

ECC 화상 단면의 향상된 섬유 검출 기법

Enhanced Technique for Fiber Detection of ECC Sectional Image

이 방 연* 김 윤 용** 김 정 수*** 이 윤**** 김 진 근*****
Lee, Bang Yeon Kim, Yun Yong Kim, Jeong-Su Lee, Yun Kim, Jin-Keun

ABSTRACT

The fiber dispersion performance in fiber-reinforced cementitious composites is a crucial factor with respect to achieving desired mechanical performance. However, evaluation of the fiber dispersion performance in the composite PVA-ECC(Polyvinyl alcohol-Engineered Cementitious Composite) is extremely challenging because of the low contrast of PVA fibers with the cement-based matrix. In the present work, an enhanced fiber detection technique is developed and demonstrated. Using a fluorescence technique on the PVA-ECC, PVA fibers are observed as green dots in the cross-section of the composite. After capturing the fluorescence image with a Charged Couple Device(CCD) camera through a microscope. The fibers are more accurately detected by employing a series of process based on a categorization, watershed segmentation, and morphological reconstruction.

요 약

섬유복합재료의 우수한 인장 성능은 섬유가 매트릭스의 균열 면에서 가교작용을 함으로써 발현되기 때문에 섬유의 분산성이 복합재료의 성능에 결정적인 영향을 미치게 된다. 그러나 PVA(Polyvinyl alcohol) 섬유를 보강 섬유로 사용하는 섬유복합재료의 경우 PVA 섬유와 매트릭스 사이의 낮은 명암비와 PVA의 비전도성 특징으로 인하여 섬유의 위치 및 분포 특성을 정량적으로 평가하는 방법은 연구가 미흡한 실정이다. 이 연구에서는 PVA 섬유를 보강 섬유로 사용하는 섬유복합재료의 섬유 분포 특성 등을 평가할 때 가장 중요한 과정인 섬유의 검출에 대하여 검출 성능을 향상시킬 수 있는 알고리즘을 제시하였다. 제안한 알고리즘은 형광 현미경을 사용하여 얻은 섬유 이미지를 유형별로 분류하고, 분류된 분류된 섬유 이미지의 특성에 따라 분수령 알고리즘(watershed algorithm)과 형태학적 재구성(morphological reconstruction)을 이용하여 보다 정확히 섬유를 검출하는 과정으로 구성된다. 이 과정에서 섬유 이미지를 총 5가지 유형으로 분류하였으며, 인공지능회로망을 분류기로 구축하였다. 또한 구축한 분류기를 통해 분류된 5가지 섬유 이미지 유형 중에서 잘못 검출된 섬유 이미지를 분수령 알고리즘과 형태학적 재구성을 통하여 섬유를 정확히 검출할 수 있는 기법을 제안하였다.

* 정회원, 한국과학기술원 건설및환경공학과 박사과정

** 정회원, 충남대학교 토목공학과 교수

*** 정회원, 한국과학기술원 건설및환경공학과 박사후과정

**** 정회원, 이화여자대학교 건축학과 전임강사

***** 정회원, 한국과학기술원 건설및환경공학과 교수

1. 서론

ECC(Engineered Cementitious Composite)로 알려진 고인성 섬유복합재료는 매트릭스에 2% 이내의 합성섬유를 혼입함으로써 콘크리트의 수축, 수백 배에 달하는 인장변형을 경화기동을 보이는 고인성 섬유복합재료이다. ECC의 우수한 인장 성능은 PVA 섬유가 매트릭스의 균열 면에서 가교작용을 함으로써 발현된다. 따라서 섬유의 분산성이 성능에 결정적인 영향을 미치게 되며, 섬유의 분산성을 평가할 수 있는 방법이 필요하다. 섬유의 분산성을 평가하는 방법은 섬유의 종류와 섬유의 검출 방법에 따라 다양하며, 화상 분석 방법, X-ray 투과 방법, 섬유의 전도성을 이용하는 방법 등이 있다. 이러한 다양한 방법 중에서 PVA 섬유와 같은 유기합성섬유의 분산성은 현재까지 형광현미경을 이용하여 촬영한 화상을 화상처리로 분석하는 방법만 적용할 수 있다[1]. 이방연 등[1]은 이미지 프로세싱 기법과 통계적인 방법을 이용하여 자동으로 분산성을 평가할 수 있는 기법[2]을 바탕으로 섬유이미지에서 섬유의 유형을 보다 세분화하여 보다 정확히 섬유를 검출할 수 있는 기법을 제시하였다. 이방연 등은 섬유의 유형을 분류하기 위하여 형상계수의 히스토그램에 기반한 판별함수기법을 적용하였는데 이 방법으로 섬유의 유형을 나누게 되면 섬유이미지 내에서 섬유들의 상대적인 형상에 따라 유형이 나누게 되기 때문에 섬유의 유형이 섬유이미지에 따라 달라지는 문제점을 가지고 있다. 따라서 이 연구에서는 섬유의 유형을 보다 합리적으로 분류하고 인공지능회로망을 분류기로 구축하고자 한다. 또한 분류된 섬유 이미지의 특성에 따라 분수령 알고리즘과 형태학적 재구성을 이용하여 보다 정확히 섬유를 검출할 수 있는 기법을 제시하고자 한다.

2. 섬유이미지의 섬유 검출 기법

2.1 개요

시편은 마이크로역학 기법을 적용하여 우수한 성능을 갖도록 설계된 PVA-ECC 실험체의 양 단면을 다이아몬드 커터를 이용하여 재단하여 제작된다. 제작된 시편은 형광 현미경으로부터 선명한 이미지를 얻기 위하여 시편의 표면을 그라인더로 연마한 후에, 형광 현미경(Olympus, BX51)을 통하여 촬영되며, 촬영된 이미지에는 섬유만 녹색으로 나타나게 된다. 촬영된 섬유 이미지에서 섬유만을 검출하기 위해서는 먼저 칼라 화상을 회색 화상으로 변환한 후 회색 화상을 이진 화상으로 변환[3]하는 과정이 필요하다. 그러나 이러한 일반적인 절차만으로는 모든 섬유를 정확히 검출하기 어렵다. 즉, 인접한 여러 개의 섬유들이 하나의 섬유로 잘못 검출되는 경우가 있다. 검출 성능 향상을 위하여 제안한 알고리즘은 1차 검출에서 정확히 검출된 섬유 이미지들과 여러 개의 섬유가 하나로 잘못 검출된 섬유 이미지들을 유형별로 분류하는 부분과 잘못 검출된 섬유 이미지들을 분수령 알고리즘과 형태학적 재구성을 이용하여 섬유를 정확히 검출하는 두 부분으로 나뉘게 된다. 그림 1은 향상된 검출 알고리즘을 나타낸다.

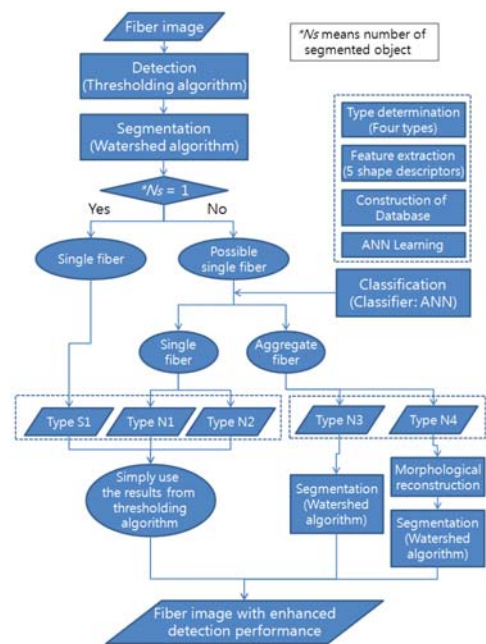






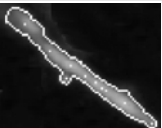
그림 1 향상된 검출 알고리즘

2.2 섬유 이미지의 유형

섬유 이미지를 분류하기 위한 첫 번째 과정은 섬유 이미지의 유형을 결정하는 것이다. 즉, 각 개별 섬유별로 정확히 검출된 섬유 이미지와 인접한 여러개의 섬유들이 하나의 섬유로 잘못 검출된 섬유

이미지를 구분하는 것이다. 이를 위하여 이미지의 peak 분석을 통하여 물체를 구분하는 분수령 알고리즘[4]을 적용하였다. 분수령 알고리즘을 적용함으로써 1차 검출된 섬유 이미지는 이미지의 밝기값에 따른 peak의 개수만큼 물체로 구분된다. 표 1은 역치값을 바탕으로 섬유를 검출하는 1차 검출된 섬유의 개수, 분수령 알고리즘에 의해 구분되는 물체의 수, 그리고 사람의 판단에 의해 구분되는 물체의 수를 비교한 것이다. Type S1은 1차 검출된 섬유 이미지의 개수와 분수령 알고리즘에 의해 구분된 섬유 이미지의 개수가 한 개로 동일한 유형을 나타낸다. 다른 유형의 섬유 이미지는 분수령 알고리즘에 의해 구분된 물체의 수가 2개 이상에 해당하는 것으로서 검출된 섬유 이미지의 형상과 구분된 섬유 이미지의 개수에 따라 사전 시험을 통하여 섬유 이미지의 유형을 4가지로 분류하였다. Type N1과 Type N2는 원본 화상을 보고 판단하면 하나의 섬유에 해당하지만 분수령 알고리즘에 의해서는 여러 개의 섬유로 인식되는 섬유 이미지이다. 따라서 1차 검출 이외의 추가적인 검출과정은 필요하지 않다. Type N3은 군집된 인접 섬유들이 하나의 섬유로 잘못 검출된 경우이며, Type N4는 섬유의 방향이 촬영 방향과 수직에 가까워 길이가 길게 촬영된 섬유와 원에 가깝게 촬영된 섬유 이미지가 하나의 섬유로 잘못 검출된 섬유들이다.

표 1 섬유 이미지 유형

Type		Number of fibers (thresholding)	Number of segmented objects (watershed)	Most probable number of fibers*	Example
Single fiber	Type S1	1	1	1	
Possible single fiber	Type N1	1	More than 2	1	
	Type N2	1	More than 2	1	
	Type N3	1	More than 2	more than 2	
	Type N4	1	More than 2	more than 2	

*These numbers are obtained from fluorescence image observations.

2.3 특징 추출 및 분류기 구축

섬유 이미지를 분류하기 위한 두 번째 과정은 섬유 이미지의 유형을 분류하기 위한 특징 추출 과정이다. 일반적으로 특징은 회전, 이동, 크기 변화, 그리고 밝기 변화 등의 변환에 대하여 불변 특성을 가져야 하기 때문에 이를 고려하여 Type N1부터 Type N4 4가지 유형으로 분류하기 위한 특징으로 이러한 변환에 대하여 불변 특성을 가지는 5개의 형상 기술자 즉, Solidity(F_s): 물체의 면적을 최소불록집합의 면적으로 나눈 값, Packing density(F_c): 물체의 면적을 물체의 외접원에 해당하는 면적으로 나눈 값, 단위 면적당 둘레(F_p): 둘레 길이를 물체의 면적으로 나눈 값, F_l 과 F_{r_i} : 장변 길이를 물체의 면적과 모든 섬유 이미지들의 평균 장변 길이(l_{avg})로 각각 나눈 값으로 결정하였다. 이렇게 결정된 특징들에 대하여 1,350개 섬유 이미지를 4가지 유형으로 분류하고 특징값을 추출하여 분류기를 구축하는데 사용할 데이터베이스를 구축하였다.

구축한 데이터베이스를 이용하여 인공신경회로망을 학습시켜 분류기를 구축하였다. 사용된 인공신경

회로망은 다층 역전과 신경망으로서 학습 방법은 과적합 문제를 피하기 위하여 가중치 감쇠법을 적용한 Levenberg-Marquardt 알고리즘을 사용하였다. 신경회로망의 구조는 하나의 은닉층을 갖도록 하였고, 은닉 노드의 수는 10회 교차검증법에 따라 은닉층의 수를 한 개부터 1개씩 증가시켜가면서 검증 데이터의 정확도를 검토하여 정확도가 최대가 되는 구조를 최적 구조로 결정하였다. 이 과정에서 가중치의 초기값에 대한 영향을 최소화하기 위하여 동일 데이터 쌍에 대하여 10회씩 반복하여 검토하였다. 이 연구에서 사용한 데이터베이스에 대한 강도 예측 모델인 인공신경회로망은 검증 데이터에 대한 정확도가 최소가 되는 5-4-4 구조가 최적 구조로 결정되었으며, 이 때 예측 성능을 나타내는 정확도는 95.3%로 나타났다.

3. 결과 및 분석

그림 2와 3은 개선된 알고리즘의 검출 성능에 대한 실험 결과를 나타내고 있다. 그림 2의 A, B, C, D는 전형적인 유형 3에 속하는 섬유들로서 결과를 보면 개선된 알고리즘을 통하여 섬유가 모두 개별적으로 검출된 것을 확인할 수 있다. E, F, G는 전형적인 유형 4에 속하는 섬유들로서 사전 과정으로 형태학적 재구성을 추가함으로써 분수령 알고리즘에 의해 발생할 수 있는 물체가 과도하게 분리되는 과도 분리 문제가 해결되고 섬유들을 정확하게 분류하고 있음을 확인할 수 있다.

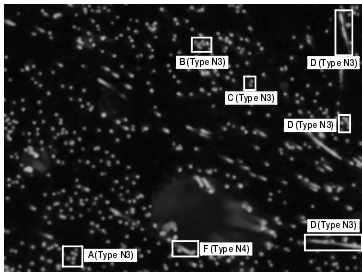


그림 2 시험 이미지

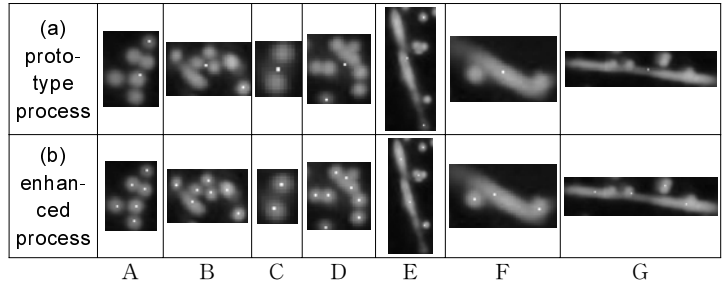


그림 3 시험 결과(흰색점은 검출된 섬유 이미지의 무게 중심을 나타냄)

4. 결론

이 연구에서는 이방연 등[1]이 개발한 기법을 바탕으로 기법을 바탕으로 섬유의 유형을 보다 합리적으로 분류하고 분류된 섬유 이미지의 특성에 따라 분수령 알고리즘과 형태학적 재구성을 이용하여 보다 정확히 섬유를 검출할 수 있는 기법을 제시하였다. 또한 인공신경회로망을 분류기로 구축하여 섬유 이미지들을 자동으로 분류할 수 있도록 하였다. 검증 결과 제안한 알고리즘을 적용하여 섬유 검출 성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

이 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2004년도 건설핵심기술연구개발사업(과제번호: 04핵심기술C02)의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 이방연, 김윤용, 김정수, 김진근, “개선된 알고리즘에 의한 ECC 섬유 분산성 평가”, 2007 대한토목학회 정기학술대회, pp. 3084-3087, (2007)
2. 김윤용, 이방연, 김정수, 김진근, 오주원, “섬유복합재료의 섬유분산성 평가 기법 개발”, 한국콘크리트학회 2007 봄 학술발표회, pp. 783-786, (2007)
3. N. A. Otsu, “Threshold Selection Method from Gray Level Histogram”, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-9, No. 1, pp. 62-66, (1979)
4. S. Beucher and C. Lantuejoul, “Use of watershed in contour detection,” in International Workshop on Image Processing: Real-time edge and motion detection /estimation. Rennes, France, pp. 17-21, (1979)