

# 특 집

유지 관리 모니터링 최신 기술

## 전문가 시스템을 이용한 유지 관리 모니터링 기술

- Monitoring Method for Maintenance of Concrete Structures Using Expert System -



배인환\*



이승재\*\*

### 1. 머리말

인공 지능의 한 분야인 지식 베이스 시스템(knowledge-based system)은 가장 활발하게 진행되는 분야로서, 이는 문제 해결 단계에서 지적인 능력을 나타내는 컴퓨터 프로그램을 일컫는다. 여기서 지적인 능력이란 지식을 적용, 조절 및 획득하고 결론에 이르는 추론 과정을 나타내는 능력으로 정의된다.<sup>1)</sup> 이러한 정의는 기존의 알고리즘식 프로그램 언어로는 구현하기가 상당히 어려웠던 영역이며, 사람이 일을 수행하는 능력은 문제 해결의 과정에서 사용하는 지식으로서 대부분 그 분야의 전문가에게 국한되어 있다.

이와 같은 전문가의 문제 해결을 위한 전략을 컴퓨터에 내장함으로써 특정 분야에서 전문가가 문제를 해결하듯이 컴퓨터에 의해 그 분야의 문제를 해결할 수 있다. 일반적으로 전문가만이 가진 그 분야에 있어서의 전문 지식의 많은 부분은 정량적으로 표현될 수 없

으므로 전문가 시스템의 응용 가능성은 상당히 많으며, 각 분야에서 보조 기능이 아닌 전문가의 위치에서 문제를 해결하는 역할을 담당할 수 있으므로 의학, 공학, 화학 및 군사과학 등 여러 분야에서 성공적으로 응용되어 왔다.

현재까지 개발된 전문가 시스템은 문제 영역이 좁게 한정되어 있으며, 관찰 및 경험을 통한 지식, 즉 경험을 표현하기 위하여 규칙(rules)을 주로 이용하고 있다. 경험적인 지식을 표현하는 데 적합한 인공 지능형 언어인 LISP는 수치 계산을 포함한 프로그램 작성에 상당한 어려움이 따른다. 전문가의 경험적 지식을 요구하는 문제를 위하여 전문가 시스템을 구축할 경우 보통은 전문가 시스템 구축용 도구(tools)를 이용하게 되는데, 이러한 경우에는 해당 도구가 가지고 있는 제한성을 잘 분석하여 결정해야 한다. 기존에 개발된 도구들은 대부분 지식을 규칙으로 표현하여 비결정적인 문제를 해결하는 데 용이한 반면, 수치 해석 면에서는 상당한 제약은 가지는 경우가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 이식성(portability)이 좋고 상당한 양의 수치 처리가 요구되는 전문 분야에 적합하도록 혼

\* 한국원자력연구소 종합안전평가팀

\*\* 승화이엔씨 대표

합된 언어의 형태로 개발되어 다른 언어로 개발된 프로그램의 통합 시스템을 구축할 수 있는 도구도 개발되었다.

전문가 시스템은 의학, 컴퓨터 제조 및 판매, 광물 탐사 및 항공 등 다양한 분야에서 응용되고 있으며, Waterman, Hormon과 King은 이 분야의 개론적인 연구로, Hayes-Roth, Buchanan, Shortliffe, Weiss와 Kulikowski는 기술적이고 실제적인 접근 방법을 제시해 주었다. 의료 진단 및 처방, 원전 진단, factory process control 등 많은 분야에 활용되고 있으며, 신경 회로망(neural networks)도 재정 상담, 건설 프로젝트 계획, pattern recognition 등에 많이 응용되고 있다. 전문가 시스템은 확실한 규칙들이 있을 때 신경 회로망보다 유용하다. 전문가 시스템과 신경 회로망은 서로 상호 보완 관계로 응용되고 있으며, 현재 AUBREY라는 전문가 시스템과 Neuro Shell인 신경 회로망 shell을 접목하는 연구나, 원전 내 와전류 검사 전문가 시스템에서의 신경 회로망 사용 또는 원전 안전을 강화시키기 위한 전문가 시스템에서의 신경 회로망 사용 등이 그 좋은 예이다.<sup>2)</sup>

이와 같이 전문가 시스템 내에 신경 회로망을 함께 사용하게 되면 보다 빠른 의사 결정과 각각 운영할 경우에 비해 기술적인 상승 효과를 얻게 된다. 토목 분야에서는 용접 과정 자문, 건물의 지진 위험 예비 평가, 항공기를 위한 sandwich panel의 설계 자문 등의 구조 해석 문제, 코드 사용 자문, 건물 설계시 기준 검토 문제, 교량 형식 결정, 모델링, 해석 과정 자

문, 풍하중 영향 자문 및 건물의 예비 설계 등의 구조 시스템 설계 문제에 전문가 시스템이 개발되었다.<sup>3)</sup>

국내에서는 공사 관리, 콘크리트 배합 설계, 건축 구조물의 예비 설계 등에 대한 전문가 시스템이 개발되었으며, 콘크리트 구조물의 유지 관리를 위한 전문가 시스템이 개발되었으나 실제로 현장의 복잡하고 다양한 형태의 문제를 해결하기 위해서는 더 많은 지식 베이스의 축척과 체계적인 유지 관리 모델 구축이 요구된다. 따라서 본고에서는 전문가 시스템을 이용한 콘크리트 구조물의 유지 관리 모니터링을 위하여 모니터링 모델을 구축하고 이를 전문가 시스템으로 구축하기 위한 과정을 개략적으로 고찰하였다.

## 2. 전문가 시스템

### 2.1 지식의 표현

공학 분야에서 나타나는 물리적 체계는 항상 많은 요소로 이루어진 복잡한 양상을 가진다. 이러한 구성 요소의 상호 관련된 계층적인 구조는 명시적으로 표현하는 것이 타당하다. 물리적 체계에 관한 지식은 크게 'static'과 'active'한 지식으로 구분되는데<sup>4)</sup>, 전자는 물리적 체계의 기하학적 형상, 재료의 성질 등을 나타내는 데 필요한 정보를 말하며, 이들은 주로 사실(facts) 등의 데이터 베이스(database)로서 표현된다. 예를 들면 보수 공법은 구조 형식, 부재 형식, 열화 원인 등의 사실적 지식으로 나타낸다. 후자는 물리

적 체계와 관련된 특정한 문제를 어떻게 풀어 나아갈 것인가에 대한 지식을 말하는데, 예를 들면 모니터링 인자를 해석한다든지 또는 모니터링 인자에 따라 보수 공법을 찾는다든지 하는 일이다.

그러므로 문제를 확실하게 이해된다면 active한 지식은 이론을 근거로 한 알고리즘에 주로 의존하게 된다. 그렇지만 문제의 이해가 불투명할 때에는 경험적인 정보가 active한 지식의 주종을 이루게 된다. 그러므로 active한 지식은 사실의 구성을 나타내므로 해당 시스템에 관한 문제에 대해

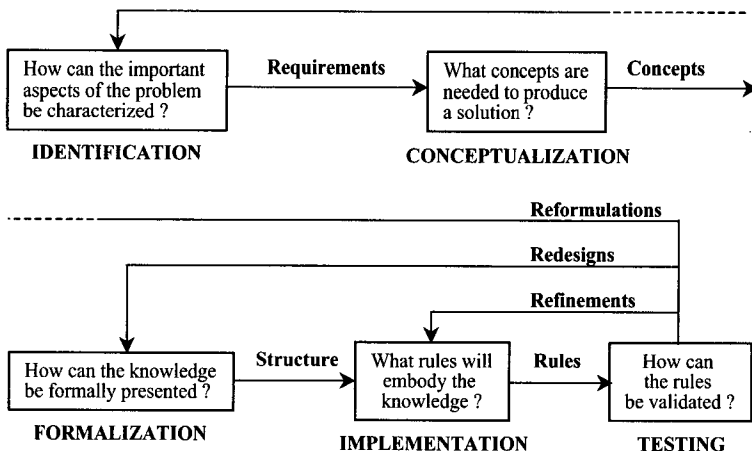


그림 1. 전문가 시스템 구축 개발 단계

서는 일정하게 된다. <그림 1>은 전문가 시스템 구축 개발 단계를 개념적으로 보여주고 있으며, 전문가 시스템을 이용한 유지 관리 모니터링 역시 이와 같은 단계로 구축될 수 있다.<sup>5)</sup>

## 2.2 전문가 시스템 구축 도구의 특징

전문가의 경험적 지식을 요구하는 분야의 문제, 즉 비정형화된 문제를 해결하기 위하여 전문가 시스템을 구축할 경우, 보통은 개발된 전문가 시스템 구축용 도구(Expert System Building Tools)을 이용하게 된다. 전문가 시스템 구축용 도구는 전문가 시스템의 구축보다 편리하게 해주는 프로그램으로서 지식 표현 방법(knowledge base), 추론 기관(inference engine), 조절 기능(user interface, knowledge acquisition subsystem, explanation subsystem)을 기본적으로 가지고 있어야 한다(<그림 2>).

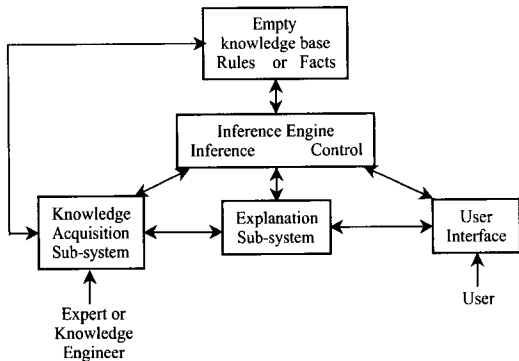


그림 2 전문가 시스템 구축용 도구의 구성

지식 베이스는 전문가가 자기 분야의 문제 해결을 위해 사용하는 전문 지식을 보관하는 곳으로 지식은 일반적인 사실(facts)과 전문 지식(expertise knowledge)으로 표현된다. 일반적인 사실이나 정의를 표현하는 정적 지식(static knowledge)은 object-attribute-value triplets와 frame을 많이 사용하고 있다(<그림 3>). 또한 "pH value가 7.0보다 작고 균열과 박리가 발생하였으면 열화 원인은 화학 작용이다"와 같은 전문 지식이나 경험적인 지식을 표현하는 동적 지식(dynamic knowledge)에는 규칙(rules)을 사용하고 있다.

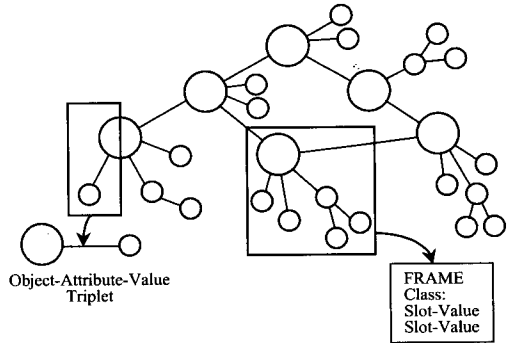


그림 3. OAV triplet와 Frames

추론 기관은 지식 베이스에 담겨 있는 여러 가지 사실과 전문 지식을 바탕으로 연역적 추론(deductive reasoning)을 전개하여 주어진 문제에 대한 해답을 얻어내는 부분으로 Expert System Shell이라 일컬어지는 전문가 시스템 개발용 소프트웨어에 그 기능이 내장되어 있다. 전형적인 지식 베이스 전문가 시스템 용 도구에서는 <그림 4>와 같은 과정을 반복하도록 설계되었다. 추론은 먼저 working memory의 사실과 production memory의 규칙의 조건 부분의 패턴을 비교하여 적용 가능한 모든 규칙을 찾고, 이 중 적절한 하나의 규칙을 선택한 후, 그 규칙의 실행 부분을 적용하여 working memory의 사실(facts)을 변경시킨다.

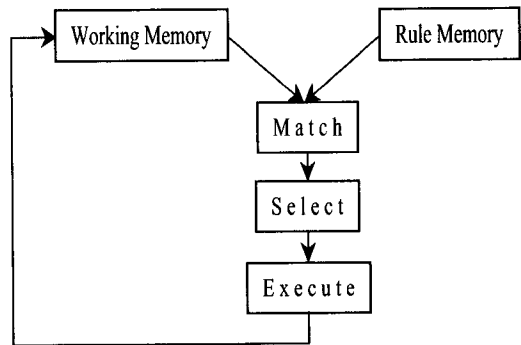


그림 4. 추론 사이클

또한 전문가 시스템 구축용 도구는 지식 베이스 내의 사실과 조건으로부터 해를 탐색하는 문제 풀이 전략을 가지고 있다. 여기서 사용되고 있는 대표적인 방법은 전진 추론(forward chaining)과 후진 추론

(backward chaining)이다. 전진 추론은 data-driven, bottom-up, antecedent-driven이라고도 하는데, 알고 있는 사실로부터 규칙에 의해 새로운 사실을 만들어 목표 상태(goal state)까지 도달하는 방법이고, 후진 추론은 goal-driven, consequence-driven, hypothesis-driven이라고 하며 가정(결론)으로부터 시작하여 이 가정을 뒷받침해 주는 사실이 working memory에 있는지를 검토한다. 만약 지금까지 알려진 사실로써 이 가정을 만족하지 못하면 필요한 사실들을 다시 sub-goal로 생각하여 이 과정을 반복한다. 만약 이 가정이 증명되지 못하면 지식 베이스에 정해 놓은 순서에 따라 또 다른 가정을 고려한다.

지식 획득 시스템(knowledge acquisition subsystem)은 전문가와 전문가 시스템용 도구와의 인터페이스로서의 역할을 하게 되며, 지식을 지식 베이스에 입력하거나 필요한 경우에 내장된 지식들을 변경하는 작업을 가능하게 해 준다. 설명 시스템(explanation subsystem)은 전문가 시스템의 일에 대한 추론 과정을 사용자에게 설명해 주는 기능으로 전문가 시스템의 실행 과정에서 현재의 상태까지 이르게 된 경위 또는 현재의 질문이 필요한 이유에 대한 설명을 해 주며 가장 보편적인 설명 형식은 결론이 나오기까지의 추론 과정을 거슬러 올라가는 형식을 취하는데 이는 사용자로부터의 질문에 대한 추론 결과를 어떻게 혹은 왜 선정하였는지에 대해 설명하고 추론에 관련된 일련의 규칙들을 제시해 준다. 사용자 인터페이스(user interface)는 사용자와 전문가 시스템간의 문제 해결을 위한 정보 제어 및 추론 결과 등에 대한 사용자와의 대화를 증진시킨다.

### 2.3 기존의 전문가 시스템 구축용 도구

기존에 사용되고 있는 전문가 시스템 구축용 도구는 다음과 같이 기능별로 크게 4가지로 나누어 볼 수 있다. 즉, expert system shell(skeletal system), high-level programming languages, mixed programming environments 및 rule induction tools 등이다.<sup>6)</sup>

Expert system shell은 어느 특정 분야에서 이용하도록 개발된 전문가 시스템이라 불리는 도구로서 이 전문가 시스템에서 사용하는 기능을 이용하여 다른 분야에서도 적용 가능하도록 만든 것이다. 이와 같은 도

구는 EMYCIN(MYCIN), EXPERT(CASNET), KAS(PROSPECTOR) 그리고 GURU 등으로서 정적 지식은 OAV tripets, 동적 지식은 if-then rule, 추론 기관은 전진 추론과 후진 추론, 그리고 불확실량을 계산하기 위한 certainty factors를 사용하고 있다.

High-level programming languages는 expert system shell보다 유연성이 뛰어나기 때문에 그 분야에 필요한 기능을 추가 및 보완할 수 있는 장점이 있으며 추론 기관의 조절, conflict resolution과 설명 기능을 추가할 수 있다. 이들 도구로는 OPS5, M.1, INSIGHT2+, S.1 그리고 EXSYS 등이며 지식 베이스는 OAV triplets와 if-then rules, AV pairs와 if-then rules을 사용하고 있다. 추론 기관으로는 전진 추론과 후진 추론, 후진 추론과 dept first search 그리고 recognize-act cycle with conflict resolution 등을 사용하고 있으며 불확실량을 처리하기 위한 certainty factors를 가지고 있다.

Mixed programming environments는 가장 효과적인 전문가 시스템 개발용 도구로서 적용 분야에 독립적이며 사용이 가능한 명령어, 에디터, 사용자 인터페이스, 복합적인 지식의 표현 방법 및 컴퓨터 그래픽 등 여러 기능을 가지고 있다. 그러나, 이러한 도구는 대부분 인공 지능 언어인 LISP로 설계되어 있어 많은 제약이 있었으나, LISP로 개발된 환경을 C언어로 개발하고 있으며 이와 같은 도구들은 KEE, LOOPS, ART 및 Knowledge Craft 등이 있다. KEE에 사용된 지식 베이스는 frames with slots, object-oriented programming, if-then rules, multiple objects and extensive inheritance, LOOPS에서는 frames with slots, user-definable inheritance, lattice of objects, ART에서는 OAV triplets, logical links between objects, multiple objects and inheritance, 그리고 Knowledge Craft에서는 OPS-5 rule with frames, user-definable inheritance, object-oriented programming이 사용되었다. 추론 기관으로는 전진 추론과 후진 추론을 사용하고 있다. Expert/Ease, TIMM, Rulemaster, ACLS 및 ETS와 같은 Rule Induction Tools은 전문가 시스템 구축을 위한 보조 기구들이다.

공학 문제에 적합한 전문가 시스템 구축용 도구가

갖추어야 할 조건은 다음과 같다. 우선 수치 계산이 가능해야 하고 여러 가지 추론 형태를 가지고 있어 문제 영역에 따라 추론 형태를 선택하여 사용할 수 있어야 한다. 또한 다른 프로그램이나 다른 언어로 만들어진 전문가 시스템과의 연결이 가능해야 하며 불확실량에 대한 certainty factor를 처리할 수 있어야 한다.

### 2.4 도구를 이용한 전문가 시스템 구축

전문가 시스템 개발은 서로 연관된 단계(phase), 즉 문제 정의 단계(identification), 개념화 단계(conceptualization), 공식화 단계(formalization), 적용 단계(implementation) 그리고 시험 단계(test)로 구성된다. 전문가 시스템 구축용 도구를 사용하여 시스템을 구축하기 위한 개념도는 다음 <그림 5>와 같다.<sup>5)</sup> 개발자(knowledge engineer)는 그 분야 전문가(domain expert)에게서 지식을 습득하고, 그 분야에 가장 적합한 도구를 선정하여 지식 베이스를 구축하게 된다.

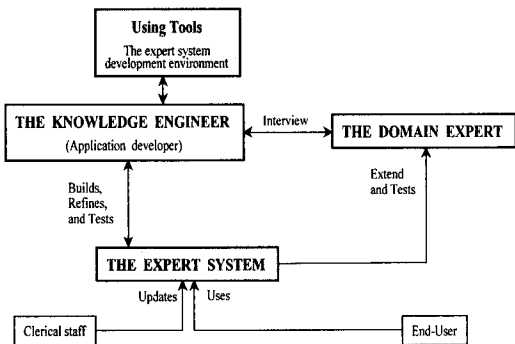


그림 5. 도구를 사용한 전문가 시스템 구축

### 3. 전문가 시스템을 이용한 유지 관리 모니터링

콘크리트 구조물의 유지 관리를 위하여 먼저 모니

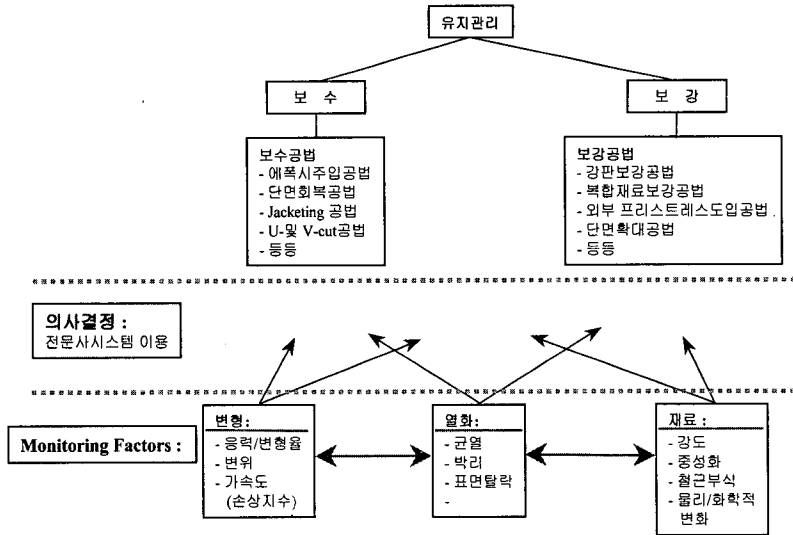


그림 6. 전문가 시스템을 이용한 콘크리트 구조물의 유지 관리 감시 개념도

터링 인자 선정 및 평가 기법, 모니터링 인자와 성능 저하에 따른 보수 및 보강 공법 선정 등이 체계적으로 정립되어야 한다. 일반적으로 구조물의 성능 저하는 균열, 박리 및 표면 탈락과 같은 열화 현상으로 나타나며, 이와 같은 열화 현상은 시공상 문제, 불량한 설계 세목 및 설계상의 오류 등과 같은 설계 및 시공 요인, 건조 수축, 온도 변화, 누수, 철근 부식, 화학 작용, 동결 융해, 충격과 및 부식 등과 같은 물리·화학적 요인, 구조물의 강성 저하 및 설계 하중의 증가와 같은 구조적 요인, 그리고 이들의 복합적인 작용으로 발생하게 된다.<sup>7)</sup> 이와 같이 열화 현상과 원인에 따라서 보수·보강 공법이 적절하게 선정되어야만 효과적인 구조물의 유지 관리가 이루어질 수 있게 된다. 모니터링 인자 결정을 위하여 열화 현상, 구조물의 변형 및 구조 재료의 변화로 분류할 수 있다. 여기서 구조물의 변형을 위한 모니터링 인자로는 응력/변형률, 변위 및 가속도 등이며, 구조 재료의 변화에 대한 모니터링 인자로는 경년 및 환경 요인(age or environmental stressor)으로서 강도, 물리/화학적 변화이다. 물리적 변화에 대한 모니터링 인자는 동결 융해, 온도 변화, 부식, 피로 등이며, 화학적 변화는 염해, 알칼리 골재 반응, 중성화 등이다. 이들 열화 현상과 구조물의 변형 및 구조 재료의 변화는 육안 조사, 재료의 비파괴 조사 및 공용 중 정밀 구조 진단을 통해 조사하며, 보수 및 보강은 그 분야 전문가의 판단에

전적으로 의지하게 된다. 이상을 정리하여 전문가 시스템을 이용한 콘크리트 구조물의 유지 관리 감시 기법을 개념적으로 나타내면 <그림 6>과 같다.

### 3.1 문제 정의(Identification)

문제의 정의를 위하여 연구자(knowledge engineers)와 그 분야 전문가는 문제의 중요한 특징을 결정한다. 즉,

- 이 문제가 전문가 시스템을 사용하기에 적합한가?
- 자료가 무엇인가?
- 중요한 용어(terms)들과 각각의 연관성이 어떠한가?
- 분야 전문가가 그 문제를 해결하는 데 필요한 인자(elements)는 무엇인가?
- 어떤 상황이 해를 찾는 데 방해가 되며, 그것이 전문가 시스템에 어떻게 작용하는가?

위의 질문을 적절하게 사용함으로써 보다 효과적인 지식 베이스를 구축할 수 있게 된다. 문제 정의 단계에서는 그 분야 전문가와 면담을 통하여 먼저, 모니터링 인자와 모니터링 인자 사이의 관계를 결정한다. 또한 모니터링 인자와 보수·보강 공법과의 관계와 추론 과정은 그 분야 전문가의 지식을 획득함으로써 정의될 수 있다.

본고에서는 모니터링 인자를 <그림 6>과 같이 열화 현상, 구조물의 변형 및 구조 재료의 변화 등 3부분으로 분류하였으나, 실제로 구조물의 성능을 평가하기 위한 모니터링 인자 선정 및 평가 기법에 대한 연구는 복잡하고 어렵기 때문에 이 분야에 대한 연구가 절실히 요구된다. 모니터링 인자에 대한 문제 정의의 한 예로서 물리/화학적 요인과 열화 현상과의 관계는 다음 <표 1>과 같이 정의될 수 있다.<sup>8)</sup>

표 1. 모니터링 인자와의 관계 정의

| 물리/화학적 변화               | 열화 현상 |    |       |
|-------------------------|-------|----|-------|
|                         | 균열    | 박리 | 표면 탈락 |
| 건조 수축                   | ×     |    |       |
| 철근 부식                   | ×     | ×  |       |
| 동결 융해                   |       | ×  | ×     |
| 온도 변화                   | ×     | ×  |       |
| 화학 작용(중성화, 알칼리 골재 반응 등) | ×     | ×  | ×     |

×: 관련 표

열화 현상과 관련된 물리/화학적 변화의 각 항목을 평가하기 위한 주요 인자(elements)는 다음 <표 2>와 같다.

표 2. 물리/화학적 변화를 평가하기 위한 주요 인자

| 물리/화학적 변화               | 평가 인자  |
|-------------------------|--|
| 건조 수축                   | high unit water                                      |
| 철근 부식                   | marine exposure, rebar voltage etc.                  |
| 동결 융해                   | durability, etc                                      |
| 온도 변화                   | temperature change width, massive structures, etc.   |
| 화학 작용(중성화, 알칼리 골재 반응 등) | pH value, color changes, silica gel, acid atmosphere |

또한 모니터링 인자와 보수 및 보강 공법과의 관계가 정의되어야 한다. 그러나, 보수 및 보강 공법은 아직까지 체계화되어 있지 않으므로 이에 대해서는 계속적인 자료 수집과 그 분야 전문가와의 면담을 통해 체계적인 보수 및 보강 공법 선정 기법을 먼저 수립해야 한다. 보수 공법 선정을 위한 한 예를 살펴보면 다음 <표 3>과 같다. <표 3>은 열화 현상과 보수 공법과의 관계를 나타낸 것이다.

표 3. 모니터링 인자와의 관계 정의

| 열화 현상      | 보수 공법   |
|------------|---|
| 균열         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 표면 처리 공법</li> <li>• 에폭시 주입 공법</li> <li>• 충전 공법 등</li> </ul>                              |
| 박리 및 표면 탈락 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 콘크리트 패칭 공법</li> <li>• 프리캐스트 공법</li> <li>• Jacketing 공법</li> <li>• 공기 연행 몰탈법 등</li> </ul> |

### 3.2 개념화(Conceptualization) 및 공식화(Formalization)

개념화 및 공식화 과정에서는 문제에 대한 개념과 각각의 관계를 결정하고 그 영역에서 문제를 해결하는 데 필요한 제어 기능이 어떤 것인지를 결정한다. 즉, 전문가 시스템이 문제를 해결하는 과정에서의 문제 풀이 전략(problem solving strategy)인 전진 추론(forward chaining)과 후진 추론(backward chaining)이 문제의 특성에 맞게 선정되어야 한다.

Active한 지식의 모든 표현은 IF(premise)-THEN(conclusion) 구조에 기초하여 수행되는 rule

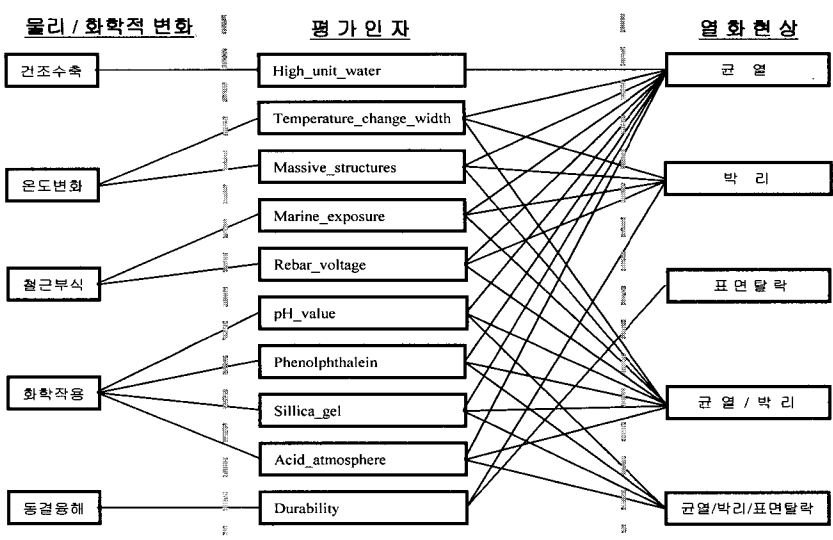


그림 7. 열화 현상과 물리/화학적 변화 인자간의 도식화

#### 4. 결론

현재까지 전문가의 입장에서 문제를 해결하는 방식으로 크게 신경 회로망과 지식 베이스 시스템인 전문가 시스템이 다양한 분야에서 응용되고 있으며, 최근 5년 동안 토목 분야에서는 수로망 관리, 비선형 지진 해석 조언, RC 구조물의 균열 진단을 위한 fuzzy pattern 인식 모델, PSC 교량 설계, 2방향 슬래브 설계, 도로 포장면 유지 관리 지원, 내풍 구조물, 부분 PSC

based system으로서 일련의 규칙의 모임(rule set)을 사용하게 된다. 또한 애매하게 표현된 지식을 추론하기 위하여 fuzzy 연산을 통한 uncertainty를 처리할 수 있어야 한다.

지식 베이스를 구축하기 위한 일례로써 물리/화학적 변화와 열화 현상과의 관계를 도식화(tree 구조화)하면 다음 (그림 7) 및 (그림 8)과 같다. 모니터링 인자인 열화 현상과 물리/화학적 변화 항목 사이의 관계 및 모니터링 인자와 보수·보강 공법과의 관계는 전문가로부터 획득한 지식으로 구성되며, 이와 같은 지식이 체계적으로 구축될 때 전문가 시스템의 효율성도 높아지게 된다.

범 설계, 강교 제작 및 아스팔트 콘크리트 포장 파손 원인 규명을 위한 전문가 시스템이 개발되었다. 전문가 시스템은 그 적용 분야가 좁게 한정되었을 때 보다 효과적이다. 아직까지 콘크리트 구조물의 유지 관리 및 모니터링 기법이 체계화되어 있지 않으므로 이 분야의 전문가 시스템은 다른 분야보다 다소 어려운 점이 있다. 따라서 콘크리트 구조물의 유지 관리 모니터링을 보다 효과적으로 수행하기 위하여, 먼저 모니터링을 위한 절차서 또는 지침서(guidelines)의 개발이 요구된다. 또한 현장에서의 유지 관리 자료를 수집하여 개발된 지침서의 지속적인 수정 및 보완이 이루

#### 화학적 변화와 연관된 열화현상

#### 추론 과정

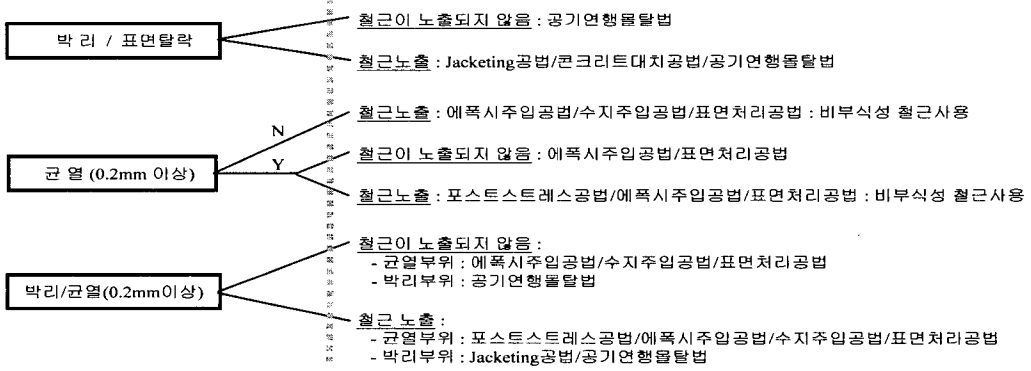


그림 8. 보수 공법 선정을 위한 도식화

어려야 한다. 이를 근거로 실제 현장에서 적용될 수 있는 전문가 시스템을 이용한 유지 관리 모니터링이 이루어질 수 있으리라 사료된다. □

### 참고문헌

1. Donald A. Waterman, "A Guide to Expert System," Addison-Wesley Publishing Co., 1986
2. 한국원자력연구소, "전문가시스템의 원자력분야응용을 위한 연구", KAERI/RR-959/90, 1990
3. Michell D. Rychener, "Expert System for Engineering Design," Ellis Horwood Lit., 1988
4. "Building Expert System: Cognitive Emulation", John Wiley & Sons, 1987
5. 심종성, 배인환, "철근콘크리트구조물의 유지관리를 위한 전문가시스템 개발", 한국콘크리트학회지, 제3권 제4호, 1991, 12, pp.89~96
6. 과학기술처, "인공지능을 이용한 고도의 구조해석/설계용 전문가시스템의 개발", 1989
7. 심종성, 배인환, 김정호, "국내 철근콘크리트구조물의 유지관리 동향," 한국콘크리트학회 추계학술발표회 논문집, 제2권 2p 2호, 1990, pp.179~184
8. Sidney, M.J., "Deterioration, Maintenance, and Repair of Structures", Mcgraw-Hill Book Co., 1965