산업설비 안전관리를 위한 지능형 원격감시 제어 통합시스템 연구

이성열* · 양찬범* · 양석훈* · 박영택** · 이승룡***

A Study on Integrated Intelligent SCADA System for Industrial Facilities Management

Sung-Yull Lee* · Chan-Bum Yang* · Suk-Hoon Yang*
Young-Tack Park** · Sung-Young Lee***

요 약

사회 기간산업이라 할 수 있는 전기, 가스, 석유등의 대단위 산업 설비들은 사고 발생시 대량의 인명, 재산 피해를 가져오기 때문에 고도의 안전관리 시스템 하에서 운용되고 있다. 이러한 기존 산업설비들의 안전관리는 서로 분산, 독립적인 안전관리 시스템들을 사용하고 있다. 분산, 독립적인 안전관리 시스템은 산업설비에 대한 사고나 고장발생시 대부분 사람에 의존한 상황처리 작업을 수행하게 된다. 즉, 사고가 발생하면 다른 안전관리 시스템들을 확인하고 그 결과를 통합하는 과정을 거쳐 상황처리에 대한 대책을 세우게 된다. 이러한 과정은 추가적인 인력소모와 시간소모가 발생하게 되고 상황처리자의 미숙한 상황처리로 인한 사고가 발생하기도 한다. 본 논문에서는 이러한 독립 안전관리 시스템의 단점을 극복하고 사고 발생시 신속, 정확하고 효율적인 상황처리를 위해 개별적인 안전관리 모니터 시스템들을 통합하는 방법을 제시한다. 또한 기존의 독립적이고 단편적인 상황추론을 극복하고자 통합된 지식베이스와 모니터 시스템들의 실시간 자료에 근거한 블랙보드 기반의 제어지식을 이용하여 종합적인 상황추론을 수행한다. 이를 위하여 각 시설물들에 대한 고장진단 시스템을 포함하는 지능형 원격감시 제어 통합시스템을 제안한다.

Key words: 통합 진단 시스템(Integrated Diagnostic System), 시설관리 시스템(Facilities Management System), 지능형 통합 SCADA 시스템(Integrated Intelligent SCADA System),

* 숭실대학교 컴퓨터학부 석사과정
** 숭실대학교 컴퓨터학부 교수
*** 경희대학교 전자정보학부 교수

1. 서 론

현재 SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition) 시스템은 시설물 모니터 시스템의 하나로 대규모의 복잡한 산업 설비로부터 지속적이고, 상세한 감시가 필요한 부분에 널리 쓰이고 있다. 이는 기존의 사람이 해오던 시설물 감시 제어 기능을 자동화 한 것으로 많은 인력과 자원, 시간을 단축시킴과 동시에 자동화에 따른 여러가지 편이성을 제공하게 되었다. 그러나 기존의 SCADA 모니터 시스템은 단순히 설치 기기에서 전해오는 SCADA 신호만을 상황실 근무자에게 전달한다. 이러한 SCADA 모니터 시스템은 사고 발생 위치와 사고의 종류 등과 같은 획일적인 사항만을 상황실 근무자에게 전달하고 이에 따른 상황처리나 대처방안은 상황실 근무자의 전문가적 지식에 의거해서 처리하도록 구성되어 있다. 이와 같이 사용자의 전문적 지식에 전적으로 의지하는 시스템은 다음과 같은 문제점에 노출될 수 있다.

- 전문가의 부재에 따른 미숙한 상황 판단
- 시스템간 상황처리 통합과정에서 발생하는 판단 오류
- 시스템간 상황처리 통합과정에서 발생하는 시간지연문제

이와 같은 문제점들은 상황실 근무자에게 사고상황의 자료만을 전달하고 상황 처리에 필요한 제반사항들을 효과적으로 통합하여 전달하지 못하는 독립형 안전관리 시스템의 문제점이라 할 수 있다. 이러한 문제를 해결하고 효율적인 안전관리 시스템을 구성하기 위해서, 본 논문에서는 독립형 안전관리 모니터 시스템들을 통합한 지능형 원격감시 제어 통합시스템을 제안한다.

통합되는 모니터 시스템들은 이동체의 위치 정보를 표시하는 GPS(Global Position System), 사고 발생 시설물과 시설물들의 정보를 표시하는 GIS(Geographic Information System), 시설 사용자의 정보를 알려주는 CIS(Custom Information System), 시설물에대한 원격 감시 제어 SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition) 시스템으로 구성된다. 통합된 모니터 시스템들은 블랙보드기반의 진단추론 시스템과 연결되어 사고 상황에 대한 종합적인 처리 방안을 제공한다. 상황실 근무자는 이러한 통합 환경을 통하여 사고 발생시 사고 원인에서 상황처리 방법에 이르는 종합적인 시설물 안전관리 시스템을 제공받을 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 지능형 원격감시 제어 통합시스템의 관련연구를 설명한다. 3장에서는 시스템의 전체 구조를 설명하고, 4장에서는 독립형 시스템 통합을 위한 통합 계층 구조와 각 모니터 시스템들의 통합과정을 설명하고, 5장에서는 본 시스템에서 사용한 진단추론 시스템과 지식베이스에 관하여 설명한다. 6장에서는 도시가스 모델에 적용된 시스템 구현에 대해서 설명한다. 마지막으로 7장에서는 본 논문의 결론과 향후연구방향을 제시한다.

2. 관련연구

산업시설 안전관리를 위한 시스템은 시설물의 형태에 따라 여러 시스템으로 나누어진다 [2,3,4,5,6]. 하지만, 각 시설물들의 관계 영역에 따라 독립적인 시스템이 구성되어 상호 호환성과 범용성이 결여되어 왔다. 이러한 독립 시스템들은 시설물의 규모가 커짐에 따라 서로의 기능들을 요구하게 되고 통합성을 요구하게 되었다[4,5,6,12].

2.1 Integrating AI Applications in EMS

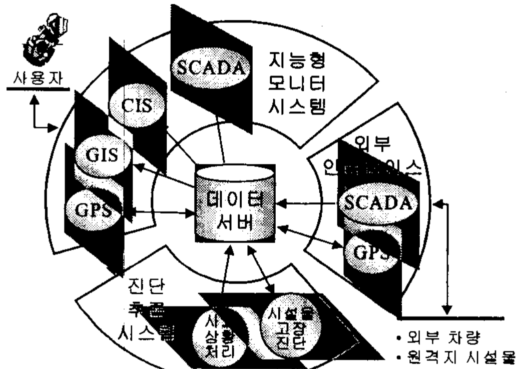
EMS(Energy Management System)영역에서는 이미 구축되어 있거나 새로이 구축되는 여러 지능형 안전관리 시스템들을 하나로 묶어 통합 시스템을 구축하려는 연구가 진행되고 있다. 이러한 통합 시스템 구축을 위해서 안전관리 시스템들을 효과적으로 통합하기 위한 방법과 그에 따른 ODE(Operator Decision Environment) 모델을 제시하고 있다[1]. ODE 모델에서는 통합되는 안전관리 시스템의 종류를 지능형 경보 처리 (Intelligent alarm processing), 고장 진단(Fault diagnosis), 상황 처리(Power-system restoration) 의 3가지 종류로 구분하고 이를 Database layer, Data-access layer, Application layer, Decision layer의 4가지 계층으로 분리하였다. 각 계층은 기존의 EMS에서 사용되었던 여러 지능형 시스템들과 데이터베이스들을 효율적으로 통합하는 환경을 제공하게 되며 새로이 추가되는 시스템에 대한 인터페이스를 정의한다. ODE 모델은 개별 시스템들을 통합할 수 있는 환경을 제안했다. 하지만 지능형 시스템들의 통합에 중심을 두고 있기 때문에 이미 사용중인 GPS, GIS등의 단순 모니터 시스템과 지능형 시스템간의 통합 모델에는 부적합하며, 이러한 시스템들에 대해 보다 발전된 통합시스템 모델 제시가 필요하다.

2.2 SOCRATES

SOCRATES는 포르투칼의 전력망 감시 제어 시스템인 SPARSE 시스템과 통합 개발된 지능형 시스템으로 상황실 근무자의 상황판단과 처리를 돕기 위해 개발되었다[3]. SOCRATES는 전문가들의 경험적 지식과 전력망 시스템에 대한 모델기반지식을 바탕으로 사고 발생시 SPARSE 시스템에서 전송되는 정보를 분석하여 상황실 근무자의 상황판단과 상황처리에 도움이 되는 정보를 추천하여준다. SOCRATES의 추론 방식은 경험적 지식과 모델기반 지식을 바탕으로 전방추론을 수행한다. 이러한 추론 방식은 대단위 데이터에 대한 신속한 추론을 수행하는 장점이 있지만 갑작스런 문제 영역의 변화에 대해서는 부적절한 단점이 있다. 또한 추론을 위하여 입력되는 정보의 종류도 시스템의 상태 정보에 국한되기 때문에 주변상황을 고려한 종합적인 추론결과로는 부족하다. 본 논문에서 제안하는 통합시스템은 동적인 추론을 위하여 블랙보드 기반의 제어지식을 이용하며 독립 시스템에서 입력되는 실시간 정보를 통합하여 종합적인 추론 결과를 상황실 근무자에게 추천할 수 있다.

3. 통합 시스템 구조

본 논문은 독립형 안전관리 모니터 시스템들을 통합하여 복잡한 대단위 설비들을 정확하고 효율적으로 감시, 제어하기 위한 지능형 원격감시 제어 통합시스템을 제시한다. 시스템의 구성



〔그림 1〕 지능형 원격감시 제어 통합시스템 구조

은 데이터 서버, 지능형 모니터 시스템, 진단 추론 시스템, 외부 인터페이스로 구성된다. [그림 1]은 지능형 원격감시 제어 통합시스템의 전체 구조를 보여주고 있다.

데이터 서버는 각 모니터 시스템의 실시간 데이터와 고장진단 시스템을 위한 지식 베이스를 통합하고 유지하는 역할을 한다. 독립형 모니터 시스템들을 통합하는 것은 해당 어플리케이션들의 통합뿐만 아니라 그에 따르는 데이터 베이스 간의 연결과 통합을 의미하기도 한다. 그러나 독립형 모니터 시스템들은 그 자체적으로도 대용량의 데이터 베이스를 유지하고 있기 때문에 통합 시스템의 데이터 서버가 기존의 모든 데이터 베이스를 통합하고 유지, 관리한다는 것은 효율성과 비용면에서 어느 정도 한계가 있다. 또한 통합 시스템의 지능형 모니터 시스템에서 필요로 하는 자료들은 기존의 모든 데이터 베이스 자료들을 필요로 하지 않고 있다. 이러한 이유로 인해 새로이 통합되는 데이터 서버는 각 독립형 모니터 시스템들에게서 필요한 자료만을 추출하여 재 사용하고 필요에 따라 데이터 서버에 저장할 수 있는 기능을 갖추고 있어야 한다. 데이터 서버의 구성은 GIS, GPS, CIS, SCADA 시스템의 데이터 베이스와 진단추론 지식베이스로 구성된다.

지능형 모니터 시스템은 통합 시스템과 사용자와의 인터페이스가 이루어지는 부분이다. 사용자에게 통합된 모니터 시스템 환경을 제공하기 위하여 기존의 따로 분리되어 사용되었던 GPS, GIS, CIS, SCADA 모니터 시스템을 통합한 지능형 모니터 시스템이 구성된다. 각 독립 시스템들은 통합 표시창을 통하여 모니터 상황을 나타내기 위한 규격화된 정보를 지능형 모니터 시스템에게 보내준다. 이때 필요한 정보나 자료들은 데이터 서버에서 취하게 되며 GPS, SCADA 모니터 시스템의 실시간 데이터에 대한 외부 인터페이스도 데이터 서버를 통하여 이루어진다. 또한 사고상황 처리와 시설물 고장진단시 사용자의 요구사항이나 입력정보를 진단추론 시스템으로 보내주고 추론 결과를 지능형 모니터 시스템을 통하여 사용자에게 보여주게 된다. 지능형 모니터 시스템은 사용자에게 보다 편리하고 정확한 상황판단과 상황처리를 가능하게 해 주며 사용자와 통합 시스템간의 실질적인 인터페이스를 제공한다. 지능형 모니터 시스템은 통합된 환경의 상황처리 시스템을 사용자에게 제시함으로써 사고상황 발생시 상황실 근무자의 추가적인 정보검색 부담을 줄이며, 상황판단 처리에 있어서 진단추론 시스템을 활용하여 정확한 상황처리에 도움을 준다.

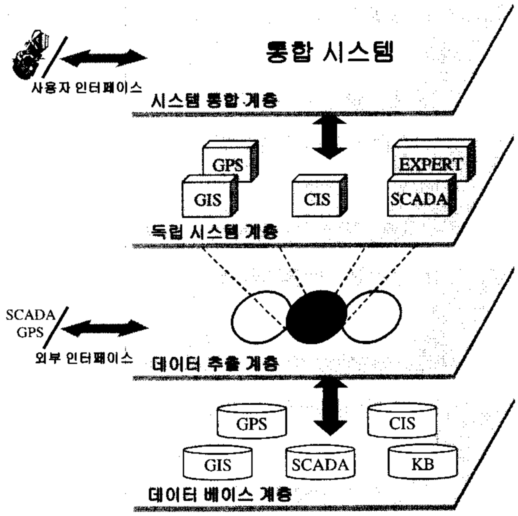
지능형 원격감시 제어 통합시스템은 사고상황에 대해 적합한 상황처리 방법과 시설물에 대한 고장진단 결과를 사용자에게 제공한다. 이를 위하여 진단추론 시스템이 사용되었다. 진단추론 시스템은 사고 발생시 지식베이스와 사용자로부터 입력되는 기초 자료를 근거로 지능형 모니터 시스템과 외부 인터페이스에서 입력되는 여러 자료들을 검색하여 블랙보드 기반의 제어지식 추론 구조를 사용한 상황처리 추론을 수행한다. 또한 시설물에 설치된 SCADA 센서에서 입력되는 신호를 기반으로 시설물에 대한 고장진단 추론을 하게된다. 진단추론 시스템에 관해서는 5절에서 자세히 설명하겠다.

각 모니터 시스템들의 외부 인터페이스 통합에는 기존의 인터페이스 설비들을 유지하며 입력되는 자료들을 통합하는 방식을 취하였다. 이러한 이유는 모니터 시스템들을 통합하여도 기존에 설치되어 있는 인터페이스 시설들은 계속 유지를 하고 사용하여야 하기 때문이다. 외부 인터페이스를 통하여 입력되는 자료들은 데이터

서버를 거쳐서 해당하는 모니터 시스템으로 분배된다.

외부 인터페이스에서 입력되는 자료는 SCADA와 GPS 모니터 시스템의 실시간 현장 자료가 입력된다.

위에서 설명한 통합 시스템 구성은 사고상황 발생시 추가적으로 요구되는 각종 상황판단 자료들을 사용자에게 통합적으로 제시하여 주기 때문에 사고상황 판단과 이에 대응하는 상황처리에 걸리는 시간을 단축시킬 수 있다. 또한 사고 발생시 진단추론 시스템의 종합적인 추론에 의한 상황판단과 상황처리 내용을 사용자에게 제시하여 상황실 근무자의 판단 오류와 판단 미숙과 같은 오류를 사전에 방지할 수 있다.



〔그림 2〕 독립 시스템 통합을 위한 계층구조

4. 통합 계층 구조

4.1 계층 구조

독립형 안전관리 시스템들을 하나로 통합하는 것은 그리 간단한 문제는 아니다. 통합되는 독립형 시스템들은 이미 해당 시설물에서 사용되고 있으며 그 역할을 충분히 하고 있다. 이러한 시스템들의 통합을 위해서는 각 독립형 시스템들을 통합될 기능에 따라 재정의 하고 시스템의 어느 부분이 공통적이며 어느 부분이 삭제되어야 하는가를 신중히 결정해야 한다. 이러한 결정을 위해서 통합될 독립 시스템들을 계층 구조로 나누어 각 계층의 역할을 정의하며, 이에 따르는 통합 구조를 유기적으로 설계할 수 있어야 한다. [그림 2]는 본 논문에서 제안하는 독립 시스템 통합을 위한 계층 구조이다. 그림에서 알 수 있듯이 독립형 안전관리 시스템들을 하나로 통합하기 위하여 각 시스템 요소들을 4개의 계층구조로 나누고 이러한 계층구조의 유기적 연결을 보여주고 있다.

- 데이터 베이스 계층 : 독립 시스템들의 데이터 베이스들을 하나로 묶어 주는 기능을 한다. 기존의 독립 시스템들이 유지하고 있는 데이터베이스의 방대함과 다양성 때문에 모든 데이터베이스를 한곳에 저장하기에는 어려움이 있다. 이러한 이유로 인해 데이터베이스 계층에서는 각 데이터베이스의 성격과 역활등에 관한 상세 정보를 유지하며 데이터 추출계층으로부터의 요구를 지원하는 기능을 한다.
- 데이터 추출 계층 : 데이터 베이스 계층과 외부인터페이스에서 들어오는 자료들 중에서 각 독립 시스템과 통합 시스템에서 필요로 하는 의미있는 자료들만을 추출하여 상위 계층에 제공하는 역활을 한다. 의미있는 데이터의 추출을 위하여 독립 시

스템 계층에 존재하는 각 시스템들의 정보와 이에 따르는 데이터 베이스 계층의 정보를 필터링 하는 기능을 수행하며, 외부 인터페이스에서 입력되는 실시간 정보를 상위 계층으로 알려주는 역할을 한다. 앞에서 설명한 데이터 베이스 계층과 데이터 추출 계층은 데이터 서버에서 구성되어 진다.

- 독립 시스템 계층 : 독립 시스템들의 상호 관계성을 정의하고 통합 시스템 계층에서 필요로 하는 기능들을 중심으로 독립 시스템을 재배치 시킨다. 독립 시스템의 재배치를 위하여 각 시스템의 고유영역과 역할을 재 정의할 필요가 있으며 중복 또는 불필요한 기능을 배제시키는 역활을 한다. 이것은 기존의 독립 시스템들이 가지고 있는 고유한 역활과 기능을 유지하며 시스템 통합 계층의 효율성을 확보하기 위한 것이다. 독립 시스템 계층을 구성하는 시스템들에 대해서는 4.2절에서 자세히 설명 하겠다.
- 시스템 통합 계층 : 하위 모든 계층들을 통합하는 통합 시스템을 정의하고 이들간의 인터페이스와 사용자와의 인터페이스를 정의한다. 시스템 통합 계층은 지능형 모니터 시스템을 통하여 구성된다.

위에서 설명한 계층 구조는 통합 시스템의 독립성(Independence)과 모듈화(Modularity)를 보장하기 위한 것이 최대 목표이다. 기존의 독립형 안전관리 시스템들은 이미 시설물에 대한 안전관리 기능을 수행하고 있기 때문에 각 시스템들의 독립성 보장과 모듈화 작업은 통합 시스템의 중복성을 방지하고 확장과 유지보수의 용의성을 보장한다.

4.2 계층 구조에 따른 독립형 시스템 통합

통합 계층 구조는 각 계층별로 독립형 시스템들의 독립성을 보장하며 모듈화 방식으로 통합되는 것이 바람직하다. 이러한 통합 계층구조에 따라 각각의 독립형 GIS, GPS, CIS, SCADA 모니터 시스템들은 지능형 모니터 시스템으로 통합된다. 다음은 본 논문의 통합 시스템구축에서 사용된 독립형 시스템들의 기능 정의와 기능에 따른 통합과정, 역할 등을 도시가스 시설물 모델에 적용시켜 설명하겠다.

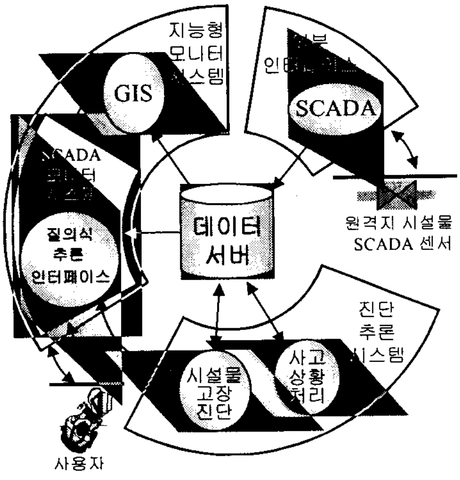
- GIS(Geographic Information System)는 지리적 자료를 수집, 저장, 분석, 출력 할 수 있는 컴퓨터 응용 시스템으로 지형공간에 관한 정보를 컴퓨터에 저장하고 이를 바탕으로 인간이 사는 공간과 관련된 의사결정을 효율적으로 하기 위한 목적의 시스템이다[5,10,12]. 도시가스 모델에서 사용하는 GIS 모니터 시스템은 기본적으로 도시가스 시설물에 관한 정보를 보관하고 있으며 상황처리에 필요한 핵심정보를 제공한다. GIS 모니터 시스템은 배관의 위치, 압력, 직경, 사고이력, 시공업체 등의 배관에 관한 정보와 밸브의 위치, 압력 등의 밸브에 관한 정보, 그리고 정압기에 관한 정보를 유지하고 있다. 배관에서 가스 누출사고가 발생 시에 가스 누출 배관의 압력이 중압 또는 저압인지에 따라서 상황 처리의 절차가 달라지므로 GIS 모니터 시스템의 시설물 정보는 상황처리 추론에 있어서 제어지식에 해당하는 중요한 정보를 제공한다. 시스템 통합을 위하여 사용하는 GIS 모니터 시스템의 데이터로는 두 가지 종류가 있다. 하나는 화면에 보여

지는 시설물을 표시할 점, 선, 면에 대한 도형 정보와 시설물의 정보를 도형에 저장하는 속성정보이다. 지능형 모니터 시스템의 통합 표시창에 표현되어지는 GIS 데이터들은 시설물의 위치와 주변환경, 시설물간의 연결구조 등을 표현하는 기본 정보가 된다.

- GPS(Global Position System)는 위치정보 시스템으로 차량, 선박, 항공기 같은 이동체에 설치되어 이동체의 위치 정보를 실시간으로 추적하는 시스템이다[11]. 도시가스 모델에서 사용하는 GPS 모니터 시스템은 시설물 순찰차량과 유지보수 차량들의 위치와 작업상황, 탑승자들의 정보들을 모니터하고 있다. 이러한 정보는 상황실 근무자가 지능형 모니터 시스템을 이용하여 사고상황을 처리할 때 사고지점 부근 차량들의 정확한 위치 정보와 상태 정보를 알려주어 신속한 상황처리를 도와준다. 각 차량들의 GPS 자료는 외부 인터페이스를 통하여 데이터 서버로 실시간 입력되게 된다. 사고 발생시에는 데이터 서버에 입력되는 실시간 GPS 자료로부터 각 차량들의 정보, 사고 위치, 차량간의 거리, 탑승자 정보등이 추론 시스템으로 넘겨져서 사고 위치에 출동시킬 차량 리스트를 우선 순위별로 알려주게 된다. 이때 이용되는 상황 추론에는 탑승자의 경험, 특기사항등이 함께 고려된다. 사용자는 추론된 차량과 전문가 정보를 참고로 하여 해당 차량에게 출동 지시를 내리게 된다. 또한 GPS 외부 인터페이스를 통하여 종합적인 사고 개요와 상황처리 지시를 해당차량에게 전달할 수 있다.
- CIS(Custom Information System)는 시설물을 사용하는 사용자 정보를 관리하는 시스템이다[6]. CIS 모니터 시스템이 보관하고 있는 정보로는 사용자 주소, 사용자 이름, 전화번호, 시설사용 기기등에 관한 정보를 보관하고 있다. 도시가스 모델에서 사용되는 CIS 모니터 시스템은 이러한 정보를 바탕으로 사고 발생시 해당 사고지점의 시설물 사용자 정보를 진단추론 시스템에게 넘겨준다. 진단추론 시스템은 시설 차단이 필요한 사용자들을 추론하고 추론된 결과를 지능형 모니터 시스템을 통하여 상황실 근무자에게 알려주게 된다. 도시가스 모델의 예에서 진단추론 시스템이 CIS 모니터 시스템의 정보를 필요로 하는 시기는 해당 사고지점의 가스 밸브를 차단해야 한다는 추론에 도달했을 때이다. 진단추론 시스템은 가스 밸브를 차단해야 한다는 추론결과와 함께 밸브를 차단했을 때의 가스공급 차단세대에 관한 정보를 지능형 모니터 시스템으로 넘겨준다.
- SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition) 시스템은 원거리 시설물의 원격감시 제어를 위한 모니터 시스템이다[2,4,5,12] 이 시스템은 시설물 안전관리 시스템의 하나로 구축되어 사용되고 있는 시스템으로 원거리 시설물에 제어설비를 설치하여 유선통신망을 이용, 상황실에서 원격으로 시설물의 상태를 24시간 감시, 제어하는 시스템이다. SCADA 모니터 시스템은 다른 모니터 시스템들과는 달리 현장설비 자체에 센서와 제어설비를 부착하여 동작한다. 도시가스 모델에서 SCADA 시스템이 사용된 정압기시설에서는 배관 압력, 정압기의 1, 2차 압력, 가스누출, 출입문의 개폐 여부와 기타 동작 상태를 파악할 수

있는 여러 데이터들이 SCADA 센서를 통하여 모니터 된다. 이와 같이 현장설비에서 입력된 데이터는 SCADA 외부 인터페이스와 데이터 서버를 통하여 SCADA 모니터 시스템으로 전달되어 지능형 모니터 시스템으로 통합된다.

통합 과정에서 나타난 SCADA 시스템의 취약점은 사용자 인터페이스 부분에 있어서 나열식 인터페이스라는 취약점을 지니고 있었다. 이와 같은 인터페이스는 상황실 근무자에게 정압기 시설물에 대한 상당한 전문가적 지식을 요구하게 되었다. 지능형 모니터 시스템에서 사용하는 SCADA 인터페이스는 통합 환경을 통하여 이러한 취약점을 극복한다. 이를 위하여 GIS 시스템의 정보와 멀티미디어 정보를 이용한다. GIS 시스템은 해당 시설물과 연계된 시설물에 대한 배관망이나 위치정보 등을 자동적으로 제공하여 주며 시설물들이 부호화되어 표시된다. 사용자는 SCADA 정보를 검색하기 위하여 시설물을 선택하고 GIS 시스템에서 제공하는 화상정보와 멀티



(그림 3) SCADA 모니터 시스템 통합 구조

미디어 도움말 정보를 이용하여 손쉽게 시설물의 현재 상태를 점검 할 수 있다. 또한, 시설물 고장진단 추론의 정확성을 높이기 위하여 질의식 추론 과정을 위한 사용자 인터페이스를 제공한다. 질의식 추론 인터페이스는 SCADA 모니터 시스템을 사용하는 상황실 근무자에게 전문가 수준의 도움말 기능을 제공한다. 이는 상황실 근무자가 전문가적 지식에 크게 의존하지 않고도 시설물을 감시 제어 할 수 있는 기능을 제공한다. [그림 3]은 SCADA 모니터 시스템과 지능형 모니터 시스템과의 통합구조를 설명하고 있다.

5. 진단 추론 시스템

지능형 원격감시 제어 통합시스템은 시설물에 대한 사고 처리와 고장진단을 위하여 블랙보드 기반의 진단 추론 시스템을 사용한다. 진단 추론 시스템은 발생한 사고상황에 대한 적합한 처리를 추론하는 사고상황처리 부분과 시설물의 고장 부분을 추론하는 고장진단 부분으로 이루어져 있다. 추론 결과는 지능형 모니터 시스템으로 통합되어 상황실 근무자에게 제공된다.

5.1 추론 기관

통합 시스템의 추론기관은 효율적인 추론을 위하여 전문가의 경험적 지식과 시설물의 모델기반 지식을 함께 사용하여 문제를 해결하는 추론 방식을 취하였다. 일반적으로 경험적 고장진단 방식과 모델기반 고장진단 방식은 다음과 같은 장, 단점을 가진다.

- 경험적 고장진단 방식 : 해당 분야 전문가들의 경험적 지식을 바탕으로 정확하고 빠

른 문제해결 능력을 가지고 있다. 하지만, 양질의 지식베이스를 구축하기가 어렵고 새로운 상황 발생시 유연하게 대처하기가 어렵다.

- 모델기반 고장진단 방식 : 해당 시설물의 올바른 동작지식과 구조적 지식을 바탕으로 고장진단을 추론한다. 새로운 상황이 발생하여도 시설물에 대한 모델 지식에 의거하여 유연하게 대처할 수 있는 능력이 있지만 시설물의 설비가 복잡해지면 진단속도가 떨어지고 정확한 지식베이스 구축이 어려워진다.

통합 시스템에서는 이러한 두 가지 방식에서 장점만을 사용하기 위하여 블랙보드 기반의 추론방식을 사용한다. 블랙보드는 효율적인 추론을 위하여 새로운 지식의 지속적인 추가와 추론 과정의 동적인 상태(dynamic state)에 따라서 다양한 추론을 수행할 수 있도록 제어지식 구조를 사용하고 있다. 추론 시스템은 블랙보드의 상태를 확인함으로써 동적으로 변화하는 현장 상황에 따른 적절한 추론을 하게 되며, 제어지식에 따라 경험적 지식과 모델기반 지식에서 필요한 계층의 지식만을 선택적으로 처리하여 추론 속도를 높이게 된다[7,8]. 다음은 본 시스템에서 적용된 블랙보드에 대한 설명이다.

- 블랙보드 추론기관은 블랙보드(Blackboard), 지식원(knowledge source), 인터프리터(Interpreter)의 3가지 요소로 구성되어 있다. 블랙보드는 안전관리 시스템과 해당 시설물, 추론기관에서 발생하는 모든 종류의 동적 상태를 보유하고 있는 것으로 여러 개의 계층구조로 이루어져 있다. 이러한 계층구조를 이용하여 상황에 따른 상태 정보나 가설 등이 명시적으로 표현될 수 있다. 지식원은 블랙보드 추론기관의 지식구조에 해당하는 것으로 본 추론 시스템에서는 경험적 지식과 모델기반 지식을 지식원으로 설정하였다. 설정된 지식원은 상호 독립적이며, 블랙보드의 상태와 제어지식에 의해서만 트리거 된다. 이러한 구조는 기존의 계층적 지식원에서 나타나던 계층적 트리거 작용을 방지하여 상황에 따른 새로운 지식원을 추가할 수 있다. 인터프리터는 블랙보드의 상태를 관찰하여 수많은 지식들 중에서 현재 상황에 가장 적절한 지식을 선택하여 효율적인 추론을 도와준다.

이러한 블랙보드 기반의 추론 시스템은 여러 독립 시스템들의 통합 추론 기능에서 다음과 같은 장점이 있다. 먼저, 각 독립 시스템들에 대한 방대한 양의 추론지식을 효과적으로 추가, 삭제할 수 있게되어 추론시스템의 지식 베이스를 보다 효율적으로 구축할 수 있다. 또한 실시간으로 변하는 현장 상황에 적합한 추론을 수행 할 수 있으며 제어지식을 이용하여 상황 추론에 적절한 추론 범위를 설정하고 지식을 단순화 시켜 추론 속도를 향상시킨다. 이러한 동적인 추론 방법은 블랙보드를 이용한 제어지식의 활용과 사용자 트리거를 적용시켜 전, 후방 추론과 같은 단방향 추론에서 벗어나 상황에 따른 동적인 추론을 가능하게 한다. 사용자 트리거는 블랙보드의 제어지식보다 높은 우선순위를 가지며 전문가적 지식을 가진 상황실 근무자의 능동적인 판단을 직접적으로 추론 시스템에 반영할 수 있다. 이러한 장점으로 인하여 블랙보드 기반의 추론구조는 여러 독립 시스템을 통합하는 통합 추론 진단 시스템의 구성에 적합한 방식이라 할 수 있다.

```
1) If high(2nd governer gas value) Then test(IFS 2nd high)
   If hunting(P/T) Then test(main-valve spring)
   If trigger(pilot-spring) Then test(pilot-spring)
2) goal (patrol_luncher(P_id, Event, Location)):-
        val_info_gis(Valve, Event, Location),
        user_info_cis(User, Event, Location),
        patrol_location_gps(P_location, P_id, Event, Location),
        (enable_patrol(P_id, P_location, Location) ->
              process_event(P_id, P_location, Valve, User, Event, Location)
              ;
              patrol_assign(P_id, P_location, Location, P_assign),
              process_event(P_id, P_assign, Valve, User, Event, Location) ).
```

〔그림 4〕 도시가스 모델에서의 정압기와 상황처리를 위한 제어지식

다음 [그림 4]는 본 추론 시스템에서 사용한 제어지식의 일부분에 대한 예이다.

[그림 4]의 1)에 나타난 제어지식은 정압기의 고장진단을 위한 제어지식으로 특정한 고장상황에 대하여 진단 추론범위를 효율적으로 축소시켜 준다. 또한 사용자 trigger에 대하여 우선권을 획득하여 사용자의 판단을 추론 시스템에 반영한다. 다음으로 2)에 나타난 상황처리를 위한 제어지식은 상황처리를 위하여 필요한 데이터들을 독립형 모니터 시스템에서 수집하고 이를 기반으로 경험적 지식과 모델기반 지식을 트리거 하게 된다. 트리거 되는 순서는 신속한 진단이 가능한 경험적 진단방식 먼저 시도되며, 이때 고장진단을 하지 못하면 다음으로 모델기반 진단방식을 이용하여 고장진단을 수행한다. 수행된 진단 결과는 다시 블랙보드로 입력되고 이러한 계층적인 추론작업을 통하여 상황처리 추론 작업을 수행하게 된다.

5.2 지식 베이스

지능형 원격감시 제어 통합시스템의 진단추론 시스템에 사용된 지식베이스는 경험적 지식과 모델기반 지식을 기반으로 이를 제어하는 제어

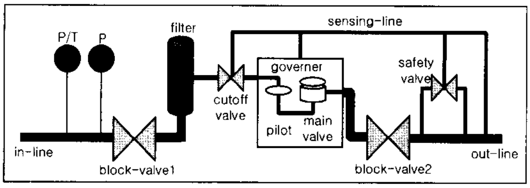
```
If normal(pushing-test) Then test(pilot setting-value) Else test(main-valve)
If normal(pilot setting-value) Then test(pilot-spring) Else test(pilot-spring)
If normal(main-valve spring) Then test(valve grease) Else test(valve-spring)
```

〔그림 5〕 정압기(FIS Type)의 2차압 상승에 대한 경험적 지식

지식과 함께 구축되었다. 경험적 지식베이스를 구축하는 방식에는 전문가에게서 추출한 경험적 고장진단 지식이 사용되었다[7]. 모델기반 지식베이스는 설비에 대한 동작지식과 구조지식이 사용되어 구축되었다. 다음 [그림 6,5]은 본 추론시스템에서 사용한 경험적 지식과 모델기반 지식의 일부분에 대한 예이다.

[그림 5]에 나타난 경험적 지식은 도시가스 정압기 전문가의 오랜 경험을 바탕으로 정압기에 대한 일반적인 검사를 이용한 고장진단 추론 지식을 표현하고 있다. 첫 번째에 나타난 지식 'If normal(pushing-test) Then test(pilot setting-value) Else test(main-valve)'은 'pushing-test' 라는 검사를 통하여 이상이 있는 정압기의 검사 범위를 pilot와 main-valve 부분으로 크게 나누어주어 정압기 검사에 소비되는 시간과 노력을 크게 단축시킨다. 이러한 종류의 경험적 지식은 이상이 발생한 정압기의 검사범위와 시간을 크게 단축시키는 역할을 수행한다.

[그림6]에 나타난 모델기반 지식은 정압기(FIS Type)의 개략도에 따른 내부를 구조지식으로 표현한 것이다. 'connect()'는 가스라인에 연결된 정압기 장치들에 대한 연결지식이며, 'related()'는 각 장치들의 순차적인 연결흐름을 나타내며, 'included()'는 정압기 장치에 속한 부품들의 지식을 나타내고 있다. 이러한 모델기반 지식은 경험적 지식에서 추론하지 못하는 상황에 대하여 고장부위간의 구조적인 연관관계들을 정의함으로써 고장진단 추론을 수행하게 된다. 예를




```
connect(in-line, [P/T, P, block-valve1])
connect(sensing-line, [cutoff-valve,
                  governer, safety-valve, out-line])
                        :
related(filter, cutoff-valve)
related(cutoff-valve, governer)
related(governer, block-valve2)
related(block-valve2, safety-valve)
                        :
included(governer, [pilot, main-valve])
```

〔그림 6〕 정압기(FIS Type)의 개략도와 모델기반 지식

들어 경험적 지식에는 없는 'block-valve2'에 대한 고장이 발생하였을 때 경험적 지식만으로는 고장진단을 할 수 없지만, 모델기반 진단방식에서는 정압기 내부의 구조를 따라가며 'block-valve2'가 'governer'와 연관이 있다는 지식 'related (governer, block-valve2)'을 가지고 있으므로 'block-valve2'에 대한 고장진단을 수행할 수 있다. 이러한 방식으로 경험적 진단방식의 결점을 보완하고 모델기반 진단방식의 장점을 결합하며 신속한 추론속도와 정확성을 확보할 수 있다.

6. 시스템 구현

본 지능형 원격감시 제어 통합시스템은 도시가스 안전관리 시스템 모델에 적용하여 클라이언트(Client) / 서버(Server) 구조를 이용하여 구현되었다. 서버부분은 시스템이 필요로 하는 데이터 베이스와 지식 베이스를 제공함과 동시에 GPS와 SCADA에서 들어오는 실시간 자료를 유지하여 필요한 때에 클라이언트에게 제공하는 데이터서버의 역할을 한다. 클라이언트부분은 GPS, GIS, CIS, SCADA 모니터 시스템들과 진단추론 시스템의 통합된 인터페이스를 사용자에게 제공하는 지능형 모니터 시스템이 위치하며, 사고상황 발생시 사용자로부터 필요한 입력을 받아 상황 처리에 대한 종합적인 추론결과와 시설물 고장진단에 대한 추론결과를 상황실 근무자에게 제공한다.

서버의 데이터 베이스 구성은 Window NT 기반의 Oracle을 사용하여 구현하였다. 클라이언트의 지능형 모니터 시스템은 순수 Java를 기반으로 하여 구현하였고 시스템의 그래픽적인 구성을 위하여 JViews 패키지를 사용하였다. 시스템의 그래픽적인 구성은 사용자의 편의성을 도모하기 위한 것으로 상황실 근무자가 업무처리에 대해 미숙하다 해도 시스템을 사용하여 상황 처리를 하는데 있어서 별 어려움 없이 진행을 할 수 있도록 도와준다. 시스템을 Java 기반으로 구현한 것은 시스템의 이식성을 높이고자 한 것이다. Java 언어의 특성상 Java 가상머신을 이용하면 컴퓨터 하드웨어에 대한 특별한 고려 없이도 범용적인 설치 및 사용이 가능하다. 또한 클라이언트와 서버의 연결에는 JDBC(Java Database Connectivity)가 사용되었다. [그림 7]은 지능형 원격감시 제어 통합시스템 클라이언트 부분의 지능형 모니터 시스템의 실행 화면을 보여주고 있다.

위 그림에서 왼쪽에 보이는 지도 화면은 GPS, GIS, CIS, SCADA 모니터 시스템의 통합 표시창이다. 사용자는 이 창을 통하여 시설물 안전관리에 필요한 모든 자료들을 얻게 된다. 통합 표시 창에는 GIS 모니터 시스템에서 제공되는 자료를 기반으로 도시가스 배관과 시설물의 위치, 연결상황, 주변 건물의 위치와 도로 등 지형 지물이 표시되며 사용자는 표시되는 자료의 계층(Layer)을 구분하여 종류별로 자료 검색을 할 수

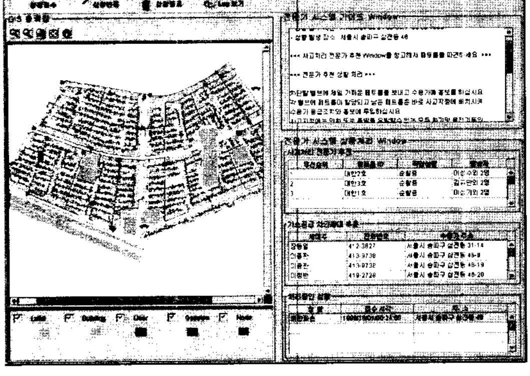
있다. GPS 모니터 시스템에서 입력되는 실시간 자료는 시설물 순찰차량과 복구차량들의 현재 위치와 업무 상황등을 화면에 표시하고, CIS 모니터 시스템은 각 사용자들의 정보를 선을 이용하여 화면에 표시한다.

6.1 상황 처리

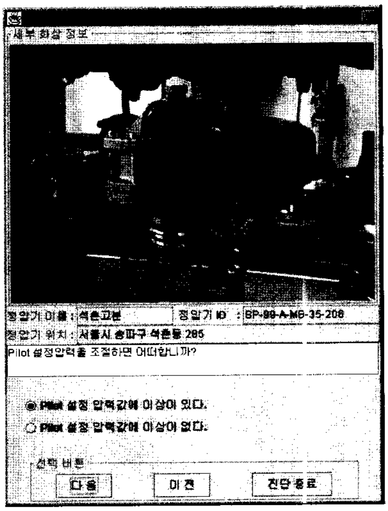
상황실 근무자는 사고상황을 접수받아 사고의 위치와 내용을 지능형 모니터 시스템에 입력한다. 지능형 원격감시 제어 통합시스템은 이 입력 자료를 기반으로 사고위치를 화면에 표시하고 사고상황 처리에 대한 종합적인 추론 작업을 수행한다. 추론에 사용되는 지식은 전문가의 경험적 지식을 기반으로 사고처리 경험지식과 제어지식으로 분리된 상황판단지식과 상황처리지식 그리고 모델기반 지식인 정압기 고장진단 지식이 사용되었다. 추론 결과는 오른쪽의 결과 창들을 통하여 사용자에게 보여진다. [그림 7]에서 오른쪽 제일 위쪽은 상황처리 추론결과를 보여주며, 아래쪽으로는 파견할 순찰차의 우선 순위추천 추론결과와 사고지역에서 가스를 차단할 사용자 정보가 보여지게 된다. 순찰차의 우선 순위는 해당 사고에 대해 전문가가 탑승하고 있는 차량이 우선이며 다음으로 거리를 고려하여 순위가 정해진다. 상황실 근무자는 파견 차량을 선정함과 동시에 해당 차량에게 지시 사항을 전달하고 응답을 받을 수 있다. 이러한 상호 연락은 GPS 모니터 시스템을 통한 문자전송 방식을 이용하여 이루어진다.

6.2 시설물 고장 진단

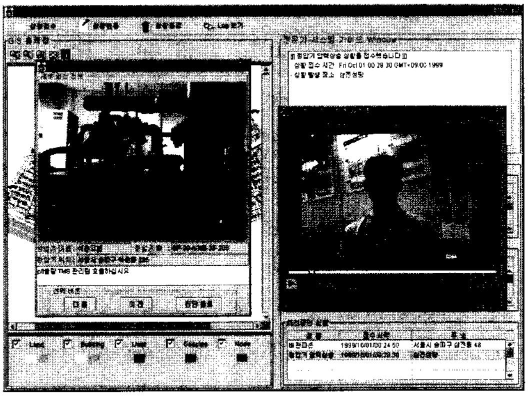
SCADA 모니터 시스템은 정압기의 상태를 파악하고 고장을 진단하는 목적으로 사용되었다. 정압기에 설치된 SCADA 센서는 실시간으로 정압기의 각종 상태 정보를 서버쪽으로 전송하며, 지능형 모니터 시스템은 전송정보를 지속적으로 감시한다. SCADA 센서에서 정압기의 이상신호가 발생하면 해당 정압기의 위치와 이상 내용을 지능형 모니터 시스템이 사용자에게 알려주고 자동적으로 정압기 고장진단을 위한 추론 작업이 시작된다. 고장진단 추론은 SCADA 센서 데이터를 기반으로 1차 추론 결과를 상황실 근무자에



〔그림 7〕 지능형 모니터 시스템 실행 화면



〔그림 8〕 질의식 추론 인터페이스



〔그림 9〕 화상과 동화상을 이용한 추론결과

게 알려주고 정확한 고장진단을 위하여 근무자로부터 추론에 필요한 제어지식과 트리거 지식을 추가적으로 입력받는다. 입력된 제어지식은 2차 추론을 위하여 해당하는 지식을 선택하여 추론을 진행하게 되고 모든 추론이 끝나게 되면 추론결과를 상황실 근무자에게 알려준다. [그림 8]는 정압기 고장진단에서 사용된 질의식 추론 인터페이스 화면이며 [그림 9]은 추론결과와 함께 상황실 근무자에게 제공되는 멀티미디어 화상과 동영상을 이용한 고장진단 추론결과 화면이다.

질의식 인터페이스에서 나타나는 정압기 화상정보는 사용자의 이해도를 높이기 위한 것으로 상황실 근무자의 정압기에 대한 이해도가 낮다 하여도 화상 정보와 도움말을 이용하여 충분한 판단이 가능하도록 하였다. 또한 추론결과에 대한 화상 정보와 동영상 정보도 함께 제공되는데, 동영상 정보는 전문가의 자세한 설명과 화면이 녹화되어 있으므로 사용자의 상황판단에 도움을 줄 수 있다.

7. 결 론

본 논문에서는 기존의 대형 산업설비에 대한 안전관리를 수행하던 독립형 모니터 시스템들을 통합하여 산업설비에 대한 종합적인 상황처리와 고장진단을 수행하는 지능형 원격감시 제어 통합 시스템을 제안하였다. 통합되는 시스템은 GPS, GIS, CIS, SCADA 모니터 시스템과 진단 추론 시스템으로 이루어져 있으며, 개별적인 독립형 시스템은 통합 계층 구조의 4계층으로 분리되어 각각의 독립성과 모듈화를 거쳐 통합 시스템을 구성하게 된다. 사용자와 통합 시스템간의 인터페이스를 위해서는 지능형 모니터 시스템이 사용되었으며, GPS와 SCADA의 실시간 데이터를 위해서는 기존의 설비를 활용한 외부 인터페이스를 통하여 실시간 데이터를 입력받는다. 상황처리 추론은 독립 시스템의 자료를 기반으로 전문가의 경험적 지식을 기반으로 한 경험적 추론방식을 취하였고, 시설물 고장진단에서는 설비에 대한 모델기반 지식을 이용하였다. 또한, 사용자가 추론결과에 대한 제어지식과 트리거 지식을 입력하여 질의식 추론 방식을 통한 추론결과의 정확성을 높였다.

본 논문에서 제안한 지능형 원격감시 제어 통합시스템은 날로 대형화되고 복잡해지는 산업설비들의 안전관리를 위해서 이미 사용중인 독립형 안전관리 시스템들을 효과적으로 통합하는 방법을 제시하였다. 또한 사고상황 발생시 상황처리에 있어서 기존의 독립형 모니터 시스템보다는 신속성과 효율성, 정확성을 개선하고 사용자의 편의성도 확보할 수 있었다. 구현에 있어서는 순수 Java를 이용하여 시스템의 이식성과 확장성을 도모하였다. 따라서, 산업설비에 사용되는 독립형 안전관리 시스템의 통합이 요구되는 부분에서 본 논문이 제시한 통합방식과 구현방식이 많은 도움이 되리라 생각한다. 향후과제로는 시설물의 특성에 따라 새로이 구성되는 진단추론 시스템을 더욱 범용성 있게 구성하는 방

법과 클라이언트 / 서버 구조로 구현된 현재 시스템을 웹(Web)기반으로 옮겨가는 연구가 필요하다고 생각된다.

참 고 문 헌

[1] Jeffery J. Bann et al, "Integrating AI Applications in An Energy Management System," *IEEE Expert & Their Applications*, pp. 53-59, 11/12. 1997.

[2] Zita A. Vale et al,. "Sparse : An Intelligent Alarm Processor and Operator Assistant," *IEEE Expert & Their Applications*, pp. 86-93, 5/6. 1997.

[3] ZITA A. VALE, "SOCRATES - An Integrated Intelligent System For Power System Control Center Operator Assistance And Training," *Processdings of the IASTED International Confernce Artificial Intelligence and Soft Computing*, May 27-30, 5/6. 1998. Cancun, Mexico.

[4] Peter A. Daly and Thomas M. Lebakken, "Above and Beyond The Barriers to AM/FM/SCADA Integration - Lessons · Learned from The Epri-Nreca Pierce-Pepin Project," *AM/FM International Annual Conference XVII*, pp. 303-316, March. 1994.

[5] Michael A. Nicoloro, "Commonwealth Gas Company SCADA/GASS Project Implementation and Future Linkage to AM/FM/GIS," *AM/FM International Annual Conference XVII*, pp. 59-68, March. 1994.

[6] Jeffrey G. Shurts and Steven J. Cote, "Intergrating AM/FM and WMS into The Corporate Information Systems Infrastruture," *AM/FM International Annual Conference XVII*, pp. 289-302, March. 1994.

[7] Balakrishnan, K. and Honavar, V. , "Intelligent Diagnosis Systems," *Journal of Intelligent Systems, In press.* 1998.

[8] Philippe Lalanda, "Two Complementary patterns to build multi-eapert systems," http://st-www.cs.uiuc.edu/users/hanmer/PLoP-97/Workshops.html.

[9] Jin Joo Lee, William Dean Norris II,Paul A. Fishwick, "An Object-Oridented Multimodel Approach to Integrate Planning, Intelligent Control and Simulation," *Technical reports, University of Florida*, 1993, http://www.cise.ufl.edu/tech-reports/tech-reports/tr93-abstracts.shtml.

[10] W. Feng. "An Intelligent System for Map Data Processing in Geographic Information Systems," *In Proceedings of the ISMM International Conference on Intelligent Information Management Systems*, June 1994, http://pertsserver.cs.uiuc.edu /members/ wfeng/paper/ismm94.ps

[11] Peter H. Dana, "Global Positioning System Overview," http://www.utexas.edu/depts/grg/gcraft/notes/gps/gps.html.

[12] Randy Gay, "Integrating GIS and SCADA Systems," *AM/FM International Annual Conference XVII*, pp. 581-588, March. 1994.