2003 추계학술발표회 논문집
한국원자력학회

제어봉제어계통 예방정비시스템 프로토타입 개발

Development of the Predictive Maintenance System Prototype for the Rod Control System

임형순, 홍형표, 구준모, 김영백, 한희환
한국전력기술(주)
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

원자력발전소의 안전성과 신뢰성에 대한 요구는 점점 증대되고 있으며 동시에 발전소 운용상의 경제성 확보 또한 매우 중요하다. 이러한 요구를 만족시킬 수 있는 효과적인 방안 중 한 가지는 예방정비 기술을 개발하여 활용하는 것이다. 예방정비 관련 선진기술의 확보차원에서 제어봉제어계통에 대하여 선진 예방정비 방법론을 적용한 예방정비시스템 프로토타입을 개발하였다. 계통의 고장을 실시간으로 자동진단하고 예측하는 도구로서 전문가시스템의 일종인 BBN(Bayesian Belief Networks)을 적용하였다. 개발된 프로토타입은 시험을 통하여 제어봉구동장치 및 제어장치의 건전성을 적절히 감시할 수 있고, 또한 예방정비에 필요한 정보를 제공할 수 있음을 확인하였다.

Abstract

The demand for safety and reliability of Nuclear Power Plants (NPPs) has been constantly increasing and economical operation is also an important issue. Developing and adopting predictive maintenance technology for the major systems or equipment is considered as a way to achieve these goals. This paper describes the development of a predictive maintenance system prototype for the Rod Control System, which adopts an advanced methodology. Bayesian Belief Networks (BBN) has been adopted for the real time fault diagnosis and prediction of the system. Through a simulation test, it was confirmed that the prototype monitors and secures sound operability of rod drive mechanism and its control system, and also provides the predictive maintenance information.

1. 서 론

예방정비 시스템의 목적은 설비의 성능이나 결함을 실시간으로 감시하고 추이를 분석함으로써 설비의 고장징후를 사전에 감지하여 종사자에게 예측정보를 제공함으로써 적절한 계획정비가 고장 발생전에 수행될 수 있도록 하는데 있다. 예측정보를 활용한 예방정비를 통하여 불시고장으로 인한 사고나 원자로 정지를 방지함으로써 원전의 안전성 및 신뢰성 제고는 물론 궁극적으로 이용률을 향상시키며 유지보수 비용을 절감시킬 수 있다[1]. 정확한 진단과 예측정보를 제공하기 위해서는 우선 계통변수를 적절히 선정하여 신호를 취득하고, 취득된 신호에서 가치있는 정보를 추출하여야 한다. 추출된 정보와 고장의 인과관계 모델링과 고장에 따른 전개 시나리오가 구축되어야 하며, 이에 따른 진단과 예측이 자동으로 이루어져야 한다. 또한 이들 정보를 실시간으로 처리하여 사용자에게 이해하기 쉬운 형태로 가공하여 제공되어야 한다.

본 논문에서는 이러한 예방정비 방법론을 구성하는 각 요소기술에 대하여 기술하고 원자력발전소 제어봉제어계통(Rod Control System, RCS)에 본 방법론을 적용하여 개발한 프로토타입에 대하여 기술한다.

2. 본 론

2.1 예방정비 방법론 개요

예방정비시스템은 일반적으로 그림 1과 같이 스마트센서, 데이터베이스, 전문가시스템, 신뢰도 분석도구 및 인간-기계연계장치(MMI)로 구성된다[1].

스마트센서는 신호의 취득, 가공, 특징(Features) 추출 및 통신기능을 담당하여 계통의 진단에 필요한 모든 신호와 특징을 변수화하여 데이터베이스로 입력한다. 데이터베이스는 스마트센서로부터 전달된 모든 신호를 기록하고 유지하며, 전문가시스템용 입출력 변수, 신뢰도 분석 결과 및 MMI 표시용 변수들을 관리한다. 전문가시스템은 미리 입력된 계통의 각 고장모드에 따르는 원인-결과 모델에 실시간 입력되는 계통의 변수값을 대응시켜 계통의 상태를 자동으로 진단하고 예방정비에 필요한 예측정보를 제공한다. 신뢰도 분석도구는 계통별, 기기별 또는 부품별로 고유의 수명, 가동 연수 및 정비이력을 바탕으로 신뢰도를 계산하여 독립적인 예방정비 정보를 제공하고 또한 필요시 전문가시스템의 입력요소로도 사용된다. MMI는 예방정비시스템 전체를 제어하고 필요정보를 입력하고 또한 최종정보를 표시할 수 있는 수단이다.

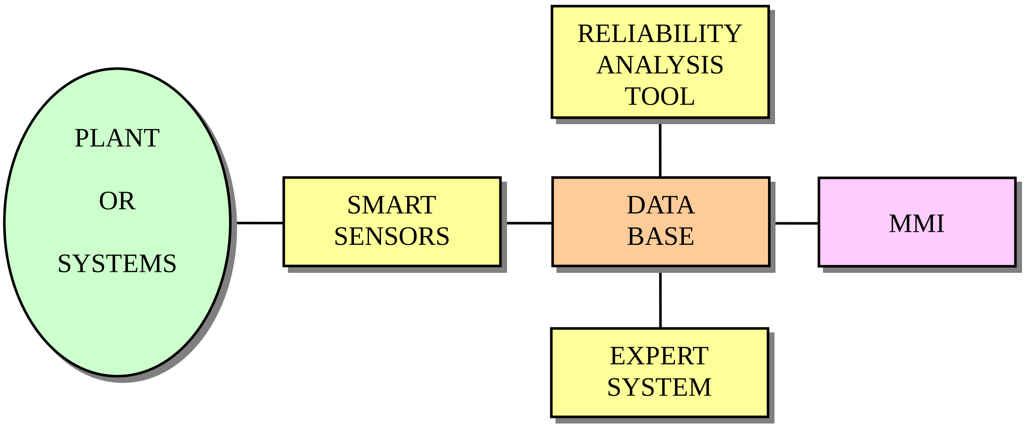


그림 1. 예방정비시스템 구성

2.2 제어봉제어계통 예방정비시스템 [1),2),3)]

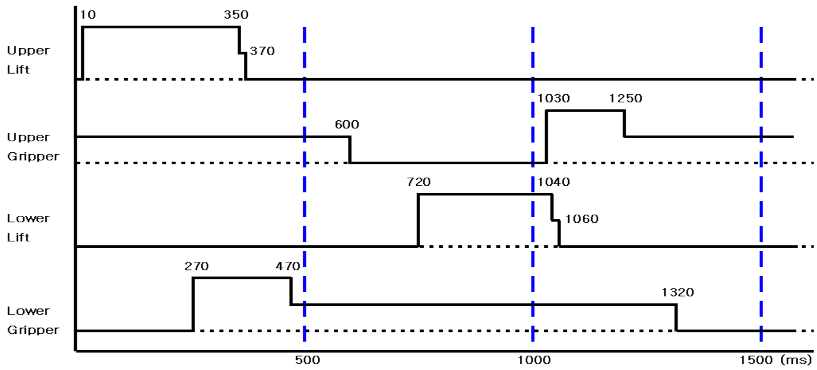
원자력발전소의 제어봉제어계통은 제어봉을 원자로심 내에 삽입 및 인출시켜 발전소 출력을 조절하는 계통이다. 따라서 제어봉제어계통에 문제가 발생할 경우 발전소 이용률에 직접적인 영향을 끼치게 된다. 제어봉제어계통의 건전성 여부는 제어봉 구동요구 신호에 따라 현재 제어봉이 적절히 구동되고 있는지 여부와 가까운 미래에 고장이 발생할 수 있는 잠재적인 요소가 존재하는가에 따라 판정된다. 제어봉구동장치 및 제어계통의 건전성을 파악할 수 있는 대표적인 신호로 각 제어봉 구동장치의 4개 코일에 흐르는 전류신호를 이용할 수 있다. 구동장치의 코일전류를 분석하면 구동장치 코일에 공급되는 전력의 현황과 구동동작의 적절성을 파악할 수 있고, 문제 발생시 그 원인을 밝힐 수 있으며, 또한 앞으로 발생 가능한 고장을 예측할 수 있다. 현재까지는 발전소에서 이러한 과정을 정비기간에 한하여 수동으로 수행하였기 때문에 객관적이고 체계적인 분석과 진단이 이루어지지 않았고, 따라서 예방정비에 필요한 구체적인 정보의 사전확보가 곤란하였다.

2.2.1 스마트센서

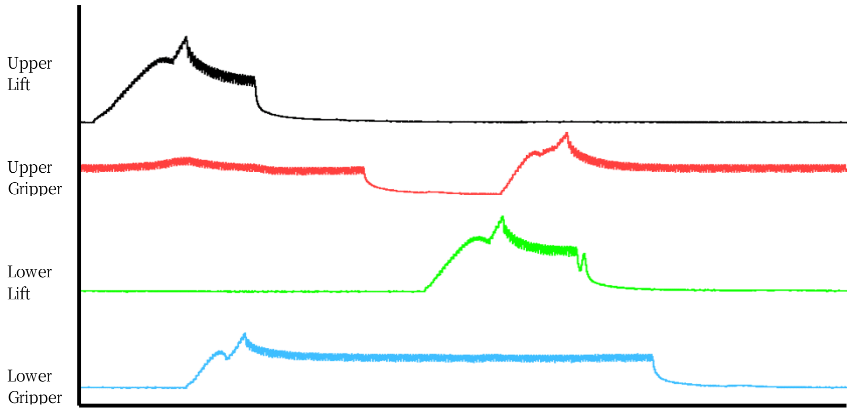
하나의 제어봉구동장치에는 4개의 코일 즉, 상부인출코일(Upper Lift Coil, UL), 상부집게코일(Upper Gripper Coil, UG), 하부인출코일(Lower Lift Coil, LL) 및 하부집게코일(Lower Gripper Coil, LG)이 설치되어 있다. 제어봉을 구동시키기 위해서 전력 공급회로와 제어회로의 조합에 의해 구동장치의 4개의 코일에 미리 정해진 시퀀스에 따라 영(Zero) 준위, 저(Low) 준위 및 고(High) 준위의 전력이 그림 2.a와 같이 공급된다. 제어봉구동장치 코일에는 공급전원의 특성과 전자기력 동작에 따른 전기적 영향 및 코일 인

덕턴스에 의한 영향 등이 반영되어 독특한 형태의 전류가 그림 2.b 와 같이 흐른다.
 코일전류는 각 코일과 직렬로 연결된 저항(Shunt) 양단의 전압차를 측정함으로써 취득된다.

 코일 전류신호는 제어봉제어시스템의 건전성을 진단할 수 있는 다양한 특징을 내포하고 있다. 스마트센서는 이러한 특징을 자동으로 분석하고 각 특징별 상태를 구분하여 변수화 하는 기능을 수행하며, 그 결과는 전문가시스템의 입력요소로 사용된다.



a. Withdrawal Timing Sequence



b. Coil Current Wave of CEDM Withdrawal

그림 2. 코일전류 구동시퀀스 및 파형

o 전류신호의 크기
 제어봉의 구동 또는 유지상태시 각 코일의 전류크기를 통하여 제어봉구동장치 또는 제어계통의 이상 유무 진단과 열화 추이를 예측할 수 있다. 코일전류의 크기는 0 - 25 [A] 범위이며 구동동작 상태와 제어봉 종류에 따라 전류크기의 기준값은 다르다. 전류신호의 크기를 이용하여 생성되는 특징변수는 전류크기(S_XX_COIL_I), 코일온도(S_XX_COIL_T), 및 코일온도 변화율(S_XX_COIL_DT)이며, 각 변수는 미리 설정된 기준값과의

비교를 통해 상태가 좋음(Good)/중간(Medium)/나쁨(Bad) 3 가지로 판별되어 데이터베이스에 전송된다. 이하 기술되는 모든 변수는 3 가지의 상태로 구분된다.

o 전류파형 시퀀스
제어봉은 인출과 삽입시 미리 정해진 일련의 여자 순서에 따라 코일에 전력이 공급되므로 취득된 코일전류의 시퀀스를 분석하여 구동동작의 종류 및 정상여부를 판별하여 하나의 변수(S_XX_COIL_DT)로 나타낸다.

o 체결 펄스와 해제 펄스
제어봉이 구동될 때 구동장치와 제어봉구동축간에 기계적인 체결과 해제시 순간적인 역기전력에 의하여 전류파형 상에 체결펄스(Engagement Pulse)와 해제펄스(Release Pulse)가 나타난다. 이러한 펄스의 형태를 분석하면 제어봉제어시스템의 기계적 또는 전기적 문제점을 파악할 수 있다. 따라서 전류파형에 나타나는 펄스의 발생유무, 발생위치 및 크기를 검출하고 기준과 비교하여 최종상태를 하나의 변수(S_XX_GLITCH)로 나타낸다.

o 파형의 주기 (Cycle Time)
제어봉이 정상적으로 구동할 때 한 구간(Step) 구동에 소요되는 시간은 약 1.5 초이다. 따라서 연속 구동의 경우 1.5 초의 간격으로 동일 파형이 반복되며, 만일 계통의 기계적 또는 전기적 문제가 발생하는 경우 한 주기의 시간이 정상범위를 벗어나게 된다. 따라서 파형의 주기별 구동시점과 종료시점을 감지하여 기준시간과 비교를 통하여 건전성 상태를 하나의 변수(S_XX_CYCL)로 나타낸다.

o 주파수
제어봉구동용 공급전원은 3 상의 60[Hz]를 정류하여 공급되므로 기본적으로 180[Hz]의 리플이 포함되어 있다. 그러나 전원공급 회로의 이상 시 180[Hz] 성분 외에 불필요한 60[Hz] 성분 또는 고주파 잡음이 유입될 수 있고, 또는 일부 상(Phase) 전원이 왜곡될 수 있다. 따라서 코일별로 유입된 잡음을 추출한 다음 그 크기와 주파수를 분석하여 하나 또는 몇 개의 특징값을 추출할 수 있다. 본 프로토타입에서는 주파수 관련 특징변수는 반영하지 않았다.

2.2.2 전문가시스템

계통의 고장을 자동으로 진단하고 예방정비 정보를 추출하기 위하여 전문가시스템을 이용한다. 즉, 제어봉제어시스템에 대하여 전문가의 지식을 바탕으로 인과관계를 네트워크

로 표현한 다음 확률론적 추론 엔진을 이용하여 주어진 상황에 따라 동적으로 최적의 진단과 예측을 하는 것이다. 이러한 용도로 전문가시스템의 일종인 베이시안 네트워크(Bayesian Netwoks 또는 Bayesian Belief Networks, BBN)에 기반한 상용 추론 프로그램을 이용하였다.

BBN 은 불확실한 상황이 존재하는 환경하에서 주어진 관측결과에 따라 이벤트와 가정들의 확률을 계산하기 위하여 사용된다. BBN 에서 전문가 지식은 변수를 대표하는 노드와 화살표로 연결된 그래프로 표현된다. 각 노드는 변수의 상호 배타적인 유한의 상태(State)를 갖으며, 노드간 정량적 인과관계를 나타내는 조건부 확률 테이블(Conditional Probability Table)을 포함한다. 그리고 화살표는 양 노드간의 정성적 인과관계를 나타낸다[4),5)]. BBN 에 초기에 입력한 조건부 확률은 실제 계통의 운전데이터가 누적됨에 따라 자동으로 갱신될 수 있으며, 따라서 초기에 가정한 지식기반의 불완전한 데이터는 시간이 지남에 따라 보다 실질적으로 개선될 수 있다.

제어봉제어시스템을 대상으로 BBN 을 작성하기 위하여 우선 부품의 기능적 계층을 구성하여 상호 인과관계를 표시하고, 가능한 의사결정(Decision) 내용을 정하며, 상태에 따르는 조건부 확률값과 조치 및 상태변화에 대한 효용함수(Utility Function)를 입력한다. 프로토타입에서는 한 개의 제어봉 구동장치에 대하여 그림 3과 같이 BBN을 구축하였다. 프로토타입에서 가정한 고장모드는 코일의 소손(Coil Damage), 구동동작 실패(Motion Failure) 및 제어봉 낙하(Rod Drop) 등 세가지로 한정하였으며, 이용된 특징변수는 코일전류의 크기(S_XX_COIL_I), 코일온도(S_XX_COIL_T), 코일온도 변화(S_XX_COIL_DT), 글리치(S_XX_GLITCH), 무게부하(S_XX_LOAD), 시퀀스(S_XX_SEQ) 및 구동주기(S_XX_CYCL) 등이다.

작성된 네트워크는 응용프로그램연계(Application Program Interface)를 통하여 자동으로 네트워크의 입력신호를 실시간으로 받아들여 추론한 후 그 결과를 데이터베이스에 저장한다.

2.2.3 신뢰도 분석

계통의 가동 연수가 증가함에 따라 구성기기와 부품은 열화 또는 마모되어 신뢰도는 감소하게 된다. 따라서 계통의 신뢰도를 적정수준 이상으로 유지하기 위해서는 계통을 구성하는 기기와 부품의 신뢰도나 이용률을 계산하여 적정시점에 해당 기기나 부품을 보수 또는 교체해야 한다. 이러한 계산은 별도의 상용 소프트웨어를 이용하여 이루어지며, 계산결과는 독립적인 정보로 사용되거나 BBN 의 입력요소로 사용된다.

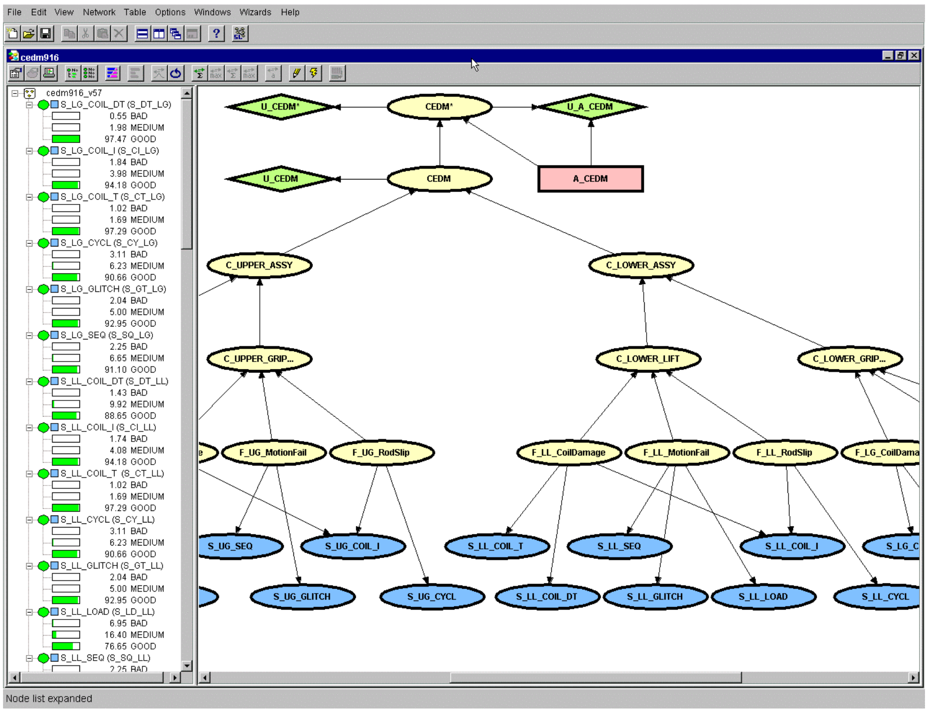


그림 3. 제어봉구동장치 BBN 모델링

2.2.4 인간-기계연계(MMI)

예방정비시스템 전체를 제어하고 필요정보를 입력하거나 사용자에게 진단결과와 예방정보를 표시하는 MMI는 계층구조 형태의 여러 화면으로 구성된다. 계층 1 화면에는 계통의 제어에 필요한 수단과 전체 계통의 건전성 상태가 제공되며, 계층 2 화면에는 선택된 제어봉구동장치의 구성 요소별 진단결과와 신뢰도 정보가 표시되며, 계층 3 화면에는 선택된 제어봉구동장치의 특정 코일에 대한 고장모드에 대한 상세정보가 표시되고, 계층 4 화면에는 계층 1~3에서 제공된 정보에 대한 보충 자료가 표시된다. 화면에 표시되는 모든 데이터는 중앙 데이터베이스와 연결되어 정보의 속성에 따라 주기적으로 또는 요구에 의해 갱신된다. 그림 4는 계층 4의 MMI 화면이다.

2.2.5 데이터베이스

데이터베이스의 역할은 스마트센서에 의해 취득된 센서값과 추출된 특징, BBN에 의해 계산된 고장확률과 의사결정 내용, 신뢰도 분석도구에 의해 계산된 기기의 신뢰도와 이용률 등을 기록하고 갱신하며, 또한 MMI 화면에서 표시될 데이터를 제공한다.

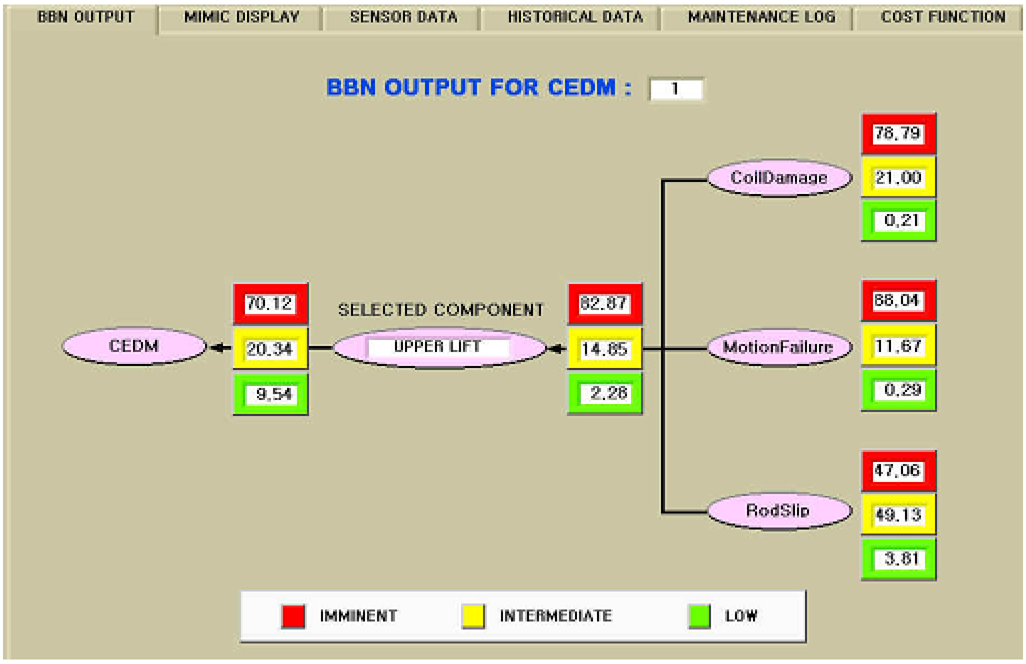


그림 4. 제 4 계층 MMI 화면

2.3 프로토타입 구축

예방정비 시스템의 각 구성요소를 종합하여 그림 5 와 같이 제어봉제어계통 예방정비시스템 프로토타입을 구축하였다. 프로토타입은 발전소 제어봉구동장치의 신호원을 모사하기 위한 가상기기 부분과 예방정비시스템의 두 부분으로 구성되었으며, 예방정비 시스템 부분은 다시 스마트 센서기능을 담당하는 DAQ 컴퓨터와 추론엔진, 데이터베이스 및 MMI 서버기능을 하는 서버 컴퓨터로 구분된다.

2.3.1 가상기기

대상계통인 제어봉제어시스템의 다양한 고장상황을 인위적으로 모사할 수 있는 PC 기반의 가상기기를 개발하였다. 가상기기는 MMI 용 컴퓨터 및 프로그램, 모니터, 신호모사용 실시간 운영체제의 컴퓨터, 시퀀스제어기, 신호 입출력을 위한 I/O 로 구성된다. 가상기기의 주요 구성품 중 하나인 시퀀스제어기는 8 비트 제어기로 실제 발전소에 사용되는 보드를 사용하였다.

가상기기는 전체 제어봉제어시스템을 구성하는 73 개 제어봉 중 1 개의 제어봉에 대한 거동을 모사하며, 가상기기의 출력신호는 발전소 실제 시스템의 신호형태와 준위가 동일하다.

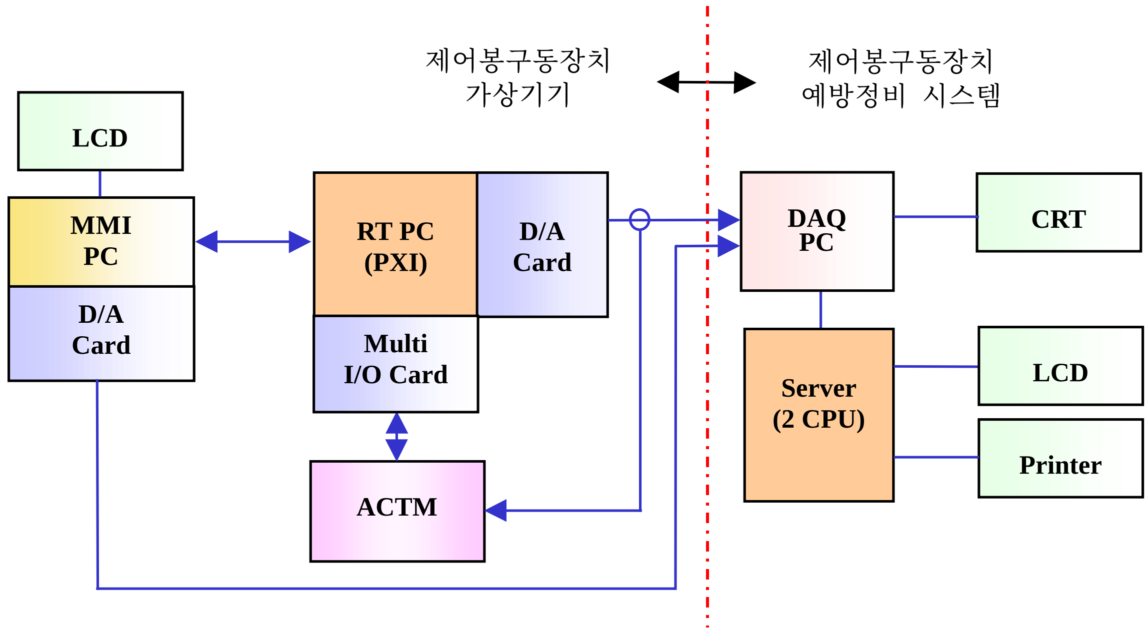


그림 5. 예방정비시스템 프로토타입 구성

2.3.2 스마트센서

스마트센서는 신호취득 컴퓨터(DAQ PC)를 이용하여 구현하였다. 데이터취득 컴퓨터에 아날로그-디지탈 변환카드(12 bit, 2 kS/s)를 장착하여 코일전류신호를 취득하며, 취득된 데이터를 바탕으로 프로그램에 의해 계통의 진단과 예측에 필요한 다양한 센서특징을 추출한다. 추출된 특징들의 집합(Sensor Features)은 네트워크를 통하여 예방정비시스템 서버의 데이터베이스에 저장되어 전문가시스템 기본 입력신호로 이용된다. 또한 스마트센서의 제어 및 모니터링을 위한 별도의 MMI 화면을 구현하였다.

2.3.3 예방정비시스템 서버

서버는 예방정비시스템의 핵심으로서 데이터베이스, 추론도구, 신뢰도분석 도구 및 MMI 프로그램을 수용하는 컴퓨터(Dual CPU)이다. 이것은 신호취득 컴퓨터와 네트워크로 연결되어 실시간으로 입출력 신호의 처리, 고장추론, 데이터베이스 정보의 기록 및 갱신, 예방정보의 표시 및 시스템 관리 등의 기능을 수행한다. 이 서버에는 MMI용으로 LabVIEW, 데이터베이스용으로 MS Access, 시스템 모델링 및 추론 엔진용으로 Hugin Expert, DB와 BBN 응용연계프로그램으로 Visual Basic 및 신뢰도 분석도구로 Relex가 이용되었다. Relex는 데이터베이스와 연동시키지는 않았고 독립적인 신뢰도 분석도구로 사용하였다. 그림 6은 서버 내에 구축된 여러 프로그램들의 상호 연계를 나타내고 있다.

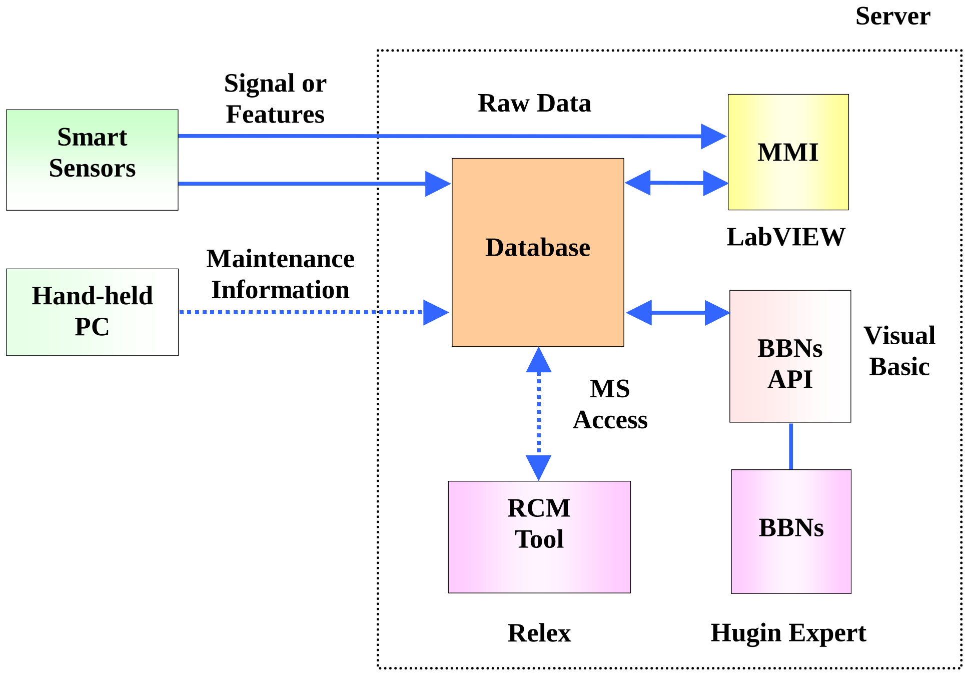


그림 6. 프로토타입 소프트웨어 연계도

2.4 프로토타입 검증 및 고찰

2.4.1 시험 시나리오

제어봉제어계통 예방정비시스템 프로토타입을 검증하기 위하여 예방정비 시스템을 구성하는 각 요소별 기능시험과 통합시험을 실시하였다. 요소별 시험은 크게 가상기기 자체의 기능시험, 스마트센서의 기능 및 성능시험, 그리고 서버 내 각 프로그램별로 기능 및 성능 시험을 수행하였고, 이를 바탕으로 아래와 같은 시나리오를 설정하여 시스템의 통합시험을 수행하였다.

가) 제어봉 구동축(Shaft) 마찰증가 진단과 고착 예측
나) 상부집게코일 고전압 상태 진단과 소손 예측
다) 상부집게코일 저전압 상태 진단과 낙하가능성 예측

프로토타입의 일부로 개발한 제어봉구동장치 및 제어장치 가상기기를 이용하여 각 시나리오에 해당하는 입력신호를 생성하여 신호 또는 파형형태로 제공하였으며, 중간 처리과정과 결과는 MMI 화면 및 데이터베이스에 저장된 최종 데이터를 통하여 확인하였다.

표 1. 통합시험 시나리오 요약

시나리오	가상신호 조건	센서특징 변화	추론결과
가)	제어봉 무게부하 증가 100 - >125 - >150 Kg	.S_UL_GLITCH[*1)] *G - >M - >B*[*2)] .S_UL_LOAD *G - >M - >B* .S_UL_SEQ *G - >G - >G*	.동작실패 가능성 증가[*3)] *0.0% - >0.36% - >88.04%* .유지/보수 효용성[*4)] 증가 *23.7 - > 40.0 - > 92.2*
나)	상부집게코일 고전압 인가 (150 Vdc)	.S_UG_COIL_I *G - >B* .S_UG_COIL_T *G - >M* .S_UG_COIL_DT *G - >B*	.코일손상 가능성 증가 *0.0% - >94.29%* .유지/보수 효용성 증가 *23.7 - > 95.3*
다)	상부집게코일 전압을 서서히 감소	.S_UG_COIL_I *G - >B* .S_UG_CYCL *G - >G*	.제어봉낙하 가능성 증가 *0.0% - >84.14%* .유지/보수 효용성 증가 *23.7 - > 90.43*

주) 1. S_UL_GLITCH : Upper Lift Coil 의 Glitch 상태
2. G : Good, M : Medium, B : Bad.
3. 실패가능성은 Imminent /Intermediate/ Low 로 구별하여 각각 백분율로 나타내며 본 테이블에서는 “Imminent” 경우의 확률만 제시한 것임. 나) & 다) 항도 동일함.
4. 유지보수 효용성 : BBN 모델링 시 반영한 각 조치(“No Action” & “Repair”)에 대한 계산 결과를 비율적으로 나타낸 것으로, 프로토타입에서는 수치의 크기자체는 의미가 없으나 값이 상대적으로 커지는 것은 기기를 정비하는 것이 유리함을 의미함. 적절한 가중치를 부여하면 비용함수로 활용 가능함.

2.4.2 시험결과의 고찰

시험을 통하여 확인한 내용은 각 개별 요소의 기능과 성능, 통합시스템의 동적인 신호연계, 신호분석, 고장 및 효용도 추론능력 및 각 정보의 표시기능이다. 통합시험은 시나리오별로 가상 입력신호를 인가하였을 때 일련의 처리과정 즉, “신호취득 - >특징추출 - >전송 - >DB 갱신 - >추론 - >DB 갱신 - >MMI 표시”의 순서대로 각각의 과정과 최종결과를 관찰하는 방식으로 수행하였다. 시험결과 일부를 제외하고 대체로 기능 및 성능면에서 당초 기대한 만큼 보여 주었다.

o 프로그램간 동적인 신호연계

데이터베이스를 중심으로 여러 프로그램에 의해 연동되는 입출력 신호는 시간 지연이나 데이터 누락 없이 순서대로 처리되었다. 특히 단일 데이터베이스를 사용함으로 이해 유발될 수 있는 데이터 병목현상은 발생하지 않았다.

o 진단 및 예방정비 정보

추론결과로 나타나는 일차정보는 기기의 구성품별 현재의 상태 및 필요 조치사항(Action)과 각 조치사항에 따르는 효용도(Utility)이다. 현재의 상태는 정비가 필요한 정도를 긴급(Imminent), 보통(Intermediate) 및 낮음(Low)으로 구분하여 각각 백분율로 표시되었다. 상태확률을 기기의 잔존수명과도 결부시킬 수 있도록 간단한 함수관계로 표현하여 시험해 본 결과 비교적 만족스러운 결과를 나타내었다. 또한 조치사항은 현재의 상황에서 종사자가 취해야 할 두 가지 경우의 조치, 즉 “조치 없음” 및 “정지 후 보수”에 대하여 각각 효용도를 수치로 보여주는데, 이 효용도를 적절한 함수의 변수로 활용하여 비용함수를 도출할 수 있었다. 프로토타입에서 보여주는 비용은 비록 정량적으로 현실적인 값이라고는 볼 수 없으나 방법론적으로 충분히 활용될 수 있음을 확인하였다.

o 정보의 표시

MMI 화면에 표시되는 정보는 최종적으로 데이터베이스에 저장된 값을 나타내는데 각 계층별로 설정한 그래픽 또는 수치정보를 해당 페이지에 적절히 나타내었다. 다만 MMI 화면상에 표시되는 모든 정보가 MMI 프로그램이 직접 데이터베이스를 접근해서 데이터를 읽어옴에 따라 각 화면간 이동 시 데이터베이스 접근에 소요되는 시간만큼 약간의 지연은 발생하였으나 무시할 수 있는 수준이었다.

반면에 프로토타입 시험을 통하여 아래와 같은 일부 문제점도 확인되었으며, 각 문제에 대한 적절한 해결방안은 아래와 같다.

o 추론엔진의 응답속도

전체 구성요소 중 추론엔진의 응답속도는 약 2~3 초로 가장 느리다. BBN 의 특성상 네트워크를 구성하는 노드의 수가 증가할 때 그 처리속도는 지수함수적으로 증가하므로 전체 제어봉제어계통에 대해 네트워크를 구성할 때 계산시간이 훨씬 많이 걸릴 것으로 예상된다. 따라서 대형 계통이나 전체 발전소에 대하여 추론엔진을 구성할 경우에는 BBN 과 기존의 전문가시스템을 적절히 조합하여 구성하는 방안을 고려하여야 한다.

o 최종 출력되는 데이터의 신뢰성

추론엔진을 통해 최종 출력되는 데이터가 비현실적으로 나타나는 경우가 있었다. 이것은 모델링하는 단계에서 기기 고장의 인과관계를 정량적으로 표시하는 조건부확률테이블을 입력할 때 실질적이지 못한 데이터를 입력함에 따른 것이다. 추론결과의 정량적 신뢰도는 전적으로 계통 모델링 기술과 모델링 단계에서 입력한 상태-고장 인과관계 테이블의 정확도에 의존하므로 신뢰성 있는 정보를 제공하기 위해서는 향후 별도의 연구/개발에 의하여 보완되어야 할 것이다.

3. 결　　론

예방정비 시스템을 구성하는 요소기술로서 스마트시스템 기술, 기기 고장모드 분석기술, 시스템 모델링 및 추론기술 및 기타 전산기술을 종합하여 원전의 제어봉제어시스템에 적용한 제어봉제어계통 예방정비시스템 프로토타입을 구축하였다. 개발된 프로토타입의 검증시험을 통하여 제어봉구동장치와 관련 제어장치의 건전성을 감시하고 예방정비 정보를 제공하는 기능을 확인하였다. 특히 예방정비 시스템의 핵심인 계통 모델링과 고장추론에 BBN 을 적용하고 이를 시험함으로써 BBN 을 향후 원전의 예방정비시스템에 적용할 수 있는 가능성을 확인하였다.

본 연구/개발을 통하여 확립한 기술을 바탕으로 향후 계통모델의 확장, 정량적 데이터의 산출기법 확립 및 추론엔진의 개선을 통하여 실제 발전소에 적용 가능한 시스템이 개발될 수 있을 것으로 기대한다.

본 연구는 과학기술부가 주관하는 “원자력선진기술 확보사업”의 일환으로 미국 NERI 과제와 공동연구 형태로 수행되었다.

[참 고 문 헌]

[1] 임형순, 원전 제어봉제어시스템 예방정비 방법론 개발, 2002 년도 대한전기학회 춘계학술대회 논문집 [D 권] , 2002.07.

[2] 과학기술부, 원전 지능형 예방정비 방법론 및 툴 개발 [최종보고서], 2002. 09

[3] J.M. Koo, Development of Coil Current Monitoring System for Control Element Drive Mechanism Control System, Proceedings of ICAPP '03, 2003. 05

[4] B. Yildiz and M.W. Golay, "Developing of the Smart Equipment Health Monitoring System”, Task Report SMART -NPP -I -2 -02, MIT, 2003.02

[5] Finn V. Jensen, "Bayesian Networks and Decision Graphs", Springer, 2001. 01

[6] Burton H. Lee, "Using Bayes Belief Networks in Industrial FMEA Modeling and Analysis", 2001 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, P 7 - 15, 2001

[7] E. Grove & W. Gunther, "Aging Assessment of the Combustion Engineering and Babcock & Wilcox Control Rod Drives", Brookhaven National Lab., 1993.01