11-1550215-000036-01

KNUCH

아시아 태평양 문화유산 연구:

문화유산의 지속가능한 보전

아시아-태평양 문화유산 연구:
문화유산의 지속가능한 보전

International Journal of Asian-Pacific Heritage Studies:
Sustainable Conservation of Cultural Heritage

도서명 아시아-태평양 문화유산 연구: 문화유산의 지속가능한 보전
주최/주관 한국전통문화대학교 국제문화재교육센터
협조 문화재청, 유네스코한국위원회
발간일 2021. 05. 31.
편집 및 인쇄 어센더
발간등록번호 11-1550215-000036-01
ISBN 978-89-299-2192-7(93600)

아시아-태평양 문화유산 연구:
문화유산의 지속가능한 보전

International Journal of Asian-Pacific Heritage Studies:
Sustainable Conservation of Cultural Heritage

목차

1. 유네스코 석좌 프로그램 조사연구팀 결과 보고서

캄보디아 사스트라에 대한 전통기술 및 공법 조사

캄보디아 석조문화재 보존 재료 조사 및 과학적 분석

문화유산 보존분야 디지털기술 적용에 관한 교육프로그램 개발

2. 유네스코 석좌 프로그램 연구지원팀 결과 보고서

학문적 파트너십과 아이디어 교류를 통한 아시아 공동체의 연결: 건조문화재의 보존 역량 구축

진정성의 해석: 2015년 지진 이후 카트만두 계곡 유적지 복원

고도의 역사적 도심에서 지역사회 기반 관리를 위한 “지역 역사 도시 경관 도구의 형성” – 인도네시아 세마랑과 솔로 사례 연구

“해양 실크로드” 역사 도시의 문화유산 보존과 지속 가능한 발전의 통합 메커니즘 연구 – “광저우–홍콩” 간 그룹 도시의 사례

이상현, 송세희, 김지연, 이선형, 마휘진, 이신아, 이지영, 박수경, 김성진 8

한민수, 김지혜, 이민혜, 하지향, 장원진, 안경숙 44

이종욱, 문지희 88

니킬 조시 120

모나리자 마하르잔 122

에코 누산티 124

왕 옌, 야원 량 126

1. 유네스코 석좌 프로그램 조사연구팀 결과 보고서

캄보디아 사스트라에 대한 전통기술 및 공법 조사

이상현, 송세희, 김지연, 이선형, 마휘진, 이신아, 이지영, 박수경, 김성진

캄보디아 석조문화재 보존 재료 조사 및 과학적 분석

한민수, 김지혜, 이민혜, 하지향, 장원진, 안경숙

문화유산 보존분야 디지털기술 적용에 관한 교육프로그램 개발

이종욱, 문지희

캄보디아 사스트라에 대한 전통기술 및 공법 조사

아시아-태평양 전통재료 및 공법기술 조사

이상현 교수 | 한국전통문화대학교 문화재수리기술학과
송세희, 김지연 선임연구원
이선형, 마휘진, 이신아, 이지영, 박수경, 김성진 연구원

초록

사경(寫經)이란 경전 원본이 만들어진 후 다시 옮겨 적는 과정의 결과물을 일컫는다. 다양한 재료, 형태의 사경 중 나뭇잎에 제작된 패엽경(貝葉經)은 종이 보급 이전의 사경 양상을 살펴볼 수 있는 자료가 된다. 캄보디아 내에서도 많은 패엽경이 제작되었으나, 1960-70년대 후반 내전과 크메르 루주(Khmer Rouge, 대학살)로 많은 유물이 파괴되었다. 사경의 경우 1990년대 이래로 유네스코 및 해외 기관에 의해 조사·연구가 진행되고 있으나, 사경 재료와 제작과정 및 기술에 대한 자료 확인이 어렵다. 캄보디아의 사경은 주로 사원의 수도승들에 의해 제작되었는데, 크메르 루주 때 이들 중 다수가 희생되면서 그 명맥을 이어가는 데 어려움을 겪고 있다. 이에 전통 사경의 지속적인 보전·계승을 위해 사경 제작과정과 재료에 대한 체계화된 기록이 필요하다고 판단하였다. 캄보디아의 전통 사경 중 야자수 잎에 경전의 내용을 새긴 사스트라(Sastra)로 주제를 한정하였으며, 현지조사를 통해 전통기술과 재료에 대해 조사할 예정이었으나 COVID-19로 인해 문헌과 인터넷 자료를 중심으로 다양한 자료를 검토 및 정리하였다. 부족한 정보에 대해서는 사스트라가 유래된 인도와 주변국의 사례를 조사하여 보충하였다. 그러나 야자수 잎과 새김칼 이외의 다양한 재료와 도구들에 대한 정확하고 자세한 정보를 얻는 데는 한계가 있었다. 이에 캄보디아 현지 기관 및 공방, 해외의 기존 연구자들에게 관련 정보를 문의하였지만 답변을 얻지 못하였다(2021년 2월 기준). 관련 연구를 진전시키기 위해서는 한국 유네스코를 비롯한 관련 기관들과의 협력을 통한 네트워킹이 필요하다고 생각된다.

Ⅰ. 서론

1. 조사 목적

경전이란 구전되던 부처의 설법을 보존 및 유포시키기 위해 기록한 것으로 인도에서부터 중국, 한국을 거쳐 일본까지 전파되었다. 이때 경전 원본이 만들어진 후 그것을 다시 옮겨 적는 일련의 작업이 이루어졌으며, 이러한 행위의 결과물을 사경(寫經)이라 한다. 종이가 보편화되기 이전, 사경의 기록은 나무의 잎이나 껍질(樹皮), 포(布) 등에 이루어졌다. 종려나무의 일종인 다라수(多羅樹)의 잎에 사서 하였던 패엽경(貝葉經)의 현존은 종이 보급 이전의 사경 양상을 살펴볼 수 있는 자료가 된다.[1]

그림 1. 동국대학교 불교학술원에 소장된 패엽경

이번 연구 주제인 캄보디아의 사스트라(Sastra)는 야자수 잎에 경전의 내용을 새긴 것(Palm-leaf manuscript)이며, 인도에서 전해져 캄보디아를 비롯한 태국과 라오스 등 동남아시아 지역에서 제작되었던 사경의 형태 중 하나이다. 우리나라에는 패엽경을 직접 제작한 사례가 확인되지 않고 전해지는 유물도 극히 드물지만, 한국에서도 사경의 전통이 오래되었으며 특히, 2020년에는 '사경장'을 무형문화재 신규종목으로 지정하여 전통 사경의 가치와 유지의 중요성을 엿볼 수 있다. 이에 패엽경의 형태, 재료 및 제작 방법에 대한 이해가 전통 사경 보존 연구에 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

한편, 캄보디아는 20세기 후반에 발생한 내전 등으로 인해 수많은 고대 유적과 유물들이 파괴되었으며, 사원 근처 왕궁의 유물 1천여 점이 도난 및 파괴되었다. 또한, 1970년대 후반 크메르 루주(Khmer Rouge, 대학살)가 발생하면서 100만 명 이상의 수많은 사

1. 문선희, 『高麗時代『妙法蓮華經』寫經變相圖 硏究』, 홍익대학교대학원 석사학위논문, 2005, p.8.

람들이 희생되었다. 이때, 지식인과 수도승이 대량 학살되면서 캄보디아의 전통 공예와 기법 전문가, 장인들의 명맥이 끊기게 되었다. 이에 캄보디아 내에서 1990년대 이래로 전통문화유산을 보존 및 보전하기 위한 움직임이 시작되었고, 유네스코의 지원도 이루어지고 있다. 사경의 경우 유네스코 및 해외기관에 의해 조사 및 연구가 진행되었다. 그러나 사스트라 제작에 사용되는 재료와 제작과정 및 기술에 대한 자료의 확인이 어려우며, 소수의 승려들만이 사스트라 제작 기술을 보유하고 있기 때문에 사스트라의 온전한 보전과 계승을 위해서 사경 제작과정과 재료에 대한 체계화된 정보 기록이 필요하다고 판단되었다.

2. 조사 방법

2020년 COVID-19의 영향으로 현지 조사를 실시하기 어려운 상황에 직면하였다. 이에 문헌과 인터넷 자료를 바탕으로 캄보디아 사스트라에 대한 내용을 조사하였다. 캄보디아 역사와 문화유산, 그에 대한 다양한 자료를 검토한 후 캄보디아의 사경으로 주제를 선정하였으며, 그중에서도 야자수 잎에 경전 내용을 새긴 사스트라(Sastra)로 주제를 한정하여 전통기술과 공법에 대해 조사하였다.

조사 결과, 캄보디아의 전통 사경(Kraing 및 Sastra)에 대한 조사를 실시한 연구기관과 연구자들의 정보와 자료를 확인할 수 있었다. 연구자들에게 자료를 요청하고자 하였으나 현재까지 답변을 얻지 못하였다(2021년 2월 기준). 따라서 본 조사 내용 중 캄보디아의 사스트라와 관련된 내용은 대부분 인터넷 조사를 통해 얻은 정보와 기사 및 기관 홈페이지에서 제공하는 자료를 취합 및 정리한 내용으로 구성되었음을 밝히는 바이다.

구분	내용
조사대상	캄보디아 크메르 사스트라(Khmer Sastra in Cambodia)
조사일시	2020.5 ~ 2020.12
시행주체	한국전통문화대학교 문화유산전문대학원 문화재수리기술학과 이상현(한국전통문화대학교 문화재수리기술학과 교수) 송세희, 김지연, 이선형, 마휘진, 이신아, 이지영, 박수경, 김성진 (문화재수리기술학과 보존복원전공)

표 1. 조사 개요

구분	조사 내용	조사 대상 및 방법
사경의 일반 정보	· 캄보디아 사경 종류 · 한국의 사경 종류	· 조사 대상 캄보디아 국립박물관 캄보디아 국립도서관 프랑스국립극동연구원 · 조사 방법 문헌 및 인터넷 자료
사스트라의 역사	· 캄보디아 사스트라	
사스트라의 제작과정	· 사스트라 제작 과정 · 재료 및 도구	
사스트라 연구 현황	· 사스트라 소장 기관 · 캄보디아 연구자 · 국외 연구자	
사스트라 보존 방안 및 방향	· 사스트라 보존 현황 · 사스트라 보존 방향	

표 2. 조사 방법

	업무 수행 내용
4월	캄보디아 문화유산 조사 및 주제 선정
5월	캄보디아 사경 종류 조사 및 일반 정보 정리
6월	사스트라 유래 및 역사 조사
7월	사스트라 연구기관 및 연구자 조사, 자료 요청
8월	사스트라 재료 및 제작 과정 조사, 중간보고회 준비
9월	한국의 사경 및 사경장 조사
10월	사스트라 보존 방안 조사
11월	조사 및 연구 결과 중간보고
12월	조사 마무리 및 보고서 작성 착수
1-2월	보고서 작성 및 제출

표 3. 월별 조사 일정

3. 조사 범위

2020년 유네스코 석좌 프로그램 아시아·태평양의 전통재료 및 기술공법 조사대상 국가가 캄보디아로 선정됨에 따라 캄보디아의 전통문화를 대상으로 주제 선정 및 사전 조사를 실시하였다. 현지 조사는 수행하지 못하였지만 캄보디아의 사스트라를 주제로 선정하고 캄보디아 국립도서관이 위치한 수도 프놈펜(Phnom Penh)과 사스트라 공방이 위치한 씨엠립을 중심으로 캄보디아 사스트라 연구와 보존이 이루어지고 있는 것을 알 수 있었다.

1) 조사대상 국가 개괄

캄보디아의 정식 명칭은 캄보디아 왕국(Kingdom of Cambodia)이다. 캄보디아는 동남아시아 인도차이나반도 남동부에 위치한 평원(平原)국가로, 북동쪽으로는 라오스, 동쪽과 남동쪽으로는 베트남, 북쪽과 서쪽으로는 태국과 접하며 남서쪽으로는 시암만 바다와 맞닿아 있다. 수도는 프놈펜으로 현재 캄보디아의 정치, 문화, 경제의 중심지이다. 캄보디아의 기후는 전형적인 열대 몬순 기후로 5월 중순-10월초의 우기와 10월 중순-5월 초의 건기로 나뉜다. 건기는 비교적 서늘한 11월-2월과 더운 3월-5월로 나누어져 캄보디아를 방문하는 관광객은 12월-1월에 많다.

그림 2. 캄보디아 국기

그림 3. 캄보디아 왕실의 문장

그림 4. 캄보디아의 지리적 위치(출처: 구글맵스)

국가 기본 정보	
국가명	캄보디아 왕국(Kingdom of Cambodia)
위치	동남아시아 인도차이나반도 남동부 위치
수도	프롬펜(Phnom Penh)
민족구성	크메르족(97%), 소수민족(베트남, 중국 ,참족, 고산족 등)
언어	크메르어(90% 이상), 불어, 영어, 중국어
종교	불교(95%),기타(5%)
정치현황	입헌군주제(정부 형태 : 의원내각제) - 국왕 : 노르돔 시아모니(Norodom Sihamoni) (2004년 즉위) - 총리 : 훈 센(Hun Sen) (1985년 집권)

표 4. 캄보디아 기본 정보

캄보디아는 입헌군주제 국가이지만 현재 국왕인 노로돔 시아모니(Norodom Sihamoni) 국왕은 국가의 상징적인 역할만 수행하고 있고 훈 센(Hun Sen) 총리가 실직적인 수장으로서 1985년부터 장기 집권 중이다.

그림 5. 문재인 대통령-훈센 총리(20.02.04 청와대 방문)

캄보디아의 민족 구성은 크메르족(97%)이 대다수를 차지한다. 현존하는 대다수의 크메르 인들이 현재 캄보디아에 살고 있다. 캄보디아 외에 태국이나 베트남 지역 등에도 거주하고 있으며, 20세기 후반 발생한 캄보디아 내전과 집단 학살 등을 피하기 위해 상당수의 크메르인들이 미국, 프랑스 등으로 이주하여 살고 있다. 크메르족이 세운 캄부자국(Kambujadesa, Khmer Empire)은 9세기-15세기 사이에 존재한 국가이며 현재 캄보디아의 전신이기도 하다.[2] 캄부자국은 오늘날 캄보디아 영토 외에 현재 태국의 동북부, 라오스 및 베트남의 일부까지 차지하고 있었다. 캄보디아의 공용어는 크메르족이 사용하는 크메르어(90%)이다. 과거 접경 국가인 베트남과 태국에 주권을 빼앗겼던 캄보디아 왕국은 프랑스에 보호를 요청하였고 1863년 프랑스의 보호국이 되었다. 이때부터 약 100년 동안 프랑스 식민 지배(1863-1953)를 받으며 캄보디아 내에 불어를 공용어로 사용하기도 하였으나 오늘날에는 점차 영어의 비중이 커지고 있다.

캄보디아의 종교는 불교(95%)이지만 캄보디아만의 독특한 종교 형태를 가지고 있다. 고대 캄보디아가 인도의 영향을 많이 받으면서 현재 캄보디아의 불교는 인도 힌두교와 토착 신앙이 조화를 이룬 형태를 갖추게 된 것이다. 이러한 특징은 캄보디아의 대표 유적인 앙코르와트를 통해서도 알 수 있다. 앙코르와트는 12세기 초 건립된 사원으로 건립 당시에는 힌두교의 전신인 브라만교 사원으로 건립되었으나 후세에 이르러 불교의 불상을 세우고 불교 사원의 모습을 갖게 되었다. 힌두교 사원의 특징과 불교 사원의 특징이 조화를 이루며 앙코르와트만의 독자적인 양식을 갖게 된 것이다. 그 예로 앙코르와트에는 수많은 불상이 남아있는 한편, 사원의 정문이 서쪽을 향하고 있다는 점은 해가 지는 서쪽에 사후세계가 있다는 힌두교 교리에서 기인한 것이다.

2. 캄부자국, 위키피디아, 접속일자: 2020.12.21. https://en.wikipedia.org/wiki/Khmer_Empire

그림 6. 앙코르와트

그림 7. 앙코르와트의 크고 작은 불상들 (ⓒgetty images)

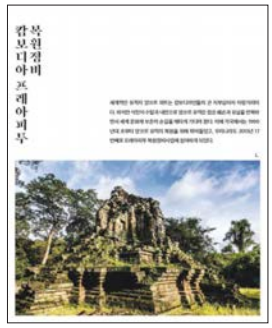


그림 8. '월간문화재'-캄보디아 프레아피투 복원정비 기사

캄보디아는 20세기 후반(1967.03.11. - 1975.04.17.) 발생한 내전 등으로 인해 수많은 고대 유적과 유물들이 파괴되었다. 1982년에 진행된 유네스코의 집계에 따르면 캄보디아의 대표적인 유적지인 앙코르와트는 당시 전체 유적의 70%이상이 복원 불능상태로 파괴되었으며, 사원 근처 왕궁의 유물 1천여 점이 도난 및 파괴되었다. 그뿐만 아니라 1970년대 후반 대학살(Khmer Rouge)이 발생하면서 100만 명 이상의 수많은 사람들이 희생되었다. 이때, 지식인과 수도승도 대량 학살되면서 캄보디아의 전통 공예와 기법 전문가, 장인들의 명맥이 끊기게 되었다.

캄보디아에서는 1990년대 초반부터 공적 개발 원조(Official Development Assistance, ODA)를 통해 2016년 기준 총17개국 참여로 약 50여 개에 달하는 프로젝트가 진행되었다. 그중 한국의 문화유산 개도국 협력 사업에서 가장 눈에 띄는 성과는 '캄보디아 앙코르 유적 보존복원 사업'으로 캄보디아의 프레아 피투 사원 복원 사업이 있다. 또한, 국립문화재연구소에서 아시아권 문화유산 분야 전문가 역량 강화 및 교류를 위하여 '아시아권 문화재 보존과학 국제협력(ACPCS)' 초청 연수 프로그램을 운영하고 있으며 문화유산 관련 전문가들이 함께 일할 수 있는 기회를 제공, 전문 지식을 교환하고 지역 네트워크를 구축하려 노력하고 있다.

앙코르와트의 경우, 오늘날 전 세계 국가들의 참여로 복원 사업이 진행 중이다. 2015년 기준 프랑스, 독일, 미국 등 16개국이 앙코르와트 복원에 참여하고 있으며 한국은 2015년 17번째 나라로 앙코르와트 복원에 참여하였다. 이렇듯 훼손된 문화재 복원뿐만 아니라 단절된 전통 공예와 기법의 명맥을 잇기 위한 노력이 1990년대부터 캄보디아 내에서 진행되기 시작하였고 현대에 들어서는 유네스코의 지원을 받아 문화재 보존과 전통 공예 및 재료의 연구가 진행 중이다.

그림 9. 동국대 전자불전연구소
- 앙코르와트 디지털 복원도

그림 10. 문재인 대통령 2019 캄보디아 앙코르와트 방문

Ⅱ. 조사 내용

1. 한국의 전통 사경

인쇄술이 발달하지 않은 시기에는 직접 손으로 쓰는 방법이 택해졌고, 하나의 원본이 만들어진 후 그것을 다시 옮겨 적는 일련의 작업들이 이루어졌다. 이때 경전을 손으로 옮겨 적었던 행위의 결과물이 바로 '사경(寫經)'이다.

우리나라에서는 고구려 소수림왕 2년(372)에 불교가 전래되면서 경전의 수입과 더불어 경전의 필사가 이루어졌을 것으로 보고 있다. 현존하는 우리나라 최고(最古)의 사경은 국보196호 『신라백지묵서 대방광불화엄경大方廣佛華嚴經 주본 권1-10, 44-50』으로 주본인 80화엄경 중 1-10권, 44권-50권이 필사 된 된 두 축의 두루마리와 불보살도, 신장상이 그려진 변상도가 함께 발견되었다. 권10과 권50 말미에는 조성기가 남아있어 황룡사 연기법사의 발원에 의해 경덕왕13년(754년)에 시작해 이듬해 755년에 완성된 것임을 알 수 있다.[3]

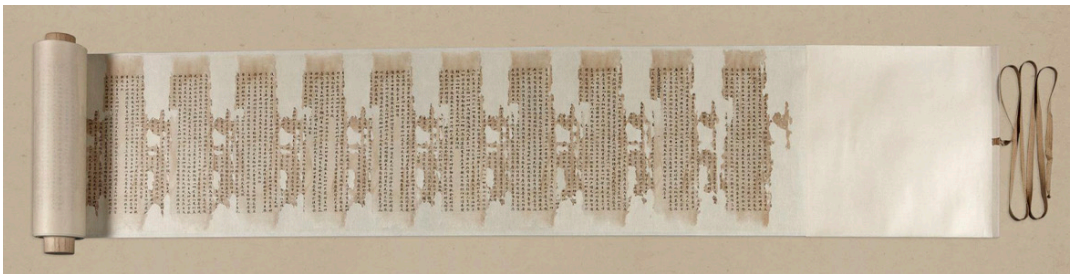


그림 11. 국보196호 신라백지묵서대방광불화엄경 권1-10,44-50 新羅白紙墨書 大方廣佛華嚴經 周本 卷一-十, 四十四-五十,
삼성문화재단 소장 (출처: 문화재청 국가문화유산포털)

우리나라 전통 사경의 종류는 제본 형태에 따라서 분류하면 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 축에 마는 두루마리 형태를 권자본(卷子本)이라 하고, 접어서 첩(帖)의 형태로 제본한 것을 절첩본(折帖本) 또는 첩장본(帖裝本)이라 한다.

그림 12. 권자본, 불공견색신변진언경 권제13, 1275년, 삼성미술관 리움 소장

그림 13. 절첩본, 묘법연화경7권본 1질,1377년, 호림박물관 소장

1) 사경장

'사경장(寫經匠)'은 불경(佛經)을 쓰는 사경(寫經) 기술을 가진 장인을 말한다. 사경 제작은 크게 필사, 변상도(變相圖) 제작, 표지 장엄 세 가지로 구성되며, 세부적으로는 금가루 발색, 아교 만들기, 종이의 표면 처리와 마름질, 잇기, 선긋기, 경 필사, 변상도 그리기, 표지 그리기, 금니 표면처리 등 10여 가지 공정을 거친다. 사경 제작에는 서예· 한문· 불교 교리· 회화 등에 대한 숙련된 기능은 물론이고 경전의 오자· 탈자가 없어야 하므로 고도의 집중력과 장기간의 제작 시간이 필요하다.

2020년 문화재청(청장 정재숙)은 '사경장'을 국가무형문화재 제141호 신규종목으로 지정하고, 김경호(金景浩, 남, 1963년생, 서울 서대문구) 씨를 보유자로 인정 하였다. 그는 40여 년간 사경 작업에 매달려온 장인이다. 과거 사경은 국가 차원의 사업으로 다수의 전문가가 참여했었지만, 지금은 재료 준비, 필사, 회화를 한 명이 모두 하는 형태다. 그는 오랜 기간 문헌과 유물을 통해 사경의 재료, 형식, 내용을 연구하고 이를 기술로 승화시켜 1997년 조계종에서 개최한 '제1회 불교사경대회'에서 대상을 받고, 2010년 '대한민국 전통사경기능전승자(고용노동부지정, 제2010-5호)'로 선정되었다. 그동안 각종 교육기관에서 사경 관련 강의를 했으며, 다년간 연구한 자료를 바탕으로 전문 서적을 저술하는 등 사경 전승을 위해 활동하였다. 아울러 전통 사경체(寫經體)를 능숙하게 재현할 뿐만 아니라 변상도 등 그림의 필치가 세밀하고 유려하다는 평가를 받았다.[4]

3. 위의 논문, p. 10.
4. 문화재청 국가문화유산포털, 사경장, http://www.heritage.go.kr/heri/cul/culSelectDetail.do?pageNo=1_1_1_1&ccbaCpno=1271101410000 (2020.12.21.)

그림 14. 김경호씨가 불경을 베껴쓰는 모습

2) 사경의 제작과정 및 재료

사경의 제작은 크게 사경지 제작, 선 긋기와 필사 및 표지 장엄으로 나뉜다. 사경지는 염색지의 경우 종이 섬유 단계에서 염색 후 초지 한 다음 종이를 다시 염액에 담그거나 표면에 도포하는 방법으로 2차 염색을 한다. 이후 염색지에 침적 추출한 풀가사리 점액을 도포 한 후 옥이나 마노로 표면을 문질러 가공한다.

선 긋기 및 필사, 표지 장엄은 글자의 발색을 좋게 하기 위해 금, 은니를 수비하여 이물질을 제거하고, 민어 부레로 만든 어교액과 혼합하여 사용한다. 선 긋기, 필사, 표지 장엄 순으로 진행하며 사경 작업이 완료되면 마른 금니 표면을 옥이나 마노로 문질러주는데 이는 발색을 좋게 하고, 마찰열에 의해 금니 부착이 더 강하게 되는 효과를 보기 위함이다.

종이 표면 도포 방식으로 염색

풀가사리액 도포(출처: 강소우 논문(2015))

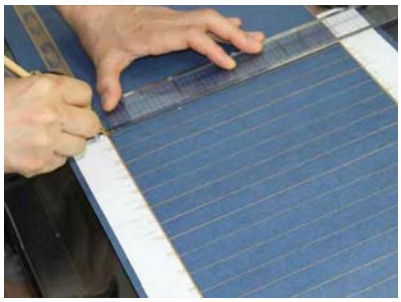
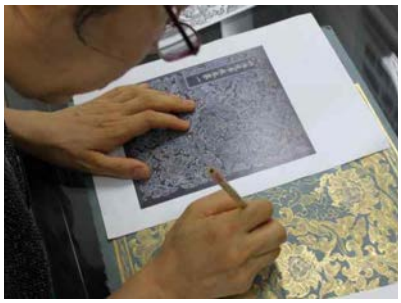
종이 표면처리(출처: 강소우 논문(2015))	종이 마름질
어교 제조	금니 수비 후 교액 혼합
	
선 긋기(출처: 강소우 논문(2015))	변상도 그리기(출처: 강소우 논문(2015))
	
표지장엄(출처: 강소우 논문(2015))	장황 (절첩본)(출처: 강소우 논문(2015))

표 5. 사경 제작 과정 (출처: 강소우, 「傳統 寫經 作法 硏究」, 동국대학교 문화예술대학원 석사학위논문, 2015, pp.61-100)

2. 캄보디아 사스트라

1) 캄보디아의 전통 사경의 종류

캄보디아의 전통 사경은 팔리어(Pali: 크메르어의 고어) 또는 크메르어로 쓰여 있으며, 사스트라(Sastra), 반(Vean), 크라잉(Kraing)의 세 종류로 구분할 수 있다. 사스트라와 반은 야자수 잎 필사본(Palm-leaf manuscript)에 해당하며, 크라잉은 뽕나무 껍질로 만든 종이로 제작되며 절첩 형식을 가지고 있다.

그림 15. Kraing, Vean, Sastra의 예

(1) Sastra(Long-format Palm-leaf manuscript)

사스트라는 인도에서 건너온 불교 경전의 내용과 인도차이나반도 지역 특유의 교리가 섞인 내용을 담고 있으며, 현재의 캄보디아를 중심으로 타이, 라오스, 베트남 등지를 아우르는 지역의 경전 형식이다. 대부분은 탈리포트 야자수 잎(Talipot palm tree, Latania palm tree; corypha lecomtei)를 건조하여 사용하여 제작하는데, 인도반도와 동남아시아에서 기원전 5세기 이전부터 문서작성을 위한 재료로써 사용되었고, 이러한 방식은 남아시아로부터 다른 곳으로 점차 퍼져 나가게 되었다. Ola leaf라고도 하며 사스트라는 Ola books라고도 칭한다.

그림 16. 탈리포트 야자수(ⓒ Giuseppe Mazza)

사스트라의 길이는 50~60㎝ 내외로 폭은 5㎝ 정도이다. 낱장을 사용할 때도 있지만 통상적으로는 두 장에서 열 장을 함께 포장하는 형태로 제작한다. 끈을 엮는 구멍의 개수는 한 개 이상이며, 경전을 보호하기 위해 나무판을 함께 엮어 제작되며 나무판에 장식이 있는 경우도 있다. 혹은 보호천에 싸서 보관하는 경우도 있다.

(2) Vean(Short-format Palm-leaf manuscript)

반은 사스트라와 같은 야자수 잎 필사본이지만, 사스트라보다 짧은 형식으로 매뉴얼과 같은 역할을 한다. 길이는 10㎝ 이하에서 50㎝까지 다양하며 폭은 사스트라와 마찬가지로 5㎝ 정도이다.

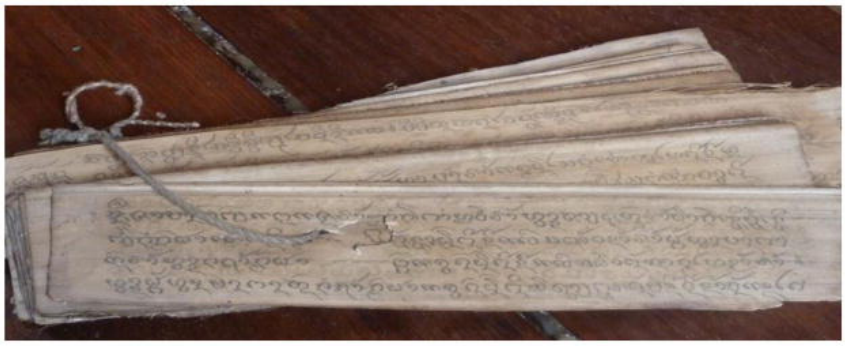


그림 17. 라오스의 Palm-leaf manuscript

그림 18. 인도의 Palm-leaf manuscript

그림 19. 태국의 Palm-leaf manuscript

그림 20. 베트남의 Palm-leaf manuscript

(3) Kraing(Paper Manuscript)

크라잉은 아코디언과 같이 접히는 절첩 형식으로 동남아 불교국가 전역에서 나타나는 필사본 형태이다. 캄보디아, 라오스, 태국, 스리랑카, 미얀마에서도 쉽게 찾아볼 수 있다. 태국에서는 Samut khoi/Samut thai(สมุดข่อย/สมุดไทย), 라오스에서는 Khoi books(ສະໝຸດຂ່ອຍ), 미얀마에서는 Parabaik으로 알려져 있다.

Karing의 재료가 되는 Snay paper는 Streblus asper(ដើស្នាយ កុរដាយ កុរដាស) 라는 뽕나무 종류의 껍질로 만들어지며, 검정색과 하얀색 종이를 모두 사용한다.

Kraing은 새겨서 기록하는 것이 아니라 잉크로 쓰이기 때문에 만들기가 쉬운 편이다. 좁은 야자수 잎과는 달리 충분히 넓고 접히는 부분에 걸쳐 확장시켜 큰 글자로 기록할 수 있다. 따라서 전통적으로 의식 중 여러 사람이 동시에 읽을 수 있도록 필사하거나 그림이나 패턴을 포함시키기도 한다. Kraing 필사본들은 캄보디아 전역의 파고다에 소장되어 있었는데, 크메르 루즈 당시 파고다의 80%가 훼손되면서 Kraing은 전체의 약 2%만이 남아있는 것으로 전해진다. 남아있는 2% Kraing 책 중 Khmer Empire의 전통 Kraing은 소수에 불과하다.

그림 21. Streblus asper

그림 22. 23. Kraing에 수록된 그림

구분	Sastra	Vean	Kraing
다른 명칭	· Long-format Palm-leaf manuscript · Ola books	· Short–format Palm-leaf manuscript	· Khmer Buddhist Paper manuscript · Khmer (paper) books · A type of folding-book manuscript
주재료	· 야자수 잎 Corypha lecomtei palm tree Corypha umbraculifera, Talipot palm tree (캄보디아어로 Tréang)		· 종이 Snay paper (뽕나무 종류의 껍질로 만듦)
주요 내용	· 종교적 내용 · 세속적 내용(법령, 문학)	· 매뉴얼	· 종교적 내용
언어	· 크메르어(Khmer) · 팔리어(Pali)	· 크메르어(Khmer) · 팔리어(Pali)	· 크메르어(Khmer)
소장처	· The National Museum · The Old Royal Library · Wat Ounalom's library	· Wat Ounalom's library	· National archives · Wat Ounalom's library

표 6. 캄보디아 전통 사경의 종류와 특징

2) 사스트라의 특징

사스트라는 야자수 잎에 불교 경전을 필사한 것으로 우리나라에는 패엽경(貝葉經)으로 알려져 있다. 패엽은 범어 'Pattra'의 사음(寫音)인 패다라(貝多羅)를 이르는 단어이며, 경문을 새기기 위해 사용한 크고 두꺼운 야자과의 잎사귀를 말한다.[5] 시기가 명확하지는 않으나 석가모니가 세상을 떠난 후 가르침을 베껴 쓴 패엽경이 인도에서 시작된 것으로 추정된다. 이규경의 『오주연문장전산고(五洲衍文長箋散稿)』에서 패엽경에 대해 다음과 같이 기술하고 있다.

> 我東京畿道長湍府寶鳳山華藏寺。有貝葉經。麗釋懶翁。師西域僧指空大師持來。經長古尺半。廣四寸許。其色白。理如樺皮。厚薄如之。皆印梵字。一葉六七行。竝蠅頭約千餘葉。穴其上下貫以紉。外挾以板。

5. 강소우, 「傳統 寫經 作法 硏究」, 동국대학교문화예술대학원 석사학위논문, 2015, p.22.

‘우리나라 경기도 장단부(長湍府) 보봉산(寶鳳山) 화장사(華藏寺)에 패엽경이 있는데 고려의 나옹선사(懶翁禪師)가 서역의 중 지공대사(指空大師)에게 가서 사사하고 돌아올 때 가져온 경이다. 이경의 길이는 포척(布尺)으로 반자쯤 되고 너비는 4寸쯤 되는데 그 빛깔은 희고 무늬의 결은 마치 자작나무껍질과 같으며 두께도 그와 같다. 한 잎에 6~7행씩 범자가 쓰여 있고, 세자가 쓰여진 것까지 합하면 모두 천여 잎이 되는데 위아래 두 군데 구멍을 뚫고 실로 꿰맸으며 겉에는 양쪽으로 나무 조각을 대어 꼭 끼워놓았다.’

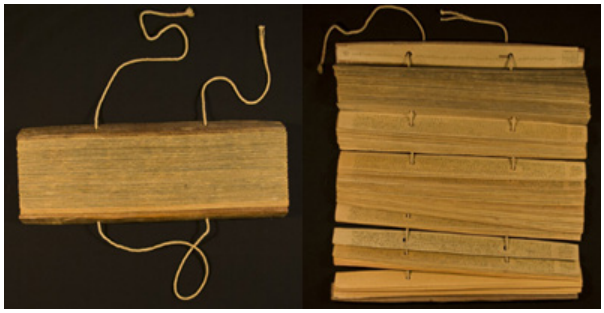


그림 24. 미시시피 대학에 소장되어 있는 패엽경

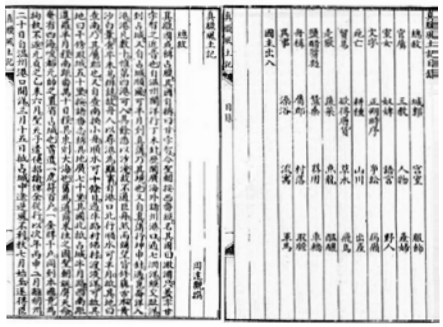


그림 25.『진랍풍토기(眞臘風土記)』의 첫머리 부분

패엽경은 한자문화권에 속하지 않는 아시아 국가에서는 사스트라(Sastra)로 통용된다. 사스트라는 일반적으로 ‘교육·지식·규칙’을 뜻하는 산스크리트어로, 인도, 필리핀, 스리랑카, 인도네시아, 인도차이나반도 등에서 문헌의 제목 끝에 붙이는 단어로 흔히 사용된다. 이런 일반적인 용법이 확대되어 불교 또는 힌두교의 논서를 가리키는 낱말로 사용되었으며, 지금에 이르러 ‘경전을 기록한 필사본(사경, 즉 사스트라)’을 뜻하기도 한다.

사스트라와 관련된 기록이 남아있는 문헌 중 가장 오래된 것은 원대(元代)의 주달관(周達觀, 1266-1346)의『진랍풍토기(眞臘風土記)』이다. 이를 토대로 추정하면 캄보디아에서 사스트라가 제작된 시기는 늦어도 12세기 크메르제국 시대인 것으로 추정된다.

사스트라는 인도에서 건너온 불교 경전의 내용과 인도차이나반도 지역 특유의 교리가 섞인 내용을 담고 있으며, 현재의 캄보디아를 중심으로 타이, 라오스, 베트남 등지를 아우르는 크메르 문화권의 국가에서 제작되었다.[6]

앙코르 시대 크메르 사스트라는 크메르 사원의 수도승들에 의해 제작되었고, 문학 작품들과 함께 사원의 도서관에 보관되었다. 이는 파고다(Pagoda)라고 불리며 오늘날까지도 도서관의 기능을 담당한다. 파고다는 나무로 만들어졌으며 다층 지붕으로 구성되어 작은 연못 한가운데 지어졌는데, 이는 문서를 충해로부터 보호하기 위함이었다.

6. “khmer sastra”,Wikipedia[Website], (2020.12.19.), URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Khmer_sastra

제작된 야자수 잎 필사본은 부패하기 전까지 일반적으로 수십 년에서 약 600년까지 잔존 할 수 있었다. 그러나 열대기후에서 야자수 잎은 곰팡이, 곤충, 습기와 날씨로부터 영향을 많이 받는다. 이러한 환경으로 인해 크메르 경전을 보전하는 방식은 수도승들이 원본을 필사한 뒤 복제본을 남기어 원본의 유실에 대비하는 것이 주를 이뤘다. 그로 인해 현존하는 크메르 경전 중 대부분은 19세기 당시 그 이전 시대의 경전의 복제품으로 제작된 것으로 추정된다. 19세기 중반에서 20세기의 필사본들이 캄보디아와 프랑스에 주로 남아 있으며, 현전하는 캄보디아 국적 필사본 중 가장 오래된 것은 영국도서관(the British Library)에 소장된 1830년 기년작((紀年作) 두 점이다.[7]

3) 크메르 사스트라 보존과 연구

(1) 보관 현황

1960-70년대 캄보디아 내전과 그 후의 크메르 대학살로 인한 격변을 거치며 약 80%의 캄보디아 파고다 도서관들이 파괴되었고 다수의 수도승이 사망하였다. 이로 인해 1975년 이전 크메르 문헌 유산 중 반 이상이 사라졌다. 남아있는 크메르 경전들은 캄보디아 파고다, 캄보디아 국립도서관 그리고 파리 국립도서관 등 전 세계의 다양한 기관들에 보관되고 있다.

현재, 캄보디아 국립도서관(National Library of Cambodia)은 305점의 야자수 잎 필사본 혹은 경전을 보관하고 있으며, 이를 마이크로 필름으로 기록을 남겨두었다.[8] 캄보디아 국립 박물관에서는 19세기경에 제작된 477여점의 크메르 사스트라를 소장하고 있으며, 유물 목록에서 이를 확인 할 수 있다.

1980년대부터 캄보디아의 많은 기관과 해외의 기관들이 크메르 경전을 보존하기 위한 노력을 하고 있으며 다수의 고대 필사본은 디지털화되었다. 그러나 이러한 노력은 현전하는 크메르 경전이 담고 있는 컨텐츠에 대한 보존일뿐, 경전의 제작 기법에 대한 기술의 전승 보전 측면은 아니다. 현전하는 유물의 보존 및 기록을 통해 해당 유물의 수명을 연장시킬 수 있을 것이며, 이와 함께 유물의 제작 기술 및 재료를 규명하고 제작 방법을 후대에 전승함으로써 전통에 대한 전승이 가능해질 것이다.

7. 18-19세기 경 제작된 것으로 추정되는 영국박물관(The British Museum) 소장 NEH SASTRA KON CHAO, 동기관 소장 20세기 경 제작된 것으로 추정되는 KACCAYANA VYAKARANA가 이에 해당된다.
8. “National Library of Cambodia”, (2020.12.19.), URL: https://en.wikipedia.org/wiki/National_Library_of_Cambodia

그림 26. 캄보디아 국립도서관

Inventory Numbers	: Ja.478
Item Name	: Braḥ sāstrā
Medium	: Ink on bound palm-leaves
Period	: Modern period / 19th-20th C.
Provenance	: Unknown provenance
Dimensions	: Width (cm): 5 Depth (cm): 55.8
Credit Line	:
Museum	: National Museum of Cambodia

그림 27. *Bra sāstrā*

Inventory Numbers	: Ja.99 / d.571
Item Name	: Abhidhamma 7 gambīra
Medium	: Ink on bound palm-leaves
Period	: Modern period / 19th-20th C.
Provenance	: Unknown provenance
Dimensions	: Width (cm): 4.7 Depth (cm): 55
Credit Line	:
Museum	: National Museum of Cambodia

그림 28. *Abhidhamma 7 gambīra*

(2) 보존 연구

1990년 이래로 크메르 사스트라(Khmer Sastra)를 보존하기 위한 연구가 이루어지고 있다. 대표적인 프로젝트로는 프랑스국립극동연구원(École française d'Extrême-Orient; 이하 EFEO)에서 후원하는 캄보디아 사경 출판 기금(Fonds pour l'Édition des Manuscrits du Cambodge; 이하 EFEO-FEMC)이 있다. 이 기금의 주도로 사찰 등의 소장처에서 보관한 크메르 사스트라의 상태 조사가 이루어졌으며 사진 촬영 조사가 이루어져 현전하는 크메르 사스트라의 사진을 확보할 수 있었다. 또한 이 프로젝트는 1993년부터 캄보디아 왕실로부터 후원을 받으며 착수되었다. 2011년에는 조사가 완료된 것으로 알려져 있다. 그 결과 캄보디아에 소장된 모든 크메르 사스트라의 이미지가 사진 촬영되어 디지털 매체로 저장되었으며 사진 촬영 후에는 수리가 이루어졌다. 프로젝트 결과물의 데이터베이스는 현재에도 EFEO의 홈페이지에서 검색이 가능하다.

그림 29. 프랑스국립극동연구원의 공식 홈페이지

그림 30. 사스트라 데이터 베이스(출처: EFEO 홈페이지)

그림 31. Leang Kok An, researcher

2019년 6월 기사에 따르면, 캄보디아 내에서 필사본 보존처리 활동을 하고 있는 사람은 렝콕안(Leng Kok-An 혹은 Leang Kok An)이 유일하다. 렝콕안은 EFEO-FEMC의 프로젝트 담당자로 활동하기도 하였다. 또한 크메르 사스트라 연구 인력 역시 EFEO와 관련된 소수의 연구자들이 캄보디아 내에서 활동하고 있다고 알려져 있다. EFEO의 도서관은 프놈펜 왓 아우날롬(Wat Ounalom)에 위치해 있으며 연구자들에게 개방된다. 이처럼 캄보디아 내의 크메르 사스트라 보존 및 연구 사업은 주로 프랑스 연구자와 밀접하게 관련되어 진행되어왔다.

EFEO-FEMC와 같은 대형 프로젝트 이전에도 크메르 사스트라에 대한 상태 조사와 보존처리가 이루어졌다. 1989년 코넬 대학교 역시 크메르 사스트라에 대한 조사와 보존처리 사업을 진행한 바 있다.[9] 이 사업은 3주에 걸쳐 단기간으로 진행되었으며, 국립도서관(National Library)과 국립기록보관소(National Archives)의 소장품과 소장처들의 상태가 조사되었다. 이 당시 보존처리는 국립도서관에서 이루어졌다고 기록되어 있다.

또한, 캄보디아 밖에서도 크메르 사스트라 재현에 관심을 기울이고 있다. 2017년에는 미국 아이오와 대학에서 크메르 사스트라 제작 워크샵 <Cultural and Textual Exchanges: The Manuscript Across Premodern Eurasia>이 진행되었다.

9. John F. Dean, "The Preservation of Books and Manuscripts in Cambodia." American Archivist (1990), pp. 282-297.

이 워크샵은 Andrew W. Mellon 재단의 재정 지원을 받아 진행된 일회성 세미나였다. 워크샵에서는 크메르 사스트라를 직접 제작해 보는 행사가 이루어졌으며, 크메르 사스트라 재현은 인디아나 대학 릴리 도서관(Lilly Library)에서 고문헌 보존처리를 담당하는 Jim Canary의 지도 하에 이루어졌다.[10]

크메르 사스트라에 대한 최근 학술 연구로는 동남아시아 불교학 연구자인 Trent Walker의 박사 학위 논문이 주목된다. Trent Walker의 연구는 캄보디아 의례용 접이식 책자(leporello)의 제의(祭儀)적인 성격에 주목한 것으로 본 연구의 주제인 크메르 사스트라의 보존과는 다소 거리가 있다. 그러나 다양한 유형의 캄보디아 국적의 필사본 기초 연구에 대한 일환으로 크메르 사스트라의 기원과 물질적인 형태에 대한 논의가 이루어져 본 연구 수행에 도움이 되었다.[11] 그의 연구 과정에서 현지 조사 역시 EFEO의 적극적인 지원이 있었기에 이루어질 수 있었던 것으로 보인다.

그림 32. <Cultural and Textual Exchanges: The Manuscript Across Premodern Eurasia>의 홍보 포스터

그림 33. 아이오와대학의 사스트라 워크샵

그림 34. Trent Walker, researcher

10. 워크샵 현장에 대한 기록은 멜론 세미나 홈페이지 (https://eurasianmss.lib.uiowa.edu/tag/cambodia/)에서 확인가능하다. 또한 워크샵 당시의 사진 기록 역시 전체 공개되어있어 공유 폴더(https://www.flickr.com/photos/151901014@N05/albums/72157685556184865)에서 열람이 가능하다.
11. Trent Walker, "Unfolding Buddhism: Communal Scripts, Localized Translations, and the Work of the Dying in Cambodian Chanted Leporellos," Ph.D. Diss., UC Berkeley, pp. 22-26.

(3) 사스트라 제작 기술 보유자

오늘날에는 적은 수의 전문 장인들만이 야자수 잎 경전을 제작하는 기술을 보존하고자 노력하고 있다. 시엠립(Siem Reap)의 젊은 여성 Phoeun Phavy는 아버지로부터 제작 기술을 배워 13세부터 제작기법을 연습해왔다. The Phnom Penh Post의 기사[12]에서 Phavy는 그녀의 아버지가 야자수 잎 경전 제작에 있어 전국에서 몇 안 되는 전문가였다는 점과, 그녀가 어떻게 그로부터 기술을 배웠는지를 언급했다. "내가 어렸을 때, 나의 아버지는 나의 형제들에게만 이 일을 이어가도록 가르치셨습니다." 전통적으로 야자수 잎 경전을 만드는 것은 남성만이 수행했으며 주로 수도승이 행했다. 하지만 Phavy의 다른 형제들은 아버지의 작업에 관심이 없었고 따라서 Phavy는 스스로 이 일을 이어야 한다고 다짐하게 되었다. Phavy는 사스트라 제작에 헌신했으며 2015년, 자신이 제작한 필사본을 각 250달러에 팔았다. 그 후 2017년에는 캄보디아 국무총리 Hun Sen이 필사본 제작 기술 보존 차원에서 Phavy가 제작한 필사본을 두 배의 가격으로, 또한 가능한 많이 사겠다고 언급한 바 있다.[13] 또한, 2019년 12월에 the Phnom Penh Post에는 또 다른 필사본 장인인 Lorth Loeng의 이야기가 실렸다.[14] Loeng도 필사본 제작 기술을 보존하기 위해 일하고 있으며 Phavy의 아버지처럼 그 또한 그의 아이들에게 기술을 전수하고자 한다.

그림 35. Phoeun Phavy

그림 36. Lorth Loeng

12. "Palm leaves preserving history", The Phnom Penh Post, (2015.11.19.), URL: https://www.phnompenhpost.com/post-weekend/palm-leaves-preserving-history
13. "Artist gets powerful patron", The Phnom Penh Post, (2017.03.02), URL: https://www.phnompenhpost.com/national/artist-gets-powerful-patron
14. "Preserving the ancient craft of making palm leaf manuscripts", The Phnom Penh Post, (2019.12.01.), URL: https://www.phmopenhpost.com/lifestyle-arts-culture/preseving-ancient-craft-making-palm-leaf-manuscripts

4) 제작과정 및 재료

(1) 사스트라 제작과정

다음의 사스트라의 제작과정은 스리랑카에서 야자수 잎 사경을 제작하는 과정을 담은 동영상 자료를 정리한 것이다.[15] 스리랑카는 동남아시아의 불교문화권에 속하는 국가로 캄보디아에서 확인할 수 있는 사스트라와 크라잉이 제작되었다.

① 야자수 잎 채취

사스트라는 직사각형으로 가공된 야자수 잎에 새김칼로 경전의 내용 등을 새겨 엮어 만든다. 주로 탈리포트 야자수의 잎을 사용하는데, 어린나무를 사용한다. 먼저 채취할 나무 주변을 치우고 베기 전에 제사를 지내며 제사 후, 나무에 올라가 가지를 자른다. 잘린 야자수 가지는 깨끗한 천으로 싸서 사원으로 운반한다.

탈리포트 야자수	제사 지내기
가지 베기	운반

표 7. 야자수 잎 채취

15. https://youtu.be/1G7Nd5Y6UCE(Traditional Palm Leaf Manuscripts Preservation Project, Rangiri Technical Centre, Dambulla, Sri Lanka in 2009); https://www.youtube.com/watch?v=iAIkMkmLFPQ&feature=share.

② 야자수 잎 자르기

채취한 야자수 가지를 벌려 어린잎을 적당한 크기로 나눈다. 나누어진 잎의 가장자리와 잎맥을 다듬어 같은 두께로 만들고 부드러운 부분만 남긴 후, 말아서 롤의 형태로 만들어 준다.

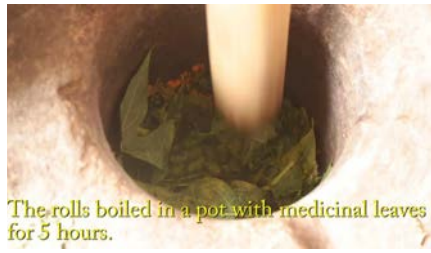
<table>
<tr><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>야자수 잎 나누기</td><td>잎맥과 가장자리 다듬기</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>제거된 잎맥</td><td>다듬어진 야자수 잎</td></tr>
<tr><td>
</td><td> </td></tr>
<tr><td>야자수 잎 말기</td><td>야자수 잎 롤</td></tr>
</table>

표 8. 야자수 잎 준비 과정

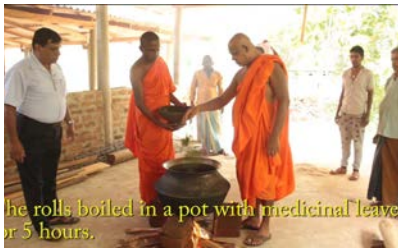
③ 야자수 잎 삶기

야자수 잎을 물을 담은 큰 냄비에 약초와 함께 5시간 동안 삶는다. 약초는 먼저 절구에 빻아서 사용한다. 물이 담긴 냄비에 풀을 먼저 넣고 그 위에 물에 적신 야자수 잎을 넣어준다.

삶기에 사용되는 약초



약초 찧기



약초 넣기 야자수 잎 넣기

삶기

표 9. 야자수 잎 삶기

④ 야자수 잎 건조와 표면 가공

삶아진 야자수 잎은 반듯하게 풀어 서늘한 곳에서 7-8일 동안 건조 시킨다. 건조된 잎은 두 사람이 양쪽 끝을 잡고 나무에 비벼 구김을 펴주고 표면을 매끄럽게 만들어 준다.

서늘한 곳에 널어 건조시키기

표면 가공

표 10. 건조 및 표면 가공

⑤ 재단(마름질)

건조된 잎을 적당한 길이로 자른 뒤 50-100장의 야자수 잎을 나무판 사이에 모양을 맞추어 포갠다. 겹친 야자수 잎을 단단히 고정한 상태에서 나무판의 크기를 넘어가는 부분은 칼로 다듬어 크기를 맞추어 준다. 마지막으로 달군 쇠를 사용하여 가장자리를 정리하면 사스트라의 형태를 갖추게 된다. 재단이 끝난 야자수 잎에 한 개 이상의 구멍을 뚫어준다.

<table>
<tr><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>크기 재단</td><td></td></tr>
<tr><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>쇠달구기</td><td>가장자리 정리</td></tr>
<tr><td> </td><td>
</td></tr>
<tr><td>야자수 잎 정리</td><td>구멍 뚫기</td></tr>
</table>

표 11. 재단 과정

⑥ 글자 새기기

준비가 끝난 야자수 잎에 금속 촉이 달린 새김칼(stylus)을 이용하여 글자를 새긴다. 각인 후, 검정색 잉크를 바르고 오일을 발라 색을 고착시킨다. 마지막으로 쌀겨를 표면에 문질러 잔여 잉크를 제거한다.

<table>
<tr><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td colspan="2">글자 새기기</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>잉크 바르기</td><td>왁스 바르기</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>쌀겨 문지르기</td><td>글자 새김 완성</td></tr>
</table>

표 12. 필사 과정

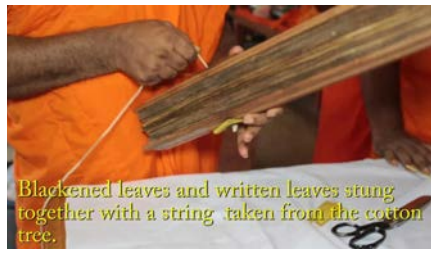
그림 37. 새김칼[16](stylus)

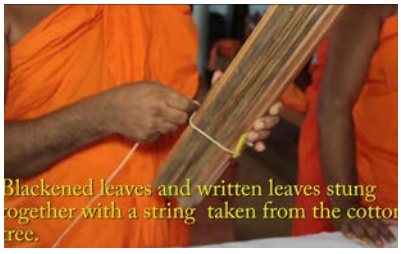
글씨를 새기는 새김칼(stylus)은 다양한 형태가 있다. 기본적인 형태는 앞쪽이 종이를 쉽게 긁어낼 수 있도록 뾰족하게 되어있다. 나무에 금속 촉이 달린 것은 Ghantam(writing stylus, Dek Char)이라고 한다. 구리나 은 등으로 만들어졌으며, 장식적인 용도를 가지기도 한다.

16. https://youtu.be/MjxXc5_t_pY

⑦ 장정

필사가 끝난 야자수 잎은 나무판과 함께 묶는다. 미리 만들어 놓은 구멍에 면 끈을 통과시켜 한쪽을 고정하여 감아낸다. 나무판은 장식이 있는 경우도 있으며, 보호를 위해 사스트라를 천으로 감싸 보관하기도 한다.





면끈으로 묶기

완성

장식이 있는 나무판

다양한 크기의 사스트라

표 13. 장정 과정

Ⅲ. 결론

1. 조사 결과

캄보디아는 인구 대다수가 불교 신자인 불교 국가이며, 수많은 사원과 함께 고유의 불교문화가 형성되었다. 이를 바탕으로 불교 경전을 필사한 사경이 다양한 형태로 남아있다. 캄보디아의 사경은 대부분 팔리어(Pali, Khmer의 고어) 또는 크메르어(Khmer)로 작성되었으며 사경의 재료와 형태에 따라서 야자수 잎 사경(Sastra, Vean)과 종이 사경(Kraing)으로 분류된다. 그러나 20세기 후반 발생한 내전으로 인해 캄보디아의 수많은 유적과 유물이 파괴되었다. 끝없는 전쟁과 위기로 인해 수많은 사경 유물 역시 대부분 훼손 및 파손되었으며, 전통적으로 사경을 제작하고 전승해오던 수도승들도 상당수가 목숨을 잃거나 피해를 입었다. 다른 형태의 사경들과 마찬가지로 사스트라 역시 캄보디아 불교 역사와 문화를 설명할 수 있는 중요한 문화재이며, 보존 및 기법 전승을 위한 더 많은 연구가 필요하다고 판단하였다. 이를 바탕으로 본 연구에서는 캄보디아 사스트라의 제작 방법과 형태, 재료 및 기법을 조사하고 기록하는 것을 연구 목표로 삼았다. 하지만 COVID-19로 인해 가장 중요한 현지 조사를 이행하지 못하여 국내외의 각종 문헌 및 논문, 인터넷 자료에 의존하여 관련 정보를 수집 및 정리하였다. 캄보디아를 비롯하여 프랑스 및 미국에서 이루어진 캄보디아 전통 사경의 선행연구를 통해 전통 사경의 종류, 제작 방법 및 재료, 보존처리 현황 등에 대해 기본적인 정보를 얻을 수 있었다. 또한, 부족한 정보에 대해서는 사스트라가 유래된 인도, 태국, 스리랑카 등의 캄보디아 주변국에서 확인되는 사스트라에 대해 함께 조사하여 캄보디아 사스트라에 대한 이해를 도모하였다. 특히, 사스트라 제작 기술에 대한 정보는 스리랑카에서 공유한 동영상 자료를 참고하였다. 그러나 야자수 잎과 새김칼 이외의 사스트라 제작에 사용되는 다양한 재료와 도구들에 대한 자세한 정보를 얻는 데는 한계가 있었다.

2. 향후 연구계획

캄보디아 사스트라의 연구와 보존은 캄보디아 국립도서관과 프랑스 국립극동연구원(EFEO)에 의해 주도적으로 이루어지고 있으며, 캄보디아 내에 사스트라를 보전하기 위해 전통을 이어나가고 있는 공방 또한 확인할 수 있었다. 이에 캄보디아 현지 기관 및 공방, 해외의 연구자들에게 정보를 요청하였지만 어떠한 답변도 얻지 못하였다. 따라서 현지 조사가 불가능한 상황이 이어지고 국내에서 사전 조사 및 연구를 이어나가기 위해서는 한국전통문화대학교 국제교류협력센터와 한국 유네스코, 유네스코 아태무형유산센터, 캄보디아 유네스코 등을 통한 네트워킹이 필요하다고 판단된다. 이를 통해 제작과정에 사용되는

각종 재료와 도구에 대한 상세하고 정확한 자료를 수집하고 기록으로 남겨 캄보디아 전통 사경인 사스트라의 보전을 위한 기초자료를 마련할 수 있을 것으로 사료된다.

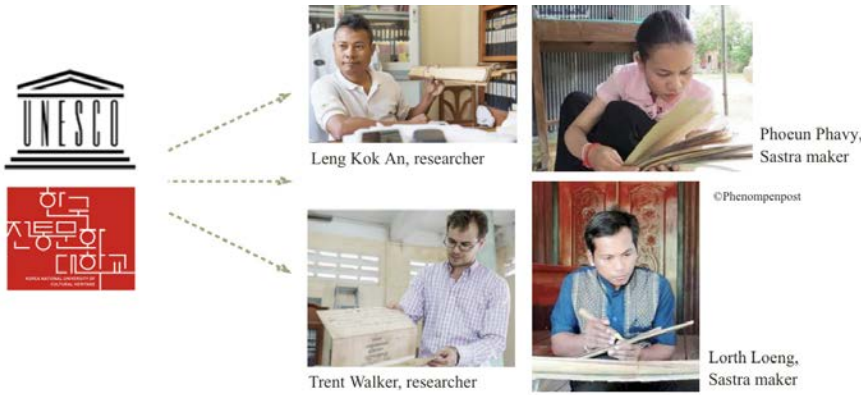


그림 38. 국내 기관을 통한 네트워킹

3. 활용방안

오늘날 캄보디아에서는 유네스코를 비롯하여 해외 선진국 등의 지원을 받아 문화재 보존과 전통 공예 및 재료의 연구가 이루어지고 있다. 그러나 사스트라 제작에 사용되는 재료와 제작과정 및 기술에 대한 자료의 확인이 어려우며, 소수의 승려들만이 사스트라 제작 기술을 보유하고 있다. 때문에 사스트라의 온전한 보전과 계승을 위해서 사경 제작과정과 재료에 대한 아카이빙이 이루어져야 한다.

한편, 우리나라 또한 영월 법흥사, 대구 동화사에서 패엽경을 보유 중이다. 사찰 홈페이지 및 한국민족문화대백과사전을 통해 보유 사실은 확인할 수 있으나, 유물 상태 및 보존 현황에 대해서는 알 수 없었다. 이번 석좌 프로그램의 향후 연구가 지속되어 사스트라 재현 연구 및 한국의 패엽경 보존·복원 방안 제안까지 연구가 이루어진다면 한국-캄보디아의 문화 교류뿐만 아니라 지류 문화재 보존복원 기술 교류로까지 이어질 수 있다고 생각된다. 더불어 우리나라에서 보유하고 있는 패엽경 두 점(영월 법흥사 패엽경, 대구 동화사 패엽경)의 보존 방안 연구의 참고 자료로써 활용될 수 있다고 여겨진다.

패엽경(貝葉經)

간략정보

貝葉經 / [著者未詳]. -- -- [不明] : [不明], [不明].
1첩, ; : 7.1×31.5 cm.
소장자 : 동화사

제목정보	책명	貝葉經(패엽경)
	표제	一. 貝葉經 桐華寺(題簽)
분류정보	자료구분	고서
	주제분류	경장-기타
저자정보	저역자	[著者未詳]
발행정보	발행지	[不明]
	발행자	[不明]
	발행년	[不明]
형태정보	장수	1첩
	책크기	7.1×31.5
주기정보	자질	나무
	주기상세	1. 남색 비단첩: 전체크기 16.9×31.1 2. 패엽경 앞뒤 양면: 3칸 7줄(4.8×7.9, 4.8×10.2, 4.8×7.3)
소장정보	소장자	동화사

그림 39. 동화사 패엽경 현황

참고문헌

국내문헌

강소우, 2015,「傳統 寫經 作法 硏究」, 동국대학교 문화예술대학원 석사학위논문
국립중앙박물관, 2007,『사경변상도의 세계, 부처 그리고 마음』
권희경, 1986,『高麗寫經의 硏究』, 미진사
김경호, 2004,「신라 백지묵서 <대방광불화엄경>의 연구: 서체를 중심으로」, 동국대학교 석사학위논문
___, 2006,『韓國의 寫經』, 도서출판 고륜
김보형, 2002,「위태천 도상 연구: 고려·조선시대 사경화와 목판화를 중심으로」, 동국대학교 석사학위논문
김성수, 1999,「무구정광대다라니경의 간행 고증에 의한 목판인쇄술의 기원 연구」, 연세대학교 박사학위논문
김수천, 2002,「신라 무구정광대다라니경 서체의 예술철학적 조명」,대전대학교 박사학위논문
김종민, 2003,「麗末鮮初寫經書體에 대한 硏究」, 대구가톨릭대학교 석사학위논문
남유미, 2012,「755년 신라 백지묵서 대방광불화엄경의 형태」, 서지학보 39, pp.131-148.
문선희, 2005,「高麗時代 妙法蓮華經 寫經變相圖 硏究」, 홍익대학교 석사학위논문
박도화, 1981,「韓國佛敎壁畵의 硏究」, 홍익대학교 석사학위논문
___, 1998,「朝鮮前半期佛經版畵의 硏究」, 동국대학교 박사학위논문
박상국, 1990,『사경』, 대원사
박지선, 1997,「華嚴寺 西五層石塔 出土 紙類遺物 保存處理」,『保存科學硏究』18, pp.83-111.
___, 1998,「지류유물 보존처리 및 분석」, 경주 나원리 오층석탑 사리장엄 , 국립문화재연구소,
___, 1999,「한국 고대의 종이유물」, 동방학지 106, pp. 9-41.
___, 2013,「고대 사경지 제작에 관한 연구」, 서지학연구 56, pp. 499-521.
배영일, 1993,「高麗時代華嚴經寫經變相圖의 硏究」, 동국대학교 석사학위논문
유재은, 2016,「아시아 문화유산의 지속가능성을 위한 ODA 현황과 과제」, 문화재 , 국립문화재연구소,pp.270-285
정선영. 1998,「종이와 製紙術의 傳來時期에 관한 硏究」, 서지학연구 15, pp. 225-252.
장충식, 2007,『한국사경 연구』, 동국대학교 출판부

국외문헌

Walker, Trent Thomas. 2018, 'Unfolding Buddhism: Communal Scripts, Localized Translations, and the Work of the Dying in Cambodian Chanted Leporellos.' Ph.D. Diss., UC Berkeley
John F. Dean, "The Preservation of Books and Manuscripts in Cambodia." *American Archivist*, 1990. pp. 282-297.

웹사이트

“[캄보디아 더 알아보기] 제3화 앙코르와트는 누가 지었나요?”, 뉴스브리핑 캄보디아, 2019년 8월 2일 수정, 2020년 8월 10일 접속, http://www.nbcambodia.com/archives/41318

“캄부자국”, 위키피디아, 2020년 12월 21일 접속, https://en.wikipedia.org/wiki/Khmer_Empire

“Will tourists pay nearly double to enter Angkor Wat?”,BBC NEWS, 2017년 1월 24일 수정, 2020년 8월 9일 접속, https://www.bbc.com/news/world-asia-38727916

“[오늘의 뉴스] 불경 옮겨 적는 장인 ‘사경장’ 국가무형문화재 지정”,어린이동아, 2020년 7월 21일 수정, 2020년 9월 21일 접속, http://kids.donga.com/?ptype=article&no=20200721131822125771&psub=search&gbn=

“사경장”,문화재청, 2020년 12월 21일 접속, http://www.heritage.go.kr/heri/cul/culSelectDetail.do?pageNo=1_1_1_1&ccbaCpno=1271101410000

“On-Palm-Leaf_Talk”, Scribed, 2020년 5월 8일 접속.https://www.scribd.com/document/403319153/On-Palm-Leaf-Talk-pdf

“khmer sastra”,위키피디아, 2020년 12월 19일 접속, https://en.wikipedia.org/wiki/ Khmer_sastra

“National Library of Cambodia”, 위키피디아, 2020년 12월 19일 접속, https://en.wikipedia.org/wiki/National_Library_of_Cambodia

“Cambodia”,Southeast Digital Library,2020년 6월 5일 접속.,https://sea.lib.niu.edu

“Workshop III: Palm Leaf and Birch Bark Manuscript Workshop with Jim Canary”, Mellon Sawyer seminar, 2020년 6월 10일 접속, https://eurasianmss.lib.uiowa.edu/tag/cambodia

“How to make the Palm Leaf Manuscripts”, Youtube, 2016년 7월 21일 수정, 2020년 8월 8일 접속, https://youtu.be/1G7Nd5Y6UCE.

“Antique Palm leaf Manuscript & Ghantam stylus”, Youtube, 2019년 8월 1일 수정, 2020년 8월 8일 접속, https://youtu.be/MjxXc5_t_pY

“Palm Leaf Manuscripts of the Cham People in Vietnam”, CHAM STUDIES, 2016년 4월 7일 수정, 2020년 5월 18일 접속, https://chamstudies.wordpress.com

“Palm Leaf Manuscript in India”, Indian Palm leaf reading Institute, 2020년 5월 18일 접속, https://indianpalmleafreading.com

“Folk Epidemiology Recorded in Palm Leaf Manuscripts of Laos”, US National Library of Medicine National Institutes of Health, 2013년 10월 1일 수정, 2020년 5월 18일 접속, https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc

“drawing or pattern in Kraing”, Isabella Myers, 2021년 1월 17일 접속, http://www.isabellamyers.com/fulbright/kraing

캄보디아 석조문화재 보존 재료 조사 및 과학적 분석

아시아 전통재료 및 공법기술조사

한민수 교수 | 한국전통문화대학교 문화재수리기술학과
김지혜, 이민혜, 하지향, 장원진, 안경숙 연구원

초록

본 연구에서는 캄보디아의 앙코르와트 및 코끼리테라스, 프레아피투 사원에 대한 보존처리 현황을 조사하여 석조문화재의 전통적인 보존처리 재료 및 적용기술을 확인하고, 현지에서 활용할 수 있는 국내의 보존처리 재료 및 적용기술을 알아보고자 하였다.

앙코르 유적의 석조문화재를 구성하는 암석은 사암과 라테라이트로 확인된다. 사암의 종류 중 회색-황갈색 사암은 앙코르 유적에서 가장 일반적인 사암이며, 적색 사암과 녹색 잡사암은 일부 유적에서 사용되었다. 앙코르 유적의 라테라이트(Laterite)는 주로 기반석(표면 및 내부), 주변부 기둥, 바닥면의 포장에 사용되었으며, 암석기재학적 조직을 기준으로 다공성 라테라이트와 두석 라테라이트의 두 종류로 구분된다.

앙코르와트 사원은 회녹색~황갈색의 중생대 사암으로 이루어졌으며, 윤곽박리, 구조적, 다층박리, 엽상박리, 피각 등에 의한 풍화가 진행되었다. 수목에 의한 열화는 발견되지 않았으나, 생물에 의한 균열이 확인되었다. 코끼리 테라스는 배부름 현상, 부조 부분의 박리, 박락, 입상분해가 확인되었다. 가시적으로 확인되는 심각한 생물 손상은 없는 상황이며, 오히려 직사광선에 의해 생물 생장이 어려운 상태로 판단된다. 프레아 피투 사원은 회색 사암이 대다수이고 드물게 적황색과 녹회색 사암을 혼용하였다. 회색사암은 육안으로도 뚜렷이 보일 만큼 선구조가 발달하였고, 층상박리와 입상 분해가 확인된다.

과학적인 분석 결과에 의하면, 앙코르 와트 사원의 사암 풍화 요인은 우기-건기 주기에 의한 환경적인 요인과 박쥐의 구아노에 의한 수용성 염에 의한 요인이 가장 큰 것으로 보인다.

앙코르와트 유적을 보존하려는 움직임은 프랑스 정부가 1907년에 캄보디아에 설치한 프랑스 극동학원(EFFEO)에서 시작되었으며, 독일(GACP)과 일본(JSA) 등의 국가 및

기관이 앙코르 유적 및 기타 지역에 있는 사원의 보존 복원 작업에 참여 중이며, 바이욘 사원, 앙코르와트 북쪽 도서관, 바푸온 사원, 서부 메본 사원 등을 보수, 복원하였다.

국내에서 사암으로 조성된 석조문화재는 국가지정 석조문화재 517점(80.4%) 중 총 21점으로, 사암재 석조문화재가 다수 분포한 영양지역을 중심으로 암석학적 조사와 보존처리제 적용 평가와 같은 과학적 조사가 이루어졌다.

국내 석조문화재에 발생한 균열에 사용하는 접착 및 충진제는 주로 에폭시수지이다. 그러나, 에폭시수지는 자외선에 취약하여 광열화로 인한 황변이 발생할 수 있으므로, 이러한 문제를 개선하기 위해 국립문화재연구소와 ㈜풍림산업은 L-30, L-40, L-50을 개발하여 사용중이다. 반면, 석조문화재를 대상으로 한 강화, 발수처리는 1980년대 후반부터 꾸준히 시도되었으나 현재에는 그 효과에 대한 검증이 난해하여 처리에 소극적이다.

국내 석조문화재의 과학적 조사방법은 다양하나 크게 석재의 산지추정 조사와 풍화진단, 보존환경 조사로 구분할 수 있다. 석조 문화재의 효과적인 보수 복원을 위해서는 체계적이고 과학적인 기법을 기반으로 한 원형부재와 유사한 암석의 확보가 중요하기 때문에 석재의 산지추정 조사를 실시한다. 산지추정 조사의 방법은 전암대자율과 감마스펙트로미터 분석 등의 지질조사 방법과 X선 회절 분석, 편광현미경 등의 구성광물 분석 등이 있다. 풍화 진단은 석조문화재의 풍화 및 훼손 상태에 대해 확인하여 상태 진단 및 보존 처리에 대한 방향 및 방법을 설정하는데 중요한 지침이 된다. 풍화훼손지도를 작성, 초분광 촬영(하이퍼스펙트럼), 적외선 열화상 분석, 에코팁 경도 측정, 초음파 측정, 색도 측정, 실체현미경 및 주사현미경 관찰 등이 활용된다. 보존 환경 조사는 석조문화재의 지속인 보존관리를 위한 최적을 환경을 조성하거나 개선하는데 중요한 근거로 작용한다. 문화재가 위치한 지역의 온, 습도, 대기오염물질 농도 측정, 종합기상환경 측정 등의 기후 환경을 측정한다.

주제어 석조문화재, 앙코르 유적, 사암, 라테라이트, 보존처리 재료, 보존처리 기술

Ⅰ. 서론

캄보디아 앙코르 지역의 석조문화재는 미얀마 등과 함께 매우 중요한 동남아시아의 유적지이다. 앙코르 지역의 앙코르 와트는 수리아 바르만 2세에 의해 1113년에서 1150년 사이에 지어졌으며, 12세기까지 크메르 건축가들은 벽돌이나 라테라이트가 아닌 사암을 주요 건축 자재로 사용하였고, 사암 블록 이외에 라테라이트가 외벽과 숨겨진 구조물에 사용되었다(김순자, 2012). 프레아피투 사원은 초기 연구자들에 의하여 앙코르와트와 같은 12세기 초반에 건립된 것으로 추정하고 있다(박동희 외, 2017).

암석으로 조성된 석조문화재는 야외에 노출되어있고, 오랜시간 동안 풍화의 과정을 통해 약화된다. 따라서 손상된 부재는 다양한 재료와 기술을 이용하여 전통적인 방법으로 보존과 복원이 광범위하게 이루어진다. 앙코르 와트의 경우에는 과거 1990년대에 거대한 지역이 세척되었고, 아크릴 수지 (폴리메틸메타크릴레이트)가 표면에 도포되었다. 그 결과, 수분의 차단으로 인하여 아크릴 수지 뒤쪽의 석재층을 연화시키거나 석재층 근처의 표면이 박리박락되는 손상을 유발하게 되었고, 돌 표면에 도포된 아크릴 수지가 외형적으로 회녹색에서 희끄무레하게 변색되게 되었다(APSARA Stone Conservation Unit, 2011). 또한 프레아피투 사원은 앙코르보존소에서 1920년을 전후하여 3차례의 응급복구와 간단한 복원이 이루어진 것으로 보고되고 있다(Warrack Simon, 2013). 이렇게 다양한 부분에 최근까지 보존처리 재료가 사용되고 있고, 2000년대 들어 고분자 계열의 표면강화제가 많이 사용되고 있다. 다양한 목적으로 사용되는 강화제는 석재의 표면에 광범위하게 사용되는데 이럴 때도 석재의 주요성분과 유사하여야 하며, 반응성을 높여 물리적 강도를 증진시켜야 한다. 따라서 현지의 석조문화재를 구성하는 다양한 암석의 종류를 파악하고 이에 맞는 보존처리 재료를 선택해야하며, 재료를 적용함에 있어서도 석조문화재의 현재 상태에 따라 기술과 과정을 달리하여야 한다(APSARA Stone Conservation Unit, 2011).

지금까지 캄보디아 앙코르 지역의 석조문화재는 1920년도 긴급복구와 보존처리 이후에 이들의 보존사업에 독일, 이태리 등의 유럽과 일본, 한국 등 아시아 선진국들이 참여하여 다양한 보존 복원 재료와 기술이 적용되었다. 하지만 실제 적용 활용 사례에 대한 종합적인 조사 자료가 구축되지 않고 있다. 따라서 현지 APSARA와 선진국의 석조문화재 처리 현장을 방문하여 책임자와의 정보교류를 통해 현재 석조문화재의 보존 복원에 재료와 기술을 조사하고, 재료를 수집하여 과학적으로 분석함으로써 종합데이터베이스 구축을 위한 기초자료를 확보하고, 캄보디아 석조문화재 보존에 활용할 수 있는 체계적인 자료를 마련하고자 한다.

II. 캄보디아 유적의 석조문화재에 대한 보존처리 연구

1. 유적 현황

캄보디아(Cambodia)의 정식 명칭은 캄보디아국(State of Cambodia)이며, 수도는 프놈펜(Pnompenh)이다. 면적 18만 1035㎢, 인구 1570만 8756명(2015년)이다. 공용어는 크메르어이고, 종족은 크메르족(90%)·중국인(5%)·기타(5%)로 이루어져 있으며, 종교는 국민의 95%가 불교를 신봉하고 있다. 6세기 캄푸치아통일왕국이 수립되었고, 9세기부터 앙코르왕국이 번영하였다(한국민족문화대백과, 한국학중앙연구원). 베트남, 태국, 라오스, 미얀마와 함께 인도차이나 반도에 위치하며 주변국들에게 오랫동안 섭정을 받았고 또한 거의 한 세기에 걸쳐 프랑스의 지배를 받았다(김순자, 2012).

앙코르 유적은 캄보디아의 시엠립 주에 위치해 있는 과거 크메르 제국의 주요한 유산으로 여러 앙코르 유적 중 비교적 많은 유적이 모여 있는 앙코르 톰이라 불리는 지역이 있으며, 코끼리테라스, 프레아피투 사원 등은 이 지역에 위치하고 있고 앙코르 와트는 앙코르 톰에서 약 1.5km 떨어진 곳에 위치하고 있다. 1970~80년대에 앙코르 유적은 캄보디아 내정의 불안으로 인한 심각한 위기에 놓여있었다. 도굴 및 약탈로부터 무방비상태로 놓여있었으며, 자연의 침식 등으로 많은 부분에서 붕괴와 같은 심각한 손상이 발생하였다. 내정이 안정된 후, 캄보디아 정부는 국제사회에 앙코르유적의 구제를 요청하였고, 이에 UNESCO는 국제 캠페인 'Save Angkor'를 발족시켰으며, 국제사회는 앙코르유적을 보호하기위해 협력하기 시작하였다(박동희 외, 2014).

1) 세부 유적

(1) 앙코르와트

앙코르 톰(Angkor Thom)의 남쪽 약 1.5km 떨어진 곳에 있으며, 12세기 초에 건립되었다. 앙코르(Angkor)는 '왕도(王都)'를 뜻하고 와트(Wat)는 '사원'을 뜻한다. 당시 크메르족은 왕과 유명한 왕족이 죽으면 그가 믿던 신(神)과 합일(合一)한다는 신앙을 가졌기 때문에 왕은 자기와 합일하게 될 신의 사원을 건립하는 풍습이 있었는데, 이 유적은 앙코르왕조의 전성기를 이룬 수리아바르만 2세가 바라문교(婆羅門敎) 주신(主神)의 하나인 비슈누와 합일하기 위하여 건립한 바라문교 사원이다. 후세에 이르러 불교도가 바라문교의 신상(神像)을 파괴하고 불상을 모시게 됨에 따라 불교사원으로 보이기도 하지만, 건물·장식·부조(浮彫) 등 모든 면에서 바라문교 사원의 양식을 따르고 있다(Doopedia, 2020).

2) 앙코르와트 유적의 주 구성 암석

앙코르 유적에 사용된 암석은 사암과 라테라이트이며, 9, 10세기에 건설된 비교적 이른 시기의 유적에는 벽돌의 사용이 확인된다. 1990년대 후반에 유적 전반의 구성 암석이 조사된 이후로 풍화상태와 세부적인 재질 특성을 확인하기 위한 연구가 수행되어왔다. 현지 암석의 특징은 일본 와세다 대학의 Etsuo Uchida 외 연구진에 의해 조사된 내용을 중심으로 정리하였다.

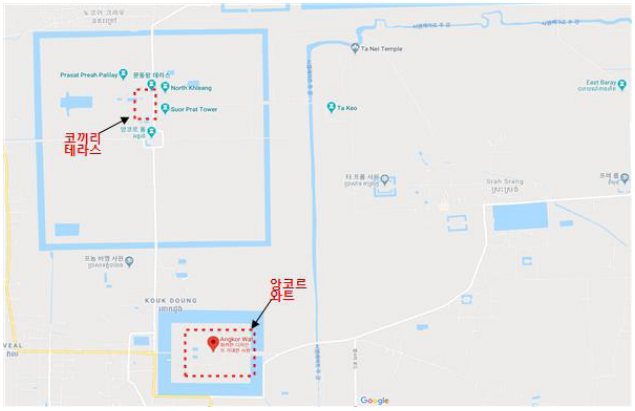


그림 1. 캄보디아 앙코르 와트 및 코끼리테라스 유적 우치도(구글지도)

(1) 사암

사암(sand stone, 쇄설성 퇴적사암)은 구형 또는 다각형의 사질입자(석영)이나 암석편(쇄설암)으로 둥글게 만든 자연석이다. 백만 년 이전, 사질입자들이 분리, 운반, 퇴적되고 최종적으로 압축되어 자연석으로 만들어진 것이다. 사암은 0.063-2mm에 이르는 여러 크기의 석영입자를 포함하며, 여러 층의 암석 구성성분의 배열인 층리는 침전 과정의 결과물이다. 석영은 사암의 주요 구성광물이며, 풍화에 대하여 저항성이 있고 비교적 안정하다. 따라서, 사암의 생성 과정 중에 모암에서 석영입자가 파괴되지 않고 떨어져 나갈 수 있다. 또한, 다른 입자들은 압축되고, 천연 바인더인 점토, 라임 등에 의해 결합된다. 석영, 장석, 암편 외에도 점토광물이나 밝게 빛나는 백운모, 녹색의 녹니석 또는 적철석(Fe2O3) 또는 갈철석(FeOOH)과 같은 유색 철 화합물 등이 사암의 구성성분이 될 수 있다.

사암은 구성 광물에 따라 크게 아래의 네 가지 유형으로 나누어진다.

석영질 사암 (또는 석영 아레나이트; quartz arenite)은 95% 이상이 석영으로 구성된 사암이고, 장석질 사암 (feldspathic sandstone)은 10% 이상이 장석으로 구

성된 사암이며, 암편질 사암 (또는 석질 사암; litharentie)은 이암(셰일), 화산암, 변성암 등의 파편인 암편을 25% 이상 함유하는 사암으로 장석보다 암편을 더 많이 포함하는 것이 특징이다. 잡사암 (그레이와케; greywacke)은 녹니석, 견운모, 실트 크기의 석영과 장석으로 이루어진 세립질 기질을 15% 이상 포함하는 사암이다. Uchida 교수 연구진은 앙코르 유적에 사용된 사암을 색상, 구성 광물, 조직에 따라 아래와 같이 3가지 종류로 구분하였다.

회색-황갈색 사암(grey to yellowish brown sandstone)은 앙코르 유적에서 가장 일반적인 사암이며, 적색 사암(red sandstone)은 Banteay Srei에서 사용되었으며, Khleangs의 남쪽과 북쪽에서 일부 사용되었다. 녹색 잡사암(greenish greywacke)은 타 케오의 성소에서만 제한적으로 사용되었다.

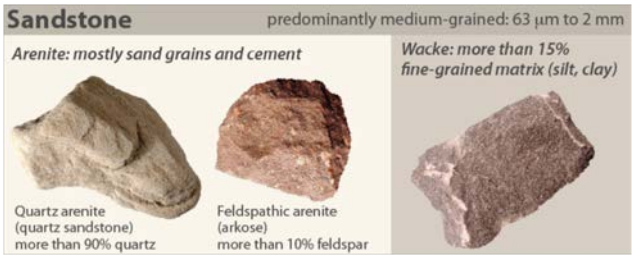


그림 2. 쇄설성퇴적암의 종류(석영질 사암, 장석질 사암, 잡사암), Panchuk, 2018.

회색-황갈색 사암 (장석질 사암)	적색 사암 (석영질 사암)	녹색 잡사암 (잡사암)

그림 3. 앙코르 유적의 주 구성 광물

① 회색-황갈색 사암(grey to yellowish brown sandstone) : 장석질 사암

회색-황갈색 사암은 Banteay Srei를 제외한 모든 유적에서 사용되었다. 이 사암은 회색에서 황갈색에 이르는 색상 다양성을 보여준다. 색의 다양성은 12세기 후반 이후 건설된 유적들에서만 특별히 뚜렷하게 나타난다. 라미나 구조(아주 얇고 평탄한 판 또는 층과 같은 구조)가 일반적으로 관찰된다. 회색-황갈색 사암은 세립 또는 중립(0.1-0.3mm)의 석영, 장석(사장석 또는 알칼리장석), 흑운모, 암편, 백운모로 구성되며, 적은 양의 자철석, 방해석, 고령석, 석류석(가넷), 녹렴석(에피도트), 지르콘, 전기석(투르말린)

을 포함한다. 쇄암질 입자는 모서리가 각져있거나 아각상이나 분급이 잘되어있으며, 장석질 사암에 해당한다. 흑운모와 백운모는 우선방위(preferred orientation, 미소한 결정의 집합체가 그 쪼개짐면에 평행하게 비교적 많이 집적한 상태)를 갖으며, 이는 사암의 풍화의 원인 중 하나이다. 흑운모는 녹니석과 침철석으로 변화하는 경향을 갖는다. 사암의 황갈색 색상은 침철석에 의해 나타난다.

이러한 종류의 사암의 색을 도시할 때, 암색은 일정한 선을 따라 분포한다. 흑운모의 존재로 인해 신선한 회색 사암이 녹색을 띠는 것처럼 보이기 때문에, 이러한 경향은 흑운모가 침철석+녹니석으로 변함에 따라 회색 사암이 황갈색 사암으로 변화되었음을 나타낸다. 따라서 황갈색 사암은 회색 사암과 같은 기원을 가진 것으로 추정된다.

회색-황갈색 사암의 대자율 측정 결과, Banteay Srei를 제외한 조사지역 유적의 암석이 8개군으로 구분되었다. 이는 채석장이 시기에 따라 달랐을 가능성을 지시한다. Ta Prohm, Preah Khan, Banteay Kdei의 석재는 두 곳의 서로 다른 채석장에서 수급한 것으로 추정되었다.

② 적색 사암(red sandstone) : 석영질 사암

적색 사암은 적색-황적색을 띤다. 적색 사암은 주로 직경 0.1-0.2mm의 세립 석영과 적은 양의 암편(주로 쳐트)로 구성되며, 석영질 사암에 해당한다. 쇄암질 입자의 모서리는 둥글고 분급이 잘되어있다. 세립의 적철석과 황철석은 쇄암질 입자의 작은 틈을 퍼뜨린다. 적색 사암의 색상은 적철석에 기인한다. 또한, XRD분석에 의해 카올리나이트가 확인되었다. Khleang 남쪽에서, 적색에서 점차적으로 황적색으로 변화하는 적색 사암으로 이루어진 기둥과 문틀이 확인되었다. 황적색 부분은 적철석 대신에 적은 양의 침철석을 포함한다. 적색 사암은 풍화양상을 보이지 않으며, 적색사암에 조각된 부조 또한 잘 보존되었다.

③ 녹색 잡사암(greenish greywacke) : 잡사암

녹색 잡사암은 타 케오의 성소에서만 사용되었으며, 특별히 다른 사암에 비해 경도가 높은 것이 특징이다. 녹색 잡사암 위에는 부조가 확인되지 않으며, 이는 이 암석의 경도 때문인 것으로 보인다. 특별한 풍화양상은 나타나지 않는다. 녹색 잡사암은 주로 장석(사장석, 알칼리장석), 석영, 암편, 흑운모, 백운모로 이루어져있다. 쇄암질 입자는 모서리가 각지고, 분급이 잘되어 있지 않다(<0.5mm). 녹색 잡사암은 암석기재학적으로 장석질 잡사암에 해당한다.

(2) 라테라이트

앙코르 유적의 라테라이트(Laterite)는 주로 기반석(표면 및 내부), 주변부 기둥, 바닥면의 포장에 사용되었다. 라테라이트는 퇴적암의 한 종류로, 고온과 높은 강수량의 열

대 기후에서 오랜 기간 지속되는 암석 풍화과정에 의해 형성된다. 모암이 우수에 의해 지속적으로 침적되면서, 광물의 탈락과 구성원소의 용해가 진행되는데 이 때, Fe 또는 Al과 같이 용해도가 비교적 낮은 원소들은 암석에 잔류하게 된다. 전형적인 라테라이트는 암석의 구성원소가 제거되는 풍화 과정의 결과 발생한 커다란 공극들을 갖는다. 앙코르 유적 라테라이트의 주구성광물은 침철석, 적철석, 고령석, 석영이며, 사암과 역암(conglomerates)의 풍화에 의해 형성되었다. 적색-갈색의 특징적인 암색은 이중 함철광물인 침철석(황색), 적철석(적색)과 그 함량에 기인한다. 채석장의 신선한 라테라이트는 경도가 낮고, 재단과 가공이 쉬우나 지표에서 채취한 이후에 건조되면서 경화되기 시작한다.

Style	Period	Monument	Used sandstone	Magnetic suscept.** (10^{-3}SI Unit)	Bedding plane (vertical%)
Preah Ko style	last quarter of the 9th cent.	Preah Ko(879)	g. to y. brown ss.*	1.71(0.84)	40
		Bakong(881)		1.97(1.11)	26
		Lolei(893)		2.12(1.19)	
Bakheng style	end of the 9th cent. to early 10th cent.	Phnom Bok	g. to y. brown ss.	5.97(3.91)	53
		Phnom Bakheng		5.64(4.48)	48
		Phnom Krom		4.52(1.93)	>50
		Prasat Kravan(921)		2.99(0.99)	
transitional stage	second quarter of the 10th cent.	Baksei Chamkrong	g. to y. brown ss.	2.53(0.93)	
		East Mebon(952)		2.62(1.43)	45
		Pre Rup(961)		2.20(0.81)	46
Banteay Srei style	late 10th cent.	Banteay Srei(967)	red ss.	0.10(0.04)	
Khleang style	end of the 10th cent. to early 11th cent.	North Khleang	g. to y. brown ss.	1.51(0.45)	47
			red ss.	0.08(0.04)	
		Ta Keo	g. to y. brown ss.	1.56(0.67)	40
			greenish greywacke	0.16(0.06)	
		South Khleang	g. to y. brown ss.	2.01(1.25)	47
			red ss.	0.09(0.04)	
		Phimeanakas	g. to y. brown ss.	2.23(0.92)	32
Baphuon style	middle to late 11th cent.	Baphuon	g. to y. brown ss.	1.84(1.02)	47
		West Mebon		1.60(1.17)	33
Angkor Wat style	end of the 11th cent to early 12th cent.	Angkor Wat	g. to y. brown ss.	3.68(1.26)	8
		Thommanon		3.07(1.41)	11
		Banteay Samre		3.47(1.56)	9
Bayon style	second half of the 12th cent. to early 13th cent.	Prasat Suor Prat	g. to y. brown ss.	3.29(1.21)	
		Ta Prohm(1186)		2.47(1.45)	12
		Preah Khan(1191)		1.83(1.33)	6
		Banteay Kdei		1.66(1.33)	9
		Entry Towers of Angkor Thom		0.88(0.69)	
		Bayon (1st stage)		0.84(0.48)	
		(2nd stage)		1.21(0.48)	
		(3rd stage)		1.57(1.03)	7
		(4th stage)		2.23(1.43)	8
		Terrace of the Elephants		1.89(0.99)	6
		Terrace of the Leper King		2.02(1.16)	

*grey to yellowish brown sandstone
**1σ standard deviation in parentheses

표 1. 유적별 사암의 평균전암대자율, 수직면에서 회색-황갈색 사암의 백분율을 나타내는 연대표 (Uchida *et al*., 1998).

앙코르 유적의 라테라이트는 암석기재학적 조직을 기준으로 다공성 라테라이트(porous laterites)와 두석 라테라이트(pisolitic laterites)의 두 종류로 구분된다. 다공성 라테라이트는 표면에 수 센티미터에 이르는 거대한 공극을 갖는다. 이러한 공극들은 본래 고령석으로 채워져 있었으나 우수에 의해 씻겨나간 것으로 추정된다. 두석 라테라이트는 직경 5-10mm의 두석(직경이 2㎜ 이상인 구형의 결정질 입자)으로 주로 구성되며, 다공성 라테라이트에 비해 상대적으로 균질하다. 전형적인 두석 라테라이트는 타케오의 기반석에서 확인된다. 다공성 라테라이트와 두석 라테라이트의 중간 조직을 갖는 라테라이트도 존재한다. 두석은 다공성 라테라이트에서도 나타나며, 두 종류의 라테라이트 모두에서 자갈이 흔히 관찰된다.

다공성 라테라이트

두석 라테라이트

그림 4. 앙코르와트 유적의 라테라이트

Style	Period	Monument	Average Pore size (mm)	Magnetic Susceptibility* (10^{-3}SI)	Bedding plane (vertical%)
Preah Ko style	last quarter of the 9th cent.	Preah Ko(879)	8.9	0.71(0.24)	3
		Bakong(881)	7.8	0.73(0.24)	37
		Rolei(893)	8.1	0.75(0.33)	32
Bakheng style	end of the 9th cent. to early 10th cent.	Phnom Bok	13.4	0.50(0.16)	74
		Phnom Bakheng	16.8	0.60(0.14)	52
		Phnom Krom	6.1	1.64(1.16)	40
		Prasat Kravan(921)			
transitional stage	Second quarter of the 10th cent.	Baksei Chamkrong	15.0	0.61(0.18)	30
		East Mebon(952)	14.8	0.60(0.19)	43
		Pre Rup(961)	9.3	1.09(0.97)	46
Banteay Srei style	late 10th cent.	Banteay Srei(967)	9.5	0.55(0.19)	43
Khleang style	end of the 10th cent. to early 11th cent.	North Khleang	9.3	0.87(0.74)	44
		Ta Keo	5.7	1.39(0.57)	69
		South Khleang	7.5	1.33(0.99)	42
		(Pond)	5.4	1.68(1.04)	31
		Phimeanakas	7.8	1.12(0.81)	45
Baphuon style	middle to late 11th cent.	Baphuon			
		West Mebon	7.6	0.74(0.66)	-
Angkor Wat style	end of the 11th cent to early 12th cent.	Angkor Wat	16.0	0.54(0.31)	1
		Thommanon	14.9	0.67(0.29)	14
		Banteay Samre	14.0	0.59(0.30)	<1
Bayon style	second half of the 12th cent. to early 13th cent.	Prasat Suor Prat	15.5	0.44(0.20)	4
		Ta Prohm(1186)	14.5	0.52(0.19)	8
		Preah Khan(1191)	14.6	0.46(0.17)	5
		Banteay Kdei	13.3	0.39(0.17)	2
		Entry Towers of Angkor Thom	14.8	0.33(0.16)	4
		Bayon (1st stage)			
		(2nd stage)			
		(3rd stage)			
		(4th stage)			
		Terrace of the Elephants	8.5	0.67(0.42)	2
		Terrace of the Leper King	10.7	0.70(0.26)	3

* 1σ standard deviation in parenthese.

표 2. 유적별 라테라이트의 평균기공크기, 전암대자율 및 수직면에서 라테라이트의 백분율을 나타내는 연대표 (Uchida *et al*., 1999).

3) 유적별 보존 현황

(1) 앙코르 와트

앙코르 와트의 건축에 사용된 석재는 회녹색에서 황갈색의 중생대 사암이다. 암석학적, 지구화학적 조사 결과 앙코르와트에서 약 40 km 떨어진 Kulen 산(Phnom Kulen) 기슭에서 채석한 것으로 밝혀졌다. 또한 사원의 기반과 중심부 표면 아래에는 라테라이트 벽돌이 있으며, 모르타르 등의 메움제 없이 쌓여 있다. 많은 마름돌들의 표면이 풍화되었으며, 풍화는 여전히 진행되고 있다. 특히 350개가 넘는 압사라 여신 석상에서 급격한 악화와 풍화상태가 관찰되었다. 앙코르 와트의 풍화는 크게 물리적 풍화와 화학적 풍화, 생물학적 풍화로 나누어 진다.

앙코르 와트에서 발견된 물리적 풍화의 종류에는 윤곽박리, 구조적 다층박리, 엽상박리 등으로 나눌 수 있다. 윤곽박리(contour scaling)는 석재의 견고한 부위의 경계면에서 발생하며, 석재 표면에 대해서 평행하게 나타난다. 표면이 평평한 경우 윤곽박리는 판상박리(spalling)라고도 한다. 앙코르 와트의 윤곽박리는 몇 밀리미터의 작은 박리부터 몇 센티미터의 큰 박리까지 가지고 있다. 건물의 상당부분은 이미 벽과 부조가 분리되어 두드렸을 때 비어있는 소리가 나거나 결실된 것도 있다. 구조적 다층박리(Exfoliation)는 여러 개의 얇은 층(cm 단위)이 석재 표면에 대해 거의 평행하게 분리되는 현상으로 분리되는 층은 마치 책장처럼 구부러지기도 한다. 앙코르 와트에서 이 현상은 암석 표면과 평행을 이루는 층리면을 가진 몇몇 사암에서 발견되며, 이러한 사암 벽돌의 대부분은 층리면이 수평으로 되어 있다. 할렬(splitting)은 구조물의 구성요소들이 세로로 있을 때 미세한 균열이나 점토나 미사층과 같이 약한 평면을 따라 발생하는 관통균열로 부하로 인해 층리면을 따라 형성되는 균열을 의미한다. 앙코르 와트에서는 가느다란 구조인 문설주, 기둥과 같은 곳에서 발생하고 있다. 엽상박리는 생선비늘처럼 배열된 mm이하에서 mm 단위 두께의 얇은 평면 또는 굴곡진 비늘 모양의 박리가 일어나는 것을 말한다. 앙코르 와트에서는 석재의 표면에 평행하게 여러 겹으로 박리되는 현상이 나타난다. 이는 이미 박리된 표면에서 다시 박리가 일어나 나타나는 현상이다.

피각(crust)은 돌 표면에 단단하게 접착된 퇴적물로 일반적으로 표면에 부착된 축적물질을 일컬으며, 석재에서 나온 성분과 결합된 외부 퇴적물도 이에 포함된다. 피각은 주로 어두운 색상(흑색피각)이지만 밝은색으로도 나타나고 두께가 균일해서 석재의 표면 모습과 유사하거나 불균일한 두께를 가지고 있어서 석재 표면을 해석하는 데 방해가 되기도 한다. 주로 대기의 오염물질 양에 따라 밝거나 진한 색상으로 보일 수 있다. 앙코르 와트 회랑의 둥근 천장에 밝은 피각들이 자주 발견되며, 때로는 피각들이 벽의 윗부분에도 나타난다. 벽에 있는 피각의 모양은 흐르거나 떨어지는 물의 양을 나타낸다. 어떤 부분에서는 갈색의 피각이 발생하기도 한다.

외부 결정염(efflorescence)과 내부 결정염(subflorescence)은 사원의 박리와 박락 등이 일어나는 풍화가 활발한 부분에서 자주 관찰된다. 외부 결정염은 표면에 흰색 분말이나 침상 모양으로 생기는 결정으로 일반적으로 점착성이 약하며 용해성 염결정으로 구성된다. 내부 결정염의 경우 석재 내부에 염 결정체가 발생한 경우를 말한다. 앙코르 와트에서는 외부 결정염과 내부 결정염이 퇴적물은 박리되고 있는 부분의 뒷면 뿐만 아니라 박락된 작은 조각들 사이에서도 관찰된다.

그림 5.
복합적으로 발생한
엽상박리

그림 6.
일부 표면이 윤곽박리된
부조(Siedel *et al*., 2010)

그림 7.
사암 기둥의 층리면을 따른
할렬(Siedel *et al*., 2010)

그림 8.
압사라 부조에 발생한
피각

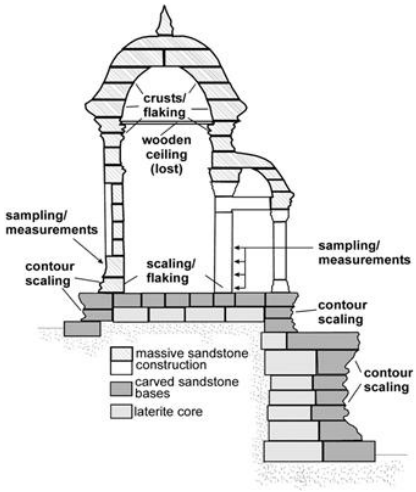


그림 9. 앙코르 와트 주요 공간의 풍화구역 스케치

앙코르 와트에는 다른 사원들과는 달리 수 세기 동안 자라나는 나무에 의한 열화가 발견되지 않는다. 하지만 사암 표면에는 이끼, 조류, 곰팡이, 박테리아, 시아노박테리아 등의 미생물들에 의한 생물정착(biological colonization)은 빈번하게 발생한다. 이러한 생물정착은 온도와 습도의 변화로 인해 균열을 발생시키기도 한다. 앙코르 와트 일부 구역에서는 내전과 같은 인위적인 영향으로 인해 석재에 인위적 풍화가 진행되었다. 또한 구조적 원인으로 인한 균열은 구조적인 응력이 작용하는 특정 영역에 발생하고 있다.

(2) 프레아피투 사원

프레아피투 사원의 사암은 앙코르 유적에서 가장 흔하게 볼 수 있는 회색 사암이 대다수이고 드물게 적황색과 녹회색 사암이 혼용되었다. 회색 사암은 육안으로도 뚜렷이 보일 만큼 선구조가 발달하였다. 보통 선구조가 발달한 석재는 구조적 취약성 때문에 건축재료로 사용하기에 다소 제약이 따른다. 그러나 프레아피투 사원에 사용된 사암 석재는 층리 방향과 응력 방향 간에 의도된 일관성이 보이지 않는 점이 흥미롭다. 회색 사암은 대체로 세립 내지 중립질 석영입자로 이루어져 있으나 입도, 원마도, 암편의 함량, 교결광물, 광물 및 화학조성이 매우 다양하다. 적황색 사암은 석영 입자가 직경 0.1 mm 내외로 일정하고 SiO2가 대략 90 wt%로 높은 함량을 차지한다. 석영 입자 사이에는 카올리나이트가 채워져 있다. 녹색 사암은 광물조성상 와케에 가까워 앞서 기술한 회색 사암 및 녹황색 사암과 다른 성질의 암석이다. 프레아피투 사원에서 사암 석재의 다양성은 앙코르 지역에서 9세기부터 14세기에 나타나는 주요 사원들에 사용된 석재들을 모두 포괄하고 채석지 역시 광범위한 지역성을 보인다

사원 T는 성소, 담장, 테라스로 이루어져 있는데 테라스는 외곽을 이루는 부재들이 바깥 방향으로 밀려나 외형이 전체적으로 이완되고 왜곡되어 있었다. 담장은 프랑스 EFEO에 의해 부분적으로 복구되었으나 고푸라의 변형이 심하여 여전히 불안정한 상태를 보인다. 성소는 기단에서 석재들의 이탈이 확인되고 특히 십자형 중앙성소 부분은 석재의 균열, 마모, 입상분해, 박락이 심하다(김지영, 2019).

사원 U는 중앙성소 부분에 부분적인 붕괴가 있고 남아 있는 석재들의 이완이 심하다. 석재가 불균형한 상태로 놓여 있어 집중하중에 의한 균열과 박리가 발생하였다. 사원 X는 대형 기단 위에 세워져 전체적으로 안정한 모습이지만 기단 모서리 석재들이 바깥으로 약간 밀려나 있고 균열, 이격, 파쇄가 다소 관찰된다. 모서리 부분은 프랑스 EFEO에 의해 대부분 콘크리트로 보강되었으나 접합면이 이미 떨어져 있는 경우가 많아 재보존처리가 필요하다(김지영, 2019).

사원 V는 기계적인 손상은 심하지 않으나 중앙성소 석재들에 이완과 파손이 있다. 특히 모서리 부재들은 콘크리트로 보강되었지만 재보수가 필요한 것으로 보인다. 사원 Y는 주변보다 지대가 높은 지반에 축조되었는데 부재들이 불균형하게 기울어지거나 균열 및 파쇄가 많이 관찰된다. 다른 사원 성소에 비해 물리적인 손상이 많이 진행된 편으로 손상원인 분석과 지반안정성에 대한 정밀조사가 필요하다(김지영, 2019).

손상상태를 물리적 손상, 화학적 손상, 생물학적 손상으로 구분해보면 프레아피투 사원은 물리적 손상이 가장 현저하다. 구조적 문제나 기계적 파손(수목 전도 등)에서 기인한 석재의 균열, 파쇄, 유실, 이격, 박리, 박락, 그리고 석재 자체의 특성, 즉 암석구조적 문제에서 파생된 층상박리가 주요 손상현상이다. 또한 석재의 공극특성과 구성성분의 용탈, 염성분 유입에 의해 석재가 가루처럼 부서지는 입상분해가 국부적으로 발생하였다. 이러한 주된 손상은 적황색 사암과 녹색 사암에서는 거의 발견되지 않고 회색 사암에서 대부

분 발견된다. 적황색 사암은 높은 석영 함량으로 인해 자연적 풍화에 상대적으로 강한 것으로 보이고 녹색 사암은 단단한 물성이 풍화에 강한 내성을 보인 것으로 추측된다. 한편 주변의 바이욘이나 앙코르왓과 달리 프레아피투는 수목과 해자에 둘러싸여 식물의 천이가 유리한 환경이기 때문에 석재에 생물피복율이 높은 편이었다(김지영, 2019).

2. 현지 암석에 대한 과학적 분석 및 보존처리 사례

1) 앙코르와트 석재에 대한 과학적 분석

(1) 라테라이트의 풍화 양상 연구

앙코르와트 유적의 주 구성 암석 중의 하나인 라테라이트의 제작 기법 연구로 라오스 왓푸 사원, 홍낭시다 사원, 인근 채석장 라테라이트을 대상으로 하여 라테라이트를 조사한 선행 연구가 존재한다.

홍낭시다 사원의 라테라이트는 산화철에 의한 공극부에서 적색 변색이 관찰된다. 공극 주변부는 황색의 점토로 이루어져 있으며, 공극부에 황색 토양물질이 침적되어 나타난다. XRD 분석 결과 Kaolinite, Quartz, Goethite가 확인되며, 왓푸사원과 채석장에 비하여 Quartz의 감도가 가장 높게 나타난다. 라오스 왓푸 사원의 라테라이트는 홍낭시다 사원의 라테라이트와 유사한 미세조직이 관찰된다. XRD 분석 결과 Kaolinite, Quartz, Goethite가 확인된다. 인근 채석장에서 수습한 라테라이트는 다공질 내지 광재상으로 보이는 적흑색 상이 부분적으로 관찰되며, 석영질의 용출과 철산화물의 응집이 진행되고 있는 것으로 나타났다. 부피비중은 2.4~2.6으로 왓푸사원과 홍낭시다 라테라이트보다 높게 나타난다. XRD 분석 결과 Kaolinite, Quartz, Goethite가 확인되었다. 라테라이트의 흑색 변색부는 Quartz가 낮은 감도로 나타나고 Goethite가 주된 상으로 나타난다. 적색 변색부의 경우 Quartz가 높게 나타나고 Goethite가 적으며, Hematite가 더 높은 감도로 나타난다. 열중량 분석결과 공통적으로 300℃ 부근에서 중량감소와 흡열 반응이 나타난다. 중량감소율은 채석장 라테라이트가 14%로 가장 높았다. 적색 변색부는 중량 감소율이 약 7%로 낮 편이며, 300℃ 부근의 중량감소와 흡열반응은 미미하고 510℃와 550℃ 부근에서 흡열반응과 중량감소가 나타난다. 성분분석결과 변색부의 경우 Fe가 더 높게 나타나며, 흑색 변색부가 적색 변색부보다 Fe성분이 높고 Si 성분이 적게 나타난다.

(2) 사암의 풍화 요인 분석

앙코르 와트의 기후환경은 열대지방으로 우기와 건기가 존재한다. 월평균 상대습도는 건기에는 약 75%이고, 우기에는 약 80-90%이다. 월평균 기온은 일년 내내 20℃ 이상이며 우기에는 30℃까지 상승한다. 개방된 갤러리들과 타워들은 수 세기 동안 수 많은 박쥐들에게 서식지를 제공해 왔으며 그들의 배설물은 과거에 바닥에 두꺼운 구아노 층을 형

성하였다. 바닥을 자주 청소해도 사찰 일부에서 강한 냄새가 나는 것으로 알 수 있다.

그림 10. 초음파 탐상 분석(Siedel *et al*., 2010)

그림 11. 드릴링 저항 측정 지점(Siedel *et al*., 2010)

층리에 수직인 팽창은 층리에 평행한 팽창율보다 항상 높았다. 표본 간의 데이터 차이는 몬모릴로나이트와 같은 함수 규산염의 함량 및 크기 차이에 의해 설명된다. 기둥 하단에서 최대 1.5m 높이까지 측정한 초음파 속도 그래프를 보았을 때 층리에 수직으로 측정된 0.35 ~ 0.4m의 높이에서 초음파 속도가 현저하게 감소했음을 보여준다. 드릴링 저항 측정은 측정 지점을 나눠서 실시하였는데, 구조적으로 안정한 부분과 불안정한 부분의 값이 상이하게 나타난다. 동위원소 분석결과, 앙코르 와트의 회분류에 함유된 용해성 염의 발생원인은 장마철 빗물과 응축 과정에서 나오는 물로 박쥐 구아노를 침출하는 것이 가장 유력하다. 건축물의 일부에서 습윤 시 팽창과 건조 시 수축은 사암구조물에 응력을 일으켜 끝부분부터 균열을 일으키고, 비등방성 거동에 의해 층리를 따라 갈라지는 현상이 나타난다. 석재의 표면과 내부 간 건조시간 차이는 전단 응력을 발생시켜 석재를 팽창시키고 컨투어 스케일링의 요인이 된다. 이 같은 풍화는 염분의 작용이 없어도 발생한다. 이 같은 연구 결과에 따라 앙코르 와트 사원의 사암 풍화 요인은 우기-건기 주기에 의한 환경적인 요인과 박쥐의 구아노에 의한 수용성 염에 의한 요인이 가장 큰 것으로 보인다.

(3) 생물에 의한 훼손

앙코르와트 내 서로 다른 환경에 노출된 두 사찰에서 관찰할 수 있는 생물학적 손상 영역을 조사하여 유해성을 평가한 선행 연구를 살펴보면, N1r은 기질 사이 광범위한 녹조세포 분포를 보였으며, 침투 깊이 평균 0.26mm이다. N2b는 기질의 물리적 분해가 확인되며 시아노박테리아 세포 침투를 보였다. 미생물의 킬레이트 활성으로 인해 알루미늄, 철, 실리콘이 검출되었다. N3b, N3a, K3c에서는 Leprarietum, Cryptothecietum, Pyxinetum 3개의 이끼공동체가 보였으며, N4m는 Fissidens 속의 이끼로 추정된다. 이끼 뿌리에 의한 물리적 풍화가 관찰되며, 약 2.46mm의 침투깊이가 측정되었다. 침투, 확산영역, 응집정도에 따른 비교분석결과 N4m이 석재 내 침투깊이, 응집정도, 확산정도가 가장 높으며, N1r은 상대적으로 낮은

결과를 보였다.

저자는 앙코르와트 석비들의 보다 나은 보존을 위해 주변 기후를 안정시키고, 과열과 환기의 부정적 영향을 방지하면서 특정 생물의 생장을 저지해야한다고 주장하며, 각각 지역사회의 유리한 생태조건을 고려하여 적정 환경을 확립할 수 있다고 보았다.

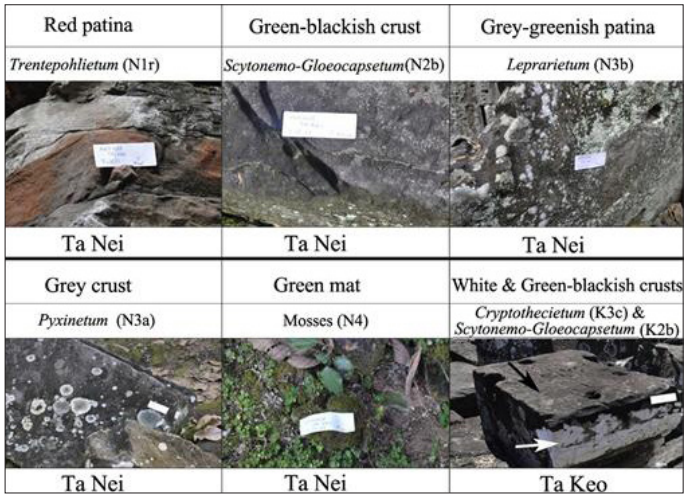


그림 12. 연구대상 생물군

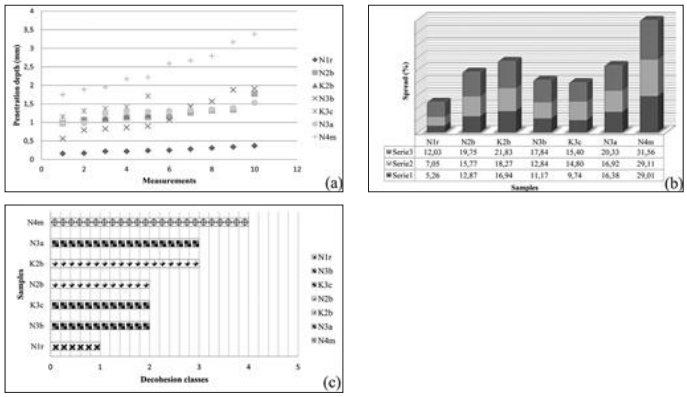


그림 13. 각 생물군 비교분석 결과(Bartoli *et al*., 2014)

2) 국가별(기관별) 보존처리 동향

앙코르와트 유적을 보존하려는 움직임은 프랑스 정부가 1907년에 캄보디아에 설치한 프랑스 극동학원(EFFEO)에서 시작되었다. 프랑스 극동학원은 앙코르와트 발굴 및 연구

그리고 보존 복원사업을 진행하였으나, 1975년에 발발한 캄보디아 내전으로 사업이 중지되었다. 1992년 내전 종결로 사업을 다시 시작하였으며, 앙코르와트는 유네스코 세계유산에 등재되었다. 2004년에는 위험에 처한 세계문화유산 목록에서 제외되었다. 2012년에 앙코르 헌장이 제정되었다.

(1) 프랑스(EFFEO)

1389년 앙코르 왕국은 경쟁국가였던 다이의 공격을 받고 몰락하였다. 역사의 뒤안에서 잊혀질 뻔했던 고대 도시를 재발견한 것은 19세기 프랑스 탐험가에 의해서였다. 왕코르 유적의 복구를 먼저 시작한 것은 1907년 프랑스의 극동연구학회였다. 이들의 사업은 1953년 캄보디아가 프랑스에서 독립한 뒤에도 계속 유지되었다. 프랑스 극동학회는 앙코르 사원의 다양한 보존복원 사업을 주도하였는데 그 중에서 대표적인 사업으로는 바푸온 사원 복원과 서부 메본사원 복원이 있다. 바푸온 사원은 전면 해체 보수를 실시하였으며, 서부 메본사원은 보호 제방과 배수관 작업을 실시하였다. 메본 사원의 보호 제방 작업을 위하여 합성 폴리머(지오그리드)를 사용하였는데 석재 사이에 설치하여 모래 유실 방지의 효과를 얻었다.

그림 14. 바푸온 사원 해체

그림 15. 바푸온 사원 보수중

그림 16. 보호 제방이 설치된 서부 메본사원

(2) 독일(GACP)

1997년에 독일 압사라 보존 프로젝트(GACP)는 앙코르 단지 및 기타 지역에 있는 사원의 석재, 조각 및 외관 양식을 보존함으로써 앙코르 사원 보존에 공식적으로 참여하기 시작하였다. 주요활동으로는 압사라 상과 베디먼트 부조 보존과 비슈누 상 복원이 있다. 보존처리 방법은 사진기록을 확보한 후 리스크 맵을 작성하여 응급조치를 실시하였으며, 보존 복원을 위한 조사 및 처리를 실시하였다. 사진기록은 고해상도 흑백사진과 슬릿 스캔, 디지털 자료를 축적하였다. 리스크맵은 육안으로 판단하여 6등급으로 분류하고 훼손 정도와 종류를 표기하였다. 강화섬유, 에폭시 수지 및 응급용 붕대를 사용하여 박락부위를 응급조치하였다. 처리 전 조사로 초음파 진단과 드릴링 저항도 및 흡수율을 측정하였다. 보존처리로 가용성 염류와 PMMA를 제거하였다. 몰탈 및 에틸실리케이트를 사용할 때에는 훼손 정도에 따라 농도 및 도구를 다르게 적용하였다.

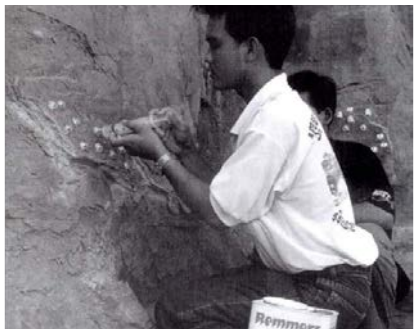


그림 17. 몰탈 적용

(3) 일본(JSA)

1994년 유네스코 세계 문화 유산 보존을 위한 일본 신탁 기금의 프로젝트로 앙코르 보호를 위한 일본 정부팀(JSA, 와세다 대학의 나카가와 타케시 교수)을 구성하였다. 총 680명 이상의 전문가들이 보존 및 복원 활동에 참여하였으며, JSA는 보존 및 복원의 실제 작업뿐만 아니라 기술을 현지 직원 및 인적 자원 개발에도 관여하였다. 주요활동으로는 바이욘 사원 보존 및 보수에 대한 마스터플랜을 작성하였고 북쪽 도서관 해체 보수를 실시하였다. JSA는 디지털 이미지 및 3D 레이저 스캐닝을 이용하여 보존처리 전 조사를 진행하였고, 에폭시 수지와 스테인리스 핀 등의 신부재를 사용하여 내부구조 보강 및 수습부재를 복구하였다.

그림 18. 복원된 앙코르와트 북쪽도서관

그림 19. 바이욘 사원 도서관 복원 전(왼쪽), 복원 후(오른쪽)

Ⅲ. 국내 석조문화재 보존 연구

1. 국내 석조문화재 보존처리 매뉴얼

국립문화재연구소는 문화유산을 연구·발굴·보존·복원하는 국가 기관으로, 한국 전통문화유산을 조사하고 연구하기 위해 설립되었다. 대학교나 일반 기관에서는 실행하기 어려운 사업을 국가적 차원에서 수행하고 있는 공식적인 책임운영기관이므로, 문화재연구소에서 발행한 매뉴얼을 기준으로 조사하였다.

가장 최근에(2018) 발행된 보존처리 매뉴얼인『보존처리 지침서』는 국립문화재연구소 산하 문화재보존과학센터에서 수행된 보존처리 및 관련 조사·연구 업무를 바탕으로 문화재 재질별 보존처리 방법 및 재료에 대하여 과정별로 정리하여 수록하였다. 석조문화재의 경우 형태와 재질에 대한 구체적인 대상을 설정하지 않고 일반적인 보존처리 방법 및 재료를 서술하였으며, 처리 전 상태조사-해체-세척- 접합-충전-결실부분 보강-강화처리-처리 후 기록 및 마무리 순으로 석조문화재의 모든 보존처리 과정에 대한 처리 매뉴얼이 기술되어 있다.

처리 전 상태조사는 실측, 사진촬영, 풍화도면 작성, 비파괴 현장 조사 등을 통해 석조문화재의 풍화 요인, 오염물질을 찾고 제거하기 위한 보존처리 기초조사이다. 해체는 처리 전 상태 조사결과를 바탕으로 부재 해체를 하는 과정을 말한다. 세척은 건식과 습식 세척으로 나눌 수 있으며 표면 이물질, 오염원을 제거하여 원형을 보전하고 추가훼손을 감소시키는 과정이다. 접함/충전/결실부 보강 과정은 원형이 파손된 것을 접합을 통해 원래의 형태로 만들고, 암석의 재질 특성에 따라 내부에 발달한 공극 부분을 충전해 물리적 강도를 향상한다. 결실부 보강은 합성수지나 동일 석재를 사용하여 형태를 보강한다. 강화처리는 구성광물간의 결합력이 약화된 부위를 보강한다. 처리 후 기록 및 마무리 작업은 보존상태 조사 결과와 보존처리 과정을 상세히 기록한 보고서를 작성하고 해당 석조문화재 차후 모니터링 기준값과 보존 관리 가이드라인 제시 및 사후관리를 수행한다.(문화재보존과학센터, 2018)

2. 국내 사암문화재 보존 연구

국내 석조문화재의 대다수를 차지하고 있는 것은 규산염질의 화강암 문화재이나, 일부 사암 문화재도 확인되었다. 국가지정 석조문화재 517점(80.4%) 중 사암 문화재는 총 21점이다. 사암재 석조문화재가 다수 분포한 영양지역을 중심으로 사암문화재에 대한 암석학적 조사가 이루어졌으며, 보존처리제 적용 전후의 사암의 물성 평가와 인근 사암 암반에 대한 보존처리제 적용평가를 실시하였다.

3.국내 석조문화재 보존처리사례

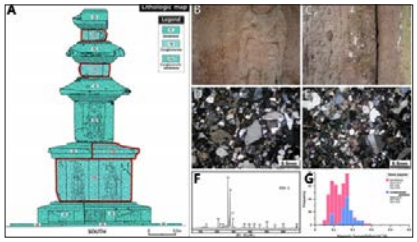
1) 함양 승안사지 삼층석탑

영양 산해리 오층모전석탑
(국보 187호)

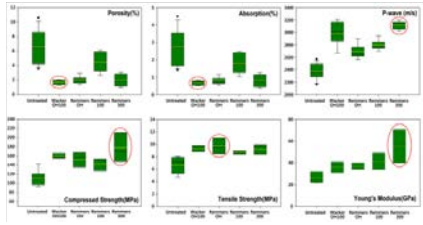
영양 화천리 삼층석탑
(보물 609호)

영양 현리 삼층석탑
(보물 609호)

그림 20. 영양 소재 사암 석조문화재



대상 암석에 대한 암석학적 조사



보존처리제 성능평가

보존처리제의 현장 적용 평가(인근 암반)

그림 21. 국내 석조문화재 보존 연구 사례(이명성 외, 2011)

처리 전 조사로 구성 부재의 암석학적 특징에 대한 정밀 육안 관찰을 실시하였다. 구성재질의 암석학적인 연구를 위해 석탑 구성암석에 대해 전암대자율 측정을 실시하였다. 계측기기는 10-7 SI 단위의 측정 한계를 가진 SM30(Susceptibility Meter) 모델을 이용하였으며 대자율의 단위는 10-3 SI unit로 표기하였다. 채취한 분석용 시료는 석탑 구성암석의 광물학적 및 조직적 특징과 조암광물의 정밀한 동정을 위해 편광현미경 관찰과 X-선 회절분석을 실시하였다. 여기에 사용된 편광현미경은 자동 계수기가 장착된 Nikon사의 Eclipse E600W이며, X-선 회절분석기는 Rigaku제 D/Max-IIB을 이용하였다. 풍화 및 훼손상태에 대한 종합적인 진단을 위해서 요인별 훼손상태를 진단하고 실측도면을 바탕으로 종합훼손지도를 작성하였다. 훼손도면 작성에 사용된 프로그램은 2D그래픽 전문 응용프로그램인 Adobe Illustrator이다.

함양 승안사지 삼층석탑의 훼손 상태는 전면에 걸쳐 지의류와 선태류 등이 서식하고 있어 석탑 표면이 심하게 훼손되어 있으며 기단석의 일부에서는 시멘트 몰탈도 관찰된다. 또한 석탑 주위로 둘러져 있는 석난간이 지나치게 높아 석탑의 경관을 해치고 있다. 이 석탑은 각층의 옥개석의 모서리를 중심으로 부재의 박리박락과 탈락이 심각한 상태를 보인다. 또한 각층의 탑신과 옥개석 하부를 중심으로 황갈색 및 흑색 변색이 두드러지며 옥개석 상부와 지대석에는 조류, 지의류 및 선태류에 의한 생물오염이 가중된 상태를 보인다. 암종은 삼층석탑은 중립 내지 세립질의 흑운모화강암과 화강편마암이 주를 이루고 있으며 부분적으로 기단부에 거정질 편마암, 2층 탑신석의 백운모편마암, 상륜부 복발과 앙화의 반려암질암이 혼용되었다. 흑운모화강암은 부분적으로 페그마타이트 세맥이 형성되어 있으며 화강편마암은 흑운모의 배열에 의하여 편리가 잘 관찰된다.

보존처리 과정은 우선 표면세정으로 석재에 손상이 가지 않도록 일차 건식세정을 실시하였고 이차로 습식세정을 실시하였다. 건식세정은 부드러운 솔과 나무칼을 사용하여 실시하였으며 이때 지의류, 오염물 등 잘 제거되지 않는 부분은 증류수를 이용한 습식세정으로 제거하였다. 또한, 보호난간 재설치 및 지반정리를 하였다. 기존에 설치되어 있는 보호난간은 해체한 후 석탑과의 거리를 고려하여 적당한 높이로 재설치하였으며 석탑 주변의 지반을 마사토로 깔고 다짐하여 정비하였다. 또한 보호난간 외부의 주변에는 배수흐름을 원활하게 하기위해 자연 구배를 두고 자연측구를 설치하였다.

2) 경주 불국사 삼층석탑

처리 전 조사로 균열 원인 및 풍화훼손 조사를 실시하였고, 석재산지추정 연구를 하였다. 표면오염물의 조사 분석과 부재별 초음파 조사, 지내력 및 지반 비파괴 조사를 한 후 구조 재료 연구를 하였다. 이후 가설 공사 및 현황 조사를 하였으며 해체를 위한 해체 조

사 및 부재 해체를 하였다. 보존처리에서는 해체 부재의 세척과 접합 및 충전을 실시한 후 표면 가공 및 고색 처리를 하였다. 해체한 부재를 조립한 후 팔방금강좌를 정비하였으며 계측 조사와 지진피해 현장점검 등과 같은 모니터링을 하였다.

그림 22. 함양 승안사지 삼층석탑 보존처리 과정

그림 23. 경주 불국사 삼층석탑 보존처리 과정

IV. 석조문화재 보존처리 재료 및 기술

1. 보존처리 재료

1) 보존처리 재료의 현황과 특성

(1) 접착 및 충진제의 현황과 특성

석조문화재의 가장 대표적인 접착, 충진제는 에폭시수지이다. 이것은 다른 수지와 비교하여 접착강도가 우수하고, 수축팽창에 대한 안정성이 있어 석조문화재 균열부위의 충전이나 파손, 접착보강 등 다양한 용도로 사용된다. 보통 접착과 충진의 기능을 동시에 담당하며 목적과 조건에 따라 희석제, 점도 조절제, 충전제 등을 첨가하여 사용할 수 있다.

또한 경화제를 첨가하지 않으면 기후나 온도에 관계없이 장기간 보존이 가능하며, 일반적으로 경화제를 첨가하여 열경화성의 물질로 변화시킨 상태로 사용된다. 에폭시 주제를

반응시키는 경화제로는 지방족 아민계, 방향족 아민계, 폴리아미드 아민계, 폴리아미드계, 산 무수물계 등 종류가 다양하나, 석조문화재 수리복원에 주로 사용되는 경화제는 상온에서 경화되고 비교적 독성이 적은 폴리아미드 아민계이다.

에폭시수지는 분자내에 2개 이상의 반응성 에폭시기를 갖는 수지를 총칭하는 것으로 비스페놀 A와 에피클로로하이드린의 반응에 의해 유도되는 축합물이다. 경화제의 경우 상온 경화와 독성이 적은 폴리아미드 아미계가 가장 일반적이나 사용시의 온도와 경화 후의 물리적 특성을 고려하여 사용한다. 그러나 자외선에 특히 민감하여 황변현상과 균열이 발생될 수 있으므로 주의를 요한다. 따라서 실제 사용시에는 목적에 따라 첨가제를 추가하여 사용한다.

수성, 내약품성을 비롯한 화학적 저항력이 우수하고 사용시 각종 충진제를 다량 첨가할 수 있는 장점으로 인해 국외의 경우 이미 1950년대부터 문화재수리복원재료로 다양하게 사용되고 있다. 특히, 1960년 애스원댐 건설에 따른 수몰위기에 따라 이집트의 아부심벨(AbuSimbel)의 람세스 2세 신전의 긴급 구제보존에는 신전을 2개로 절단하여 하나의 직경 1.5cm의 구멍을 뚫어 모래를 섞은 에폭시수지를 넣고 철심을 보강하여 제3의 장소로 이전시킨 사례는 유명한 일이다.

국내의 경우에도 1978년 송광사 침계루 보수공사에 사용된 이래 목조 · 석조 문화재 수리복원에 광범위하게 사용되고 있다. 석조문화재에는 1980년 도굴범들에 의해 훼손된 국보 제10호 남원 실상사 백장암 삼층석탑의 접착, 복원에 사용되는 등 매년 10건 이상 수리복원 재료로 사용되고 있다(국립문화재연구소, 2013).

과거에는 아랄다이트 등 시판되고 있는 에폭시수지를 이용하였으나 황변 및 균열이 발생하고 전량 수입에 의존해야 하는 등의 문제로 인해 국립문화재연구소는 풍림산업과 공동으로 6종(L-30, L-40, L-50, M-40 등)의 에폭시수지를 개발하고 현재 활발히 적용하고 있다. 에폭시수지 이외에 접착, 충진제로는 폴리머시멘트, 우레탄폼 등이 있다.

폴리머시멘트는 시멘트와 폴리머를 혼합해서 만든 것으로 일반적인 시멘트와 달리 표면에 폴리머 피막을 형성하여 순분의 증발을 차단한다. 동결융해에 대한 저항성이 크며, 접착력과 내산성이 우수하고, 인장강도, 휨강도 등이 높다. 또한 점도 조절이 용이하여 틈새의 폭에 관계없이 작업할 수 있다는 장점이 있으나 경화시 체적변화가 발생하며 고가의 가격이 단점으로 지적되고 있다.

넓은 부위의 이격이나 절리는 우레탄폼으로 충전하며, 이는 MDI(Methylene diphenyl diisocyanate)와 PPG(Poly Propylene Glycols), 계면활성제 및 기타 첨가제를 혼합하여 만든 발포성 물질이다. 흡수율이 낮고, 압축강도가 우수하며, 경화 후 물, 산, 용매, 미생물발생에 대한 저항성이 높다.

(2) 강화 및 발수제의 현황과 특성

1861년 독일의 화학자 호프만(August Wilhelm von Hofmann)은 영국의 국회의사당(House of Parliament)의 보존을 위해 알콕시실란을 처음으로 제안하였다. 이 재료는 점도가 낮아 암석 내부까지 침투가 가능하며 물과의 축합반응에 의해 형성되는 실록산결합(Si-O-Si)은 국내에 분포하는 대부분의 석조무화재의 주성분과 동일하다. 또한 자외선, 산, 열 등의 주요 풍화용인에 대해 안정하여 현재까지 석조문화재의 강화제로서 널리 사용되고 있다.

또한 알콕시실란 강화제는 암석의 강도 및 경도에 대한 효과가 취약한 문제로 인해 에폭시, 아코릴과 같은 유기계합성수지의 개발 및 적용에 관한 연구도 실시되고 있다. 그러나 접착성, 침투성 등에서 만족할 수 있는 효과를 얻지 못하여 라임워터, 나노라임 등의 무기 바인더, 유무기를 결합한 아이브리드 강화제 등의 개발이 진행되고 있다.

알콕시실란은 암석의 모세관을 통해 침투하여 대기 또는 암석의 내부 수분과 반응을 통해 이산화규소를 형성한다. 이 과정에서 에탄올은 증발하며 따라서 암석의 공극을 차단하지 않는다. 특히 이산화규소는 국내에 분포하는 대부분의 암석 구성성분인 석영과 화학적 동질성을 가지므로 처리에 따른 부작용이 발생하지 않고, 열이나 산화에 안정하다. 가장 대표적인 TEOS(동의어: tetraethyl orthosilicate, ethyl silicate, tetraethyl silicate)의 경우 다음과 같은 반응에 의해 이산화규소를 형성한다.

$$Si(OC_2H_5)_4 + 4H_2O \rightarrow SiO_2 + 4C_2H_5OH$$

이것은 구성 성분에 따라 실란(silanes), 실록산(siloxanes)으로 나뉘며, 실란계는 침투성을 가장 중요한 물성으로 하여 구조가 조밀한 부분의 침투성 발수제로 많이 사용된다. 대표적으로 isobutyl ethoxy silane, isooctyl ethoxy silane 등이 있다. 실록산계는 표면 발수성을 향상시키기 위한 역할을 하므로 비교적 기공이 큰 경우에 효과적이며, 내후성이 우수하여 석재나 콘크리트 외벽의 코팅에 주로 사용된다.

발수제는 액상의 유기질 고분자 물질로 콘크리트 구체에 도포하면 공극내부에서 경화하여 발수성을 부여함으로써 외부에서 침투하는 물을 차단하는 원리이다. 석조 건축물의 경우 실리콘 처리에 의해 통기성이 있는 발수 피막이 구조물의 표면에 형성되는 것으로 비가 내렸을 경우에도 젖지 않고 백화현상을 방지할 수 있다. 또한 몰탈 내부의 수분 침입을 방지할 수 있어 함유수분의 동결 · 융해 피해를 최소화할 수 있다. 대표적 발수제인 Silres BS 290은 침투력이 좋고, 높은 알칼리성 저항력을 가진다.

아크릴 계열 수지는 투명성과 내후성, 내산성 등이 우수하며, 자외선과 열, 기후에 대한 저항성이 커 1980년대 이전에 많이 사용되었다. 그러나 분자량이 커 암석의 미세 공극까지 침투가 어렵고, 표면 코팅에 의해 암석 내 수분의 순환이 불가능하여 추

가적인 손상을 야기할 수 있다. 최근에는 이러한 단점을 개선하기 위해 모노머의 공중합을 통한 함침처리법이 개발되는 등 활발한 연구가 진행되고 있다. MMA(methyl methacrylate), acrylic acid(AA), methacrylic acid(MA), ethyl acrylate(EA), ethyl methacrylate(EMA), methacrylic aicd(MA), butyl methacrylate(BMA) 등이 대표적이다.

강화용 수지로 대표되는 Wacker사와 Remmers사의 제품은 국내외에서 가장 많이 사용되며 이와 유사한 Tegovakon, Synton X-30, SH 등이 사용된다. 발수용 수지는 실란계열의 AD25, SS-101, 실록산계의 DWR, Silres BS290L이 대표적이며, 아크릴계 수지는 Paraloid B-72, Eurostac, Duracyl plus 등이 있다.

2) 국내 석조문화재의 보존처리제 사용 사례

(1) 접착 및 충진제

석조문화재에 발생한 부분적인 균열은 고분자 유기접착제로 충진하여 더 이상의 진행을 막는 한편, 물리적인 풍화로 인해 구조적으로 문제가 될 수 있는 열극이나 파손된 표면은 충진을 통한 보강을 실시한다. 이때 사용되는 처리제는 주로 에폭시수지이며, 특히 AW106과 AY103, SV427, L-30등이 대표적이다. 그러나 수지 단독으로 사용하는 경우는 거의 없으며 탈크와 실리카, 규회석, 포록, 운모, 석분과 같은 무기계 충전제를 첨가한다. 충전제는 수지의 점도 조절과 밀접히 관련하며 수지가 갖는 단점을 보완할 수 있으나 과할 경우 수지의 응집력이 저하되어 접착 불량이 발생할 수 있으므로 종류와 양의 선택이 중요하다.

특히 Arladite AW106과 Hardener 953의 경우에는 비교적 파손이 큰 부위에 사용하고, 보강부에는 탈크나 규회석, SiO2 분말을 첨가하여 고정시킨다. 반면 경화제로서 GY253을 사용할 경우에는 접착성이 우수하고 경화시 수축이 적어 목재, 석재, 금속 등 다양한 재질과 목적으로 사용되며, F.R.P 제작에도 적합하다. Araldite SV427와 Araldite XN1023 역시 석조물의 보수복원 및 유물 보존처리용으로 활용되고 있다.

그러나 에폭시수지는 자외선에 취약하여 광열화로 인한 황변이 발생할 수 있다. 이러한 문제를 개선하기 위해 국립문화재연구소와 ㈜풍림산업은 L-30, L-40, L-50을 개발하였다. L-30은 다른 에폭시수지에 비교하여 매우 점도가 낮은 초저점도형으로 사용이 간편하며, 황변현상이 거의 발생하지 않는다. L-40의 경우에는 탄성을 부여하여 충전용으로 개발되었으며, 접착 및 충진에 주로 사용되고 있다. L-50은 L-30의 단점인 반응열과 경화 속도를 개선한 제품이다.

충진용으로 사용되는 폴리우레탄폼은 경주 남산 탑곡마애불상군과 부여 정림사지 오층석탑의 보존처리에 사용되었으며, 옥개석의 이격은 폴리우레탄폼을 메움재로 사용하였

다. 틈의 최하단에는 폴리에칠렌폼으로 받침을 만들고, 폴리우레탄폼을 발포하였다. 그 위에 방수용 실리콘 수지로 충전하여 빗물이 유입되지 않도록 틈을 메우고, 2차로 석분을 혼합 충전하여 다른 석재표면과 동질감이 나도록 처리한다.

경주 감은사지 삼층석탑의 경우는 2006, 2007년에 걸쳐 실리케이트계 수지를 이용하여 충진처리를 실시하였다. 이 때 사용한 KSE 500 STE는 주로 유럽에서 사용되는 재료로서 우리나라에서는 처음으로 시도되었다. 이러한 경우에는 수지에 대한 물성 규명과 암석과의 관계를 명확히 하기 위해 사전실험이 수반되어야 한다.

(2) 강화 및 발수제

알콕시실란에 의해 형성되는 실록산 결합은 열이나 산화에 안정하며, 암석 공극에서 규산염 광물의 내부 바인딩 물질로 작용한다. 알콕시실란의 가장 큰 장점은 암석 내부의 공극을 완전히 막지 않아 암석 물성의 급격한 변화를 억제하며 수증기의 출입이 자유롭다는 점이다. 과거에는 아크릴수지인 Paraloid B-72을 사용되기도 하였으나 표면에 피막을 형성하여 풍화를 촉진하는 경향이 발견되어 현재에는 거의 사용되지 않는다. 따라서 석조문화재의 강화, 발수용 합성수지는 내부 수분의 증발이 용이해야 하여 내구성이 우수하고 우수한 발수성과 처리 후 암석 표면의 색상변화가 없어야 한다.

석조문화재를 대상으로 한 강화, 발수처리는 1980년대 후반부터 꾸준히 시도되었으나 현재에는 강화와 발수처리의 효과에 대한 검증이 난해하여 처리에 소극적이다. 발수제의 경우 과거에는 Caolcoat사의 SS-101과 국내 개발품인 DWR 제품이 주로 사용되었으나, 최근에는 Wacker사 290과 Remmers사의 SNL 등의 제품이 시도되고 있다.

강화제는 석재의 내부를 채워 비중의 증가, 공극률의 감소, 암석 입자간 결합력의 복원 등 기계적 특성을 향상시키며, 발수제는 수분이 내부로 흡수되는 것을 막는 보호막의 역할로 침수 및 모세관력에 의한 흡수율을 감소시킨다. 강화, 발수처리는 처리 대상을 오히려 훼손시킬 수 있으므로 처리제의 선정은 암석의 특성 및 환경이 반드시 고려되어야 한다. 특히 촉진내후성 및 염풍화시험을 통해 내구성을 입증하고 보존처리 후 표면 변화의 여부를 확인한다.

아크릴 수지인 Paraloid B72는 유용성 수지로서 톨루엔, 자이렌, 아세톤 등의 용제에 용해시켜 사용한다. 암석 표면에 강력한 피막을 형성하여 압축강도 등 기계적 특성의 향상이 가능하나 분자량이 크고 점도가 높아 내부 침투가 어렵다. 최근에는 이러한 단점을 보완하여 아크릴 단량체를 이용한 강화방법의 개발 연구가 진행되고 있다.

2. 석조문화재의 과학적 조사방법

1) 석재의 산지추정 조사

석탑은 대부분 야외에 그대로 노출되어 있어 다양한 풍화에 취약하다. 특히 물리·화학적 요인으로 인한 기계적 풍화는 부재 자체의 강성 약화와 형상 변형을 발생시킨다. 게다가 균열로 인한 부재 절단에 이르게 하여 구조 불안정성까지 높일 수 있다. 훼손이 심각한 석탑들의 경우 구조 안정성과 외형 복원을 위해 수리 보수 및 보존처리가 필연적으로 시행되어야 한다. 이를 위해서는 보존처리에 사용 가능한 원형부재와 유사한 신석 확보가 우선되어야 한다. 결론적으로 효과적인 보수 복원을 위해 체계적이고 과학적인 기법을 기반으로 한 원형부재와 유사한 암석의 확보가 중요하다. 이에 발맞추어 2000년대 이후 석조문화재의 올바른 보수와 복원에 대해 관심이 높아지면서 석재 산지 추정에 관한 조사를 겸하고 있는 추세이다.

따라서 석조문화재를 구성하고 있는 암석은 야외 정밀조사와 실내연구를 통해 정확한 암석명을 밝혀야 한다. 각각의 암석들은 육안적인 특징이나 암석학적인 특징들이 있으며 이 특징들은 석조문화재의 구성암석이 다른 유사한 암석과 구별될 수 있는 중요한 단서이다. 일반적인 석조문화재의 과학적 조사는 대상 문화재 주변에 관한 지형 및 지질조사와 함께 구성암석에 대한 색상, 조직, 광물조성 등의 육안관찰에 의한 기재적 특징 조사를 실시한다.

(1) 지질조사

석조문화재 구성부재인 암석의 원료 공급지를 해석하기 위해 암석학적 분석결과를 토대로 정밀 지질조사를 실시하게 된다. 먼저 주변에 분포하는 암석의 산지를 중심으로 위치와 지형적으로 가능성이 있는 곳을 선택하여 주변일대의 지질학적 분포양상을 파악한다. 이와 같이 여러 위치에서 산출된 암석에 대해 암석학적 및 지구화학적 동질성을 파악하기 위해 다양한 조사를 실시한다. 지질조사는 암석의 미세 대자율 및 감마스펙트로미터 측정을 실시하여 산지추정에 대한 자료를 확보한다.

① 전암대자율 분석

대자율은 외부 자기장에 대한 자화강도를 의미하며, I(자화강도)=k(대자율)·H(자기장)로 정의된다(Sharma, 1976). 암석은 형성 당시의 환경에 따라 특정 자기장을 가지고 있어 암석 판별에 용이하다. 또한 비파괴적인 분석법이라 석조 문화재 조사에 효과적이다.

대자율 측정기기는 휴대가 간편하여 환경에 크게 구애 받지 않고 측정이 가능하다. 측정은 부재의 최대한 맞닿을 수 있는 평탄한 면을 따라 최소 5회 이상 측정하며, 측정된 값은 엑셀로 정리하여 빈도수 그래프로 비교·분석한다.

② 감마스펙트로미터 분석(gamma-ray spectrometer)

감마스펙트로미터는 암체 내의 방사능 수치 중 K, U, Th의 함량을 측정하는 기기로 단채널 분석 시스템이다. 이 시스템에서 4개창이 선택적으로 기록하는 것은 (1) 특정 한계치(threshold) 이상의 전체 카운트 수(Tot, Total dose rate), (2) K 창에 대한 카운트 수, (3) U 창에 대한 카운트 수, (4) Th 창에 대한 카운트 수이다. 각각의 수치는 암석 생성 당시 환경에 따라 나타나는 특정 값으로 암석 판별에 용이하다. 또한 비파괴적인 분석법이라 석조문화재 조사에 효과적이다.

감마스펙트로미터 측정기기는 휴대가 간편하여 측정이 용이하다. 측정은 최대한 맞닿을 수 있는 평탄한 동일면에서 3분간 3회 반복 측정을 기본으로 하며, 측정된 값은 엑셀로 정리하여 빈도수 그래프로 비교·분석한다.

그림 24. 전암대자율 측정

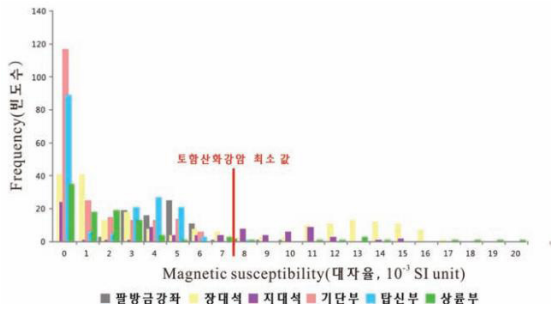


그림 25. 비파괴 분석기기 조사 및 전암대자율 빈도수 그래프

그림 26. 감마스펙트로미터 측정

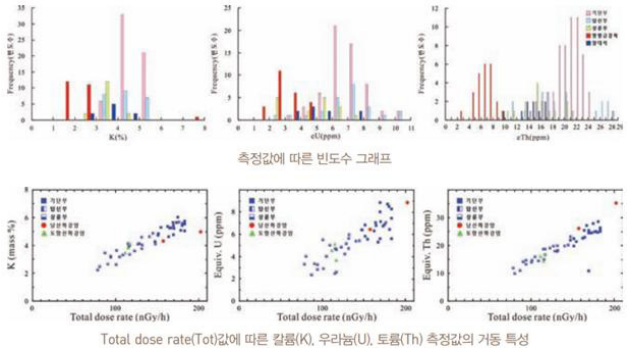


그림 27. 감마스펙트로미터 결과그래프

③ 석재 산지추정 사례: 국보 제77호 의성 탑리리 오층석탑

국보 제77호 의성 탑리리 오층석탑은 응회암류를 사용하여 축조하였으며, 기단부에 세립질 화강암이 혼용되었다. 분석결과, 석탑에 사용된 응회암류는 크게 유문암류 계열의 용결응회암, 라필리응회암과 응회각력암으로 구분된다. 이 중 유문암류 계열의 응회암들은 암녹색 내지 녹회색의 유리질 기질에 K-장석과 석영의 반정, 압축 신장된 피아메, 소량의 암편 등으로 구성되어 있다. 유문암질 응회암은 전체 부재의 90.3%(178개)을 점유하며 암편의 크기는 1mm 이하에서 10㎝에 달한다. 이 암석은 부분적으로 분급이 양호하고 층리를 가진다.

이 결과를 바탕으로 석탑 주변 일대의 암석 분포를 조사한 결과, 석탑이 위치한 금성면 일대에는 기반암인 백악기의 퇴적암층과 이를 부정합으로 덮고 있는 화산암층 및 이들을 관입하고 있는 관입유문암과 암맥으로 구성되어 있었다. 이 일대에서 화산암류는 금성산을 중앙부로 비봉산-금성산체를 구성하며, 최대 층후는 약 400m이다(장기홍 외 1981). 따라서 석탑의 주 구성암석인 유문암질 응회암의 산지추정을 위해서 인근 금성산을 중심으로 암석의 지질학적 분포양상을 조사하고 분석용 시료를 채취하여 광물학적 및 암석학적 분석을 수행하였다.

먼저 금성산 일대에 분포하는 유문암질 응회암을 대상으로 야외 정밀조사와 노출된 노두 암석을 대상으로 전암대자율과 감마스펙트로미터 측정을 수행하였다. 감마스펙트로미터 측정은 암석과 토양 내의 K, U, Th의 함량과 전체 감마선의 활동도를 얻기 위해 사용되며 동성분의 재질에서 K, U, Th의 함량이 유사한 특징이 있다. 금성산 일대에 분포하는 노두를 관찰한 결과, 유문암질 응회암으로 규명된 석탑의 구성암석과 유사하거나 동일한 종류의 암석임을 확인하였다.

전암대자율 측정 결과, 모든 금성산 조사지역에서 0.03~3.32(평균 0.94)(X10-3 SI unit, 이하 단위 생략)의 값을 보이며, 석탑의 대자율 값인 0.03~3.27(평균 0.74)과 비교해 보면 거의 동일한 것으로 나타났다. 이는 의성 탑리리 오층석탑을 구성하는 암석과 금성산 일대 유문암질 응회암이 성인적으로 동일한 과정에서 생성된 것을 간접적으로 지시하는 것이다.

감마스펙트로미터 측정은 측정값의 신뢰성을 확보하기 위해 한 지점에 대해 3분 간격으로 3회 측정하였다. 측정 결과, 석탑과 금성산 암석에서 K(%)에 비해 eU(ppm), eTh(ppm)값은 다소 넓은 값의 분포를 보인다. 금성산 암석의 K, eU, eTh 측정값은 석탑의 값보다 일부 높은값을 갖지만 대부분 석탑에서 측정된 값의 범위 내에 분포한다. 이를 종합하면, 금성산의 유문암질 응회암은 석탑 구성암석의 전암대자율과 감마스펙트로미터 측정값과 거의 유사한 수치를 나타내어, 양자 간 유사성이 인정된다.

(3) 구성광물 분석

구성광물 분석은 암석학적 특성 및 광물학적 특성을 규명할 수 있으며, 원형 부재와 채취한 시료의 비교 분석이 가능해지고 석재 산지 추정에도 이용할 수 있다. 암석의 구성광물 분석에는 X선 회절 분석과 편광현미경을 이용한 박편 관찰이 주로 이루어지고 있다.

① X선 회절 분석(XRD, X-ray Diffraction Analysis)

X선 회절 분석은 시료에 조사한 X선이 결정의 종류나 구조에 의해 산란된 특정 X선 강도와 회절 각도가 변화하는 것을 이용하여 결정 구조를 분석하는 것으로 선형 그래프로 결과 값을 보여줄 수 있다.

채취한 시료는 분말 형태로 가공 후 분석, 선형 그래프로 표시된 분석된 결과 값은 각각의 특정 회절 각도에 따라 광물의 정성적인 분류하고 회절 패턴은 정량적인 분석에 이용할 수 있다.

② 편광현미경

편광현미경은 편광을 이용하여 광물의 다양한 광학적 성질을 관찰하는 광학현미경이다. 자연광은 진행 방향에 대해 수직인 모든 방향으로 진동하지만, 편광판에 통과시키면 한쪽 방향으로만 진동하는 편광이 된다. 편광현미경은 일반 생물현미경에 비해 두 개의 편광판과 버트란드 렌즈 및 회전할 수 있는 재물대를 가지고 있는 점이 다르다. 하부에 있는 편광판은 하부 편광판(polarizer)이라고 하고, 상부에 있는 편광판은 상부 편광판(analyzer)이라고 하는데, 두 편광판의 진동 방향은 서로 수직이 되도록 배치해야 한다.

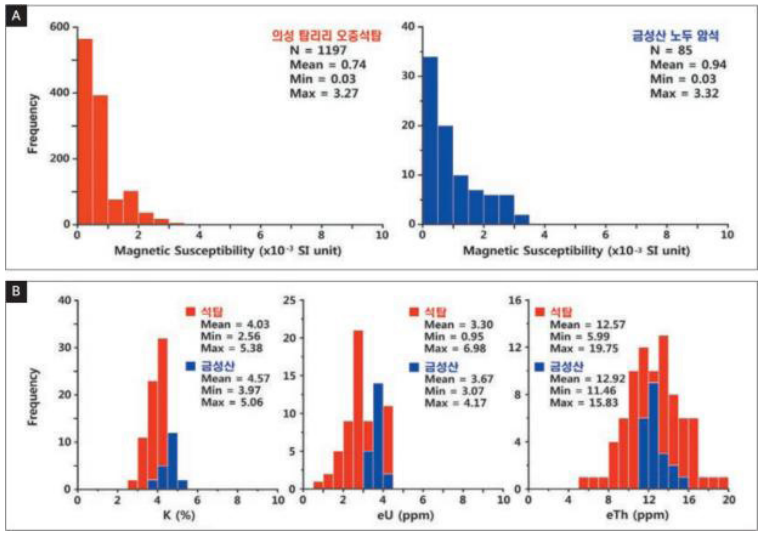


그림 28. 의성 탑리리 오층석탑과 금성산 일대 분포하는 암석의 전암대자율
(A) 및 감마스펙트로미터 (B) 측정결과(이명성 외 2012)

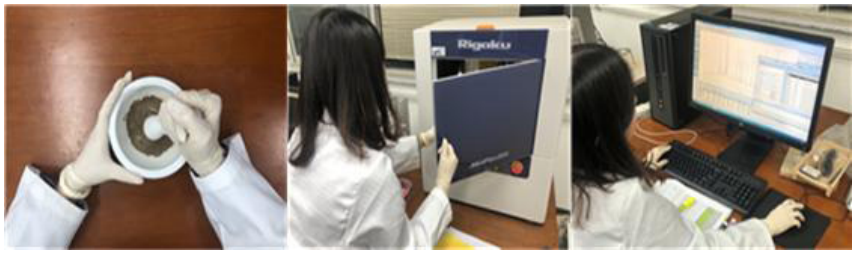


그림 29. X선 회절 분석 과정

방향으로만 진동하는 편광이 된다. 편광현미경은 일반 생물현미경에 비해 두 개의 편광판과 버트란드 렌즈 및 회전할 수 있는 재물대를 가지고 있는 점이 다르다. 하부에 있는 편광판은 하부 편광판(polarizer)이라고 하고, 상부에 있는 편광판은 상부 편광판(analyzer)이라고 하는데, 두 편광판의 진동 방향은 서로 수직이 되도록 배치해야 한다.

편광현미경의 중요 부품은 아래로부터 광원, 하부 편광판, 재물대 하단 부품, 재물대, 대물렌즈, 상부 편광판, 접안렌즈이다. 하부 편광판은 광원으로부터 들어온 자연광을 편광으로 바꾸어주는 역할을 한다. 접안렌즈와 대물렌즈는 관찰 대상을 확대하는 역할을 하며, 박편을 올려놓는 재물대는 회전할 수 있다. 상부 편광판은 빛의 진행 경로 상에 넣다 뺐다 할 수 있다. 상부 편광판을 넣지 않고 관찰하는 상태를 개방 니콜(open nicol), 상부 편광판을 넣고 관찰하는 상태를 직교 니콜(crossed nicols)이라고 한다. 개방 니콜과 직교 니콜 상태에서 관찰할 수 있는 광물의 광학적 성질은 다음과 같다.

- 개방 니콜: 개방 니콜 상태에서 광물의 투명성, 색, 다색성, 결정형, 입자 크기, 쪼개짐 등을 관찰할 수 있다. 석영, 장석 등 대부분의 조암광물은 빛을 통과시키는데 이런 광물은 투명 광물이라고 한다. 반면 자철석과 황철석 등 대부분의 금속광물은 빛을 통과시키지 못하는 데 이런 광물은 불투명광물이라고 한다. 투명 광물은 다시 무색광물과 유색광물로 세분된다.

- 직교 니콜: 직교 니콜 상태에서 소광, 광학적 등방성과 이방성, 간섭색 등을 관찰할 수 있다. 상부 편광판을 통과하는 빛이 전혀 없어 어둡게 보이는 현상을 소광이라고 한다. 광학적 등방체는 직교 니콜 상태에서 재물대를 회전시켜도 상부 편광판을 통과하는 빛이 없기 때문에 항상 소광이 나타난다. 그러나 광학적 이방체를 두 편광판 사이에 넣으면 복굴절된 두 광선이 서로 간섭을 일으켜 새로운 색을 만들어내는데, 이를 간섭색(interference color)이라고 한다. 간섭색은 재물대를 회전시키면 변한다.

그림 30. 편광현미경을 이용한 박편 관찰

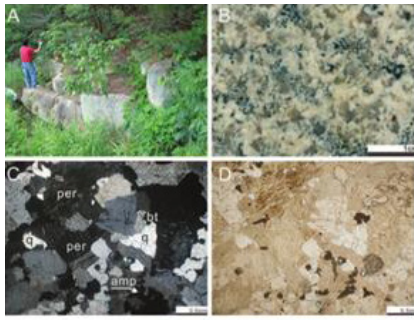


그림 31. 암석학적 조사 및 분석

2) 풍화진단

(1) 풍화훼손지도

석조문화재의 풍화훼손지도는 풍화와 손상에 따라 나타나는 모든 현상을 종합적으로 검토할 수 있는 방법으로 상태 진단 및 보존 처리에 대한 중요한 자료를 제공할 수 있어 국내·외 석조문화재에 활발히 적용되고 있다. 훼손지도 제작과정은 사전조사와 현장조사로 나눠진다. 사전조사는 대상문화재의 실측도면을 기본으로 전산화 도면을 작성한다. 도면이 없는 경우 정밀촬영사진을 충분히 활용한다. 현장조사는 대상문화재의 훼손상태를 정밀 관찰한 후 기재를 위한 적합한 범례와 기호를 설정한다. 육안관찰을 바탕으로 실측 도면 위에 훼손양상의 분포에 대하여 정밀기록한다. 전산화 및 디지털 도면 작성은 현장에서 작성한 훼손지도와 고해상도 사진을 비교하면서 도면에 훼손유형별 범위를 설정한 다음, 훼손 유형별 범례를 삽입하여 훼손지도를 완성한다.

그림 32. 훼손유형별 범례 및 기호 사례

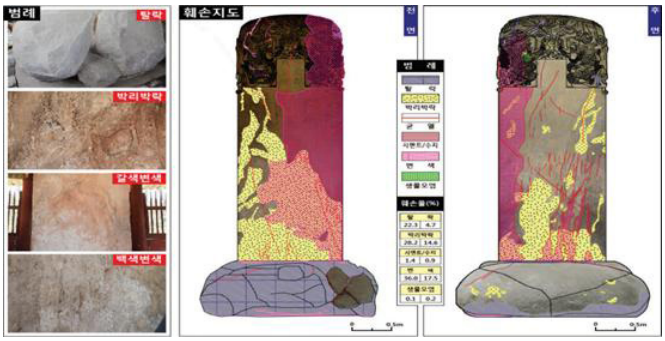


그림 33. 서울 태종 헌릉 신도비의 풍화훼손지도 및 훼손율(국립문화재연구소, 2014, 「비파괴 기술을 활용한 석조문화화재 보존관리」)

(2) 초분광 촬영(하이퍼스펙트럼)

디지털 이미지 분석을 활용한 석조문화재 모니터링은 다수의 문화재를 대상으로 효율적으로 훼손상태 변화를 확인할 수 있다. 초분광 이미지는 분광폭이 좁은 많은 수의 밴드를 가지고 있어 분광특성곡선이 연속적이며 분광해상도가 매우 높다. 또한, 다양한 위치에서 전달되는 빛을 감지하여 이미지를 구성하는 모든 화소마다 분광특성곡선을 얻을 수 있는 장점이 있다. 분광반사곡선은 매질에서 반사되어 나오는 빛을 파장별로 분광하여 데이터를 획득할 수 있다. 초분광 센서는 스캔 미러 또는 슬롯을 통해 측정 대상의 각 좌표별 분광데이터를 획득할 수 있기 때문에 단시간에 많은 수의 분광반사곡선을 대상의 각 위치별로 획득하여 이미지를 취득할 수 있다. 석조문화재 표면에서 확인되는 표면 오염물은 종류에 따라 특정한 분광반사곡선을 나타내기 때문에, 훼손양상별 분광데이터를 통계학적으로 계산하여 동일 구간을 군집화하는 영상분류를 통해 훼손상태를 파악할 수 있다.

(3) 적외선 열화상 분석

석조문화재의 주요 손상유형 중 하나인 박리는 표면 하부층에 생성되기 때문에 육안으로 발생 위치와 면적을 쉽게 확인할 수 없다. 이러한 박리를 검출하는 방법으로 적외선 열화상 분석이 대표적이며, 석조문화재와 같이 규모가 큰 경우에도 신속하고 정확한 상태진단이 가능하다. 적외선 열화상 카메라는 물체의 표면으로부터 방사되는 복사에너지를 적외선 파장 형태로 검출하여 물체 표면 복사에너지의 강도를 열화상 이미지로 제공하는 장비이다. 육안관찰 및 열화상 이미지 취득은 분석 대상을 육안관찰, 사진촬영, 타진조사 후 적외선할로겐 히터로 건전부/박리부의 상대적 온도차를 극대화시켜 열화상 이미지를 취득한다. 건전부와 박리부의 경계구분을 위해 온도분포곡선을 작성하고, 임계온도 및 점이

대를 설정한다. 박리부의 단색화: 도면화를 위해 최소 임계온도를 기준으로 박리영역만 등고선도로 표시한 후, 상대적 훼손도를 고려하여 단색화 작업을 실시한다. 박리부의 열화상 이미지를 이용하여 도면을 제작하고, 상대적 훼손도에 따라 분류된 온도색에 대해 정량적인 면적과 훼손율을 산출하여 훼손도를 평가한다.

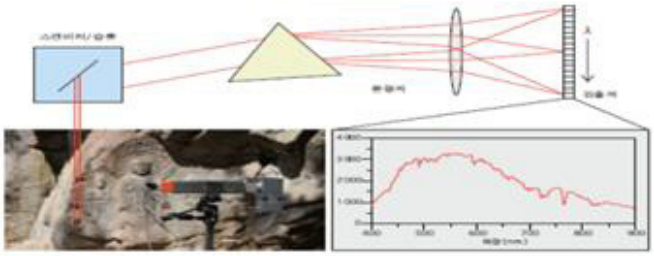


그림 34. 초분광 이미지 취득 원리

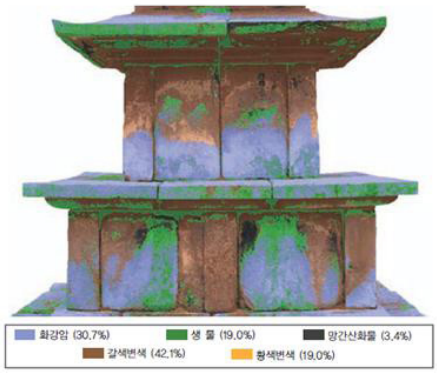


그림 35. 부여 무량사 오층석탑 초분광 이미지 분석결과(모델링 및 훼손율)

(4) 에코팁 경도 측정

에코팁 반발 경도 시험기는 반발 경도를 측정하여 품질을 테스트하기 위한 금속의 비파괴 방법으로 처음 개발되었다. 구형 테스트 팁을 포함하는 충격체가 일정한 탄성을 가지고 테스트 재료의 표면을 향해 발사되는 속도를 측정하여 충격체가 테스트를 떠나는 반발 단계의 속도와 비교하여 경도 지수 L을 계산한다. 충격 장치가 직경 3mm에 불과하고 타격력이 약 11N / mm이며 측정 방향에 제한이 없기 때문에 비파괴 측정으로 사용할 수 있다.

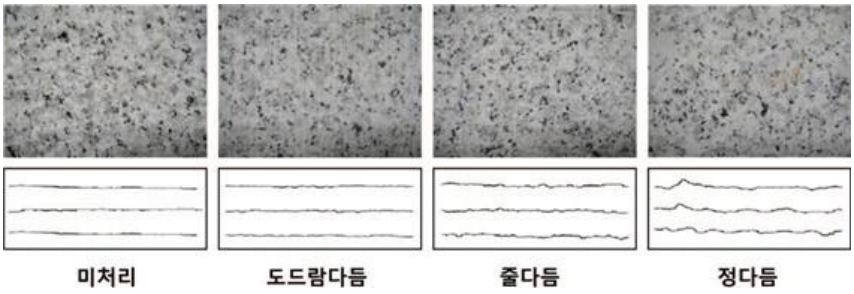


그림 36. 표면 거칠기에 따른 암석 표면

야외에 노출되어 있는 석조문화재는 다양한 기후 변화에 의해 표면 풍화가 이루어져 표면 거칠기가 달라지며 이는 에코팁 경도 측정에 영향을 미친다. 이에 암석의 표면 거칠기에 따른 에코팁 경도값의 비교 및 보정 계수를 산출해야 한다. 측정을 위해 미처리, 도드람다듬, 줄다듬, 정다듬의 4종류의 거칠기 면을 제작하였다.

표면 거칠기에 따른 에코팁 측정 결과, 암석의 종류와 상관없이 동일한 신선한 암석이라도 암석의 표면 거칠기가 심해질수록 에코팁 경도값이 작아지는 반비례 관계에 있음을 확인하였으며, 미처리에 비해 정다듬의 경우 에코팁 경도값이 2배 이상 감소하는 것을 확인하였다. 또한 암석 표면의 거칠기가 증가할수록 에코팁 경도의 감소율은 증가하며 보정계수도 증가한다.

(4) 초음파 물성 측정

석조문화재의 풍화훼손도 평가기법 중 초음파 물성 측정은 석조문화재의 표면물성을 정량적으로 평가할 수 있는 비파괴분석 방법이기 때문에 효율 및 활용성이 매우 높다. 초음파속도는 매질의 탄성계수 및 밀도와 밀접한 관계를 갖고있으며, 암석이 약화될수록 초음파속도는 감소한다. 따라서 초음파속도를 통해 석조문화재 구성 암석의 물성 및 풍화도를 측정할 수 있다.

초음파는 가청 주파수 영역 이상에서 200MHz 사이의 주파수를 가진 진동파를 말한다. 초음파는 다른 음파 영역대에 비해 주파수가 크고 파장이 짧아 지향성이 우수하다. 매질에서 발생한 초음파는 종파(P파), 횡파(S파), 표면파의 형태로 진행하며, 동일재질에서 초음파속도는 일정한 특징이 있다. 국내·외에서 건축물 및 석조문화재 비파괴검사에 활용되는 초음파탐상기는 다양한 종류가 있으며 현장여건에 맞게 선택하여 사용하고 있다. 초음파속도 측정에 사용되는 탐촉자는 주파수의 세기와 측정 대상의 상황에 따라 선택하여 사용한다. 야외 석조문화재의 초음파속도 측정 시에는 상대적으로 파장이 넓은 54kHz 영역대의 탐촉자가 주로 사용된다.

풍화도를 평가하는 진행순서는 총 4단계로, 보정계수 산출-초음파속도 측정-풍화도 지수 산출-풍화도 기록화 순서를 따른다. 초음파 물성 측정은 탐촉자의 배열방법에 따라 직접법, 반직접법, 간접법으로 구분된다. 석조문화재의 정확한 물성을 파악할 수 있는 방법은 직접법이지만 대형 석조문화재는 간접법으로 초음파 탐사를 실시해야 한다. 간접법으로 측정할 경우 초음파의 주시 방향 및 수신감도의 차이로 인해 직접법에 비해 초음파 전달속도가 감소하게 된다. 따라서 석조문화재의 초음파속도를 측정하기 위해서는 측정방법에 따른 보정이 필요하다. 보정계수는 직접법에 의한 초음파 속도를 간접법에 의한 초음파 속도로 나눈 값이며 이는 석재에 따라 차이를 보인다.

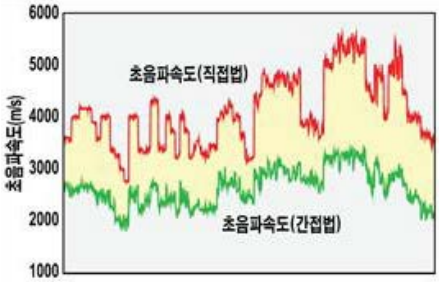


그림 37. 측정 방법에 따른 초음파속도의 차이

암석	보정계수	암석	보정계수
거창화강암	1.52	공주섬록암	1.58
익산화강암	1.52	충주반려암	1.38
남산화강암	1.51	보령사암	1.62
양주화강암	1.49	완주석회암	1.69

표 3. 암석의 종류와 초음파 보정계수

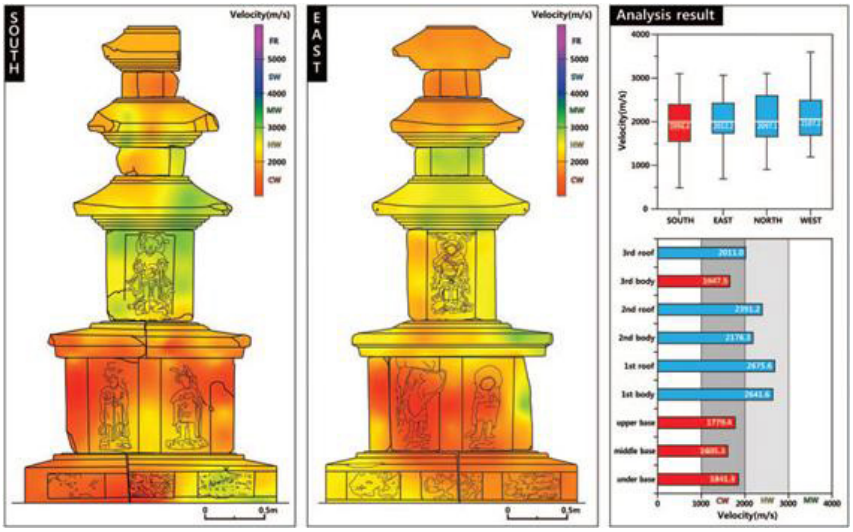


그림 38. 초음파 물성 측정 활용 사례(보물 제610호 영양 현리 삼층석탑)

(5) 색도 측정

표면변색은 석조문화재 훼손양상 중 하나로 변질된 요인을 비롯한 손상 메커니즘을 이해하는데 유용한 정보를 제공한다. 이를 위해 현장에서 육안으로 변색을 분류하고 기재하지만, 변색 정도를 단어와 같은 묘사보다 좀 더 정확히 표현하기 위해서는 색 표준을 이용한 비교 가능한 정보 수집이 필요하다. 따라서 현장에서 변색을 분류한 후 보다 객관적이고 정량화된 정보로 기록하기 위해 색 정보를 조사한다. 먼저 현장에서 육안으로 변색별로 분류한 뒤 (신선한 부분, 갈색 변색, 흑색 변색 등) 표준 색표를 바탕으로 색 범위를 확인한다. 먼셀표색계는 합리적인 표색 방법으로 국제적으로 널리 사용되고 있는 표준 색표이다. 색의 3속성으로 색상(Hue), 명도(Value), 채도(Chroma)의 색 공간을 구성하여 색을 기호화한 것으로 어떤 색을 먼셀기호로 표기할 때는 HV/C 순서로 기록한다. 먼셀기호는 프로그램을 통해 다양한 색 정보 수치로 변환이 가능하다. 또한 수치화된 분광학적 색정보를 기록하기 위해, 색차계로 현장에서 수치화된 색 정보를 기록한다(국립문화재연구소, 2014). 색차계에서 사용하는 기준인 CIE LAB 색공간은 인간 감성에 접근하기 위하여 연구된 결과로 인간이 색채를 감지하는 노랑-파랑, 초록-빨강의 반대색설에 기초하여 CIE에서 정의한 색 공간이다. 이 색 공간은 조색을 할 때 색채의 오차 범위와 방향을 쉽게 짐작케 해 세계적으로 가장 널리 통용되고 있다.

- L*: 반사율(인간의 시감과 같은 명도)을 나타내며, 0~100까지의 단계로 소수점 이하 단위도 표현할 수 있다.
- a*: 색도 다이어그램으로 +a*는 빨강, -a*는 초록 방향을 나타낸다.
- b*: 색도 다이어그램으로 +b*는 노랑, -b*는 파랑 방향을 나타낸다(박연선, 2007).

(6) 석재 표면 거칠기 측정

일부 연구자들은 표면 품질의 측정으로 거칠기를 이용한다. 여러 가지 측정 방법이 있지만, 기법의 높이 범위가 너무 작아서 세밀한 재료에 적용할 수 없기 때문에 대부분 "현장" 측정과는 관련이 없다(Alvarez et al, 2011). 휴대용 광학 표면 거칠기 측정기를 사용하여 세고비아 대성당(스페인)의 여러 지역에서 석조 공사의 최상의 세척 조건을 선택했다. 휴대용 조면계는 0.5 ~ 6 mm의 micro-relif 진폭을 측정할 수 있다(Dabski, 2014). 또한 레이저 3D 스캐너는 석벽과 아트 오브젝트 표면의 3D 윤곽을 특징짓기 위해 사용되었다(Gomez-Heras et al, 2008).

(7) 실체현미경 및 주사현미경 관찰(풍화양상 파악)

① 실체현미경

표면변색으로 인한 원암의 색과 조직이 변질된 상태는 현장에서 육안으로 관찰할 수 있으나 보다 정밀하게 관찰하기 위해 휴대용 디지털 실체현미경을 이용하여 현장에서 관찰하고 이미지를 획득한 후 영상분석을 통해 표면의 미세 조직적 산출상태를 파악한다. 실체 현미경(Stereoscopic microscope)은 아래의 그림과 같이 쌍안 대안렌즈와 대물렌즈로 구성되어 있다. 시료에서 산란된 빛은 각각의 대안렌즈로 따로 진행되기 때문에 광물 결정의 외형을 입체적으로 관찰할 수 있다. 실체현미경을 이용하여 광물의 결정을 관찰함으로써 결정의 외형 (정벽)과 색을 파악할 수 있으며, 결정 내부에 포획되어 있는 내포물의 유무나 그 종류를 알아내기 위하여 이용하기도 한다. 실체현미경은 광물의 결정을 관찰하기 위하여 시료에 복잡한 전처리를 할 필요가 없다. 이러한 특징들 덕분에 실체현미경은 고가 보석의 감정에 이용되는 경우가 많다 (김수진, 2014).

② 주사전자현미경

주사전자현미경(Scanning electron microscopy)은 미세 전자빔을 시편의 정해진 영역에 주사하여, 표면의 3차원 미세형태, 미세조직, 화학조성, 원소분포 등을 분석할 수 있는 현미경이다. 영문 머리글자를 따라 SEM이라 한다. 암석 내 세립질 입자의 광물종, 형태, 집합상태, 공극, 토양 미세광물, 미고생물 화석의 형태, 광물 표면의 미세구조 등을 관찰할 수 있다. 지질과정에서 흔히 일어나는 광물의 분해와 생성 과정을 관찰할 수 있다. 시료들의 연마 박편을 제작하여 관찰하면, 광물 내부의 미세구조나 화학 조성 변화, 광물의 순차적 생성 과정을 보다 선명하게 관찰할 수 있다.

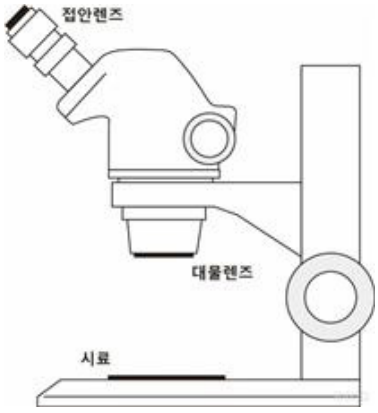


그림 39. 실체현미경 (출처: 대한지질학회)

③ 풍화진단사례: 경천사십층석탑

이찬희 외 2인은 경천사십층석탑부재의 재질 특성과 풍화훼손 상태 조사에서 부재를 구성하는 암석의 반정량적인 광물 조성, 상대적 함량, 광물학적 공생관계, 조직 및 풍화에 의한 변질 광물의 생성 등을 관찰하기 위하여 편광현미경과 주사전자현미경(SEM)을 사용하였다. 주사전자현미경의 모델은 LINK사의 에너지 분산형 X-선 분석기(EDXA, PV 9100/60)가 장착된 Shimatzu 사의 ISI-SX-40이다. 분석 시료는 탄소와 금으로 이중 피복한 것을 사용하였다. 구성암석의 조암광물과 대략적인 화학조성을 알아보고자 원부재와 신부재 시료의 일부를 채취하여 SEM-EDS분석을 실시하였다. 원부재의 주사전자현미경 관찰과 정성분석을 실시한 결과, 방해석의 능면상 결정이 성장한 단면을 관찰할 수 있었으며, 이들의 정성적인 화학조성도 분석되었다. 이 결과는 대부분의 석회질 대리암이 갖는 공통적 특성을 보여주는 것이다. 신부재에서도 마찬가지로 방해석(CaCO3)이 검출되었으며 부분적으로 석고가 관찰되었다. 신부재의 일부 시료에서는 황(S)이 검출되었는데 이는 대기환경 요인에 의해 피복된 오염물이 원인인 것으로 판단 된다. 모든 시료에서 검출된 탄소(C)는 탄산염의 구성원소와 분석에 이용된 피복물질의 영향으로 판단된다(이찬희 외, 2006).

3) 보존환경 조사

기후환경은 석조문화재 구성암석의 재질특성과 훼손상태를 토대로 풍화 및 훼손 현상에 대한 이해를 넓히고 풍화 훼손 상태에 대한 근본적인 문제를 해결하는데 중요한 역할을 한다. 또한, 다른 요인에 비해 유일하게 제어가 가능한 것으로 석조문화재의 지속적인 보존관리를 위한 최적의 환경을 조성하거나 개선하는데 중요한 기초 근거로 작용하므로 석조문화재를 둘러싼 보존환경 조사를 실시해야 한다.

(1) 문화재와 기후 환경

석조문화재의 풍화 및 훼손 작용에 영향을 미치는 주된 요인으로는 구성암석, 시간, 기후환경을 들 수 있다. 이 중 구성암석의 재질특성은 풍화유형을 결정하는데 중요한 역할을 하고 시간은 풍화 속도에 영향을 미치는 한편 기후환경은 풍화유형 뿐만 아니라 암석의 풍화정도와 속도를 진전시키는 주요 인자로 작용한다.

(2) 보존환경 조사의 중요성

그림 40. 석조문화재의 기후환경과 암석풍화 과정

석조문화재는 대부분 야외에 노출된 상태로 오랜 시간 동안 기후환경 변화에 의해 풍화 및 훼손되어 왔다. 이러한 훼손현상은 장기간에 걸쳐 서서히 일어나 그 심각성을 간과하기 쉽고 갑작스런 기상이변(태풍, 홍수, 산사태, 지진 등)에 의해 순식간에 문화재가 망실되기도 한다. 특히 석조문화재를 구성하는 암석은 다양한 입지적 조건에서 지표의 미기후에 영향을 받으며 풍화과정에 의해 토양화 되는 속도에 끊임없이 관여하므로 석조문화재 보존에 있어 보존환경 조사는 매우 중요하다.

그림 41. 보존환경 조사기기

(3) 보존환경 주요 조사방법

온·습도, 암석 표면온도 측정: 석조문화재 보존에 가장 큰 영향을 주는 환경인자인 온도, 습도환경을 파악하기 위해 문화재가 위치한 곳의 대표지점을 선정한 후 데이터로거를 이용하여 온·습도 환경 측정 및 암석표면 온도 측정을 통해 결로 발생을 예측한다.

가스상 대기오염물질 농도 측정: 석조문화재 표면에 흡착하여 암석 표면을 변질시키고 염 생성에 영향을 주는 가스상 대기오염물질인 이산화황(SO2)과 이산화질소(NO2)의 대기 중 분포 현황을 파악하기 위해 문화재가 위치한 곳의 대표지점을 선정한 후 공기질자동측정기로 측정한다.

(SO2 : 자외선형광법, NO2 : 화학발광법)를 사용하여 실시간으로 주변 농도 측정)

입자상 대기오염물질 농도 측정: 석조문화재 표면에 흡착하여 암석 표면을 변질시키고 미세공극 사이에 침투하여 틈을 확장시키는 입자상 대기오염물질의 분포 현황을 파악하기 위해 문화재가 위치한 곳의 대표지점을 선정한 후 실시간으로 농도를 연속측정(광산란법) 또는 부유먼지 포집(소용량 공기포집법)을 통해 미세먼지 농도를 측정한다.

종합기상환경 측정: 석조문화재가 위치한 곳의 입지적 특성을 반영한 종합적 기후환경 인자(온도, 습도, 풍향, 풍속, 일사, 강우량, 기압)를 파악하기 위해 문화재가 위치한 곳의 대표지점을 선정한 후 자동기상관측기(AWS)를 이용하여 지형적 특징을 반영한 특정 문화재의 주변 환경을 측정한다.

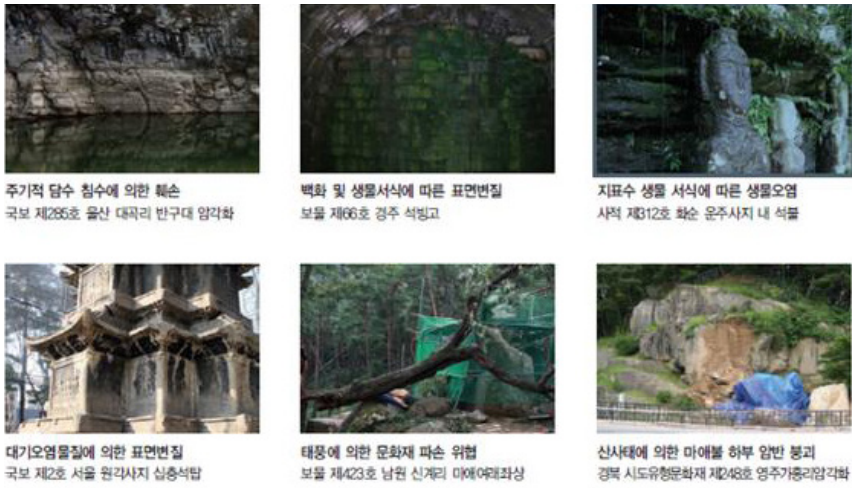


그림 42. 기후환경 변화에 따른 석조문화재 풍화 및 훼손

V. 결론

앙코르 유적은 캄보디아의 시엠립 주에 위치해 있는 과거 크메르 제국의 주요한 유산으로 여러 앙코르 유적 중 비교적 많은 유적이 모여 있는 앙코르 톰이라 불리는 지역이 있으며, 코끼리테라스, 프레아피투 사원 등은 이 지역에 위치하고 있고 앙코르 와트는 앙코르 톰에서 약 1.5km 떨어진 곳에 위치하고 있다.

앙코르 유적에 사용된 암석은 사암과 라테라이트이며, 9, 10세기에 건설된 비교적 이른 시기의 유적에는 벽돌의 사용이 확인된다. 사암의 종류 중 회색-황갈색 사암(grey to yellowish brown sandstone)은 앙코르 유적에서 가장 일반적인 사암이며, 적색 사암(red sandstone)은 Banteay Srei에서 사용되었으며, Khleangs의 남쪽과 북쪽에서 일부 사용되었다. 녹색 잡사암(greenish greywacke)은 타 케오의 성소에서만 제한적으로 사용되었다.

앙코르 유적의 라테라이트(Laterite)는 주로 기반석(표면 및 내부), 주변부 기둥, 바닥면의 포장에 사용되었으며, 암석기재학적 조직을 기준으로 다공성 라테라이트(porous laterites)와 두석 라테라이트(pisolitic laterites)의 두 종류로 구분된다.

앙코르와트 사원은 회녹색~황갈색의 중생대 사암으로 이루어졌으며, 윤곽박리, 구조적, 다층박리, 엽상박리, 피각(crust), 외부 결정염(efflorescence과 내부 결정염(subflorescence)에 의한 풍화가 진행되었고, 수목에 의한 열화는 발견되지 않았으나, 이끼, 조류, 곰팡이, 박테리아, 시아노박테리아 피복, 구조적인 응력에 의한 균열이 확인되었다. 코끼리 테라스는 배부름 현상, 부조 부분의 박리, 박락, 입상분해가 확인되었으며, 가시적으로 확인되는 심각한 생물 손상은 없는 상황이며, 오히려 직사광선에 의해 생물 생장이 어려운 상태로 판단된다. 프레아 피투 사원은 회색 사암이 대다수이고 드물게 적황색과 녹회색 사암을 혼용하였다. 적황색 및 녹회색 사암은 상대적으로 풍화에 강한 사암이다. 회색사암은 육안으로도 뚜렷이 보일 만큼 선구조가 발달하였고, 층상박리와 입상 분해가 확인되었다.

과학적 분석 결과 앙코르 와트 사원의 사암 풍화 요인은 우기-건기 주기에 의한 환경적인 요인과 박쥐의 구아노에 의한 수용성 염에 의한 요인이 가장 큰 것으로 보인다. 인근 라오스의 채석장에서 채취한 라테라이트와 사원건축에 사용된 라테라이트를 비교 분석한 결과, 산화철에 의한 변색이 확인되었다. Fe에 의한 적색 변색이 관찰되었으며, 흑색 변색부에서는 적색 변색부보다 Fe의 성분이 높고 Si 성분이 적게 나타난다. 생물에 의한 석조문화재의 훼손 양상을 분석한 결과, 특히 이끼 뿌리의 석재 내 침투깊이, 응집정도, 확산정도가 가장 높은 것으로 파악되었다.

앙코르와트 유적을 보존하려는 움직임은 프랑스 정부가 1907년에 캄보디아에 설치한 프랑스 극동학원(EFFEO)에서 시작되었다. 프랑스 극동학원(EFFEO)독일(GACP)과 일본(JSA) 등의 국가 및 기관이 앙코르 유적 및 기타 지역에 있는 사원의 보존 복원 작업에 참여 중이며, 바이욘 사원, 앙코르와트 북쪽 도서관, 바푸온 사원, 서부 메본 사원 등을 보수, 복원하였다.

국내에서 사암으로 조성된 석조문화재는 국가지정 석조문화재 517점(80.4%) 중 총 21점으로, 사암재 석조문화재가 다수 분포한 영양지역을 중심으로 암석학적 조사와 보존처리제 적용 평가와 같은 과학적 조사가 이루어졌다. 국내 석조문화재에 발생한 균열에 사용하는 접착 및 충진제는 주로 에폭시수지이다. 그러나, 에폭시수지는 자외선에 취약하여 광열화로 인한 황변이 발생할 수 있으므로, 이러한 문제를 개선하기 위해 국립문화재연구소와 ㈜풍림산업은 L-30, L-40, L-50을 개발하여 사용중이다. 반면, 석조문화재를 대상으로 한 강화, 발수처리는 1980년대 후반부터 꾸준히 시도되었으나 현재에는 그 효과에 대한 검증이 난해하여 처리에 소극적이다. 국내 석조문화재의 과학적 조사방법은 다양하나 크게 석재의 산지추정 조사와 풍화진단, 보존환경 조사로 구분할 수 있다. 석조 문화재의 효과적인 보수 복원을 위해서는 체계적이고 과학적인 기법을 기반으로 한 원형부재와 유사한 암석의 확보가 중요하기 때문에 석재의 산지추정 조사를 실시한다. 산지추정 조사의 방법은 전암대자율과 감마스펙트로미터 분석 등의 지질조사 방법과 X선 회절 분석, 편광현미경 등의 구성광물 분석 등이 있다. 풍화 진단은 석조문화재의 풍화 및 훼손 상태에 대해 확인하여 상태 진단 및 보존 처리에 대한 방향 및 방법을 설정하는데 중요한 지침이 된다. 풍화훼손지도를 작성, 초분광 촬영(하이퍼스펙트럼), 적외선 열화상 분석, 에코팁 경도 측정, 초음파 측정, 색도 측정, 실체현미경 및 주사현미경 관찰 등이 활용된다. 보존 환경 조사는 석조문화재의 지속인 보존관리를 위한 최적을 환경을 조성하거나 개선하는데 중요한 근거로 작용한다. 문화재가 위치한 지역의 온, 습도, 대기오염물질 농도 측정, 종합기상환경 측정 등의 기후 환경을 측정한다.

캄보디아 앙코르 지역의 석조문화재의 보존처리에 실제로 사용된 전통 및 근대적 보존 복원 재료와 기술에 대한 자료조사와 재료의 과학적 분석을 통해 체계적인 데이터베이스를 구축하는데 기여할 수 있을 것이다. 또한 처리 재료의 조사 및 선택방법, 접합법 등 현재 선진 현장기술을 확인함으로써 향후 캄보디아 실정에 맞는 기술 도입과 응용 방향을 설정하고, 재료적 사용 오류 등을 판단하는데 적극 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

추가적으로 과거부터 현재까지 사용된 보존처리 재료와 기술에 대한 종합적 평가를 통해 각 재료의 시간적 경과에 대한 장단점, 열화특성을 파악하고 예측하는 연구에 활용될 수 있으며, 캄보디아 지역의 석조문화재 보존처리 재료와 기술을 한 단계 발전시키는 연구개발(R&D)사업에도 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

국내문헌

국립문화재연구소, 2013,『석조문화재 보존처리제 및 처리기술 개발 연구』, 국립문화재연구소

국립문화재연구소, 2014,『비파괴 기술을 활용한 석조문화화재 보존관리』, 국립문화재연구소

김수진, 2014,『광물과학』, 우성문화사, p. 90-93.

김순자, 2012, 캄보디아의 건축양식과 역사 연구,『한국사진지리학회지』, 22(3), p.70.

김지영, 2019, 캄보디아 앙코르유적 프레아피투 사원의 복원정비를 위한 보존과학적 진단,『한국건축역사학회 추계학술발표대회 논문집』, pp. 79-80.

문화재보존과학센터, 2018,『보존처리 지침서』, 국립문화재연구소, pp. 8-80.

박동희, 신보람, 2014, 지난 20년간의 앙코르유적 보호를 위한 국제사회의 노력 – 도쿄선언, 파리선언, 앙코르선언에 대한 분석을 통해서,『건축역사저널』, 한국건축역사학회지, 23(2) pp. 21-34.

박동희, 김지서, 김철민, 2017, 프레아피투 사원 평면도 복원을 통한 유구 간 상관관계 고찰 – 앙코르와트 유적 “프레아피투 사원”연구 (1) -,『건축역사저널』, 한국건축역사학회지, 26권, pp. 61-70.

박연선, 2007, 색채용어사전, 예림.

이명성, 김재환, 이재만, 이장존, 2011, 경북 영양일대 석조문화재의 구성암석과 풍화도를 고려한 표면강화제의 현장적용 효과,『보존과학회지』, Vol.27 no.3 (2011), pp.277~290.

이명성, 이재만, 김재환, 2012, 의성 탑리리 오층석탑의 재질특성과 초음파 물성진단,『문화재』, 45, pp. 70-85.

이찬희, 이정은, 신은정, 2006, 경천사지십층석탑 부재의 재질특성과 풍화훼손 상태,『경천사십층석탑 II. 연구논문』, 국립문화재연구소, pp. 179-211

장기홍·이윤종·박병권, 1981,「한국지질도」, 한국동력자원개발연구소.

국외문헌

Alvarez de Buergo M, Vazquez-Calvo C. and Fort R, The measurement of surface roughness to determine the suitability of different methods for stone cleaning. *Geophysical Research Abstracts* Vol. 13, EGU2011-6443 EGU General Assembly, 2011.

APSARA Stone Conservation Unit, 2011, *Handbook for education and training*, *Skills for Stone Conservation and Restoration in Angkor*, pp.134-187.

Bartoli, F., Municchia, A.C., Futagami, Y., Kashiwadani, H., Moon, K.H. and Caneva,
G., Biological colonization patterns on the ruins of Angkor temples (Cambodia) in the biodeterioration vs bioprotection debate, *International Biodeterioration & Biodegradation 96*, pp.157-165.

Dabski, M., 2014 Rock surface micro-roughness, Schmidt hammer rebound and weathering rind thickness within LIA Skáafellsjöull foreland, SE Iceland,

Polish Polar Research 35(1), pp.99-114.
Gomez-Heras, M, Smith, B.J., Viles, H.A., Meneely, J., and McCabe, S., HD Laser scanning for theevaluation of salt decay laboratory simulations of building limestone. In: *Proceedings of the Salt Weathering on Buildings and Stone Sculptures Conference*, October 2008. Copenhagen, pp.149-158.
Panchuk, K., 2018, *Physical Geology*, First University of Saskatchewan Edition. Victoria, B.C.: BCcampus. Retrieved from https://opentextbc.ca/geology
Siedel, H., Pfefferkorn, S., von Plegwe-Leisen, E. and Leisen, H., 2009, Sandstone weathering in tropical climate: Results of low-destructive investigations at the temple of Angkor Wat, Cambodia, *ENGINEERING GEOLOGY 115(3)*, pp.182-192.
Uchida, E., Maeda, N., Nakagawa, T., 1999, The laterites of the Angkor monuments, Cambodia : The grouping of the monuments on the basis of the laterites, *Journal of mineralogy petrology and economic geology*, 94, pp.162-175.
Uchida, E., Ogawa, Y., Nakagawa, T., 1998, The stone materials of the Angkor monuments, Cambodia : The magnetic susceptibility and the orientation of the bedding plane of the sandstone, *Journal of mineralogy petrology and economic geology*, 93, pp.411-426.
Warrack, S., 2013, Developing Conservation Approaches to Living Heritage at Angkor: The Conservation of the Statue of Ta Reach, *Archaeologizing' Heritage?*, pp.217-232.

웹사이트

Doopedia, http://www.doopedia.co.kr
Google maps, https://www.google.com/maps

문화유산 보존분야 디지털기술 적용에 관한 교육프로그램 개발

이종욱 교수 | 한국전통문화대학교 문화유산산업학과
문지희 선임연구원

초록

본 연구의 목적은 아세안 지역 문화유산 가상박물관을 구축하는 교육 프로그램을 개발하는 것이며, 아세안 지역의 큐레이터 및 문화유산 분야 종사자들이 가상박물관을 이해하고 활용하는데 도움을 주고자 한다. 국내 및 국외 박물관에서 디지털 문화유산 활용 사례를 알아보았으며, 교육에 실제로 사용될 수 있는 아세안 지역의 디지털 문화유산의 현황을 파악하였다. 그 결과 현재 디지털 문화유산의 활용은 단순히 기술을 배우거나 기존 형태와 새로운 콘텐츠를 결합하는 수준에 머무르고 있다는 아쉬움이 있었다. 따라서 새로운 형태의 디지털 문화유산 교육 - 제작하였으며 그 내용은 다음과 같다. 첫째, 아세안 지역의 관련 전문가들에게 문화유산의 보존·활용적 측면에서 가상박물관 제작 방법을 교육한다. 둘째, 한 국가에 제한되는 것이 아닌 '문화교류형 가상박물관'을 제작한다. 셋째, 교육의 방식은 사용자 경험기반 방식으로 제작한다. 본 연구에서는 3일에 걸친 교육 프로그램을 제안하고 있으며, 디지털 문화유산 기획에 관한 전문가 교육이라는 점에서 시사점을 가진다.

Ⅰ. 서론

1. 연구배경 및 목적

20세기 들어서 박물관 정보가 디지털화되고 이를 공유할 수 있는 기술이 발전하면서 박물관을 홍보하고 유물정보를 공유하기 위한 가상박물관이 등장하였다. 네트워크 기술의 발달과 함께 가상박물관이 보편화되자 국내외 박물관 미술관들은 가상박물관을 활발히 구축하였다. 구글은 2,000여 개 박물관과 협력하여 온라인 환경에서 시대별, 작가별로 작품을 감상할 수 있도록 하는 구글 아트앤컬쳐 사이트를 구축하였다. 스미스소니언 박물관은 2009년부터 박물관을 실제 방문한 듯한 느낌을 주고 관람자가 인터랙티브하게 전시실을 선택하고 360도로 화면 회전이 가능한 증강현실 서비스를 제공하고 있다. 바티칸 미술관은 누리집에서 미술관의 내부 및 건축물을 고화질의 360도 파노라마 이미지로 관람할 수 있는 서비스를 제공하고 있다.

2020년 들어 코로나 바이러스 유행으로 비대면 문화체험 방식인 가상박물관의 중요성은 더욱 높아졌다. 하지만 세계의 박물관 관계자 및 큐레이터들은 가상박물관이 무엇이고 구축하는 과정이 무엇인지 알지 못해 어려움을 겪고 있다. 우리는 아세안 지역 문화유산 가상박물관을 구축하는 교육 프로그램을 디자인하여 아세안 지역의 큐레이터 및 문화유산 분야 종사자들이 가상박물관을 이해하고 이를 활용할 수 있도록 하였다.

2. 연구범위 및 수행방법

지금까지의 가상박물관에 관한 연구는 가상박물관의 가능성을 탐구하거나 가상박물관을 구축하여 전시 경험을 측정에 관한 것이 대부분이다. 가상박물관을 직접 기획하고 제작하는 전문가를 위한 교육프로그램을 제안하는 연구는 수행된 바 없다. 본 연구는 가상박물관의 확산과 활용을 위해 가상박물관의 현황을 분석하고, 정의와 범위를 설정하며, 교육프로그램을 개발, 평가하는 것을 포함한다.

3. 연구 기대효과

본 연구는 다음과 같은 기대효과를 갖는다. 첫 번째, 아세안 지역과의 디지털 문화유산 분야 교류 활성화에 기여할 수 있다. 두 번째, 본 연구는 가상박물관을 확산시킴으로써 코로나 바이러스 유행으로 인한 우울감을 경감시키고 일반인들의 문화적 욕구를 충족시킬 수 있다. 세 번째, 본 연구는 가상박물관에 대한 관심을 불러일으킴으로써 디지털 콘텐츠 저작도구 개발에 기여할 것이다. 네 번째, 본 연구는 디지털 콘텐츠 저작도구의 인터페이스 및 상호작용 디자인에 기여할 것이다. 다섯 번째, 본 연구는 가상박물관에서 활용할 수

있는 문화데이터의 활용에 기여할 것이다. 여섯 번째, 본 연구는 ICT 분야와 문화유산 및 박물관 관련 인문사회 분야의 협력을 활성화시킬 수 있다.

Ⅱ. 가상박물관 관련 연구 분석

1. 가상박물관 정의 및 범위

1) 가상박물관 정의

가상박물관은 개인화(personalization), 상호작용(interactivity), 사용자 경험(user experience), 풍부한 콘텐츠(richness of content)를 바탕으로 박물관을 보완, 강화, 증강한 디지털 실체(digital entity) (Virtual Museum Transnational Network, VSMM)

2) 가상박물관 범위

(1) 가상박물관에는 하이퍼박물관, 디지털박물관, 사이버박물관, 웹박물관 온라인 전시 등 다양한 형태가 있음
(2) 가상박물관의 유형은 크게 박물관의 디지털 표현, 박물관 가상 방문, 전문지식을 공유하기 위한 박물관 웹사이트로 분류할 수 있음
(3) 가상박물관의 콘텐츠로는 박물관에 접근법, 시간표 등 실용적인 정보, 박물관의 연혁정보, 박물관 상설전시 정보, 박물관 특별전 정보, 대중적 교육적 목적의 교육 툴 등이 있음

2. 가상박물관 사례 분석

1) 국내 사례 분석

(1) 국내의 국립 박물관을 대상으로 박물관 홈페이지 내에서의 디지털 문화유산 활용과 박물관 전시, 교육 프로그램에서의 디지털 문화유산 활용을 위주로 조사 진행
(2) 국내 사례의 경우 국립 박물관 중 94%(47개)가 누리집을 보유하고 있으며, 그중 64%(30개)의 박물관이 가상박물관을 보유하고 있음

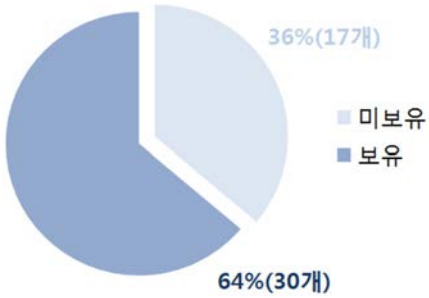


그림 1. 국립박물관 중 가상 박물관 보유 현황

① 국립중앙박물관

- 국립중앙박물관이 관리하고 있는 누리집은 총 10개로 국립박물관 중 가장 큰 규모의 누리집을 운영하고 있으며 이 중 9개의 누리집에서 디지털 문화유산 활용
  - · 국립중앙박물관: 온라인 전시관(VR), 소장품 검색, 소장품 3D 보기, 디지털 탑본, 영상관 동영상, 온라인 학습 영상, 전시 동영상
  - · e뮤지엄: 유물사진, 이미지 그래프
  - · 국립중앙박물관 어린이박물관: 학습 애니메이션, 박물관 안내도
  - · 국립중앙박물관 소장 조선총독부박물관 문서
  - · 외규장각 의궤: 반차도 가상체험(VR), 의궤 스캔본, 의궤 원문
- 특별전시 위주의 온라인 박물관 구성-메타포트 기반의 3D스캔 온라인 전시
- VR 기기인 Google Cardboard와 Samsung Gear VR 이용 가능한 모바일용 링크 제공
- 3D 스캔 된 소장품은 모든 방향으로 회전, 확대, 축소 가능

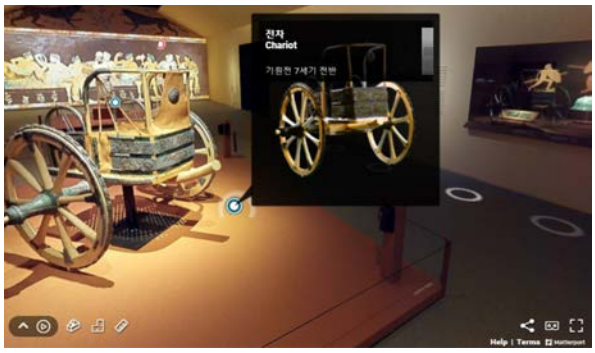


그림 2. 특별전시 VR 콘텐츠(https://www.museum.go.kr/)

그림 3. 소장품 3D 보기(https://www.museum.go.kr/)

- e뮤지엄-유물 소장기관, 지정문화재, 국적·시대, 재질, 분류, 출토지 등에 따라 상세검색이 가능하고, '나도 큐레이터' 기능을 이용하여 하나의 전시 구성 가능
- 어린이 박물관-학습 동영상과 사진자료를 활용한 교육 자료 외 아이들의 흥미를 끌 수 있도록 움직이는 애니메이션을 활용한 전시 안내도 제작

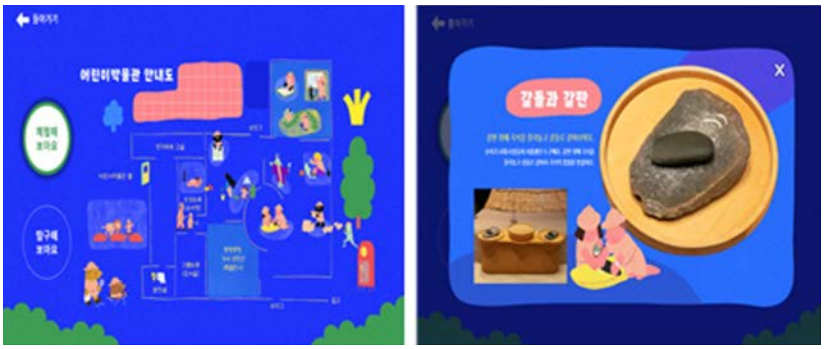


그림 4. 국립중앙박물관 어린이박물관 안내도(https://www.museum.go.kr/site/child/home/)

- 외규장각 의궤-반차도 가상체험
  - 인조의 계비, 장렬왕후의 국장 발인 과정인 인조장렬왕후국장도감의궤 반차도를 3D, VR 형태로 재현한 체험형 멀티미디어 콘텐츠
  - 원본 의궤 반차도에 기반을 두어 형태 재현
  - 마우스와 키보드를 조작하여 시선 이동, 방향 전환 가능
  - 우측 상단에 현재 시야의 위치를 알 수 있는 키맵이 있음

그림 5. 국립중앙박물관 외규장각 의궤 - 반차도 가상체험(https://www.museum.go.kr/uigwe/)

② 국립민속박물관

- 국립민속박물관은 3개의 누리집을 관리하고 있으며, 어린이박물관 외에는 주로 학술자료 위주로 되어 있음
  - · 국립민속박물관: 민속 아카이브, 소장유물로 보는 한국인의 일상의례
  - · 국립민속박물관 어린이박물관: 사이버 놀이터 민속놀이(AR), 놀이 체험마당, 우리놀이알기, 우리문화 알기, 자료마당, 집콕 민속놀이, 다문화 꾸러미
  - · 국립민속박물관 영상채널 민속+人: 전시라이브러리, 교육, 자료·조사·연구, 어린이, 특별기획
- 소장유물로 보는 한국인의 일상의례
  - · 태 항아리, 남녀의 관례, 혼례 등 일상의례에 대한 설명이 되어 있으며 각 세부 설명마다 이용자가 직접 플래시를 이용하여 문제를 풀 수 있게 구성되어 있음

그림 6. 소장유물로 보는 한국인의 일상의례(https://www.nfm.go.kr/)

- 국립민속박물관 어린이박물관-민속놀이 AR coloring Book
  - · 해당 민속놀이 그림을 출력하여 색칠한 후 앱으로 촬영하면 이용자가 색칠한 그림 캐릭터가 3D가 되어 소리를 내며 움직임

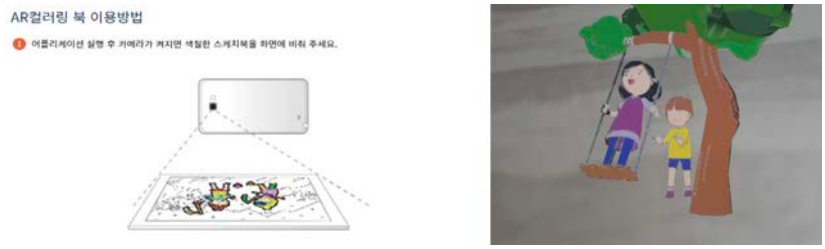


그림 7. 사이버 놀이터 민속놀이 AR coloring Book(https://www.kidsnfm.go.kr/nfmkid/index.do/)

③ 서울역사박물관

- 서울역사박물관은 4개의 누리집 운영 , '서울'의 특수성과 역사를 포함
- 온라인 전시관에서 지난 특별 전시들을 VR로 볼 수 있음
- 일부 전시 VR에는 영상과 오디오가 추가되어 실제 전시에 가까운 현장감 제공

그림 8. 서울역사박물관 온라인전시관 - 서울의 전차(https://museum.seoul.go.kr/)

- 서울역사박물관 어린이 홈페이지-배움 마당 '서울이랑 놀이랑'에서는 총 11개의 교육 콘텐츠를 제공하고 있으며 드래그를 통한 교육 활동 가능

그림 9. 서울역사박물관 어린이홈페이지 - 서울이랑 놀이랑(https://museum.seoul.go.kr/chd/index.do/)

④ 국립광주박물관

- 파노라마 형식
- Nomal View, Fisheye View, Stereographic View, Architectural View, Pannini View, Little planet View 등 다양한 형태의 뷰가 적용
- krpano 프로그램(파노라마 형식의 360VR 제작 서비스)

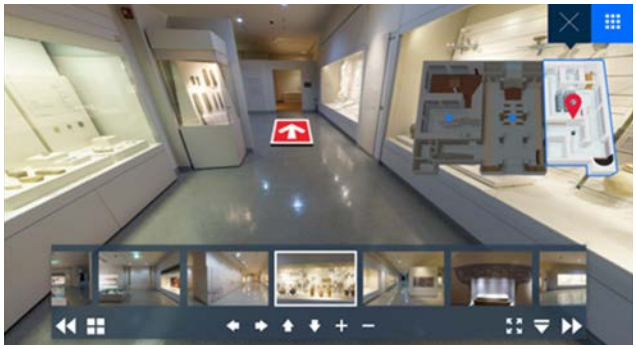


그림 10. 국립광주박물관 사이버체험관(https://gwangju.museum.go.kr/cyber)

2) 국외 사례 분석

(1) 덴마크 국립박물관(National Museum of Denmark) - 국립민속박물관

① 사이버한국실 프로그램은 국립민속박물관 국외 한국실 설치 및 개선 사업 일환으로 제작된 것으로 덴마크 국립박물관에 소장된 한국 유물을 체계적으로 소개하기 위해 만들어졌음

② 덴마크 국립박물관에는 900여 점에 달하는 한국 유물이 소장되어 있으며 이 중 420점의 유물을 추려내어 사이버 한국실에서 소개하고 있음

③ 사이버 한국실 소개, 기산 김준근의 풍속화를 모아놓은 기산갤러리, 덴마크 국립박물관이 소장하고 있는 한국 민속자료를 검색할 수 있는 민속자료검색, 소장품을 플래시와 같은 디지털콘텐츠로 소개한 특별영상관과 한국인의 삶으로 구성되어 있음

④ 아쉬운 점은 제공되는 영상의 화질이 좋지 않은 편이고, 덴마크 국립박물관 누리집에선 한국 사이버 갤러리(Cyber Korean Gallery)를 찾아갈 수 없다는 것임

그림 11. 덴마크 국립박물관 온라인 전시(http://denmark.nfm.go.kr/)

(2) 표트르대제 인류학·민족지학박물관 – 국립민속박물관

① Peter the Great Museum of Anthropology and Ethnography (the Kunstkamera)

② 러시아 표트르대제 인류학 민족지학 박물관이 수집한 한국 자료는 1900년 전후 한국 모습을 담고 있는 유물과 사진 등이 주를 이루고 있음. 특히 초대 러시아 공사로 조선에 부임한 베베르가 명성황후에게 선물 받은 향완이나 1890년 신축한 러시아공사관의 공사과정, 경복궁을 비롯한 서울의 전경을 촬영한 사진 등이 대표적인 자료로서, 상당한 문화적 가치를 지니고 있음

③ 표트르대제 박물관에서 소장한 한국 유물과 사진자료들을 손쉽게 검색할 수 있도록 수집자별로 분류해놓았으며, 소장품을 클릭하면 상세정보와 세부사진을 확인할 수 있음

④ 소장목록에 있는 모든 유물과 사진자료는 한국어, 러시아어, 영어로 상세정보가 제공되지만 영상자료는 그렇지 못한 점이 아쉬움. 또한, 덴마크 국립박물관과 마찬가지로 표트르대제 박물관 누리집에서도 한국자료 web-book을 찾아갈 수 없음

그림 12. 표트르대제 인류학 · 민족지학박물관-국립민속박물관 한국자료(http://www.kunstkamera.ru/)

(3) 앙코르 국립박물관(Angkor National Museum)

① 캄보디아의 국립박물관 중 하나인 앙코르 국립박물관은 앙코르와트를 비롯한 크메르제국 문화재를 다루고 있음. 누리집은 크메르어와 영어로 제공되어 있으며 소장품 아카이빙과 같은 디지털 콘텐츠 면에서는 많이 아쉬움

② 대표 소장품 7점만 누리집에서 세부 사진과 상세정보를 볼 수 있으며 그 외 소장품들을 검색해 볼 수 있는 기능은 없음

그림 13. 앙코르국립박물관
(http://www.angkornationalmuseum.com/)

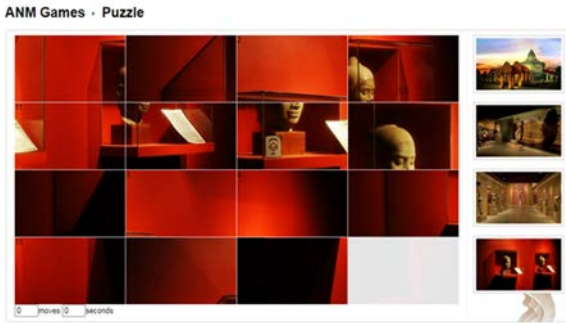


그림 14. 홈페이지에서 제공하는 미니게임
(http://www.angkornationalmuseum.com/)

3) 소결

(1) 가상박물관은 다양한 형태와 모습으로 우리 주변에 익숙하게 자리하고 있음

(2) 앞으로 점차 가상박물관의 적용 사례와 분야는 더욱 넓어질 것으로 전망되며, 가상박물관 외에도 여러 가지 명칭으로 혼용되고 있는 경우가 많아 가상박물관이 상용화되고 보편화 되기 위해서는 보다 정확한 단어의 정립이 요구됨

(3) 국내 사례 분석을 통해 본 가상박물관은 3D 스캔 형식은 메타포트 기반이 가장 많았고, Krpano 프로그램, HDVR, 큐빅판 등 다양한 형식으로 활용되고 있음

(4) 가상박물관 30개 중 상설전시관 운영은 42%(21개), 특별전시관 운영은 38%(19개), 두 전시관 모두 운영은 24%(12개), 상설전시관만 운영은 18%(9개), 특별전시관만 운영은 14%(7개)였음

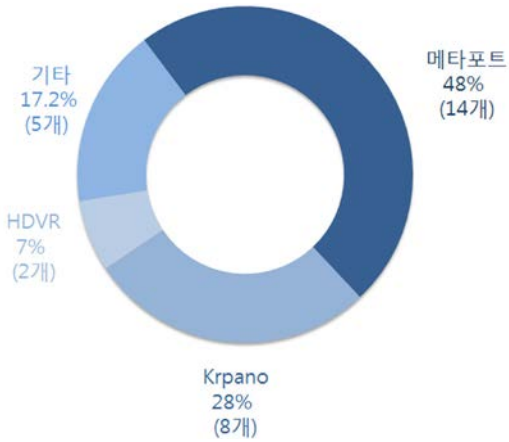


그림 15. 가상박물관의 3D 스캔 형식

(5) 국외 사례의 경우 앙코르 국립박물관은 미니게임 형식의 간단한 디지털 콘텐츠만 운영하고 있었으며, 덴마크 국립박물관과 표트르대제 인류학·민족지학박물관은 국립민속박물관과 디지털 박물관을 공동 운영하고 있는 것임 특징임

3. 가상박물관 연구 분석

1) 국내 연구 분석

연구 실행에 앞서 관련된 분야의 선행연구를 조사하였음. '문화유산', '문화재', '디지털', '교육', '콘텐츠', '보존'의 키워드를 통해 다양한 관련 선행 연구를 조사하였을 때, 본 연구와 관련된 선행연구가 많이 있었는데, 연구 사례들이 세 가지 유형으로 나눌 수 있음

(1) 디지털 문화유산 활용에 관한 국내외 현황 및 사례 연구
(2) 다양한 디지털 기술을 적용한 문화유산 활용 방법 연구
(3) 다양한 디지털 콘텐츠와의 연계 연구

디지털 문화유산에 대해 다루고 있었지만 각각 사례, 기술, 콘텐츠를 조금 강화하여 연구되었음 디지털과 문화유산의 활용에 있어서 각 국의 현황과 그 사례들을 조사 분석한 논문들임. 2000년대에는 다양한 사례에 관한 조사가 있었음. 최근에는 다양한 형태의 디지털 문화유산 활용에 대한 연구가 늘어나는 추세임

(1) 디지털 문화유산 활용에 관한 국내외 현황 및 사례 연구

① 이남희, 2005「동남아시아 세계문화유산 디지털화의 현황과 전망」
- 당시 동남아시아 세계유산 디지털화의 현황을 조사함.
- 아시아 문화유산- 디지털화 작업의 제시
- 필리핀, 인도네시아, 태국, 베트남, 라오스, 캄보디아의 세계유산과 관련 홈페이지 연구

② 박민서, 최연화, 임순범, 2008「국내외 디지털 문화유산 프로젝트의 활용 사례
- 국내외 디지털 문화유산의 다양한 활용 사례를 조사하였음.
- 국내사례 - <황룡사 9층목탑>, <전자 총통>, <상호작용형 문화콘텐트 미륵의 꿈>
- 국외사례로는 - <미켈란젤로 프로젝트>, <디지털 바이욘 프로젝트>, <에포크 프로젝트>, <아가멤논 프로젝트>

(2) 다양한 디지털 기술을 적용한 문화유산 활용 방법 연구 - 기술 중심

디지털 문화유산 활용에서 건축 문화재에 적용한 연구가 많았음. 연구가 다양한 만큼 건축문화재와 다양한 디지털 기술을 접목한 사례를 볼 수 있었음.

① 박진호, 2008「캄보디아 앙코르와트 디지털 복원」
- 대상지의 디지털 복원측면에서의 연구
- 앙코르와트의 디지털 복원 – 3D스캔 과정 및 결과

② 이지형, 강경규, 김재우, 2014「부재 미니어처를 이용한 디지털 건축 문화재 조립 체험 시스템」
- 현실공간과 가상공간을 넘나드는 체험기술을 연구함.
- 사용자가 현실공간에서 부재 미니어처를 이용, 문화재를 조립하고 그 결과를 가상공간의 디지털 문화재로 연결하여 다양한 체험을 제공하는 시스템에 관한 연구

③ 조정훈,우윤택, 2016「문화유산 체험을 위한 야외환경 증강현실 저작도구 설계」
- 문화유산 체험을 위한 야외환경 증강현실 저작
- 창덕궁을 대상지로 저작도구의 프로토타입을 설계

④ 이종욱, 2019「가상박물관 저작을 통한 문화유산 교육에 관한 연구」
- 가상박물관 저작 소프트웨어를 활용한 가상박물관 기획과 구축에 대한 교육과정을 제안
- <가상현실 기반 건축문화유산 교육 어플리케이션>, <가상현실 기반 발굴 체험 어플리케이션>

(3) 다양한 디지털 콘텐츠와의 연계 연구 - 콘텐츠 중심

연구에서 건축문화재를 제외한 다양한 콘텐츠를 활용하는 모습을 볼 수 있었음. 복식, 한국어, 과학, 미술, 인문학, 지도, 금속활자 등의 콘텐츠가 있음. 새로운 시각으로의 문화유산 활용에서 참고할만한 가치가 있다고 생각하여 연구하였음.

① 이명진, 원도연, 2017「익산 백제문화유산의 디지털콘텐츠 활용 연구」
- 스토리 중심의 디지털 기술 연계
- 익산 미륵사지를 중심으로 가상현실 콘텐츠에 유물이나 유적이 담고 있는 스토리를 담음

2) 국외 연구 분석

(1) 미국 샌프란시스코 현대미술관

① 2018년 ‘Rene Magritte : the fifth season’전

② 증강현실을 활용하여 작품에 대한 정보를 스마트폰과 태블릿에서 증강시킴

③ 각종 센서가 관람객을 인식> 디지털 전시물에 관람객이 투영, 관람객의 시선과 움직임에 따라 전시 공간이 변화하게 적용

그림 16. 미국 샌프란시스코 현대미술관(https://www.starkinsider.com/)

(2) 미국 시애틀 미술관

① 2018년 ‘Double Exposure’전

② 관람객이 스마트폰을 통해 작품을 인식

③ 작품 설명 외에 사진 속 인물, 배경과 맞는 노래가 재생되거나, 춤이나 음악 연주 영상이 증강되어 사진의 이해를 도움

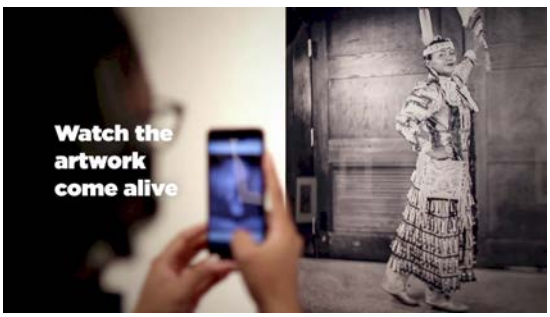


그림 17. 미국 시애틀 미술관(https://youtu.be/O6JpWu78Nfs)

(3) 영국 런던 자연사박물관

① 2010년부터 고인류, 영장류, 공룡 등 다양한 모형의 움직이는 모습을 증강현실로 구현함.

그림 18. 런던 자연사박물관(https://youtu.be/5yBQ9adCHTo)

(4) 미국 스미소니언 자연사박물관

① 2015년부터 Skins and Bones AR 어플리케이션 사용.

② 어플로 인식된 동물의 뼈가 생물의 모형, 골격과 근육 구조를 재구성하여 증강시키거나, 증강된 생물 모형이 움직이는 모습을 3D 객체로 보여주고 있음

그림 19. Skins and Bones AR 앱(https://naturalhistory.si.edu/exhibits/bone-hall)

(5) 싱가포르 국립박물관

① 2017년부터 상설전시실에서 'Story of the forest' 전시중

② 전시실 공간 전체에서 스크린으로 보여주며 영상 속의 개체를 3D 이미지로 증강하고 설명을 제공하는 등의 전시를 하고 있음.

그림 20. 싱가포르 국립박물관(https://youtu.be/OMv92DpcgfI)

(6) 미국 워싱턴 홀로코스트 메모리얼 박물관

① 2018년부터 전시하고 있는 사진에 증강현실기술을 이용하여 당시 유대인의 생활상 사진, 영상 등을 증강시키거나, 사진 속 인물의 데이터베이스를 구축하여 정보 제공.

그림 21. 미국 워싱턴 홀로코스트 메모리얼 박물관(https://www.ushmm.org/)

3) 소결

(1) 국내 디지털 문화유산 콘텐츠는 대부분 인터넷에서 파노라마 형식으로 다양한 뷰에서 박물관을 둘러볼 수 있게 하거나 특별전시 위주의 3D스캔 온라인 전시, 그리고 게이미피케이션등의 형태로 가상체험을 할 수 있게 만들어져 있음.

(2) 본 글에 나열한 국외 사례들은 해외박물관에서 수집한 한국자료와 소장유물의 디지털화 상태, 혹은 특별전에서 전시한 다양한 가상박물관 콘텐츠, 그리고 ODA 사업을 통해 문화유산 복원 사업을 하는 유적 등으로 나눠짐.

(3) 미국이나 영국의 박물관이나 미술관 등에서 앞서 전시했던 가상박물관 콘텐츠들의 장단점들을 잘 참고하여 한국에서 하는 전시에 적용을 시키며 발전시켜 활용해야 함 그리고 이렇게 배워나간 것들을 토대로 동남아 문화유산과 관련한 ODA 사업에서 디지털화된 문화유산들을 그 나라에서 어떻게 콘텐츠로서 계속 활용해 나갈지도 고민해야함

4. 아세안 지역의 디지털 문화유산 콘텐츠 사례 분석

1) 캄보디아 '앙코르와트' 사원 복원

(1) 2006년 총 5억원 가량을 들여 '디지털 앙코르와트'사업이 시행되었음. 세계 최초로 앙코르와트를 디지털 콘텐츠화하여 가상공간에 구성한 것이 프로젝트의 핵심임.

(2) 앙코르와트 벽면에는 총 1870개의 압사라 여신이 부조되어 있는데, 복원할 대상을 레이저를 쏘아 형상을 컴퓨터로 잡는 방법을 사용하였음.

그림 22. 앙코르와트 3차원 모델링(박진호 2006)

그림 23. 중앙탑 매핑을 찍는 모습(박진호 2006)

2) 베트남 '후에 황성 디지털화 사업'

(1) '후에 황성 디지털화 사업'은 2007년에 시행되었음. 문화재청과 유네스코한국위원회, 한국과학기술원(KAIST) 문화기술(CT)대학원의 저개발국 문화유산 보존 협력사업(ODA)의 일환임.

(2) 후에 황성은 베트남 중부의 고도(古都)에 자리 잡아 있으며, 베트남의 마지막 왕조인 응웬왕조(1802년-1945년)의 황성으로, 1993년 유네스코 세계문화유산으로 등재됨.

(3) 황제 즉위식 등 중요의식과 외국 사신을 맞이한 태화전(太和殿), 황성의 출입문인 오문(午門)등 현존하는 황성 건물을 실측했으며, 건물 형태를 3D로 스캔해 모델링했음. 이와 함께 현존 건물의 도면을 제작하고 근정전 등 파손된 전각의 겉모습을 문헌자료와 사진을 바탕으로 3D 이미지로 제작하였음. 이러한 데이터를 기반으로 유적지에서 사용될 3D 애니메이션을 제작해 베트남 정부에 제공하기도 했음. 앞으로 황성의 3D 데이터는 향후 황성의 복원 기초 자료로 사용될 계획에 있음

그림 24. 디지털로 복원된 후에 왕성의 모습(문화기술, 2006)

3) 인도네시아의 '보로부두르' 3D스캔

(1) 보로부두르는 캄보디아의 앙코르와트, 미얀마의 바간과 함께 세계 3대 불교유적으로 불리며 매해 250만 명 이상의 관광객이 찾는 명소임. 현재 보로부두르는 원형을

유지하고 있지만, 매년 화산재가 날아들고 있어 현재 모습을 정밀하게 남겨둘 필요성에서 디지털 복원 작업이 시작되었음.

(2) 유라시아 디지털 문화유산연구소에서 3D 디지털 장비와 자료 고증을 통해 사원의 원형을 디지털화했음.

(3) 방법은 다음과 같음. 우선 레이저 스캐너로 실측해 정밀한 데이터를 확보한 후 3D 영상카메라를 통해 보로부두르 사원 모습을 담음. 이후 디지털 처리된 사원 데이터에 화산재에 묻혀 사라진 금은 박 · 안료 등을 덧씌우는 방식임.

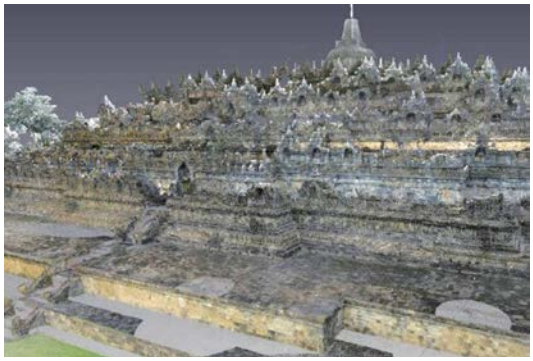


그림 25. 보로부두르 1차 디지털화 장면(문화기술 2006)

그림 26. 보로부두르 사원 전경(문화기술 2006)

4) 라오스 '홍낭시다' 복원사업

(1) 라오스 홍낭시다 ODA사업은 문화유산 복원 사업으로서는 대한민국에서 첫 번째임. 2013년도부터 진행되고 있으며, 현재도 진행 중이고, 1차 사업이 2020년도에 마무리 될 예정임. 1차 사업은 훼손이 심한 유적의 추가붕괴를 방지하고 구조적 안정화를 도모하는 긴급보수정비의 차원에서 유적의 복원에 집중해서 진행되었음. 계획 중인 2차 사업의 핵심은 잘 보존된 유적의 관광자원화를 통해 수원국의 자립 기반을 만들어주는 것으로 디지털 복원도 함께 계획 중임.

Ⅲ. 가상박물관 교육 프로그램 설계방법

1. 가상박물관 저작도구 소개 – ARTSTEPS, UNITY

1) 가상박물관 저작프로그램

(1) 3D 제작 프로그램 : UNITY, Unreal engine, Artsteps, TRADKY 등
(2) 가상 박물관 저작전용 프로그램 Artsteps를 교육프로그램에 활용

2) ARTSTEPS

(1) Atrsteps의 개요

- 3D 공간에서 가상 아트 갤러리를 만들 수 있는 웹 기반 환경
- 사실적인 3차원 공간을 설계하고 실제 또는 가상 유물을 전시할 수 있음

(2) Atrsteps의 장점

① 2차원 유물 (예 : 그림, 사진, 포스터), 3차원 유물 (예 : 조각 또는 3D 형태의 유물) 및 스트리밍 비디오를 전시 가능
② 가상 전시를 웹 페이지, 사이트 또는 블로그에 삽입할 수 있음
③ SNS 업데이트 가능
④ 평가, 토론 및 공유

(3) Atrsteps의 단점

① 공간을 구성의 한계
② 크기의 제한이 있어 삽입 가능한 object가 매우 한정적
③ 3D모델은 품질에 한계
④ 사이트 자체로 검색되는 3D모델이 아닌 다른 모델을 불러왔을 때 텍스쳐는 포함되지 않음

3) UNITY

(1) UNITY의 개요

- 3D 공간에서 가상 아트 갤러리를 만들 수 있는 웹 기반 환경
- 사실적인 3차원 공간을 설계하고 실제 또는 가상 유물을 전시할 수 있음

(2) UNITY의 장점

- 게임, 자동차 운송 및 제조, 영화, 애니메이션 시네마틱, 설계, 엔지니어링 건축 등 다양한 분야에서 활용 가능한 전문적 툴
- 3D, BIM 등 다양한 형식의 파일 구동 가능
- 좋은 퀄리티의 아웃풋을 빠르고 쉽게 개발이 가능
- 다양한 그래픽 요소 표현가능

(3) UNITY의 단점

- 입문으로 간단하게 배우기에는 어려움이 있음
- 활용법이 너무 다양함
- 가상 박물관 전시를 위한 플랫폼이 따로 존재하지 않음
- 처음부터 빌드업하여 만들어야함

2. 교육과정 설계방법

1) 유사교육사례

(1) 주제 : ASEAN 10개국 Digital Heritage Contents 개발
- 교육 프로그램 & 세미나 초청

(2) 대상 : 캄보디아. 인도네시아, 미얀마

(3) 일시 : 2017년 10월 30일 (월) ~ 11월 3일(금)

(4) 주최 : 부산 아세안 문화원, HDAC 문화유산기록보존연구소

(5) 내용 : 2017년 9월 1일 한국 부산에 개원한 아세안 문화원(ASEAN Culture House)의 VR체험관의 전시 콘텐츠 제작을 위해 아세안 10국의 대표적인 문화유산을 대상으로 2017년부터 3년간 문화유산 콘텐츠 제작 사업을 진행, 프로젝트의 일환으로 교육 프로그램 및 세미나 운영

일시	교육 내용	장소
1,2일차	<기술이전 프로그램> - 2017년 구축한 3D 데이터와 4K 영상 설명 - 데이터베이스 활용 교육 - VR체험장비 교육 - 구축된 데이터와 VR 장비(HMD 1set)의 무상 증여	
3일차	아세안문화원 견학	부산 아세안문화원

4일차	World Digital Heritage 엑스포 참석	경주 엑스포	
5일차	문화유산의 아카이빙과 보존부문관련 국제학술세미나 ‘New Trend of Digital Archiving Through Various World Heritage Sites’	서울 고궁 박물관	HDAC 발표

표 1. 유사 교육 사례의 일정표

2) 사용자 중심기법 활용한 교육프로그램 제작

(1) 페르소나 기법

① 실질적으로 큐레이터가 활용할 수 있는 교육과정

② 페르소나를 설정하여 사용자의 니즈 파악

③ 실제 가상박물관을 사용할 대상자 선정

④ ‘페르소나가 ~할 수 있는 가상박물관을 저작한다.’라고 박물관 형태를 구체화

그림 27. 사용자 중심기법 – 페르소나 설정단계

(2) 아이디어 유목화 기법

① 아이디에이션 및 분류

② 디자인씽킹기법에서 아이디어 발산에 해당하는 단계

③ 가상박물관에 필요한 다양한 요소 분석

④ CONTENTS, METHOD, THECNOLOGY 세 가지로 분석

그림 28. 사용자 중심기법- 아이디어 유목화

Ⅳ. 가상박물관 교육프로그램 제안

1. 교육 개요

1) 대상자 : 동남아시아 문화기관 종사자

2) 교육 내용 : 가상박물관 콘텐츠 기획

3) 교육 목표

(1) 동남아시아 문화기관 종사자들에게 가상박물관 관련 교육 제공
(2) 동남아시아 문화유산을 국내외로 홍보기회 제공

4) 기대사항

(1) 두 나라의 문화교류형 전시를 통해 유물의 가치를 문화교류의 관점에서 새롭게 바라볼 수 있음
(2) 두 나라의 문화와 역사를 한 번에 학습할 수 있음
(3) 기존의 전시기획 틀을 벗어난 다양한 전시기획의 가능성이 있음
(4) 양국 박물관의 교류 및 협력으로 연결될 수 있음
(5) 직접 방문하지 않아도 멀리 떨어진 박물관의 전시 관람이 가능
(6) 전시 해설 통역에 이해도 상승

2. 교육 프로그램의 방향성

현재 가상박물관 제작과 관련된 교육은 사례가 많이 없다. 다만 디지털 교육의 체험, 디지털 기술의 학습을 위한 교육이 소수 있었다. 본 연구에서 제작하는 교육 프로그램은 단순히 기술에 그치지 않고, 기술과 문화유산의 접목되어 나타날 때, 단순히 보이는 것뿐 아니라 좀 더 발전된 형태의 가상박물관을 제작하려고 한다.

기존 교육과의 차이점은 문화교류형 차이점이라는 것과, 큐레이터 참여형 교육이라는 것이다. 시간과 공간의 제약이 없는 가상박물관의 특징을 활용하여 문화교류형 박물관을 제작하고, 또한 큐레이터들이 직접 다양한 기술을 보고 체험해 보며 스스로 전시에 접목할 기술에 대해 생각하게 할 수 있도록 한다.

1) 문화교류형 가상 박물관

(1) 대상 : 한국, 캄보디아 관계자

(2) 콘셉트

① 공간, 시간을 초월하여 서로 간의 문화를 교류할 수 있는 문화교류형 가상박물관

② 오프라인 공간을 단순히 스캔한 인터페이스에서 매타포트, VR, UNITY 등을 적용하여 직접 제작한 가상공간 인터페이스로 변환

③ 한국 박물관 사이트에 캄보디아 가상 박물관 설치 캄보디아 박물관 사이트에 한국 가상 박물관 설치하는 교환형식의 박물관

2) 큐레이터 참여형 교육

(1) 대상 : 한국, 캄보디아 관계자

(2) 콘셉트

① 참여형 교육으로 큐레이터가 직접 아이디어를 내 디지털 박물관을 구상함

② 적용 가능한 기술에 대한 교육과 토론

③ 적용하고 싶은 사례는 큐레이터가 제안

④ 기술이나 유물 중 하나에 초점을 두지 않고 두 전문가가 토론과 아이디에이션을 통해 자연스럽게 접목

⑤ 한 번에 아웃풋이 나오는 것이 아닌 여러 번의 프로토타입 실습 후 완성품 제작

3. 교육 커리큘럼

일시	교육 내용	장소
1 일차	가상박물관의 정의 및 범위 안내 가상박물관의 장단점 가상박물관 사례 소개 문화교류형 가상박물관 소개 및 분석	
2 일차	**<기획>** 문화유산 3D데이터 체험 스토리보드 기획 디지털 스토리보드 기획 조별공유 **<구축>** UNITY 및 ARTSTEPS 교육 프로토타입 제작 3D모델 선택 > 게임엔진 설치 및 조작 > 가상지형생성 > 3D모델 배치 > 정보 패널 배치 > 상호 작용 구축	
3 일차	조별 프로토타입 발표 평가 및 피드백	

표 2. 가상박물관 제작 교육프로그램 일정표

V. 결론

본 연구에서는 아세안 지역의 큐레이터 및 문화유산 분야 종사자들이 가상박물관을 이해하고 이를 활용하는데 도움을 주기 위하여 교육 프로그램을 개발하였다. 기존의 연구는 디지털 문화유산의 사례를 분류하고, 기술과 문화유산 콘텐츠를 단순하게 접목해 실험해 보거나, 원래 있는 시스템에 새로운 콘텐츠를 결합하는 데 그쳤다. 코로나19 사태로 디지털 문화유산에 대한 수요가 증가하였고, 이에 발맞추어 아세안 관련 종사자들이 가상박물관에 대해 이해하고, 직접 가상박물관을 제작하기 위한 교육을 개발하고자 하였다. 따라서 '문화교류형 가상박물관 제작 교육 프로그램'을 제안한다. 이를 통해 아세안 관련 전문가들은 가상박물관에 대한 이해와 다양한 형태를 접할 수 있으며, 가상박물관 저작 도구의 간단한 활용 방법을 배울 수 있다. 또한 사용자 중심기법을 활용하여 직접 참여하고, 스토리보드를 제작해 볼 수 있는 교육을 받을 수 있다. 이 연구는 디지털 문화유산 기획에 관한 전문가 교육이라는 점에서 의의가 있다. 4차 산업 혁명에 발맞추어 가상박물관을 구축하는 데 있어 기초 자료가 되며, 이를 통해 시간적·공간적 제한 없이 많은 사람들이 보다 쉽게 문화유산을 접할 수 있게 된다. 하지만 본 연구는 단순히 커리큘럼을 제작하는 것에 그쳤으며, 이후 단기적으로는 수립된 커리큘럼을 더욱 구체화하여 세부적인 교육 계획을 수립하고 이를 기반으로 온·오프라인 형식의 실제 교육 프로그램의 시범 운영이 필요하다. 장기적으로는 ARTSTEPS를 뛰어넘는 가상박물관에 알맞은 저작도구를 제작되어야 할 것이다.

참고문헌

누리집

국립중앙박물관((https://www.museum.go.kr/)
국립중앙박물관 어린이박물관(https://www.museum.go.kr/site/child/home/)
국립중앙박물관 외규장각 의궤(https://www.museum.go.kr/uigwe/)
국립민속박물관(https://www.nfm.go.kr/)
국립민속박물관 어린이박물관(https://www.kidsnfm.go.kr/nfmkid/index.do/)
서울역사박물관(https://museum.seoul.go.kr/)
서울역사박물관 어린이홈페이지(https://museum.seoul.go.kr/chd/index.do/)
국립광주박물관 사이버체험관(https://gwangju.museum.go.kr/cyber)
덴마크 국립박물관(http://denmark.nfm.go.kr/)
표트르대제 인류학 · 민족지학박물관(http://www.kunstkamera.ru/)
앙코르 국립박물관(http://www.angkornationalmuseum.com/)

학술지

2006년. 4권「문화기술」

관련 논문

박진호, 2006,「캄보디아 앙코르와트 디지털 복원」
이남희, 2005「동남아시아 세계문화유산 디지털화의 현황과 전망」
박민서, 최연화, 임순범, 2008「국내외 디지털 문화유산 프로젝트의 활용 사례
박진호, 2008「캄보디아 앙코르와트 디지털 복원」
이지형, 강경규, 김재우, 2014「부재 미니어처를 이용한 디지털 건축 문화재 조립 체험 시스템
조정훈,우윤택, 2016「문화유산 체험을 위한 야외환경 증강현실 저작도구 설계」
이종욱, 2019「가상박물관 저작을 통한 문화유산 교육에 관한 연구」
이명진, 원도연, 2017「익산 백제문화유산의 디지털콘텐츠 활용 연구

아시아 문화유산 연구:

태평양

문화유산의 지속가능한 보전

International Journal of Asian Heritage

Pacific Studies:

Sustainable Conservation of Cultural Heritage

2. 유네스코 석좌 프로그램 연구지원팀 결과 보고서

학문적 파트너십과 아이디어 교류를 통한 아시아 공동체의 연결:
건조문화재의 보존 역량 구축

니킬 조시

진정성의 해석:
2015년 지진 이후 카트만두 계곡 유적지 복원

모나리자 마하르잔

고도의 역사적 도심에서 지역사회 기반 관리를 위한
“지역 역사 도시 경관 도구의 형성” – 인도네시아 세마랑과 솔로 사례 연구

에코 누산티

“해양 실크로드” 역사 도시의 문화유산 보존과 지속 가능한 발전의
통합 메커니즘 연구 – “광저우–홍콩” 간 그룹 도시의 사례

왕 옌

학문적 파트너십과 아이디어 교류를 통한 아시아 공동체의 연결: 건조문화재의 보존 역량 구축

니킬 조시

현재 아시아의 유산보존에 대한 인식과 교육이 부족한 점을 감안할 때, 국가부터 지역, 그리고 세계적 단위에서의 문화유산 관리 및 건축역사에 대한 교육과정 설립이 시급하다고 판단된다. 현재와 같은 상황을 유지한다면 역사도시의 급속한 개발 및 아시아의 도시관광 가속화로 인해 현재의 유산 교육 상황은 더욱 악화될 것으로 전망된다. 본 연구는 이와 같은 문제의식을 바탕으로 보존 교육학 및 관련 연구를 진전시키기 위해 아시아권 유수 대학의 협력적 파트너십 구축을 제안한다.

본 연구는 이미 운영중이거나 곧 유산보존 학위과정을 개설하려는 아시아 5개 대학의 커리큘럼을 분석하고 공통의 학위과정 구축을 위한 틀을 마련하여 건축·보존·교육·학술에 대한 논의를 가속화하는 것을 목표로 하고 있다. 연구의 대상이 되는 아시아 5개 대학은 '한국전통문화대학교(한국, 부여)', '싱가포르 국립대학교(싱가포르)', '동남대학교(중국, 난징)', '칭화대학교(중국, 베이징)', '홍콩대학교(홍콩, SAR)' 등이다.

연구는 이상의 5개 대학의 커리큘럼을 검토하여 유산 보존 관련 과정의 유사점과 차이점을 조사하고, 학교 또는 부처의 현재 교육과정 내 보존 교육 및 강의 과정을 분석하였다. 또한 수집된 정보를 종합하여 각 대학간의 선진적인 보존 관련 공동 교육과정을 개발하여 지역의 문화재 관리 수요를 충족할 수 있는지 확인하였다.

COVID-19의 세계적 유행은 지역사회에 어려운 과제를 안겨주었으나, 한편으로는 사회·경제 정책 및 교육 생태계를 재고할 수 있는 특별한 기회를 제공하였다. 결과적으로, 감염병의 유행은 물리적인 상호작용 및 의사소통에 제약을 가져왔을 때, 일시적으로 각 교육기관의 교육자 및 학생들에게 많은 도전을 안겨주었지만 다양한 디지털 플랫폼을 활용해 지역사회 참여를 견인하는 대안적인 방법이 개발되었다. 이와 같은 '뉴 노멀' 학습의 탐색 및 활용은 대학과 같은 교육기관에서의 건축 교육 시스템 및 보존 교육과정을 전면적으로 변화시키는 데 기여했다. 현재 대부분의 대학들이 사용하고 있는 다양한 디지털 교육 플랫폼은 COVID-19 위기 상황에서 증명된 바와 같이 유산보존 교육 현장에 더 큰 유연성을 제공할 것이다.

본 연구의 분석 결과, 아시아 지역의 각 대학이 현재 제공하고 있는 교육과정은 그 내용 및 교육 방식에 있어 몇 가지 공통점을 가지고 있는 것으로 나타났다. 이는 온/오프라인 또는 둘을 혼용한 방식 등 다양한 교육 방법을 사용해 공동의 교육과정을 개발할 수 있는 여건이 될 수 있다. 현재 싱가포르 국립대학교와 한국전통문화대학교는 아시아의 역사도시의 지속가능한 경영 및 세계유산 보존에 관한 최소 2개 강의를 공동으로 개발하기 위해 논의하고 있다. 두 강좌는 2021년 디지털 플랫폼을 통해 교육과정을 개설할 예정이다. 또한 싱가포르 국립대학교와 동남대학교는 2021년 하반기에 제공될 건축학 및 건축보존학 학생을 위한 공동 보존 설계 스튜디오를 개발하기 위한 논의를 계속하고 있다.

진정성의 해석: 2015년 지진 이후 카트만두 계곡 유적지 복원

모나리자 마하르잔

2015년 4월 25일 네팔을 강타한 규모 7.8의 지진은 수많은 기념물과 역사적인 건물 및 주택을 파괴하고 5천 명 이상의 목숨을 앗아갔다. 2015년의 지진은 카트만두 계곡의 문화유산에 막대한 피해를 입혔을 뿐만 아니라 문화유산에 대한 진정성 논쟁도 다시 불러일으켰다. 지진으로 인해 피해를 입은 라니 포카리(Rani Phkhari)의 재건 과정은 문화유산에 대한 진정성과 건축 양식의 문제를 지역사회 및 전문가 집단이 제기한 유의미한 사례이다.

본 연구는 라니 포카리의 재건 과정을 다양한 자료를 토대로 고찰함으로써 네팔 당국의 문화유산 복원에 대한 비판적 견해를 제시하였다. 라니 포카리는 1670년 프라탑 말라(Pratap Malla) 왕이 건립한 연못과 사원이다. 그러나 당시의 기록에 사원의 양식과 디테일은 언급되지 않았고, 1670년에 건설된 이후부터 2015년까지 여러 차례의 복원, 보수 및 재건을 거쳐 지진 당시에는 방형의 연못과 그 중앙의 하얀색 돔 형태의 사원으로 남아 있었다.

재건 공사의 초반에, 카트만두 매트로폴리탄 시티(KMC)는 연못과 사원을 중장비로 철거한 후 시멘트, 철골구조 등 현대적 재료로 연못을 재건하였다. 이는 역사적 건축의 물리적 구조뿐만 아니라 연못을 구성하는 수원의 자연적 흐름과 역사적 증거를 파괴하는 행위였다. 이에 지역주민, 전문가, 시민사회 등이 KMC의 재건 과정에 항의했다. 수 년 간의 비판 과정을 거쳐 네팔 재건 당국이 이 건축 유산을 재건할 책임을 맡게 되었다.

당국은 연못을 재건하기 위한 전통적인 방법, 형태, 디자인, 역사적 자료 등을 연구하고자 전문가위원회를 구성하였다. 25일 간의 연구를 바탕으로 13명으로 구성된 전문가위원회는 시카라(Sikhara) 양식의 하나인 그란타쿠트(Granthakut) 양식으로 사원을 재건하고 연못은 전통 방식인 흑색면화토를 이용해 공사할 것을 권고하였다. 위원회는 1845년 프로이센의 왕자가 네팔을 방문했을 당시 그려진 라니 포카리의 스케치와 프라탑 말라 국왕이 조성한 다른 사원이 시카라 양식으로 건설된 점 등을 근거로 제시하였고, 이 권고안은 의회를 통과해 사원의 재설계에 반영되었다. 다만 전통 재료, 기술, 수원의 급수 시스템 등에 대한 논의는 이루어지지 못하였다. 이는 네팔 재건 당국이 사업의 완료 시한을 9개월로 정한 시간적 한계에 따른 것이었다.

라니 포카리에 대한 복원 관련 논의 이전에, 양식에 대한 공개적인 토론과 대중의견 반영은 전혀 이루어지지 않았다. 네팔에서 유산의 연속성은 주기적인 보수 및 복원과 재건을 통해 보장된다. 건축유산의 물리적 사용과 네팔의 자연환경 및 자연재해는 유산이 국제적인 보존 모델을 따르도록 허락하지 않는다. 네팔의 유산은 살아있는 유산이기에 이는 과거와 현재의 사람들과 역동적인 관계를 맺고 있다. 나라 문서(Nara Document)를 통해 진정성의 가치는 장소의 정신, 사용 및 기능, 전통과 기술 등 다양한 방식으로 이해될 수 있다. 라니 포카리의 경우 전통기술, 장소의 정신 및 전통적 기능의 탐구가 필요하다. 몇몇 성과에도 불구하고 라니 포카리의 재건 과정은 향후 네팔에서의 유산 재건 사업에 대한 반면교사가 될 것이다.

고도의 역사적 도심에서 지역사회 기반 관리를 위한 “지역 역사 도시 경관 도구의 형성” – 인도네시아 세마랑과 솔로 사례 연구

에코 누산티

유네스코 세계문화유산은 종종 정치권과 지역사회에 의해 관광 또는 지역 브랜드 창출을 위한 목적으로 소비되었다. 이러한 경향은 젠트리피케이션, 유산의 상품화, 물리적 완전성의 상실과 같은 부정적인 결과를 초래했다. 아시아·태평양 지역의 중소 도시는 수도권에서 지방으로의 경제·인프라의 분산과 확대를 경험하며 급속도의 사회적·물리적 변화를 맞고 있다. 이러한 발전은 계획 및 보존 정책의 부족과 함께 역사적인 도심을 위협해 왔다.

본 연구는 유네스코의 역사적 도시경관(HUL, Historic Urban Landscape) 권고안을 바탕으로 중도시에 대한 보다 일관되고 포괄적인 유산 관리 기구를 만드는 것을 목표로 한다. 유네스코의 권고안에 따르면, HUL은 “역사적 중심(Historical Center)" 또는 ”총체(Ensenble)"의 개념을 넘어 더 넓은 도시적 맥락과 지리적 배치를 포함하는 문화적, 자연적 가치와 속성들의 역사적 계층화의 결과인 도시지역의 지도화로 정의된다. 이러한 광범위한 맥락은 지리학, 지형학, 자연적 특징 및 역사적 환경, 토지 이용 패턴 및 공간 조직, 사회문화적 관행, 경제적 과정 그리고 무형유산의 차원까지 도시 구조 내의 모든 요소를 포함한다.

본 연구에서는 인도네시아 센트럴 자바의 스마랑(Semarang)과 수라카르타(Surakarta)를 사례로 하여 지역 HUL 기구 구축을 논의하였다. 두 도시는 각각의 도시가 지닌 역사적 층위의 질과 양 측면에서 인도네시아 내 중도시의 주요 사례로 선정되었다. 수라카르타는 1745년에 이슬람 마타람(Mataram) 왕국의 천도에 의해 조성되었으며, 자바섬에 존재했던 이슬람 왕국 중 가장 큰 도시로 알려져 있다. 스마랑의 역사는 기원전 6세기경 고대 힌두 마타람 왕국의 일부인 프라고타(Pragota) 해안 지역에서 시작된다. 스마랑은 항구도시로서 국제 무역망의 한 부분으로서 번성하

였으며, 현재도 국제적인 도시로 발전하여 150만 명이 넘는 인구가 거주하는 인도네시아의 중도시로 성장하였다.

본 연구는 수라카르타 왕립도시와 스마랑 국제도시를 도시의 형성기 및 발전기, 부흥기를 거쳐 현대에 이르기까지의 과정을 시계열적으로 탐구하였다. 탐구의 대상은 토착민의 정착 과정부터 도시 형성기의 주요 도시조직 구성, 외래인의 이주 및 문화의 융합에 이르기까지 사회·문화·경제·지리적 측면 전방위에 걸쳐 있으며, 이를 통해 거주민의 분포와 그들이 만든 건축유산을 지도화하여 제시하였다. 지리적 도구로서의 지도화뿐만 아니라, 이를 토대로 한 각 도시의 사람과 문화를 모식화하여 두 도시를 비교분석하였는데, 결론적으로 지역사회의 조직적 역량 구축이 장소 형성 및 지역문화 발전에 기여한다는 점을 분명히 하였다.

지역 HUL 분석은 도시 개발의 3단계를 보여준다. 첫째, 장소의 탄생과 성장은 인간이 자연환경을 유리하게 활용할 수 있는 자연적 잠재력에 강하게 영향을 받는다. 둘째, 도시에서 특정한 성격을 가진 장소의 성장은 각 민족이 물려받은 유전적 가치와 역사적 배경의 영향을 강하게 받는다. 마지막으로, 현대도시의 발전을 가능하게 하는 장소의 개발은 공간 이용자와 지역 주민, 이주 공동체가 유연하게 변화하고 수용할 수 있는 지원적 성격의 공간에 큰 영향을 받는다.

아시아의 도시들은 경제의 역동적인 변화로 인해 빠른 변화를 겪고 있다. 그것은 경제적 경쟁력, 문화적 진정성, 사회적 화합, 역사적 지속성, 환경적 지속가능성, 물리적 완결성에 영향을 미쳤다. 보존은 변화와 영속성을 관리하는 것이며, HUL 방법론은 유·무형 도시유산의 역사적 가치 보존과 경재발전 및 도시재생 사이의 균형을 맞추기 위한 도구가 될 수 있다.

“해양 실크로드” 역사 도시의 문화유산 보존과 지속 가능한 발전의 통합 메커니즘 연구 – “광저우–홍콩” 간 그룹 도시의 사례

왕 옌, 야원 량

UN, 세계은행, 아시아개발은행, 아프리카개발은행 등 국제기구의 보고서에 따르면 2050년까지 세계 도시화의 90% 이상이 아시아와 아프리카에 집중될 것이며, 약 25억 명의 인구가 농촌에서 도시로 유입될 것으로 전망된다. 이는 세계 도시 구조에 근본적인 영향을 미칠 것으로 판단된다. 아시아 국가들은 전례 없이 빠른 도시화를 경험하고 있으며, 지속적으로 발전하는 역사적 환경 속에서 미래 도시의 지속가능한 발전을 도모해야 한다.

본 연구는 해상 실크로드에서 중국 구간의 핵심 거점이자 그 전형적인 형태로서 광저우–홍콩에 초점을 맞추고 있다. 그룹 도시는 공간 지리학뿐만 아니라 무역, 문화, 역사의 결합에서도 상호의존적이다. 본 연구는 광저우와 홍콩 간 상호교류 발전의 역사적 패턴을 연구해 자연지리학에 의해 결정되는 도시화 과정의 특성과 무역과 경제가 주도하는 제2도시 클러스터의 유형을 분석하였다.

본 연구는 역사적 정보시스템 통합 방법론을 활용하여 역사적 환경에서의 유산 보존과 지속가능한 개발을 촉진하기 위한 도시 역사 및 미래 발전의 결합을 모색하였다. 이를 위해 홍콩–광저우 그룹 도시의 도시개발 주요 단계를 검토하고, 도시 개발의 주요 사건을 통해 패턴을 도출한 뒤 도시 행동의 관계, 영향 요인, 도시 개발의 제도적 규칙을 분석하였다.

광저우는 고대 이래로 중국 남부의 가장 중요한 무역항 중 하나로, 명나라와 청나라의 해상무역 금지 기간에도 정부에 의해 유일한 법정 무역항으로 지정되었다. 광저우는 외부기회가 넘치는 도시로서 음식문화, 종교문화 등 다양한 문화의 융합 흔적이 도시 내에 남아 있다. 초기 홍콩은 잘 알려지지 않은 작은 어촌에 불과하였으며,

그 대부분은 행정구역상 광저우에 속했고, 송나라와 원나라 때부터 광저우의 대외 무역에 발판을 마련하며 발전하기 시작했다. 근대까지 홍콩은 영국의 식민지화 과정을 거치며 빠르게 성장했고, 빅토리아 항구로 인해 남중국해 해상 무역의 가장 발전한 도시가 되었다.

지리적 이점과 문화적 요인에 의해 결정되는 고대부터 세계 무역을 다루는 과정에서 두 도시는 상호호혜적인 협력관계를 구축하였음을 알 수 있다. 광저우는 깊고 넓은 국토의 지리적 장점이 있으며, 수 년 간 행정 중심지로서 기능한 반면, 홍콩은 해안 외곽과 빅토리아 항구라는 이점을 갖고 있다. 전자는 고대 중국의 경제 중심지였으며 후자는 새로운 시대의 경제 중심지로 발전하였다. 지리적, 역사적 요인은 두 도시의 협력을 이끌어냈다. 두 도시의 역사적 유대는 3차 산업을 발전시키는 계기가 될 수 있으며, 다양한 서비스 및 산업을 통합해 서로에 대한 소속감을 높일 수 있다.

아시아 국가들은 전례 없이 빠른 도시화를 경험하고 있으며, 미래 도시의 지속가능한 발전을 모색해야 하는 단계로 진입하고 있다. 역사도시 연구는 역사개발에 관한 법률과 경험을 종합하고 사회경제 및 역사문화적 관점에서 도시 유형 및 그 발전 모델을 분류해 도시의 보존-개발의 총체적 개념을 형성할 수 있다. 본 연구는 광저우와 홍콩이라는 그룹 도시의 역사적 발전 과정과 현대에서의 협력 관계를 분석함으로써 도시 역사와 미래 발전의 결합을 모색하고, 역사문화와 경제발전을 통합하며, 역사문화도시 네트워크를 경제산업 네트워크와 통합할 것을 제안한다. 이와 같은 연구는 최종적으로 역사적 도시 유산 보존을 지속가능하게 하며 역사적 환경 속에서 도시유산의 보존과 지속가능한 발전의 공존을 모색하는 데 기여할 수 있다.

아시아-태평양 문화유산 연구:
문화유산의 지속가능한 보전

International Journal of Asian-Pacific Heritage Studies:
Sustainable Conservation of Cultural Heritage

ONLY
NUCH
한국전통문화대학교 20th
KOREA NATIONAL UNIVERSITY OF CULTURAL HERITAGE

한국
전통문화
대학교
KOREA NATIONAL UNIVERSITY OF
CULTURAL HERITAGE

Cultural Heritage
Administration

UNESCO
United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization
한국
전통문화
대학교
UNESCO Chair in Capacity Building for the
Preservation and Restoration of Asia-Pacific
Cultural Heritage, Republic of Korea

아시아-태평양 문화유산 연구:
문화유산의 지속가능한 보전

ISBN 978-89-299-2192-7(93600)