

건축유산의 디지털 기술 활용에 관한 국제 연구동향 분석 : CIPA2023 국제심포지엄 사례를 중심으로

Analysis of International Research Trends in the Utilization of Digital Technologies for Architectural Heritage: A Case Study of the CIPA2023 International Symposium

강혜리

Kang, Hye Ri

(한국전통문화대학교 문화유산산업학과 석사과정)

이종욱*

Lee, Jong Wook

(한국전통문화대학교 문화유산산업학과 교수)

Abstract

Based on my attendance at the CIPA International Symposium(CIPA2023) organized by the International Scientific Committee on Heritage Documentation(ICOMOS), this paper explored research cases applying digital technologies, including BIM, to architectural heritage. The researches presented at this symposium were categorized into specific areas: data acquisition, data management, data sharing&experience. Through this classification, an analysis of research cases in architectural heritage utilizing digital technology was conducted. By categorizing the 43 academic papers from the CIPA2023 based on research themes, trends in the digital architecture field were analyzed, providing insights into future research directions for the digital acquisition, management, sharing, and experiential aspects of Korean architectural heritage. In conclusion, it is deemed necessary to reference and supplement the methodologies, including algorithms, workflows, and approaches developed in each study, to effectively apply methodologies suitable for the characteristics of Korean architectural heritage and its data.

주제어 : HBIM, 건축유산기록, 건축유산관리, 건축유산콘텐츠

Keywords : HBIM, Heritage Documentation, Heritage Management, Heritage Contents

1. 서론

1-1. 연구 배경 및 목적

최근 국내외에서는 건축유산의 수리, 보존, 그리고 재사용을 위해 다양한 디지털 기술이 활발하게 적용되고 있다. 건축유산 데이터의 기록, 관리, 공유, 그리고 체험을 위해서는 3D 스캐닝, BIM(Building Information

Modeling), AI(Artificial Intelligence), GIS(Geographic Information System), 가상증강현실 등이 효과적으로 활용되고 있다. 이러한 디지털 기술들은 건축유산의 보존과 활용 사이에 발생하는 다양한 문제를 해결하는 방안일 뿐만 아니라 지속 가능성을 위한 산업적 활용의 방법이 되고 있다.

특히 BIM은 건축물의 생애주기 전체에 걸친 정보의 생성, 저장, 관리, 그리고 분석을 지원하는 디지털 기술로서, 건축유산 분야에서 이해관계자들이 효과적으로 정보를 공유하고 소통하는 데 큰 역할을 하고 있다. 3D 스캐닝은 레이저 스캐너, 구조 광학 스캐너, 사진측량 등을 활용하여 물체의 형상과 표면 정보를 수집하

* Corresponding Author : bellee21@nuch.ac.kr

이 연구는 2020년도 한국전통문화대학교 교원학술연구 지원사업의 지원을 받아 수행됨.

이 연구는 문화재청의 재원으로 국립문화재연구소의 지원을 받아 수행됨. (No. 2021A02P01-001, 역사문화환경 보존을 위한 H-BIM 지능형 목조 건축 모델링 기술 개발)

고 이를 3차원적으로 표현하는 기술이다. 이를 통해 건축물의 정확한 모델링과 문서화, 가상 현실 및 증강 현실 환경의 구축, 정밀한 분석, 재사용 및 재건축 계획 등이 가능하다.

GIS는 지리적 공간 데이터를 수집, 저장, 분석, 표현하는 시스템으로서, 건축유산의 위치기반 데이터의 수집과 관리에 활용될 수 있다. AI는 건축유산 이미지 데이터 분석 및 패턴인식, 건축유산 문서데이터의 자연어 처리 및 분석 단계에 효과적으로 활용될 수 있다. 또한 가상 에이전트를 통해 건축유산 데이터를 공유하고 확산시키는 데 활용될 수 있다. 마지막으로 가상증강현실을 통해 기록한 데이터를 시각화하고 체험 및 시뮬레이션을 지원할 수 있다. 이러한 디지털 기술들은 건축유산 분야에서 발생하는 다양한 과제를 해결하고, 지속 가능한 방향으로 산업적 활용을 촉진하는 중요한 수단으로 자리 잡았다.

따라서 본 연구에서는 2023년 6월 이탈리아 피렌체에서 개최된 CIPA 국제심포지엄에 참석한 경험을 기반으로, BIM을 비롯한 디지털 기술을 건축유산에 적용한 연구 사례들을 살펴보고 분석하고자 한다.

1-2. CIPA Heritage Documentation

CIPA는 1968년 ICOMOS(국제 기념물 유적 협의회)와 ISPRS(국제 사진측량 및 원격 탐사 협회)에 의해 공동 설립되어 문화유산의 문서화·이해·보존에 관심을 가지는 연구자, 전문가, 현장 관리자들의 교류를 위해 중요한 역할을 해왔다. 본래 CIPA는 Comité International de Photogrammétrie Architecturale(International Committee on Architectural Photogrammetry)의 약어였으나, 활동 범위가 확장됨에 따라 CIPA Heritage documentation(이하 CIPA)으로 불리고 있다. 현재 정회원 40여 개국 756명이 등록되어 있고, 지침 개발과 더불어 학술대회, 콜로키움, 씬머스쿨 등 기술 자문, 교육, 전문가 교류 활동을 이어오고 있다.

CIPA 국제심포지엄(CIPA Heritage Documentation Symposium)은 헤리티지 기록, 보존, 문서화, 정보관리, 콘텐츠화 경험을 공유하며 발전 방안을 모색하기 위해 2년 주기로 개최되며, 고고·건축·미술·역사학자, 큐레이터 등 디지털 헤리티지 전문가·학생 300명 이상이 참석하고 있다. 올해 개최된 국제심포지엄에서도 기념물, 즉 건축물을 대상으로 스캐닝 등을 활용한 디지털 기록, HBIM, AI(Artificial Intelligence) 등을 활용한 데이터 관리, GIS(Geographic Information System) 등을

활용한 데이터 공유 및 체험에 관한 연구발표가 주를 이루었다. 데이터베이스 및 데이터 플랫폼 관련 연구는 대부분 건축물의 객체 정보관리를 대상으로 진행되었다.

2023년, 올해에는 “Documenting, Understanding, Preserving Cultural Heritage: Humanities and Digital technologies for Shaping the Future”를 주제로 이탈리아 피렌체에서 개최되었다. 피렌체 대학, 밀라노 대학, 베네치아 대학에서 공동 주최하였고, 다음 순서인 2025년에는 한국(서울)에서의 개최가 확정되었다.

CIPA2023 국제심포지엄은 다음과 같은 세부 주제로 나누어 학술발표를 진행하였다.

- Virtual, augmented and extended reality and cultural heritage 3D reproduction
- Photogrammetry for cultural heritage digitization
- Digital twins, data management, standards
- Digital heritage diagnostic and preservation
- Documenting archaeological sites
- 3D technology supporting heritage management and conservation
- HBIM for built heritage
- Laser scanning and mobile mapping for cultural heritage digitization
- Social data management and 3D documentation for intangible heritage
- Artificial intelligence and documentation of cultural heritage
- Training experiences and technologies changing education
- GIS, WebGIS, sharing information and 3D data
- AI and NeRF for 3D reconstruction
- Changes- heritage at risk
- Strategies for the documentation of complex sites and artifacts
- New technologies for new museum's accessibility

또한 학술발표가 진행되기에 앞서, “Underwater photogrammetry for mapping, documenting, and preserving submerged heritage”, “Web-based sharing, utilization, and management of 3D point clouds. From straightforward viewers to complicated platforms to online 3D information systems”, “VR/AR”, “Image and range-based micro survey”, “Point cloud semantic

segmentation using ML/DL approaches”로 총 다섯 가지 사전 워크샵이 진행되었다.

2. 건축유산의 디지털 기술 활용 연구

2-1. 카테고리 및 키워드 분석

본 논문에서는 CIPA2023 국제심포지엄에서 발표된 학술논문 중 일부를 선정하여 연구 주제에 따라 데이터 획득, 데이터 관리, 데이터 공유 및 체험으로 나누었으며, 각 대분류를 3가지 카테고리로 세분화하여 디지털 건축 분야에서의 연구 동향을 분석하였다. CIPA2023에서는 250여 건의 연구가 발표되었고, 본 연구에서는 직접 참관한 학술발표 중 BIM을 비롯한 다양한 디지털 기술을 활용하고 역사적 건축물이나 경관을 대상으로 진행된 프로젝트 34건을 선정하였다.

표 1. 디지털 기술을 활용한 건축유산 연구 분류(안)

	카테고리	설명
데이터 획득	Cultural Heritage Documentation and Records	건축유산의 문서화, 기록, 관리에 대한 연구
	Surveying and Data Collection	건축물 측량과 다양한 데이터 수집 기술에 관련된 연구
	3D Modeling and Simulation	3D 모델링 기술과 시뮬레이션을 활용하는 연구
데이터 관리	Data and Information Management	건물 정보와 데이터 관리, 정보 시스템에 관련된 연구
	AI and Data Processing	기계 학습 기법과 정보 처리 기술에 관련된 연구
	Databases and Ontology ¹⁾	데이터베이스와 온톨로지 기술을 활용하는 연구
데이터 공유 및 체험	Visualization and Interaction	데이터 시각화와 상호작용 기술에 관련된 연구
	Digital Technology and Simulation	디지털 기술과 시뮬레이션 기법을 활용하는 연구
	Interface and Miscellaneous Technologies	사용자 인터페이스와 기타 기술에 관련된 연구

이들 논문은 BIM이나 데이터베이스, GIS, AI 등 디지털 기술과 관련된 키워드를 가지고 있어, 키워드와 연구 주제를 참고하여 표 1과 같이 새로운 분류를 설정하였다. 데이터 획득, 데이터 관리, 데이터 공유 및

1) 지식 표현과 처리를 위한 구조적인 체계를 의미하며, 어떤 도메인이나 주제 영역에서의 개념, 개체, 관계, 속성 등을 형식적으로 정의하고 표현하는 방법을 제공한다.

체험으로 나눈 대분류 안에서 각각 3가지 카테고리를 갖는다.

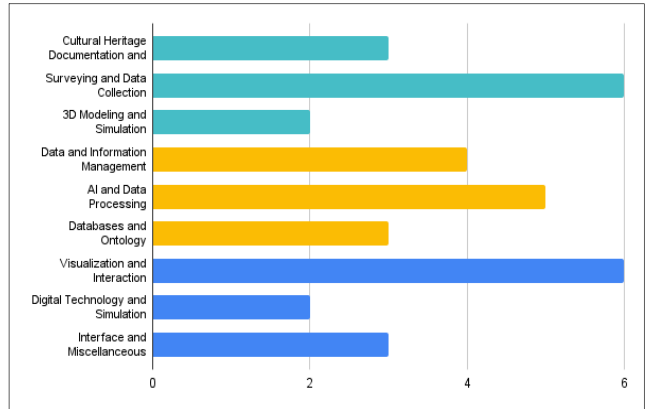


그림 1. 카테고리에 따른 논문 수량 도출 결과

그림 1과 같이, 결과적으로 Surveying and Data Collection과 Visualization and Interaction에 해당하는 연구가 각 6건으로 가장 많았고, 이어 AI and Data Processing에 5건, Data and Information Management에 4건의 연구가 해당되었다.

건축 분야에서도 다른 문화유산들과 마찬가지로, 건축물을 대상으로 한 3D 모델링, 시뮬레이션, 데이터 설계 및 관리 등 필요에 따라 다양한 기술을 적용하고 있었다. 대상 건축물을 포함한 주변 경관까지 데이터를 취득하고 아카이브하여 이를 시뮬레이션하고 콘텐츠화하는 등 연구 분야가 다방면으로 확장되었음을 알 수 있었다.

이어지는 3, 4, 5장에서는 위 카테고리에 따라 분류된 연구를 대상으로 요약 및 한계점 분석을 진행하고, 이를 통해 건축유산을 대상으로 한 데이터 획득, 데이터 관리, 데이터 공유 및 체험 관련 연구 동향을 살펴본다.

3. 데이터 획득

3-1. Cultural Heritage Documentation and Records

‘Cultural Heritage Documentation and Records’에는 건축유산의 문서화, 기록, 관리에 관한 연구들이 포함된다. 이들은 건축유산과 관련된 문서, 사진, 도면 등의 기록을 디지털화하거나 건축유산을 3D 모델로 재현하는 과정에 대해 다루고 있다. 다양한 디지털 기술을 통해 얻은 데이터를 BIM 모델에 적용하거나, 아카이브 플랫폼을 제작함으로써 건축유산의 문서화와 기록 및 관리 방안을 제시하기도 하였다.

이러한 분야에서 선정된 이 논문(K. A. Adiputri, 2023)은 역사적 건조물의 보존 및 복원을 돕는 Historic Structure Report(HSR, 역사적 건축물 보고서)의 접근성을 높이기 위해 Digital Historic Structure Report(DHSR)로 변환하는 과정에서 BIM을 적용하였다.

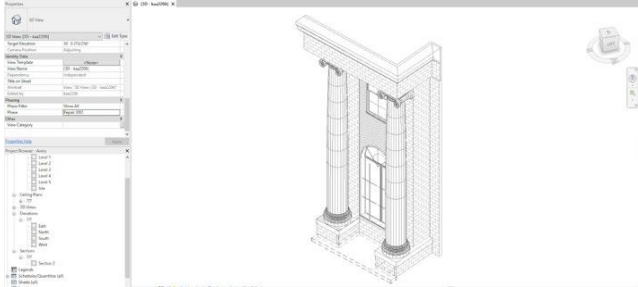


그림 2. BIM에서 다양한 시공 단계를 대신 라인으로 표현하여 건물의 역사 정보를 전달 및 관리하고자 함 (K. A. Adiputri, 2023)

BIM은 시각 정보와 데이터 간 연결을 도우며 HSR 프로세스를 향상시킬 수 있으며, 물리적 한계를 보완하거나 대체하는 데 기여한다. 이를 통해 DHSR의 효과적인 응용을 위한 프로토콜을 제시하고, 디지털 데이터를 활용한 역사적 건축물의 보존·관리에 대한 새로운 방법을 제안하였다. 또한 Avery Library²⁾를 포함하는 샘플 BIM 모델을 개발하여 BIM의 잠재력과 한계를 설명하였다.³⁾

다른 연구(J. Liu et al., 2023)는 Rosenwald Schools⁴⁾의 디지털 문서화와 보존을 위해 진행되었다. Matterport⁵⁾를 활용하여 몰입형 가상 투어를 제작했고 고해상도 이미지로 HBIM을 향상시키는 방법론을 제시했으며, 이를 통해 대상 유산의 디지털 보존을 위한 프레임워크를 제안하였다. 연구자들은 해당 방법론이 다른 문화유산 프로젝트에도 적용 가능하며 역사 및 문화적 가치를 보존하는 데 중요한 역할을 할 것이라고 주장하였다.⁶⁾

2) Avery Architectural&Fine Arts Library. 미국 뉴욕에 위치한 콜롬비아 대학교의 도서관 중 하나로, 건축, 미술, 도시계획 등에 중점을 둔 도서 및 자료를 보유하고 있다.

3) K. A. Adiputri, *Digital Historic Structure Report(DHSR): A Building Information Modelling(BIM) Utilization Strategy in Historic Preservation*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.

4) 20세기 초, 지역으로 인한 교육 불평등을 해소하고자 미국 남부 아프리카계 아이들을 위해 지어진 학교들로, 미국 역사에서 중요한 교육 시스템의 일부로 간주된다.

5) 3D 스캐닝 및 가상 투어 플랫폼을 제공하는 기업으로, 실제 공간을 디지털화하고 사용자가 몰입형 가상 투어를 경험할 수 있는 기술을 개발하고 있다. 이는 공간 설계, 구축, 홍보 등으로 활용된다. (<https://matterport.com/ko>, 검색일: 2023.12.20.)

또 다른 연구(E. P. Canevese et al., 2023)에서는 베네치아의 역사적 건축유산 복원 프로젝트와 방법론에 관한 것이다. 이 연구자들은 기존 모델링 방식은 건축 구조의 현실적인 변형과 불규칙성을 재현이 어렵다고 주장했다. 정밀한 3D 모델링을 위해 기존의 벽돌, 구조, 장식 요소를 정확하게 분류하는 시스템이 필요하므로, 건축유산의 3D 모델을 실제와 같이 밀리미터 단위의 정확도로 재현하기 위한 새로운 접근 방식을 연구하기 위해 레이저 스캐너와 같은 기술 도입 및 데이터 수집을 제안하였다. 결과적으로 Santa Maria Assunta 대성당의 LIM(LiDAR Information Modeling)을 활용하여 평균 정확도 ± 2.5 mm의 결과를 얻음으로써 문서화 및 건축 조사 연구를 위한 정밀한 3D 모델링 기술의 효과적인 활용을 보여주었다. 이는 건축유산의 정밀 모델링과 예측 분석 가능성을 보여주며, 새로운 디지털 기술을 기반으로 건축물의 설계, 건설, 관리를 개선방안이 될 수 있음을 입증한다.⁷⁾

3-2. Surveying and Data Collection

‘Surveying and Data Collection’에는 건축유산의 데이터를 수집하는 방법을 포함하여 그 과정에서 사용되는 도구, 측량 기술, 조사 방법 등에 대한 연구들이 해당된다. 이들은 지리 정보 시스템(GIS)과 관련하여 위치 데이터를 수집하고, 드론, 360° 카메라 등을 이용한 사진측량 기술이나 LiDAR⁸⁾, Matterport 등을 이용한 스캐닝을 통해 현장에서 데이터를 수집하는 방법과 기술을 다루었다.

이러한 분야에서 선정된 이 논문(J. M. Gómez-López et al., 2023)은 스페인 Jaén에 위치한 Santo Domingo 수도원 모델링을 위해 지오메트릭 기법⁹⁾을 적용한 방법과 그 결과를 설명하였다. 현장 도면 및 사진의 문서화, HBIM 개발, 결과물 보급 및 공유를 위해

6) J. Liu · G. Bird · D. S. Willkens · R. A. Burt · H. McGonagill, *Preserving the History of African American Education: Digital Documentation of Rosenwald Schools - A Case Study on the Tankersley School in Hope Hull, Alabama, USA*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.

7) E. P. Canevese · R. Cuttini · I. Bertani, *Advanced, Multidisciplinary, Interoperable Digitisation of Cultural Heritage and User-Friendly Use of the Results: Case Study of the Cathedral of Santa Maria Assunta in Cividale del Friuli (UD)*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.

8) Light Detection and Ranging. 레이저를 사용하여 거리를 측정하는 기술을 의미한다.

9) 기하학적 원리와 도구를 사용하여 데이터를 분석하고 처리하는 기술을 의미한다.

지오메트릭 기법을 활용하여 취득한 데이터를 융합하는 방법을 연구하였다. 또한 TLS(지상 레이저 스캐닝), RPAS¹⁰⁾ 사진 촬영 및 구(球)면 카메라를 사용한 지상 사진 촬영을 활용하여 현실적인 3D 모델을 제작했고, 이를 기반으로 HBIM, 인터랙티브 가상 투어, 360도 웹 가상 투어 등 결과물의 문서화 및 보급을 위한 여러 응용 프로그램을 개발하였다.¹¹⁾

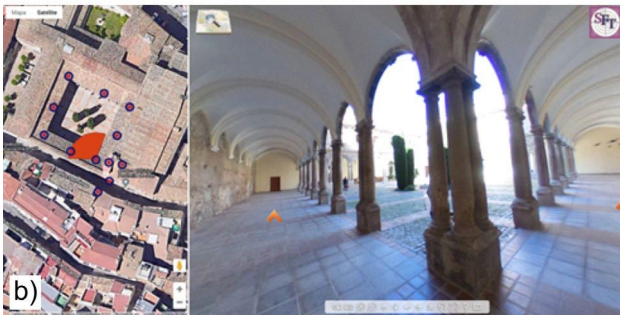


그림 3. 해당 연구에서 획득한 데이터로 구현한 a) Unity 기반 인터랙티브 가상 투어, b) 360° 가상 투어 (J. M. Gómez-López et al., 2023)

다른 연구(J. Liu et al., 2023)에서는 HBIM 개발을 위해 스페인 발렌시아의 코르푸스 크리스티 신학교 왕립 대학교 수도원 회랑을 사례 연구로 진행하였다. 이들은 TLS와 Matterport 스캔에서 얻은 포인트클라우드 데이터를 양적·시각적으로 평가하여 데이터의 품질과 정확성을 비교하였다. 결과적으로 Matterport 데이터는 TLS 데이터보다 품질과 정확성이 낮지만, HBIM 모델의 낮은 허용 오차 지오메트리를 개발에는 충분하다는 것을 입증해낸다. 따라서 Matterport 기술은 자원이 제한된 문화유산 지역에 적합한 선택지로 여기며,

10) Remotely Piloted Aircraft System, 원격 조종 항공기 시스템. 무인 항공기나 드론을 포함하는 개념으로, UAV(Unmanned Aerial Vehicle) 또는 UAS(Unmanned Aircraft System)로도 불린다.

11) J. M. Gómez-López · J. L. Pérez-García · A. T. Mozas-Calvache · D. Vico-García, *Documentation of Cultural Heritage Through the Fusion of Geomatic Techniques. Case Study of the Cloister of "Santo Domingo" (Jaén, Spain)*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.

빠르고 효율적인 조사 프로세스가 필요한 경우에 사용할 것을 추천하였다. 해당 연구자들은 색상과 질감을 포함한 고품질 시각 데이터를 캡처하고 제공하며, TLS와 통합함으로써 더 포괄적이고 정확한 모델 생성에 도움을 줄 것이라고 주장하였다.¹²⁾

이외에도 이탈리아 우주국(Agenzia Spaziale Italiana ASI)의 합성 개구송파 레이더(Synthetic Aperture Radar, SAR)¹³⁾ 위성 군집인 COSMO-SkyMed의 문화유산 분야 활용 연구¹⁴⁾, Direct Georeferencing¹⁵⁾ 기술을 사용한 사진측량 응용 프로그램에서의 이미지 획득 방안 연구¹⁶⁾, 역사·문헌·기록·그림에 따른 조사 대상물의 구조적 해석과 모델링에 중점을 두어 건축물의 고고학 데이터에 대한 디지털 파라메트릭 접근 방법 연구¹⁷⁾, 건축유산의 복원·재사용·유지·관리 계획 수립을 위한 디지털 트윈 모델의 활용 연구¹⁸⁾ 등이 진행되고 있다.

3-3. 3D Modeling and Simulation

‘3D Modeling and Simulation’에는 3D 모델링 기술과 시뮬레이션에 관련된 연구들이 포함된다. 이들은 현존하거나 문헌들로 구현할 수 있는 건축유산 및 주변 경관을 가상으로 재현하고 모델링하며, 모델링 과정의 간소화 방법을 연구하였다. 구현된 3D 모델로는 다양한 시나리오나 조건을 시뮬레이션하며 결과를 예측하거나 시각화하였다.

12) J. Liu · D. Willkens · C. López · L. Cortés-Meseguer · J. L. García-Valdecabres · P. A. Escudero · S. Alathamneh, *Comparative Analysis of Point Clouds Acquired from a TLS Survey and a 3D Virtual Tour for HBIM Development*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.

13) 위성이나 비행체에 부착된 레이더 시스템으로, 지구의 표면을 고해상도로 관측하는 데 사용되는 센서다.

14) M. Virelli · A. Coletta · D. Tapete · F. Cigna, *COSMO-SKYMED: A Satellite Tool for Monitoring Cultural Heritage*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.

15) 항공사진이나 위성 영상의 지리적 위치를 정확하게 결정하는 기술로, 높은 정확도와 신속한 결과물 제공이 요구되는 환경에서 효과적으로 활용된다.

16) L. Teppati Losè · F. Chiabrando · P. Maschio, *Direct Georeferencing Approaches for Close-Range and UAV Photogrammetry in the Built Heritage Domain*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.

17) P. D'Agostino · G. Antuono · E. Elefante · R. Amore, *Digital Management for the Restoration Project. The Case of the Temple of Venus in Baia*, Volume X-M-1-2023, 2023.

18) J. García-León · P. Murrieri · P. E. Collado-Espejo, *HBIM as a Tool for the Analysis and Conservation of Architectural Heritage. Case Study: The Rame Tower's Digital Twin*, Volume X-M-1-2023, 2023.

해당 분야에 속한 이 연구(O. Roman et al., 2023)에서는 건축, 공학 및 건설 분야에서 BIM 및 HBIM 모델의 활용성이 증대에 반해 건축유산의 다양하고 복잡한 요소 모델링이 어렵기 때문에, 3D 측량 데이터와 포인트클라우드 데이터의 분류를 통한 준자동 접근 방법론을 제안하였다. 결과물로는 사용자 정의가 가능한 BIM 및 HBIM 모델링 시각 프로그래밍 노드 몇 가지를 보여주며, 해당 프로그래밍 노드를 활용하여 복잡한 건축 요소 모델링의 시간을 절약하고, 모델링 단계를 자동화하여 효율성을 높일 수 있음을 보였다.¹⁹⁾

다른 연구(M. Garramone et al., 2023)에서는 이탈리아 Como의 Basilica di San Giacomo에서 진행 중인 복원 및 보존 프로젝트를 중심으로 기록화 및 모델링 방식을 논하고 있다. 해당 프로젝트는 2022년에 시작되어 Scan-to-BIM 방식을 기반으로 한 HBIM 모델을 다루는데, 고해상도 3D 기술을 사용하여 건물의 정확한 형상을 캡처하고 다양한 모델링 전략을 통해 모든 건축 요소를 HBIM 환경에서 나타낼 수 있게 했다. 이들은 해당 모델을 복원 작업 계획을 지원하고 건설 중의 모든 정보를 전문가들에게 제공하는 단일 3D 도구로 활용하고자 하였다.²⁰⁾

4. 데이터 관리

4-1. Data and Information Management

'Data and Information Management'에는 건물 정보와 데이터 관리 프로세스나 시스템 관련 연구들이 포함되었다. 건축유산을 대상으로 다양한 종류의 데이터를 효율적으로 수집 및 관리하며, 필요에 따라 해당 정보에 접근하고 이를 활용하는 과정을 다루고 있다. GIS와 BIM 등 다양한 기술을 활용하여 취득한 데이터를 관리하기 위한 방법론을 제시하기도 하였다.

이러한 분야에서 선정된 이 논문(K. Argasiński et al., 2023)은 문화유산 보존에의 BIM 적용 어려움에 대해 이야기했다. 문화유산에 대한 BIM 활용 방법에 대해 국제적으로 표준화된 워크플로우가 아직 없으며, 각

문화유산은 물리적·비물리적 속성(역사적, 문화적 특성 등)에 따라 다양한 정보가 필요하다. 이에 따라 문화유산에 대한 측정과 문서화 작업에서 고도의 전문 지식과 이해력이 필요한데, 이러한 전문가들과 건설 산업의 협업을 향상시키기 위해 BIM을 문화유산 자산 등록에 적용하는 데 필요한 워크플로우와 표준 프로토콜을 개발하는 것이 중요하다고 강조하였다. 그렇기 때문에 해당 프로젝트에서는 다양한 측정 방법을 사용하고, 포인트클라우드의 등록 및 기하학 정보를 BIM에 적합한 3D 정보 모델로 전환하며 지속 가능한 데이터 관리를 선보이고자 하였다.²¹⁾

다른 연구(S. Scandurra et al., 2023)에서는 HBIM을 구현하기 위한 표준(OpenBIM)의 중요성을 강조하며, 고유성과 복잡성을 다루는 방법을 제시했다. 이 방법론은 bsDD(buildingSMART Data Dictionary)²²⁾를 사용하여 BIM 모델에 구체적인 표면 및 재료의 보존 상태 정보를 추가하고 IFC(Industry Foundation Classes)²³⁾ 뷰어에서의 공유를 지원한다. 이들은 역사적 건축물의 복잡성과 보존 상태 정보의 중요성이 HBIM 모델링에 더 높은 수준을 요구하며 다양한 학술 분야 및 소프트웨어 간의 상호 운용성을 개선할 것이라고 주장했다. 또한 건축물 보존에 관련된 데이터를 표준화하고 최적화하는 과정을 단순화할 수 있고 이러한 정보는 인공지능 및 데이터 분석에 활용되어, 더 효과적인 건물 보존을 지원할 수 있다고 하였다.²⁴⁾

이외에도 역사적 환경의 지속 가능성을 위해 항공 및 지상 이미지 데이터의 연결성을 고려한 모델 재구성 연구²⁵⁾, HBIM을 활용한 지층 항목(Stratigraphic Units, SUs)의 표현과 건축 고고학 분석의 3차원 커뮤니케이션 연구²⁶⁾ 등이 수행되었다.

21) K. Argasiński and P. Kuroczyński, *Preservation Through Digitization - Standardization in Documentation of Build Cultural Heritage Using Capturing Reality Techniques and Heritage/ Historic BIM Methodology*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.

22) bSI(buildingSMART International)에서 제공하는 표준으로, 건설 산업과 관련된 객체 개념 및 속성에 대한 라이브러리 역할을 한다.

23) 건축 및 건설 산업에서 사용되는 개방형 국제 표준이다.

24) S. Scandurra and A. di Luggo, *BSDD to Document State of Preservation of Architectural Heritage in Open-HBIM Systems*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.

25) M. Previtali · L. Cantini · L. Barazzetti, *Combined 360° Video and UAV Reconstruction of Small-Town Historic City Centers*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.

26) C. Stanga, *Stratigraphic Units Inside Heritage Building Information Model: A Novel Approach for the Representation of Building Archaeology*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.

19) O. Roman, M. Avena · E. M. Farella · F. Remondino · A. Spanò, *A Semi-Automated Approach to Model Architectural Elements in Scan-to-BIM Processes*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.

20) M. Garramone · D. Jovanovic · D. Oreni · L. Barazzetti · M. Previtali · F. Roncoroni · A. Mandelli · M. Scaioni, *Basilica di San Giacomo in Como (Italy): Drawings and HBIM to Manage Archaeological, Conservative and Structural Activities*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.

4-2. AI and Data Processing

‘AI and Data Processing’에는 인공지능과 데이터 처리 기술에 관련된 연구들이 포함되는데, 이들은 더 높은 효율성과 정확성을 달성하기 위해 인공지능을 활용하였다. 스캐닝을 통해 데이터를 취득한 뒤 처리 및 관리 과정에서 인공지능을 활용하거나 자동화 프로세스를 설계하기도 하였다.

이러한 분야에서 선정된 이 논문(M. Buldo et al., 2023)은 ICT(Information and Communication Technology, 정보 통신 기술) 분야의 발전은 보존, 관리, 강화를 위한 전략 개발 등 문화유산에 여러 방향으로 영향을 미치는데, 특히 3D 데이터 획득에 사용되는 최신 LiDAR와 사진측량 스캐닝 기술을 통해 얻은 3D 데이터의 디지털화를 역사적 건물의 정확한 표현을 위한 유용한 도구로 평가했다. 그렇기 때문에 포인트클라우드 세분화 작업의 자동화와 연결된 반복적 프로세스의 시험을 목표로 하며, 오픈소스 모델의 피팅 알고리즘을 사용하여 Scan-to-BIM 방법론에서 높은 신뢰성을 입증하고자 했다. 다양한 석조 아치를 대상으로 이들의 이상적인 모델과 레이저 스캐너로 취득한 점군의 RANSAC(Random Sample Consensus)²⁷⁾ 알고리즘 파라미터를 비교하며, 불규칙한 기하학적 특성에 의해 이해, 분석, 관리의 한계 극복을 목표로 하였다.²⁸⁾

다른 연구(F. M. La Russa et al., 2023)에서는 도시 건축유산의 3D 모델링을 용이하게 하는 데 필요한 방법론을 제시했다. 이 방법론은 디지털 데이터 획득, 모델링, 의미 구조화를 짧은 시간과 저렴한 비용으로 수행하는 것을 목표로 하고, 현장 조사와 파라메트릭 모델링을 기반으로 AI 기술과 시각 프로그래밍 언어를 결합하였다. 해당 연구자들은 제시된 방법이 빠르고 효율적인 3D 도시 모델링을 가능하게 하고 편의성을 증진하며, BIM 및 GIS와 같은 다른 분석 환경으로 쉽게 전환할 수 있다고 주장하였다.²⁹⁾

이외에도 HBIM 모델링 전문 지식 및 정보의 보존

27) 이상치(outliers)를 포함하는 데이터에서 모델 추정을 수행할 수 있는 기법으로, 직선이나 평면과 같은 기하학적 모델을 추정하는 데 활용된다.

28) M. Buldo · L. Agustín-Hernández · C. Verdoscia · R. Tavolare, *A Scan-to-BIM Workflow Proposal for Cultural Heritage. Automatic Point Cloud Segmentation and Parametric-Adaptive Modelling of Vaulted Systems*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.

29) F. M. La Russa · E. Grilli · F. Remondino · C. Santagati · M. Intelisano, *Advanced 3D Parametric Historic City Block Modeling Combining 3D Surveying, AI and VPL*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.

과 공유를 위한 Semantic Web(시멘틱 웹)³⁰⁾ 기술 활용 방법론 연구³¹⁾, 건물 생애주기 동안의 변화를 추적하며 역사적 유물의 변형 정보를 관리하기 위한 지상 레이저 스캐닝 및 이미지 처리 루틴 개발 연구³²⁾, 건축 유산을 FEM(유한요소모델, Finite Element Model)³³⁾으로 변환하기 위한 ‘Cloud-to-BIM-to-FEM’ 방법론 연구³⁴⁾ 등이 진행되었다.

4-3. Databases and Ontology

‘Databases and Ontology’에는 데이터베이스와 온톨로지 기술을 활용하는 연구들이 포함된다. 데이터베이스의 구조를 설계하고 데이터 간 관계를 정의하는 연구를 진행하거나, 데이터의 표준화 및 품질관리를 위한 방법론을 제시하였다. 이들은 다양한 데이터를 효율적으로 조직화함으로써 정확하고 신뢰할 수 있는 건축 정보를 효과적으로 관리하고 활용하고자 하였다.

이러한 분야에서 선정된 이 논문(R. Quattrini et al., 2023)은 기하학적 복잡성과 표준화의 부재로 인해 석조 아치(Vault) 모델링이 HBIM 적용 과정에서 겪고 있는 어려움을 이야기하고 있다. 이탈리아 르네상스 시대 Vault의 다양한 유형을 설명하고 관리할 수 있는 온톨로지 정의를 기반으로, 우르니보 공작 궁을 HBIM으로 구현하는 맥락에서 Vault 표현의 두 가지 방법을 제시했다. 첫 번째는 Revit의 적응형 패밀리를 활용한 간소화된 반자동 Scan-to-BIM이고, 두 번째는 Dynamo VPL의 복잡하고 파라미터화된 스크립팅이었다. 연구자들은 대상물에 적합한 패밀리 라이브러리를 제안하였고, 생성된 모델과 측정된 점군과의 비교를 통해 절차

30) World Wide Web Consortium(W3C)에서 제안한 컴퓨터와 사람 간 데이터 상호 작용을 개선하고자 하는 웹 기술의 집합으로, 웹상의 자원과 정보에 의미를 부여하여 이해 및 검색을 돕는다.

31) O. Rosignoli, *HBIM-Based Information Sharing for the Exchange and Safeguard of Modelling Expertise*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.

32) M. D. Robador González · J. E. Nieto-Julián · P. M. Millán-Millán · A. Galera-Rodríguez · S. Bruno · D. Debenedictis · J. Moyano, *Management Properties and Procedures in the Information Model of the Historic Building HBIM on Building Facades*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.

33) 복잡한 물리적 시스템이나 구조물을 해석하기 위한 수치 해석 방법의 하나인 유한요소법을 활용한 모델링이다. 일반적으로는 FEM(Finite Element Method)으로 유한요소법을 의미하지만, 해당 논문에서는 유한요소모델을 의미하고, 유한요소법은 FEM methodology로 표기한다.

34) P. Martínez-Carricondo · J. M. Casimiro-Bernández · F. Agüera-Vega · F. Carvajal-Ramírez, *Structural Weakness of the Twenty Eyes Aqueduct in the Wadi of Carcauz (Almeria, Spain)*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.

를 평가하고 있다. 결과적으로 Revit 적응형 패밀리가 구현이 가장 쉽고 효율적인 방법이었고, Dynamo는 복잡한 형상을 제공했지만, 구현 과정에서 어려움과 한계가 있었다.³⁵⁾

다른 연구(M. Lasorella et al., 2023)에서는 역사적 지역의 복원 계획에 관한 내용을 다루었다. 계획 수립을 위해 해당 지역 내 건물들의 우선 순위와 개입 방법 결정이 필요한데, 이 과정에서 다중 단계·주제 접근 방식의 필요성을 주장했다. 또한, 기존의 도구와 프로토콜은 데이터 분석 과정에서 복잡성과 높은 비용으로 문제가 있었지만, 최근의 과학적·실용적 연구는 파라미터 디지털 모델과 정보 시스템을 기반으로 하는 접근 방법론으로 해결 가능성을 제시했다. 이 연구에서는 건물 정보를 정성·정량 데이터로 변환하고, 도시 및 건축물의 기하학적·의미적 표현을 위한 온톨로지와 관련 기술 지식을 구조화하는 방법을 제시했다. 그리고 이를 통해 이탈리아의 역사적 지역인 Ascoli Satriano의 건물 클래스를 반자동으로 설정하기 위한 워크플로우를 소개하는데, 이 워크플로우는 CityGML³⁶⁾ 기반 모델과 기술 의사 결정 지원 시스템(Technical Decision-Support System, T-DSS)을 사용하여 일관되게 구현함으로써 역사적 지역의 보존 상태 평가 및 관리를 지원하고자 하였다.³⁷⁾

또 다른 연구(J. Xu et al., 2023)에서는 중국 동부 철도(Chinese Eastern railway, CER)의 훼손된 부분을 재구성하기 위해 원본 도면과 현장 조사를 기반으로 구조적 특징을 분석하고, 유산의 보존과 강화를 위해 HBIM과 GIS를 통합한 방법을 제안하였다. 또한, 현장 GNSS(Global Navigation Satellite System)³⁸⁾ 기록 및 Google Earth를 사용하여 유산의 지리 좌표를 수집 후 이러한 정보를 통합한 데이터베이스를 구축하고자 하

는데, 이 데이터베이스는 보존 계획 수립 및 온라인 전시를 통해 대중에게도 제공 예정임을 밝혔다.³⁹⁾

5. 데이터 공유 및 체험

5-1. Visualization and Interaction

‘Visualization and Interaction’에는 데이터 시각화와 상호작용 기술에 관련된 연구들이 포함된다. 이들은 데이터를 시각적으로 표현하고 사용자와의 상호작용을 통해 정보를 전달하고 이해하는 기술을 다루고 있다. 시각화나 인터랙션 기술을 구현하거나 환경 모니터링을 위해 위성 영상이나 GIS를 활용하기도 하였다.

이러한 분야에서 선정된 이 논문(A. Spreafico et al., 2023)은 문화유산의 훼손을 대비한 문서화의 중요성에 대해 강조하며, 디지털 기술과 3D 모델링을 활용하여 문화유산을 연구하는 방법에 대해 다루었다. 특히 세계 박람회의 건축물과 같이 이미 사라진 건조물에 대해 3D WebGIS 애플리케이션을 개발하여 정보를 온라인으로 공유하고, 디지털 인문학 연구를 위한 작업 환경을 제공하는 첫 번째 디지털 프로젝트인 “Turin 1911⁴⁰⁾”을 소개하였다. 3D WebGIS와 GIS-BIM 애플리케이션을 웹으로 통합하여 Turin 1911 프로젝트의 문서화 및 연구 방법을 설명하고, 이러한 애플리케이션의 장점과 개선 방안을 논의했다. 이를 통해 3D 환경에서의 정보 공유를 포함한 디지털 인문학 연구 방법을 제시하였다.⁴¹⁾

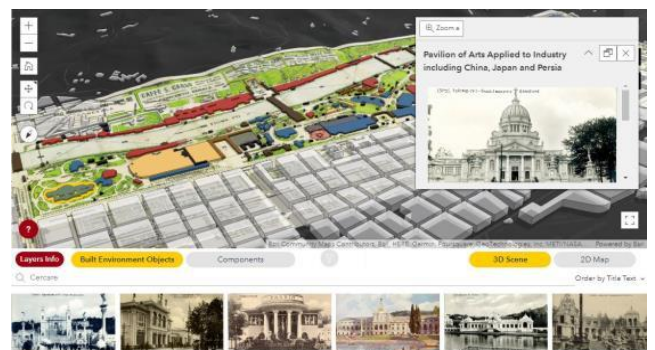


그림 4. Turin 1911의 2D/3D WebGIS 애플리케이션 (A. Spreafico et al., 2023)

35) R. Quattrini · G. L. S. Sacco · G. De Angelis · C. Battini, *Knowledge-Based Modelling for Automating HBIM Objects. The Vaulted Ceilings of Palazzo Ducale in Urbino*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.

36) 3D 도시 모델링에 사용되는 개방형 데이터 모델 및 교환 형식을 의미한다. 이는 OGC(Open Geospatial Consortium)에서 개발한 국제 표준으로, 도시 및 도시 환경의 다양한 요소를 모델링하고 공유하는데 사용된다.

37) M. Lasorella · E. Cantatore, *3D Models CityGML-Based Combined with Technical Decision Support System for the Setting Up of Digital Conservation Plans of Historic Districts*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.

38) 글로벌 내비게이션 위성 시스템은 세계적으로 사용되는 위성 기반 내비게이션 시스템으로, 위치 정보를 정확하게 제공하기 위해 지구 궤도 상에 있는 여러 위성을 활용한다.

39) J. Xu · M. Garramone · Y. Wang · M. Scaioni, *Integration of HBIM/GIS to Preserve Infrastructure Heritage Along the Chinese Eastern Railway*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.

40) <https://italyworldsfairs.org> (검색일: 2023.12.22.)

41) A. Spreafico · F. Chiabrando · C. Della Coletta, *3D WebGIS Applications for Digital Humanities Studies: The Turin 1911 Project*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.

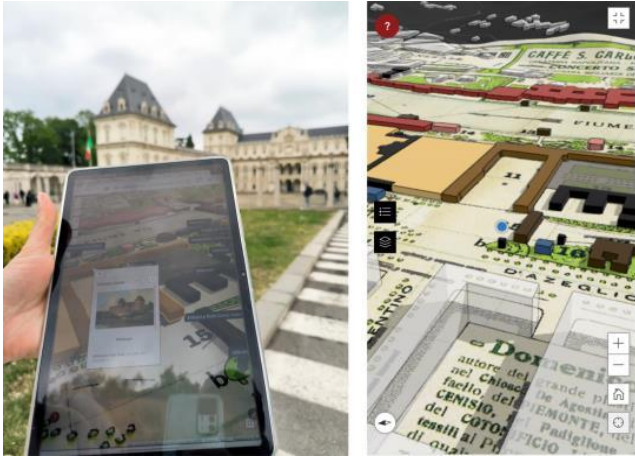


그림 5. 태블릿(왼쪽)을 사용했을 때 WebGIS(오른쪽)에서 발렌티노 공원 내 위치가 파란색으로 표현된 모습 (A. Spreafico et al., 2023)

다른 연구(Y. Zheng et al., 2023)에서는 모든 이해관계자가 BIM에 접근할 수 있도록 하고, WebGL⁴²⁾ 및 게임 엔진을 활용한 BIM 모델 시각화와 상호작용 애플리케이션 개발을 수행하였다. BIM 모델은 유산 보존에 용이하지만 모든 이해관계자가 전문 소프트웨어를 사용하기에 어려울 수 있으므로 간소화된 뷰어로 접근할 수 있도록 시도해왔다. 그러나 이는 다양한 배경을 가진 이해관계자들에게 편리하지 않았기 때문에, 웹 기반으로 구조화된 플랫폼과 게임 엔진을 사용한 BIM 모델 시각화 및 상호작용 애플리케이션 개발에 관한 사례 연구를 통해 두 가지 접근법을 비교 분석하였다. 건물의 특성, 이해관계자의 기술 배경, 유산 업무 수요, 기술적 구현 가능성 및 비용 등과 같은 다양한 요구를 분석하여 각 접근법의 장단점을 알아보기도 하였다.⁴³⁾

이외에도 복잡한 지하 구조물의 위치와 상태 기록을 목적으로 건축과 토양 등 관련 정보를 확장한 BIM 및 GIS 활용에 관한 연구⁴⁴⁾, BIM 모델이 포함해야 하는 물질·비물질 요소 정의 및 CityGML과 IndoorGML⁴⁵⁾

활용 방안에 관한 연구⁴⁶⁾, BIM 및 GIS를 기반으로 한 프로젝트의 오픈소스 웹 플랫폼 제시⁴⁷⁾, HBIM과 GIS 결합을 통한 문화유산 관광 및 이해관계자 네트워크 형성에 관한 연구⁴⁸⁾ 등이 진행되었다.

5-2. Digital Technology and Simulation

‘Digital Technology and Simulation’에는 디지털 기술과 시뮬레이션 기법을 활용하는 연구들이 포함되었다. 이들은 컴퓨터 기반의 디지털 도구(CAD, BIM, Revit 등)를 통해 건축 설계 및 모델링 과정에서 대상의 형태와 특성을 구축하고 분석했다. 또한 에너지 시뮬레이션, 구조 시뮬레이션 등을 통해 건물의 성능을 분석하거나 작업 모니터링, 건물의 운영관리 개선 등을 위한 데이터 활용을 보여주기도 하였다.

이러한 분야에서 선정된 이 논문(J. Moyano et al., 2023)은 문화유산 보존에 있어 온·습도 등의 에너지 성능과 내부의 기후가 영향을 미칠 수 있으므로, 역사적 건물에서 HBIM과 연계하여 해당 요소들을 적용함으로써 새로운 유지관리 및 예방 방법을 제안하였다. 이 연구에서 에너지 운영자와 BIM 운영자 사이의 학제적 방법론을 개발하여, 온도와 습도를 측정하는 지능형 센서를 통해 3D 모델에 에너지 파라미터를 모니터링하는 새로운 프레임워크를 구축했다. 또한, Seville의 Sacred Heart of Jesus 교회에 적용된 방법론을 소개하는데, 지형 기반 레이저 스캐너로 대상을 조사하고, 수집된 포인트클라우드를 모델 생성하여 센서를 HBIM 프로젝트에 통합하는 과정을 보여주었다. 이러한 워크플로우를 통해 교회 내부의 미세 기후 데이터를 HBIM 모델의 3D 환경에서 직접 관리하고 데이터 공유가 가능하다는 것을 증명하였다.⁴⁹⁾

다른 연구(M. Koehl et al., 2023)는 대성당의 복원

42) Web Graphics Library의 약자로, 웹 기술을 사용하여 고성능의 3D 그래픽을 웹 브라우저에서 구현할 수 있도록 하는 표준이다.

43) Y. Zheng · A. Merchant · J. Laninga · Z. X. Xiang · K. Alshaeibi · N. Arellano · H. Romaniuk · S. Fai · D. H. Sun, *Comparison of Characteristics of BIM Visualization and Interactive Application Based on WebGL and Game Engine*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.

44) F. Guzzetti · K. L. N. Anyabolu · F. Biolo · L. D’Ambrosio, *From the Digital Twin of Architectural Heritage to the Definition of the Constraint Maps. The Case Study of the Castello Sforzesco in Milan*, Volume X-M-1-2023, 2023.

45) 건축 및 공간 정보 분야에서 실내 환경을 효과적으로 모델링하고 공유하기 위한 표준으로, 건물 내부의 공간 구조, 특징, 관계 등을 정의하여 공간 데이터의 표준화와 교환을 지원한다.

46) V. Bonora · A. Meucci · A. Conti · L. Fiorini · G. Tucci, *Knowledge Representation of Built Heritage Mapping an Ad Hoc Data Model in OGC Standards: The Case Study of Pitti Palace in Florence, Italy*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.

47) E. Colucci · E. Iacono · F. Matrone · G. M. Ventura, *The Development of a 2D/3D BIM-GIS Web Platform for Planned Maintenance of Built and Cultural Heritage: The Main10ance Project*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.

48) J. L. García-Valdecabres · J. Liu, D. S. Willkens · P. A. Escudero · C. López-González · L. Cortés Meseguer · P. R. Orozco Carpio, *Development of a Virtual Itinerary with HBIM and GIS*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.

49) J. Moyano · M. Fernández-Alconchel · J. E. Nieto-Julián · D. Marín-García · S. Bruno, *Integration of Dynamic Information on Energy Parameters in HBIM Models*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.

준비 과정으로, 스트라스부르 대성당의 남동쪽 계단 타워 BIM 모델링을 활용하여 계단 타워의 상태를 진단하기 위해 진행되었다. 해당 연구는 다양한 디지털 모델로 타워의 특성을 이해하는 데 도움이 되는 요소를 제공하였다. BIM 모델은 타워의 계단을 식별하고 각 속성을 기록하는 데 사용되고, 기하학 모델은 타워의 내부를 정확하게 표현하기 위해 TLS 측량을 기반으로 변형과 균열 연구에 활용되었다. 스트라스부르 대성당은 역사적으로 여러 변화를 겪었으며 현재도 유지·보존·복원을 위해 노력하고 있는데, 연구의 결과물은 타워를 포함한 전체 건물의 BIM 모델 개발에 활용될 수 있다고 주장하였다.⁵⁰⁾

5-3. Interface and Miscellaneous Technologies

‘Interface and Miscellaneous Technologies’은 사용자 인터페이스와 기타 다양한 기술에 관련된 연구를 포함한다. 사용자와 시스템 간의 상호작용을 지원하고 다양한 기술적 측면을 다루는 분야로, 터치스크린 인터페이스, 음성 명령 인터페이스 등을 고려한 사용자 친화적인 디자인 연구도 포함되어 있다. 특히 연구자들은 건물 정보 및 기능을 모바일 앱이나 기기를 통해 사용자에게 제공함으로써, 건물의 상태 모니터링, 가상 투어 등의 데이터 활용을 보여주기도 하였다.

이러한 분야에서 선정된 이 논문(F. Fiorillo et al., 2023)은 이탈리아의 Madonna della Pace 성당의 문화적 보급 및 증진 프로젝트를 제안하였다. 이 프로젝트는 성당뿐 아니라 Cammino di Sant’ Agostino의 지식을 체험할 수 있는 예술적 경험에도 초점을 맞추고 있다.

이들은 HBIM을 활용하여 프로젝트를 수행하고자 하는데, 통합 디지털 조사를 통해 성당과 그 주변을 완전한 기하학 모델로 제공하며, 사진과 문헌자료를 연구하여 건축 유물을 보강함으로써 3D 연계 모델을 구축하고자 하였다. 이를 위해 성당의 주요 변형을 나타내는 4가지 프로젝트 단계를 식별하고 동일한 BIM 프로젝트에서 시간 파라미터를 활용하여 관리했다. 또한, VR/AR 애플리케이션의 지원을 통해 성당의 기하학적 파라메트릭 모델을 표시하고 살펴볼 수 있도록 하며, 최종적으로 AR 모바일 앱 프로토타입을 개발하여 관광객들에게 성당의 역사적 변천을 보여주고자 진행되

었다.⁵¹⁾

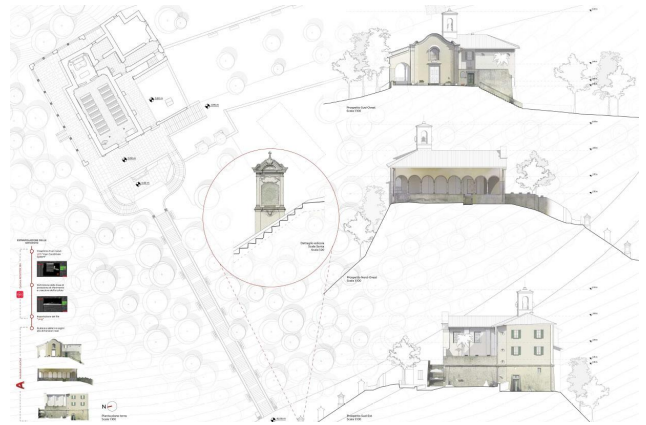


그림 6. 포인트클라우드 기반의 BIM 모델 및 기술 도면 (F. Fiorillo et al., 2023)

다른 연구(F. Spettu et al., 2023)에서는 Spring of Juturna⁵²⁾의 디지털화와 관련된 작업을 설명하였다. 이는 로마 포럼 지역에서 수행되었는데, 문화유산 관리 도구의 기술적 개선과 현장 작업자들의 증가에 따른 전문화를 강조하고, Parco Archeologico del Colosseo의 웹 기반 플랫폼인 SyPEAH가 관리자, 고고학자 및 복원가에게 협력과 데이터 공유를 지원할 수 있다는 가능성을 보여주었다. 또한, 해당 연구자들은 정보시스템의 진화는 데이터의 체계적이고 포괄적인 사용과 아카이브에 중점을 두어야 하며, 문화유산과 관련된 모든 데이터를 보다 효과적으로 관리하고 보존하는 것을 강조하였다.⁵³⁾

또 다른 연구(A. Adami et al., 2023)에서는 Scan-to-BIM 과정, 온톨로지 설계, 데이터의 의미론적 분할, 그리고 매개 변수 모델링을 설명하며 BIM이 문화유산 보존 설계에 어떻게 적용될 수 있는지를 논하였다. 연구자들은 해당 접근법을 문화유산 분야에 도입하기 위해 이해관계자들이 이를 사용할 준비가 되어 있는지 확인하는 것이 중요하다고 주장했고, 법률적 측면까지 고려하기 위해 이탈리아의 규제와 교육활동 등에 대해서도 다루었다.⁵⁴⁾

51) F. Fiorillo · C. M. Bolognesi, *Cultural Heritage Dissemination: BIM Modelling and AR Application for a Diachronic Tale*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.

52) Lacus Iuturnae Lacus Iuturnae 혹은 Fonte di Giuturna로 불리며, 20세기 초 발굴된 유적으로 물의 요정 Giuturna(Juturnae)에게 바치는 신전의 일부이다.

53) F. Spettu · C. Achille · F. Fassi · I. Della Giovampaola, *Web Platforms for Cultural Heritage Management: The Parco Archeologico del Colosseo Case Study*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.

50) M. Koehl · V. Steiner · S. Guillemin · F. Degenève · A. Zabollone · I. Bignon · C. Taufflieb · L. Tisserand · L. Hedtmann, *3D and HBIM Models: Digital Tools for the Diagnostic Study of the Stair Turret of the South-East Corner of the Main Tower of Strasbourg Cathedral*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.

6. 결론

본 연구에서는 ICOMOS 산하 국제학술위원회에서 개최하는 CIPA 국제심포지엄 참관 경험을 바탕으로 국외 연구 사례들을 살펴보았다. 해당 심포지엄에서 발표된 연구를 데이터 획득, 데이터 관리, 데이터 공유 및 체험과 각각의 세부 카테고리로 분류하였고, 이를 통해 디지털 기술을 활용한 건축유산 연구 동향을 분석하였다.

첫째, 데이터 획득 분야는 건축유산의 문서화 및 기록화를 목적으로 한 GIS 혹은 BIM 활용 연구나 사진측량 및 레이저스캐닝 기반 데이터 취득 방법론 연구가 많았다. 건물 단위로 작업이 수행되거나 LoD가 낮더라도 건물군 혹은 역사 경관 단위로 진행되는 경우가 대다수였으며, 부재 단위로 진행하거나 부재 간 결합부를 고려한 경우는 드물었다. 그렇기 때문에 부재 단위 구현이 필요한 한국의 건축유산을 대상으로 연구를 진행할 경우, 제시된 연구의 흐름도나 사용된 기자재, 데이터 획득 방법론을 참고하되 부재 단위 라이브러리를 구축하거나 부재의 치수와 부재 및 건물 간 비례체계를 고려한 파라메트릭을 적용⁵⁴⁾하는 등 보완하는 과정이 필요할 것이다. 반면 데이터 획득 과정에 대해서는 기존의 정밀실측조사와 3D 스캐닝을 비교하며, 목조 문화재의 부재 단위 기하학적 특성을 고려한 데이터 획득 및 기록화 작업에 관한 연구⁵⁵⁾가 수행되었다.

둘째, 데이터 관리 분야에는 대부분 취득한 데이터의 처리 혹은 관리 방법론이나 기술 연구가 포함되었다. 사진측량 및 레이저스캐닝으로 취득한 포인트클라우드 데이터를 자동으로 분류하고 처리하는 과정에서 AI를 활용하거나, 디지털 데이터를 이용한 3D 모델링 과정에서 파라메트릭 자동화 모델링을 적용하였다. 연구에서 제시된 것처럼, 데이터 처리 과정에서 적용되는 알고리즘이나 데이터베이스 및 온톨로지 설계의 워크플로우 등은 정보 처리 및 구조화에 충분히 적용될 수 있다. 다만, Scan-to-BIM으로 진행되지 않아 포인트클

라우드 데이터 관리의 워크플로우가 다른 경우에는 이 방법론들이 효과적이지 않을 수 있다. 국내에서는 사진스캐닝을 통한 3차원 입체형상 정보 기록화 연구⁵⁷⁾에 이어 지상 LiDAR와 UAV 데이터를 활용한 3D 모델의 정확도를 비교한 연구가 진행되었다. 해당 연구에서는 정합 알고리즘 등을 활용한 데이터 처리 방법과 정확도 평가⁵⁸⁾를 수행하였다. 뿐만 아니라 최근에는 부재 코드화를 통한 건축유산의 데이터 기입 및 관리 효율화에 관한 연구⁵⁹⁾도 수행되고 있다.

셋째, 데이터 공유 및 체험 분야에서 해당 연구자들은 건물의 보존, 복원 활용 등을 목적으로 인터랙티브 콘텐츠와 웹 플랫폼, 모바일 앱 등을 통한 데이터 시각화와 건물 성능 분석 연구를 진행하였다. VR 투어, AR 앱, 웹 기반 데이터 시각화 등이 대부분이었다. 국내에서는 VR모션감지 인터랙티브 콘텐츠⁶⁰⁾, 프로젝션 맵핑을 활용한 미디어아트⁶¹⁾ 등 디지털 기술을 활용한 문화유산 콘텐츠가 개발되고 있다.⁶²⁾ 이를 통해 문화유산 재사용 및 지속가능한 관광을 위한 문화유산 산업화가 촉진되고 있다는 것을 알 수 있으며, 향후 건물과 역사 경관에서 획득할 수 있는 데이터의 종류와 특성, 맥락 정보를 고려한 데이터의 통합 관리, 공유 방안, 시각화 및 체험 방안을 탐구해야 할 필요가 있다.

참고문헌

1. K. A. Adiputri, *Digital Historic Structure Report(DHSR): A Building Information Modelling(BIM) Utilization Strategy in Historic Preservation*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.
2. J. Liu · G. Bird · D. S. Willkens · R. A. Burt · H. McGonagill, *Preserving the History of African American Education: Digital Documentation of Rosenwald Schools - A Case Study on the*

57) 구자봉, 「사진 스캐닝 기술에 의한 매장문화재 기록방법에 대한 연구」, 『디지털콘텐츠학회논문지』 16(5), 한국디지털콘텐츠학회, 2015.

58) 이호진, 조기성, 「문화재 3차원 모델링을 위한 지상 LiDAR와 UAV 정확도 비교 연구」, 『지적과 국토정보』 47(1), 한국국토정보공사, 2017.

59) 이지훈, 「BIM을 활용한 목조건축문화재 부재 정보 구축에 관한 연구 - 경산 환성사 대웅전 사례를 중심으로 -」, 한국전통문화대학교 석사 학위논문, 한국전통문화대학교, 2022.

60) <https://www.tric.or.kr/portfolio/najucon> (검색일: 2023.12.21.)

61) <https://zdnet.co.kr/view/?no=20221207185826> (검색일: 2023.12.21.)

62) 최인화, 「VR 등 첨단 기술을 활용한 문화유산 콘텐츠 자원화 연구」, 문화재청, 2020.

54) A. Adami · B. Scala · D. Treccani · N. Dufour · K. Papandrea, *HBIM Approach for Heritage Protection: First Experiences for a Dedicated Training*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.

55) 강혜리, 변혜빈, 이종욱, 「한국전통목조건축유산의 가상복원을 위한 HBIM 적용 방안」, 『한국콘텐츠학회논문지』 23(9), 한국콘텐츠학회, 2023.

56) 윤준섭, 류성용, 「목조 문화재 정밀실측 및 해체보수 시 3D 스캔을 통한 기록의 고도화 방안」, 『대한건축학회논문집』, 36(6), 대한건축학회, 2020.

- Tankersley School in Hope Hull, Alabama, USA*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.
3. E. P. Canevese · R. Cuttini · I. Bertani, *Advanced, Multidisciplinary, Interoperable Digitisation of Cultural Heritage and User-Friendly Use of the Results: Case Study of the Cathedral of Santa Maria Assunta in Cividale del Friuli (UD)*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.
 4. J. M. Gómez-López · J. L. Pérez-García · A. T. Mozas-Calvache · D. Vico-García, *Documentation of Cultural Heritage Through the Fusion of Geomatic Techniques. Case Study of the Cloister of "Santo Domingo" (Jaén, Spain)*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.
 5. J. Liu · D. Willkens · C. López · L. Cortés-Meseguer · J. L. García-Valdecabres · P. A. Escudero · S. Alathamneh, *Comparative Analysis of Point Clouds Acquired from a TLS Survey and a 3D Virtual Tour for HBIM Development*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.
 6. M. Virelli · A. Coletta · D. Tapete · F. Cigna, *COSMO-SKYMED: A Satellite Tool for Monitoring Cultural Heritage*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.
 7. L. Teppati Losè · F. Chiabrando · P. Maschio, *Direct Georeferencing Approaches for Close-Range and UAV Photogrammetry in the Built Heritage Domain*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.
 8. P. D'Agostino · G. Antuono · E. Elefante · R. Amore, *Digital Management for the Restoration Project. The Case of the Temple of Venus in Baia*, Volume X-M-1-2023, 2023.
 9. J. García-León · P. Murrieri · P. E. Collado-Espejo, *HBIM as a Tool for the Analysis and Conservation of Architectural Heritage. Case Study: The Rame Tower's Digital Twin*, Volume X-M-1-2023, 2023.
 10. O. Roman, M. Avena · E. M. Farella · F. Remondino · A. Spanò, *A Semi-Automated Approach to Model Architectural Elements in Scan-to-BIM Processes*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.
 11. M. Garramone · D. Jovanovic · D. Oreni · L. Barazzetti · M. Previtali · F. Roncoroni · A. Mandelli · M. Scaioni, *Basilica di San Giacomo in Como (Italy): Drawings and HBIM to Manage Archaeological, Conservative and Structural Activities*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.
 12. K. Argasiński and P. Kuroczyński, *Preservation Through Digitization - Standardization in Documentation of Build Cultural Heritage Using Capturing Reality Techniques and Heritage/Historic BIM Methodology*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.
 13. S. Scandurra and A. di Luggo, *BSDD to Document State of Preservation of Architectural Heritage in Open-HBIM Systems*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.
 14. M. Previtali · L. Cantini · L. Barazzetti, *Combined 360° Video and UAV Reconstruction of Small-Town Historic City Centers*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.
 15. C. Stanga, *Stratigraphic Units Inside Heritage Building Information Model: A Novel Approach for the Representation of Building Archaeology*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.
 16. M. Buldo · L. Agustín-Hernández · C. Verdoscia · R. Tavolare, *A Scan-to-BIM Workflow Proposal for Cultural Heritage. Automatic Point Cloud Segmentation and Parametric-Adaptive Modelling of Vaulted Systems*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.
 17. F. M. La Russa · E. Grilli · F. Remondino · C. Santagati · M. Intelisano, *Advanced 3D Parametric Historic City Block Modeling Combining 3D Surveying, AI and VPL*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.
 18. O. Rosignoli, *HBIM-Based Information Sharing for the Exchange and Safeguard of Modelling Expertise*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.
 19. M. D. Robador González · J. E. Nieto-Julián · P. M. Millán-Millán · A. Galera-Rodríguez · S. Bruno · D. Debenedictis · J. Moyano, *Management Properties and Procedures in the Information Model of the Historic Building HBIM on Building Facades*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.
 20. P. Martínez-Carricondo · J. M. Casimiro-Bernández · F. Agüera-Vega · F. Carvajal-Ramírez, *Structural Weakness of the Twenty Eyes Aqueduct in the Wadi of Carcauz (Almeria, Spain)*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.
 21. R. Quattrini · G. L. S. Sacco · G. De Angelis · C. Battini, *Knowledge-Based Modelling for Automating HBIM Objects. The Vaulted Ceilings of Palazzo Ducale in Urbino*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.
 22. M. Lasorella · E. Cantatore, *3D Models*

- CityGML-Based Combined with Technical Decision Support System for the Setting Up of Digital Conservation Plans of Historic Districts*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.
23. J. Xu · M. Garramone · Y. Wang · M. Scaioni, *Integration of HBIM/GIS to Preserve Infrastructure Heritage Along the Chinese Eastern Railway*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.
24. “Turin 1911” 프로젝트 홈페이지
<https://italyworldsfairs.org/> (검색일: 2023.12.22.)
25. A. Spreafico · F. Chiabrando · C. Della Coletta, *3D WebGIS Applications for Digital Humanities Studies: The Turin 1911 Project*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.
26. Y. Zheng · A. Merchant · J. Laninga · Z. X. Xiang · K. Alshaebe · N. Arellano · H. Romaniuk · S. Fai · D. H. Sun, *Comparison of Characteristics of BIM Visualization and Interactive Application Based on WebGL and Game Engine*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.
27. F. Guzzetti · K. L. N. Anyabolu · F. Biolo · L. D’Ambrosio, *From the Digital Twin of Architectural Heritage to the Definition of the Constraint Maps. The Case Study of the Castello Sforzesco in Milan*, Volume X-M-1-2023, 2023.
28. V. Bonora · A. Meucci · A. Conti · L. Fiorini · G. Tucci, *Knowledge Representation of Built Heritage Mapping an Ad Hoc Data Model in OGC Standards: The Case Study of Pitti Palace in Florence, Italy*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.
29. E. Colucci · E. Iacono · F. Matrone · G. M. Ventura, *The Development of a 2D/3D BIM-GIS Web Platform for Planned Maintenance of Built and Cultural Heritage: The Main10ance Project*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.
30. J. L. García-Valldecabres · J. Liu, D. S. Willkens · P. A. Escudero · C. López-González · L. Cortés Meseguer · P. R. Orozco Carpio, *Development of a Virtual Itinerary with HBIM and GIS*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.
31. J. Moyano · M. Fernández-Alconchel · J. E. Nieto-Julián · D. Marín-García · S. Bruno, *Integration of Dynamic Information on Energy Parameters in HBIM Models*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.
32. M. Koehl · V. Steiner · S. Guillemin · F. Degenève · A. Zabollone · I. Bignon · C. Taufflieb · L. Tisserand · L. Hedtmann, *3D and HBIM Models: Digital Tools for the Diagnostic Study of the Stair Turret of the South-East Corner of the Main Tower of Strasbourg Cathedral*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.
33. F. Fiorillo · C. M. Bolognesi, *Cultural Heritage Dissemination: BIM Modelling and AR Application for a Diachronic Tale*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.
34. F. Spettu · C. Achille · F. Fassi · I. Della Giovampaola, *Web Platforms for Cultural Heritage Management: The Parco Archeologico del Colosseo Case Study*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.
35. A. Adami · B. Scala · D. Treccani · N. Dufour · K. Papandrea, *HBIM Approach for Heritage Protection: First Experiences for a Dedicated Training*, Volume XLVIII-M-2-2023, 2023.
36. 강혜리, 변혜빈, 이종욱, 「한국전통목조건축유산의 가상복원을 위한 HBIM 적용 방안」, 『한국콘텐츠학회논문지』 23(9), 한국콘텐츠학회, 2023.
37. 윤준섭, 류성용, 「목조 문화재 정밀실측 및 해체보수 시 3D 스캔을 통한 기록의 고도화 방안」, 『대한건축학회논문집』, 36(6), 대한건축학회, 2020.
38. 구자봉, 「사진 스캐닝 기술에 의한 매장문화재 기록방법에 대한 연구」, 『디지털콘텐츠학회논문지』 16(5), 한국디지털콘텐츠학회, 2015.
39. 이호진, 조기성, 「문화재 3차원 모델링을 위한 지상 LiDAR와 UAV 정확도 비교 연구」, 『지적과 국토정보』 47(1), 한국국토정보공사, 2017.
40. 이지훈, 「BIM을 활용한 목조건축문화재 부재 정보 구축에 관한 연구 - 경산 환성사 대응전 사례를 중심으로 -」, 한국전통문화대학교 석사 학위논문, 한국전통문화대학교, 2022.
41. <https://www.tric.or.kr/portfolio/najucon> (검색일: 2023.12.21.)
42. <https://zdnet.co.kr/view/?no=20221207185826> (검색일: 2023.12.21.)
43. 최인화, 「VR 등 첨단 기술을 활용한 문화유산 콘텐츠 자원화 연구」, 문화재청, 2020.
 접수(2023.10.30.)
 수정(2023.12.22.)
 게재확정(2023.12.31.)