

돌, 나무, 흙 건축의 구조 특성과 안전관리 방안 국제워크숍 결과보고서

International Workshop Report
on the scope of the material
and techniques Stone, Wood and Earth

차례

CONTENTS

서문 Foreword	5
학생 지원 프로젝트로 실시한 뉴 헤이븐 그로브 스트리트 묘지의 묘비 보존 상태 기록 Documenting the state of preservation of tombstones on New Haven Grove Street Cemetery as student service project Stefan Simon, Kiraz Göze Akoğlu	11
한국의 세 석조 기념물의 문제점 Problems of the three masonry monuments in Korea E. Görün Arun	35
문화유산의 취약성에 관한 예비 평가 한국 기념물에 대한 방법론적인 제안 Preliminary vulnerability assessment in cultural heritage Methodological proposal for Korean monuments Marcela Hurtado	55
건축물들과 그 건축물들의 수 백년 역사 Buildings and their centuries-old history Segarra Lagunes, María Margarita	81
문화의 영역을 통해서 본 진실성 Authenticity viewed through the lens of culture Stephen. J. Kelly	103
전통 유산 건축물의 생태기후적 특징 : 모로코와 한국의 중정형 주택의 열적 쾌적성 The bioclimatic features of traditional heritage architecture : Thermal comfort of the courtyard house in Morocco and Korea Khalid El Harrouni, Khadija Oukassi	119
건축 상태에 관한 CIGALE 그룹의 간략한 감정(鑑定) 경주 - 첨성대 Kurzgutachten der gruppe CIGALE Gyeongju-Cheomseongdae observatorium Bernd Mittnacht Dipl.-Ing.(FH)	167

때로는 덜 하는 것이 최선책일 수 있다.	205
한국 방문 시 관찰	
When doing less may be the best approach	
Observations following a visit to Korea	
Ian McGillivray	
유네스코 세계유산도시 경주와 첨성대	225
The UNESCO world heritage city Gyeongju and Cheomseongdae	
慶州 瞻星臺, The Cheomseongdae Observatory	
조인숙 _ In-Souk CHO	
경주 첨성대의 개연성있는 손상 메커니즘	235
ISCARSAH(건축유산의 구조해석 및 수리복원 국제학술위원회) 2017 워크숍 중	
유적지 방문을 토대로 한 의견	
Probable degradation mechanism of Cheomseongdae observatory in Gyeongju	
opinion based on the on-site visit during ISCARSAH Workshop 2017.	
Marek Skłodowski	
페루 콜럼버스 이전의 시대에 내진 건축물을 만들기 위한 돌과 흙의 조합	255
The Combination of stone and earth to produce Earthquake-resistant constructions in the peruvian Pre-columbian era	
Julio Vargas-Neumann, Rafael Aguilar	
돌, 나무, 흙 건축의 구조특성과 안전관리방안에 관한 국제워크숍	275
ISCARSAH '17 워크숍 진행 경과보고	
International Workshop on the scope of the material and techniques Stone, Wood and Earth	
ISCARSAH '17 Workshop Report	
조상순 _ Sang Sun JO	
워크숍 사진	285
Workshop Photos	

서문

고룬 아룬¹, 김덕문², 이왕기³

¹ 이코모스 이스카사 위원장

² 국립문화재연구소 안전방재연구실장

³ 이코모스 한국위원회 위원장

Foreword

E.Görün Arun¹, KIM Derk Moon², LEE Wang Kee³

¹ ISCARSAH President

² Director, Safety and Disaster Prevention Division, NRICH

³ President of ICOMOS-Korea

서문

이 책은 2017년 6월에 진행된 국제 워크숍의 결과물을 수록한 것이다. 워크숍은 국립문화재연구소와 사단법인 이코모스 한국위원회(ICOMOS KOREA)가 공동으로 주관하고, 이코모스 소속 국제학술위원회의 하나인 이코모스 이스카사(건축유산의 구조해석 및 수리복원 국제학술위원회, ICOMOS ISCARSAH)가 주최하였다. 워크숍의 주제는 ‘돌, 나무, 흙 건축의 구조 특성과 안전관리’로, 국립문화재연구소에서 안전관리 모니터링을 실시하고 있는 건축문화재를 대상으로 현장 조사를 실시하고, 관리 방안에 대한 전문 토론을 진행하였다. 주로 구조적 건전성에 대한 조사, 안전점검 등 지속가능한 관리 방안, 그리고 재해피해 예방 등이 논의되었다. 본 워크숍을 위하여 사전에 9명의 국외 전문가와 5명의 국내 전문가를 초청하였으며, 행사에는 다수의 이스카사 회원과 국내 대학 교수, 지자체 공무원 등 총 30여 명이 참여하였다.

본 워크숍의 한국 개최는 2016년 9월 벨기에 루벤에서 개최된 제10회 ‘역사적 건축물의 구조해석에 대한 국제회의(10th international conference on Structural Analysis of Historical Constructions)’에서, 회의 참석자를 중심으로 처음 논의가 이루어졌다. 이후 회의 개최 방식과 운영에 대하여 국립문화재연구소와 이코모스 한국위원회간 업무 협의가 진행되었다. 양 기관은 이스카사 학술행사에 대한 공동 개최 협약을 맺기로 하고, 워크숍 추진 방안과 양 기관의 역할 등에 대하여 협약서를 작성하였다. 2017년 4월 10일 국립문화재연구소와 이코모스 한국위원회는 2017년 이스카사 워크숍을 공동개최하기 위한 협약을 체결하였다. 협약 체결식은 대전에 위치한 국립문화재연구소 소장실에서 이루어졌으며, 참석자로는 국립문화재연구소의 소장 최맹식, 연구기획과장 이상준, 안전방재연구실장 김덕문과 이코모스 한국위원회의 부위원장 이왕기, 간사 김경희, 이스카사의 부위원장 조인숙이 참석하였다. 또한 워크숍의 성공적인 개최를 위하여 서울시 종로구, 사단법인 한국건축역사학회, 사단법인 문화재수리협회, 크라운해태, 한양대학교 동아시아건축역사연구실, 주식회사 성익건설, 주식회사 건축문화재기술 등이 후원하였다.

한국의 건축문화재에 대한 구조적 해석과 안전관리 방안에 대한 토의를 위하여, 국립문화재연구소는 9개의 유적을 조사 대상으로 선정하였다. 그리고 대상 유적의 사진, 도면 등 정보를 수록한 자료집을 제작하여, 워크숍 참가자들에게

Foreword

This report contains the collection of papers written by participants of international workshop. The workshop was co-hosted by NRICH (National Research Institute of Cultural Heritage) and ICOMOS-Korea, and was organized by ISCARSAH (International Scientific Committee on the Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage). The theme was 'workshop on the scope of the material and technique - Stone, Wood, and Earth'. Participants conducted field surveys on architectural cultural heritages that were monitored by NRICH, and discussed about safety management measures on them. Also they discussed on structural health assessment, sustainable management and disaster mitigation. For the workshop, NRICH invited nine foreign and five domestic experts officially. Also, a number of ISCARSAH members, professors and government officials participated.

The opening of this workshop in Korea was first discussed with the participants at the 10th International Conference on the Structural Analysis of Historic Constructions (SAHC), which was held in Ruben, Belgium, in September 2016. Since then, NRICH and ICOMOS-Korea have discussed on how to host the workshop. NRICH and ICOMOS-Korea agreed to conclude a joint hosting of ISCARSAH workshop, and prepared the agreement on how to promote the workshop and the role of each institution. On April 10, 2017, NRICH and ICOMOS-Korea signed an agreement to co-host the 2017 ISCARSAH workshop. The signing ceremony took place at the office of director-general of NRICH in Daejeon. And CHOI Maeng Sik (director-general of NRICH), LEE Sang Joon (director of research and planning department), KIM Derk Moon (director of safety and disaster prevention division), LEE Wang Kee (vice president of ICOMOS-Korea), KIM Kyung Hee (secretary of ICOMOS-Korea), and CHO In Souk (vice president of ISCARSAH) attended the ceremony. Also Jongno-gu municipal authority of SEOUL, KAAH (Korean Association of Architectural History), KCHCA (Korean Cultural Heritages Conservation Association), Crown-Haitai Co., FAHL (Far East Architectural History Lab.) of Hanyang Univ., Sung Ik Construction Co., and Architectural Cultural Heritage Technology Co. sponsored this workshop.

To discuss structural analysis and safety management measures on Korean architectural cultural heritages, NRICH selected 9 sites for investigation. Then NRICH produced a book containing information such as photos, drawings of 9 sites

배포하였다. 워크숍은 9개 유적에 대한 현장 조사로 구성된 현장 워크숍과, 조사 결과를 바탕으로 토론을 위한 실내 워크숍으로 구성되었다. 조사 대상 유적은 다음과 같다. : 서울 송례문, 서울 흥인지문, 창덕궁 주합루, 안동 법흥사지 칠층전탑, 안동 임청각, 경주 첨성대, 경주 불국사 다보탑 및 석가탑, 경주 월성 발굴현장, 경주 쪽샘고분 발굴현장 및 전시관.

참가한 전문가들은 국립문화재연구소에서 제공한 문화재 안전관리 관련 기초 자료를 바탕으로, 현장 조사와 토론을 실시하였다. 워크숍 종료 이후 참가자들은 현장 조사 경험과 각각의 분야별 전문성을 바탕으로 문화재 안전관리 방안에 대한 보고서를 작성하였다. 본 보고서에 수록된 각 전문가들의 제안은 향후 한국의 문화재 구조해석과 안전관리, 방재 분야 연구 업무에 활용될 예정이다.

고륜 아문¹, 김덕문², 이왕기³

¹ 이코모스 이스카사 위원장

² 국립문화재연구소 안전방재연구실장

³ 이코모스 한국위원회 위원장

and distributed to the participants of the workshop. The workshop consisted of a field workshop for investigation on 9 sites, and an indoor workshop for discussion based on survey results. The locations and sites to be investigated were as follows; <SEOUL> Sungnyemun Gate, Heunginjimun Gate, Juhamnu Pavilion of Changdeokgung Palace; <ANDONG> Seven-story Brick Pagoda at Beopheungsa Temple site, Imcheonggak House; <GYEONGJU> Cheomseongdae Observatory, Dabotap Pagoda of Bulguksa Temple, Three-story Stone Pagoda of Bulguksa Temple, Wolseong Palace Site, Jjoksaem Archaeological Site.

Participants conducted field investigations and discussions based on basic data on cultural heritage management (safety and structural monitoring) provided by NRICH. After the workshop, participants prepared a special report on how to manage cultural heritage based on their field research experience and expertise. The opinions of each expert in this book will be used for future research in structural analysis, safety & stability management and disaster prevention of cultural heritage of Korea.

E.Görün Arun¹, KIM Derk Moon², LEE Wang Kee³

¹ ISCARSAH President

² Director, Safety and Disaster Prevention Division, NRICH

³ President of ICOMOS-Korea

학생 지원 프로젝트로 실시한 뉴 헤이븐 그로브 스트리트 묘지의 묘비 보전 상태 기록

스테판 사이먼¹

키라즈 괴제 아코올루²

¹ 예일 대학교, 글로벌 문화유산 이니셔티브, 뉴 헤이븐, 코네티컷 06511, 미국

² 예일 대학교, 문화재보존연구소, 웨스트 헤이븐, 코네티컷 0656, 미국

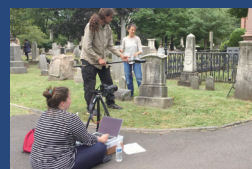
Documenting the State of Preservation of Tombstones on New Haven Grove Street Cemetery as student service project

Stefan Simon¹

Kiraz Göze Akoğlu²

¹ Yale University, Global Cultural Heritage Initiatives, New Haven, CT, 06511, USA

² Yale University, Institute for the Preservation of Cultural Heritage, West Haven, CT 0656, USA



학생 지원 프로젝트로 실시한 뉴 헤이븐 그로브 스트리트 묘지의 묘비 보전 상태 기록

스테판 사이먼¹

키라즈 괴제 아코올루²

¹ 예일 대학교, 글로벌 문화유산 이니셔티브, 뉴 헤이븐, 코네티컷 06511, 미국

² 예일 대학교, 문화재보존연구소, 웨스트 헤이븐, 코네티컷 0656, 미국

그로브 스트리트 묘지(GSC)는 1796년 제임스 할하우스와 그 외 31명의 뉴 헤이븐 시민들의 주도 하에 건립되었다. 배치 계획하에 설립된 가장 오래된 매장지 중 하나로서, 이 묘지는 1997년 10월에 미국 국립사적지에 등재되었고 2000년 이후로 미국국립역사기념물이 되었다. GSC는 뉴 헤이븐의 건축가인 헨리 오스틴에 의해 기하학적 디자인으로 설계되었으며 직사각형 구조로 나뉘어져 있다. 유명한 장례식들 외에도 묘지는 모든 이들에게 공식적으로 개방되었고 노예들을 위해 특별 구역을 지정하였다.

그로브 스트리트 묘지 건립 이전에, 뉴 헤이븐의 고인들은 뉴 헤이븐 그린에 있는 오늘날의 중앙교회 뒤에 위치한 공동묘지에 묻혔다. 비록 완전한 평등이 묘지의 초기 설립부터 널리 퍼지지는 않았으나, 할하우스는 빈민들과 사망한 이방인들의 무덤을 수용하기 위해 예일 대학교, 여러 개신교 교회 법인들, “유색인종들”에게 팔릴 어느 정도 통합된 매장지를 구상하였고, 그리고 필요한 경우, 도시에 기부를 하였다. 1797년에 코네티컷주가 이 묘지를 뉴 헤이븐의 새로운 공동묘지(The New Burying Ground)로 받아들이면서 그러한 노력이 인정되었다.

IARU 글로벌 여름 프로그램의 틀 안에서, 우리는 “지속가능한 문화유산 보존”에 관한 국제 여름 강좌를 강의해왔는데, 일부 학생들은 GSC에 있는 비석과 기념비에 대한 실무작업도 함께 실시하였다. 학생들은 안내방문을 통해 묘지를 소개받았고, 이를 통해 그들은 묘지의 물리적, 건축적 특징을 관찰하고 그곳의 정신을 느꼈다. 뉴 헤이븐의 엘리트들의 사적인 계획으로 설립된 GSC는 현 시민들의 사회생활에서 눈에 띄게 볼 수 있는 공공 공간으로 탈바꿈했다.

여러해 전부터 GSC는 많은 기념비들에 대한 보수와 유지 노력에도 불구하고 어려움에 직면해 왔다. 보다 효율적인 보존을 위해서는, 먼저 무엇이, 어떤 속도로, 그리고 어느 정도로 악화되었는지 알고 이해해야 한다.

Documenting the state of preservation of tombstones on New Haven Grove Street Cemetery as student service project

Stefan Simon¹

Kiraz Göze Akoğlu²

¹ Yale University, Global Cultural Heritage Initiatives, New Haven, CT, 06511, USA

² Yale University, Institute for the Preservation of Cultural Heritage, West Haven, CT 0656, USA

Grove Street Cemetery (GSC) was established with initiative of James Hillhouse and 31 other citizens of New Haven New Haven in 1796. Being one of the earliest burial grounds with a planned layout, the cemetery was listed on the National Register of Historic Places in October 1997 and since 2000 is a US National Historic Landmark. GSC was designed by New Haven architect Henry Austin with a geometric design and is divided into rectangular plots. In addition to the notable burials the cemetery is officially open to all and provided a special section for slaves.

Prior to the establishment of Grove Street Cemetery, New Haven's dead were buried in a common burial ground located behind what is now Centre Church on the New Haven Green. Although full equality was not prevalent from the cemetery's initial establishment, Hillhouse envisioned a somewhat integrated burying ground with lots being sold to Yale, the various Protestant Ecclesiastical Societies, "People of Color", and where necessary, donations were made to the City in order to accommodate the burials of the poor and deceased strangers. In 1797, such efforts were acknowledged as the State of Connecticut incorporated the cemetery as The New Burying Ground in New Haven.

In the frame of the IARU Global Summer Program, we have been teaching an international summer course on "Sustainable Preservation of Cultural Heritage", which included, for some of the students, hands-on work on tombstones and memorials on GSC. The students were introduced to the cemetery by a guided visit through which they observe the physical and architectural features of the cemetery and feel the spirit of the place. GSC being established as a private initiatives of the elites of New Haven, has turned into a public space, figuring prominently in social lives of the present citizens.

Since many years, GSC has been facing challenges, despite renovation and maintenance attempts on many memorials. In order to make conservation efforts more efficient, it is first necessary to learn and understand what has deteriorated, at which speed and up to what extent.

따라서 수업의 틀안에서 학생들과 함께 한 현장실습에서는 향후 상태관찰을 위해 현재 상태를 기록하려는 목적으로 ICOMOS 국제석재과학위원회(ISCs)의 석재 부식패턴의 삽화용어사전에 따라 3D모델링 및 시각적인 풍화형태 매핑을 사용하여 석재 기념비의 현재 보존상태를 평가하는데 초점을 맞추었다. 또한 간단한 초음파 속도(UPV) 측정 또는 공명 테스트기에 의한 스케일 탐지가 수행되었다.

각 학기마다 학생들은 강좌 시작시에 그룹 프로젝트를 선택했다. ‘그로브 스트리트 묘지 기념비의 디지털화와 그 상태평가는 학기 프로젝트 중 하나이다. 학기말에는 기념비에 관해 그들이 발견한 것들을 보조 자료로 이용하면서 수업 중에 배웠던 보존 접근법을 토대로 하여 보존 전략을 제안해야 한다. 다양한 배경과 각기 다른 수준의 교육을 받은 학생들은 “행동에 의한 학습” 경험으로 유익을 얻는다. 이러한 식으로, 그들은 문화재 보존에 대한 보다 광범위한 이론적인 이해 외에도 건축유산에 만연한 보존이론에 대하여 실질적으로 이해할 수 있게 된다.

2~4명으로 이루어진 학생 그룹들은 그들의 관심사와 배경에 관해 사진측량법, 풍화 매핑, 초음파 속도 측정과 같은 다양한 기술에 대하여 지도받았다. 이러한 것들을 달성하기 위한 목표와 전략을 정의하는 것이 그들의 첫 과제이다. 이러한 정의는 작업용 도구와 방법을 정의하는 데에 도움이 되기도 했다. 그들은 네가지 주요목적을 정하였다: i. 그로브 스트리트 묘지의 중요성 평가하기; ii. 엄선된 기념비들의 석재 부식 수준 평가하기; iii. 엄선된 비석들의 디지털 모델 만들기; iv. 이러한 부식이 어떻게 중단되거나 적어도 미래에 느려질수 있는지에 대해 간단한 제안 발표.

시각적인 풍화형태 매핑

시각적 풍화패턴 매핑은 이러한 패턴의 유형, 범위 및 분포를 기록하고자 첫번째 진단도구로 사용되었는데 이는 부식의 원인과 메커니즘을 이해하기 위한 첫단계였다. 또한 추가 진단연구와 보존개입 계획에 사용되는 방법을 결정하는데 중요한 역할을 한다. “ICOMOS ISCS 석재 부식패턴에 관한 삽화용어사전”¹⁾은 지도의 공간을 이루는 다양한 풍화형태에 대한 분류 체계를 제공해 준다. 문헌조사 후, 학생들은 선택된 기념비석의 사진들에서 보여지는 시각적 풍화패턴을 매핑했다 (그림 1).

1) ICOMOS-ISCS : 석재 부식패턴에 관한 삽화용어사전 - Glossaire illustré sur les formes d'altération de la pierre, Monuments and Sites XV, ed. ICOMOS ISCS, 2008, 여러 번역물 <http://iscs.icomos.org/glossary.html>

So, the in-situ work with the students in the frame of the class focused on assessing the state of preservation of stone memorials in order to register a baseline for future condition monitoring by using 3D modelling and mapping of visual weathering forms according to the ICOMOS International Scientific Committee for Stone (ISCS) Illustrated Glossary on Stone Deterioration Patterns. Furthermore, simple ultrasonic velocity (UPV) measurements, or scale detection by resonance tester have been carried out.

Each term, students selected a group project at the beginning of the class. 'Digitization of the memorials in Grove Street Cemetery and their condition assessment' is one of the term projects. At the end of the term they are expected to propose a conservation strategy with the help of the conservation approaches they have learnt during the class and based on their findings on the memorials. The students, coming from diverse backgrounds and with different levels of education, profit from a 'learning by doing' experience. In this way, they gain a practical understanding of the conservation theories prevalent for the built heritage in addition to a broader theoretical understanding of Sustainable Preservation of Cultural Heritage.

Groups of 2 to 4 students were given the tutorials on different techniques such as photogrammetry, weathering mapping and ultrasonic velocity measurements regarding their interests and backgrounds. Define aims and strategy to achieve these is their first assignment. These definitions also helped them to define the tools and methods for their work. They came up with four main aims: i. Assess the significance of Grove Street Cemetery; ii. Assess the level of stone deterioration of selected memorials; iii. Create a digital model of the selected tombstones; iv. Provide a brief proposal as to how such deterioration can be stopped or at least slowed in the future.

Mapping of Visual Weathering Forms

The mapping of visual weathering patterns was used as a first diagnostic tool with the aim to register the type, extent and distribution of these patterns as the first step to understand the causes and mechanisms of decay. It has also a key role in determining the methods used for further diagnostic studies and the planning of the conservation interventions. The "ICOMOS ISCS Illustrated glossary on stone deterioration patterns"¹⁾ provides a classification scheme for a broad variety of weathering forms, which forms the backbone of the mapping. Following the literature review, the students mapped the visual weathering patterns on the photos of the selected stone memorials (Figure 1).

1) ICOMOS-ISCS :Illustrated Glossary on Stone Deterioration Patterns – Glossaire illustré sur les formes d'altération de la pierre, Monuments and Sites XV, ed. ICOMOS ISCS, 2008, various translations <http://iscs.icomos.org/glossary.html>



그림 1 대리석 비석에 있는 시각적 풍화형태 매핑

사진측량법을 이용한 3D모델링

사진측량법이란 사진에서 거리를 측정하는데 사용되는 이미지 캡처 기술이다. 이 기술은 현장 문화유산의 3D모델 생성에 핵심적이다. 이 연구에서는 3D모델링을 이용하여 시간 경과에 따라 비석상태를 기록하고 관찰하였다.

3D모델 개발을 위한 사진측량법의 주요 장점은 비용효율성 및 필요장비의 광범위한 접근성이다. 본 연구에 사용된 방법에서는 이미지 캡처를 위한 휴대폰 카메라와 쉽게 이용가능한 소프트웨어인 아지소프트 포토스캔²⁾이 필요했다. 따라서, 이 방법은 쉽게 학습되었으며 중소규모 문화유산에 대한 재현가능한 결과를 제공하였다 (그림 2, 3). 더욱이, 이 과정을 통해 생성된 모델의 고품질 특성으로 인해 스케일, 플레이킹 등 석재 표면의 세부 사항을 명확히 볼 수 있도록 하였고, 이로 인해 향후 시간이 지남에 따라 계속 관찰을 할 수 있었다.

2) P. 코펠, 아지소프트 포토스캔: 근거리 구성의 포인트 클라우드 정확도, (2015), 커뮤니티 기사.
http://www.agisoft.com/pdf/articles/Paul_Koppel_Agisoft-PhotoScan_case_study_01.pdf



Figure 1 Mapping of visual weathering forms on a marble tombstone

3D Modelling using Photogrammetry

Photogrammetry is an image capturing technique used to determine distance measurements from photographs. The technique is central to the generation of 3D models of in situ heritage monuments. This study employs 3D modelling as both a means of documentation and monitoring of stone condition over time.

A key advantage of photogrammetry for developing 3D models is its cost effectiveness and the wide accessibility of the necessary equipment. The method used by this study required mobile-phone cameras for image capture and the easily accessible software Agisoft Photoscan²⁾. Thus, the method was easily learned and provided reproducible results for small to medium sized cultural heritage objects (Figures 2, 3). Furthermore, the high- quality nature of the models generated by this process allowed for clear visibility of details on the stone surface, such as scales and flaking, which allows for future monitoring over time.

2) P. Koppel, Agisoft PhotoScan : Point Cloud accuracy in close range configuration, (2015), Community Articles.
http://www.agisoft.com/pdf/articles/Paul_Koppel_Agisoft-PhotoScan_case_study_01.pdf

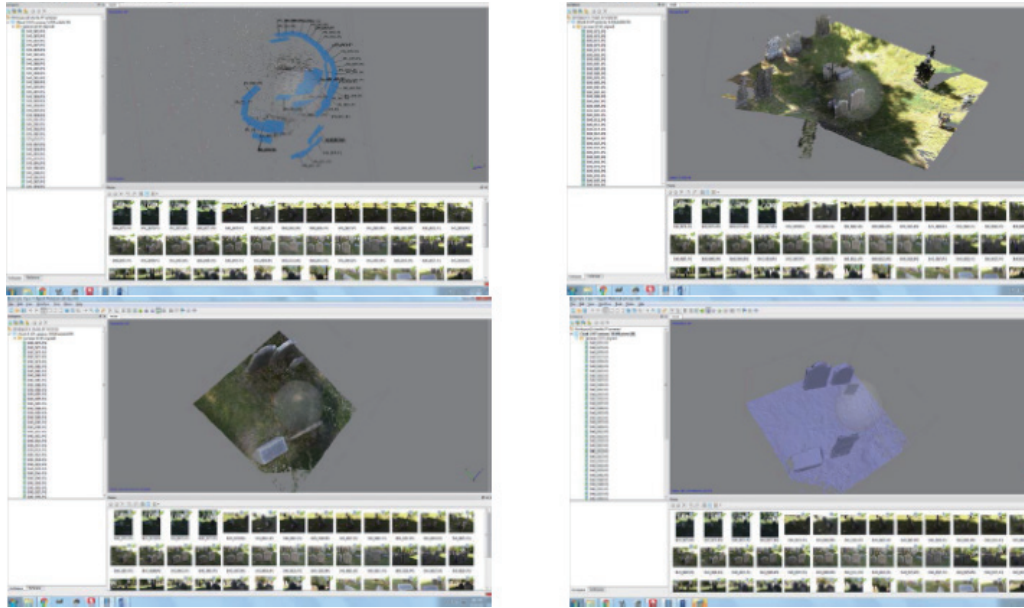


그림 2 영상 정렬, 밀집한 포인트 클라우드와 그물망 재구성, 텍스처 생성 후 아지소프트 포토스캔의 스크린샷
(왼쪽 위부터 시계방향)

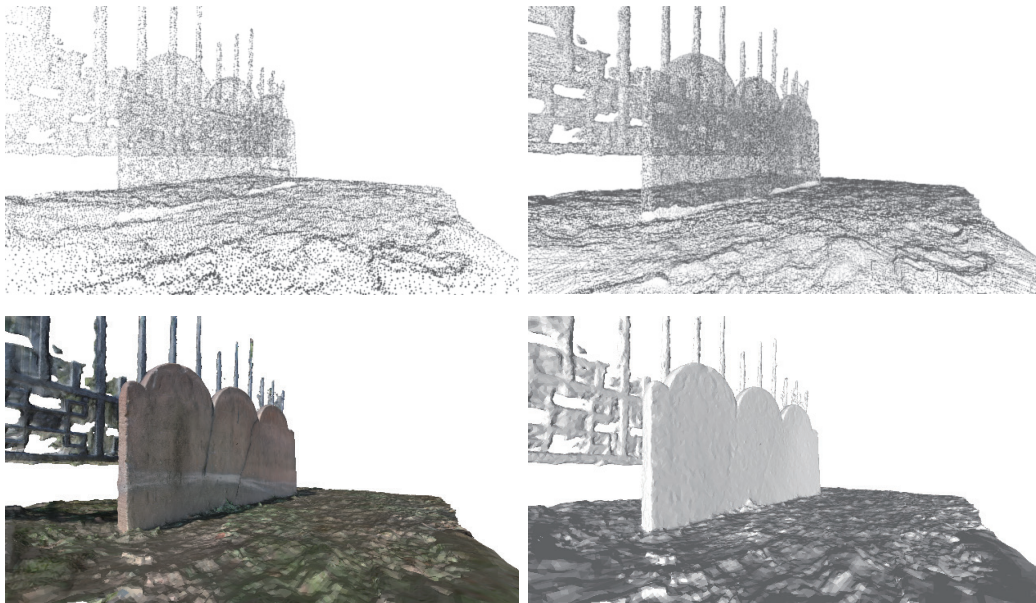


그림 3 포인트 클라우드, 와이어 프레임, 그물망 및 텍스처 모델(왼쪽 위부터 시계 방향)로
3D 디지털화된 석재의 렌더링

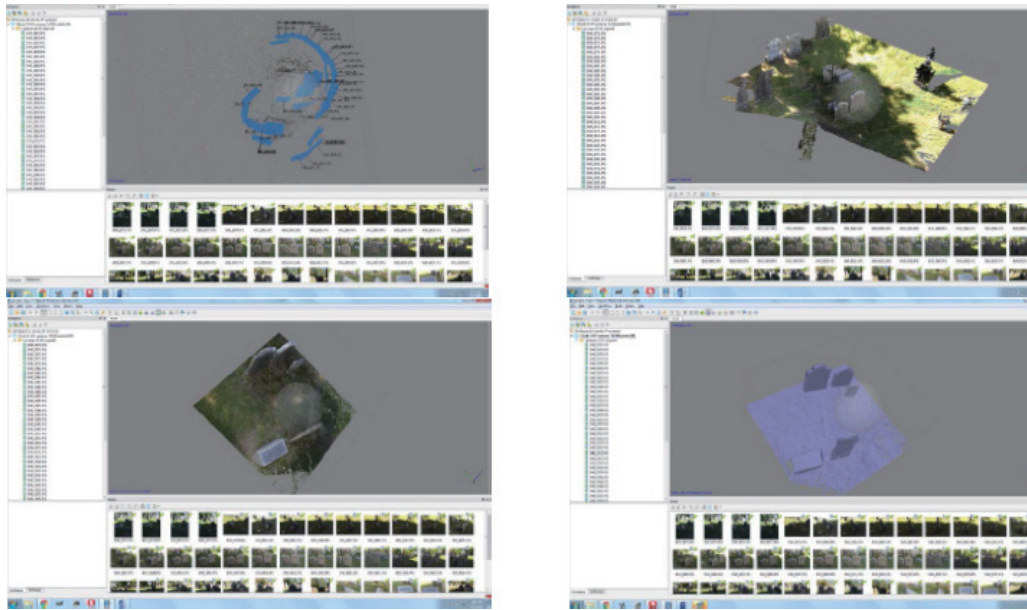


Figure 2 Screenshots from Agisoft Photoscan (clockwise from top left) after alignment of images, the dense point cloud and mesh reconstruction, texture generation.

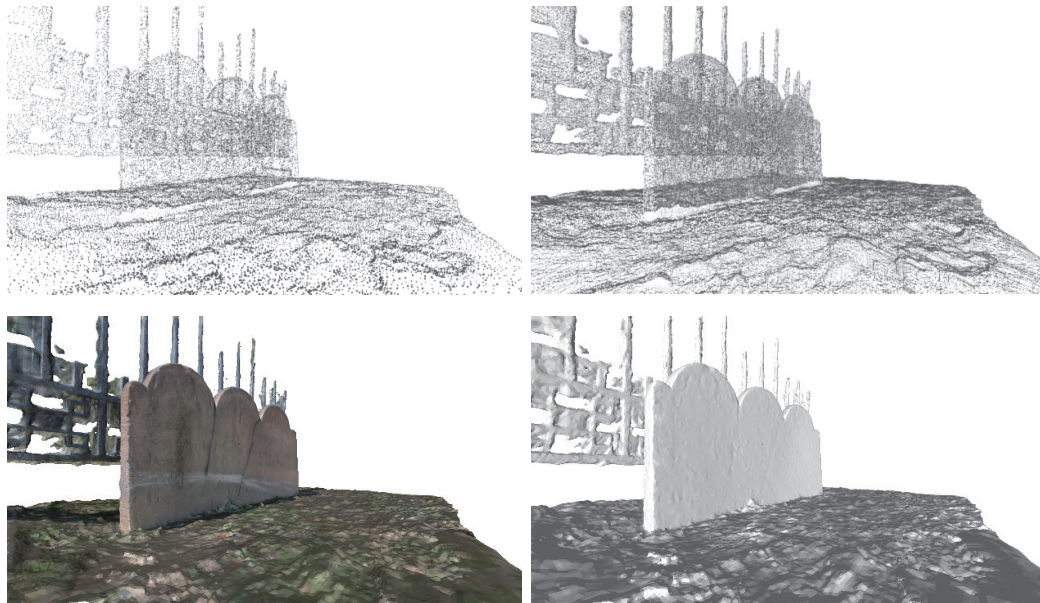


Figure 3 Renderings of the 3D digitized stone, as point cloud, wireframe, mesh and textured model (clockwise from top left).

초음파 속도 (UPV) 측정:

돌의 초음파 속도는 물질을 통과하는 고주파 초음파로 측정을 한다. 속도 측정값은 더 강하고 단단한 돌의 경우 더 높고, 더 약하고 손상된 돌의 경우 더 낮다는 점에서 돌의 상태에 대한 정보를 제공할 수 있다. 더 강한 돌(또는 더 “온전한” 돌)은 더 손상된 돌보다 더 작은 미세 구조, 더 낮은 다공성, 그리고 더 높은 밀도를 가지고 있고, 이러한 특성으로 인해 초음파가 돌을 통해 이동하는 속도는 증가하며, 더 높은 기계적 강도를 나타낸다.



그림 4 GSC에 있는 기념비의 초음파 속도 실험

비석의 각 부위별 대표적인 표본을 추출하기 위해 10~20개의 측정경로를 선정하였다. 각 지점의 위치가 기록되었으며, 측정지점 사이의 거리도 기록되었다. 실제 측정을 위해, 변환기와 수신기로 사용하는 두개의 시험 탐촉자를 선택된 각 경로에서 비석의 양 반대편에 위치하게 했다 (그림 4). 판독값은 시험 탐촉자에 부착된 컴퓨터에서 경과한 시간에 따라 기록되었다. 그런 다음 공식을 사용하여 각 시험 경우마다 km/s 단위의 초음파 속도를 계산하였다.

속도 = (km단위로 이동한 거리) / (s단위로 경과한 시간 (일명 변환기의 데드 타임이라 불리는 시간은 차감시킴))

선택된 각 시험지점들의 속도값 비교를 통해 비석의 각기 다른 부위들의 상대적인 보존 상태를 알 수 있었다.

(그림 5, 표 1)

Ultrasonic Velocity (UPV) Measurements:

Ultrasonic velocity measurements for stone are made using high frequency ultrasonic sound waves that travel through the material. The velocity measurements can give information about the condition of the stone in that the values will be higher for stronger and more solid stone and lower for weaker and more damaged stone. Stronger stone (or more “intact” stone) has a more compact microstructure, lower porosity, and higher density than more damaged stone, and with these properties the speed with which the ultrasonic wave travels through the stone increases, reflecting a higher mechanical strength.



Figure 4 Ultrasonic velocity testing of memorials on GSC

10–20 measurement pathways on the stone were chosen to assure a representative sampling of the different parts of the stone. The position of each point was recorded, so was the distance between the measurement points. In order to take the actual measurement, two test probes; one being transducer and the other receiver, were placed on opposite sides of the stone at each chosen pathway (Figure 4). The readings were recorded as the time elapsed from a computer attached to the test probes. Then the ultrasonic velocity in km/s were calculated for each test case using the formula

$$\text{velocity} = (\text{distance travelled in km}) / (\text{time elapsed in s (minus so-called dead time of transducers)})$$

Comparison between the velocity values from each of the chosen test points, gave the relative state of preservation in different sections of the stone (Figure 5, Table 1).

v_f (km/s)	손상 단계	색	묘사
$v_f \geq 5$	0	초록	새 대리석
$3 < v_f < 5$	1	파랑	다공성 증가중
$2 < v_f \leq 3$	2	노랑	세밀한 분해 진행중
$1.5 \leq v_f \leq 2$	3	빨강	붕괴의 위험
$v_f < 1.5$	4	마젠타	완전한 구조적 손상

표 1 속도에 따른 결정 대리석 손상 분류 / 다공성 상관 관계 (사이먼 2001)³⁾

손상 범주 3과 4의 경우, 보존 개입이 시급하고, 노출의 상태가 미확정인 2단계 또한 그렇다. 손상 3단계 이상의 물건들은 사전 강화 또는 고정 방안 없이 이동시키지 말아야 한다.

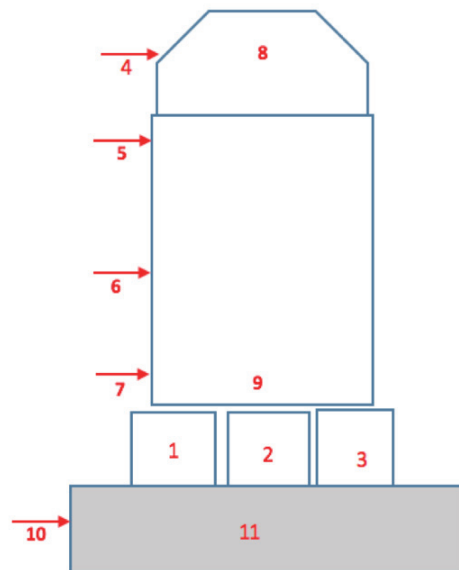


그림 5 1872년 5월 22일 사망한 메리 A. 비쳐와 1872년 2월 18일에 사망한 그녀의 어린 딸 아다 M. 비쳐의 대리석 묘비에 대한 초음파 속도 측정 지점. 비석의 대리석 부분의 바닥이 금이 가 세 부분으로 깨져 있다.

3) S. 사이먼, Zur Verwitterung und Konservierung kristallinen Marmors: Untersuchungen zu physiko-mechanischen Gesteinskennwerten, zur Oberflächenchemie von Calcit und Anpassung und Überprüfung von Gesteinsschuttmitteln, 2001.

v_l (km/s)	Damage class	Color	Description
$v_l \geq 5$	0	Green	Fresh marble
$3 < v_l < 5$	1	Blue	Increasing porosity
$2 < v_l \leq 3$	2	Yellow	Progressive granular disintegration
$1.5 \leq v_l \leq 2$	3	Red	Danger of breakdown
$v_l < 1.5$	4	Magenta	Complete structural damage

Table 1 Classification of crystalline marble damage based on velocity / porosity correlation (Simon 2001)³⁾

For damage categories 3 and 4 there is an urgent need for conservation intervention, also for class 2 pending on the conditions of exposure. Objects with parts in damage class 3 or worse should not be moved without prior consolidation or securing measures.

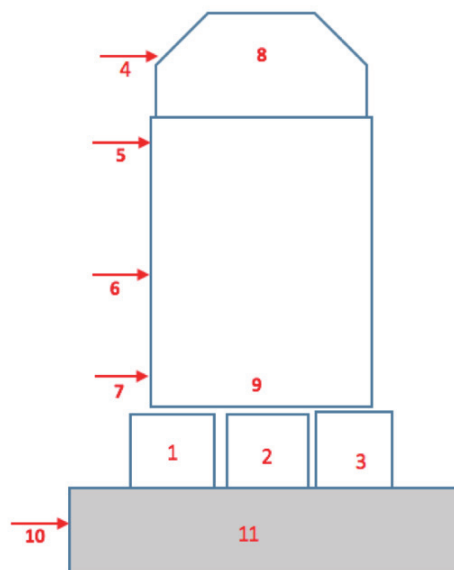


Figure 5 Ultrasonic Velocity measurement points on marble tombstone of Mary A. Beecher, who died May 22, 1872, and her infant daughter Adah M. Beecher, who died on February 18, 1872. The base of the marble portion of the stone has cracked and is broken into three separate pieces.

3) S. Simon, Zur Verwitterung und Konservierung kristallinen Marmors: Untersuchungen zu physiko-mechanischen Gesteinskennwerten, zur Oberflächenchemie von Calcit und Anpassung und Überprüfung von Gesteinsschutzmitteln, 2001.

결정 대리석의 경우 다음과 같은 손상 분류법이 사용되었다 (표 2):

측정 장소	음파가 이동한 거리 (cm)	측정 높이 (인치)	시간 (μsec)	USV (km/s)
1	31.75		83.81	4.2
2	31.75		87.45	4.0
3	31.75		92.71	3.7
4	17.78	37 (기단부터)	84.22	2.3
5	51.12	26 3/4 (기단부터)	168.73	3.2
6	44.45	19.5 (기단부터)	161.85	2.9
7	59.69	3 (기단부터)	223.31	2.8
8	17.78	37 (기단부터)	84.22	2.3
9	17.15	3 (기단부터)	97.56	1.9
10	91.44	6 (땅에서부터)	252.02	3.7
11	50.4825	10 (땅에서부터)	130.17	4.1

표 2 메리 A. 비처의 대리석 비석에 대한 초음파 속도 측정

공명탐지

공명탐지는 간단하지만, 놀랍도록 강력한 기술로 공명주파수를 사용하여 스케일, 확장 및 깊이를 감지한다. 이 도구는 게르하르트 리에비에르거 (TU-München, Lehrstuhl für Ingenieurgeologie)에 의해 개발되었으며, 비석 표면을 부드럽게 가로지르는 얇은 막대에 부착된 무게있는 금속공으로 구성된다 (그림 6). 표면 아래 빈 공간에 의해 발생하여 들리는 공명주파수의 변화를 주목하여, 그에 따라 그릴 수 있는 스케일링 또는 박리 영역을 식별할 수 있다 (그림 7).



그림 6 공명탐지 측정

For crystalline marble, the following damage classification was used (Table 2):

Measurement Location	Distance travelled by the sound wave (cm)	Height of the measurement (inches)	Time (µsec)	USV (km/s)
1	31.75		83.81	4.2
2	31.75		87.45	4.0
3	31.75		92.71	3.7
4	17.78	37 (from the base)	84.22	2.3
5	51.12	26 3/4 (from the base)	168.73	3.2
6	44.45	19.5 (from the base)	161.85	2.9
7	59.69	3 (from the base)	223.31	2.8
8	17.78	37 (from the base)	84.22	2.3
9	17.15	3 (from the base)	97.56	1.9
10	91.44	6 (from the ground)	252.02	3.7
11	50.4825	10 (from the ground)	130.17	4.1

Table 2 Ultrasonic velocity measurement of the marble tombstone to Mary A. Beecher.

Resonance Detection

Resonance detection is a simple, but astonishingly powerful technique which relies on the use of resonance frequency to detect scales, their extension and depth. The tool has been developed by Gerhard Lehrberger (TU-München, Lehrstuhl für Ingenieurgeologie) and consists of a weighted metal ball attached to a thin rod, which is passed gently across the stone surface (Figure 6). Noting variations on audible resonance frequency created by hollow spaces below the surface, it is possible to identify areas of scaling or delamination, which can be mapped accordingly (Figure 7)



Figure 6 Resonance detection measurements



그림 7 애쉬먼 기념비의 공명탐지 매핑

반사율 변화 이미징(RTI)

보존분야에 있어가장 최근에 추가된 사진기술 중 하나는 반사율 변화 이미징(RTI)이다. RTI⁴⁾와 그리고 휴렛 팩커드 연구소⁵⁾가 2001년에 개발한 가장 일반적인 피팅 알고리즘인 다항식 텍스처 매핑(PTM)은 비파괴적이고, 저렴하며, 쉬운 이미징 기술들이다. 다항 텍스처 맵과 반사율 변환 이미지는 범프 및 기존 텍스처 매핑에 비해 표면 색상, 자가 그림자, 표면 산란 및 상호 반사를 포함하여 사실성을 증가시켜 준다.전문가와 대중은 RTI를 통해 육안검사나 처리보다 뛰어난 새로운 방법으로 인공물을 시각적으로 경험할 수 있다. RTI는 가시 스펙트럼의 다른 기술보다 사진으로 문서화할 수 있는 더 전체적인 접근법이다. 또한, RTI의 장점들은 효율적이고 경제적인 비접촉 검사를 위한 보존 요구를 충족한다.

4) 무제, M., 부타즈, J. P., 스로에르, C. 및 럼, M. (2005) 그랜드 세인트 버나드 호스피스에서 반사율 변환 이미징 및 코인의 가상 표현. IN: 무제, M. 라이언, N. 및 스코픽노, R. (eds.) 제6차 가상현실(Virtual Reality), 고고학, 지능적인 문화유산 국제회의의 회기, 피사: 2005년 11월 8-11일. Aire-la-Ville: 유로그래피학 협회, 195-202.: <http://dx.doi.org/10.2312/VAST/VAST05/029-039> [2014년 11월 14일 접속].

5) 말츠벤더, T., 겔브, D. and 울터, H. (2001) 다항 텍스처 맵. IN: 포커크, L. (ed.) 제28회 컴퓨터그래픽 및 상호작용 기술에 관한 컨퍼런스 진행, 로스엔젤레스, 2001년 8월 12-17일. 뉴욕: ACM, 519-528.: <http://doi.acm.org/10.1145/383259.383320> [2012년 10월 26일 접속]



Figure 7 Resonance detection mapping on Ashmun Memorial.

Reflectance Transformation Imaging (RTI)

One of the most recent additions to the photographic techniques in conservation is Reflectance Transformation Imaging (RTI). RTI⁴ and the most common fitting algorithm, Polynomial Texture Mapping (PTM), developed in 2001 at Hewlett Packard Laboratories⁵, are non-destructive, affordable and easy imaging techniques. Polynomial Texture Maps and Reflectance Transformation Images provide increased realism, including surface colors, self-shadowing, sub-surface scattering and inter-reflections, in comparison to bump and traditional texture mapping. Via RTI, experts and the public can experience views of the artefacts in a new way that is superior to visual examination or handling. RTI is a more holistic approach for photographic documentation than other techniques in the visible spectrum. Also, RTI advantages, fulfil conservation demands for efficient, affordable non-contact examination.

4) Mudge, M., Voutaz, J. P., Schroer, C. and Lum, M. (2005) Reflection Transformation Imaging and Virtual Representations of Coins from the Hospice of the Grand St. Bernard. IN: Mudge, M. Ryan, N. and Scopigno, R. (eds.) Proceedings of the 6th International conference on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage, Pisa: 8-11 November 2005. Aire-la-Ville: Eurographics Association, 195-202. Available from: <http://dx.doi.org/10.2312/VAST/VAST05/029-039> [Accessed November 16, 2014].

5) Malzbender, T., Gelb, D. and Wolters, H. (2001) Polynomial texture maps. IN: Pocock, L. (ed.) Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, Los Angeles, 12-17 August 2001. New York: ACM, 519-528. Available from: <http://doi.acm.org/10.1145/383259.383320> [Accessed 26 October 2012].

하이라이트 기반 방법은 특별한 장비 없이, 물체의 크기에 상관없이, 실외에서 데이터를 수집할 수 있으므로 하이라이트 이미지 캡처에 대한 안내서⁶⁾에서 설명한 절차에 따라 적용되었다. 이 데이터 처리 방법론은 민호 대학이 2009년 문화유산 이미징(CHI)과 공동으로 개발한 RTI 빌더 소프트웨어를 사용한다. 결과 RTI 파일들은 RTI 뷰어(ISTI-CNR/CHI RTI뷰어)⁷⁾와 같은 특수 소프트웨어를 통해 볼 수 있으며, 이를 통하면 다른 렌더링 모드를 이용하여 조명 위치의 상호 작용을 조작할 수 있고 최종 결과도 향상시킬 수 있다. 기본 설정과는 별도로, 보기용 소프트웨어는 RTI 이미지의 수학적 향상을 가능하게 하는 다른 렌더링 모드를 제공한다. 경면 향상은 가장 빈번하게 사용되는데, 그것은 이용가능한 두 가지 보기용 소프트웨어의 예시에서도 제공되고 또한 RTI 빌더(Builder)의 최신 출시에도 포함되어 있기 때문이다. 이것의 주요 장점은 표면 모양 인식 기능이 향상되었다는 점이다.



그림 8 RTI 데이터 수집

6) 하이라이트 이미지 캡에 대한 문화유산 이미징 (2013a) 안내서. 문서 버전 2.0: http://culturalheritageimaging.org/What_We_Offer/Downloads/RTI_Hlt_Capture_Guide_v2_0.pdf [2014년 11월 17일 접속].

7) RTI뷰어에 대한 문화유산 이미징(2013b) 안내서, 1.1. 버전: http://culturalheritageimaging.org/What_We_Offer/Downloads/rviewer/RTIViewer_Guide_v1_1.pdf [2014년 7월 2일].

The Highlight-based method was applied, following the procedure described in the Guide to Highlight Image capture⁶⁾ since it is able to capture data outdoors, regardless of the size of the objects, without any special instrumentation. The data processing methodology uses the RTI builder software, developed by the University of Minho in collaboration with Cultural Heritage Imaging (CHI) in 2009. The resulting RTI files can be viewed via specialized software such as the RTI viewer (ISTI-CNR/CHI RTIViewer)⁷⁾, which enables interactive manipulation of the lighting position and enhancement of the final outcomes through different rendering modes. Apart from the default the viewing software provide different rendering modes, which enable mathematical enhancement of the RTI image. The specular enhancement is the most frequently used, as it is provided by both available examples of viewing software and is also included in the latest release of the RTI Builder. Its main advantage is the improved perception of the surface shape.



Figure 8 RTI data collection.

6) Cultural Heritage Imaging (2013a) Guide to highlight image capture. Document version 2.0. Available from: http://culturalheritageimaging.org/What_We_Offer/Downloads/RTI_Hlt_Capture_Guide_v2_0.pdf [Accessed 17 November 2014].

7) Cultural Heritage Imaging (2013b) Guide to RTIViewer, version 1.1. Available from: http://culturalheritageimaging.org/What_We_Offer/Downloads/rtiviewer/RTIViewer_Guide_v1_1.pdf [Accessed 2 July 2014].

CHER-Ob 이용

3D모델, 2D 및 RTI 이미지, UPV 측정과 함께 수집된 역사적인 기록 정보에 대한 결과와 통합 분석은 예일문화유산 보존연구소(IPCH)와 협력하여 예일 컴퓨터 공학⁸⁾이 개발한 CHER-Ob - 소프트웨어를 이용하여 종합하고 분석하였다.

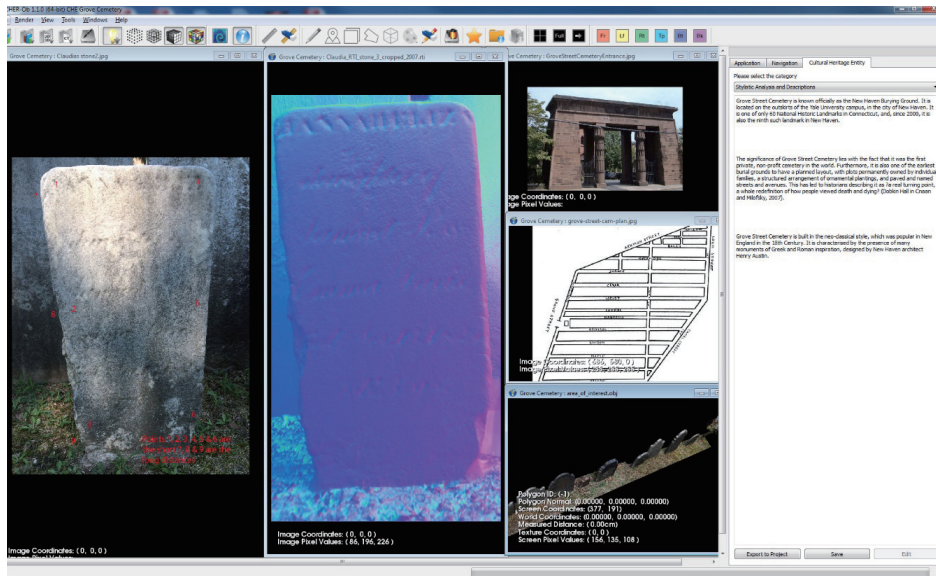


그림 9 모든 데이터를 연결하는 그로브 스트리트 묘지 Cher-Ob 프로젝트의 스크린샷.

그림 9는 묘지의 도면, 기록 정보, 그로브 스트리트 묘지 입구의 사진과 함께 2D 이미지 RTI와 비석의 3D모델을 보여주는 Cher-Ob 프로젝트의 스크린샷을 보여주고 있다. 학생들은 향후 연구를 위한 자료 보관소로 모든 데이터를 하나의 공유 플랫폼에서 수집하기를 제안했고 그들의 연구 결과를 예일 IPCH의 기존 파일에 추가했다.

8) 예일 컴퓨터 그래픽, CHER-Ob: 문화재 연구의 공동분석을 위한 오픈소스 플랫폼, 예일대. (2016). <http://graphics.cs.yale.edu/site/cher-ob-open-source-platform-shared-analysis-cultural-heritage-research> (2016년 8월 23일 접속).

9) 왕 Z, 아코그루 K, 러쉬메이어 H. 문화유산 프로젝트 확산을 위한 도입 비디오 생성기. 그래픽과 문화재에 관한 유로그래픽 워크샵에서; 2017.: <http://dx.doi.org/10.2312/gch.20171296>

Using CHER-Ob

The results and their integrated analysis of 3D models, 2D and RTI images, UPV measurements together with the archival and historic information collected were brought together and analyzed with the help of CHER-Ob - software that is developed by Yale Computer Sciences⁸⁾, in collaboration with Yale Institute for the preservation of Cultural Heritage (IPCH).

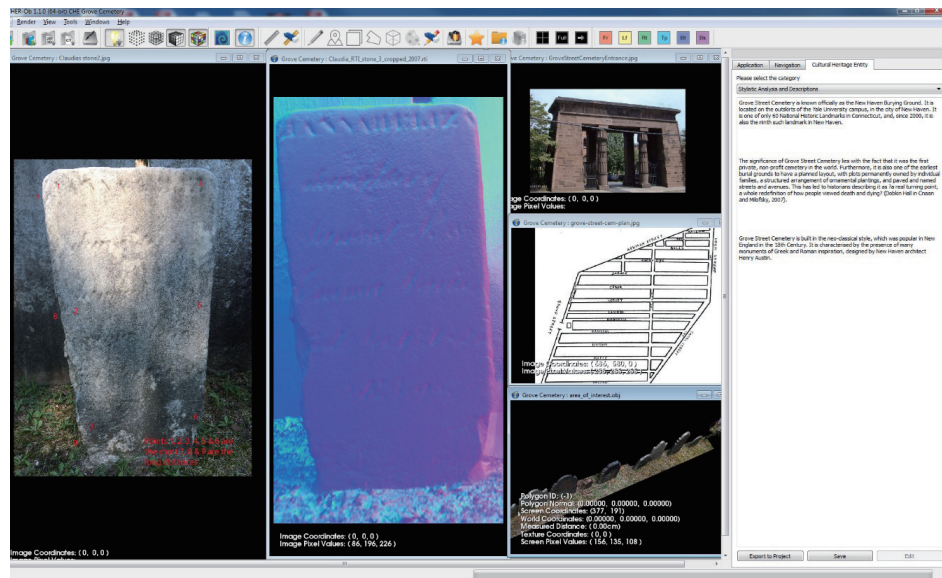


그림 9 모든 데이터를 연결하는 그로브 스트리트 묘지 Cher-Ob 프로젝트의 스크린샷.

Figure 9 shows a screenshot from Cher-Ob Project showing 2D image RTI and 3D models of the tombstones together with the cemetery's plan, archival information and the picture of the entrance gate of the Grove Street cemetery. Collecting all data under one shared platform as a depository for future studies has been suggested by the students and they have added their findings into the existing files at Yale IPCH.

8) Yale Computer Graphics, CHER-Ob: An Open Source Platform for Shared Analysis in Cultural Heritage Research, Yale Univ. (2016). <http://graphics.cs.yale.edu/site/cher-ob-open-source-platform-shared-analysis-cultural-heritage-research> (accessed August 23, 2016).

9) Wang Z, Akoglu K, Rushmeier H. An Introductory Video Generator for Disseminating Cultural Heritage Projects. In EUROGRAPHICS Workshop on Graphics and Cultural Heritage; 2017. Available from: <http://dx.doi.org/10.2312/gch.20171296>

결론

그로브 스트리트 묘지에서 학생들과 함께 진행한 실습에서는 석재 보존을 위한 많은 다양한 접근 방법을 이용하였다. 시각적 매핑, 초음파 속도 또는 공명 시험, RTI 및 3-D 모델링과 같은 진단 방법들은 보존 상태를 위한 기준선을 확립하는데 도움이 된다.

이 비석들은 특정한 처리를 받는다. 비록 대부분의 경우에 행동 방침은 손상을 복구하려고 노력함으로써 이루어지는 하지만, 종종 이미 손상된 것을 수리하는 것보다 추가 피해 예방에 초점을 맞추는 것이 더 도움이 될 수 있다.

묘지 관리인들은 수년 동안 비상 수리에 많은 시간과 노력을 들였다. 하지만 이런 노동은 시간이 걸리고 비용이 많이 든다. 큰 손상을 입기 전에 보다 정기적으로 비석의 예방 보존에 더 집중할 가치가 있을 것이다. 방문객들에게 개방되어 있는 야외시설로써, 그 구역은 반드시 날씨와 방문객들의 부주의한 인간 행동에 의해 영향을 받을 것이다.

우리의 "지속 가능한 문화유산 보존" 강좌의 학생들은 GSC에서 지속되고 있는 연구에 참여함으로써 그저 관찰하는 대신에 보존 노력에 참여하는 것이 수업 중에 할 수 있는 흥미진진한 경험이라는 것을 보여주었다. 이는 문화유산 보존의 다양한 속성을 보여주며, 그들은 보존이 단지 현존하는 건축물들을 수리하는 것만이 아니라는 것을 이해하게 되었다. 끝으로, 이들은 STEM 교육의 중요한 요소, 즉 실제 조사에서 성공을 경험하는 것의 중요성을 배웠다.

우리는 벨라 블레이그먼, 클라우디아 산체즈-지메네스, 엘리자베스 코킬레트(2016), 아네 코넬리아 파이드, 아안찰 초프라, 준지에 추, 알렉 윌리스(2017), 그리고 주리 번, 케이티 헤이우드, 하야토 미우라(2018) 등 예일 IARU 2016-18 학년도 학생들에게 매우 감사한다.

이들의 말로 끝맺자면: "이 프로젝트는 앞으로 각 비석의 상태를 점검하는데 하루의 일부분을 할애하고, 부서질 위험의 여부를 확인하고, 보존 상태에 따라 조치를 우선시하는 것이 더 경제적으로 유용하다는 것을 보여주었습니다. 시간이 많이 걸리긴 하지만, 보존이라는 이 일은 비석 자체 때문만이 아니라 뉴 헤이븐 내에서 그것들이 갖는 더 넓은 사회적 가치 때문에 중요합니다. 그곳에 쓰여진 정보를 보존해야만 미래에 이 도시의 현재 거주자들에 대한 잠재적인 족보조사가 가능하게 될 것입니다. 그로브 스트리트 묘지에 있는 비석들은 개인적인 요소들이 아니라 자신의 사회적 정체성을 더 넓은 문화적인 맥락 안에서 뿌리내리려는 사람들을 위한 순례 장소입니다."¹⁰⁾

10) 그로브 스트리트 묘지의 석재저하에 대한 보고. 스테판 사이먼 박사, 키라즈 괴제 아코올루 박사, 에레니 코투라 박사와 함께 ANTH207 학생들의 기여, 2016.

Conclusion

The practical work with students on Grove Street Cemetery highlights the many different approaches towards the preservation of stone. Diagnostic methods, such as visual mapping, ultrasonic velocity or resonance testing, RTI, and 3-D modelling help to establish a baseline for the state of preservation.

The stones are also subject to particular treatments. Although the course of action consists in many cases by trying to repair the damage, often, it may be more helpful to focus on the prevention of further damage instead of on fixing what has already been damaged.

The keepers of the cemetery have employed much time and efforts over the years in emergency repairs. However, this labor is time-consuming and economically expensive. It may be worth concentrating more on preventive conservation of the stones on a more regular basis, before major damages occur. As an open-air site open to visitors, the area is bound to be affected by both the weather, and the potentially careless human action of its visitors.

By becoming part of this continuous study in GSC, the students of our “Sustainable Preservation of Cultural Heritage” course have shown that participating to the conservation efforts instead of only observing is an exciting experience to make in class. It illustrates the diverse nature of cultural heritage preservation, and they comprehend that conservation it is not only about repairing the existing structures. Last but not least, they also learned an important element of STEM education: the importance of experiencing success in hands-on investigations.

We are very grateful to the students of the Yale IARU classes 2016–18, namely Bella Blakeman, Claudia Sánchez-Jiménez, & Elizabeth Coquillette (2016), Ane Cornelia Pade, Aanchal Chopra, Junjie Chou, and Allec Willis (2017) and Joori Byun, Katie Haywood and Hayato Miura (2018).

To end with their own words: “This project has shown us that it would be more economically viable in the future to dedicate a portion of each work day to checking the state of each stone, whether they are in danger of breakage, and prioritize action according to their state of preservation. Although time-consuming, this task of conservation is important not only for the stones themselves, but due to their wider social value within New Haven. It is only by conserving the information that is written upon them that potential genealogical investigations would be possible for the current inhabitants of the city in the future. The stones at Grove Street Cemetery are not individual elements, but rather a place of pilgrimage for those who aim to root their social identity within a wider cultural context of belonging.”¹⁰⁾

10) Report on Stone Deterioration in Grove Street Cemetery by Prof. Dr. Stefan Simon, Dr. Kiraz Goze Akoglu, Dr. Eleni Kotoula with the contributions of the students of ANTH207, 2016.

한국의 세 석조 기념물의 문제점

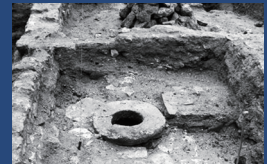
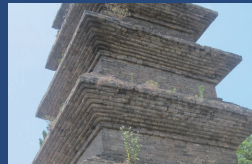
E. Görün Arun

Hasan Kalyoncu 대학교 미술건축학부 교수
ISCARSAH(건축유산의 구조해석 및 수리복원 국제학술위원회) 회장

Problems of the three masonry monuments in Korea

E. Görün Arun

Prof. Dr., Hasan Kalyoncu University, Faculty of Fine Arts and Architecture
ISCARSAH President



한국의 세 석조 기념물의 문제점

E. Görün Arun

Hasan Kalyoncu 대학교 미술건축학부 교수
ISCARSAH(건축유산의 구조해석 및 수리복원 국제학술위원회) 회장

서론

ICOMOS-ISCARSAH (국제기념물유적협의회 - 건축유산의 구조해석 및 수리복원 국제학술위원회, 이하 ICOMOS-ISCARSAH)는 한국의 문화유산에 대한 구조적 건전성 평가, 방재 및 지속적 관리에 관한 워크숍을 개최하였다. 2017년 6월 7~9일에 걸쳐 ICOMOS KOREA, ICOMOS-ISCARSAH, 국립 문화재 연구소(NRICH, 한국)가 주최한 이번 행사의 논의 대상으로 서울, 안동, 경주에 있는 유적지 10곳이 포함되었다.

워크숍은 매우 짜임새 있게 진행되었으며, 워크숍 참석자들에게 각 해당 유적지에 대한 사전 정보를 제공하였다. 사전 정보로 유적지와 기념물에 대한 역사적 배경, 문제를 진단하기 위한 시험 방법, 도면 등이 제공되었다. 연구팀은 매일 저녁 모여서 그 날에 방문한 구조물에서 발견한 문제점들을 취합하고 그에 대해 토론하였다.

본 보고서는 서울의 숭례문, 흥인지문, 안동의 법흥사지 칠층전탑에서 발견된 지하수 문제에 대해 논의하고, 이러한 문제점들을 완화하기 위해 터키에서 취한 방법들에 대한 정보도 제공할 것이다.

Problems of the three masonry monuments in Korea

E. Görün Arun

Prof. Dr., Hasan Kalyoncu University, Faculty of Fine Arts and Architecture
ISCARSAH President

Introduction

ICOMOS-ISCARSAH (International Scientific Committee on the Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage) had a workshop on Structural Health Assessment, Disaster Prevention and Sustainable Management of Heritage sites in Korea. The event organized by ICOMOS KOREA, ICOMOS-ISCARSAH and National Research Institute of Cultural Heritage (NRICH, Korea) during 7-9 June 2017 included ten historic sites in Seoul, Andong and Gyeongju.

The workshop was very well organized. Information prepared beforehand about the sites were given to the attendees. This included historical background, tests made for diagnosing the problems and drawings of the sites and monuments. Each evening, the team gathered and discussed the problems they saw on the structures visited that day.

This report will discuss the underground water problem seen in Sungnyemun Gate and Heunginjimun Gate in Seoul and Seven-Story Brick Pagoda at Beopheungsa Temple Site in Andong and will give information about the mitigation of such problems in Turkey.

승례문, 서울

승례문은 도성 남쪽에 위치하고 있으며, 아래는 아치형 입구가 있는 석조로 되어 있으며, 그 위에 두 개 층의 목조를 쌓아 올린 구조이다. 이 문은 1396년에 축조되었으며, 승례문은 1448년, 1961년, 1963년, 2008년 및 2013년에 수 차례에 걸쳐 복원되었다 [1].



그림 1 승례문

현지의 당국이 모니터링한 바에 따르면, 석조 기초에 대한 변형, 석조 부재의 질적 악화 및 풍화, 그리고 목조부재들 사이에서의 이격 현상 및 기둥의 균열 등이 관찰되었다 [1].

저자가 2017년 6월 7일 이 건축물을 방문했을 때도 동일한 질적 악화 현상이 관찰되었다. 1층 석조부재의 풍화작용은 비, 지표수뿐만 아니라 지하수에 의해서도 발생하였다. 습기는 아치형 입구 주위에서 발견되었으며(그림 2 A), 1층 남쪽 두 기둥의 주춧돌에서도 발견되었다(그림 2 B). 한국인 동료의 설명해준 바에 의하면, 남동쪽의 주각(column base)은 최종 복원 기간 과정 동안 더 심화되었다. 주각(column base)에 습기가 생긴 이유는 기둥이 지하수 수위를 관통하고 있기 때문인 것으로 여겨진다(그림 2 C).

Sungnyemun Gate, Seoul

The gate situated on the South of the Capital Wall is constructed of two storey wooden floors raising on a granite stone floor with arched entrance. The gate was built in 1396. It passed several restorations in 1448, 1961, 1963, 2008 and 2013 [1].



Figure 1 Sungnyemun Gate

According to the monitoring made by local authorities, deformation on the stone foundation, deterioration and weathering of stone and separations between woods and cracks of the pillars were observed [1].

The same deteriorations were also observed by the author when visited the building in June 07, 2017. In the ground floor, the weathering of the Stones was not only by rain or surface water but also from the underground water. The Stones around the arched entrance were wet (Figure2 A). And the stone base of the 1st floor's two south columns were wet (Figure2 B). As a Korean colleague explained, the southeast column base was made deeper during the last restoration. The wetness of that column base might be that the column passed underground water level (Figure2 C).



그림 2 송례문 석조의 습기

(A) 아치형 입구의 습기 (B) 1층 제2 초석(column base)의 습기
(C) 1층 남쪽 초석(column base)의 습기

흥인지문, 서울

흥인지문은 도성 동쪽에 위치하고 있으며, 아래는 아치형 입구가 있는 석조로 되어 있으며, 그 위에 두 개 층의 목조를 쌓아 올린 구조이다(그림 3). 이 문은 1398년에 축조되었으며, 1453년, 1869년에 수 차례에 걸쳐 복원되었다. 기둥 사이에 배치된 공포가 지붕의 처마를 지지한다. 흥인지문에는 방어와 공격을 목적으로 한 반원형의 망루가 갖추어져 있다(그림 3) [1].



그림 3 흥인지문



Figure 2 Wetness of Sungnyemun gate's stones

- (A) wetness of the arched entrance (B) wetness of the 2 column bases on 1st floor
(C) wetness of the southeast column base on 1st floor

Heunginjimun Gate, Seoul

The Heunginjimun gate situated on the east of the Capital Wall is constructed of two storey wooden floors raising on stone floor with arched entrance (Figure 3). The gate was built in 1398. It passed several restorations in 1453, 1869. The eaves of the roof are supported by a bracket system, placed on and between the pillars. Heunginjimun Gate have a semi-circular barbican built both for defensive and offensive purposes (Figure 3) [1].



Figure 3 Heunginjimun Gate

현지의 당국이 모니터링한 바에 따르면, 석조 기초에 대한 변형, 석조부재의 질적 악화 및 풍화, 그리고 목조부재들 사이에서의 이격 현상 및 기둥의 균열 등이 관찰되었다 [1].

저자가 2017년 6월 7일 이 건축물을 방문했을 때도 동일한 질적 악화 현상이 관찰되었다. 1층 석조부재의 풍화작용은 비, 지표수뿐만 아니라 지하수에 의해서도 발생하였다. 아치형 입구의 석조에서 습기가 발견되었으며, 일부 석조부재들은 제 위치에서 벗어나 있었으며 시멘트 기반의 콘크리트로 수리되어 있었다(그림 4).



그림 4 흥인지문 석조 상의 결함

안동 법흥사지 칠층전탑

안동 법흥사지 칠층전탑은 철도부지와 매우 근접한 거리에 위치하고 있다. 탑은 시멘트를 바른 넓은 화강암 질의 단층 기단 위에 세워져 있다. 탑은 벽돌로 축조되었으며 높이는 17m이다.

1998년 이후 1년에 두 차례씩 실시된 현지 당국의 모니터링 결과, 균열, 처짐, 부재 간 이격, 풍화의 흔적 등이 발견되었다. 탑 위에 뿌리내린 식물들로 인해 벽돌들이 떨어져 나가고 있다. 열차의 진동을 모니터링한 결과 관련 기준을 초과하는 것으로 판명되었다. 하지만 구조적 성능의 질적 악화, 균열 및 구조적 거동이 진행된 양상은 확인되지 않았다[1].

According to the monitoring made by local authorities, deformations on the stone foundation, deterioration and weathering of stone and separations between woods and cracks of the pillars were observed [1].

The same deteriorations were also observed by the author when visited the building in June 07, 2017. In the ground floor, the weathering of the Stones was not only by rain or surface water but also from the underground water. The stones around the arched entrance were wet, some stones were dislocated and there were repairs with cement-based concrete (Figure 4).



Figure 4 Defects on Heunginjimun gate's stones

Seven-Story Brick Pagoda at Beopheungsa Temple Site, Andong

The seven-story brick Pagoda at the Beopheungsa Temple Site is situated very close to railway site. The Pagoda stands on a single-story, wide, cement plastered granite platform. The 17m tall Pagoda is constructed of bricks.

According to the monitoring made by local authorities two times a year since 1998, crack, sagging, separation between bricks and weathering were identified. The vegetation on the pagoda brought separation between bricks. The monitoring of the train vibration was found to be more than related reference. But no progressing pattern on the degradation, cracks and structural behavior of the structural performance was not identified [1].



그림 5 탑 1층에 뿌리내린 식물과 습기

저자가 2017년 6월 8일 이 탑을 방문했을 때도 동일한 질적 악화 현상이 관찰되었다. 지면의 기반과 1층 벽돌을 만졌을 때 쉽게 습기를 느낄 수 있었으며, 벽돌이 변색된 것으로도 기초에 수분이 있다는 것을 알 수 있었다(그림 5). 열차의 진동에 의한 동적인 영향과 수분의 침출로 인해 젖은 토양의 영향이 더해져 탑의 질적 악화가 가속화되었을 가능성이 있다.

아나톨리아(고대의 소아시아, 현재의 터키) 지하 배수시설

고대의 건축장인들은 지진활동이 높은 지역과 낮은 지역 모두, 수분이 지진 이외의 가장 심각한 위협이라는 것을 알고 있었다. 기초부의 건축재료의 다공성 및 토양의 특성에 따라 부분 침식이 일어나고 강도가 떨어짐으로서, 벽과 토양의 손상으로 이어질 수 있다. 아나톨리아인들은 지하수의 이동으로 인해 기인한 습기를 통한 건물의 불안정화를 방지하고 지표수를 모으기 위해, 효과적인 배수시설을 설계하였다.

건물 내부 지표면의 물을 배출하기 위한 배수시설로는 지하에 있는 우물이나 저수조 등이 포함된다. 회랑이나 수로는 건물 밖으로 물을 내보내는 역할을 하고, 굴뚝 모양의 관문은 물을 순환시키는 역할을 하였다(그림 6). 회랑



Figure 5 Vegetation and wetness of the first floor of the Pagoda

The same deteriorations were also observed by the author when visited the Pagoda in June 08, 2017. When the platform on the ground level and the bricks of the first floor was touched, it was easy to feel the wetness. Besides, the change of the color on the bricks also proved the presence of water at the foundations (Figure 5). The wet soil due to water abstraction combined with the dynamic influences of train vibrations could have accelerated the deteriorations on the Pagoda.

Underground Drainage system in Anatolia

Ancient building masters were aware that the water was the most serious non-seismic threat to masonry buildings in areas of both high and low seismicity. Depending on the porosity of foundation construction material and soil characteristics, it can damage the wall and soil by eroding away portions and by reducing the strength. To prevent weakening instability of the building through humidity resulted from underground water movement and to collect the surface water of rainfall; they designed an effective drainage system.

The major components of the drainage system to drain interior ground surfaces of a building included wells or cisterns in the basement. Galleries or channels discharged the water out of the building, and gates in the form of

또는 수로는 우물끼리 서로 연결하거나 건물에서 물을 내보내는 역할을 하였으며, 건물의 필요에 따라 그 크기와 길이가 30~40cm에서부터 1.0~2.5m까지 다양했다. 이러한 회랑이나 수로는 주로 석재 또는 벽돌로 만들어졌다[2]. 이 수로들 덕분에 표층수와 지하수로부터 발생하는 습기를 제거할 수 있었으며, 구조물을 겨울에 따뜻하고 여름에는 시원하게 유지할 수 있었다. 그리고 지진이 일어나는 동안, 수로들은 상승하는 지하수를 토양의 액상화를 피하는 동시에 배출하는 역할을 하였다.



그림 6 건축물의 우물, 출입문, 수로

벽을 관통하는 수로는 정착지에서, 일반적으로 다른 건물의 배수시설로 계속 흘러간 후 주도로를 따라 저수조 또는 분수조(fountain tank)로 배출되었다. 이스탄불 및 그 주변의 비잔티움 시대의 대부분 건물의 경우, 지하수는 저수조 또는 저수조를 포함하는 건물의 기반으로 배출되었다[2]. 오스만 문화에서는 우물물을 근처의 분수조(fountain tank)로 내보내는 것을 선호하였다(그림 7). 지하수 관리시설이나 수로가 파손되거나 막힐 경우, 지하수가 건물 쪽으로 올라가고 토양이 연화되어 건물에 습기가 차기 시작하며 건물의 기반이 침하하기 시작한다.

고고학적 발굴 과정에서 건물의 설계 및 축조 과정에서 지표 및 지하 배수시설을 최우선적으로 고려하였다는 것을 알 수 있었다. 사원, 궁전, 무덤, 요새에 대한 수메르, 아카디아[3] 및 이집트 문헌[4]에 의하면, 그 기초 형식은 건물의 모퉁이에 표시를 하여 건물 부지를 가로질러 상한선을 물의 신인 눈(Nun)으로 표현한 지하수면으로 내보내는 것으로 이루어져 있다. 그들은 이 기초를 건설하기 전에, 물의 신과 지구의 신을 한 곳으로 합치기 위해 지상의 회랑이나 수로와 이어져 있는 지하 우물을 건설하였다. 때때로 그들은 지하수면에 도달하기 위해 암석층을 절단해야 했으며, 건물 내에 우물을 건설하는 이러한 건축 시스템은 19세기 말까지 주요 건물에서 사용되었다.

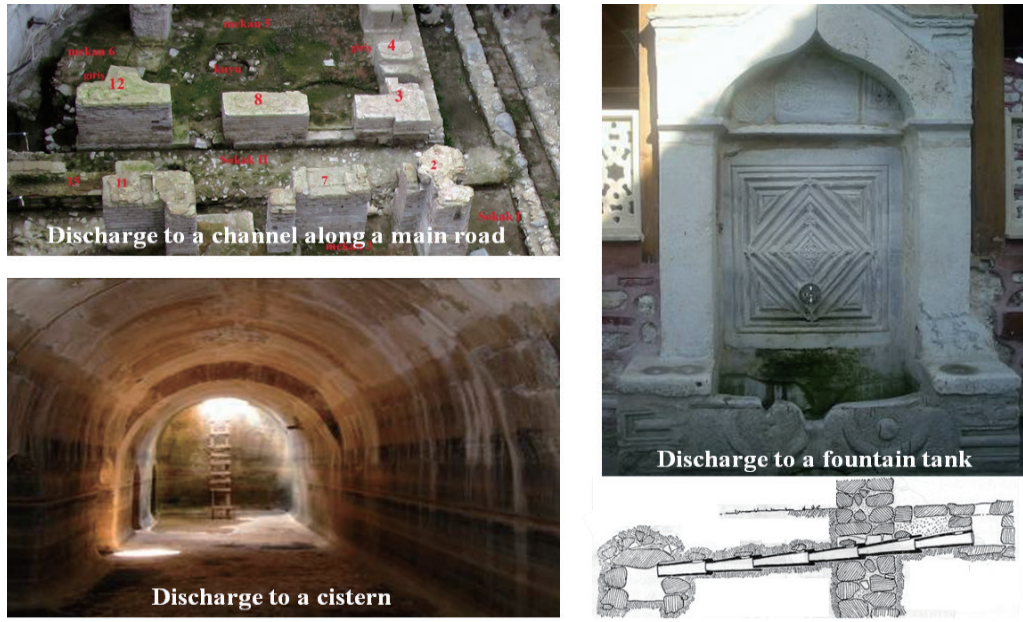
chimneys ventilated the water (Figure 6). The size and length of the galleries or channels connecting wells to each other or discharging water away from the building varied from 30-40cm to 1.0-2.5m depending on the size and need of the building. These are generally constructed of stones or bricks with mortar binding [2]. These channels removed the moisture from surface and underground water, served to keep the structure warm in the winter and cold in the summer. And during earthquake, they discharged the raising underground water avoiding soil liquefaction.



Figure 6 Wells, gates, channels in the building

In settlements, the channels, penetrating the walls, generally continued to the other building's drainage system then was discharged to a channel along a main road or to a cistern or to a fountain tank. In most of the Byzantium buildings in and around Istanbul, the underground water was discharged to a cistern or the foundation of the buildings included cistern [2]. Ottoman culture preferred discharging the wells to a nearby fountain tank (Figure 7). When the subsurface water control system or channel is broken or blocked, underground water starts to rise to the building eroding the foundation material that the building starts to suffer moisture and softening the soil that lead to the building settlement.

In archaeological excavations, it is seen that surface and subsurface drainage was given high priority during its design and construction. The foundation rituals in Sumerian, Acadian [3] and Egyptian texts [4] for temples, palaces, tombs, and forts consisted of marking the corners of the building, cutting the earth in the building site through to the water table which represented the upper limit of the water god, Nun. Before starting the construction of the foundation, they constructed a well with galleries or channels to the ground level to unite the Water God to the Earth God. To reach the water table, sometimes they had to cut the rock layer. This construction system, constructing a well in the building, was practiced till late 19th century in important buildings.



Discharge to a channel along a main road: 주도로를 따라 조성된 배수시설을 따라 배수
Discharge to a fountain tank: 분수조로 배수
Discharge to a cistern: 저수조로 배수

그림 7 지하 배수로

이러한 방법은 완전히 잊혀졌기 때문에, 이를 더 이상 필요하지 않다고 여기고 건물 내 우물을 메우거나 건축물 유산 주변에 새로운 건물을 세워 배수시설을 파괴하는 것은 현 시대에 있어서 흔하게 일어나는 현상이다(그림 8). 지하수 관리시설이 막히거나 파손될 경우, 지하수가 건물 쪽으로 올라가고 토양이 연화되어 건물에 습기가 차기 시작하며 건물의 기초가 침하하기 시작한다. 건물의 파괴를 진단하는 과정 중에 이러한 지식을 무시한다면 젖은 땅을 강화한다고 해서 이러한 문제를 해결할 수는 없을 것이다.



그림 8 신축공사중에 파손된 배수로



Figure 7 Discharge of underground water

Because this practice is completely forgotten, either filling the wells in the building with concrete thinking that these are not necessary in this era or the new constructions around the heritage structure demolishing the drainage system is a frequently met phenomenon (Figure 8). Such blocking or demolishing of the subsurface water control system causes water to rise to the building so that the building suffers moisture and soften the soil which leads to the building settlement. During diagnosis of the failures of the building, if this knowledge is ignored consolidation of the wet soil will not solve the problem.



Figure 8 Broken drainage channel during a new construction

결론

조사 과정에서 시공법 및 세부사항을 해석하는데 있어서, 기초 및 기타 하부 구조와 관련된 요소 등과 같은 시공법 및 구조적 세부 사항에 관한 연구는 매우 중요하다. 또한 고대 건축가들이 하부구조를 설계할 때 고려한 사항은 지하수 이동을 제어하고 구조물이 횡력에 견딜 수 있도록 하는 것이었다. 고대의 건축 장인들은 이전의 문화로부터 축적된 지식을 바탕으로 효과적인 지하 배수 시설 및 기초 시설을 건축하는데 있어서 경험적으로 크기를 정하고 설계할 수 있는 능력을 갖추고 있었다.

건축에 관련된 출판물의 고고학적 검토 및 역사적 검토, 그리고 고고학자와의 토론 및 복원 작업의 진단 과정에서 체득한 경험을 통한 고대의 하부 구조 설계 방법에 대한 연구는 조정계획고려 이전의 역사적인 건물을 진단하는데 도움을 줄 수 있다.



그림 9 한국의 배수시설

저자는 워크숍 방문 동안 기념물의 정원에서 일부 집수시설 및 배수시설을 접할 수 있었다(그림 9). 현지의 고고학 자들과 건축 역사가들은 한국의 전통적인 지하수 배수시설에 대한 정보를 제공할 수 있다. 지하 시설을 이해하는 데 있어서 레이더 검사(비파괴 검사)가 유용하게 이용될 수 있다.

구역 하부의 지하 배수시설을 검사하면 역사적인 석조 건물의 손상을 평가함에 있어서 중요한 정보를 얻을 수 있다. 여러 분야의 학술 팀 간의 협력이 무엇보다도 중요하다.

Conclusions

The study of building construction method and structural details, such as foundations and other related sub structure elements, has a great importance in the interpretation of the building construction methods and details during investigation. Substructure design was also an important consideration for ancient builders to control the underground water movement and to make their structure withstand the lateral forces. Ancient building masters, with accumulation of knowledge from previous cultures were able to empirically size and design an effective underground drainage and a foundation system.

The study of ancient substructure design methods through reviewing archaeological and history of architecture publications, discussions with archaeologists and experiences met during diagnosis phase of restoration works can contribute to diagnosis of historical buildings before any intervention design considerations.



Figure 9 Drainage system in Korea

During the visit in Workshop, the author met some water collecting and / or drainage system in the garden of the monuments (figure 9). The local archaeologists and architecture historians might give information about the traditional underground water drainage system in Korea. It might be useful to make radar inspection to understand the underground system.

Inspection of the subsurface drainage works under the district may give important information for the damage evaluation of these historical masonry buildings. It is important to work with interdisciplinary team.

참고 문헌

- [1] 재료 및 기술 범위에 관한 워크숍 정보집 : 돌, 나무 그리고 흙
- [2] Ousterhoud, R. (1999) 비잔티움의 뛰어난 건축가, 프린스턴 대학교 출판부, 뉴저지 프린스턴
- [3] Lawson, I. (2000). 고대 메소포타미아, <http://www.ianlawton.com/mes1.htm> (28.03.2008)
- [4] Montet, P. (1964). “이집트 사원의 설립 의식(Le rituel de foundation des temples Egyptiennes)” Kemi 17
pp: 74-100

Reference

- [1] Information book of the Workshop on the scope of material and techniques: Stone, Wood and Earth
- [2] Ousterhoud, R. (1999) Master Builders of Byzantium, Princeton University Press, Princeton, New Jersey
- [3] Lawson, I. (2000). Ancient Mesopotamia, <http://www.ianlawton.com/mes1.htm> (28.03.2008)
- [4] Montet, P. (1964). "Le rituel de foundation des temples Egyptiennes" Kemi 17 pp: 74-100

문화유산의 취약성에 관한 예비 평가 한국 기념물에 대한 방법론적인 제안

Marcela Hurtado

페데리코 산타 마리아 기술 대학교, 칠레 발파라이소
아네비다 에스파냐 1680, 칠레 발파라이소
marcela.hurtado@usm.cl

Preliminary vulnerability assessment in cultural heritage Methodological proposal for Korean monuments

Marcela Hurtado

Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile
Avenida España 1680, Valparaíso Chile
marcela.hurtado@usm.cl

문화유산의 취약성에 관한 예비 평가 한국 기념물에 대한 방법론적인 제안

Marcela Hurtado

페데리코 산타 마리아 기술 대학교, 칠레 발파라이소
아네비다 에스파냐 1680, 칠레 발파라이소.
marcela.hurtado@usm.cl

요약

재난위험관리 전문가들은 지역사회에서의 중요성을 인식하여 최근 몇 년 동안 문화유산을 관리대상에 포함시켰다. 문화유산은 민족의 정체성을 재확인하는 근본적인 역할을 수행하는 한편, 다양한 자연의 내재적 가치, 과거의 유산, 때로는 대체불가능한 내재적 가치를 가지고 있다. 이로 인해 전통적으로 사람들의 생명과 기본적인 사회기반구조에 주안점을 둔 취약성 평가 방법론 도입의 필요성이 대두되었다. 문화적 유산의 경우, 문화재와 그 가치에 초점이 맞추어진다. 위험성 평가는 기념물 또는 유적지의 가치에 대한 특정 위협의 실제적인 영향을 정확하게 추정하기 위해 다양한 데이터를 수집하고 분석하는 작업이 수반되는 복잡한 과정이다. 이러한 영향은 노출의 상태라고 이해되는 취약성과도 깊은 관련이 있다. 이러한 복잡성을 감안했을 때, 다양한 상태의 한국 역사 유적 7곳에 대해, 취약성에 관한 예비 평가를 제시한다. 방법론적 관점에서 보면, 얼마나 자주 재발하는지와 기념물에 대한 잠재적 영향(심각도)과 연관시켜 각 사례에 있어 어떤 것이 심각한 위협이 되는지를 평가한다. 이러한 취약성 관련 영향은 내재적 요인(물질성, 구조, 보존 상태, 구조적 특징 등), 맥락적 요인(위치, 토양 유형, 차량 접근성 등), 사용 요인(사용 유형, 사용 빈도 등) 그리고 관리 요인(유지관리 계획, 모니터링 등)으로부터 분석한다. 이러한 예비 평가를 통해 기념물의 특정 노출 상태와 관련하여 각 기념물에 영향을 미치는 잠재적 위협을 추정할 수 있다. 또한 이러한 요인 중 어떤 요소가 잠재적 위협에 영향을 미치는지 추정한다. 마지막으로, 국립문화재연구소의 전문가들은 각 기념물에 대하여 예비적으로 실시한 이러한 취약성 평가에 대하여 보다 정확한 정보로 보완할 수 있다.

Preliminary vulnerability assessment in cultural heritage

Methodological proposal for Korean monuments

Marcela Hurtado

Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile.
Avenida España 1680, Valparaíso Chile.
marcela.hurtado@usm.cl

Summary

Specialists in disaster risk management have included cultural heritage in recent years, aware of the importance it has for the community. On the one hand, it fulfils a fundamental role by reaffirming the identity of the peoples, and also possesses intrinsic values of diverse nature, a legacy of the past, sometimes irreplaceable. This has forced the adaptation of vulnerability assessment methodologies that traditionally focus on saving people's lives and basic infrastructure. In the case of heritage the focus is also on the cultural goods and its values. Risk assessing is a complex process that involves collecting and analysing diverse data, in order to accurately estimates the real impact of a certain threat on the values of a monument or site. This affectation is also related to vulnerability, understood as a condition of exposure. Considering this complexity, a preliminary vulnerability assessment is proposed for 7 Korean historical monuments that present diverse conditions. Methodologically it estimates which would be the critical threats in each case, relating recurrence with intensity, as well as the potential impact on monuments (severity). This impact, related vulnerability, is analysed from intrinsic factors (materiality, structure, state of conservation, architectural features...), contextual factors (location, soil type, vehicular accessibility...), use factors (type of use, frequency of use...) and management factors (maintenance plans, monitoring...). This preliminary assessment allows us to estimate the potential threats that affect each of the monuments, in relation to their specific exposure conditions. It also estimates which of these factors are affecting the potential risk. Finally, professionals of National Research Institute of Cultural Heritage (NRICH) Korea can complement this first approach to the vulnerability assessment with more precise information regarding each monument.

1. 서론

위험관리의 개념은 세계 여러 지역을 황폐하게 만든 일련의 재난 중에서도 특히 자연 재해의 결과로 인해 점차 확대되고 있다. 특히 기후의 변화 또는 통제되지 않는 도시 개발과 같은 요인에서 비롯된 이러한 증가는 심각한 인명 손실을 의미하며 국제사회를 결집시킨 물질적 경제적 손실을 의미하기도 한다.

이러한 맥락에서 역사적 유적지와 건축물은 문화 자산을 보호하고 지켜야 할 필요성에 덧붙여 사람들에게 대한 보호가 추가되는 특정 사례로 구성되며, 문화자산을 국민의 정체성을 지키기 위한 근본이라고 이해하고 있다(Jokilehto 2016). 이러한 사실은 재난위험경감을 위한 유엔사무소 등과 같이 유물 보호에 전념할 필요가 없는 조직에 의해 인정되었다. 이는 2015년 6월 제3차 재난위험경감에 관한 회의에서 '재난위험경감을 위한 센다이 프레임워크 2015-2030'을 채택하여 재난위험경감 정책 및 전략에 일반 대중의 문화유산을 통합하는 것이 중요하다는 것을 분명히 언급하였다(UNISDR 2015).

이를 통해 문화 유산을 국가 위험관리 계획에 포함시키는 것이 중요하다는 것을 재확인할 수 있다. 2014년 유네스코는 세계 각국의 문화유산을 보존하고 그에 대한 위험문제를 해결하기 위해 세계문화유산 재해위험관리 매뉴얼(UNESCO 2010)을 발간하였다. 이 문서는 자산 가치에 미치는 위험영향을 고려한 방법론을 기반으로 한 위험 추정값을 제시하고 있다.

제1회 ISCARSAH(건축유산의 구조해석 및 수리복원 국제학술위원회) 워크숍을 통해 방문했던 한국 역사 기념물 7곳에 대한 취약성에 관한 예비 평가계획서를 이러한 방법론에 따라 제시하였다. 위험관리와 관련된 실무팀 또는 이 지역의 특정 현지 규정과 같은 위험관리 주기에서 기타 동등하게 중요한 측면은 방문 범위 및 이용 가능한 정보에서 다루지 않을 것이다.

한국 문화유산의 일부인 방문지의 가치에 대해 주목할 필요가 있다. 모든 유적지의 역사적 가치는 맥락과 지역사회와의 관계 이외에도 관찰된 예술적 가치 또는 기술적 가치가 더해진다. 마찬가지로, 동일한 유형 내에서의 변형은 지역 역사 가운데 다양한 순간의 혁신과 문화적 교류를 반영한다(탑의 사례). 반면에, 이러한 유적지 및 경관 모두의 다양성은 이러한 문화적 자산의 보존에 궁극적으로 영향을 미치는 위협 및 취약성의 정도에 대응된다. 그러므로 NRICH가 수행하는 작업중 중요한 부분은 유적지 상태를 그대로 보존하고 모니터링하는 것이다. 본 논문은 위험을 사전에 예측하여 시간의 경과에 따라 유적지를 보존하는 연구에 기여할 수 있는 방법론적 측면을 강화하는 것을 목표로 한다

1. Introduction

The concept of risk management is increasingly widespread as a consequence of the series of disasters, especially natural ones, which have devastated different regions of the world. The increase in these, derived from factors such as climate change or uncontrolled urban development, among others, has meant significant loss of life; also material and economic losses those have mobilized the international community.

In this context, historical sites and buildings constitute a particular case where the protection of people is added to the need to protect and safeguard cultural assets, understanding that they are fundamental for the preservation of the identity of the peoples (Jokilehto 2016). This fact has been recognized by organizations that are not necessarily dedicated to heritage protection, such as the United Nations Office for Disaster Risk Reduction: at the 3rd World Conference on Disaster Risk Reduction in June 2015, the document 'Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030' was adopted, which expressly mentions the importance of integrating the cultural heritage of the peoples to policies and strategies for disaster risk reduction (UNISDR 2015).

This reinforces and confirms the importance of including heritage in national risk management plans. UNESCO, in its mission of preserving the world heritage of nations, and addressing the problem of risk, published in 2014 a manual for disaster risk management for world heritage (UNESCO 2010). This document presents a methodology based risk estimation considering the impact on property values.

Based on this methodology, a preliminary vulnerability assessment proposal of 7 Korean historical monuments, visited in the framework of the 1st ISCARSAH Workshop, is presented. Other equally important aspects in the risk management cycle such as groups associated with risk management, or specific local regulations in this area will not be addressed by the scope of the visit and the information available.

It is worth noting the value of the sites visited, which is part of the Korean cultural heritage. The historical value of all the sites is added to the artistic or technological value observed, in addition to the relationship with the context and with the community. Likewise, the variants within the same typology (in the case of pagodas) are a reflection of innovations and cultural interchange at different moments of local history. On the other hand, this diversity of both the sites and the landscape has its counterpart in the diversity of threats and degrees of vulnerability that ultimately affect the preservation of these cultural assets. Considering, therefore, the valuable work carried out by the NRIC, conserving and monitoring the state of the sites visited, this article aims to reinforce methodological aspects that may contribute to the task of preserving the sites over time, related to a preliminary estimate of risk in the face of critical threats affecting sites.

2. 방법론

제안한 위험성에 관한 예비 평가는 유적지 또는 기념물의 실제 상태에 대한 종합적인 의견을 알리기 위해 진단 단계에서 통합될 예정이다. 그것은 위험관리 계획의 후속 단계의 개발을 위한 참조 도구가 된다. 방법론적 과정이 그림 1에 설명되어 있으며 모두 다음과 같은 4단계로 구성된다. 주요 위협의 정의, 취약성에 관한 예비 평가, 위험 요소 또는 유적지에 대한 위협의 영향 평가, 위험 경감 전략의 정의 등이 그것이다. 주요한 측면은 그 기념물에 관한 평가에 초점을 맞추기 위해 기념물의 가치를 명확히 하는 것이다.

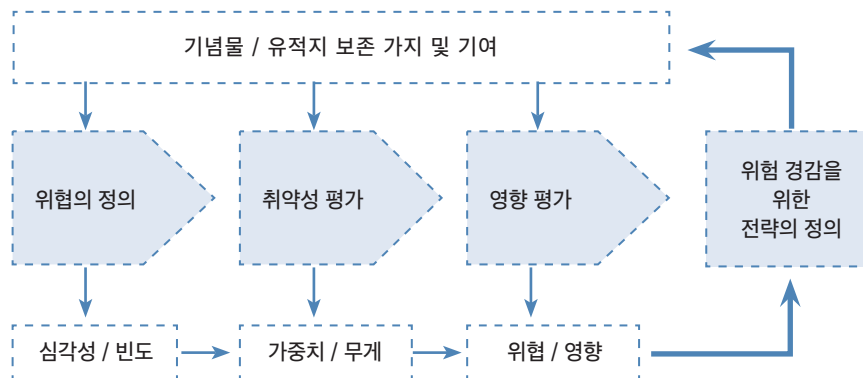


그림 1 방법론적인 제안

기본적으로 위험이란 위협 및 대상의 노출 정도(취약성) 사이의 관계이다. 위험을 줄이거나 완화하기 위해서는, 문화 유산의 취약성을 줄여야만 한다. 여기에서 위협 및 보호할 대상 또는 유적지에 따라 조치가 활성화되거나 또는 수동적으로 될 수도 있다. 위험 분석을 위해 역사적 기록, 주요 이해관계자의 견해 및 공동체의 인식, 그리고 기념물의 노출 또는 취약성과 관련된 중요한 위협 등을 고려한다. 취약성은 재산의 특징, 위치, 사용 또는 관련 관리 도구 등 다양한 요소들과 관련이 있다. 분석의 목적 및 평가 대상에 따라 여러 가지 범주가 있다. 이 경우 내재적 요인, 맥락적 요인, 사용 및 관리 등의 4가지 요인을 다룰 것이다. 이들 요인은 각 위협에 따라 가중치를 부여하여야 한다. 이 가중치는 특정 맥락에 따라 달라진다. 따라서 현지의 조건에 맞추는 것이 중요하다.

반면에, 만약 우리가 이 위협이 문화 자산(및 그 가치)에 미치는 영향에 주안점을 둔다면, 각 위협의 빈도 및 재발과 관련된 잠재적인 영향을 결정하는 것이 중요하다(표 1). 마지막으로, 잠재적 위협의 추정치는 취약성 경감 전략으로 이어지며, 우선 순위를 정하고, 책임자도 명시해야 한다(UNESCO 2012).

2. Methodology

The preliminary risk assessment proposed intends to be integrated in the diagnostic stage with the aim of providing a comprehensive view of the real state of a historical site or monument. It constitutes a reference tool for a later stage of development of a risk management plan. The methodological process is explained in Figure 1 and has 4 stages: the definition of critical threats; the preliminary assessment of vulnerability; estimating the impact of the threat on a monument or site; the definition of strategies for risk reduction. A central aspect is to be clear about the values of the monuments in order to focus the assessment on them.

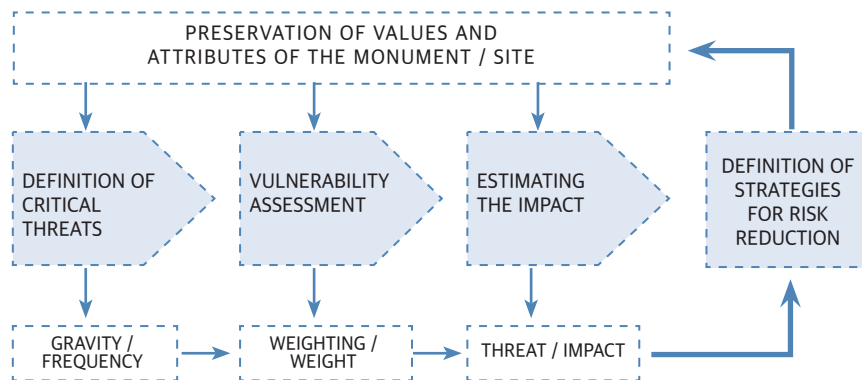


Figure 1 Methodological proposal

Risk is, basically, the relationship between a threat and the degree of exposure of an object (vulnerability). To reduce or mitigate risk, it is only possible to reduce the vulnerability of the object, in this case, of the cultural heritage. Here the measures can be active or passive, depending on the threat and the object or site to be protected. Risk analysis considers critical threats - which may be obtained from historical records, the views of key stakeholders and the perception of the community - and its relation to exposure or vulnerability of the monument. Regarding vulnerability, it is related to different factors related to the characteristics of the property, its location, its use, or the associated management instruments. There are several categories, depending on the purpose of the analysis and the object to be evaluated. In this case we will work with the four indicated factors: intrinsic, context, use and management. These factors should be weighted, depending on each threat. This weighting, likewise, will also depend on the specific context. That is why it is important to adapt it to local conditions.

On the other hand, if we consider that the focus is on the impact that this threat has on cultural assets (and their values), it is important to determine what the potential impact would be in relation to the frequency or recurrence of each threat and its intensity (Table 1). Finally, the estimation of the potential risk leads to vulnerability reduction strategies, prioritized, where the person responsible should also be explicit (UNESCO 2012).

영향의 심각도	재발			
	매우 높음	높음	중간	낮음
매우 높음	매우 높음	매우 높음	높음	중간
높음	매우 높음	높음	높음	중간
중간	높음	중간	중간	낮음
낮음	중간	중간	낮음	낮음

표 1 재해의 중대성

한국의 여러 장소를 방문하고 한국의 전문가들이 조력자들에게 제공한 정보를 토대로 구체적인 사례의 예로서 제안된 방법론을 적용할 것이다. 이용 가능한 정보는 부분적이어서 구체적인 결과를 얻기 위해서는 보다 많은 데이터를 보유한 유능한 전문가가 완료해야 한다는 것을 명심할 필요가 있다.

3. 결과

표 2에 값과 속성 사이의 관계를 요약하여 나타내었다. 모든 곳은 지역 역사에서 중요한 사건과의 관계 때문에 나름의 역사적 가치를 가지고 있다. 대부분 보존을 위한 조치가 있었음에도 불구하고 원래의 자재들이 보존되어 있는 상태이다. 이에 대한 예외는 송례문으로서, 그 목조 구조물은 방화 후 2008년에 새로 지어졌다. 또한 이들 유적들은 한국인들에게 특히 종교적 문제와 관련된 중요성과 의미를 부여함으로써 문화적 가치를 공유하도록 한다. 예술적 가치는 다른 기념물들에 사용된 형식 및 기법과 관련이 있다. 주합루의 경우 목재를 사용하는 것과 석회 회반죽을 사용한 정교한 장식이 돋보이며, 두 대문의 경우 목조 구조의 디자인은 매우 섬세하면서 정교하며, 삼층석탑의 디자인은 차분하면서도 우아하다(NRICH 2017).

유적지	가치	속성	잠재적 재해
송례문	역사(부분적인 재축) 심미적	목재 구조 석조 구조	화재 지진 환경적 압력 진동(지하철)
흥인지문	역사적 심미적	목재 구조(원래) 석조 구조	화재 지진 환경적 압력 진동(지하철)

	Recurrence			
Severity of the impact	Very high	High	Medium	Low
Very high	Very high	Very high	High	Medium
High	Very high	High	High	Medium
Medium	High	Medium	Medium	Low
Low	Medium	Medium	Low	Low

Table 1 Gravity of hazard

From the visit made to different sites in Korea and the information provided to the assistants by the Korean professionals, the proposed methodology will be applied, as an example in concrete cases. It is important to note that the available information is partial and to obtain specific results it must be completed by competent professionals with more data.

3. Results

The relationship between the values and the attributes is summarized in Table 2. All the sites have a relevant historical value due to their relationship with prominent events in local history. Most of them preserve their original materials, despite conservation interventions. The exception is Sungnyemun Gate, whose wooden structure was rebuilt in 2008 after arson. They also share cultural value because of the importance and significance they have for the Korean people, especially related to religious issues. The artistic value is associated with the styles and techniques used in the different monuments: this is the case of the Juhamnu Pavilion where the use of wood and the fine decoration with lime plaster stand out; in the case of both gates, the designs of the wooden structures are very fine and elaborate; in the Three - story Stone Pagoda its design is qualified as sober and elegant (NRICH 2017).

Site	Values	Attributes	Potential hazards
Sungnyemun Gate	Historic (partial reconstruction) Aesthetic	Wood structure Stone structure	Fire Earthquake Environmental pressures Vibrations (subway)
Heunginjimun Gate	Historic Aesthetic	Wood structure (original) Stone structure	Fire Earthquake Environmental pressures Vibrations (subway)

유적지	가치	속성	잠재적 재해
서울 창덕궁 주합루	역사적 심미적 환경적	목재 구조	화재 환경적 압력 공리
안동 법흥사지 칠층전탑	역사적 심미적	조적조 구조물	지진 진동(열차) 환경적 압력
경주 불국사지 다보탑	역사적 심미적	석조 구조	지진 환경적 압력
경주 불국사지 삼층석탑	역사적 심미적	석조 구조	지진 환경적 압력 반달리짐
경주 첨성대	역사적 과학적	석조 구조	지진 환경적 압력

표 2 가치, 속성 및 잠재적 재해

동일한 표(표 2)에서 제공된 정보와 방문 동안의 저자의 인식에 따라 각기 다른 유적지에 영향을 미치는 위협을 완벽하지는 않지만 표시하였다. 여기에는 다양한 위협이 표시되지만, 위험성에 대한 평가는 다양한 위협 요소가 제안된 취약점 경감 조치에 함께 고려될 수 있다는 사실을 이해하면서 심각한 위협을 먼저 고려해야 한다.

3-1. 위협

설명한 바와 같이, 기념물에 영향을 미치는 가장 중요한 위협은 3가지 정보 출처, 즉 역사적 기록, 전문가의 인터뷰, 해당 유적지와 관련된 지역사회의 인식으로부터 알아낼 수 있다. 이 경우 우리는 이용 가능한 정보(NRICH 2017) 및 이 분야 전문가들의 의견을 함께 다룰 것이다(2017년 6월 7~9일).

위의 정보에 의하면, 지진은 최근 수십 년 동안 역사적 구조물에 영향을 준 자연적 위협 중 하나이다. 물질성과 같은 일부 유적들의 내재적인 조건에 중간 강도의 지진 기록을 추가하였다. 이를 통해 이들 사례의 심각도 및 재발 사이의 관계를 추정할 수 있다(표 3). 예를 들어, 방문했던 곳의 모든 석조 및 벽돌 구조물은 목재 구조물에 비해 궁극적으로 지진의 영향을 더 받을 것이다. 그러나, 우리가 보는 바와 같이, 토양의 종류 또는 보존 상태와 같은 다른 요소들도 함께 고려하는 것도 중요하다.

Site	Values	Attributes	Potential hazards
Juhamnu Pavilion of Changdeokkung Palace, Seoul	Historic Aesthetic Environmental	Wood structure Context	Fire Environmental pressures Truism
Seven - story Brick Pagoda at Beopheungsa Temple Site, Andong	Historic Aesthetic	Masonry structure	Earthquake Vibrations (train) Environmental pressures
Dabotap Pagoda of Bulguksa Temple, Gyeongju	Historic Aesthetic	Stone structure	Earthquake Environmental pressures
Three - story Stone Pagoda of Bulguksa Temple, Gyeongju	Historic Aesthetic	Stone structure	Earthquake Environmental pressures Vandalism
Cheomseongdae Observatory, Gyeongju	Historic Scientific	Stone structure	Earthquake Environmental pressures

Table 2 Values, attributes and potential hazards

In the same table (Table 2) it preliminarily indicates the threats that are affecting the different sites, according to the information provided, and the own perception during the visit. Here various threats are indicated; however, a risk assessment considers critical threats, understanding that others may also be included with the proposed vulnerability reduction measures.

3-1. Threats

As explained, the determination of the most critical threats affecting the monuments is obtained from 3 informants: historical records, interviews with experts and the perception of the community associated with the sites. In this case we will work with the available information (NRICH 2017) and the opinion of the experts in the field (June 7-9, 2017).

According to the above information, earthquake is one of the natural threats that has affected historical structures in recent decades. There are records of earthquakes of medium intensity that add to the intrinsic conditions of some of these monuments, such as materiality. This allows us to estimate the relationship between severity and recurrence of these events (Table 3). All the stone and brick structures visited would be more affected by an eventual earthquake than wooden structures, for example. However, as we shall see, it is also important to consider other factors such as the type of soil or the state of conservation.

지진 위험 / 규모=5, 15년 주기		재해의 중대성
영향의 심각도	재발	
매우 높음	매우 높음	매우 높음
높음	높음	높음
중간	중간	중간
낮음	낮음	낮음

표 3 지진 재해

자연 재해 내에서 환경 압력(습도, 자외선 복사, 풍식, 온도 변화 등)은 항상 구조물에 심각한 손상을 일으킬 수 있다. 그것들은 느리지만 지속적으로 공격하는 위협이기 때문에, 결과적으로 그로 인한 영향은 크다고 할 수 있다(표 4, 5). 유적지에 미치는 실제 영향을 평가하기 위해서는 해당 유적지의 환경 조건의 특징을 정확하게 알아내는 것이 중요하다. 이 경우 기념물의 위치에서 발생하는 정도는 취약성의 정도를 추정하는데 있어서 중심적인 요인이 된다. 그러나 물 질성과 같은 요소들도 반드시 추가해야 하는데, 이는 다양한 자재들이 특정 환경 압력에 다소 취약하기 때문이다. 반면, 동일한 구조물이 표면에 따라 다양한 환경 압력을 받는다. 예를 들면, 방향에 따라 태양광, 바람 등을 더 받거나 덜 받는다.

1년 동안의 다양한 사례		재해의 중대성
영향의 심각도	재발	
매우 높음	매우 높음	매우 높음
높음	높음	높음
중간	중간	중간
낮음	낮음	낮음

표 4 습도

1년 동안의 다양한 사례		재해의 중대성
영향의 심각도	재발	
매우 높음	매우 높음	매우 높음
높음	높음	높음
중간	중간	중간
낮음	낮음	낮음

표 5 자외선 방사

Seismic hazard / M=5, T=15 years		Gravity of hazard
Severity of the impact	Recurrence	
Very High	Very High	Very High
High	High	High
Medium	Medium	Medium
Low	Low	Low

Table 3 Seismic hazard

Always within natural hazards, environmental pressures (humidity, UV radiation, wind erosion, temperature variations, among others) can cause serious damage to structures. They constitute a threat that attacks slowly but steadily, so the impact can eventually be high (Tables 4, Table 5). It is important to have a precise characterization of the environmental conditions of the place to assess the real impact on the sites. In this case, the incidence of the location of a monument is central to estimating the degree of vulnerability. But factors such as materiality must also be added, since different materials are more or less vulnerable to certain environmental pressures. On the other hand, the same structure will suffer different effects from the environmental pressures in its different faces; for example, depending on the orientation: more or less sun, more or less wind, etc.

Various events in T=1 year		Gravity of hazard
Severity of the impact	Recurrence	
Very High	Very High	Very High
High	High	High
Medium	Medium	Medium
Low	Low	Low

Table 4 Humidity

Various events in T=1 year		Gravity of hazard
Severity of the impact	Recurrence	
Very High	Very High	Very High
High	High	High
Medium	Medium	Medium
Low	Low	Low

Table 5 UV radiation

인재 또는 인간이 초래한 위협 중에서, 가장 중요한 것은 화재이다. 한국의 경우, 화재는 주로 목조 건축물에 영향을 주면서 문화유산에 있어서 큰 파괴를 일으킨 이력을 가지고 있다. 기존의 완화 조치에도 불구하고, 화재가 잠재적으로 야기할 수 있는 엄청난 영향을 고려할 때 이를 잠재적 위협으로 고려하는 것이 중요하다(표 6).

기간=1년(등록된 사례 없음)		재해의 중대성
영향의 심각도	재발	
매우 높음	매우 높음	매우 높음
높음	높음	높음
중간	중간	중간
낮음	낮음	낮음

표 6 화재의 재해

방문 중인 세 곳의 구조물에 영향을 미치는 교통 수단(지하철 및 열차)에 의해 발생하는 진동도 인간에 의한 위협에 포함될 수 있다. 환경 압력의 경우처럼, 재발 가능성은 매우 높지만 그 심각도는 낮다. 따라서 노출된 기념물에 대한 이러한 위협의 심각도는 중간 수준이 될 것이다(표 7).

1년 동안의 다양한 사례		재해의 중대성
영향의 심각도	재발	
매우 높음	매우 높음	매우 높음
높음	높음	높음
중간	중간	중간
낮음	낮음	낮음

표 7 진동 (지하철, 열차)

영향의 심각도 및 재발 사이의 관계를 고려할 때 지진의 위협, 환경 압력, 화재 및 진동은 중간 수준의 심각도가 될 것이다. 그러나 이러한 추정은 잠재적 위협을 알아보기 위한 본 연구의 해당 기념물의 취약성과 직접 관련이 있다.

3-2. 취약성

취약성의 정도는 네 가지 위협과 관련하여 방법론적으로 취약성 요인으로 분류된 조건들에 대한 노출과 관련이 있

Within anthropic or human-induced threats, fire is one of the most critical in various regions of the world. In the case of Korea there is a history of fires that have caused great destruction in terms of cultural heritage, affecting mainly wooden structures. Despite existing mitigation measures, it is important to consider it as a potential threat, given the enormous impact that a fire potentially causes (Table 6).

T=1 year (no registered events)		Gravity of hazard
Severity of the impact	Recurrence	
Very High	Very High	Very High
High	High	High
Medium	Medium	Medium
Low	Low	Low

Table 6 Fire hazard

The vibrations caused by means of transport (subway and train) that affect three of the structures visited could also be included within anthropic threats. As in the case of environmental pressures, the recurrence is very high and the severity is low. Therefore, the seriousness of this threat for the exposed monuments would be medium (Table 7).

Various events in T=1 year		Gravity of hazard
Severity of the impact	Recurrence	
Very High	Very High	Very High
High	High	High
Medium	Medium	Medium
Low	Low	Low

Table 7 Vibrations (subway, train)

Considering then the relation between the severity of the impact and the recurrence, the seismic threats, environmental pressures, fire and vibrations would be of medium severity. This first estimate, however, is related to the vulnerability of the monuments to determine the potential risk.

3-2. Vulnerability

The degree of vulnerability is associated with exposure conditions, which methodologically have been divided into

다(Barbat 2005). 또한 이러한 각각의 요인은 각 위협 요소에 대해 다른 가중치를 가진다(표 8). 또한 이 가중치는 궁극적으로는 기념물의 보존에 영향을 미치는 맥락, 문화정치적 조건에 반응한다(Han 2011).

취약성 요인	재해/가중치							
	지진	중량	환경적 압력	중량	화재	중량	진동	중량
내재적	물질성 구조 형식 보존상태	50%	물질성 보존상태	30%	물질성 시설의 보존상태 구획	30%	물질성 구조 형식 보존상태	20%
맥락	토양의 종류	20%	습도 자외선 방사 온도	30%	차량 접근 소화전 인접지역	20%	도로 사회기반시설 토양의 종류	50%
사용	사용 유형	10%	사용 유형	10%	사용 유형	20%	사용 유형	10%
관리	유지관리 계획 모니터링	20%	유지관리 계획 모니터링	30%	비상계획 훈련	30%	유지관리 계획 모니터링	20%
전체		100%		100%		100%		100%

표 8 취약성 요인, 재해 별 가중치

제안된 가중치는 한국 건축 유산에 대한 첫 번째 근사값을 토대로 하며, 그 후 해당 기념물 및 그와 유사한 유적지를 가진 그 분야에 있어서의 이전의 경험들을 더한다. 지진 위협의 경우 건물의 자재 및 구조적 특성과 관련된 내재적 요인은 보존 상태와 더불어 매우 중요하며, 높은 가중치를 갖는다(50%). 역사적 건축물들은 현대적인 안전 표준 없이 설계된 것들이 대부분이며, 이는 이전의 지진에 직면했던 구조물들의 역사적 거동 뿐만 아니라 자재 및 건축 체계를 상세히 알고 있다는 것을 의미한다. 특히 지진 중 토양 특성으로 인한 맥락적 요인에도 큰 가중치가 주어진다(Masi 2014). 마지막으로, 주기적인 유지보수 계획 및 모니터링과 관련된 관리적 요인은 구조물 또는 유적지의 취약성과 관련이 있다.

환경 압력의 경우 내재적 요인 및 맥락적 요인은 밀접하게 관련되어 있으며 가중치 또한 높다(각각 30%). 이 맥락적 요인은 상대 습도, 온도 변화 및 자외선 복사 등과 같은 특정 환경 조건을 제공한다. 이러한 각각의 조건은 자재에 미치는 영향을 평가하기 위해 명시적으로 측정되어야 한다(내재적 요인). 각 자재(석조, 벽돌, 목재)는 각 요소에 따라 다른 영향을 받는다. 다공성 자재인 석조와 벽돌은 상대 습도 및 온도 변화에 의해 상당히 영향을 받는다. 목재의 경우, 환경적인 습도 및 자외선 복사에 의해 심각한 손상을 입을 수 있으며, 장기적으로는 전체 부분에서 파괴가 일어나 전체 구조를 약화시킬 수 있다. 고려해야 할 또 다른 측면은 바로 위치이다. 하나의 동일한 구조물에서 한 표면보다 다른 한 표면이 환경 압력에 보다 많은 영향을 미칠 수 있다. 목재의 경우 햇빛이 덜 드는 면에 곰팡이, 식물의 성장, 부패 등의

vulnerability factors, related to the four threats (Barbat 2005). Also, each of these factors has a different weight for each threat (Table 8). This weighting also responds to contextual, cultural and/or political conditions that ultimately affect the preservation of a monument (Han 2011).

Vulnerability factors	Hazards / weighting							
	Earthquake	Weight	Environmental pressures	Weight	Fire	Weight	Vibration	Weight
Intrinsic	Materiality Structural system State of conservation	50%	Materiality State of conservation	30%	Materiality State of conservation installations Compartments	30%	Materiality Structural system State of conservation	20%
Context	Type of soil	20%	Humidity UV radiation Temperature	30%	Vehicle access Fire hydrants Neighbours	20%	Road infrastructure Type of soil	50%
Use	Type of use	10%	Type of use	10%	Type of de use	20%	Type of use	10%
Management	Maintenance plan Monitoring	20%	Maintenance plan Monitoring	30%	Emergency plan Drill	30%	Maintenance plan Monitoring	20%
Total		100%		100%		100%		100%

Table 8 Vulnerability factors, weighting by hazard.

The proposed weights are based on the first approximation to Korean built heritage, and then previous experience in the field with monuments and similar sites is added. In the case of the seismic threat, the intrinsic factors, related to the material and structural characteristics of a building are very important, as well as the state of conservation, and they have a high weighting (50%). Most of the historical buildings have been designed without modern safety a standard, which implies knowing in detail the materials and construction systems, as well as the historical behaviour of the structures in the face of previous earthquakes. Context factors also have a high weight, especially due to the incidence of soil characteristics during an earthquake (Masi 2014). Finally, the management factors related to periodic maintenance plans and monitoring are relevant to the vulnerability of a structure or site.

In the case of environmental pressures, the intrinsic and context factors are closely related, and have a high weighting (30% each). The context provides specific environmental conditions, such as relative humidity, temperature variations, and UV radiation. Each of these conditions must be expressly measured to evaluate its impact on materials (intrinsic factors). Each material, for its part, (stone, brick, wood) is affected differently by each of these factors. Stone and brick, being porous materials, are affected by relative humidity and important temperature oscillations. In the case of wood, environmental humidity and also UV radiation can cause serious damage and, in the long term, destroy complete parts, weakening the entire structural system. Another aspect to consider is the location. The same structure may affect environmental pressures on one side more than another. It is observed that the less sunny faces have problems with fungi, vegetation or rot, in the case of wood. Here the relationship with the state of conservation is a key point: the exposed walls must be

문제가 있는 것으로 관찰되었다. 여기서의 핵심적인 사항은 보존 상태와의 관계이다. 노출된 벽은 호환이 가능한 자재로 적절하게 보호해야 한다. 이러한 이유 때문에 주기적인 유지보수 및 모니터링과 관련된 관리적 요인도 높은 가중치를 가진다(30%).

화재의 경우 가장 높은 가중치를 가지는 것은 내재적 요인 및 관리적 요인이다(각 30%). 물질성이 결정적 요인(석재보다 목재가 더 취약함)에 따라 내재적 요인도 화재의 확산에 중요한 영향을 미친다. 시설, 전기 및 가스도 고려해야 할 또 다른 요인이다. 다시 한 번 이야기 하지만, 구조물과 시설의 보존 상태는 평가에 포함시켜야 할 중요한 사항이다. 화재의 경우에 있어서 관리란 기념물을 점유하거나 관리하는 사람이 알고 있는 장비와 명확한 규정을 갖춘 비상 계획이 존재하는 상태를 말한다. 이것으로 유적지에서 발생할 수 있는 화재의 영향을 크게 경감시킬 수 있다. 맥락적 요인 및 사용 요인의 가중치는 같다(20%). 전자의 경우, 비상상황 시 차량의 접근 용이성 뿐만 아니라 물의 공급 상태도 중요하다. 화재가 역사적 구조물 외부에서 발생할 수 있기 때문에 인근 건물의 특성 및 보존 상태도 역시 관련이 있다. 사용의 경우에는 사용 유형 및 사용 체계를 평가해야 한다. 예를 들어, 사용 유형에는 가연성 자재가 과도하게 포함되어 있는 경우 화재에 대한 취약성이 증가할 수 있다. 또한, 사용 체계는 예를 들어, 밤 동안 비어있는 건물을 의미한다.

3-3. 결과의 요약

표 9에 방문 유적지의 이러한 취약성에 관한 예비 평가 결과를 요약하여 나타내었다. 지표들은 각 위협의 영향을 추정하는 취약성 요인으로 고려하였다. 사용된 값(매우 높음, 높음, 중간 및 낮음)에 대한 설명은 표 10에 나타내었다.

유적지	취약성 요인	자연 재해		인적 재해	
		지진	환경 압력	화재	진동
		점수	점수	점수	점수
송례문	내재적	중간	중간	높음	중간
	맥락	낮음	중간	낮음	높음
	사용	낮음	-	중간	-
	관리	낮음	중간	낮음	중간
흥인지문	내재적	중간	중간	높음	중간
	맥락	낮음	중간	낮음	높음
	사용	낮음	-	중간	-
	관리	낮음	중간	낮음	중간
서울 창덕궁 주합루	내재적	중간	높음	높음	-
	맥락	낮음	중간	중간	-
	사용	낮음	-	중간	-
	관리	중간	중간	낮음	-

properly protected, with compatible materials. For this reason, management factors related to periodic maintenance and monitoring also have a high weight (30%).

For fire, the highest weights correspond to the intrinsic and management factors (30% each). Intrinsic factors because materiality is determinant (wood is more vulnerable than stone materials); in addition, the conditions of the architectural form, such as compartments, also have an important impact on the spread of fire. The facilities, both electric and gas, are another factor to consider. Once again, the state of conservation of the structure and facilities is an important point to include in the assessment. In case of fire, management refers to the existence of an emergency plan, with equipment and clear protocols, known by those who occupy or are in charge of a monument. This can significantly reduce the effect of a possible fire at a heritage site. Context and use factors have the same weighting (20%). In the case of the former, the ease of vehicular access in case of emergency is important, as well as the provision of water. The characteristics and state of conservation of the neighbouring buildings are also relevant, because the fire could originate outside the historical structure. In the case of use, the type of use and the use regime should be evaluated. The type of use may involve having an excess of combustible material, for example, which increases vulnerability to a fire. Also, the regime of use implies buildings that are unoccupied during the night, for example.

3-3. Synthesis of results

The results of this preliminary vulnerability assessment for the visited sites are summarized in Table 9. The indicators were considered by vulnerability factor, estimating the impact of each threat. The values used (very high, high, medium and low) are described in Table 10.

Site	Vulnerability Factors	Natural Hazards		Anthropic Hazards	
		Earthquake	Env. Pressures	Fire	Vibrations
		Score	Score	Score	Score
Sungnyemun gate	Intrinsic	Medium	Medium	High	Medium
	Context	Low	Medium	Low	High
	Use	Low	-	Medium	-
	Management	Low	Medium	Low	Medium
Heunginjimun gate	Intrinsic	Medium	Medium	High	Medium
	Context	Low	Medium	Low	High
	Use	Low	-	Medium	-
	Management	Low	Medium	Low	Medium
Juhamnu Pavilion of Changdeokgung Palace, Seoul	Intrinsic	Medium	High	High	-
	Context	Low	Medium	Medium	-
	Use	Low	-	Medium	-
	Management	Medium	Medium	Low	-

유적지	취약성 요인	자연 재해		인적 재해	
		지진	환경 압력	화재	진동
		점수	점수	점수	점수
안동 법흥사지 칠층전탑	본질	높음	높음	낮음	높음
	맥락	낮음	중간	중간	높음
	사용	낮음	-	-	-
	관리	중간	중간	낮음	높음
경주 불국사지 다보탑	본질	높음	높음	낮음	-
	맥락	낮음	중간	중간	-
	사용	낮음	-	-	-
	관리	중간	중간	낮음	-
경주 불국사지 삼층석탑	본질	높음	높음	낮음	-
	맥락	낮음	중간	중간	-
	사용	-	-	-	-
	관리	중간	중간	낮음	-
경주 첨성대	본질	높음	높음	낮음	-
	맥락	낮음	높음	중간	-
	사용	-	-	-	-
	관리	중간	중간	낮음	-

표 9 재해에 의한 위험 추정값

점수	설명
매우 높음	이러한 위험은 절대 용납불가. 이러한 위험은 가능성을 줄이고 완화하기 위해 즉각적인 조치 필요.
높음	이러한 위험은 용납 불가. 위험 및 완화 위험을 줄이기 위한 조속한 조치 필요.
중간	이러한 위험은 단기간 동안은 허용 가능. 위험을 경감시키고 위험을 완화시키기 위한 계획이 향후 계획과 예산에 포함되어야 함.
낮음	이러한 위험은 허용 가능. 위험을 줄이거나 완화하기 위한 조치는 다른 보안 및 완화 업그레이드와 함께 구현해야 함.

표 10 출처 : <https://www.wbdg.org/resources/threat-vulnerability-assessments-and-risk-analysis>

지진 위협과 관련하여, 현재 모든 구조물을 모니터링하고 있으며, 이를 통해 그 거동에 대해 명확한 진단을 내릴수 있다. 물질성 측면에서, 그러한 석조 구조(지지구조가 없는 상태)는 특히 정기적인 보존 상태(내재적 요인) 또는 보다 길쭉한 형태의 구조물은 더 취약하다. 가장 크게 약화된 것은 첨성대와 칠층전탑이었다. 반면에, 지진으로부터 얻은 기록은 큰 강도를 설명하지 못하기 때문에 위험이 줄어들어 기념비가 "매우 높음" 범주에 포함되지 않는다.

Site	Vulnerability Factors	Natural Hazards		Anthropic Hazards	
		Earthquake	Env. Pressures	Fire	Vibrations
		Score	Score	Score	Score
Seven - story Brick Pagoda at Beopheungsa Temple Site, Andong	Intrinsic	High	High	Low	High
	Context	Low	Medium	Medium	High
	Use	Low	-	-	-
	Management	Medium	Medium	Low	High
Dabotap Pagoda of Bulguksa Temple, Gyeongju	Intrinsic	High	High	Low	-
	Context	Low	Medium	Medium	-
	Use	Low	-	-	-
	Management	Medium	Medium	Low	-
Three - story Stone Pagoda of Bulguksa Temple, Gyeongju	Intrinsic	High	High	Low	-
	Context	Low	Medium	Medium	-
	Use	-	-	-	-
	Management	Medium	Medium	Low	-
Cheomseongdae Observatory, Gyeongju	Intrinsic	High	High	Low	-
	Context	Low	High	Medium	-
	Use	-	-	-	-
	Management	Medium	Medium	Low	-

Table 9 Estimation of risk by hazard

점수	설명
Very High	The risk is totally unacceptable. Immediate measures must be taken to reduce these risks and mitigate hazards.
High	The risk is unacceptable. Measures to reduce risk and mitigation hazards should be implemented as soon as possible.
Medium	The risk may be acceptable over the short term. Plans to reduce risk and mitigate hazards should be included in future plans and budgets.
Low	The risks are acceptable. Measures to further reduce risk or mitigate hazards should be implemented in conjunction with other security and mitigation upgrades.

Table 10 Source : <https://www.wbdg.org/resources/threat-vulnerability-assessments-and-risk-analysis>

In relation to the seismic threat, all structures are currently being monitored (management factor) with which a clear diagnosis of their behaviour can be obtained. In terms of materiality, those masonry structures are more vulnerable (all without reinforcement), but especially those that are in a regular state of conservation (intrinsic factors) or those that are more slender. Here the case of the Cheomseongdae Observatory and the Seven - story Brick Pagoda are those that show the greatest degradation. On the other hand, the records obtained from the earthquakes do not account for great intensity, which reduces the risk, which is why no monument would be in the "very high" category.

환경적 압력의 경우, 가장 유해한 것은 환경 습도나 자외선 복사일 것이다. 습도가 존재하며, 이는 주로 석조 구조물에 영향을 미친다. 이는 특히 이끼와 곰팡이, 식물이 성장하고 있는 첨성대에서 관찰되며, 장기적으로는 구조적인 문제로 이어질 수 있다. 이들 사례에서 유지관리 부족은 관리 요인에 반영된다. 목재 구조물(대문, 주합루 모두)은 자외선의 영향을 받는다. 하지만, 두 대문(송례문, 흥인지문) 모두 상태가 양호하다. 주합루의 경우, 목재의 보존 상태는 규칙적이어서, 이러한 환경적 압력에 더 취약하다.

인간에 의해 발생한다고 여겨지는 위협 중에서 화재는 잠재적으로 석조 또는 벽돌 위의 목재 구조물에 영향을 미칠 수 있다. 그러나 송례문과 흥인지문에는 화재감지장치 및 제어장치(스프링클러와 소화기)를 갖추고 있다. 주합루의 경우도 장치를 갖추고 있지만, 두 대문처럼 완벽한 것은 아니다. 주합루의 경우, 차량으로 접근하기가 더 어려움에 따라 맥락적 요인이 증가한다. 화재는 기타 구조물(석조 및 벽돌)에서 평가 요소와 관련하여 큰 위협이 되지 않는다.

교통 수단(지하철 및 열차)에서 발생하는 진동은 세 가지 구조물(송례문, 흥인지문, 칠층전탑)에 영향을 미치는 특정 위협인데, 이들에게서는 특히 취약점 요인이 자연스럽게 맥락적 요인이라고 여겨진다. 탑의 경우 잠재적으로 더 중요한데, 그 이유는 그 구조물이 두 대문과는 달리, 규칙적인 보존 상태에 있기 때문이다. 이 구조는 모양이 길쭉하기 때문에 더욱 취약하다(내재적 요인).

4. 결론

위험성에 관한 예비 평가를 통해 우리는 유적지의 보존 상태에 영향을 미치는 보다 넓은 범위의 요인들을 고려할 수 있다. 이를 통해 전략의 정의에 더 많은 변수를 통합하거나 유적지가 확실히 보존되도록 하는 조치에 관한 제안을 할 수 있다. 위협의 영향은 재해 발생 후에 평가되는 것이 일반적이지만, 위험성에 관한 예비 평가를 통해 실제 잠재적 위험을 평가하여 완화 조치를 제안할 수 있다. 이 논문에서 간략하게 언급할 고려해야 할 중요한 요인으로는 위험을 경감시키기 위해 유적지와 연계된 광범위한 커뮤니티의 책임을 들 수 있다. 당국 외에도 기술자, 전문가, 인근주민, 관광객, 언론매체 등은 각자의 구체적인 역량하에서 기본적인 역할을 한다. 마지막으로, 문화유산의 보존은 위험관리의 순환, 즉 준비, 대응, 재건에 대한 인식과 강하게 연관되어 있다.

As for environmental pressures, environmental humidity and UV radiation would be the most harmful. The humidity is present, mainly affecting the stone structures. This is especially observed in the pagodas and the Cheomseongdae Observatory, where there are lichens, fungi and vegetation (on the less sunny faces it is more critical), which in the long run leads to structural problems. The lack of maintenance, in these cases, is reflected in the management factor. The wooden structures (both gates and Juhamnu Pavilion) are affected by UV radiation. However, both gates are in good condition. In the case of Juhamnu Pavilion, the state of conservation of the wood is regular, being more vulnerable to this environmental pressure.

Among the anthropic threats considered, fire would potentially affect the wood structures over those of stone or brick (intrinsic factors). However, in the case of Sungnyemun Gate and Heunginjimun Gate, they have fire detection and control equipment (sprinklers and fire extinguishers). In the case of Juhamnu Pavilion there is also equipment, but not as complete as in the case of both gates. In the case of this pavilion, vehicular accessibility is more difficult; therefore, the context factor increases. In the other structures (stone and brick) the fire would not be a high threat in relation to the assess factors.

The vibrations produced by the transport equipment (underlying and train) are a specific threat, which specifically affects three structures (Sungnyemun Gate and Heunginjimun Gate, Seven - story Brick Pagoda), where the vulnerability factor naturally refers to the context. The case of the Pagoda is potentially more critical, because the structure is in a regular state of conservation, unlike both gates. This structure, because of its slender shape, is also more vulnerable (intrinsic factor).

4. Conclusions

A preliminary risk assessment allows us to consider a wider spectrum of factors that is affecting the state of conservation of a historic site. This allows for integrating more variables in the definition of strategies or intervention proposals that ensure the conservation of a site. In general, the effects of a threat are evaluated after the occurrence of a disaster; however, a risk assessment in fact makes it possible to estimate the potential risk and thus propose mitigation measures. An important factor to consider, which is only mentioned briefly in the article, is the responsibility of a broad community linked to the site, in risk reducing. In addition to the authorities, the technicians and specialists, the neighbours, the tourists, and the media, among others, play a fundamental role, each one from their specific capacities. Finally, the preservation of cultural heritage is strongly linked to awareness of the cycle of risk management; that is, preparation, response and reconstruction.

5. 감사의 글

2017년 제1회 ISCARSAH(건축유산의 구조해석 및 수리복원 국제학술위원회) 워크숍 관리 및 구성을 위해 애쓰신 한국문화재연구소 및 한국 ICOMOS에 특별한 감사를 드린다.

6. 참고문헌

- [1] Barbat, A.H. (ed) 2005. 위험성 평가를 위한 지표 시스템(Sistema de indicadores para la evaluación de riesgos). 지진 공학 논문(Monografías de ingeniería sísmica). 국제공업수치해석 공학센터, 바르셀로나(Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, Barcelona).
- [2] 한해윤 2011. "공동주택 거주 및 보험 심사에서 화재손해배상책임 보험의 위험도 평가 표준화 방안 연구", 제5차 성능 기반 화재 및 소방 공학에 관한 학술회의, 2010년 12월 7~9일 pp. 120-126, 중국 광저우.
- [3] Jokilehto, J. 2016. "재산 및 가치의 평가(Valores patrimoniales y valoración)", Conversaciones. 보존 저널 (Revista de conservación), 7월, 제2호 pp.19-31, 인류학역사연구소(Instituto Nacional de Antropología e Historia)
- [4] Masi, A. 등 2014. "도시 규모의 지진 손실 평가를 위한 주거 건물의 조사 : 이탈리아 발다그리(val d'agri) 지역 18 개 마을에 대한 사례 연구", 환경공학 및 관리, 제13권 제2호, pp.471-486.
- [5] NRICH 등 2017. 돌, 나무, 흙 건축의 구조 특성과 안전관리 방안 국제워크숍 자료집. 국립문화재연구소 안전방재 연구실, 대전
- [6] 유네스코 등 2010. 세계문화유산의 재난위험관리 유네스코 세계문화유산 센터, 파리.
- [7] 유네스코 등 2012. 문화유적지에서의 위험관리 : 페트라 세계문화유산의 사례 연구 유네스코(국제연합교육과학 문화기구), 파리
- [8] UNISDR 2015. 재해 위험 경감을 위한 센다이 프레임워크 2015-2030.

5. Acknowledgments

Special thanks to the National Research Institute for Cultural Heritage of Korea and to National Committee of ICOMOS Korea for management and organization of the 1st ISCARSAH Workshop in 2017.

6. References

- [1] Barbat, A.H. (ed) 2005. Sistema de indicadores para la evaluación de riesgos. Monografías de ingeniería sísmica. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, Barcelona.
- [2] Han Hai-yun. 2011. "Research on Standardization Method of Risk Assessment for Fire Public Liability Insurance in Assembly Occupancies and Underwriting Auditing", 5th Conference on Performance-based Fire and Fire Protection Engineering, 7-9 Dec 2010, pp 120-126, Guangzhou, China.
- [3] Jokilehto, J. 2016. "Valores patrimoniales y valoración", Conversaciones. Revista de conservación, July, nº2, pp. 19-31, Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- [4] Masi, A., et al. 2014. "Survey of dwelling buildings for seismic loss assessment at urban scale: the case study of 18 villages in val d'agri, Italy", Environmental Engineering and Management Journal, Vol.13, No. 2, pp 471-486.
- [5] NRICH, et al. 2017. Workshop on the scope of material and techniques. Stone, wood and earth (7-9, June, 2017, Seoul, Andong and Gyeongju, Korea). Safety and Disaster Prevention Division National Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon.
- [6] UNESCO, et al. 2010. Managing Disaster Risks for World Heritage. UNESCO World Heritage Centre, Paris.
- [7] UNESCO, et al. 2012. Risk management at heritage sites: a case study of the Petra World Heritage Site. United Nations Educational, Science and Cultural Organization, Paris.
- [8] UNISDR 2015. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030.

건축물들과 그 건축물들의 수 백년 역사

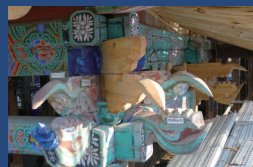
Segarra Lagunes, María Margarita

로마 트레 대학교 건축학과(Dipartimento di Architettura, Università degli Studi Roma Tre)
segarra.lagunes@uniroma3.it

Buildings and their centuries-old history

Segarra Lagunes, María Margarita

Dipartimento di Architettura, Università degli Studi Roma Tre
segarra.lagunes@uniroma3.it



건축물들과 그 건축물들의 수 백년 역사

Segarra Lagunes, María Margarita

로마 트레 대학교 건축학과(Dipartimento di Architettura, Università degli Studi Roma Tre)
segarra.lagunes@uniroma3.it

요약

본 논문은 역사적 연구의 중요성과 복원 프로젝트를 정의하기 위한 예방적 조치로서, 방문하였던 기념물에 대한 몇 가지 관찰 및 건물 조사에 대한 간략한 내용을 추가한 것이다. 또한 이 논문에서는 사업적인 개념에 도움이 되도록 하기 위해 전통적인 관행을 무시하고 있는 오늘날 복원 현장에서의 변화에 대한 몇 가지 생각들을 추가하였다. 이렇게 계속 변화하면, 유적과 더불어 대대로 이어져온 노하우를 바탕으로 한 무형의 유산들, 즉 각국의 문화유산을 이루는 고귀한 가치를 갖는 무형의 유산을 잃게 된다.

키워드 : 역사, 보존, 복원

1. 건물의 역사

건물의 역사는 인간의 삶과 같이 매우 복잡하다고 알려져 있다. 건물들은 위기와 불안정성의 시기와 안정성과 건전성의 시기를 순환적으로 교차해가면서 경험하게 된다. 설계와 건축의 첫 단계 이후에는 성숙 및 노후화의 기간이 따른다. 그러나 그 과정은 선형적이거나 체계적이지 않아서 예측하지 못한 외부 사건에 의해 주기적으로 중단되거나 때로

Buildings and their centuries-old history

Segarra Lagunes, María Margarita

Dipartimento di Architettura, Università degli Studi Roma Tre
segarra.lagunes@uniroma3.it

Summary

This paper adds some brief reflections on the importance of historical research and the survey of buildings, as preventive steps to define the restoration project, to some observations made on the monuments visited. It also contains some thoughts regarding how the restoration building-site has changed in the present day, abandoning traditional practices in favor of an entrepreneurial conception of work. With this, an intangible heritage of great value is lost, one based on know-how, transmitted from generation to generation and which, together with the monuments, constitute the cultural legacy of each nation.

Key Words: History; Conservation; Restoration

1. The history of the buildings

It is well known that the history of buildings is —like human life— very complex: they go through times of stability and soundness, alternating with cycles of crisis and precariousness. The first stages of design and construction are followed by periods of maturity and aging. But the process is neither linear nor systematic, nor can it be predicted with mathematical exactness since it is periodically interrupted by unforeseen external events —or sometimes predictable only to a certain

는 어느 정도까지만 예측 가능하기 때문에 수학적 정확성으로 예측할 수 없다. 이는 건물에 직접적인 영향을 미치게 되어 과정을 변경시키거나 또는 중단시킬 수 있다. 건물은 일상적인 사용 및 일사량, 강우, 강설 또는 대기 습도에 대한 가벼운 노출에서부터 지진, 홍수 또는 수문 지질학적 사태와 같은 가장 파괴적이고 치명적인 사건에 이르기까지 이러한 사건의 영향을 견뎌내거나 피해를 입으며 그에 대해 각기 다르게 반응한다.

그리고 이러한 반응 양상은 무엇보다도, 건물들의 보존 상태, 즉 건물이 오랜 기간에 걸쳐 유지보수되고 관리되어 왔는지, 수세기에 걸친 무관심하게 방치되었는지에 달려 있다. 석고 표면에 있는 작은 균열을 즉각적으로 보수하거나 처마 돌림띠(cornice)를 통해 물방울이 침투하는 것을 방지하기 위해 깨진 타일을 제때에 교체해야 한다. 곤충에 의해 공격당하는 목재 보의 시의적절한 교체 또는 외관정면의 부서진 마줄리카를 신중하게 변경하는 것은 위험요소를 제거한 건물의 일상적인 유지보수와 의식처럼 치뤄지는 생활의 일부인 아주 소소한 조치들이고, 이로 인해 건물의 수명이 늘어난다.

반면에, 역사적인 건축물들은 때때로 사회 경제적 요인, 미적 취향의 변화, 이념적 또는 종교적 변화로 인해 잊혀진 채로 방치되기도 한다. 건물이 방치되면 건물이 손상되기 시작하면서 또한 서서히 파괴되기 시작한다. 하지만, 건물은 정확히 그 장소만을 위해 설계되었고 어떤 다른 장소를 위해 설계되지 않았으며, 현지의 역사와 인간사의 우여곡절과 밀접하게 연관되어 있고, 그 지역의 건축기술자들이 알고 있는 건축기술로 구축되었기 때문에, 건물들은 모든 해당 장소를 특징짓는 요소이다. «문화재는 유형이든 무형이든 상관없이 모두 국가 문화의 본질과 근본을 나타낸다.»



사진 1 서울의 한 역사가 있는 건물에서 복원기술을 사용하여 같은 모양, 같은 기술로 잃어버린 원형을 재현하는 작업이 진행되고 있다.

extent—which directly affect buildings, causing alterations or disruptions of that process. From everyday use and simple exposure to solar irradiation, rain, snow or atmospheric humidity, to the most disruptive and catastrophic events, such as earthquakes, floods or hydro-geological occurrences, buildings tolerate or suffer the effects of these events, reacting differently.

And this way of reacting depends, first of all, on the state in which they are preserved, on the way they have been maintained and repaired over time, on their care or neglect over the centuries. The prompt reparation of a small crack in the plaster surface, or the timely replacement of a broken tile to prevent a trickle of water from infiltrating through a cornice; the opportune substitution of a wooden beam attacked by insects or the careful changing of a broken majolica of the façade, are all small interventions, part of the daily maintenance and ritual life of buildings that have removed dangers—diseases—and prolonged their existence.

On the other hand, historical buildings have sometimes fallen into oblivion, due to socio-economic factors, changes in aesthetic tastes, ideological or religious shifts or simply because they have been considered inadequate to continue to play the role with which they were originally conceived. Abandonment is the beginning of their degradation, of their slow destruction. However, those buildings are the identifying factors that characterize every place: precisely because they were designed for that precise—and not for another—place; because they are closely tied to the history and the vicissitudes of humanity in those places; because they are made with the construction techniques known to local artisans; because they were built with materials that could be found in that territory: «Cultural properties, whether tangible or intangible, represent both the essence and the basis of national culture».



Figure 1 Replacement of missing elements with others that reproduce exactly the same shapes, with the same techniques, in an historic building in Seoul, undergoing restoration.

역사적인 건축 유산에 관여하는 사람들은, 과거의 모든 건물들은 반드시 해결되어야 하는 수수께끼라는 것을 현재 인정하고 있다. 이것은 건물에 대한 체계적인 연구를 통해서만 이루어질 수 있으며, 이러한 연구조사는 기술적일 뿐만 아니라 그 건물과 관련된 모든 지식 분야와도 연관되어 있다.

사실 그 지식이란 것은 각 건축물의 건축역사 및 구조적인 역사, 사용된 기술 및 재료, 유지보수, 변형 또는 이전 복구작업과 관련이 있다. 또한 재료의 노화 과정과 비, 태양, 바람 또는 지진, 태풍, 화재와 같은 더욱 재난적인 상황으로 인해 시간이 지남에 따라 어떻게 변화하는지, 그리고 마지막으로 전쟁, 약탈, 파괴행위 등과 같이 그 외 주변에서 일어난 인류사의 변혁에 대한 과학적 조사가 수반된다.

사실 현미경으로 건축물을 들여다 보는 것만으로는 충분하지 않다. 건축물을 최선으로 잘 보존하기 위해서는, 망원경의 렌즈를 통해 관측하여 건축물의 주변 환경과의 관계(평화롭고 조화로운것이 바람직하기는 하지만 역사의 일부분으로서 주변환경과의 관계가 항상 그렇게 좋은 것만은 아니지만) 뿐만 아니라, 유익하거나 유해한 영향을 주는 현상들을 보다 잘 이해할 필요가 있다.

2. 방문한 일부 기념물에 관한 관찰 결과

ISCARSAH(건축유산의 구조해석 및 수리복원 국제학술위원회) 워크숍 기간 동안에 방문했던 기념비적인 건축물들은 모두 패러다임의 사례인데, 그 이유는 국가 및 국제적 문화적 맥락에서의 중요성과 그러한 기념물들이 사용되었던 여러 가지 보존 문제를 고려했기 때문이다.

그러나 일반적으로 분명한 것은 당국이 한국의 유산을 보호하고 이 기념물들을 보존하기 위해 엄청난 노력을 기울였다는 것이며, 이 모든 노력은 한국과 같은 나라가 수세기 동안 겪었던 시간, 전쟁 그리고 많은 변천에서 살아남을 수 있도록 한 원천이 되었다. 서로 다른 역사적 단계와 궁극적으로는 국가 정체성을 나타내는 이 독특하고 모범적인 기념물들을 보호하는 것을 목표로 하여 이렇게 세심하고도 주의깊게 관리가 이뤄졌다.

면밀히 조사한 결과 일부 유적들은 어떤 경우에는 방치해 두었던 징후가 나타나고, 일부는 보호구역 안에 있음에도 불구하고 보존을 위해 필요한 관심과 유지보수가 부족하다는 것을 단적으로 보여주기도 한다. 그외 다른 유적들은 지진, 차등적인 침강, 화재 등과 같은 충격적인 사건의 흔적과 상처를 지니고 있다. 그러나 다행스럽게도, 그것들 중 그 어느 것도 되돌릴 수 없을 정도로 악화된 듯이 보이지 않았으며, 보존 상태를 개선하고 수명을 연장하기 위한 조치를 취하면 보완할 수 있는 일반적인 유지보수 작업의 범주에 속하였다.

It is now accepted that, for those intervening on historical architectural heritage, every building of the past is an enigma that must be solved. And this can only be done through a methodical research of the building: an investigation that is not only technical, but is also related with all the spheres of knowledge that pertain to that building.

It concerns, in fact, its constructive and structural history, the techniques and materials used, its maintenance, transformation or previous restorations; and it is also entails scientific investigations on the aging processes of materials and the ways in which they have changed over time due to rain, sun, wind, or other events that are much more catastrophic, such as earthquakes, cyclones, fires and, last but not least, the anthropic transformations that have taken place in its surroundings: wars, looting, vandalism.

Indeed, to look at the building under the microscope is not enough, it is also necessary to observe it through the lens of a telescope, to better understand the phenomena that have affected it—whether they were beneficial or harmful—in addition to the relationships that the building has had with its surroundings—relationships that are not always peaceful or harmonious, as it would be desirable, but that nevertheless are part of its history—to ensure its best preservation.

2. Observations on some of the monuments visited

The monumental buildings visited during the ISCARSAH workshop are all paradigmatic cases, both because of their importance in the national and international cultural context, and given the different preservation problems they present, revealing the different ways in which those monuments have been used, maintained and transformed during time.

But, in general, what appears most evident is the enormous effort the authorities have made to protect Korean heritage and preserve these monuments, all of which have survived the effects of time, wars and the many vicissitudes that a country like Korea has suffered over the centuries. This scrupulous and careful care has aimed to safeguard these unique and exemplary monuments, which represent the different historical phases and, ultimately, the national identity.

Upon closer inspection, some of those monuments manifest, in some specific cases, signs of abandonment; others, despite being within protected complexes, show that they have lacked the necessary attention and maintenance. Others bear traces and wounds of traumatic events—earthquakes, differential subsidence, fires. Fortunately, however, none of them seem to be irreversibly compromised: the interventions—minimal in most cases—that could be implemented to improve their state of preservation and to prolong their life, fall within the category of ordinary maintenance tasks.

2-1. 서울 송례문

2008년에 일어난 송례문, 즉 서울의 남대문 방화사건은 특히 문화적 관점에서 재앙적인 사건이었다. 14세기에 축조된 이 건축물은 과거에 복원과정을 거쳤음에도 불구하고, 그 이전까지는 훌륭하게 원래대로 보존하고 있었다. 그러나 앞에서 언급한 완전히 비이성적인 행동(방화)으로 인해 지붕은 크게 손상되었으며, 2층 지붕 및 1층 일부의 모든 목조 구조가 단 몇 시간 만에 화마에 의해 파괴되었다. 머릿 속에 바로 떠오르는 비근한 예는, 유명한 글래스고 예술학교의 찰스 레니 맥킨토시(Charles Rennie Mackintosh)의 작품으로서, 불과 8년 동안 두 차례나 불에 타 스코틀랜드 아르누보의 걸작 중 하나가 거의 완전히 파괴되었다.

두 경우 모두 이러한 위험을 줄이고 광범위한 피해를 방지하기 위해 모든 건축유적에, 그 건물의 특성에 적합하면서도 사소한 화재 발생시에도 작동할 수 있는 효과적이면서도 믿을 수 있는 화재 안전 체계를 반드시 구축할 필요가 있다는 점을 강조해 주고 있다. 글래스고 미술학교의 경우, 건물 복원 방법이 너무나 복잡해서 확실한 해결 방안이 마련되기 전까지는 많은 시간이 필요할 것으로 보인다. 송례문의 경우, 건축물을 다시 만들기로 한 결정은 동일성(à l'identique) 유지 차원에서 환영할만한 일이다.



사진 2 송례문, 서울

2-1. Sungnyemun Gate, Seoul

In 2008, the arson attack suffered by the Sungnyemun Gate, or Seoul's Great South Gate, was a disastrous event, especially from a cultural point of view. Despite past restorations, the building, which dates back to the fourteenth century, had reached us in an excellent state of preservation. But the aforementioned completely irrational action damaged it greatly, destroying the roof over the second floor and all of the wooden features of part of the first floor, all of which, in a few hours, were consumed by the flames. A comparison immediately comes to mind: the famous Glasgow School of Art, the work of Charles Rennie Mackintosh, which in only eight years has twice been hit by fire, destroying almost completely one of the greatest masterpieces of Scottish art nouveau.

Both cases lead us to reflect on the impelling need to implement fire-safety systems in every monument in order to reduce these risks and avoid such wide-spread damages; effective and reliable fire protection systems that are both compatible with the nature of these buildings and capable of starting up at the slightest sign of fire. In the case of the Glasgow School of Art, the approach of the restoration of the building is so complex that many years will be needed before a convincing solution is produced. In the case of the Sungnyemun Gate, the decision to rebuild the monument à l'identique can be considered laudable.



Figure 2 Sungnyemun Gate, Seoul.

이러한 조치로 인해, 충격적인 사건의 흔적은 사라지게 되었다. 로마에서는 1993년 7월 27일 바실리카(Basilica)의 산 조르지오(San Giorgi) 성당과 라테라노(Laterano)의 산 지오바니(Giovanni) 성당에서 일어난 테러 공격시 발생했던 폭탄 손상 부분을 재구성하고 마피아와 같은 사건의 모든 흔적을 제거하여 그 영향을 모두 지워냈다.

이러한 조치를 통해, 기억과 역사가 가득한 매우 상징적인 장소인 송례문이 도시의 품으로 되돌아왔다. 게다가 천장, 창문, 그리고 모든 목조 요소에 대한 그림 장식을 복원한 것은 살아있는 장인정신을 드러냄으로써 그러한 전통을 지키는 것의 중요성을 보여주었다. 외관의 측면에서 화재에 의해 검게 그을린 원래 성벽을 유지하기로 한 결정은 또 다른 모범 사례를 떠올리게 한다. 드레스덴(Dresden)에 있는 프라우엔키르헤(Frauenkirche)는 1945년 건물 폭파 당시 파괴된 모습 그대로를 유물로 보존하였다.



사진 3 화재 발생 후 글래스고 미술학교의 모습(이미지 제공-글래스고 미술학교).

With this action, the traumatic event has been obliterated: in Rome the effects of the terrorist attacks that took place on July 27th 1993 in the church of San Giorgio in Velabro and in the Basilica of San Giovanni in Laterano, have been erased, reconstructing the parts damaged by bombs and eliminating all traces of the mafia-like event.

With this intervention, the Sungnyemun Gate, a highly symbolic place full of memory and history, has been returned to the city. Furthermore, the restoration of the pictorial decorations on ceilings, windows and all the wooden elements reveal a living craftsmanship, demonstrating the importance of safeguarding such traditions. On the exterior, the decision to maintain the original walls blackened by the fire recalls another exemplary case: that of the reconstruction of Frauenkirche in Dresden, where the original stone blocks have been preserved as relics of the building destroyed during the bombings of 1945.



Figure 3 The Glasgow School of Art after the fire (Image courtesy of the Glasgow School of Art).

2-2. 법흥사지 칠층전탑. 안동

법흥사지 칠층전탑은 비록 방문했던 모든 유적들 중에서도 특히 최근 들어 가장 무시당한 채 방치된 것으로 보이지만 매우 흥미로운 사례이다. 사실, 주기적인 유지보수 노력이 부족하였다는 것을 여실히 보여주고 있는데 그로 인해 벽돌 사이의 틈새와 그것을 구성하는 다른 층들의 위쪽 부분에서 식물이 자랄 수 있게 되었다. 게다가, 고속도로와 철도 노선과 같은 기반시설이 가까운 곳에 설치됨으로 인해 그 주변을 근본적으로 변화시켰기 때문에 이 기반시설들은 법흥사지 칠층전탑을 부정적으로 인식되게 만드는 가장 큰 두 가지 영향요인이다.

매우 큰 장벽이 하나 세워졌는데 이는 법흥사지 칠층전탑의 가치를 고려할 때 완전히 부적절할 수밖에 없으며, 오늘날에는 시각적으로 탑을 왜곡하고 있다. 예전에는 강물에 탑이 비춰지고 아름답고도 거대한 자연 경관으로 둘러싸여 있었다. 지면은 차량과 철도로 인해 지속적으로 그리고 상당히 심하게 진동하고 있으며, 이로 인해 장기적으로 건물의 구조에 부정적인 영향을 미쳤다. 안타깝게도, 당분간은 이러한 기반시설이 존재할 수 밖에 없으며, 그로 인한 되돌릴 수 없는 변화가 수반되는 것은 어쩔 수 없는 것이 현실이다. 단기적으로는 철도에 대한 시각적 영향을 완화하기 위한 조치를 제안할 수 있을 뿐이며, 장기적으로는 철로의 이전 계획을 세우는 것이 바람직하다.



사진 4 법흥사지칠층전탑



사진 5 법흥사지칠층전탑

2-2. Seven-story Brick Pagoda at Beopheungsa. Temple Site, Andong

The Seven-story Brick Pagoda at Beopheungsa is a very interesting case, even if, among all the monuments visited, it seems to be the most neglected, especially in the recent past. In fact, its walls clearly show a lack of periodic maintenance, enabling the growth of vegetation in the interstices between the bricks, and in the upper parts of the different stories that constitute it. However, the proximity of both a motorway and a railway line are the two factors that produced the most negative impact on how the monument is perceived, since these infrastructures have radically changed its surroundings.

A very tall barrier, that is completely incompatible with the value of the monument, nowadays visually distorts the pagoda, which in other times was mirrored on the river and was framed by a natural landscape of great beauty. The ground vibrates continuously and significantly due to vehicular and railway, and this, in the long run, has had negative effects on the structure of the building. Unfortunately, for the time being the presence of these infrastructures entails an irreversible transformation, and it is only possible, in the short term, to propose an intervention aimed at mitigating their visual impact on the building, while in the long term it would be desirable to make plans to divert the railroad track away from the monument.



Figure 4 Seven-story Brick Pagoda at Beopheungsa



Figure 5 Seven-story Brick Pagoda at Beopheungsa

탑 자체는 벽돌 사이의 접합부에 균열이 존재함을 확인할 수 있다. 모든 정황을 고려해 볼 때, 벽돌을 쌓은 모르타르의 노화와 이러한 진동의 영향 때문일 것으로 추정된다. 그러므로 빗물이 구조물에 침투하는 것을 방지하기 위해, 보다 중요하게는 문제를 악화시키는 근본원인인 식물의 성장을 막기 위해, 전통적인 모르타르로 접합부를 봉인하는 것이 가장 중요하다. 탑의 한쪽 면에는, 타일의 잔해를 볼 수 있는데, 그것의 연대를 추정하는 것은 불가능했다. 그 타일들이 원래 구조물 내부에 붙어 있었다면, 위로부터 흘러내리는 빗물을 여과하여 빗물로부터 탑을 적절히 보호할 수 있기 때문에 그에 대한 보수를 완료하는 것이 바람직할 것이다.

이런 점에서, 과거 건축물에서 수행된 변형에 대한 역사적 연구를 통해 그 타일들에 대한 더 정확한 정보를 알 수 있고, 따라서 복원가능성을 검증할 수 있다. 고속도로 너머로 흐르는 강물의 진흙탕 성분으로 인해 기반이 무너질 징조가 있다. 토양 역학에 대한 연구는 기반에 대한 조치의 적절성에 관한 정보와 더불어 토양의 유형, 하중에 대한 저항력 등의 정보를 제공할 수 있다.

2-3. 경주 첨성대

경주 첨성대는 신비로운 자태, 그 기능, 고풍스러움, 그리고 그 맥락으로 볼 때, 특별한 유산으로서 기념비적인 가치를 지니고 있다. 네모난 석조 블록으로 된 벽은 거칠어 보이지만 안정성에 있어서 위험한 수준은 아니다. 이 건축물은 수세기 동안 이 땅에서 살아 숨쉬고 있었으며 아마도 지진으로 인한 균열(한국은 전통적으로 지진 위험이 높지 않은 국가로 분류된다고 하더라도)은 건물의 노화의 징후이고 수세기가 넘게 지나왔던 사건들의 흔적이다.

첨성대는 로마 시대의 고고학적 기념물과 비교하는 것이 유용할 수 있다. 특별한 아름다움을 지닌 자연 공원에 잠긴 터키의 테르메소스(Termessos) 마을은 고대시대에 그 전략적 위치와 그것을 둘러싼 자연적 장벽으로 인해 유명했지만, 서기 5세기 이후에는 아마 지진으로 인해 대부분의 건물과 도시에 물을 공급하던 수로가 파괴된 후 복구되지 않고 그대로 버려졌다. 그 이후로 이 유적지는 발굴이나 복구 노력은 단 한 건도 이루어진 것이 없이 오랜시간동안 방치되어 있었다.

안내판도 없고 장벽도 없고 진입로도 없다. 건물들의 균형은 너무나 불안정해서 많은 건물들이 붕괴 위험에 노출되어 있고 시간과 지진의 영향으로 인해 거대한 석재가 불규칙하면서도 여기저기 놓여 있다. 이 곳을 둘러싼 산과 계곡의 고독과 고요함이 이 곳의 매력을 더하고 있다. 오늘날에도 여전히 접근하기가 어렵고, 극소수의 사람들만이 그 장소로 여행을 하려고 한다. 그러나, 실제로 그 곳을 방문하는 것은 가장 흥미로운 여행들 중 하나에 심취한다는 것을 의미한다. 즉, 테르메소스(Termessos)시는 잠시 지나가는 것만으로도 낯것 그대로이며, 정통성을 느낄 수 있고, 뚜렷하다.

As for the pagoda itself, it is possible to discern the existence of some cracks in the joints between the bricks. In all probability, they are due to the effects of these vibrations, aggravated by the aging of the mortars with which the bricks are laid. It would therefore be advisable to seal the joints with traditional mortars in order to prevent water from infiltrating the structure and, most importantly, to avoid the growth of vegetation, the roots of which would just contribute to increase the problem. On one side of the pagoda, some remains of tiles can be seen, the dating of which was not possible. If they belong to the original structure, it would be advisable to complete them, as they would provide an adequate protection from rainwater filtering from the top.

To this regard, historical research into the transformations carried out in the building in the past could provide more precise information about those tiles and therefore validate their possible restoration. There are indications of foundation failures, probably due to the clayey nature of the river, which flows beyond the highway. A study of soil mechanics could provide information on the type of soil, on its load-bearing capacity, as well as on the pertinence of intervening on the foundations.

2-3. Cheomseongdae Observatory in Gyeongju

The mysterious observatory of Cheomseongdae in Gyeongju is an exceptional heritage asset, given its function, its antiquity, and the context in which it stands, which is of extraordinary landscape and monumental value. Although its walls in square stone blocks appear rough, its stability does not seem to be in danger. The building has lived in this state for many centuries and the cracks, probably due to earthquakes (even if Korea has not been traditionally considered a country with a high seismic risk), are the signs of the building's age, of the events that have marked it over the centuries.

A comparison with some archaeological monuments from the Roman era can be useful in this case. The town of Termessos (Turkey), immersed in a natural park of extraordinary beauty, was famous in ancient times for its strategic position and its impregnability thanks to the natural barriers that surrounded it, but after the 5th century AD, probably following a earthquake that destroyed most of its buildings and the aqueducts that supplied water to the city, it was abandoned. Since then, the site has been suspended in time: not a single excavation or restoration campaign has touched it.

There are no information panels, no barriers and no paths. Its buildings maintain a balance so precarious that many are on the verge of collapsing, with huge stone blocks laid unevenly and offset by the effects of time and earthquakes. The enchantment of this place is accompanied by the solitude and silence of the mountains and valleys that surround it. Even today it is still difficult to reach, and very few people venture to travel to the site; but to visit it means to become immersed in one of the most intriguing journeys in time: the city of Termessos, even in its transience, is intact, authentic and legible.

그것은 시적일 뿐만 아니라, 그것은 또한 건축 과학의 교훈이기도 하다. 왜냐하면 그것은 지진 사건 앞에서 벽의 붕괴와 그들의 거동을 보여주기 때문이다. 만약 그 건물이 복원되었다면, 그러한 흔적들은 모두 지워졌을 것이고 아무도 그것들을 연구하거나 해석할 수 없었을 것이다. 따라서 첨성대는 현재 상태를 유지할 수 있으며, 정적인 거동의 진정한 모델이 될 수 있다.



사진 6 경주 첨성대

3. 복원 및 보존 작업에 대한 몇 가지 일반적인 고려사항

과거의 건물에 대한 복원이나 보존 작업은 엄격한 연구 방법에 근거해야 한다는 것이 현재 일반적으로 받아들여지고 있는 바이다. 즉, 전체 역사적 기록, 그 건축물이 시간 경과에 따라 지나왔던 모든 변형 또는 취해진 조치들에 따라 작업을 시행해야 한다. 그리고 이 목표를 이루기 위해서는, 어떤 시대에 치우치지 않고, 출판물, 원고, 설명문, 그림, 사진, 계획서, 문학 및 구술, 다양한 기간으로부터 나온 일기, 그 기념물에 대하여 이전에 취해졌었던 조치 등 다른 특성을 가진 다양한 역사적인 출처로부터 정보를 모은 후 심화된 연구를 실시해야 한다. 모든 정보 출처는 현상을 해석하거나 건물을 이해하는 데 매우 중요하다. 때로는 문서하나를 철저히 살펴보거나 오래된 사진 한 장을 주의깊게 봄으로써 연구에 집중하게 하거나 올바른 해결방안으로 전환할 수 있는 세부 사항이나 이상 징후를 파악할 수 있다.

It is not only poetic; it is also a lesson in construction science because it shows the mechanisms of collapse of the walls, their behaviour in the face of a seismic event. If its buildings had been restored, those traces would have been erased and no one could study them and interpret them. Thus, the Cheomseongdae observatory can continue to remain in its current state and constitute a real model of static behaviour.



Figure 6 Cheomseongdae Observatory in Gyeongju

3. Some brief general considerations on the restoration and conservation work

As it is now generally accepted, any restoration or conservation work on a building of the past must be based on a rigorous research method: it is essential to rely on the most exhaustive historical documentation, recording every phase, every transformation or intervention that the building has undergone over time. And this goal can only be achieved through in-depth research —not favouring a period over another— and gathering historical sources of different nature: publications, manuscripts and descriptions, drawings, photographs, plans, literary and oral narratives, journalistic accounts from various periods, documents from previous interventions carried out on the monument, etc. Every source of information is invaluable to interpret a phenomenon or to understand the building. Sometimes it is enough to thoroughly browse through a document or to look carefully at an old photo to notice a detail or an anomaly that allows us to focus our research or to move towards a correct solution.

이를 위해, 우리는 가장 미세한 건설 세부사항을 비롯한 건물의 모든 부분에 대한 종합적인 조사를 추가적으로 실시해야 한다. 그러나 오늘날에는 일반적으로 이 작업을 사진 측량, 레이저 스캔과 같은 매우 정교한 기술과 구조 설계 공정을 위한 모델 등에 위임하여 구조물의 거동을 예측하고, 또한 관찰 및 비판적이고도 해석적인 작업을 기계에 위임하는 등의 경향이 있다. 반면, 사람의 눈으로 관찰하고, 기념물에 접근하여, 그 기념물에 대한 친숙함을 키우면 실제로 어떤 기계장치보다 훨씬 더 많은 정보를 얻을 수 있다. 이것이야말로 그 건물에 대한 철저한 지식을 얻고 신중한 결정을 위한 정보를 얻는 유일한 방법이다.



사진 7 서울의 역사적 건물의 복원 공사 현장.

그러나 기존의 유적현장에서 일반적으로 사용되었던 전통적 특성과 비교하여 복원 사업의 성격과 오늘날의 복원 사업장을 되돌아볼 필요도 있다. 사실, 복원 원칙에 대한 이론 및 원리가 정립되기 이전, 특히 유럽에서는 과거의 건축물을 합리적이고 건전하게 유지보수한다는 논리에 따라 조치가 취해졌었다. 한 요소가 누락된 경우에는 다른 동일한 요소로 대체되었는데, 이는 대대로 기술을 전승받아온 전문장인이 원래와 같은 동일한 기술과 동일한 재료를 이용하여 원작의 정확한 사본을 이용하여 직접 수행하였다. 기술적 진보는 기술이나 재료의 오랜 실험을 기반으로 하였기 때문에 매우 느리게 진행되었다. 좋은 결과가 나온다면 이러한 사실을 확증하고 나서야 무기한으로 계속 사용하였다. 실패하는 경우에는 기존의 기술을 개선한 혁신적인 방법으로 대체하여 수십 년 또는 수 세기 동안 다시 시험하였다. 그러나 많은 국가에서 산업시설이 출현함에 따라 이러한 지식과 전문성이 사라지게 되었다.

To this, we must add a comprehensive survey of all parts of the building, including the most minute construction details. Nowadays, however, the general tendency is to entrust this work to very sophisticated technologies —photogrammetry, laser scanning, but also models for structural design process and used to predict the behaviour of structures— delegating observation and critical and interpretative work to machines, whereas the observation with the human eye, the proximity to the monument, the familiarity with its walls can actually provide much more information than any device. This is the only way to acquire thorough knowledge of the building and to carefully inform our decisions.



Figure 7 Traditional restoration work site of an historic building in Seoul.

But it is also necessary to reflect on the nature of the restoration project and of today's restoration work-site compared to the ritualistic character of the traditional construction work-site. In fact, in the past, before the restoration discipline codified its theories and its principles —especially in Europe— the intervention on buildings from the past was implemented following the logic of reasonable and healthy maintenance: if an element was missing, it was replaced with another, an exact copy of the original, made with the same techniques and with the same materials, handcrafted by workers whose expertise had been passed on from generation to generation. Technological progress was very slow because it was based on the long experimentation of a technique or a material: if something offered good results, these were confirmed, and then it was continued to be used indefinitely; if it failed, then it was replaced with an innovation that improved existing techniques which, once again, were tested for decades or even centuries. In many countries, however, that knowledge and expertise has been lost with the advent of the industrial work-site.

우선, 2년 동안 석회를 깎는데 필요한 인내력, 베어낸 목재가 성숙되고 안정되는 것을 기다리는 인내심, 그리고 이 모든 층을 완전히 옷칠하는 느린 작업을 수행하는 것 등과 같은 인내의 가치가 상실되었다. 반대로, 현대 건설의 시간은 경제적 요인에 의해 좌우된다. 그러므로, 복원 개입에 있어서의 의례와 전통은 산업화되고 표준화된 부품이 현지의 수공품을 대체하고, 수작업을 기계적인 도구들로 대체함으로써 실행 시간을 줄이는 것을 목표로 하는 기업가적인 접근 방법에 의해 잊혀지게 되었다. 이것은 아마 가장 큰 손실일 것이다. 왜냐하면 그것은 대체할 수 없는 무형유산이 명백하게 손실되었음을 의미하기 때문이다.

더욱이, 오늘날의 건설 유적지에서는 새로운 기술, 현대 재료 및 혁신적인 조사 방법에 대하여 지나치고도 광범위하게 의존하고 있고, 경험적임에도 불구하고 통합되고, 검증되고 안정적인 노하우에 기반한 수세기 동안의 경험을 비록 완전히 배제하고는 있지 않지만, 점차 밀어내고 있다. 이외에도, 전문화를 강조하는 강한 경향도 있다. 즉, 의학과 비교해 보면 종종 전체적인 시력의 상실로 이어지고, 현상에 대한 전체적인 해석을 방해하여, 그 결과, 현상에 대한 부분적인 해결방안만을 제시한다. 이런 방식으로 조치를 취하면 불균형되고 극히 특정 부분만이 강조되게 된다. 그렇지만, 분석의 여러 부분을 통합된 프로젝트로 이어지게 하는 것이 필수적이다. 이 때, 한 편으로는 전문 분야가 서로 협력하여 전체적으로 기술적으로 효율적인 결과를 얻고 다른 한편으로는 건축물의 각 구성 요소에 올바른 중요성과 올바른 가치를 부여하게 된다.

그러므로 우리가 문화유산을 다룰 때에는 이 건축물들이 가진 자체의 고유함 때문에, 최고의 대우, 가장 특별한 대우, 그리고 가장 적절한 대우를 받아 마땅하다는 것을 항상 명심할 필요가 있다. 이것이 이상적인 과거로 향수를 불러일으키는 일종의 회귀가 아니라 고대의 관행 및 리듬을 회복하는 것이 필수적인 것처럼 보이는 이유이다. 그러나 모든 수준에서, 그 유산은 예외적이며 반복할 수 없는 것이기 때문에 최선의 주의와 관심을 기울일 가치가 있다.

Firstly, the value of patience was lost: the patience required for slaking lime over two years, the patience to wait for cut timber to become seasoned and stable, and then to carry out the slow process of completely lacquering all its layers, even if this execution took months and months of work. Today, on the contrary, time in construction is dictated by economic factors: rites and traditions have thus been forgotten in favour of an entrepreneurial approach in restoration interventions, aimed both at reducing execution times, by replacing local, hand-made materials with industrial and standardized products and by substituting manual labour with mechanical tools. This is perhaps the most significant loss, because it means the definite loss of an irreplaceable intangible heritage.

Moreover, in today's construction site an excessive — and sometimes unwelcome— reliance in new technologies, modern materials, and innovative methods of investigation is widespread, gradually marginalizing, if not set aside altogether, centuries of experience that, although empirical, was based on a consolidated, proven and reliable knowhow. Besides these, there is also a strong tendency to highlight specialization —the comparison with medicine is, in this case, fitting— which often leads to losing sight of an overall vision and, consequently, betrays the global interpretation of phenomena, giving partial solutions to the problems. In this way, interventions take on an unbalanced and extremely specialized character, whereas it is essential to bring the various parts of the analysis back to an integrated project, in which, on the one hand, specialized fields collaborate with one another to obtain an overall, technically efficient result, and on the other each component of the building is assigned its correct importance and its right value.

Therefore, when dealing with cultural heritage, we must always bear in mind that these buildings deserve, due to their uniqueness, the best, the most special and the most suitable treatment. This is why, to begin with, it seems essential to recover ancient practices and rhythms, not as a nostalgic return to an idealized past, but following an approach that recognizes, at all levels, that heritage is worthy of all kinds of attention and care precisely because it is exceptional and unrepeatable.

문화의 영역을 통해서 본 진실성

Stephen J.Kelley

ISCARSAH(건축유산의 구조해석 및 수리복원 국제학술위원회)

Authenticity viewed through the lens of culture

Stephen J.Kelley

ISCARSAH



문화의 영역을 통해서 본 진정성

Stephen. J. Kelly

ISCARSAH(건축유산의 구조해석 및 수리복원 국제학술위원회)

필자는 2017년 6월 6~9일 서울과 경주에 있는 세계문화유산에 관한 훌륭한 ISCARSAH(건축유산의 구조해석 및 수리복원 국제학술위원회) 17 워크숍에 이어 진정성(Authenticity)에 관한 이 소논문을 제출한다. 이 워크숍에 참여하여 한국 ICOMOS 동료들과의 교류하고 서울 창덕궁의 승례문, 흥인지문, 주합루 그리고 안동의 칠층전탑과 임청각, 경주의 불국사 및 첨성대를 방문할 수 있었다. 또한 우리는 풍부한 한국 문화를 건축 문화유산의 형태로 체험할 수 있는 기회에 초대받았으며, 그리고 나에게는 그것이 한국과 세계문화유산에 관련한 진정성(Authenticity)이라는 주제를 고려할 수 있는 기회였다.

진정성(Authenticity)과 실체

최근 나는 SNS를 통해 접하게 된 "70년 동안 손도 대지 않은 파리 아파트의 내부"라는 이야기가 떠오른다. 화제의 파리 아파트는 2010년 91세의 나이로 사망한 드 플로리안(De Florian) 부인의 부동산 관련 유언집행자들에 의해 발견되었다. 그녀는 2차 세계대전이 일어났을 때 프랑스 남부로 옮긴 그녀의 가족을 부양해왔으며, 다시는 돌아가지 않았다. 이 아파트의 존재는 그녀의 유언에 의해 알려졌고, 뭉랭루즈(Moulin Rouge) 근처의 오래된 극장가에 위치해 있었다. 벨 에포크(Belle Époque) 스타일의 가구를 연구한 결과, 이 집은 그녀가 그녀의 할머니의 저택을 상속받아 보유하고

Authenticity viewed through the lens of culture

Stephen. J. Kelly

ISCARSAH

I offer this essay on authenticity following the excellent ISCARSAH 17 Workshop on World Heritage Sites in Seoul and Gyeongju, Republic of Korea on 6–9 June 2017. Participating in this workshop allowed for the interface with Korean colleagues of ICOMOS and the visit to Sungnyemun gate, Heunginjimun gate, and Juhannu Pavilion of Changdeokgung Palace in Seoul; Seven-story Brick Pagoda and Imcheonggak House in Andong; and Bulguksa Temple and the Cheomseongdae Observatory in Gyeongju. We were also invited to experience the rich Korean culture on display in the form of built heritage, and I was afforded the opportunity to consider the subject of authenticity as it relates to Korean and World heritage.

Authenticity and Reality

I am reminded of an intriguing story that was recently circulated through social media, “Inside the Paris apartment untouched for 70 years.” A Paris apartment was “discovered” by the executors of the estate of Madame De Florian who died in 2010 at the age of 91. She had fled her home to the south of France at the outbreak of World War II never to return. The existence of this apartment was revealed in her will and was located in the old theatre district near the Moulin Rouge. Furnished in the style of the Belle Époque, research revealed that she had retained the domicile of her grandmother, Marthe de Florian, an actress and leading courtesan of 1890s Paris. Covered in dust and full of turn-of-the

고 있었다는 것을 알게 되었으며, 그녀의 할머니는 1890년대 파리 최고의 고급 창녀이자 배우였던 마레 드 플로리안(Marthe de Florian)이었다. 먼지와 19세기 초반의 보물들로 가득한, 타임캡슐 안으로 들어간 사람들 중 한 명은 자신이 겪은 이 경험을 "잠자는 숲 속의 미녀의 아파트로 들어가는 것"이라고 묘사했다.

나는 이 이야기가 두 가지 이유에서 매력적이라고 생각하는데, 우선 발견된 아파트가 진짜라는 것과, 그 아파트가 독특하다는 것이다. 이 아파트가 진짜인 상태로 남아 있을 수 있었던 가장 큰 이유는 이 아파트가 잠겨서 잊혀졌기 때문이다. 이것을 독특하게 만드는 것은 그것이 정적인 상태로 남아 있었고 물리적인 붕괴를 제외하고는 마주칠 수 밖에 없는 시대의 위급함을 겪지 않았다는 것이다. 하지만 우리가 사는 이 세상은 정적인 것이 아니라 역동적이며, 이 역동성에 의해 야기된 변화는 모든 것에 영향을 미친다. 우리의 건설된 환경의 음과 양의 요소는 보존할 것이냐 아니면 변화시킬 것이냐에 대한 결정에 달려 있다. 아파트 입구의 경험을 동화적인 용어로 묘사되는 것을 어떻게 이야기할 수 있을까 - 그것은 우리가 문화유산 보호 전문가로서 마주치는 현실은 아니다.

버나드 필덴(Bernard Fielden) 경은 "보존이라는 것은 문화적 자산의 수명을 연장시키고 가능하면 진정성(Authenticity)을 잃지 않고 역사적이고 예술적인 메시지를 명확하게 하고자 하는 것이다"라고 말했다. 보존이란 유지하는 것이지만, 물리적 붕괴와 손상, 자연 재해, 문화적 변화, 경제적 변동, 사회정치적 격변, 그리고 기후 변화에 의해 야기되는 변화를 관리할 필요성을 반드시 충족시켜야만 한다.

문화재 보존과 관련한 문제를 다루는 국제적 환경 속에서 진정성(Authenticity)이 언급된 것은 베니스 헌장(Venice Charter 1965년)이 처음이다. 헌장은 문화적으로 중요한 기념물의 재건축은 허용되지 않으며, 단지 해체 조립(anastolysis) 기술만 허용될 수 있다고 선언하고 있다. 이러한 이해는 유럽 중심적인 것으로 이해되어 왔으며 바르샤바의 역사적 중심지들과 같이 재건축이 필요한 곳을 포함시키려는 의도는 아니었다 - 결국 1944년에 의도적으로 폐지되었다. 더욱 문제가 되는 것은 그것이 고전적인 고대유물의 석조 구성물들에는 쉽게 적용할 수 있지만, 섬세하고 영구적이지 않은 아시아의 목조 기념물에는 적용할 수 없는 지협적인 기준을 가지고 있었다는 것이다.

진정성(Authenticity)에 관한 나라 문서(Nara Document on Authenticity, 1994)는 문화마다 다른 신념 체계와 그것들을 표현하고 전달할 수 있는 다양한 유무형의 방법들이 있다는 것을 존중하는 문화적 프리즘을 통해 진정성(Authenticity)을 평가함으로써 이 문제를 다루었다. 세계가 그 유산을 공유한다는 사실을 명심하면서 그 유산들이 속한 각각의 문화에 따라 문화 유산을 평가하는 것이 중요하다. 나라(Nara)는 진정성(Authenticity)을 문화적 특정 개념으로서 삼아야 하는 중요성을 강조하며, 다양한 문화, 정치, 경제적 상황에 따라 이해관계자들로 하여금 진정성(Authenticity)에 대한 그들 자신의 해석에 도달할 수 있도록 한다. David Lowenthal이 나라 학술회의 논문에서 쓴 바와 같이, "진정성(Authenticity)은 결코 절대적인 것이 아니며 언제나 상대적인 것이다."

19th Century treasures, one of those who entered the time capsule described the experience as “like walking into Sleeping Beauty’s apartment.”

I find the story compelling for two reasons: the apartment as found was authentic; and it was one-of-a-kind. The primary reason that the apartment remained in a tangible authentic state is because it was locked away and forgotten. What makes it unique is that it remained static and, other than physical decay, was not subjected to the inevitable exigencies of time. However, the world in which we live is not static but dynamic, and the changes brought on by this dynamism touches everything. The yin and yang of our built environment is the decision to either preserve or change. How telling that the experience of entering the apartment would be described in the terms of a fairytale – that is not the reality we encounter as heritage conservation professionals.

Sir Bernard Fielden said that “Conservation seeks to prolong the life of cultural property and if possible to clarify the historic and artistic message without loss of authenticity.” Conservation is the effort to preserve but must address the need to manage changes brought on by physical decay and deterioration, natural disasters, culture shifts, economic fluctuations, social and political upheaval, and climate change.

The Venice Charter (1965) is the first time that authenticity was mentioned in an international setting dealing with heritage conservation. It states that for culturally significant monuments reconstruction is not permissible and that only anastolysis can be permitted. This understanding came to be understood as Eurocentric and did not seek to include necessary reconstruction such as that of the historic center of Warsaw – deliberately obliterated in 1944. More importantly it had a narrow criterion for the care of monuments that easily accommodated the stone edifices of Classical Antiquity but not the delicate and impermanent wooden monuments of Asia.

The Nara Document on Authenticity (1994) addressed this problem by evaluating authenticity through the prism of culture respecting that different cultures have different belief systems and a wide array of tangible and intangible ways to express and transmit them. It is important that cultural heritage be judged according to the respective cultures to which they belong while keeping in mind that the world shares that heritage. Nara highlights the importance of taking authenticity as a culturally specific concept and allows stakeholders to arrive at their own interpretations on authenticity according to diverse cultural, political, and economic conditions. As David Lowenthal wrote in one of the Nara conference papers, “authenticity is in practice never absolute, always relative.”

4가지 사례 연구

나는 두 가지 사례 연구를 고려하고 한국에서 방문한 두 곳과 그 진정성(Authenticity)을 대조하고자 한다.

미국 시카고의 풀먼시 행정건물. 1880~1884년에 건설된 풀먼시는 산업, 문화, 종교, 레크리에이션 및 주거 구조가 근로자에게 이상적인 생활환경을 제공하기 위한 마스터 플랜 하에서 통합된 하나의 산업 계획도시를 만들기 위해 노력하여 얻어진 미국 최초의 도시였다. 풀먼시 지자체 또한 미국 노동 운동의 발전에 중요한 역할을 담당했다. 1894년 풀먼시 파업으로 인한 소요 사태가 전국적으로 확산되자 그로버 클리블랜드(Grover Cleveland) 대통령은 연방군을 투입하여 사건에 개입하였다. 클리블랜드 대통령은 조직된 노동계를 달래기 위해 파업종료로부터 6일 후 미국의 공휴일인 노동절을 지정하였다.

행정건물은 1998년 12월 방화범이 일으킨 화재로 인해 외부 석조벽 일부만을 남기고 시계탑, 지붕, 3층 높이의 철과 목재 등의 내부 골조가 모두 파괴되는 재난을 겪었다(그림 1). 강철과 콘크리트 내부 골격으로 행정건물을 재건하는 계획과 새로운 벽돌 뒤쪽의 콘크리트 블록을 이용한 벽면의 보수, 그리고 시계탑을 새로운 금속제 징으로 사전제작한 탑으로 교체할 때까지 불에 탄 건물은 5번의 혹독한 겨울 동안 망가진 채로 놓여 있었다. 이러한 미사용 건물에 대해 현재 우리는 새로운 건축물과 오래된 건축물이 서로 얹혀 있는 상황, 새로운 재료와 낡은 자재 사이의 품질 차이가 있는 상황, 그리고 건축 당시부터 만성적인 문제가 남아 있는 상황 등을 해결하려고 작업을 진행하고 있다.

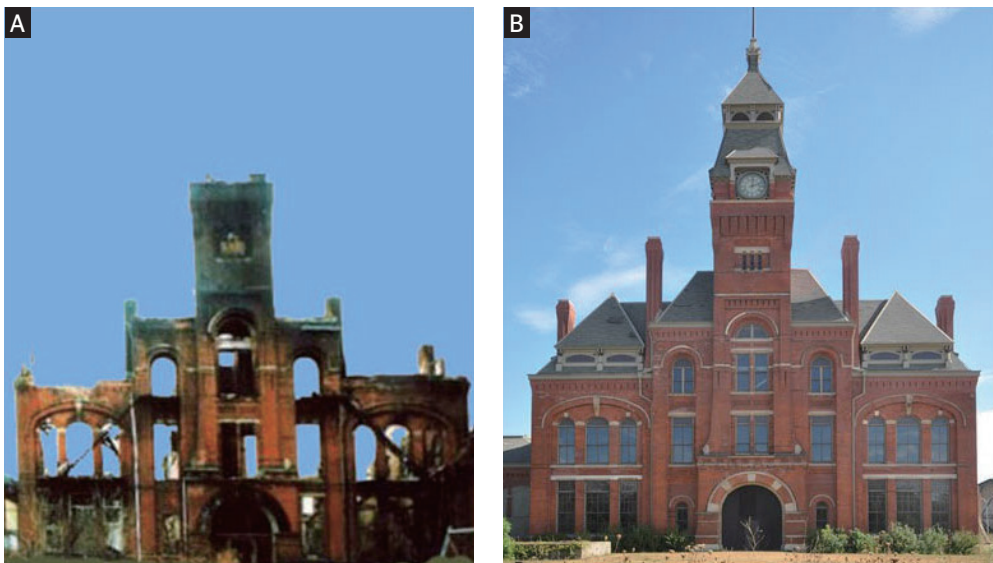


그림 1 (A) Pullman Administration Buidin의 화재 후 조사 사진 (출처: 일리노이 역사 보존국)
(B) 저자의 2017년 사진

Four Case Studies

I would like to consider two case studies and contrast their authenticity with two of the sites that we visited in Korea.

The Pullman Administration Building in Chicago USA. Built in 1880 to 1884, the city of Pullman was the first major effort in the USA to create a planned model industrial town in which industrial, cultural, religious, recreational and residential structures were integrated into a master plan to provide ideal living conditions for workers. The Pullman community also played a major role in the development of American labor movement. The violent turmoil of the 1894 Pullman strike spread nationwide and prompted President Grover Cleveland to intervene with federal troops. Labor Day, a federal holiday in the USA, was designated by Cleveland six days after the strike ended to appease organized labor.

The Administration Building met with disaster in December 1998 when an arsonist's flames obliterated the structure leaving only portions of the exterior masonry walls but destroying the clocktower, roof, all three floor levels, and the iron and timber interior framing system (Figure 1). It sat as a ruin through five harsh winters until plans were drawn to reconstruct the Administration Building with a steel and concrete interior frame, wall repairs using concrete block behind new brick, and the replacement of the clock tower with a new prefabricated tower made of brick veneer backed with metal studs. Our in-progress work on this yet unused building attempts to address conditions where new and archaic constructions are intertwined; where there are differences in quality between new and archaic materials and workmanship; and where chronic problems remain from when the building was open to the elements.

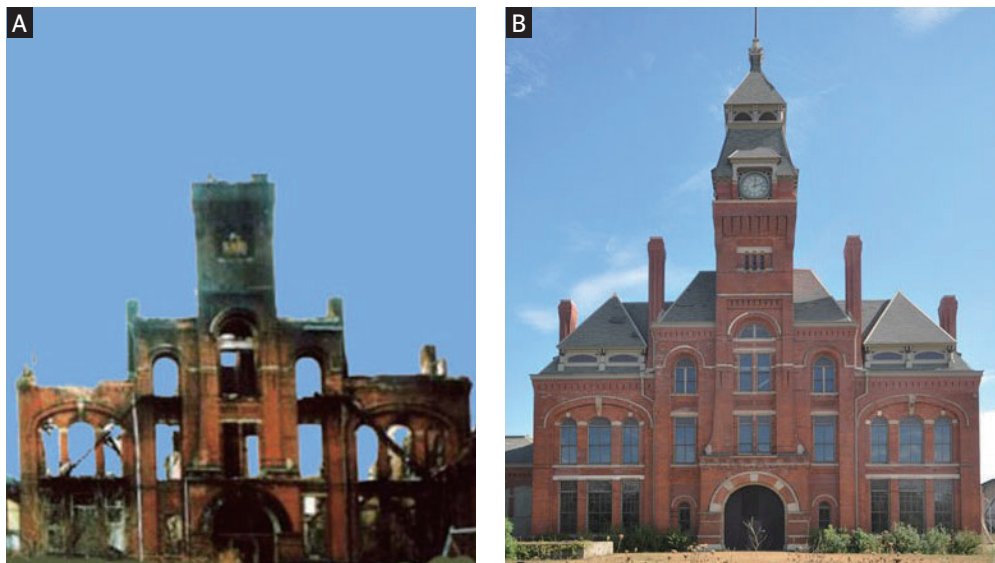


Figure 1 (A) Post-fire investigation photo of the Pullman Administration Building.
Photo source: Illinois Historic Preservation Agency.
(B) Photo from 2017 by the author.

부탄의 파로 인근의 체토 고엔파(Tseto Goenpa). 부탄의 파로 계곡에는 14세기에 건설되었고 중요한 역사적 종교적 장소로 여겨지는 체토 고엔파(Tseto Goenpa)가 있다. 불교의 수장인 Lam Loday Jamtsho가 명상을 하고 있었을 때, 그 곳의 신은 그로 하여금 3층 짜리 사원을 짓도록 요구하였다고 한다. 그 후 관리인을 위한 주거 시설과 사원과 인접한 곳에 안뜰을 구성하는 건물들을 추가하면서 복합단지로 발전했다. 이 수도원은 지난 세기 말 경에 보수되었고, 이 사원은 원래의 벽과 배치를 그대로 유지하면서 3층 건물에서 2층 건물로 축소되었다. 그 사원은 원래의 기본구조를 그대로 유지하고 있는데, 그 중 가장 중요한 것은 다진 흙벽 구조와 장식용 목재 기둥이 그것이다. 그곳은 현재 부탄 사람들에게 중요한 순례지로 남아 있다.

체토 고엔파(Tseto Goenpa)는 2011년 발생한 히말라야 지진으로 피해를 입었다. 부탄에는 아직 흙을 다지는 기술이 남아있기 때문에, 우리가 주도하는 재건축 기간 동안 이 기술이 사용될 것이다. 이 프로젝트의 또 다른 측면은 수도승 인원을 두 배 이상 늘리면서 그들에게 비교적 현대적인 편의시설을 제공하려는 현 라마의 계획이었다. 이 프로젝트에는 사원을 복원하고 내진 설계를 보강할 예정이었지만, 많은 주변 구조물들은 재활용된 토양을 이용하여 분해하고 다시 재활용해 원래의 토대 위에 세워졌다. 새 목재를 현장에서 채집 가공하였다(그림 2). 기존의 안마당을 더욱 존중하면서도 더욱 명확히 정의할 수 있도록 새로운 구조물을 추가하였다.



그림 2 체토 구엔파 수도원 마당에서 서쪽으로 보이는 모습
(A) 2014년 (B) 2017년(저자 사진)

1398년에 축조된 송례문은 중세의 서울 성곽에 있는 8개의 성문 중 하나였으며, 최근의 화재로 소실되기 이전까지 서울에서 가장 오래된 목조 건축물이었다. 송례문은 1962년에 국보 1호로 지정되었다. 2008년 대문 위에 있는 목조탑은 방화로 인해 파괴되었으며, 이후 대대적인 복원 공사가 이어졌다. 송례문 복원 공사는 2010년 이전 복원 당시 준비되었던 세부 계획에 따라 시작되어 2013년에 완료되었다. 재건축을 통해 기존의 재료와 건축 기법을 사용하여 거의 정확하게 복제하였다(그림 3).

The Tseto Goenpa near Paro, Bhutan. In Bhutan's Paro valley stands the Tseto Goenpa, constructed in the 14th century and considered an important historic and religious site. While the Buddhist master Lam Loday Jamtsho meditated at the site, the deity of the place requested that he construct a three-story temple. The complex grew thereafter with the addition of a caretaker's residence and structures flanking the temple that formed a courtyard. The monastery was renovated around the turn of the last century, and the temple was reduced from three-stories to two while retaining the original wall and layout. The temple retains some of its original fabric, the most significant of which is rammed earth wall structure and ornamental timber columns. It remains an important pilgrimage site for the Bhutanese people.

The Tseto Goenpa was damaged by the 2011 Himalayan Earthquake. Since the rammed earth technique is still alive in Bhutan its use would come into play during the rehabilitation which we would lead. Another aspect of the project was the present lama's plan to more than double the monk population and provide relatively modern conveniences. The project would include restoration and seismic strengthening of the temple, but many of the surrounding structures were disassembled and renewed using the recycled earth and set on the original foundations. New wood that was harvested and milled on site (Figure 2). New structures were added that respected yet further defined the existing courtyard.



Figure 2 View looking west in the Tseto Goenpa monastery courtyard
(A) in 2014 (B) in 2017. (Photos by the author)

Sungnyemun Gate, constructed in 1398, was one of the 8 gates in the fortress wall of medieval Seoul, and before the recent fire, the oldest wooden structure in Seoul. It was given the status of National Treasure No. 1 in 1962. In 2008 and following an extensive restoration, the wooden pagoda atop the gate was destroyed in an arson's fire. Restoration work on the gate started in 2010 following detailed plans prepared during the previous restoration and was completed in 2013. The reconstruction was a near exact replication using traditional materials and construction techniques (Figure 3).

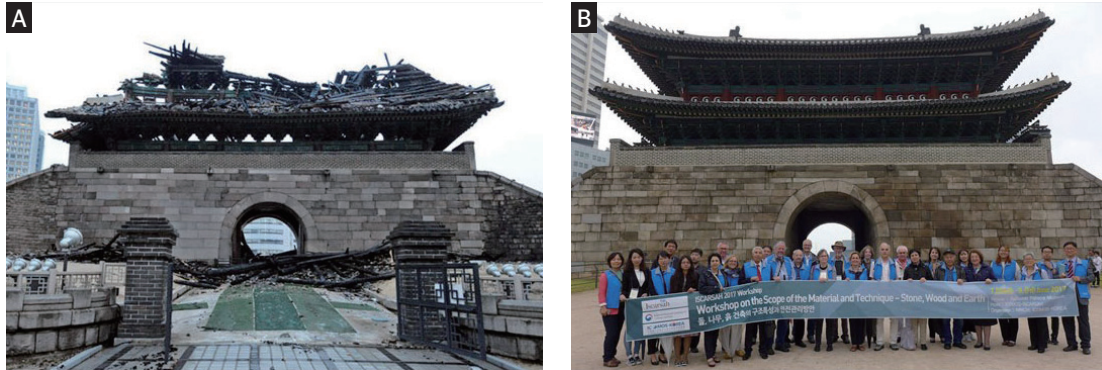


그림 3 송례문

(A) 2008년 송례문 화재 후 모습

사진 출처 : WatchWants at Korean Wikipedia - Transferred from ko.wikipedia to Commons by iTurtle, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3536349>.

(B) 2017년 저자사진

불국사는 신라왕국 불교 예술의 황금시대의 걸작으로 여겨지는 단지의 일부를 이루는 건축물이다. 이 단지는 원래 751~774년에 축조되었다. 임진왜란 동안, 목조 건물들은 불에 탔다. 국가가 점차 정체되어 가던 시기인 1805년까지 재건 및 확장이 이어졌다. 그 후 그 단지는 폐허가 되었다. 한국 전쟁 이후인 1966년 부분적인 복원이 이루어졌다. 광범위한 고고학적 조사를 통해 1969~1973년 사이에 주요 복원 사업을 실시하여 불국사를 현재의 형태로 만들었다(그림 4). 이 유명한 석조 구조물들은 원래의 신라 건축물 상태대로 보존되어 있다.

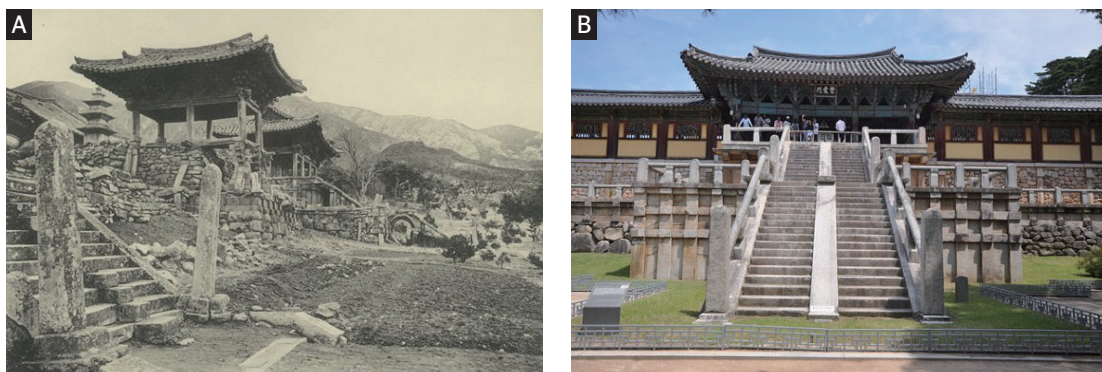


그림 4 불국사 사진

(A) 1914년 일제강점기 사진 (사진 출처 : 두산 백과사전)

(B) 2017년 저자사진

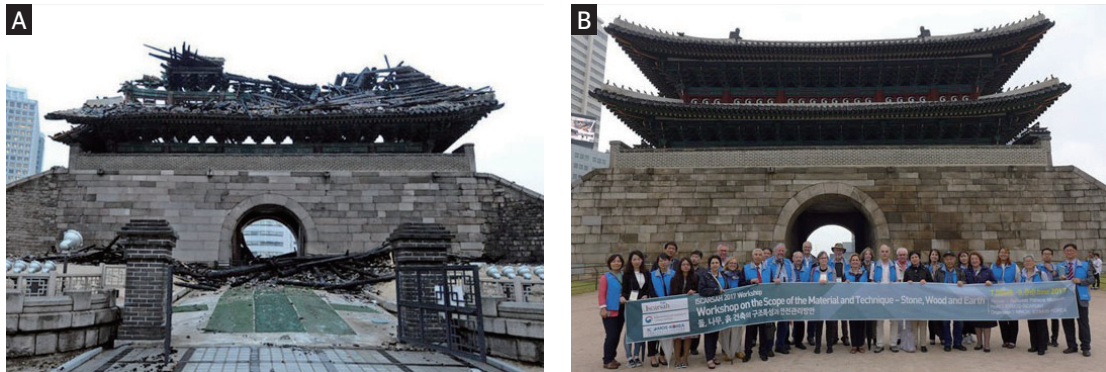


Figure 3 Sungnyemun gate, Seoul

(A) View of Sungnyemun gate after the 2008 fire.

Photo source: WatchWants at Korean Wikipedia – Transferred from ko.wikipedia to Commons by iTurtle,
Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3536349>.

(B) Photo from 2017 by author.

Bulguksa Temple is part of a complex that is considered a masterpiece of the golden age of Buddhist art in the Silla kingdom. The complex was originally constructed in 751 to 774. During the foreign invasion of the Imjin wars, the wooden buildings were burned to the ground. Reconstruction and expansion was followed by numerous renovations until 1805 when the country became increasingly stagnant. After that time the complex fell into ruin. Following the Korean War, a partial restoration was conducted in 1966. Upon an extensive archaeological investigation, major restoration was conducted between 1969 and 1973 bringing Bulguksa to its current form (Figure 4). The famous stone structures are preserved from the original Silla construction.

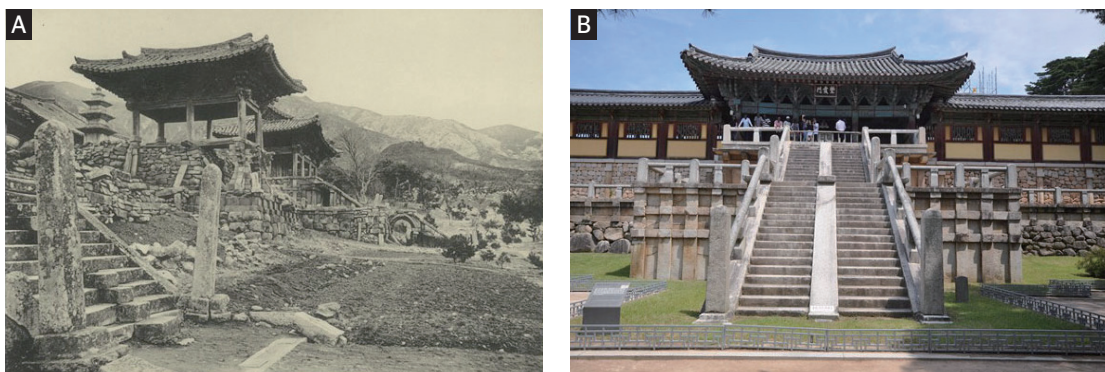


Figure 4 A photo of Bulguksa Temple

(A) 1914 during the Japanese occupation. (Photo source: Doosan Encyclopedia)

(B) in 2017 (Photo by the author)

비교

이 네 가지 사례 연구에서 진정성(Authenticity)에 대해 어떻게 비교할 수 있을까? 풀먼 행정건물은 중요한 장소이기는 하지만 국보 제1호인 송례문의 수준과는 거리가 멀다. 화재는 비극적인 손실이었고, 복구의 질은 급속히 훼손 부위가 급격히 악화되는 것을 막아야 할 필요성, 적절한 자금의 부족 그리고 재건기간 동안의 적절한 감독의 부재에서 야기되는 문제들에 따라 결정되었다. 남아있는 문제는 산업화된 풀먼 현장의 중앙에 있는 중요한 건축작품에 대하여, 적어도 외형만이라도 진정성 있는 복원을 하는 것이었다. 하지만 이 건물은 최소한 30년 동안 사용되지 않고 있다. 그러나, 풀먼 역사적 국가유적지를 위한 방문 센터로 전환될 것으로 기대된다. 위치, 환경, 설계 및 분위기 측면에서 정통성(Authenticity)을 유지하고 있다.

체토 고엔파(Tseto Goenpa) 프로젝트에는 복원, 재건축, 부탄 사람들이 갱신이라고 부르는 것들이 모두 포함되어 있다. 이 단지는 토속적이고, 또한 진흙과 나무 같은 재료로 구성되어 있는데, 이들 재료는 잘 관리된다고 하더라도 영구적이지는 않은 것들이다. 그러나, 사용 수단 및 방법(그리고 세계 대부분에 더 이상 존재하지 않는 것)에는 다진 흙으로 만든 건축물과 현장에서 베어내어 판재를 만들고 가공한 목공 기술이 포함되어 있다. 수도원은 본래의 위치, 환경, 재료, 솜씨, 분위기, 연관성을 유지하고 있다. 또한 그것은 살아있는 자국 건축 양식에 대한 매우 진정한 본보기이다.

송례문은 국내외에서 전쟁의 참상을 겪은 한 나라의 상징물이다. 그 대문은 많은 변화를 지켜봐 왔으며 그것의 사용은 실용주의적인 것에서 상징적인 것으로 진화해 왔다. 그러한 기념비를 화재로 잃은 것은 비극적인 손실이었다. 결과적으로 재건축에는 서울의 도시 환경에서 흔하게 사용되지 않는 재료와 기법이 필요했다. 그 대문은 본래의 위치, 설계, 재료, 솜씨, 분위기, 그리고 (상징적) 연관성을 유지하고 있다. 그것은 또한 대한민국의 진정한 염원을 표현하고 있다.

마지막으로 불국사는 수세기 동안 수많은 변화들을 목격한 거대한 사원 단지 안에 위치하고 있다. 이 비교에서 가장 오래된 곳인 불국사의 다양한 구조물들은 한 번 이상 파괴와 갱신을 경험한 바 있다. 그 사용 장소는 변한 적이 없었지만 쇠퇴를 경험했다. 그 절은 본래의 위치, 환경, 재료, 솜씨, 분위기, 연관성을 그대로 지니고 있다.

Comparison

How do these four case studies compare relative to authenticity? The Pullman Administration Building is a significant site, but it is not close to a number one national treasure as is Sungnyemun Gate. The fire was a tragic loss, and the quality of the reconstruction was driven by the need to protect the rapidly deteriorating ruin, the lack of adequate funding and the absence of adequate oversight during the reconstruction. What remains is an authentic replication of an important architectural masterwork, at least from the exterior, of the center of the industrial Pullman site. But the building has remained unused for at least 30 years but will hopefully be converted into a visitor center for the Pullman National Historic Site. It maintains authenticity in its location, setting, design and feeling.

The Tseto Goenpa project incorporates restoration, rehabilitation and what the Bhutanese refer to as renewal. The complex is vernacular and composed of materials, namely mud and wood, that are impermanent even if well-maintained. However, the means and methods that are used (and which no longer exist in most of the world) include rammed earth construction and on site carpentry from trees that were felled, milled and seasoned on site. The monastery retains its authentic location, setting, materials, workmanship, feeling and association. What's more it is a highly authentic example of a living organic vernacular architecture.

The Sungnyemun Gate is a national icon in a land that has experienced the ravages of war from within and without. The gate has seen many changes and its use has evolved from utilitarian to symbolic. The destruction of the monument by fire was a tragic loss. The consequent reconstruction called for materials and techniques that are not commonly in use in the Seoul's urban environment. The Gate retains its authentic location, design, materials, workmanship, feeling and (symbolic) association. It also expresses the authentic aspirations of the Republic of Korea.

Finally, the Bulguksa Temple is within an immense Temple complex that is seen numerous changes over the centuries. The oldest of the sites in this comparison, the various structures have experienced destruction and renewal on more than one occasion. The use of the site has never changed but has experienced an ebb and flow. The temple retains its location, setting, materials, workmanship, feeling and association.

결론

이 비교 연습은 각각의 경우에 숨겨진 문화적 변수를 보여준다. 진정성(Authenticity)을 "모든 것에 맞는 한 가지 크기"로 정의할 수는 없다. 이러한 이유에서, 진정성(Authenticity)이라는 의미는 문화재 보존 분야에서 논란의 여지가 있다.

몇 년 전 필자는 랭스 대성당의 외관정면을 내려다 보며 프랑스 지방의 이름을 딴 샴페인 한 잔을 마시며 앉아 있었다. 당시 나는 대부분의 관광객들이 그랬으리라고 생각되는 것처럼 필자가 조사한 이 웅장한 고딕 양식의 건축물이 돌 위에 새겨진 하나의 시와 같고, 이전 시대에 대한 물리적인 문서로서 우리에게 변하지 않고 남겨져 있다고 생각했다. 사실 그것은 돌로 된 시이지만, 그 이야기는 동화에는 못 미친다.

1211~1427년 사이에 지어진 노트르담 드 랭스(Notre-Dame de Reims)는 프랑스 왕들의 대관식이 거행된 장소였으며 19세기 국가 중요 기념물 목록에 추가되었다. 그러나 제1차 세계대전 초기 독일군은 그 지역을 점령했고 포탄은 성당의 나무 지붕에 불을 지르고 결국 성당 바닥에 있는 모든 가구들이 공격받았다(그림 5). 스테인드글라스는 산산조각이 났고 석조 조각상 또한 심하게 훼손되었다. 전쟁이 끝날 무렵에 남은 것이라고는 돌담과 받침대 뿐이었다.

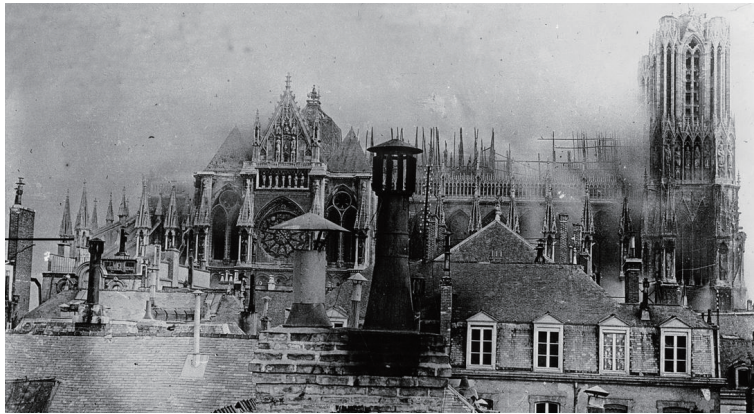


그림 5 1914년 성당 화재 모습
사진 출처 : Montjoye.net

이것이 우리의 책임 아래에 남겨진 건축 유산의 실체이다. 그것은 제때 봉인되어버린 드 플로리안(De Florian) 부인의 파리 아파트와는 달리 많은 계절을 견뎌왔다. 우리 세계의 역동적인 풍경 속에서 그 어떤 건물, 기념물, 장소도 본래의 모습을 간직하고 있는 것은 없다. 2017년 6월에 필자는 운이 좋게도 세계문화유적지를 방문할 수 있었으며, 이들 유적지에서 이러한 변화를 잘 관리해낸 한국인 동료들에게 박수를 보낸다.

Conclusion

This comparative exercise reveals the hidden variable of culture in each case. It is not possible to define authenticity as a “one size fits all” understanding. For this reason, the meaning of authenticity will remain controversial in heritage conservation.

Several years ago I sat in the Place overlooking the façade of Reims Cathedral and enjoying a glass of the champagne for which the French province is named. At the time I had assumed as most tourists would that this magnificent Gothic edifice that I surveyed was an example of poetry in stone, unaltered and left to us as a physical document of an earlier time. In fact it IS poetry in stone, but its story is less than a fairytale.

Built between 1211 and 1427, Notre-Dame de Reims was the church where French kings were crowned and was added to the list of Monuments of National Importance in the 19th century. However, at the outset of World War I German troops occupied the district and shells hit the Cathedral setting fire to the wooden roof and eventually all the furnishings on the Cathedral floor (Figure 5). Stained glass was shattered and stone statuary was severely damaged. By the end of the war, only the stone walls and buttresses remained.

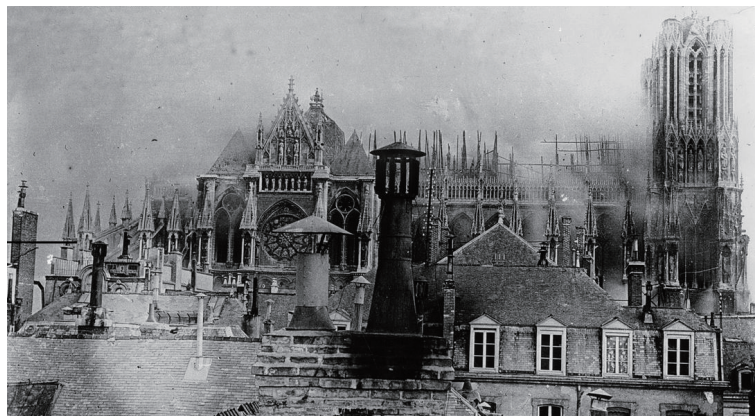


Figure 5 Reims Cathedral during the 1914 fire.
Photo source: Montjoye.net

This is the reality of the built heritage that has been left in our stewardship. It is not like the Paris apartment of Madame De Florian that was sealed in time sealed in time but has weathered many seasons. Almost no building, monument or site has remained untouched in the dynamic landscape of our world. I applaud my Korean colleagues who have taken up this challenge and managed these changes so well at the World Heritage Sites that I was fortunate enough to visit in June 2017.

전통 유산 건축물의 생태기후적 특징 : 모로코와 한국의 증정형 주택의 열적 쾌적성

Khalid El Harrouni¹, Khadija Oukassi²

¹ 이코모스 모로코 / ISCARSAH(건축유산의 구조해석 및 수리복원 국제학술위원회),
국립건축학교, 모로코 라바트

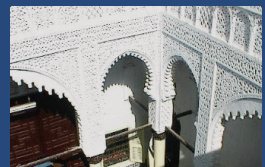
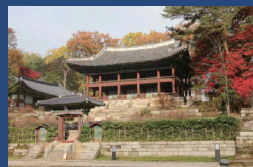
² 이코모스 모로코, OL 컨설팅, 모로코 라바트

The bioclimatic features of traditional heritage architecture : Thermal comfort of the courtyard house in Morocco and Korea

Khalid El Harrouni¹, Khadija Oukassi²

¹ ICOMOS Morocco/ ISCARSAH
Ecole Nationale d'Architecture, Rabat, Morocco

² ICOMOS Morocco, OL Consulting, Rabat, Morocco



전통 유산 건축물의 생태기후적 특징 : 모로코와 한국의 중정형 주택의 열적 쾌적성

Khalid El Harrouni¹, Khadija Oukassi²

¹ 이코모스 모로코 / ISCARSAH(건축유산의 구조해석 및 수리복원 국제학술위원회)
국립건축학교, 모로코 라바트

² 이코모스 모로코, OL 컨설팅, 모로코 라바트

초록

역사적으로 볼 때 전통적인 중정형 주택은 효과적인 미기후를 만드는 정교한 조절 시스템으로 여겨져 왔으며, 지금도 여전히 여름철에 수동적으로 열적 쾌적성을 제공하는 방법으로 활용되고 있다. 일반적으로 안뜰은 극한 외부 기후 조건을 완화시키기 위한 긍정적 요인이라고 설명된다. 그러나 일부 연구에서는 안뜰이 에너지 효율 측면에서 부정적인 요인으로 작용할 수 있다는 것을 보여주기도 하였다. 본 논문은 모로코와 한국의 전통 주택의 지속가능한 특징 및 기후학적 적응에 대한 조사 연구를 기반으로 하여 이를 확인하였다. 적응형 쾌적 접근법을 적용하여 생태기후적 전략을 분석하기 위하여 안동 임청각 가옥과 모로코(라바트)의 전통적인 중정형 주택 모델을 선정하였다. 본 연구는 라바트와 안동 두 도시에서의 설계 전략을 열적 쾌적성 측면에서 개선시키기 위해 기후설계를 위한 도구인, 마호니(Mahoney) 테이블, 기보니(Givoni) 및 조콜라이(Szokolay) 생태기후도 등을 사용하는 것에서부터 출발한다. 분석 결과를 모로코 및 한국의 전통적인 중정형 주택의 특성과 비교함으로써 이러한 전략이 적용되었는지 여부와 그 적용 방법을 검증한다. 본 논문이 두 번째로 주안점을 두고 있는 것은 라바트의 온화하고도 습한 기후 하에서 안뜰을 둘러싸고 있는 방들의 열적 거동에 대한 분석이다. 라바트 메디나의 중정형 주택 모델의 시뮬레이션 모델링은 여름철 및 겨울철 동안의 실내 기후를 개선할 목적으로 건물의 외관정면의 배치방향, 공기 투과, 주위환경, 천장 높이, 벽면 그리고 지붕/천장 단열 및 차양 장치 등을 포함한 다양한 매개변수의 효과를 분석하기 위해 수행하였다. 연구 결과에 의하면 모로코와 한국에서, 가변적이고 기후적인 전통 중정형 주택들은 열적 쾌적함과 에너지 효율을 다양한 방식으로 충족시키기 위해 생태기후적

The bioclimatic features of traditional heritage architecture : Thermal comfort of the courtyard house in Morocco and Korea

Khalid El Harrouni¹, Khadija Oukassi²

¹. ICOMOS Morocco/ ISCARSAH

Ecole Nationale d'Architecture, Rabat, Morocco

². ICOMOS Morocco, OL Consulting, Rabat, Morocco

Abstract

The traditional courtyard house has been viewed as a complex regulating system that creates a microclimate which historically worked, and still works, in a passive way to provide acceptable thermal comfort in summer. The internal courtyard is generally described as a positive factor that can moderate extreme outdoor climatic conditions. However, some researches have shown that the courtyard could become a negative factor from the energy efficiency point of view. For this purpose, this paper is based on a research study exploring sustainable characteristics of Moroccan and Korean traditional housing and their climatic adaptation. The Imcheonggak House in Andong (South of Korea) and the traditional courtyard house model in Rabat (Morocco) have been selected to analyze the bioclimatic strategies by applying the adaptive comfort approach. The work starts from using tools for climatic design, Mahoney's tables, Givoni and Szokolay bioclimatic charts to improve design strategies in terms of thermal comfort in both cities of Rabat and Andong. The results of the analysis are then compared with the characteristics of the Moroccan and Korean traditional courtyard houses, to verify if and how those strategies were applied. The second part of the paper is focusing on the analysis of the thermal behavior of the rooms surrounding the courtyard under the temperate and humid climate of Rabat. The simulation modelling of the courtyard house model in the medina of Rabat is carried out to analyze the effectiveness of different parameters to improve the indoor climate during summer and winter, including the façade orientation, the air infiltration, the surroundings, the ceiling height, the walls and roof/ceiling insulation and the shading devices. The findings reveal that, in Morocco and Korea, but variable, climate, traditional courtyard house incorporates bioclimatic strategies in order to

전략을 채택하고 있다. 일반적으로 건설적 형태학적 특징과 기후적 맥락 사이에 강한 상관관계가 있음을 알 수 있다.

키워드 : 생태기후적 건축물, 전통적 중정형 주택, 열적 쾌적성, 기후, 시뮬레이션 모델링을 위한 도구

서론

전 세계의 각 지역에 있는 인구의 문화, 역사 및 전통은, 오늘날 도시와 시골의 멋진 경관의 일부인 건축 유산을 통해 지속적으로 확인할 수 있으며, 이는 보존하고 지켜야 할 유산이며, 또한 추운 지역이나 더운 지역에서 기후변화 효과에 대하여 재적응을 시켜야 할 수도 있다.

전통 건축물은 생태기후적 개념을 본능적으로 발전시켜 왔는데 이는 현대 과학의 관점에서 보면 타당하다. 북아프리카의 모로코 및 아시아의 한국을 포함한 각 지역의 건물이 지역의 환경조건에 적응한다는 것은, 그 건물들이 해당 지역의 건축적 이미지의 특징이라 할 수 있는 정체성을 가지고 있다는 것을 의미한다.

자연 환경에 적응한 결과, 모로코와 한국에는 새로운 거주지와 주택에 있어서 최적이라고 입증되는 전통 건축 공학의 사례들이 풍부히 존재하고 있다. 건축 공학의 원리 속에는 자연환경의 조건과 그에 대한 건축학적 대응 사이의 상호작용을 강조하는 생태기후적 측면이 표현된다. 나무, 흙, 돌과 같은 기본적인 자재뿐만 아니라 특히 지리적 방향, 배치 장소, 기후 등과 같은 비물질적 자재를 사용함으로써 보다 복잡한 해결방안으로 진화해 왔으며, 이는 환경에 미치는 막대한 부정적인 영향을 미쳤다.

본 논문을 통해 전통적인 도시 건축물의 생태기후적 요소(안뜰, 방향, 자연 채광, 현지의 자재 및 미기후적 전략)들이 인간의 열적 쾌적성에 미치는 영향에 대하여 이해할 수 있다[1].

이 지역에 대한 전반적인 건축물을 조사한 다음, 유형학, 생태기후적 요소 그리고 건축 자재에 대해 연구하기 위해 모로코와 한국의 전통 중정형 주택을 포함한 특정 주거지를 선정하였다. 본 연구는 수동 냉난방, 주위환경의 미기후 조건 개선 등을 포함한 일련의 설계 원칙들을 참조하고 있다. 실내의 열적 쾌적성 조건에 영향을 미치는 매개변수를 조사하는 것은 전통 건축물 보존에 있어서 생태기후적으로 유도된 접근법을 확립하기 위한 것이다.

meet both the thermal comfort and the energy efficiency in different ways. In general, a strong correlation can be found between constructive and morphological features and climatic contexts.

Key words: bioclimatic architecture, traditional courtyard house, thermal comfort, tools for climatic, simulation modelling

Introduction

The culture, history and traditions of the population in each region of the world were continuously identified through their architectural buildings which are today part of our nice urban and rural landscapes, constituting a heritage to be preserved and conserved and may be to be readapted to climate change effect in the cold or hot sites.

The traditional architecture has developed instinctively bioclimatic concepts that are nowadays scientifically valid. The adaptation to local environmental conditions implied that buildings have assumed an identity that characterizes the architectural image of each region including Morocco in the North of Africa and South of Korea in Asia continent.

Morocco and South of Korea abound in examples of traditional construction engineering that testify best in the emerging settlements and houses, as a result of adapting to natural environment. The principles of construction engineering express bioclimatic aspects that highlight interaction between the conditions of natural environment and architectural responses to them. The use of basic local materials like wood, earth and stone, but also immaterial resources as geographical orientation, deployment site, and climate, among others, has evolved to more complex solutions built with huge negative impacts on the environment.

The present paper provides insight on the contribution of the bioclimatic elements (courtyard, orientation, natural lighting, local materials and microclimatic strategies) of traditional urban buildings to human thermal comfort [1].

Following an overall architectural investigation of this area, specific dwellings including traditional courtyard houses in Morocco and South of Korea were selected for studying purposes, based on their typology, bioclimatic elements and construction materials. The study refers to a series of design principles including passive heating and cooling, and improvement of the microclimatic conditions of the surrounding environment. The investigation of the parameters which affect the conditions of interior thermal comfort aims at the establishment of a bioclimatic-driven approach in the conservation of traditional buildings.

중정형 건축양식은 건물의 외관정면이 1개 또는 2개인 건물을 태양 방위가 4개인 건물로 변환시킨다. 이것이 소형 도시구조에 속하는 건물의 시설에 안뜰을 포함시키는 주요 이점 중 하나이다. 자연 채광을 얻거나, 개방된 개인 공간을 만들거나, 건물의 열적 거동을 제어하기 위해서, 과거에는 안뜰의 다양한 유형의 설계가 동일한 원리 즉, 네 개의 내부 정면과 정렬된 방으로 둘러싸인 중앙 안뜰 방식을 따랐다.

안뜰의 기후 거동은 고온건조하며, 시원하고 청명한 밤에 대기를 향해 열을 방출하며, 일교차가 크며, 계절에 따른 기온차가 큰 건조 지역에서 특히 중요하다. 또한 태양광이 쉽게 잘 드는 저위도에서 시원하지만 햇빛이 드는 기후를 만들기 위해서도 안뜰의 기후 거동은 중요하다.

일부 연구[2-3]에서는 안뜰이 기후학적인 측면에서 부정적인 요소로 작용할 수 있다는 것을 보여주었다. 그것은 겨울철 동안 온도 차이가 더 작은 반면, 주위의 환경보다 더 더울 수 있는 것을 의미한다. 안뜰의 쾌적함 면에 있어서, 바람이 거의 불지 않아 답답함을 해소할 수 없는 고온다습한 기후, 또는 태양이 들지 않아 따뜻해질 수 없는 고위도의 춥고 구름낀 기후가 최악의 조건인 것으로 보인다.

이를 위해, 본 논문은 모로코와 한국의 전통 주택의 지속가능한 특징 및 기후학적 적응에 대한 한 조사 연구를 기반으로 하였다. 적응형 쾌적 접근법을 통해 생태기후적 전략을 분석하기 위하여 안동 임청각과 모로코(라바트)의 전통적인 중정형 주택 모델을 선정하였다. 본 연구는 라바트와 안동 두 도시에서의 설계 전략을 열적 쾌적성 측면에서 개선시키기 위해 설계를 위한 도구인, 마호니(Mahoney) 테이블, 기보니(Givoni) 및 조콜라이(Szokolay) 생태기후도[4-5] 등을 사용하는 것으로부터 출발한다. 분석 결과를 모로코 및 한국의 전통적인 중정형 주택의 특성과 비교함으로써 이러한 전략이 적용되었는지 여부와 그 적용 방법을 검증한다. 본 논문이 두 번째로 주안점을 두고 있는 것은 라바트의 온화하고도 습한 기후 하에서 안뜰을 둘러싸고 있는 방들의 열적 거동에 대한 분석이다. 여름과 겨울 동안의 실내 기후를 개선할 목적으로 건물의 외관정면의 배치방향, 공기 투과, 주위환경, 천장 높이, 벽면 그리고 지붕/천장 단열 및 차양 장치 등을 포함한 다양한 매개변수의 효과를 분석하기 위해 라바트 메디나의 중정형 주택 모델의 시뮬레이션 모델링을 수행하였다. 연구 결과에 의하면, 모로코와 한국에서, 가변적이고 기후적인 전통 중정형 주택들은 열적 쾌적함과 에너지 효율을 다양한 방식으로 충족시키기 위해 생태기후적 전략을 채택하고 있다. 일반적으로 건설적 형태학적 특징과 기후적 맥락 사이에 강한 상관관계가 있음을 알 수 있다.

The courtyard architectural type transforms a one or two facades building into a four solar orientations architecture. This is one of the main advantages of including a courtyard in the plant of a building inserted in a compact urban fabric. Whether to gain natural light, to create an open private space or to control the building thermal behavior, in the past the different types of courtyard house design used to follow the same principle: a central courtyard surrounded by rooms aligned with four interior facades.

The climatic behavior of the courtyard is especially important in arid areas that are characterized by hot, dry days and cool clear nights to radiate heat away to the sky, -climates with high temperatures during the day and low temperatures during the night and high temperature amplitude between the seasons. Also for climates with cool but sunny days at lower latitudes where sun penetration is both: easy and welcome.

Some researches [2-3] have shown that the courtyard could become a negative factor from the climatic point of view. It can be hotter than its surroundings while, during the winter, the temperature difference remains smaller. It seems that for courtyard comfort, the worst climates are hot and humid, where little wind is available to relieve stuffiness; or cold and cloudy ones at higher latitudes, where little winter sun can penetrate to provide warmth.

For this purpose, this paper is based on a research study exploring sustainable characteristics of Moroccan and Korean traditional housing and their climatic adaptation. The Imcheonggak House in Andong (South of Korea) and the traditional courtyard house model in Rabat (Morocco) have been selected to analyze the bioclimatic strategies by applying the adaptive comfort approach. The work starts from using tools for climatic design, Mahoney's tables, Givoni and Szokolay bio climatic charts [4-5] to improve design strategies in terms of thermal comfort in both cities of Rabat and Andong. The results of the analysis are then compared with the characteristics of the Moroccan and Korean traditional courtyard houses, to verify if and how those strategies were applied. The second part of the paper is focusing on the analysis of the thermal behavior of the rooms surrounding the courtyard under the temperate and humid climate of Rabat. The simulation modelling of the courtyard house model in the medina of Rabat is carried out to analyze the effectiveness of different parameters to improve the indoor climate during summer and winter, including the façade orientation, the air infiltration, the surroundings, the ceiling height, the walls and roof/ceiling insulation and the shading devices. The findings reveal that, in Morocco and Korea, but variable, climate, traditional courtyard house incorporates bioclimatic strategies in order to meet both the thermal comfort and the energy efficiency in different ways. In general, a strong correlation can be found between constructive and morphological features and climatic contexts.

총론

한국의 주요 문화유산 및 건축 유산

한국의 전통 건축물은 석조 요소가 대형 목조 구조를 지지하는 목조 축조 방식을 특징으로 한다. 우리는 돌, 나무, 흙을 이용한 건축자재 및 기술의 범위에 관한 제1회 ICOMOS-ISCARSAH 워크숍(건축유산의 구조해석 및 수리복원 국제학술위원회)에 참석하여 서울, 안동, 경주의 주요 문화재 및 건축 유산을 방문할 수 있었다. 본 행사는 ICOMOS 한국위원회, 국립문화재연구소가 주관하였다.

예를 들어, 서울의 건축물은 쇼핑을 활성화하고 역사도 체험할 수 있도록 현대 고층 건물들과 고대의 절과 궁궐을 한데 어우러져 있다. 이러한 문화 유산 중 일부를 그림 1~6에 나타내었다.



그림 1 서울 송례문



그림 2 서울 송례문

General

Main cultural and architectural heritage, South of Korea

Korean traditional architecture is characterized by the wooden architecture system and the large-scale wooden structure is supported by stone elements. Participating to the 1st ICOMOS-ISCARSAH Workshop 2017 (The International Scientific Committee on the Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage) on the scope of the material and techniques using stone, wood and earth allowed us to visit the main cultural and architectural heritage in Seoul, Andong and Gyeongju in Korea. The event was organized by ICOMOS Korea, National Research Institute of Cultural Heritage Korea.

The architecture in Seoul for example, combines modern high-rises with ancient temples and palaces, making for lots of both shopping and absorption of history. Some of these cultural heritages are shown in Figures 1-6.

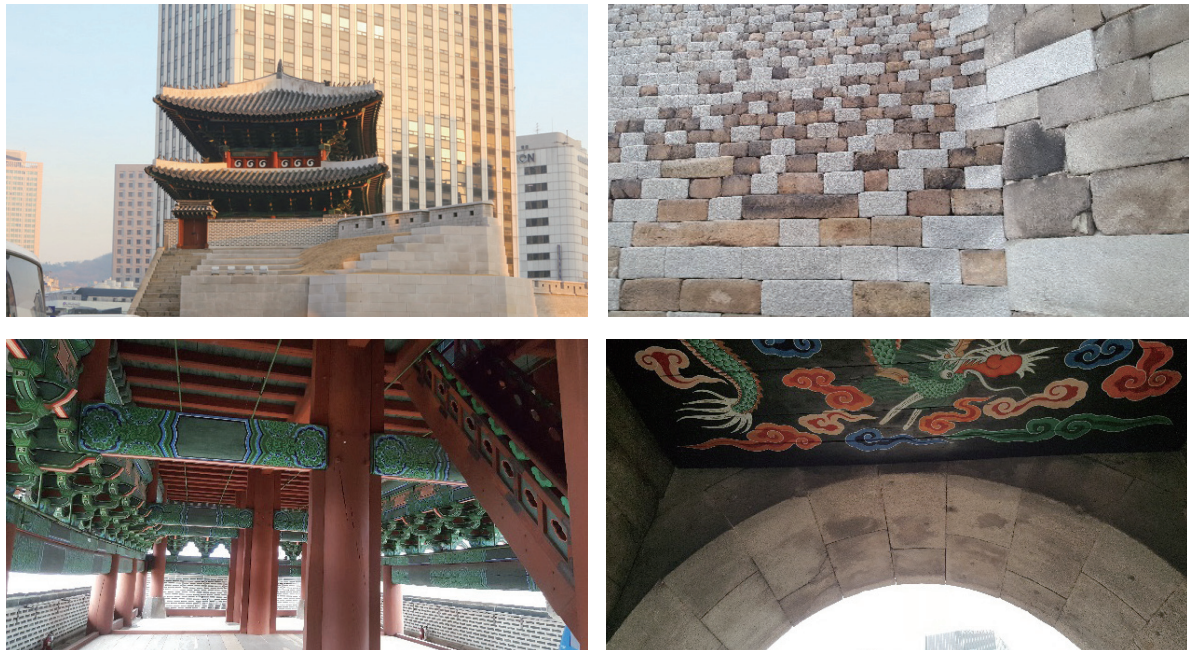


Figure 1 Sungnyemun gate, Seoul



Figure 2 Sungnyemun gate, Seoul



그림 3 서울 창덕궁 대조전



그림 4 서울 창덕궁 낙선재



Figure 3 Daejojeon Hall in Changdeokgung Palace, Seoul



Figure 4 Nakseonjae in Changdeokgung Palace, Seoul



그림 5 서울 창덕궁 부용정



그림 6 서울 창덕궁 주합루

전통 가옥들은 주위의 자연과 조화를 이룰 수 있도록 특별하게 건축되었다. 섬세한 자연환경을 그대로 유지하기 위해서 오로지 자연친화적인 자재만으로 이러한 목조 건축 시스템을 구축하는 데에는 엄청난 노력이 필요했다.



Figure 5 Buyongjeong Pavilion in Changdeokgung Palace, Seoul



Figure 6 Juhamnu Pavilion in Changdeokgung Palace, Seoul

The traditional houses were built specifically to fit in with the nature around them. In order to maintain the delicate natural environment, an extraordinary amount of effort went into building these wooden architecture systems only with natural, environmentally-friendly materials.

모로코 메디나의 전통 중정형 주택

연구의 첫 단계로서, 내부 공간 및 공공 공간을 분석 조사함으로써 모로코의 메디나(그림 7)의 가치에 대해 연구하였다[6].

역사적인 도시 중심가를 둘러싼 큰 주거지역은 택지들로 구성되어 있으며, 택지는 부지 주변의 근린주택지구들이 교차하며 형성되어 있다. 주거지역 및 공공지역 모두 도시의 성벽으로 둘러싸여 있어서, 도시 또는 메디나와 같이 폐쇄적인 물리적, 사회적 단위를 구성하고 있다.

개방된 부분이 없는 두 개의 벽은 거리를 향해 마주보고 있으며, 그 두 벽 사이의 긴 공간이 메디나의 거리를 이루고 있다. 벽의 높이와 거리 폭 사이의 비율은 약 10/1이다(그림 8). 거리는 깊고 폭이 좁기 때문에, 햇빛이 낮 동안에 인도 또는 건물의 정면에 닿지 않는다.

전통 가옥은 입구, 중앙 뜰 또는 파티오, 그리고 그 주위를 둘러싸고 있는 방들로 이루어져 있다(그림 9). 이러한 요소들을 가지고 내부 공간의 구성요소를 설명할 수 있다(그림 10).

- 입구 : 현관문에서 집 안으로 들어가는 복도는 바깥에서 들여다 볼 수 없도록 종종 각도가 틀어져 있기도 하다.
- 중앙 뜰 및 주변 방 : 중앙 뜰은 지붕이 없거나 지붕에 구멍이 뚫어져 있는 구조이다. 방의 천장까지의 높이는 3~5미터로 다양하며, 때로는 방의 길이가 상당히 긴 경우도 있다. 방의 용도는 경우에 따라서는 구체적으로 정해져 있지 않은 경우도 있으며, 다목적으로 사용되는 경우도 있다. 가정생활과 가정살림은 식사, 수면, 오락 및 기타 가정내 활동을 위해 변경해가면서 사용할 수 있는 내부 공간에서 이루어진다. 그 방들은 빛과 공기를 방으로 들여오는 유일한 공간인 파티오 주위에 배치되어 있다. 보통의 경우 길을 향한 창문은 아예 없거나 거의 없으며, 개방된 부분과 창문의 대부분은 안뜰 쪽을 향해 나있다.

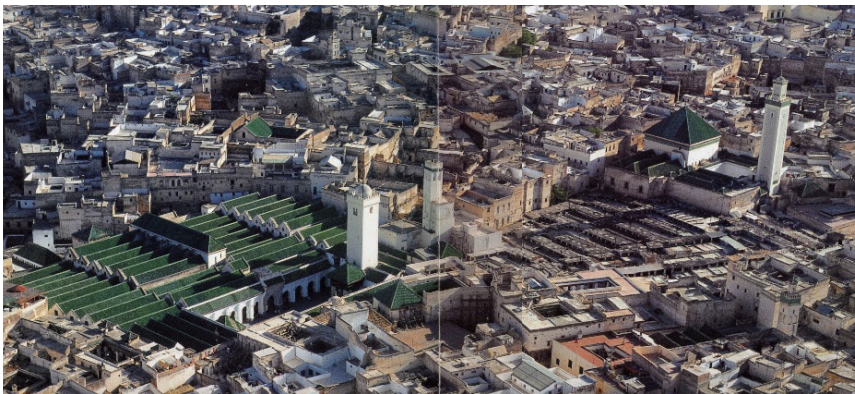


그림 7 33개 메디나 중 페즈 메디나(Fez Medina)

Traditional courtyard house in Moroccan Medina

As a first phase of the research, we have also explored the values of the medina (Fig. 7) in Morocco within an analytical investigation of domestic and public spaces [6].

The large residential area surrounding the historical city centre is formed by the composition of the residential quarters. A residential quarter is formed by the junction of neighborhood units along quarter streets. The residential area and the public area are enclosed all together by the city walls, and thus form a closed physical and social unit, the city or the medina.

A street in the medina is a long space between two walls which have no openings facing the street. The ratio between the height of the walls and the width of the street is big: about 10/1 (Fig. 8). Because of the streets depth and narrow, the sun rays can't reach the pavement or facades during the day.

The traditional house can be defined by the following elements: the entrance, the central yard or patio and its surrounding rooms (Fig. 9). These elements make it possible to describe the components of the domestic spaces (Fig. 10):

- the entrance: the corridor from the front door and into the house itself is often angled to minimize the view from outside;
- the central yard and its surrounding rooms: the central courtyard has no roof or can have an opening in the roof. The ceiling height in the rooms varies from 3 to 5 meters and the rooms are often quite elongated. The use of the rooms is often non-specific and can be used for various purposes. The family life and the housekeeping take place in these domestic spaces, which can be used interchangeably for eating, sleeping, recreation and other domestic tasks. The rooms are organized around the patio which is the only space bringing in light and air to the rooms. There are usually very few or no windows facing the street, almost all the openings and windows are facing the inner courtyard.

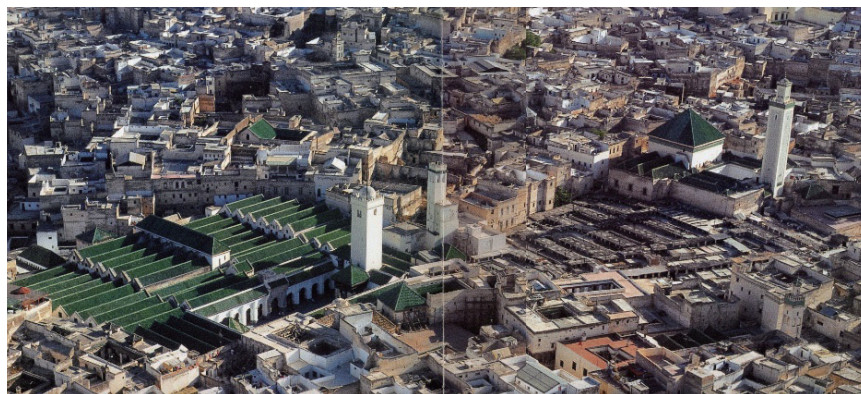


Figure 7 Example of Fez Medina among of 33 Medinas



그림 8 페즈 메디나(Fez Medina) 거리
(<http://www.janhoogland.com/>)

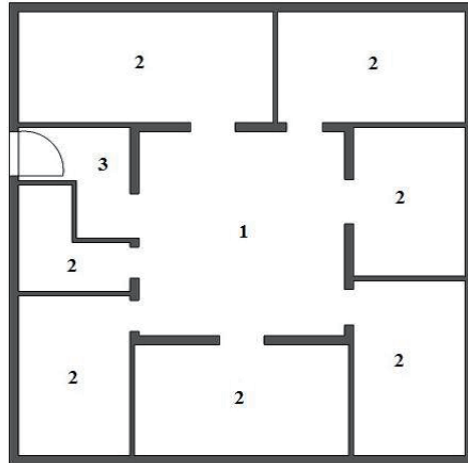


그림 9 일반적인 각도의 입구를 가진 전통적인 주택의 도면[8]

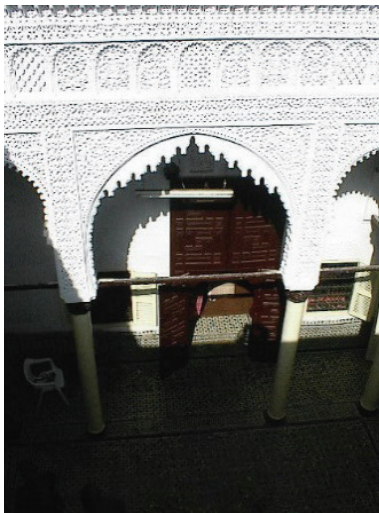


그림 10 전통적인 중정형 주택

개방된 부분은 실내 기후를 개선하고 자연적인 환기가 이루어지도록 하기 때문에 중요하다. 또한 개방된 부분은 태양과 바람으로부터 보호해주는 역할을 하며, 벽은 태양 광선으로부터 보호하기에 충분히 높으며, 햇빛은 보통 오후까지 안뜰에 든다. 그리고 따뜻한 공기는 상승하면서 대류가 일어나 방의 환기가 이루어진다. 그러나 일부 연구에 의하면 내부 안뜰의 지붕이 개방된 경우, 특히 고온다습한 기후에서는 부정적인 요인으로 작용할 수 있다는 보고가 있었다.

고온다습한 기후에서는 바람이 거의 없고 집 안의 환기가 안 될 수 있기 때문에, 안뜰의 온도가 실외의 온도보다 높을 수 있다. 일반적으로 전통적인 건축 자재는 돌, 흙, 나무로서 모세관 현상으로 물을 흡수하여 표면에서 증발시킴으로써 실내 공기가 대류에 의해 다시 덥혀지는 것을 방지한다.



Figure 8 Example of the street in Fez Medina
(<http://www.janhoogland.com/>)

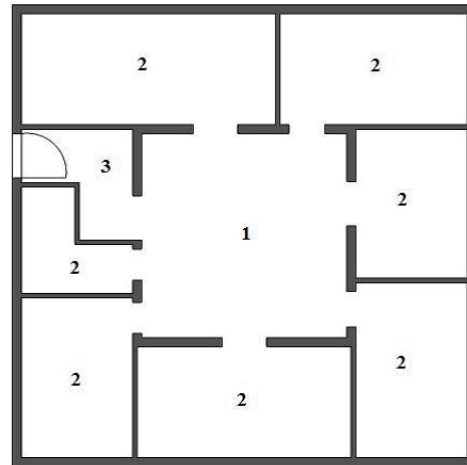


Figure 9 A plan of a traditional house with the
typical angle entrance [8]

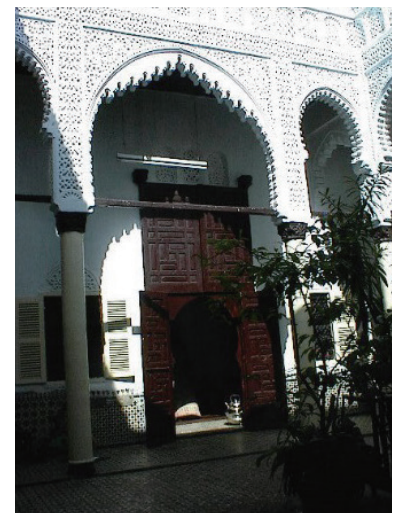
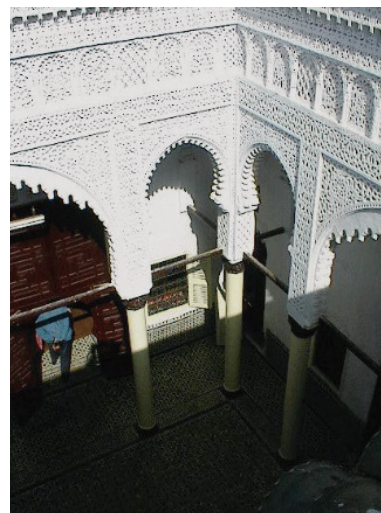
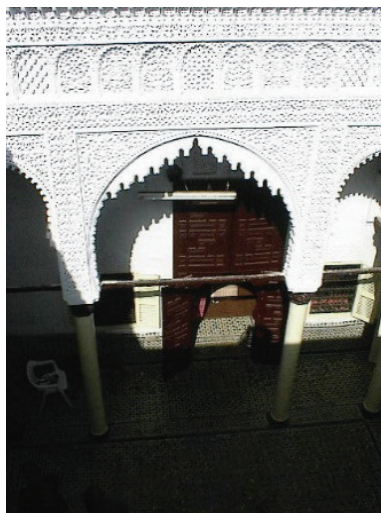


Figure 10 An example of traditional courtyard house

The opening is important because it modifies the indoor climate and contributes to natural ventilation. It also works as a protection from sun and wind, walls are high enough to protect from the sun rays, that usually reach the courtyard until the afternoon. Then the warm air rises, and convection is created, ventilating the rooms. However, some studies have shown that the roof opening in the inner courtyard can be negative, especially in hot and humid climates. In hot humid climates, the temperature in the courtyard can be higher than outdoors because there is little wind and it can become stuffy inside the house.

Common traditional building materials are stone, earth, and wood, because of capillary effect, absorb water, which can then evaporate from their surfaces and thus hinder the interior air from being rewarmed by convection.

생태기후적 건축물의 분석 : 한국의 안동 및 모로코의 라바트

안동 : 위치 및 기후

경상북도 안동시는 서울에서 3시간 거리에 있는 시골에 위치하고 있다. 남쪽의 작은 도시인 안동은 위도 36°35'N, 경도 128°43'E, 그리고 해발고도 129.3m에 위치하고 있다.

안동의 날씨[9]는 여름에는 고온다습하며 때때로 구름이 많고, 겨울에는 춥고, 건조하고, 바람이 많고, 대부분 맑다. 한 해 동안의 기온 분포는 일반적으로 -5~30°C까지로 다양하다. 관광 지수로 보면, 안동은 5월 말~7월 초 그리고 8월 초~9월 말까지의 시기가 따뜻한 날씨에 활동하기에 가장 좋은 시기이다. 더운 계절은 6월~9월로서 평균 최고기온이 26°C를 상회하며, 연중 기온이 가장 높은 달은 7월과 8월로서 평균 최고기온은 30°C이다. 추운 계절은 12월~2월의 3개월간 지속되며 평균 최고기온은 6°C 미만이며, 가장 추운 달은 1월로서 평균 최저기온은 -5°C이고 평균 최고 기온은 2°C이다.

안동의 습도는 계절에 따라 크게 차이가 난다. 한 해 가운데 무더운 기간은 6월~9월로서 이 기간 동안 쾌적성의 수준은 최소한 21%이며 후덥지근하고 답답하다. 이 기간 동안의 최대상대습도값은 86%이고, 최대 강우량은 7월에 약 208mm이다. 안동의 하루의 길이는 한 해 동안 상당히 차이가 난다.

일반적으로, 최단일은 12월 22일로서 일조시간은 9.67시간이며, 최장일은 6월 21일로서 일조시간은 14.67시간이다.

라바트 : 위치 및 기후

모로코 왕국의 수도인 라바트는 위도 34°03'N, 경도 6°46'W, 그리고 해발고도 75.3m에 위치하고 있다. 기후는 온화한 지중해성 기후로서, 대서양은 연안의 기후가 비교적 온화한 기후가 되도록 냉각시켜주는 역할을 한다.

현지 기상 관측소의 온도 데이터에 의하면 가장 추운 달은 1월로서, 평균 기온은 12.5°C 최저기온 -0.5°C이다. 7월은 가장 더운 달로서 평균기온 22.3°C, 최고기온 47.3°C이며 매달 최고 및 최저 상대습도는 각각 96%, 42%이다. 라바트의 최대 강우량은 12월의 110mm이다. 최대 일조시간은 6월 중 일일 13.85시간이다. 최고 전천복사는 6~7월에, 최저 전천복사는 12월에 관측된다.

Bioclimatic architecture analysis : Andong (South of Korea) and Rabat (Morocco) cities

Andong: The site and the climate

Andong city in Gyeongsangbuk-do Province is about 3 hours outside of Seoul in the country side. A compact grey city in the south of the country, Andong is located in latitude 36°35'N, longitude 128°43'E and at an altitude of 129.3m above sea level.

Regarding the weather in Andong [9], the summers are warm, humid, wet, and partly cloudy and the winters are freezing, dry, windy, and mostly clear. Over the course of the year, the temperature typically varies from -5°C to 30°C. Based on the tourism score, the best times of year to visit Andong for warm-weather activities are from late May to early July and from early August to late September. The hot season includes the months of June, July, August and September, with an average high temperature above 26°C, and the hottest months of the year are July and August, with an average high of 30°C. The cold season lasts for 3 months, from December to February, with an average high temperature below 6°C and the coldest month of the year is January, with an average low of -5°C and high of 2°C.

Andong experiences extreme seasonal variation in the perceived humidity. The muggier period of the year is from June to September, during which time the comfort level is muggy, oppressive, or miserable at least 21% of the time. The maximum relative humidity value is 86% during this period and the maximum rainfall is about 208mm in July.

The length of the day in Andong varies significantly over the course of the year. In general, the shortest day is December 22, with 9,67 hours of daylight; the longest day is June 21, with 14,67 hours of daylight.

Rabat: The site and the climate

Rabat, the capital of the Kingdom of Morocco, is located in latitude 34°03'N, longitude 6°46'W and at an altitude of 75.3m above sea level. The climate is temperate, Mediterranean climate, the Atlantic ocean has a cooling effect that transforms the climate along the coast into relatively mild.

The temperature data given by the local meteorological station show that the coldest month is January: the mean temperature is 12.5°C with an extreme minimum of -0.5°C. July is the hottest month with mean air temperature of 22.3°C and extreme maximum of 47.3°C. The maximum and the minimum relative humidity are also given for every month, the maximum value is 96% and the minimum is 42%. The maximum rainfall in Rabat is 110mm in December. The maximum sunshine hours is evaluated to 13,85 hours per day in June; the highest global radiation is observed in June-July and the lowest in December.

생태기후적 건축 도구 및 분석

기후는 사람이 느끼는 쾌적성을 고려할 때 중요한 요소이기 때문에, 현장의 기존 기후 조건에 대해 평가하면 보다 높은 수준의 쾌적성을 달성하기 위해 이러한 기후 요소를 어떻게 바꿀 수 있는지를 이해할 수 있다.

예비적인 작업으로서 연간, 월간, 일일 온도 및 습도의 최대값, 최소값, 평균값, 평균 강우량, 일사량, 강우, 폭풍, 안개 또는 서리 발생일 수 등과 같은 미기후 정상 값에 대한 데이터 분석이 필요하다. 이러한 데이터는 최소 10년동안의 긴 시간 동안 얻은 데이터의 평균값들을 사용하였다.

생태기후적 분석의 다음 단계에서는 기후 조건을 분석하기 위해 올기에이(Olgay) 생태기후도, 기보니(Givoni) 생태기후도, 조콜라이(Szokolay) 생태기후도, 마호니(Mahoney) 테이블을 포함한 문헌에 명시된 몇 가지 도구를 사용하였다. 올기에이(Olgay) 생태기후도는 쾌감대를 정의하기 위해 온도와 상대습도를 연결한 최초의 생태기후도이다. 이 도표에는 쾌적하지 않은 기후에 대한 해석결과는 거의 없었다. 온도가 20°C 이상일 때는 차양 장치만 사용할 수 있으며, 기후가 너무 고온다습할 때에는 풍속이 필요하다. 기보니(Givoni) 생태기후도는 주로 주거용 건축물에 적용되며, 자연환기, 증발냉각, 열질량, 수동가열, 종래의 냉방 또는 제습을 비롯한 열적 쾌적성을 이룰 수 있는 건물의 설계에 대하여 더 많은 대안을 제공한다.

기후 분석을 위한 다음 도구는 조콜라이(Szokolay) 생태기후도로서, 조콜라이(Szokolay)는 열적 중립성을 고려한 쾌감대의 보정을 바탕으로 새로운 생물기후도를 개발하였다. 따라서 이 도표의 새로운 쾌감대는 상대습도가 90% 이하인 지역에 대해서만 유효하다. 마호니(Mahoney) 테이블은 런던 건축협회의 열대 연구개발팀에 의해 도입된 도구로서, 기온, 상대습도, 강수/강우량을 토대로 한 기후 분석 자료를 제공한다. 이 도구의 결과를 이용하여, 배치, 공간, 공기 이동을 위한 환기, 건물 외벽(벽과 지붕), 건물의 개방된 부분, 실외 공간 및 빗물 방지에 대한 설계시에 필요한 권장사항들을 결정할 수 있다.

이 연구에서 기보니(Givoni)/조콜라이(Szokolay) 생태기후도와 마호니(Mahoney) 테이블을 안동과 라바트 두 도시에 모두에 대해 적용하였다. 안동과 라바트의 건물에 대한 수동적 설계와 건축 및 문화 유산에 대한 몇몇 권장사항과 함께 안전 지역을 전반적으로 고려할 수 있는 유용한 도구가 아직도 남아있다.

안동 및 라바트에 대한 생태기후적 분석

안동과 라바트의 기후 조건을 조사하기 위해 조콜라이(Szokolay) 생태기후도, 기보니(Givoni) 생태기후도, 마호니(Mahoney) 테이블의 세 가지 도구를 활용하였다. 다음은 각 도구로 얻은 설계 권장사항을 요약한 것이다.

Bioclimatic architecture tools and analysis

As climate is an important element when considering human comfort, an evaluation of the existing climatic conditions of a site will provide the possibility to understand how these climatic elements can be altered to achieve a greater level of human comfort.

The preliminary task is the analysis of the data about the micro-climatic normal values: annual, monthly and daily maximum and minimum average of temperature and humidity, average of rains, solar radiation and the numbers of days with rain, storm, fog or frost. These data are the average of a large time lapse of a minimum of 10 years.

The next stage of the bioclimatic analysis is the use of several tools noted in the literature to analyze climate conditions, including The Olgyay Bioclimatic chart, the Givoni Bioclimatic chart, the Szokolay Bioclimatic chart, and the Mahoney Tables. The Olgyay bioclimatic chart is the first bioclimatic chart that connects temperature and relative humidity in order to define a comfort zone. There were few solutions provided by this chart when the climate was out of the comfort zone. There are only shading devices available for when the temperature is above 20 °C, and wind speed is required when the climate is too hot and humid. The Givoni bioclimatic chart is mainly applied for residential-scale construction, and it provides more alternatives with building design to enable thermal comfort, including natural ventilation, evaporative cooling, thermal mass, passive heating, conventional air conditioning or dehumidification.

The next tool for climatic analysis is the Szokolay bioclimatic chart. Szokolay developed a new bioclimatic chart based on the correction of a comfort zone by taking into consideration thermal neutrality. Therefore, the new comfort zone in this chart is valid only for regions with a relative humidity of no more than 90%. The Mahoney Tables were introduced by the Department of Development of Tropical Studies of the Architectural Association in London, and they provide an analysis of the climate based on temperature, relative humidity and amount of precipitation/rainfall. The output of this tool will determine the design recommendation for the layout, spacing, ventilation for air movement, building envelope (walls and roof), building opening, outdoor space and rain protection.

Givoni/Szokolay bio climatic diagrams and Mahoney's tables have been used both for Andong and Rabat in this study. There are still useful tools to give general considerations of the comfort zone with some recommendations for passive design of building and for the architectural and cultural heritage in Andong and Rabat.

Andong and Rabat bioclimatic analysis

Three tools were utilized to investigate climate conditions in Andong and Rabat, the Szokolay bioclimatic Chart, the Givoni bioclimatic Chart and the Mahoney Tables. The following summarizes the design recommendations obtained by each tool.

안동과 라바트의 기보니(Givoni)/조콜라이(Szokolay) 생태기후도는 그림 11~12에 나타난 것과 같이 온도와 상대습도를 그래프로 만들었다. 조콜라이(Szokolay) 및 기보니(Givoni) 생태기후도를 이용한 기후 분석에서는 각 도시에 대해 거의 동일한 내용을 추천한다.

안동의 경우, 6월과 9월 동안 고온다습한 지역에서 자연적인 환기는 수동적인 전략 중에서 가장 손쉬우면서도 경제적인 방법이다. 개방된 부분을 통해 외부와 내부의 공기를 순환시킴으로써 적절한 수준의 신선한 공기를 얻는 것을 목표로 한다. 또한 이 도표에 의하면 7월 및 8월에는 제습 장치를 사용할 것을 추천하고, 추운 계절에는 난방을 할 것을 권장한다. 쾌적성을 위해 실내 발열을 해야 하는 시기는 4월과 10월 단지 두 달 뿐이다.

라바트의 기보니(Givoni) / 조콜라이(Szokolay) 생태기후도에 의하면, 편안한 실내 기후를 만들기 위해 겨울철 수동적인 방법인 실내 발열을 이용하여 쾌적한 공간을 확장할 수 있다. 도표에 의하면, 라바트의 온화한 기후로 인해 여름철에는 건물의 환기가 충분히 이루어지지만, 설계시 여름철에 환기가 잘 되게 하고 태양복사로부터 보호하도록 해야 함을 알 수 있다.

마호니(Mahoney) 테이블은 안동과 라바트 건물에 대한 최적의 실내 기후를 도출하기 위해 일부 기후 지표를 진단한 결과를 토대로, 동일한 성능 사양 및 설계 권장사항을 제공하고 있다. 마호니(Mahoney) 테이블이 권장하는 건물의 방향은 북향이다(장축-동서방향). 그 이유는 태양광의 투과 때문이지만 건물 방향 자체는 주로 주위환경에 따라 달라지며 때때로 그러한 선택을 제한하기도 한다. 또한, 마호니(Mahoney) 테이블에 의하면 벽과 지붕이 경량, 짧은 시간 간격, 낮은 열용량을 가지는 것이 바람직하며, 기보니(Givoni)/조콜라이(Szokolay) 생태기후도에 의하면 높은 열질량 자체는 권장하지 않는다. 그러나 라바트 또는 안동에서 건물의 열적 성능 시뮬레이션을 조사하여 어느 것(중량 또는 경량 요소)을 적용하는 것이 더 나은지를 조사해야 한다. 표 1에 각 현장에 대해 얻은 마호니(Mahoney)의 권장사항을 요약하여 나타내었다.

요소	권장사항	
	안동	라바트
배치	남북 방향(장축 동서 방향)	남북 방향(장축 동서 방향)
간격	뜨거운 바람과 차가운 바람으로부터 보호하기 위한 열린 공간	토지의 조밀한 배치
공기 움직임	단일 열 형태의 방. 공기 이동을 위한 영구적 공급	방은 공기 이동을 위한 임시 설비와 이중 열 형태로 배치되어야 한다.
개방된 부분의 크기	중간, 벽 면적의 25~40%	중간, 벽 면적의 25~40%
개방된 부분의 위치	남쪽 및 북쪽 벽면, 바람이 불어오는 방향의 사람 키 높이	남쪽 및 북쪽 벽면, 바람이 불어오는 방향의 사람 키 높이, 내부 벽면도 마찬가지
벽면 및 바닥	경량, 짧은 시간 간격, 낮은 열용량	경량, 짧은 시간 간격, 낮은 열용량
지붕	경량, 단열재	경량, 단열재
외부 형상	적절한 빗물 배수시설	-

표 1 안동-라바트 건축설계를 위한 마호니(Mahoney) 권장사항에 대한 요약 1

The Givoni/Szokolay bioclimatic charts of Andong and Rabat were created by plotting the temperature and relative humidity as shown in Figures 11-12. Climate analysis using the Szokolay and Givoni Bioclimatic charts recommends almost the same for each city.

For Andong, natural ventilation is the easiest and most inexpensive method of a passive strategy in hot and humid areas for June and September months. It aims to attain an adequate level of fresh air by changing the outside and inside air through an opening. The charts also recommend dehumidification devices during July and August and heating for cold season. Only two months (April and October) need internal gains to achieve comfort.

According to the Rabat Givoni/Szokolay bioclimatic diagrams, the comfort zone can be extended to obtain a comfortable indoor climate using passive methods -internal gains- during the winter months. The diagrams show that, because of the mild climate in Rabat, ventilation is enough during the summer although the buildings must be designed with good ventilation possibilities and protection against solar radiation during the summer months.

Based on a diagnosis of some climatic indicators, the Mahoney tables give the same performance specifications and the design recommendations for buildings in Andong and Rabat in order to have a best indoor climate. The building orientation recommended by the Mahoney Tables is north-south (long axis from east to west). This orientation is due to solar penetration but the building orientation itself largely depends on the surrounding environment, which occasionally limits such a choice. In addition, Mahoney Tables proposed a light, short time-lag, low thermal capacity for the walls and the roof and Givoni/Szokolay bioclimatic charts also did not recommend a high thermal mass material as the passive strategy. However, the simulation of buildings' thermal-performances is better to investigate which is better (heavy weight or light elements) to be applied in Rabat or Andong. Table 1 summarizes the Mahoney's recommendations obtained for each site.

Elements	Recommendations	
	Andong	Rabat
layout	orientation north and south (long axis east-west)	orientation north and south (long axis east-west)
spacing	open spacing for protection from hot and cold wind	compact layout of estates
air movement	Rooms single-banked. Permanent provision for air movement	rooms should be double banked, with temporary provision for air movement
size of openings	medium openings, 25-40 % of wall area	medium openings, 25-40 % of wall area
position of openings	in north and south walls, at body height on windward side	in north and south walls, at body height on windward side, openings also in internal walls
walls and floors	light, short time-lag, low thermal capacity	light, short time-lag, low thermal capacity
roofs	light, well insulated	light, well insulated
external features	Adequate rainwater drainage	-

Table 1 Summary of Mahoney's Recommendations for building design in Andong and Rabat

생태기후도, 기보니(Givoni)

위치 안동
경도(°) 128
위도(°) 36
고도(m) 129

기후 데이터

월 평균	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
최고 온도	2	6	11	18	24	28	30	30	26	20	12	4
최저 상대습도	62	59	54	57	58	64	75	73	74	73	70	66
압력	437	551	708	1175	1729	2417	3179	3095	2485	1705	981	536
최저 온도	-5	-1	4	11	18	22	25	25	20	13	6	-3
최대 상대습도	82	79	74	77	78	84	95	93	94	93	90	86
압력	346	449	602	1010	1608	2219	3007	2943	2196	1391	841	422

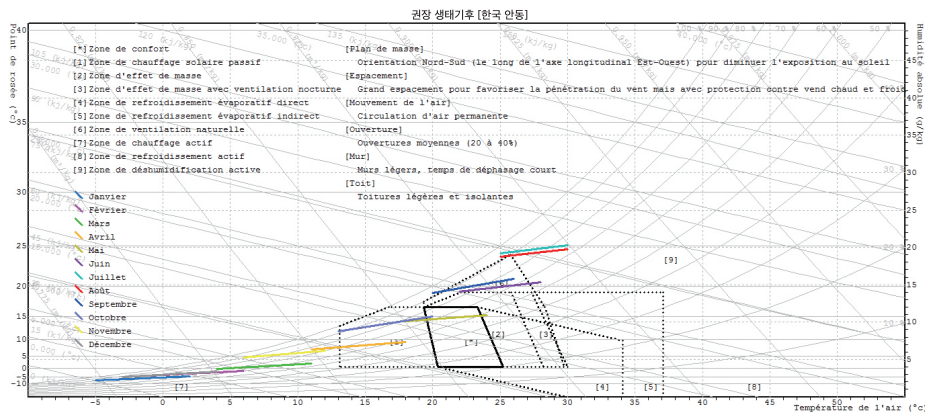
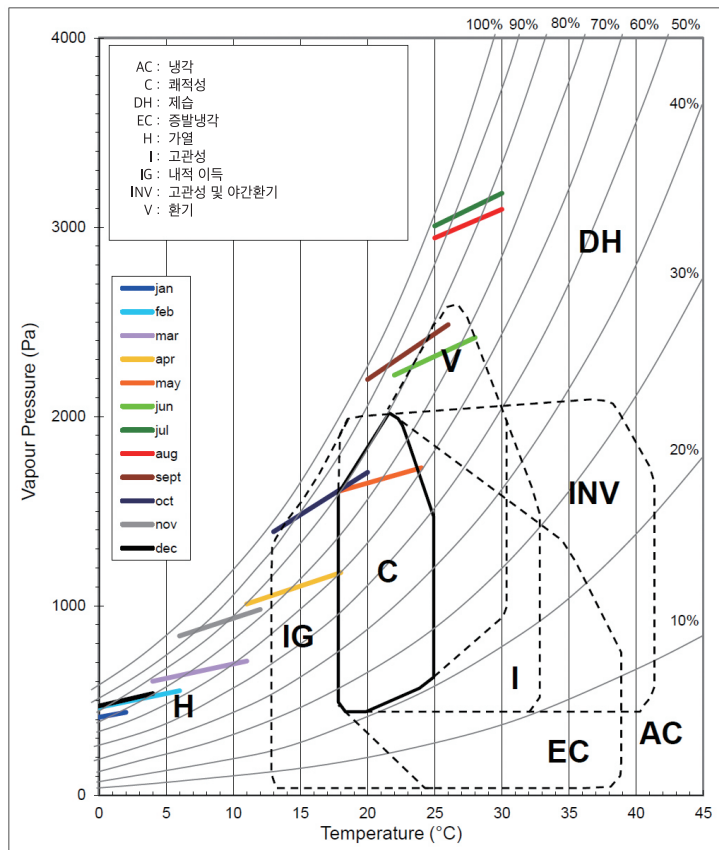


그림 11 안동 기보니(Givoni) 및 조콜라이(Szokolay) 생태기후도(Awrach)

Bioclimatic Diagram (Givoni)

Location **ANDONG**
Longitude (°) 128
Latitude (°) 36
Altitude (m) 129

Climatic data

Monthly mean...	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
Max. temp (°C)	2	6	11	18	24	28	30	30	26	20	12	4
Min RH (%)	62	59	54	57	58	64	75	73	74	73	70	66
Pressure (Pa)	437	551	708	1175	1729	2417	3179	3095	2485	1705	981	536
Min temp (°C)	-5	-1	4	11	18	22	25	25	20	13	6	-3
Max RH (%)	82	79	74	77	78	84	95	93	94	93	90	86
Pressure (Pa)	346	449	602	1010	1608	2219	3007	2943	2196	1391	841	422

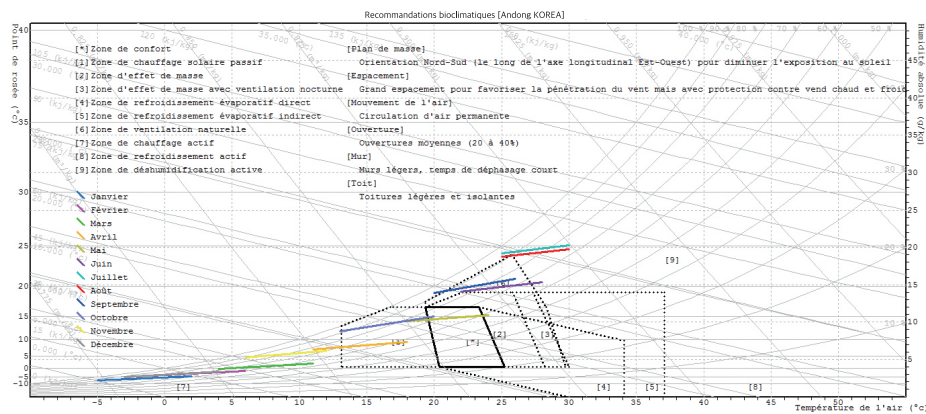
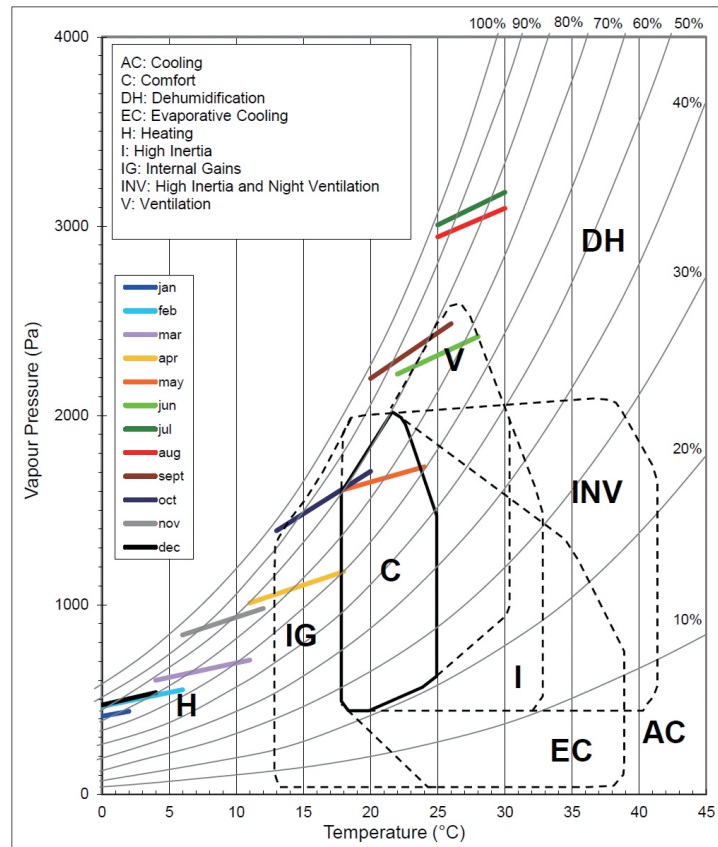


Figure 11 Andong Givoni and Szokolay bio climatic diagrams (Awrach)

생태기후도, 기보니(Givoni)

위치 리바트
경도(°) 6
위도(°) 34
고도(m) 75

기후 데이터

월 평균	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
최고 온도	17	17.7	19.1	20.1	22.5	25	26.7	27.1	26.1	23.9	20.4	17.4
최저 상대습도	58	59	42	54	51	52	58	55	60	49	48	55
압력	1123	1194	928	1269	1389	1646	2030	1971	2027	1452	1149	1092
최저 온도	8.1	8.5	9.4	10.3	12.8	16.2	17.3	17.5	16.4	13.9	10.9	8.6
최대 상대습도	95	96	94	94	92	94	93	94	95	96	96	96
압력	1025	1064	1108	1176	1359	1729	1835	1878	1770	1523	1251	1072

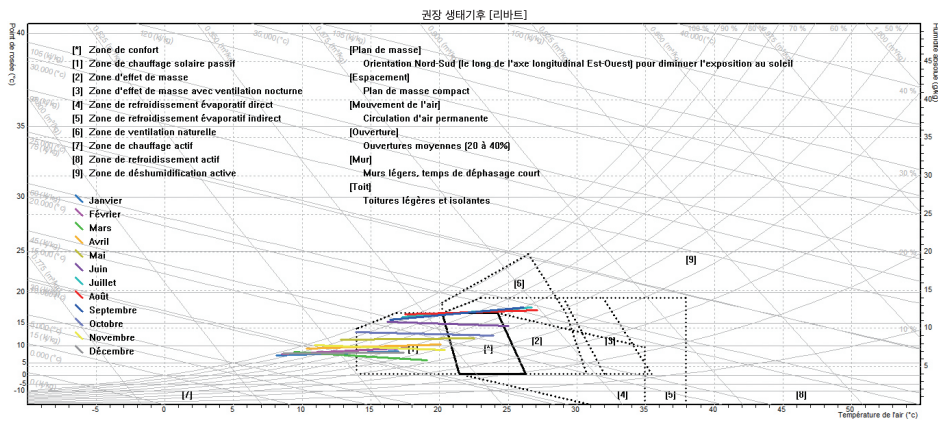
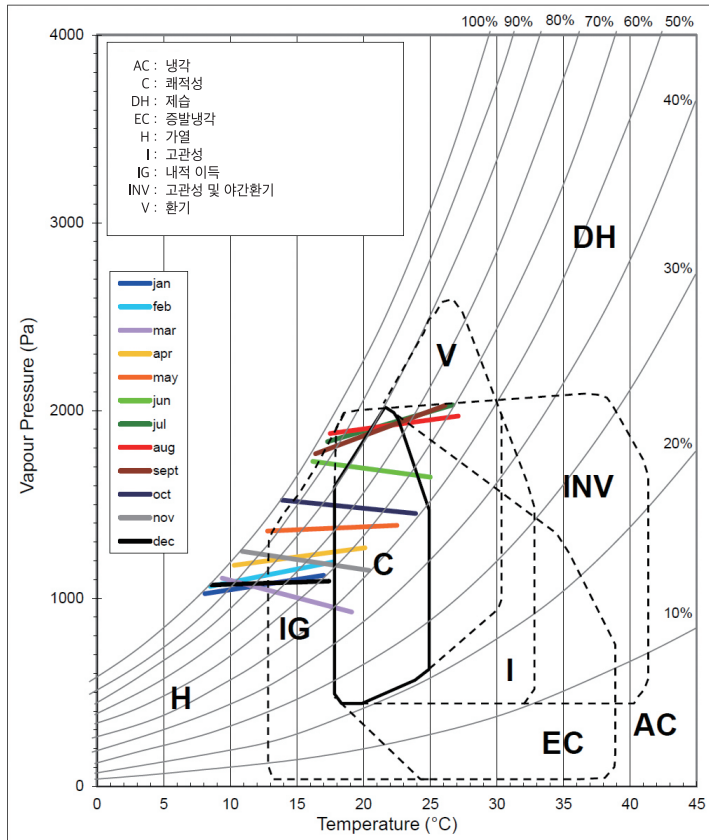


그림 12 리바트 기보니(Givoni) 및 조콜라이(Szokolay) 생태기후도(Awrach)

Bioclimatic Diagram (Givoni)

Location **Rabat**
Longitude (°) 6
Latitude (°) 34
Altitude (m) 75

Climatic data

Monthly mean...	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
Max. temp (°C)	17	17.7	19.1	20.1	22.5	25	26.7	27.1	26.1	23.9	20.4	17.4
Min RH (%)	58	59	42	54	51	52	58	55	60	49	48	55
Pressure (Pa)	1123	1194	928	1269	1389	1646	2030	1971	2027	1452	1149	1092
Min temp (°C)	8.1	8.5	9.4	10.3	12.8	16.2	17.3	17.5	16.4	13.9	10.9	8.6
Max RH (%)	95	96	94	94	92	94	93	94	95	96	96	96
Pressure (Pa)	1025	1064	1108	1176	1359	1729	1835	1878	1770	1523	1251	1072

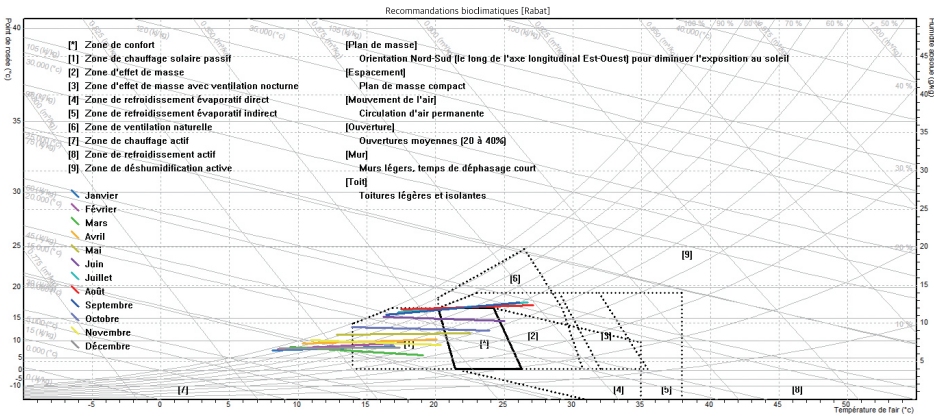
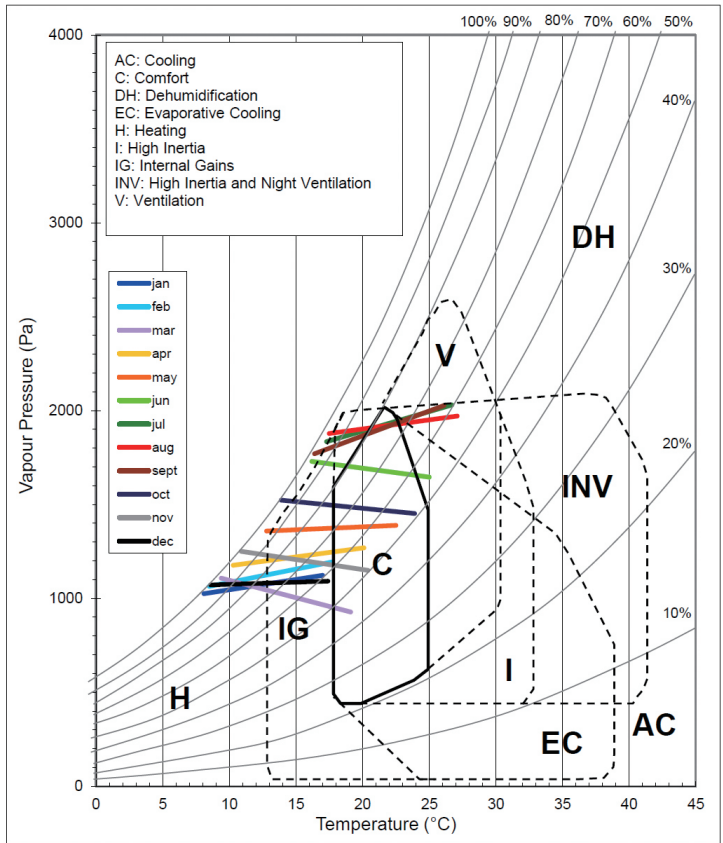


Figure 12 Rabat Givoni and Szokolay bio climatic diagrams (Awrach)

사례 연구

위에서 기술한 도구를 활용한 안동과 라바트 건축설계를 위한 기후의 분석은 제한적이기 때문에, 본 논문에서는 안동 및 라바트의 주거용 주택의 설계 전략을 조사하여 기후에 적합한 설계 전략의 수립을 목표로 하였다.

한국 안동 임청각 : 건축학적 설명

안동은 전통 가옥을 포함한 여러 가지 문화유산이 잘 보존된 지역이다. 이들 주택 중 일부는 전통 건축물과 마을의 생활을 보여주는 생활 박물관으로 개발되었으며, 전통 문화재에서 하루 이틀 정도 지내며 생활 공간을 체험할 수 있는 '한옥 숙박체험' 서비스를 제공하고 있다. 안동과 경주 문화 유산 중에서도 특히 안동의 임청각을 방문한 것은 정말 좋은 경험이었다.

임청각은 다음과 같은 역사를 가지고 있다. 임청각은 1515년(조선왕조 중종 10년)에 축조되었으며 대한민국 상해임시정부의 3대 대통령인 이상룡이 거주한 집이다. 이 집은 영남산의 동쪽 기슭에 위치하고 있으며 낙동강을 마주보고 있다. 풍수이론에 의하면 이집은 전형적인 배산임수 지형에 위치하고 있다.[10]

“보존된 상태가 좋아 보물로 지정된 군자정은 원래 임청각 가옥의 별채였다. 건물 중앙에 남향의 현관을 포함하여 4개의 방이 있으며 서쪽에는 T자 모양의 온돌방이 있다.” [10].

임청각의 각 건물은 영남산의 각기 다른 높이의 지대에 지어졌기 때문에 각 방에 햇볕이 잘 드는 구조를 갖추고 있다.



그림 13 임청각 건물 [11]

건물 규모에 있어 실내 열적 쾌적성과 에너지 절약에 영향을 미치는 가장 중요한 설계 매개변수는 건물의 형태 및 배치, 건물 외관 설계, 건축 자재 및 광학, 그리고 건물 외관의 열-물리학적 특성을 들 수 있다. 이러한 변수들 중에서 가장 중요한 것은 건물 외장 설계이다.

Case studies

As climatic analysis for building design in Andong and Rabat utilizing the tools described above is limited, this paper aims to investigate a design strategy for residential houses in Andong and Rabat that will be appropriate for the climate.

Imcheonggak House in Andong, South of Korea: architectural description

Andong is home to several well-preserved cultural heritages including traditional houses. Some of these houses have been developed into living museums of traditional architecture and village life. They offer "Hanok stay" bed-and-breakfast services that allow visitors to spend a night or two in a heritage building and to experience the living spaces. It was really nice to visit the cultural heritages in Andong and Gyeongju cities and particularly the Imcheonggak House in Andong.

Imcheonggak is one such home. "It was built in 1515 (the 10th year of the reign of King Jungjong of the Joseon Dynasty, and was also inhabited by Lee Sang-ryong, the third president of the Provisional Government of the Republic of Korean in Shanghai. The house is located on the eastern slope of Yeongnamsan Mountain and faces the Nakdonggan River, in what is, according to feng shui theory, a propitious south-facing site with mountain to its rear and a river flowing before it" [10].

"Designated as a treasure in recognition of its well-preserved state, Gunjojeon Pavilion was the detached quarters of Imcheonggak House. It has four rooms, including a south-facing vestibule at the center of the building, and a Tshaped room with a Koran under the floor heating system in the western part" [10].

Each of the buildings of Imcheonggak is built at a slightly different elevation on Yeongnamsan Mountain, providing each room with plenty of sunlight.



Figure 13 Imcheonggak buildings [11]

The most important design parameters affecting indoor thermal comfort and energy conservation in building scale are building form and layout, building envelope design, building materials and optical and thermo-physical properties of the building envelope. Among these parameters, building envelope design, as it separates the outdoor and indoor environment, is the most important.



그림 14 ICOMOS-ISCARSAH 안동 워크숍

모로코의 라바트 메디나에 있는 전통적인 중정형 주택 모델 : 매개변수 모델링

DEROB[12]는 건물의 동적 에너지 반응의 약어로서, 열적 시뮬레이션 모델링에 사용되어온 모델링 방법이다. 계산은 지정된 시뮬레이션 기간 동안의 각 시간에 대해 동적인 방법으로 수행되며, 이는 실외 온도, 일사량 및 대기 온도 등과 같은 기후적 요인의 영향을 받는다. 건물 실내의 기후적 특성은 이러한 시뮬레이션 결과를 토대로 계산할 수 있다.

사례 연구로 사용되는 전통 주택 모델의 실험구 표면적은 88m²(폭 11m, 길이 8m)이며 높이는 3.5m이지만 시뮬레이션 모델링에서는 변수로 적용된다. 모든 건물의 외관정면(거리, 뒤뜰을 마주보거나 또는 기타 건물에 인접한)의 배치 방향 또한 변수이다.

개방된 부분의 경우, 창문의 전체 면적은 2.16m²이고 건물의 외관정면의 비율은 약 6.85%이다. 문의 전체 면적은 8.4m²이다. 그림 15와 표 2에 사례 연구로 사용되는 전통적인 주택 모델에 대한 설명을 나타내었다.



그림 15 전통적인 중정형 주택 모델 계획



Figure 14 ICOMOS-ISCARSAH workshop, Andong

Traditional courtyard house model in Rabat Medina, Morocco: Parametric modelling

DEROB [12], which is an acronym for dynamic energy response of buildings, has been used for thermal simulation modelling. The calculations are performed in a dynamic way for each hour during a specified period of simulation, and they are influenced by climatic factors such as outdoor temperature, solar radiation and the sky temperature. Properties for the indoor climate of the building can be calculated based on these simulated results.

The Plot size surface of the traditional house model used as a case study is 88m² (11m of width and 8m of length) and the height is of 3.5m but it is variable for simulation modelling. Orientation of all façades (facing street, backyard or adjacent to other buildings) is also variable.

Regarding the openings, the total area of the window size is 2.16m² and the percentage of the façade is about 6.85 %. The total area of the doors is of 8.4m². Figure 15 and Table 2 give the description of the traditional house model used as a case study.

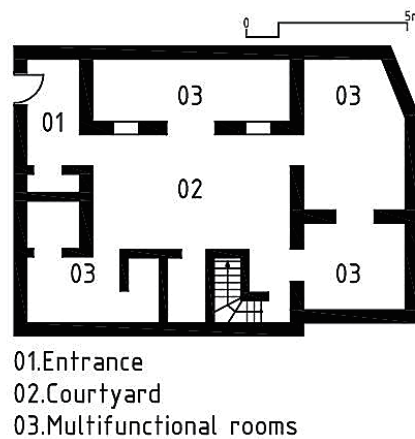


Figure 15 Plan of the traditional courtyard house model

불투명 재료	이름		전도도	비열	밀도	
	다진 흙 / 흙벽돌		0.80	0.20	2000	
	흙		1.40	0.22	1300	
	모래		0.40	0.24	1700	
	진흙-40% 모래와 혼합		1.20	0.23	2000	
	회반죽		0.80	0.24	1700	
	석고		0.35	0.30	900	
	석회 시멘트		1.00	0.24	1800	
	시멘트 모르타르		0.93	0.29	1800	
	유약벽돌 / 세라믹		0.80	0.24	1900	
	목재		0.16	0.70	700	
	광물 양모		0.04	0.24	50	
벽 / 바닥 / 방	기존 벽 / 바닥 / 지붕		두께(MM)	이름		
	기초 지면	500		흙		
		15		회반죽		
		200		진흙 - 40% 모래와 혼합		
		15		시멘트 모르타르		
		15		유약벽돌 / 세라믹(흡수율 40%)		
	건물 외관정면 및 방벽	15		회반죽(흡수율 20%)		
		500		다진 흙 / 흙벽돌		
		20		석고(흡수율 20%)		
	단열벽	500		광물 양모		
		250		다진 흙 / 흙벽돌		
		20		석고(흡수율 20%)		
	바닥 및 지붕 구조	15		다진 흙 / 흙벽돌		
		15		시멘트 모르타르		
		150		진흙 - 40% 모래와 혼합		
		25		모래		
		15		회반죽		
130		목재(흡수율 60%)				
문		35	목재			
창문	유리유형	데이터 유형	전면방사율	우면방사율	투과율	반사율
		유리유형(프레넬 유리) 보통 투과율 및 반사율	83.7%	83.7%	83.0%	7.0%
	창문유형	판유리	유리		두께	
		1	CLEAR 4		14MM	

표 2 재료에 대한 설명

OPAQUE MATERIALS	NAME		CONDUCTIV ITY(W/MK)		SPECIFIC HEAT(WH/KGK)		DENSITY(KG/M³)	
	RAMMED EARTH / PISE		0.80		0.20		2000	
	EARTH		1.40		0.22		1300	
	SAND		0.40		0.24		1700	
	CLAY MIXED WITH 40% SAND		1.20		0.23		2000	
	LIME PLASTER		0.80		0.24		1700	
	PLASTER		0.35		0.30		900	
	LIME CEMENT PLASTER		1.00		0.24		1800	
	CEMENT MORTAR		0.93		0.29		1800	
	ZELLIGE / CERAMIC		0.80		0.24		1900	
	WOOD		0.16		0.70		700	
	MINERAL WOOL		0.04		0.24		50	
WALLS/FLOORS/ROOM	EXISTING WALLS/FLOOR/ROOF		THICKNESS(MM)		NAME			
	FOUNDATION GROUND		500		EARTH			
			15		LIME PLASTER			
			200		CLAY MIXED WITH 40% SAND			
			15		CEMENT MORTAR			
			15		ZELLIGE / CERAMIC ABSORPTIVITY 40%			
	FAÇADE AND ROOM WALL		15		LIME PLASTER ABSORPTIVITY 20%			
			500		RAMMEDEARTH / PISÉ			
			20		PLASTER ABSORPTIVITY 20%			
	ADIABATIC WALL		500		MINERAL WOOL			
			250		RAMMED EARTH / PISÉ			
			20		PLASTER ABSORPTIVITY 20%			
	FLOOR AND ROOF STRUCTURE		15		ZELLIGE / CERAMIC			
			15		CEMENT MORTAR			
			150		CLAY MIXED WITH 40% SAND			
			25		SAND			
			15		LIME PLASTER			
			130		WOOD ABSORPTIVITY 60%			
	DOOR		35		WOOD			
WINDOWS	GLASS TYPES	DATA TYPE		EMITT. FRONT	EMITT. BACK	TRANS – MITT.	REFL.	
		FRESNEL GLASS : NORMAL TRANSMITTANCE AND REFLECTIVITY.		83.7%	83.7%	83.0%	7.0%	
	WINDOW TYPES	PANE		GLASS		THICKNESS		
		1		CLEAR 4		14MM		

Table 2 Description of materials

기타 데이터로는 모델 가옥의 안방 두 개에 대한 환기 및 겨울과 여름(주야간의 환기) 동안의 내부 열적 부하 등이 포함된다. DEROB 모델링을 수행하기 위해, 건물의 수동 설계를 사용함으로써 라바트의 온화하고 습한 기후에서 안뜰을 둘러싼 공간들의 열적 거동을 분석하였다. 실내 기후를 개선하기 위하여 다양한 매개변수를 사용하여 다양한 시뮬레이션을 수행하였다. 공간 2와 3의 작용 온도(그림 16의 DEROB 모델)는 기후와 관련된 데이터와 프로젝트 설명에 제시된 모든 정보를 사용하여 여름철과 겨울철에 대한 시뮬레이션을 실시하였다.

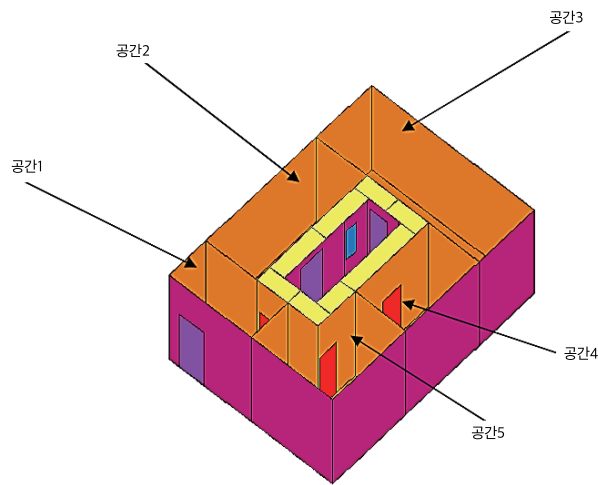


그림 16 5개의 공간이 있는 DEROB 모델

이들 실내의 작용 온도(공간 2 및 3)는 겨울철에 대해 먼저 시뮬레이션하였으며 그에 대한 변형은 다음과 같다.

- 건물의 외관정면 배치방향 : 방향은 일조권 때문에 특히 겨울철에 중요하다. 남향(사례 0), 동향(사례 1), 북향(사례 2) 서향(사례 3)의 네 가지 사례로 나누어 개별적으로 분석하였다. 다음 시뮬레이션 사례에서는 실내 기후를 개선하기 위해 다음과 같은 매개변수들을 함께 연구하였다.
- 차양 장치 : 전통 주택의 회랑은 안뜰 또는 파티오와 방들 사이의 순환 및 이동 공간이다. 겨울철에 비가 올 때 회랑 덕분에 비를 맞지 않고 이동할 수 있으며, 여름철에는 그늘을 만들어 강렬한 햇빛을 차단한다.
- 천장 높이 : 전통 주택의 방은 일반적으로 천장이 높다(3.0m 이상).
- 주위 환경 : 방향과 함께 폭 거리와 주변 높이에 대한 부지 배치를 분석하였다.
- 지붕/천장 및 벽의 단열 : 보다 나은 쾌적함을 위해 지붕과 벽의 단열은 중요하다. 벽에는 복합 단열판(목재-양모/광물-양모)을 사용하고 지붕에는 목재-양모 판재를 사용하였다.
- 공기 투과 : 환기는 쾌적성을 위한 중요한 요소이며, 특히 밤과 낮 동안의 환기가 중요하다.

Other data include air changes and internal heat loads during winter and summer (day and night ventilations) for both main rooms of the model house. To perform DEROB modelling, the thermal behavior of the volumes surrounding the courtyard is analyzed under Rabat temperate and humid climate using passive design of building. Different simulations were carried out using different parameters to improve the indoor climate. The operative temperatures in volumes 2 and 3 (DEROB model in Figure 16) are simulated during summer and winter using the climatic data and all information given in the project description.

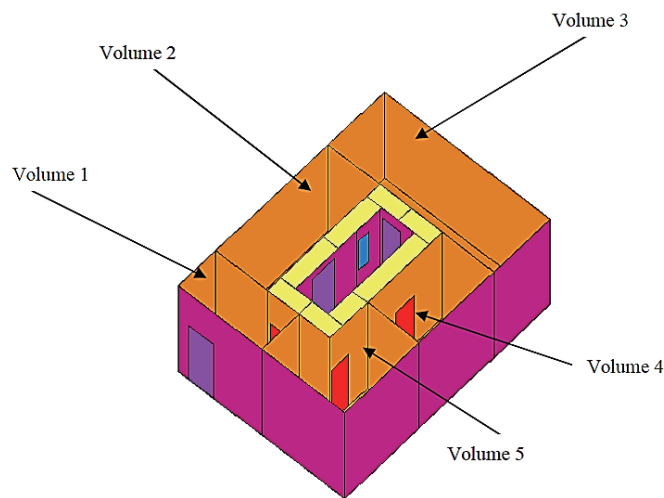


Figure 16 DEROB model with 5 volumes

The operative temperatures in these rooms (Volumes 2 and 3) are first simulated during winter and the variants are:

- The façade orientation: the orientation for solar access is important, especially in the winter. The four orientation cases, the façade facing to south (case 0), east (case 1), north (case 2) and west (case 3) were analyzed separately. Next simulation cases, the parameters were studied in combination in order to improve the indoor climate including:
- The shading devices: the gallery in the traditional house is a covered space of the circulation and the transition between the courtyard or patio and the rooms. In winter, the galleries make it possible to circulate when it is raining. In summer, the galleries create shade and become an obstacle for the intense sun rays access.
- The ceiling height: the traditional house rooms have generally a high ceiling height (more than 3.0 m).
- The surroundings: the site layout in terms of the width street and the surroundings height were analyzed in combination with the orientation.
- The roof/ceiling and walls insulation: thermal insulation of the roof and the walls is also important for better comfort. Composite insulating panels (wood-wool/mineral-wool) for walls and wood-wool slabs for roof were used.

겨울철 매개변수 모델링 프로세스는 기준 사례인 사례 0에서부터 시작되며, 저녁 및 밤 동안의 환기 시간을 줄임으로써 얻어지는 가능한 최적의 결과를 얻기 위해 상기의 매개변수를 변경한다.

기준 사례(사례 0) 및 최적의 솔루션(사례 15)에 대한 공간 2 및 3(주택의 주요 방)의 작용 온도를 그림 17 및 18에 나타내었다.

또한방향과 관련한 경우들(남향, 동향, 북향, 서향의 외관정면)과 안뜰의 차양 장치 사이에는 겨울철 실내 기후의 차이가 거의 없었다. 실제로 이러한 방향은 이 주택 모델과 동일하지만 북향은 천장 높이를 감소시킴으로써 실내 온도를 높일 수 있다. 이 경우 북향은 방(공간 2 및 3)에 서쪽과 북쪽에 창이 있다는 것을 의미한다. 그 다음, 두 개의 안방의 실내 기후를 온화하게 유지하기 위해 북향인 건물의 외관정면을 최적의 방향으로 정한다.

표 3은 기준 사례인 사례0~사례15(표 3의 노란색 박스)까지의 사례의 겨울철 매개변수 모델링과 관련된 결과를 보여준다. 사례 15는 매개변수 모델링 프로세스 중의 가능한 최적의 솔루션이고, 저녁과 밤 동안의 환기시간을 줄임으로써 얻을 수 있다. 천장 높이 감소시킨 사례10(표4의 파란색 박스)과 지붕 및 벽 단열재를 사용한 사례 14(표 4의 주황색 박스)를 결합한 것도 겨울철 매개변수 모델링의 결과중 하나이다.

사례	사례0	사례1	사례2	사례3
방향	외관정면 남향	외관정면 동향	외관정면 북향	외관정면 서향
차양 장치	사례4 = 사례0 + 안뜰에 차양장치 없음	사례5 = 사례1 + 안뜰에 차양장치 없음	사례6 = 사례2 + 안뜰에 차양장치 없음	사례7 = 사례3 + 안뜰에 차양장치 없음
천장 높이	사례8 = 사례0 + 천장 높이(3.0M)	사례9 = 사례1 + 천장 높이(3.0M)	사례10 = 사례2 + 천장 높이(3.0M)	사례11 = 사례E3 + 천장 높이(3.0M)
주위	-----	-----	사례12 = 사례10 + 폭, 거리, 주위 높이	-----
벽 단열	-----	-----	사례13 = 사례10 + 벽 단열	-----
바닥 단열	-----	-----	사례14 = 사례13 + 바닥 단열	-----
환기시간	-----	-----	사례15 공기 순환	-----

표 3 겨울철 매개변수 모델링

- The air infiltration: the ventilation is an important factor for comfort, especially during the night and day ventilations.

The winter parametric modelling process starts from case 0 which is the baseline case and consists in varying the above parameters to reach the best possible solution obtained by reducing the air changes hour during evening and night.

The operative temperature in the volumes 2 and 3 (the main rooms of the house) are displayed in figures 17-18 for the baseline case (case 0) and the best solution (case 15).

The winter indoor climate has also shown only small difference between the orientation cases (façade facing to the south, east, north and west) and the shading devices of the courtyard. Indeed, these orientations are equal for this house model while north orientation combining with the ceiling height reduction gives higher indoor temperatures. The north orientation in the present case means that the rooms (volume 2 and volumes 3) have west and north windows. The optimal orientation, the façade facing to the north, is then selected in order to have a moderate indoor climate in both main rooms.

Table 3 gives the results relating to winter parametric modelling: starting from case0 which is the baseline case to case15 (yellow box in table 3) which is the best possible solution found during the parametric modelling process and obtained by reducing the air changes hour during evening and night. Combining case10 (blue box in table 4) corresponding

CASES	CASES0	CASES1	CASES2	CASES3
ORIENTATION	FAÇADE FACING SOUTH	FAÇADE FACING EAST	FAÇADE FACING NORTH	FAÇADE FACING WEST
SHADING DEVICES	CASE4 = CASE0 + NO SHADING IN COURTYARD	CASE5 = CASE1 + NO SHADING IN COURTYARD	CASE6 = CASE2 + NO SHADING IN COURTYARD	CASE7 = CASE3 + NO SHADING IN COURTYARD
CEILING HEIGHT	CASE8 = CASE0 + CEILING HELGHT (3.0M)	CASE9 = CASE1 + CEILING HELGHT (3.0M)	CASE10 = CASE2 + CEILING HELGHT (3.0M))	CASE11 = CASE3 + CEILING HELGHT (3.0M)
SURROUNDINGS	-----	-----	CASE12 = CASE10 + WIDTH STREET, SURROUNDI NGS HEIGHT	-----
WALLS INSULATION	-----	-----	CASE13 = CASE10 + WALLS INSULATION	-----
ROOF INSULATION	-----	-----	CASE14 = CASE13 + ROOF INSULATION	-----
ACH	-----	-----	CASE15 AIR CHANGES	-----

Table 3 Winter parametric modelling

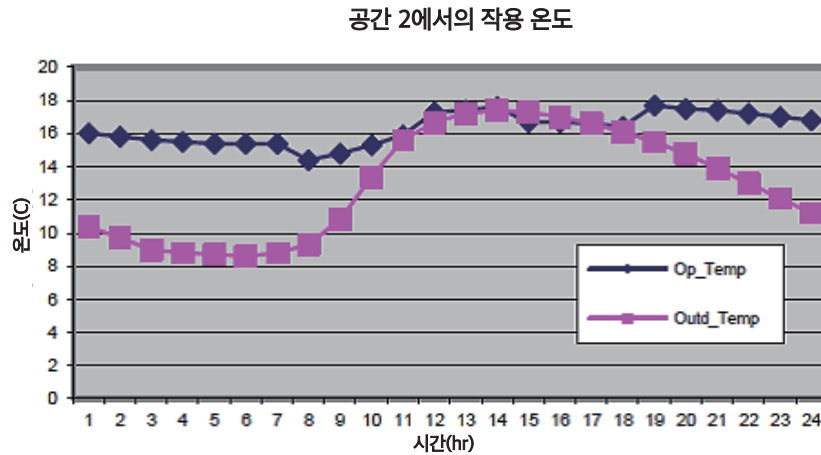


그림 17 공간 2의 12월 중 작용 온도(사례 0)

보다 나은 쾌적성을 위해서는 지붕과 벽의 단열도 중요하다. 벽과 지붕 천장에 다음과 같은 추가적인 단열재를 고려했다. 벽의 경우 복합 단열재(목재 / 광물 양모)를 사용한 50mm의 내부 단열층, 지붕의 경우 목재 양모 판재를 사용한 30mm의 외부 단열층을 추가적인 단열재로 고려하였다. 겨울철에는 이러한 유형의 단열이 이전 사례의 경우에서보다 성능면에서 우수한 것으로 나타났다.

쾌적성과 관련된 기타 중요한 요소로는 공기 투과, 특히 겨울철 동안 실내 기후를 개선하는데 유용한 주간 환기를 들 수 있다. 그림 18의 작용 온도는 저녁과 밤 동안 환기시간(ACH)을 줄일 경우의 환기 효과를 나타내며, 온도가 3도 상승하는 중요한 결과를 얻을 수 있었다. 마지막으로 사례 15는 겨울철 매개변수 모델링 프로세스에서 얻을 수 있는 최고의 솔루션이다.

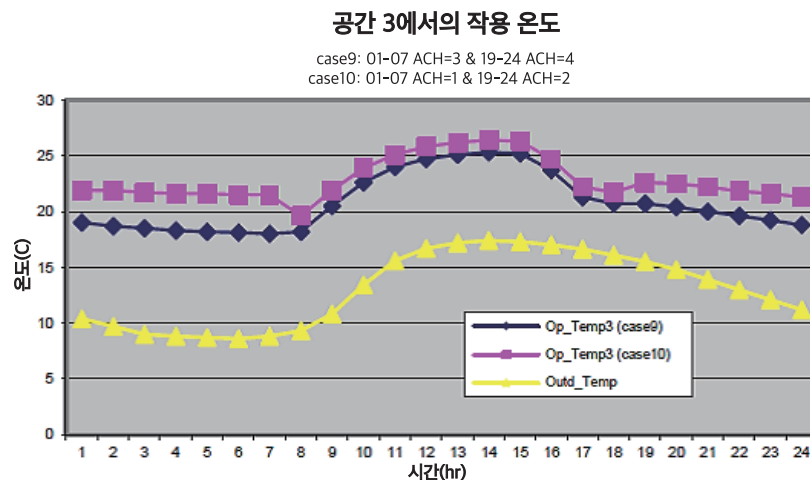


그림 18 12월 중 공간 3의 작용 온도 및 환기 시간 감소(사례 15)

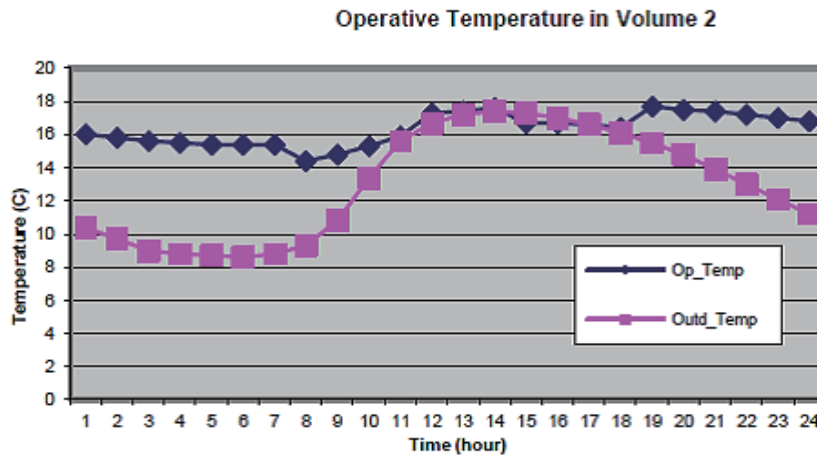


Figure 17 Operative temperature in volume 2 during December (case 0)

to reduction of the ceiling height with case 14 (orange box in table 4) using roof and walls insulation.

Thermal insulation of the roof and the walls is important for a better comfort. We considered walls and roof ceiling with additional insulation: an inner insulated layer of 50 mm using composite insulating panels (wood wool / mineral wool) for walls and an outer insulated layer of 30 mm of wood wool slabs for the roof. In wintertime, this type of insulation gives a better performance than the previous cases.

Another important factor related to comfort is the air infiltration, especially the day ventilation which is useful to improve the indoor climate during the winter. Operative temperatures in figure 18 show the effect of the ventilation when reducing the ach during evening and night. An important increasing of 3 degrees is observed. Finally, the case 15 is the

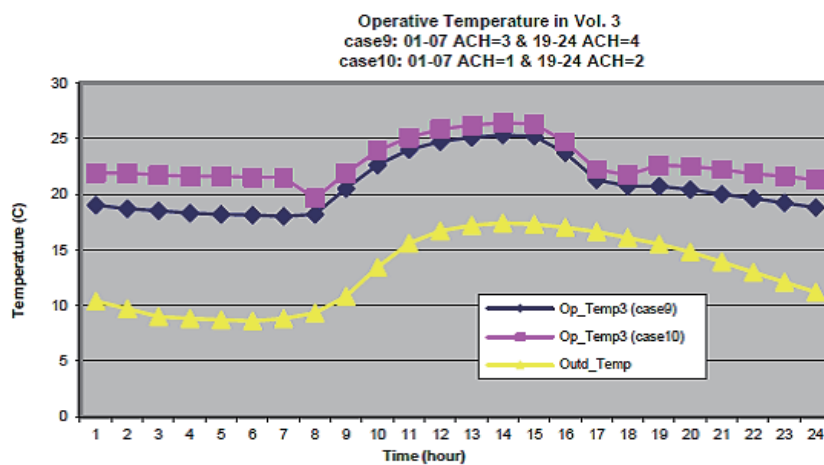


Figure 18 Operative temperature in volume 3 and air changes hour reduction during December (case15)

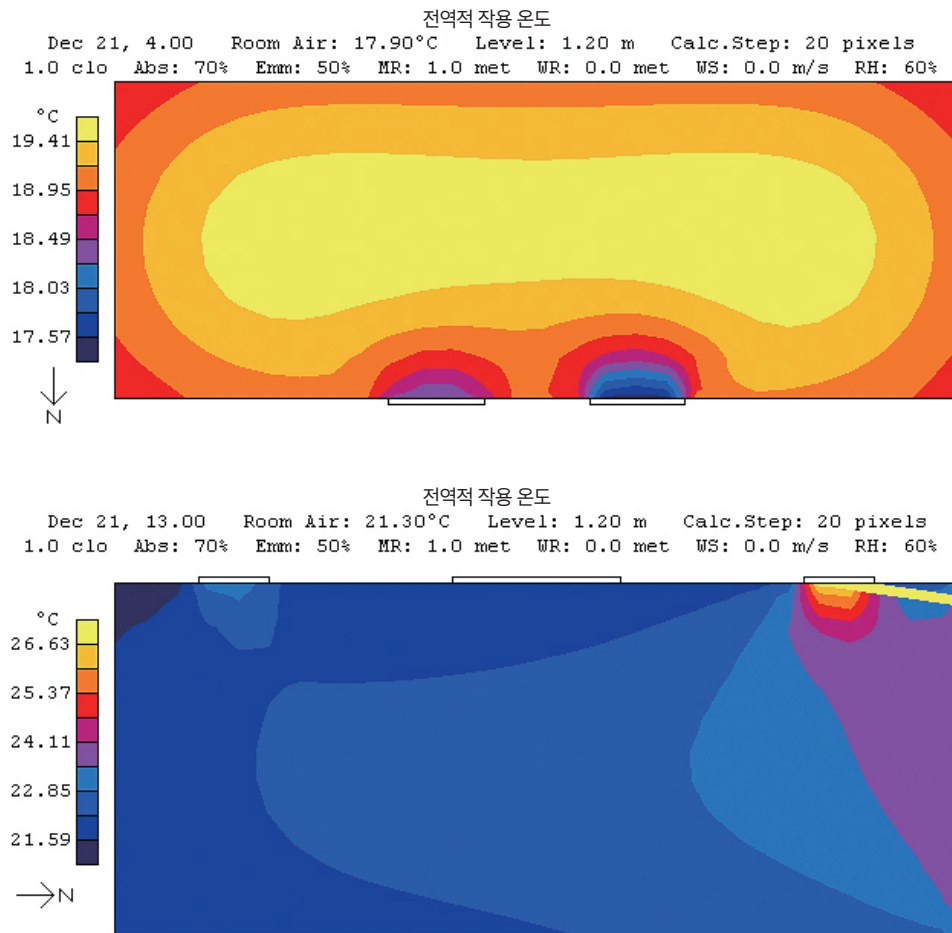


그림 19 야간 및 주간 동안 공간 2 및 3의 전역적 작용 온도(겨울철)

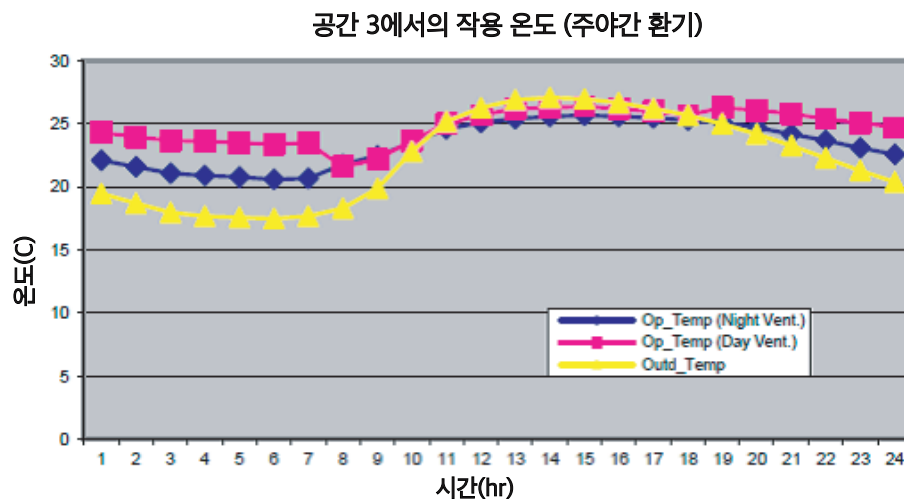


그림 20 공간 3의 작용 온도 및 환기, 8월(사례 19 및 사례 20)

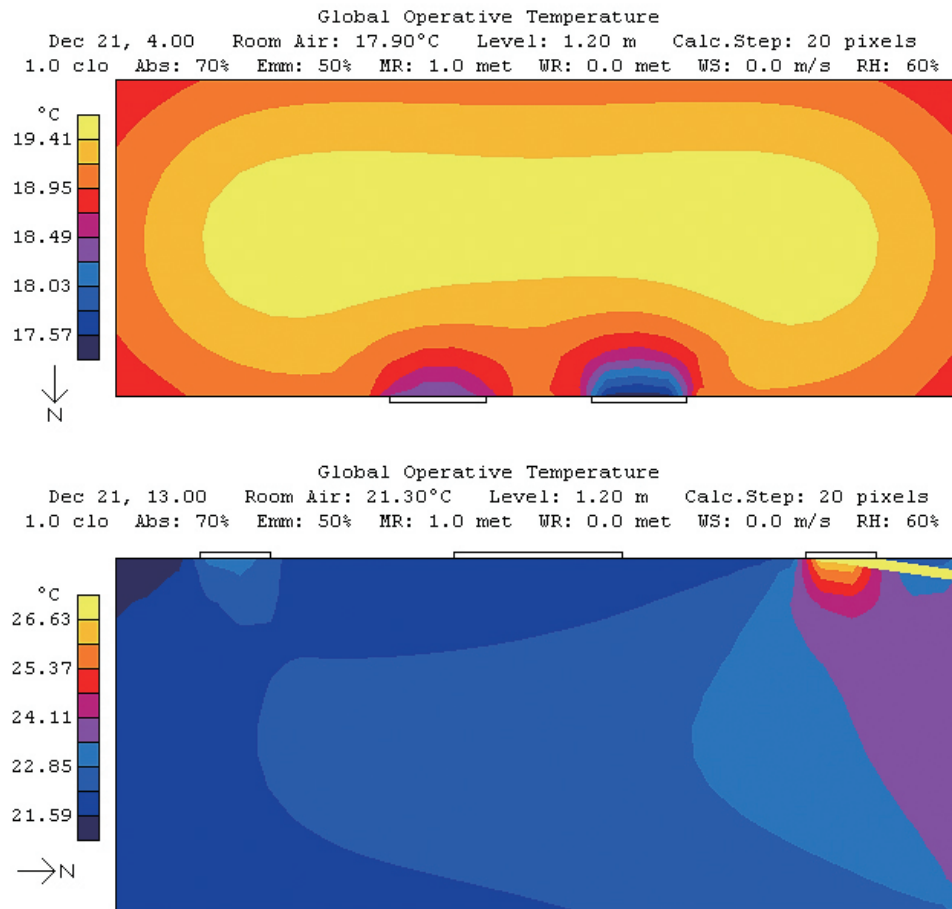


Figure 19 Global operative temperature in volumes 2 and 3 during night and day times (winter)

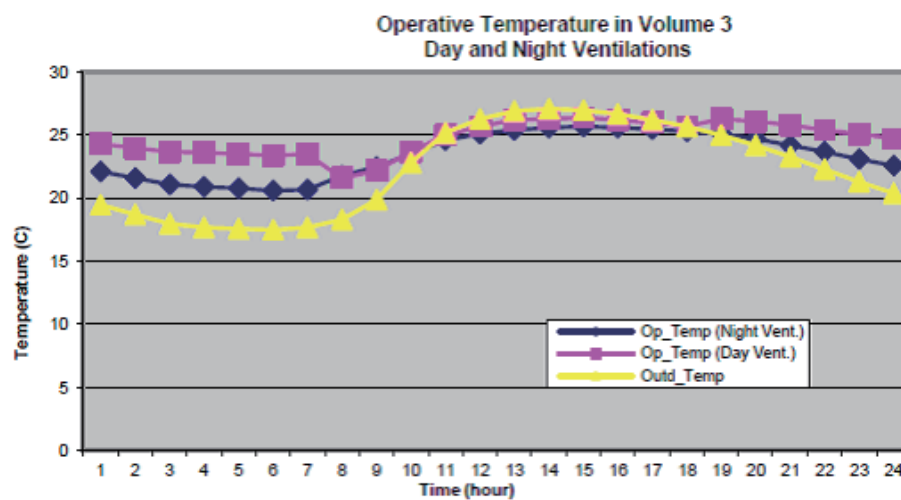


Figure 20 Operative temperature in volume 3 and ventilation, August (cases 19 and 20)

그런 다음 여름철의 공간 2와 3의 작용 온도를 시뮬레이션하고 천장 높이, 안뜰의 차양 장치 그리고 주야간의 환기 측면에서의 공기 투과 등과 같은 매개변수의 영향에 대해 연구하였다.

표 4는 여름 매개변수 모델링과 관련하여 다음과 같은 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 사례 16부터는 겨울철에 얻어진 사례 15와 유사한 기준 사례이지만, 여름철에는 구체적인 환기시간 값을 갖는다.

사례	-----	-----	사례16	-----
천장 높이			사례17 = 사례16 + 천장 높이(3.5M)	
차양 장치	-----	-----	사례18 = 사례17 + 폭 / L=1.0M	-----
환기 시간 주간 환기			사례19 = 사례18 + 주간 환기	
환기 시간 야간 환기	-----	-----	사례20 = 사례18 + 야간 환기	-----

표 4 여름철 매개변수 모델링

겨울철에는 실내 온도를 최대한 높이기 위해 밤에는 안방을 닫고 낮에는 열어야 한다. 여름철에는 반대의 전략(야간 환기)이 필요하다. 사례 20은 야간 환기 옵션을 선택하고 안뜰에 있는 차양 장치의 천장 높이와 치수를 늘려서 얻을 수 있는 최상의 솔루션인 것으로 보인다.

best possible solution obtained in the winter parametric modelling process.

The operative temperatures in volumes 2 and 3 are then simulated during summer and the influence of the following parameters is studied: the ceiling height, the shading devices of the courtyard and the air infiltration in terms of day and night ventilations.

Table 4 gives the simulation results relating to summer parametric modelling: starting from case 16, which is the baseline case similar to the case15 obtained in winter, but with specific ach values for summer.

CASES	-----	-----	CASE16	-----
CEILING HEIGHT			CASE17 = CASE16 + CEILING HEIGHT(3.5M)	
SHADING DEVICES	-----	-----	CASE18 = CASE17 + WIDTH OF L=1.0M	-----
ACH DAY VENTILATION			CASE19 = CASE18 + DAY VENTILATION	
ACH NIGHT VENTILATION	-----	-----	CASE20 = CASE18 + NIGHT VENTILATION	-----

Table 4 Summer parametric modelling

During winter, the main rooms should be closed at night and open during the day to maximize the indoor temperatures. The reversed strategy (night ventilation) should be used in the summer. Case 20 seems to be the best possible solution obtained by increasing the ceiling height and the dimension of the shading device in the courtyard and by adopting the option of the night ventilation.

결론

중정형 건물의 열적 성능에 상당한 영향을 미치는 세부적인 요인으로는 기후조건, 건물의 형태 또는 높이, 방향 및 내부 하중, 건물의 높이, 벽에 대한 창의 비율, 유리의 형태, 단열수준 등을 들 수 있다. 기존의 중정형 건물 시스템을 최적화하기 위해서는 열적 시뮬레이션을 토대로 한 추가적인 연구가 필요하다.

우리는 생태기후적 분석을 통해, 모로코의 라바트 및 한국의 안동 두 도시에서 주거지에 대한 수동적 설계에서 긍정적인 요소로 간주될 수 있다는 결론을 얻었다. 이들 지역에서 전통적인 중정형 주택을 유지하면서 에너지 효율을 개선하고 실내의 쾌적성을 충족시키기 위해서는 다음과 같은 몇 가지 전략들을 고려할 필요가 있다.

- 건물을 북향 및 남향의 외관정면과 평행한 축 방향으로 늘린다. 권장하는 건물의 방향은 북향이다(장축-동서방향).
- 개방된 부분의 크기를 중간, 즉 벽면 면적의 25-40%로 모델링한다.
- 지붕과 벽의 단열재를 늘리고 이러한 건축 요소에 대한 경량화 및 낮은 열용량 또는 무거운 중량이 되도록 제안한다.

그러나 라바트에서 구현하게 될 중정형 주택의 열적 시뮬레이션을 토대로 한 일반적인 고려사항은 다음과 같다.

- 공기를 줄임으로써 겨울철 저녁과 밤 시간에 공기가 바뀌어 공기의 개선 및 수분 환기에 필요한 최소 시간만 유지된다.
- 여름철 뜰의 차양장치의 치수 증가
- 더운 계절에는 저녁 시간대의 환기를 가능한 많이 늘리고 낮 시간대에는 환기율을 낮출 것을 권장한다.

이러한 측면을 고려했을 때, 전통적인 중정형 주택은 모로코와 한국 남부 지역의 환경 요인에 대해 보다 적절하게 대응한 것으로 보인다. 이 건축학적 유형론은 현재 건축가 및 설계자를 위한, 현대건축에서 새로운 도구들을 도입하고 건축물의 쾌적한 특성을 최적화하는 효과적인 솔루션을 제시한다.

CONCLUSIONS

There are series of details which have significant impact on thermal performance of courtyard building types such as climate conditions, building shape or height, orientation and internal loads, height of the building, window to wall ration, glazing type, the insulation levels and etc. It is evident that additional research based on thermal simulation is necessary to optimize the existing courtyard building systems.

We can conclude through the bioclimatic analysis that the courtyard can be considered a positive factor in the passive design of dwellings in both cities, Rabat in Morocco and Andong in South of Kora. In order to keep traditional courtyard house in these areas, while improving its energy efficiency and meeting the indoor comfort, some strategies should be taken into account by designers:

- Lengthening the building in the axis parallel to the north and south façades. The building orientation recommended is north-south (long axis from east to west).
- Moderating the openings size to the medium, 25-40 % of wall area.
- Increasing the insulation in the roof and the walls and proposing a light and low thermal capacity or heavy weight for these construction elements.

However, as general considerations based on thermal simulation for courtyard house to be implemented in Rabat for example:

- Reducing the air changes hour during evening and night during the winter, maintaining only the minimum time required for the air renovation and moisture ventilation.
- Increasing the dimensions of the shading devices of the courtyard during the summer.
- Increasing the night ventilation as much as possible and a low air changes rate is recommended during daytime in the hot season.

Considering these aspects, the traditional courtyard house shows better response to environmental factors in Morocco and South of Kora. This architectural typology represents for current architects and planners, an effective solution to optimize the comfort properties on the built and introduce new tools in contemporary architecture.

문헌 목록

- [1] Tabesh, T., Sertyesilisik, B. (2014). 안뜰의 열적 거동에 대한 조사. 공학 및 응용과학 분야에 대한 미국의 보고서 제3권 제2호
- [2] Etzion, Y. (1999). 고온건조지대 차양 장치가 없는 폐쇄형 중정에서의 열적 거동 건축과학 검토자료, 33. p. 79-83.
- [3] Meir, I.M. 및 Pearlmutter, D. (1992). 첨부된 중정 - 자산 또는 차변. 지중해 지역의 에너지 및 건축물에 관한 국제 학술회의 회보, 그리스 살로니키 p. 245-252.
- [4] Givoni, B. (1998). 건축물 및 도시설계에서의 기후적 고려사항. 뉴욕 : Van Nostrand Reinhold.
- [5] Szokolay, S.V. (2008). 건축과학 입문 지속가능한 설계의 기초
- [6] Abarkan, A. 및 Salama, A.M. (2000). 북아프리카의 중정형 주택 : 패러다임의 변화. ENHR 2000 학술회의, 스웨덴 예블레 21세기 주택, 분화 그리고 방향전환 p. 26-30.
- [7] Serrhini, F. (2016). Réhabilitation de la Médina de Fès. 운영전략(Stratégie opérationnelle). 페즈 : ADER-Fès 의 일반적인 방향(Direction Générale de l'ADER-Fès).
- [8] Brunzell, T. 및 Duric, S. (2012). 모로코의 건축, 전통 그리고 현대 - 모로코 카사블랑카의 현장에 관한 연구, 학사 논문 LTH 공과 대학, 룬트 대학교 주택개발관리학과
- [9] <https://weatherspark.com/y/142590/Average-Weather-in-Andong-South-Korea-Year-Round> (2018년 4월 15일)
- [10] 돌, 나무, 흙 건축의 구조 특성과 안전관리방안 국제워크숍 보고서. 국립문화재연구소
- [11] <http://www.imcheonggak.com/> (2018, April 23).
- [12] Kvist, H. (1999). MS 윈도우즈용 DEROB-LTH “사용자 매뉴얼”. 스웨덴 룬트 대학교 룬트 기술연구소 건축과학과

Bibliography

- [1] Tabesh, T., Sertyesilisik, B. (2014). An Investigation into the Thermal Behavior of Courtyards. American Transactions on Engineering & Applied Sciences. Volume 3 No.2.
- [2] Etzion, Y. (1999). The Thermal Behaviour of Non-Shaded Closed Courtyard in Hot, Arid Zones. Architectural Science Review, 33, p. 79-83.
- [3] Meir, I.M. and Pearlmutter, D. (1992). Attached Courtyard - Asset or Debit. Proceeding of International Conference on Energy and Buildings in the Mediterranean Area, Saloniki, Greece. p. 245-252.
- [4] Givoni, B. (1998). Climate Considerations in Building and Urban Design. New York : Van Nostrand Reinhold.
- [5] Szokolay, S.V. (2008). Introduction to Architectural Science. The Basis of Sustainable Design.
- [6] Abarkan, A. and Salama, A.M. (2000). Courtyard Housing in Northern Africa: Changing Paradigms. ENHR 2000 Conference, Gavle, Sweden. Housing in the 21st Century, Fragmentation and Reorientation. p. 26-30.
- [7] Serrhini, F. (2016). Réhabilitation de la Médina de Fès. Stratégie opérationnelle. Fez: Direction Générale de l'ADER-Fès.
- [8] Brunzell, T. and Duric, S. (2012). Moroccan Architecture, Traditional and Modern - A Field Study in Casablanca, Morocco. Bachelor Thesis. LTH School of Engineering; Housing Development & Management, Lund University.
- [9] <https://weatherspark.com/y/142590/Average-Weather-in-Andong-South-Korea-Year-Round> (2018, April 15)
- [10] The 1st ISCARSAH Workshop (2017). Workshop on the scope of the material and techniques. Stone, Wood and Earth. Seoul, Andong and Gyeongju, Korea. National Research Institute of Cultural Heritage.
- [11] <http://www.imcheonggak.com/> (2018, April 23).
- [12] Kvist, H. (1999). DEROB-LTH for MS Windows "User Manual". Department of Building Science, Lund Institute of Technology, Lund University, Sweden.

건축 상태에 관한 CIGALE 그룹의 간략한 감정(鑑定) 경주 - 첨성대

Bernd Mittnacht Dipl.-Ing (FH)

ISCARSAH(건축유산의 구조해석 및 수리복원 국제학술위원회)
info@mbi-ingenieure.de

Kurzgutachten der gruppe CIGALE Gyeongju-Cheomseongdae observatorium

Bernd Mittnacht Dipl.-Ing (FH)

ISCARSAH
info@mbi-ingenieure.de



건축 상태에 관한 CIGALE 그룹의 간략한 감정(鑑定) 경주 - 첨성대

Bernd Mittnacht Dipl.-Ing.(FH)

ISCARSAH(건축유산의 구조해석 및 수리복원 국제학술위원회)

이메일 : info@mbi-ingenieure.de



1. 진행과정

2017년 6월 7일부터 2017년 6월 9일까지 대한민국에서 개최된 2017 제1회 ISCARSAH 워크숍 "돌, 나무, 흙"의 일
한 중 하나로 2017년 6월 9일에 경주에서 연수가 진행되었다. 이 연수 과정에는 특히 첨성대의 건축 상태를 살펴보는
관람 일정이 포함되어 있었다. 본 건축물은 신라 왕조 632-647년에 제작되었으며 세계에서 가장 오래 된 관측소이다.

Kurzgutachten der gruppe CIGALE

Gyeongju-Cheomseongdae observatorium

Bernd Mittnacht Dipl.-Ing.(FH)

ISCARSAH

E-mail : info@mbi-ingenieure.de



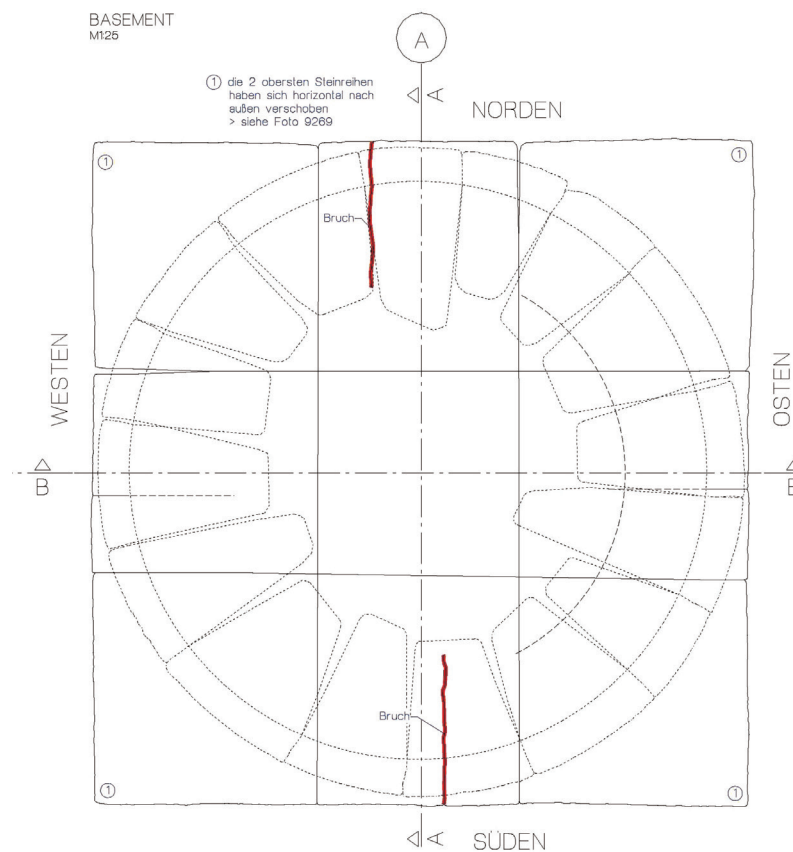
1. VORGANG

Im Rahmen des 1. ISCARSAH Workshops 2017 in Korea vom 07. – 09. juni 2017 "Stone, Wood and Earth", fand am 09. Juni 2017 eine Exkursion nach Gyeongju statt. Unter anderem wurde das Bauwerk des Cheomseongdae Observatoriums besichtigt. Es stammt aus der Silla Dynastie aus dem Jahr 632-647 und ist das älteste Observatorium der Welt.

Mit diesem Kurzgutachten soll der Zustand nach dem 1. Anschein beurteilt werden und Ratschläge für die weitere Vorgehensweise gemacht werden. Diesem Kurzgutachten liegen die Bestandspläne (Grundrisse, Ansichten und Schnitte) in digitaler Form und eigene Fotos vom 09. Juni 2017 zugrunde.

2. BESCHREIBUNG

Das Bauwerk des Observatoriums ist ein zylindrisch ca. 9.0m hoher Massivbau aus Natursteinmauerwerk, welcher auf einem nahezu quadratischen 5.25 x 5.6m großen Sockel aufsitzt. Oberhalb des Sockels weist das Bauwerk einen Durchmesser von 5.2m auf, am Kopf hat es einen Durchmesser von ca. 3.0m. Das Sockelmauerwerk ist 40cm hoch, die Seiten sind parallel zu den Himmelsrichtungen ausgerichtet.



Grundriss Basement



그림 1 남측 외관



그림 2 서측 외관

건축물은 천연석으로 된 총 27개의 층으로 구성되어 있고, 층의 높이는 약 30cm이다. 천연석은 케이크 조각 형태이며 모서리의 길이는 약 1.0 ~ 1.2m, 깊이는 약 1.3m이다. 천연석은 대접(bed joint)과 맞댐이음(butt joint)에 모르타르 없이 이동된 것으로 보인다. 창문 아래의 빈 공간은 완전히 서형 석자재로 채워져 있다.

건축물의 상부는 두 개의 정사각형 모양으로 배열된 석층을 외고리뒹 형태로 결합하고 있다. 약 3.2m 길이의 30 x 30cm 천연석은 끝 부분에 갈고리 모양으로 배치되어 최상단의 석층을 결합시킨다. 석층 19, 25, 26번에도 동일하게 정사각형의 가로배치로 되어 있으며, 건축물을 인장에서부터 견고히 결합할 수 있다.



그림 3





Figure 1 Ansicht von Süden



Figure 2 Ansicht von Westen

Das Bauwerk besteht aus insgesamt 27 Schichten aus Natursteinen mit einer Schichthöhe von ca. 30cm. Die Natursteine sind tortenstückförmig mit Kantenlängen von ca. 1.0 ~ 1.2m und einer Tiefe von ca. 1.3m ausgeführt. Die Natursteine sind sowohl an den Lager-, als auch den Stoßfugen ohne Mörtel nur an Kontaktstoß versetzt worden. Der Hohlraum unterhalb des Fensters ist vollständig mit kleinerem Steinmaterial aufgefüllt.

Den Kopf des Bauwerks halten zwei quadratisch angeordnete Steinlagen ringankerförmig zusammen. Die ca. 3.2m langen, 30 × 30cm starken Natursteine sind an den Enden hakenförmig ausgeführt und halten die obersten Steinschichten auf Zug zusammen. In den Steinschichten Nr. 19, 25 und 26 sind ebenfalls quadratische Querlagen eingebaut, welche das Bauwerk auf Zug zusammenhalten.



Figure 3



27개의 석층은 정사각형 형태의 5.3 x 5.3m 받침대 위에 세워져 있다. 본 받침대는 총 9개의 정사각형에 가까운 크기 1.8 x 1.8m, 높이 약 40cm인 개별 판으로 구성된다. 받침대 아래의 토대는 약 5 ~ 10cm 위에 있고 대형 천연석판으로 제작되었다. 그 강도와 구성은 알려지지 않았다. 다만, 1976년도의 사진을 통해 이것과 연결되는 지대가 약 10cm 더 낮아 토대가 지면보다 위에 있음을 확인할 수 있다(역사 사진 참조).



그림 4 1916년



그림 5 1976년

그 외 설치 깊이를 포함한 토대의 구성은 지금껏 조사되지 않았다. 지하 조사를 위한 두 번의 천공은 건축물로부터 약 20m 떨어진 곳에서 수행되었다. 지하수의 수위는 기록되지 않았다.

Die 27 Steinschichten ruhen auf einem quadratischen Sockel $5.3 \times 5.3\text{m}$, welcher aus insgesamt 9 nahezu quadratischen Einzelplatten ca. $1.8 \times 1.8\text{m}$ und einer Höhe von ca. 40cm besteht. Das Fundament unterhalb des Sockels steht ca. 5 ~ 10cm über und ist ebenfalls aus großen Natursteinplatten gefertigt. Deren Stärke und auch Ausbildung sind nicht bekannt. Lediglich auf einem Foto aus dem Jahr 1976 ist das anschließende Gelände um ca. 10cm tiefer, sodass das Fundament aus dem Erdreich schaut (siehe historisches Foto).



Figure 4 In 1916



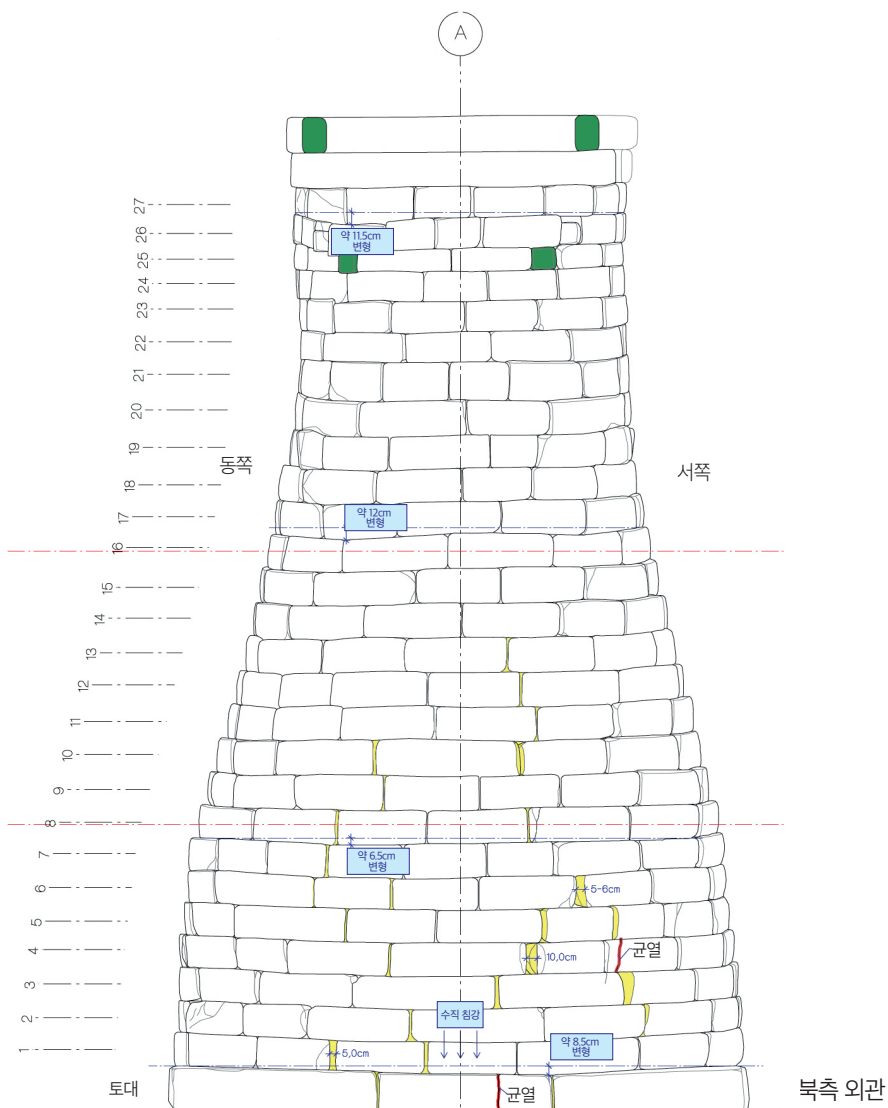
Figure 5 In 1976

Die weitere Ausbildung des Fundamentes einschließlich der Gründungstiefe wurden bislang noch nicht erkundet. Die beiden Bohrungen für die Untergrunderkundung sind in ca. 20m Entfernung vom Bauwerk gemacht worden. Der Grundwasserspiegel ist nicht eingetragen.

3. 관찰

시찰, 제공된 도면 및 자체 사진을 바탕으로 다음 사항이 관찰되었다:

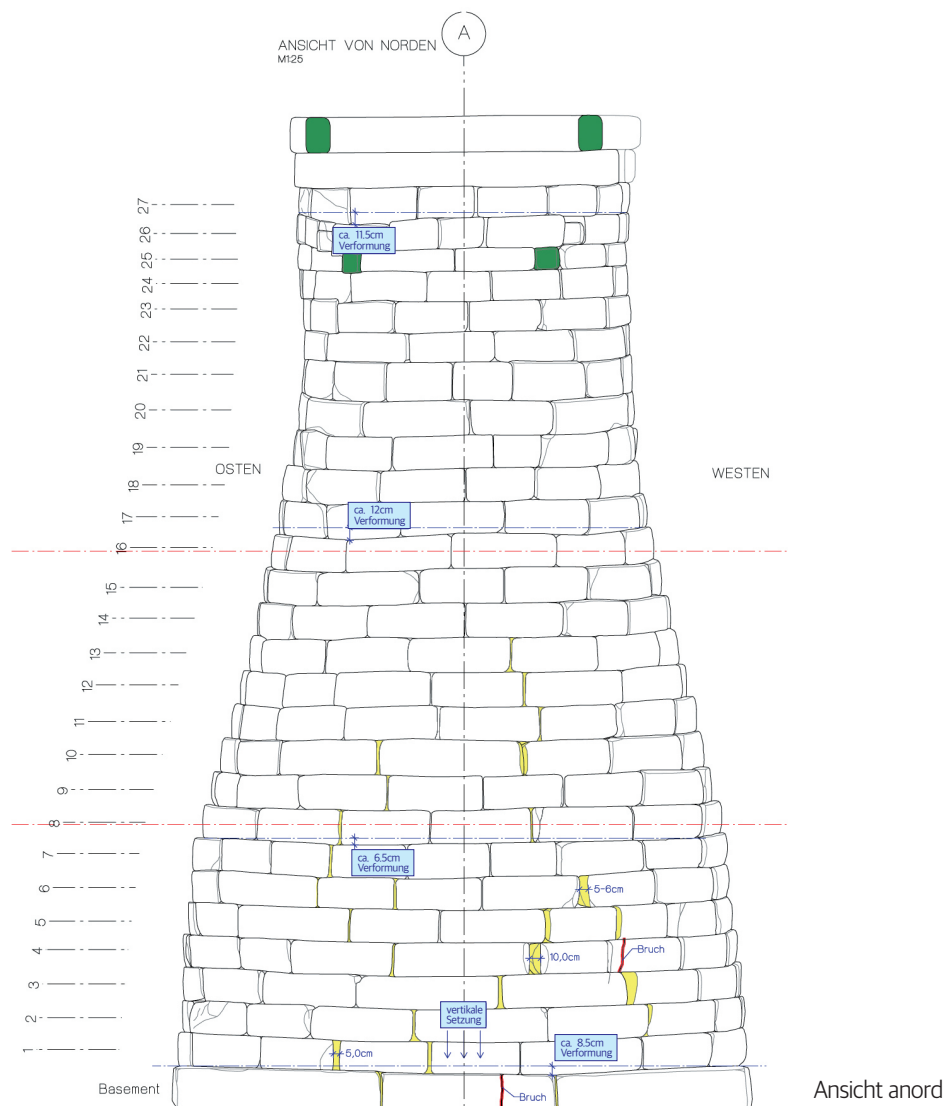
- 2017년 6월 9일 상태는 정보와 일치하지 않았다. 위치 이동, 석재이탈, 변형은 확연히 증가하였다. 주요 손상은 변형과 함께 추정되는 원인별로 준공계획에 기입되었다.
- 건축물은 주로 북측 방향으로 기울어져 있다. 그 원인은 북측 건축물 가장자리의 약 13cm에 이르는 수직 토목 침강이었다(외관 참조).
- 천연석 맞댐이음(butt joint)의 수직 위치 이동(약 5 ~ 6cm)은 중앙 토목 침강의 변형상과 동일하였다.



3. BEOBACHTUNGEN

Im Rahmen der Begehung, den zur Verfügung gestellten Planunterlagen sowie den eigenen Fotos, wurden folgende Beobachtungen gemacht:

- Der Zustand am 09.06.2017 stimmt nicht mit dem Aufmaß überein. Die Verschiebungen, Steinabplatzungen, Verformungen sind deutlich größer geworden. Die wesentlichen Schäden wurden mit Verformungen in die Bestandspläne eingetragen anhand deren die Ursachen vermutet werden.
- Das Bauwerk ist im Wesentlichen in nördlicher Richtung gekippt. Die Ursache liegt in einer vertikalen Setzung um ca. 13cm am nördlichen Bauwerksrand (siehe Ansichten).
- Die horizontalen Verschiebungen an den Stoßfugen der Natursteine (ca. 5 ~ 6cm) ist identisch mit dem Verformungsbild einer mittigen Setzung.



- 받침대와 토대의 마름돌 구성으로 인해 중심이 4개의 정사각 모서리판의 내부에 형성된다. 모서리판은 내부에서 부하의 증가로 안쪽으로 모여져 4개의 받침대 모서리가 위로 향하게 되었다.
- 판의 중심에 대한 부하의 증가와 변형으로 중심에 위치한 양 받침대 판이 북측과 남쪽으로 부러진 상태이다.



그림 6

- Aufgrund der Ausbildung des Sockels und der Fundamentquader steht das Hauptgewicht auf den Innenseiten der 4 quadratischen Eckplatten auf. Diese haben sich auf der Innenseite aufgrund der höheren Auflast nach innen gesetzt, sodass die 4 Sockelecken nach oben gegangen sind.
- Aufgrund der höheren Auflast und der Verformungen in der Mitte der Platten sind die beiden mittleren Sockelplatten auf der Nord-und Südseite gebrochen.



Figure 6

- 건축물 상부 3분의 1 부분에는 2016년의 지진으로 인한 주요 손상이 관찰된다(강도 5.8). 이로 인해 건축물 상부를 에워싸는 양 연결 부분의 부러짐과 위에서 4번째까지의 석층 맞댐이음에 대한 수직 위치 이동이 발생하였을 것으로 보인다. 동측에는 수직 바깥쪽을 향하는 돌의 이동이 나타났다.



그림 7

- 몇몇 지점에는 맞댐이음 부조화와 이와 관련된 벽층의 맞물림이 북측의 침강 증가에 기여하였다.



그림 8

- Im oberen Drittel des Bauwerks sind im Wesentlichen Schäden aus dem Erdbeben aus dem Jahr 2016 zu beobachten (Stärke 5.8). Hierauf sind die Brüche an den beiden umlaufenden Zugverbindungen am Kopf des Bauwerkes und die horizontalen Verschiebungen an den Stoßfugen der 4 obersten Steinschichten zurückzuführen sein. Hier haben sich an der Ostseite auch Steinverschiebungen horizontal nach außen ergeben.



Figure 7

- An einigen Stellen haben die zu geringen Stoßfugenversätze und die damit verbundenen Verzahnungen der Mauerschichten zu den vergrößerten Setzungen auf der Nordseite dazu beigetragen.



Figure 8

- 관측소와 직접적인 거리에 고고학 발굴장소가 위치한다. 그곳의 지하수 수위는 매우 높다(부지 아래 약 1.5m). 인접하는 바닥은 모래와 점토로 구성된다. 점토는 지하수 위쪽으로 건조로 인한 수직 수축균열을 보인다.



그림 9

- 발굴 부지 주위로 배수시설을 설치하여 개별 발굴장소를 배수하거나 지하수 수위를 낮춘 것으로 보인다. 어쩌면 본 조치들도 건축물의 침강에 부정적인 영향을 미쳤을 수 있다.



그림 10

- In unmittelbarer Nähe des Observatoriums befindet sich das archäologische Grabungsfeld. Dort ist ein sehr hoher Grundwasserstand (ca. 1.5m unter Geländeoberkante) vorhanden. Der anstehende Boden ist aufgefüllt aus Sand und Lehm. Der Lehm hat überall des Grundwassers vertikale Schrumpfrisse aufgrund der Austrocknung



Figure 9

- Offensichtlich sind um das Grabungsgelände Entwässerungskanäle angelegt, um die einzelnen Grabungsfelder zu entwässern bzw. den Grundwasserspiegel abzusenken. Möglicherweise haben diese Maßnahmen auch einen negativen Einfluss auf die Setzungen des Bauwerks gehabt.



Figure 10

- 1916년의 사진에는 건축물의 상태가 현재에 비해 현저히 나은 수준에 있다. 1950년의 사진에는 북측에 도로가 인접함을 확인할 수 있다. 한국 참가자의 설명에 따르면 그곳에 한국전쟁 중 무거운 미국 전차들이 지나 다녔다고 한다. 이는 상태가 좋지 않은 건축 부지와 관련하여 13cm에 이르는 북측 침강의 주요 원인일 것이다.



그림 11 1950년

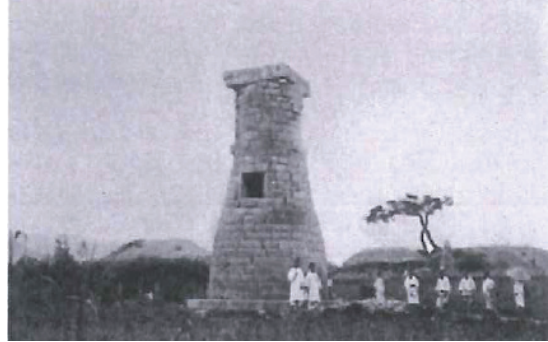


그림 12 1916년

4. 향후 절차를 위한 제언

개량계획 도출 시 손상에 관해서는 전 범위에 걸쳐 계획에 반영하고 구성을 조사할 것을 권고한다. 특히 사방에 걸친 건축물의 탐사를 통한 건축물의 토대를 파악해야 한다. 그 과정은 고고학자와 토지감정인이 참여해야 한다. 또한 어떠한 토지가 건축물 아래 직접적으로 인접하는지 여부와 그 적재부담력을 판단해야 한다(바닥의 압력, 침강가능성, 지하수 수위 등). 조사 시 건축물에 대한 드릴링(deep drilling)이 수행되어야 한다.

모든 결과는 숙련된 엔지니어가 종합하고 그 영향력을 평가해야 한다. 지주의 물리 정역학적 평가를 위해 명백한 결과가 도출되는 단순한 계산을 수행한다(FEM-계산 적용 금지).

뵘츠부르크, 2018.8.22.

공학사(FH) 베른트 미트나흐트

부록 1-8 첨부

- Auf den Fotos von 1916 ist das Bauwerk in einem wesentlich besseren Zustand zu sehen als heute. In dem Foto von 1950 ist zu sehen, dass unmittelbar auf der Nordseite eine Straße vorbeiführte. Nach Auskunft der koreanischen Teilnehmer sind dort im Korea-Krieg die schweren amerikanischen Panzer entlang gefahren. Dies dürfte wohl in Verbindung mit einem schlechten, tragfähigen Baugrund die Hauptursach für die Setzungen auf der Nordseite in Höhe von 13cm sein.



Figure 11 Jahr 1950

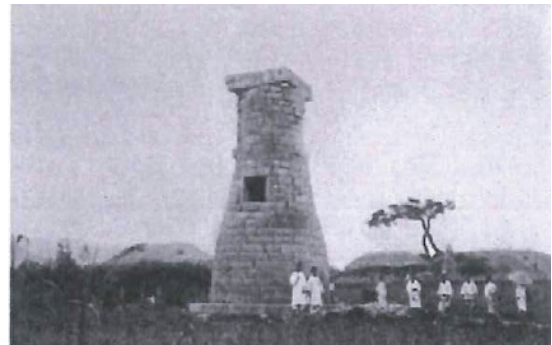


Figure 12 Jahr 1916

4. EMPFEHLUNGEN FÜR DIE WEITEREN SCHRITTE

Um zu einem Sanierungskonzept zu gelangen wird empfohlen, die Schäden vollumfänglich in Plänen zu erfassen und die Konstruktion zu erkunden. Insbesondere ist damit die Gründung des Bauwerkes durch Schürfungen an den 4 Seiten zu erfassen. Diese müssen durch Archäologen und dem Bodengutachter begleitet werden. Dazu ist festzustellen, welcher Boden unmittelbar unter dem Bauwerk ansteht und dessen Tragfähigkeit beurteilt werden (Bodenpressung, Setzungsempfindlichkeit, Grundwasserstand etc.). Für die Erkundung sind am Bauwerk Tiefenbohrungen auszuführen.

Sämtliche Ergebnisse sind durch einen erfahrenen Ingenieur zusammenzutragen und deren Auswirkungen zu beurteilen. Für die statische Beurteilung des Tragwerkes sind einfache Berechnungen mit anschaulichen Ergebnissen durchzuführen (keine FEM-Berechnungen verwenden!).

Würzburg, 22.08.2018

Dipl.-ing. (FH) Bernd Mittnacht

Anlagen 1-8 beigelegt

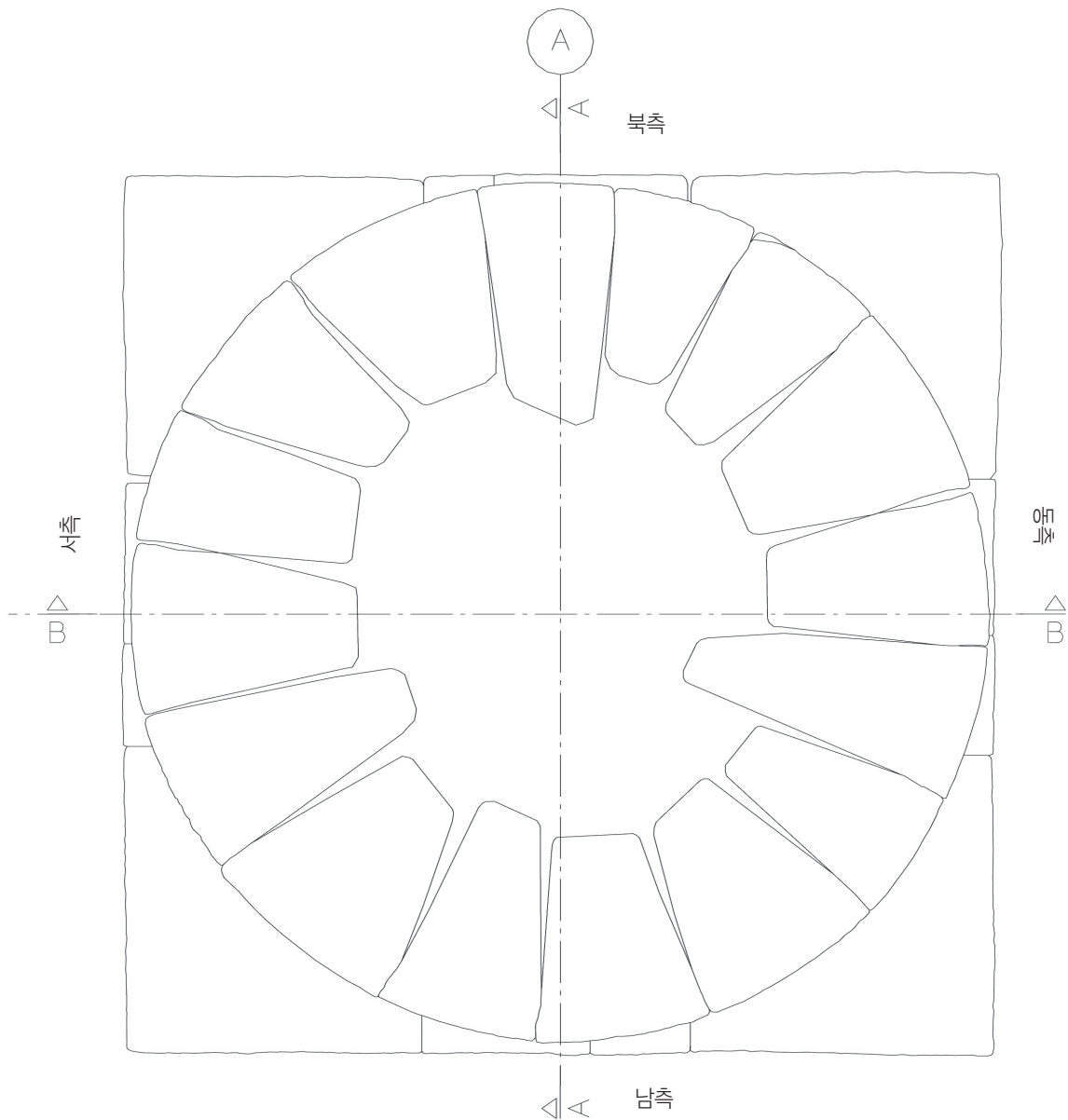
부록

1. 실린더
2. 토대
3. 남측 외관
4. 서측 외관
5. 북측 외관
6. 동측 외관
7. 단면 A-A
8. 단면 B-B

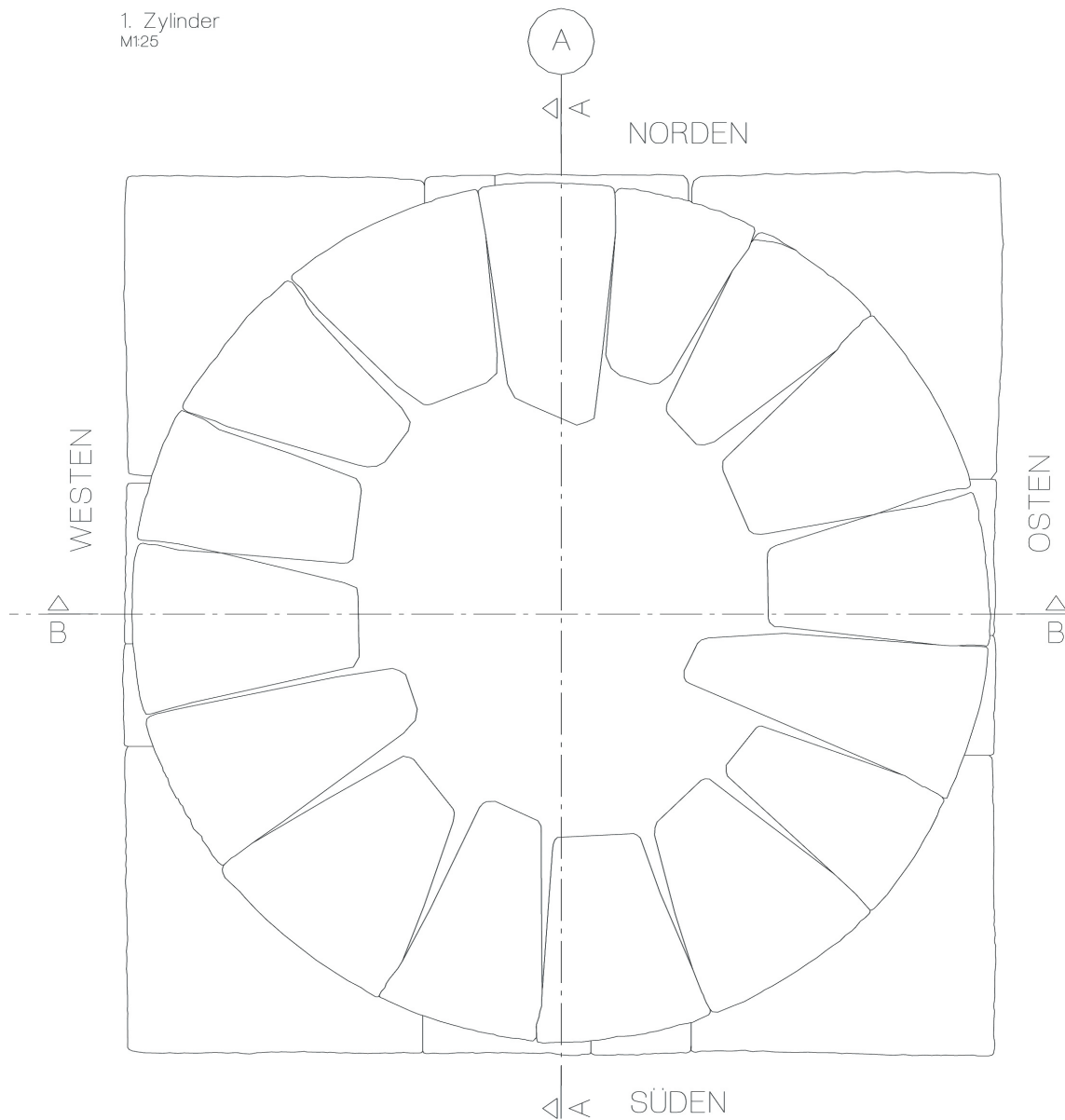
ANLAGEN

1. Zylinder
2. Basement
3. Ansicht Süd
4. Ansicht West
5. Ansicht Nord
6. Ansicht Ost
7. Schnitt A-A
8. Schnitt B-B

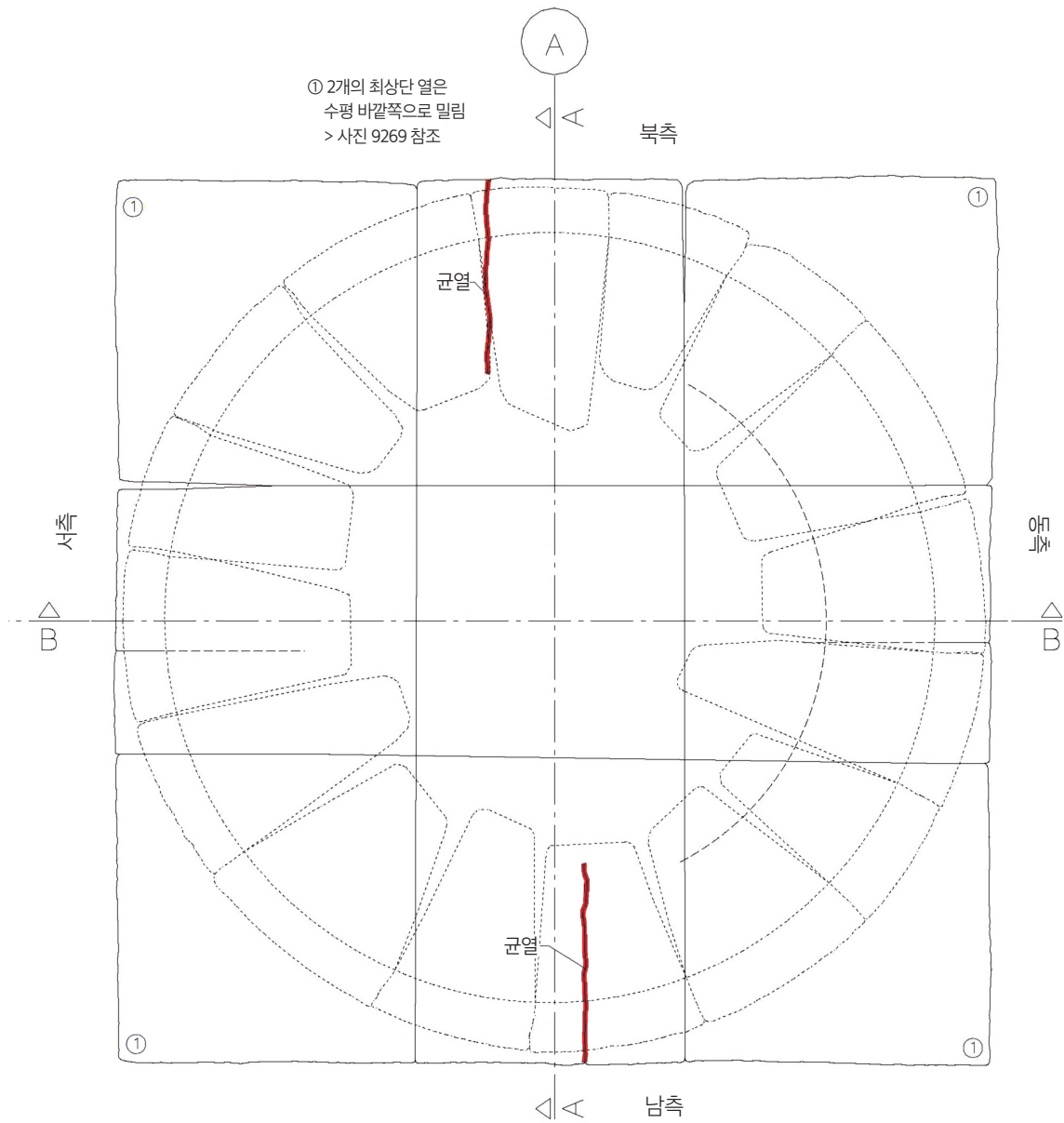
1. 실린더



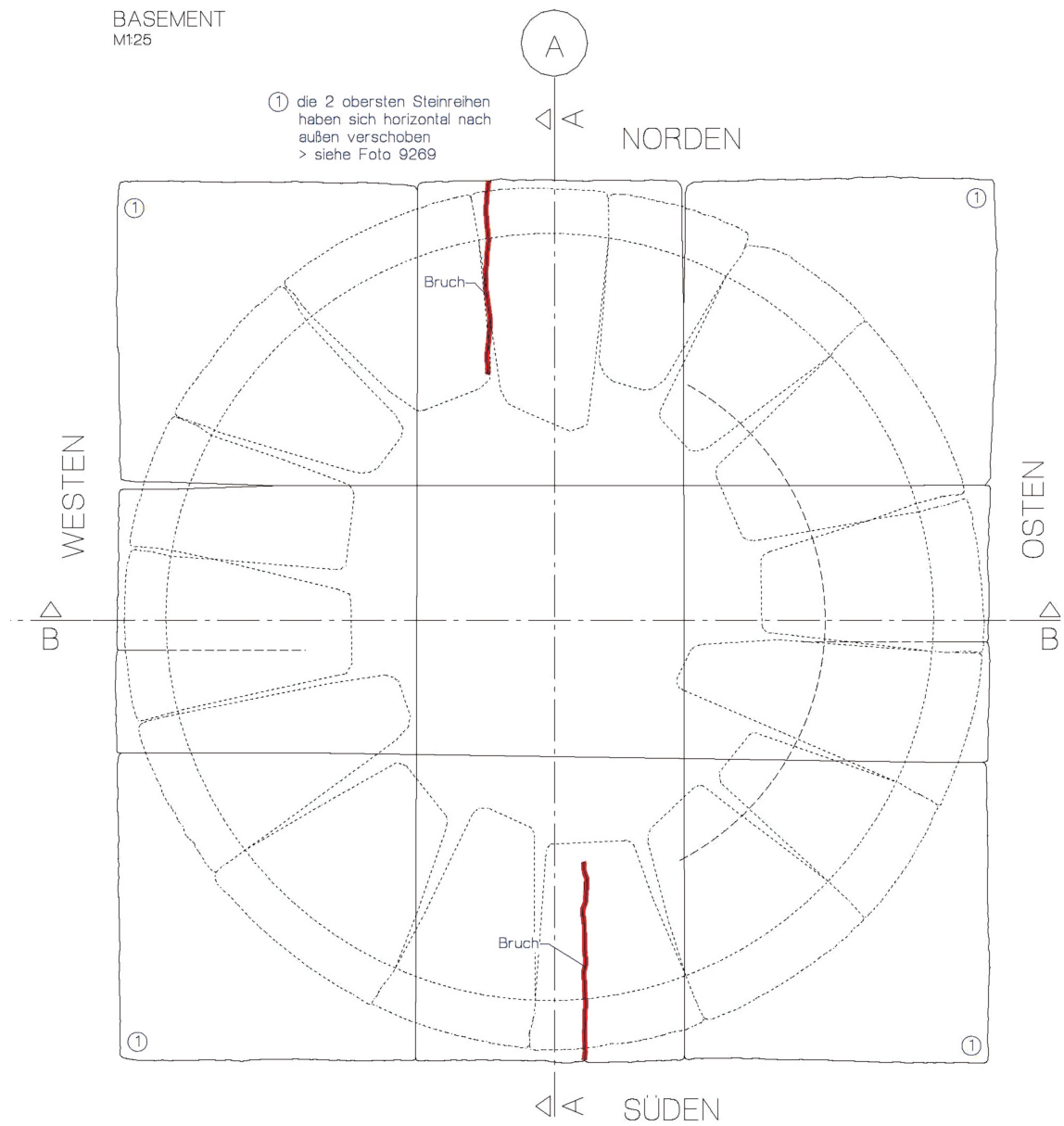
1. Zylinder



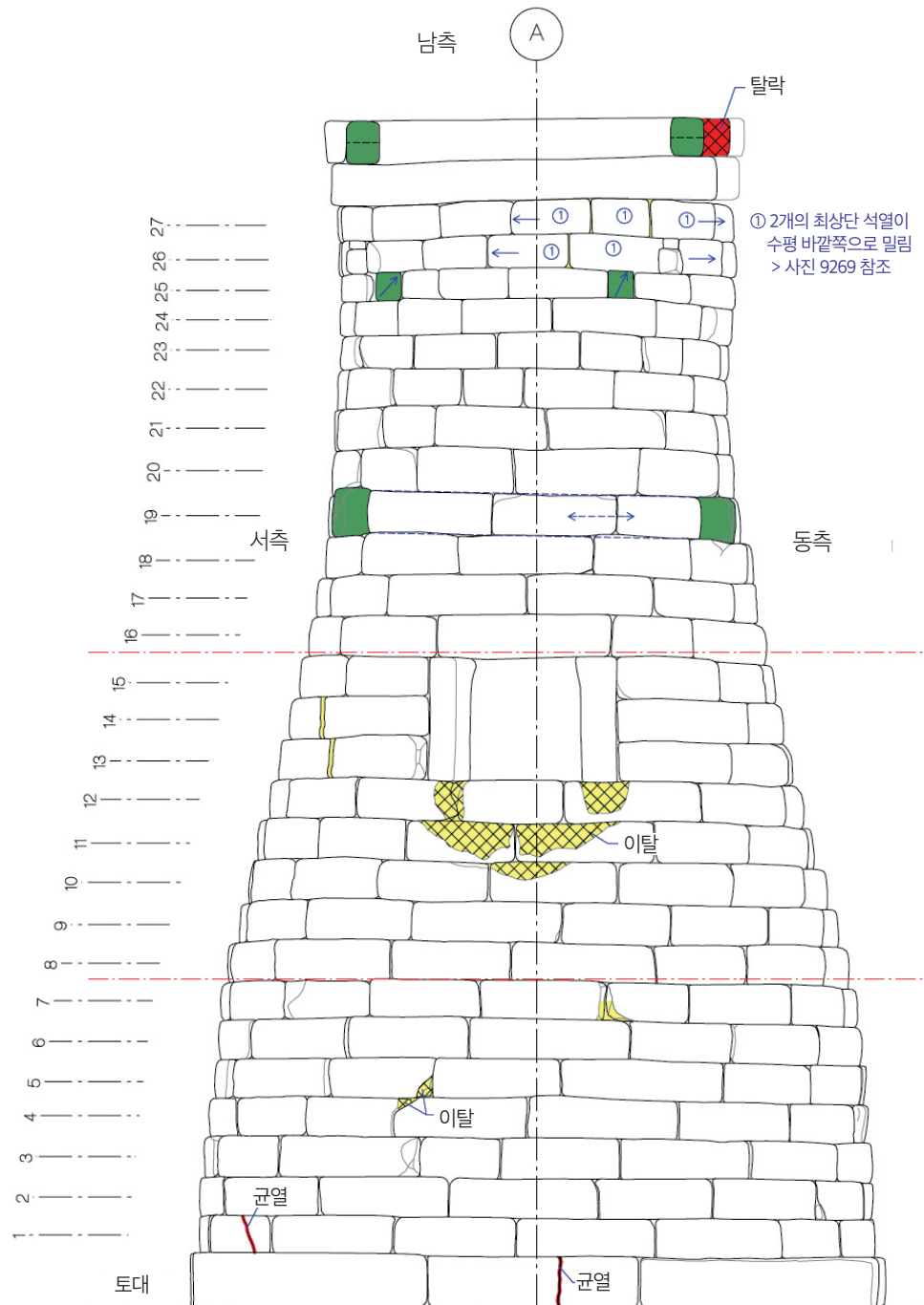
2. 토대



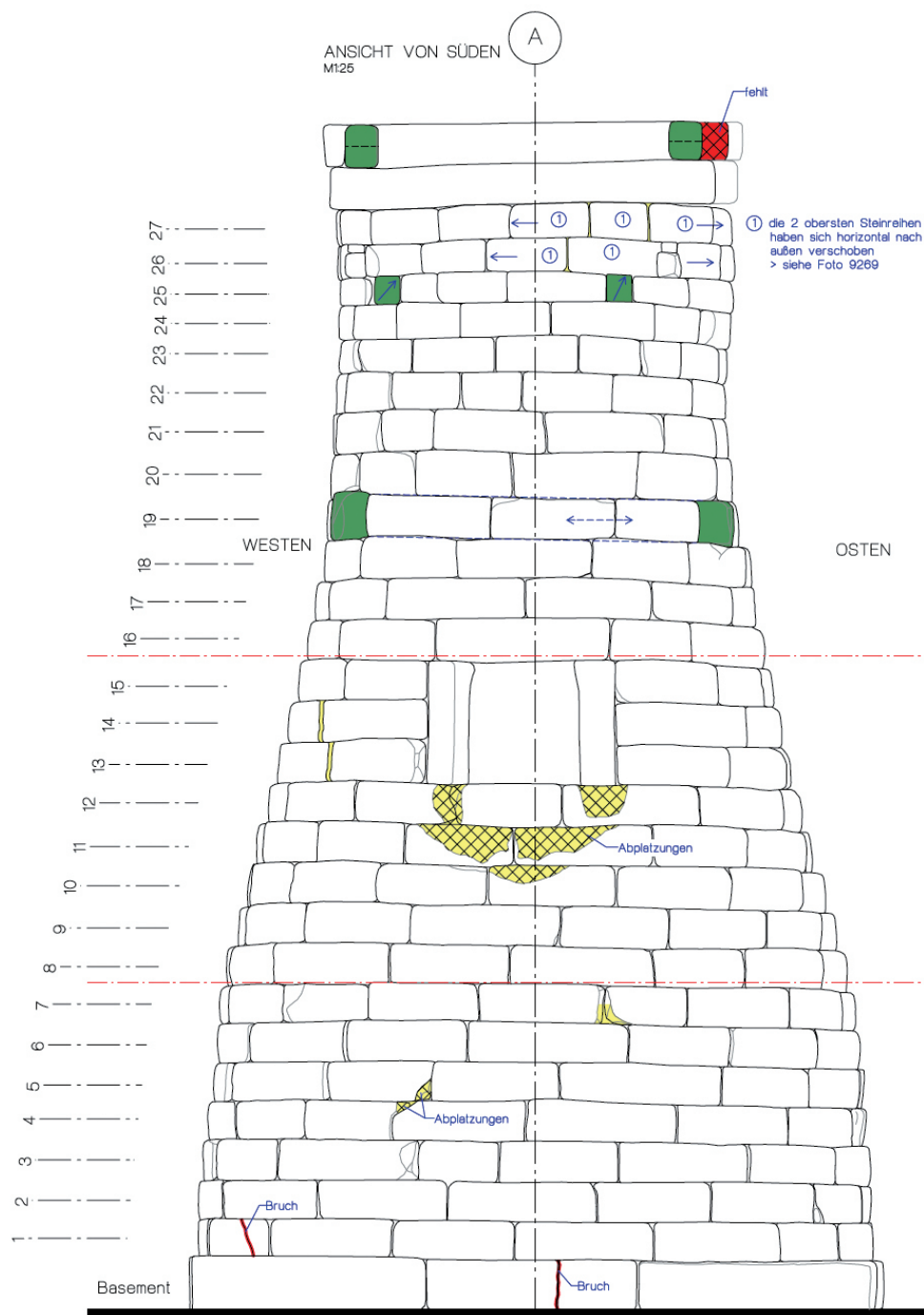
2. Basement



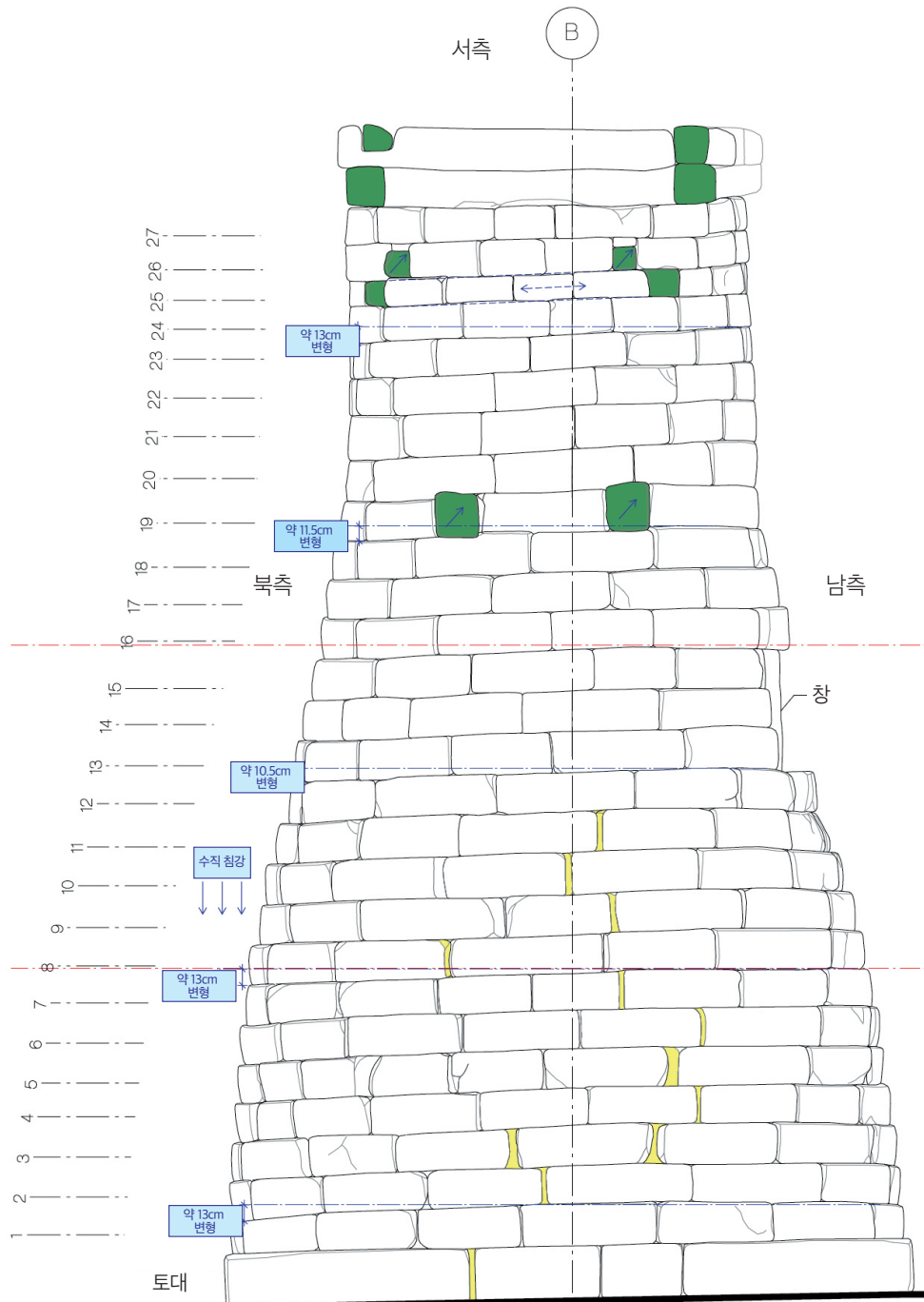
3. 남측 외관



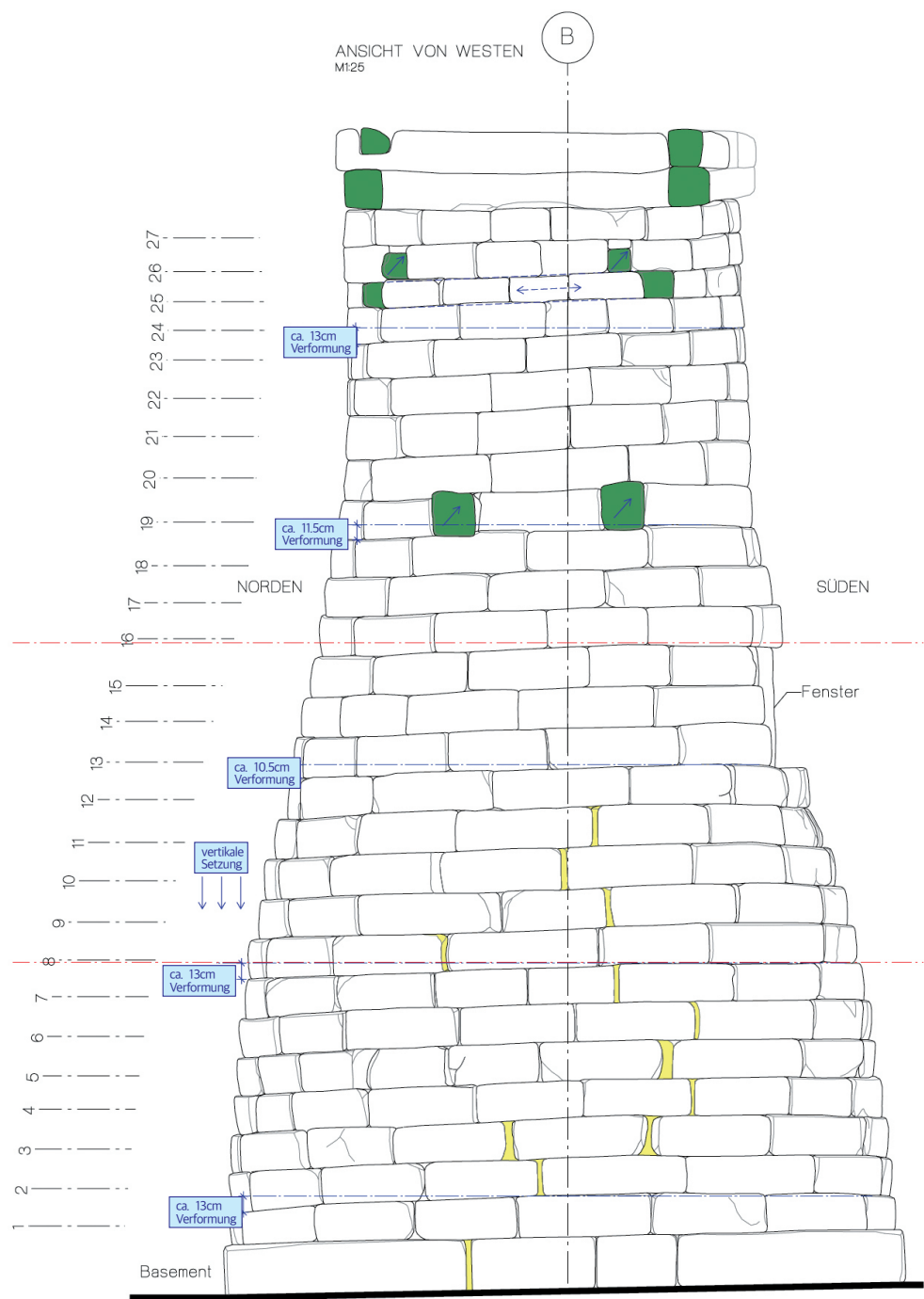
3. Ansicht Süd



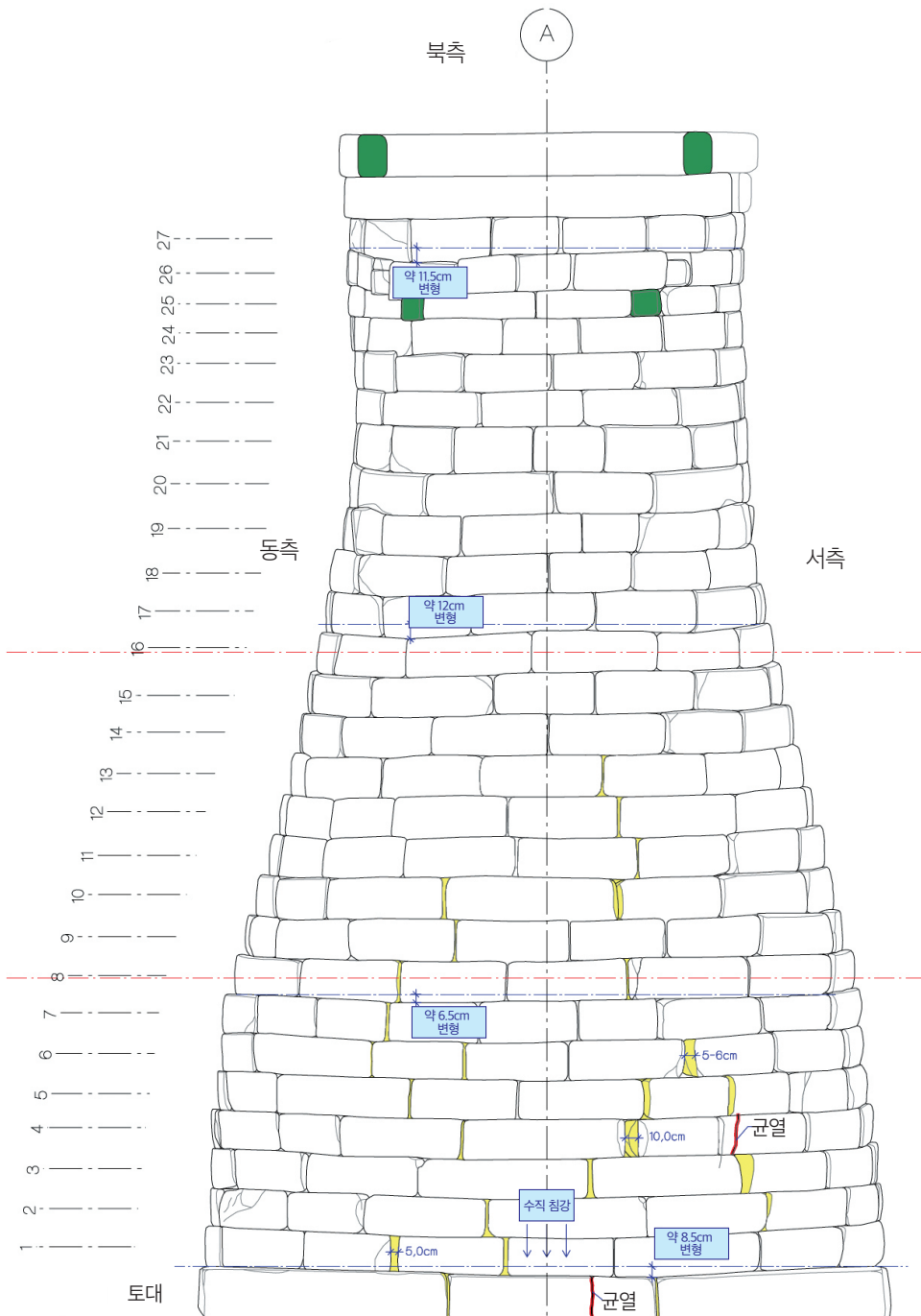
4. 서측 외관



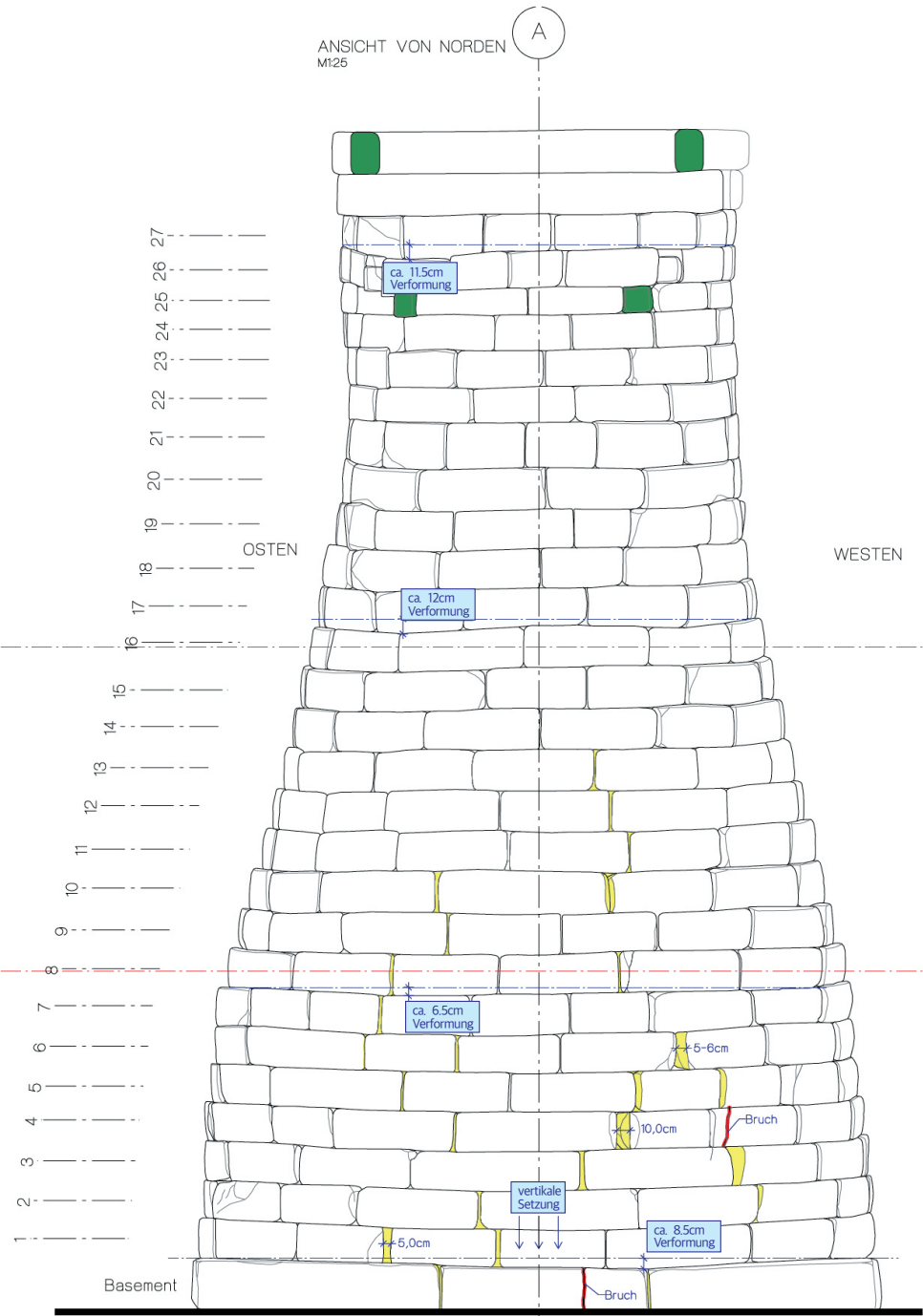
4. Ansicht West



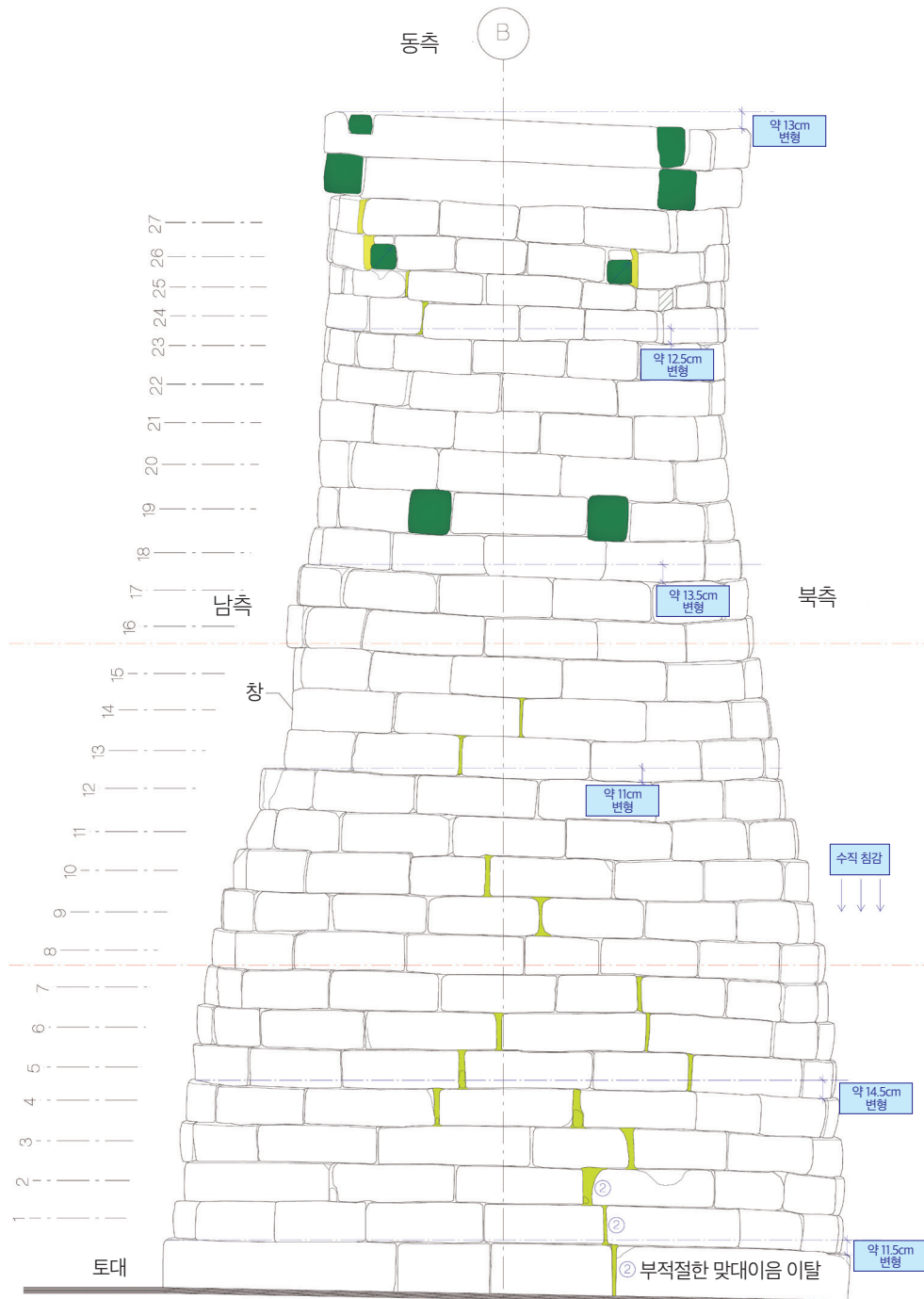
5. 북측 외관



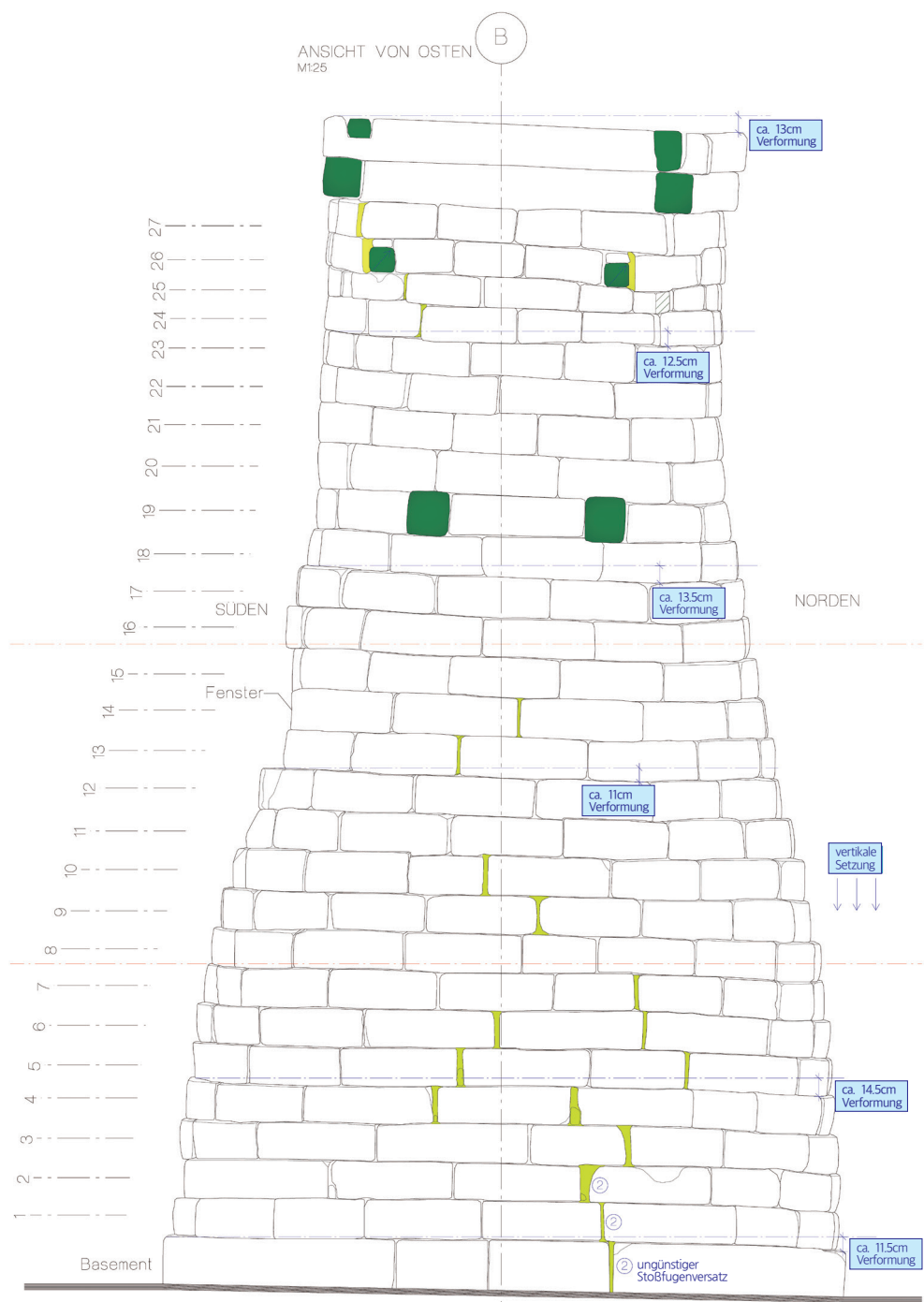
5. Ansicht Nord



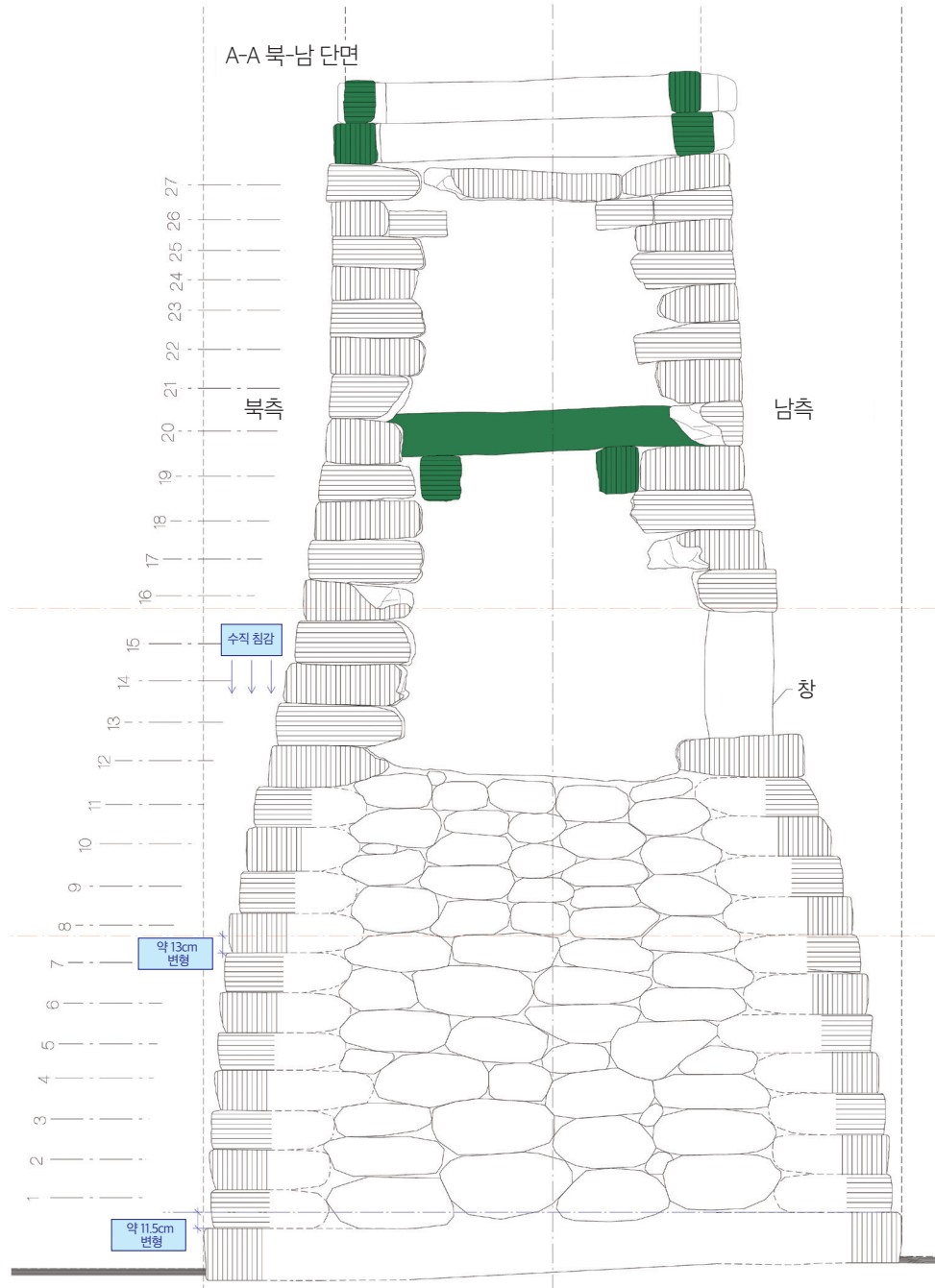
6. 동측 외관



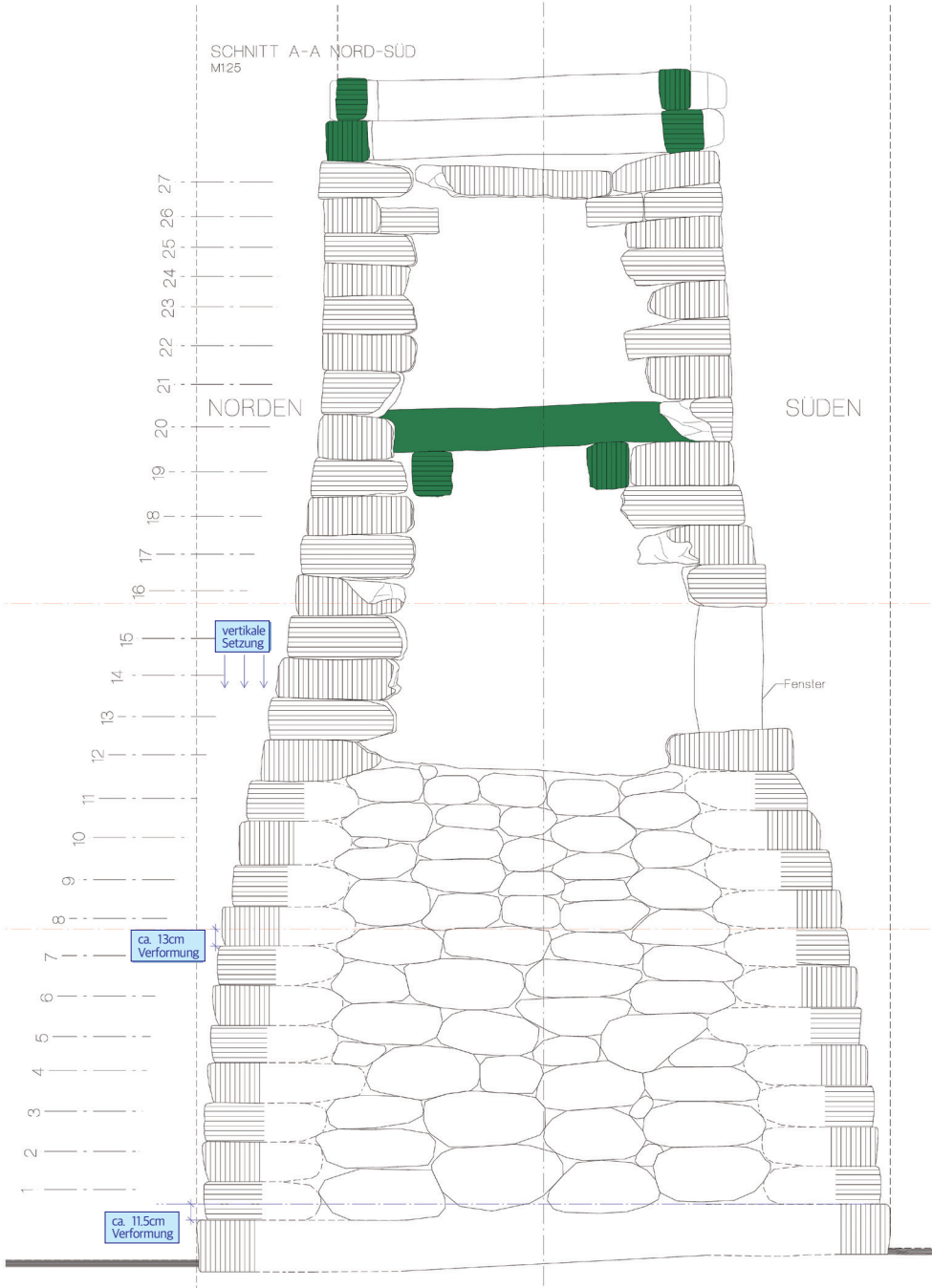
6. Ansicht Ost



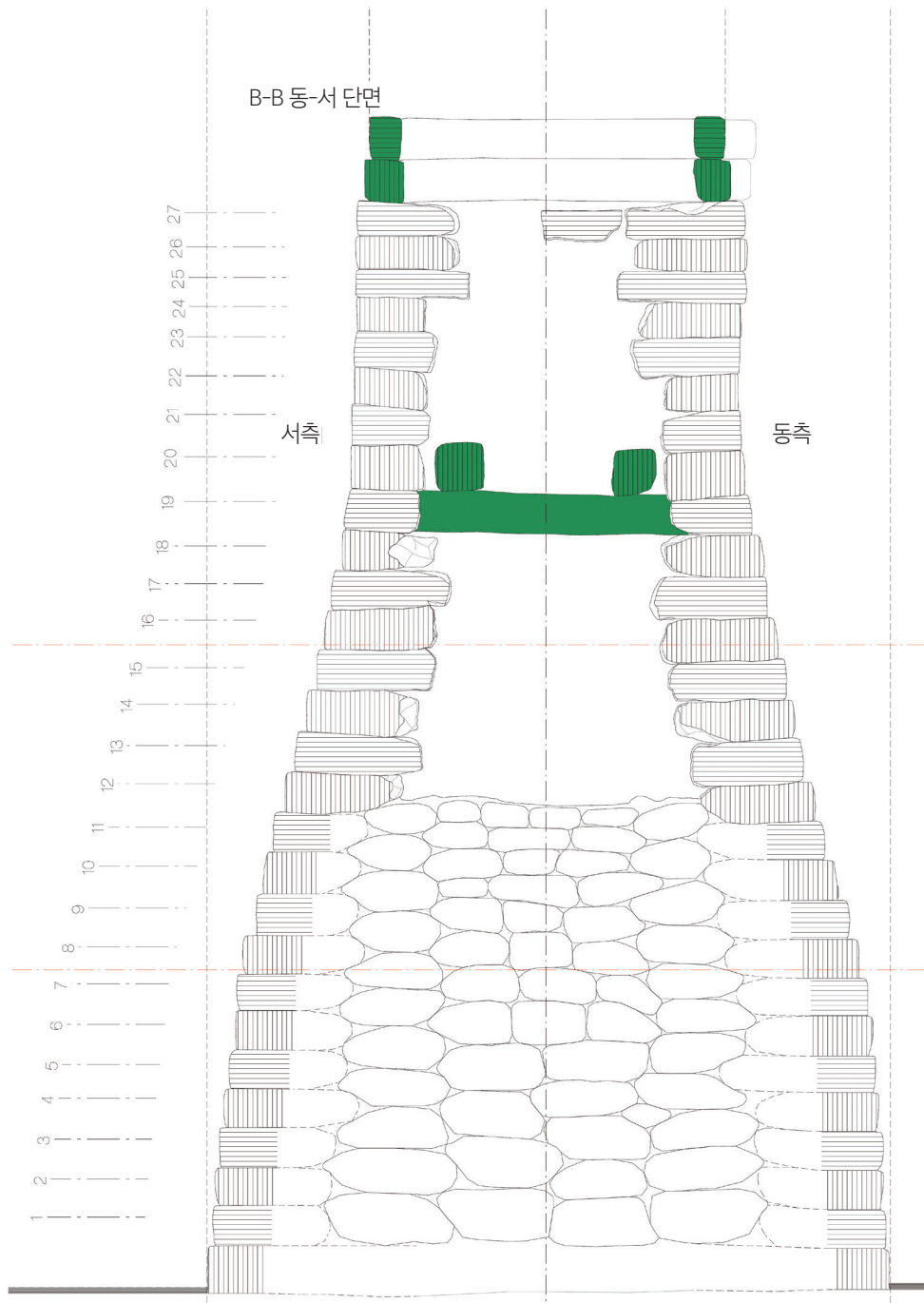
7. 단면 A-A



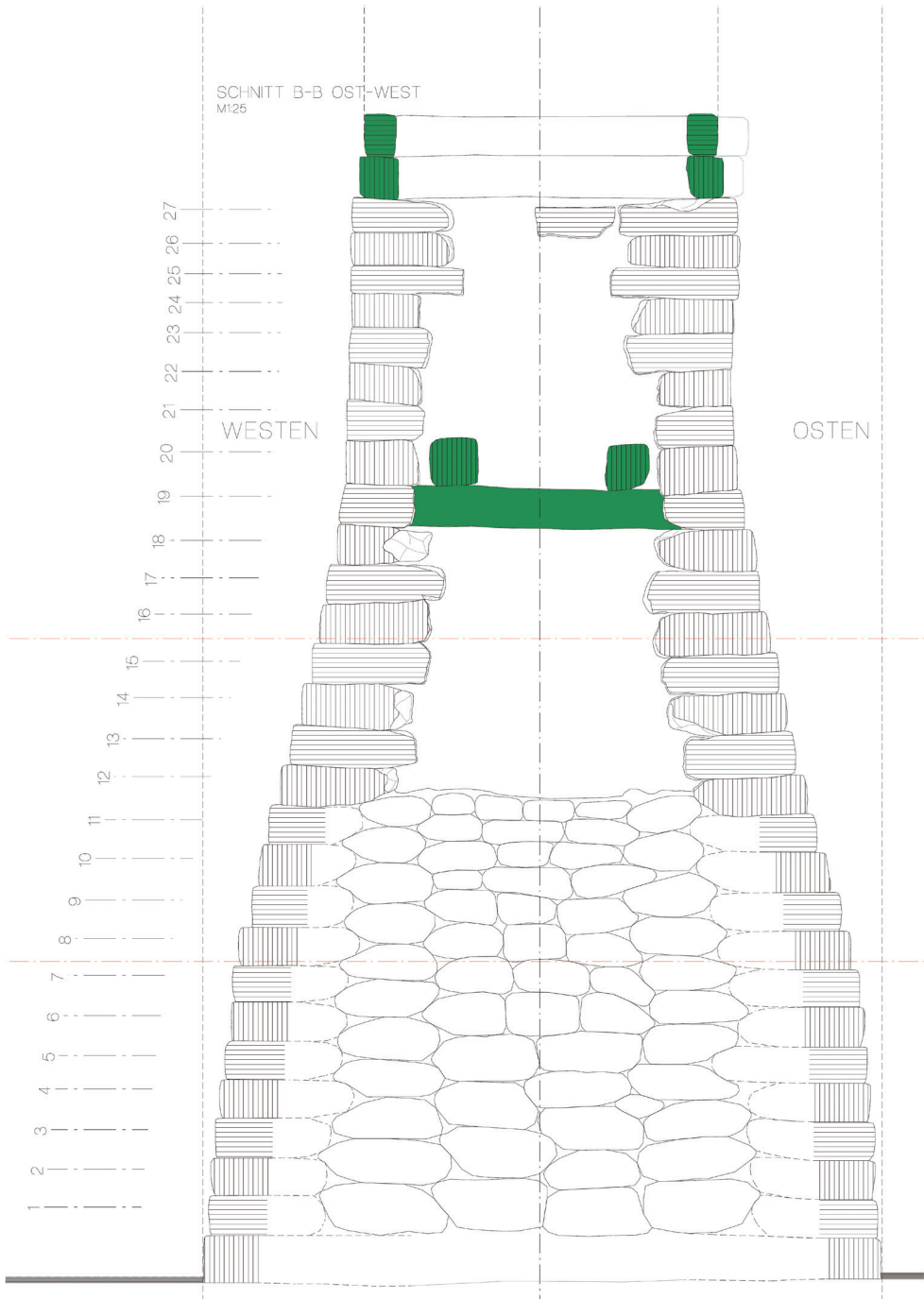
7. Schnitt A-A



8. 단면 B-B



8. Schnitt B-B



때로는 덜 하는 것이 최선책일 수 있다. 한국 방문 시 관찰

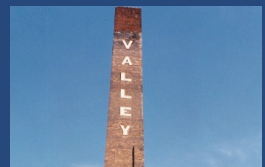
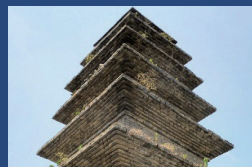
Ian McGillivray

문학 학사, 건축학 학사, 온타리오 건축가 협회(OAA),
캐나다 왕립 건축 연구소 회원(FRAIC) 캐나다 토론토
(전직) 이코모스(ICOMOS, International Council on Monuments and Sites)
: 국제기념물유적협의회 국제목재위원회
mcgarch@rogers.com

When doing less may be the best approach Observations following a visit to Korea

Ian McGillivray

B.A., B.Arch, OAA, FRAIC
Toronto, Canada
(Past) President Icomos International Wood Committee
mcgarch@rogers.com



때로는 덜 하는 것이 최선책일 수 있다.

한국 방문 시 관찰

Ian McGillivray

문학 학사, 건축학 학사, 온타리오 건축가 협회(OAA), 캐나다 왕립 건축 연구소 회원(FRAIC)

캐나다 토론토

(전직) 이코모스(ICOMOS, International Council on Monuments and Sites): 국제기념물유적협의회 국제목록위원회

mcgarch@rogers.com

요약

본 논문은 한국의 여러 곳과 캐나다의 한 곳을 방문한 것에 대한 후기후기이다. 다음 후기에서는 한국의 10 곳과 캐나다의 한 곳을 토대로 논의의 근거로 하여 문화유산 원칙 적용에 대한 일반적인 관찰 내용을 포함하고 있다. 본 논문은 보존에 대해 최소한의 조치를 취조치하거나 또는 아무런 조치조치도 하지 않는 상황, 그리고 주요 조치를 취하지 않을 경우 오히려 유산에 대한 이점이 될 수 있는 상황을 찾고자 한다. 이것이 한국에서 적용하는 문화유산 원칙을 비판하는 하고자 하는 의도는 아니다.

서론

다음 논문은 2017년 6월 6일~9일 서울과 경주에서 개최된 세계문화유산에 관한 ISCARSAH (건축유산의 구조해석 및 수리복원 국제학술위원회) 워크숍에 대한 후기이다. 본 워크숍의 주최자는 이코모스 코리아 (ICOMOS:International Council on Monuments and Sites, 국제기념물유적협의회)와 한국국립문화재연구소였다.

When doing less may be the best approach

Observations following a visit to Korea

Ian McGillivray

B.A., B.Arch, OAA, FRAIC

Toronto, Canada

(Past) President Icomos International Wood Committee

mcgarch@rogers.com

Summary

This paper reviews several of the sites visited in South Korea and one site in Canada. The following review includes general observations of the application of heritage principles within the framework of some of the 10 sites visited in South Korea and one site in Canada using those sites as a basis of discussion. The paper looks for situations where minimal or no interventions are in many cases the best approach to conservation and where there may be an advantage to the heritage monument in avoiding major intervention. This is not a critique of the application of heritage principles in Korea.

Introduction

The following paper is a review following the ISCARSAH Workshop on World Heritage Sites in Seoul and Gyeongju, Republic of Korea, 6–9 June 2017. Our hosts were ICOMOS KOREA and the National Research Institute of Cultural Heritage Korea.

우리는 10개의 중요한 기념물에 대한 조사 결과와 작업에 대한 설명이 되어 있는 소중한 자료를 제공받았으며, 그 다음 이 워크숍 기간 동안에 각각의 유적지를 방문하였다. 일부 유적지에 대해서는 매일 저녁 이루어진 워크숍 토론에서 상세히 분석하였지만, 각 유적지 방문은 짧은 시간 동안만 이루어진 관계로 유적지에 대한 관찰은 제한적일 수 밖에 없었으며, 그로 인해 충분한 이해가 이루어지지 않았을 가능성도 배제할 수 없다.

필자의 경우 캐나다에서 왔기 때문에, 본인의 개인적 경험상 비교할만한 유적지나 사례 연구자료가 없었다. 1000년이 넘는 역사를 가진 건축물들과 200년 미만의 건축물은 건축 방식에 있어서 완전히 다를 뿐만 아니라 엄청난 차이가 있었다. 또한 필자는 현재 활동중인 건축가로서 일반적인 과학적 조사 방법론을 사용하지 않았는데, 그 이유는 그러한 기술들이 본인의 연구작업에 있어서 정당화될 수 없었기 때문이다.

오늘날까지 남아 있는 많은 역사적 유적들은 내전과 정복 과정에서 도시와 중요 건축물들이 무작위적으로 파괴되는 격동의 역사에서도 살아남은 것들이다. 정복자가 남겨 놓은 유산은 각 나라의 역사와 문화의 일부가 되었다. 우리는 한국의 많은 왕조에 걸쳐 일어난 일들의 증거, 그리고 근대에 일어난 일제 침략 및 한국 전쟁의 영향을 확인할 수 있다. 회귀성 외에도, 나머지 구조물 및 조경은 다음과 같은 두 가지 측면에서 과거의 기록으로서의 그 가치는 점점 더 증가하고 있다. 첫째, 남아 있는 확실한 진정성과 둘째, 상실되거나 손상된 일부 유산의 복구는 원래의 문서, 역사적 기술 및 공예술에 의해 유지 복원되어야 한다.

진정성(Authenticity) 및 보존성



그림 1 송례문, 흥인지문 서울

서울의 송례문(1398/1447)은 이 두 가지 가치 모두를 보여준다. 2008년 화재로 인해 파괴된 상부구조의 진정성이 상실되었을 때 택한 방법은 재건축이었다. 다음 세대를 위해 이 중요한 기념비를 물리적인 방법으로 복원하였으며, 복원하는데 필요한 문서 및 기술 개발은 소중한 자원이 되었다.

During this workshop we were provided with excellent material describing the investigations and work done on 10 significant monuments. This was followed by visits to each site. Some of the sites were analysed in detail for a workshop discussion each evening but each site visit was of short duration and any observations resulting from those visits are limited and potentially misunderstood.

As I come from Canada, I have no comparable sites or case studies in my personal experience. There is a vast gap between structures with more than a 1000 year history and those with less than 200 years and totally different construction methods. In addition, as an architect in private practice, I did not normally use scientific investigative methodologies as such technologies were not justified in my work.

Many of the historic monuments we have to-day are survivors from the tumultuous history of nations where internecine strife and conquests have caused, and are still causing, random destruction of cities and important structures. The legacy left by occupying forces has become part of the history and culture of each nation. In Korea we see the evidence of many dynasties and, more recently, the effects of the Japanese occupation and Korean War. Apart from their rarity, the remaining structures and landscapes are increasingly valuable as a record of the past in two ways: first, the evident authenticity that remains and second, the recovery of some of that lost or damaged heritage requires the maintenance and recovery of original documentation, historic skills and craftsmanship.

Authenticity and Conservation



Figure 1 Sungnyemun Gate, Heunginjimun gate seoul

The Sungnyemun Gate in Seoul (1398/1447) demonstrates both of these values. When the authenticity of the superstructure destroyed by fire was lost in 2008, the choice was made to rebuild. The memory of this important monument was physically restored for future generations and the documentation and skills development required to make the restoration possible has become a valuable resource.

송례문 재건축함에 있어서 최우선 과제로 삼은 것은 흥인지문(1398년)의 진정성(Authenticity)을 훼손되지 않도록 보호하는 것이었다. 흥인지문 복원을 최소화하는 것이 이 건축물의 역사적 진정성을 유지하는 것인가? 자재를 보호하기 위해 또한 일반 공중의 접근을 허용하기 위해서는 여전히 어느 정도 보전하도록 하는 것을 권장한다.

이러한 건축물의 진정성(Authenticity)을 고려할 때에는, 이러한 건축물이 수세기 동안 여러 차례에 걸쳐 재건 또는 복원되었으며 초기 건설 이후 형태 및 자재가 변경될 수 있었다는 점을 기억할 필요가 있다. 그것은 재생이라는 전통적인 주기의 일부이기도 하다.

덜 하는 것이 최선책이 될 때는 언제인가? 건축물에 대한 작업을 덜 하는 것이 향후 불안정성 또는 붕괴 가능성을 낮출 수 있는가? 아니면 이미 진행중인 붕괴를 오히려 가속화할 것인가? 다음은 오래된 건축물의 몇 가지 특성이다.

- 안정성 및 평형의 상태. 역사적인 건축물들은 일반적으로 환경의 영향을 받는다. 북방 기후의 경우단열재가 없는 석조 건물이 그 예이다. 벽을 통해 일어나는 열손실은 상당한데, 이러한 열손실은 석재의 손상 및 습기를 방지하는데 도움이 되며, 지붕을 통한 열 손실은 지붕에 눈이 쌓이는 것을 방지하여 지붕에 무거운 하중이 걸리지 않도록 하는 역할을 한다. 상당한 양의 공기 누출로 인해 상대습도가 감소한다. 실링, 단열재를 추가하고 가습을 하면 이러한 평형 상태는 무너지게 된다. 이런 상황에서는 아무것도 하지 않는 것이 보다 나은 방법이 될 수 있다.
- 환경적인 요인은 중요하다. 기후 변화가 요인이 되는가? 폭우와 홍수는 구조적인 침식 또는 높은 습도를 야기하여 습기, 곰팡이, 부패 등의 원인이 될 수 있다. 기타 요인으로서는 열, 방사선, 건조함, 신종 해충 등이 있을 수 있다. 이러한 요인들로 인해 건축물의 안정 상태가 무너지며, 건축물의 손상 진행이 가속 또는 지연될 수 있다. 이러한 경우, 환경적인 변화의 영향으로부터 균형을 유지하기 위해 일부 조치가 필요할 수 있다.
- 투습성은 습기의 신속한 증발 또는 배출을 가능하게 한다. 수분이 자유롭게 흐르지 못하면, 주변의 자재들이 파괴될 수도 있다 (반대로, 수분이 제약없이 흐르는 경우에도 손상을 일으킬 수 있다.)
- 건설 기간 이후로 무엇이 달라졌나? "보수" 또는 신자재 등과 같은 기타 변경 사항이 예상치 못한 결과를 가져올 수 있는가? 오늘날의 모르타르는 특성 및 품질 면에서 원래의 모르타르와 다르다. 전통적인 자재와 기법은 더 이상 존재하지 않을 수도 있다. 구조적인 안정성을 해치지 않는 경우로서 특히 원자재의 특성을 복제하는 것이 불가능한 경우, 덜 하는 것이 실현가능한 선택이 될 수 있다.

문화유산 구조의 가치는 유산의 검증가능한 진정성(Authenticity) 그리고 우리로 하여금 역사적 과거를 알고, 해석하고, 상기시키는 유산의 가치를 중심으로 이루어진다. 송례문은 원래 자재의 상당 부분이 파괴되었음에도 불구하고 그것을 재건하는데 필요한 철저한 연구와 문서화, 장인정신과 도제 시스템이 있었기 때문에 송례문을 재건축하는 것이 가능했다. 흥인지문은 마감재 및 자재의 진정성(Authenticity)이 명백하여 연구원 및 여타의 사람들이 연구할 수 있기 때문에 그 가치가 높다고 할 수 있다.

The rebuilding of the Sungnyenun Gate makes the protection of the undamaged authenticity of the Heunginjimun Gate (1398) a high priority. Is this one example where doing less to restore the Heunginjimun Gate retains the historical authenticity of that structure? Some level of conservation is still advisable to protect the material and finishes and to allow public access.

When considering the authenticity of these structures it is necessary to remember that these structures have been rebuilt or otherwise restored at various times over the centuries and their form and materials could have changed since the original construction. That is part of a traditional cycle of renewal.

When is doing less the best approach? Is doing less to a structure likely to avoid creating conditions that may lead to future instability or decay or will it speed up decay that is already happening? The following are some characteristics of old structures:

- Condition of stability and equilibrium. Historic structures generally work with the environment. An example from a northern climate is a stone building without insulation. The significant heat loss through the walls helps prevent frost and moisture damage to the stonework and heat loss through the roof helps minimize snow build-up and consequent heavy roof loads. Significant air leakage reduces the relative humidity. Sealing, adding insulation and humidification will upset this equilibrium. In this situation doing nothing can be a better approach.
- Environmental conditions are important. Will climate change become a factor? Heavier rains and flooding may cause structural erosion or higher humidity, rising damp, mould or rot. Other factors could be heat, radiation, dryness, new pest infestations, etc. These factors may upset the condition of stability and speed up or slow down the progression of deterioration. In this case some action may be required to balance the effect of environmental change.
- Breathability allows the rapid evaporation or drainage of moisture. Any action that blocks the free flow of moisture may lead to failure of the surrounding materials. (Conversely, unrestrained moisture flow can be a cause of damage.)
- What has changed since the time of construction? Will introducing “repairs” or other changes such as new materials have unanticipated results? Mortars today differ from original mortars in terms of properties and quality. Historic materials and techniques may no longer be available. If structural stability is not at risk, doing less may be a feasible option, especially if duplicating the properties of the original materials is not possible.

The value of a heritage structure revolves around its verifiable authenticity and its value in instructing, interpreting, and reminding us of its historical past. The rebuilt parts of the Sungnyenun Gate are valuable because of the exhaustive research, documentation, craftsmanship and apprenticeship that were required to rebuild it even though substantial parts of the original materials were destroyed. The unrestored Heunginjimun Gate has high value because the authenticity of the finishes and materials is apparent and available to researchers and others to study.

건축물의 진정성(Authenticity)이 검증 가능하고도 가시적인 원래 자재 및 마감재에 따라 결정된다고 하면, 기존의 퇴색, 균열 및 기타 문제가 있는 표면 및 자재를 보호하고 다른 중요한(안전과 상관없는) 보수 또는 재마감 처리를 하지 않아야 할 것이다. 이러한 퇴색 및 붕괴 과정은 시간이 경과함에 따라 계속 일어날 것이다. 이것은 유지보수 및 보수 또는 교체와 관련한 이전의 역사와 전통을 무시하는 것일 수도 있으며, 이는 건축 구조 및 문화의 필수적인 특징이기도 하다. 관찰자가 과거의 생생한 색깔을 볼 수 없다고 해서, 역사적 구조의 해석적 가치가 덜 하다고 할 수 있는가?

안정 상태 : 다음 예들을 통해 다양한 상황 및 "덜 하는" 접근법의 적용 가능성에 대해서 살펴보고자 한다.

1. 안동 법흥사지 칠층전탑(654~935)은 단단한 벽돌 또는 속이 채워진 벽돌로 축조된 건축물이다. 칠층전탑의 근처에는 현재 사용중인 철로(이전 예정)와 저수지가 있다. 기반의 상태가 어떤 지는 명확히 알 수는 없지만 인접한 철로에서 전해지는 진동의 영향으로 손상되었을 것으로 의심된다. 토양에는 계절에 따라 습기가 있지만, 토양 조건에 관해서는 기술되어 있지 않았으며, 탑의 기울어짐은 미미해 보인다.



그림 2 법흥사지 칠층전탑

벽돌은 모르타르가 있더라도 최소한의 양만 함유하고 있다(벽돌의 형태, 깊이, 그리고 타이백 공법이 사용되었는지 여부에 대해서는 기술되어 있지 않음). 그 지지대는 바깥쪽으로 경사져 있으며, 벽돌 위에 시멘트가 발라져 있었다. 벽면에 습기가 올라가는 모습이 뚜렷하게 보인다. 각각의 층에는 벽돌로 만들어진 보호부가 없는 탑 스타일의 돌출된 지붕이 있으며, 균열된 부분에서는 식물이 자라고 있었다. 벽면의 붕괴된 벽돌 부분과 보수중인 모습을 보여주는 사진들이 있다. 이러한 보수와 관련된 문서는 구조물을 이해하는데 있어서 매우 중요한 역할을 한다.

벽돌 및 중심부의 자재는 탑의 중요한 요소이다. 상당히 오래된 구조물임을 감안했을 때, 이 구조는 매우 안정적인 것으로 보인다. 비에 대한 보호 수단이 없기 때문에 중심부 내부 및 주변으로 빗물이 침투할 가능성이 있다. 대부분의 경우 이는 중심부 자재의 침식과 외장벽돌 접합 자재의 침식을 야기해 결국 붕괴로 이어지게 된다. 이러한 경우 벽돌 구조물의 개방된 접합부는 구조가 빠르게 건조되도록 하기 때문에 벽돌의 수명에 필수적인 요소일 수 있다. 여기에 습기의 영향을 줄이거나 수분을 배출하기 위한 건축 기법이 고대에도 있었는가? 모르타르가 없으면 건축물의 유연성이 높아져 내진에 기여할 수 있다.

If the authenticity of a structure depends on its verifiable and visible original materials and finishes, then we should be protecting the existing fading, cracking and otherwise distressed surfaces and materials and not making other significant (non-safety related) repairs or refinishing. Over time this process of fading and decay will continue. This may ignore a previous history and tradition of maintenance and repair or replacement which is also an integral feature of the structure and the culture which built it. Is an historic structure's interpretive value less where the observer cannot see the vibrant colours of the past?

Condition of stability: The following examples explore different situations and the applicability of the “do less” approach.

1. The Seven Storey Brick Pagoda at Beopheungsa Temple Site, Andong, (654~935) is a brick structure with a solid or filled core. It is located close to an active rail line (scheduled to be relocated) and a reservoir. The foundation conditions are unclear but vibration from the adjacent railway tracks is suspected as a possible cause of damage. There is seasonal dampness in the soil but soil conditions were not described. The inclination of the Pagoda appears to be minimal.

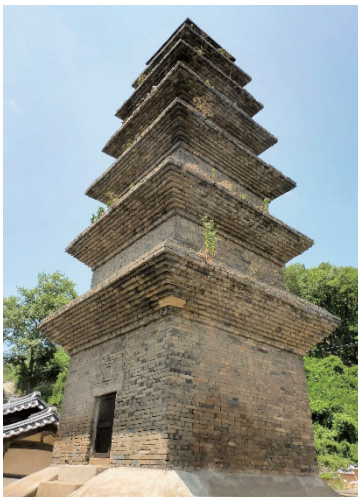


Figure 2 The Seven Storey Brick Pagoda
at Beopheungsa Temple Site

The bricks have minimal mortar (if any) (the shape, depth of the bricks and presence of tiebacks were not described). The base slopes outwards and has a cement topping applied over brick. Rising damp is clearly visible on the walls. Each storey has a pagoda style roof projection built of brick with no protective covering and there is vegetation in the cracks.

There are pictures showing collapsed portions of the face brick and repairs being made. Documentation from these repairs is critical to an understanding of the structure.

The brick and the core materials are the critical elements in the pagoda. Given its age this structure appears to have great stability. There is no evident protection from precipitation so that water ingress into and through or around the core is probable. In most circumstances this would cause erosion of the core materials and bonding materials of the face brick leading towards failure. In this case the open joints in the brickwork may be essential to the longevity of the brick by allowing the structure to dry out quickly. Is there an ancient construction technique working here to reduce the effect of moisture or to drain the moisture? The absence of mortar may also be contributing to earthquake resistance by allowing greater flexibility of the structure.

탑에서 가장 취약한 부분은 원래는 보호되었을 것으로 보이는 돌출된 "지붕" 부분인 것으로 생각된다. 접합부에서 자라고 있는 식물들은 벽면 뒤에서 일어나는 물로 인한 손상만큼이나 큰 문제거리이다. 보호 구조물을 복원하는 것이 합리적인 방법인 것으로 생각된다. 탑의 바닥에는 습기의 문제가 있는데 이는 눈으로도 쉽게 확인할 수 있다. 지지대 위로 시멘트를 덧바르면 습기를 빠르게 증발시킬 수 없다. 이러한 것이 무언가를 하는 것이 문제를 일으키는 대표적인 사례이다.

지내력 및 기초 설계는 모든 고층 건축물에 있어서 매우 중요한 요소이다. 칠층전탑의 상태는 양호하며, 이 탑에 있어서의 주요 문제는 벽돌 건축물의 움직임을 유발하는 진동이다. 진동의 원인으로 여겨지는 철로는 지금의 위치보다 멀리 이전될 계획이다.

2. 경주의 첨성대(632-647)는 석조 건축물이다. 첨성대는 최근에 발생한 지진으로 인해 0.1도 가량 더 기울어져 북쪽으로 약 1도 가량 기울어져 있다. 탑 근처에서는 굴착 및 시험을 허용하지 않기 때문에 지하의 기초 상태 또는 깊이를 명확히 알 수 없었다. 지상의 수분 상태는 계절에 따라 지하수면과 함께 변할 수 있다. 커다란 개방된 접합부가 있는 석조 사이에는 모르타르가 없는 것으로 보인다. 석조 내부의 양상, 깊이 및 토대는 명확히 알 수는 없었다. 탑의 상부에는 꼭대기로부터 1.4m 떨어진 곳에 석조로 된 가로보를 대어 보강할 수 있으며, 탑 상부에 겹치는 모서리가 있고 한쪽 모서리가 부서진 것으로 보이는 직사각형 모양의 기둥 구조가 있다. 중심부는 부분적으로 반 정도만 채워져 있으며, 충전재가 무엇인지는 제대로 파악할 수 없었다.



그림 3 첨성대

이 탑은 1300년 동안 변함없이 버텨 왔으며 매우 견고하게 지어진 것으로 보인다. 첨성대가 안정적인 이유 중의 하나는 그 구조가 피라미드 구조를 하고 있기 때문일 수 있다. 현재의 주요 문제는 탑의 기울어짐, 석재의 침식 및 변위, 그리고 비를 막을 수 있는 수단이 없다는 것이다.

탑의 기초는 탑의 지지대를 향해 사각으로 배열된 9개의 크고 평평한 석판들인 것으로 보인다. 탑의 이 석판들은 북쪽을 향해 침강해 탑이 약 1도 정도 기울어져 있다. 탑 주위의 넓은 지역에 대한 굴착이 일어나지 않았다면, 그렇게 오랜 세월이 흐른 후에도 그 지지대는 땅속으로 부분적으로 침강하거나 묻히지 않았다. 이것은 심토의 상태가 안정적이라는 것을 의미한다.

기초 상태 및 진동효과를 판단하기 위해 탑 주위에서 굴착하는 것은 허용되지 않는다. 부분적인 굴착으로 인해 토양 및 수분의 계절적 변화를 나타내는 것으로 보인다.

The most vulnerable parts of the Pagoda seem to be the “roof” projections which may have originally been protected. The vegetation growing in the joints is of as much concern as water damage behind the face. Restoring the protection would seem to be reasonable. The base of the tower has a visible problem with the rising damp. The cement rendering over the base prevents moisture from quickly evaporating. This is a case where doing something is causing a problem.

For any tall structure, soil bearing capacity and foundation design are of significant importance. The 7 Storey Brick Pagoda is in fair condition and the main concern is vibration causing movement in the brick structure. The cause of that vibration, the railway, is to be relocated further away.

2. The Cheomseongdae Observatory, Gyeongju (632–647), is a pyramidal shaped stone structure. The Observatory has a lean of about 1 degree to the north with a 0.1 degree increase in the lean following a recent earthquake. The foundation conditions are not clearly understood nor the depth of the construction underground, since excavation and testing close to the tower is not permitted. Ground moisture conditions appear seasonally variable with a high water table. There appears to be no mortar between the stones which have large open joints. The interior profile of the stones, depth and bedding is not clear. The top of the tower may be strengthened by stone cross beams about 1.4m from the top and there is a rectangular structure of beams at the top with overlap corners which appear quite loose with one corner broken. The core is partially filled half way up and the fill material is not well understood.



Figure 3 The Cheomseongdae Observatory

The tower has survived, apparently unchanged, for 1,300 years and appears to be very solidly built. The pyramidal shape may be one reason for the stability of the structure. Currently the main concerns are the tilt of the tower, erosion and displacement of the stones and no protection from rain.

The tower foundation appears to be nine large, flat stone slabs arranged in a square and extending clear of the tower base. These slabs have settled towards the north resulting in a tower lean of about 1 degree. After so many years the base has not sunk into the ground or become partially buried unless there has been some excavation for a wide area around the tower. This suggests stable subsoil conditions.

To determine foundation conditions and the effect of vibration, excavation close to the tower is not permitted. Local excavations seem to indicate clay soil and seasonal variation in moisture levels.

보다 큰 문제는 석조물 중간에 튀어나온 부분이다. 이로 인해 석조 사이의 커다란 접합부가 생겼다. 중심부는 부분적으로 채워져 있으며, 내부 중심부 자재가 정착되어 석조 벽면을 바깥쪽으로 밀어내는 것으로 보인다. 이러한 효과는 충전부 상단의 아랫부분에서 발생하였다. 일반적으로 중심부 및 면의 자재는 비로부터 보호받지 못하고 있다.

모르타르가 사용됐는지 여부에 대한 증거는 제한적이거나 아예 없었다. 석조 내부의 양상 및 각 층의 깊이와 토대는 명확히 알 수는 없었다. 석조의 토대는 중력에 의존하는 것으로 보이며 지지를 위한 중심부 충전재에 의존하고 있을 수도 있다. 개방된 접합부로 중심부의 배수가 일어나 벽면의 수분으로 인한 손상을 감소시킬 수 있을까?

검토 결과, 벽면의 넓은 개방된 접합부와 부분적으로 개방된 중심부의 경우 빗물이 신속히 배수되어 구조물이 빨리 마른다는 것을 알 수 있었다. 또한, 건축물의 느슨한 구조 덕분에 지진이 발생했을 때 건축물이 유연해지도록 할 수 있다. 건축물 상단의 느슨한 석재 또는 돌출부에서 튀어나온 석재로 인해 잠재적으로 붕괴가 일어날 수 있다.

3. 캐나다 토론토 돈 밸리 브릭웍스 밸리 침니(Don Valley Brickworks Valley Chimney (DVBW), c.1894

124년 된 31m 높이의 굴뚝을 이 보다는 훨씬 낮고 매우 다른 1,300년 된 건축물들과 비교한다는 자체가 희한한 일이다. 그러나, 이러한 논의에 덧붙일 수 있는 유사점 또는 유사한 상태가 있다.

굴뚝은 현지에서 제작된 가마에서 석회 모르타르로 만들어졌으며 도면상 직사각형 모양을 하고 있다. 이 직사각형 형태는 전체 높이에 걸쳐 유지되고 있지만 약간 뒤틀어져 있다. 연통 또는 중심부는 24m의 내부 계단과 29m의 또 다른 계단까지 직선으로 이루어져 있다. 원래 굴뚝에는 나팔 모양의 지붕이 있었는데, 그 꼭대기는 29m에서 현재의 32m 사이 부분에 재건축되었다. 재건축된 이 부분은 상태가 좋지 않았다. 굴뚝은 2도 가량 기울어져 있다.



그림 4 돈 밸리 브릭웍스 밸리 침니

조사 초기과정에서는 이전 보수의 범위와 날짜를 결정하고 굴뚝 기울어짐이 증가하는지 여부를 결정하기 위해 역사적인 사진을 광범위하게 분석하였다. 1948년 굴뚝 꼭대기를 교체한 역사적인 사진들이 있었으며, 그 보수 과정의 흥미로운 특징은 굴뚝이 기울어져 있지만, 새로운 벽돌은 똑바르고 수직적이었다는 것이다. 이것은 그 이후로 굴뚝의 움직임이 거의 없거나 또는 전혀 없었다는 것을 확인시켜 주었다.

Of greater concern is the mid-waist bulge of the stonework. This has resulted in very large joints between the stones. The core is partially filled and it appears that the inner core material is settling and pushing the stone walls outward. This effect occurs in the areas below the top of the fill. In general, the core and face materials are unprotected from rain.

There is limited or no evidence of mortar. The interior profile of the stones and depth and bedding of each layer of stones is not clear. The bedding of the stones seems to depend on gravity and may also depend on the core fill materials for support. Do the open joints permit drainage of the core and reduce moisture damage to the walls?

In review, it is possible that the wide, open joints of the walls and the partially open core allow precipitation to be rapidly drained so that the structure can dry out. In addition, the loose construction may be allowing the structure to be flexible during an earthquake. Potential failure could occur due to the loose stones at the top of the structure or dislocation of the stones in the bulging areas.

3. The Don Valley Brickworks Valley Chimney (DVBW), Toronto, Canada. c.1894

It is odd to compare a 31m tall, 124 year old chimney with much different and much shorter 1,300 year old structures. However, there are similarities or similar conditions which may add to this discussion.

The chimney was constructed with locally made kiln fired brick set in lime mortar and is rectangular in plan. This rectangular form is continuous throughout its height but there is a slight twist. The flu or core was a straight shaft up to an interior step at 24m and another step at 29m. Originally the chimney had a belled top which was removed and the top was rebuilt between 29m and the current 32m. This rebuilt section was in poor condition. The chimney has a 2 degree lean.



Figure 4 The Don Valley Brickworks Valley Chimney

The initial investigation used extensive analysis of historic photographs to determine the extent and dates of previous repairs and to determine if the tilt of the chimney was increasing. There were historic photographs of the 1948 replacement of the top of the chimney and the interesting feature of those repairs was that, although the chimney was leaning, the new brickwork was plumb and vertical. This confirmed that there was little or no further movement of the chimney after that date.

기초 상태와 불균형적인 외력의 영향을 고려하여 세부적인 구조 분석을 실시하였다. 인근 채석장과 시추공을 통해 알게 된 이 지역의 지층을 보면, 온전한 셰일 위로 부드러운 경계층이 있는 1m 두께의 단열 셰일 층 위로 실트(가는 진흙)로 이루어져 있으며, 지하수면은 높다. 그 지역에는 원래의 지하 연통과 기타 산업 유물이 있기 때문에 굴착이 제한되어 있었다. 굴뚝은 도로에서는 한참 떨어져 있지만, 100m 정도 떨어진 곳에 철도가 있다. 굴뚝 기초의 깊이가 어느 정도인지 확인할 수 없었지만, 셰일층까지 이어져 있을 것으로 가정하였다. 따라서 아래 쪽의 돌과 진흙 층에 불균일한 압축이 일어나 굴뚝이 기울어진 것일 수 있다. 지상투과 레이더로 추가적인 조사를 하도록 권고했지만 당시에는 불가능했다. 굴뚝을 똑바로 세우는 대신 시간에 따른 경과를 지켜보기로 결정하였으며, 이를 위해 경사계가 설치되었다. 굴뚝은 지진 구역에 있지 않았기 때문에 그러한 조치는 합리적인 결정으로 간주되었다.

DVBW 밸리 굴뚝은 현지의 가마에서 구운 벽돌로 만들었으며, 일부 벽돌은 광택 면이 있었다. 벽돌로 지은 석조물은 원래 석회 모르타르로 만들어졌지만 1948년에 이루어진 보수 과정에서는 석회를 접합하였다. 굴뚝의 안정성을 위해, 수직 벽에 테이퍼를 주었다. 각 면의 중심에는 하방 균열의 패턴이 있다. 특히 가마가 작동 중일 때의 가변적인 온도와 같은 힘, 노출 및 풍하중 등 기타 요인 등이 기존에 발견된 손상의 원인으로 생각되었다. 휨 모멘트로 인한 균열 가능성 또한 고려하였다. 또한 보수를 위해 촘촘한 모르타르를 사용한 구역 및 그 주변에도 손상이 발생하고 있었다.

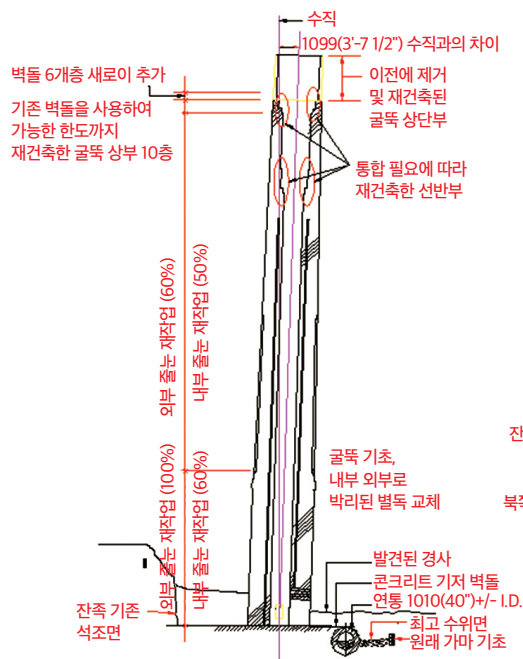


그림 5 남북 단면

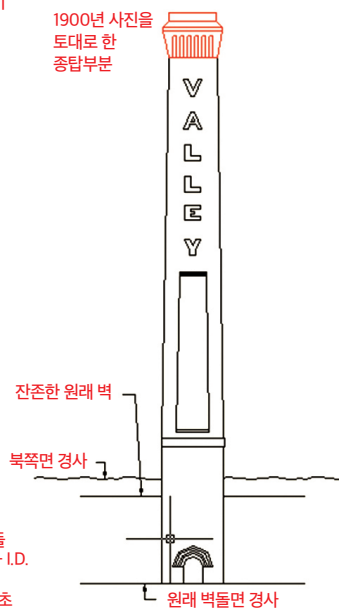


그림 6 남쪽 입면도

A detailed structural analysis was completed considering foundation conditions and the effect of unbalanced exterior forces. The ground profile in the area, known from the nearby quarry area and boreholes, is fill and native clay silt overlaying a 1m layer of fractured shale with soft interlayers over intact shale. There is a high water table. Excavation was restricted as there are original underground flues and other industrial artifacts in the area. The chimney is well away from the road but there is a railway trestle about 100m away. The depth of the chimney foundations could not be ascertained but assumed to extend down to the shale. The tilt of the chimney may therefore have been due to uneven compression of the stone and mud layers underneath. Further investigation was recommended using ground penetrating radar but was unfeasible at the time. The decision was made to make no attempt to straighten the chimney but to observe the chimney over time and an inclinometer was installed for that purpose. The chimney is not in an earthquake zone so this was considered a reasonable decision.

The DVBW Valley chimney was constructed of locally made kiln fired brick and some brick had a glazed face. The brick masonry units were originally set in lime mortar but not the repairs made in 1948 which were cement with the addition of lime. The chimney has vertical walls with a taper which can be considered adding some additional stability. There is a pattern of cracks down the centre of each face. Forces such as variable temperatures, especially when the kilns were operating, exposure and wind loads and other factors were considered as causes for the damage found. The possibility of cracking due to bending moments was also considered. Damage was also occurring in and around areas where dense mortars had been used for repairs.

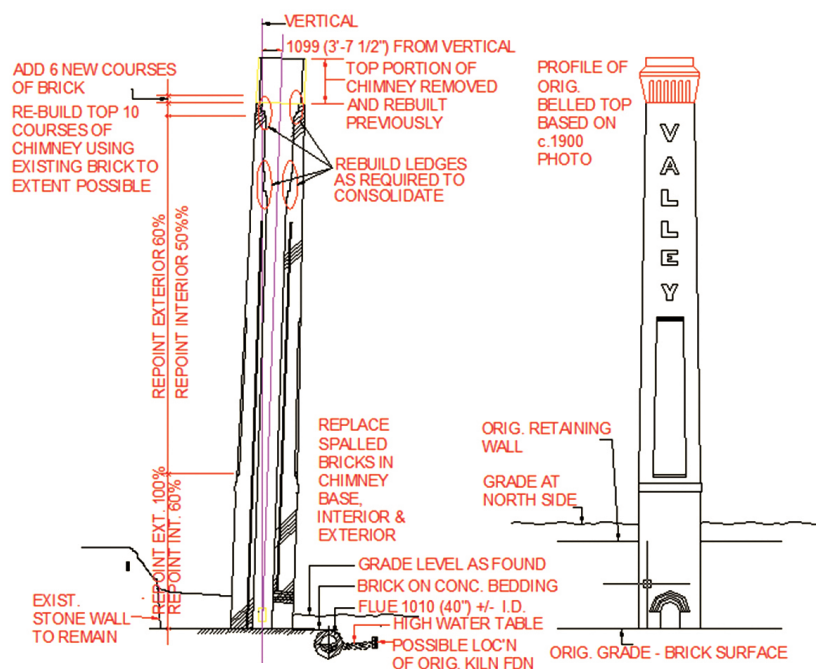


Figure 5 North-south section

Figure 6 South elevation

외부 표면 및 내부 중심부(연통)에 대한 보호 수단은 없었으며, 상단 부분(1948년에 교체됨)은 빗물의 침투 및 서리 작용으로 인해 심하게 훼손되었다.

DVBW 굴뚝은 더 이상 벽돌 가마의 높은 가열/냉각 순환주기의 영향을 받지 않으며, 동결 온도, 강우 및 가변적인 습도의 영향을 받았다. 어떠한 조치를 해서라도 석재 또는 침투한 물을 빠르게 건조시켜야 해야 했으며, 잔류한 단단한 모르타르 및 결빙 온도로 인해 벽돌 구조물의 박리 현상은 더욱 심해질 수 있다. 환기구와 피뢰침이 있는 지붕을 설치하여 중심부의 노출을 줄이고자 하는 결정이 내려졌다. 이 지붕은 지면에서는 보이지 않는다.

각 면에 있는 커다란 수직 균열이 있는 광범위한 균열 패턴은 굴뚝의 기울어진 부분 때문에 보이지 않았다. 역사적으로 볼 때 그 원인은 용광로의 열, 고밀도 모르타르 보수에 대한 동결/융해 작용 및 풍하중의 영향일 수 있다. 철도 교량이 위쪽으로 통과하기는 하지만, 진동이 잠재적 원인인 것으로 확인되지는 않았다.

역사적, 해석적 무결성, 구조적 평형 그리고 건축학적 적합성을 기초로 한 굴뚝 보존에 있어서 가장 실용적이고 정직한 접근법으로서 최소한으로 개입하는 접근법이 권장되었다. 굴뚝을 4개의 벽의 각 중심부에 신텍 앵커(Cintek anchor)와 교차하는 방식으로 결합하기로 결정하였다. 굴뚝은 모르타르가 무너진 곳에는 다시 칠하였고, 가능한 한 항상 고밀도 모르타르를 보다 유연한 석회 모르타르로 교체하였다. 비록 1948년에 이루어진 재건축을 통해 원래의 종탑이 재건되지 않았지만 굴뚝의 원래 라인을 따라 제거하고 부분적으로 재건하였다.

이 굴뚝은 현재 환경 습지인 채석장을 포함한 돈 밸리 브릭웍스(Don Valley Brickworks) 환경중심 단지의 상징물이다.

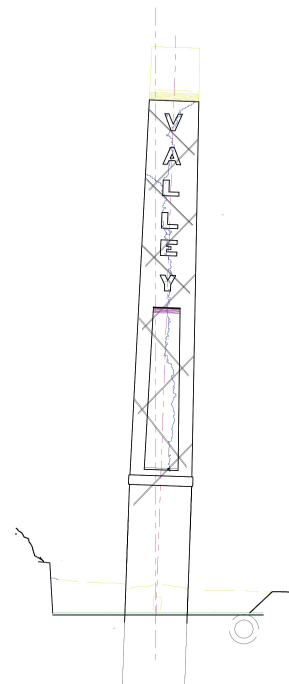


그림 7 서쪽 입면도

The outside faces and interior core (flue) were unprotected and the top section (replaced in 1948) was deteriorating badly, probably due to water penetration and frost action.

No longer subject to the intense heating/cooling cycles of a brick kiln, the DVBW chimney was subject to freezing temperatures, rain and variable humidity. Any intervention had to allow and promote rapid drying of the masonry or water penetration, remaining hard mortars and freezing temperatures would cause further spalling of the brickwork. The decision was made to reduce the exposure of the core by installing a roof with vents and lightning protection. This roof is not visible from the ground.

The extensive pattern of cracking with a major vertical crack on each face did not appear to be due to the lean of the chimney. The historic causes would have been the heat of the furnace, freeze/thaw action around dense mortar repairs, and the possible effect of wind loads. Vibration was not identified as a potential cause although there is a railway bridge passing overhead not far away.

Minimal intervention was recommended as the most practical and honest approach to the conservation of the chimney on the basis of historical and interpretive integrity, structural equilibrium and architectural compatibility. It was decided to stitch the chimney together with a pattern of intersecting Cintek anchors into the core of each of the four walls. The chimney was repointed where mortar was failing and wherever possible, dense mortars were replaced with more flexible lime mortars. The faulty 1948 reconstruction was removed and partially rebuilt following the original lines of the chimney although the original belled top was not reconstructed.

The chimney is now a feature of the Don Valley Brickworks environmentally focused complex which includes the quarry as an environmental wetland.

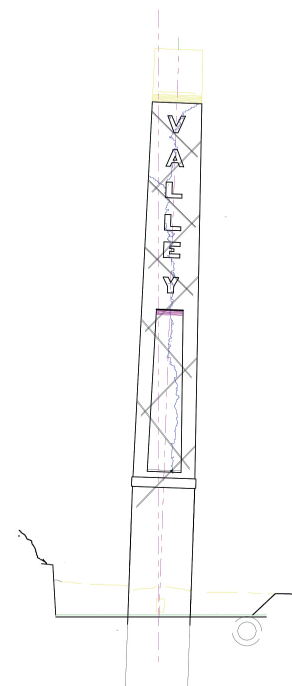


Figure 7 West eleva

결론

기념물의 역사적 진정성(Authenticity)을 유지하기 위해 많은 경우 가능한 한 적게 개입하는 것이 장점이 될 수 있지만, 몇 가지 보호 조치가 필요할 수는 있다. 송례문의 경우는 대부분의 파괴로 인해 재건축이 가능해졌으며, 이는 훈련 및 연구에 유용하였고, 원래의 웅장한 외관을 갖춘 아름다운 구조물이 되었다.

흥인지문(Heunginjimun Gate)의 경우 비록 퇴색되기는 하였지만 원래의 건축물과 색조는 그 구조의 나이와 중심부의 진정성(Authenticity)을 증명하고 연구를 위한 귀중한 자원을 제공한다.

또한 칠층전탑은 매우 진정성(Authenticity)이 높은 건축물이다. 잘못된 정보에 의한 보수(지지대에 시멘트 살포)에 의해 손상이 발생하고 있고, 가림막이 없는 지붕상태로 인해 잠재적으로 손상이 발생할 수 있다. 이 경우 지붕 석조를 노출 및 추가적인 손상으로부터 보호하기 위한 몇 가지 조치가 제안되었다.

첨성대는 특별하고 특이하며 어쩌면 그 누구도 예측할 수 없는 기념물일 것이다. 첨성대가 그렇게나 오랜 시간동안 지속되어 왔다는 사실은 믿기 어려운 일이다. 첨성대의 경우 아무것도 하지 않는다면, 돌출된 벽에서 부분적인 붕괴가 일어나 보수에 큰 곤란을 겪을 수 있다. 속이 채워진 중심부 위에 있는 상부 벽은 건축물의 진정성(Authenticity)에 현저한 영향을 주지 않고서도 안정화시킬 수 있다. 침식을 제한하고 중심부를 더 이동시키도록 하는 보호 조치가 최선책인 것으로 보인다.

마지막으로 돈 밸리 브릭웍스 침니(Don Valley Brickworks Chimney)의 경우에 있어서는 연구와 입지 조건에 의하면 굴뚝의 기울어진 상태를 모니터링하는 것이 가장 안전한 최선책이었다. 굴뚝의 물리적 상태를 살펴봤을 때, 네 모서리가 분리되는 것을 방지하기 위해 광범위한 수리가 필요하며 환경 노출을 최소화하기 위한 보호 조치가 취해졌다.

이 다양한 건축물들을 동일선상에서 비교하는 것은 어려운 일이다. 하지만 그러한 과정을 통해 서로 매우 다른 조건들로부터 무엇인가 배울 수 있는 기회가 있었다.

Conclusion

While there are advantages to doing as little as possible in order to maintain the historic authenticity of a monument in many cases some protective action may be required. In the case of the Sungnyenun Gate the extensive destruction permitted a reconstruction that was useful for training and research and resulted in a beautiful structure with its original magnificent appearance.

In the case of the Heunginjimun Gate, the original construction and colours, even though faded, attest to the age and core authenticity of the structure and provide a valuable resource for study.

The Seven Storey Brick Pagoda is also a structure with great authenticity. Damage is being caused by ill-informed repairs (the cement parged base) and potential damage due to the unprotected roofs. In this case some action is suggested to protect the roof masonry from exposure and further deterioration.

The Cheomseongdae Observatory is a special, unusual and perhaps unpredictable monument. It is hard to believe it has lasted for so long. In this case doing nothing may result in partial collapse of the bulging walls which will be very difficult to repair. The upper walls, above the filled core, can be stabilized without impacting significantly on the authenticity of the structure. Protective measures to limit erosion and further shifting of the core would seem to be the best option.

Lastly, in the case of the Don Valley Brickworks Chimney, the research and site conditions indicated monitoring the condition of the chimney's lean was the safest and best option. The physical condition of the chimney required extensive repairs to prevent the separation of the 4 corners and protective measures were taken to minimize the environmental exposure.

It is difficult to draw parallels between these various structures. However, in doing so we have an opportunity to learn from very different conditions.

유네스코 세계유산도시 경주와 첨성대 慶州 瞻星臺, The Cheomseongdae Observatory

조인숙

건축사 / 건축사사무소 다리건축 대표 / 건축학박사

ICOMOS-ISCARSAH 부회장

국제건축사연맹 워크프로그램 “헤리티지와 문화정체성” 국제디렉터

The UNESCO world heritage city Gyeongju and Cheomseongdae

慶州 瞻星臺, The Cheomseongdae Observatory

In-Souk CHO, PhD

Architect / Principal of DaaRee Architect & Associates (1986~ Present)

Vice President of ICOMOS-ISCARSAH (2014~2017~2020)

International Co-Director of UIA Work Program 'Heritage and Cultural Identity'
(2014~2017~2020)



유네스코 세계유산도시 경주와 첨성대 慶州 瞻星臺, The Cheomseongdae Observatory

조인숙

건축사 / 건축사사무소 다리건축 대표 / 건축학박사
ICOMOS-ISCARSAH 부회장
국제건축사연맹 워크프로그램 “헤리티지와 문화정체성” 국제디렉터

초등학교 자연 및 사회 시간에 배우던 첨성대의 실물을 처음 본 것은 지금으로부터 52년 전인 1966년 졸업 수학여행으로 경주 갔을 때다.



사진 1 1966년 초등학교 졸업 앨범에서

작아도 매우 의젓했던 12세 소년 소녀들에게 첨성대는 오르기 어려운 높은 천문대였다. ‘예감은 틀리지 않는다 (The Sense of an Ending, 2011 / 영화 2017)’라는 영국소설에서도 묘사되었듯이 인간에겐 본인에게 유리한 것만 생각나는 기억장치가 있는 것 같다. 그래서인지 마치 안에도 들어갔던 것처럼 기억된다. 지금은 가까이 접근이 안 되지만 당시 첨성대에 기대어서 단체사진을 찍었다. 물론 그 후에도 자주 방문했지만 지난 2017년 6월 국립문화재연구소와 ICOMOS-ISCARSAH 합동 전문가 워크숍 당시 찍은 최근 사진은 50년 전과 비교할만하다.

The UNESCO world heritage city Gyeongju and Cheomseongdae

慶州 瞻星臺, The Cheomseongdae Observatory

In-Souk CHO, PhD

Architect / Principal of DaaRee Architect & Associates (1986~ Present)

Vice President of ICOMOS-ISCARSAH (2014~2017~2020)

International Co-Director of UIA Work Program 'Heritage and Cultural Identity' (2014~2017~2020)

When I first encountered Cheomseongdae, which I only learned through science and history classes in the primary school, was 1966 during the graduation trip to Gyeongju.



Figure 1 from the school yearbook 1966

Cheomseongdae was an observatory that is very hard for 12-year-old boys and girls to climb up. As described in an English novel, "The Sense of an Ending (2011: the movie in 2017)," people seem to have a memory device designed to store only the things that are beneficial to themselves. Perhaps because of such device, I feel as if I actually went in there. Prohibited for close approaches in these days, we took group photos leaning on Cheomseongdae at the time. I, of course, paid several visits afterward; however, it makes quite a contrast to the recent photos taken during the joint workshop for experts by the National Research Institute of Cultural Heritage and ICOMOS-ISCARSAH.



사진 2 2017년 6월

경주 첨성대 (慶州 瞻星臺, The Cheomseongdae Observatory)는 국내에서는 1962. 12. 20 지정된 국보 제 31호이고 대내외적으로는 2000년 유네스코 목록에 등재된 세계유산¹⁾에 속한다. 세계유산 경주역사유적지구 (World Heritage Site, Gyeongju Historic Areas)²⁾는 남산, 월성, 대릉원, 황룡사, 명활산 지구 등 다섯 개 구역으로 이루어져 있고 세 군의 주요지구 중 월성지구에 첨성대가 속한다. 월성지구의 주요 기념물은 황성옛터, 경주 김씨의 시조가 태어났다는 전설의 계림(鷄林), 임해전지(臨海殿址)에 있는 안압지 (雁鴨池)와 첨성대 (瞻星臺)이다.

첨성대는 경북 경주시 인왕동 (仁旺洞)에 위치한다. 지대석과 한 변이 약 18자 (尺)인 거의 정방형의 기단 위에 위 부분 지름이 작고 아랫부분 지름이 더 큰, 즉 병모양의 원통형 조형물을 다듬은 돌로 약 3층 정도 높이로 쌓은 축석 구조물이다³⁾. 최초 건립은 7세기 초로 추정하고 있다⁴⁾.

구할 수 있는 자료를 모두 검토하고 보니 실체는 하나인데 해석이 저마다 다르다. 학자들이 임의로 상징성을 부여하거나, 돌의 규격에 대한 표현이나 돌 단의 개수 등이 자료마다 달리 설명되어 있고, 정확한 용도나 건립시기 등이 아직 연구 중이라는 점에 다소 놀랐다. 약 15세기 동안 우뚝 서 있다는 사실도 확실한 근거를 아직 제시하기 전이다. 그러나 지난 지진에도 건재하고 내가 본 것만 해도 적어도 반백 년이라는 것은 사실이다. 이 기념물이 역사적으로 얼마나 가치가 있으며, 세계유산 목록에 넣은 후 우리는 어떤 부분을 더 연구하고, 무엇을 보존하고, 무엇을 보여주고 있으며, 후손들에게 무엇을 물려주고 있는지 다시 한 번 되돌아봐야 할 것 같다. 무엇보다도 우리나라에서 다소 오해를 하고 있는 인테그리티(Integrity)에 대해 좀 더 보충연구가 필요하다고 본다⁵⁾.

관측대(observatory)란 고대에서는 지상이나 천상을 살펴보는데 사용되었다. 즉, 천문, 기후/기상, 지구물리, 해양 및 화산 등의 변화를 관찰하는 것이 목적이었다. 애초에는 스톤헨지처럼 아주 간단한 조형물이었다. 천문관측대는 공간이나 항공, 지상 또는 지하 네 곳에 기반을 두고 있다. 지상에 기반을 두고 있는 소위 말하는 원시적 천문관측대 (The oldest Proto-observatories)는 전 세계에 13곳 정도 남아 있는데 첨성대가 그 중 하나다⁶⁾.



Figure 2 June 2017

The Cheomseongdae Observatory was designated as the National Treasure No.31 on December 20, 1962 in Korea and it is also categorized as the World Heritage¹⁾ inscribed in the UNESCO World Heritage List in 2000. World Heritage Site, Gyeongju Historic Areas²⁾ comprises five distinct areas situated in the centre of Gyeongju and in its suburbs: The Mount Namsan Belt, The Wolseong Belt, The Tumuli Park Belt, Hwangnryongsa Belt and The Sanseong Fortress Belt. The Cheomseongdae belongs to the Wolseong Belt. The Wolseong Belt includes the ruined palace site of Wolseong, the Gyerim woodland which legend identifies as the birthplace of the founder of the Gyeongju Kim clan, Anapji Pond, on the site of the ruined Imhaejeon Palace, and the Cheomseongdae Observatory.

Cheomseongdae is located at Inwang-dong, Gyeongju-si, Gyeongsangbuk-do. It is an approximately 3 stories high stonework structure³⁾, of which the diameter at the lower part is greater than that of the upper part, based on the stylobate in an almost square shape and foundation stones. The construction was estimated to be first completed in the early 7th century⁴⁾.

Once reviewing all documents that were available, I found that there were just so many different interpretations surrounding a single object. It was rather surprising to learn that scholars arbitrarily gave away symbolisms, each material had different expressions on dimensions of stones or different number of stairs, and its specific use or the time of construction are still ongoing. The fact that it has been standing there for 15 centuries is yet to be provided with concrete grounds. It is undeniable fact that it is still going strong despite last year's earthquake, and it has already been a half century since I personally saw it for the first time. We need to take another good look at how much of a historic value this monument has, what we need to study more after en listing it to the World Heritage list, what to preserve, what to show and what we are passing down to our future generations. Most of all, I believe we need to conduct more supplementary studies regarding the issue of integrity which our country seems to misunderstand.⁵⁾

An observatory is a location used for observing terrestrial or celestial events. Astronomy, climatology/meteorology, geophysical, oceanography and volcanology are examples of disciplines for which observatories have been constructed. Historically, observatories were as simple as containing an astronomical sextant (for measuring the distance between stars)

이들은 아직 연구기능을 갖추기 전의 개별조형물로서의 관측대의 모습이다. 경주 첨성대는 중국의 세계유산인 가오청 (Gaocheng 藁城), 덩펑관성대 (Dengfeng Astronomical Observatory 登封观星台)⁷⁾ 보다 오래된 유적으로 알려져 있다. 덩펑관성대는 서주 (西周)때부터 원나라에 이르기까지 천문관측을 했던 전통을 자랑하며 그곳에는 729년 대연력 (大衍历, Da Yan Calendar)⁸⁾에 사용되었던 노몬 (gnomon 时针, 圭表圭表라고도 한다)과 원나라 때 대관성대 (1276년 건립)가 있다.

첨성대가 관성대로 이해된 것은 와다유지(和田 雄治 1859-1918)라는 일본인 기상 및 해양학자가 1908년 대한제국의 관측소기사로 임명된 후 학술보고서에 첨성대를 동양에서 가장 오래된 천문대로 소개한 이후라 볼 수 있다. 이는 기록을 바탕으로 “별을 쳐다보는 대”라는 이름에 의거한 것으로 보이는데 후대 연구자들은 이에 대해 이견을 제시하고 있다. 즉, 첨성대의 기능에 대해서는 천문관측대설; 圭表설; 주비산경설; 수미산설 등 다양한 학설이 있고 조영(造營)의 의미에 대해서도 의견이 분분하다.⁹⁾

이런 주요 내용을 짧은 지면에서 깊이 다룰 처지가 못되므로 우리모두는 차라리 유네스코 세계유산으로서의 첨성대를 어떻게 유지 관리하여 후대에 물려줄 것인가를 함께 생각하는 것이 좋겠다. 또한 지역공동체 참여기반을 구축하여 역사도시 속에서 통합된 관리체계를 구축하는 것이 좋겠다는 의견이다.

한편 지난 2017년 6월 국립문화재연구소와 국제기념물유적협의회 학술위원회(ICOMOS-ISCARSAH)가 공동주최했던 돌-나무-흙 합동 워크숍 당시 현장을 조사했던 국제전문가들은 2017년 12월 인디아 델리에서 개최되는 이코모스 학술위원회 합동학술대회에서 의견을 개진할 것으로 기대한다. (조인숙 2017.10)

*참고로 이 글은 2017. 10. OWHC-AP Magazine HeciTag(Heritage Cities Tag) Vol. 6 pp 33-34 기고문으로 작성한 영문의 한글원고이다.

1) 2017년 7월 현재 세계유산협약 (유네스코의 세계문화 및 자연유산 보호에 관한 협약-Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage, 1972) 가입국은 193개국이다. 세계유산은 전 세계 167개국에 분포되어 있으며, 총 1,073점 가운데 문화유산이 832점, 자연유산 206점, 복합유산이 35점, 공동등재유산 (Trans boundary)이 37점이다. 한편 목록에서 제거된 유산이 2점이고, 위험에 처한 유산은 총 54점이다. 협약 가입국 중 세계유산을 아직 하나도 등재하지 않은 나라도 26개국이나 된다. 이중 2017년 7월 2-12일 폴란드 크라쿠프에서 개최된 제 41차 세계유산위원회 결과 문화유산 18건 자연유산 3건 및 경계수정 5건 포함 26건이 신규 등재건이다.

or Stonehenge (which has some alignments on astronomical phenomena). Astronomical observatories are mainly divided into four categories: space based, airborne, ground-based, and underground-based. The oldest Proto observatories that had the foundation on the ground are known to still exist in 13 locations worldwide, and Cheomseongdae is one of those 13.⁶⁾

They have the looks of observatories as an individual sculpture yet to be equipped with research functions. Cheomseongdae in Gyeongju is known to be older than Gaocheng (藁城), Dengfeng Astronomical Observatory (登封观星台)⁷⁾, the World Heritage Site in China. Dengfeng Astronomical Observatory represents proud history where astronomical observation was performed between the Western Zhōu Dynasty and Yuan Dynasty, and there is gnomon used for Da Yan Calendar⁸⁾ in the year of 729 and the Great Astronomical Observatory constructed in 1276 during the Yuan Dynasty.

Cheomseongdae was first understood as an astronomical observatory when Wada Yuji (1859~1918), a Japanese meteorologist and oceanologist, introduced Cheomseongdae as the oldest astronomic observatory in Asia at an academic journal after being appointed to an engineer at the observatory of the Korean Empire in 1908. It appears to be based on the records where the name was indicating "a Platform to observe stars"; however, later researchers present different views. There are quite a few theories, including observatory theory, gnomon theory, theory of the Zhou bi suan jing and Sumeru theory, and opinions vary on the meaning of construction.⁹⁾

Such major details can't be discussed in great depth here and therefore, it would be better for us to discuss how we can maintain and manage Cheomseongdae as a UNESCO World Heritage site for future generations. Also, it seems wise to establish a foundation for participation from local communities to establish an integrated management system within the historical city.

Meanwhile, the international experts who investigated the site during the Stone-Wood-Earth Joint Workshop hosted jointly by the National Research Institute of Cultural Heritage and ICOMOS-ISCARSAH last June are expected to present the papers at the ICOMOS Scientific Committees' joint conference during the "ICOMOS General Assembly & Scientific Symposium 2017" in December at Delhi, India. (In-Souk CHO October 2017)

* This article was written in October 2017 for the OWHC-AP Magazine HeciTag(Heritage Cities Tag) Vol. 6 pp 33-34

1) As of July, 2017, a total of 193 countries have joined the Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage-1972. The world heritage sites are distributed throughout 167 countries around the world where 1073 sites are listed: 832 cultural, 206 natural, and 35 mixed properties in addition to 37 Transboundary properties. On the other hand, 2 properties were excluded from the list while 54 properties are in danger. And there 26 member nations that haven't had their property listed to the World Heritage Sites. According to decisions adopted during the 41st session of the World Heritage Committee held in Krakow, Poland between July 2 through 12, 2017, 26 properties were newly added to the list, including 18 cultural properties, 3 natural properties and 5 boundary modifications.

- 2) 등재기준: 기준 (ii): 경주역사유적지구에는 불교건축 및 생활 문화와 관련된 뛰어난 기념물과 유적지가 다수 분포해 있다; 기준 (iii): 신라 왕실의 역사는 1,000년에 이르며, 남산을 비롯해 수도 경주와 그 인근 지역에서 발견된 유물과 유적은 신라 문화의 탁월함을 보여 준다. (유네스코 한국위원회)
- 3) 지정구역지정면적 28.7 m² (지정구역면적 1,040 m²)에 방형의 기단 (5.24m-5.3m-5.31m-5.34m) 위에 위 부분의 지름은 2.85m, 아랫부분의 지름이 5.18m (4.93m)인 병 모양의 원통형을 석재로 27단을 쌓은 높이 9.17m의 축석 구조물이다. 삼국유사의 기록인 연석 (鍊石)은 다듬은 돌이라는 의미로 이해된다.
- 4) 이 첨성대 건립 연도는 《삼국유사》선덕왕 지기삼사(善德王 知幾三事)조(條)에 「시왕대연석축첨성대(是王代鍊石築瞻星臺)」라고만 나와 있어 정확한 연대는 알 수 없으나, 선덕여왕 (善德女王/ 善德王 ?~647, 재위632~646) 재위 시에 농사에 도움이 되도록 건립한 것으로 추정하고 있다.
- 5) 2017년 8월 조인숙, 도시설계 무크지 기고문: (전략)… 인테그레이트(Integrate)한다는 개념은 서로 이질적인 것들이 만나서 조화를 잘 이룬다는 의미를 내포하고 있으며 도시나 건축에서는 더더욱 그렇다… (후략). “유네스코 세계유산 종묘와 세운상가 -역사 속 건축유산의 Integrity를 다시 생각한다-” 에 서술한 내용.
- 6) Zorats Karer, Karahunj, Armenia; Stonehenge, Great Britain; Quito Astronomical Observatory, located 12 minutes south of the Equator in Quito, Ecuador; Chankillo, Peru; El Caracol, Mexico; Abu Simbel, Egypt
Kokino, Kumanovo, Republic of Macedonia; Observatory at Rhodes, Greece; Goseck circle, Germany (More controversially, it also may be one of the oldest Solar observatories in the world.); Ujjain, India; Arkaim, Russia; Cheomseongdae, South Korea; Angkor Wat, Cambodia
- 7) Historic Monuments of Dengfeng in “The Centre of Heaven and Earth” (천지지중(天地之中)의 덩펑 역사 기념물): 등재기준 (iii), (vi)를 충족시켰다고 판단되어 2010년 등재. 허난성(河南省) 덩펑(登封) 근처의 약 40km²의 면적에 둥글게 펼쳐져 있는 유적지로, 이곳에는 총 8개 군락의 건물들과 유적들이 있다. 쑹산(嵩山)은 중국의 중심에 있는 영산으로 여겨져 왔으며 이 유적지는 높이 약 1,500m인 쑹산의 끝자락에 인접해 있다. 여기에는 중국에서 가장 오래된 종교 건물인 한(漢)나라 때의 쑹산삼궐(嵩山三闕), 여러 사원들, 주공측경대(周公測景臺), 덩펑관성대(登封觀星臺)가 있다. 이 건축물들은 9개의 왕조를 거치면서 오랜 세월 동안 축조된 것들로, 종교적 신앙의 중심이자 ‘천지지중(天地之中, 하늘과 땅의 중심)’으로 쑹산의 권위를 다양한 방식으로 표현하였다. 덩펑의 역사기념물은 제의, 과학, 기술, 교육 분야와 연관된 고대 중국 건축물의 가장 우수한 사례들이다. (유네스코 한국위원회)
- 8) 중국 당나라의 승려 일행(一行)이 현종(玄宗)의 명을 받아 만든 역법으로 주역의 역수(易數)인 대연수(大衍之數)에 근거한 것인데 729년(開元 17) 시행하여 761년(上元 2)까지 33년 동안 사용한 태음력이라고 한다.
- 9) 조세환, 첨성대의 경관인식론적 해석, 한국조경학회 Vol. 26, No.3 pp.178~188, 1998년 10월

- 2) Selection Criteria: Criterion (ii): The Gyeongju Historic Areas contain a number of sites and monuments of exceptional significance in the development of Buddhist and secular architecture in Korea; Criterion (iii): The Korean peninsula was ruled for nearly a thousand years by the Silla dynasty, and the sites and monuments in and around Gyeongju (including the holy mountain of Namsan) bear outstanding testimony to its cultural achievements. (UNESCO World Heritage List)
- 3) It is a stone structure with a height of 9.17m which is stacked up in 27 layers with stone and is in a bottle shape where the diameters of the lower part and upper part are 5.18(4.93m) and 2.85m respectively upon the square stylobate at the designated area of 2.87m²(area of designated site 1,040m²). A curb stone is believed to mean a stone that is trimmed according to <Memorabilia of the three Kingdoms>
- 4) The year of this Cheomseongdae's construction has been recorded as just 「Shiwangdae yeonseokchookcheomseongdae」 in <Memorabilia of the three Kingdoms> which makes it impossible for us to know the exact year but it is presumed that it was built during the reign of Queen Sunduk(?~647, Reign 632~647) to help with agriculture.
- 5) August, 2017 In-Souk Cho, article contribution to the UDIK Mook :...(omission).. The concept of integrate includes the meaning of "to put together or elements and combine them into a whole" which is more so for cities and architecture...(Omitted), Excerpt from "UNESCO World Heritage Jongmyo Shrine and Se-un Arcade - Rethinking integrity of architectural heritage sites throughout the history".
- 6) Zorats Karer, Karahunj, Armenia; Stonehenge, Great Britain; Quito Astronomical Observatory, located 12 minutes south of the Equator in Quito, Ecuador; Chankillo, Peru; El Caracol, Mexico; Abu Simbel, Egypt; Kokino, Kumanovo, Republic of Macedonia; Observatory at Rhodes, Greece; Goseck circle, Germany (More controversially, it also may be one of the oldest Solar observatories in the world.); Ujjain, India; Arkaim, Russia; Cheomseongdae, South Korea; Angkor Wat, Cambodia
- 7) Historic Monuments of Dengfeng in "The Centre of Heaven and Earth": It was inscribed in 2010 as it was deemed to satisfy the Selection Criteria (iii), and (vi) and this is a heritage site which is spread across about 40km² in area near Dengfeng of Henan and it contains a total of 8 colonies and buildings along with the ruins. Mount Songshan is considered to be the central sacred mountain of China. At the foot of this 1500 metre high mountain, close to the city of Dengfeng in Henan province and spread over a 40 square-kilometre circle, stand eight clusters of buildings and sites, including three Han Que gates - remains of the oldest religious edifices in China -, temples, the Zhougong Sundial Platform and the Dengfeng Observatory. Constructed over the course of nine dynasties, these buildings are reflections of different ways of perceiving the centre of heaven and earth and the power of the mountain as a centre for religious devotion. The historical monuments of Dengfeng include some of the best examples of ancient Chinese buildings devoted to ritual, science, technology and education. (UNESCO World Heritage List)
- 8) It is a calendar made by a group of monks during Tang dynasty by the order of Emperor Xuanzong of Tang which is based on <Book of Changes> and it was a lunar calendar that was used for 33 years from 729 to 761.
- 9) Se Hwan Cho, Interpretation of Cheomseongdae in Terms of Landscape, The Korean Institute of Landscape Architecture Vol.26, No.3 pp.178~188. October, 1988

경주 첨성대의 개연성있는 손상 메커니즘

ISCARSAH(건축유산의 구조해석 및 수리복원 국제학술위원회)
2017 워크숍 중 유적지 방문을 토대로 한 의견

Marek Skłodowski

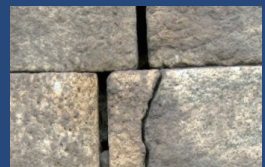
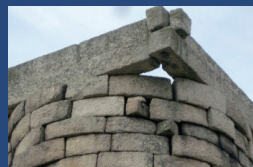
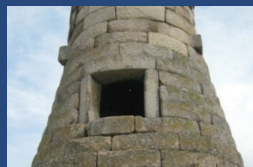
ISCARSAH(건축유산의 구조해석 및 수리복원 국제학술위원회), ICOMOS 폴란드
폴란드 과학기술연구원 원천기술연구소
ul. Pawińskiego 5B, 02-102 Warszawa, POLAND
msklod@ippt.pan.pl

Probable degradation mechanism of Cheomseongdae observatory in Gyeongju

Opinion based on the on-site visit during ISCARSAH Workshop 2017.

Marek Skłodowski

ISCARSAH, ICOMOS Poland
Institute of Fundamental Technological Research, Polish Academy of Sciences
ul. Pawińskiego 5B, 02-102 Warszawa, POLAND
msklod@ippt.pan.pl



경주 첨성대의 개연성있는 손상 메커니즘

ISCARSAH(건축유산의 구조해석 및 수리복원 국제학술위원회)

2017 워크숍 중 유적지 방문을 토대로 한 의견

Marek Skłodowski

ISCARSAH(건축유산의 구조해석 및 수리복원 국제학술위원회), ICOMOS 폴란드
폴란드 과학기술연구원 원천기술연구소
ul. Pawińskiego 5B, 02-102 Warszawa, POLAND
msklod@ippt.pan.pl

초록

경주 첨성대의 가상의 정적인 구조적 손상 메커니즘을 가상으로 제시한다. 이는 전적으로 유적지 관찰과 기록된 사
전에 대한 후향적 분석에 기초하는 것이다. 검토한 손상 메커니즘의 실험적 정당성을 검증할 수 있는 방법 또한 제시하
였다.

키워드 : 첨성대, 자재의 손상, 구조적 손상

예비 조사

2017년 6월 7일 국립중앙박물관에서 열린 서론 강의에서는 역사, 지진 대응, 지반 침하 등과 관련된 구조물의 기울
어짐과 첨성대의 구조적 거동의 모니터링에 관한 정보가 제공되었다[1].

"별을 보는 탑"이라는 의미를 가지고 있는 첨성대는 아시아에서 현존하는 가장 오래된 천체 관측소로 알려져 있다[2].
첨성대는 그 주변의 시설과 함께 2000년 유네스코 세계문화유산 목록에 등재되었다[3].

Probable degradation mechanism of Cheomseongdae observatory in Gyeongju

Opinion based on the on-site visit during ISCARSAH Workshop 2017.

Marek Skłodowski

ISCARSAH, ICOMOS Poland
Institute of Fundamental Technological Research, Polish Academy of Sciences
ul. Pawińskiego 5B, 02-102 Warszawa, POLAND
msklod@ippt.pan.pl

Abstract

A hypothetical static structural degradation mechanism of Cheomseongdae observatory in Gyeongju is presented. It is based solely on the on-site observations and a posteriori analysis of the recorded photographs. Suggestions how to possibly verify experimentally justness of the considered degradation mechanism are also given.

Keywords: Cheomseongdae observatory, material deterioration, structural degradation

Preliminaries

Introductory lecture of June 7, 2017 at the National Museum of Korea provided information about history, earthquake response, leaning of the structure related to ground subsidence and monitoring of the structural behaviour of the Cheomseongdae [1].

Meaning “star-gazing tower” Cheomseongdae is known as being the oldest existing astronomical observatory in Asia [2], which together with its surrounding was inscribed at the UNESCO World Heritage List in 2000 [3].

이 천문대가 축조된 것은 신라시대의 선덕여왕 재위 시절(632~646 AD)로 거슬러 올라간다. 첨성대는 화강암으로 만든 병 모양의 석탑(그림1 A)이며, 두 겹의 긴 수평형 연결 석재가 직사각형 주춧돌 구조를 이루고 있다. 외부는 마름돌 블록으로 되어 있으며, 내부는 주요 외부 구조물의 블록보다 훨씬 작은 불규칙한 석재로 만들어져 있다. 두 층은 부채꼴 모양의 구성으로 배치되어 탑의 원형 원주를 이루고 있다. 탑의 내부 공간을 살펴보면 13층부터 꼭대기까지는 비어 있으며, 12개의 하부 층은 크고 작은 돌과 흙으로 조밀하게 채워져 있다[4].

2017년 6월 9일 육안 관찰

경주역사지구의 유적지 방문을 통해 첨성대의 구조적 거동에 대한 지식을 넓힐 수 있었다. 전체적으로 탑의 북쪽 방향으로 기울어져 있고 탑의 원형 구조가 약간 찌그러져 있는 것을 볼 수 있었다. 첫 번째 결과는 지하 토양의 침강에 의한 것이다. 이 문제는 첨성대의 안정성 및 심토 성질의 안정성에 대한 자세한 정보를 찾을 수 있는 논문이 잘 기술되어 있다[5, 6]. 포인트 마커를 구조물에 고정시켜(그림1 B) 변위계와 측지 측정을 이용하여 연간 4회에 걸쳐 구조의 이동 및 변형을 모니터링한다.

두 번째 결과는 정적인 침강에 의해서 발생할 수 있으며, 지진 발생시의 진동에 의해 발생할 수도 있다. 이는 위쪽 부분의 충전물이 부족하고 그 높이 부분에서의 창문 개방으로 인해 구조적 강성이 크게 달라지는 횡단면 바로 상부 충전층 바로 윗층에서 관찰할 수 있다.

첨성대 구조물의 원래 내진성을 보면 수세기 전 축조된 이후 수 많은 지진을 겪은 탑이라고 하기에는 그 상태는 놀라울만큼 양호하다[4, 6]. 2016년 9월 12일 규모 5.8의 마지막 지진으로 인해 입은 피해 중 일부는 2017년 4월에 복구되었다[1]. 변위된 석조는 구조물 상부에서도 관찰되었다(그림1 C).

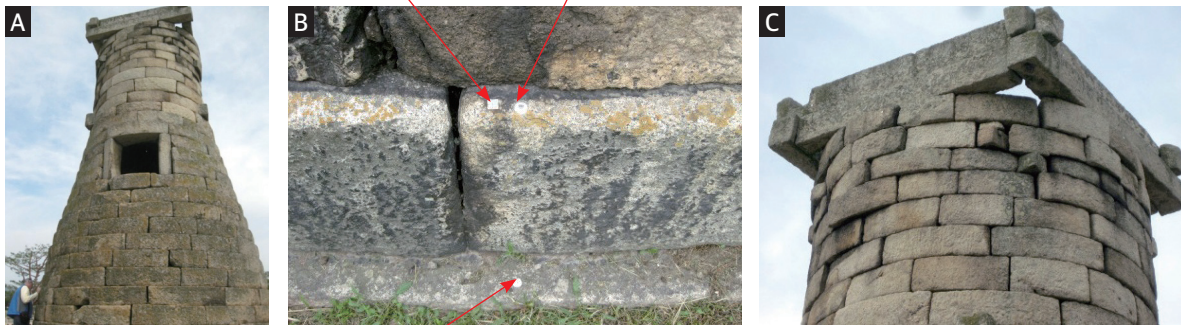


그림1 첨성대 남쪽 모습
(A) 일반적인 모습 (B) 마커의 확대사진 (C) 상단의 변위된 블록

The Observatory is dated back to Queen Seondeok's reign (632 - 646 AD) of Silla dynasty [2]. It is a stone tower of a bottle-like shape (Figure1 A) built of granite stones with additional two layers of long horizontal tie stones forming a rectangular headstone structure. The outer layer consists of ashlar blocks while the inner one is made of irregular stones much smaller than blocks of the main outer structure. The both layers are positioned in a fan-shape configuration to form a circular circumference of the tower. The inner space of the tower is empty from the layer 13 to the top while the 12 lower layers are densely filled with large and small stones and soil [4].

Visual observation on June 09, 2017

Site visit at Gyeongju Historic Areas allowed to broaden a knowledge about structural behaviour of the Observatory Tower. The leaning of the Tower towards the North direction can be visible together with the slight distortion of the Tower rounded shape. First effect is attributed to the underneath soil subsidence. The problem is well described in papers [5, 6] where detailed information about the research on the stability of Cheomseongdae and the subsoil properties can be found. Point markers are fixed to the structure (Figure1 B) and structural movements and deformations are monitored four times a year using displacement gauge and geodetic measurements.

The second effect can result from static subsidence but it can also be attributed to the shaking motion during earth tremors. It is observable at the layers just above the upper infill layer that is at cross-sections where there is a large local change of structure stiffness due to the lack of the infill above and a window opening at this level.

Original seismic resistance of the Cheomseongdae structure is remarkably good as the Tower suffered from numerous earthquakes since its construction several centuries ago [4, 6]. The last one of September 12th, 2016, with magnitude of 5.8 degree resulted in some damages which were restored in April 2017 [1]. Displaced stones can still be seen at the upper part of the structure (Figure3 C).

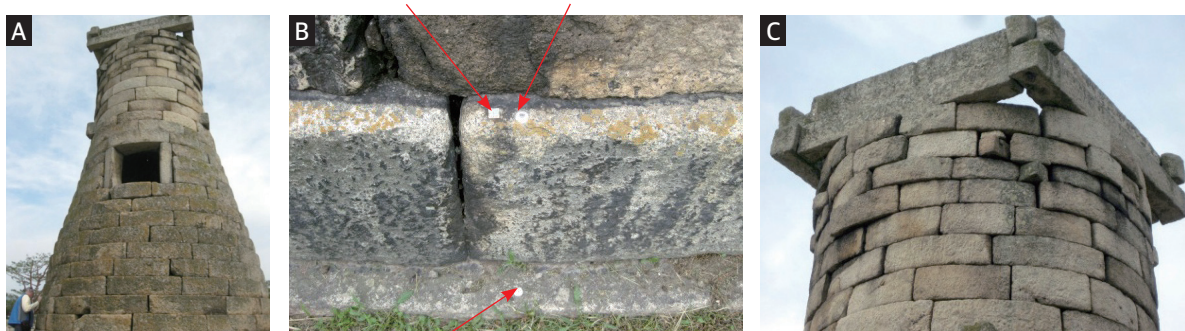


Figure 1 South view of the Cheomseongdae Observatory tower:
(A) general view (B) markers close-up view (C) displaced blocks at the to

마름돌 블록 사이의 작은 돌

유적지 방문 후 개최된 한국과 ISCARSAH(건축유산의 구조해석 및 수리복원 국제학술위원회) 전문가들을 위한 토론에서는 위의 주제들에 추가하여, 탑 하부의 마름돌 블록 사이의 틈에 작은 돌들이 존재할 수 있는 이유에 관하여 언급하였다.

이에 대한 가능한 두 가지 메커니즘을 고려하였다.

메커니즘 #1(외부에서 내부로)은 매우 단순한데, 작은 돌과 자갈을 외부로부터 블록 사이의 빈 공간에 삽입한 것으로 가정한다. 그러나 이 구상에 대해서는 다음과 같은 즉각적인 의문을 유발했다. 즉 누가, 왜 그러한 행동을 했으며 그리고 탑 벽면 블록과 같은 재질의 작은 돌들을 그곳에 삽입하였는가?

질문은 계속 쏟아졌고 메커니즘 #1은 토론 과정 중에 받아들여지지 않았다.

메커니즘 #2(내부에서 외부로)는 보다 흥미롭다. 이 메커니즘은 작은 돌들이 탑 안에서 씻겨 나간 것이라고 가정한다. 이 메커니즘의 틀 안에서, 탑의 12개 하부층의 충전물은 폭우 동안 탑 내부에 축적된 물에 의해 부채꼴 모양의 블록 사이의 틈을 통해 탑 밖으로 운반될 수 있다.

이 메커니즘은 작은 돌과 구조적인 블록의 동일한 화강암 재질이라는 것과 탑의 하부에서만 관찰되는 작은 돌을 설명할 수 있다. 그러나 전문가들 사이에서는 이 메커니즘에 대해서는 명확하게 일치할 보지 못했는데 주로 부채꼴 모양의 마름돌 블록 구조가 작은 돌을 탑 내부로 밀어 넣을 수 없는 형상이라는 이유 때문이었다. 따라서 마름돌 사이의 작은 돌의 존재에 대해서는 설명할 수 없었다.

개연성있는 메커니즘 #3

위의 고려사항에서 나온 것처럼, ISCARSAH(건축유산의 구조해석 및 수리복원 국제학술위원회) 전문가 회의에서 제시된 원래의 마름돌 블록 사이에 작은 돌의 존재에 관한 메커니즘은 만족스럽게 설명되지 못하였다. 추가 분석을 통해 아래에 제시된 자연적 분해 과정을 토대로 한 또 다르게 설명할 수 있다.

Small Stones between ashlar blocks

A discussion of Korean and ISCARSAH experts having place after the on-site visit addressed additionally to the above subjects the problem of a possible reasons of existence of small stones inside slits between ashlar blocks in the lower part of the Tower.

Two possible mechanisms of manifestation of the small stones were considered.

Mechanism #1 (outside-in) being very simple assume insertion of the small stones and pebbles into the empty spaces between the blocks from the outside. But this idea immediately generates new questions - who and what for performed such an action and from where the small stones of the very same material as that of the tower wall blocks were taken to be inserted there?

The questions remained open and the Mechanism #1 was not accepted during the discussion.

Mechanism #2 (inside-out) is more interesting. It assumes that the small stones are washed out from the inside of the tower. Within a framework of this mechanism the infill of the 12 lower layers of the tower can be transported outside the tower through slits between fan-shaped blocks by water accumulating inside the tower during heavy rains.

This mechanism explains the same granite material of the small stones and structural blocks and the small stones being observed in the lower part of the tower only. However there was no consensus among the experts that the mechanism is correct mainly because of the fan shaped configuration of the ashlar blocks, that is a geometry which does not allow to push the small stones back inside the tower. Thus the existence of the small stones between the ashlar blocks was not explained.

Probable Mechanism #3

As comes from the above considerations mechanisms of the existence of small stones between the original ashlar blocks presented during ISCARSAH experts ad-hoc discussion were not satisfactorily explained. Further analysis suggests that it may exist another explanation based on a natural degradation sequence presented below.

손상 과정

1단계 : 공사 기간 동안 마름돌 모양의 화강암 블록을 조심스럽게 끼워 넣었다(그림 2 A, B).

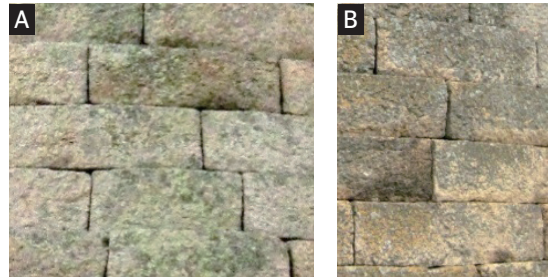


그림 2 (A)와 (B) - 잘 맞게 끼워진 화강암 블록

2단계 : 손상의 시작은 마름돌 블록의 수직 또는 수직에 가까운 파열로 부터 시작되며(그림 3 A), 균열은 석조의 약한 면에 따라 더 복잡한 경로를 따라 전파될 수 있다(그림 3 B).

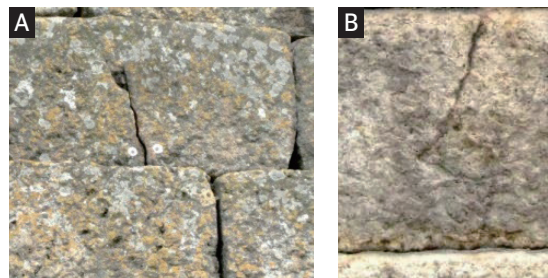


그림 3 (A) 화강암 블록의 수직에 가까운 파열
(B) 석조의 약한 면의 박리 현상

3단계 : 균열이 좁고 균열의 양쪽 면이 동일한 선을 따라 이동한다(그림 4 A, B).



그림 4 (A)와 (B) - 서로 대칭인 면이 있는 좁은 균열

Degradation Sequence

Phase 1 : during a construction period the ashlar granite blocks were carefully fitted (Figure 2 A, B)

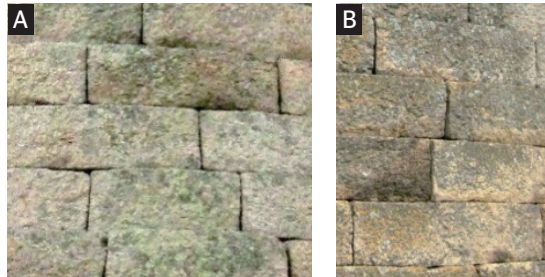


Figure 2 (A) and (B) - Well fitted granite blocks.

Phase 2 : the beginning of degradation is the vertical or quasi-vertical spalling of ashlar blocks (Figure 3 A) cracks can follow also a more complicated path depending on a stone weak plane (Figure 3 B)

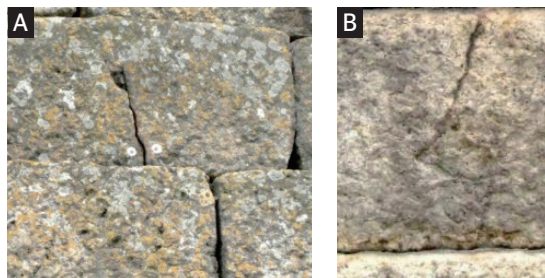


Figure 3 (A) Quasi-vertical spalling of the granite block
(B) spalling following weak planes of the stone

Phase 3 : resulting crack is narrow and both its faces follow the same line mirroring each other (Figure 4 A, B)



Figure 4 (A) and (B) - Narrow cracks with faces mirroring each other.

4단계 : 풍화 과정(물, 태양열, 동결 및 해동)을 통해 균열부위의 매끄러운 날카로운 모서리와 분리된 돌이 시간이 지
나면서 자갈과 작은 돌처럼 될 때까지 모양을 둥글게 만든다(그림 5 A, B).

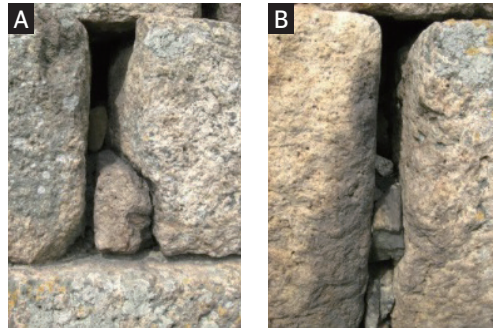


그림 5 (A)와 (B) - 분리된 석조의 둥근 모양

5단계 : 풍화 과정 동안 분리된 돌과 마름돌 블록 사이의 균열이 넓어지고 넓은 틈으로 발전한다(일부 틈은 지진 발
생시 블록의 횡방향 운동 때문에 생긴 것으로 여겨진다).



그림 6 마름돌 석조 사이의 넓어진 틈

6단계 : 그 결과, 작은 돌조각, 자갈 그리고 모래가 블록 사이의 넓은 틈 안에서 바깥에서 삽입된 것처럼 보일 때까지
아래로 이동한다(그림 7 A, B).

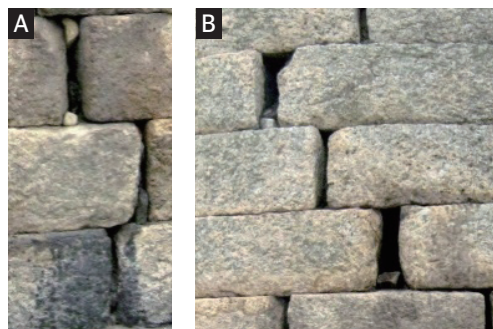


그림 7 (A)와 (B) - 틈 아래로 떨어진 석조 및 자갈

Phase 4 : weathering processes (water, sun heating, freezing and thawing) smooth sharp edges of the crack and the detached stones faces rounding their shape until they resemble gravel and pebbles with time (Figure 5 A, B)

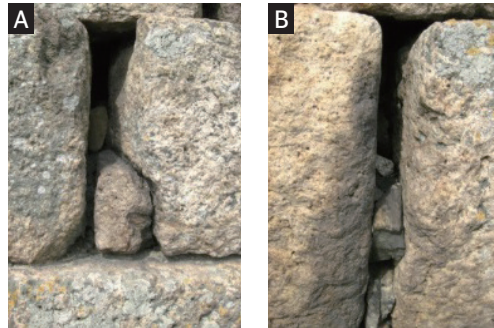


Figure 5 (A) and (B) - Rounded shape of the detached stones.

Phase 5 : during the weathering process a crack between the separated stone and the ashlar block becomes widened and develops into a wide slit (Figure 6) (some slits can probably be attributed to lateral movements of the blocks during earthquakes)



Figure 6 Widened slits between ashlar stones

Phase 6 : as a consequence small stone pieces, pebbles and sand move down inside the widened slit between blocks until they look as inserted from the outside (Figure 7 A, B)



Figure 7 (A) and (B) - Stones and pebbles fall down the slits

7단계 : 마지막으로 모래와 자갈은 비가 내릴 때 탑 내부에서 외부로 흐르는 빗물에 의해 틈 밖으로 씻겨 나간다
(그림 8).



그림 8 분리된 석조는 틈에서 씻겨 나간 것으로 추정된다.

8단계 : 마름돌 블록 사이의 넓은 틈은 다음 박리 사례 및 손상 과정이 진행될 때까지 깨끗하다(그림 9).

이 그림은 또한 미래에 박리가 진행될 수 있는 왼쪽 돌의 약한 면을 보여준다.



그림 9 손상 과정의 마지막 단계
- 블록 사이에 자갈이 없는 넓은 틈

이 프로세스는 다양한 위치에서 동시다발적으로 병렬적으로 실행되거나 또는 각기 다른 시기에 시작하여 동시에 나타날 수 있는 것 처럼, 한 번에 여러 위치에서 다양한 단계가 동시에 실행된다. 상기 제시된 손상 메커니즘과 프로세스 단계의 순서는 다음과 같은 두 가지 주요 이유 때문에 시간이 갈수록 가속화된다.

1. 각각의 손상 사이클로 인해 마름돌의 수직 접촉 표면적이 감소하여 수직 압축 응력이 증가하게 된다(첨성대 상부에 박리가 나타나지 않기 때문에 하부에 작용하는 하중은 거의 일정하게 유지된다).
2. 마름돌 블록의 손상은 석재의 강도를 떨어뜨린다.

Phase 7 : finally sand and gravel are washed out of the slit during rain by the water flowing from the inside of the tower outward (Figure 8)



Figure 8 Detached stone was probably washed out of the slit.

Phase 8 : the wide slot between ashlar blocks remains clean until the next spalling event and the beginning of the next round of the deterioration sequence (Figure 9). The figure also shows the weak plane in the left stone which can be a place of one of the future spalling events.



Figure 9 Last phase of the degradation sequence
- wide slot without pebbles between blocks.

The process can be initiated at various locations and run in parallel at several places at the same time or rather initiated at different years and run in parallel manifesting its various phases at various locations at the one time instant, as it can be seen now. The above presented deterioration mechanism and sequence of the process phases will be accelerated with time for two main reasons:

1. Each deterioration cycle results in diminishing of the ashlar blocks vertical contact surface area thus resulting in increasing of the vertical compressive stresses (upper part of the Observatory Tower does not show spalling hence the dead weight acting on the lower part remains approximately constant);
2. Deterioration of ashlar blocks lowers the strength of the stone material.

그 결과 재료 특성뿐만 아니라 손상 과정에 의해 수정되는 수직응력도 관찰할 수 있다. 다음과 같은 시간 의존적 함수를 가지고 결과의 안전 조건을 설명할 수 있다.

$$\sigma_v(t) = F_U / S_{bc}(t) \leq UCS(t) \quad (1)$$

여기서 t 는 시간, $\sigma_v(t)$ 는 마름돌 블록에 작용하는 수직응력, F_U 는 (분석된 탑의 수평 단면 위의) 블록의 고정하중 힘이다. 즉, 수직 응력 $\sigma_v(t)$ 의 증가 및 재료 강도 $UCS(t)$ 의 감소 두 메커니즘이 구조적 안정성을 거스르는 역할을 한다.

확실히 이 탑은 모든 수평 단면에서 $\sigma_v(t) < UCS(t)$ 조건이 전체적으로 그리고 부분적으로 충족될 경우 안정 상태를 유지한다.

관측된 손상 패턴에 의하면 탑 구조물은 이러한 조건들에 근접하게 작동한다.

$$\sigma_v(t) < UCS(t) \quad (2a) \text{전체적으로 만족, 그리고}$$

$$\sigma_v(t) = UCS(t) \quad (2b) \text{부분적으로 만족.}$$

기준 (2a)가 충족되는지는 구조물의 존재에 의해 입증할 수 있다. 기준 (2b)가 가 충족되는지는 수년 동안 발생해 온 박리 사례로 입증할 수 있다.

구조적 손상 과정은 위에서 논의한 바와 같이 가속되어 현재 전체적인 조건(2a)을 위험 상태(2b)로 줄일 수 있다. 실제 $UCS(t_{2017})$ 의 초음파 평가는 실제 UCS 의 수%~수십% 사이의 오차로 재료의 강도를 예측한다. 이로 인해 구조물의 안전 수준을 심각하게 과소평가하는 결과를 초래할 수 있다. 따라서 파괴 시험의 수행을 고려해볼 가치가 있다. 어떤 면에서는 이미 분리된 돌조각의 경우 마름돌 틈에 남아 있기 때문에 가치있는 유산 구조에 추가적인 손상이 발생하는 것을 방지할 수 있다. 적용해볼 수 있는 비표준적인 방법에 대해서는 추가적인 논의가 필요하다.

As a result one may observe not only the material properties but also the vertical stresses being modified by the deterioration processes. Resulting safety condition can be described by the following time dependent function

$$\sigma_v(t) = F_U / S_{bc}(t) \leq UCS(t) \quad (1)$$

where t is time, $\sigma_v(t)$ is the vertical stress acting on ashlar block, F_U is a dead load force of upper part of the blocks (above the analysed horizontal cross-section of the tower), $S_{bc}(t)$ is a decreasing with time block contact surface (between blocks at the analysed horizontal cross-section of the tower), $UCS(t)$ is a decreasing with time uniaxial compressive strength of the stone block. This means that both mechanisms - increase of vertical stresses $\sigma_v(t)$ and decrease of material strength $UCS(t)$ act against structural stability.

Obviously the tower remains stable if the condition $\sigma_v(t) < UCS(t)$ is satisfied at its every horizontal cross-section both globally and locally.

Observed degradation pattern suggests that probably the tower structure operates close to the conditions

$$\sigma_v(t) < UCS(t) \quad (2a) \text{) satisfied globally, and}$$

$$\sigma_v(t) = UCS(t) \quad (2b) \text{ satisfied locally.}$$

Fulfilling of the criterion (2a) is proved by the existence of the structure. Fulfilling of the criterion (2b) is proved by spalling events which have been happening since many years.

The structural degradation processes may accelerate as discussed above resulting in reducing the nowadays safe global condition (2a) into the danger one (2b). Ultrasonic evaluation of actual $UCS(t_{2017})$ provide material strength estimation with an error between several and some tens of percent of the real UCS . These may result in a severe underestimation of safety level of the structure. Hence performing destructive tests is worth of thinking about. To some extent it can be done on pieces of already detached stones existing in ashlar slits thus avoiding any additional damage to the valuable heritage structure. The possible non-standard method needs further discussion.

결론

경주 첨성대를 구성하는 화강암의 재료 강도 저하 메커니즘에 관한 가설은 장기간에 걸쳐 관측되어 온 구조적 손상에 의한 것으로 추정할 수 있다. 그것은 추가적인 보존 활동에 대한 작용 가설로 간주할 수 있지만, 그럴듯한 메커니즘의 유일한 예로 파악해서는 안 된다. 저자의 의견으로는 손상 메커니즘이 가장 가능성이 높은 것임에도 불구하고, 추가적인 유적지 연구를 통해 다시 확인할 필요가 있다.

두 마커의 상대적 변위의 측정을 기초로 한 균열폭 모니터링은 한 해 4회 실시된다. 위의 손상 가설에서 얻은 결론에 의하면 열적으로 유도된 경우를 제외하고는 마커 사이의 거리 변화를 배제함과 동시에 마커 사이에 위치한 균열폭을 증가시킨다.

부착된 마커의 현재 거리 모니터링에 추가하여 직접적인 균열폭 측정이 적용될 경우, 균열폭이 일정하지 또는 석조 블록 이동으로 인해 변화하는지 또는 석조 블록 표면의 손상으로 인해 변화하는지 여부 등이 분명해진다. 후자는 이렇게 기술된 가설을 간접적으로 증명할 것이다.

문헌 목록

- [1] 돌, 나무, 흙 건축의 구조 특성과 안전관리 방안 국제워크숍 보고서, 안전방재연구실 편집 및 발간
- [2] 박창범(2008) 천문학 : 한국의 전통 과학 - 한국 문화 뿌리의 정신 22, 이화여대 출판부, ISBN: 9788973007790
- [3] 세계문화유산위원회, 유네스코, 호주 케인즈, 호주, 2000, <http://whc.unesco.org/en/decisions/2485>
- [4] 박헌준 및 김동수, 동적원심모델 실험을 이용한 첨성대의 지진 거동에 대한 평가 지진공학, 동적 구조 2015, 44:695-711. DOI: 10.1002/enge.2482
- [5] 박헌준, 김덕문, 김기석, 안희윤, 김동수, 첨성대의 안정성을 고려한 비침습적 지질조사. 문화재 13권(2012년) 98-102, DOI: 10.1016/j.culher.2011.05008
- [6] H-J. Park, D-S. Kim, D-M. Kim, 및 D-M. Kim, 현지의 영향을 고려한 경주 내의 건축 유산에 대한 내지 위험도 평가. 지구계의 자연재해 13, 251-262, 2013. DOI: 10.5194.nhess-13-251-2013

Conclusions

Presented hypothesis of material strength degradation mechanism of granite forming Cheomseongdae Observatory in Gyeongju is a probable explanation of the observed long-term degradation of the structure. It can be treated as the working hypothesis for further preservation actions but should not be understood as the only one plausible mechanism. Although in author's opinion described degradation mechanism is the most probable one it must be confirmed by further on-site research.

A crack-width monitoring based on the measurement of a relative displacement of two markers is performed four times a year. The conclusion from the above degradation hypothesis rules out changes of the distance between markers, except thermally induced, yet at the same time accepts the increasing of the width of the crack situated between the markers.

If additionally to the current distance monitoring of attached markers a direct crack width measurement is carried on it will become obvious whether the crack width will be constant or will change due to the stone blocks movement or will change due to the deterioration of the stone block surfaces only. The latter would indirectly prove the described hypothesis.

Bibliography

- [1] The 1st ISCARSAH Workshop 2017. Edited and published by Safety and Disaster Prevention Div., NRICH, 2017, Korea.
- [2] Park, Changbom, (2008). Astronomy: Traditional Korean Science -The Spirit of Korean Cultural Roots 22, Ewha Womans University Press, ISBN: 9788973007790
- [3] World Heritage Committee, UNESCO, Cairns, Australia, 2000, <http://whc.unesco.org/en/decisions/2485>
- [4] Heon-Joon Park and Dong-Soo Kim, Evaluation of seismic behaviour of Cheomseongdae using dynamic centrifuge model test. Earthquake Engng. Struct. Dyn. 2015, 44, 695-711. DOI: 10.1002/eqe.2482
- [5] Park Heon-Joon, Kim Derk-Moon, Kim Ki-Seog, Ahn Hee-Yoon, Kim Dong-Soo, Noninvasive geotechnical site investigation for stability of Cheomseongdae. Journal of Cultural Heritage 13 (2012) 98-102, DOI: 10.1016/j.culher.2011.05008
- [6] H.-J. Park, D.-S. Kim and D.-M. Kim, Seismic risk assessment of architectural heritages in Gyeongju considering local site effects. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 13, 251-262, 2013. DOI: 10.5194/nhess-13-251-2013

그림 목록

그림 1 첨성대 남쪽 모습, 균열폭 마커의 위치가 보임 - (A) 일반적인 모습 (B) 마커의 확대사진 (C)상단의 변위된 블록

그림 2 (A)와 (B) - 잘 들어맞는 화강암 블록

그림 3 (A) 화강암 블록의 수직에 가까운 파열 (B) 석조의 약한 면의 박리 현상

그림 4 (A)와 (B) - 서로 대칭인 면이 있는 좁은 균열

그림 5 (A)와 (B) - 분리된 석조의 둥근 모양

그림 6 마름돌 석조 사이의 넓어진 틈

그림 7 (A)와 (B) - 틈 아래로 떨어진 석조 및 자갈

그림 8 분리된 석조는 아마 틈에서 씻겨 나간 것으로 추정된다.

그림 9 손상 과정의 마지막 단계 - 블록 사이에 자갈이 없는 넓은 틈

List of figures

Figure 1 South view of the Cheomseongdae Observatory tower with crack width markers position shown

- (A) general view (B) markers close-up view (C) displaced blocks at the top.

Figure 2 (A) and (B) - Well fitted granite blocks.

Figure 3 (A) Quasi-vertical spalling of the granite block, (B) spalling following weak planes of the stone.

Figure 4 (A) and (B) - Narrow cracks with faces mirroring each other.

Figure 5 (A) and (B) - Rounded shape of the detached stones.

Figure 6 Widened slits between ashlar stones.

Figure 7 (A) and (B) - Stones and pebbles fall down the slits.

Figure 8 Detached stone was probably washed out of the slit.

Figure 9 Last phase of the degradation sequence - wide slot without pebbles between blocks.

페루 콜럼버스 이전의 시대에 내진 건축물을 만들기 위한 돌과 흙의 조합

Julio Vargas-Neumann¹, Rafael Aguilar²

¹ 페루 가톨릭 대학교 전임교수
jhvargas@pucp.pe

² 페루의 가톨릭 대학교 부교수
raguilar@pucp.pe

The Combination of stone and earth to produce Earthquake-resistant constructions in the peruvian Pre-columbian era

Julio Vargas-Neumann¹, Rafael Aguilar²

¹ Full Professor, Catholic University of Peru.
jhvargas@pucp.pe

² Associate Professor, Catholic University of Peru.
raguilar@pucp.pe



페루 콜럼버스 이전의 시대에 내진 건축물을 만들기 위한 돌과 흙의 조합

Julio Vargas-Neumann¹, Rafael Aguilar²

¹ 페루 가톨릭 대학교 전임교수
jhvargas@pucp.pe

² 페루의 가톨릭 대학교 부교수
raguilar@pucp.pe

초록

페루의 거대한 건축 유산은 돌과 흙으로 만들어졌는데, 이들 재료는 인류가 가장 접근하기 쉬운 천연 재료로서 이 재료를 이용하여 인류는 가장 오래되고도 높은 문화적 가치를 지니고 있는 역사적 건물을 건축하였다. 페루에서는 진흙 모르타르를 이용한 석조 석축기술이 다양하게 개발되었는데, 페루의 고대 건축가들은 오늘날의 건축가들처럼 강도, 안정성 및 성능, 그리고 내진 설계 기준에 따라 내진 안정성을 추구하는 여러 가지 방법을 시행착오를 겪으며 조사하여 석재를 연결하고 결합시켰다.

페루 가톨릭 대학의 공학자들은 40년 동안 어떻게 흙으로 만든 집을 강화할 수 있는지 그리고 30년 동안 돌과 흙을 사용한 다양한 건축 기법으로 어떻게 유산 건물을 보존하는지에 대한 실험을 수행하였다.

가장 오래된 유적지(카랄, 기원전 3000년)와 근대 유적지(마추픽추, 서기 1500년)에 대한 최근 연구에서는 안정적 인 중심부 피라미드라는 공통적인 개념이 있음을 보여주었는데, 이는 진흙, 모르타르, 식물성 바줄, 포대 등을 사용하여 석조 사이의 상대적인 변위를 제어하고 있다. 진흙 모르타르와 관련하여, 점토와 굵은 모래사이의 비율을 잘 조절하는 것이 응집성과 건조 강도를 개선시키는 가장 효율적인 방법이라는 것이 밝혀졌다. 반면에, 바줄 포대를 사용하면 많은 양의 석조 덩어리에 안정성을 줄 수 있을 뿐만 아니라 건물의 기초를 분리하고 지진 에너지를 분산시킬 수 있는 시스템을 개발할 수 있다. 이 논문들은 세계문화유산에 대한 두 가지 사례 연구를 소개하고 있는데, 지진 안정 문제를 어떻게 해결하였는지, 문화적 가치를 어떻게 보존하는지, 그리고 석조 건물에 미래의 보존 해결방안을 어떻게 고취시킬 수 있

The Combination of stone and earth to produce Earthquake-resistant constructions in the peruvian Pre-columbian era

Julio Vargas-Neumann¹, Rafael Aguilar²

¹ Full Professor, Catholic University of Peru.
jlvargas@pucp.pe

² Associate Professor, Catholic University of Peru.
raguilar@pucp.pe

Abstract

The immense architectural heritage of Peru was built with stones and earth, the two most accessible natural materials, with which humanity has built the oldest historical buildings and higher cultural value. Variations of stone masonry with mud mortar have been developed in Peru, where their ancient builders investigated (based on trial and error) different ways to connect and combine the stones looking for earthquake resistant stability through design criteria based on the strength, the stability and the performance, as in the modern world.

Engineers at the Catholic University of Perú carried out 40 years of experimental studies on how to strengthen earthen houses, and for 30 years studies on how to conserve heritage buildings with different construction techniques of stone and earth.

Recent studies of two archaeological sites, the oldest (Caral, 3000 B.C.) and the modern (Machu Picchu, 1500 A.D.), reveal common concepts of stable core pyramids, by controlling the relative displacement between the stones, through the use of mud mortars and mechanical methods such as vegetal thin ropes and bags. Regarding mud mortars, it has been discovered that the balanced clay-coarse sand is the most efficient way of giving better cohesive properties and dry strength. On the other hand, the use of rope bags provides stability to the stone massive volumes, and also allows developing systems that isolate buildings foundation, and dissipate seismic energy. This papers presents two case studies of declared World Heritage sites, to explain how the seismic stability problems were solved, how to preserve their cultural

는지에 대해 설명하고 있다.

키워드 : 흙돌혼합, 석조 석축기술, 건축문화유산, 지진 거동

1. 서론

흙과 돌은 그것의 유용성 때문에 역사상 가장 오래동안 사용되어온 건축 자재이다. 이러한 자재들을 이용하여, 가장 오래되고 가치있는 유적지가 건설되었다. 초기에 사람들은 흙을 물로 반죽한 다음 건조하면 저항성을 얻을 수 있다는 것을 발견하였다. 이러한 발견 덕분에 건축가들이 벽을 세우고, 대피 공간을 만들고, 공공 건물을 세울 수 있었다.

건조한 접합부, 토벽, 흙과 석조 벽의 조합, 그리고 돌로 보호되는 토벽 등은 재료의 가용성, 건축가의 선호도 및 날씨에 따라 개발되었다. 진흙 모르타르를 이용하는 석조기술은 다양한 특성을 가진 기법으로 구성되며, 여기에서 흙은 석조 구조 또는 보호 구조물 사이에 위치한 연결 물질의 역할을 한다. 또한 유기물(목재, 대나무, 가죽, 식물 섬유)을 사용하는 것은 이 기술의 중요한 한 부분이다.

날씨 및 생태학적 다양성으로 인해 폭우, 홍수, 폭풍, 지진, 산사태 등과 같은 자연 현상이나 재해의 반응에 적합한 흙, 돌, 유기물과의 다양한 조합이 개발되었다. 새로운 형태의 벽, 지붕 또는 아치형 천장을 포함한 피난처가 필요했는데 이는 시행착오를 통해 완성되었다. 그 후 정치와 종교는 새로운 기술과 집약적인 노동력을 필요로 하는 사회적 장소와 공공 건물을 건설한 지도자와 엘리트들에게 권한을 주었다.

2. 페루의 역사적 경험

최근의 고고학적 발견에 관한 연구 결과에 의해 지난 20년 동안 페루와 아메리카의 역사가 다시 쓰여졌다. 묻혀진 비밀에 대해 발견된 내용은 페루와 아메리카의 역사 모두 그들의 기원이나 숨겨진 과학적 지식의 수준에 대해 깊이 알지 못할 정도로 매우 중요하다.

value and mainly to inspire future conservation solutions in stone buildings.

Keywords: Stone-earth, Stone masonry, Architectural heritage, Earthquake behavior

1. Introduction

Earth and stone are the earliest construction materials used in history due to its availability. With these materials, the most ancient and valuable historical sites were built. Early in time, men discovered that clay soils could be kneaded with water that after drying, acquire resistance. This helped constructors to build walls, shelter, and then erect public buildings.

Stone walls with dry joints, earthen walls, combination of earth and stone masonry walls, as well as earthen walls protected by stones were built based on the availability of the materials, the constructors' preferences and the weather. Stone masonry with mud mortar consists of a technique with different characteristics, in which the earth plays the role of a connector material placed between stone units or the protected structure. In addition, the use of organic material (wood, bamboo, leather, vegetable fibers) was an important aspect of this technique.

Weather and ecological diversity were some factors that led to the development of different combinations with earth, stone and organic materials that fit suitably to the response of natural phenomena or disasters such as heavy rain, floods, storms, earthquakes, and landslide. The need of shelter required including new forms of walls, roofs or vaults that were perfected by means of trial and error. Subsequently, politics and religion empowered leaders and elites who created social sites and public buildings that required new techniques and intensive labor.

2. Peruvian historical experience

Studies in recent archaeological findings have allowed the rewrite of the Peruvian and American history for the last 20 years. The revealing of buried secrets has been so important that both, Peruvian and American history, do not deeply know their origins or the level of scientific knowledge hidden underneath.

페루는 환태평양대에 위치한 지진이 가장 심한 나라 중 하나로서 엘니뇨-남방진동(ENSO) 현상의 영향으로 인해 고통을 받는다. 이러한 자연현상의 변칙적인 조합은 문화의 역사와 도시, 성지, 공공 건물의 점유에 있어서 불연속성을 가져왔다. 안데스 문화는 기아, 전염병, 그리고 신권 엘리트들의 학대를 접하면서 생존의 연속과도 같은 자연 재해와 사회적 갈등과 연관되어 형성되어 왔다. 500년을 넘는 모든 문화는 건축물들을 남겨놓고 있다. 일부 의전관들은 약 1000년 동안 지속되었다 (J. Vargas, 2012).

3. 카랄 문명

카랄 문명은 50세기 전(기원전 3000년 경)에 만들어졌으며 아메리카에서 가장 오래된 문화이다. 이 문화는 자연 재해에 맞선 가치 있는 건축학적 지식을 드러내었다. 가장 대표적인 피라미드 중 하나의 연구에 따르면 건축가들은 땅, 돌, 유기물들로 이루어진 조합을 개발했으며, 이러한 조합은 재난에서 제대로 기능하였다. (그림 1 참조)



그림 1 갤러리 피라미드 카랄(기원전 3000). 제공 : Christopher Kleihege

카랄의 경우, 다음과 같은 네 가지 단계로 요약할 수 있는 돌, 진흙, 유기물질로 이루어진 다양한 기술로 공공 건축물들이 축조되었다.

- 둥근 형태의 강 돌, 진흙, 모래로 채워진, 큰 석조로 축조된 계단식 피라미드. 이들 피라미드는 홍수와 지진에 대해 굴복하고 말았다(항공 사진은 대형 홍수로 가로막힌 원형 경기장 모습을 보여주고 있다).
- 진흙과 모래가 없고, 석조 외관정면에 흙 모르타르가 들어 있는, 둥근 강 돌로 만들어진 계단식 피라미드. 이 피라미드들은 지진에 굴복했다.

Peru is one of the most seismic countries located in the Pacific Ocean and it is whipped by the effect of the El Niño–Southern Oscillation (ENSO) phenomena. This perverse combination of natural phenomena produced discontinuities in the history of the cultures and occupation of cities, shrines and public buildings. The formation of the Andean culture is linked to natural disasters and social conflicts such as sequel to survival (S. Hsiang et al., 2011), facing starvation, epidemics and abuses of theocratic elites. There was not a culture that exceeded 500 years without leaving their buildings. Certain ceremonial centers lasted about 1000 years (J. Vargas, 2012).

3. Caral Culture

It was created 50 centuries ago (3 000 B.C.) and is the most ancient culture in America. This culture reveals valuable constructive knowledge that faced natural disasters. Studies in one of the most representative pyramids showed that constructors developed combinations made of earth, stone and organic materials that performed properly under disasters (Vargas J. et al 2011). (See Figure 1)



Figure 1 Galery Pyramid, Caral (3000 B.C.). Credit: Christopher Kleihege

In Caral, public edifications were built with different techniques made of stone, mud and organic materials in a hypothetical sequence that can be summarized in the following four steps.

- Stepped pyramids made of big stones fill in with rounded river stones, mud and sand. They succumbed against floods and earthquakes (aerial photos show the amphitheater, cut off by severe flooding).
- Stepped pyramids made of rounded river stone fill, without mud, sand, contained by stone façades with earthen mortar. They succumbed against earthquakes

- 석조 외관정면에 진흙 모르타르가 들어있는, 각진 모양의 돌을 채운 계단식 피라미드. 이 피라미드들은 지진에 대해 보다 안정적인 거동을 보이기는 하였지만, 지진을 극복했다는 증거는 없다.
- 외관정면을 이루는 석조 벽들을 보호하면서 시크라로 알려진, 식물성 섬유로 만든 그물 또는 포대로 만들어진, 석조 중심부가 있는 계단식 피라미드. 이 중심부는 지진이 발생할 때마다 외관정면을 보수함으로써 현재까지 남아 있을 수 있었다.

이 마지막 해법에서 건축가들은 진흙을 대신해서 튼튼한 식물로 꼬아 만든 밧줄을 이용하여 돌을 붙였다. 첨단 공학 기술로 간주되는 이 해결책은 현재 널리 보급된 개비온(gabion) 기술의 시초가 되었다. 피라미드의 중심부는 과거에 입증한 바와 같이 정적이며 동적으로도 안정적이다. 그림 2는 자외선 노출을 견딜 수 있는 해결책을 보여주고 있다. 2012년에 H. Fukuyama 등이 언급한 바와 같이, 진동대를 사용한 일본의 연구는 높이가 0.1~0.5m인 석재 층이 시공 시 지진 에너지를 막고 분산시킬 수 있는 기능을 할 수 있음을 입증하였다.

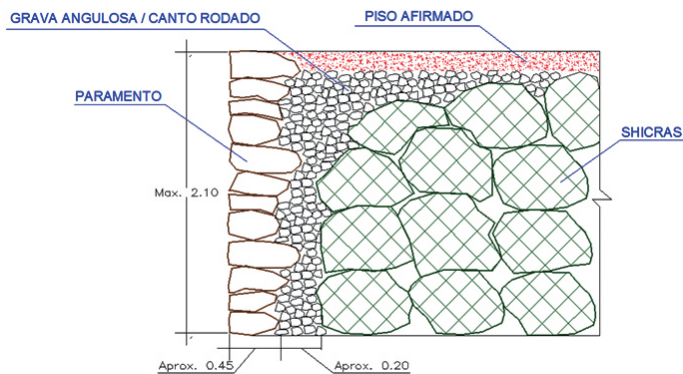


그림 2 천연 밧줄을 주머니에 넣은 각진 채석 석조를 느슨하게 하여 만든 안정적인 피라미드의 중심.
갤러리 피라미드, 카탈 제공 : J. Vargas-Neumann, C. Iwaki 및 A.Rubiños.

카탈 문명은 또한 긴차(수직 목재, 진흙으로 덮인 수평 식물성 섬유)를 개발하였다. 이 기술은 연성이 있고 유연한 벽을 기반으로 하며, 오늘날에도 사용되고 있는 기술이다. 마지막으로 경량 지붕에 짚과 진흙을 사용한 것도 이 문화에서 발전된 것이다. 이러한 기술의 개발은 내진 도구의 명확한 예라고 할 수 있다.

- Stepped pyramids with angular quarry stones fill, contained in stone façades with mud mortar. Even though they present a more stable behavior, there no evidence of improvement when succumbing against earthquakes.
- Stepped pyramids with stone cores made of wrapped by nets or bags, known as shicras, made of vegetable fibers, protecting the stone masonry walls that form the façades. The cores have lasted until current days by the repair of the façades after every earthquake.

In this last solution, constructors replaced clay mud to attach stones by strong plant braided ropes used as bags (brought from the high of the Andes). This solution, which is considered as an advanced engineering technique, became a precursor the current disseminated gabions. The cores of the pyramids are static and dynamically stable as it has been proven in the past. Figure 2 shows this solution that has withstood UV rays exposure. As it is stated in H. Fukuyama et al, 2012, studies in Japan using shaking tables evidenced that the layers of stone bags whose height varies from 0.1 m to 0.5 m are able to perform as seismic energy isolators and dissipators, when placed underneath a construction.

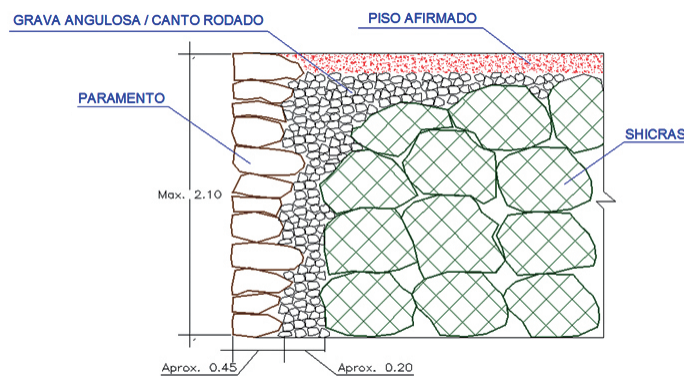


Figure 2 Core of stable pyramids made of loosen angular quarry stones pocketed with natural ropes.
Galery pyramid, Caral. Credit: J. Vargas-Neumann, C. Iwaki y A.Rubiños.

Caral culture also developed Quincha (vertical timbers, horizontal vegetable fibers covered with mud). This technique is based on ductile and flexible walls and it is still used nowadays. Finally, the implementation of straw and mud, used in lightweight roofs, was also a development of this culture. These developments are a clear example of seismic resistance tools.

차빌 데 후안타(Chavil de Huantar) 문명(기원전 1500년)은 피라미드를 위한 안정적인 중심부를 개발했다. 잦은 지진 발생으로 인해, 그 조합은 수직 방향으로 교대로 정렬된 층에 놓여진 길쭉한 모양의 돌이나 거친 2차 구획으로 구성되어 있었다. 진흙과 거친 모래로 만들어진 균등하게 섞여진 혼합물을 층 사이에 배치시켜 놓았다. 이 혼합물은 실험실 차원의 시험에서 최적의 것으로 확인된 결과와 유사한 조합 비율을 갖고 있었다(Vargas J. 등 1986 a). 안정적인 중심부의 높이는 진흙으로 덮힌 두꺼운 석조 외관정면의 몇 배이다. 이는 그러한 구조가 심한 지진에서 보다 나은 거동을 보인다는 것을 나타낸다.

차빈(Chavin) 문명은 티아와나코(Tiahuanaco) 문화로부터 큰 영향을 받았는데, 티아와나코는 진흙 모르타르 대신 거대한 돌이 있는 신성한 도시를 건설하였다. 16세기의 정복자들에 의하면, 티아와나코의 건축가들은 진흙 모르타르가 없는 잉카문명에게 석조 조각과 건축을 가르쳤다. 쿠스코, 오얀따이따보 그리고 마추픽추는 돌과 흙으로 만들어진 가장 대표적인 도시이다.

4. 마추픽추

마추픽추 보호구역의 안정된 중심부는 자연스러운 언덕 또는 기반암으로 구성되어 있다. 건축물은 언덕으로부터 암벽 너머와 그 주위에 세워졌다. 이 요새에서는 흙 또는 석조 건축에 대한 세 가지 다른 기법을 확인할 수 있다. 흙은 안정성을 조절하고(석축면의 사태 방지) 돌은 벽면을 비로부터 보호해주는 역할을 한다. 또한 흙을 사용하지 않는 두 가지 다른 기술도 있다.

- 1) 흙으로 된 중심부 및 접합부가 있는 석조 석축기술. 눈에 보이는 흙 접합부 외관정면. 가장 대표적인 기법은 마추픽추에서 발견할 수 있다(그림 3 참조).



그림 3 중심부와 잘 보이는 흙으로 된 접합부가 있고 돌로 덮여 있는 벽.
제공 J. Vargas-Neumann

Chavil de Huantar culture (1500 B.C.) developed stable cores for their pyramids. Due to the occurrence of earthquakes, the combination consisted of elongated stones or rustic quadratic section, placed in an alternated layers arranged in perpendicular direction. An equally balanced mix made of clay mud and coarse sand was placed between the layers. This mixture presented a percentage combination similar to the one found as optimum in laboratory tests (Vargas J. et al 1986 a). The height of the stable cores is several times the one of the thick stone façades settled with mud. This demonstrate that they presented a better behavior under more severe earthquakes

Chavin culture had a major influence from the Tiahuanaco culture (800 B.C.), the ones that built a sacred city with huge stones that made the use of mud mortars useless. According to the conquerors (16th century), the constructors of Tiahuanaco taught the Incas stone carving and building without the usage of mud mortars. Cusco, Ollantaytambo and Machu Picchu (1450 A.D.) are the most representative stone and earthen cities.

4. Machu Picchu

In the sanctuary of Machu Picchu, the stable core is natural, and consists of the hill or the bedrock itself. Constructions were built around and over the rock from the hill. In this citadel, three different types of techniques for the construction of earthen or stone walls can be recognized. The earth control the stability (preventing the stone landslide), whereas the stone protects the walls from rain. There are also two other techniques that do not involve the use of earth.

- 1) Stone masonry with earthen core and joints. Visible earthen joint façades. Most representative technique found in Machu Picchu (see Figure 3).



Figure 3 Walls with cores and visible earthen joints, covered with stones.
Credit J. Vargas-Neumann

- 2) 흙으로 된 중심부가 있는 석조 석축기술. 외관정면에서는 중심부가 보이지 않는다. 외관정면들은 건조한 접합부가 있는 벽처럼 보인다(그림 4 참조).

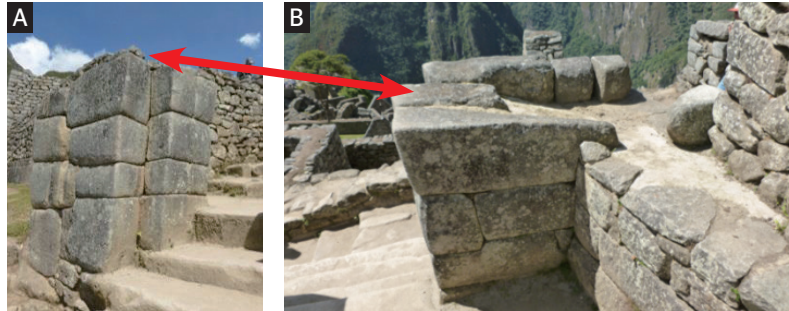


그림 4 (A) 흙으로 된 덩어리 또는 중심부를 덮고 있는 석조 외관정면.
(B) 외관정면의 위쪽. 제공 : J. Vargas-Neumann

- 3) 흙으로 된 접합부가 있는 석조 석축기술. 흙으로 된 접합부가 보이지 않는 외관정면(그림 5 참조)



그림 5 내부의 흙이 노출된 돌담
제공 : J. Vargas-Neumann

- 4) 흙이 없는 건조 접합부를 가진 석조 석축기술(그림 6 참조)



그림 6 비밀 장소에서만 사용되는 정교하게 조각된 석조 벽면. 지진이 일어나는 동안 지어진 벽은 덜 안정적이다.
제공 : J. Vargas-Neumann

12) Stone masonry with earthen cores. Façades do not show the core. They look like walls with dry joints (see Figure 4).

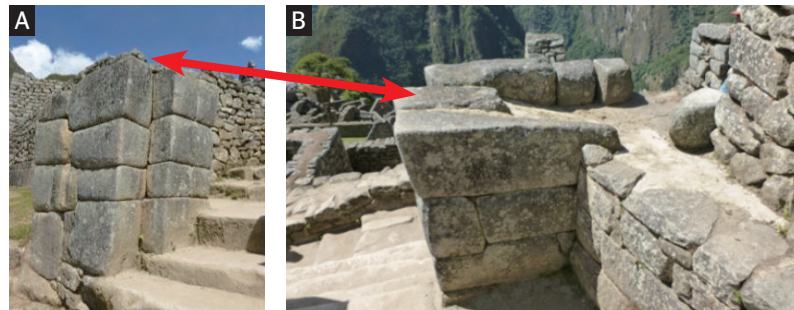


Figure 4 (A) stone façades that cover earthen masses or cores.
(B) an upper view of the façade. Credit: J. Vargas-Neumann

3) Stone masonry with earthen joints. Façades without showing earthen joints (see Figure 5).



Figure 5 Stone walls with exposing earth from the inside.
Credit: J. Vargas-Neumann

4) Stone masonry with dry joints without soil (see Figure 6).



Figure 6 Stone walls finely craved used only in sacret places. Less stable walls were built during the occurrence of earthquakes. Credit: J. Vargas-Neumann

5) 접합부가 없는 일체형 구조물(그림 7 참조).



그림 7 단일 조각의 석조 구조물. 제공 : J. Vargas-Neumann

그 요새는 돌과 흙으로 된 기법을 자유롭게 조합한 설계법을 보여주고 있다.

5. 돌 및 흙 석축기술에 관한 구조적 개입시 고려해야 할 중요한 점들

유적지의 형상, 재료, 손상 등을 파악한 다음에는 각 재료의 손상 원인과 역할을 정의해야 한다. 돌 및 흙 석축기술에 서는, 보다 취약한 물질은 흙이기 때문에 안정성과 중재작업이 흙에 집중되어야 한다. 석조는 구조적 손상을 상대적으로 덜 겪는다.

전체적인 석조 석축기술 안정성 상실을 방지하기 위해, 흙(그 구성 요소, 조합 및 보수)을 취약한 재료로 연구할 것이다. 건축 재료로 사용되는 흙의 구성 성분은 주로 강도를 제공하는 독특하고 필수 불가결한 활성 구성 요소인 점토와 그리고 비활성 구성 요소인 실트, 거친 모래 및 미세 모래로 이루어져 있다. 후자는 점토 건조 수축으로 생긴 균열의 균형을 가장 잘 잡는다. 실제로, 보다 저항력 있고 응집력 있는 흙은 점토 및 거친 모래와 가장 좋은 조합을 갖는다. 흙 요소를 보강할 때는 점토의 성분과 그 존재 여부 그리고 짚과의 비율에 대한 이전의 연구 결과가 필요하다.

지진발생지역에서는 필수불가결한 구조물의 강화시, 흙재료를 교체(문화재 재난위험관리 선언, 2010년)하기 위해서는 현장시험 결과에 따라 굵은 모래와 점토를 최적의 비율로 혼합하여 사용하여야 하는데 필요할 때에만 실시한다. 여러 경우에서 흙은 짚과 함께 섞었는데, 짚은 균열을 조절하는 가장 효율적인 천연 첨가물인 것으로 판명되었다. 이 경우 흙에 따른 짚의 품질, 크기 및 비율이 유지된다(Vargas 외 1986). 짚 대신 동물의 털이 사용되기도 하였다(라마, 토끼, 말).

5) Monolithic structures without joints (see Figure 7).



Figure 7 Monolithic sculpted stone structures. Credit: J. Vargas-Neumann

The citadel represents a display of free design combination with stone and earthen techniques.

5. Important Aspects to Take Into Account for the Structural Intervention on Stone and Earthen Masonry

Once the geometry, materials and deterioration of the site are known, it is necessary to define the damage causes and the role of each material presents. In stone and earthen masonry, the more vulnerable material is the earth and that is why it defines the stability and the intervention works should focus on it. Stone suffer less structural deterioration.

In order to prevent the loss of global stability of the masonry; earth (its components, its combinations and its repair) will be studied as a vulnerable material. Earthen components used as construction materials are mainly clay, unique active and indispensable component that provides strength, and inert components such as silt, coarse and fine sand. The latter is the one that best balances the cracks originated by drying shrinkage on the clay. In practice, the more resistant and cohesive earth is the one that presents the best combination of clay and coarse sand. When reinforcing earthen elements, previous studies on the components and the presence of clay as well as its proportion with straw are required.

The replacement of earthen materials when reinforcing, which is indispensable in seismic areas (The Lima Declaration for Disaster Risk Management of Cultural Heritage, 2010), should take place only if it is necessary by using clay soil balanced with coarse sand in an optimum proportion according to the tests performed on site. Many times the earth has been mixed with straw, which was proven to be the most efficient natural additive that controls cracking. In this case, the quality, size and percentage of the straw according to the earth are retained (Vargas et al. 1986). Instead of straw, animal hair (lamas, horses, rabbits) was also used.

과거에는 균열을 방지하기 위하여 선인장의 점액, 퇴비 또는 달걀 흰자와 같은 건조 속도 지연 물질의 혼합물이 사용되었다는 사실이 실험실 차원의 실험에서 입증되었다(Vargas 외 1986). 이러한 산물들이 존재함을 알면 편리해진다. 혼합물의 건조 속도를 지연시킬 경우, 진흙에서의 불균일한 수분 손실(외부의 건조속도가 내부보다 빠름) 및 건조 수축으로 인해 진흙의 특정 영역에서만 발생하는 모서리 또는 지지대에서의 마찰 제한의 두 가지 요인에 의해 진흙에 작용하는 응력이 감소한다. 이와 동시에 진흙 저항은 건조 강도에 도달할 때까지 균일하게 그리고 제한없이 빠르게 증가했으며, 결과적으로 균열이 방지되는 결과를 낳았다. 저항 증가율은 진흙에 작용하는 힘보다 크다. (그림 8의 그래프 참조)

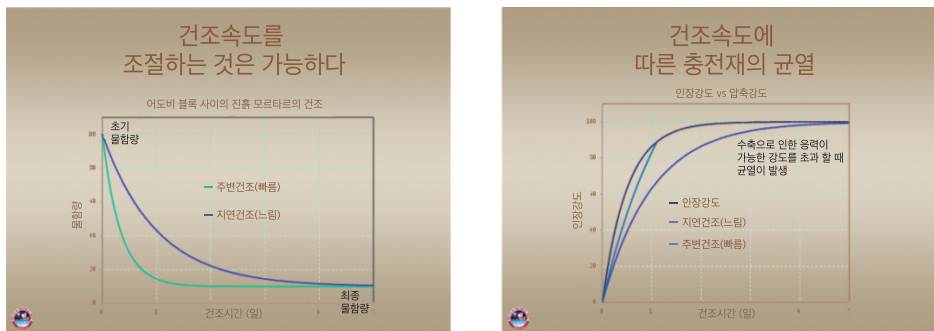


그림 8 a) 파란색 선은 건조가 지연된 과정에 해당하며, (b) 주변의 빠른 건조로 인해 녹색 선이 습도 증가 곡선을 가로지르면 균열이 발생한다. 제공 : J. Vargas-Neumann

6. 결론

구전되어 오는 전통에 따르면, 콜럼버스 이전 시대의 페루에 관하여는 어떠한 글도 알려진 것이 없기 때문에, 공공 건축물은 다양한 기술들을 이용하여 안정적이고 내진성 중심부를 갖는 피라미드에 기반하여 건축되었고, 이는 안전하고도 적절한 전통적 조치를 취하기 위해 상세하게 연구해야 한다

흙 구성 요소의 사용에 관한 현재의 지식은 놀랍다. 특히 점토와 짚 또는 거친 모래 사이의 균형에 관한 지식은 더욱 놀랍다. 균열의 조절과 응집력, 저항력의 향상이 가능하기 때문에 복원 작업을 위해 이러한 지식을 널리 확산시킬 필요가 있다. 석조-흙 접착은 동일한 지식으로부터 유래된 기능이다.

It has been evidenced in laboratory tests that in the past, mixtures of mud, drying rate retardant substances to avoid cracks, such as cactus mucilage, compost or egg white, have been used (Vargas et al. 1986). It is convenient to prove the existence of these products. Delaying the drying rate of the mixture slows the acting stresses in the mud, the ones that are originated due to two factors: lacking of uniformity in moisture loss in the mud (the outside dries faster than the inside), and friction restrictions on edges or supports, which occurs only in certain areas of the mud due to drying shrinkage. Simultaneously, the mud resistance has been uniformly increasing until reaching its dry strength, rapidly and without restrictions, and, consequently, avoiding cracking. The resistance increase rate is greater than the one of the acting forces in the mud. (See graphics in Figure 8)

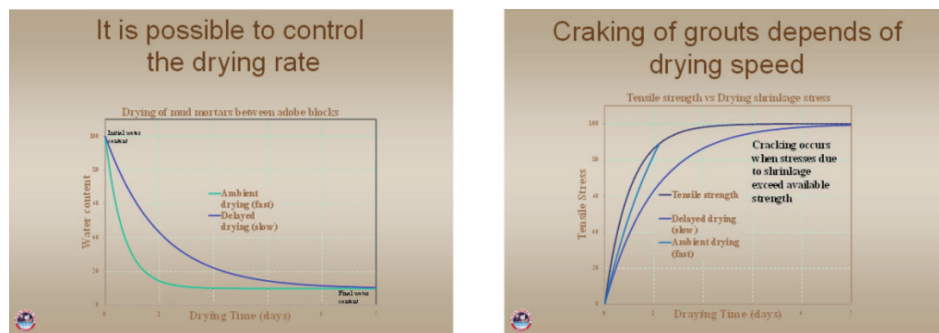


Figure 8 a) The blue line corresponds to a process in which the drying was delayed, (b) When the green line, due to rapid ambient drying, crosses the curve of increasing humid resistance, cracking is originated. Credit: J. Vargas-Neumann

6. Conclusions

By oral tradition, since no writing is known about the Pre-Colombian Peru, public edifications were built based on pyramids, with stable and seismic resistant cores using different techniques, which should be studied in detail in order to guarantee secure and appropriate patrimonial interventions.

The current knowledge regarding the use of the earth components is astonishing. Specially the balance between clay and straw or coarse sand. There is the need of spreading this knowledge for restoration works since it allows the controlling of cracks, improvement of cohesion and resistance. Stone-earth adherence is a function from the same knowledge.

7. 참고문헌

- [1] Hsiang, S., Meng, K & Cane, M., 2011. “내부 갈등은 지구의 기후와 관련이 있다”. 컬럼비아 대학교
- [2] Vargas J., 2012. 페루의 역사에 미친 문화유산 및 재앙의 영향(EL Patrimonio Cultural en Tierra del Perú y la Influencia de los Desastres en su Historia). 보존의 제안(Una Propuesta de Conservación). 제 11회 흙 건축 유산의 연구 및 보존에 관한 국제 학술회의. Terra 2012. 5월 22-26일. 페루 리마. 창립기념 학술회의.
- [3] Vargas J., Iwaki C. 및 Rubiños A. 2012. 카랄 지역 내부에서의 내진성(Sismorresistencia en las Entrañas de Caral). 제 11회 흙 건축 유산의 연구 및 보존에 관한 국제 학술회의. Terra 2012. 5월 22-26일. 의제 7.
- [4] Fukuyama H., Fujisawa M. 및 Ade. A. 2012. 라스 시크라스(Las shicras) 고고학적 유적지에서의 시크라(Shicra) 기초의 지진 응답 특성에 관한 진동대 시험. 페루. 제 11회 흙 건축 유산의 연구 및 보존에 관한 국제 학술회의. Terra 2012. 5월 22~26일. Poster.
- [5] 문화유산의 재난위험관리를 위한 리마 선언, 2010. 국제심포지움 2010. 문화유산의 재난위험관리. 지진 지대에 서 지속가능한 도시 유산의 보존. 12월 3일, 페루 리마. 이코모스(ICOMOS, International Council on Monuments and Sites): 국제기념물유적협의회 현장 및 기타 교리문서.
- [6] Vargas J., Bariola J. Blondet M. 및 Mehta P.K. 1986. 어도비 석축기술의 내진 강도. 1986. 재료와 구조, 제19권, 제112호, 1986년 7~8월.
- [7] Vargas J., Heredia E., Bariola J. 및 Mehta P.K. 1986. 강우 지역에서의 어도비 점토 건물의 보존. (Preservación de las construcciones de adobe en áreas lluviosas). DI-86-02. 페루 교황청 가톨릭 대학교 공과 (Departamento de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú).

7. References

- [1] Hsiang, S., Meng, K & Cane, M., 2011. "Civil Conflicts are Associated with the Global Climate". Columbia University
- [2] Vargas J., 2012. EL Patrimonio Cultural en Tierra del Perú y la Influencia de los Desastres en su Historia. Una Propuesta de Conservación. XLth International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architecture Heritage. Terra 2012. May 22-26. Lima, Peru. Conferencia Inaugural.
- [3] Vargas J., Iwaki C. y Rubiños A. 2012. Sismorresistencia en las Entrañas de Caral. XIth International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architecture Heritage. Terra 2012. May 22-26. Tema 7.
- [4] Fukuyama H., Fujisawa M. and Ade. A. 2012. Shaking Table Test on Seismic Response Characteristics of Shicra Foundations at the Las shicras Archaeological Site. Peru. XIth International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architecture Heritage. Terra 2012. May 22-26. Poster.
- [5] Lima Declaration for Disaster Risk Management of Cultural Heritage, 2010. International Symposium 2010. Disaster Risk Management of Cultural Heritage. Sustainable Conservation of Urban Heritage in Seismic Zones. Dec 3rd, Lima, Peru. ICOMOS Charters and other Doctrinal Texts.
- [6] Vargas J., Bariola J. Blondet M. y Mehta P.K. 1986. Seismic Strength of Adobe Masonry. 1986. Materials and Structures, Vol. 19, No 112, July-August, 1986.
- [7] Vargas J., Heredia E., Bariola J. y Mehta P.K. 1986. Preservación de las construcciones de adobe en áreas lluviosas. DI-86-02. Departamento de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú.

돌, 나무, 흙 건축의 구조특성과 안전관리방안에
관한 국제워크숍
ISCARSAH '17 워크숍 진행 경과보고'

조상순

국립문화재연구소 학예연구관

International Workshop on the scope of the
material and techniques Stone, Wood and Earth
ISCARSAH '17 Workshop Report'

Sang Sun JO

Senior Researcher, National Research Institute of Cultural Heritage

돌, 나무, 흙 건축의 구조특성과 안전관리방안에 관한 국제워크숍 ISCARSAH '17 워크숍 진행 경과보고

조상순

국립문화재연구소 학예연구관

2017 이스카사 한국 워크숍 행사 진행 경과

워크숍의 원활한 구성과 운영을 위하여, 9명의 국외 전문가와 5명의 국내 전문가가 초청되었다.(*표 참조) 또한 이스카사 소속 개인회원들을 비롯하여, 다수의 국내 전문가들도 참여하였다. 참가자 명단은 다음과 같다.

번호	이름(국외, 가나다 순)	국적	분야	소속
1	고런 아룬*	터키	건축구조	이스카사
2	마르셀라 후라토*	칠레	수리복원	이스카사
3	마리아 마가리타 세가라-라구네즈*	멕시코	수리복원	이스카사
4	마렉 스클로도브스키	폴란드	건축구조	이스카사
5	메르다드 헤자지	이란	건축구조	이스카사
6	베른트 미트나하트*	독일	건축구조	이스카사
7	스테판 시몬*	미국	석조건축	ISCS
8	스티븐 켈리*	미국	수리보존	이스카사
9	이언 맥길리브레이*	캐나다	목조건축	IWC
10	인 나이인 아예	미얀마	고고학	미얀마 국립박물관
11	칼리드 엘 하루니*	모로코	건축구조	이스카사
12	토시카즈 하나자토	일본	건축구조	이스카사
13	홀리오 바르가스뉴만*	페루	흙건축	ISCEAH

International Workshop on the scope of the material and techniques Stone, Wood and Earth

ISCARSAH '17 Workshop Report

Sang Sun JO

Senior Researcher, National Research Institute of Cultural Heritage

The progress of ISCARSAH 2017 Workshop in Korea

For the workshop, NRICH invited nine foreign and five domestic experts officially. Also, a number of ISCARSAH members, professors and government officials participated. The list of participants is as follows:

No.	Name(Foreign, arranged in Korean alphabetical order)	Nationality	Affiliation(* = invited)
1	Gorun Arun	Turkey	ISCARSAH*
2	Marcela Hurato	Chile	ISCARSAH*
3	Maria Margarita Segarra-Lagunes	Mexico	ISCARSAH*
4	Marek Sklodowski	Poland	ISCARSAH
5	Mehrdad Hejazi	Iran	ISCARSAH
6	Bernd Mittnacht	Germany	ISCARSAH*
7	Stefan Simon	U.S.A.	ISCS*
8	Stephen Kelley	U.S.A.	ISCARSAH*
9	Ian McGillivray	Canada	IWC*
10	Yin Nyein Aye	Myanmar	National Museum of Myanmar
11	Khalid El Harrouni	Morocco	ISCARSAH*
12	Toshikazu Hanazato	Japan	ISCARSAH
13	Julio Vargas-Neumann	Peru	ISCEAH*

※ ISCEAH: International Committee on Earthen Architectural Heritage, 흙건축유산 학술위원회

ISCS: International Scientific Committee for Stone, 석재 학술위원회

IWC: International Wood Committee, 목재 학술위원회

번호	이름 (국내, 가나다 순)	분야	소속
1	김남희	건축구조	서울대학교
2	김덕문	건축구조	국립문화재연구소
3	김동수*	지반공학	한국과학기술대학교
4	김세현	건축역사	국립문화재연구소
5	김시현	보존과학	국립문화재연구소
6	김호수*	건축구조	청주대학교
7	박경립	건축계획	강원대학교
8	박순옥	건축공학	강원대학교
9	박찬민	건축역사	국립문화재연구소
10	박헌준*	지반공학	한국과학기술대학교
11	성호현	자연지리	이코모스 한국위원회
12	이상훈	건축공학	(주)집인(Zipin)
13	이석	건축구조	(주)빌딩닥터그룹
14	이수정	건축보존	문화재청
15	이찬희*	보존과학	공주대학교
16	이하나	건축역사	국립문화재연구소
17	이혜은	역사지리	이코모스 한국위원회
18	조상순	건축역사	국립문화재연구소
19	조은경	건축역사	국립문화재연구소
20	조인숙	건축계획	이코모스 한국위원회
21	조청기	건축계획	건축사협회(KIRA)
22	탁경백	건축역사	국립문화재연구소
23	한숙영	관광경영	이코모스 한국위원회
24	홍은기	건축역사	국립문화재연구소
25	황종국*	건축구조	한국전통문화대학교

※ ISCEAH: International Committee on Earthen Architectural Heritage

ISCS: International Scientific Committee for Stone

IWC: International Wood Committee

No.	Name (Domestic, arranged in Korean alphabetical order)	Research field	Affiliation
1	KIM Nam Hee	Structure	SEOUL Nat'l Univ.
2	KIM Derk Moon	Structure	NRICH
3	KIM Dong Soo*	Soil Dynamic & Earthquake	KAIST
4	KIM Se Hyun	Architectural History	NRICH
5	KIM Si Hyun	Conservation	NRICH
6	KIM Ho Soo*	Structure	Cheongju Univ.
7	PARK Kyung Rip	Architectural Planning	Kangwon Nat'l Univ.
8	PARK Soon Ok	Architecture	Kangwon Nat'l Univ.
9	PARK Chan Min	Architectural History	NRICH
10	PARK Heon Joon*	Soil Dynamic & Earthquake	KAIST
11	SUNG Hyo Hyun	Natural Geography	ICOMOS Korea
12	LEE Sang Hoon	Architecture	Zipin Co.
13	LEE Suk	Structure	Building Doctor Group Co.
14	LEE Su Jeong	Architectural Conservation	Cultural Heritage Administration
15	LEE Chan Hee*	Conservation	Kongju Nat'l Univ.
16	LEE Ha Na	Structure	NRICH
17	RIL Hae Un	Historical Geography	ICOMOS Korea
18	JO Sang Sun	Architectural History	NRICH
19	CHO Eun Kyung	Architectural History	NRICH
20	CHO In Souk	Architectural Design	ICOMOS Korea
21	CHO Chung Kee	Architectural Design	Korean Institute of Registered Architects
22	TAHK Kyung Baek	Architectural History	NRICH
23	HAN Suk Young	Tourism Management	ICOMOS Korea
24	HONG Eun Ki	Architectural History	NRICH
25	HWANG Jong Guk*	Structure	Korean Nat'l Univ. of CH

워크숍은 2017년 6월 7일부터 9일까지 진행되었다. 워크숍 1일차 오전에는 국립고궁박물관 강당에서 한국의 문화재 안전관리 모니터링의 현황에 대한 국립문화재연구소의 발표와 이스카사 현황에 대한 발표가 진행되었다. 이어 서울 지역에 위치한 3개 유적에 대한 현장 조사와 안전관리 방안에 대한 현장 설명이 진행되었다. 이후 국립고궁박물관에서 토론이 진행되었으며, 프레지던트 호텔에서 환영만찬이 진행되었다.

워크숍 2일차에는 안동으로 이동하여, 안동 법흥사지 칠층전탑과 안동 임청각에 대한 현장 조사와 설명을 진행하였다. 안동 임청각은 일부 수리가 진행중이었으며, 참가자들은 경주 스위트 호텔로 이동하여 현장 조사 결과에 대한 토론을 실시하였다.

워크숍 3일차에는 경주 첨성대와 월성 발굴현장, 쪽샘발굴현장 및 전시관, 불국사 다보탑 및 삼층석탑에 대한 현장 조사와 설명을 진행하였다. 경주 월성과 쪽샘발굴현장은 국립경주문화재연구소의 안내를 받았다. 이후 서울로 이동하였으며, 서울 무계원에서 진행된 정리 토론과 환송 만찬으로 워크숍의 모든 일정이 종료되었다. 각 일자별 세부 일정은 다음과 같다.

일자	방문지역	세부일정
6. 6 (화)	서울	<ul style="list-style-type: none"> • 국외 초청자 입국 • 영산재 관람(봉원사) • 이스카사 연례 회의(국립고궁박물관 회의실) ※ 숙소 : 어벤트리 호텔
6. 7 (수)	서울	<ul style="list-style-type: none"> • 워크숍(발제, 국립고궁박물관 강당) : 기조발제 - 이스카사에 대하여(고런 아룬) : 기조발제 - 한국의 문화재 모니터링 현황과 과제(조상순) • 현장조사 : 송례문, 흥인지문, 창덕궁 주합루 • 워크숍(토론, 국립고궁박물관 강당) • 환영만찬(프레지던트 호텔)
6. 8 (목)	안동, 경주	<ul style="list-style-type: none"> • 이동 : 안동 및 경주 • 현장조사 : 안동 법흥사지 칠층전탑, 안동 임청각 • 워크숍(토론, 경주 스위트 호텔) ※ 숙소 : 경주 스위트 호텔 및 전통민박 등
6. 9 (금)	경주, 서울	<ul style="list-style-type: none"> • 현장조사 : 경주 첨성대, 경주 월성, 경주 쪽샘고분 발굴전시관, 불국사 삼층석탑, 불국사 다보탑 • 워크숍(토론) 및 환송만찬(서울 무계원) ※ 숙소 : 어벤트리 호텔
6.10 (토)	서울	<ul style="list-style-type: none"> • 국외 초청자 출국

The workshop was held from June 7 to 9, 2017. On the morning of the 1st day of the workshop, a presentation about 'the current states and issues of monitoring on Cultural Heritage' by JO Sangsun and a presentation about 'ISCARSAH Introduction' by Gorun Arun were presented at the auditorium hall of the National Palace Museum of Korea. Afterwards, all participants investigated three sites in Seoul and NRICH explained safety & stability management measures on each of them. Since then, a discussion has been held at the auditorium hall of NPM of Korea, and a welcome dinner has been held at the President Hotel.

On the 2nd day of the workshop, participants moved to Andong and investigated two sites. The Andong Imcheonggak was partially under repair, and participants moved to Gyeongju Sweet Hotel to discuss the results of the field investigation.

On the 3rd day of the workshop, participants investigated 4 sites in Gyeongju. The Gyeongju National Research Institute of Cultural Heritage guided Wolseong Palace Site and Jjoksaem Archaeological Site. Afterwards, participants moved to Seoul Mugyewon at night, where the workshop ended with a final discussion and a farewell dinner. The detailed schedule for each day is as follows:

Date	City	Details
June. 6 (Tuesday)	Seoul	<ul style="list-style-type: none"> • Arrival • Yeongsanjae, Bongwonsa Temple • Annual meeting, meeting room at National Palace Museum
June. 7 (Wednesday)	Seoul	<ul style="list-style-type: none"> • Indoor workshop (Auditorium hall at NPM) <ul style="list-style-type: none"> : Keynote speech - ISCARSAH Introduction : Keynote speech - The current states and issues of monitoring on cultural heritage • Field workshop <ul style="list-style-type: none"> : Sungnyemun Gate, Heunginjimun Gate, Juhamnu Pavilion of Changdeok-gung Palace • Indoor workshop (Auditorium hall at NPM) • Welcome dinner (President Hotel)
June. 8 (Thursday)	Andong, Gyeongju	<ul style="list-style-type: none"> • Field workshop <ul style="list-style-type: none"> : Seven-story Brick Pagoda at Beopheungsa, Imcheonggak House • Indoor workshop (Sweet Hotel in Gyeongju)
June. 9 (Friday)	Gyeongju, Seoul	<ul style="list-style-type: none"> • Field workshop <ul style="list-style-type: none"> : Cheomseongdae observatory, Dabotap Pagoda and Three-story Stone Pagoda of Bulguksa Temple, Wolseong Palace site, Jjoksaem Archaeological Site • Indoor workshop and Farewell dinner (Mugyewon)
June.10 (Saturday)	Seoul	<ul style="list-style-type: none"> • Departure

국립문화재연구소에서는 안전관리 현황에 대한 기초 자료를 자료집과 USB 등으로 참가자들에게 제공하였다. 현장 조사에서는 안전점검을 담당하고 있는 연구사가 해당 문화재의 구조적 문제점과 점검 방안에 대하여 설명하였다. 참가자들은 자료집과 현장 설명을 바탕으로, 현장에서 파악되는 문제점과 해결 방안을 두고 토론을 진행하였다. 국립문화재연구소에서는 참가자들의 조사의견과 비교사례, 종합 권고 사항 등을 담은 원고를 제출하여 줄 것을 각 참가자들에게 요청하였다.

한편 국립문화재연구소와 이스카사는 2017년 12월 인도 뉴델리 인디아 국제센터에서 개최된 이스카사 연례총회에서, 본 보고서의 구체적인 출간과 진행에 대한 협의를 진행하였다. 고런 아룬 위원장은 이스카사 연례총회에서 한국에서 개최된 워크숍에 대하여 발표하였으며, 조은경 연구관은 취합된 원고들이 2018년에 논문집 혹은 보고서 형식으로 간행될 예정임을 발표하였다. 본 보고서에 수록된 원고는 2018년 12월까지 제출된 원고를 취합하여 정리한 것이다.¹⁾

1) 본 보고서에 수록된 원고는 각 참가자들의 전문적 시각에서 작성한 것으로 국립문화재연구소의 공식 입장과 다를 수 있다.

NRICH provided basic information on the status of safety & stability management to participants through a book and digitalized data in USB. In field workshop, a researcher of NRICH in charge of monitoring explained structural problems and methods of monitoring of each cultural heritage. Participants discussed problems identified on the site and solutions based on information book and site inscriptions. NRICH asked each participant to submit a manuscript containing the opinions of the participants, comparative cases, and comprehensive recommendations.

Meanwhile, NRICH and ISCARSAH has a meeting during annual meeting of ISCARSAH held at India International Center in New Delhi, India in December 2017 and discussed the specific publication and progress of the report. Gorun Arun, the president of ISCARSAH, presented about the workshop held in Korea at the annual meeting of ISCARSAH. And CHO Eun Kyung, senior researcher of NRICH, announced that the manuscripts collected will be published in the form of a paper or book in 2018. The manuscripts contained in this book are collected and compiled by December 2018.¹⁾

1) The manuscripts contained in this book were written from the professional perspective of each participant and may differ from the official position of NRICH.

워크숍 사진

Workshop Photos



워크숍(기조발제) Indoor workshop(Keynote speech)



워크숍(기조발제) Indoor workshop(Keynote speech)



워크숍 Indoor workshop



워크숍 Indoor workshop



현장조사 Field workshop



현장조사 Field workshop



현장조사 Field workshop



현장조사 Field workshop



현장조사 Field workshop



현장조사 Field workshop



현장조사 Field workshop



현장조사 Field workshop



환영만찬 Welcome Dinner



현장조사 결과 토론 Indoor workshop



현장조사 결과 토론 Indoor workshop



현장조사 결과 토론 Indoor workshop

돌, 나무, 흙 건축의 구조 특성과 안전관리 방안 국제워크숍 결과보고서

International Workshop Report on the scope of the material and techniques Stone, Wood and Earth

총괄	국립문화재연구소 안전방재연구실장 김덕문
기획	국립문화재연구소 안전방재연구실 조상순
원고	Stefan Simon, E.Görün Arun, Marcela Hurato, Segarra Lagunes, Stephen. J. Kelly, Khalid El Harrouni, Bernd Mittnacht, Ian McGillivray, 조인숙(InSouk CHO), Marek Sklodowski, Julio Vargas-Neumann, 조상순(SangSun JO)
편집 / 교정	국립문화재연구소 안전방재연구실 조상순, 김세현, 이현성, 박지효

인쇄일	2018년 11월 30일
발행일	2018년 11월 30일
발행처	국립문화재연구소 안전방재연구실 (34122) 대전광역시 유성구 문지로 132 TEL. (042)860-9212 / FAX. (042)860-9238 WWW.NRICH.GO.KR
번역	(주)캐터스 커뮤니케이션즈코리아
디자인/인쇄	(주)하이브
ISBN	978-89-299-1380-9 93600
발간등록번호	11-1550011-000855-01

이 책에 실린 글과 사진의 저작권은 국립문화재연구소에 있으므로, 동의없이 무단 전재 및 복제를 할 수 없습니다.

© All rights reserved.

No part of this book may be reproduced, restored in retrieval system, or transmitted in any form without the written permission from the Publisher.

