

균열 패턴인식 알고리즘 개발

Development of an algorithm for crack pattern recognition

이 방 연 김 윤 용 김 진 근 박 석 균
Lee, Bang Yeon Kim, Yun-Yong Kim, Jin-Keun Park, Seok-Kyun

ABSTRACT

This study proposes an algorithm for recognition of crack patterns, which includes horizontal, vertical, diagonal(-45°), diagonal(+45°), and random cracks, based on image processing technique and artificial neural network. A MATLAB code was developed for the proposed algorithm, and then numerical tests were performed on thirty-eight crack images to examine validity of the algorithm. Within the limited tests in the present study, the proposed algorithm was revealed as accurately recognizing the crack patterns when compared to those classified by a human expert.

1. 서 론

콘크리트 구조물에 발생한 균열의 원인을 추정할 때 다양한 조건들이 고려되는데, 이 중에서 균열의 패턴은 그 발생 원인을 판단하는데 중요한 요소가 된다. 그러나 이제까지 일반적으로 균열의 패턴은 조사자의 주관적 판단에 의해 결정되어 왔기 때문에 이 연구에서는 균열의 패턴을 결정할 때 객관성을 도모하고자 균열의 패턴을 5가지로 나누어 컴퓨터가 자동으로 균열 패턴을 인식할 수 있는 알고리즘을 제시하고자 한다.

2. 균열 검출 및 패턴인식 알고리즘

패턴인식은 일반적으로 정보추출을 위한 전처리 과정, 패턴인자 추출, 그리고 인식의 세단계로 이루어진다. 이 연구에서 균열 패턴을 컴퓨터가 자동으로 인식할 수 있도록 제시한 알고리즘의 개요도는 그림 1과 같다. 화상은 디지털 카메라를 통해 획득할 수 있으며, 전처리 과정에 해당하는 균열 검출과 패턴 인자 추출은 화상처리 기법이 적용되었다. 또한 패턴 인자로부터 최종 균열 패턴인식은 여러 신경회로망 모델 중에서 MLP(Multi-Layer Perceptron)가 적용되었다.

2.1 균열 검출

일반적으로 균열이 포함된 화상에서 균열을 검출할 때는 촬영할 때 빛의 영향, 균열 이외의 많은 노

* 정회원, 한국과학기술원 건설 및 환경공학과 박사과정

** 정회원, 한국과학기술원 건설 및 환경공학과 연구조교수

*** 정회원, 한국과학기술원 건설 및 환경공학과 교수

**** 정회원, 대전대학교 토목공학과 조교수

이므로 인하여 많은 어려움이 있다. 따라서 이 연구에서는 그림 1과 같은 과정을 통해 해결하고자 하였다. 빛의 영향은 모폴로지(morphology) 기법을 통하여 보정하였으며[1], 그 연산방법은 원 화상과 closing 연산을 수행한 화상을 빼는 것이다. 이때 사용한 구조적 요소(structuring elements)의 크기는 반지름이 15화소인 원이다. 배경과 노이즈들로부터 균열을 검출한 방법은 이진화 기법과 형상 분석기법을 기본으로 하였으며, 검출 성능을 향상시키기 위해 그림 1과 같은 알고리즘을 구성하였다. 이진화는 Otsu[2]가 제안한 방법을 사용하였으며, 전역적 이진화에서 추출되지 못한 균열을 추출하기 위해 3×3 커널을 이용하여 작은 홀을 제거하는 픽셀단위 처리(노이즈 감소)와 전역적 이진화에서 추출된 균열 주위의 11×11 영역 내에서 이진화를 하는 지역적 이진화를 추가하였다. 또한 균열의 밝기가 배경과 비슷한 미세 균열을 추출하기 위해 그림 1과 같이 2차 추출과정을 추가하였다. 2차 추출과정이 끝난 화상은 균열이외에도 균열로 잘못 추출된 물체들이 존재하게 되는데 이는 균열의 형상 특성을 이용한 형상분석을 통하여 해결하였다. 형상 분석에 사용된 형상 계수는 packing density[3]이다.

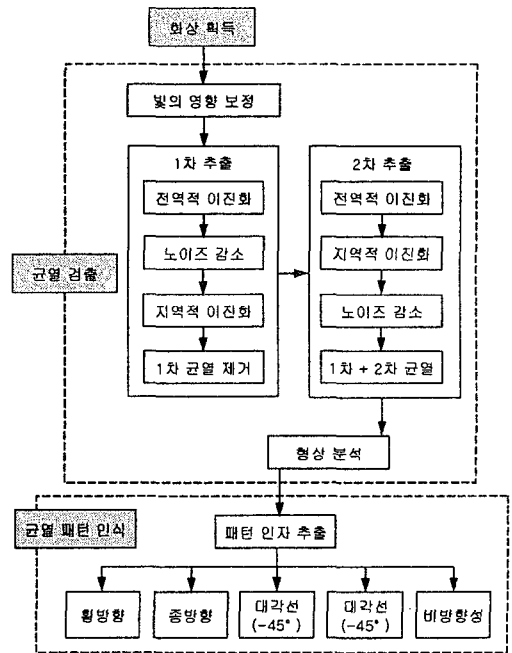


그림 1 알고리즘 개요도

2.2 균열 패턴인식

2.2.1 패턴인자

균열 패턴인식을 위한 패턴인자는 Total Projection Technique[4]을 통해 구하였으며, 화상의 크기나 균열의 크기에 관계없이 패턴을 분류하기 위하여 투영된 길이 중에서 제일 큰 값으로 나누어 0부터 1까지의 값을 갖도록 정규화하였다. 또한 5개의 균열 패턴을 인식하는데 필요한 패턴인자로서 180개의 값이 모두 필요하지 않다고 판단되어 이를 3개씩 평균하여 60개로 감소하였다. 그림 2는 횡방향 균열에 대한 전형적인 패턴인자의 값을 극좌표로 표현한 것이다.

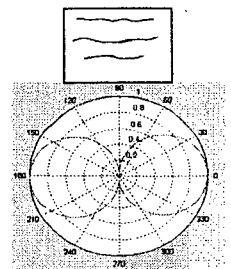


그림 2 패턴인자

2.2.2 신경회로망의 구조 및 학습

이 연구에서 구성한 신경회로망은 그림 3과 같이 입력층 60, 은닉층 4, 출력층 5개의 노드를 가지며 활성화함수는 hyperbolic tangent sigmoid이다. 입력층의 각 노드에는 2.2.1절에서 기술한 패턴 인자가 입력되도록 하였으며, 출력층의 각 노드에서는 0부터 1사이의 값을 출력하도록 하였다. 또한 가중치(w), 임계값(b)은 횡방향, 종방향, 대각선(-45°), 대각선(+45°) 균열에 대해서는 각각 100개, 방향성이 없는 균열에 대해서는 80개의 가상 균열 화상을 사용하여 학습을 통해 결정하였다. 그림 4는 각 균열 패턴에 해당하는 대표적인 입력값들을 그래프로 나타낸 것이며, 표 1은 목표 출력값이다. 학습방법은 과적합(overfitting)문제를 피하기 위해 Bayesian regularization[5] 방법을 사용하였으며, 최종적인 인식은 신경회로망의 연산에 의해 출력된 결과층의 노드 값 중에서 제일 큰 수의 노드를 선택하여 패턴을 인

식하도록 하였다.

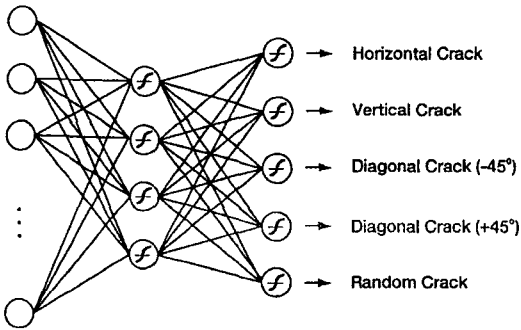


그림 3 신경회로망의 구조

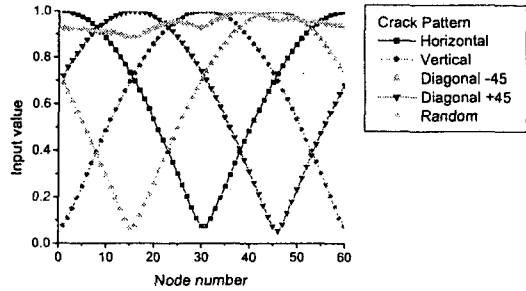


그림 4 학습에 사용된 대표적 균열 패턴 인자

표 1 학습에 사용된 균열 패턴별 목표 출력값

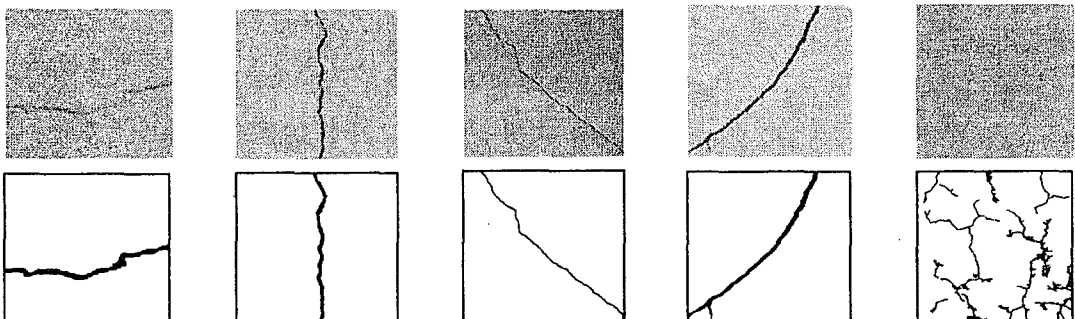
	Horizontal	Vertical	Diagonal (-45°)	Diagonal (+45°)	Random
node 1	1	0	0	0	0
node 2	0	1	0	0	0
node 3	0	0	1	0	0
node 4	0	0	0	1	0
node 5	0	0	0	0	1

표 2 인식 결과

the node number showing a maximum output value	the result of recognition
1	Horizontal
2	Vertical
3	Diagonal (-45°)
4	Diagonal (+45°)
5	Random

3. 알고리즘 검증 실험

이 연구에서 제안한 알고리즘은 MATLAB을 이용하여 구현하였으며, 성능 검증을 위해 총 38개의 균열 화상(횡방향 균열: 4개, 종방향 균열: 19개, 대각선(-45°) 균열: 7개, 대각선(+45°) 균열: 5개, 비방향성 균열: 3개)을 사용하였다. 그림 5는 각 균열 패턴 별로 대표되는 균열의 검출 결과이며, 표 3은 최종 인식 결과이다. 균열 검출 결과 그림 3 (e)와 같은 비방향성 균열의 경우 다른 균열 패턴과 비교하여 검출 결과가 좋지 않았으나 패턴 인식 결과는 모든 경우에 대하여 사람의 인식 결과와 100% 일치하였다.



(a) 횡방향 균열 (b) 종방향 균열 (c) 대각선(-45°) 균열 (d) 대각선(+45°) 균열 (e) 비방향성 균열

그림 5 균열 패턴별 대표적 균열 검출 결과

표 3 신경회로망에 의한 균열 패턴 인식 결과

Classifications by human	Classifications by artificial neural network						total	accuracy (%)
	Horizontal	Vertical	Diagonal (-45°)	Diagonal (+45°)	Random			
Horizontal	4	0	0	0	0	4	100	
Vertical	0	19	0	0	0	19	100	
Diagonal (-45°)	0	0	7	0	0	7	100	
Diagonal (+45°)	0	0	0	5	0	5	100	
Random	0	0	0	0	3	3	100	

4. 결 론

이 논문에서는 디지털 카메라를 통해 얻은 균열 화상에서 화상처리 기법과 신경회로망을 이용하여 5가지 균열 패턴(횡방향, 종방향, 대각선(-45°), 대각선(+45°), 비방향성)을 컴퓨터가 자동으로 인식할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 그리고 제안된 알고리즘의 성능을 총 38개의 실제 균열 화상을 통해 확인하였다. 검증실험 결과 균열의 검출은 부분적으로 부정확한 결과를 나타낸 반면, 균열의 패턴인식은 사람의 판단과 정확히 일치하는 것으로 나타내었다. 따라서 균열 검출 성능을 향상시킬 수 있는 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단되며, 이 연구에서 정한 5가지 균열 패턴 이외에 보다 다양한 형태의 균열 패턴을 인식할 수 있는 연구 또한 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 한국과학기술평가원(KISTEP)의 국가지정연구실 사업(National Research Lab)의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Gonzalez, R.C., Woods, R.E., "Digital Image Processing", 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., Long man, 1992.
2. Otsu, N.A. "Threshold Selection Method from Gray Level Histogram", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-9, No.1, 1979, pp. 62-66.
3. Ammouche, A., Breyse, D., Hornain, H., Didry, O., and Marchand, J., "A New Image Analysis Technique for The Quantitative Assessment of Micro cracks in Cement Based Materials", Cement and Concrete Research, Vol.30, No.1, 2000, pp.25-35.
4. Stroeven, P., "Structural Investigation of Concrete by means of Stereological Technics", RILEM SEMINAR PROCEEDINGS, Vol. 3, 1973, pp.5.2,1-19.
5. MacKay, D. J. C., "Bayesian interpolation", Neural Computation, Vol. 4, No. 3, 1992, pp.415-447.