

철근콘크리트 구조물의 균열원인 진단을 위한 전문가 시스템 개발

Development of Expert System for Diagnosing the Causes of Cracks In Reinforced Concrete

오 병 환* 신 경 준** 형 상 수***
Oh Byung Hwan Shin Kyung Joon Hyung Sang Su

ABSTRACT

This paper examines a diagnostic model based on the concept of rule and fuzzy pattern recognition. One example is presented to demonstrate the feasibility of the model in diagnosing crack formations in reinforced concrete structures and the result by the expert system is generally satisfactory

1. 서론

콘크리트는 건설재료중에서 가장 많이 이용되는 재료로서, 재료특성상 구조적으로 인장응력이 발생하는 부위에는 항상 균열발생의 가능성을 가지고 있으며 때때로 이러한 균열은 구조물의 거동에 심각한 영향을 미치기도 한다.

일반적으로 콘크리트의 균열은 두 가지 이상의 복합적인 요인에 의해서 발생하므로 그 원인을 찾아내는 작업은 쉽지 않다. 그러므로 대개의 경우 콘크리트 구조물에 발생한 균열에 대한 평가는 숙련된 전문가에 의해 이루어져 왔다. 그러므로, 전문가의 부족에 따른 상당한 경제적, 시간적 비용이 요구되었다.

그러나 이러한 전문가의 경험과 지식을 프로그램화시킨 전문가 시스템을 개발할 경우 경제적, 시간적 비용 절감뿐만 아니라 데이터 축적을 통한 더욱 정확하고 일관된 원인추론이 가능할 것이다.

2. 지식의 표현

2.1 RULE에 의한 지식의 표현

RULE이란, 가장 보편적인 지식을 표현하는 방법이며, IF~THEN의 형식으로 조건절과 목적절로 구성된다.

본 연구에서는 조건절의 종류에 따라 배제조건, 충족조건, 지원조건, 선택적 조건 등으로 구분하였다.

2.1.1 배제조건

여러 가지 균열 원인중, 사용자가 입력하는 정보에 따라 발생한 균열의 원인이 될 수 없는 항목을 제외하는 조건으로서, 조건절이 여러 항목에 동시에 적용될 경우 공통배제조건이라고 하고, 한 가지 항목에만 적용될 경우 개별배제조건이라고 하였다.

2.1.2 충족조건

몇 가지 조건들이 만족될 경우, 그에 대한 균열원인을 쉽게 추론할 수 있는 조건들을 충족조건이라고 하였으며 개별배제조건과 일치하는 경우가 많다.

2.1.3 지원조건

* 정회원, 서울대학교 토목공학과 교수

** 서울대학교 토목공학과 박사과정

*** 서울대학교 토목공학과 석사과정

조건절이 만족될 경우, 여러 가지 균열원인중 한 가지 항목이 그 원인이 될 수 있는 가능성을 높여 주는 조건으로서, 정도에 따라 강, 중, 약 지원조건으로 구분하였다. 그리고 그에 의한 가능성의 증가치는 아래에 소개되는 fuzzy 이론에 의해, 각각 18%, 25%, 32%로 정하였다.

2.1.4 선택적 조건

사용자가 여러 가지 조건 중에서 한가지를 선택하는 것으로서 어떤 조건을 선택하느냐에 따라서 각 항목들이 발생한 균열의 원인이 될 가능성이 달라진다.

2.2 Fuzzy 이론에 의한 지식의 표현

Fuzzy 집합에서는 어떤 변수 x 와 집합 A 와의 관계를 membership function으로 나타낸다. 여기서 membership function이란 변수 x 가 집합 A 에 속하는 정도를 나타내는 함수이며 사용자의 정의에 따른다.

위에서 제시한 지원조건에 의한 가능성의 증가치의 경우 membership function을 구성한 다음, 각각의 무게중심을 구하였다. 그리고 사용자가 입력하는 자료의 언어적 모호함을 해결하기 위하여 fuzzy 이론의 창시자인 Zadeh 교수가 제시한 아래의 함수를 사용하였다.

각각의 확신도와 그에 대한 수치는 아래와 같다.

$$\mu_{\text{very low}}(x) = 0.1, \mu_{\text{low}}(x) = 0.25, \mu_{\text{medium}} = 0.5$$

$$\mu_{\text{high}}(x) = 0.75, \mu_{\text{very high}}(x) = 0.9$$

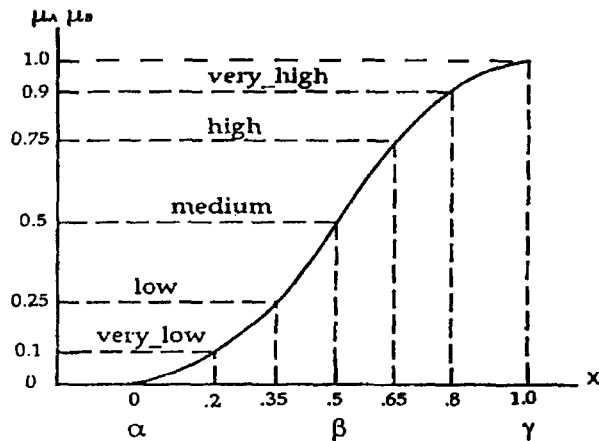


그림 1. 언어적 모호함의 membership function

3. 균열원인추론

3.1 발생시기에 따른 균열원인의 분류

1일 이내에 발생하는 균열에 대한 원인으로서는 아래와 같은 사항들이 있다.

■ 1일 이내

A3. 침하균열

B1. 거푸집의 변형으로 인한 균열

B2. 동바리의 침하로 인한 균열

B3. 경화전의 재하·진동·충격으로 인한 균열

B5. 소성수축에 의한 균열

- B6. 부적당한 이음부 처리에 의해 발생하는 균열
- B7. 배관의 덮개부족으로 인한 균열

3.2 발생시기별 RULE과 FUZZY에 의한 균열원인추론

1일 이내에 발생하는 균열에 대한 Rule과 fuzzy 추론은 아래와 같다.

■ 1일 이내

- 1) 균열이 발생한 부재는 무엇입니까?
벽체(B2, B3 제외), 보(B7 제외), 기둥(B2, B7 제외)
- 2) 배관이 타립되어 있으며 균열이 배관을 따라서 존재합니까?
예(B7이 원인), 아니오(B7 제외)
- 3) 균열이 시공이음이나 콤드조인트를 따라서 발생했습니까?
예(B6이 원인), 아니오(B6제외)
- 4-1) 균열의 형태가 규칙적이고 그 간격이 철근의 배근간격과 일치합니까?
예(A3이 원인)
- 4-2) 타이볼트 등이 설치되어 있고 균열의 위치가 타이볼트 등의 위치와 일치합니까?
예(A3이 원인), 4-1), 4-2) 모두 아니오이면 (A3제외)
- 5) 기초 콘크리트 타설 등으로 동바리의 침하가 발생하지 않도록 조치했습니까?
아니오(B2 에 대한 중지원)
- 6) 정화전 자재를 적재하거나 진동, 충격을 준 적이 있습니까?
아니오(B3에 대한 중지원)
- 7) 타설후 살수조치를 통해 수분을 공급하거나 폴리에틸렌 필름 등으로 표면보호조치를 취했습니까?
아니오(B5에 대한 강제원)

표1. 1일 이내에 발생하는 균열들과 특징간의 fuzzy 관계

	규칙성		관통여부		모양			
	규칙적	불규칙적	표층	관통	수직	중방향	경사	망상
B1	L	H	VH	L	L	H	L	L
B2	H	L	VH	H	L	H	L	L
B3	L	H	H	L	L	L	H	H
B5	L	H	VH	L	L	L	L	VH

VH: 매우 높음, H: 높음, M: 보통, L: 낮음, VL: 매우 낮음

3.3 적용

콘크리트 타설후 1일 이내에 슬래브에서 균열이 발생했으며 위의 2), 3), 4)의 조건은 모두 아니오에 해당한다. 또한 동바리의 침하가 발생하지 않도록 특별히 취한 조치는 없으며, 진동, 충격을 준 적도 없다. 그리고 타설후 살수를 하거나 표면보호조치도 취하지 않았다.

발생한 균열의 패턴 불규칙적이며 표층에 한정되었으며 모양은 망상에 가깝다. 그리고 각각에 대한 확신도는 각각 M, VH, H이다.

균열의 발생원인은 B1, B2, B3, B5로 압축할 수 있다. 따라서 패턴과 관통여부, 모양으로 각각의 원인에 대한 가능성을 조사한다. 가능성은 각각의 항목에 대해 사용자가 입력한 정보에 해당하는 membership function의 값과 확신도와의 값의 곱에 상대적 중요도를 곱한 값의 합으로 정의한다. 여기서 가능성은 실제 균열이 발생할 수 있는 가능성이 아니라 타항목과의 비교를 위한 단순 수치이며 상대적 중요도는 아래의 방법에 의해 계산했다.

표2. 발생하는 균열의 특징간의 상대적 중요도

	규칙성	관통여부	모양
규칙성	1	2	1/1.5
관통여부	1/2	1	1/2
모양	1.5	2	1

(i, j)는 i항목이 j항목에 대해 가지는 상대적 중요도이다.

위에서 작성한 행렬에서 각 행별로 수치를 모두 더한 다음, 그 값을 전체의 합으로 나누어 준 값을 상대적 중요도로 정의하였다.

$W(\text{규칙성}) = 3.66/10.16 = 0.36$, $W(\text{관통여부}) = 2/10.16 = 0.2$, $W(\text{모양}) = 4.5/10.16 = 0.44$

따라서 B1, B2, B3, B5에 대한 각각의 가능성은 다음과 같다.

B1: $0.36 \times 0.75 \times 0.5 + 0.2 \times 0.9 \times 0.9 + 0.44 \times 0.25 \times 0.75 = 0.38$

B2: $0.36 \times 0.25 \times 0.5 + 0.2 \times 0.9 \times 0.9 + 0.44 \times 0.25 \times 0.75 = 0.29$, $0.29 \times 1.25 = 0.36$ (중지원조건)

B3: $0.36 \times 0.75 \times 0.5 + 0.2 \times 0.75 \times 0.9 + 0.44 \times 0.75 \times 0.75 = 0.52$, $0.52 \times 1.25 = 0.65$ (중지원조건)

B5: $0.36 \times 0.75 \times 0.5 + 0.2 \times 0.9 \times 0.9 + 0.44 \times 0.9 \times 0.75 = 0.59$, $0.59 \times 1.32 = 0.78$ (강지원조건)

위의 결과에 따라서 B5(소성수축에 의한 균열)를 가장 유력한 원인으로 추론한다.

4. 결론

본 연구에서는 콘크리트 구조물에 발생한 균열의 원인을 추론하기 위해 fuzzy 이론과 rule에 의한 지식표현기법을 이용했다. 이 두 가지 기법을 병용함으로써 발생 가능한 원인들을 대폭적으로 축소하고 또한 추론과정에서 발생하는 언어적 모호함을 해결함으로써 효과적으로 균열의 원인을 추론할 수 있다.

참고문헌

1. "콘크리트의 균열조사, 보수·보강 지침", 추영수 편역, 건설도서, 1998. 2
2. "SEVEN METHODS FOR TRANSFORMING CORPORATE DATA INTO BUSINESS INTELLIGENCE", Vasant Dhar, Roger Stein, PRENTICE HALL, 1997
3. "FUZZY PATTERN RECOGNITION MODEL FOR DIAGNOSING CRACKS IN RC STRUCTURES", Ching-Ju Chao, Fu-Ping Cheng, Journal of Computing in Civil Engineering, Vol. 12, NO.2 April, 1998