

원전 증기 발생기 검사 자동화를 위한 전문가 시스템 개발

正會員 崔炳載*, 姜淳周**, 崔聖壽***, 禹熙坤***

Development of Expert System for Automation of Steam Generator Tube Inspection in Nuclear Power Plants

Byung-Jae Choi*, Soon Ju Kang**, Seong-Su Choi***, Hee-Gon Woo*** Regular Members

要 約

원자력 발전소의 증기 발생기 전열관은 와전류 검사(ECT)라는 일종의 비파괴 검사 방법을 사용하여 결함 유무를 판별하고 있다. 특히, 검사 전문가의 수는 한정되어 있지만 검사를 필요로 하는 자료의 양은 매우 방대할 뿐만 아니라, ECT 검사 자체가 매우 지루한 작업이기 때문에 현재의 방법은 결함 여부를 정확히 식별하기 곤란할 뿐만 아니라 이상 신호를 소홀히 취급할 가능성 등의 많은 문제점을 내포하고 있다. 본 논문에서는 사람 전문가에 의해 수행되던 증기 발생기 전열관의 와전류 검사를 자동화할 수 있는 와전류 신호 평가 전문가 시스템을 개발하였다. 특히, 개발한 전문가 시스템은 단독으로, 혹은 사람 전문가의 지원 장비로 사용할 수 있도록 개발하였다. 그 결과, 와전류 신호 평가의 신뢰성을 향상시킬 수 있으며, 평가 작업에 필요한 인력을 대폭 줄일 수 있다. 더욱이 매년 수행하는 원자력 발전소의 예방 정비 기간을 단축하여 경제적 효과까지 거둘 수 있다.

ABSTRACT

The inspection for steam generator tubes of nuclear power plants is performed by an eddy current testing(ECT) method. Currently, some human experts examine enormous eddy current(EC) signals to find abnormal ones on the computer screen. As a result, the procedure is very tedious, thus in this method there exist many problems. For example, it is possible that human experts omit abnormal signals.

In this paper, we develop the expert system which can automatically evaluate EC signals of steam generator tubes. Since the expert system helps human experts, the reliability in EC signal evaluation can be greatly improved, and the required man-power can be reduced. Additionally, by applying to real plants the overhaul period can be shortened, and contribute to a safe operation of the nuclear power plants.

*한국과학기술원 전기 및 전자공학과

**한국원자력연구소

***한전 전력연구원 인공지능연구팀

論文番號 : 95046-0406

接受日字 : 1995年 4月 6日

I. 서 론

원자력 발전의 안전성에 대한 공감대가 확산되면서 근래 원자력 분야에서는 사람의 실수로 인한 사고 가능성의 배제, 전문기술의 안정적 공급 및 원자력 발전의 안전성에 대한 신뢰도 배가의 측면에서 인공지능(Artificial Intelligence, AI)기술의 도입이 활발히 이루어지고 있다.

전문가 시스템이란 전문가의 해석 또는 전문가의 지식을 요구하는 분야에 대해 컴퓨터를 이용하여 전문가의 진단에 도움을 주거나 전문가를 대신할 수 있도록 구성된 소프트웨어 시스템을 의미한다. 따라서 전문가의 전문지식이 요구되는 모든 분야에 이를 적용할 수 있으며, 특히 원자력 분야에서의 전문가 시스템은 사람의 실수가 발생하기 쉽고, 경험에 바탕을 둔 전문지식이 요구되는 고장진단 분야, 혹은 방대한 양의 신호 처리 분야 등 여러 분야에 널리 적용될 수 있다.

원자력발전에는 많은 중요한 설비와 기술이 종합적으로 적용되고 있으며, 그 중에서도 증기발생기는 원자력 발전의 중추적인 역할을 담당하고 있다. 그러므로 증기발생기 전열관의 건전성 확보는 원자력 발전설비에 의한 전력의 생산뿐만 아니라 1차 계통의 방사능 누출을 차단하는 원자력발전의 안전성 측면에서도 매우 중대한 문제이다. 현재 증기발생기 전열관의 건전성 검사, 즉 결함 진단은 원자력발전소의 계획 예방 정비 기간을 이용하여 와전류에 의한 비파괴 검사(Eddy Current Testing, ECT)를 수행하는 것이 보편화 되어 있다. 그러나 현재의 ECT에 의한 진단방식은 고도로 훈련된 ECT 신호 해석 전문가들에 의해서만 수행될 수 있으며, 특히, 국내에는 유자격자가 한정되어 있고, 평가 공정의 복잡성 및 방대한 양의 신호자료로 인하여 많은 시간과 인원이 요구되고 있다. 더욱이 현재와 같이 사람 전문가에 의해 수행할 경우, 매우 단조롭고 지루한 작업이기 때문에 결함 여부를 정확히 진단할 수 없는 이상 신호를 소홀히 취급할 가능성이 있는등의 많은 문제점을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 원자력 발전소의 증기발생기 전열관 검사 공정에 인공지능 기술을 도입한 와전류 신호 평가 전문가 시스템을 개발한다. 그 결과, 검사에 필요한 사람 전문가의 수가 대폭 줄어들 수 있으며, 검사 기간 또한 단축할 수 있다. 뿐만아니라, 검사 신호에 대한 신뢰도가 증가되어 원자력발전의 안전성 제고에도 크게

기여할 수 있다.

2장에서는 증기발생기 전열관의 와전류 검사 공정에 대하여 소개하고, 3장에서는 개발한 신호 평가 전문가 시스템에 관하여 상세히 설명한다. 계속해서 4장에서는 개발 시스템의 성능에 관해서 논의하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 증기발생기 전열관의 와전류 신호 검사공정

2.1 증기발생기

증기발생기(Steam Generator, S/G)는 원자력 발전소의 격납용기 내부에 존재하며 원자력 발전소 한 호기당 2~4기를 보유하고 있다. 또한 한기의 증기발생기에는 보통 5,000여개의 전열관을 가지고 있으며, 일반적인 구조는 [그림 2-1]과 같다. 증기발생기 내부에는 두 종류의 물이 흐르고 있는데, 그 하나는 원자로에서 발생한 열을 받아서 고온, 고압으로 증기발생기 내부의 U자형 전열관 속으로 흐르는 1차측 냉각수이고, 다른 하나는 이들 전열관 사이 사이로 흐르면서 1차측의 열을 공급받아 증기로 바꾸어 발전기에 가해지는 2차측 냉각

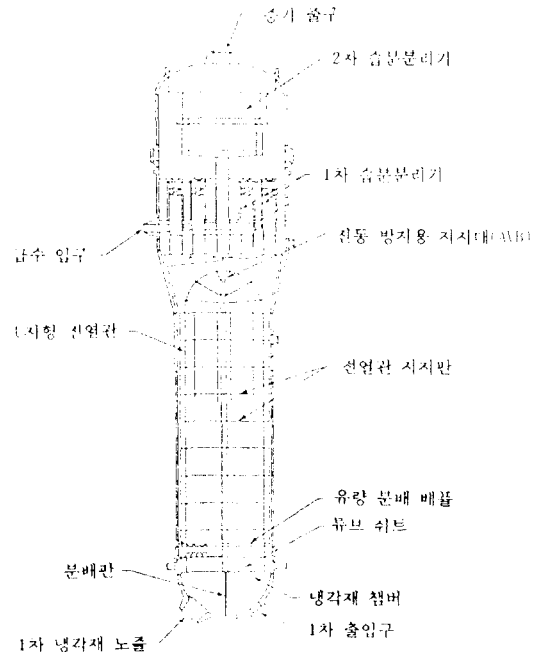


그림 2-1. 증기발생기의 일반적인 구조

수이다. 즉, 원자력 발전소의 증기발생기는 화력발전소의 보일러와 같은 기능-열교환 기능-을 수행하는 설비로 안전성의 측면에서나 발전 효율의 측면에서 매우 중요한 역할을 담당하고 있다.

2.2 검사현황

현재 증기발생기 전열관의 결함 여부는 미연방 원자력 규제법에서 규정하고 있는 와전류 검사법(ECT)을 사용하고 있으며, 검사장비 및 검사절차는 [그림 2-2]와 같다. 즉, 와전류 검사란 인가된 전류에 의해 전열관의 표면에 형성되는 소용돌이 전류의 변화를 이용해서 결함 여부를 판별할 수 있는 비파괴 검사의 한 방법이다.

검사 절차를 간단히 요약하면 다음과 같다. 먼저 증기발생기 전열관의 번호를 확인하기 위하여 튜브 쉬트(tube sheet) 하단에 템플레이트(template)를 부착하고 챔버(chamber) 내부에 탐촉자, 매니퓰레이터(manipulator) 등의 제반 데이터 수집장비를 설치한다. 검사 데이터의 수집은 격납용기 외부의 데이터 취득실에서 chamber 내부에 있는 장비들을 원격 조정하여 수행한다. 검사 주파수는 보통 100, 300, 600, 그리고 800 kHz 4개를 사용하지만 증기발생기 모델에 따라 다른 방법을 사용하기도 한다. 또한 내삽형 탐촉자를 사용하여 자기 비교형 차동법(differential)과 표준 비교형 절대법(absolute)에 의해 신호를 동시에 수집한다. 따라서 하나의 샘플링 포인트(sampling point)에 대하여 보통 4개의 검사주파수와 2개의 수집방식의 조합으로 이루어 지는 8개 채널의 데이터가 수집된다. 신호평

가는 결함 발생 위치에 따라 신호 위상각에 의한 결함 길이 평가방법과 신호진폭에 의한 결함 깊이 평가방법을 분리하여 적용한다. 또한 전열관 지지판(Tube Support Plate, TSP)과 같은 특정위치에서는 해당 구조물에 대한 신호와 결함 신호가 합성되어 나타나므로 두개 이상의 검사 주파수 신호를 혼합하여 해당 구조물에 대한 신호를 소거한 후에 그 결함의 상태를 평가하는 등 위치에 따라 다른 평가방법을 사용한다. 신호평가 전문가는 이론적인 지식과 축적된 경험을 바탕으로 연속적으로 변하는 [그림 2-3]과 같은 다양한 패턴의 신호를 육안으로 주시하다가 결함으로 추정되는 이상신호를 추출해낸다. 또한 이 추출된 신호에 대하여 결함의 위치, 종류, 깊이 및 길이등을 평가하여 결함의 정도에 따라 관막음(plugging), 관재생(sleeving) 등의 결함 보수 계획을 결정한다.

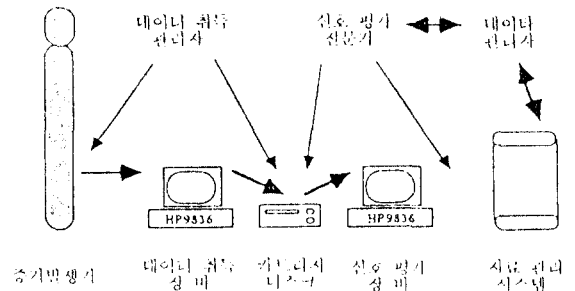


그림 2-2. 증기발생기 전열관 검사 절차

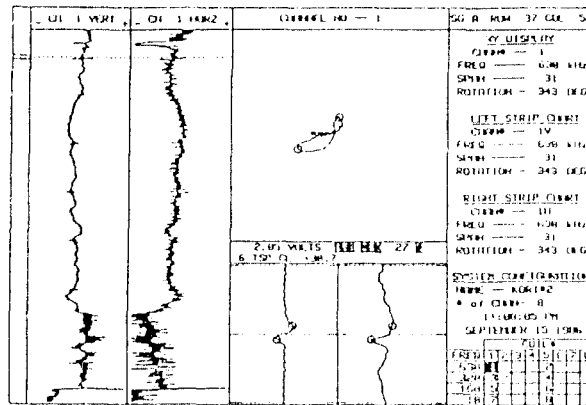


그림 2-3. ECT 신호평가에 사용되는 실제 화면

2.3 검사공정 및 문제점

증기발생기 진열관의 검사공정을 좀더 세분하여 그림으로 나타내면 (그림 2-4)와 같이 크게 3가지의 공정으로 표현된다. 즉, 증기발생기 진열관으로부터 ECT 신호를 취득하는 신호취득 공정, ECT 신호 평가자들이 취득된 데이터를 처리, 분석하면서 결함유무를 판별하는 신호평가공정, 그리고 검사결과를 정리, 보관하거나 새로운 검사계획을 수립하는 검사이력 자료관리 공정으로 구성된다.

이들 공정중에서 특히 신호평가공정은 다음과 같은 문제점을 갖고 있다.

- 1) 지루한 작업으로 인하여 이상신호를 소홀히 할 가능성이 존재한다.
- 2) 전문가의 주관적 판단에 따른 견해차 및 판단착오의 가능성이 존재한다.
- 3) 방대한 자료 처리에 따라 많은 시간과 인원이 요구된다.
- 4) 전문지식을 가진 전문가가 안정적으로 확보되어야 한다.

또한 검사이력 자료관리 공정에서는 원자력 발전소의 운전일수가 증가함에 따라 결함 자료가 급격하게 증가하고 있으며, 이로 인하여 이들 결함자료의 체계적인 관리 및 이들 자료를 바탕으로 한 적합한 검사계획 수립에 많은 어려움이 있다.

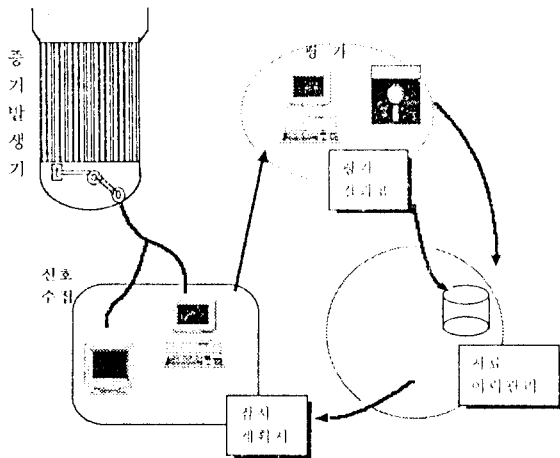


그림 2-4. 증기발생기 진열관 검사 공정

Ⅲ. 와전류 신호평가 전문가 시스템 개발

3.1 개발 시스템 개요

개발한 전문가 시스템은 (그림 3-1)에서 보여주고 있듯이 앞절에서 설명한 검사공정 중 신호평가 공정과 검사이력 자료관리 공정을 자동화 하는 시스템이다.

신호평가 전문가 시스템은 ECT 신호평가 전문가의 지식과 경험 및 각종 자료를 지식베이스로 구축하여 추론 엔진부의 각종 규칙에 의해 신호평가 작업을 자동적으로 처리해 준다. 더욱이 전문가 시스템은 조급이라도 결합이 있는 신호는 모두 추출하게 하는 1차적인 신호평가 작업을 수행하고, 사람인 ECT 신호평가 전문가는 전문가 시스템이 추출해준 신호만을 대상으로 정밀 분석하게 함으로써, 작업량을 대폭 감소시킬 수 있음은 물론 2단계 평가로 인하여 검사 신뢰도를 크게 증진시킬 수 있도록 하였다. 즉, 사람 전문가에 의해 수행될 경우 지루한 작업으로 인하여 소홀히 취급할 수도 있는 이상 신호를 포함하여 조급이라도 이상한 신호는 모두 추출해 주므로 추출된 신호의 신뢰성이 크게 향상된다.

그리고 검사이력 자료관리 시스템은 전문가 시스템과 ON-LINE으로 연결되어 각종 검사결과가 즉시 저장됨은 물론 각종 통계자료의 신속한 처리 및 효율적인 검사계획 수립에 활용할 수 있도록 개발 하였다.

3.2 전문가 시스템 설계 개념

와전류 신호 평가 전문가 시스템은 비 인공지능 개념과의 집속이 필요할뿐 만 아니라 수행성능도 크게 개선되어야 한다는 요구에 따라 우선 모든 프로그램들간의 집속에 있어서의 부담(overhead)을 최소화하면서 수행속도의 개선을 극대화할 수 있도록 설계하였다. 이를 위해 도입된 전문가 시스템 커널 구성을 위한 개념들은 다음과 같다. 우선 와전류 신호 평가를 위한 지식들을 프로덕션 규칙(production rule)의 형태로 표현하고, 추론은 입력되는 신호 자료에 따라 해당되는 규칙이 수행되는 자료흐름방식에 의한 순방향 추론을 하도록 구현하였다. 또한 위와 같은 순수한 규칙 기반 프로덕션 체계(production system)를 구현하는 방법으로는 지식들간의 연관 관계를 표현하는데 유리한 객체 지향형(object-oriented) 지식 표현법을 사용하였다. 따라서 IF... THEN... 형태의 순수한 프로덕션 규칙(production rule)의 형태로 지식을 표현하는데서 기인하는 약

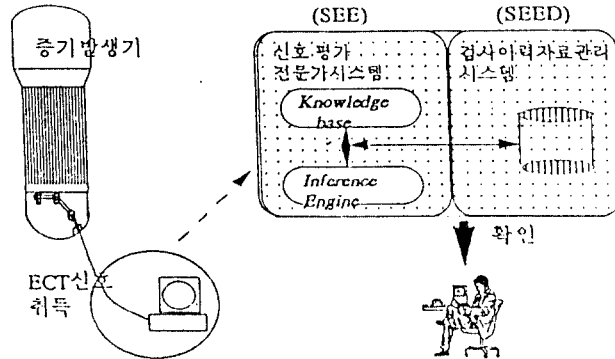


그림 3-1. 개발 시스템의 구성

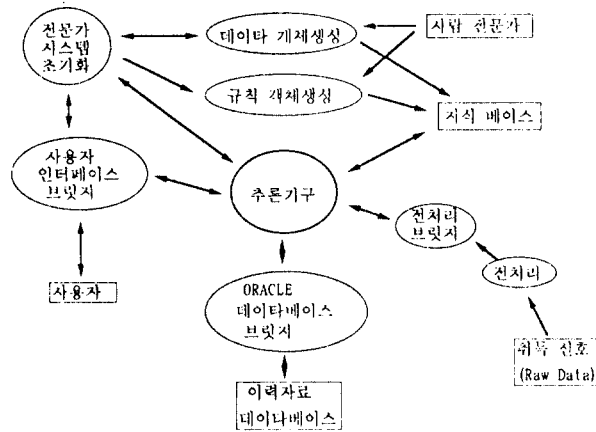


그림 3-2. 전문가 시스템의 자료 흐름도

점을 보완할 수 있도록 하였다. 이러한 개념들을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 객체 지향 지식 표현 : 데이터 지식뿐만 아니라 규칙 지식도 객체로 표현하였으며, 이로 인하여 객체로 표현된 지식들간의 국부적 관계(local relationship), 전체적 관계(global relationship), 혹은 계층적 관계(hierarchical relationship)들을 용이하게 표현할 수 있다.
- 2) 규칙 기반 프로덕션 체제 접근법 : 데이터 기억공간, 규칙 기억공간 그리고 추론 엔진으로 구성되는 프로덕션 체제의 기본 골격을 유지하였다.
- 3) C 기반 전문가 시스템 프로그래밍 환경 구축 : 모든 인공지능 프로그램 뿐만 아니라 그래픽, 실

시간 데이터 취득, 그리고 외부의 자료관리 시스템등을 모두 C언어를 이용하여 구현함으로써 모듈간의 인터페이스에서 발생할 수 있는 과부하를 최소화하고 시스템 통합이 용이하도록 하였다.

(그림 3-2)는 위와 같은 기본 개념을 이용하여 설계 구현된 증기발생기 결합진단을 위한 신호 평가 전문가 시스템의 전체적인 자료 흐름을 설명하고 있다.

개발한 신호평가 전문가 시스템에 사용한 추론 기구는 (그림 3-3)과 같이 프로덕션 체제의 기본 구조를 따른다¹⁶⁾.

3.3 와전류 신호의 표현

3.3.1 신호의 표현

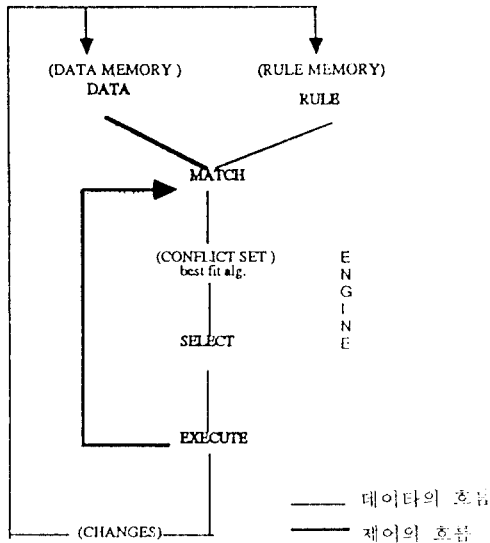


그림 3-3. 전문가 시스템의 추론 구조

개발한 전문가 시스템에서는 취득한 와전류 데이터 (raw data)를 세그먼트(segment)로 나누지 않고 직접 포인트(point)들간의 값의 추이를 이용하여 기본 패턴을 추출하는 방식을 사용하였다.

여기서 포인트들간의 수평축 값과 수직축 값의 변화 추이를 이용하여 기본 패턴을 추출하는 방법은 다음 절에서 설명한다. 따라서 이 시스템에서는 와전류 신호에 대한 기본패턴(pattern primitive)으로 다음과 같은 4가지의 특성(attribute)을 추출하도록 하였다.

- ① 구문적 패턴 표현 : 이사주 평면에서의 신호의 모양과 궤적을 나타낸다.
- ② 기본 패턴 신호의 길이 : 해당 신호의 포인트 갯수를 나타낸다.

- ③ 해당 신호의 수평축 누적값 : 신호의 크기를 나타낸다.
- ④ 해당 신호의 수직축 누적값 : 신호의 크기를 나타낸다.

3.3.2 이상 파형 패턴의 정의

와전류 파형에 대한 구문적 패턴 인식 기법을 적용하려면 우선 이 파형이 스트링, 트리, 혹은 그래프와 같은 임의의 자료구조로 표현되어야 한다.

앞절에서 언급한 바와 같이 이 파형의 적용분야는 대부분 고속의 자동 해석이 요구되며, 자료의 양 또한 방대하다. 따라서 이 파형을 방대한 양의 자료를 쉽게 처리하는데 용이한 스트링으로 표현한다. 이 파형을 나타내는 스트링은 기본패턴 문자로 이루어지는데, 이 기본패턴 문자는 가능하면 와전류 파형의 많은 것을 나타낼 수 있어야 한다. 앞절에서도 설명했듯이 와전류 파형 해석은 3가지 성분 즉, 수평 성분, 수직 성분, 그리고 이 두개의 성분이 합성된 이사주 성분을 근거로 하여 수행된다. [그림 3-4]는 이들 3가지 요소를 보여주고 있다.

따라서 기본패턴을 정의할 때 기준이 되는 것은 이 3가지 성분의 의미가 모두 포함되어야 한다는 것이다. 와전류 신호를 해석하는 데는 여러가지 요인들이 있으나, 그중에서도 가장 중요한 요소는 [그림 3-4(c)]의 이사주 성분의 모양과 궤적이다. 따라서 기본패턴으로 추출하고자 하는 내용은 이 이사주 평면에서의 수평축 값에 대한 수직축 값의 위상이다. 이를 위해 우선 이 이사주 평면을 분할해야 하는데, 이 평면은 2차원 평면이므로 크게 4방향(4사분면)으로 나눌 수 있다. 그러나 4방향으로의 구분은 직사각형 모양의 표현만 가능하기 때문에 와전류 파형을 이사주 평면상의 모양으로 표현하기는 불가능하다. 따라서 여기서는 [그림 3-5]와 같이 한 방향

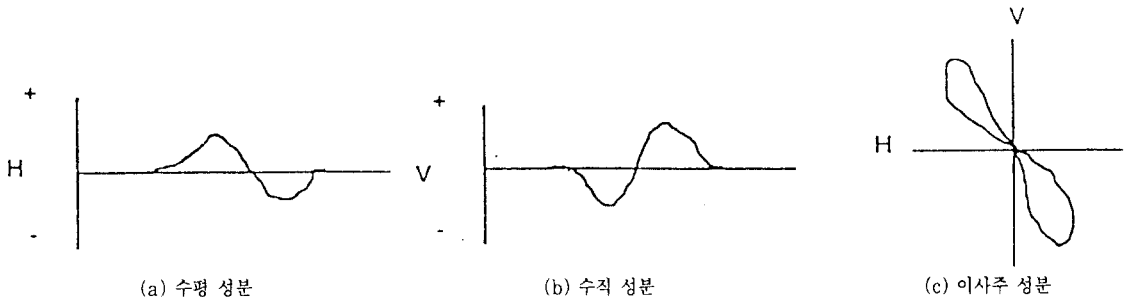


그림 3-4. 와전류 신호 해석에 사용되는 3가지 성분

이 2차원 평면의 약 45도 정도를 나타낼 수 있도록 하여, 2차원 평면 전부를 8개 방향으로 정의하였다.

그외에 수평 성분과 수직 성분이 같은 크기의 증감으로 변하면 이 이사주 평면에서는 한 점으로 고정되어 나타나게 되는데, 이 위상을 나타내는 기본패턴을 'a'로 정의하였다. 따라서 임의의 위치에서의 앞과 뒤 포인트 값의 변화에 따라 얻어질 수 있는 수평성분에 대한 수직 성분의 위상은 (그림 3-5)에서 정의된 기본패턴을 이용하여 다음과 같은 수식으로 표현할 수 있다. 와전류 파형은 시간에 따라 변하는 수평 성분과 수직 성분의 두 값으로 표현된다.

$$\text{수평 성분} : h(1), h(2), \dots, h(n)$$

$$\text{수직 성분} : v(1), v(2), \dots, v(n)$$

여기서 n은 전열관 하나의 전체 포인트 수를 의미한다.

위와같은 표현을 이용하여 파형의 임의의 점 i에 대한 기본패턴 p(i)는 다음과 같이 정의된다.

$$p(i) \leftarrow F(dv(i)/dh(i)), 1 \leq i \leq n \quad (1)$$

$$dh(i) = h(i) - h(i+1) \quad (2)$$

$$dv(i) = v(i) - v(i+1) \quad (3)$$

여기서 F는 dh(i)/dv(i)의 위상을 의미하는 사상 함수로 식(4)와 같이 정의된다.

$$F(T) = X \in \{a, b, c, d, e, f, g, h, i\} | X \text{는 } T \text{를 포함하는 임의 영역} \quad (4)$$

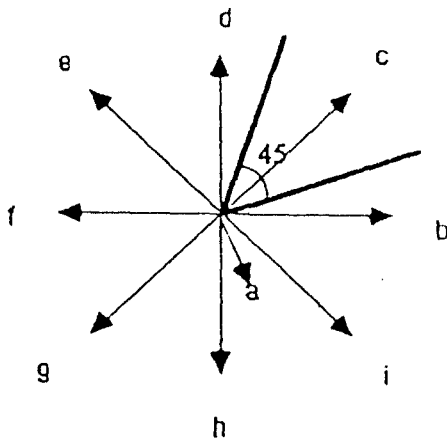


그림 3-5. 정의된 기본 패턴에 대한 이사주 평면상의 위상

(그림 3-6)은 이 기본패턴으로 실제 신호를 표현한 예이다.

3.4 지식표현 및 지식 베이스 구축

와전류 신호를 평가하는데 필요한 모든 지식들 즉, 단기간 지식(short term knowledge)-와전류 신호의 자동해석을 위한 전문가 시스템에 존재하는 지식-과 장기간 지식(long term knowledge)-시스템내에 표현되는 모든 지식(데이터 지식, 규칙 지식 등)-들에 대해 그들간의 그룹, 우선순위(priority), 그리고 계층구조(hierarchy)등의 연관성을 구조적으로 표현할 수 있는 메타 규칙(meta rule)들을 객체로 표현하고, 이렇게 표현된 객체들간의 여러 종류의 관계를 해당 객체의 특성 리스트(property list)에서 표현할 수 있도록 전문가 시스템 커널을 구축하였다. 이와같이 전문가 시스템에 도입된 객체 지향형 지식표현 방식은 전문가 시스템에서 존재하는 모든 지식들을 객체, 특성(property), 그리고 값(value)의 형태로 표현할 수 있으며, 이렇게 표현되어 기억장치에 저장된 지식을 지식베이스(knowledge base)라고 표현한다.

신호 평가 전문가 시스템에서 필요한 지식은 레벨 II 및 III에 해당하는 ECT 신호평가 전문가들의 경험과 지식, 그리고 각종 참고자료((2), (5))를 사용하여 취득하였다. 이렇게 추출한 지식은 전문가 시스템 개발 도구에 알맞도록 워크시트(worksheet, (그림 3-7))를 작성하였으며 이들 내용을 바탕으로 하여 컴퓨터가 인식, 처리

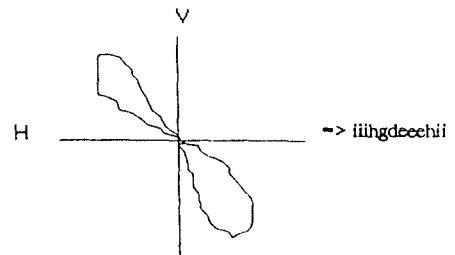


그림 3-6. 기본패턴 스트링으로 표현한 실제 신호

할 수 있도록 600여개의 규칙 객체(Rule Object)와 1,000여개의 데이터 객체(Data Object), 그리고 20,000여 라인에 이르는 신호검출 프로그램으로 지식베이스를 구축하였다. 이렇게 구축된 지식 베이스는 신호평가 전문가와 지식 공학자에 의해 수차례 확인, 검증과정을 거치도록 하였다.

3.5 와전류 신호 처리 단계

와전류 신호의 처리 절차는 방대한 와전류 데이터를 능률적으로 처리하고 검사 신뢰도를 높이기 위하여 (그림 3-8)과 같이 세단계로 나누었다.

이상신호 검출 단계에서는 구문적 패턴 인식 개념을 도입하여 약간의 이상이 있는 신호라도 모두 검출하게 한다. 즉, 개발한 전문가 시스템의 주목적의 하나인 사람 전문가의 작업양을 줄이기 위하여 전체 검사 신호중에서 1차적으로 조금이라도 이상이 있는 신호는 모두 추출해내는 단계이다. 두 번째 단계인 결합신호 분석 단계에서는 이상신호 검출 단계에서 검출해낸 이상신호 중에서 결합에 의한 신호와 잡음에 의한 신호를 분류하여 결합에 의한 신호만을 추출하게 한다. 즉, 실제로 결합에 의한 이상 신호인지, 아니면 잡음에 의한 이상 신호인지를 분류하는 단계이다. 마지막으로, 결합신호 분류 단계

에서는 추출된 결합신호를 표준 결합신호와 비교, 평가하여 결합의 정도를 판별하게 한다. 그리고 이들 결합신호는 각 단계에서 다시 사람 전문가로 하여금 확인 및 검증할 수 있는 과정을 추가하여 검사의 신뢰도를 크게 향상시킬 수 있도록 구축하였다.

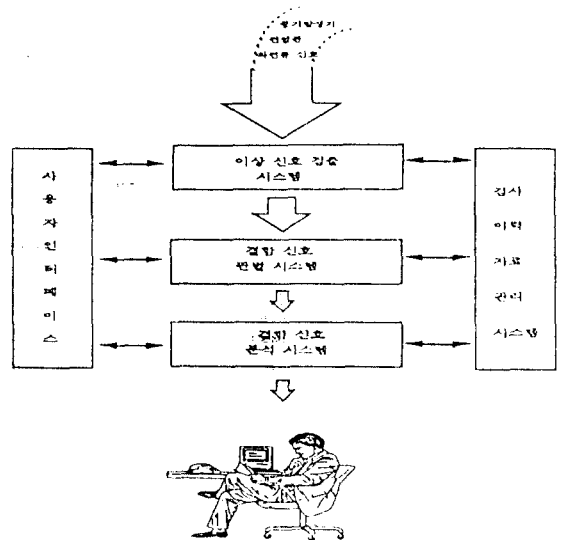


그림 3-8. 와전류 신호 처리 절차

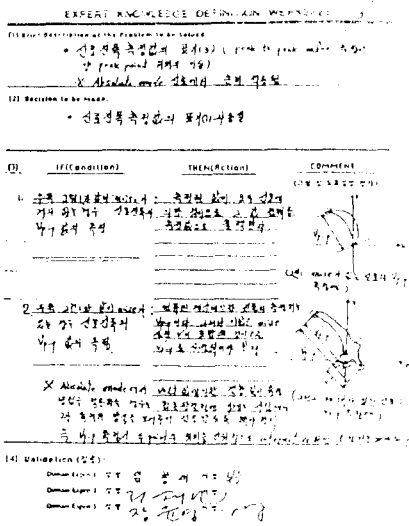


그림 3-7. 지식 추출 예

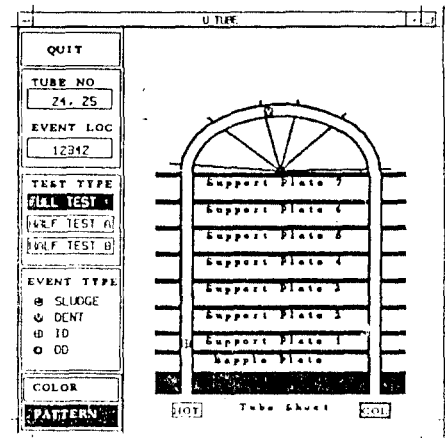


그림 3-9. 진열관의 결합 정보를 나타내는 화면

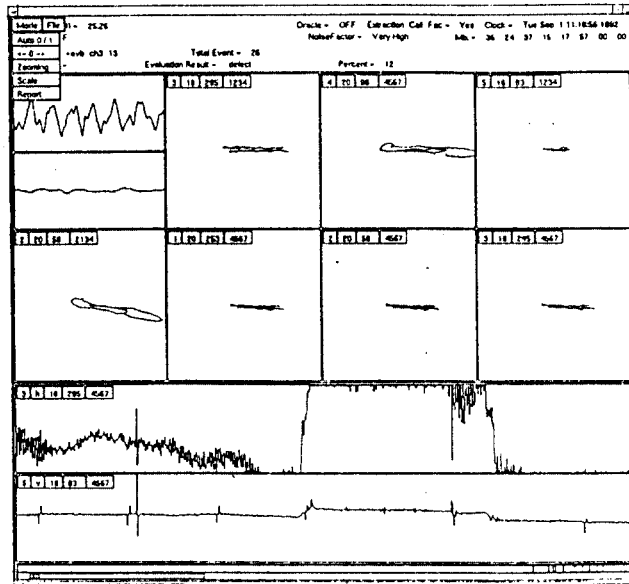


그림 3-10. 전문가 시스템이 제공하는 여러가지 채널의 와전류 신호

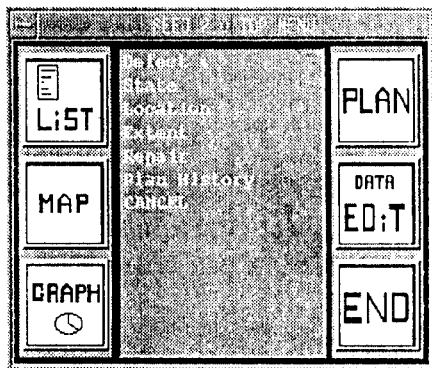


그림 3-11. 검사이력자료관리 시스템의 주화면

졌는지를 쉽게 알 수 있다.

[그림 3-10]은 전문가 시스템이 결합 신호로 분류한 신호를 사람인 신호평가 전문가가 최종 검증할 수 있도록 하기 위하여 하나의 화면에 다양한 채널의 신호를 나타내어 주는 화면이다. 따라서 사람 전문가는 이상 신호를 여러 채널을 통해 분석할 수 있으므로 좀 더 정확한 평가를 수행할 수 있다.

[그림 3-11] 및 [그림 3-12]는 검사이력 자료관리 시스템의 주화면과 그래프 화면을 보여주고 있다. [그림 3-11]에서 알 수 있듯이 검사이력 자료관리 시스템은 각종 통계자료 처리는 물론 효율적인 검사계획 수립을 지원할 수 있다.

Ⅳ. 검 증

3.6 전문가 시스템 화면에

개발한 신호평가 전문가시스템이 제공하는 몇가지 화면을 예를들어 설명하면 다음과 같다.

먼저 [그림 3-9]는 특정 증기발생기 전열관에 각종 결합 정보를 표시해 주는 화면이다. 이 화면으로부터 신호평가 전문가는 전열관의 어느 부위에 무슨 결합이 생

와전류 신호평가 전문가 시스템은 실용 시스템을 목표로 하여 설계되었으며, HP/UX 상에서 C언어를 이용하여 구현하였다. 특히, 현재 상용되고 있는 검사장비가 8채널에서 얻어진 와전류 파형을 분석하여, 결합 길이와 결합 깊이를 평가하는 방식이므로, 그에 준하여 다중 채

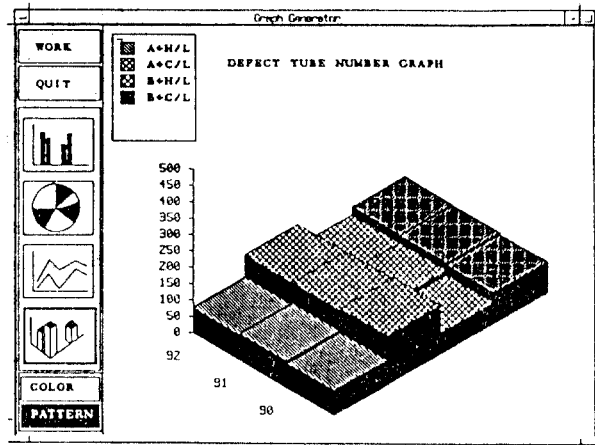
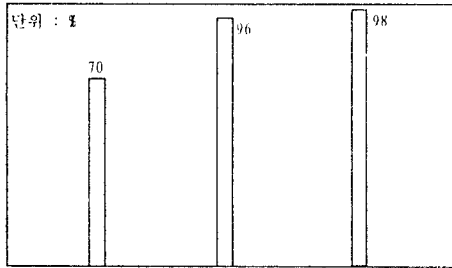
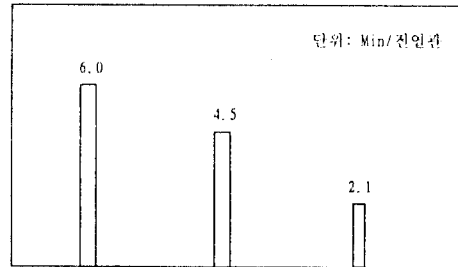


그림 3-12. 검사이력자료관리 시스템이 제공하는 그래프 화면



사람 전문가 [Level II] 사람 전문가 [Level III] 신호평가 전문가시스템

그림 4-1. 결합 신호 검출 능력 비교



사람 전문가 [Level II] 사람 전문가 [Level III] 신호평가 전문가시스템

그림 4-2. 검사 소요 시간 비교

널의 자료를 이용한 정밀한 분석을 할 수 있도록 구현하였다. 이 시스템에 대한 검증은 조정을 위한 표준 자료로 활용되는 인공 결합 신호 자료와 고려 2호기 증기발생기 전열관 신호 자료를 사용하여 결합 추출 능력과 검사 소요 시간의 두가지 측면에서 수행하였다. 신호평가 전문가인 Level II 및 Level III의 사람 전문가와 비교한 결과 결합 추출 능력 및 검사 소요 시간의 측면에서 모두 개발한 전문가 시스템의 능력이 우수함을 입증할 수 있었다([그림 4-1],[그림 4-2]). 특히 [그림 4-1]의 결합 추출 능력면에서 개발한 전문가 시스템의 성능이 우수한 이유는 전문가 시스템의 경우는 결합으로 인정할 수 없는 아주 미세한 이상 신호마저도 모두 1차적인 신

호 검출 단계에서 추출해 내기 때문이다. 그 결과 전문가 시스템을 사용할 경우는 이상 신호를 소홀히 할 가능성을 완전히 배제할 수 있다. 그러나 결합 추출 능력을 100%로 가정하지않은 것은 확실하게 결합 신호는 아니지만 미세한 이상이 있는 신호가 약 2% 정도 존재하기 때문이다. 이들마저도 1차적인 신호 검출 대상에 포함시킬 경우 사람 전문가의 작업량이 대폭 늘어날 수 있으므로 여기서는 이들 신호는 제외하였다. [그림 4-2]는 검사 소요 시간을 비교한 결과이다. 여기서 신호 평가 전문가 시스템에 사용된 소요 시간은 전문가 시스템에 의한 1차적인 신호 검출 시간은 물론이고, 사람 전문가에 의한 정밀 분석 시간까지 고려한 전체시간이다. 이

결과로 부터 검사를 위하여 취득한 전체 신호(Raw Data) 중에서 정밀 분석을 필요로 하는 신호는 결코 얼마되지 않음을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 방대한 양의 와전류 신호를 자동으로 평가할 수 있는 증기발생기 전열관의 와전류 신호 평가 전문가 시스템을 개발하였다. 특히, Freeman의 체인 코드(chain code)를 응용한 기본패턴의 정의, 입력파형의 가변 구간 분할법에 의한 세그먼트 추출, 그리고 정의된 기본패턴을 분할된 입력파형에 적용하여 얻어지는 입력파형 스트링의 추출등으로 표현할 수 있는 구문적 표현 방식의 도입은 시스템 내부에서의 신호표현 및 처리를 용이하게 하여, 실제 신호 값을 이용하는 방식에 비해 처리속도 및 저장용을 위한 부담을 최소화할 수 있었다. 이로 인하여 전문가 시스템에서 검사 전문가의 중요한 습관인 신호의 모양과 궤적을 이용한 이상신호의 우선 추출 방식의 구현이 더욱 쉬웠다.

이번 증기발생기 전열관의 와전류 신호평가 전문가 시스템의 개발로

- 검사 신뢰도가 증가되어 원전의 이용률 및 안전성 향상에 기여할 수 있으며,
- 신호평가 전문가기술의 안정적 확보가 가능하고
- 인공지능 기술에 의한 검사공정 개선으로 검사기간 단축 및 검사 비용을 절감할 수 있을 뿐만아니라
- 실용 전문가시스템을 개발하여 현장 적용할 수 있는 기술을 축적하므로써 원전 설비의 유지관리 자동화와 외화절감에도 크게 공헌할 수 있다.

이번의 와전류 신호 평가 전문가 시스템 개발을 시작으로 추후 경보 신호용 및 핵연료 재배치용 등 원전의 안전성과 이용률 향상에 기여할 수 있는 분야에 인공 지

능 기술을 적용하는 연구를 지속적으로 추진할 예정이다.

참고문헌

1. K.S.Fu, "Syntactic Pattern Recognition and Applications", Prentice-Hall, 1982.
2. "Advanced Eddy Current Data Analysis Techniques for Steam Generator Tubing", EPRI NDE Center, 1984.
3. R.Shanker, C.L.Brown, A.N.Mucciardi and T.J.Davis, "Feasibility of Using Adaptive Learning Networks of Using Adaptive Learning Networks for Eddy Current Signal Analysis", NP-723, ELECTRIC Power Research Institute, Palo Alto, Cal. 1978.
4. P.G.Doctor, T.P.Harrington, T.J.Davis, et al., "Pattern Recognition Methods for Classifying and Sizing Flaws Using Eddy-Current Data", Pacific Northwest Laboratory, PNL-SA-7094, Battele, Sep. 1979.
5. "원자력 2호기 제3차 가동중 검사(증기발생기 와전류 탐상) 최종보고서" 한국에너지 연구소, 1988. 8.
6. 허 영 환 외, "원전 증기발생기 전열관 진단을 위한 프로토 타입 전문가 시스템 개발에 관한 연구", 1989년도 한국정보과학회 학술발표집, 1989.
7. 우회관, 최성수, 최병재, "원전설비 결합 진단을 위한 전문가시스템 개발" '91 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, 1991.7. pp.730~733
8. 우회관, 최성수, 최병재, "증기발생기 전열관의 와전류 신호 평가 전문가 시스템 개발", '92대한전기학회 추계 학술대회 논문집, 1992. 11, pp.463~465.



崔炳載(Byung-Jac Choi) 정회원

1965년 8월 20일생

1987년 1월 : 경북대학교 전자공학과(공학사)

1989년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)

1993년 3월~현재 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정

1989년 2월~1995년 3월 : 한전 전력연구원 인공지능연구팀

1995년 3월~현재 : 중경공업전문대학 전자과 전임강사

※주관심 분야 : 전문가 시스템, 지능 제어 이론



姜淳周(Soon Ju Kang) 정회원

1960년 3월 14일

1983년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학사)

1985년 2월 : 한국과학기술원 전산학과(공학석사)

1995년 8월 : 한국과학기술원 전산학과(공학박사)

1985년 3월~현재 : 한국전자력연구소 전산정보실장

※주관심 분야 : 인공지능, 데이터베이스



崔聖壽(Seong-Su Choi) 정회원

1953년 5월 1일생

1981년 2월 : 한양대학교 전자통신과(공학사)

1994년 2월 : 한남대학교 전자공학과(공학석사)

1981년 2월~현재 : 한전 전력연구원 인공지능연구팀

※주관심 분야 : 영상 신호 처리, 로봇트 제어 기술



禹熙坤(Hee-Gon Woo) 정회원

1947년 9월 20일생

1975년 2월 : 동아대학교 전자공학과(공학사)

1983년 8월 : 연세대학교 전자공학과(공학석사)

1995년 8월 : 충남대학교 전자공학과(공학박사)

1983년 10월~현재 : 한전 전력연구원 인공지능연구팀

※주관심 분야 : 멀티미디어, 전문가 시스템