

# 해상특수교량 안전점검 드론 및 AI 활용 기술

이성진 KICT 구조연구본부 박사후연구원

## 들어가며

해상특수교량은 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」의 1종 시설물로서 안전점검 및 유지관리를 위해서는 전문적인 경험과 기술이 필요하다. 해상특수교량은 해상이라는 환경적 제약뿐만 아니라 높은 주탑, 보호재로 덮인 케이블 등 특수한 구조로 육안점검이 어려운 점검사각지대가 존재하며, 특히 주탑 외부 균열, 케이블 외부 손상 등에 대해서는 정밀안전점검(정밀안전진단 포함) 시 점검이 안 되는 경우가 대부분이다. 해상특수교량은 천문학적인 비용으로 건설된 중요 SOC 시설로 역사적인 교량 붕괴사고의 경험에 비추어 볼 때, 사후 보수보강보다 예방적 유지관리가 반드시 필요한 시설이다. 따라서 해상특수교량의 환경적·구조적 제약을 극복하고 주탑 균열, 보강거더, 케이블 외부 손상 및 이상거동을 확인할 수 있는 기술 개발이 시급한 실정이다. 이를 위하여 해상특수교량의 손상 등을 직관적으로 확인할 수 있는 시스템이 필요하며, AI(인공지능) 등을 활용하여 전문가가 상주하지 않아도 손상을 자동으로 신속하게 분석할 수 있는 체계를 갖추는 것이 필요하다.

## 국내외 특수교 유지관리 현황

### 국내 특수교 현황

국내 특수교 건설은 1973년 남해대교(현수교) 준공과 함께 시작되었다. 국내 현수교 건설은 2000년대 들어와서 본격화되었으며, 2012년에 준공된 이순신대교가 2019년 기준 국내 최대 경간장(1,545m)을 가지는 현수교이다. 국내 사장교 건설은 1984년 진도대교와 돌산대교의 준공과 함께 시작되었으며, 이후 올림픽대교(1990년), 행주대교(1995년) 등 90년대 몇몇 사장교가 준공되었다.

### 국내 특수교 유지관리 현황

국내 특수교량 시장은 2015년 이후 점차 감소하고 있으나, 특수교량의 유지관리 시장은 꾸준히 증가하고 있다. 현재 국내에는 100개소 이상의 특수교(케이블교)가 공용 중에 있으며, 그 중 약 70개소에는 유지관리를 계측시스템, 즉 모니터링 시스템이 구축되어 있다. 일반국도 상에 건설된 30개소(20년 기준) 특수교에 대해서는 국토안전관리원과 한국건설기술연구원에서 국토교통부의 위임을 받아 유지관리업무를 수행

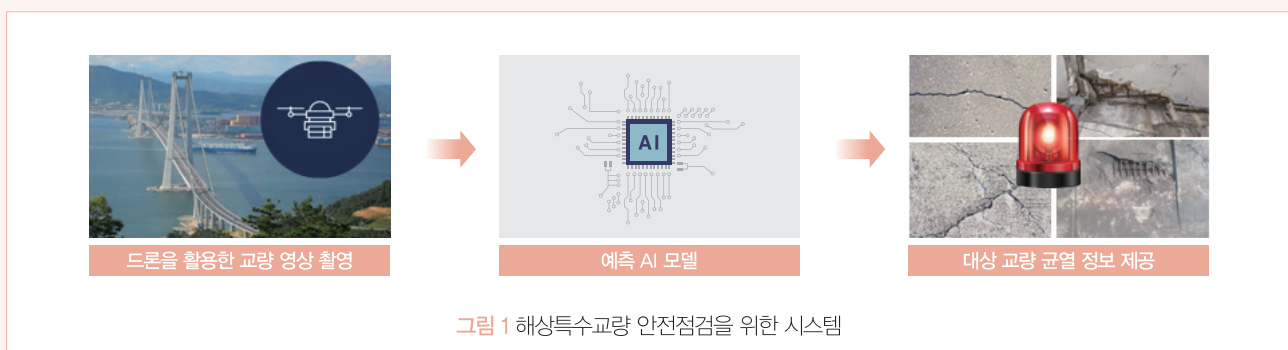


그림 1 해상특수교량 안전점검을 위한 시스템

하고 있으며, 국토안전관리원 내 특수교관리센터에서는 특수교에 개별적으로 구축된 통합계측관리시스템을 운영하고 있다. 일반국도 외 구간에 건설된 특수교의 경우 지방자치단체, 한국도로공사, 민간도로사업자 및 전문유지관리업체에서 유지관리 업무를 수행하고 있다.

**국외 특수교 유지관리 현황**

미국·유럽·일본 등과 같은 선진국에서는 특수교 유지관리 업무를 정부 산하기관 혹은 유지관리를 위해 설립된 전문기관이 직접 수행하고 있다. 선진국을 중심으로 특수교 유지관리 주체들의 기술교류모임인 세계케이블교량운영자협회가 운영되고 있으며, 한국건설기술연구원도 회원으로 참여하고 있다. 교량 계측·모니터링 기술은 1970년대부터 유럽과 북미의 선진국을 중심으로 자국에 건설된 특수교량에 활발히 적용함으로써 발전해 왔으며, 최근에는 무선계측, 광섬유, AE 및 PZT 등의 최신 계측기술의 접목을 시도하고 있다.

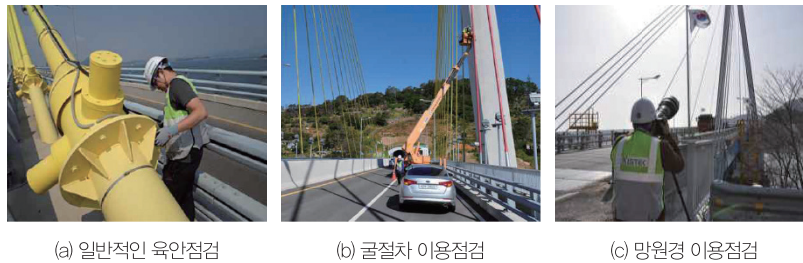
**특수교 일상점검 기술 동향**

모든 점검의 가장 기본적인 방법은 육안에 의해 직접적으로 품질상태와 손상여부를 확인하는 방법이다(그림 2(a)). 기본적으로 근접육안 조사를 원칙으로 하며, 최근에는 보조수단인 망원경, 내시경 등의 장비를 동원하기도 한다(그림 2(c)). 육안 점검은 모든 점검방식 중 가장 광범위하게 사용되는 방식으로 손상에 대한 상세점검 이전에 초기점검 방식으로 수행된다. 이러한 육안점검은 주기적인 점검을 통하여 조사를 수행하여야 하며, 구조물의 상태변화와 관련된 상태평가에 큰 비중을 차지한다.

**드론과 시를 활용한 점검 기술**

**해상특수교량 안전관리 체계**

해상특수교량에 대한 안전관리 체계를 그림 3과 같이 정립하였다. 드론으로 촬영한 이미지는 영상제작, 손상평가, 데이터 관리에 사용된다. 드론 촬영 이미지를 이용하여 정사영상과



(a) 일반적인 육안점검 (b) 굴절차 이용점검 (c) 망원경 이용점검

그림 2 육안점검 방법

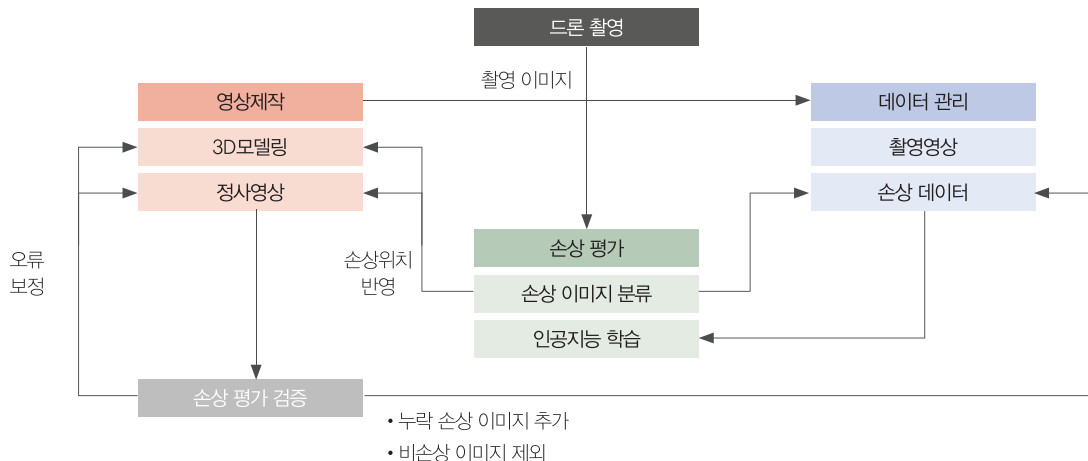


그림 3 해상특수교량 안전관리 체계

3D 모델을 제작하며, 인공지능(AI) 모델에 입력하여 손상된 부분을 가시화하고 정사영상과 3D 모델링에 손상 위치를 반영하여 갱신하는 데 사용한다. 사용자는 대상교량에 대한 3D 모델과 정사영상을 통해 손상위치를 판별할 수 있으며, 인공지능 모델이 판별한 결과를 사용자가 검토하여 손상여부를 최종 판단한다.

**대상교량 드론 촬영**

그림 4와 같이 해상특수교량 점검사각지대(주탑부)에 대한 드론 촬영을 진행하였다. 드론을 주탑에서 일정 거리를 유지하고 주탑부 각 면 방향을 따라 오르내리며 반복 촬영하여 다양한 각도의 이미지를 획득하였다.

**손상탐지를 위한 SI 활용 기술**

해상특수교량 주탑 균열을 탐지하기 위하여 의료분야 x-ray CT 영상의 정밀분석에 사용되는 encoder-decoder 구조의 의미론적 분할(semantic segmentation) 모델인 UNet을 사용하였다(그림 5).

손상탐지 알고리즘의 딥러닝을 위하여 그림 6과 같은 데이터 세트를 이용하였다. 다양한 형태의 균열(9,600여 장)과 비균열(1,400여 장)을 이용하였으며, 균열 픽셀과 비균열 픽셀을 gray scale에서 255와 0으로 레이블링 된 이미지를 이용하였다. 심층 신경망 학습을 위하여 전체 이미지 중 80%인 약 9천 장의 이미지를 사용하였으며, 테스트와 검증을 위해 각각 전체 데이터의 10%인 약 1천 장의 이미지를 사용하였다.



그림 4 드론 촬영 이미지 예시

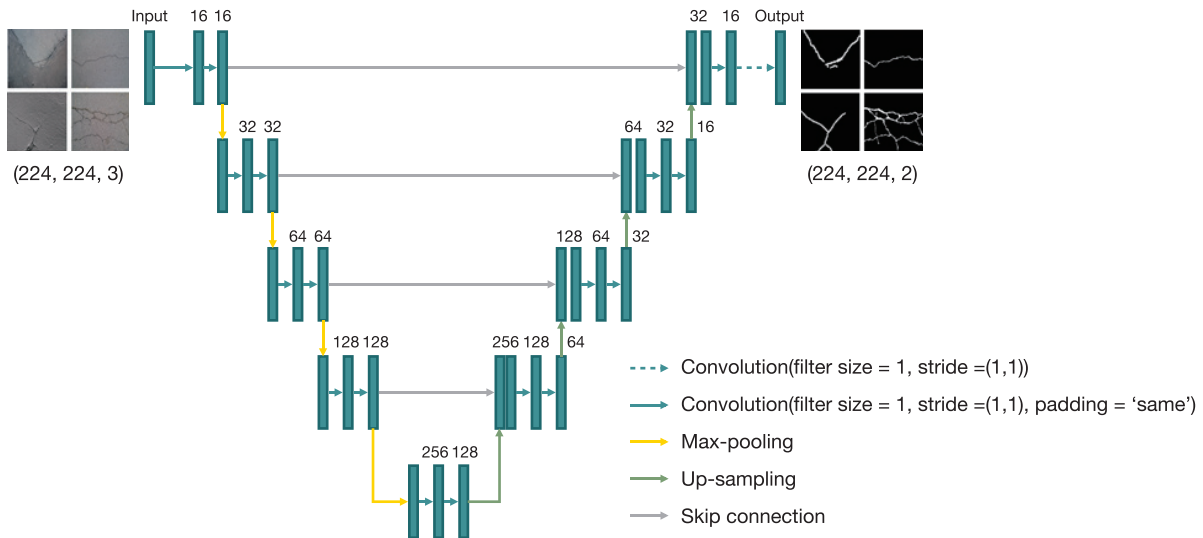


그림 5 손상탐지를 위한 SI 알고리즘 구조

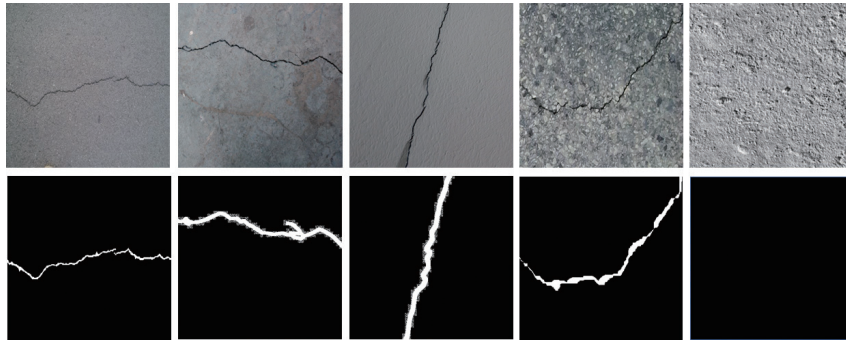


그림 6 데이터 세트 예시

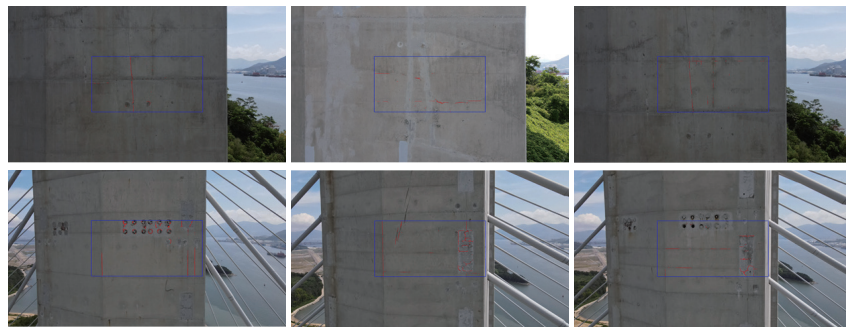


그림 7 UNet 기반 해상특수교량 주탑부 균열 탐지 결과 예시

### 손상 탐지 결과

UNet 기반 균열 탐지 모델을 이용하여 해상특수교량 주탑부 촬영 이미지를 입력하여 손상을 탐지한 결과를 그림 7에 나타내었다. 촬영한 이미지의 해상도를 재설정하지 않고 원본 해상도를 이용하여 결과를 도출하였다. 이미지 중앙부에 있는 1600×800 픽셀 해상도의 관심영역을 제한하여 손상부위를 탐지하였다. 실제 드론 촬영으로 획득한 이미지에서 발생한 균열은 미세하고 조도변화가 심하여 육안으로 탐지하기 어려웠지만, 인공지능 모델을 사용하여 미세한 균열이 탐지되는 것을 확인하였다. 향후 지속적으로 학습 데이터 세트를 증가시켜 인공지능 모델의 고도화를 진행할 예정이다.

### 맺음말

본 연구는 해상특수교량 점검사각지대에 대해 드론을 이용하여 안전점검을 위한 빅데이터를 구축하고, 이를 활용한 인공

지능 모델을 이용하여 객관적이고 효율적인 안전점검 평가를 위해 수행되었다. 국내 운용 중인 유지관리 시스템은 관리주체별로 다양한 형태의 시스템을 적용하고 있어 관리기준 등의 신뢰성 검증이 어려운 상황이므로 향후 표준화된 시스템 구축으로 비용 절감 및 관리기준의 신뢰성 증가를 기대할 수 있다. 본 연구를 통해 개발된 점검기술을 바탕으로 사전에 능동적인 시설물 관리가 가능한 스마트 플랫폼으로 활용이 가능할 것으로 판단된다. **K**

### 참고자료

- 한국건설기술연구원(2021) 주요사업 '드론 및 시를 활용한 해상특수교량 점검 사각지대 해소 기술' 연차보고서