

드론 및 열화상을 활용한 구조물 재난 안전 평가 SMART SKY EYE 시스템

SMART SKY EYE System for Structural Safety Assessment Using Drones and Thermal Images



배 재훈*
Bae, Jaehoon



이 중훈**
Lee, Jonghoon



장 아름**
Jang, Arum



주 영규***
Ju, Young-Kyu

1. SMART SKY EYE 소개

4차 산업혁명으로 인하여 여러 분야에서 IT 기술과의 연계를 통해 기존 기술의 효율성을 높이는 다양한 시도가 이루어지고 있다. 이를 통하여 새로운 기술의 진보를 불러오고 불필요한 시간 및 비용 절감, 작업 효율성 증가에 대한 기대감을 높이고 있다. 건설 산업에서도 UAV (Unmanned Aerial Vehicle), AI (Artificial Intelligence) 및 클라우드 컴퓨팅과 같은 관련 첨단 기술의 활용은 새로운 도전이 되고 있다. 2016년 Teal Group과 Euroconsult

가 수행한 연구에 따르면 인프라 및 건물의 안전 진단 분야는 향후 수십 년 간 상용화가 가장 활발하게 진행될 것으로 예상되고 있다. 현재 건물의 손상 탐지는 인력과 특정 장비에 의존하고 있다. 건물의 전 생애 주기(LCC) 동안 노후화된 건물의 주기적인 안전 점검이 요구되고 있으나 인력난으로 어려움을 겪고 있는 건설 산업에 더욱 부담을 가중시키고 있다. 일반적으로 검사관의 육안 검사로 수행되어 온 안전 점검과 외부 조사는 건물 전체의 손상을 확인하고 객관적인 시각 데이터를 얻는데 한계가 있다는 사실도 간과할 수 없다. 더욱이 과거에 비하여 건물이 점점 고층화 되고 대공간화 됨에 따라 전통적인 검사 방법으로는 검사관의 안전 문제와 예상치 않은 추가 시간 및 비용을 피할 수 없다. 본고에서는 구조물의 안전 진단에 활용될 무인 항공기 및 다양한 최첨단 기술을 활용한 스마트 스카이 아이(SMART SKY EYE) 안전 진단 예진 시스템과 관련 제반 기술에 대한 소개를 하고자 한다.

* 고려대학교 건축사회환경공학과 BK연구교수, 공학박사
School of Civil Environmental and Architectural Engineering, Korea University

** 고려대학교 건축사회환경공학과, 석사과정
School of Civil Environmental and Architectural Engineering, Korea University

*** 고려대학교 건축사회환경공학과 교수, 공학박사
School of Civil Environmental and Architectural Engineering, Korea University

2. SMART SKY EYE 제반 기술

예비 안전 평가 방법은 건물의 안전 검사 전에 UAV를 사용하여 탐지 효율을 높이기 위해 개발되었다. <Fig. 1>의 DJI Phantom3와 Intel Falcon 8+이 연구에 사용되었다.

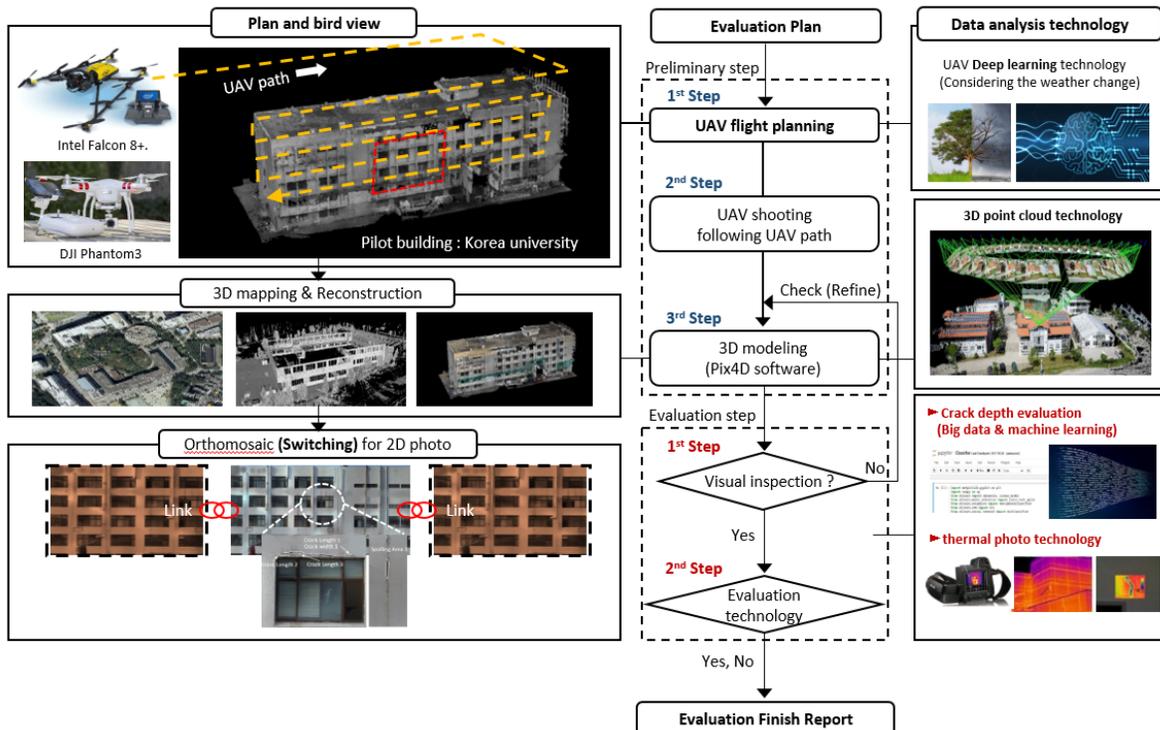


<Fig. 1> Intel Falcon 8+ (Left);
DJI Phantom3 Standard (Right)

<Fig. 2>는 UAV를 사용한 예비 안전 평가 방법의 개념도를 보여준다. 이 평가 방법은 예비 단계와 평가 단계의 두 단계로 나눌 수 있다. 예비 단계에서 첫 번째 단계는 비행의 정확성을 보장하고 목표물로부터 일정한 거리를 유지하는 단계로 장애물을

피하기 위해 UAV를 위한 드론 경로를 계획한다. 정확도는 Steffen & Förstner(2008)³⁾에 명시된 GPS (Global Positioning System) 및 관성 항법 시스템에 의존하게 된다. 이 단계에서는 항공 촬영의 효율성 향상을 위해 날씨와 건물 형상에 따라 적절한 비행 계획을 설정하여 신뢰할 수 있는 데이터를 얻는 것을 목표로 한다. UAV 경로를 설정한 뒤 다음 단계는 UAV 경로를 따라 비행을 촬영하는 것으로, 경로는 고도의 정확한 결과를 얻기 위해 전체 고도를 커버해야 한다. 세 번째 단계에서 3D 포인트 클라우드 기술을 사용하여 모델링을 진행하며 이때 Pix4D 상용 소프트웨어를 사용하였다.

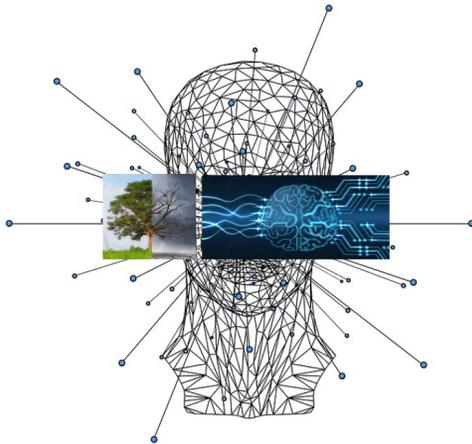
평가 단계는 사후 처리 절차로서 빅 데이터와 머신 러닝을 통해 수행되는 육안 검사, 열화상 카메라를 이용한 검사의 두 부분으로 구성된다. 균열 폭, 균열 깊이 등의 결함을 검출하기에 결과가 충분하지 않은 경우 모델링을 개선하기 위해 프로세스는 예비 단계의 3단계로 되돌아간다. 모든 평가 절차가 완료되면 최종 보고서가 작성된다.



<Fig. 2> Preliminary safety evaluation method using UAV (SMART SKY EYE) procedure

2.1 머신 러닝(Machine learning method) 기술

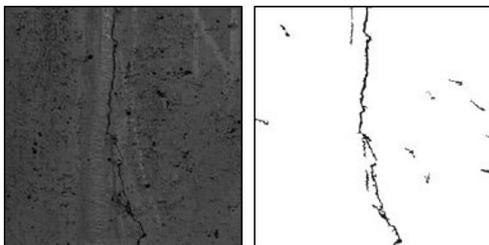
본 연구에서는 <Fig. 3>에 나타난 것과 같이 날씨 변화의 영향을 고려하기 위해 인공 지능(AI) 알고리즘이 적용되었다. 다양한 머신 러닝 알고리즘 중 의사 결정 트리를 사용하여 날씨에 변화에 상관 없는 신뢰성 있는 데이터를 얻고자 하였다.



<Fig. 3> Machine learning

2.2 이미지 프로세싱(CCD-based image processing method) 기술

본 연구에서는 CCD 픽셀 기반 사진 측량법을 사용하여 건물의 결함 길이와 면적을 측정하였다. 최근에는 이미지 처리를 사용하여 콘크리트 균열을 측정하기 위한 다양한 연구가 수행되었다. 야마구치 토모유키(2009)는 <Fig. 4>와 같이 밝기를 이진화하여 이미지 처리 방법을 적용하는 균열 감지 방법을 제안하였다.



<Fig. 4> Proposed crack detection by Yamaguchi (2009)

2.3 3D 포인트 클라우드 모델링 기술

UAV로 촬영한 사진은 건물의 일부만 보여준다. 포인트 클라우드 프로그램에서 처리될 때 이미지를 3D 건물로 병합할 수 있다. 포인트 클라우드 프로그램은 촬영 지점의 GPS 데이터를 가져오고 촬영 각도, UAV와 건물 사이의 거리 등과 같은 다양한 정보를 계산하게 된다<Fig. 5>. 이 과정을 통해 전체 건물의 사진을 얻을 수 있다.

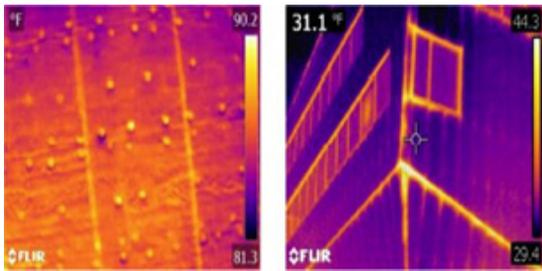


<Fig. 5> Example of 3D point cloud model

2.4 열화상 균열 탐지 기술

열화상 카메라는 물체의 특성을 이용하여 표면 온도를 계산하게 된다. 지금까지 열화상 그래프를 건물 검사에 적용하려는 다양한 노력이 시도되어 왔다. Aghaei et al.(2015)¹⁾은 태양광 발전기의 결함을 감지하는 데 사용되는 UAV 및 열화상 카메라 모듈을 연구하였으며, 발전기의 온도 이상을 점검하여 장비 고장 여부를 확인한 바 있다. Rakha & Gorodetsky(2018)²⁾는 항공 사진을 포인트 클라우드 모델로 결합하여 건물 검사를 수행하였다<Fig. 6>.





〈Fig. 6〉 Thermal camera T-420 and building inspection with thermography²⁾

일반적으로 벽의 외부 검사는 결함의 길이, 면적 및 너비를 측정한다. 그러나 균열 깊이는 구조적 요소를 약화시키며 외관을 손상시킬 수 있다.

본 연구에서는 균열 깊이를 측정하기 위해 열화상 기술을 적용하였다. 〈Fig. 6〉에서 볼 수 있듯이 손상되지 않은 콘크리트와 균열 부분 사이의 표면 또는 체적 열 용량과 같은 다른 조건은 온도 분포를 다르게 만든다. 이에 균열 깊이와 온도 사이의 상관 관계를 찾기 위해 실험을 수행하였다. 제안된 방법은 예비 안전성 평가에 중점을 두기 때문에 실험을 위해 13개의 대규모 크랙 시편을 준비하였다. 손상되지 않은 부분과 갈라진 부분에 대한 1,000개 이상의 열 데이터가 빅 데이터와 같은 변수로 기록되었다. 관련 변수는 실외 온도, 습도, 조도이다. Random Forest, Decision Tree, Adaboost, GaussianNB, Support Vector Machine의 5개 머신 러닝 알고리즘을 사용하여 관계를 설정하였다.

2.5 용접 결함 탐지 기술

용접 결함은 구조물의 안전성에 심각한 영향을 줄 수 있기 때문에 용접부는 철골 구조물의 안전에 있어서 중요한 부분이다. 콘크리트 균열과 마찬가지로 일반적인 용접과 용접 결함 간에는 용접에 차이가 있다. 이에 대한 비교를 위해 재현된 5가지 일반적인 용접 결함은 균열, 어안, 분화구, 오버랩, 언더컷으로 구분된다. 촬영 거리는 5m 미만으로 설정하고 콘크리트 균열 실험에서 수행한 것과 동일한 변수로 열화상 데이터를 기록하였다.

2.6 구조물 처짐 탐지 기술

3D 포인트 클라우드 모델을 적용하여 경사 및 수직 변위와 같은 건물의 변형에 대한 측정이 가능하다. 포인트 클라우드는 UAV 화상의 GPS 데이터로부터 생성되었고, 변환된 GPS 데이터와 함께 3D 좌표 공간으로 표현되었다. 이 지점을 통해 건물의 지면 기울기와 지붕 정점 변위를 측정할 수 있었다. 건물의 모서리는 벡터로 계산되었으며 경사는 측면과 지면 사이의 각도로 측정되었다. 건물 가장자리의 수직 및 수평 변위는 각 지면의 3D 좌표 위치 데이터와 비교하여 추정되었다.

3. 결론

본고는 4차 산업혁명에 대응하여 무인 항공기를 활용한 SMART SKY EYE 예비 진단 시스템과 이를 구성하는 여러 가지 제반 기술에 대해 소개하였다. SMART SKY EYE는 노후화된 건물이나 노출 콘크리트, 철골 구조물의 균열과 결함을 빠르게 찾아내는 기술로써 인력으로 접근이 어려운 구조물의 결함을 무인 항공기를 활용하여 빠르게 예진할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 고려대학교 하이브리드 구조 공학 연구실은 각종 산학 연계를 통해 관련 기술에 대한 세부 제반 기술을 발전시켜가는 중이다. 이러한 기술을 바탕으로 UAV 기반 포인트 클라우드 데이터 정확도를 향상시키고, 건축물 결함 정보 획득 기술을 보완한다면 3차원 건축 형상 정보 기술의 실용화까지도 발전될 수 있을 것으로 사료된다.

SMART SKY EYE 시스템의 첨단 기술을 활용한 구조물 안전 진단의 구체적인 연구 내용과 활용 사례에 대해서는 추후 국내의 논문을 통해서 소개를 이어갈 예정이다.

References

1. Aghaei, M., Grimaccia, F., Gonano, C. A., & Leva, S., “Innovative Automated Control System for PV Fields Inspection and Remote Control”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.62, No.11, pp.7287~7296, 2015
2. Rakha, T., & Gorodetsky, A., “Review of Unmanned Aerial System (UAS) applications in the built environment: Towards automated building inspection procedures using drones”, Automation in Construction, Vol.93, pp.252~264, 2018
3. Steffen, R., & Förstner, W. (2008). On visual real time mapping for unmanned aerial vehicles. Proceedings of the 21st Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), China, Vol. XXXVII, pp.57~62