

무인항공기를 이용한 콘크리트 균열 탐지 기술

UAV-powered Concrete Crack Detection Technology



김 현 준¹⁾

Kim, Hyun Jun



심 성 한^{2)*}

Sim, Sung Han



조 수 진³⁾

Cho, Soo Jin

1. 머리말

대부분의 사회기반시설을 구성하는 콘크리트 구조물은 기본 건설재료인 콘크리트의 수축과 크리프 현상, 철근의 부식, 그리고 지진, 태풍, 홍수와 같은 외적인 하중에 의하여 구조물 표면에 균열이 만들어 진다. 생성된 콘크리트 균열은 구조물의 손상 및 붕괴를 유발하여 결과적으로 심각한 인명피해와 사회적 문제를 초래할 수 있기에, 구조물의 균열 상태를 주기적으로 파악하고 그에 대한 신속한 초기 대응을 하는 것은 콘크리트 구조물의 장기적인 안전성 유지 측면에서 매우 중요하다.

현재 콘크리트 표면의 균열 탐지 방법으로는 외관검사법이 주로 사용되고 있다. 외관검사는 전문가가 직접 현장에서 콘크리트 표면을 육안으로 검사하는 방법으로, 전문가들의 숙련도와 경험에 따른 차이는 있어도 상당히 정확한 반면 작업 시간과 비용이 매우 높고 위험한 위치에서는 검사가 불가능하거나 위험하다는 한계점들을 가지고 있다.

이를 보완하기 위해서 구조물의 고유 진동수, 스마트 물질, 그리고 디지털 영상 처리 기술 등을 활용하여 콘크리트 표면의 균열을 탐지하는 새로운 방법들이 개발되고 있다. 그 중 디지털 영상 처리 기술은 디지털 영상 장치인 카

메라나 캠코더를 이용하여 콘크리트 구조물 표면의 균열사진을 찍은 후, 컴퓨터 상에서 디지털 영상 처리 기법을 사용하여 콘크리트 균열 정보를 계산하는 방법으로 정확도가 높고 편리하여 많이 연구되고 있다. 하지만 넓은 범위의 콘크리트 표면을 짧은 시간에 탐지하거나, 작업하기 힘든 위치의 콘크리트 표면을 검사하는 경우에 이러한 방법들은 적합하지 않다.

한편 현재 무인항공기(Unmanned Aerial Vehicle, UAV) 시장의 발달로 저비용, 고성능의 비행체가 개발되어 다양한 분야로 확대 적용되고 있는 추세이다. 무인항공기 기술은 콘크리트 균열 탐지 분야에서 컴퓨터 영상처리 기법의 적용성을 크게 향상시킬 수 있다. 무인항공기 시장을 이끌고 있는 대표적인 것은 쿼드콥터 (quadcopter) 등의 multirotor helicopter이며, 통상 3~6개의 회전날개로 이루어진다. 마주 보는 회전날개는 서로 같은 방향으로 회전하고, 인접한 회전날개는 서로 반대 방향으로 회전하게 하여, 물체의 중심 부분은 회전하지 않도록 한다. 회전하지 않는 중심부분에 센서, 카메라를 부착하여 데이터 계측, 영상 촬영에 활용하는 등 다양한 분야에서 활용 중이다.

본고에서는 무인항공기를 이용한 콘크리트 균열 탐지 기술에 대하여 간략하게 기술하고자 한다. UAV에 카메라와 소형 컴퓨터를 부착하여, 높은 곳이나 위험한 위치의 콘크리트 균열 사진을 무선송수신 시스템을 사용하여 컴퓨터로 전달한다. 그 후 전달된 사진을 디지털 영상 처리 기법을

1) 울산과학기술대학교 도시환경공학부 대학원생
 2) 울산과학기술대학교 도시환경공학부 조교수
 3) 울산과학기술대학교 도시환경공학부 연구조교수
 * E-mail : ssim@unist.ac.kr



Fig. 1 카메라를 장착한 무인항공기

통하여 자동적으로 균열정보를 계산하여 사용자가 인지하기 쉽게 제공한다. 이를 통해 비용 및 작업시간에서 효과적이며 안전하고 정확한 균열크기의 측정결과를 제공할 수 있다.

2. 무인항공기를 이용한 균열 탐지 기술

2.1 하드웨어

본고에서 기술하고 있는 무인항공기를 이용한 콘크리트 표면 균열 탐지 기술에서, UAV에는 카메라와 소형 컴퓨터 시스템중의 하나인 라즈베리 파이(Raspberry-Pi)가 장착된다. 라즈베리 파이는 저렴한 가격의 싱글 보드 컴퓨터로써, 카메라를 통해 찍힌 콘크리트 균열 사진을 무선으로 다른 컴퓨터에 전송하는 역할을 수행한다. 즉, 쿼드콥터가 작업공간에서 비행하며 촬영한 콘크리트 균열 사진을 무선 송수신 시스템을 사용하여 사용자가 원할 때 컴퓨터로 전송이 가능한 것이다.



Fig. 2 무인항공기와 라즈베리 파이 시스템 개료

이러한 하드웨어 시스템은 사람이 작업하기 힘든 위험한 위치의 콘크리트 표면에서 사진 촬영이 가능하게하고, 또한 광범위한 콘크리트 표면도 UAV를 사용하여 단시간에 촬영이 가능하게 한다.

2.2 소프트웨어

UAV에서 전송된 콘크리트 균열 사진은 컴퓨터상의 디지털 영상 처리 기술을 통해서 균열 정보를 자동적으로 계산하게 된다. 디지털 영상 처리 기술은 먼저 원본 사진을 흑백 사진으로 바꾸면서 시작하게 된다(Fig. 3(a) 참조). 다음으로는 미디안 필터(Median Filter)를 사용하여 흑백 사진안의 노이즈들을 제거한다(Fig. 3(b) 참조). 미디안 필터의 효과는 작업을 수행하는 윈도우의 사이즈에 따라서 결정되는데, 사진의 해상도를 고려하여 적절한 크기의 윈도우를 결정하는 것이 중요하다. 다음으로 최초의 사진에서 미디안 필터를 통해서 걸러진 사진을 뺄으로써, 배경 정보를 제거하는 작업을 수행한 뒤(Fig. 3(c) 참조), 컴퓨터상의 여러 가지 기하학적 기술(Morphological Operation)들을 사용하기 위해서 이원화(Binarization) 처리를 수행하게 된다(Fig. 3(d) 참조). 이를 통해 얻어지는 화상은 이원 화상이라고 부르며, 0, 1을 각각 흑백에 대응시켜 취급한다. 결과적으로 이원화 과정은 사진 안에서 콘크리트 균열 정보만을 빼내기 위한 수단으로 사용되는데, 이원화 방법으로는 Otsu, Niblack, Sauvola 등이 제안한 여러 가지 방법들이 존재한다. 앞서 말한 디지털 영상 처리 과정을 통해, UAV로 부터 전송된 콘크리트 균열 사진의 노이즈를 제거하고 균열 부분만 이원화 하여 걸러냄으로써 컴퓨터상에서 균열 정보를 계산할 수 있다.

이원화된 사진안의 콘크리트 균열은 사진 상에서의 균열 두께를 계산하기 위해서 skeleton 과 edge 부분으로 분리되는 작업을 수행하게 된다. 그 후에는 skeleton 상의 각각의 픽셀에서 이웃한 주변 픽셀의 방향성을 고려하여 선을 긋고, 그 선을 중심으로 하여 edge 픽셀에서 가장 가까운 두 점을 찾은 후, 이 두 픽셀 사이의 거리를 계산하게 된다(Fig. 4 참조). 계산된 값은 픽셀 상에서 구한 콘크리트 균열 두께이다.

앞서 구해진 픽셀상에서의 콘크리트 균열 두께는 다음의 식을 통해서 실제 균열 두께로 전환된다.

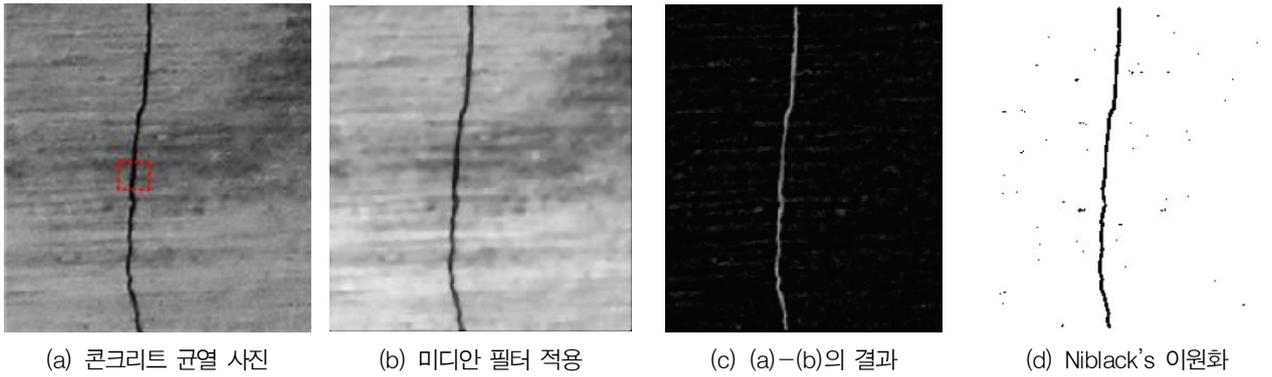


Fig. 3 콘크리트 균열 영상 처리 과정

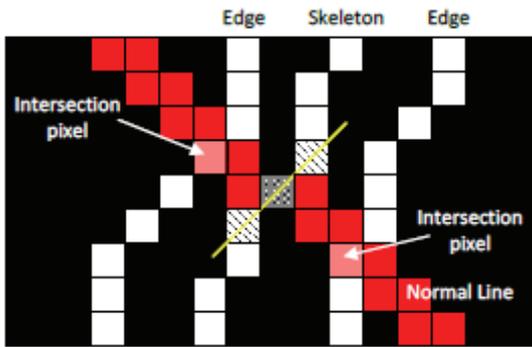


Fig. 4 픽셀상에서의 균열 정보 해석



Fig. 6 콘크리트 균열 사진

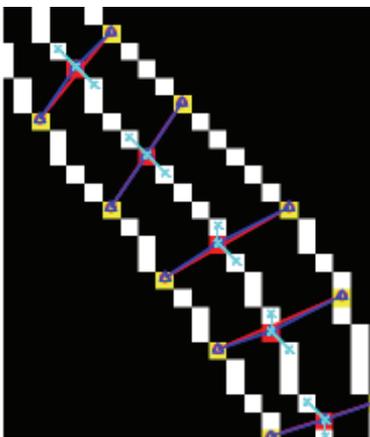


Fig. 5 픽셀상에서의 균열 두께 측정

$$W_r = \frac{D_w}{10P_c L_f} W_p \quad (1)$$

W_r 은 실제 콘크리트 균열의 두께이며, D_w 는 카메라 센서로부터 콘크리트 표면까지의 거리를 나타낸다. P_c 는 사용된 카메라의 ppcm(pixel per centimeter)을 의미하



Fig. 7 이미지 영상 처리 기법을 통한 실제 균열 추정

고, L_f 는 카메라 초점거리, W_p 는 픽셀상에서의 균열 두께를 나타낸다. 이 식을 이용하여 앞서 구한 픽셀상의 콘크리트 균열 두께를 실제 균열 두께로 전환할 수 있다. 그리고 전환된 실제 콘크리트 균열 두께는 다음 그림과 같이 사용자가 콘크리트 균열 정보를 인지하기 쉽도록 제공된다.

3. 맺음말

무인항공기를 이용한 콘크리트 균열 탐지 기술은 기존 외관감사에 비해서 광범위한 콘크리트 표면을 짧은 시간에 검사할 수 있고, 무인항공기의 사용으로 사람이 작업하기 힘든 위험한 위치의 콘크리트 표면도 손쉽게 검사가 가능

하다는 큰 장점을 가지고 있다. 또한 최근 무인항공기 기술의 발전으로, 전체적인 활용비용도 낮아지고 있는 추세로서, 이후 콘크리트 구조물의 균열의 정보를 얻고 구조물의 장기적 안전성을 확보하는데 널리 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 다만, 구조물이 외부에 지속적으로 노출되어 있기 때문에, 영상 촬영에 있어서 방해가 되는 여러 요소가 존재한다. 구조물 주변의 환경과 구조물 자체의 영상 정보를 구분하는 것부터 시작하여, 구조물에 붙어있는 먼지나 거미줄, 그림자, 빗물 자국 등 균열과 비슷한 특성을 갖는 환경요인을 균열과 효율적으로 구분하기 위한 알고리즘의 개선도 필요하다. 또한 균열 정보를 정확하게 얻기 위하여 움직이고 있는 무인항공기로부터 흔들리지 않는 이미지를 얻기 위한 경험적 기술 역시 본 기술의 실용화에 있어서 꼭 필요하다. 현재 많은 연구자들이 이러한 문제점들에 대한 해결책을 찾기 위해 활발한 연구를 수행하고 있으며, 그에 따라 조만간 본 기술이 교량, 빌딩, 원자력발전소, 댐 등의 대형 사회기반시설물의 유지관리에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

1. Fujita, Y., and Hamamoto, Y. (2011), A robust automatic crack detection method from noisy concrete surfaces, *Mach. Vision Appl*, 22(2), 245-254.
2. Huang, T. S. (1981), Two-dimensional Digital Signal Processing II: Transforms and Median Filters, *Springer-Verlag New York, Inc. New-York, USA*.
3. Kim, W. J., Lee, J. M., Kim, J. S., and Lee, C. J. (2012), Measuring high speed crack propagation in concrete fracture test using mechanoluminescent material, *Smart Struct, Syst*, 10(6), 547-555.
4. Lam, L., Lee, S. W., and Suen, C. Y. (1992), Thinning methodologies - a comprehensive survey, *IEEE T, Pattern Anal*, 14(9), 869-885.
5. Lee, B. Y., Kim, Y. Y., Yi, S. T., and Kim, J. K. (2013), Automated image processing technique for detecting and analysing concrete surface cracks, *Struct. Infrastruct. E*, 9(6), 567-577.
6. Lu, Z. R., and Liu, J. K. (2012), Vibration analysis of a cracked beam with axial force and crack identification, *Smart Struct. Syst*, 9(4), 355-371.
7. Niblack, W. (1985), An introduction to digital image processing, *Standberg publishing company*.
8. Otsu, N. (1975), A threshold selection method from gray-level histograms, *Automatica*, 11(285-296), 23-27.
9. Peng, J. Y., and Hsu, C. N. (2009), Adaptive local thresholding for fluorescence cell micrographs, *Inst. of Info.*
1. Fujita, Y., and Hamamoto, Y. (2011), A robust automatic crack detection method from noisy concrete surfaces,

담당 편집위원: 신성우
(부경대학교 안전공학과 부교수)
shinsw@pknu.ac.kr