

## 활성슬러지 폐수처리장 진단 소프트웨어

손 건 태 · 이 재 은\*

부산대학교 통계학과 · 부산대학교 인지과학협동과정  
(1999년 7월 26일 접수)

## Diagnostic Software for Wastewater Treatment Plant using Activated-Sludge Process

Keon-Tae Sohn and Jae-Eun Lee\*

Dept. of Statistics, Pusan National University, Jangjeon-dong, Keumjung-ku, Pusan,

\*Dept. of Cognitive Science, Pusan National University, Jangjeon-dong, Keumjung-ku, Pusan, 609, Korea  
(Manuscript received 26 July, 1999)

The diagnostic software for the wastewater treatment plant using activated-sludge process is developed in order to increase the efficiency of management of the wastewater treatment plant. This software is based on the expert system and the visualized user interface, including the diagnosis of quantitative and qualitative data. For the generalization of this software, the initialization of each unit process and updating the files can be possible.

Key words : diagnostic software, expert system, activated-sludge process wastewater treatment plant

### 1. 서 론

급속한 산업의 고도 성장과 생활수준의 향상에 따라 생활용수 및 공업용수의 수요량은 계속 증가하고, 또한 용수의 사용량 증가에 따른 생활 및 산업폐수의 발생량도 증가하고 있다. 그에 따라 보다 효율적인 폐수 처리에 대한 관심도 높아진 것이 사실이다. 그러나 폐·하수처리 공정상의 복잡성으로 인해 사람이 공정 전체를 관리하고 모든 이상현상 발생 시 적절히 대처하기란 쉬운 일이 아니다. 본 연구의 목적은 폐·하수처리장에 대한 공정별 진단 소프트웨어의 개발을 통하여 처리장 관리 및 운전자 교육을 비롯하여 이상현상에 대한 진단 및 대책을 제시함으로써, 폐·하수처리장의 효율적인 운용에 도움을 주고자 하는 데 있다.

활성슬러지 공법 폐수처리장의 구성은 전세계적으로 유사한 형태를 지니고 있으며, 진단에 있어 이상현상에 대한 수리적 해석이 모호하고 전문가의 경험적 지식에 의존하는 경우가 많아 진단 소프트웨어는 일반적으로 전문가시스템(expert system)의 기본 구조로 개발되고 있다. 처리공정과 관련된 자료의 자동 축적과 모형화에 이어지는 자동제어 기술 및 진단은 외국에서도 연구개발단계에 있으며, 국내에서도 1990년대에 들어와 진단시스템에 대한 연구가 시작되고 있다. 현재 국내에서 이미 개발이 완료되었거나 현재 진행 중인 폐수처리장 진단용 소프트웨어는 극히 미비할 정도이다. 출시된 환경 관련 소프트웨어도 또한 매우 제한된 기능을 가지고 있어 사용 범위도 극히 제한되어 있다. 더구나 많은 소프트웨어

들이 환경관련 데이터의 수치해석이나 환경 모델링에 치중하고 있어 전문가에 의한 진단용 소프트웨어는 전무하다 시피 한 실정이다. 류형창<sup>1)</sup>은 인공지능언어인 PROLOG를 사용하여 하수처리장 이상진단 및 대책을 위한 전문가 시스템을 연구하였으며, 김화수 등<sup>2)</sup>은 전문가 시스템 개발 도구인 Smart Element를 사용하여 수질오염물질 처리에 대한 진단시스템을 연구하였다. 원종식 등<sup>3)</sup>은 EXSYS를 사용하여 활성슬러지 공법에서 주로 폭기조에 대한 진단시스템을 개발하였으며, 손건태 등<sup>4)</sup>은 온산소재 회사의 공장폐수처리장에 대하여 유입수, 폭기조, 이차침전조, 방류수에 대한 진단소프트웨어를 개발하였다. 이와 같이 활성슬러지 공법에 대하여 축적된 많은 경험과 기술을 토대로 자동 진단 및 치료 시스템의 개발이 시도되고 있으나 현장 적용단계에 이르기는 아직은 부족한 상대라고 판단된다.

반면 국외에서의 폐수 처리를 위한 소프트웨어 개발은 우리 나라와 비교될 수 없을 만큼 활발하다고 볼 수 있다. 1997년 7월 개최된 국제수질학회(International Association on Water quality, IAWQ)의 ICA(Instrumentation, Control and Automation) Group 국제학술대회에서 발표된 논문들을 살펴보면 활성슬러지공법에 의한 폐수처리장 자동화문제가 전세계적 관심임을 알 수 있다. 특히 on-line 자료에 의한 자동제어가 강조되고 있으며 몇 동적 모형화를 위한 시뮬레이터의 개발, 퍼지이론을 이용한 자동제어연구가 유럽을 중심으로 미국, 호주, 일본 등에서 활발히 이루어지고 있다. 크루거 연구소를 비롯하

여 네덜란드와 덴마크 등 북유럽의 폐수처리장에서는 on-line data processing을 통한 진단 및 자동제어 시스템이 구현되고 있다. 일본에서는 다소 기초적이지만 시계열 분석기법과 다변량 분석 기법 등의 통계적 방법을 통한 동적 모형의 개발과 퍼지이론을 이용한 자동제어 시스템의 개발에 주력하고 있다.

본 연구는 부산 J하수처리장을 대상으로 전체 11공정(유입수, 조목스크린, 침사지, 유입펌프, 최초침전지, 폭기조, 최종침전지, 염소살균지, 슬러지농축조, 협기성소화조, 방류수)에 대한 진단 시스템 개발을 대상으로 하였다. 특히 공정별 진단 항목은 초기화된 설계기준(또는 법적기준)과 비교하여 성능평가를 내리고, 전문가 지식에 의한 원인 및 대책을 제시할 수 있도록 구성하였다. 정량적 자료뿐만 아니라 색깔, 냄새, 탁도, 찌꺼기 등 감각적 자료에 대한 진단을 현장에서 유용하게 사용되도록 설계되었다. 또한, 관련 자료 파일을 입력하여 자료의 변환형태를 알아볼 수 있도록 관리도(control chart)작성 기능을 삽입하였다. 본 연구로서 활성슬러지 폐수처리장 항목별 또는 종합 진단에 활용할 수 있으며, 주요 항목에 대한 자료측정 후 변화패턴의 그래프로 표현된 관리도의 작성을 통해 시각적으로 데이터의 이상 유무를 판단하고, 각자료의 입력과 판정의 종합화를 위한 규칙 개발의 기초 구조로 활용할 수 있다. 또한 폐수처리장 특성에 따른 설계기준 및 특이사항의 초기화 설정이 가능하도록 하여 종합적인 진단 소프트웨어가 될 수 있도록 하였다. 2절에서는 진단소프트웨어 개발 단계를 설명

하고, 3절에서는 진단시스템의 계층구조를 4절에서는 진단화면 및 진단과정을 설명하였다.

## 2. 폐·하수처리장 진단 소프트웨어 개발단계

### 2.1. 진단 대상

진단대상항목은 전체 11개 공정 별로 Table 1과 같이 설정하였다. 진단시스템의 기본 모형은 부산 J하수처리장을 대상으로 하였으나, 일반화를 위하여 항목을 가능한 추가하였다.

### 2.2. 진단소프트웨어 구성

본 연구에서의 폐수처리장 진단 시스템은 다음의 사항들을 원칙으로 구성된다. 현장 사용이 용이하도록 패키지 형태로 개발하고, windows 95 이상의 개인용 컴퓨터에서 구현하며, 사용자 중심시스템으로 메뉴방식을 기본으로 하는 화면지향성인 사용자호환(visualized user interface)기법을 사용하고, 전문가 지식의 구축은 모듈화 하며, 확장 및 수정이 가능하도록 하고, 추론엔진부분과 분리되도록 구성되었다. 추론엔진의 논리화된 구조를 이루는 규칙에 대한 프로그래밍은 C언어로 작성하였으며, 화면지향성 사용자 중심의 시스템 구현을 위하여 Visual C++을 사용한 윈도우 프로그래밍을 하여 컴퓨터 비전문가도 쉽게 사용할 수 있도록 구성하고, 메뉴의 선택 및 자료의 입력은 마우스와 키보드로 이루어지게 하였다. 자료입력 및 진단요청사항에 대한 결과는 다이얼로그 상자를 통한 텍스트 형태 또는 그림 형태로 출력하였다.

Table 1. Items for diagnosing in each unit process

공정(항목수)	진 단 항 목
유입수 (24항목)	계획일최대오수량, 계획시간최대오수량, 계획일평균오수량, 유입수질, COD <sub>Mn</sub> , CODcr, SS, TN, TKN, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N, TP, PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> -P, 시안, 크롬, 용해성 철, 아연, 구리, 카드뮴, 수은, 비소, 납, 6가크롬
조목스크린 (24항목)	통과유속, 음이온 계면활성제, BOD, COD <sub>Mn</sub> , CODcr, SS, TN, TKN, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N, TP, PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> -P, 시안, 크롬, 용해성 철, 아연, 구리, 카드뮴, 수은, 비소, 납, 6가크롬, 페놀류
유입펌프 (24항목)	TCE, 음이온 계면활성제, BOD, COD <sub>Mn</sub> , CODcr, SS, TN, TKN, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N, TP, PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> -P, 시안, 크롬, 용해성 철, 아연, 구리, 카드뮴, 수은, 비소, 납, 6가크롬, 페놀류
침사지 (24항목)	수면적 부하, 평균 유속, 체류시간, 사양, COD <sub>Mn</sub> , CODcr, SS, TN, TKN, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N, TP, PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> -P, 시안, 크롬, 용해성 철, 아연, 구리, 카드뮴, 수은, 비소, 납, 6가크롬
최초침전지 (24항목)	표면적 부하, 체류시간, 월류부하, 사양, 수질, COD <sub>Mn</sub> , SS, TN, TKN, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N, TP, PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> -P, 시안, 크롬, 용해성 철, 아연, 구리, 카드뮴, 수은, 비소, 납, 6가크롬
포기조 (24항목)	부하율(유기물), 부하율(질소), 용적부하율(유기물), 포기시간, 반송률, 수질, 색깔, SS, TN, TKN, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N, TP, PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> -P, 시안, 크롬, 용해성 철, 아연, 구리, 카드뮴, 수은, 비소, 납, 6가크롬
최종침전지 (24항목)	체류시간, 수면적 부하, 월류부하, 고형물 부하, 수질, COD <sub>Mn</sub> , SS, TN, TKN, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N, TP, PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> -P, 시안, 크롬, 용해성 철, 아연, 구리, 카드뮴, 수은, 비소, 납, 6가크롬, 페놀류
소독조 (24항목)	접촉시간, 주입염소농도, BOD, COD <sub>Mn</sub> , CODcr, SS, TN, TKN, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N, TP, PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> -P, 시안, 크롬, 용해성 철, 아연, 구리, 카드뮴, 수은, 비소, 납, 6가크롬, 페놀류
농축조 (24항목)	고형물 부하, 체류시간, 오니농도, COD <sub>Mn</sub> , CODcr, SS, TN, TKN, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N, TP, PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> -P, 시안, 크롬, 용해성 철, 아연, 구리, 카드뮴, 수은, 비소, 납, 6가크롬, 페놀류
소화조 (24항목)	소화시간, 소화온도, BOD, COD <sub>Mn</sub> , CODcr, SS, TN, TKN, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N, TP, PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> -P, 시안, 크롬, 용해성 철, 아연, 구리, 카드뮴, 수은, 비소, 납, 6가크롬, 페놀류
방류수 (24항목)	방류유량, 음이온 계면활성제, BOD, COD <sub>Mn</sub> , CODcr, SS, TN, TKN, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N, TP, PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> -P, 시안, 크롬, 용해성 철, 아연, 구리, 카드뮴, 수은, 비소, 납, 6가크롬, 페놀류

진단 작업을 쉽게 하도록 도와주는 아이콘은 각 공정을 표현할 수 있도록 하였다.

### 2.3. 개발단계

진단소프트웨어의 개발단계는 전체 6 단계로 이루어졌으며, 각 단계는 다음과 같이 이루어져있다.

**[단계 1]** 각 공정별 진단항목의 선택과 시스템의 계층구조 설계 단계 : 활성슬러지 공법 폐·하수처리장을 이루는 11가지 단위공정을 각 공정별로 항목들을 선택하였으며, 폐·하수 처리장에서 관측 가능한 항목 외에 필요 항목을 추가하여 시스템을 구성하기로 하였다. 또한 시스템의 수행을 위한 추론엔진의 구조와 진행 화면의 계층구조를 설계하는 단계이다.

**[단계 2]** 진단항목의 판정방법과 원인·대책자료를 구축 단계 : 항목별로 관측된 자료가 폐수처리장 설계기준과 법적 기준을 만족하는지 판정하고 불량시 불량원인과 대책을 자료 파일화하여 참조하며, 필요시 추가·수정·삭제 가능하도록 구성하는 단계이다.

**[단계 3]** 자료와 판정규칙의 연결을 포함한 계산·출력 프로그램 설계 단계 : 소프트웨어의 수행을 위한 화면의 진행 및 진단 입력자료를 화면으로 받아들이고 기준치와 비교하여 계산하며 화면에 원인과 대책을 위한 전문가 자료파일을 출력할 수 있도록 내부적으로 윈도우 프로그래밍 설계단계이다.

**[단계 4]** 설계 기준 및 폐수처리장 특성 입력을 통한 진단 시스템 초기화 단계 : 설계기준 및 폐수처리장 특성치를 필요할 때마다 초기화가 가능하도록 하여 어느 폐수처리장에서도 사용 가능한 시스템이 될 수 있도록 설계하는 단계이다.

**[단계 5]** 자료 항목에 대한 관리도 작성 단계 : 자료에 대한 관리도를 통한 그래픽 기능을 설계하는 단계이다.

**[단계 6]** 확장성과 User Interface에 기초한 visualization 설계 단계 : 제시 화면을 디자인하고 사용자가 편리하게 사용할 수 있도록 단계 3에서 설계된 프로그램의 결과를 화면상에 구현하기 위한 설계단계이다.

**[단계 7]** 프로그래밍 및 사전 검사에 의한 수정 단계 : 단계 3에서 단계6까지의 설계를 기초로 내부 프로그래

밍은 C언어로, 화면 구성 프로그래밍은 Visual C++로 작성하고, 출력결과를 검사하고 수정·보완하는 단계이다.

### 3. 진단 소프트웨어 계층구조

활성 슬러지 공법 폐수처리장은 폐수처리부분(원폐수 저류조 - 스크린 - 공기부산조 - 포기조 - 최종침전 - 고속분리조 - 방류)과 슬러지처리부분(포기조 - 농축조 - 탈수기 - 슬러지 케이크)로 구성된다. 이에 대한 폐수처리장 진단 시스템의 전체구조는 Fig. 1과 같다. 시스템 내부설계는 Fig. 2로 구성하였다.

### 4. 진단과정

#### 4.1. 초기 로그화면과 시스템 구조화면 및 공정 설명 다이얼로그

바탕화면에 있는 진단 시스템 아이콘을 클릭하면 Fig. 3과 같은 초기화면이 나타나며 잠시 뒤에 자동적으로 시스템 구조화면(Fig. 4)으로 전환된다. 구조도상의 각 단위공정 부분을 클릭하면 공정 설명이 담겨있는 다이얼로그 상자가 나타난다.

#### 4.2. 설계기준(또는 법적기준)초기화

폐·하수처리 종합 진단시스템에서는 다른 처리장에서도 사용 가능하도록 폐수처리 설계기준을 필요시마다 초기화가 가능하도록 하였다. 각 공정별로 필요한 설계기준들을 메뉴에서 '초기화'라는 메뉴를 선택하여 'Initial'이라는 부 메뉴를 선택하면 Fig. 5와 같이 모든 공정의 설계기준을 초기화하는 프로퍼티 쉬트 박스(property sheet box)가 나타난다. 사용자의 오작동에 관대하기 위해 초기화를 종료하고자 할 때 다시 한번 더 초기화 파일로 만들 것인지를 묻는 대화상자가 나타나게 하여 임의의 실수를 방지할 수 있도록 하였다.

#### 4.3. 정성적 이상 현상에 대한 진단 화면

현장에서의 활용성을 높이기 위하여 공정별 진단항목 이외의 정성적 자료색깔, 냄새, 탁도, 찌꺼기 등 감각적 자료)에 대한 이상현상의 원인 및 대책을 도움말 형태로 팝업메뉴(Fig. 6)를 이용할 수 있도록 하여 사용자가 쉽게 참조할 수 있게 하였다.

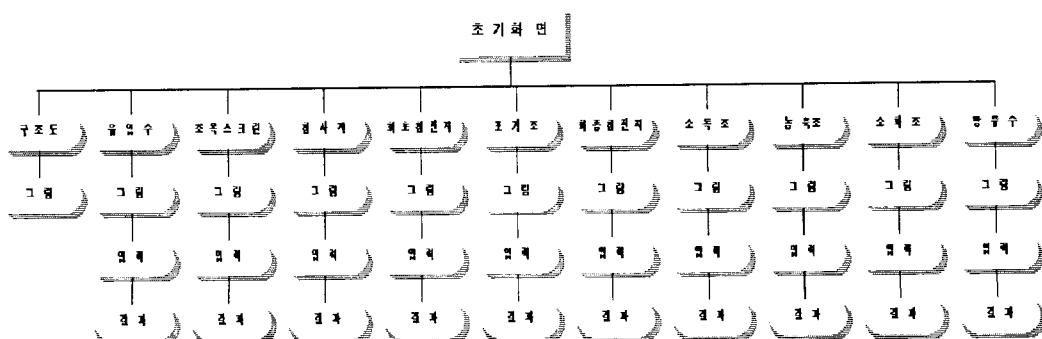


Fig. 1. Hierachical structure of Diagnostic system.

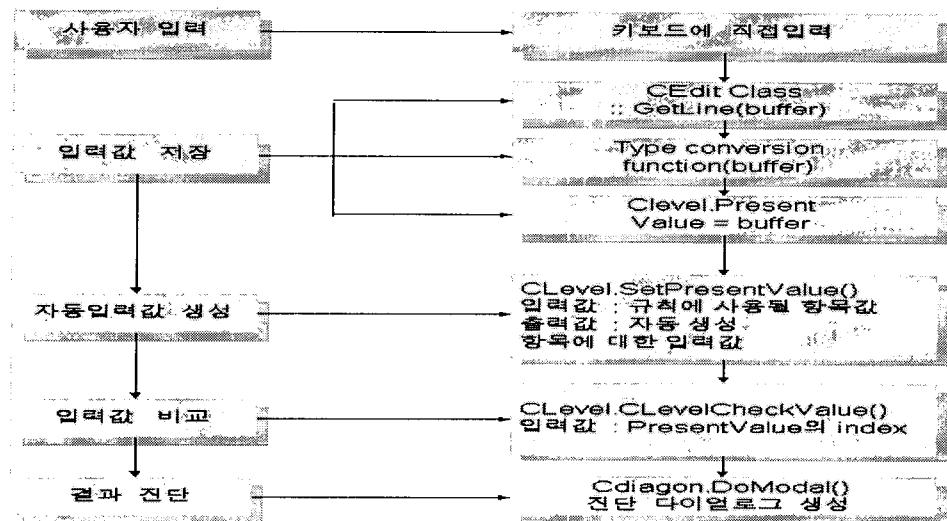


Fig. 2. Internal structure of Diagnostic system.

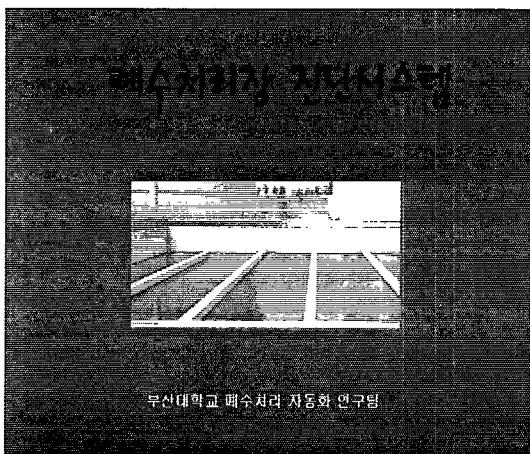


Fig. 3. Logo splash window.

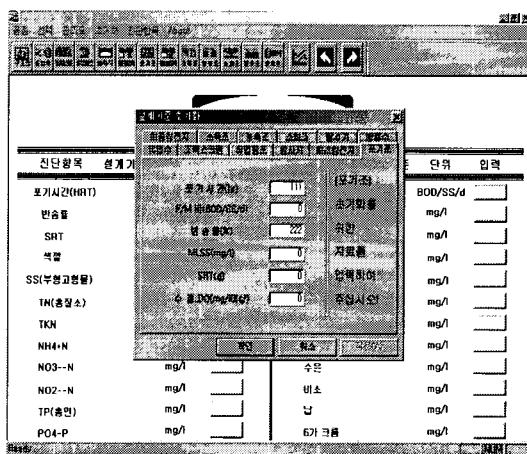


Fig. 5. Initialized dialog box for unlit processes.

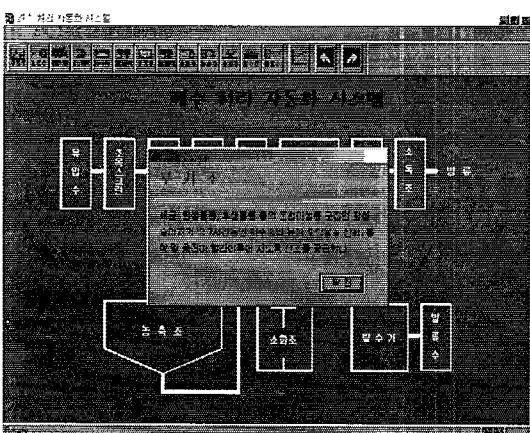


Fig. 4. Dialog box for explaining unit processes in the structure map.

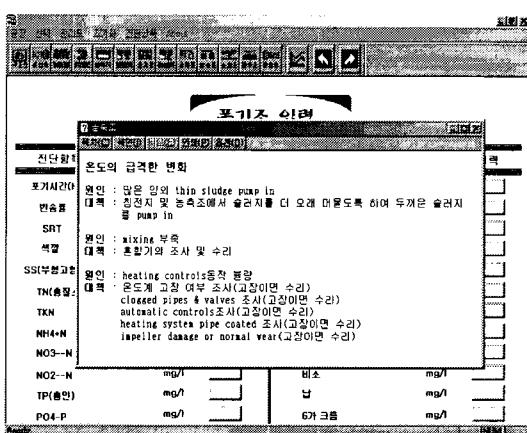


Fig. 6. Diagnostic dialog box of qualitative odd situation.

#### 4.4. 공정별 초기화면

각 공정별 진단과정은 아이콘으로 표시되는 툴바에서 진단 희망 공정을 마우스로 선택하거나 최상단의 공정 메뉴를 선택하여 부 메뉴 중 희망 공정을 선택하면 된다. 각 공정의 진단과정은 사용자가 편리하도록 모두 동일하게 구성되었으며, 화면의 종류가 많으므로 여기서는 ‘탈수조’ 공정과 관련된 화면을 통하여 진단과정을 설명하도록 한다. 나머지 공정들은 각 진단 항목에서 차이가 있을 뿐 진단과정은 동일하다. 초기화가 설정된 상태에서 단위공정에 대한 진단은 화면 위의 아이콘 상자에서 해당 공정을 클릭하면 Fig. 7과 같은 공정 초기화면이 나타나 진단을 원하는 각 공정을 확인할 수 있다. ‘다음창으로’ 버튼을 클릭하면 해당공정의 항목입력화면으로 이동한다.

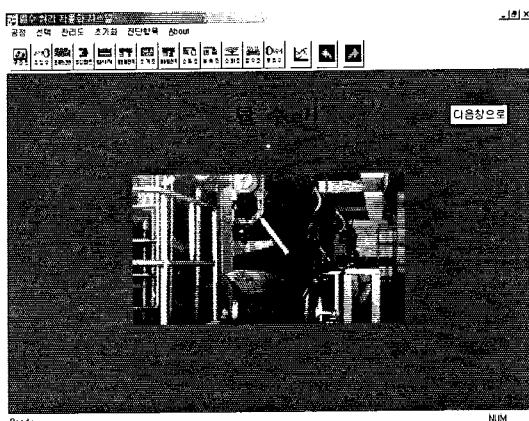


Fig. 7. First window of dewatering tank.

#### 4.5. 공정별 항목입력 화면

각 공정에서 나타나는 진단 항목에 대한 관측 값을 입력하는 화면(Fig. 8)으로 해당 항목의 우측 입력란에 스크롤바, 마우스, 키보드를 이용하여 입력자료를 입력한다. 입력이 끝나면 툴바의 ‘다음’버튼을 누르면 진단화면으로 이동한다.

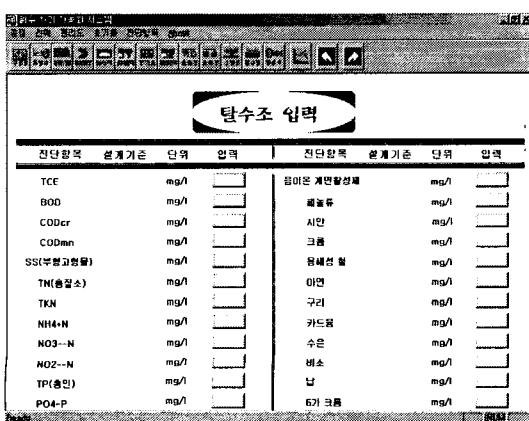


Fig. 8. Input window of dewatering tank.

#### 4.6. 진단화면

입력된 값과 설계기준(또는 법적기준)을 화면(Fig. 9)에 나타나게 하여 사용자가 쉽게 불량임을 알 수가 있다. 필요시 항목별로 불량원인과 대책을 알아보도록 ‘진단버튼’을 클릭하면 불량원인 및 대책 화면으로 이동된다.



Fig. 9. Diagnostic window of dewatering tank.

#### 4.7. 불량원인과 대책화면

진단을 원하는 항목에 대해 불량원인과 대책을 제시하는 다이얼로그 박스형태의 화면(Fig. 10)이다. 전문가의 의견을 기초로 하여 작성되었으며 필요시 수정 및 추가가 가능하도록 구성되었다.

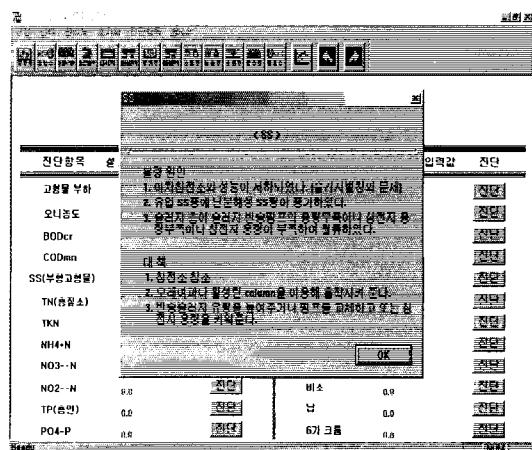


Fig. 10. Dialog box for indicating causals.

#### 4.8. 관리도

폐수처리장에서 발생되는 계량치 자료에 대하여 시간의 흐름에 따른 값들의 변화를 목표치와 비교하여 전체적으로 분석할 필요가 있을 때 사용되는 관리도 (control chart, Fig. 11)를 그려주는 기능이다. 이 단계를 통하여 평균과 표준편차, 주어진 자료의 전체적인 범위

등을 알 수 있고, 주어진 한계범위(관리상한: UCL, 관리하한: LCL)와 관련하여 그래픽화 함으로써 사용자가 바로 자료의 변화 형태를 분석할 수 있도록 도와 줄 것이다.

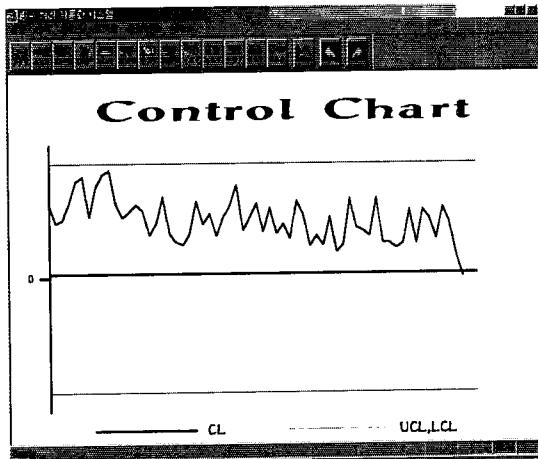


Fig. 11. Control chart.

## 5. 결 론

환경자료의 수치해석 및 모델링 시스템은 많이 개발되어 왔지만, 여러 공정으로 이루어진 폐·하수처리장 전체 공정에 대한 관리 시스템에 대한 연구 및 개발이 없었다. 따라서 부분적으로 자동화된 시스템을 사람들의 수작업을 통해 관리 되어온 실정이다. 본 연구는 폐수

처리장 종합 진단 소프트웨어 개발을 최종 목표로 개발 하된 것이다. 개발된 진단 소프트웨어는 사용자가 쉽게 활용할 수 있도록 구성되었으며, 진단 및 대책에 대한 정보를 손쉽게 최신화 할 수 있도록 구성이 되었다. 폐·하수처리 공정을 진단 소프트웨어에 의해 운영의 최적화는 물론이고, 활성슬러지 폐·하수처리장 항목별 또는 종합 진단에 활용할 수 있을 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 환경부에서 주관하는 환경기술개발사업 (G-7 project), “폐수처리장 운전제어 자동화 기술 개발” 과제의 일부로서 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사를 드린다.

## 참 고 문 헌

- 1) 류형창, 1991, 하수처리장 이상진단 및 대책을 위한 전문가 시스템 개발에 관한 연구, 박사학위 논문(서울 대학교 토크공학과).
- 2) 김화수, 유은상, 장동모, 정동일, 1994, 수질오염물질 처리공법 선정을 위한 전문가 시스템의 지식베이스 모듈 구축, KMIS 추계 학술대회 논문집, 183~192pp.
- 3) 원종식, 조우상, 1995, 활성슬러지 공정에서의 조업지원 전문가 시스템 개발연구.
- 4) 손건태, 김창원, 백지선, 최광수, 박민숙, 이양수, 1997, 활성슬러지 폐수처리장 진단 소프트웨어, 1997년 대한환경공학회 추계학술대회, 875~878pp.