

효율적 UAV 기반 교량 점검을 위한 3차원 모델링 시스템 구축 연구

김지은, 윤준희*

한국건설기술연구원 미래스마트건설연구본부

A Study on Construction of 3D Modeling System for Efficient UAV-Based Bridge Inspection

Ji-Eun Kim, Jun-Hee Yoon*

Department of Future & Smart Construction Research,
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요약 국내 교량의 공용연수 증가에 따라 노후 교량의 유지관리 중요성이 증가하고 있다. 기존 점검은 사람이나 점검차가 진행되는 방식이나, 물리적 한계로 최근 드론과 같은 첨단 장비를 활용한 점검방식의 필요성이 대두되고 있다. 본 연구는 효율적 드론 기반 교량 점검을 위해 드론 운행의 특성을 반영한 3차원 모델링 시스템을 구축한다. 이를 위해 기존 3차원 모델링 소프트웨어/구축방안 분석을 통해 모델링 시스템 요건을 정의하고, 실제 현장 점검 작업지시서 분석을 통해 교량 점검용 3차원 라이브러리 체계를 구성하고 유지관리 특성을 반영한 라이브러리 단위 부재를 도출한다. 대상범위는 국내 주요 교량 형식 가운데 4가지를 선정하고, 육안으로 구분이 어려운 교량 상부 측면부터 하부를 대상으로 한다. 이후 3차원 모델링 시스템 설계를 통해 시범 교량을 대상으로 주요 기능별 모듈을 구현한다. 본 성과물을 통해 사용자가 다루기 쉽고 실제 현장 내용을 반영한 3차원 모델링 구축이 가능하고, 이를 기반으로 효과적 드론 운영 및 비행, 교량 점검 관리를 기대할 수 있다. 추후 이를 활용하여 드론의 3차원 라우팅 생성을 통해 최적화된 교량 점검용 3차원 비행경로 도출 연구로 확장하고자 한다.

Abstract The importance of maintaining old bridges is increasing as the number of public years of domestic bridges increases. Existing inspections are conducted by people or inspection vehicles, but the need for an inspection method using advanced equipment, such as drones, has recently emerged due to physical limitations. This study establishes a three-dimensional modeling system that reflects the characteristics of drone operation for efficient drone-based bridge inspection. To this end, the modeling system requirements were defined by analyzing existing 3D modeling software/build plans. A 3D library system for bridge inspection was constructed through an analysis of actual field inspection work instructions, and library unit members reflecting maintenance characteristics were derived. The target range selects four major bridge types in Korea and targets the upper side to the lower part of the bridge, which is difficult to distinguish with the naked eye. The major functional modules were implemented for pilot bridges by designing a three-dimensional modeling system. This achievement makes it possible to build a 3D model that is easy for users to handle and reflects the actual field contents. Based on this, effective drone operation, flight, and bridge inspection management can be expected. In the future, this will be used to expand research on deriving a 3D flight path for bridge inspections optimized through the generation of the 3D routing of drones.

Keywords : UAV, Drone, Bridge Inspection, Bridge Maintenance, 3D Modeling

본 연구는 과학기술정보통신부 한국건설기술연구원 연구운영비지원(주요사업)사업으로 수행되었습니다(과제번호 20220217-001, DNA 기반 노후 교량 구조물 스마트 유지관리 플랫폼 및 활용기술 개발).

*Corresponding Author : Jun-Hee Yoon(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

email: younj@kict.re.kr

Received July 28, 2022

Revised October 6, 2022

Accepted October 7, 2022

Published October 31, 2022

1. 서론

국내 주요 교량들의 공용연수가 20년이 넘어가면서 노후 교량에 대한 체계적 유지보수의 중요성이 증대되고 있다. 2021년 국토교통부에서 발표한 “2022 도로 교량 및 터널 현황조사”에 따르면 2021년 국내 교량수는 총 36,501개로, 이 가운데 20~30년 공용연수의 교량은 10,289개에 해당된다. 이러한 노후 교량의 증가에 대응하기 위해서는 다수 관리 인력의 주기적 안전관리가 수반되어야 대규모 보수/보강, 인명사고 등을 사전에 예방/조치할 수 있다[1,2].

기존 교량 점검의 경우, 사람이 이동하면서 육안으로 확인하거나 사람이 탑승한 교량 점검차를 활용하는 방식으로 주로 수행되고 있다. 그러나 교각이 높거나 차량 통행량이 많은 교량의 경우, 이러한 방식들로 인하여 육안으로만 확인 가능한 범위 제한, 점검자의 경험도 정도, 인력 기반 검사로 인한 많은 비용/시간 소요, 점검차 배치로 인한 교통 흐름 방해, 바람으로 인한 탑승자 신변 위험 등의 물리적 어려움이 발생한다. 상기 한계점을 해결하기 위해 최근에 교량과 같은 시설물 점검에 Unmanned Aerial Vehicle(UAV), 로봇 장비, Internet of Things(IoT) 센서 등 다양한 첨단 기술 및 장비들의 현장 도입에 대한 필요성이 요구되고 있다[3,4]. 첨단 장비를 활용한 무인화 점검 기술은 시간/비용이 절감되고, 수시 운용이 가능하며 교량의 모든 부위 점검이 용이하다는 장점이 있다.

한국건설기술연구원에서는 2021년부터 드론의 자율 비행 기술을 활용한 교량 하부구조 점검 무인화 지원 기술 개발을 수행 중으로[5], Way point 기반 자동 라우팅 경로 생성 및 교량 전역/Point of Interest(POI) 모니터링을 통한 교량 상태 점검 지원을 최종 목표로 한다. 드론의 3차원 경로계획을 위해서는 3차원 모델링 데이터가 필수로, 현재 포인트 클라우드 기반 모델링, Building Information Modeling(BIM) 모델링 등 다양한 3차원 모델링 기법이 존재한다. 이에 본 연구는 교량 점검용 드론 운행의 특성을 반영한 교량 점검을 위한 3차원 모델링 시스템을 구축하고자 한다.

본 연구의 프로세스는 다음과 같다. 2장 선행연구 조사를 통해 드론 비행을 위한 3차원 모델링 시스템 시사점을 도출하고, 3장에서 기존 모델링 소프트웨어 분석을 통해 모델링 시스템 요건을 정의한다. 4장에서는 교량 3차원 라이브러리 구축을 위해 실제 현장 점검 작업지시서 기반으로 라이브러리 체계를 정의하고 이를 토대로 5

장에서 모델링 시스템을 설계/구현한다. 서울 한강대교 중 하나를 선정하여 모델링을 검증하고 마지막으로 결론을 기술한다.

2. 선행연구 조사

최근 드론을 활용한 SOC 시설물 점검에 대한 연구가 많이 수행되고 있다. 강준오 외[6]는 효율적 외관점검을 위해 드론을 활용한 교량 점검부 영상 획득 및 안전점검의 활용성을 검토하였다. 손상 인식이 가능한 드론의 최적화된 접근거리 및 해당 부위의 시계열 데이터 분석을 위해 3차원 모델링을 통해 교량 점검부의 영상 DB를 구축하였다. 김휘영 외[7]는 육안 검사의 시설물 점검 효율성/객관성 향상을 위해 기존 영상을 활용하여 자동 처리 중심의 드론 기반 시설물 점검 체계를 제시하였다. 기존 영상 DB를 구축하고, 드론 영상을 자동처리하여 기하보정된 영상을 생성하여, 정확도를 검증하고자 기존 영상 기반으로 드론 영상을 처리하였다. 나용현 외[8]와 최대영 외[9]는 SOC 시설물 점검 시 촬영한 드론영상으로 딥러닝 이미지 분석기술을 활용하여 손상 검출 및 균열 분석 연구를 수행하였다. 드론으로 촬영한 이미지로 분석 데이터, 학습 데이터를 생성하여 딥러닝 알고리즘 적용을 통해 향후 자동 손상 분석을 목표로 한다. 상기 연구들은 교량 점검(시설물 점검) 목적에 적합한 드론의 비행 환경, 경로설정, 비행요건 보다는 드론 비행 후 촬영 영상 이미지를 활용한 손상 분석 기법에 초점이 맞춰져 있다.

박동순 외[10]는 디지털 트윈 플랫폼에 필수적인 인프라 공간정보 현실 모델링 구축을 위해, 드론과 Light Detection and Ranging(LiDAR) 측량 결과를 매핑하여 3차원 모델링을 수행하였다. 채정환[11]은 교량 유지관리에 BIM 데이터를 적용하고자, 제 2종/제3종 교량을 대상으로 드론을 활용한 Scan to BIM 모델링 및 인공지능 기반 교량 파손 검출 알고리즘 개발, 3차원 BIM 기반 시설물 점검 시스템 구축 연구를 수행하였다. 김희주 외[12]는 AR Glass를 활용하여 드론의 3차원 이동경로를 구현하고자, Unity 엔진 기반 그래픽 설계, 스케일 및 지구좌표 매핑 연구를 수행하였다. 상기 연구들은 드론과 LiDAR, BIM, AR을 접목하여 3차원 모델링 데이터를 구축하였으나, 대부분 효과적 3차원 가시화에 초점을 둔 사례로 교량(시설물) 점검에 특화된 모델링 연구 부분이 미진한 부분을 확인할 수 있었다.

본 연구는 교량 점검 및 유지관리를 위한 드론 비행에 특화된 3차원 모델링 시스템을 구축하고자, 3차원 모델링 요건, 라이브러리 체계 정의, 가시화 구축 등을 수행한다.

3. 교량 3차원 모델링 시스템 개요

교량 3차원 모델링 시스템을 설계하기 위해 기존 대표적인 3차원 모델링 방법을 조사 분석하고, 교량 점검을 위한 3차원 모델링 요건을 정의하였다.

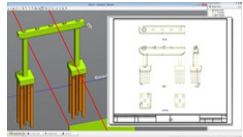
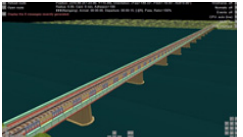

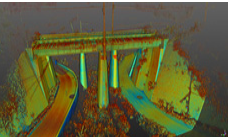
3.1 대표적 3차원 모델링 방법 분석

기존 교량을 3차원 모델링 하는 다양한 소프트웨어/방법 가운데 대표적으로 사용되는 4가지를 Table 1과 같이 정리하였다. Revit, Bentley 등 최근 많이 활용되는

BIM Tool, 점-선-면으로 쉽게 모델링 할 수 있는 Sketch-up, 드론 촬영 이미지 기반 모델링 기법, Global Positioning System(GPS)-LiDAR-드론 조합의 모델링 기법을 개요, 장/단점, 지구좌표 포함 여부, 라이브러리 여부, 부재 단위 구성, 예시 이미지로 비교분석하였다.

디지털 트윈, 메타버스 가시화 데이터로 주요 활용되는 BIM이나 드론 촬영 기반 모델링, GPS-LiDAR-드론 기반 모델링은 특성에 맞게 실사 이미지를 활용하거나 혹은 상세 가구 단위까지의 실사 수준의 디테일한 데이터 모델링으로 실감형 데이터를 구축하여 가시화에 최적화되어 있다. 그러나 실사 이미지로 구축되어 데이터 용량이 크거나 데이터 후처리 수준에 따른 품질 확보, 지구좌표 매핑 프로세스 등이 복잡하고, 장비가 필수적으로 동반된다. BIM 경우 설계에서 유지관리까지 전 단계 활용이 가능한 데이터 특성상 작성 소요시간이 길고 데이

Table 1. Comparison of typical 3D modeling techniques

	BIM(Revit, Bentley) Tool	Sketch-up	Drone photography-based modeling	GPS-LiDAR-Drone-Based Modeling
Overview	<ul style="list-style-type: none"> • Include shape and attribute data • Parametric-based modeling 	<ul style="list-style-type: none"> • Include shape data • More manageable environments than BIM Tools 	<ul style="list-style-type: none"> • Modeling using photographic images of Drone(Point cloud) 	<ul style="list-style-type: none"> • Modeling combined with precision coordinates based on GPS, 3D coordinates based on LiDAR, and drone images
Advantage	<ul style="list-style-type: none"> • User-centric object/unit configuration • Full-step access from design to maintenance 	<ul style="list-style-type: none"> • A relatively easy and simple interface compared to other 3D S/W • Affordable Data Capacity 	<ul style="list-style-type: none"> • Realistic imaging-based output • Global coordinates • Reflecting status of current facility(displacement, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Gain precision when zoom in • High-precision global coordinates • Reflecting status of current facility(displacement, etc.)
Weakness	<ul style="list-style-type: none"> • Massive data(including non-purpose data) • Long creation time • In the case of existing facilities, aging cannot be reflected 	<ul style="list-style-type: none"> • Low precision (curve, curved surface) • In the case of existing facilities, aging cannot be reflected 	<ul style="list-style-type: none"> • Quality and time difference depending on post-processing level of drone shooting/point cloud data • Accurate figures cannot be obtained • Equipment acquisition (drone) required 	<ul style="list-style-type: none"> • Quality and time difference depending on post-processing level of drone shooting/point cloud data • Securing equipment and associated data (drone, LiDAR, satellite data) required
Global coordinates	X (Required Mapping tech.)	X (Required Mapping tech.)	O	O
Utilize Library	O	△ (For rendering)	X	X
Composition of Unit	O	O	X	△
3D Modeling Example				

터 용량 또한 방대하다. 다소 다루기 쉬운 환경인 Sketch-up은 타 소프트웨어/방법에 비해 비교적 간단한 프로세스를 갖으나, 정밀도가 낮고 BIM과 함께 지구 좌표 매핑 기술이 추가로 요구된다.

상기 모델링 소프트웨어/방법 분석 결과, 본 연구에서 요구하는 교량 점검을 위한 3차원 모델링 요건을 다음과 같이 정의하였다.

3.2 교량 점검용 3차원 모델링 요건 정의

드론 비행을 위한 3차원 모델링 목적은 산, 건물, 조경 등 시설물의 주변 환경을 장애물로 인식하여, 장애물이 없는 곳을 안전하게 비행하도록 하는 경로 산정을 위한 데이터 제작이다. 교량 안전점검은 유지관리가 최종 목표로 점검 후 문제가 있는 혹은 주의 관리가 필요한 부분에 대한 주기적 모니터링이 요구된다. 따라서 교량 점검 업체, 유지관리 업체, 혹은 교량 관리자가 이해하기 쉽고 관리가 용이한 단위로 모델링 데이터가 구성되어야 한다. 본 연구는 3차원 드론 비행경로 산정과 교량 유지관리에 활용할 수 있는 교량 점검용 3차원 모델링 요건을 다음과 같이 정의하였다.

- 현장 작업지시서 내 교량 관리 단위를 반영하여 부재 구현
- 상기 내용이 반영된 3차원 부재 라이브러리 모델링
- 사용자에게 작성 용이한 모델링 방법(신규 제작/수정) 및 경량 데이터 확보

4. 교량 3차원 라이브러리 설계

4장에서는 현장에서 실제 기준이 되는 작업지시서를 분석하여 교량 관리 단위를 조사하고, 이를 토대로 3차원 교량 모델링을 위한 라이브러리 체계를 구성하였다.

4.1 교량 안전점검 작업지시서 분석

교량의 안전점검 및 정밀안전진단 실시 범위에 대한 세부적 대상부위는 Table 2와 같다. 드론 기반 교량 안전점검은 장비를 동원하여 상태평가와 안전성 평가를 진단하는 정밀안전진단을 제외하고, 정기안전점검, 정밀안전점검, 긴급안전점검에 활용이 가능하다. 교량 점검 대상 부위의 경우 외부 전문가(교수 1인, 점검업체 1인) 검토의견을 반영하여 작성하였다.

Table 2. (A) Investigation of inspection part based on work instruction for bridge inspection

Sort	Facility name	Inspection part
Major Member	Superstructure	Slab
		Girder
	Substructure	Abutment
		Pier
		Pylon
		Foundation
	Support	Bridge Bearing
	Cable	Cable
		Anchor
		Hangerband
		Saddle
	Other member	Expansion Joint
		Drainage
Barrier		
Curb		
Bridge deck pavement		
Sub Member	2 nd member	Cross Beam
		Stringer
Ancillary Facility	Inspection furnace	Stairway
		Entrance ladder
		Others

4.2 교량 점검용 3차원 라이브러리 체계 구성

상기 정리한 현장 작업지시서 기반 교량 점검부위를 토대로, 교량 점검용 3차원 라이브러리 구축을 위해 Fig. 1과 같은 프로세스 수행 체계를 구성하였다. 교량 점검은 상부의 경우 사람이 육안으로 점검할 수 있기 때문에, 육안 구분이 어려운 교량의 상부 슬래브 측면부터 교량 하부를 대상으로 한다.

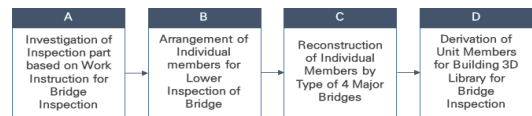


Fig. 1. 3D library construction process for bridge inspection

교량 형식은 국내에서 주로 사용되는 형식 가운데 PSC I형교, RC슬라브교, 강박스교, 라멘교 4가지를 선정하였다. Table 3은 A에서 정리한 작업지시서 기반 점검부위를 대상으로 교량 하부점검에 해당되는 부위를 추출하여 구성한 내용이다. Table 2부터 Table 5까지 교량 3차원 라이브러리 체계 구축 프로세스 상에서 각 부분의 재구성에 대한 이해를 돕기 위해 동일한 부분은 같은 색상을 하이라이트 하여 표현하였다.

Table 3. (B) Arrangement of individual members for lower inspection of bridge

Sort	Facility name	Inspection part
Major Member of Substructure Inspection	Reinforced Concrete Girder	Bearing/Support zone
		Center zone
	PSC Girder	Bearing zone
		Center zone
		Cable anchorage zone
		Cable
	Steel Girder	Guard pipe
		Bearing zone
	Concrete Cross Beam	Reinforced Concrete Cross Beam
		PSC Cross Beam
	Steel Cross Beam/Stringer	Steel Cross Beam
		Steel Stringer
	Abutment	Coping
		Wall
		Retaining wall
	Concrete Pier	Coping
		Wall(with Foundation)
	Bridge Bearing	Body
Bearing concrete		
Sub Member of Substructure Inspection	Superstructure	Slab
		Expansion Joint
		Bridge deck pavement
		Barrier & Curb
		Inspection furnace
	Drainage	Drain hole(Inlet)
		Drain pipe

하부 점검 부재를 대상으로 Table 4와 같이 주요 4대 교량 형식에 따라 부재를 재구성하고, 마지막으로 Table 5에서 이를 토대로 교량점검용 3차원 라이브러리 구축을 위한 단위 부재를 도출하였다. 본 연구에서는 하부점검 보조시설은 제외하고, 교량 근처 주변 장애물로 가로등과 가로수를 구성하였다.

Table 4. (C) Reconstruction of individual members by type of 4 major bridges

Sort	Bridge type	Facility name	Inspection part
Major Member of Substructure Inspection	RC Slab Bridges	Reinforced Concrete Girder	Bearing/Support zone
			Center zone
		Concrete Cross Beam	Reinforced Concrete Cross Beam
		Abutment	Coping
			Wall

Major Member of Substructure Inspection	PSC-I Shape Bridge	Concrete Pier	Retaining wall
			Coping
			Wall(w/ Foundation)
		Bridge Bearing	Body
			Bearing concrete
			Bearing zone
		PSC Girder	Center zone
			Cable anchorage zone
			Cable
			Guard pipe
		Concrete Cross Beam	Reinforced Concrete Cross Beam
			PSC Cross Beam
	Abutment	Coping	
		Wall	
		Retaining wall	
	Concrete Pier	Coping	
		Wall(w/ Foundation)	
	Bridge Bearing	Body	
		Bearing concrete	
	Rahmen Bridge	Rahmen Upper structure	Bearing zone
			Center zone
		Pier+ Reinforced Concrete Girder	Center zone
			Corner zone
		Abutment	Pier zone
Abutment	-		
Steel Box Bridge	Steel Girder	Bearing zone	
		Center zone	
	Steel Cross Beam/Stringer	Steel Cross Beam/Stringer	
	Abutment	Coping	
		Wall	
		Retaining wall	
	Concrete Pier	Coping	
		Wall(w/ Foundation)	
Bridge Bearing	Body		
	Bearing concrete		
Sub Member of Substructure Inspection	Common	Super structure	Slab
			Expansion Joint
			Bridge deck pavement
	Common	Drainage	Barrier & Curb
			Inspection furnace
			Drain hole(Inlet)
			Drain pipe

Table 5. (D) Derivation of unit members for building 3D library for bridge inspection

Sort	Bridge type	Facility name	Inspection part
Major Member of Substructure Inspection	RC Slab Bridge	Pier 1~3	-
		Abutment	-
		Upper Slab	Add side and deck pavement of upper slab
	PSC-I Shape Bridge	Pier 1~3	-
		Abutment	-
		Upper Pavement Slab	Add side and deck pavement of upper slab
	Rahmen Bridge	Upper I shape 1~2	PSC Girder+Bridge Bearing Concrete Cross Beam
		Abutment	-
		Module I shape	Rahmen Upper structure Pier+Reinforced Concrete Girder+Bridge Bearing
		Module V shape	Rahmen Upper structure Pier+Reinforced Concrete Girder+Bridge Bearing
	Steel Box Bridge	Pier 1~3	-
		Abutment	-
Upper Pavement Slab		Add side and deck pavement of upper slab	
	Upper Box 1~2	Steel Girder+ Bridge Bearing Steel Cross Beam/Stringer	
Obstacle	Streetlight 1~2	Add surrounding environment	
	Street tree	Add surrounding environment	

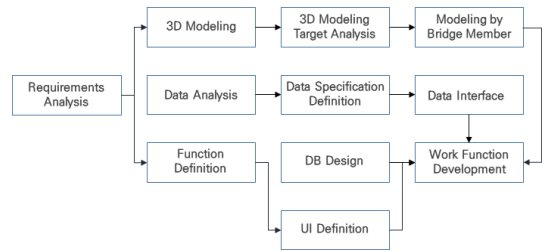


Fig. 2. System deployment procedures

DB는 일반적으로 물리적인 데이터 구축 프로세스에 따라, 개념 데이터 모델링, 논리 데이터 모델링, 물리 데이터 모델링 3단계를 통해 설계를 진행하였다. Fig. 3은 개념 데이터 모델링으로, '교량 검색', '교량 저작', '사용자 정보'를 중심으로 테이블 관계를 설정하여 구성하였다.

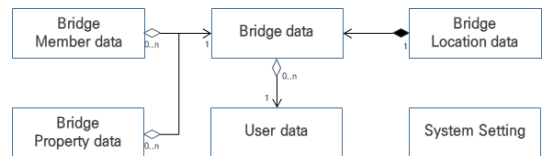


Fig. 3. Conceptual data modeling

Fig. 4는 테이블의 필드 단위에서 진행한 논리 데이터 모델링의 결과이다. 이는 특성 시스템이나 소프트웨어에 종속되지 않는 단계로, 필드와 데이터 타입에 대한 설계가 진행되었다. 교량정보는 3차원 교량 모델링 데이터에 대한 정보를 포함하고, 교량 속성정보는 교량 명칭, 소재지, 주소정보 등의 세부 정보를 포함하며, 교량 부재정보는 각 교량 형식별로 모델링한 부재의 모델링 데이터와 속성을, 사용자 정보는 개인정보를 포함한다.

5. 교량 3차원 모델링 시스템 설계 및 구현

5.1 시스템 구축 절차 및 DB 설계

5.1에서는 교량 3차원 모델링 시스템 구축을 위해 프로세스를 정의하고 DB를 설계하였다. Fig. 2는 시스템 구축 절차로 요구사항을 분석하여 3차원 모델링, 데이터 분석, 기능정의로 크게 나누어 구성된다. 교량 모델링 시스템은 교량 형식별 라이브러리 검색 및 관리 기능을 제공하고, 이를 활용하여 교량 검색, 교량 레이어 관리 등을 제공한다.

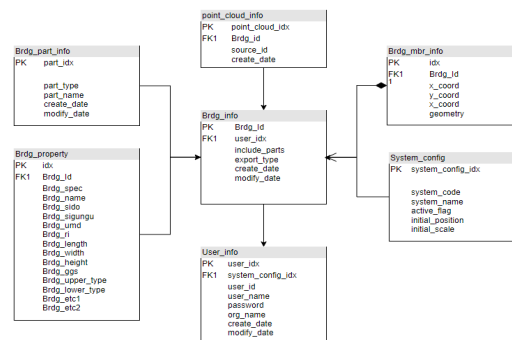


Fig. 4. Logical data modeling

마지막 물리 데이터 모델링은 실제 데이터가 쌓일 DBMS 특성, 즉 본 연구에서 사용된 PostgreSQL을 고려하여 구체적 설계를 수행하였다. 각 테이블에 대해 Primary Key(PK), Foreign Key(FK) 설정 및 제약조건 입력 후, 최종 모델링 완성 후에는 Data Definition Language(DDL)을 생성하고 이를 DBMS에 적용하여 실제 데이터가 쌓일 테이블을 생성하였다.

5.2 주요 기능별 모듈 구현(시범 교량 대상)

모델링 시스템의 주요 기능 모듈은 다음과 같다. 교량 3차원 라이브러리 모델링 및 검색/관리, 전체 교량 모델링, 교량 검색(위치 정보 조회, 교량 레이어 정보 조회 등), 절대 좌표계 기반 가시화 등으로 구성하였다. Table 6과 Table 7은 4대 교량 형식 가운데 PSC I형교와 라멘 교의 3차원 라이브러리 및 라이브러리 기반 교량 모델링 데이터 결과물이다.

Table 6. 3D Modeling output of PSC-I Shape bridge



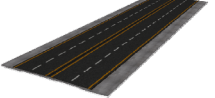

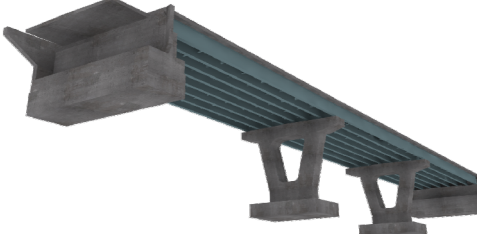





PSC-I Shape Bridge	
Pier 1~3	
	
Abutment	
	
Upper Pavement Slab	
	
Upper I shape 1~2	
	
Whole bridge	
	

Table 7. 3D Modeling output of Rahmen bridge

Rahmen Bridge	
Abutment	
	
Module I shape	Module V shape
	
Whole bridge	
	

본 연구는 시범 교량으로 서울에 위치한 한강대교 중 광진교를 선정하고, 이를 3차원 모델링 시스템을 통해 모델링 및 가시화를 검증하였다. 실제 광진교 준공 도면을 토대로 상기 구축한 3차원 라이브러리를 해당 규모에 맞게 수정 후, 조합하여 데이터를 작성하였다. 기본적으로 이동, 회전, 확대/축소 등이 가능하다. Fig. 5와 Fig. 6는 교량 부재의 3차원 라이브러리 관리 기능 중 라이브러리를 활용한 3차원 교량 개별 항목을 조합한 화면과 교량 3차원 모델링 데이터의 확대/축소 화면이다.

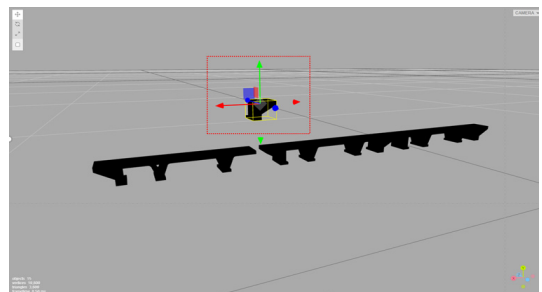


Fig. 5. Combination of individual items of 3D bridge using 3D library of bridge member

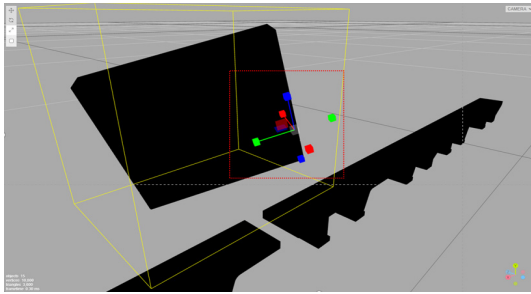


Fig. 6. Zoom of bridge 3D modeling data

교량 점검 후 유지관리 시 사용자 목적별(손상부위별, 교각별, 구간별 등)로 효과적인 운영을 위해 부재별로 레이어를 만들어 관리하도록 설정하였다. Fig. 7과 같이 교량의 부재별 레이어 관리 기능을 제공하여 사용자가 원하는 구조 부위를 확인할 수 있다.

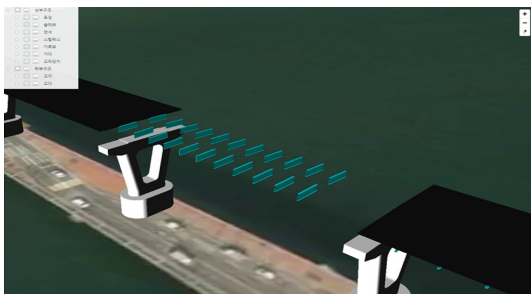


Fig. 7. Detailed Layer Management of Bridge

해당 시스템은 3차원 모델링 저작/관리뿐만 아니라, 향후 유지관리에 활용할 수 있도록 실험적으로 지구좌표를 매핑하고 외부 데이터를 연계한 가시화 기능을 시범 구현하였다. 네이버 지도[13] 연계를 통해 광진교를 배치하고 교통상황 연계를 확인하고(Fig. 8), Fig. 9는 항공사진 배경지도-장애물(건축물) 정보를 연계하여 가시화하였다.

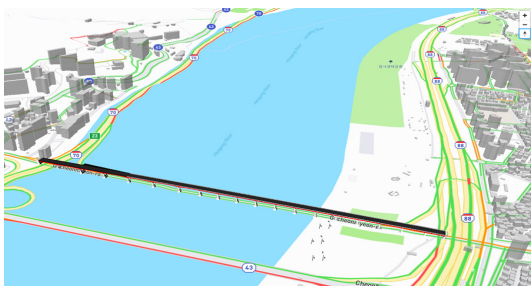


Fig. 8. Association of Traffic Conditions Data in the Neighborhood

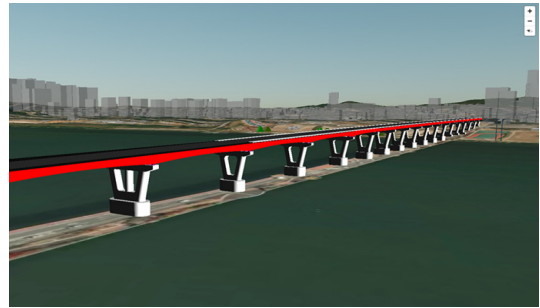


Fig. 9. Linkage and visualization of aerial photo background map and obstacle(building) information

6. 결론

본 연구는 드론을 활용한 교량 안전점검 시 3차원 라우팅 정보 제공을 위해 3차원 모델링 시스템 구축을 수행하였다. 기존 교량 점검의 물리적 한계점(육안 점검, 점검차로 인한 교통방해 등)을 해결하고 드론의 효과적 비행경로 산정을 목적으로 한다. 이를 위해 드론 촬영은 육안 확인이 힘든 상부 측면부터 하부를 대상으로 정하고, 국내 주요 교량 형식 가운데 4개(RC 슬래브교, PSC I형교, 라멘교, 강박스교)를 선정하였다. 교량 점검용 3차원 라이브러리 체계 구축을 위해 교량 점검 작업지시서 기반으로 점검 대상 부위를 분석, 최종 유지관리에 효율적인 단위 부재를 도출하였다. 3차원 모델링 시스템은 서울 광진교를 시범 교량으로 선정하여 라이브러리를 활용한 교량 모델링 저작 기능을 검증하고, 추후 유지관리에 활용이 가능하도록 외부 데이터(네이버 지도, 항공사진 등)를 시범 연계하였다.

본 3차원 모델링 시스템을 통해 우선적으로 기존의 무거운 3차원 데이터와 달리, 교량 점검이란 목적에 맞게 모델링 시스템을 통한 가벼운 3차원 데이터를 생성하고, 사용자가 저작하기 쉬우며, 새로운 가상 시스템이 아닌 실제 현장 교량 관리내용을 반영한 데이터 구축이 가능하다. 추후 타 교량 형식을 반영하여 라이브러리를 추가 구성하고, 유지관리 시스템까지 연계할 수 있는 연구가 필요하다고 판단된다. 또한 이를 토대로 교량 3차원 모델링 데이터를 활용하여 교량 점검을 위한 3차원 라우팅 생성 연구를 수행하여 최적화된 상황별 3차원 비행경로 도출 연구로 확장될 수 있을 것으로 판단한다.

References

- [1] J. H. Kim, Construction of Deterioration Curve of Aged Bridges Using Data-Based Artificial Intelligence [Internet], Korea Institute of Civil Engineering and building Technology, Available From: https://blog.naver.com/feel_kict/222803314197 (accessed July 14, 2022)
- [2] S. H. Yoo, *Feasibility study for introducing drones to visual inspection of bridge structures through cost benefit analysis*, Master's thesis, University of Hanyang, Korea, 2021.
- [3] Y. H. Lee, S. J. Bae, W. Jung, J. Y. Cho, S. H. Hong and etc., "Performance Evaluation Method for Facility Inspection and Diagnostic Technologies", *Journal of the Society of Disaster Information*, Vol.16, No.1, pp.178-191, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.15683/kosdi.2020.3.31.178>
- [4] R. C. Lee, H. W. Shon and R. H. Kim, "Case Study on the Safety Inspection Using Drones", *KSCE magazine*, Vol.65, No.5, pp.75-79, 2017.
- [5] K. T. Park and etc., Development of DNA-based smart maintenance platform and application technologies for aging bridges, Technical report, Korea Institute of Civil Engineering and building Technology, Korea, 2021.
- [6] J. O. Kang and Y. C. Lee, "Preliminary Research for Drone based Visual-safety Inspection of Bridge", *Proceedings of 2016 Conference on The Korean Society for Geo-Spatial Information System*, Korea, pp.207-210, 2016.
- [7] H. Y. Ki., K. A. Choi and I. P. Lee, "Drone Image-Based Facility Inspection - Focusing on Automatic Process Using Reference Images", *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol.26, No.2, pp.21-32, 2018.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7319/kogsis.2018.26.2.021>
- [8] Y. H. Na and M. Y. Park, "A Study of Railway Bridge Automatic Damage Analysis Method Using Unmanned Aerial Vehicle and Deep Learning-based Image Analysis Technology", *Journal of the Society of Disaster Information*, Vol.17, No.3, pp.556-567, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.15683/kosdi.2021.9.30.556>
- [9] D. Y. Choi, S. H. Paik, Y. K. Kim, S. W. Jung and D. N. Kim, "Deep-Learning Crack Analysis for Visual-Safety Inspection of Bridge by Drones", *Journal of Korean Institute of Information Technology*, Vol.19, No.12, pp.115-121, 2021.
DOI: <http://dx.doi.org/10.14801/jkiit.2021.19.12.115>
- [10] D. S. Park, T. M. Kim and H. Y. Lee, "Dam downstream river drone and LiDAR reality modeling for digital twin watershed management", *Proceedings of 2021 Conference on Korean Society of Civil Engineers*, Korea, pp.12-15, 2021.
- [11] J. H. Chae, *Designing a BIM System for Bridge*

Inspection using AI and Drones, Doctor's thesis, Hanbat National University, Korea, 2022.

- [12] H. J. Kim, J. H. Lee, S. Y. Park, W. J. Lee and J. D. Lee, "Implementation of Unmanned Aerial Vehicle 3D path in urban environment", *Proceedings of 2021 KIIT Conference, Korea*, pp.302-305, 2021.
- [13] Naver map [Internet], NAVER, Available From: <https://map.naver.com/> (accessed July 2022)

김 지 은(Ji-Eun Kim)

[정회원]



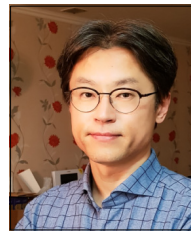
- 2010년 2월 : 경희대학교 건축공학과(공학사)
- 2012년 8월 : 경희대학교 건축학과(공학석사)
- 2017년 12월 : 경희대학교 건축학과 박사수료
- 2013년 11월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 미래스마트건설연구본부

<관심분야>

건설 ICT 융합, Digital Twin, BIM/GIS, 3차원 드론 자율 비행, 시스템 기반 재난 대응

윤 준 희(Jun-Hee Youn)

[종신회원]



- 1998년 8월 : 연세대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2006년 8월 : Purdue University, Dept of Civil Eng. (Engineering Ph.D)
- 2007년 5월 ~ 2012년 1월 : 삼성 SDS 수석컨설턴트
- 2012년 2월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 연구위원

<관심분야>

GIS, Feature Extraction, Computer Vision