

## 광역상수도 시설의 비상시 의사결정을 위한 전문가시스템

김응석<sup>†</sup> · 김중훈<sup>\*</sup> · 백천우<sup>\*</sup> · 이정호<sup>\*</sup>

선문대학교 공과대학 토목공학과  
<sup>\*</sup>고려대학교 공과대학 사회환경시스템공학과

## Expert System for Emergency Decision Making for Metro Water Supply Systems

Kim, Eung Seok<sup>†</sup> · Kim, Joong Hoon<sup>\*</sup> · Baek, Chun Woo<sup>\*</sup> · Lee, Jung Ho<sup>\*</sup>

Department of Civil Engineering, Sunmoon University

<sup>\*</sup>Department of Civil and Environmental Engineering, Korea University

(Received 28 November 2006, Accepted 12 December 2006)

### Abstract

An efficient operational strategy using expert system for metro water supply systems in case of emergency situations is developed in this study. The emergency situations of the water supply systems are classified into three categories : pipeline system accident, machinery and electric facility accident and water quality accident. A PC-based expert system is developed using CLIPS for Seoul metro water supply system, Phase 1 & 2 system and Phase 3 & 4 system. Broad professional knowledges and experiences from the experts in the water supply systems have been collected systematically to construct the knowledge base. Decision-making in case of an emergency is based upon the professional knowledge so that a rational and efficient operational management can be available even in the absence of experienced expert. Especially the expert model developed in this study also provides a guide for pumping operation in case of pipeline accident to confirm that the proper pressure to all nodes in the system is supplied. The pipe network simulator KYPIPE has been consecutively executed by trial and error fashion for each pipeline in the system. The results from KYPIPE were included in the knowledge base to supplement the knowledge of the field engineers.

**keywords** : CLIPS, Expert system, KYPIPE, Metro water supply systems

### 1. 서 론

경제발전과 도시용수 수요의 증대에 따른 사회간접자본으로써의 상수도시스템은 과거에 비해 중요한 역할을 수행하고 있으며 많은 광역시에서 효율적인 용수공급을 위해 광역상수도 시스템을 적용하고 있다. 따라서 상수도시스템 규모 확대에 따른 효율적 운영 및 관리가 절실히 필요하며, 이러한 시스템 관리를 위한 다양한 기술이 개발되어 적용되고 있다. 따라서 상수도시스템에 발생하는 사고에 대한 적절하지 못한 대처는 시간 및 경제적 손실을 발생시키며 관로, 펌프, 전기 등의 다양한 시설물로 구성된 광역상수도의 경우 특정 사고 발생에 따른 효율적 대처를 위한 의사결정 시스템이 필요하다.

전문가시스템(expert system)은 지난 20년 동안 수자원분야를 비롯한 폭넓은 분야에서 의사결정을 위한 방법론으로 적용된 알고리즘이다. 특히 컴퓨터 하드웨어와 소프트웨어의 발전으로 인해 전문가시스템은 위치결정, 계획, 운영-관리 및 진단 등과 같은 다양한 수자원 분야에서 실무적으로

응용 및 적용되어왔다. 전문가시스템이 적용된 대표적인 기존의 연구결과는 다음과 같다.

Chang 등(1996)은 하천수, 강우, 온도, 지하수 및 호수수위 등 5개의 수문학적 자료를 바탕으로 가뭄관리를 위한 전문가시스템을 개발하였다. Shepherd 등(1996)은 미국 샌프란시스코 지역의 상수공급 운영시스템의 효율적 관리를 위해 전문가시스템을 이용한 의사결정시스템을 구축하였다. Leon 등(2000)은 안정적 용수공급 및 펌프비용 최소화를 위한 전문가시스템을 개발하였다. Chae 등(2001)은 하수관거의 다양한 결함을 인식하여 이를 바탕으로 대처방안을 제시하기 위해 인공신경망과 전문가시스템을 기반으로 한 의사결정 시스템을 제안하였다. Tah 등(2001)은 건설 시공상의 위험요소 관리를 위해 유전자알고리즘(genetic algorithm)과 퍼지(fuzzy)이론을 접목한 전문가시스템을 개발하였다. Hahan 등(2002)은 하수관거시스템에서 관리자의 효율적 운영관리를 위해 하수관거의 개·보수 우선순위를 산정할 수 있는 전문가시스템을 개발하였다. 심 등(1997)은 가뭄시뮬 연계운영을 위해 실제 발생한 과거수문현상과 댐 운영 실적 등의 자료를 바탕으로, 현 상황을 해석하는 판단지식 및 의사결정 수행을 위한 규칙 등의 경험지식기반을 이용한 전문가시스템을 구축하였다. 윤 등(1998)은 수자원시스

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
hydrokes@sunmoon.ac.kr

템의 계획 및 관리에 있어 복잡한 의사결정 과정이 요구되는 댐 운영 시스템에 전문가시스템을 적용하여 댐 운영규칙을 구축하였다. 이 등(1998)은 도시유역의 홍수량 해석 및 오타부하량 모의를 위해 개발된 SWMM 모형의 주요 매개변수 추정과정을 개선하기 위한 전문가시스템을 개발하였다. 윤 등(2000)은 상수도 배수관망의 효율적 설계, 운영, 유지관리를 위한 통합시스템의 구축을 위해 수리학적 요소, 수질적 요소 및 시설적 요소를 고려한 관망진단 전문가시스템을 제안하였다. 이 등(2001)은 상수도 배·급수관망에 누수 및 관로사고가 발생한 경우 효율적인 관망제어를 위해, 단수구역을 최소화 하면서 사고지역을 고립할 수 있는 밸브 탐색 알고리즘을 개발하였다. 배 등(2002)은 2차원 수질모형에서 사용되는 수질매개변수들 간의 상호영향을 보다 쉽게 이해할 수 있는 전문가시스템을 구축하여 수질매개변수를 추정하고 모의를 실시하여 정확한 결과를 얻을 수 있는 기법을 제시하였다.

이와 같이 전문가시스템을 이용한 기존의 연구들은 주로 수자원 운영 및 관리를 위한 의사결정 지원시스템이 주류를 이루고 있다. 그러나 2001년 미국의 9.11 사태이후 국외에서는 지진, 테러 등과 같은 비상사태 발생 시 사회간 시설물의 대처 방안에 관한 연구의 필요성이 크게 대두되고 있다. 그러나 사고발생시 파급효과가 막대한 광역상수도 시설의 경우, 특정 사고 발생 시 국내에서의 대처방안은 주로 행동지침 또는 대처요령 등을 문서화하여 교육하거나 특정된 직책의 운영관리자가 오랜 경험에서 얻은 전문적 지식에 의존하고 있다. 이러한 전문적 지식은 수십년간의 오랜 경험을 바탕으로 형성되어 있어 이를 수학적 알고리즘 모형으로 만들어 대처하기는 매우 어려운 일이다. 하지만 오랜 시간 축적된 전문가의 경험과 지식을 바탕으로 체계화된 시스템이 구축된다면, 상수도시설의 사고 발생 시 특정직책의 전문가가 부재중인 상황에서도 효율적이고 적합한 의사결정이 이루어질 수 있을 것이다. 본 연구에서는 광역상수도 시설의 비상시 운영 및 관리를 효율적이고 합리적으로 수행하기 위해 경험이 풍부한 운영관리자의 경험적인 요소를 체계적인 방법으로 수집 및 정리하고, 이를 바탕으로 전문가시스템(expert system)을 구축하였다.

## 2. 전문가시스템(expert system)

전문가시스템은 인공지능(artificial intelligence)의 응용분야 중에 하나이며 “전문가가 가지고 있는 지식을 인위적으로 컴퓨터에게 부여하여 그 방면에 비전문가라 할지라도

그러한 전문가의 지식을 이용하여 상호 대화를 통하여 원하는 결과를 얻는 일종의 자문형(consulting) 컴퓨터 시스템이다(김 등, 1998)”라고 정의할 수 있으며, 일반적으로 관련 분야의 전문가가 자신의 경험, 직감, 전문지식 등을 통해 의사결정을 하게 되는 과정을 알고리즘화하여 실제 상황에서 발생하는 복잡한 문제를 컴퓨터를 사용하여 정확하고 신속하게 결정하도록 도와주는 도구를 전문가시스템이라고 한다. Fig. 1은 일반적인 전문가시스템의 기본구조를 나타내고 있다.

전문가시스템의 제작과정을 지식공학(knowledge engineering)이라고 하며 지식공학에는 전형적으로 전문가시스템을 구성하는 지식공학자(knowledge engineer)와 실제문제 영역전문가(domain expert)가 참여하게 된다. 지식공학자는 문제 해결에 필요한 절차, 방법, 규칙 등을 영역전문가로부터 얻어내어 이를 전문가시스템의 지식으로 구성하는 역할을 담당한다. 그 결과 전문가와 같은 능력으로 문제를 해결할 수 있는 특수 목적 프로그램인 전문가시스템이 구성된다.

Fig. 1에 나타난 것과 같이 전문가시스템은 특정분야에 대한 전문지식이 “사실(facts)”과 “규칙(rules)”의 형태로 저장된 지식베이스(knowledge base)와 이 지식베이스를 토대로 하여 어떤 결정을 내리는 추론엔진(inference engine)으로 구성된다.

지식베이스는 해결하려는 분야에 대한 지식들을 포함하며, 시스템을 구축하는 동안 축적되는 강력한 지식기관(corpus of knowledge)은 전문가시스템의 핵심이 된다. 즉 지식의 축적과 성문화(codification)는 전문가시스템의 가장 중요한 부분이라고 할 수 있으며, 이 지식들은 의사결정을 단순, 명확하게 할 수 있도록 구성되어야 한다. 지식베이스를 구성하는 “사실”은 선언적(宣言的) 지식으로 나타내는데 이는 물체, 개념 등과 그들의 관계를 표현하는데 이용된다.

추론엔진은 지식베이스에 내장된 지식을 이용하여 현존의 내용 상태를 조절하며, 규칙에 기초한 전문가시스템에서 사용하는 추론방법은 크게 전향적연결기법(forward chaining)과 후향적연결기법(backward-chaining)으로 구분된다. 전향적연결기법은 주어진 자료를 이용하여 목적(goal)을 추론해 나가는 방법으로 이것을 이용한 대표적 작업으로는 계획(planning) 등이 있으며 폐수처리의 현재 문제점을 판단하거나 그 중간 과정을 생성한다. 후향적연결기법은 주어진 목적으로부터 자료를 추론해 나가는 방법으로 이것을 이용하는 대표적 작업으로는 진단(diagnosis) 등이 있다.

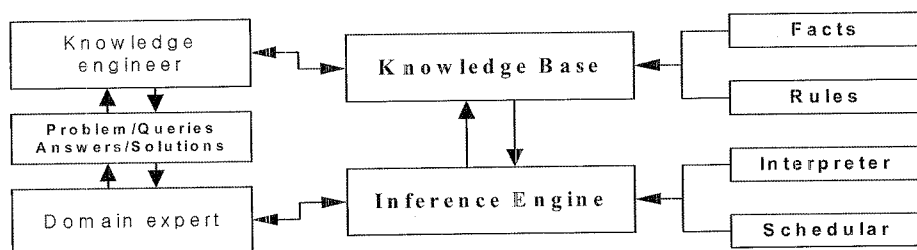


Fig. 1. Structure of expert system.

### 3. 시스템 구축 및 개발

본 연구에서는 광역상수도 시스템의 사고유형을 ① 관로 사고, ② 기계 및 전기시설사고 및 ③ 수질사고의 3가지로 구분하였으며, 각 사고 유형에 대비한 광역상수도 시설의 비상시 운영 및 관리를 위한 전문가시스템을 구축하였다. 지식베이스 및 추론엔진에 필요한 전문가지식 및 정보는 “팔당댐 광역상수도사업소”에 근무하는 각 분야별 운영 전문가의 설문조사결과와 “수도 사고시 업무처리 절차(한국수자원공사, 1996)”를 기준으로 작성하였다.

시스템 구축은 C언어와 비슷한 특징을 가지며 LIPS와 비슷한 특징을 가지는 공용 프로그램으로 미국 NASA의 Johnson space center에서 개발한 CLIPS를 사용하였다. 구축된 전문가시스템은 지식베이스와 추론엔진을 기본으로, 광역상수도시스템을 구성하는 시설물의 자료를 관리하는 DB관리시스템 및 입출력시스템으로 구성되며 Fig. 2는 사고의 유형별 전문가시스템의 전체모형을 나타내고 있다.

#### 3.1. 대상지역

수도권 광역상수도는 서울시, 인천시, 의정부시, 성남시, 평택군 등 수도권일원에 생활 및 공업용수를 공급하기 위하여 건설된 시설로 '79년 7월부터 공급하고 있는 수도권 1단계, '80년 6월부터 공급하고 있는 수도권 2단계, '88년 12월부터 공급하고 있는 수도권 3단계, '92년 8월부터 공급하고 있는 수도권 4단계 그리고 '99년 2월부터 공급하고

있는 수도권 5단계 광역상수도가 있다. 본 연구에서는 이 중 수도권 1, 2단계와 3, 4 단계를 대상으로 전문가시스템을 구축하였다. 다음의 Fig. 3과 Fig. 4는 각각 수도권 광역상수도 1, 2단계와 3, 4단계의 관망을 나타내었다.

수도권 광역상수도 1, 2단계는 총 연장은 122.2 km이며, 관경은 1100~2800 mm이며, 관종은 도복장강관 및 주철관 등으로 구성되어 있으며, 관로의 절점은 고정수두절점을 포함하여 모두 45개의 절점이 있으며 이중 수요절점은 모두 14개이다. 또한, 취수장 및 가압장의 펌프 현황은 0번 절점과 1번 절점을 연결하는 1번관에 설치된 팔당 취수펌프장이 있으며, 가압장은 절점 15번과 절점 21번을 연결하는 관로 30번과 절점 15번과 절점 16번을 연결하는 관로 25번의 김포가압장 2곳과 절점 28번과 절점 29번을 연결하는 관로 38번에 과천가압장이 위치하고 있다. 수도권 광역상수도 3, 4단계의 관들은 절점을 기준으로 해서 모두 72개의 관로로 구분하였으며, 관경은 800~3800 mm까지 다양하게 있다. 취수장의 펌프현황은 3단계에서 2개의 펌프가 가동되고 있으며, 첫 번째는 0번 절점에서 1번 절점을 연결하는 1번관에 설치된 펌프와, 두 번째는 0번 절점에서 2번 절점을 연결하는 2번관에 설치된 펌프장이 있다. 4단계 역시 2곳의 취수펌프가 있으며, 첫 번째는 0번 절점에서 3번 절점을 연결하는 6번관에 설치된 펌프와, 두 번째는 0번 절점에서 4번 절점을 연결하는 7번관에 설치된 펌프가 있다. 다음의 Table 1은 1, 2단계의 펌프현황을 나타내고 있으며, Table 2는 3, 4 단계의 평상시 펌프현황을 나타내고 있다.

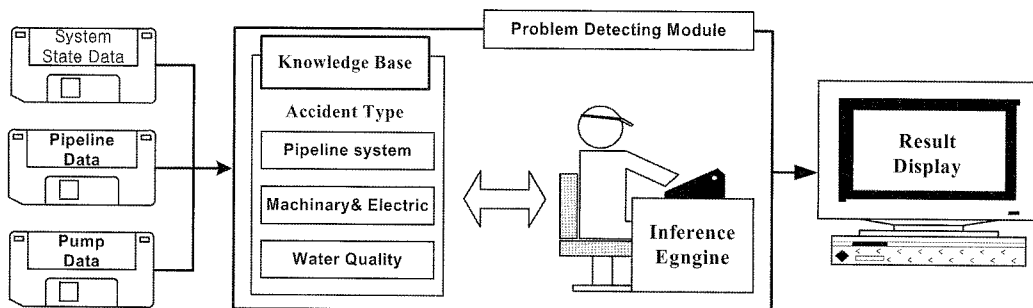


Fig. 2. General components of decision support system.

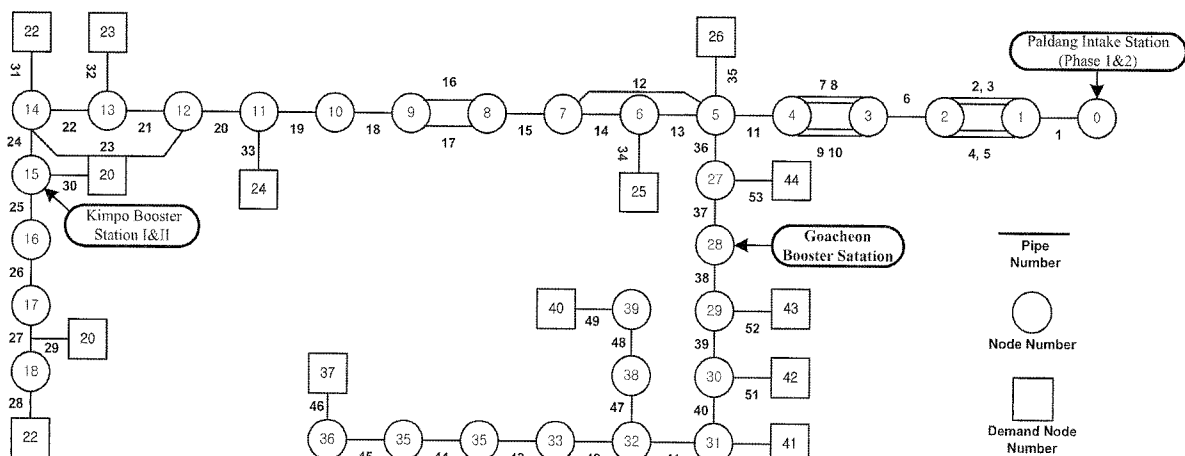


Fig. 3. Seoul metro water supply system, Phase 1 & 2.

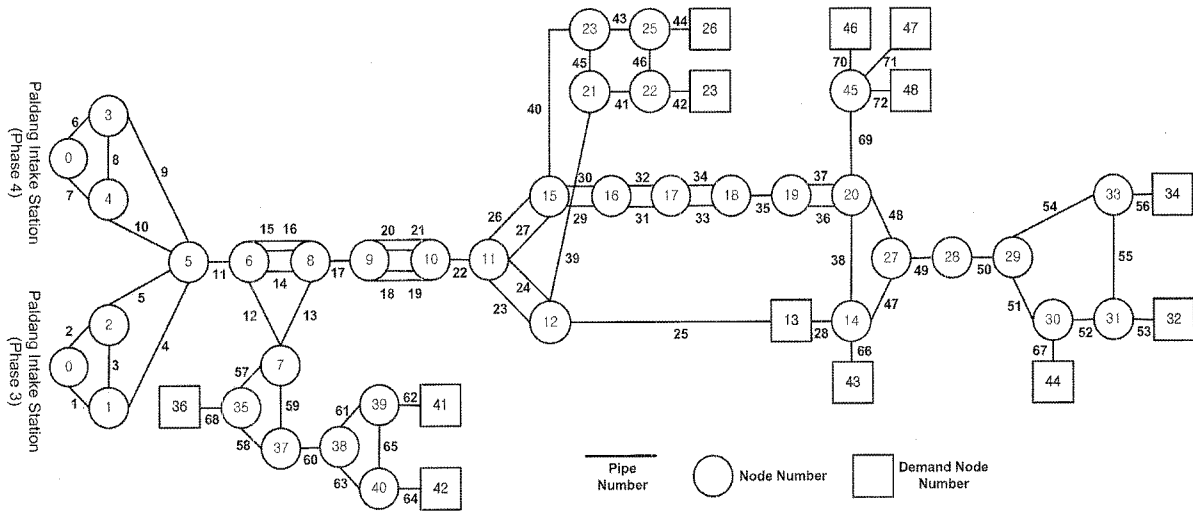


Fig. 4. Seoul metro water supply system, Phase 3 & 4.

Table 1. Available operating numbers of pumps, Phase 1 & 2

Pump station	Number of operating pumps	
	Usual case	Emergency case
Paldang Intake (Phase 1)	2680 HP × 5 ~ 6	2680 HP × 8
Paldang Intake (Phase 2)	2550 HP × 6 ~ 7	2550 HP × 10
Kimpo booster station	650 HP × 2	650 HP × 3
	550 HP × 1	550 HP × 1
	450 HP × 2	450 HP × 3
Gaocheon booster station	1500 HP × 3	1500 HP × 4
	800 HP × 1	800 HP × 2

Table 2. Available operating numbers of pumps, Phase 3 & 4

Pump station	Number of operating pumps	
	Usual case	Emergency case
Paldang Intake (Phase 3)	4600 HP × 4 ~ 5	4600 HP × 7
Paldang Intake (Phase 4)	5100 HP × 4 ~ 5	5100 HP × 7

### 3.2. 관로사고의 지식표현

관로사고의 지식표현은 크게 “누수 및 파손”과 관로에 설치된 다양한 밸브에 의한 “관압 이상”의 2가지로 분류하였다. Fig. 5는 관로사고의 나무구조(tree)구조 및 지식표현 예를 나타내었다.

“누수 및 파손”이 발생하면 통제실의 계기장치에서 유량을 검침하는 관로의 경우는 유량계 등의 계기로써 감지할 수도 있으나 대부분의 경우는 보통 주민의 신고 및 해당관청의 신고에 의해 사고발생시 응급조치를 취하게 된다. 일반적인 응급조치로는 가옥침수, 주요구조물 손괴방지 및 교

통소통에 지장이 없도록 유도 도로 등을 설치하고 사고지역에 대한 펜스, 안전표시판, 경광등 등의 안전시설물을 설치하여 사고파급을 방지하는 것이다. 통제실에서의 조치로는 우선 사고가 발생한 관로의 관경을 파악하여 사고 복구 시간을 산정하고 사고관로 주변의 by-pass관(사고가 발생한 관로의 주변 1~2 m 이내에 있는 관로) 혹은 tie관(by-pass관과 같은 역할을 하나 1~2 m 이상 떨어져 있는 관로) 등의 이용여부를 판단한다. 또한 단수여부를 수자원 기술공단과 협조하여 단수유무를 판단하며 관련기관과의 협조 및 통보를 조치할 수 있다. 그리고 사고가 발생한 관로로 인

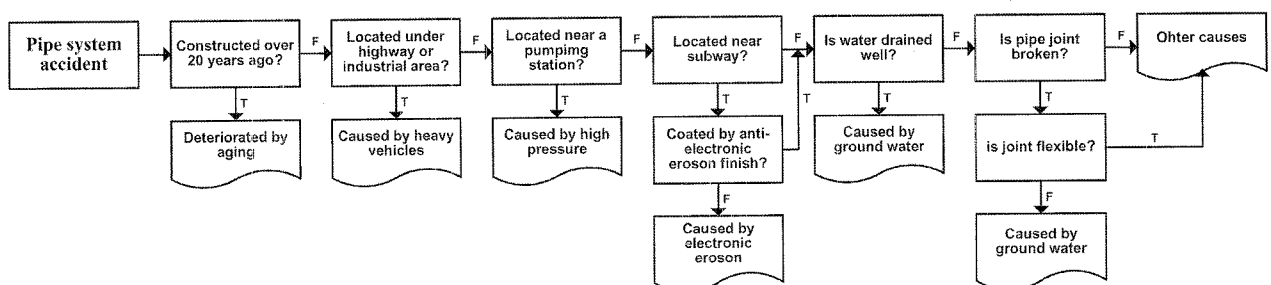


Fig. 5. Tree and Rule of problem detecting module for pipeline system accident.

한 관로 시스템의 통수능을 판단하여 부압이 발생하는 수요절점에 대해 가압장과 취수장의 펌프의 추가 운영을 결정할 수 있다. 따라서 사고가 발생한 관을 사용하지 못하는 상태에서 다른 나머지 관과 연결된 주요 수요절점의 용수를 공급하기 위해서는 관로사고의 누수 및 파손시 수리학적인 진단을 필요로 하며 또한 진단결과에 따라서 적절한 대처 방안을 제시해야 한다. 본 연구에서는 관망 수리해석 프로그램인 KYPIPE를 이용하여 관로사고에 따른 수요절점에서의 압력을 분석하였다. 특히 모든 관로에 대한 사고발생 경우에 대한 분석을 통해 부압(-)이 발생하는 주요 수요절점의 경우 이를 방지하기 위해 가압장의 적절한 펌프 운영조건을 전문가시스템에 제시할 수 있도록 구축하였다.

전문가 시스템에서 제시하는 펌프운영 조건은 다음 과정에 의해 결정되었다. 우선 각각의 관에 사고가 발생한 것으로 가정하여 해당 관거를 잠그어 나가면서 각 경우에 대한 수리해석을 KYPIPE를 이용하여 실시한다. 수리해석 결과 부압이 발생한 절점이 있는 경우, 취수장 및 가압장에서 현재 운영 펌프 이외에 몇 대의 펌프를 추가 가동해야 부압이 발생하지 않는지를 모의한다. 즉, 가상의 사고에 대한 수리해석을 통해 적합한 펌프운영 조건이 전문가시스템을 통해 제시하였다. 관로 사고로 인해 통수불능 지역이 발생하면, 단수를 실시하고 관로를 교체 또는 보수 등의 대처방법을 세울 수 있으나, 부압이 발생하는 경우 적절한 펌프운영만으로도 단수에 따른 피해를 최소화할 수 있을 것이다. 대상지역의 각 단계별 펌프가동에 대한 가정은 다음과 같다. 1, 2단계의 경우 팔당 1, 2단계 취수장(2680HP

×7기, 2550HP×8기)과 김포 가압장(관로 30번의 450HP×1기, 관로 25번의 650HP×2기 및 450HP×2기)의 펌프를 가동한다고 가정하였으며, 3, 4단계의 경우 팔당 3단계 취수장(관로 1번의 4600HP×2기, 관로 2번의 4600HP×3기)와 팔당 4단계 취수장(관로 7번의 5100HP×2기, 관로 6번의 5100HP×3기)의 펌프를 가동한다고 가정하였다. 이와 같은 가정에 따라서 관로사고 발생시 관망을 해석하여 추가 펌프가동 여부를 결정하였다. Table 3은 수도권 광역상수도를 구성하는 각 관로에 사고가 발생하여 수요절점에서 부압이 발생하거나 통수가 불가능한 경우, 수요절점에서 부압 발생방지를 위한 추가펌프 가동 현황을 나타내었다.

### 3.3. 전기/기계 시설 사고의 지식표현

전기/기계 시설 사고의 지식표현은 크게 2가지로 구분하여 펌프장에서 발생하는 기계시설과 취수장 운영을 위한 전기시설로 분류하였다. 전기시설부분은 변압기 고장 및 소손, 케이블 소손, 콘덴서 소손, 차단기 파손, 침수, 낙뢰로 6가지로 세부 구분하였으며, 펌프장설비는 임펠러 부식천공, 웨어링 마모, 웨어링 절단, 연결쇠 커플링 소손 및 임펠러 파손의 5가지로 세부 구분하였다. 각각의 경우에 대한 운영관리자 및 전문가의 지식과 경험을 이용하여 돌발사고시의 이에 적절한 대응방법을 전문가시스템으로 구축하였다. Fig. 6은 전기/기계 시설 사고의 나무구조 및 지식표현 예를 나타내었다.

전기시설은 전원 계통을 2중으로 하여 수도권 1, 2단계와 3, 4단계에 설치하여 운영하며, 비상시 정전사태에 대비하여 2중으로 구성된 전원시스템이 작동하도록 되어 있다.

Table 3. Additional operating numbers of pumps

Metro water supply system (Phase 1 & 2)			Metro water supply system (Phase 3 & 4)		
Accident Pipe No.	Pump location (Pipe Number)	Number of additional operating pumps (HP)	Accident Pipe No.	Pump location (Pipe Number)	Number of additional operating pumps (HP)
12	1	2680 × 1	25	1	4600 × 1
	30	650 × 1	26	1	4600 × 1
	25	450 × 1	35	1	4600 × 1
13	1	2680 × 1	57	1	4600 × 1
	30	650 × 1		7	5100 × 2
	25	450 × 1	58	1	4600 × 1
14	1	2680 × 1	59	7	5100 × 2
	30	650 × 1		1	4600 × 1
	25	450 × 1	61	1	4600 × 1
21	25	7		5100 × 2	
23	25	450 × 1	65	1	4600 × 1

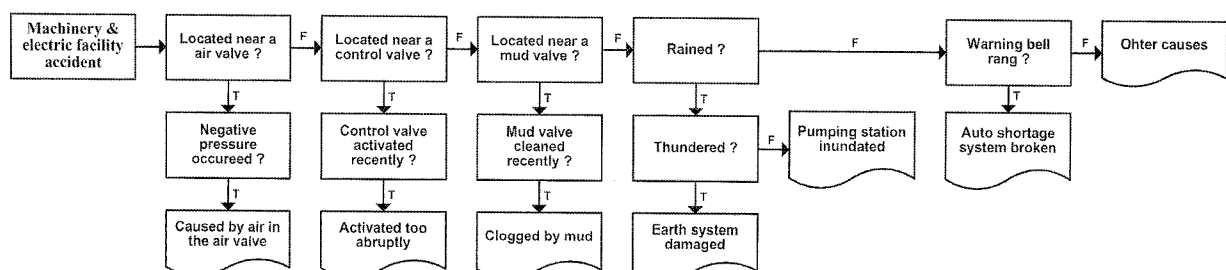


Fig. 6. Tree and rule of problem detecting module for machinery & electric facility accidents.

시스템은 상시 전원시스템과 비상전원시스템으로 구분되어 운전되며, 상시 전원시스템은 동서울 전용선로와 신장(하남) 전용선로를 이용하여 3, 4단계의 전력공급원과 1, 2단계의 전력공급원으로 각각 사용되고 있다. 비상시 운전방안은 동서울 선로 사고 발생 시에는 신장 전용선로에서 1, 2단계와 3, 4단계에 전력을 공급하며, 신장 선로 사고발생 시에는 동서울 전용선로에서 1, 2단계와 3, 4단계에 전력을 공급하는 방법으로 비상시에 대처하도록 되어 있다.

기계(펌프장) 설비는 취수펌프장 설비의 운영 및 관리를 말하며 특히 팔당댐의 1, 2단계와 3, 4단계의 취수장 펌프 시설에 대하여 발생하는 주된 문제점과 이상 원인을 찾아내어 문제점에 대한 대처방안을 모색하였다. 일반적인 펌프의 수명에 비해 대부분 상시 가동을 하는 취수장 펌프는 펌프수명이 보통 5년 정도인 것으로 보고되고 있으며 따라서 5년을 주기로 펌프의 신규교체가 요망되고 있는 실정이다. 펌프의 이상원인은 주로 펌프가동 시나 펌프 유지보수 시에 발견되며, 이를 보수 및 수리하는 경우가 대부분이다.

기계·전기시설의 사고발생시 응급조치는 사고발생에 따르는 2차사고(화재, 침수, 감전, 정전, 가스누출 등)로의 확대를 방지하기 위한 적절한 조치를 취하는 것이다. 사고내용에 따라 정상운전이 불가능하다고 판단되면, 지휘계통에 신속하게 보고하고, 전력 공급량을 조절한다. 단수 등의 조치가 필요한 경우는 협조기관에 통보하여 긴급복구를 하는 순서로 사고에 대처하고 있다.

3.4. 수질사고의 지식표현

취수중인 원수에 이상이 발견되면 이에 대한 대책이 강구되어야 하며, 본 연구에서는 수질사고의 유형을 기름띠 발생과 독극물유입 두 가지로 분류하였다. 기름띠 발생 시에는 취수구 주변의 유속판단 기준에 의한 사고 처리 방안을 강구하고 독극물 유입 시에는 통제실수조의 물고기 상태로 판단 대처하는 응급대처 방안을 전문가시스템으로 구축하였다. Fig. 7에는 수질사고의 나무구조구조 및 지식표현의 예를 나타내었다.

팔당호 주변에서 취수중인 원수에 기름띠가 발생하면 보통 신고 혹은 환경처 소속 팔당호 관리직원들에 의해 감지

되며, 취수중인 원수 유속이 5 m/sec 이하인 경우 즉시 유류 방지막을 3중으로 설치하고 흡착포를 살포하여 기름띠를 제거한다. 그러나 취수중인 원수의 유속이 5 m/sec 이상인 경우는 취수를 중단하고 이에 대한 응급조치를 취한다. 이러한 응급조치 후에 수질분석반 및 대책반을 편성하여 사고원인을 정밀하게 조사, 분석하여 대책을 수립한다. 사고에 따르는 단수가 불가피할 경우 단수계획을 즉시 수용가, 관련 지자체 및 협조기관에 통보하여 사고에 대한 적절한 대처를 하고 피해가 최소화되도록 한다. 부득이한 이유로 용수를 일시 공급할 수 없을 때에는 단수계획을 작성하여, 해당 수용가와 협의하고 단수일정을 단수 개시 1주일 전에 확정완료한다. 단수 일정이 확정되면 최소한 단수개시 1주일 전에 언론 매체를 통하여 단수 계획을 홍보하고 그 결과를 사업본부에 통보한다.

취수중인 원수에 독극물인 유입되는 경우에는 팔당댐 1, 2단계 및 3, 4단계 통제실의 수조에서 기르는 물고기의 이상 현상을 시각적 반응으로 즉시 감지할 수 있다. 현재 취수중인 원수가 물고기를 기르는 수조로 똑같이 공급되기 때문에 독극물에 의한 물고기의 반응으로부터 시각적 또는 후각적인 냄새에 의해 감지 및 식별할 수 있으며, 각각의 반응에 따른 원인 및 조치방법을 결정할 수 있다.

4. 시스템 적용 및 결과

구축된 전문가시스템을 ① 관로사고, ② 기계 및 전기시설사고 및 ③ 수질사고의 3가지 경우에 대하여 각각 적용하였다. 실제 사고가 발생한 사례에 시스템을 적용하려 하였으나 실제 사고처리의 대한 자료가 일반적으로 공개되지 않고, 자료의 획득이 어려운 관계로 본 연구에서는 각 경우에 대해 임의로 가정하여 적용하였다.

4.1. 관로사고 적용

다음 Fig. 8(a)~8(c)은 광역상수도 1, 2 단계의 절점 7번과 5번을 연결한 12번 관로에 파손이 발생한 경우 전문가 시스템 적용 결과를 나타내고 있다. 결과를 살펴보면, Fig. 8(a)에서는 사고가 발생한 관로의 제원 및 특징에 대해 간

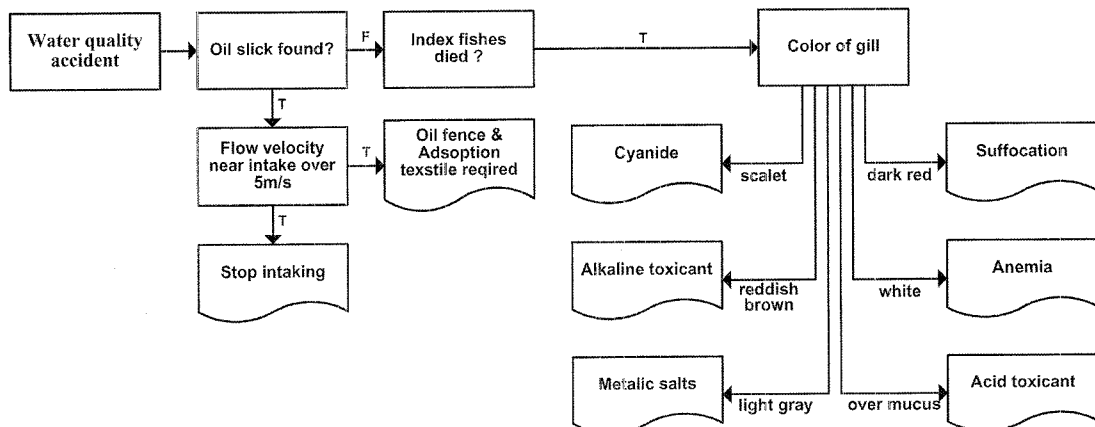


Fig. 7. Tree of problem detecting module for water quality accident.

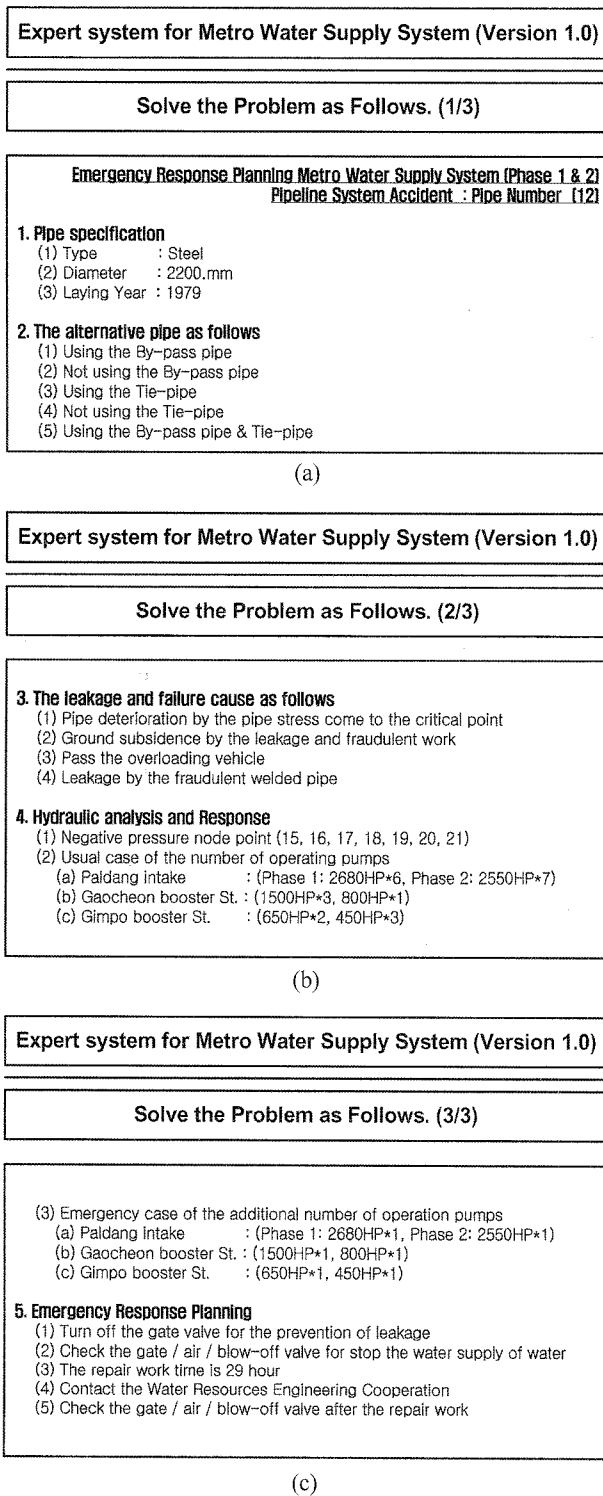


Fig. 8. Result of pipeline system accident.

략하게 설명하고 있다. 이는 운영관리가 기본적으로 사고 관료에 대한 정보를 알기 위함이며, 또한 가장 중요한 단수의 유무에 대한 빠른 의사결정을 돕기 위해, by-pass관이나 tie관의 유무를 나타내었다. Fig. 8(b)와 8(c)은 사고가 주로 발생하는 원인에 대해 나타내고 있으며, 특히, 사고발생에 따른 수리학적 검토를 수행한 결과 7개의 절점에서 부압(-)의 발생에 따른 펌프운영 대책을 제시하고 있다. 정상시의 취수장 및 가압장의 펌프운영 조건과 달리 사고발생에 따른 펌프운영 조건을 어떻게 할 것인지를 수리학적

검토결과를 바탕으로 제시한다. 또한 사고처리에 따른 복구 시간 및 복구반 지원 및 연락체계도 전문가시스템에 의해 제시가 가능하다.

4.2. 전기/기계 시설 사고 적용

전기시설의 차단기 파손 시에 대한 전문가시스템 적용 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 결과를 살펴보면 우선적으로 차단기와 관련된 중요한 자동밸브 작용유무를 확인하라는 경고 메시지와 함께 차단기 파손의 주요 원인에 대해 제시하고 있으며, 운영관리자로 하여금 즉시 대처해야 할 주요 사항에 관해 텍스트로 제시하고 있다.

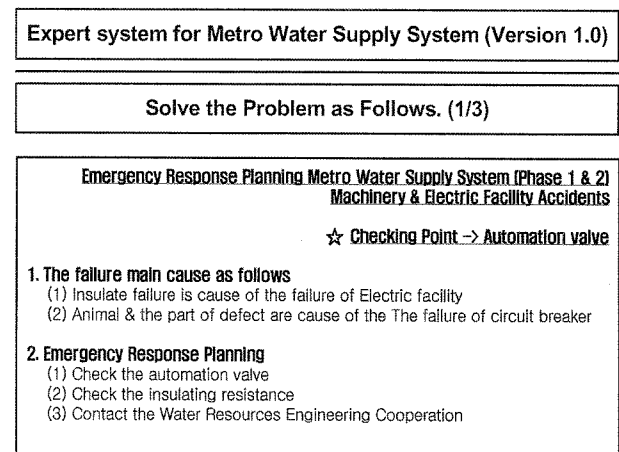


Fig. 9. Result of machinery & electric facility accidents.

4.3. 수질사고의 적용

취수장 주변에 기름때가 발생한 경우 전문가시스템의 적용결과를 Fig. 10에 나타내었다. Fig. 10에 나타난 것과 같이 전문가시스템은 취수장 주변의 유속이 5 m/sec 이상으로 취수구 주변의 응급처치가 어려운 관계로 취수를 중단하고 이에 따른 단수 유무 판단 및 협조기관의 연락을 취하도록 대처 방안을 제시하고 있다.

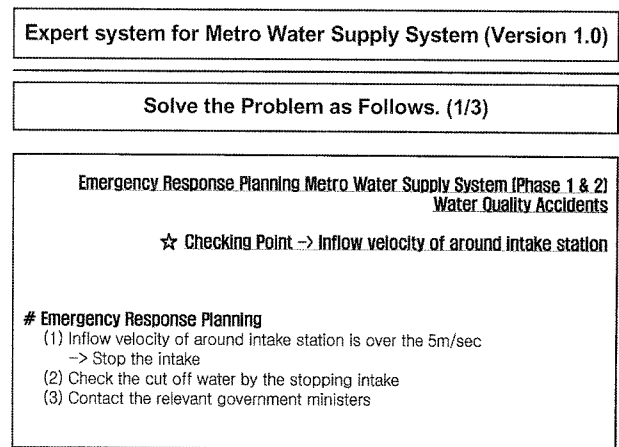


Fig. 10. Result of water quality accident.

5. 결론 및 추후 연구과제

1) 본 연구에서는 광역상수도 운영관리에 있어서 돌발적인

- 비상사태를 ① 관로사고, ② 기계 및 전기시설사고 및 ③ 수질사고의 3가지로 구분하여 이에 따른 비상시 대처방안 및 운영조작 방안을 제시하기 위한 전문가시스템을 구축하였다.
- 2) 전문가시스템을 사용함으로써 얻게 되는 장점은 돌발사고에 대비한 체계적인 의사결정기구를 미리 보유하게 되어 비상시 신속하게 대응할 수 있다는 점이며, 경험과 지식의 지속적인 수정 및 축적을 통해 운영관리자의 교육에 있어서 실제 상황에 대비한 의사결정의 실습에 도움이 된다는 것이다.
- 3) 본 연구에서 개발된 수도권 광역상수도 전문가시스템은 각 분야의 전문가들의 지식과 경험을 체계적으로 수집하여 지식베이스 내에 정리하고 이 전문지식에 의거하여 의사결정을 내리게 되므로 실제로 각 분야의 전문가가 한자리에 모이지 않은 상황에서도 합리적이고 효율적인 운영관리 및 비상시 대처방안을 제시할 수 있게 하였다.

그러나 본 연구에서 수행한 전문가시스템을 이용한 광역상수도의 비상시 운영관리 및 대처방안은 아직은 초기단계로서 일부 제한적인 요소를 가지고 있으며, 더욱 다양한 비상시 대처방안이 제시되어야 할 것으로 생각된다. 즉, 앞으로 보다 더 많은 지식베이스가 수집, 정리, 확장 및 구축되어 보다 다양한 비상시 운영방안에 대한 진단 및 대처방안이 축적된다면 방대한 광역상수도의 비상시 대처 운영방안을 보다 더 합리적으로 결정할 수 있으리라 판단된다. 또한 실제 모니터링을 통해서 수집되는 광역상수도의 다양한 실시간 정보를 제어하는 시스템과 연계하여 종합적인 시스템으로 구축한다면 더욱 완벽한 광역상수도의 효율적인 운영 및 비상시의 대처방안 수립이 가능할 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 한국과학재단의 목적기초연구(과제번호 : R01-2004-000-10362-0)의 지원으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 김화수, 조용범, 최중욱, *전문가시스템*, 집문당, pp. 1-5 (1998).
- 배덕호, 한건연, 최철관, Avenue를 활용한 수질매개변수 추정 전문가시스템 개발, *한국수자원학회논문집*, **35**(2), pp. 161-171 (2002).
- 심순보, 이희승, 고덕구, 김만식, 가뭄시 충주 및 소양강댐 저수지 연계운을 위한 경험지식기반 전문가시스템 개발, *대한토목학회논문집*, **17**(II-4), pp. 347-357 (1997).
- 윤재홍, 최두용, 우형민, 김주환, 상수도 배수관망의 진단 및 관리 시스템, *대한토목학회 학술발표회 논문집III*, pp. 153-156 (2000).
- 윤동환, 이순탁, 수자원관리에 있어서 전문가시스템 응용에 관한 연구, *한국수자원학회 학술발표회 논문집*, pp. 251-256 (1998).
- 이경훈, 오창주, 강용덕, 관망제어를 위한 밸브 탐색 알고리즘, *상하수도학회지*, **15**(3), pp. 222-228 (2001).
- 이범희, 이길성, 매개변수 추정방법의 개선을 위한 전문가 시스템의 개발, *한국수자원학회논문집*, **31**(6), pp. 641-655 (1998).
- 한국수자원공사 관리본부 수도권리처, 수도 사고시 업무처리 절차, 한국수자원공사 (1996).
- Chae, M. J. and Abraham, D. M., Neuro-fuzzy Approaches for Sanitary Sewer Pipeline Condition Assessment, *J. of Computing in Civil Engineering*, **15**(1), pp. 4-14 (2001).
- Chang, T. J., Zheng, H., Kleopa, X. A. and Teoh, C. B., Development of an Expert System for Daily Drought Monitoring, *J. of Computing in Civil Engineering*, **10**(1), pp. 20-24 (1996).
- Hahn, M. A., Palmer, R. N., Merrill, M. S. and Luksa, A. B., Expert System for Prioritizing the Inspection of Sewers: Knowledge Base formulation and Evaluation, *J. of Water Resources Planning and Management*, ASCE, **128**(2), pp. 121-129 (2002).
- Leon, C., Martin, S., Elena, J. M. and Luque, J., EXPLOPE-Hybrid Expert System for Water Networks Management, *J. of Water Resources Planning and Management*, ASCE, **126**(2), pp. 65-74 (2000).
- Minagawa, M., Satoh, S. and Kamitani, T., Prototype Diagnosis Expert System with Knowledge Refinement Function, *J. of Computing in Civil Engineering*, **15**(2), pp. 112-117 (2001).
- Shepherd, A. and Ortolano, L., Water-supply System Operations: Critiquing Expert-system Approach, *J. of Water Resources Planning and Management*, ASCE, **122**(5), pp. 348-355 (1996).
- Tah, J. H. M. and Carr, V., Knowledge-based Approach to Construction Project Risk Management, *J. of Computing in Civil Engineering*, **15**(3), pp. 170-177 (2001).