

원전 증기 발생기 전열관 검사 자동화를 위한 지능형 통합 시스템 개발

Development of an Intelligent and Integrated System for Automatic Inspection of Steam-Generator Tubes in Nuclear Power Plant

강 순 주, 최 유 락, 최 성 수, 우 희 곤
(Soon-Ju Kang, Yoo-Rark Choi, Seong-Su Choe, Hee-Gon Woo)

Abstract : This paper presents a new eddy current testing system for inspecting tubes of steam generator in nuclear power plant. The proposed system adopted embedded expert system concept to automate tasks of the inspection such as inspection planning and flaw signal interpretation, and integrated all the tasks into a client/server type computing architecture using database management system. Therefore, human factor errors occurred during inspection could be minimized and the inspection data could be transferred in real-time. As a result, we can increase the level of inspection confidence and the productivity of a personal inspector. A prototype of the proposed system has been developed for 5 years and the test operation has been performed in domestic nuclear power plants.

Keywords : intelligent system, eddy-current testing system, non-destructive testing expert system, nuclear steam generator tube inspection system

I. 서론

증기 발생기 전열관은 U자형 모양을 가진 금속 재질의 관으로 원자로에서 데워진 1차 냉각수가 흐르면서 전열관 외부의 2차 냉각수를 증기로 만들어 터빈을 돌게 하는 방사능 차폐와 열 교환의 두 가지 목적을 동시에 수행하는 원전의 매우 중요한 장치 중 하나이다. 원전은 2-4개의 증기 발생기를 가지고 있으며, 각 증기 발생기 내부는 3000-5000개의 전열관 묶음으로 구성되어 있다. 이 증기 발생기 전열관은 원전의 가동 연료 증가에 따라 여러 가지 요인에 의해 결함이 생길 수 있는데 그림 1은 증기 발생기의 일반적인 구조를 중심으로 한 동작 원리와 전열관에 발생할 수 있는 이상 결함 사례 및 전열관 검사 방법에 대해서 보여준다. 이 검사를 위해서는 그림 1의 하단부에서 보는 바와 같이 와전류 신호를 탐지하는 탐촉자를 이동시키기 위한 로봇을 증기 발생기 하단부에 진입시켜 그 로봇의 움직임을 원격제어하면서 각 전열관 내부에 탐촉자를 삽입하여 와전류 신호를 수집한다. 이 신호가 결함 여부 판독을 위해 2차원 평면인 Lissajous 화면에 표시되면, 탐촉자의 위치에 따라서 특유의 모양을 가지는 신호 패턴을 얻을 수 있으며, 화면에 연속적으로 표시되는 이 신호 패턴을 전문가들이 분석하여 전열관의 건전성 여부를 진단하게 된다[1].

그러나 기존 전열관 검사 방법[1][2]은 각 세부 공정들이 다른 인력과 장비에 의해 독립적으로 수행되고 있고 공정간의 자료 전달도 수작업에 의해서 수행되고 있다. 이는 자료의 방대함으로 인한 비계획적인 검사 계획 수립과 인간 전문가의 판단력에 의존하는 결함 신호 평가로 인하여 인적 오류의 가능성이 상존하고 있으며, 또한 공정들 간의 자료 이동이 비체계적이어서 자료 처리 및 관리에 오류가 발생할 가능성이 있으며, 방대한 작업량으로 인해 최종 검사 결과 보고까지는 많은 시간과 전문 인력이 요구되고 있다[2-5].

이러한 기존 증기 발생기 전열관 검사 공정의 개선 필요성

이 대두되면서 그동안 많은 연구가 지속적으로 시도되고 있다[4][8-10][15]. 그러나 이러한 노력들의 대부분은 부분 공정의 개선이나 자동화를 대상으로 하고 있으며 전체 공정 개선을 목표로 수행된 연구는 비파괴검사, 인공지능, 분산처리 및 데이터베이스 기술등 많은 관련 기술들의 연계되는 복합 지능형 시스템 구조[11]가 필요한 기술임으로 인해 시도 되지 못했다.

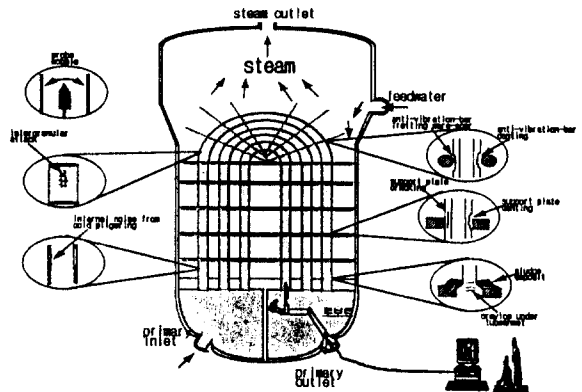


그림 1. 증기 발생기 전열관 구조 및 주요 결함 사례.
Fig. 1. SG tube structure and defect example.

본 논문에서 이러한 문제를 해결하기 위하여 client/server 방식의 개방형 분산처리 구조, 인공지능 기술 그리고 데이터베이스 기술을 결합한 새로운 증기 발생기 전열관 검사 자동화 시스템을 개발하여 제안하고 있다. 이 시스템은 우선 검사 계획 전문가 시스템을 이용하여 과거 검사 이력과 결함 분포 등의 자료를 반영한 최적의 검사 계획 수립을 하고, 둘째 신호 수집의 병행 수행을 가능케하는 개방형 신호 입수 체계를 개발하여 신호 수집 공정에 소요되는 시간을 단축시키며, 셋째 신호 자동 평가 전문가 시스템을 이용하여 이상 신호를 자동 추출한 후 인간 전문가에게 확인 시킴으로써 전문가의 업무를 경감시키고 인적 오류를 최소화할 수 있도록 하였다.

접수일자 : 1996. 2. 29., 수정완료 : 1996. 7. 30.
강순주 : 경북대학교 전자전기공학부
최유락 : 한국원자력연구소
최성수, 우희곤 : 한국전력연구원

본 논문에서는 먼저 제한한 시스템의 개요에 대하여 언급하고, 각각의 공정에 필요한 시스템의 설계에 대하여 설명한 후에 실제 시스템의 구현 및 분석에 대하여 논하고 결론을 기술하겠다. 단, 신호 자동 평가 시스템의 개발에 관한 내용은 이미 국내외 저널에 발표되었으므로[12-14] 본 논문에서는 상세히 다루지는 않는다.

II. 본론

1. 제안 시스템의 개요

증기 발생기 전열관 외전류 탐상 업무는 크게 4개의 세부 공정으로 구분된다. 우선 검사 대상 전열관 선정 및 검사 순서와 방법을 결정하는 검사 계획 공정, 검사 계획에 따라 탐촉자 이동용 로봇을 검사 대상 전열관으로 이동시켜 외전류 신호를 추출하고 그 신호를 저장하는 신호 입수 공정, 신호를 평가하여 전열관의 건전성 여부를 진단하는 신호 평가 공정, 그리고 신호 평가 결과를 데이터베이스화하여 관리하는 검사 이력 자료 관리 공정으로 구성된다 [1-2].

본 논문에서는 검사 계획 수립과 신호 평가를 전문가 시스템으로 자동화하고, 전 공정이 실시간으로 운영되는 증기 발생기 전열관 검사 통합 자동화 시스템 구조를 그림 2에서와 같이 제안하고 있다.

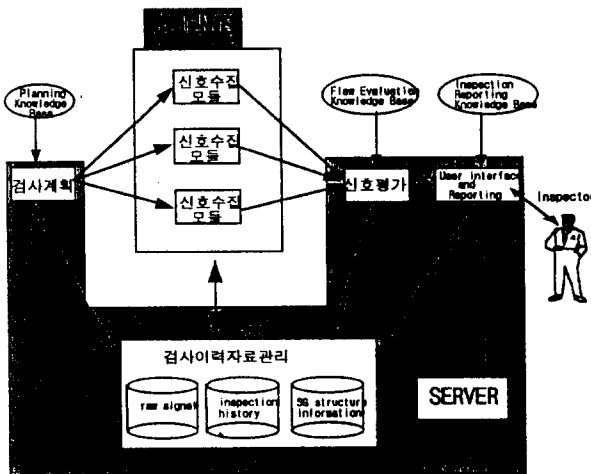


그림 2. 제안한 시스템의 소프트웨어 구조.
Fig. 2. S/W architecture of proposed system.

제안된 증기 발생기 전열관 검사 통합 자동화 시스템 구조는 Client/Server 형으로 고안되어, 전체 공정 중 가장 많은 시간이 소요되고 있는 신호 수집 공정을 Client로 독립 시킴으로써 여러 개의 Client에서 병렬로 신호를 입수할 수 있도록 하였다. Server에서는 과거 검사 이력 자료를 토대로 검사 계획을 자동으로 수립해주는 검사 계획 모듈과 Client로부터 받은 신호 자료를 자동으로 평가하는 신호 자동 평가 모듈, 그리고 검사 이력 자료를 관리하는 검사 이력 자료 관리 모듈을 포함하고 있다. 이 구조는 여러 개의 Client를 이용해서 다수의 증기 발생기 전열관 신호 수집 작업을 동시에 병렬로 수행할 수 있도록 지원하고, 각 신호 수집 작업이 Server의 검사 계획 모듈에서 작성된 검사 계획 순서에 따라 수행되도록 제어하며, 수집된 신호를 자동으로 평가할 수 있도록 설계하였다.

특히 가장 복잡한 세부 기능들이 요구되는 신호 수집 공정을 위해서 먼저 검사 계획 순서에 따라 신호 수집 탐촉자를 이동하기 위한 신호 수집용 로봇의 제어 모듈과, 탐촉자를 전열관 내부로 쏘아올릴 때 정확하게 전열관 중심을

인식하여 탐촉자 손상을 방지하도록 하는 전열관 단면 영상 처리 모듈, 그리고 신호 입수 모듈을 개방형 구조인 PC 기반의 MS Windows 상에서 통합 시스템으로 구현함으로써 이식성과 확장성을 제공할 수 있도록 하였다. 이 구조에서는 수집된 신호가 온라인으로 신호 평가 전문가 시스템에 전송 평가되며, 평가가 끝난과 동시에 평가 자료를 데이터베이스화하고 여러 형태의 보고서가 출력 될 수 있다. Server에서 구현되는 모든 공정은 전문가 시스템으로 개발되었으며, 신호 자동 평가 모듈에 의해서 생성된 결과는 인간 전문가에 의한 최종 확인 과정을 거치도록 하여 인간 전문가의 업무를 경감시키고, 인적 오류를 최대한 배제할 수 있도록 설계하였다. 또한 전 공정에서 발생하는 검사 계획 자료, 검사 이력 자료, 그리고 신호 자료 등의 종합적인 관리 및 이용을 위해서 DBMS(database management system)를 운영함으로써 검사시 발생하는 모든 자료와 과거 검사 이력 자료를 각 공정에서 실시간 동시 접근이 가능하도록 구성하였다. 그림 3은 증기발생기 전열관 검사 자동화 통합 시스템의 하드웨어 구성도이다.

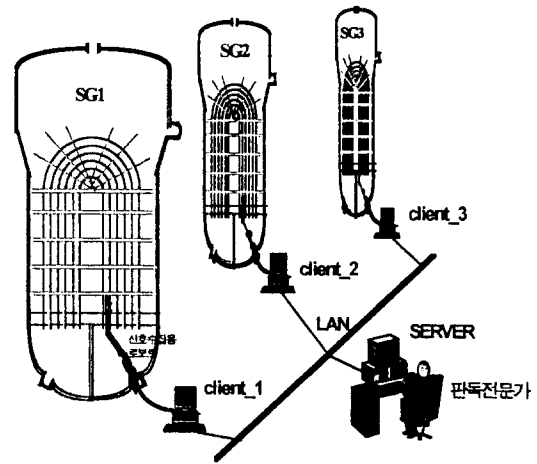


그림 3. 제안한 시스템의 시스템 하드웨어 구성도.
Fig. 3. H/W architecture of proposed system.

다음의 각 절에서는 검사 공정별로 제안된 시스템에 구현된 개념과 상세 설계 내용에 대해서 보다 구체적으로 기술하겠다.

2. 검사 계획 모듈의 설계

증기발생기 전열관 검사는 원전의 가동을 중지하고 수행되는 작업임으로 검사 기간은 최소한으로 한정될수 밖에 없다. 따라서 그 기간 내에 검사할 수 있는 전열관 수도 한정된다. 따라서 주어진 기간 내에 반드시 검사해야 할 전열관의 선정, 검사 순서 및 검사 방법 결정 등을 수행하는 작업이 검사 계획 작업이다. 최적의 전열관 검사 계획 수립을 위해서는 각 전열관의 과거 검사 이력 및 현재 상태 파악 과정이 선행되어야 하는데, 데이터의 양이 수작업으로 하기에는 너무 방대하다. 이 검사 이력 파악뿐만 아니라 검사 대상 전열관의 선별, 검사 순서 결정 및 적절한 검사 방법의 제안까지도 컴퓨터의 도움을 받을 수 있는 검사 계획 자동화 모듈을 개발하였다.

이 검사 계획 자동화 모듈은 어떤 전열관의 추정 결함 크기가 임계치까지 이르렀을 경우에 이 전열관을 보수 대상으로 선별하여 검사 대상에 포함한다. 결함의 크기가 지속적으로 성장하는 전열관, 결함이 발생한 전열관이 집합되어 있는 부근의 전열관, 최근 일정 기간 동안 검사가 되지 않은 전열관도 검사 대상 전열관으로 선정되는데, 이러한 규

척들은 인간 전문가의 지식을 토대로 작성된 전문가 지식 베이스에서 제공하고 있다.

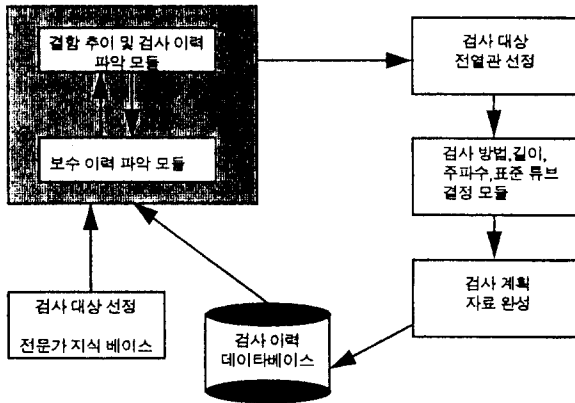


그림 4. 검사 계획 모듈의 구조.
Fig. 4. Architecture of inspection planning module.

그림 4에서와 같이 검사 계획 자동화 모듈은 전열관 단면도인 전열관 맵(map)을 이용하여 그 위에 검사 대상 전열관을 표시하도록 고안하였다. 일단 검사 대상 전열관으로 선정된 전열관에 대해서는 검사 방법, 검사의 길이, 그리고 검사를 위한 표준 탐촉자의 종류와 검사 주파수의 결정이 요구되는데, 이는 검사 대상 전열관이 선별된 후 검사 계획 시스템의 틀을 이용하여 전문가가 결정하도록 설계하였다. 검사 방법에는 Bobbin, 8x1, MRPC, Sleeve 검사 방법을 적용할 수 있도록 하였다.

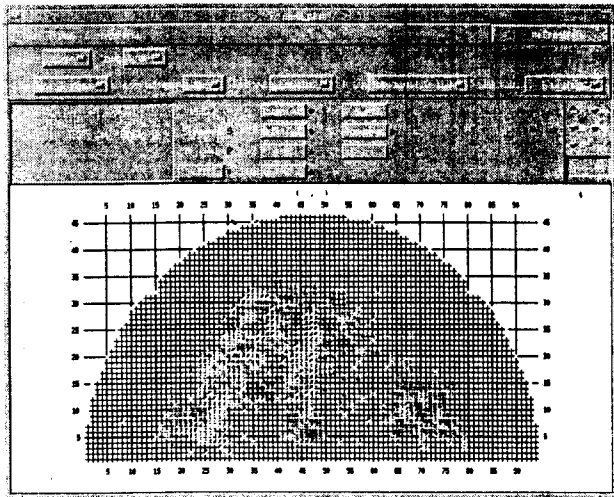


그림 5. 검사 계획 사용자 인터페이스.
Fig. 5. GUI of inspection planning system.

검사의 길이로는 Full, Half, 1/4이 있으며, 주파수와 표준 튜브 종류 선택의 경우에는 가변적인 값과 여러 종류의 표준 튜브를 기술해야 하므로 직접 선택 항목을 만들 수 있는 기능을 제공하도록 설계하였다.

그림 5는 검사 계획 자동화 모듈의 전열관 맵을 이용한 사용자 인터페이스 화면을 보여주고 있다. 검사 대상 전열관과 각 전열관의 검사에 필요한 정보가 결정되면 검사 대상 전열관의 위치에 따라 신호 수집을 위해서 탐촉자 이동용 로봇이 이동해야 할 검사 순서를 결정하게 되는데, 이는 신호 수집시 로봇의 움직임을 최소화하여 신호 수집 시간을 단축하기 위한 것이다. 이렇게 검사 계획이 완료되면 이 정보는 데이터베이스에 저장됨과 동시에 신호 수집

자동화 모듈로 네트워크를 통하여 전달된다.

3. 신호 수집 자동화 모듈의 설계

작업 영역이 인간이 접근할수 없는 고방사능 지역임으로 인해 검사 대상 전열관의 와진류 신호 입수를 위해 탐촉자를 검사 대상 전열관으로 이동시키는데 로봇이 이용되며 탐촉자를 전열관 내부로 삽입하고 와진류 신호를 입수하는 로봇 제어 및 신호 입수용 컴퓨터가 있어야 한다. 또한 탐촉자가 전열관으로 삽입될 때 정확히 전열관 중심으로 삽입되는 것을 확인하기 위한 CCTV 카메라가 로봇에 탑재되어 있으며, 이 카메라 영상을 표시하기 위한 모니터가 별도로 존재한다. 그러나 기존 신호 입수 시스템은 로봇 및 모든 제어 장비와 운영 소프트웨어가 산업용 특수 시스템으로 구성되어 있어 그 구조가 개방적이지 못하여 타 공정과의 온라인 자료 전달이 불가능 하였다. 현재 이용되고 있는 신호 입수 장비[7]는 산업용 컴퓨터인 HP 9836을 이용하여 제어되고 있는데, 본 연구에서 개발한 신호 입수 시스템은 탐촉자 이동용 로봇은 국내 원전에서 기 사용 중인 SM-10 로봇[6]를 그대로 사용하고 이 로봇을 제어하는 소프트웨어만을 IBM 486 PC의 MS-Windows 상에서 수행될 수 있도록 자체 개발하였다[5].

그림 6은 탐촉자 이동용 로봇 제어와 전열관 단면 영상 처리 기법을 이용한 신호 자동 수집 모듈의 구조를 보여주고 있다. 먼저 탐촉자 이동용 로봇은 수평 다관절형이며 동시 3축이 구동되도록 제작되어 있고, 원격 제어 방식으로 IEEE488 통신 규약에 따라 제어되도록 설계하였다. 로봇의 실제 움직임을 제어하기 위해서 임의의 전열관으로 움직이기, 단위 전열관 간격 만큼 움직이기, 그리고 미세 조정하기 등의 세가지 기본 조정 모드를 구현하여 검사 계획에 따라 자동 및 수동으로 로봇을 움직일 수 있도록 하였다.

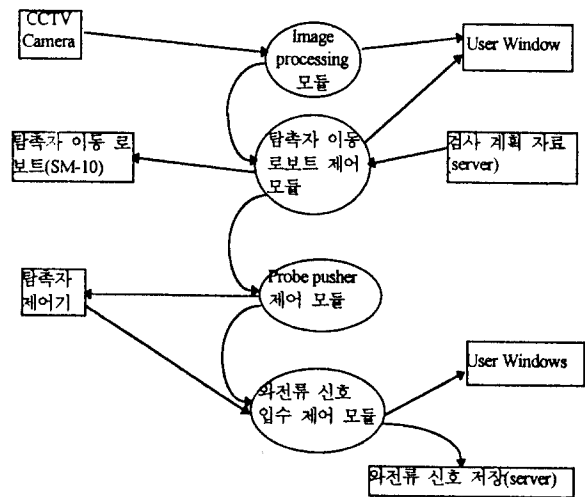


그림 6. 신호 수집 시스템(client)의 자료 흐름도.
Fig. 6. Data flow diagram of signal acquisition system.

탐촉자를 전열관에 밀어 넣기 위해서는 전열관 중심을 정확하게 인식해 주는 기능이 필요하다. 탐촉자의 삽입과 전열관의 중심 위치 파악은 탐촉자 이동용 로봇 상단에 부착되어 있는 카메라를 이용하고 있다. 현재의 방식에서는 이 카메라를 와진류 탐상 장비와는 별도로 독립된 CCTV 모니터에 연결하여 탐촉자의 움직임을 관찰하고 있으나, 제안된 시스템에서는 CCTV 모니터의 기능을 신호 수집 시스템에 통합하여 다중 화면 중 하나가 이 기능을 수행하면서 전열관 중심을 인식할 수 있는 기능을 제공하도록 설계하였

다. 이 기능은 영상처리 모듈로 통합되어 실제 동작시에는 독자적으로 화상 데이터를 디스플레이 하도록 하였다. 이러한 기능은 영상 표시 기능을 디지털화 한 것으로 여기에 영상 처리 기법을 도입하여 탐촉자의 삽입에 있어 전열관의 중심을 정확하게 인식할 수 있게 함으로써 탐촉자의 손상을 방지할 수 있도록 하여 신호 수집을 위한 로봇의 움직임 제어 공정을 무인 자동화할 수 있도록 설계하였다.

제한한 시스템에서는 신호 수집 모듈이 증기 발생기 전열관의 신호 수집 기능과 수집된 신호의 화면 디스플레이 기능 및 특정 저장 장치로의 기록 기능을 포함하도록 설계하였다. 그림 6에서와 같이 수집된 신호는 네트워크를 이용하여 server의 디스크에 직접 저장되며, server에서 동작되는 신호 자동 평가 시스템은 신호 입수 시스템의 동작과 무관하게 저장된 신호를 이용하여 신호 평가를 하게 된다.

4. 신호 자동 평가 모듈의 설계

와전류 신호는 비파괴 검사 신호의 일종으로 금속 재질의 결함 판독 혹은 재질 분류 등의 용도에 이용되며, 특히 원자력 발전소 증기발생기 전열관 결함 판독에 이용되는 경우는 자격증을 가진 전문 검사자에 의해서 수행되어야 하는 고난도의 기술이다. 그러나 이 와전류 신호에 의한 결함 판독 작업은 장시간 동안 연속 표시되는 신호를 미세하게 주시해야 하는 매우 힘든 작업이며, 결함 신호의 소홀과 주관적인 판단에 따른 인적 오류 원인이 상존하는 등의 많은 문제점을 내포하고 있다. 이러한 문제를 근본적으로 해결하기 위해 컴퓨터에 의한 와전류 신호 자동 판독 기술을 새로이 고안하여 신호 판독 자동화 모듈을 설계 및 구현하였다. 그림 7은 이 시스템의 자동 신호 판독 절차를 도식화한 것이다. 이 자동 판독 시스템의 업무 처리 절차는 크게 와전류 신호 판독에 필요한 지식을 컴퓨터에 이식하는 지식 정의 과정과 이 지식을 이용하여 신호를 판독하는 신호 처리 과정으로 나누어진다.

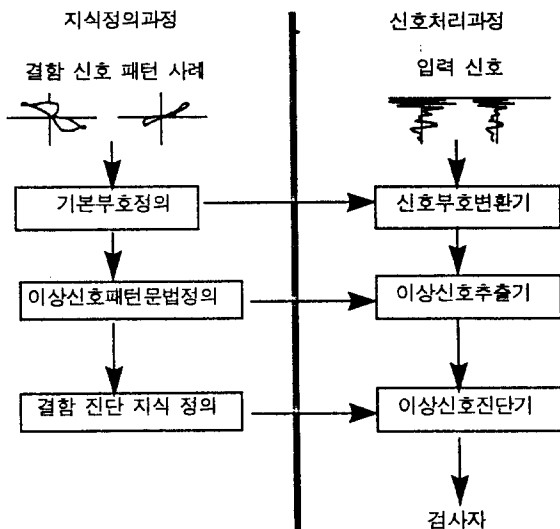


그림 7. 신호 처리 및 지식 정의 절차 흐름도.
Fig. 7. Flow diagram of knowledge definition and signal processing procedure.

지식 정의 과정에서는 세부적으로 첫째 와전류 신호를 컴퓨터로 표현하는데 필요한 기본 부호 정의 기능이 있으며, 이 정의된 기본 부호를 이용하여 추출하고자 하는 이상 신호 패턴을 정의하는 이상 신호 패턴 문법 정의 기능과 이 문법에서 정의된 부분 변수들의 값을 이용하여 신호에 결함 요인의 포함 여부를 진단하는 지식을 정의하는 결함 진단

지식 정의 기능으로 이루어진다.

신호 처리 과정은 우선 신호의 특징을 효과적으로 드러나게 해주는 전처리 과정을 거쳐서 정의된 기본 부호를 이용하여 와전류 신호를 부호 패턴으로 변환하는 신호 부호화 절차, 이 부호화된 와전류 신호에 이미 정의된 이상 신호 패턴 문법을 적용하여 이상 신호를 추출해 주는 이상 신호 추출 절차, 이 추출된 이상 신호 패턴에 대해서 결함 진단 지식을 적용하여 결함 여부를 판단하는 이상 신호 진단 절차가 있다.

와전류의 특성에 비추어 볼 때 통합 시스템의 성능에 가장 많은 영향을 주는 부분은 신호 평가 자동화 모듈로, 이 모듈을 전체 시스템 성능에 병목 현상을 일으키는 부분으로 볼 수 있다. 이 모듈에서 가장 고려해야 될 사항은 와전류 신호에 섞인 잡음 신호의 처리와 신호의 왜곡 현상 분석, 그리고 방대한 양의 신호 자료 처리 부분이다. 이 신호 평가 자동화 모듈은 인공 지능 기술의 하나인 전문가 시스템 개념을 적용하여 개발되었는데 이론적인 내용은 다른 논문에서 이미 발표하였으므로[13 14] 본 논문에서는 구현에 대해서만 다음과 같이 간략하게 언급한다.

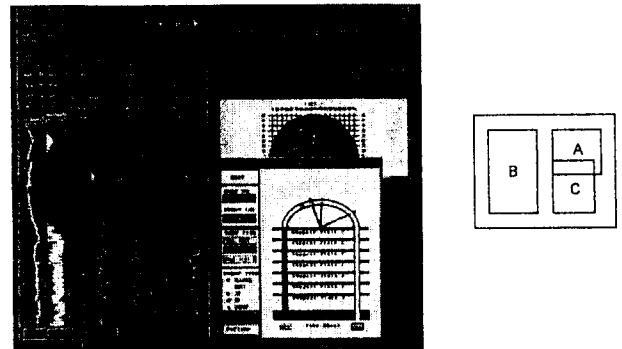


그림 8. 신호 평가 자동화 모듈의 사용자 인터페이스.
Fig. 8. GUI of automatic signal evaluation module.

그림 8은 신호 자동 평가 시스템의 사용자 인터페이스를 보여주고 있다. 그림 8에서 보는 바와 같이 이 신호 자동 평가 시스템의 사용자 인터페이스도 3가지의 정보를 동시에 사용자에게 제공하여 줄 수 있다. 즉 그림 8의 A 화면은 현재 검사 중인 증기발생기 검사 전체 공정 상황과 결함 발생 분포를 나타낸다. B는 특정 검사 대상 전열관의 와전류 신호 전체를 표시해주며 그 신호 중에서 전문가 시스템이 자동으로 검출한 결함 패턴 신호를 event 단위로 표시한다. 또한 B 화면은 검출된 결함 패턴에 대해서 결함 위치, 깊이, 종류 등 전문가 시스템이 자동으로 평가한 결과를 별도 화면으로 표시하여 검사자의 검증을 받을 수 있도록 하였다. C는 자동 검출된 결함에 대한 전열관 내의 정확한 위치 및 종류를 표시해주는 보조 화면이다.

5. 검사 이력 자료 관리 모듈의 설계

검사 이력 자료 관리 모듈은 증기 발생기 검사 중에 수집되는 방대한 자료에 대한 정확한 유지 및 관리를 위하여 설계되었으며, 증기 발생기에서 수집된 데이터를 정확하게 분석하고 파악할 수 있는 각종 기능들을 포함한 50 여종의 보고서 작성 기능을 제공하고 있다. 본 논문에서 설계한 검사 이력 자료 관리 시스템은 ORACLE 7.0 RDBMS를 이용하여 데이터베이스를 구축하였으며, 데이터베이스 시스템 구조 및 질의어에 익숙하지 않은 사용자가 자연스럽게 데이터베이스를 접근할 수 있도록 다양한 사용자 인터페이스 환경을 구축하였다.

그림 9에서 보는 것처럼 검사 이력 자료 관리 모듈은 다

른 모든 공정에서 언제든지 접근할 수 있는 고유 모듈로 설계 및 구현되었으며, Map, List, Graph, 그리고 Edit의 4가지 사용자 인터페이스 처리 기능을 가지고 있다. 우선 Edit 모듈은 검사 결과 자료의 데이터베이스화를 위해 증기 발생기 와전류 검사시 생성된 데이터를 사용자 인터페이스를 통하여 편리하게 데이터베이스나 파일로 저장하는 기능은 물론, 자료의 검색과 수정도 용이하게 할 수 있는 기능도 제공하도록 설계하였다. Map 모듈은 데이터베이스에 저장되어 있는 전열관들의 배열 형태와 각 전열관들에 대한 상태 자료들을 도식화하여 사용자가 알아보기 쉽도록 위해 결합의 크기, 위치, 보수 상태 및 검사 계획 자료 등을 전열관 맵 위에 보여줄 수 있도록 설계하였다. List 모듈은 사용자가 필요로 하는 여러 가지 자료들을 데이터베이스로 검색하여 리스트나 표 형태로 화면과 문서로 출력하기 위해 설계되었다. Graph 모듈은 데이터베이스 검색 결과를 텍스트가 아닌 그래프 형태로 표현할 수 있는 기능을 제공하는 것으로서 검색된 자료의 비교 및 분석을 용이하게 할 수 있도록 한다.

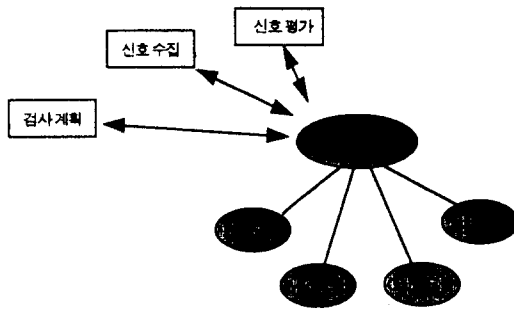


그림 9. 검사 이력 자료 관리 모듈의 구조.
Fig. 9. Architecture of history data management module.

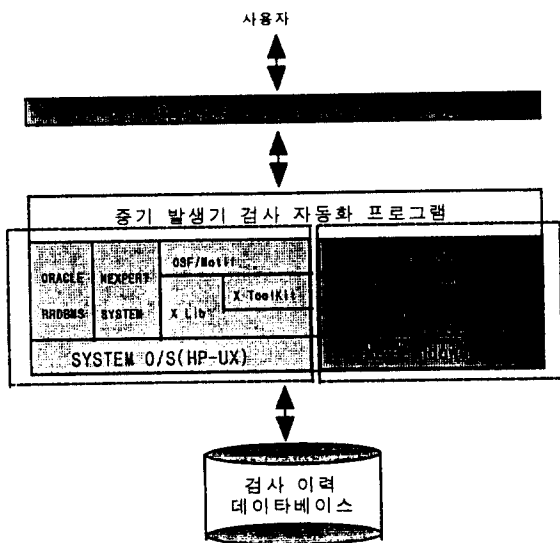


그림 10. 증기 발생기 전열관 검사 자동화 통합 시스템 개발 환경.
Fig. 10. Development environment.

III. 통합 시스템의 구현

증기 발생기 전열관 검사 통합 자동화 시스템의 서버로는 32MB의 메인 메모리와 1.3GB의 광 디스크를 장착한 HP

9000/715가 이용되었으며, 클라이언트로는 MS-Windows를 이용한 IBM 486 PC 호환 기종을 이용하여 구현하였다. 검사 공정의 전 과정을 네트워크로 연결하여 모든 자료를 온라인으로 처리할 수 있도록 하였는데, 이 시스템의 소프트웨어 개발 환경은 그림 10과 같다.

HP 9000/715의 운영 체제는 HP-UX에 기반하고, 전문가 시스템 구축을 위해서는 Nuron Data 사의 Nexpert Object 3.0[18]을 이용하였다. 증기 발생기의 데이터베이스 구축 및 관리를 위하여 ORACLE RDBMS Version 7.0[16] 커널을 메인 메모리에 상주시켜 C 언어를 Embedding하여 각종 데이터를 운용하도록 구현하였으며, 호스트 언어로 Embedded SQL 문을 처리하는 Pro*C를 이용하여 데이터베이스에 대한 질의를 처리하도록 하였다. 사용자 인터페이스의 경우에는 증기 발생기 전열관 검사 자동화 통합 시스템을 다른 컴퓨터 시스템에서 운용하거나 확장 시킬 경우를 고려하여 그래픽 표준 시스템인 X-Window 시스템을 그래픽 환경으로 채택하여 X-Lib와 X-Tool Kit, 그리고 OSF/Motif를 이용하였다[17]. 증기 발생기 신호 수집 시스템과 신호 입수용 로봇의 제어는 IBM 486 PC에서 IEEE488 프로토콜을 이용하여 Visual C++로 구현하였으며, 여기에서 수집된 신호는 네트워크를 통하여 데이터베이스에 저장될과 동시에 신호 평가 시스템의 입력으로 이용되도록 구현하였다.

제안된 시스템의 시제품을 위해서 약 150,000 line의 C/C++ 언어 source와 600여 개의 규칙들이 지식 기반 source로서 구현되었다.

IV. 결론

제안된 개념으로 구현된 시스템은 현재 국내 원전인 고리 1-2호기에서 시범 운영하고 있으며 지속적인 개선을 하고 있다. 시험 운영 결과 기존 방식에 의해 증기발생기 검사가 수행될 때 약 30명 정도의 인원과 약 1 개월의 기간이 소요되는 것에 비해 본 시스템이 전반적으로 이 검사에 적용될 경우 검사 인원과 기간을 약 1/3 정도로 낮출 수 있음을 확인할 수 있었다. 또한 신호 평가의 신뢰성 측면에서도 1차로 컴퓨터에 의한 이상 신호 자동 검출, 그리고 2차로 인간 전문가에 의한 정밀 분석 및 확인 검증의 역할 분담이 가능하고 장시간 신호 주시 등의 열악한 작업 환경에서 나타날 수 있는 인적 오류의 가능성을 최소화 할 수 있어 검사의 신뢰성 증대와 검사자의 생산성 증대라는 이득을 동시에 취할 수 있었다.

이러한 의미있는 성과는 검사 계획 전문가 시스템, 신호 자동평가 전문가 시스템등 세부 공정들을 효과적으로 지능형 자동화 하였으며, 이들간의 자료 전송 및 체계적 공정 관리를 위하여 컴퓨터 네트워크에 의한 물리적 공정 통합과 DBMS를 근간으로하는 논리적 시스템 통합이 가능했으며, 특히 Client/Server 방식의 분산 처리 개념을 적용한 다중 신호 입수 기능은 전체 공정에 병목 현상을 초래하고 있는 부분을 획기적으로 개선 할수 있었다. 이러한 시스템 구조의 설계 및 구현은 매우 복잡한 작업 공정을 복합적 지능형 컴퓨터 기술을 적용하여 효과적으로 해결하였다는 데 큰 의의가 있으며, 제안된 시스템 구조는 신호 수집에 의한 구조물 고장 진단등 유사한 형태의 지능형 자동화 시스템 구현에도 적용이 가능할것이다.

제안된 시스템 개발을 위해서 한국 전력의 개발비 지원하에 한국 원자력 연구소와 한전 부설 전력 연구원 공동 연구로 설계에서 구현까지 전 과정을 고유의 자체 기술로 개발하였으며, 6-7명의 전담 인원과 약 5년 간의 기간에 거쳐 개발되었으며 지속적인 개선 작업이 진행 중이다.

참고문헌

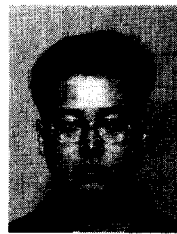
- [1] EPRI NDE Center, *Advanced Eddy Current Data Analysis Techniques for Steam Generator Tubing*, 1984.
- [2] 한국원자력연구소 비파괴 시험 연구실, 와전류 탐상 관련 절차서, 1989.
- [3] 한국원자력공사, 고리 원자력 2호기 제6차 가동중 검사 최종보고서, 6, 1990년
- [4] 허영환 외, "전문가 시스템의 원자력 분야 응용을 위한 연구," 한국원자력연구소, /KAERI/RR-662/87, 1988.
- [5] 강순주 외, "S/G tube 검사 공정 자동화를 위한 와전류 검사 통합 시스템 개발," 중간보고서, 9, 1994년
- [6] Zetec Inc., *SM-10 Operation Guide System DISC Series 200/300 Edition* 18.6, Rev. 5, Dec., 1988.
- [7] *Miz-18 Remote Data Aquisition Unit*, Technical Manual, Zetec Inc., 1988.
- [8] C. H. Chen, "Tutorial on signal processing and pattern recognition in nondestructive evaluation of materials," Non-Destructive Testing(edited by J. Boogaard and G.M. Van Dijk), Elsevier Science Publishers, pp. 845-850, 1989.
- [9] C. E. Chapman, A. Fahr, A. Pelletier and D. R. Hay, "Artificial intelligence in the eddy current inspection of aircraft engine component," *Materials Evaluation*, vol. 49, no 9, pp. 1090-1094, 1991.
- [10] C. Y. Han and W. G. Wee, "The status of vision expert systems for material inspection," *Journal of Minerals, Metal and Materials Society*, vol. 42, no. 7, pp. 25-27, 1990.
- [11] A. Kandel and G.(Ed.) Langholz, *Hybrid Architectures for Intelligent Systems*, CRC Press, 1992.
- [12] S. J. Kang, N. S. Park, and Y. H. Hur, "A syntax and semantic - directed pattern recognition method for extracting and Classifying Flaws from Eddy Current Signal," *Proc of 10th Intl' conf on NDE Glasgow*, pp. 199-294, 1990.
- [13] S. J. Kang and Y. R. Kwon, "A hybrid architecture for effective representation of knowledge in eddy current signal evaluation," *The 2nd Pacific Rim Intl' Conf on Artificial Intelligence PricAI'92*, Seoul Korea pp. 400-406, 1992.
- [14] Soon Ju Kang, Chan Ho Ryu, In Soon Choi, Soong Soo Choi, Bueng Jae Choi, Young Il Kim, Kil Yoo Kim, Young Hwan Hur and Hee Gon Woo, "An intelligent eddy current signal evaluation system to automate the Non-Destructive testing of steam generator tubes in nuclear power plant," *'92 Korea Automatic Control Conference(Intl section)*, Exhibition Center(KOEX), Seoul, Korea, pp. 74-78, October 19-21, 1992.
- [15] H. Kotsubo H. Furusawa H. Tanaka and Y. Hosohara "A pattern recognition system detecting corrosion pits on gas pipelines," *Proc of Intl Conf on Fuzzy Logic and Neural Networks*, Iizuka, Japan, July 20-24, pp. 351-354, 1992.
- [16] ORACLE Ver. 7, *SQL*Plus Users Guide*, 1987.
- [17] Eric F. Johnson and Kevin Richard, *X Window Application Programming*, Portland, MIS Press, 1980.
- [18] NEURON DATA INC., *NEXPERT OBJECT Application Programming Interface Reference Manual*, Part no Man-110-700-01, 1991.



강 순 주

1960년생. 1983년 경북대학교 전자공학과 졸업. 1985년 한국과학기술원 전산학과 석사과정 졸업. 1995년 한국과학기술원 전산학과 박사과정 졸업. 1985년 ~ 1996년 8월 한국원자력연구소 전산정보실 선임연구원. 1996년 9월 현재

경북대학교 전자전기공학부 교수. 주관심분야는 소프트웨어 공학, 전문가 시스템, 실시간 시스템.



최 유 락

1991년 충남대학교 공과대학 컴퓨터공학과 졸업(공학사). 1993년 충남대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학석사). 1993 ~ 현재 한국원자력연구소 인공지능분야 근무(연구원). 관심분야는 객체지향DB, 네트워크 보안.



최 성 수

1981년 한양대학교 전자통신과(공학사). 1994년 한남대학교 전자공학과(공학석사). 1981년 ~ 현재 전력연구원 정보통신연구팀 선임연구원. 주관심분야는 영상신호 처리, 로봇제어 기술.



우 희 곤

1975년 동아대학교 전자공학과(공학사). 1983년 연세대학교 전자공학과(공학석사). 1995년 충남대학교 전자공학과(공학박사). 1983년 ~ 현재 전력연구원 정보통신연구팀 수석연구원. 주관심분야는 멀티미디어, 전문가 시스템.