

## 활성슬러지 공정에서의 조업지원용 전문가 시스템에 관한 연구

조 옥 상 · 이 진 우\* · 박 상 진\* · 원 증 식\*\* · 김 상 옥\*\*

수원대학교 환경공학과 · \*동국대학교 화학공학과 · \*\*서울시립대학교 화학공학과  
(1996년 1월 22일 접수, 1996년 3월 12일 채택)

### A Study on the Operation Aid Expert System for Activated Sludge Process

Wook-Sang Cho, Jin-Woo Lee\*, Sang-Jin Park\*, Jong-Sik Won\*\*, and Sang-Wook Kim\*\*

Dept. of Env. Eng., Suwon Univ., Kyunggi-do 445-890, Korea

\*Dept. of Chem. Eng., Dong-guk Univ., Seoul 100-715, Korea

\*\*Dept. of Chem. Eng., Seoul City Univ., Seoul 130-743, Korea

(Received January 22, 1996, Accepted March 12, 1996)

**요 약 :** 경기도 광주군 소재 경안천 하·폐수 종말처리장을 실제 적용 대상으로하여 공정 조업상에 발생될 수 있는 문제점의 원인을 진단 및 분석하고 이에 적절한 대응 방안을 제시할 수 있는 조업지원 목적의 prototype 의 전문가 시스템을 연구, 개발하여 실제 적용 test 를 수행하였다. 특히 생물학적 폐수처리 공정인 폭기조와 최종 침전지상에서 발생될 수 있는 공정상의 문제점을 집중분석 (bulking 현상 등) 하여 100 여개의 production-rules 로 구성된 지식베이스를 완성함으로써 공정의 안정적인 조업관리 및 유지가 가능하도록 하였고 조업에 있어서 전문 및 표준기술을 제공함으로써 특히 경험이 부족한 신입 현장 조업자들의 조업능률을 향상시킬 수 있었다. 향후의 과제는 조업 data 를 통계처리하여 공정조업에 영향을 미치는 인자와 조업 제어변수간에 상관관계를 분석하고 최적의 조업조건을 제시할 수 있는 통계제어모델을 개발하여 전문가 시스템에 접목시킴으로써 prototype 이 아닌 완벽한 공정시스템 도구로 발전시키고자 한다.

**Abstract:** A prototype of expert system which can support the operation for the municipal waste water treatment plant located at Kyoung-Ki Do, Kwang-ju Kun was developed and tested. This system provides ( i ) tracking the cause of the problem, ( ii ) analysis, and ( iii ) solution Knowledge-base consists of about 100 production-rules for the biological wastewater process, such as bio-reactor and final clarifier. Rules were obtained from the analysis of the problems such as sludge bulking. The system provides stable process control and management and effectively helps inexperienced operators with advanced and standard technologies. Future works will focus to develop a statistical process control model and associate with expert system. The control model can process the operation data statistically; analyze the relationship between affecting factors and control variables; and provide optimum operation parameters.

#### 1. 서 론

화학 공정 및 플랜트의 운전에서 공정 상의 이상 유무를 진단하고 문제 발생시 이에 적절한 조치

를 취할 수 있도록 현장 조업자를 지원하기 위한 목적의 전문가 시스템에 대한 연구가 최근 활발히 진행되고 있다[1-3]. 조업 지원용 전문가 시스템은 인공지능 기술의 발달과 함께 지식기반 전문가 시스템에

의한 공정 공학(process engineering) 상의 여러가지 난제를 해결하고자 하는데 초점을 두게 되는데 현장의 조업자를 포함한 실무 엔지니어들의 공정조업 관련 지식을 지식 베이스화 하여 논리적이고 체계적인 추론 rules 을 적용시켜 지속적이고 신속, 정확한 결론을 내려 줌으로써 안정적인 조업을 지원할 수 있으며 또한 표준화된 기술 및 조업 정보를 관리할 수 있는 기능을 제공하기 때문에 공정조업에 있어서 매우 유익한 시스템 도구로 활용되고 있다[4-5].

공정 문제를 다루는 전문가 시스템은 다른 응용 분야에 비해 매우 크고 복잡하다. 특히 공정조업 상태가 동적으로 변화함으로써 이상 상태를 진단하는 기준을 마련하는 것이 어려운 문제가 된다. 그리고 지식의 양이 방대해지고 on-line 상에서 운용이 되어야 하는 경우에는 추론 시간의 제약도 받게 된다. 공정의 이상 진단을 위한 전문가 시스템은 대부분 경험적 지식 접근법이나 모델 기반 접근법에 의해 문제를 해결하고자 하였다. 또한 지식 표현을 위해 규칙(rule), 프레임(frame), 객체 지향 프로그래밍(object-oriented programming) 등을 이용하여 실제 전문가 시스템의 구현에 관련된 문제들을 해결하고자 하였다[6-8].

환경 플랜트에 있어서도 조업 지원용 전문가 시스템에 대한 연구 개발 사례는 외국의 경우는 매우 활발하여 폐수처리 공정에 실제로 활용되고 있는 예로서 ASAP[9]은 활성 슬러지 공정에 적용되어 미생물 분해반응의 최적 조건을 제시하여 줄 뿐 아니라 생물반응에서 발생하는 조업 상의 문제를 신속, 정확하게 대처할 수 있도록 지원해 준다. GEOTOX[10]는 유해 폐기물매립지 타당성 조사와 지질 및 토양 환경 문제의 해결을 위한 다 영역(multi-domains) 지원 기능을 제공한다. 일반 폐기물 소각로의 연소 제어 시스템에 활용되고 있는 전문가 시스템은 종래의 PID 연소 제어의 단점을 보완하여 장시간 안정적인 연소가 유지될 수 있도록 개발되었다[11].

BIO-EXPERT[12]는 수용성 고분자 액상반응계에서 용매 추출 방법을 이용하여 bio-mass로부터 유효 물질을 분리 회수하고 유기성 폐용매를 적정 처리할 수 있는 방법을 지원하도록 개발되었다. 폐수처리 공정의 안정적인 조업 및 관리는 환경오염 방지 측면에서도 중요하지만 폐수처리 공정 상의 문제 혹은 사고로 인하여 조업이 중단 될 경우 up-stream 공정의 조업 감축 혹은 중단과도 직결되기 때문에 폐수처리

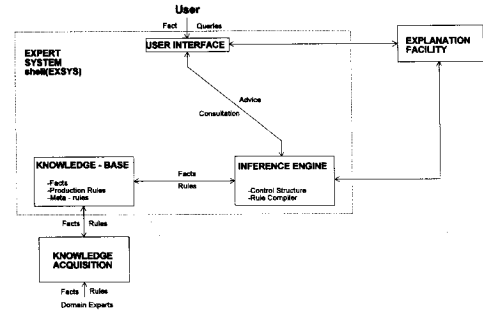


Fig. 1. Operation Aid Expert System Components.

공정의 안정적인 조업 지원은 경제적 측면에서도 매우 중요하다.

본 연구는 대표적인 폐수처리 공정이라 할 수 있는 활성 슬러지 공정에 있어서 폭기조와 최종 침전지에 대하여 공정조업상에 발생될 수 있는 문제점을 발견하고 이에 적절한 해결 방안을 제시할 수 있도록 지식 공학적(knowledge engineering) 접근 방법에 의한 rule-based 전문가 시스템을 구현하고자 하였다. 활성 슬러지 공정은 특성상 수학적 모델의 한계성이 있기 때문에 수치 해석에 의한 제어 방식보다는 아직까지 대부분 경험에 의존한 조업이 이루어지고 있으므로 따라서 본 연구에서는 경험적 지식과 rule을 기반으로 한 지식베이스(knowledge base)와 추론기관(inference engine)을 구성하고자 하였다. 본 연구의 결과는 폐수처리 공정의 안정적인 조업 지원뿐만 아니라 분산되어 있는 관련 전문지식을 한 곳에 모으고 이를 체계적으로 관리 및 지식베이스화 하여 경험이 미숙한 조업자의 현장 실습 및 교육용 공정 모사 프로그램으로 활용할 경우 단기간의 숙련된 조업 향상으로 생산성 증대의 효과도 기대할 수 있다.

## 2. 조업지원용 전문가 시스템

### 2. 1. 시스템 구성

본 연구에서 구축한 조업지원 목적의 전문가 시스템은 사용자 인터페이스(user interface)라 할 수 있는 지식 수집(knowledge acquisition) 기능과 추론기관(inference engine) 등으로 구성되어 있다(Fig. 1). 핵심 구성요소라 할 수 있는 지식 베이스는 경험과 이론이 풍부한 현장의 조업자 혹은 공정 엔지니어로부터 필요한 지식을 습득하고 여러 공정조업 관련 문헌을 참조하여 구성하였으며 진단 및 추론 과정

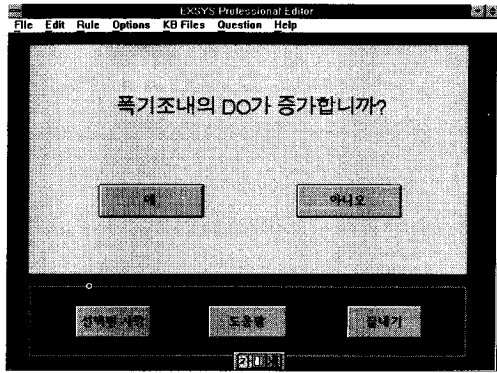


Fig. 2. Information acquisition screen of user interface.

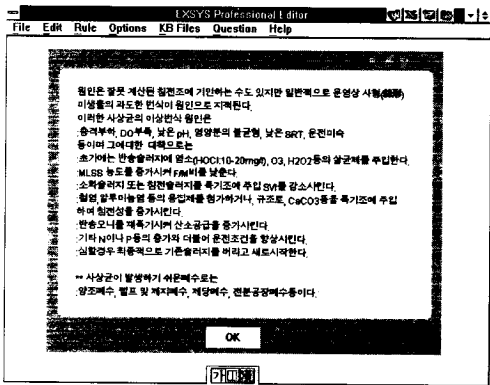


Fig. 3. Explanation facility screen of user interface.

을 논리화하여 지식 표현(knowledge representation) 방법은 IF- THEN production-rules을 사용하고 기본 구조는 계층적 구조(hierarchical structure) 형태로 표현하였다. 이러한 각 구성 요소의 구축은 전문가 시스템 개발 shell인 EXSYS(version 4.0)와 한글 윈도우를 사용하였다.

2. 2. 사용자 환경

본 연구에서는 공정조업에 유용한 정보(혹은 지식)를 제공하여 주고 조작이 간편하고 사용자가 쉽게 친숙해지는 전문가 시스템이 될 수 있도록 display 화면을 구성하였다(Fig. 2). 특히 활성 슬러지 공정의 핵심이라 할 수 있는 미생물 반응조(bio-reactor)와 최종 침전지(clarifier)에 대하여 우선적으로 적용하고 사용자로부터 현장 조업에 관한 지식 정보를

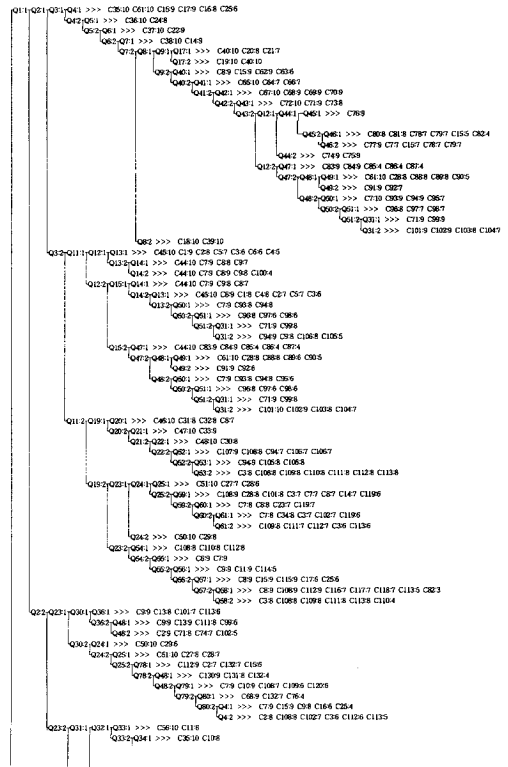


Fig. 4. A hierarchical structure of knowledge base.

사용자 인터페이스를 통해 수집하는 방식을 취하였다. 또한 추론 설명 기능을 구성함으로써 어떤 과정을 거쳐서 추론 결과에 도달하였는가를 쉽게 display 될 수 있도록 하였다(Fig. 3).

2. 3. Rule-based 지식 베이스

폐수처리의 폭기조 공정은 조업의 특성상 고도의 수치제어 기술을 필요로 하는 석유 화학 공정 조업과는 달리 단순한 장치 조작 및 제어로서도 조업이 가능하며 제어 변수를 변화시켰을 때 기질분해의 경우에는 응답시간(response time)이 비교적 길게 걸리기 때문에 공정 제어의 큰 의미가 없는 특성을 갖는다. 따라서 장치 혹은 계기의 이상 유무를 진단하여 조업 지원을 가능토록 하는 기존의 화학 공정 조업 지원용 전문가 시스템과는 구성하고 있는 지식 베이스의 표현 방법을 달리 하게 된다.

따라서 본 연구에서는 모델 기반 접근법(model-based approach), 객체 지향 프로그래밍(object-oriented programming) 혹은 프레임(frame) 방식 대

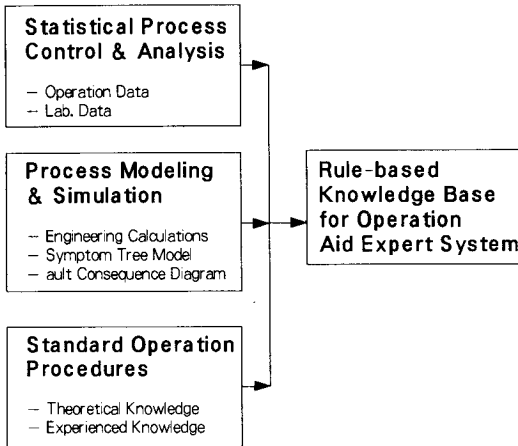


Fig. 5. Overall structure of rule-based knowledge base for operation aid expert system.

신에 IF- THEN production-rules을 기본 모델로하여 100여개의 production-rules 이 계층적 구조 형태 (hierarchical structure)의 tree model로 구성되도록 구현하였다(Fig. 4).

지식 베이스를 구성하고 있는 rule은 크게 세 부분으로 나뉘어지는데,

- 1) 장기간의 조업 실적 자료 및 실험 분석 데이터를 기초로 하여 구성된 통계 제어 모델 (statistical process control model)
- 2) 정상 상태 공정모델링 및 모사를 통한 수치제어 및 계산 모델
- 3) 현장 공정 조업자의 경험과 이론 지식, 조업에 뉴얼 등의 공정 조업 관련 지식 베이스

등이 각각 모듈 형태로 구성되도록 하였다(Fig. 5). 현재까지는 上記의 세 부분 중 3)의 부분만 완성된 상태이지만 연구가 계속 진행됨에 따라 나머지 부분도 완성할 계획으로 있으며 특히 2)의 경우는 동적 수치계산 및 제어 모델과 전문가 시스템 개발 shell을 접목시킬 수 있는 hybrid 형태의 시스템 구현이 되어야 하기 때문에 다소 어려운 작업일 것으로 예상되고 있다.

2. 4. 추론 기관

사용자와 시스템간에 연속된 질의 응답을 통하여 문제가 발생된 공정 조업의 실제 상황이 사용자 인터페이스를 통해 데이터베이스에 입력되면 matrix vector를 형성하게 되고 곧바로 production-rules로 구

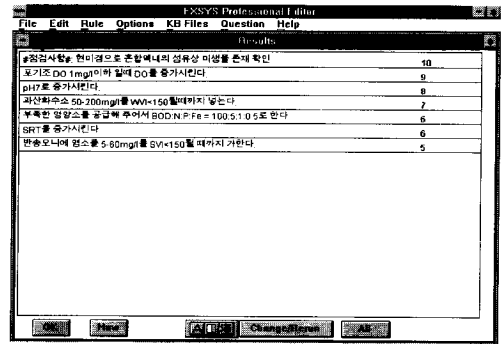


Fig. 6. A display of inferred result screen.

성되어 있는 tree model에 전달되어 rule-compiling을 수행한다. rule-compiling은 meta-rule 이 동시에 수행됨으로써 중복되거나 적용되지 않는 rules을 걸러 내는 작업 곧 'rule conflict resolution'이 수행되고 순방향 또는 역방향 추론(forward/backward chaining)과정을 거쳐 최종 결론에 도달하게 된다. Fig. 4에서와 같은 계층적 구조 모델의 지식 베이스는 구성하고 있는 각 지식 정보의 node가 곧 production-rule이 되기 때문에 추론 진행 방향을 결정하기에 매우 용이한 구조라 할 수 있다.

즉 관찰된 조업 상황의 문제로부터 해결 방안(추론 결과)을 찾을 수도 있고 또한 역으로 예상될 수 있는 결과로부터 공정조업상에 발생할 수 있는 문제를 추정 가능하다. 따라서 결과 추론 진행 방향을 어느 한 곳으로만 고정시킨 기존의 전문가 시스템 shell 보다는 추론 속도가 빠르다고 할 수 있다. 추론 결과의 신뢰도(certainty factor)는 0~100%의 신뢰도를 0~10으로 나타내도록 하였다(Fig. 6). 추론 결과에 대한 신뢰도 평가는 현장 조업경험 5년 이상의 공정 조업자의 판단으로 결정하였으며 실제로 적용 시험한 결과 만족할 만한 추론 결과가 얻어짐을 볼 수 있다.

3. 시스템 구현 및 사례 연구

3. 1. 시스템 구현 방법

본 전문가 시스템을 구현함에 있어서 폭기조 및 최종침전지내의 이상진단과 대응방안(action guidance)에 관한 지식은 직접 현장조업에 참여하여 숙련된 조업자로부터 수집하고 과거의 조업 이상사례 분석과 기술(조업) 검토서, 작업 매뉴얼, 기술 표준서 등도 검토하여 일일히 발생될 수 있는 문제상황

Table 1. Comparison Between Real Case in Process and System Performance (case I)

비교	실제공정상황 (조업 및 측정 Data)	공정모사 (시스템 적용)
실제상황 및 공정모사	1) 슬러지 blanket와 관련이 있어보임. 2) 폭기조의 내용물이 검은색은 아님. 3) 슬러지 blanket이 weir를 월류함. 4) 최대유량이 40m <sup>3</sup> /day 미만임. 5) 부하량이 35kg/m <sup>2</sup> .hr 미만임. 6) 각 침전지 유량이 일정함. 7) 슬러지 반송펌프 토출량에 이상없음. 8) 난류형성은 정상시와 같음. 9) 과도하게 나불거리는 백색 포말이 형성되지는 않음. 10) 황갈색의 두꺼운 더갱이가 낀 포말이 형성되지는 않음. 11) 벌킹슬러지가 발생함. 12) 사상성 벌킹임. 13) 사상균이 박테리아임. 15) 사상균이 많이 모여있는 곳이 하수계통내임.	Rule # 1 Rule # 2,6,7,1,73,95 Rule # 3 Rule # 4 Rule # 5 Rule # 5 Rule # 7 Rule # 9 Rule # 10 Rule # 11 Rule # 11, 23 Rule # 11 Rule # 12 Rule # 12
실제조치사항 및 추론결과	- 과부하가 걸리지 않도록 유입유량, 반송유량을 일정하게 유지하도록 조치함. - 폭기조의 DO 농도 점검을 수시로 하고 필요시 예비 blower를 가동하여 DO 농도를 일정하게 유지함.(6-9ppm) - 잉여슬러지 유출량을 늘려 SRT를 줄이도록 조치함. - 폭기조의 교반을 감소시켜 난류형성을 줄이도록함.	1) # 점검사항 # : 최종 침전지 유입수의 NO <sup>3</sup> 농도 -10/10 2) 여러개의 침전지에 유입되는 양이 불균형한지 확인한다.- 9/10 3) 반송량이 침전지에 따라 불균형한지 확인한다.-4/10 4) 수리학적 과부하가 발생하는지 확인한다.-4/10 5) weir의 수평상태가 이상있는지 확인한다.-4/10 6) 유입수의 정류관에 이상이 있는지 확인한다.-4/10

중심으로 rule을 작성하였다. rule을 표현하는 방법은 여러 가지 있을 수 있으나 조업상에 발생할 수 있는 문제를 비교적 파악 하기가 쉽고 또한 각 상황이 독립적인 성격을 갖게 되므로 본 연구에서는 IF-THEN 표현기법을 사용하여 일단 2가지 공정에 대하여 100여개의 production-rule을 구성하였다. 또한 matrix vector 구성에 의한 pattern-matching 방식으로 조건의 입력 상황을 인식할 수 있도록 하여 일치되지 않는 rule은 제외시키고 iteration 루프를 거쳐 중복되는 rule은 걸러내는 형태로 rule-compiling이 이루어지도록 meta-rules을 구성하였다(Fig. 7).

또한 공정조업에 영향을 미치는 인자들 곧 DO, BOD, COD, MLSS, SS, pH, SVI 등과 유량, SRT

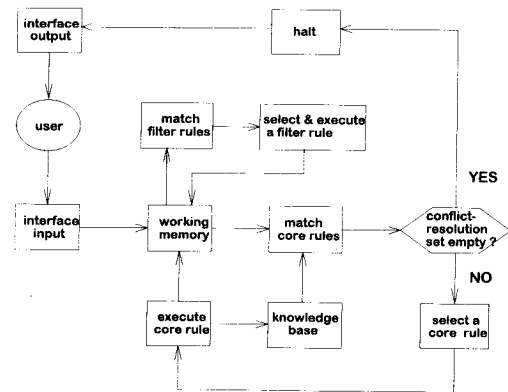


Fig. 7. The reasoning process executed by meta-rules in the inference engine.

Table 2. Comparison Between Real Case in Process and System Performance(case II)

비 교	실제공정상황 (조업 및 측정 Data)	공정모사 (시스템 적용)
실제상황	1) 발생된 문제가 슬러지 blanket와 관련이 없음.	Rule # 23
	2) 슬러지 부상은 없음.	Rule # 39
	3) 반송오니농도가 8,000mg/l 이상임.	Rule # 45
	4) 혼합액 pH 7 이상임.	Rule # 51
및	5) 폭기조내의 폐수가 맑은 갈색을 형성하지 못함.	Rule # 52
	6) corner에 형성되는 흰색 거품은 관찰되지 않음.	Rule # 53
	7) corner에 형성되는 갈색 거품은 관찰되지 않음.	Rule # 54
공정모사	8) 폭기조 폐수가 흑색을 띄지는 않음.	Rule # 55
	9) 폭기조 폐수가 흰색을 형성함.	Rule # 55
실제조치사항	- 매시간 폭기조의 DO 농도를 점검하여 필요시 예비 blower를 가동하여 9ppm 정도 수준을 유지하도록 함.	1) 폭기조의 DO를 증가시킨다. - 9/10
및	- 분뇨처리장 폐수의 유입여부를 확인하고, 배수관 이음새 leaking 을 점검하도록 함.	2) pH를 6-8로 낮춘다.-9/10
		3) MLSS를 1500-4500ppm을 유지한다.-9/10
		4) 응집제를 첨가한다.-7/10
		5) 염소제를 첨가한다.-7/10
		6) 과산화수소를 첨가한다.-7/10
추론결과	- 유입수의 MLSS 를 수시점검하고 이상시 반장에게 보고토록 함.	7) BOD용적부하를 0.2~1.0으로 유지한다.-5/10
		8) 활성오니를 완전히 죽인다음 처음부터 다시 시작한다.-3/10

등 조업 제어변수와의 상관관계를 찾아내어 공정조업 지수(process operation index)를 설정하기 위한 작업으로서 조업가동 이후 현재 까지의 실험 및 조업 data의 통계분석을 수행하여 상관관계 모델을 구하고자 하였으나 장치상의 각종 계기 및 센서의 오작동, 공정제어 모델의 부재, 실험분석 오차 등으로 공정조업 data의 신뢰도에 상당한 문제가 있음이 파악되어 통계제어 모델의 구축에 앞서 기초 data의 신뢰도 향상 작업이 선행되어야 함을 알 수 있었다.

### 3. 2. 사례 연구

활성슬러지 공정에서 자주 발생하는 조업상의 문제점은 최종침전지에서의 부적절한 고형물 침전분리이다. 이러한 결과로 많은 양의 미생물이 유출수 웨어를 월류(overflow) 하여 허용기준치 이상의 고형물이 유출수에 유입되어 흘러가는 결과를 초래한다. 일반적으로 이러한 현상을 슬러지 팽화(sludge bulk-

ing)라 하는데 이런 현상은 불량한 침전특성을 갖는 사상성 미생물의 번식, 수리학적 과부하, 고형물 과부하 또는 부적절한 슬러지 반송률 등으로 인해 유발된다. 수리학적 부하가 과도하게 걸리면 최종침전지에서 월류속도가 슬러지의 침전속도를 초과하는 상태에 이르러, 그 결과 슬러지는 침전조 유입 혼합액의 농도와 거의 같은 수준에서 최종침전지내에 축적되게 된다. 본 연구에서 실제 적용대상으로 하고 있는 활성슬러지 공정 (경기도 광주군 소재 하수종말처리장)에서도 지금까지의 문제점 발생사례를 보게되면 기존의 일교차가 심한 계절을 중심으로上記의 슬러지 팽화현상이 빈번히 발생됨을 볼 수 있었다. Table 1과 2는 이러한 실제 발생 사례를 본 연구로 부터 완성된 조업지원 전문가 시스템에 모사입력하여 시스템으로부터 얻어진 추론결과(문제해결 방안)와 실제 조치사항을 비교해 주고 있다. Table 1은 특히 슬러지 팽화현상의 실제 공정상황과 시스템 적용 결과

를 비교해 주고 있는데 실제 상황내용이 시스템 내부의 rule 에 대체로 잘 적용되고 있음을 볼 수 있으며 실제 조치 사항도 시스템의 추론결과와 비교적 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. Table 1과 2의 내용을 Fig. 2-4 및 Fig. 6과 같이 display 하면 이해하기가 훨씬 용이하지만 지면 관계상 생략 하였다.

시스템의 현장적용 신뢰도를 본 연구에서는 정량화할 수는 없었으나 현장조업자로 부터 대체로 만족할 만한 평가를 얻을 수 있었다. 시스템의 신뢰도를 높일 수 있는 최선의 방법은 역시 구성하고 있는 지식베이스에 얼마나 유용한 지식정보(경험 및 이론적)가 내장되어 있는냐는 점이며 추론논리 및 최적의 rule 제어 방법 구현도 매우 중요한 점임을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구로부터의 결론은 다음과 같이 요약된다.

1) 생물학적 폐수처리의 대표적인 공정인 활성 슬러지 공정중 표면 폭기조와 최종침전지에서 발생될 수 있는 각종 조업상의 문제점을 진단하고 이에 대한 최적의 해결 방안을 제시할 수 있는 조업지원 목적의 전문가 시스템을 개발/구현 하였다.

2) rule-based 지식베이스의 구성은 통계제어 모델, 정상상태 수치제어 및 계산모델, 공정조업 관련 지식베이스 등 세 부분의 모듈로 구성하였으며 본 연구에서는 우선 공정조업 지식베이스를 완성하여 이를 구현 하였다.

3) 지식베이스는 각 node를 production-rules로 구성하는 계층적 구조(hierarchical structure) 형태를 취하였으며 한 번에 여러 개의 conflict rules을 찾는 번거로움이 없이 문제설정에 따라 추론방향을 자유로이 바꿀 수 있게 하므로써 추론기관의 rule-compiling 속도를 높일 수 있었다.

4) 실제의 조업상황을 모사 입력하여 현장 적용 test를 한 결과 현장 조업자들로부터 매우 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었으며 경험이 미숙한 신입 조업자들의 운전 및 조업 교육용 시스템 도구로도 충분한 활용 가치가 있음이 확인 되었다.

5) 본 연구에서 개발된 조업지원 전문가 시스템은 적용 공정 및 단위장치가 제한적이고 지식베이스의 완성도가 그리 크지 않기 때문에 아직은 'prototype'이라 할 수 있다. 따라서 앞으로 적용 대상 공정을

더욱 확장하고 앞서 언급한 통계제어 모델, 정상상태 수치제어 및 계산모델을 구현 시키고 환경오염 모니터링 시스템, 공정제어용 소프트웨어 등과 접목할 수 있는 hybrid 형태의 종합적인 인공지능 제어 시스템을 구축하므로써 보다 완벽한 공정조업 지원 및 관리용 전문가 시스템의 개발을 추진하고자 한다.

#### 감 사

본 논문은 1994년 한국과학재단의 핵심전문연구 지원으로 연구 되었습니다. 연구비를 지원 하여 주신 재단에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. 박선원, "화학공정의 감시 및 진단을 위한 전문가 시스템 개발", 한국과학기술원 연구 보고서 (1991).
2. 최태화, 윤인섭, "인공신경회로망을 응용한 고로 조업지원 전문가 시스템 연구", 한국화학공학회지, **29**, 270-293(1991).
3. 윤인섭, "납사분해 공정에서의 전문가시스템 개발 및 설치에 관한 연구", 서울대 연구보고서 (1989).
4. T. E., Ayral, "On-line Expert System for Process Control", *Hydrocarbon Processing*, **6**, 61-63 (1989).
5. J. H., Ernest "Application of Expert System Techniques to Fault Diagnosis", *Chem. Eng. J.*, **29**, 1-9(1984).
6. Y. H., Pao, "Adaptive Pattern Recognition and Natural Networks", 113-120, Addison-Wesley Publishing Co(1989).
7. LISPE : "Knowledge-based Expert System in Process Engineering", MIT AI Workshop, Summer (1990).
8. S. K., Shum, J. F., Davis, W. F., Punch, and Chandrasekaran, B., "An Expert System Approach to Malfunction Diagnosis", *Comput. Chem. eng.*, **12**, 120-127(1988).
9. J., Schmuller, and M. R., Morlioni, "The Activated Sludge Advisor Prototype(ASAP)", *ACS Symposium Series*, **431**, 139-145(1990).

10. H. Y., Fang, G. M., Mikroudis, and S., Pamukcu, "Multidomain Expert System for Hazardous Waste Site Investigations", *ACS Symposium Series*, **431**, 146-161(1990).
11. "쓰레기 소각로의 인텔리전트 연소제어 시스템", 제 4 회 일본 환경시스템 자동제어 제어 Workshop, Proceeding (1993).
12. W. S., Cho, "The Application of Expert System to Bio-Separation : The Partition of Proteins in Two Aqueous Polymer System", ph.D Dissertation, Univ. of Illinosis(1989).