과 ②폭기조 내의 부유물질 농도를 일정하게 유지하기 위한 MLSS 일정제어 방식이 있다.

유량 비율제어 방식은 반송오니 농도가 불안정한 경우 또는 MLSS 일정제어 방식의 조정단계나 예비용으로 주로 사용하며, MLSS 일정제어 방식은 비교적 유입하수량이 안정된 경우에 주로 적용한다.

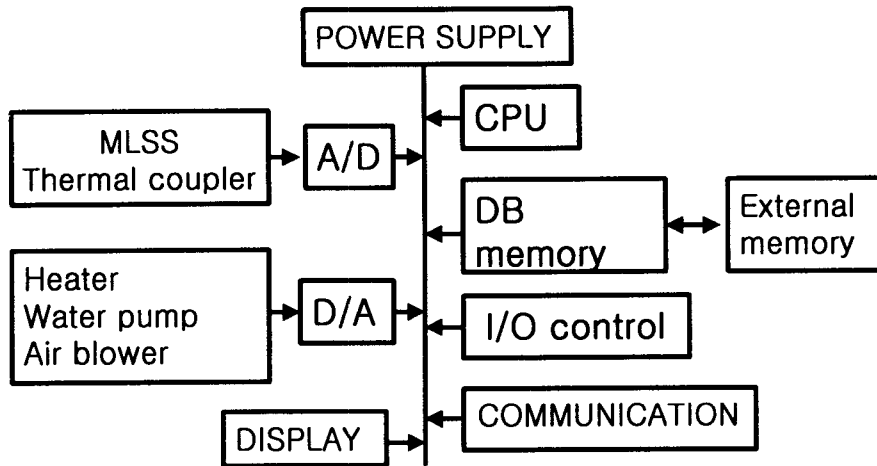


<그림 3> 이론적인 MLSS 일정제어 방식 자동운전 계통도

<그림 3>은 이론적인 MLSS 일정제어 방식 자동운전 계통도이며, 특성에 적합한 자동운전시스템을 구성하여야 한다. 반송오니 유량제어는 반송오니 밸브의 간극 제어로 나타낼 수 있다.

### 3.3 감시 제어시스템 구성도

정화조를 구성하고 있는 많은 부품과 센서로 오니의 상태와 제어 프로그램을 구현하기 위한 <그림 4> 모니터링 시스템을 위한 하드웨어 구성도와 소프트웨어는 퍼지제어방법으로 자동운전 순서에 의해 구현하였다.



<그림 4> 모니터링 시스템의 구성도

### 3.4 퍼지 제어프로그램

본 연구에서 사용하고자 하는 퍼지제어 알고리즘이 퍼지시스템은 “퍼지와 신경망(뉴럴네트워크), 인공지능, 카오스 등의 첨단이론을 복합한 것이다. 퍼지 추론은 기본적으로 자료기반과 추론엔진으로 나뉜다. 규칙 기반 메모리는 퍼지 시스템의 두뇌에 해당되는 부분으로, 필요한 정

보를 일시적으로 또는 영구히 보관하는 역할을 한다. 이 메모리는 소속 함수들이 갖는 0 과 1 사이의 수치를 가지고 있다.

또 추론의 연산이 용이하게 되는 메모리 구조를 취해야 하므로 "퍼지 메모리" 라고도 한다. 이것은 <표 4>와 같이 "If (전건부)-Then(후건부)" 규칙들로, 각각의 규칙은 퍼지 명제들로 구성되어 있고 (예: x1 is A11), 이 명제는 소속 함수로 나타낼 수 있다. 규칙기반의 설계는 첫째, 직관적이고 발견적인 전문가의 지식을 토대로 각각의 소속함수를 구하거나, 둘째로 모델에 기초한 방식으로 시뮬레이션 모델의 자료를 이용한다. 그리고 마지막으로, 모델이 필요 없는 방식인 학습과 실험 자료를 통한 시스템 식별과 제어 방식이 있다.

<표 4> 퍼지 시스템의 일반적인 규칙 기반

Rule 1 : If "x1 is A11" and "x2 is A21" Then "u is B1"

Rule 2 : If "x1 is A11" and "x2 is A21" Then "u is B1"

Rule 1 : If "x1 is A11" and "x2 is A21" Then "u is B1"

따라서 본 연구에서는 이러한 MEMORY의 자료와 실시간(현장)에서의 자료를 받아 항상 일정한 제어조건으로 작동하는 전장부를 퍼지 알고리즘을 삽입하여 필요없이 Water Pump 전동기, 에어 폭기장치가 작동하여 에너지의 낭비와 기계의 수명이 단축되는 것을 막으며, 수질의 높은 정화제어 시스템으로 환경보호에 큰 역할을 할 것이다.

#### 4. 결 론

최근 환경분야에 대한 중요성이 현실화되면서 하수처리시설의 정화처리의 자동화 수질향상에 대한 요구가 증가되고 있으며, 하수처리 등을 비롯한 산업분야에서 퍼지이론을 이용한 공정 감시 및 자동화 설비 등이 도입되면서 활용에 대한 관심이 높아져 가고 있다. 자동운전은 기존의 전기판넬에 의한 제어나 PLC(Programmable Logic Controller) 등의 제어와 비교하여 전체적인 처리공정을 판단시켜 입체적으로 자동운전 프로그램을 작성할 수 있으므로 현장 기기 운전을 효과적으로 제어할 수 있다.

그러나 자동운전도 자세히 살펴보면 사람이 제작한 컴퓨터가 사람이 지시한 운전명령 프로그램에 의해 현장에서 입력되는 각종 신호를 판단하여 운전하는 것에 불과하다. 자동운전을 시행할 때 ①현장시설물 및 기기가 정상이고 ② 자동운전과 관련한 현장 계측기 및 신호 검출장치가 정확히 작동되며 ③ 자동운전 프로그램이 현장여건에 알맞게 작성되어 있어야 한다.

그러나 경제적 사정, 설계 사정, 현장 사정, 기타 여러 가지 이유로 인하여 상기3가지 조건을 모두 완전하게 갖추기는 매우 어렵고, 설령 운전초기에 자동운전 조건을 완벽하게 갖춘 시스템이라 하더라도 자동운전을 유지관리 하다 보면 예상치 않았던 돌출변수가 생기고 운전 프로그램에 보완 사항이 생기게 되는데, 이러한 불확실한 상황에서의 정보처리방법으로 퍼지이론을 도입하게 되었고, 지식기반에 의한 추론알고리즘은 전문가를 대신하게 된다.

마지막으로 본 연구는 산학협동재단의 연구지원으로 정화조의 오니 측정 및 제어를 퍼지이론을 도입한 것이 목적이고, 더 큰 목적은 정확한 배출수의 오염도를 측정하여 맑은 물을 내보내 수질환경오염을 막기 위한 것이라 할 수 있다.

## 5. 참고문헌

- [1] 김화수 외2인, 전문가시스템, 집문당, 1995.
- [2] 박주식, "실시간적인 CBMS(Condition Based Management System) 연구", 한국생산성학회, 2000년 하계학술대회
- [3] 유태종 외, 혐기-호기법에 의한 유기물, 질소, 인의 동시제거에 관한 실험적 연구, 상하수도학회지, 1(2), pp.65-74.
- [4] 최용수 외, 주택용 간이정화시설 개발에 관한 연구, 한국과학기술원, N574-3951-6, 1980.
- [5] 환경처, 오수정화시설 및 분뇨정화조 설치. 운영지침, 1989.
- [6] Baur and Pigford, "*Expert Systems For Business-Concepts and Applications*", Boyd and Fraser Publishing Company, 1990, pp. 20.
- [7] <http://www.ableduck.com>
- [8] Kim, C.-w., H. Spanjers, and A. Klapwijk, Continuous Determination of Oxygen Transfer Coefficient with an On-line Respiration Meter, *Water Science and Technology*, 28(7), pp.63-70, 1993.
- [9] Kim, C.-w., B.-g Kim, T.-h. Lee, and T.-j. Park, Continuous and Early Detection of Toxicity in Industrial Wastewater Using On-line Respiration Meter, *Water Science and Technology*, 30(3), pp.11-19, 1994.
- [10] Kim, C.-w, E.-h Choi, H.-g Lee and K.-s. Choi, Loading Control in Activated Sludge Plant Using On-line Respiration Meter, *Environmental Engineering Research*, 2(1), pp.1-7, 1997.
- [11] Smithson, M., "Applications of Fuzzy Set Concepts to Behavioral Sciences," *Math. Social Sci.*, Vol.2, 1982, pp.257-274.
- [12] Zadeh, L. A., "A Fuzzy Algorithmic Approach to Definition of Complex and Imprecise Concepts," *Int. J. Man-Machine Stud.*, Vol.8, 1976, pp.249-291.