

2019 THE 1ST INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON DIGITAL HERITAGE : CONVERGENCE OF DIGITAL HUMANITIES

2019
디지털 문화유산
국제심포지엄

문화유산과 디지털 인문학의 융합



문화재청

Cultural Heritage Administration

2019 THE 1ST INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON DIGITAL HERITAGE : CONVERGENCE OF DIGITAL HUMANITIES

2019
디지털 문화유산
국제심포지엄

문화유산과 디지털 인문학의 융합



2019 THE 1ST INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON DIGITAL HERITAGE: CONVERGENCE OF DIGITAL HUMANITIES

2019 디지털 문화유산 국제심포지엄 ‘문화유산과 디지털 인문학의 융합’

Administrator	Hyun Mo Kim 김현모
Vice Administrator	Kyung Hwan Kang 강경환
Director-General for Planning & Coordination	Soon Ho Yun 윤순호
Director for ICT Management	Sung il Kim 김성일

Managing Editor	Yeon Gyu Choi 최연규
Editor & Overall Coordinator	Hyeseung Shim 심혜승
Publication Coordinators	Young Jin Kim, Ji Yoon Park, Eunhye Han 김영진, 박지윤, 한은혜
Copy-Editor	Michael Angelo Liwanag 마이클 안젤로 리와나그
English/Korean Translation (Main Papers)	Jung Eun Park 박정은
Graphic Designer	Ji Young Jun 전지영

Printer	Graphic Korea 그래픽 코리아 14, Toegye-ro 50ga-gil, Jung-gu, Seoul Republic of Korea Tel.: +2-2277-7853
----------------	--

Publication Date	December 2020
Publisher	Cultural Heritage Administration (ICT Management Office) Government Complex-Daejeon, 189, Cheongsa-ro, Seo-gu, Daejeon 35208 Republic of Korea Tel.: +82-42-481-4737

Publication Registration Number	11-1550000-002010-01
ISBN	978-89-299-2130-9 93600

Copyright © 2020 by Cultural Heritage Administration

All rights reserved. No part of this book may be reproduced in any form without permission from the publisher. All rights to use the contents and photographs of this book are owned by the Cultural Heritage Administration of Korea and the authors who provided materials for this book.

2019 THE 1ST INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON DIGITAL HERITAGE: CONVERGENCE OF DIGITAL HUMANITIES

2019 디지털 문화유산 국제심포지엄 : 문화유산과 디지털 인문학의 융합

주최
Organized by



주관
In cooperation with



후원
Supported by



TABLE OF CONTENTS 목 차

Foreword Hyun Mo Kim, Administrator of CHA __6

발간사 문화재청장 김현모

Preface - The 1st International Symposium on Digital Heritage : Convergence of Digital Humanities Yeon Gyu Choi and Hyeseung Shim __8

서문 - 2019 디지털 문화유산 국제심포지엄 ‘문화유산과 디지털 인문학의 융합’ 최연규, 심혜승

Chapter 1 - Main Papers __11

제 1 장 - 주요 논문

_____ **Challenges and Opportunities for Digital Humanities in Informing the Conservation of Heritage Places** Mario Santana Quintero and Michelle Duong __12

문화유산 보존을 위한 디지털 인문학 활용에 따른 기회와 도전과제 마리오 산타나 퀸테로, 미셸 두옹

_____ **Documentation of Cultural Heritage Using 3D Laser Scanning Technology – Recording High Accuracy Information for Future Generations** Georgios Toubekis __32

3D 레이저 스캐닝 기술을 활용한 문화유산 기록화: 미래세대를 위한 정확도 높은 정보의 기록
게오르기오스 투베키스

_____ **Issues on the Standardization of 3D Documentation of Cultural Heritage** Jaehong Ahn __48

문화유산의 3차원 기록화에 관한 표준화 이슈 안재홍

_____ **Asking the Right Questions when Digitizing Cultural Heritage** Eugene Ch'ng __58

문화유산 디지털화를 위한 올바른 질문 유진 청

_____ **Research on Architectural Heritage and Digital Technology** Wook Han __68

건축유산 조사연구와 디지털기술의 활용 한옥

_____ **Reality-Based HBIM for the Management of Monumental Architectonic Heritage** Francesco Fassi __76

거대 건축물 관리를 위한 현실 기반 HBIM 프란체스코 파시

_____ **Time Machine at the Seoul City Wall** Yeon Gyu Choi __90

한양도성 타임머신 최연규

Chapter 2 - Takeaways from the 1st International Symposium on Digital Heritage : Convergence of Digital Humanities _101

제 2 장 2019 디지털 문화유산 국제 심포지엄 ‘문화유산과 디지털 인문학의 융합’ 주요 회의결과

Annex 1: Brief Summaries of the Presentations _195

부록 1: 요약본 - 발표문 모음

Keynotes _196

기조 연설

Challenges and Opportunities for Digital Humanities in Informing the Conservation of Heritage Places

문화유적지 보존의 정보화에 있어 디지털 인문학의 과제와 기회

The Value of Intangible Cultural Heritage in the Digital Era

디지털시대의 무형문화유산의 가치

Session 1: Digital Documentation of Cultural Heritage _198

세션 1: 문화유산 디지털 기록

Documentation of Cultural Heritage using 3D Laser Scanning Technology – Generating High Accuracy Information for Future Generations

3D 레이저 스캐닝 기술을 이용한 문화유산 기록화 - 미래세대를 위한 고밀도 정보 생성

Issues on the Standardization of 3D Documentation of Cultural Heritage

문화유산의 3D 기록 표준화에 대한 이슈

Technology of Realistic Sensing and Rendering for Traditional Intangible Cultural Heritage

전통무형문화유산 실감 센싱 및 렌더링 기술

Session 2: Digital Reconstruction of Cultural Heritage _203

세션 2: 문화유산 디지털 복원 활용

From Objects to Virtual Environments: Digitizing and Digitalizing Cultural Heritage

가상현실 기술을 활용한 디지털 복원

Research for Architectural Heritage and Use of Digital Technology

건축유산 조사연구와 디지털기술의 활용

Dissemination of Digital Heritage via Interactive Mixed Reality

인터랙티브 혼합현실 기반 문화유산 정보 보급

Session 3: Application of HBIM for Built Heritage Management & Preservation __208

세션 3: HBIM 기반 건축문화유산 보존관리

Why HBIM Ontology?

왜 HBIM 온톨로지인가?

Reality-Based HBIM for the Management of Monumental Architectonic Heritage

기념비적 건축유산 관리를 위한 현실기반 HBIM

Session 4: Time Machine - New Flagship Project and its Interdisciplinary Approaches __211

세션 4: 가상 타임머신 (Virtual Time Machine)

New Flagship Project Hanyangdoseong Time Machine and AI Platform

신규 플래그십 사업: 한양도성 타임머신과 인공지능 플랫폼

Annex 2: Symposium Programme __229

부록 2: 심포지엄 프로그램

Annex 3: Brief Biographies of the Authors and Contributors __235

부록 3: 저자 약력

Annex 4: Photos __243

부록 4: 사진 - 현장 스케치

REALITY-BASED HBIM FOR THE MANAGEMENT OF MONUMENTAL ARCHITECTONIC HERITAGE

Francesco Fassi | Associate Professor, 3DSurvey Group, Department of Architecture, Built Environment, and Construction Engineering (ABCE), Politecnico di Milano (Italy)

Abstract

This paper will describe relevant experiences of the 3DSurvey Group of the Polytechnic of Milan while working on one of the leading Italian monumental cathedrals, the Duomo of Milan. The document presents some critical aspects of the multi-year activity in collaboration with the Veneranda Fabbrica del Duomo di Milano; this started in 2008 and is still active today. The primary purpose of the research project as it was born in 2008 was the high-resolution and high-accuracy 3D survey (representation scale of 1:20-1:50) of some parts of the cathedral to support the different restoration sites. From 2013 onwards, the project included the survey of the entire cathedral. The first and most important of the sites where most of the research has been carried out is the main spire, which began in 2008 and was completed in 2013. We consider this project pioneering at that time, both as regards the survey and the activities promoted in the field of the use of the data acquired, with the creation of an HBIM system designed and developed specifically to support the restoration activities of the Veneranda Fabbrica. The main difficulty in dealing with cultural heritage is that each case has specific and unique peculiarities and needs. Furthermore, they require having non-parametric, high-resolution models that represent reality with high precision and accuracy, created ad-hoc systems, and easy to use tools to facilitate the interaction among the systems and all the different stakeholders. The described research project wants to present an alternative solution to the classical/commercial HBIM approach—the creation of an information system capable of adapting to 3D models that have different scales to support different maintenance requirements as well as different information data and management tools.

Introduction

In the world of building and construction, we are assisting in ever increasing requests for digital systems able to support the entire life of the building, systematize the activities of all the operators, and organize the massive amount of differing information. BIM is currently the tool that seems to handle this complexity in the best way. The BIM idea was born for new constructions and would like to be “a shared knowledge resource for information about a facility forming a reliable basis for decisions during its life-cycle; defined as existing from earliest conception to demolition” (US National Building Information Model Standard Project Committee).

In the case of monumental cultural heritage (CH), we also have the same needs. It is clear to everybody in the CH world that if BIM is useful for a new facility, it could be crucial for historical heritage as well. It is precisely in the field of CH where 3D-BIM systems have significant potential because the CH objects are expected to live forever, and the maintenance processes are continuous and endless. This is the reason why HBIM is one of the most investigated research topics with different levels of interests inside the CH world. The trend is to use the same BIM systems for historical architecture and monuments. But, even if the goal and the basic idea are the same, BIM and HBIM are entirely different, both in terms of the creation of the BIM model and the information system connected to it. Moreover, the more complex task in CH is to find a way to systematize a non-standard world, both in terms of architecture and the data connected to it. The experience presented in this paper would like to demonstrate these concepts and propose a working method adapted to CH.

A Multidisciplinary Metrological Survey Approach to get a Reality-Based Model

The first and main difference between the new construction world and CH is the starting point. A BIM originates typically from the birth of a building, or even before it, from the idea and design of a new building. In this sense, a BIM system is a real instrument for designing, not a mere tool of 3D representation.

On the other hand, a system for CH starts at an intermediate point in a building's life cycle. For this reason, in a heritage BIM, the starting point must be the complete knowledge of an existing building—its geometrical and constructive characteristics, history, and actual state of conservation. An accurate survey of the heritage building and three-dimensional metric modeling is required as the first mandatory step; this means to first activate a reality-based survey process. The difficulty of this approach is twofold: the first issue is to perform a reliable and complete three-dimensional survey, and the second is to synthesize it in a format that can be processed and modified by the various operators. The complexity of the architecture and the artistic,

irregular geometries make these mandatory steps challenging.

In recent years, there has been a rapid improvement in these first phases of geometric knowledge in terms of process automation, achievable resolution, and accuracy. It is thanks to the rapid development of computer vision techniques at the service of image-based and range-based methods that you can now quickly and realistically capture objects in three dimensions in a complete, high-resolution, and mostly automatic way.

The second step is the process of synthesis from the raw data to the refined and usable type, which is the construction of the digital 3D model in its most varied forms to be chosen ad hoc according to the various needs. This phase is the most challenging step of the entire process as the operator must necessarily intervene manually with his methodological and critical choices.

Moreover, measuring the geometric shape is not enough to know a historical building; we also require a further step of extensive and multidisciplinary knowledge of its state, history, evolution, etc. Understandably, this starting point is decidedly more demanding than in the BIM processes for new buildings. It presupposes different prior surveys and study phases which are demanding in terms of time and cost.

A Complex Ecosystem of Information

A second difference is that CH is a very complex ecosystem with a strong heterogeneity of objects, activities, actors, approaches, and methods. It is precisely for this reason that it is not possible to use standard formulas, unique software, and a uniform style of modeling and procedures. The uniqueness that characterizes every single case study in the world of CH is reflected in the whole HBIM process, from the survey to the modeling phase, the creation of the information system, and the sharing of the data. Every single step should be designed ad hoc to satisfy the scope. The preservation of monumental architecture is a very complex operation for many reasons. It involves many different ordinary and extraordinary activities of conservation, restoration, maintenance, as well as the management of building use and related activities.

All these operations are often carried out by different operators (architects, engineers, restorers, and various employees) who have to work together, integrating their experiences and activities. Mainly for these reasons, we increasingly feel the need for digital tools that allow managing all these aspects in a single solution—one that connects the various experts and enables the exchange of data, whether metric (3D) or information of any kind. It is also evident, however, that a unique standard system cannot fit all the infinite approaches and needs. How can we solve the problem? The idea is to create an easily customizable platform that can be adapted to different cases, both in terms of visualized 3D data and information system structure.

A Relevant Case Study: The Duomo di Milano Project

This paper would like to present one experience in Duomo di Milano, where the goal was to create an HBIM system to support continuous maintenance activities. The test yard was the exceptional restoration of the big spire of the cathedral, from the vault level to the Madonnina (Fassi 2015).

The Duomo di Milano is one of the most important monumental heritage structures in Italy. It is a late-Gothic cathedral the construction of which began in 1386 and lasted about 5 centuries. It was finished in 1805.

It is the largest church in Italy,¹ the third largest in Europe, and the fifth largest in the world. Some numbers can better show the dimension and complexity of the building: the external length is 158 m, the transept is 93 m long, the maximum height (from its interior floor to the head of the Madonnina) is 108.5 m, and it covers an area of about 12,000 m² overall. Everything is built with or covered by Candoglia marble, and this is the most critical aspect that affects the maintenance work of the cathedral. This type of marble degrades very quickly due to its mineralogical composition. Periodically, many parts of the cathedral (the external parts in particular) must be replaced, forcing continuous and incessant maintenance work that counts about 110,000 annual hours of restoration. Every year, around 20 restoration sites are active in the cathedral. For this reason, the marble block can be considered as the main character of the maintenance activity in the Milan Cathedral.

The conservation activity,² in fact, is mainly dedicated to the stone elements (ashlars, statues, and decorations). These are often replaced with new components, always in the same material that must correspond in shape and size to the originals. The problem then is twofold: on one hand, to have a sufficiently in-depth geometric knowledge of the element to be replaced in order to prepare the copy, and, on the other hand, to document the replacement operation by identifying precisely the ashlar, date of replacement, and all additional useful information.

At the beginning of the project in 2008, the requests of Veneranda Fabbrica were very challenging—to have 2D/3D representations of all the structures at 1:20-1:50 representation scale³ with a complete subdivision block by block. The situation's extreme complexity due to the verticality of the structures, presence of a cable-stayed scaffolding, narrow or unreachable spaces, extension of the site itself, and, above all, the need for more and more complete and punctual surveys led the work in the direction of an exclusively 3D survey. The choice allowed

¹ St. Peter's Basilica, which is larger, is in the Vatican City State.

² The Veneranda Fabbrica del Duomo di Milano is the institution responsible for the conservation of the cathedral. It was established in 1387 and has been safeguarding and restoring the Duomo for more than 630 years.

³ This means metrically 4 mm to 10 mm plotting error and 10 mm to 30 mm tolerance.

us to have at our disposal an accurate 3D model from which all the desired metric, punctual, two-dimensional measurements could be extracted. It could be used to calculate weights, volumes, and surfaces useful for planning construction site activities and for estimating the costs of replacing marble ashlars.



FIGURE 1. Some images representing the complexity of the Milan cathedral; the artistic apparatus is enormous: 3,400 statues, 200 bas reliefs, 135 spires, over 3,600 figures represented in the 55 stained glass windows, and 150 gargoyles.
© Francesco Fassi

Given the exceptional nature of the architectural complex and the peculiarity of the objectives, it was immediately evident that existing commercial BIM software could not get to satisfying results, both in 3D representation and the possibility to create a dedicated information system.

So, the decision was to develop an independent system able to link the information to the geometric model, and to allow its management and use. The system was designed to be highly customizable and, therefore, usable for several HBIMs.

The Survey

The research activity carried out in the early part of the 2008-2010 project was to investigate what the most suitable, fastest, and most cost-effective ways and technologies were for surveying, considering that scanner technology—which seemed the most obvious way to carry out an extensive and complex three-dimensional survey—did not lead to any results for the penetration of the laser beam into marble. The consequent poor accuracy of the measurement would not have allowed the extraction of measurements at the desired architectural scale (Fassi 2011). The choice fell on a multi-sensor approach, as is often necessary when dealing with vast and complex buildings (Martinez 2013). This means the use of different measurement sensors chosen ad hoc according to the needs, used individually or in parallel.

The final surveying product, therefore, is an integration of direct, topographic, photogrammetric, and even laser-scanner measurements, where the photogrammetric technique was the main one. Precisely in this fact lies the exceptionality factor of the work; in 2008, photographically surveying an object as extensive and complex as the Duomo of Milan's main spire meant a very carefully designed field survey and a photogrammetric pre-processing of the manual data—both of which were very laborious. This type of approach involved the use of PhotoModeler Scanner as software for the orientation of digital images, georeferencing the various photogrammetric blocks, as well as 3D modeling of the most linear structures using the classic stereo-plotting technique. This needed further heavy processing with 3D modeling software to optimize and complete the 3D with more advanced modeling operations.

For more complex objects such as decorations, statues, and bas-reliefs, this approach could not be used. Several Structure from Motion modeling methods that required the integration of multiple calculation modules and provided a dense point cloud of measured objects were tested in a short period of time. Photosynth + PMVS, Photomodeler Scanner, Bundler + CMVS + PMVS, and VisualSFM + PMVS2 were some of the combinations used for modeling the most complex elements (Fassi 2011). Only towards the end of the research activity did software such as Agisoft Photoscan, now widely used and known, allow the survey and modeling of extremely complex elements such as the summit area of the spire and the Madonnina. Nowadays, this type of approach is used to survey the complex environments of the exteriors of the Milan Cathedral (Perfetti 2019).

The Modeling Phase

The need for an accurate metric, detailed model of the spire, as well as the need to create a 3D model that can be modified and updated in the future, also guided the choice of modeling software. The software chosen was Rhinoceros (Rhino) and there were two fundamental reasons for this. First, the modeling must be reality-based. Then, it must allow loading the measurement data coming from the different instruments and also allow the modeling to respect the desired tolerances and accuracies. In this sense, Rhino offers as AutoCAD the possibility to set the different modeling accuracies and provides better results in terms of closing volumes and respecting the topology continuity of the different models. All this is controllable during the return operations. Moreover, it is easy to learn and not far from a CAD type drawing logic, even if it has no limits regarding the complexity of the objects to be modeled, surface grade, and dimensions. In this way, it is a reasonably familiar tool that does not distort the *modus operandi* of those in the sector who can approach the three-dimensional modeling mode in a gradual and more acceptable way. Modeling in NURBS (non-uniform rational basis spline) also makes it possible to continuously update the model and extract sections, axonometric splits, and other two-dimensional representations in automatic mode.

The final model was initially built from the raw model coming from photogrammetry and then completed and assembled within Rhino. It is important to note that the final model of the main spire geometrically describes all the individual objects that make it up—each ashlar and marble piece, each decorative element and statue were individually modeled as a closed element. The relationship between the elements was reproduced with particular attention during the modeling of the topological characterization of each modeled piece. Therefore, during the modeling phase, the basic rules that regulate the design and classic geometries of a geographic information system, and, during the analysis phase, that allow spatial type queries on the elements, were both respected. The division by single elements—which can be called segmentation into elements—allows assembly under elements that belong to the same category even though they are located in different places, as well as accumulation and investigation of elements characterized by the same type of degradation, thus facilitating the interpretation of causes and possibilities for intervention.

The BIM System

The idea of building a BIM prototype was born from the desire to make the best use of the 3D model of the spire and, therefore, to increase the potential of a 3D model characterized by high accuracy and extremely fine details. In a very simple way, the first prototype BIM system wanted

to be a simple 3D viewer that would allow several operators (even non-experts in computers) to visualize the progress of the restoration operations at the same time. So, conceptually, the first prototype was a system able to visualize a 3D model and attach information of different types on it.

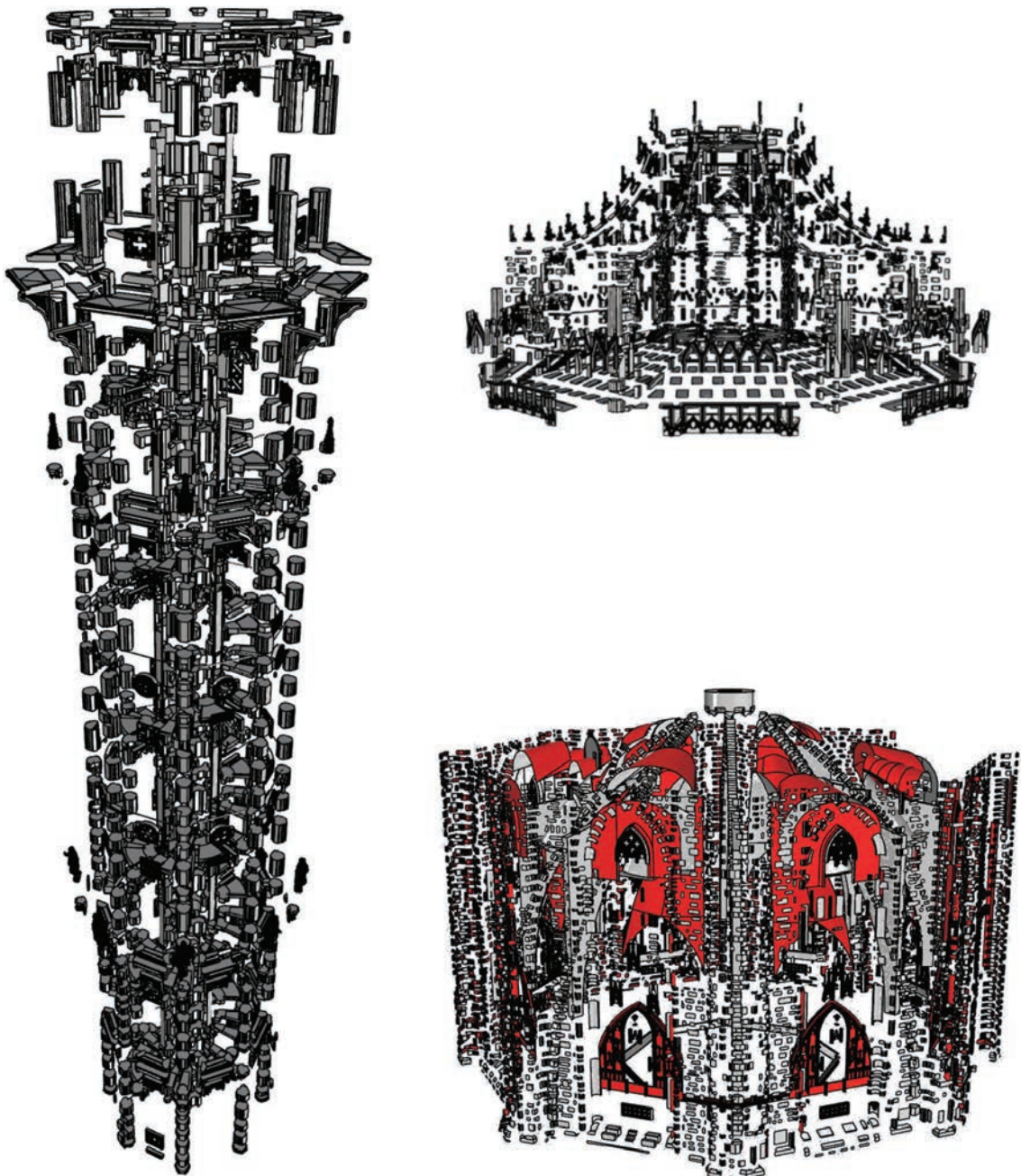


FIGURE 2. The model of the dome cladding and spire divided by 15,639 marble blocks. © Francesco Fassi

The product of this experiment was not supposed to be a stand-alone software, but a service platform that different operators can use in order to share and update information. Dedicated

plug-ins were designed and implemented; together, these make up the integrated BIMDuomo system that allows the use of the three-dimensional model of the spire as a catalog of information shared between the various operators.

The experimentation to create the BIM system for the restoration of the main spire was carried out as a pilot project to develop a system that could be used not only for the Duomo of Milan, but for similar buildings all over the world. It was intended to be a standard way of proceeding in the world of CH. The expected result was, in fact, to provide a tool that could enhance the potential of the use of a virtual digital model in the field of CH, particularly in the service of restoration operations and both extraordinary and ordinary maintenance of a historical and artistic monumental complex.

The main objectives taken into consideration during the development of the system were as follows:

- Extreme ease of use of the platform so that it can be used by the highest number of actors, even those who are not experts in 3D or not used to technology in general. BIM3DSG was designed with particular attention to the panorama of operators in the cultural sectors, observing that the different actors involved (detectors, architects, engineers, technicians, etc.) have varying skills, and that it is challenging to homogenize them at the same level. Even inexperienced users must be able to use the platform so that everyone can access the functions provided.
- A strong degree of interoperability among operators who can contribute to activities on the same object in real time from different workstations.
- The possibility of cooperation with a broad audience, allowing each actor to upload new data as well as to modify and update existing information. A long-term goal would be to offer the possibility of also adding information to non-professional actors after data validation.
- Low cost.
- The idea to not upset the traditional, consolidated modus-operandi of the maintenance agencies, and not create additional work for the operators.

The BIM3DSG System

As described in *A New Idea of BIM System for Visualization, Sharing and Using Huge Complex 3D Models for Facility Management* (Fassi et al. 2015) and *Sharing High-Resolution Models and Information on Web: the Web Module of BIM3DSG System* (Rechichi et al. 2016), the BIM system is conceptually constituted by two macro entities that can be defined using a computer language:

the BackOffice (BO), the entity of management, creation, and compilation of the system, and the FrontOffice (FO), the part of fruition and data visualization. In general, the following three main modules constitute the core of the system:

- The modeling and management software of the three-dimensional model.
- The online viewer that allows you to navigate and explore the virtual model of the object and consult additional information.
- A database that contains all the information related to the objects.

The union and communication between these entities are ensured by the unique ID that is assigned to each single molded closed element. The BO part is the entity that has the management of the whole system; in particular, it is the one related to the creation of the three-dimensional digital model. The BO part, therefore, is constituted by the modeling software in which some scripts have been implemented to allow the management and real-time updating of the model and the data entry. The BO user is, in this specific case, the technical office of the Veneranda Fabbrica which has the task to create and update the three-dimensional model according to the described standards, as well as validate inside the database the information entered by third parties of the FO. Another BO user is the server management which stores the data and manages both communications and user access.

The BO part, developed using Microsoft's .NET framework and McNeel's Rhino 5.0 development kit (RhinoCommon), consists of three Rhino plug-ins. The first plug-in allows you to create an index file of the elements to be made available in the FO. The second processes the geometries contained in the index file by converting them from NURBS to MESH, reducing if necessary the number of vertices according to WebGL specifications.

The FO part is where users can interact. These can be both passive (consultation only) and active (i.e., data entry enabled technicians). The FO part allows the visualization of the three-dimensional model, the consultation and updating of information, and the catalog of images at different levels with different read/write access permissions to the information. It was decided that this part be developed on the WEB. The use of the WEB and of a free browser guarantees, according to the evaluations previously described, the low-cost essence of the system, simultaneous access of several users (usability), interoperability of the different actors (participation), as well as immediate updating and synchronization of the data entered and the three-dimensional geometries.

In this way, the system, with the appropriate restrictions, can be opened to a wider public

even of non-experts, adding the new functionality of dissemination which is fundamental in the world of CH. For CH, in fact, not only is the protection and preservation of an asset important, but its valorization is as well. In this sense, the visualization via web favors and integrates at the same time both the professional use of the system and the dissemination aspect in its various forms.

The web viewer allows simultaneous work with different types of 3D objects, representation scales, and resolutions; it allows showing and sharing different types of information and promoting the management of aspects related to conservation. One of the strengths of the system is its ability to handle big data. In fact, it is necessary to solve the need for reality-based models, the impossibility of standardizing elements, and the high complexity that characterizes CH.

The FO system can be used by 64bit browsers that use HTML5 technology. The online display of the three-dimensional model is in shaded mode. The FO part is implemented in HTML5, AJAX, and PHP. After evaluating the different WebGL systems currently available, the choice fell on SceneJS 2.0 which, with its 3D engine, is able to display a large number of individually selectable objects with excellent performance. This is often required in engineering and architecture applications needing high-detail model-viewing capability. Inside, SceneJS uses DrawLists optimized for quick picking and redrawing, and displays a JSON SceneGraph and API to interact with it.

Obviously, the FO part can be configured in different ways depending on the users. At the moment, the functions of most immediate utility to the main actor of the Veneranda Fabbrica, the yard operator/maintainer, are implemented. He has to manage all the typical operations of a restoration site, i.e., cleaning, replacing marble blocks, as well as tracing the exit and entry of spare parts, the type of processing, and the characteristics of the replaced parts.

Each three-dimensional element is described at time t_0 of the start of work. But for each item, you can then create multiple records in an operations table in which data relating to successive operations are stored, thus creating different versions of the same object and storing information related to the different characteristics before and after the interventions.⁴ In addition, each operation can be associated with images—which can always be loaded directly from the browser—describing the intervention and the manufacture of the parts. In this way, it is also possible to keep track of the time history of the maintenance activities and, therefore, to keep the history of the modifications applied to every single element composing the spire.

For the database, PostgreSQL was chosen because it is faithful to the SQL standard and the ACID model (Atomicity, Consistency, Isolation, and Durability). The Database that contains all

⁴ This can be done either from the browser for the FO user or in Rhino for the BO user.

the information is managed and created in the modeling environment by the BO operator, who is the only one with the privilege to manage the architecture. The FO operator can, instead of from the WEB interface, add or delete elements, i.e., manage the interventions on single or a group of elements populating the database with additional information, possibly with different levels of access.

Conclusions

The experiences carried out show that HBIM is an instrument with very high potential which can and must be adopted in the CH sector for the management of complicated, lengthy, and costly restoration and conservation operations. We are still a long way from the idea of a comprehensive system that would allow all applications. Indeed, the need to identify the objectives of HBIM right from the start is confirmed. The Duomo of Milan experience, and also other experiences in San Marco in Venice (Fassi 2017; Fregonese 2017), for instance, have demonstrated that significant results can be obtained once the aims of BIM have been identified, the fields of application clarified, and the entire system designed. For this reason, the idea is to develop a system that can adapt itself easily to the requirements of each single case by trying to standardize the strong heterogeneity of objects, materials, observation devices, methods of analysis, data, formats, information, conventions of description, terminology, operational protocols, and media of communication. It is impossible to find a unique solution for all CH—it is already a big challenge to achieve this goal locally. The possibility to adapt and structure the information system to different requests, as well as to connect all types of information to the BIM model coming from different sources, makes the platform very flexible, dynamic, and adaptable to all case studies.

In all the HBIM processes, from the survey and the modeling until the fruition of the online platform, the main problematic phase is always the creation of the three-dimensional model. Modeling with a metrological approach in order to get a reality-based and modifiable model is a manual operation that is time-consuming and thus very expensive. Classical BIM software is, at the moment, not suitable to respect the complexity and the necessary accuracy. The risk of using them is producing a much too simplified model that can be used as a reference for the information system but not for maintenance activity from a metrological point of view. They suffer from inaccuracy, extreme simplification, and too much subjectivity of the operator in the creation of the 3D model.

Future research should be on the HBIM system skipping the modeling phase and instead directly using the point clouds coming from the survey phase as the 3D model inside the information

system. This could have the double benefit of incredibly speeding up the HBIM construction, thus avoiding the more expensive and time-consuming phase, and directly using accurate high-resolution models without any additional uncontrolled modification, thus guaranteeing the metrological value of the BIM system. In this sense, the research should concentrate efforts on working with the point cloud, developing classification tools and instruments able to treat it as a normal 3D model.

The experience with the Milan Cathedral has demonstrated that the process of HBIM is totally different from that of a BIM related to new facilities. The latter is a design tool, while the HBIM should be a maintenance tool very similar to a reverse engineering process applied to an existing building.

References

List of largest church buildings

https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_largest_church_buildings_in_the_world

National Institute of Building Sciences: National BIM Standard – United States V3:

<https://www.nationalbimstandard.org/faqs>

Fassi F., Achille C.. 2015. *Rilievo e modellazione real based della statua della Madonnina*. Contributo sul libro “Madunina di Milano” di Saverio Carillo, La scuola di Pitagora editrice ISBN 978-88-6542-192-5

Fassi, F., Achille, C., and Fregonese, L. 2011. “Surveying and modelling the Main Spire of Milan Cathedral using multiple data sources”. *The Photogrammetric Record* 26 (136): 462–487. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1477-9730.2011.00658.x>

Fassi F., Achille C., Gaudio F., and Fregonese, L. 2011. “Integrated strategies for the modeling very large and complex architectures.” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XXXVIII-5/W16: 105-112. doi:10.5194/isprsarchives-XXXVIII-5-W16-105-2011.

Fassi, F., Achille, C., Mandelli, A., Rechichi, F., and Parri, S. 2015. “A new idea of BIM system for visualization, sharing and using huge complex 3D models for facility management”. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Avila, Spain, Volume XL- 5/W4: 359-366. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-359-2015>

F. Fassi, L. Fregonese, A. Adami, and F. Rechichi. 2017. “BIM system for the conservation and preservation of the mosaics of San Marco in Venice.” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W5: 229-236. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-229-2017>.

Fregonese, L., Taffurelli, L., Adami, A., Chiarini, S., Cremonesi, S., Helder, J., and Spezzoni, A. 2017. “Survey and modelling for the BIM of Basilica of San Marco in Venice”. In the *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W3: 303-310. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-303-2017>.

Martínez, S., Ortiz, J., Gil, M. L., and Rego, M. T. 2013. “Recording Complex Structures Using Close Range Photogrammetry: The Cathedral of Santiago De Compostela.” *The Photogrammetric Record* 28: 375–395. doi:10.1111/phor.12040

Perfetti, L., Fassi, F., and Gulsan, H. 2019. “Generation of gigapixel orthophoto for the maintenance of complex buildings. Challenges and lesson learnt.” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W9: 605-614. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-605-2019>.

Rechichi, F., Mandelli, A., Achille, C., and Fassi, F. 2016. "Sharing high-resolution models and information on web: the web module of BIM3DSG system." *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B5: 703-710. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B5-703-2016>

거대 건축물 관리를 위한 현실 기반 HBIM

프란체스코 파시 | 밀라노 공과대학교 부교수, 건축·구축환경·건축공학과 3D 연구팀 (이탈리아)

초 록

본 글에서는 밀라노 공과대학 3D 조사단이 이탈리아의 대표적인 성당 중에 하나인 밀라노 대성당을 대상으로 수행한 프로젝트를 소개하고자 한다. 밀라노 대성당 관리기관인 베네란다 파브리카 (Veneranda Fabbrica del Duomo di Milano)와 협력하여 진행한 이 중장기 프로젝트는 2008년에 시작하여 현재까지 지속되고 있다. 프로젝트가 발족했을 2008년 당시 목표는 동시에 진행되는 여러 복원 현장 지원을 위해 성당 일부를 정확도가 높은 고해상 3D로 조사(1:20~1:50 축척 범위) 하는 것이었다. 2013년부터는 조사 범위가 성당 전체로 확대되었다. 조사 대상지 중에서 연구 역량이 가장 많이 집중된 곳은 성당 중심 첨탑으로, 중심 첨탑에 대한 조사는 2008년 착수해서 2013년 완료했다. 이 프로젝트는 측량 방식 면에서나 HBIM 시스템 구축과 여기서 취득한 데이터 사용 면에서나 선구자적인 연구였다. HBIM 시스템은 베네란다 파브리카의 복원 활동을 지원할 목적으로 개발한 것이었다. 문화유산을 다룰 때 가장 어려운 점은 개별 문화유산마다 특성과 필요로 하는 바가 다르다는 점이다. 더욱이 문화유산은 고해상 논파라메트릭 (non-parametric) 모델이 필요하다. 고해상 논파라메트릭 모델은 높은 정확도로 현실을 재현하고, 필요에 따라 조정 가능하며, 시스템 간 그리고 당사자 간 소통을 원활하게 하는 도구로 사용하기에 쉬운 모델을 의미한다. 여기에 소개된 연구 프로젝트는 시중에 나와 있는 전통적인 의미의 HBIM에 대한 대안 제시를 목적으로 한다. 즉, 축척이 다른 3D 모델에 자유자재로 맞출 수 있는 정보 체계를 만들고자 한 것으로, 이를 통해 다채로운 보존 활동을 지원하고 다양한 데이터와 관리 도구를 제공하고자 하는 것이다.

서론

건물과 건축의 세계에서는 건물의 전 생애를 지원하는 것은 물론 모든 작업자의 활동을 체계화하고, 상호 다른 방대한 정보를 정리할 역량이 있는 디지털 시스템에 대한 요구가 점점 더 거세지고 있다. 건축 정보 모델 (BIM, Building Information Modeling)은 현재 이러한 복잡한 요구사항을 가장 잘 충족하는 도구이다. BIM은 “시설물의 착안에서 철거에 이르기까지 전 생애주기 동안 믿을만한 의사결정의 기반을 형성하는, 공유 지식 자원”으로, 건물 신축에 활용되기 위해 개발되었다.

문화유산분야의 경우에도 이런 도구가 필요하다. BIM이 신축 건물에 유용하다면 오래된 건물에도 중요한 역할을 할 것이다. 문화유산이야말로 3D-BIM체계의 잠재력이 발휘될 수 있는 분야이다. 문화유산은 철거 없이 영원히 존재하고, 보수도 지속적으로 해야 하기 때문이다. 문화유산분야에서 문화유산 건축 정보 모델(HBIM)이 다양한 관점에서 가장 많이 연구되는 주제가 된 것도 이 때문이다. 이들 연구는 동일한 BIM을 역사적으로 중요한 건물이나 기념물에 적용하는 형식으로 진행된다. 하지만 BIM과 HBIM은 목표와 기본 개념이 동일하다 할지라도, BIM 모델을 만들고 이와 연결된 정보 체계를 만드는 과정에서는 전혀 다른 작업이다. 또한 HBIM에 있어서는 체계화되어 있지 않은, 대상 건축물에 관한 정보를 체계화하는 작업이 중요한 부분을 차지한다. 이 글에서 BIM과 HBIM 개념을 소개하고 문화유산에 맞는 작업 방식을 제시하고자 한다.

현실 기반 모델을 획득하기 위한 학제간 측량 조사 방법

건축물 신축과 문화유산의 가장 중요한 차이점은 시작점이다. BIM은 통상적으로 건물의 시공 혹은 새로운 건물의 착안이나 설계 단계부터 시작된다. 이 점에서 BIM은 단순히 3D 복원 도구가 아니라 설계 도구로 기능한다.

반면, 문화유산을 위한 BIM은 건축물 생애의 중간 지점에서 시작되며, 이러한 이유 때문에 HBIM의 시작점에서는 대상 건축물 자체, 건축물의 건축적 특징, 역사와 보존 상태에 대한 완전한 지식이 있어야 한다. 따라서 첫 단계에서 해당 문화유산에 대한 정확한 조사 및 3D 모델링이 반드시 필요하다. 이 말은, 가장 먼저 ‘현실 기반’ 조사를 해야 한다는 말이다. 이 과정에서 어려움은 크게 두 군데에서 발생한다. 첫째는 신뢰할 수 있고 완전한 3D 조사를 진행하고, 둘째는 그 결과물을 다양한 작업자가 처리하고 수정할 수 있는 포맷으로 ‘합성’하는 일이다. 규칙적인 모습이 아니라 복잡한 기하학적인 모습을 가지는 기념물과 유물의 복잡성이 이들 작업을 어렵게 만든다.

최근 이러한 첫 단계 작업에서 작업의 자동화 심화, 해상도와 정확도의 향상 등의 빠른 진보가 있었다. 이는 이미지 및 거리 기반 측정 방식을 지원하는 컴퓨터 시각 기술의 발전 덕분이다. 이에 따라, 이제는 물체를 거의 자동으로, 현실적인 모습의 3D로 빠르고 완전하게 측정할 수 있게 되었다.

두 번째 단계는 원시데이터를 정교하게, 사용할 수 있는 모습으로 합성하는 일이다. 이것은 필요에 따라 선택해서 사용할 수 있도록 최대한 다양한 형태의 3D 모델을 만드는 일이다. 이것이 전체 과정에서 가장 힘든 작업으로, 작업자는 중요한 선택들을 하며 일일이 과정에 참여해야 한다.

또한 건물의 기하학적인 모습을 측정한 것만으로 역사 건축물을 다 알았다고 할 수 없다. 한 발 더 나아가 해당 건물의 상태, 역사, 발전 등을 광범위하게 여러 학문의 관점에서 연구해야 한다. 이처럼 HBIM은 시작점에서 신축 건물의 BIM 보다 훨씬 많은 것을 요구한다. 시간과 비용이 많이 소요되는 조사 및 연구가 되어 있어야 HBIM이 가능한 것이다.

복잡한 정보 생태계

두 번째로, 문화유산은 매우 ‘복잡한 생태계’를 이루고 있다는 점이 다르다. 문화유산분야에는 매우 다양한 대상 물체, 활동 종류, 당사자, 접근 방식, 연구 방식이 존재한다. 이 때문에 표준화된 공식, 하나의 소프트웨어, 동일한 모델링 절차 등을 적용하는 것이 불가능하다. 개별 사례마다 독특한 특성이 있고, 이러한 독특함은 측량에서 모델링 과정에 이르기까지 그리고 정보 생산과 자료 공유에 이르기까지 HBIM 전 과정에 영향을 미친다. 매 단계마다 상황에 따라 새로운 계획을 짜야 한다. 거대한 건축물을 보존하는 것은 많은 이유로 매우 복잡한 작업이다. 여기에는 다양한 일상적, 비일상적인 보존, 복원, 보수 활동뿐만 아니라 건물의 사용 및 다양한 관련 활동에 관한 관리도 포함된다.

이러한 다양한 활동은 대개 다양한 작업자들 (건축가, 엔지니어, 복원 전문가 등)이 수행하는데, 이들은 상호 협력하면서 경험과 활동을 공유해야 한다. 이 때문에 다양한 전문가를 연결하고 3D 형식을 포함한 다양한 형식의 자료를 공유할 수 있게 하는 단일 체계에 대한 요구가 높아지고 있는 것이다. 하지만 하나의 표준 시스템이 모든 상황에 다 적합할 수 없다는 사실 또한 자명하다. 이 문제를 어떻게 해결할 수 있을까? 3D 데이터 가시화나 정보체계 구조 면에서 서로 다른, 다양한 사례들에 알맞게 수정해서 사용할 수 있는 플랫폼을 만드는 것으로 문제를 해결할 수 있을 것이다.

사례연구: 밀라노 대성당 프로젝트

밀라노 대성당에 관한 프로젝트를 사례로 소개하고자 한다. 이 프로젝트의 목적은 지속적인 보수를 지원하는 HBIM 시스템을 구축하는 것이었다. 프로젝트 대상은 밀라노 대성당 중심 첨탑으로 돔 천장부터 성모마리아 조각상까지였다(Fassi 2015).

밀라노 대성당은 이탈리아에서 가장 중요한 기념물 중의 하나로, 후기 고딕 양식의 성당이다. 축조는 1386년 시작되어 약 5세기 후인 1805년에 완료되었다.

밀라노 대성당은 이탈리아에서 가장 큰 성당¹이자, 유럽에서 세 번째, 전 세계에서 다섯 번째 큰 성당이다. 몇 가지 수치를 보면 밀라노 대성당의 규모와 복잡성을 알 수 있다. 성당의 외부 길이는 158m이고 익랑의 높이는 93m이며, 최대 높이 (실내 바닥에서 성모마리아 조각상 머리까지 높이)는 108.50m이다. 전체 면적은 약 12,000 m²이다. 성당 전체는 칸돌리아 대리석으로 축조되었거나 칸돌리아 대리석으로 마감되어 있는데, 이 점이 밀라노 대성당 보수 활동에 가장 큰 영향을 미치는

¹ 밀라노 대성당보다 더 큰 성 베드로 대성당은 바티칸시 안에 있다.

요인이다. 이 종류의 대리석은 광물 구성 때문에 낙후 속도가 매우 빠르므로, 정기적으로 성당의 많은 부분, 특히 외부 부재를 교체해야 한다. 그러므로 연간 110,000시간에 달하는 보수 작업을 지속적으로 해야 한다. 성당에는 매년 대략 20군데의 복원 현장이 운영된다. 따라서 대리석 블록은 밀라노 대성당 보수 활동의 성격을 결정짓는 주요한 요소이다.



그림 1: 밀라노 대성당의 복잡성을 보여주는 사진. 조각상 3,400개, 부조 200개, 첨탑 135개, 55개 스테인드글라스 창문에 표현된 3,600개 이상의 그림, 가고일 150개 등 밀라노 대성당의 예술적인 면모는 대단하다. © 프란체스코 파시

사실 보존 활동은² 주로 성당의 석조 부분 (석재, 조각상, 장식품)에 집중된다. 이들을 교체하기도 하는데, 이 경우 항상 동일한 재료를 사용하고 원 석재와 모양과 크기도 같은 것을 사용한다. 대성당

² 베네란다 파브리카는 밀라노 대성당 보존을 책임지고 있는 기관이다. 이 기관은 1387년 설립되었으며, 지금까지 630년이 넘도록 밀라노 대성당을 위한 보호와 보존 활동을 담당하고 있다.

보존에는 두 가지 어려움이 있다. 한편으로는, 복제품을 만들기 위해 대체 대상에 대한 심도 있는 기하학 지식이 충분히 필요하고, 다른 한편으로는, 교체 대상 석재를 정확하게 확인하고, 교체 날짜 및 기타 유용한 정보를 기록하는 등 교체 작업을 기록해야 한다는 것이다.

2008년에 프로젝트가 시작할 때 베네란다 파브리카는 모든 구조물의 2D 또는 3D 재현물을 1:20에서 1:50의 축척³으로 제작하라는 매우 도전적인 요구를 했다. 구조물의 수직성, 설치된 케이블 지지형태의 비계, 닿지 않는 공간, 넓은 권역, 그리고 무엇보다도 더 완전하고 정확한 조사에 대한 요구 때문에 전면적인 3D 방식의 조사로 방향이 잡혔다. 이 덕분에 원하는대로 정확한 3D, 2D 측정 수치를 추출할 수 있는 정확한 3D 모델을 획득할 수 있었다. 3D 모델을 이용해서 공사를 기획하는데 필요한 무게, 부피, 표면적 등을 계산할 수 있고 대리석 부재 교체 비용을 산출할 수도 있다.

대상 구조물이 건축적으로 유별나게 복잡하고 특이하다는 점을 고려했을 때, 시중에서 구매할 수 있는 BIM 소프트웨어를 사용해서는 3D 복원을 하고 전용 정보 시스템을 구축하는 데 있어 만족할 만한 결과물을 얻을 수 없을 것이라는 점이 자명했다. 이에 따라 정보를 3D 모델에 연결시키고 모델의 사용과 관리를 책임지는 독립적인 시스템을 구축하기로 했다. 이 시스템은 필요에 맞게 조정할 수 있고, 다양한 HBIM에 사용할 수 있도록 설계되었다.

조 사

프로젝트 초반 (2008~2010)에는 속도와 비용 면에서 가장 적합한 실측 방법을 찾는 연구를 하였다. 스캐닝 기술은 광범위하고 복잡한 대상을 입체적으로 조사하는 데 가장 적합한 방법으로 생각되지만 레이저빔이 대리석을 투과하기 때문에 의미 있는 결과를 내지 못할 것이라는 사실을 고려하면서 연구를 진행했다. 이 방법을 이용했으면 측량의 정확도가 떨어져서 원하는 축척의 수치를 추출할 수 없었을 것이다(Fassi 2011). 따라서 선택지는 ‘다중 센서’ 접근법으로 좁혀졌다. 다중 센서 접근법은 크고 복잡한 건물을 조사할 때 종종 선택되는 방법이다(Martinez 2013). 다중 센서 접근법은 필요에 따라 서로 다른 측량 센서를 그때 그때 선택해서 하나씩 혹은 함께 사용하는 것을 말한다.

따라서 이러한 조사의 결과물은 직접 측량, 지형 측량, 사진 측량 그리고 레이저 스캐닝 측량에 이르기까지 다양한 측정 기술의 총합이며, 여기서 사진 측량 기술이 가장 중요한 위치를 차지한다. 바로 이러한 접근방식을 사용했다는 점이 이 프로젝트가 우수한 점이다. 2008년도에 사진 기술을 이용해서 밀라노 대성당의 중심 첨탑과 같이 크고 복잡한 물체를 조사하려면 정교하게 설계된 현장 조사와 사진 측량 자료를 수동으로 전처리하는 과정이 수반되었다. 디지털 이미지를 정렬하고, 다양한 사진 측량 블록을 등록하고, 선형 구조물을 전통적인 스테레오 플로팅 기술로 3D 모델링하는 데는 소프트웨어로 Photomodeler 스캐너가 필요했다. 3D 모델을 완전하게 최적화하기 위해서는 3D 모델링 소프트웨어를 사용해서 더 발전된 모델링 작업을 해야 했다.

3 이는 4~10 mm의 플로팅 오차와 10~30 mm의 공차를 의미한다.

장식물, 조각상, 부조 등 좀 더 복잡한 대상물에 대해서는 이 방식을 적용할 수 없었다. 복잡한 대상물에 대해서는, 2D 이미지로부터 3D 구조를 파악하는 기술 (Structure from Motion) 여러 개를 테스트했다. 이들 기술은 당시 개발 초기에 있었다. 이러한 방식을 사용함으로써 복수의 계산 모듈을 통합해야 했고, 밀도 높은 점군데이터를 생산할 수 있었다. 복잡한 대상물을 모델링하는 데 조합해서 사용한 기술로는 Photosynth+PMVS, Photomodeler 스캐너, Bundler+CMVS+PMVS, VisualSFM+PMVS2 등이 있다(Fassi 2011). 지금은 널리 사용되고 잘 알려진 Agisoft Photoscan 같은 소프트웨어를 연구가 끝날 무렵이 되어서야 침탑의 끝 부분과 성모마리아 조각상과 같이 매우 복잡한 대상물을 조사하고 모델링하는 데 사용할 수 있었다. 오늘날 이러한 접근 방식은 밀라노 대성당과 같은 복잡한 건축물을 조사하는 데 활용된다(Perfetti 2019).

모델링 단계

침탑에 대한 정확한 입체 모델을 만들고 향후 조정하고 업데이트할 수 있는 3D 모델을 만들어야 했기 때문에, 이 필요에 따라 모델링 소프트웨어를 선택했다. 선택된 소프트웨어는 라이노 (Rhino)였다. 라이노를 선택한 이유는 기본적으로 두 가지이다. 첫째, 모델링이 현실 기반이어야 하고, 다양한 기기로부터 측정 데이터를 내려받을 수 있어야 하며, 원하는 공차와 정확도를 허용해야 한다. 라이노는 다양한 모델링 정확도 설정 가능성을 제시하고, 결과도 좋으며 다양한 모델의 위상 지속성을 존중한다. 이 모든 것이 반환 작업 동안 통제가 가능하다. 더욱이 라이노는 배우기 쉽고 CAD 형식 소프트웨어와 다르지 않으면서도 모델 제작 대상의 복잡성, 표면, 규모 등에 제한도 없다. 이러한 측면에서, 라이노는 문화유산분야에 종사하는 사람들의 작업 방식을 깨뜨리지 않으면서 활용될 수 있는 매우 친근한 도구이다. 라이노를 사용함으로써 문화유산분야 종사자들은 3D 모델링이라는 방식을 점진적으로 받아들일 수 있다. 또한 넵스 모델링은 모델의 지속적인 업데이트를 가능하게 하고, 단면, 등각투영 스플릿, 기타 2D 재현 이미지를 자동으로 추출할 수 있게 한다.

최종 3D 모델은, 먼저사진측정에서 취득한 원시데이터를 이용해서 만든 다음에 라이노로 조립하고 완료하였다. 중심 침탑 최종 3D 모델은 침탑을 구성하는 개별 요소를 하나씩 보여준다. 대리석 부재, 장식 요소, 조각상 하나하나를 개별 요소로 모델링했다. 개별 요소 간의 관계에 특히 신경을 썼다. 이들 관계는 개별 요소의 위상학적 특징을 모델링할 때 생산된다. 그러므로 모델링 단계에서는, 일반적인 지리 정보 체계의 디자인과 기하학 규칙을 따랐다. 이들은 개별 요소로 분할됨으로써, 다른 장소에 있더라도 동일한 범주로 통합될 수 있다. 동일한 훼손 유형으로 특징지어진 개별 요소들을 묶어서 볼 수 있게 만듦으로서 보존 행위의 원인과 보존 필요성의 해석이 용이하게 된다.

BIM 체계

BIM 원형 제작은, 높은 정확도와 상세도를 자랑하는 최종 3D 모델을 최대한 활용해서 그

잠재력을 증대시키고자 하는 생각에서 시작되었다. 단순히 말하면, 최초 원형을 만들 때는 여러 작업자 (컴퓨터 비전문가도 포함)의 복원 작업 진행상황을 볼 수 있는 3D 뷰어를 만들고자 했다. 개념적으로 말하면, 3D 모델을 보여주고 거기에 다양한 형식의 정보를 추가할 수 있는 시스템을 말한다.

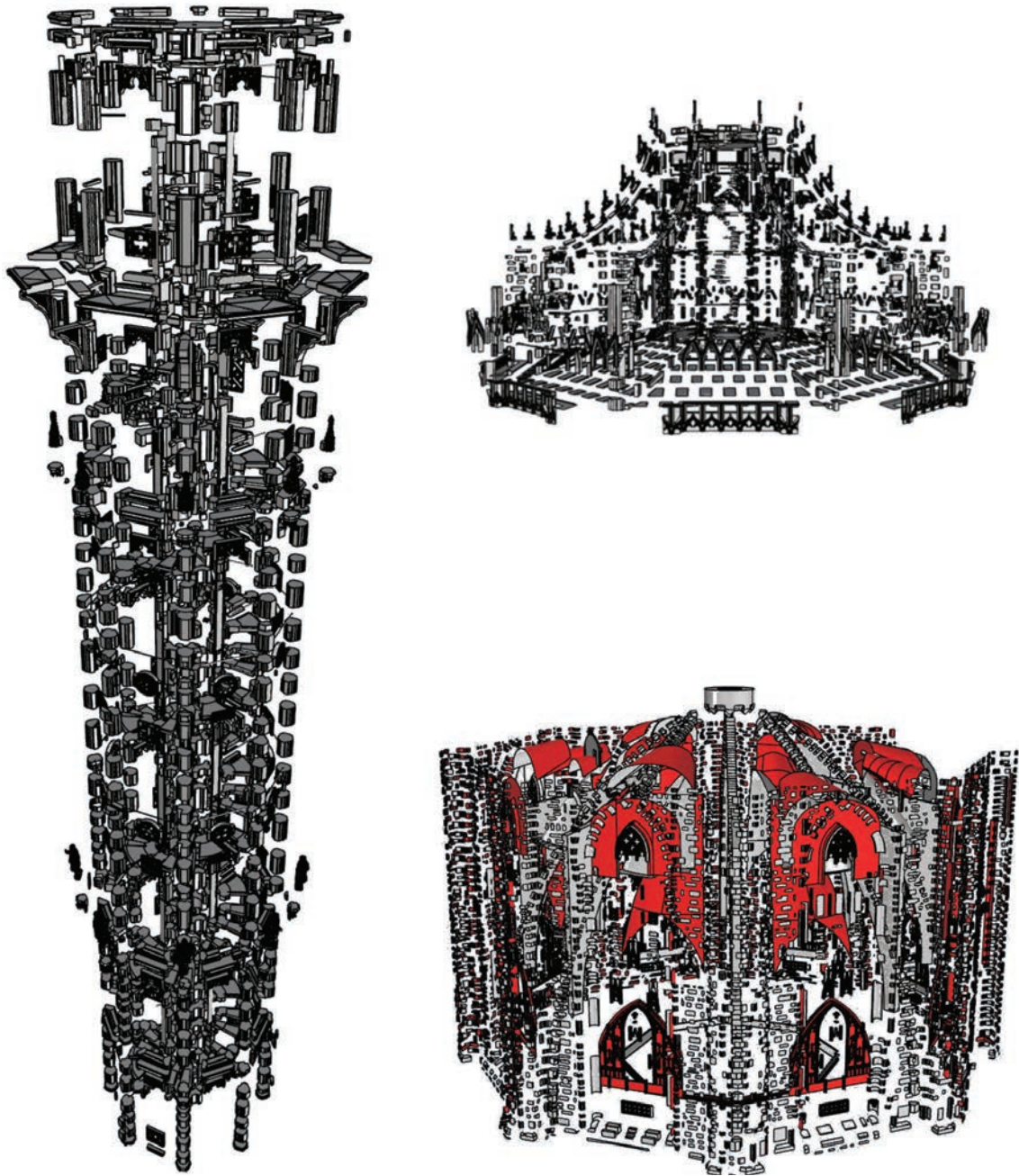


그림 2: 15639개 대리석 블록으로 나누어진 돔 천장과 첨탑 모델 © 프란체스코 파시

혼자서만 작동하는 소프트웨어를 만들고자 한 것이 아니라, 여러 작업자의 정보 공유와 업데이트를 가능하게 하는 서비스 플랫폼을 만들고자 한 것이었다. 전용 플러그인을 설치해서

하나로 통합된 두오모 BIM 시스템을 형성하여 여러 작업자가 첨부 3D 모델을 정보 목록처럼 공유할 수 있도록 했다.

중심 첨부 복원 동안 사용할 BIM 시스템을 만들기 위한 이러한 시도는 일종의 실험 연구로, 밀라노 대성당뿐만 아니라 다른 모든 건축물에 적용할 수 있고 최종적으로 문화유산분야의 표준이 될 수 있는 시스템을 만들기 위한 준비 작업이었다. 최종적으로 문화유산분야에서 가상 3D 모델의 활용 가능성을 증진, 특히 역사성과 예술성이 뛰어난 기념물의 복원과 일상적이고 비일상적인 보수 작업에서 활용할 수 있는 도구를 만들고자 한 것이다.

이 시스템을 개발할 때 염두에 둔 목표는 다음과 같다.

- 사용하기 매우 용이할 것. 그래서 3D 전문가가 아닌 사람, 기술에 익숙하지 않은 사람까지, 최대한 많은 사람들이 쓸 수 있도록 하고자 했다. BIM3DSG를 설계할 때, 문화유산 분야에 종사하는 작업자의 다양성에 주목했고, 이들 작업자 (건축가, 엔지니어, 기술자 등)는 보유하고 있는 기술이 달라 기술을 동일한 수준에서 균등화하는 것이 힘들다는 사실을 고려했다. 경험이 없는 사용자도 사용할 수 있도록 만들어서 모든 사람이 플랫폼의 기능을 활용할 수 있어야 한다.
- 상호 운용성이 매우 강할 것. 그래서 작업자들이 다른 작업장에 일하면서도 동일한 대상물에 대한 정보에 기여할 수 있어야 한다.
- 일반 대중과 협력 가능성을 열어둘 것. 사람마다 새로운 데이터를 추가하고, 기존 데이터를 수정 및 업데이트하는 것을 의미한다. 비전문가들도 검증만 거치면 정보를 추가할 수 있도록 하는 것이 장기적인 목표이다.
- 비용이 낮을 것.
- 보수 기관의 기존 업무 방식을 거스르지 않고 작업자들에게 추가 업무 부담을 지우지 않을 것.

BIM3DSG 체계

개념적으로 BIM은 두 개의 개체로 이루어져 있는데, 컴퓨터 용어를 빌어서 설명하자면 백오피스 (BackOffice, BO)와 프론트오피스 (FrontOffice, FO)이다(Fassi et al. 2015; Rechichi et al. 2016). 시스템의 관리, 제작, 종합을 담당하는 것이 백오피스이고, 성과와 데이터 시각화를 담당하는 것이 프론트오피스이다. BIM 시스템을 구성하는 세 개의 주요 모듈은 다음과 같다.

- 3D 모델의 모델링 및 관리 소프트웨어
- 대상물의 3D 모델을 돌아보며 탐색할 수 있고 추가 정보를 살펴볼 수 있도록 하는 온라인 뷰어
- 대상물에 관한 모든 정보를 담고 있는 데이터베이스

이들 세 부분 간의 통합과 소통은 개별 요소에 부여된 고유 ID에 의해 담보된다.

백오피스는 전체 시스템의 관리를 담당하는 부분으로, 3D 디지털 모델 제작과 연관이 있다.

그러므로 백오피스는 모델링 소프트웨어로 구성되어 있으며, 모델링 소프트웨어에서 3D 모델의 실시간 업데이트와 데이터 입력 스크립트가 실행된다. 이 프로젝트의 경우에 백오피스를 사용하는 작업자는 베네란다 파브리카의 기술팀이다. 기술팀은 정해진 표준에 따라 3D 모델을 만들고 업데이트하며, 프런트오피스를 사용하는 제3자가 입력한 정보를 인증하는 역할을 한다. 백오피스를 사용하는 또 다른 사용자는 데이터가 저장되는 서버 운영팀으로 여기서는 상호 소통과 사용자 접근을 관리한다.

마이크로소프트의 .NET을 기본틀로 McNeel의 라이노 5.0 개발 키트 (RhinoCommon)를 활용해서 만든 백오피스는 세 개의 라이노 플러그인으로 구성되어 있다. 첫 번째 플러그인은 프런트오피스에서 사용될 인덱스 파일을 작성할 수 있도록 한다. 두 번째 플러그인은 인덱스 파일 안에 들어 있는 기하학 정보를 NURBS에서 MESH로 바꾸어 처리하는 역할을 하는데, 필요하면 WebGL 규격에 따라 꼭짓점의 갯수를 줄인다.

프런트오피스는 사용자와 상호 소통하는 부분으로, 수동형(정보를 참고만 함)이나 능동형(데이터 입력이 가능한 기술자)으로 사용이 가능하다. 프런트오피스는 3D 모델을 시각화하고, 정보를 확인 및 업데이트하도록 하고, 차등적인 정보 읽기/쓰기 권한을 주며 이미지 목록을 보여주는 역할을 한다. WEB에서 프런트오피스를 개발하기로 했다. WEB을 사용한다는 것은 브라우저 사용료가 없다는 것으로, 이것은 위에서 설명했던 비용 절감 목표에 부합하는 것이다. 또한 위에서 설명했던, 여러 사용자의 동시 접근(사용성), 다양한 당사자 간의 상호 운용성(참여성), 입력 데이터와 3D 입체 정보의 즉각적인 생산과 동기화 등도 가능하다.

더욱이, 적절한 제한 조치만 취하면 시스템을 더 광범위한 일반 대중에게 공개할 수도 있다. 이것은 시스템에 ‘확산’이라는 다른 기능을 추가하는 것으로, ‘확산’은 문화유산분야에서 매우 중요한 개념이다. 사실 문화유산을 보호하고 보존하는 것도 중요하지만 가치를 부여하는 것도 중요하다. WEB을 기반으로 시각화를 함으로써 전문가의 시스템 사용뿐만 아니라 다채로운 형식으로 대중에게 확산될 가능성까지 제시하고 있다.

웹 뷰어는 다른 형태의 3D 결과물 및 다양한 표출 축척/해상도와 호환되며, 동시에 다양한 형태의 정보를 보고 공유할 수 있게 하고 보존 관련 관리 활동을 지원한다. 이 시스템의 장점 중의 하나는 빅데이터를 다룰 능력이 있다는 것이다. 빅데이터 관리 능력은 현실 기반 모델을 운용하고, 문화유산을 특징짓는 문제인 표준화에 대한 거부, 고도의 복잡성 등을 해결하는 데도 유용하다.

프런트오피스는 HTML5 기술을 이용하는 브라우저로 사용할 수 있으며 64비트 브라우저를 필요로 한다. 3D 모델의 온라인 디스플레이는 셰이드 모드로 제공된다. 프런트오피스는 HTML5, AJAX, PHP에서 실행된다. 시중에 나와 있는 각종 WebGL 시스템을 평가한 다음에, SceneJS 2.0을 선택했다. SceneJS 2.0은 3D 엔진이 있으면 개별적으로 선택 가능한 다수의 대상을 좋은 성능으로 보여준다. 이는 ‘고정밀 모델 뷰잉 기능’이 필요한 공학과 건축 분야에 필요한 기능이다. SceneJS는 DrawLists를 사용하고, 소통을 위해서 JSON SceneGraph 및 API를 보여준다.

프런트오피스는 사용자에게 따라 다채롭게 환경 설정이 가능하다. 현재는, 베네란다 파브리카

주요 사용자(현장 운영자/관리자)가 필요한 기능이 실행된다. 이 사용자는 현장 청소, 대리석 부재 교체, 남은 부재의 출입, 부재의 처리 등 일반적인 보존현장에서 일어나는 일들을 관리한다.

개별 3D 대상물은 작업 시작시에 t0로 표시된다. 개별 대상물에 대해서 ‘작업’ 테이블에 복수의 기록을 남길 수 있다. 이 테이블에서는 n차 작업과 관련된 정보가 저장되면서 동일한 대상물에 대한 다른 버전을 만들고 작업 전후 달라진 부분에 대한 기록도 저장한다⁴. 또한, 각 작업은 이미지와 연동되고, 이 이미지는 브라우저에서 직접 내려받을 수 있다. 이들은 각 부분의 작업과 제작에 대한 이미지를 보여준다. 이를 통해서, 보수 작업의 역사를 기록할 수 있다. 즉, 중심 점탐을 구성하는 개별 요소마다 지금까지 어떤 보수 행위가 이루어졌는지 알 수 있는 것이다.

데이터베이스 관련해서는 SQL 표준과 ACID모델(원자성, 일관성, 고립성, 일관성)에 잘 부합하는 PostgreSQL을 선택했다. 모든 정보를 담고 있는 데이터베이스는 모델링 환경에서 백오피스 운영자에 의해 만들어지고 관리된다. 백오피스 운영자는 데이터베이스를 운영할 특권이 있는 유일한 주체이다. 대신에, 프론트오피스 관리자는 웹 인터페이스에서 요소를 추가나 삭제를 할 수 있다.

결론

글에 소개한 경험을 통해서, HBIM은 가능성이 무궁무진한 도구로 문화유산분야에 도입하면 장시간 많은 비용을 들여 진행하는 복잡한 보존 작업 관리에 유용하다는 점을 보여주었다. 모든 경우에 사용할 수 있는 종합적인 시스템을 구축하기까지는 갈 길이 멀고, 처음부터 HBIM의 목표를 설정해야 한다는 것이 분명해졌다. 밀라노 대성당에서의 경험뿐만 아니라 베니스 산마르코에서의 경험(Fassi 2017, Fregonese 2017)을 통해서 밝혀진 바에 따르면, BIM의 목표가 설정되고, 적용 분야가 정리되어 시스템이 설계되면 얻을 수 있는 결과가 대단히 크다. 이 때문에, 개별 사례에 알맞게 스스로 변화하는 체계를 만들고자 하는 것이다. 이 체계는 한 사례 내에서 이질성 높은 대상, 재료, 측정 기기, 분석 방법, 데이터, 포맷, 정보, 설명 방식, 용어, 운용 방식, 의사소통 매체 등을 표준화하려는 시도를 하면서 스스로 해당 사례에 맞게 변화한다. 모든 문화유산에 적용할 수 있는 하나의 방식을 찾는 것은 불가능하다. 범위를 특정 지역 문화유산으로 좁혀도 쉽게 찾을 수 없다. HBIM은 다양한 요구에 맞게 스스로를 조정하고 출처가 상호 다른 다양한 정보를 연결할 수 있는 가능성이 있는 정보 체계로, 사례별로 알맞게 적용될 수 있는 유연하고 역동적인 플랫폼이다.

조사에서 모델링 그리고 온라인 플랫폼에서의 결과물 창출까지 HBIM 전과정에서 가장 문제가 되는 것은 3D 모델 제작이다. 측정 정보를 가지고 조정 가능한 현실 기반 모델을 만드는 일은 수작업으로 시간과 비용이 많이 소요된다. 기존 BIM 소프트웨어는, 문화유산 특유의 복잡성과 요구되는 정확도를 고려했을 때 사용하기에 부적합하다. 기존 BIM 소프트웨어를 사용하면 너무 단순한 모델이 만들어질 가능성이 있다. 이러한 모델은 정보체계 구축에 참고용으로 사용할 수는

⁴ 이 작업은 프론트오피스 브라우저에서 할 수도 있고, 백오피스 라이노에서 할 수도 있다.

있겠지만, 보수 작업을 지원하기 위한 목적으로는 부적합하다. 정확도가 떨어지고, 지나치게 단순하며, 3D 모델 제작에 작업자의 주관성이 너무 많이 개입된다.

향후 연구에서 HBIM 시스템을 운용할 때는 모델링 단계는 건너뛰고 조사 단계에서 생산되는 점군 데이터를 바로 3D 모델로 시스템 내에서 사용할 수 있도록 해야 한다. 이렇게 하면 두 가지 혜택이 있다. 즉, 시간과 비용이 많이 소요되는 단계를 피하면서 빠른 속도로 HBIM 체계를 구축할 수 있고, 통제되지 않는 추가적인 수정 없이 정확도 높은 고해상도 모델을 바로 사용할 수 있는 것이다. 이러한 측면에서, 점군 데이터 작업에 연구를 집중하면서, 점군데이터를 ‘일반적인 3D 모델’로 취급할 수 있는 도구 개발에 주력해야 할 것이다.

밀라노 대성당 프로젝트는 HBIM은 시설물 신축 시에 사용하는 BIM과는 완전 다르다는 것을 보여준다. BIM이 설계 도구라면, HBIM은 기존 건물에 적용되는 도구로 ‘역설계’와 유사한 보수관리 도구이다.

PHOTOS

부록 4: 사진 - 현장 스케치

Annex

4



01

Group photo for the 1st
International Symposium on
Digital Heritage: Convergence of
Digital Humanities
September 2019
© CHA

단체사진 - 2019 디지털 문화유산
국제심포지엄 '문화유산과 디지털
인문학의 융합'
©문화재청



02

Keynote speech by Prof. Mario
Santana Quintero
(Carleton University)
© CHA

기조연설 - 마리오 산타나 퀸테로 교수
(캐나다 칼튼대학교)
©문화재청



03

Lecture by Dipl.-Ing. Georgios
Toubekis
(Fraunhofer Institute for Applied
Information Technology FIT &
RWTH, Aachen University)
© CHA

발제 - 게오르기오스 투베키스
(프라운호퍼 연구소 & 독일
아헨공과대학교)
©문화재청

04

Lecture by Prof. Francesco Fassi
(Politecnico di Milano)
© CHA

발제 - 프란체스코 파시 교수
(밀라노 공과대학교)
©문화재청

**05**

Lecture by Prof. Jaehong Ahn
(KAIST)
© CHA

발제 - 안재홍 교수
(한국과학기술원)
©문화재청

**06**

Lecture by Prof. Eugene Ch'ng
(University of Nottingham Ningbo
China)
© CHA

발제 - 유진 청 교수
(노팅엄대학교 Ningbo 캠퍼스)
©문화재청





07

Lecture by Dr. Wook Han
(NRICH)
© CHA

한옥 학예연구관
(국립문화재연구소)
©문화재청



08

During the Q and A session
© CHA

질의응답
©문화재청



09

During the Q and A session
© CHA

질의응답
©문화재청

10

During the break between the sessions

© CHA

회의장 스케치
©문화재청



11

Heritage Korea, Hwabaek International Convention Center
(the venue of the symposium), in Gyeongju
© CHA

국제 문화재산업전 - 경주화백컨벤션센터
©문화재청



12

Opening ceremony of Heritage Korea, Hwabaek International Convention Center
(the venue of the symposium), in Gyeongju
© CHA

경주 국제문화재산업전 개막식 -
경주화백컨벤션센터
©문화재청



2019

**THE 1ST INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON DIGITAL HERITAGE :
CONVERGENCE OF DIGITAL HUMANITIES**

2019 디지털 문화유산 국제심포지엄
문화유산과 디지털 인문학의 융합

