

소듐 루프 운전지원시스템

황 종 선¹, 남 호 윤¹, 문 성 익², 이 광 형², 조 충 호³

¹한국원자력연구소

²한국과학기술원 전산학과

³고려대학교 전산학과

Realtime Operation Support System for Sodium Loop

Jong-Sun Hwang¹, Ho-Yoon Nam¹, Seong-Ick Moon², Hyung Leekwang²
and Choongho Cho³

¹Korea Atomic Energy Research Institute

²CS Dept., KAIST(Korea Advanced Institute of Science and Technology)

³CS Dept., Korea University

본 연구에서는 액체금속로의 핵심구조인 소듐 루프를 위한 운전지원 전문가시스템을 개발한다. 소듐루프는 현재 원자력연구소에서 연구 개발 단계에 있으며, 안전 운전을 위한 운전 지식을 연구하고 있는 중이다. 본 논문에서는 이러한 연구 상황에 맞추어 개발되는 전문가시스템에게 요구되는 특징을 정리하고, 소듐루프 운전의 효과적 지원과 운전원의 편의에 중점을 둔 전문가시스템의 개발을 설명한다.

1. 서론

에너지 수요 증가와 자원 고갈에 대비해 고속 증식로에 대한 연구가 프랑스, 일본 등과 국내에서 진행되고 있다. 국내에서는 그 핵심기술인 액체금속로에 대한 연구가 진행중이며, 이 중 소듐 루프에 대한 운전기술 및 안전도 파라미터에 대한 연구가 진행중이다[13].

한편 TMI, 체르노빌 사고등 수 차례의 원전 사고에서의 경험과 원전 운전에 대한 안전성 요구 증가로 인해 다수의 경수로용 운전지원시스템이 개발되었다. 국내에서도 경수로 운전사고시 발생하는 지나치게 많은 양의 정보 신호를 중요도에 따라 필터링하고 그 정보에 따라 사고 발생 원인을 온라인 진단하는 시스템이 개발된 바 있다. 그러나 실제 적용시에 발생하는 안전도 부담 때문에 현재 컴퓨터에 의해 시뮬레이션된 센서 입력을 받아 진단하는 실험 단계에 있다[11].

따라서 본 연구에서는 현재 진행중인 액체금속로 연구에 병행하여 운전지원 시스템을 개발함으로써 실제 가동시에 적용가능한 시스템을 개발하는

것을 목표로 하고 있다. 이 중 소듐 루프는 냉각재로 일반 경수로에서 사용하는 물이 아닌 금속 소듐을 사용하는 시스템인데, 금속 소듐의 물리적 특성으로 인해 일반적인 정상운전 시에도 매우 복잡한 운전 준비 절차와 운전 정지 절차를 필요로 하며, 운전원의 부담이 그만큼 큰 특성을 가지고 있다.

즉 운전원의 부담을 최소화하는 동시에 안전 운전을 보장할 수 있도록하는 설계 전략이 필요하며, 많은 양의 사용자 입력과 센서 입력에도 신속하게 반응할 수 있는 구현 방법이 필요하다. 본 논문에서는 이러한 방법론을 설명한다.

2. 시스템 구현

본 연구에서 개발된 시스템은 다음의 특징들을 갖고 있다.

· 사용자 인터페이스의 독립 프로그램화

사용자 인터페이스를 독립된 프로그램으로 작성하여 각 사용자가 독립된 인터페이스를 가질 수 있게 하였다. 또한 각 사용자들은 기존 운전지원 시스템과 유사한 그래픽 표현 또는 효율적인 상황 파악을 위한 그래픽 표현 등의 다수의 그래픽 표현을 본 운전지원 시스템의 다른 부분과는 독립적으로 선택할 수 있게 된다.

· 공유 메모리와 소켓을 통한 다수 사용자 지원

각 사용자 인터페이스는 시스템의 나머지 부

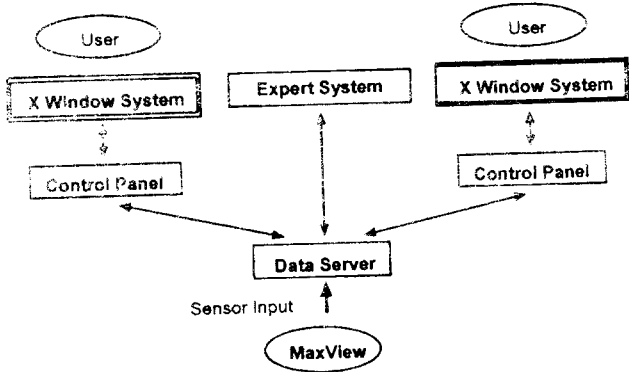


그림 1: 운전지원 시스템의 구성

분과 공유 메모리(동일한 호스트에서 실행될때) 또는 소켓(상이한 호스트에서 실행될때)을 통해 통신하게 된다. 따라서 다수의 사용자가 효율적으로 시스템을 감시, 제어할 수 있다.

- 데이터 서버에서의 통합된 DB 관리

모든 센서 데이터 또는 전문가시스템의 추론 결과로 생성되는 Fact 들은 모두 데이터 서버 프로그램에서 관리되게 된다. 따라서 모든 사용자는 전문가시스템의 추론 결과를 동일한 환경에서 제공받을 수 있다. 또한 사용자가 소디움 루프 또는 운전 절차에 어떤 변경을 가했을때 다른 사용자 모두가 그 변화를 관찰할 수 있다.

- Fuzzy CLIPS 사용

NASA에서 개발된 CLIPS 라이브러리에 Fuzzy 추론기능을 추가시킨 Fuzzy CLIPS 라이브러리를 사용함으로써 C 언어로 작성된 시스템의 다른 부분들과 쉽게 연결할 수 있게 되었다. 또한 공유 메모리 및 소켓을 사용한 Fact Base의 공유도 효율적으로 처리할 수 있게 되었다.

시스템의 각 부분은 독립된 프로그램으로 작성되었으며, 각각 독립된 프로세스로 동작한다. 각 프로세스는 공유 메모리와 소켓을 통해 통신하며, 이 통신은 데이터 서버를 통해 이루어진다.

아래에 각 프로그램의 구성을 설명한다.

2.1 데이터 서버

데이터 서버는 멀티유저지원을 위한 프로그램이다. 이 프로그램은 모든 센서 데이터를 Data Acquisition System 인 MaxView 를 통해 계속적으로 업데이트한다. 또한 각 데이터의 정상성을 체크하며 필요한 경우 사용자들에게 이를 알리게 된다.

다수의 사용자가 동일한 데이터를 액세스할 시에 필요한 Locking 메커니즘을 제공하며, 전문가 시스템에서 제공하는 새로운 Fact들도 이 프로그램에서 관리된다.

2.2 전문가시스템

본 시스템의 전문가시스템은 Fuzzy CLIPS 를 이용해 개발되었으며, 현재 정상 운전절차중 운전

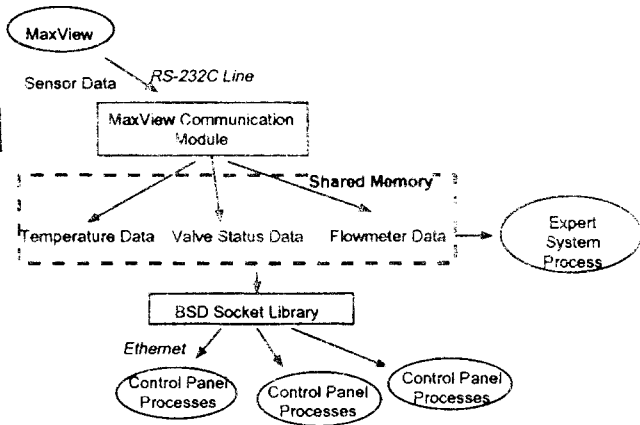


그림 2: 데이터 서버 내에서의 데이터 흐름

준비 및 운전 정지 단계들이 지식 베이스로서 제공되고 있다.

CLIPS 라이브러리는 독립된 인터프리터 프로그램이 아닌 라이브러리 형태를 띄고 있으며, 따라서 일반적인 텍스트 위주의 사용자 인터페이스를 제외한 추론 엔진만을 분리하여 사용하는 것이 가능하고, 본 연구에서는 그러한 방법을 사용하고 있다.

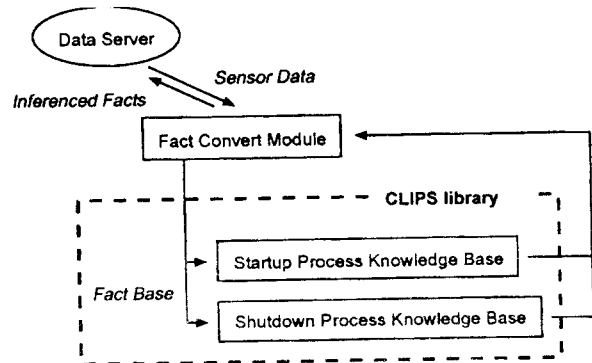


그림 3: 전문가 시스템에서의 Fact Base 의 처리

2.3 제어 패널

제어 패널은 사용자 인터페이스를 담당하는 프로그래머, C++ 와 Motif 라이브러리를 사용해 개발되었다. 불필요한 기능들은 최대한 억제되었으나, 향후 필요하게 될 파라미터 분석 알고리즘 등을 구현할 여지를 충분히 남기고 있다.

제어패널은 다양한 데이터 표현방법을 제공하는데 중점을 두고 개발되었다. 개발된 플랫폼인 위크스테이션의 화면에서 효율적으로 데이터를 표현할 수 있도록 개발된 표현과, IBM-PC에서 수행되는 기존 운전지원 시스템과 유사하여 운전원이 쉽게 친숙해 질 수 있는 표현의 두가지 표현방법이 현재 제공되고 있다. 또한 필요시에는 적은 노력으로 새로운 표현을 만들 수 있다.

3. 설계

3.1 소디움 루프 운전 지원 시스템의 특징

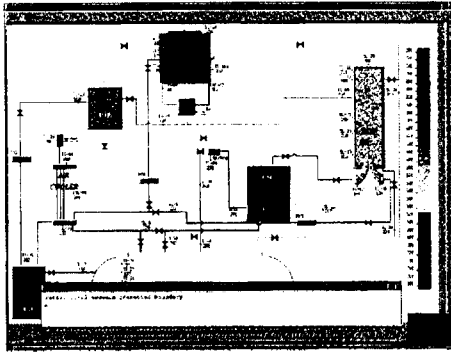


그림 4: 제어패널 동작화면

소듐 루프는 냉매로 물 대신 금속 소듐을 사용하는 냉각 시스템이다. 따라서 다음과 같은 특성을 갖는다.

- 동작 온도가 높다. 상시 동작이 섭씨 200-600도의 범위 내에서 이루어진다.
- 루프내에 수분 존재시 화재의 위험이 존재한다.
- 열원 상실시 소듐이 응고하여 순환계에 장애가 발생할 가능성이 크다.
- 루프 내에 산소 존재시 산화 소듐이 발생하여 냉매 특성에 영향을 미친다.
- 동작 온도가 상온과 큰 차이를 가지므로, 사고 발생시 사태 전개속도가 빠르다.

현재의 소듐 루프 시스템은 실험 동작 단계에 있음에도 불구하고 위와 같은 문제를 피하기 위한 운전 절차들이 매우 복잡하게 구성되어 있다. 또한 그에 따른 각 상황에 대한 예외 절차도 다양하고 복잡하여 사고 발생시만이 아니라 정상 운전시에도 운전원이 적절한 조치를 찾아 취하는 것이 곤란하다.

3.2 설계 목표

본 연구팀은 이러한 요구 사항들과, 운전원들의 요구를 반영하여 다음과 같은 설계 목표를 설정하였다.

• 시스템의 안전도

설비의 안전 뿐만이 아니라 지원 시스템의 소프트웨어적 안전도도 보장되어야 한다.

• 온라인 응답

운전 절차가 끝나지 않은 도중의 상황의 변화에도 자동적으로 대응할 수 있도록, 온라인 동작을 하여야 한다. 즉, 각 운전 절차들의 종료가 운전원의 입력에 의해서가 아니라 전문가 시스템의 능동적 상황 파악능력으로 확인되어야 한다.

• 신속한 추론

사고 발생시의 사태 전개 속도가 빠르므로, 지식의 추론과 실행이 리얼타임 동작을 이루어야 한다. 그러나 전문가 시스템의 동작은 전적으로 지식 베이스의 내용에 달려 있으므로 완벽한 리얼타임 동작을 보증하기는 매우 어렵다. 다만 사용자가 불편을 느끼지 않을 정도의 응답시간은 제공할 수 있어야 한다.

• 추론 데이터의 신속한 제공

추론된 결과는 가능한 운전원이 인지하기 쉬운 방법으로 제공되어야 한다. 이 경우 많은 전문가 시스템이 기본적으로 제공하는 추론단계 제공 기능은 사건 전개의 빠른 속력맞으로 큰 효용이 없을 수도 있다. 오히려 추론된 결과를 가능한 정리되고 핵심적인 사실만을 신속하게 제공하는 기능이 요구된다.

위와 같은 목표들을 만족시키기 위해 연구팀은 다음과 같은 접근 방식을 설계에 적용하였다.

• GUI

사용자가 이해하기 쉬운 그래픽 오브젝트들로 소듐 루프의 상황을 표시하여야 한다. 또한 이미 사용되고 있는 기존 시스템에 익숙한 사용자들도 혼란을 일으키지 않도록, 필요한 경우 다수의 표현 방법을 지원할 수 있어야 한다. 즉 시스템의 상황을 효과적으로 표시할 수 있는 그래픽 표현 방법과, 기존 시스템과 유사한 그래픽 표현 방법 등의 여러가지 표현 방법을 간단하게 포함할 수 있는 그래픽 기술 방법을 제공하여야 한다.

• 다수 사용자 지원

지금까지 개발된 대부분의 시스템들에서는 다수 사용자의 지원이 비교적 미흡했다. 다수 사용자를 지원하기 위해서는 X 프로토콜을 사용한 방법 [12]도 제안되었으나, 단순히 데이터를 사용자에게 보여주는것이 아니라 다수의 사용자가 각자 시스템에 각종 입력을 주고 처리할 수 있게 하려면 시스템 설계시부터 다수 사용자를 염두에 두고 개발하여야 한다.

• 데이터 관리의 분리

목표 시스템은 많은 양의 센서 데이터를 처리해야 한다. 또한 다수 사용자를 지원하기 위해서는 센서 데이터와 전문가시스템의 Fact 들을 관리하는 DB와 유저 인터페이스를 따로 분리할 필요성이 생긴다. 또한 전문가시스템 자체도 이러한 데이터를 관리하는 데이터 서버의 입장에서는 단순한 또 하나의 사용자로 볼 수 있으므로 Homogenous한 시스템 설계가 가능해진다.

• C 로 링크할 수 있는 전문가 시스템

PROLOG 내지 LISP 등의 언어들인 전문가 시스템을 개발하는데 많이 사용되어 왔다[2]. 이러한

언어들은 보통 인터프리터의 형태로 제공되는데, 다수 사용자 지원환경 및 데이터 서버와의 통신을 지원하기 위해서는 일반적으로 제공되는 언어 인터프리터와의 통신이 구현하기 힘들어지며 대량의 센서 데이터를 전문가시스템의 Fact Base 에서 다루기 위해서는 많은 어려움이 발생하게 된다.

따라서 일반적으로 개발에 사용되는 C 언어와 쉽게 링크하여 사용할 수 있는 전문가시스템을 개발 또는 사용하여야 한다.

4. 평가

개발된 시스템은 현재 원자력연구소의 소디움 루프 실험장치에 연결되어 동작하고 있다. 개발은 Sun Sparcstation 20 에서 이루어졌으며, 현재 작동은 HPUNIX 9.1 에서 이루어지고 있다.

그 결과, 센서 데이터를 좀 더 자세히 분석 내지 표현할 수 있는 방법이 요구되고 있다. 또한 사용자가 소디움 루프 장비를 실제 프로그램상에서 제어할 수 있는 방법이 요구되고 있는데, 이는 현재 센서 인터페이스로 사용되고 있는 MaxView 의 기능을 확장하여 대응하는 방법이 요구된다.

5. 결론

본 연구에서는 다수 사용자 지원 및 다양한 사용자 인터페이스 지원에 중점을 둔 소디움 루프 운전지원 시스템을 개발하였다. 이 과정에서 전문가시스템을 하나의 사용자로 다루는 시스템 구조가 제안되었으며 구현되었다. 그 결과 설계목표였던 신속한 시스템 응답과 다수 사용자 지원 등의 목표가 만족되었다. 또한 DB 관리를 일원화함으로써 시스템의 확장과 다수 사용자 지원을 효율적으로 지원할 수 있게 되었으며, 다수의 전문가 시스템 적용도 가능하게 되었다.

향후 과제로서는 소디움 루프 연구에 맞추어 지식 베이스를 확장하고 Field test 의 결과를 반영하여 사용자의 편의성을 살리는 인터페이스들을 개발할 예정이다.

6. 참고문헌

- [1] Cho Choongho, P. Baptiste, J. Favrel, R. Dorey, D. Dupont, "AID: System expert d'aide la coupure de tableau lectriques pour la Centrale Nuclaire de Creys-Malville(Decision Making Expert System to shut down Superphenix nuclear power plant electronic supplies for maintenance during outage)", Convention Intelligence Artificial 90), Ed.HERMES-PARIS, pp. 729-744, 1990.
- [2] Lee KeonMyung, Shin HeeTae, Lee Kwang-Hyung, Cho choongho et al., "Object Oriented Expert Systems for rail vehicle scheduling in steelworks", Proceedings of Korea-Japan Joint Conference on Expert Systems, pp. 597-608, Feb. 2-5, 1992, Seoul, Korea.
- [3] N.Naito, A.Sakuma, K.Shigeno, and N.Mori, "A Real-Time Expert System for Nuclear Power Plant Failure Diagnosis and Operational Guide", Nucl.Technol., pp. 79-284, 1987.
- [4] W.R.Nelson, "REACTOR: An Expert System for Diagnosis and Treatment of Nuclear Reactor Accidents", In National Conf. Artificial Intelligence, Pittsburgh, Pennsylvania, August 18-20, 1982.
- [5] Bill K.H.Sun and David G.Cain, "Computer Applications for Control Room Operator Support in Nuclear Power Plants", Reliability Eng. and Systems Safety, vol. 33, no. 3, 1991
- [6] M.Yokobayashi, K.Yoshida, A.Kohsaka, and M.Yamamoto, "Development of Reactor Accident Diagnostic System DISKET Using Knowledge Engineering Technique", J. Nucl. Sci. Technol., vol. 23, no. 4, 1986.
- [7] 류찬호, 김용일, 허영환, "원자력 발전소 증기 발생기 전열관 와전류 검사 전문가 시스템의 사용자 인터페이스 개발", 한국정보과학회 가을 학회, vol. 19, no. 2, pp. 1023-1026, 1992.
- [8] 조충호, 이광형, "컴퓨터 엔지니어의 입장에서 본 전문가 시스템의 구현 방법론", 한국 정보과학회 91 봄 학술발표 논문집, vol. 18, no. 1, pp. 73-76, 1991.
- [9] 조충호, 이광형, "원전의 전기배전반 시스템의 유지보수 시스템", 전문가 시스템 연구회 91 추계 학술대회 논문집, pp. 61-73, 1991.
- [10] 문성익, 이광형, 조충호, 남호윤, 황중선, "나트륨 루프 운전 지원을 위한 전문가 시스템 개발 (Operator Decision Support System for Sodium Loop)", 한국정보과학회 94 가을 학술발표 논문집, vol. 21, No. 2, pp. 389-392, 1994.
- [11] 최성수, 장순홍, "원자력발전소 정보처리 및 경보진단을 위한 온라인 전문가시스템의 개발", 한국과학기술원 원자력공학과 석사학위논문, 1994.
- [12] J. P. Bernard, D. Durocher, "An Expert System for Fault Diagnosis Intergrated In Existing SCADA Systems", IEEE TRansactions on Power Systems, Vol. 9, No. 1, Feb 1994.
- [13] Korea Advanced Energy Research Institute, Commissariat a I Energie Atomique, Joint Feasibility Study on the Introduction of a Commercial FBR Power Plant to Korea between Korea and France, Vol I, September 1986.
- [14] 문성익, 이광형, 조충호, 남호윤, 황중선, "나트륨 루프 운전절차지원 전문가 시스템의 개발", 한국정보처리학회 95 춘계 학술발표논문집, vol. 2, No. 1, pp. 326-329, 1995.