

드론 활용 교량 안전점검을 위한 표준절차 정립

이석배* · 이기홍** · 최현민*** · 임치성****

Lee, Suk Bae*, Lee, Kihong**, Choi, Hyun Min***, Lim, Chi Sung****

Establishment of a Standard Procedure for Safety Inspections of Bridges Using Drones

ABSTRACT

In Korea, the number of national facilities for which a safety inspection is mandatory is increasing, and a safer safety inspection method is needed. This study aimed to increase the efficiency of the bridge safety inspection by enabling rapid exterior inspection while securing the safety of inspectors by using drones to perform the safety inspections of bridges, which had mainly relied on visual inspections. For the research, the Youngjong Grand Bridge in Incheon was selected as a test bed and was divided into four parts: the warren truss, suspension bridge main cable, main tower, and pier. It was possible to establish a five-step standard procedure for drone safety inspections. The step-by-step contents of the standard procedure obtained as a result of this research are: Step 1, facility information collection and analysis, Step 2, analysis of vulnerable parts and drone flight planning, Step 3, drone photography and data processing, Step 4, condition evaluation by external inspection, Step 5, building of external inspection diagram and database. Therefore, if the safety inspections of civil engineering facilities including bridges are performed according to this standard procedure, it is expected that these inspection can be carried out more systematically and efficiently.

Key words : Drone, Bridges, Safety inspection, Standard procedure, Youngjong grand bridge

초 록

우리나라는 안전점검을 의무적으로 시행하여야 하는 국가시설물이 증가하고 있으며, 또한 보다 안전한 안전점검 방법이 필요한 시점이다. 본 연구는 주로 육안조사에 의존하던 교량의 안전점검을 드론을 활용하여 수행함으로써 점검자의 안전을 확보하고 신속한 외관조사가 가능하게 함으로써 교량 안전점검 외관조사의 효율성을 높이고자 하였다. 연구를 위하여 인천의 영종대교를 테스트베드로 선정하고 와렌 트러스 부분, 현수교 메인 케이블, 주탑, 교각의 네 부분으로 나누어 드론 촬영을 실시하고 성과물을 제작하였으며 그 과정에서의 작업 내용들을 정리하고 분석하여 교량시설물에 대한 드론 안전점검시 다섯 단계의 표준절차를 정립할 수 있었다. 연구결과로 얻어진 표준절차의 단계별 내용은 1단계, 시설물 정보수집 및 분석, 2단계, 취약부 분석 및 비행계획, 3단계, 드론 촬영 및 데이터 처리, 4단계, 외관조사 상태평가, 5단계, 외관조사망도 및 DB 구축이다. 따라서 이 표준절차에 따라 교량을 포함한 토목시설물의 안전점검이 수행된다면 보다 체계적이고 효율적으로 안전점검을 수행해 나갈 수 있을 것으로 기대된다.

검색어 : 드론, 교량, 안전 점검, 표준 절차, 영종대교

* 중신회원 · 교신저자 · 경상국립대학교 건설환경공과대학 건설시스템공학과 교수
(Corresponding Author · Gyeongsang National University · sukbaelee@gnu.ac.kr)

** 중신회원 · 브리콘랩 책임연구원 (Bricon Lab · lime9292@gmail.com)

*** (주)니어스랩 연구원 (Nearthlab · hyunmin.choi@nearthlab.com)

**** 국토안전관리원 안전성능연구소 기술개발실 과장 (Korea Authority of Land & Infrastructure Safety, Research Institute for Infrastructure Performance · ychs4618@kalis.or.kr)

Received November 8, 2021/ revised December 8, 2021/ accepted December 22, 2021

1. 서론

「시설물의 안전 및 유지관리에 의한 특별법」(법률 제17551호)에서는 시설물을 안전하게 유지관리 하기 위한 안전점검 절차와 그 대상물을 정의하고 있다(MOLIT, 2021). 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」은 기존의 「재난 및 안전관리 기본법」과 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」으로 이원화 되어 있던 시설물 안전관리를 2018년 1월에 일원화시킨 법률로서, 이 과정에서 시설물의 규모와 중요도 등으로 구분하였던 제1종, 제2종 시설물 이외에 소규모 시설물 안전관리를 위하여 제3종 시설물을 신설하였다. 따라서 기존 제1종 및 제2종 시설물의 증가와 더불어 제3종 시설물의 신규 추가에 따라 의무관리대상 시설물이 증가하게 되었는데, 2016년에 의무관리대상 시설물이 1,758개였던 것이 2020년 1월에는 7,186개로 약 4.1배 증가하게 되었다. 따라서 시설물 안전점검 관련 부처에서는 안전점검 예산의 증가가 시설물 수의 증가를 따라가지 못하므로 시설물 안전점검에 대한 효율성을 높여 예산을 절감해야 하는 상황에 이르게 되었다. 또한 교량같은 경우 현장에서 시설물 안전점검을 수행할 때 굴절사다리차 등을 활용하기 때문에 예산과 시간이 많이 들고, 로프 등을 활용하는 경우도 있어 점검자의 안전에 문제가 있으며, 외관조사 상태평가가 점검자의 주관에 의존하기 때문에 객관적인 데이터를 확보하기가 쉽지 않은 문제점을 내포하고 있었다.

국도교통부의 제1차 국도교통과학기술 연구개발 종합계획은 2018년 6월에 열린 제2차 국가과학기술자문회의에서 확정된 바 있으며, 이 종합계획에는 국도교통부가 추진하는 8대 혁신성장동력

이 들어 있다(PACST, 2018). 드론은 이 8대 혁신성장동력중의 하나로 포인트 클라우드 데이터에 기반한 건설현장의 정사영상(orthoimage)이나 디지털 트윈(digital twin)을 효율성있게 제작함으로써 전통적인 건설기술을 스마트 건설기술로 연결해 주는 통로 역할을 하고 있다. 아울러 드론은 토목시설물에 대하여 영상을 취득하거나 3D 모델을 구축하는 경제적이고 효율적인 방법으로 알려져 있다(Lee et al., 2019).

따라서 본 연구는 시설물 안전점검 외관조사에 있어서 드론을 활용하여 시설물 안전점검의 안전성과 효율성을 높이기 위한 연구이며, 드론 활용 교량 안전점검을 위한 표준절차 정립을 그 목표로 하고 있다. 연구를 위하여 우리나라 최장의 특수교량인 영종대교를 대상으로 드론 촬영을 통하여 안전점검 외관조사를 수행하였으며, 그 결과를 분석하여 드론 활용 안전점검의 범위와 한계를 규명하였을 뿐만 아니라 표준절차와 방법을 정립하였다.

Fig. 1은 드론을 활용하여 교량 안전점검을 수행한 연구흐름도로 첫째, 교량 활용 드론 안전점검의 계획을 수립하였으며, 둘째, 테스트 베드를 선정하고, 셋째, 교량에 대한 정보를 수집하였다. 넷째, 현장조사를 실시하여, 다섯째, 드론 비행계획을 수립하였다. 여섯째, 드론 촬영을 통하여 시설물 영상을 획득하였으며, 일곱째, 영상 분석 및 검수를 실시하고, 여덟째, 시설물의 외관조사 상태평가를 수행하였다. 그리고 아홉째, 마지막으로 안전점검 보고서를 작성하였다.

2. 시설물 유지관리를 위한 드론의 활용

우리나라의 드론 관련 연구는 초창기에는 주로 지도 제작 가능성과 효율성을 분석하는 수준에 머물다가(Bang et al., 2017; Cho, 2014; Jung et al., 2010; Rhee and Kim, 2017) 국토지리정보원에서 무인비행장치를 활용하기 위한 공공측량 작업지침을 제시(NGII, 2018)한 이후 건설분야에의 활용 가능성이 모색되었다. Kim et al.(2018)은 UAV를 활용하여 도로 급사면의 단면추출에 대한 방안을 제시하였고, Lee et al.(2018)에 의하여 무인비행장치를 건설분야에 체계적으로 활용할 수 있도록 12개의 건설분야 표준공종을 제시하기도 하였다. 또 Lee et al.(2020a)은 건설현장에서 드론으로 취득된 포인트 클라우드데이터에 기반하여 정확한 DEM (Digital Elevation Model) 제작방법을 발표하였으며, Lee et al.(2020b)은 고속도로 건설현장에서 공정변화를 드론을 활용하여 모니터링하는 방법을, Han et al.(2021)은 도로 건설현장에서 일어나는 변화를 딥 러닝 기법(deep learning method)을 이용하여 자동으로 탐지해내는 기법을 발표하였다. 시설물 유지관리와 관련하여서는 Park et al.(2019)은 구조물 안전진단에 드론을 활용하기 위한 방안을 제시하기도 하였으며, KAIA(2019)는 건설기술연구

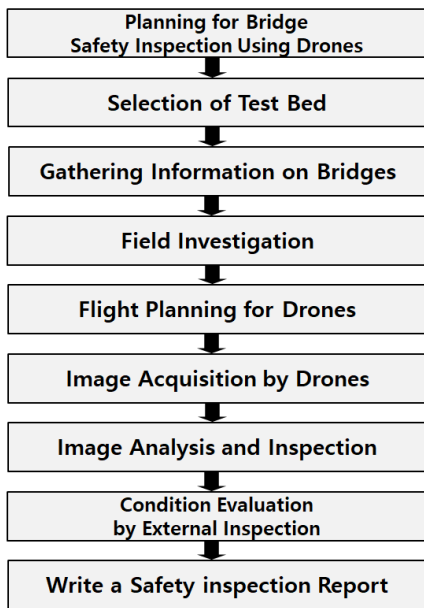


Fig. 1. Flowchart of This Study

사업을 통하여 무인검사장비 기반 교량구조물의 신속진단 및 평가 기술을 개발하기 위한 기초를 마련하기도 하였으나 아직까지 시설물 유지관리를 위하여 표준화된 드론 활용방법은 제시되지 못한 상태이다.

세계적으로 건설현장 관리와 시설물 유지관리를 위한 드론 활용 연구는 한발 더 진전되어 있는 상태이다. 특히 건설분야 활용 연구에 있어서는 건설현장에서 드론 지도제작을 통하여 토공량을 산출하는 연구들과(Chris et al., 2015; Siebert and Teizer, 2014; Wang et al., 2017; Julge et al., 2019) UAV 영상에 기반하여 사면 슬라이드를 모델링하거나 슬라이딩의 크기를 측정하는 연구들에 집중되어 있다(Lucieer et al., 2014; Niethammer et al., 2012; Yu et al., 2017). 시설물 유지관리 분야 연구에 있어서는 독일 Bauhaus대학교의 Morgenthal and Hallermann(2014)이 UAV를 이용한 대규모 교량의 시각적 점검 전략을 발표하였고, 미국 Oregon주의 교통부(Oregon Department of Transportation, 2018)에서는 UAV를 이용한 교량 검사 매뉴얼로서 Eyes in the Sky라는 연구보고서(STR787 Report)를 발간하였다. South Dakota University의 Seo et al.(2018)는 드론으로 가능한 교량검사의 방법과 응용이라는 연구논문을 발표하였으며, Chen et al.(2019)는 3D 모델을 구축하여 UAV로 교량을 검사하는 연구결과를 발표하였다. Fig. 2는 Seo et al.(2018)가 발표한 드론을 활용한 교량검사의 각 단계를 흐름도로 보여주고 있으며, 오른쪽 사진들은 Stage 1, Stage 2 그리고 Stage5에서의 결과 사진을 일부 보여주고 있다. Seo et al.(2018)의 연구에서 안전점검 대상으로 선정한 교량은 미국의 Keystone시 근처의 고속도로에 위치하고 있는 복합 콘크리트 데크

를 가진 길이 51.8 m의 거더교량으로서 DJI Phantom 4 드론으로 교량 점검을 수행하였다. 본 연구에서 제시하고 있는 드론 활용 교량 점검 절차는 Stage 1: 교량정보 분석, Stage 2: 구역별 위험성 평가, Stage 3: 드론 사전비행 셋업, Stage 4: 드론으로 가능한 교량 점검, Stage 5: 손상 분석의 절차를 권장하고 있다.

3. 드론 활용 교량 안전점검 테스트

3.1 드론 활용 안전점검 대상 교량의 선정

드론 활용 안전점검 대상교량으로 해상에 설치된 특수교량인 영종대교를 선정하였다. 영종대교는 트러스 블록으로 제작된 현수교로서 강제 주탑과 복잡한 케이블을 가진 특수 교량으로, 해상에 설치되어 바람의 영향을 크게 받고 있으며 교량의 길이가 길어 드론 촬영이 어려우므로 이러한 악조건들을 극복할 수 있는지도 판별하기 위하여 드론 활용 안전점검 대상 교량으로 선정하였다.

영종대교는 다이아몬드형의 주탑을 적용한 세계 최초의 3차원 현수교로 섬이었던 영종도와 인천 서구의 육지를 이어주고 있다. 1995년 12월에 착공되어 2000년 11월에 완공되었으며 주경간이 300 m, 총 길이가 4,420 m이며 교량너비 41 m로 상부교량은 6차선 도로로 하부교량은 2차선도로와 복선철도, 다시 2차선도로 이루어져 있다. 주탑은 107 m 높이의 강제 주탑이며, 주경간은 300 m로 자정식 현수교 중에서 세계 최장 경간을 자랑하고 있다. 현수교 부분은 복층 와렌 트러스(Warren Truss) 블록을 여러 개 제작해 해상 크레인으로 운반하여 조립하는 방법으로 시공되었고, 주탑 부분을 제외한 나머지 교각들은 지질 구조를 고려한 다양한

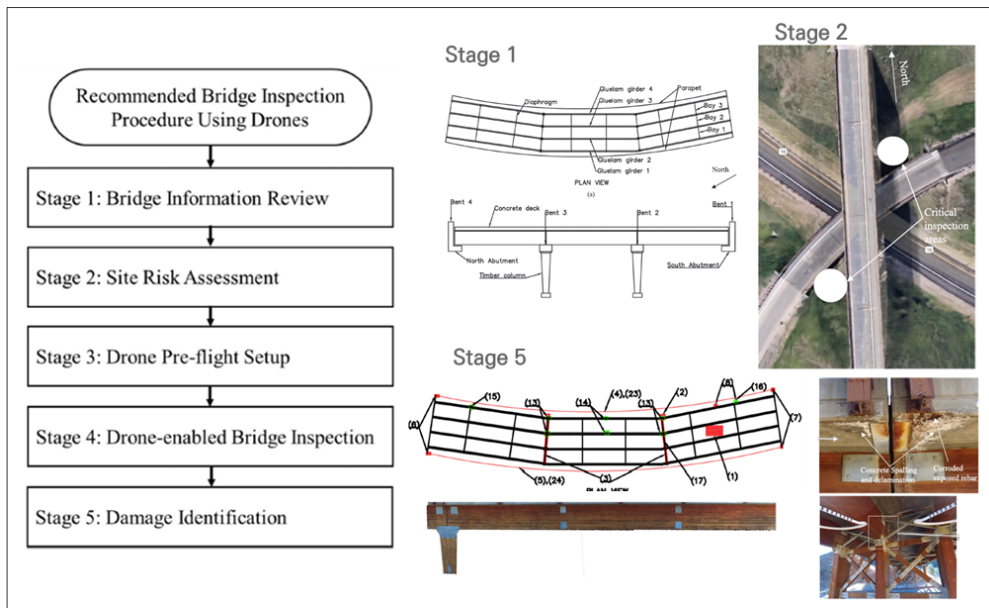


Fig. 2. Bridge Inspection Procedure and Pictures using Drones Presented by Seo et al.(2018)

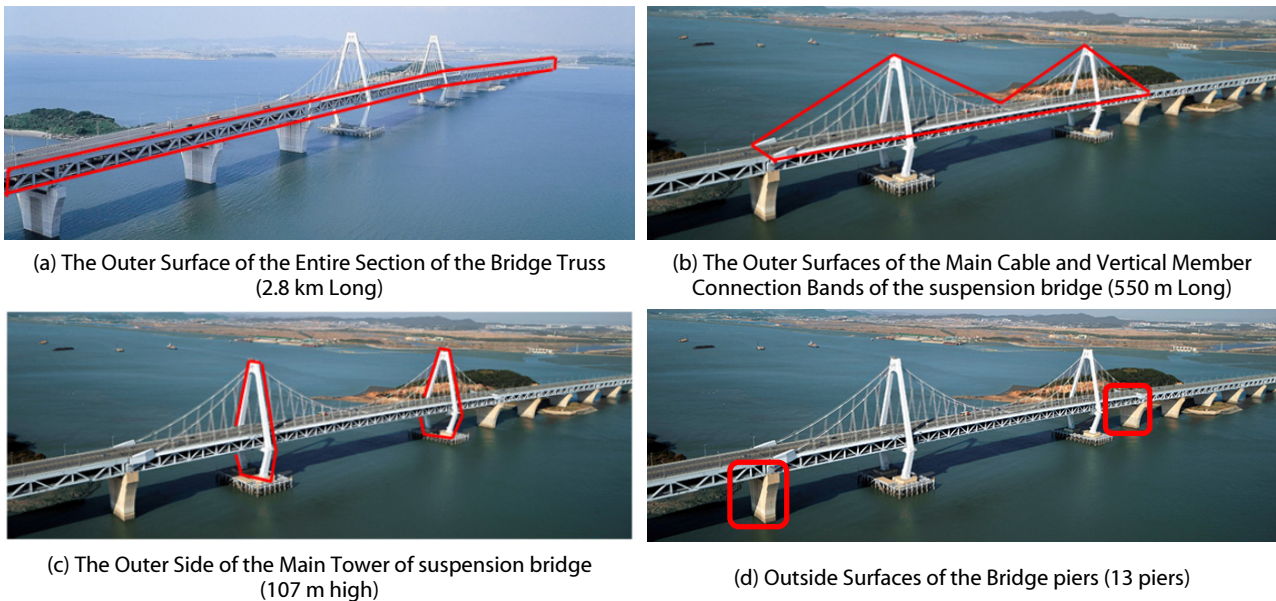


(a) Overall View

(b) Upper Road

(c) Lower Road

Fig. 3. Youngjong Grand Bridge



(a) The Outer Surface of the Entire Section of the Bridge Truss (2.8 km Long)

(b) The Outer Surfaces of the Main Cable and Vertical Member Connection Bands of the suspension bridge (550 m Long)

(c) The Outer Side of the Main Tower of suspension bridge (107 m high)

(d) Outside Surfaces of the Bridge piers (13 piers)

Fig. 4. Establishing a Flying Plan for Drones at Youngjong Grand Bridge

가물막이 공법이 적용되었다. 고속도로 130호선 인천국제공항고속도로의 일부분으로, 완공 후 도로로의 기능만을 수행하다가 2005년 6월 철도 설치가 완료되었고 2007년 3월 23일부터 공항철도가 함께 운행되고 있다. 현재 영종대교는 신공항하이웨이(주)가 관리를 하고 있으며 구조물 안전성 모니터링을 위해 스트레인 게이지, 가속도계, 풍속계 및 GPS 등이 교량에 설치되어 있다. 영종대교의 모습은 Fig. 3과 같다. Fig. 3(a)는 영종대교 전경을 Fig. 3(b)는 상부도로를 Fig. 3(c)는 하부도로를 보여주고 있다.

3.2 영종대교 드론 촬영계획의 수립

영종대교를 대상으로 드론을 활용하여 안전점검을 수행하였다. 먼저 영종대교에 관련된 정보를 수집하고 교량 정보를 분석하였으며, 현장을 방문하여 교량의 부위별로 촬영계획을 수립하고, 촬영계획에 따라 드론 촬영을 수행하였다. 아울러 촬영결과를 분석하여 영종대교의 안전점검을 수행한 결과를 정리하였다.

드론에 의한 비행계획은 Fig. 4와 같이 a. 트러스 구간 외측면 2.8 km 전체에 대한 촬영, b. 현수교의 메인 케이블과 수직부재

연결 밴드부 550 m 구간, c. 현수교 두 개의 주탑에 대한 촬영, d. 13개의 교각 외측면에 대한 촬영으로 구분하여 촬영계획을 수립하였다.

3.3 영종대교 드론 촬영 및 데이터 처리

영종대교 드론 촬영은 DJI M600 Pro, DJI M300, Intel Falcon 8+ 드론과 각각 Nikon Z7, DJI P1, Sony A7R 카메라를 사용하였다. 영종대교 드론 촬영에 사용된 드론 및 카메라의 제원은 Table 1과 같다.

영종대교 드론 촬영은 와렌 트러스 부분, 현수교 메인 케이블, 주탑, 교각의 네 부분으로 나누어 각 촬영대상 인근에 지상관제소를 설치하고 각각 수동촬영으로 진행되었다. 부재에 대한 촬영 고도 또는 촬영 거리를 7 m를 기준으로 하여 수동촬영으로 진행하였으며, 촬영된 영상의 GSD는 DJI M600 Pro의 경우 0.87 mm, DJI M300의 경우 0.88 mm, Intel Falcon 8+의 경우 0.98 mm이었다. 데이터 처리는 러시아 Agisoft사의 Metashape 소프트웨어를 사용하였다. Metashape을 사용하여 모자이크 정사영상과 수치표면모델(DSM)을 생성하였으며, Metashape 사용 전에 Lightroom을, Metashape 사용 후에 Photoshop을 사용하였다. Lightroom의

주요 기능은 각 카메라의 센서 크기나 초점거리 등으로 발생하는 왜곡 등의 왜곡을 보정하고 사진이 지나치게 어둡거나 밝을 때 동일하게 노출을 보정해 주며 원본 포맷인 RAW 파일을 프로그램에서 작업 가능한 jpg로 추출하는 것이다. Photoshop의 주요 기능은 Metashape에서 출력된 정사영상의 주변부 배경의 왜곡된 부분을 잘라내는 것이다. 또한, Metashape에서 자동으로 정사영상을 생성할 수 없을 경우 이미지의 수직과 수평을 맞추고 수작업으로 사진을 이어 붙이는 기능을 수행하였다.

Fig. 5는 Fig. 4의 영종대교 각 부재별 드론 촬영계획에 따라 촬영을 실시하고 데이터를 처리한 후 얻은 각 부재별 정사영상을 나타내고 있다. Fig. 5(a)는 영종대교 트러스 구간 외측면을 촬영한 결과의 일부 구간을 보여주고 있고, (b)는 현수교의 메인 케이블 구간을 보여주고 있으며, (c)는 현수교 주탑 외측면에 대한 영상을 보여주고 있으며, (d)는 서측 4번 교각 외측면을 보여주고 있다. Fig. 5와 같이 영종대교를 각 부재별로 촬영한 영상을 Metashape 소프트웨어로 처리하여 각 부재의 정사영상을 얻을 수 있었다.

3.4 드론 영상에 의한 외관조사 상태평가

드론으로 취득한 영종대교 각 부재의 단사진 및 정사사진을

Table 1. Drones and Cameras used in This Study

Drone model	DJI M600 pro	DJI M300	Intel Falcon 8+
			
Size	1668×1518×727 mm	810×670×430 mm	768×817×160 mm
Weight	15 kg	7 kg	2.8 kg
Flight time	About 20 min	About 43 min	Maximum 26 min
Availible Wind Speed	10 m/s (max. 12 m/s)	max. 15 m/s	12 m/s (GPS mode) 16 m/s (Manual mode)
Camera model	Nikon Z7	DJI P1	Sony A7R
			
Resolution	8,256 × 5,504 (45.75 MP)	8192×5460 (45 MP)	7,360 × 4,912 (36.15 MP)
Focal length	35 mm	35 mm	35 mm
GSD (Flying distance 7 m)	0.87 mm/pixel	0.88 mm/pixel	0.98 mm/pixel

활용하여 외관조사 상태평가를 수행하였다. 외관조사는 영종대교의 바깥쪽으로 노출된 부분의 영상을 활용하여 수행하였으며, 교량 보의 바닥 부분이나 교좌장치, 통로 내측 등에 대해서는 드론 영상을 촬영할 수가 없어서 상태평가에서 제외되었다. 본 연구에서 수행한 외관조사 상태평가 결과중 트러스 구간, 메인 케이블, 주탑 및 교각의 주요 부재별로 각각 2장씩의 사진을 선별하여 Fig. 6에 제시하였다. Fig. 6에서 보는 것과 같이 사진 a와 b는 영종대교 서쪽 7번 교각과 8번 교각 사이의 Warren Truss 구간으로서 a는 북쪽면의 도장박리를 보여주고 있으며, b는 볼트체결부에서 20개의 볼트가 부식되었음을 보여주고 있다. 사진 c와 d는 영종대교 현수교 메인 케이블로서 c는 케이블 연결부위의 확대사진을 보여주고 있고, d는 케이블 연결부위의 도장 손상을 보여주고 있다. 사진 e와 f는 영종대교 주탑부 사진으로서 e는 주탑 난간부 확대사진을 보여주고 있고, f는 주탑 난간부의 보수부위가 다시 손상되고 도장 박리된 모습을 보여주고 있다. 사진 g와 h는 영종대교 교각 사진으로서 g는 서쪽 3번 교각 북쪽면의 철근 노출을 보여주고 있으며, h는 동쪽 7번 교각의 남쪽면에 백태가 발생하였음을 보여주고 있다.

4. 드론 활용 교량 안전점검의 표준절차

3. 드론활용 교량 안전점검 테스트를 통하여 영종대교를 대상으로 선정하고 교량 측면부 트러스교, 현수교 메인 케이블, 주탑, 교각의 네 부분으로 나누어 드론 촬영을 실시하고 정사영상을 제작하였으며, 단사진과 정사영상을 분석하여 외관조사 상태평가를 수행하였다. 이 과정에서 먼저 영종대교에 대한 도면 정보 등을 수집하여 분석하였으며 또 안전점검이 완료된 후에는 외관조사망도를 작성하고 결과의 공유를 위하여 드론 안전점검시스템에 데이터베이스(DB)를 구축하였다. 이 과정에서 정리와 분석을 통하여 Fig. 7과 같은 드론 활용 교량 안전점검의 표준절차를 정립할 수 있었다.

드론 활용 교량 안전점검의 표준절차는 다섯 단계(stage)로 정리되었으며, 단계별 내용은 1단계: 시설물 정보수집 및 분석, 2단계: 취약부 분석 및 비행계획, 3단계: 드론 촬영 및 데이터 처리, 4단계: 외관조사 상태평가, 5단계: 외관조사망도 및 DB 구축이다. 각 단계별로 이루어져야 할 주요 내용은 Table 2에 정리하였다. 주요 내용을 살펴보면 Table 2에서 보는 것과 같이 1단계인 시설물 정보수집 및 분석 단계에서는 안전점검 대상 시설물의 제원, 도면

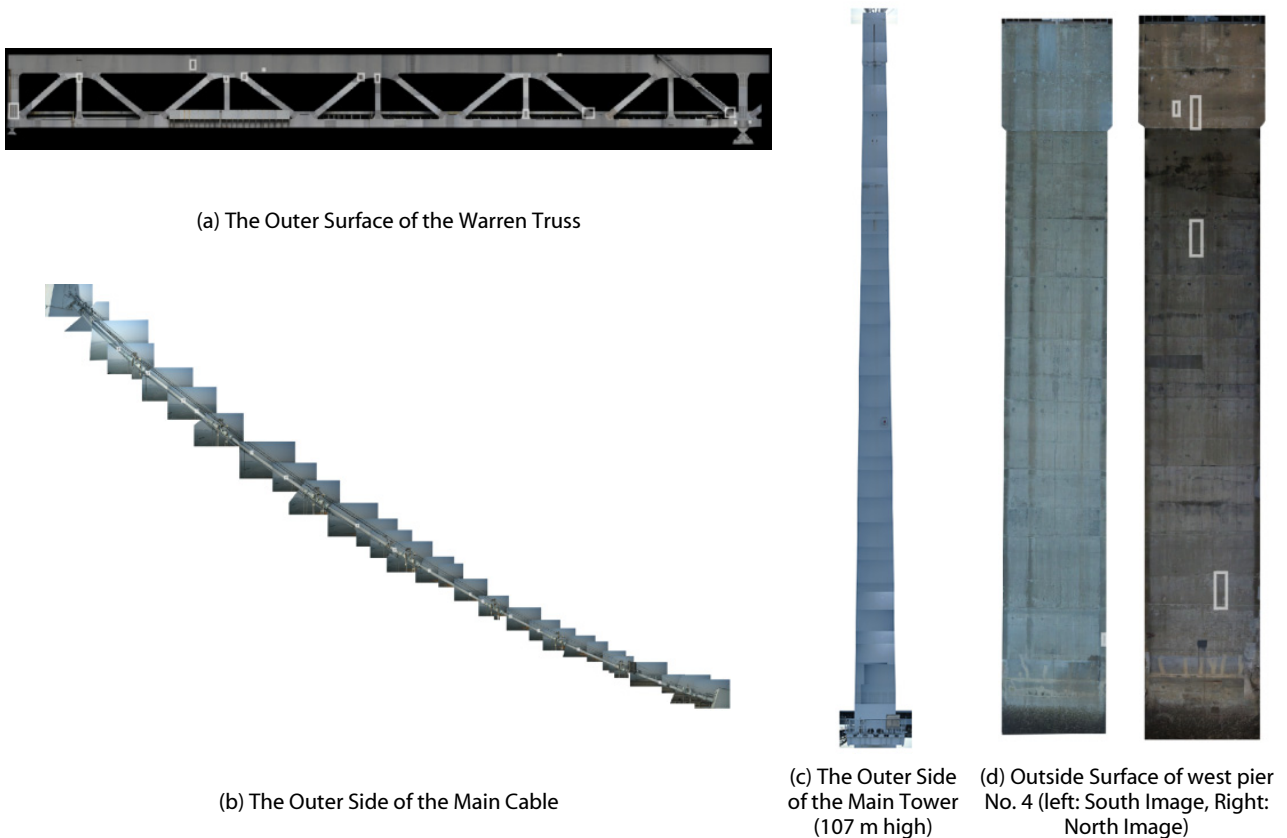


Fig. 5. Orthomosaic Images Acquired by Drones of the Youngjong Grand Bridge

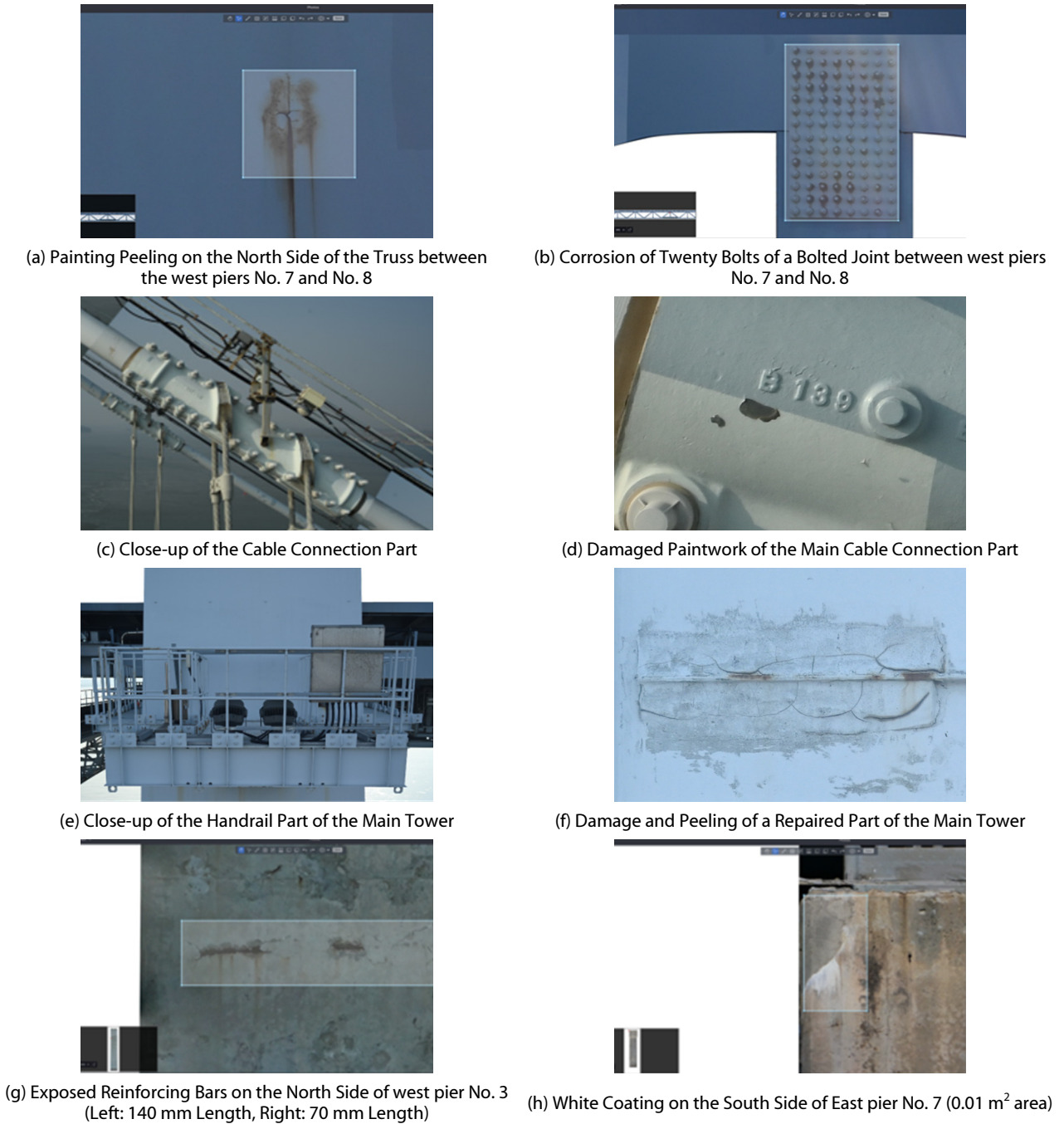


Fig. 6. Evaluation of Condition of the External Inspection of Each Member at Youngjong Grand Bridge

등 정보수집과 안전점검 이력 및 시설물 상태 확인이 이루어져야 하며, 2단계인 취약부 분석 및 비행계획 단계에서는 시설물 안전점검 이력에 의한 취약부를 분석하며 전체 시설물에 대한 드론 촬영 계획과 취약부를 중심으로 한 드론 촬영계획을 수립하는 것이다. 3단계인 드론 촬영 및 데이터 처리 단계에서는 드론 촬영 허가 및 비행 승인, 시설물 드론 촬영 수행, 데이터 처리 및 성과물

제작, 성과검수가 주요 내용이며, 4단계인 외관조사 상태평가 단계에서는 정사영상 및 원본사진에 의한 외관조사와 외관조사 상태평가 수행으로 나누어진다. 마지막 5단계인 외관조사망도 및 DB 구축 단계에서는 디지털 외관조사망도를 작성하고 안전점검시스템에 데이터베이스(DB)를 구축하는 단계가 된다.

따라서 드론을 활용하여 교량 안전점검을 수행할 때에는 이와

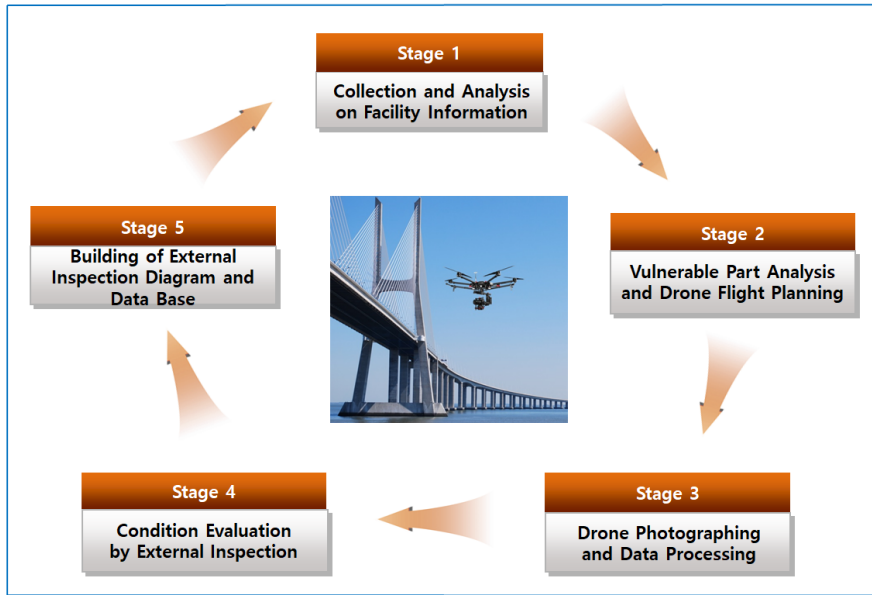


Fig. 7. Standard Procedure for Safety Inspection of Bridges Using Drones

Table 2. Main Contents of the Standard Procedure for Safety Inspection of Bridges Using Drones

Stage	Work	Main Contents
Stage 1	Collection and Analysis on Facility Information	<ul style="list-style-type: none"> • Collection of information such as specifications and drawings of facilities subject to safety inspection • Check the safety inspection history and facility status
Stage 2	Vulnerable Part Analysis and Drone Flight Planning	<ul style="list-style-type: none"> • Analysis of vulnerable parts in the facility safety inspection history • Planning the drone photography for the entire facility • Planning the drone photography focusing on vulnerable parts
Stage 3	Drone Photographing and Data Processing	<ul style="list-style-type: none"> • Achieve drone photography permission and flight approval • Performing facility drone photography • Data processing, production of orthomosaic and DSM, and Performance inspection
Stage 4	Condition Evaluation by External Inspection	<ul style="list-style-type: none"> • External appearance inspection from orthoimages and original photos • Perform condition evaluation by external inspection
Stage 5	Building of the External Inspection Diagram and Data Base	<ul style="list-style-type: none"> • Create a digital external inspection network • Establishment of a database (DB) in the safety inspection system

같은 표준절차에 따라서 계획을 수립하고 안전점검을 수행한다면 보다 체계적이고 효율적으로 일할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 추가적인 연구를 통하여 드론 안전점검에 의한 균열의 폭이나 박리, 박락 등에 대한 정량적 지표와 드론 안전점검이 수행될 수 없는 교량 보의 하부면이나 교좌장치 등에 대한 대안이 제시될 수 있기를 기대해 본다.

5. 결론

국토교통부가 선정한 8대 혁신성장동력중의 하나인 드론은 건설 현장의 3D 모델을 손쉽게 얻을 수 있기 때문에 건설현장에서의 활용도가 증가하고 있으며, 전통적인 건설기술을 스마트 건설기술

로 연결해 주는 통로 역할을 하고 있다. 오늘날 시설물 안전점검의 경제적 효율성이 요구되고 있기 때문에 드론의 도입은 필수적이라고 할 수 있다. 그러나 드론에 의한 시설물 안전점검은 표준절차와 검수기준이 마련되지 않아 안전점검을 수행하는 기관에 따라 서로 제각각 다른 절차와 기준으로 수행하여 왔다. 본 연구는 토목시설물의 대표적인 교량에 대하여 드론을 활용하여 안전점검 외관조사를 수행하기 위한 표준절차를 마련하는 것이 그 목표이다. 연구를 위하여 영종대교를 테스트베드로 선정하고 와렌 트러스 부분, 현수교 메인 케이블, 주탑, 교각의 네 부분으로 나누어 드론 촬영을 실시하고 성과를 제작하였으며 그 과정에서의 작업 내용들을 정리하고 분석하여 교량시설물에 대한 드론 안전점검시 다섯 단계의 표준절차를 정립하고 주요 내용을 제시할 수 있었다.

연구결과로 얻은 표준절차의 단계별 내용은 다음과 같다. 1단계는 시설물 정보수집 및 분석 단계로서 안전점검 대상 시설물의 체원, 도면 등 정보수집과 안전점검 이력 및 시설물 상태 확인을 포함하고 있으며, 2단계는 취약부 분석 및 비행계획 단계로서 시설물 안전점검 이력에 의한 취약부를 분석하며 전체 시설물에 대한 드론 촬영 계획과 취약부를 중심으로 한 드론 촬영계획을 수립하는 것이다. 3단계는 드론 촬영 및 데이터 처리 단계로서 드론 촬영 허가 및 비행 승인, 시설물 드론 촬영 수행, 데이터 처리 및 성과물 제작, 성과검수를 포함하고 있으며, 4단계는 외관조사 상태평가 단계로서 정사영상 및 원본사진에 의한 외관조사와 외관조사 상태평가 수행을 담고 있다. 5단계는 외관조사망도 및 DB 구축 단계로서 디지털 외관조사망도를 작성하고 안전점검시스템에 데이터베이스(DB)를 구축하는 단계이다. 이를 위해서는 기존의 안전점검시스템에 드론 성과물을 입력하고 관리할 수 있는 메뉴 등이 추가되어야 할 것이다. 따라서 이 표준절차에 따라 교량을 포함한 토목시설물의 안전점검이 수행된다면 보다 체계적이고 효율적으로 안전점검을 수행해 나갈 수 있을 것으로 기대된다. 아울러 토목시설물에 대한 드론 활용 안전점검은 앞으로 늘어날 것으로 예상되기 때문에 이 표준절차를 기준으로 하여 드론영상 외관조사 상태평가 결과에 대한 정확도 평가 등의 지표 연구가 진행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토안전관리원의 2020~2021년도 연구용역사업 「드론을 활용한 시설물 안전점검 매뉴얼 및 표준품셈(안) 개발 연구용역」(No.20200610FF0-00)에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

- Bang, S. D., Kim, H. J. and Kim, H. K. (2017). "Vision-based 2D map generation for monitoring construction sites using UAV Videos." *2017 Proceedings of the 34rd ISARC, ISARC, The International Association for Automation and Robotics in Construction*, Taipei, Taiwan, pp. 1-4.
- Chen, S., Laefor, D. F., Asce, M., Mangina, E., Zolanvari, S. M. I. and Byrne, J. (2019). "UAV bridge inspection through evaluated 3D reconstruction." *Journal of Bridge Engineering*, Vol. 24, No. 4.
- Cho, J. H. (2014). *Accuracy and economic feasibility study of orthoimage map production using UAV*, Master Thesis, University of Seoul (in Korean).
- Chris, H. H., Jordan, M. W., Owen, B. and Steve, M. A. (2015). "Earthwork volumetrics with an unmanned aerial vehicle and softcopy photogrammetry." *Journal of Surveying Engineering, ASCE*, Vol. 141, No. 1.
- Han, D. Y., Lee, S. B., Song, M. H. and Cho, J. S. (2021). "Change detection in unmanned aerial vehicle images for progress monitoring of road construction." *Buildings*, Vol. 11, No. 4, pp. 1-14.
- Julge, K., Ellmann, A. and Köök, R. (2019). "Unmanned aerial vehicle surveying for monitoring road construction earthworks." *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, Vol. 14, No. 1, pp. 1-17.
- Jung, S. H., Lim, H. M. and Lee, J. K. (2010). "Acquisition of 3D spatial information using UAV photogrammetric method." *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 28, No. 1, pp. 161-168 (in Korean).
- Kim, T. W., Hong, S. H., Choi, H. and Lee, K. H. (2018). "Efficient extraction of road cross section using a UAV." *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol. 26, No. 1, pp. 69-75 (in Korean).
- Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (KAIA) (2019). *Development of rapid diagnosis and evaluation technology for bridge structures based on unmanned inspection equipment*, Construction Technology Research Project 4th Year Final Report No. 11-B350021-000058-01.
- Lee, J. O., Lee, S. B., Kim, S. G. and Lee, K. H. (2018). "Development of standard work type in construction field to utilize unmanned aerial vehicle." *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol. 26, No. 3, pp. 69-76 (in Korean).
- Lee, S. B., Kim, T. J., Ahn, Y. J. and Lee, J. O. (2019). "Comparison of digital maps created by stereo plotting and vectorization based on images acquired by unmanned aerial vehicle." *Sensors and Materials*, Vol. 31, No. 11, pp. 3797-3810.
- Lee, S. B., Song, M. H., Kim, S. G. and Won, J. H. (2020a). "Change monitoring at expressway infrastructure construction sites using drone." *Sensors and Materials*, Vol. 32, No. 11, pp. 3923-3933.
- Lee, S. B., Won, J. H., Jung, K.Y., Song, M. H. and Ahn, Y. J. (2020b). "Digital elevation model production using point cloud acquired by unmanned aerial vehicles." *Sensors and Materials*, Vol. 32, No. 12, pp. 4347-4360.
- Lucieer, A., de Jong, S. and Turner, D. (2014). "Mapping landslide displacements using structure from motion (SfM) and image correlation of multi-temporal UAV photography." *Progress in Physical Geography*, Vol. 38, pp. 97-116.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT) (2021). *Special act on safety and maintenance of facilities*, Law No. 17946.
- Morgenthal, G. and Hallermann, N. (2014). "Quality assessment of unmanned aerial vehicle (UAV) based visual inspection of structures." *Advances in Structural Engineering*, Vol. 17, No. 3, pp. 289-302.
- National Geographic Information Institute (NGII) (2018). *Guidelines for the public survey using UAV*, NGII Guidelines No. 2018-1075 (in Korean).
- Niethammer, U., James, M. R., Rothmund, S., Travelletti, J. and Joswig, M. (2012). "UAV-based remote sensing of the Super-

- Sauze landslide: Evaluation and results.” *Engineering Geology*, Vol. 128, pp. 2-11.
- Oregon Department of Transportation (2018). *Eyes in the sky: Bridge inspections with unmanned aerial vehicles*, Final Report, SPR 787.
- Park, H. Y., Lee, K. M., Han, M. H. and Kim, S. J. (2019). “Structure safety inspection using drones.” *Journal of the Korean Association for Spatial Structure*, Vol. 19, No. 4, pp. 8-13 (in Korean).
- Presidential Advisory Council on Science and Technology (PACST) (2018). *2018 Science and technology advisory report*.
- Rhee, S. and Kim, T. (2017). “Investigation of 1:1,000 scale map generation by stereo plotting using UAV images.” *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing, and Spatial Information Sciences, 2016 ISPRS International Conference on UAV in Geomatics*, Bonn, Germany, Volume XLII-2/W6, pp. 319-324.
- Seo, J. W., Duque, L. and Wacker, J. (2018). “Drone-enabled bridge inspection methodology and application.” *Automation in Construction*, Vol. 94, pp. 112-126.
- Siebert, S. and Teizer, J. (2014). “Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an unmanned aerial vehicle (UAV) system.” *Automation in Construction*, Vol. 41, pp. 1-14.
- Wang, X., Al-Shabbani, Z., Sturgill, R., Kirk, A. and Dadi, G. B. (2017). “Estimating earthwork volumes through use of unmanned aerial systems.” *TRB Annual Meeting Promo Issue*, Vol. 2630, pp. 1-8.
- Yu, M., Huang, Y., Zhou, J. and Liya, M. (2017). “Modeling of landslide topography based on micro-unmanned aerial vehicle photography and structure-from-motion.” *Environmental Earth Science*, Vol. 76, No. 15, pp. 1-9, DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6860-x>.