

철근 콘크리트 구조물에 발생한 균열보수를 위한 전문가시스템 개발

Development of The Expert System for Repair of Cracks on R/C Structures

심 종 성* 심 재 원**
Sim Jongsung Sim Jae Won

ABSTRACT

The R/C structures is very popular because of its low construction cost and its semi-permanent life. But in Korea, unfortunately there are few experts in this field, and the repair methods and selection of material for R/C structures are determined by their subjective personal opinions. Therefore systematic study of this field is urgently required.

For attaining this purpose, in this study the related documents and knowledge or experience from human experts were collected. Based on the collected information cracks are classified into 25 patterns and repair related-knowledge base, which will be formulated and encoded into the domain knowledge, is built. And then an expert system, that can suggest the repair methods in the same way the human experts would, is developed. The results using the developed expert system are compared to the real field practices and they are satisfactory.

1. 서론

최근, 70년대의 급속한 산업발전과 함께 건설되었던 국내의 각종 철근 콘크리트 구조물은 여러 가지 복합적인 원인으로 인한 노후화로 제기능을 다하지 못하고 있어, 보수 및 보강사례가 날로 증가하고 있다. 그러나, 국내 유지관리의 수준은 아직 전문가의 주관적인 경험에만 의존하는 상태이며, 이를 객관화 하기위한 체계적인 연구는 아직 미비한 상태에 있다.

이러한 이유로 본 연구실에서는 "철근 콘크리트 구조물의 유지관리를 위한 전문가시스템 개발"이라는 주제로 철근 콘크리트 구조물에 발생되는 각종 열화현상을 균열, 박리 및 표면붕괴 등의 세가지 유형으로 분류하여 각각에 대한 열화원인 및 보수공법에 관한 자료를 수집·정리한 후, 최근 전문분야에 대한 지식획득의 체계성과 신뢰성으로 각광받고 있는 전문가시스템을 이용하는 유지관리

기법을 제안한 바 있다.

상기 언급된 연구결과에 의하면 가장 일반적으로 나타나는 콘크리트 구조물의 열화 현상은 균열이며, 현장에서 적용되고 있는 보수 및 보강공법은 균열의 원인에 따라 적용되고 있는 것을 발견하게 되어, 이 분야에서 보다 세부적인 연구가 필요함을 알게 되었다.

본 연구에서는 우선 균열의 종류를 유형별로 분류한 후, 각각의 종류에 따른 역학적 또는 기능적 특성을 조사하고, 실제 국내외 현장에서 적용되고 있는 균열의 유형 및 특성에 따른 적절한 보수 및 보강공법을 수집하였다. 수집된 각종 자료는 지식베이스 구축이라는 기법을 이용하여 축적될 것이며, 이러한 연구결과에 의하여 철근 콘크리트 구조물에 발생한 각종 균열에 대하여, 균열유형에 따른 가장 일반적인 보수 및 보강공법을 제시할 수 있는 전문가시스템을 개발하였다.

2. 균열의 유형분류

본 연구에서는 발생된 균열을 유형 별로

* 한양대학교 토목공학과 부교수

** 한양대학교 토목공학과 석사과정

특징을 정리한 후, 각각의 유형에 대한 가능한 원인을 조사하였으며, 또한 각각의 유형에 대한 보다 자세한 자료 (예를 들면 NDT) 를 통해 보수공법을 추천하도록 지식베이스를 구축하였다.

다음은 본 연구에서 사용하고 있는 균열의 25가지 유형을 나타내고 있다.

- (1) 짧고 불규칙한 형태 : 콘크리트 타설초기에 발생하는 균열로서 그 원인은 시공불량으로 주로 시멘트의 이상응결에 기인한다.
- (2) 짧고 규칙적인 형태 : 콘크리트 타설 후 1~2 시간 정도에서 상단 철근의 상부에 연하여 발생하는 균열로서 그 원인은 시공불량을 들 수 있으며, 이러한 형태는 주로 콘크리트의 블리딩 현상에 기인한다.
- (3) 길고 규칙적인 형태 : 단면이 큰 지중보나 지중벽 등에 발생하는 균열로 그 원인은 온도변화로 주로 시멘트의 수화열에 기인한다.
- (4) 짧고 방사상인 형태 : 균열의 원인은 건조수축으로 주로 콘크리트 경화전의 건조수축에 기인한다.
- (5) 망상인 형태 : 콘크리트가 건조됨에 따라 발생하는 균열로서 그 원인은 건조수축 및 온도변화로 파다수량 첨가나 화재에 기인한다.
- (6) pop-out인 형태 : 다습한 장소에서 발생하기 쉬운 균열로서 점상(급작소멸 형태)으로 나타난다. 그 원인은 화학반응으로 주로 반응성 골재와 풍화암의 사용에 기인한다.
- (7) 부분적으로 짧고 불규칙한 형태 : 균열의 원인은 시공불량으로 주로 혼화재의 불균일한 분산에 기인한다.
- (8) 벽체 수평횡단 형태 : 타설된 콘크리트의 침하에 의하여 발생하는 균열로 그 원인은 시공불량으로 주로 급속한 타설에 기인한다.
- (9) 짧고 군집된 형태 : 콘크리트 내면에 생기는 균열로 그 원인은 시공불량으로 타설후 불충분한 다짐에 기인한다.
- (10) 벽체상에 나타나는 길고 큰 형태 : 균열의 원인은 시공불량으로 연속 치기 처리시 부적합한 공법에 기인한다.
- (11) 거푸집에 접한 길고 규칙적인 형태 : 균열의 원인은 시공불량으로 주로 거푸집의 변형에 기인한다.
- (12) 접합부에 나타나는 긴 형태 : 균열의 원인은 시공불량으로 주로 동바리의 침하에 기인한다.

(13) 슬래브와 벽의 접합부에서 발생하는 불규칙적이고 큰 형태 : 균열의 원인은 충격과로 주로 지진의 횡력에 기인한다.

(14) 하부철근에 연해 일어나는 형태 : 균열의 원인은 설계상의 오류로 주로 단면 철근량의 부족에 기인한다.

(15) 보와 기둥의 접합부에 나타나는 경사상 형태 : 균열의 원인은 시공불량으로 주로 지점의 부동침하에 기인한다.

(16) 八字형 혹은 역八字 형태 : 온도 습도의 변화에 따르는 기상작용과 온도변화가 원인인 균열로, 그 형태가 八字형으로 나타나는 경우는 옥상부의 고온 다습에 의한 팽창에 기인하고, 역八字형인 경우는 옥상부의 저온, 저습으로 인한 수축에 기인한다.

(17) 외측 중앙 횡단 형태 : 부재의 외측에는 구속부재 중앙에 긴선으로 나타나고, 내측에는 구속부재 인접부에 나타난다. 그 원인은 기상작용과 온도변화로 부재의 심한 온, 습도의 차이에 기인한다.

(18) 요각부와 수평접합부의 경사선형인 형태 : 균열의 원인은 기상작용으로 주로 동결융해의 반복작용에 기인한다.

(19) 요각부와 수평접합부의 길이방향의 선형인 형태 : 균열의 원인은 기상작용으로 주로 동결융해의 반복작용에 기인한다.

(20) 요각부와 수평접합부의 짧고 불규칙한 형태 : 균열의 원인은 기상작용으로 주로 동결융해의 반복작용에 기인한다.

(21) 철근에 연해 표면에 녹이 나타나는 형태 : 균열의 원인은 철근부식으로 철근의 산화물에 기인한다.

(22) 보와 기둥부의 크고 등간격인 형태 : 균열의 원인은 온도변화와 건조수축으로 주로 급격한 온도상승과 건조를 일으키는 화재에 기인한다.

(23) 부분적으로 파열한 형태 : 균열의 원인은 온도변화와 건조수축으로 주로 급격한 온도상승과 건조를 일으키는 화재에 기인한다.

(24) 철근위치에서 콘크리트가 각락한 형태 : 철근위치에서 복잡하게 나타나거나 콘크리트 표면이 각락하여 나타난다. 그 원인은 화학반응으로 주로 산, 염류에 의한 콘크리트 표면 침식에 기인한다.

(25) 단면변화부에 접하여 발생하는 확산 형태 : 요각코너부, 급작단면 변화부, 각종 이음부에 접하여 확산되는 형태로 나타난다. 그 원인은 설계상의 오류나 불량한 설계세목으로 주로 구조물 내의 결점에서 발생하는 균

열과는 달리 설계상의 규정의 불이행에 기인한다.

3. 균열의 원인

모든 콘크리트에는 균열이 발생한다. 그러나 콘크리트 구조물에 균열이 발생하였다고 항상 구조물을 사용할 수 없는 것은 아니다. 균열발생에 있어서 정말로 중요한 것은 구조물의 기능과 균열의 특성이다.

콘크리트 구조물에 발생된 균열은 균열을 발생시킨 원인의 평가가 중요하고, 그 결과에 의하여 적절하게 조치되어야 한다. 따라서, 본 연구에서는 대표적인 균열발생 원인을 다음과 같이 분류하였고, 이들 원인과 균열유형과의 관계를 전문가와의 면담을 통하여 확인함으로써 서로 연관시켰다.

(1) 시공불량(Poor Construction Practice) : 시공시 발생하는 균열은 대부분 재료의 불량이나 시공관리의 불량으로 부터 발생한다. 그 대표적인 원인은 하부구조의 침하, 거푸집의 변형, 공사중 발생하는 진동, 건조수축의 시작, 콘크리트 동바리의 변형, 콘크리트 완전양생전 거푸집 제거 과다수량 첨가, 불충분한 응결, 높은 응력하에서의 construction joint의 타설, 시멘트의 이상응결, 콘크리트의 블리딩 현상 등을 들 수 있고, 이러한 원인은 대부분 공사초기에 발생되므로 초기균열이라고도 분류되고 있다. 이러한 원인에 의하여 발생가능한 균열은 짧고 불규칙한 균열과 규칙적인 균열, 망상균열, 짧고 군집된 균열, 보와 기둥의 접합부에 나타나는 경사상 균열 등을 들 수 있다.

(2) 건조수축(Shrinkage) : 콘크리트 구조물은 시간이 지남에 따라 건조됨으로써 상당한 수축을 발생시킨다. 동일한 부재단면 내에서도 건조는 일정하게 발생되지 않기 때문에 수축 응력 분포는 일정하지 않다. 이러한 건조수축에 의해 체적의 변화가 초래되며 따라서 구조물에 균열이 발생한다. 건조수축에 의한 균열은 경화전과 경화후로 나눌 수 있는데, 경화전의 균열은 짧고, 방사형인 경우가 대부분이고, 경화후의 균열은 균열깊이가 얇고, 균열간격이 좁은 잔균열이 연속적으로 나타난다.

(3) 온도변화(Thermal Changes) : 온도변화는 대기온도의 변화와 구조물 내부의 온도변

화를 들 수 있다. 대기온도의 변화는 구조물의 형상이나 체적을 변화시킬 수 있으며, 이러한 변화들이 구조물에 의해 구속된다면 인장응력이 발생되어 구조물에 균열이 발생하게 된다. 구조물의 내부온도의 변화는 주로 양생중인 콘크리트에 발생하는 수화열 등을 말하며 이것 역시 체적의 변화를 가져올 수 있어 균열을 발생시킨다. 보통 온도변화와 관련이 있는 균열은 주로 중력 콘크리트에 발생하며, 그 형상은 八字형, 역八字형 균열, 길고 규칙적인 균열, 내측이 구속되어 외측의 중앙을 가로지르는 긴 균열, 망상인 균열, 국부 파열균열 및 보와 기둥부의 동간격균열의 형태로 나타난다.

(4) 철근의 부식(Corrosion) : 철근의 부식은 화학작용에 의한 부식과 전기적 작용에 의한 부식을 들 수 있다. 화학작용에 의한 부식은 물과 공기에 의한 부식이며, 전기적 작용은 존재하는 수분이 염분을 포함하고 있는 경우 콘크리트가 전기적 유도체로 작용되어 갑작스런 철근의 부식을 일으키게 된다. 이와 같은 부식은 철근체적의 확대를 가져오게 되어 콘크리트상에 균열을 발생시킨다. 이러한 원인에 의해서 발생 가능한 균열은 철근에 연해서 콘크리트 표면에 녹이 발생하는 균열과 철근위치에서 콘크리트가 박락하는 균열의 형태로 나타난다.

(5) 충격파(Shock Wave) : 콘크리트는 취성 재료이고, 복합재료이기 때문에 충격파를 받을 때 균열을 일으키게 된다. 충격파의 대표적인 예는 사고에 의한 충격과 교통수단에 의한 소음을 들 수 있으며, 최근 관심의 대상이 되고 있는 피로문제도 이 범주에 속할 수 있다. 이러한 유형의 균열은 슬래브와 벽의 접합부에서 발생하는 불규칙적이고 큰 형태로 나타난다.

(6) 화학반응(Chemical Reaction) : 화학반응은 알카리-실리카 반응이나 중성화 반응을 대표적인 것으로 들 수 있다. 알카리-실리카 반응은 체적의 팽창을 가지고 오히려, 팽창균열이 발생하고, 중성화반응의 경우는 철근부식에 따른 균열이 발생하게 된다. 또한, 정도의 차이는 있지만, 콘크리트의 수분 흡수량의 부분적인 차이에 의해서도 균열이 발생하게 된다. 이 원인에 따른 균열로는 방사상의 불규칙한 균열, pop-out인 균열, 철근위치의 복잡 균열 등을 들 수 있다.

(7) 설계상의 오류 및 불량세목(Errors in design & poor details) : 설계상의 오류는 부

적합한 구조형식, 부적절한 구조계산 등을 들 수 있고, 이것은 소요 저항용력의 부족으로 인하여 균열을 발생시키는 경우이다. 또한 불량한 세목으로 인한 대표적인 예로는 요각의 코너부분, 급작단면변화, 각종 연결부, 부적당한 배수, 시공이음 등을 들 수 있으며, 이 원인은 양자가 모두 콘크리트 구조물 내의 결점에서 생기는 균열과는 달리 설계상의 규정을 제대로 이행하지 못한데서 오는 결과이다. 이 원인에 따른 균열로는 코너부나 급작 단면 변화부에 연하여 발생하는 확산균열을 들 수 있다.

(8) 기상작용(Weathering) : 기상작용으로 인한 콘크리트의 균열은 보통 두드러지게 나타나고, 비록 콘크리트 표면하에서 열화가 크게 진전되지 않더라도 콘크리트가 즉시 표면붕괴할 것같은 흔적을 남긴다. 열대지방을 제외하고는 동결융해로 인한 손상은 기상과 관련된 물리적인 열화가 가장 일반적이다. 균열의 원인이 될 수 있는 다른 기상작용은 건습과 가열, 냉각이 번갈아 일어나는 작용을 들 수 있다. 이러한 원인에 따른 균열로는 외측 중앙 횡단 형태, 내측에는 구속부재 인접부에 나타나는 형태, 요각부와 수평접합부의 경사선형인 형태, 요각부와 수평접합부의 길이방향의 선형인 형태, 요각부와 수평접합부의 짧고 불규칙한 형태의 균열을 들 수 있다.

(9) 외부작용하중(Externally applied Loads) : 하중에 의한 인장용력이 콘크리트 부재내에 균열을 발생시킨다는 것은 잘 알려진 사실이다. 현재의 설계과정은 인장용력을 견디기 위해서 뿐만 아니라 충분한 균열분포와 균열폭상의 적당한 제한을 위해 철근을 사용한다. 이러한 원인에 따른 균열은 외부작용하중에 의한 모멘트 작용방향에 따라 미세한 균열형태(폭 0.1 ~ 0.2 mm)로 나타나지만, 폭 0.2 mm를 넘는 경우나 전단에 의한 균열은 구조적 특성을 보이며 나타난다.

4. 균열의 보수

일반적으로 적합한 보수절차와 보수재료의 선택은 균열이 발생한 구조물의 평가와 균열원인의 추정결과에 따라서 결정된다.

보수공법 및 재료의 선택은 보수목적에 따라 달라지며 구조물의 강도회복, 수밀성의

제공, 콘크리트의 표면상태 개선, 철근부식방지 등이 주로 보수의 목적이 된다.

본 연구에서 균열의 유형에 따라 추천될 보수공법 각각에 대한 조사내용 및 특징은 다음과 같다.

1) Epoxy Injection : 에폭시 주입공법은 건물, 교량, dam 등의 콘크리트 구조물에 발생한 균열(0.2 mm 이상)의 보수에 성공적으로 사용되어 왔다. 이 공법은 에폭시를 압력에 의해 주입하는 방법으로 저점성 에폭시 수지를 사용할 경우, 균열폭 0.05 mm의 균열도 보수가 가능하다. 그러나, 경화시의 높은 발열량 때문에 10 mm 이상의 균열에는 적용하지 않는 것이 일반적이다. 특수한 에폭시를 제외하고는 콘크리트의 온도가 5℃~38℃의 범위를 벗어나는 경우와 누수가 심한 경우에는 이 기법이 적용될 수 없다. 또한, 주입속도가 지나치게 빠르거나 과대한 압력이 가해질 경우는 도리어 균열을 확장시킬 가능성이 있으므로, 에폭시 주입공법은 만족스러운 수행을 위해서 고도의 기술을 요한다. 이 공법을 사용하면 강도의 회복과 특히, 철근부식방지를 목적으로할 경우는 포스트스트레스공법과 조합하여 사용하면 더 큰 부식방지효과를 기대할 수 있다.

2) Routing & sealing : 이 방법은 균열보수법 중에서 가장 간단하고, 일반적인 방법이다. 이 공법은 에폭시 주입공법과 비교할 때, 특별히 훈련받지 않은 인부에 의해서도 수행될 수 있고, 미세한 균열(pattern crack, 0.2mm이하)과 보다 더 큰 고립균열 양자 모두에 sealing을 적용할 수 있다.

Routing & sealing 공법은 진전이 없고, 구조적으로 중요하지 않은 균열에 사용될 수 있다. 이 방법은 균열의 노출면을 절취해 내고, 적당한 joint sealant로 균열을 채우고, 봉인하는 작업을 포함한다. Routing 공법은 영구보수시를 제외하고는 생략이 가능하다. 이 공법은 콘크리트의 표면상태의 개선과 철근부식 방지를 목적으로 한다.

3) Blanketing : Routing & sealing과 유사한 공법으로 routing & sealing 공법 보다 더 큰 scale에 적용되는 공법이다. Routing & sealing 공법이 진전이 없는 균열에 사용되는 반면, 이 공법은 휴지균열(dormant cracks)과 활동균열(active cracks)에 모두 사용가능하다. Routing & sealing과 blanketing에 사용되는 joint sealant는 그 균열의 상황에 따

라 적절한 재료를 사용하도록 권장하고 있다.

4) Grouting : 균열폭이 큰 균열(macro crack, 0.75 mm ~ 5 mm), 특히 중력 dam과 두꺼운 concrete 벽체 내의 균열은 포트랜드 시멘트 그라우트 매움에 의해 보수하는 것이 일반적이다. 보수질차는 epoxy injection과 적용영역 및 제한조건이 비슷하여 epoxy injection과 같은 방법으로 시공될 수 있는데, 추운 날씨나 화재에 저항하는 부재의 보수시에는 이 공법이 epoxy injection 보다 적절하나, 건조수축의 단점이 있다. Grouting 배합은 균열폭에 의해 시멘트와 물, 혹은 시멘트에 물과 모래를 첨가하게 된다. 이 공법은 epoxy injection과 같은 주입공법이므로 철근 부식방지와 수밀성을 제공하는 데 효과적이다.

5) 포스트스트레스에 의한 공법 : 강도의 개선과, 수밀성을 보수의 목적으로 하는 경우에는 예폭시 주입공법을 제외하고는 포스트스트레스에 의한 공법이 빈번히 적용된다. 포스트스트레스에 의한 보수공법에는 인장응력을 응용한 stitching과 압축력을 응용한 external stressing 등이 있다. stitching은 말 뜻 그대로 꿰매는 식의 방법으로 균열의 양쪽에 구멍을 뚫은 뒤, U자 형 stitching dogs를 끼우고, 무수축 grout제나 epoxy를 채워넣는 방법이고, external stressing은 균열의 원인이 되는 인장응력을 상쇄시킬 수 있는 충분한 압축력을 도입하여 보수하는 방법이다.

이 두 공법 모두 균열에 직각인 방향으로 강재를 설치하고, 이것을 긴장시킴으로써 스트레스를 주는 공법인데, 균열폭을 좁히는 효과를 기대하는 것이 아니라 더 이상의 벌어짐을 방지하는 데 그 목적을 두고 있다.

6) Overlays & surface treatments : 이 공법은 균열에 따라 콘크리트 표면에 피복을 설치하는 방법으로 통상은 좁은 균열(0.2mm이하)에서 구조적인 강도회복을 목적으로하지 않는 경우에 이용된다. 구조용 슬래브나 도로 포장용 슬래브에 발생한 균열에 모두 사용될 수 있으며 특히, 이 경우는 주로 routing & sealing으로 보수하기엔 균열의 수가 많은 경우에 실시한다.

보수재료로는 예폭시계 수지, 글라스 크로스계 수지, 타르 등을 사용하며, 이 공법의 주목적은 수밀성의 제공이며, 콘크리트의 표면상태 개선과 철근부식방지 등도 그 목적이 될 수 있다.

5. 전문가시스템의 구축

5.1 전문가시스템의 선정

본 연구에서 채택된 GURU는 Micro Data Base System사가 개발한 전문가시스템 구축용 shell로 상기조건을 만족하기 때문에 본 연구실에서 채택되었는데, 수치계산 및 연산 기능을 제공하고 있으며 외부 프로그램이나 C language library 함수를 이용할 수 있고 이를 C program 내에서 GURU의 data table과 dBase II&III에 연결하여 사용할 수 있게 되어 있다. 또한 fuzzy변수와 표현이 완벽하게 지원되므로 uncertainty를 처리할 수 있도록 구성되어 있다.

5.2 Rule Sets 구축

5.2.1 문제정의(identification)

전문가시스템의 규칙모임(rule sets)을 만들기 전에 문제를 구성하는 인자를 먼저 정의해야 하는데, 본 연구에서는 균열의 보수공법 선정문제의 인자에 대해 정의 하였다 조사된 문헌을 통해 얻어낸 균열 발생 유형은 2절에서 분류된 25가지 였다

균열의 유형과 보수공법을 연결하기 위한 주요인자는 전문가와의 면담결과에 의하면, notched tape, telltape, pin 등을 이용한 주기적인 조사로 알 수 있는 균열의 활동성(입력변수 : active), 외관조사시 균열경이나 균열 개이지 등으로 알 수 있는 균열의 형상 및 빈도(입력변수 : pattern), Schmidt hammer를 이용하여 얻을 수 있는 강도요구도(입력변수 : strength), 구조물의 용도, 시공도서나 관리 일지 등을 통해 판단되는 수밀성의 요구도(입력변수 : wtight) 등 이었다.

5.2.2 개념화(conceptualization) 및 형식화(formalization)

개념화 및 형식화의 과정에서는 문제에 대한 개념과 각각의 관계를 결정하고 그 영역에서 문제를 해결하는데 요구되는 제어기능이 어떤 것인지를 결정한다. 즉, 문제풀이 전략(problem solving)이 문제의 특성에 맞게 선정되어야 하는데 본 연구에서는 후진추론을 선정하였다.

Active한 지식의 모든 표현은 IF(premise) - Then(conclusion) 구조에 기초하여 수행되는 rule based system으로서 일련의 규칙의 모임(rule set)을 사용하였다. 이러한 규칙모임은 한정된 분야의 문제를 어떻게 해결하는지에 대한 전문추론지식 (expert reasoning knowledge) 으로 구성되며 GURU의 build command나 text문에서 만들어 진다. 이들 규칙모임은 추론기관(inference engine)에 의해 탐색된다.

예를 들어 보수공법을 추천하는 rule R801을 보면 다음과 같다.

```
IF : crack = 8 and not active and not
    pattern and strength and wtight
    THEN : method = "sol6"
    NEEDS: crack, active, pattern, strength ,
    wtight
```

위의 rule의 설명은 다음과 같다. 만일 균열의 유형이 8번 균열이고, 균열의 상태가 휴지중인 큰 고립균열로 강도와 수밀성이 요구된다면, 추천되는 보수 공법은 sol6이다. 이상과 같은 결론을 얻기 위해 전체조건을 제어하기 위한 환경이 필요하고, 상기 예에서 보인 단위 rule이 사용된다. 이와 같은 단위 rule을 종합하면 전체구성이 파악될 수 있다. 완성된 전문가시스템에서의 보충사항은 해당되는 rule만을 수정, 보완함으로써 완성할 수 있다.

본 연구에서 제안하고 있는 rule sets의 구성은 균열유형에 따라 예측된 원인에 근거하여 가장 적절하고 일반적인 보수공법을 선정하는 형식을 취하였다.

5.3 지식 베이스의 도식화

본 연구에서는 분류한 균열의 원인에 따른 25가지 유형과 7가지의 보수공법을 연결하기 위하여, 입력변수로 크게 균열의 활동성 여부, 균열의 폭 및 빈도, 그리고 강도 및 수밀성의 필요 여부 등을 제안하였고, 추천되는 보수공법의 지배조건을 보다 상세하게 입력하여 추천된 보수공법의 신뢰도를 높이고자 하였다.

그림1의 tree구조에서 좌측 열은 본 연구에서 수집된 자료에 근거한 균열의 25가지 유형을 나타낸 것이다. 화재로 인한 콘크리

트의 부분파열을 예로들면, 발생가능한 조건을 수집된 자료상에서 얻어낸 결과, 이 균열은 휴지균열 가운데, 정도가 심한 큰 고립균열(isolated crack)이 발생 가능하였으므로 추론이 가능함을 보여준다. 따라서 이 균열의 경우는 강도와 수밀성에 의해 보수공법이 추천되게 된다. 짧고 불규칙한 형태는 휴지균열로 정도가 심하지 않은 잔균열인 경우에 대해서만 추론이 가능하다.

6. 적용례

본 장에서는 정리된 Rule Set을 통해 완성된 전문가시스템을 실행시킨 적용예를 소개하였다.

실제사례 미관상 문제가 된 공동주택의 균열

(1) 균열상태 : 임대중인 고층 공동주택의 박공벽에, 기존에 보수한 균열 보수자국이 두드러지기 시작하였다. 균열에서의 누수는 현재는 전혀 발생하지 않았으나 미관상 좋지 않고 주인측에서 심리적으로 상품가치를 저하시킨다는 지적이 있었다. 이 건물은 준공후 2년이 경과하였으나 준공후 반년이 지난 시점에서 균열에 의한 누수장해가 발생하여, 누수방지에 중점을 둔 보수를 행하였다.

(2) 균열조사 : 새로운 위치의 균열은 거의 없었으나 균열의 길이가 신장된 것이 부분적으로 있었다. 새롭게 신장된 균열의 폭은 0.2mm 이하였다. 강도저하는 거의 없었으며, 시공도서 상에서 slump가 22cm~23cm 정도의 것을 사용한 것을 알았다.

(3) 현장의 보수 및 보강대책 : 균열이 큰 부위만을 V cut 하여 sealing 하였다.

적용사례

R/C구조물에서 조사된 균열은 짧고 불규칙한 형태이고 활동중인 균열이 아니며 균열의 형상이 심하지 않으므로 routing & sealing과 overlay공법의 추천이 유도된다.

7. 결론

본 연구의 결과를 요약·정리하면 다음과 같다.

1. 철근 콘크리트 구조물에 발생한 균열의 유형을 분류한 후, 분류된 균열의 특징을 조사하여 지식베이스를 구축하였다.
2. 철근 콘크리트 구조물에 발생한 균열의 유형에 따른 보수공법을 조사하여 수록하였다.
3. 균열의 유형별 특징과 보수공법을 연결하여 전문가시스템을 완성하기 위한 규칙모임(rule sets)을 완성하였다.
4. 완성된 규칙모임을 사용하여 coding하여 균열보수를 위한 전문가시스템을 개발하였다.
5. 개발된 전문가시스템의 신뢰성을 검증하기 위하여 실제 보수현장에서의 데이터와 비교하여 만족스러운 결과를 얻었다.
6. 개발된 전문가시스템은 수집된 자료에 근거하여 구축된 것이기 때문에 연구범위의 한계를 가진다. 따라서 현장 데이터의 계속적인 수집을 통한 시스템의 개선이 필요하리라 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국 학술진흥재단에서 주관하는 '92 자유공모과제 연구지원으로 수행되었으며, 이에 감사를 드린다.

참고문헌

1. 심종성, 문일환, "콘크리트 구조물의 유지관리에 관한 체계적 연구", 한국콘크리트학회 추계학술발표회, 제1권 제1호, 1989년, PP.39~42.
2. 심종성, 배인환, "국내 철근콘크리트 구조물의 유지관리 동향", 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 제2권, 제2호, 1990년, PP.179~184.
3. 심종성, 배인환, "인공지능을 이용한 철근콘크리트 구조물의 유지관리 기법", 대한토목학회 학술발표회 개요집, 1991년, 10월 26일, PP.145~148.

4. 심종성, 배인환, "철근콘크리트 구조물의 유지관리를 위한 전문가시스템개발", 한국콘크리트학회지, 제3권, 제4호, 1991년 12월, PP.89~96.
5. Arthur, P.D., John, C.E. and Trevor H., "Corrosion Fatigue in Concrete for Marine Applications", ACI SP-75, 1982, PP.1~24.
6. Donald A. Waterman, "A Guide to Expert System," Addison-Wesley Publishing Co., 1986
7. Heinz, D. and Ludwig, U., "Mechanism of Secondary Ettringite Formation in Mortars and Concretes subjected to Heat Treatment", ACI SP-100, Vol.II, 1987, PP.2059~2072.
8. John Wiley & Sons, "Artificial Intelligence ; A Handbook of Professionalism", Ellis Horwood Lit., 1988
9. John Wiley & Sons, "Building Expert System; Cognitive Emulation", Ellis Horwood Lit., 1987
10. Malhotra, V.M., "Testing Hardened Concrete : Nondestructive Methods", Monograph No.9, ACI, Dtroit, MI, 1976, PP.188.
11. Neville, A.M., "Properties of Concrete", Pitmum, 1981, PP.158~163.
12. Nixion, P. and Page, C., "Pore Solution Chemisting and Allcali Aggregate Reaction", ACI SP-100, Vol.II, 1987. PP.1833~1862.
13. Philip H. Perkins, "Repair Protection and Waterproofing of Concrete Structures", Elsevier Applied Science Publishers, 1986.
14. Schiessl, P. "Influence of the composition of concrete on the Corrosion Protection of the Reinforcement", ACI SP-100, Vol.II, 1987, PP.1633~1650.
15. Sidney, M.J., "Deterioration, Maintenance, and Repair of Structures", Mcgraw-Hill Book Co., 1965.
16. Sim, J. and Kim, C.H., "Repair of Reinforced Concrete Reactor Structure in a Chemical Plant", ACI SP 128, Vol.II, 1991, PP. 1309~1219.
17. Sim, Jongsung and Kim, Jungho, "Building Diagnosis, Repair and Maintenance", ACI Korea Chapter, 추계학술발표회논문집, 1988. PP.57~69.
18. Thornton, H. and Alexander, A., "Development of Impact/Resonant Vibration Signature for Inspection of Concrete Structures", ACI SP-100, Vol.I, 1987, PP.665~680.

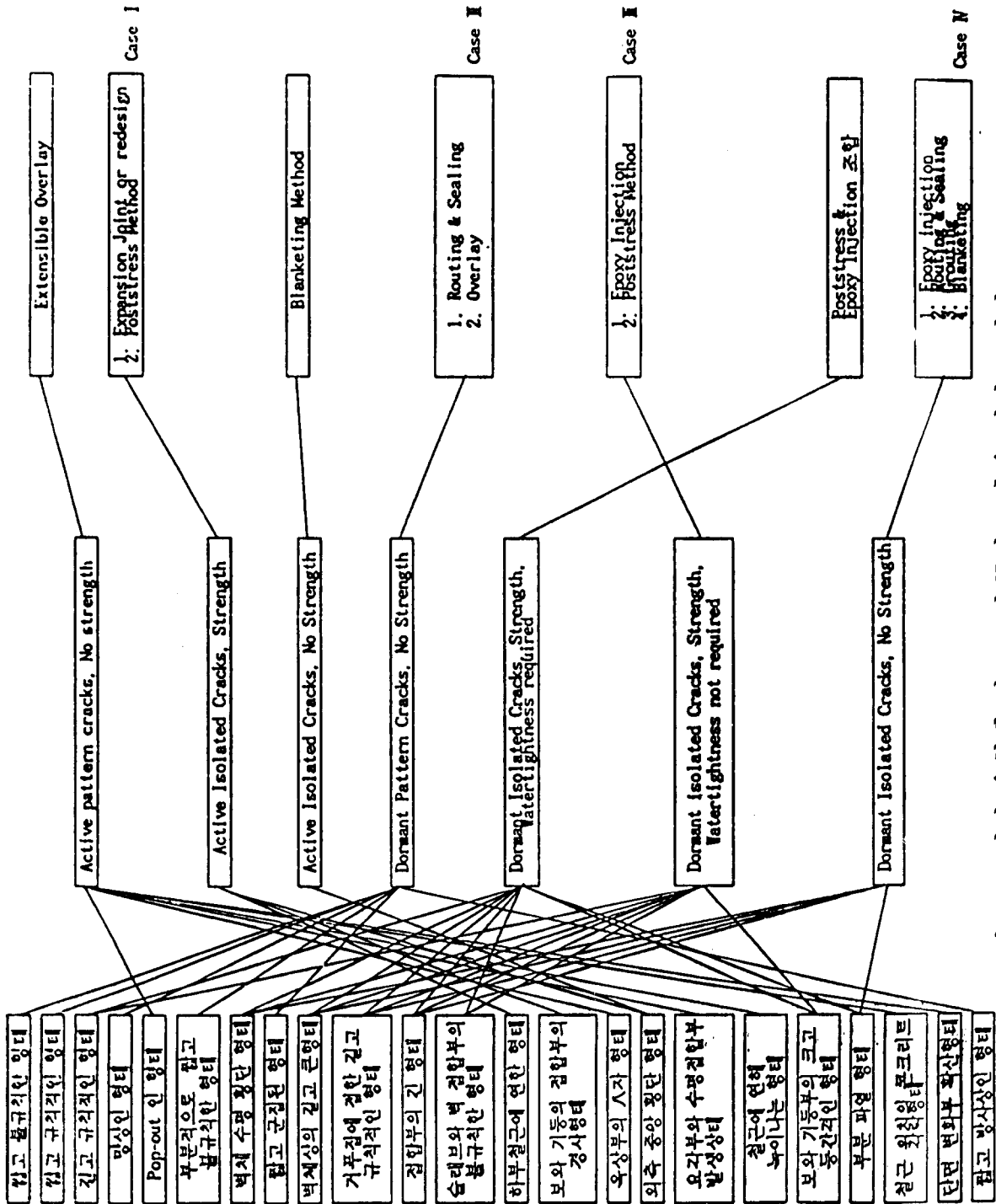


그림 1. 균열의 유형에 따른 보수공법 도출을 위한 도식화