

## 재난 예방을 위한 건조물 문화유산 관리활동 계획 - 풍수해 예방을 중심으로 -

### Planning On-site Management Activities for Disaster Prevention: Focused on Flood and Storm Risk Mitigation in Cultural Heritage

○고 명 환\*      강 석 진\*\*  
Ko, Myong-Hwan      Kang, Seok-Jin

#### Abstract

This study focuses on preventive management of built cultural heritage, with emphasis on wooden architecture. Literature review and legal analysis identified water infiltration and ground subsidence as major causes of damage. Field surveys were conducted at three sites in Sancheong County (N Monument Site, G Royal Tomb, and D Confucian School), combining visual inspections with drone-based photogrammetry, orthophotos, and digital surface models (DSM) produced from drone photographs taken during the field survey. Results showed drainage obstructions at N Monument Site, partial blockages at G Royal Tomb, and multiple risks including erosion and foundation subsidence at D Confucian School. The risk maps produced for the survey demonstrated the effectiveness of spatial visualization. The study suggests a practical framework for preventive management and disaster preparedness in cultural heritage.

키워드 : 건조물 문화유산, 풍수해, 예방 관리활동, 드론 사진측량, 위험지도

Keywords : Built Cultural Heritage, Hydrometeorological Disaster, Preventive Management, Drone Photogrammetry, Risk Mapping

#### 1. 서론

현대사회는 전례 없는 기후변화로 인해 다양한 환경적·사회적 피해에 직면하고 있으며, 이는 중요한 사회적 위협으로 부상하고 있다. 기후변화의 직접적 원인을 단일하게 특정하기는 어렵지만, 인간 활동에서 비롯된 온실가스 배출이 주요 요인으로 지목되면서 이를 완화하기 위한 국제적 대응이 가속화되고 있다. 특히 탄소중립 목표 달성을 위한 국가 간 협력, 유엔기후변화협약(UNFCCC), 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC), UNESCO 등 국제기구의 정책 권고와 연구 활동은 지구적 차원의 대응체계를 형성하고 있으며, 각국의 기후변화 적응 및 완화 전략 수립의 근거로 활용되고 있다. 그러나 이러한 국내외적 노력에도 불구하고 기후변화로 인한 재해의 빈도, 강도, 규모는 예상을 넘어 확대되고 있으며, 이에 따라 문화유산이 입는 피해 역시 점차 심화되고 있다.

기후변화로 인해 나타나는 다양한 재해 유형 가운데에

풍수해는 건조물 문화유산에 직접적인 피해를 일으키는 주요 요인이자 가장 빈번하게 보고된 재해 유형이다. 풍수해는 노후하거나 내구성이 부족한 유산에 단기적으로 심각한 훼손을 가할 뿐 아니라, 장기적으로는 내구성의 전반적인 저하와 재질·구조의 변형(부재 균열, 이격, 유실, 배부름 등)을 유발한다(국립문화재연구소, 2008). 재난 예방과 문화유산 보존을 위해서는 유산을 둘러싼 환경과 예방 수단에 대한 체계적 이해와 종합적 접근이 필수적이다. 이에 본 연구는 문헌 고찰과 현장 조사를 통해 건조물 문화유산의 풍수해<sup>2)</sup> 예방 관리 활동을 검토하고, 이를 토대로 문제점을 분석하여 향후 예방 및 대응 전략 수립의 기초자료를 제공하고자 한다.

#### 2. 문헌 고찰

##### 2.1 국내 건조물 문화유산 풍수해 피해

국내 건조물 문화유산의 풍수해 피해는 기후변화 심화로 인해 점차 증가하고 있으며, 특히 태풍과 호우가 주요

\* 경상국립대 대학원 박사과정

\*\* 경상국립대 건축학과 교수, 공학박사

(Corresponding author : School of Architecture, Gyeongsang National University, cpted@gnu.ac.kr)

이 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00359723)

1) 국립문화유산연구원(2024)에 따르면 2008년부터 2024년 9월까지 국가지정문화재의 재해 피해 총 1,091건 가운데 풍수해(태풍, 강풍, 호우, 대설, 동파, 해빙)으로 969건으로 전체의 89%에 해당한다.

2) 본 연구에서는 목조 건축물을 포함한 건조물 문화유산에 단기적이고 치명적인 영향을 주는 누수, 침수 피해와 그 원인이 되는 집중호우, 태풍을 대상으로 연구를 수행하였다.

원인으로 지적된다(Kim, 2024). 태풍과 호우는 대규모 강수량을 동반하여 침수, 토사 유실, 지반 불안정, 산사태 및 사면 붕괴를 초래한다. 최근에는 태풍급 강풍이 봄철에 급격히 증가하고 있으며(국립문화재연구원, 2022), 대설은 지붕 기와의 탈락·파손 및 내부 누수를 유발하여 재해 전후의 정기 점검이 필요하다(국립문화유산연구원, 2024).

최근 5년간 피해 건수는 전국적으로 증가 추세이며, 경북(168건), 전남(167건), 경남(127건), 서울(111건) 순으로 많았다(국립문화재연구원, 2023). 태풍 피해는 제주, 울산, 부산, 경북, 전남, 경남 등 해안과 태풍 경로에 인접한 지역에서 집중되고, 호우 피해는 대전, 광주, 충남, 대구, 경기, 전북, 서울 등 내륙 도시에서 주로 발생한다. 또한 2002~2021년 보고된 풍수해 피해 979건 중 사적이 43%로 가장 큰 비중을 차지했고, 이어 보물(18.8%), 국가민속문화재(11.2%) 순으로 나타났다(국립문화재연구원, 2022). 사적의 피해가 두드러지는 것은 지정 범위가 상대적으로 넓기 때문이다(국립문화재연구원, 2022)이며 보호구역 내 다양한 자연환경이 풍수해 취약성을 높이기 때문으로 판단된다.

풍수해 피해 원인은 <표 1>과 같이 (1) 우수 침투·습윤에 따른 직접적 요인과, (2) 지반 침하·침식으로 인한 구조적·환경적 요인으로 나눌 수 있다. 특히 노후 부재가 노출되었거나 지반 침하가 기초에 영향을 미칠 경우 심각한 손상으로 이어지므로, 건축물 외형 변화와 부위별 변위, 지면 높이에 대한 정밀 조사가 요구된다.

표1. 국내 건조물 문화유산 풍수해 피해 및 원인  
(국립문화유산연구원, 2024 p.20의 내용을 정리)

| 원인         | 문화유산                                      |                           |                      |                  | 유산 주변                                             |
|------------|-------------------------------------------|---------------------------|----------------------|------------------|---------------------------------------------------|
|            | 목조 건축물                                    | 석조 유산                     | 능·분·묘                |                  |                                                   |
| 직접적 요인     | 노후 부재·이음부 등 손상 등으로 우수 유입<br>우수 습윤         | 지붕 기와 변형, 이완, 흘러내림, 지붕 누수 | 내부 채움재 유실로 인한 내력 저하  | 유실로 인한           | -                                                 |
| 구조적·환경적 요인 | 지반 침하(토사 유실, 지하수위 변동, 지반 액상화 등)<br>유하수 침식 | 건축물 침하, 기울어짐              | 부분 유실 및 붕괴<br>석조물 전도 | 붕괴·표토 유실 및 사면 붕괴 | 사면 붕괴 및 산사태<br>수목 전도에 따른 주변 2차 피해<br>담장, 석축 기초 손상 |

## 2.2 풍수해 예방을 위한 관리 활동 관련 법령

법령에 의해 규정된 문화유산 관리활동은 지정 문화유산의 보존 원칙<sup>3)</sup>과 소유주 관리 원칙<sup>4)</sup>이 동시에 적용되므로, 풍수해 예방을 위한 관리활동에서 관리자(소유주, 관리자, 관리단체)의 역할은 매우 중요하다. 건조물 문화유산의 관리는 원칙적으로 소유자 관리하되, 필요 시 관리자를 선임하거나, 관리가 곤란한 경우 국가유산청장 혹은 광역지방자치단체장이 법인 또는 단체를 관리단체를 지정<sup>5)</sup>

할 수 있다. 또한, 문화유산법 및 국가유산청 훈령에서는 관리자가 수행해야 할 보존·관리 활동(표2. 참조)과 정기·특별 점검 활동(표3. 참조)을 규정하고 있다.

표2. 풍수해 예방과 관련된 건조물 문화유산 보존·관리 활동  
(국보·보물 건조물 문화유산의 보존·관리 규정 제6조 관련)

| 구분                     | 세부 활동 내용                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 관리자 관리 활동              | <ul style="list-style-type: none"> <li>맑은 날 수시 환기 및 습기 제거제 설치</li> <li>석조물 곰팡이·이끼·지의류 발생 시 전문가 자문 후 조치</li> </ul>                                                                                                                                                                      |
| 지방자치단체의 협조를 통해 수행하는 활동 | <ul style="list-style-type: none"> <li>지붕·담장의 기와 사이 잡초 제거</li> <li>건물 주변 토사 배수로 정비(빗물 유입 방지)</li> <li>경미한 보수(파손기와 교체 등) 주기적 시행</li> <li>인접 나무 뿌리·가지 관리(기단·지붕 훼손 방지)</li> <li>집중호우·태풍·폭설 등으로 인한 지반 침하·담장·석축 위험 시 사전 보호조치(비닐 덮기 등)</li> <li>화재·도난 예방을 위한 전기·소방설비·경비 시스템 구축·관리</li> </ul> |

표3. 정기점검표 및 특별점검표상의 풍수해 예방 관련 항목  
(국보·보물 건조물 문화유산의 보존·관리 규정 제7조 관련)

| 구분     | 점검 내용                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 정기 점검표 | <p>목조 유산</p> <p>부식, 충해, 지붕, 뼈대·창호·수장, 기초, 지붕틀·천장, 벽체·벽화, 바닥·구들, 주변환경</p> <p>석조 유산</p> <p>지반부, 기단부, 기단부·담신부</p>                                                                                                                                                                         |
| 특별 점검표 | <p>고건물</p> <p>부재의 이격과 기둥의 기울기 상태</p> <p>기단부의 균열, 침하, 이완 여부</p> <p>서까래 처짐, 파손 여부</p> <p>기와의 파손(동과 등)이나 지붕 훼손 여부</p> <p>목조 문화유산 부분 침하와 기타 훼손 여부</p> <p>석재가 기울거나 석재면의 탈락 등 여부</p> <p>석조물</p> <p>지반 침하에 따라 붕괴 우려가 있는 석조물</p> <p>훼손된 부재 유무</p> <p>기타</p> <p>배수시설, 석축 및 옹벽, 담장, 기타 주변시설물</p> |

정기점검표와 특별점검표는 항목별 점검 및 이상 유무를 기록하는 체크리스트 형식으로 작성된다. 그러나 현행 점검표는 수행 지침적 성격이 강하여, 결과만으로는 점검 대상의 구체적 위치·부위, 훼손 상태, 후속 조치 여부 등을 확인하기 어렵다. 또한 항목별 구분 방식은 개별 기록에는 유용하나, 문화유산의 훼손 양상과 재해 영향 간의 상호관계를 종합적으로 파악하는 데에는 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해서는 실측 도면을 기반으로 점검 내용을 색인화·시각화하고, 점검 결과를 시·공간적으로 해석할 수 있는 방법론의 도입이 필요하다.

한편, 두 점검표는 풍수해 예방 차원에서 토사 배수로 정비, 경미한 보수, 집중호우 대비 보호조치 등 일상적 관리 활동을 제시하고 있으며, 점검 결과에 따라 지자체 협조와 수리 공사 지원이 수반된다. 그러나 이러한 활동은 지자체 지원에 크게 의존하고 있으며, 지정 구역을 벗어난 외부 공간에 대한 관리 규정이 부재하여 풍수해 피해 확산에 취약하다. 따라서 풍수해 예방과 대응을 위해서는 지자체와 관계 전문가가 기존 관리 활동의 한계를 보완하고, 관리 범위를 보다 확장할 수 있는 협력적 관리 체계 마련이 요구된다.

3) 「문화유산의 보존 및 활용에 관한 법률」(이하 문화유산법) 제3조(문화유산보호의 기본원칙)

4) 동법 제33조(소유자관리의 원칙) ①, ②

5) 동법 제34조(관리단체에 의한 관리)

### 2.3 소결

본 연구는 국내 건조물 문화유산의 풍수해 피해 원인과 예방 관리활동을 고찰하고, 이를 토대로 현장 관리활동에 필요한 점검 및 조사 항목을 <표 4>와 같이 체계화하였다. 다음 장에서는 현장조사를 통해 제시된 항목들의 적용 가능성을 검증하고자 한다.

표4. 풍수해 예방 및 피해 대응을 위한 조사 항목

| 점검 항목             | 육안 조사·점검                                                                | 드론을 통한 조사                                                         |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 배수로 기능 및 손상 여부    | 배수로 이물질의 퇴적과 경계석 훼손 여부를 확인                                              | 드론 사진 영상을 통해 접근이 어려운 곳에 위치한 배수로 점검을 수행                            |
| 기초·기단부 훼손 여부      | 기단 면석, 주변 배수로의 석재 쌓기 상태 그리고 아궁이, 굴뚝의 균열이나 지반과의 고저차 등을 파악하여 우수유입 가능성을 점검 | 접근이 어려운 곳에 위치한 문화유산의 기초와 기단을 드론 사진 영상을 통해 점검하되 육안 조사·점검을 필수적으로 수행 |
| 지붕부 훼손(서까래 상부) 여부 | 서까래와 평고대의 변형, 양벽의 훼손을 확인하며, 지붕마루, 막새기와, 와구토 등의 처짐과 탈락을 점검               | 기와와 지붕마루의 이완, 파손, 탈락, 그리고 홍두깨 흙 유실 등을 확인                          |
| 지반 침하 및 침식 상태     | 마당, 주요 건축물 기단 주변, 출입 시설 안팎 등의 장소에서 지반 침하 및 침식 여부를 확인                    | 사진 측량 드론을 활용하여 수치표면 모델(DSM)을 제작 후 지정 범위 안팎의 지표면 높이 모니터링을 수행       |

## 3. 현장 조사

### 3.1 현장 조사의 개요

<표 4>의 풍수해 예방 및 피해 대응 점검 항목을 적용하여, 경상남도 산청군 소재 문화유산 3개소(N유적, G왕릉, D향교)를 대상으로 현장조사를 실시하였다. 각 대상지에서 육안 점검을 수행하는 동시에, 「문화유산의 보존 및 활용에 관한 법률」 제35조에 따른 촬영 허가와 관리자의 동의를 받아 드론 항공촬영 및 사진측량을 병행하였다. 드론 사진측량을 수행하기에 앞서, 대상 면적 범위 내에서 서로 다른 위치와 고도를 갖는 3개 지점<sup>6)</sup>을 지상기준점(Ground Control Point, GCP)으로 선정하였다. 각 측량점의 평면 좌표와 고도값은 GNSS 수신기를 활용하여 정밀하게 취득하였으며, 이후 Pix4D Matic 소프트웨어를 이용한 항공사진 기반 3차원 모델링 과정에서 공간 보정 기준점으로 활용하였다. 3차원 모델링의 성과물 중 하나인 정사영상<sup>7)</sup>은 현장 조사 및 점검 결과에 위험지도 작성에 활용하였으며, 또한 문제점 개선이 필요한 장소의 측점 좌표도 함께 파악하였다.

표5. 현장 조사 대상지 및 사진측량 결과

| 유산         | N유적                                                                                | G왕릉                                                                                 | D향교                                                                                 |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 현장 사진      |  |  |  |
| 지정/보호구역(㎡) | 71,915                                                                             | 791 / 44,190                                                                        | 132.7 / 3,365.3                                                                     |
| 주변 환경      | 농촌마을의 읍내                                                                           | 산자락에 위치(해발 약 300M)                                                                  | 높지 않은 야산 중턱에 위치                                                                     |
| 측량 면적      | 약 35,000㎡(*)                                                                       | 약 25,000㎡                                                                           | 약 30,000㎡                                                                           |
| 취득 사진      | 1,050                                                                              | 222                                                                                 | 1,022                                                                               |
| 성과물        | 정사영상(Orthophoto), 수치표면모델(DSM) <sup>8)</sup>                                        |                                                                                     |                                                                                     |

\*해당 지정구역에 포함된 여러 유산 중 사당 1개소에만 조사를 수행

표6. 조사 장비의 성능

| 장비명 | DJI Phantom4 RTK(사진측량용 드론)                                                          |        |                                               |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------------------------------------------|
| 사진  |   | 무게/크기  | 약1.3kg / 288x288x178mm                        |
|     |                                                                                     | 최고속도   | 50-58 km/h                                    |
|     |                                                                                     | 해상도    | 4K(4,096x2,160)                               |
|     |                                                                                     | 카메라 센서 | 1인치 20MP CMOS                                 |
|     |                                                                                     | 초점 거리  | 24mm 상당(광각)                                   |
|     |                                                                                     | 조리개    | f/2.8 ~ f/11                                  |
|     |                                                                                     | 정확도    | (수평) 1cm + 1ppm<br>(수직) 1.5cm + 1ppm          |
| 장비명 | EMLID Reach RX(GNSS 측량기)                                                            |        |                                               |
| 사진  |  | 무게/크기  | 약 250g / 172x51x51mm                          |
|     |                                                                                     | 정확도    | (수평) 7mm + 1ppm                               |
|     |                                                                                     |        | (수직) 14mm + 1ppm                              |
|     |                                                                                     | 위성 추적  | GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS(184채널 이상) |
|     |                                                                                     | 데이터 형식 | NMEA, RTCM                                    |
|     |                                                                                     | 통신 방식  | Bluetooth(스마트폰 앱)                             |

### 3.2 현장 조사 및 점검 결과

조사 결과, G왕릉은 유산 주변에 자연 수원이 분포하여 배수가 원활하고, N유적과 D향교는 우수 배수관이 설치되어 있어 집중호우 시에도 배수 지연으로 인한 침수 가능성은 낮은 것으로 판단된다. 그러나 평지에 입지한 N유적은 북측 담장 외부 배수로에 이물질이 퇴적되어 배수 기능이 저하된 상태로, 정기적인 청소가 요구된다. G왕릉은 경사지에 위치하며 제향 공간 옆에는 폭 6m·깊이 6.5m 규모의 자연석 호안석축 계곡이 정비되어 있어 전반적인 배수 조건은 양호하다. 다만, 왕릉에서 떨어진 배수로 일부 구간(2개소)에서는 이물질이 퇴적되어 청소가 필요한 것으로 확인되었다. 한편, D향교는 다만 석축으로 공간이 구획된 경사지 지형에 위치하며, 여러 지점에서 배수 및 기초·기단부 훼손 문제가 관찰되었다. 특히 대성전 배면 기단은 지면보다 높지 않아 우수가 기단면으로 유입될 경우 고막이벽 통풍구의 침수가 우려되며, 북동측 담장 모서리는 인접 야산 지표수가 임도의 가장자리를 따라 흐르므로 침식 위험이 있다. 서무 배면 사면은 경사가 완만하여 표면 침식 위험은 낮으나, 배수 불량으로 인해 저부에서 침식과 물웅덩이가 발생할 가능성이 크다. 이로 인해 석축

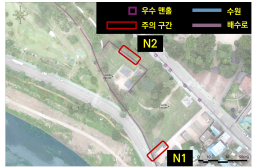
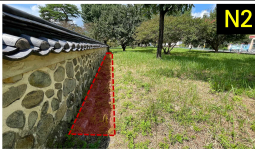
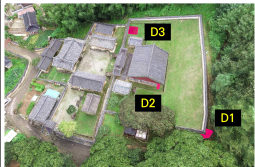
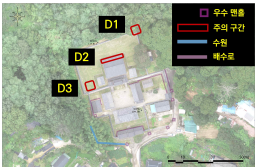
<sup>6)</sup> 대공측량점의 높이차를 30m 이내로 설정하였을 때 수치표면모델상의 높이값의 오차가 현저히 감소(Lee, 2021)하는 것을 참고하여 측량범위와 고도 범위를 설정하였다.

<sup>7)</sup> 정사영상(Orthophoto)은 항공사진 또는 위성영상에서 발생하는 기하학적 왜곡(카메라 기울기, 지형 기복 등)을 보정하여, 지도와 같이 정확한 축척과 지리적 참조성을 갖도록 제작한 영상으로, 거리와 면적 측정이 가능한 공간자료이다.

<sup>8)</sup> 수치표면모델(Digital Surface Mode)은 지형뿐만 아니라 건물, 식생, 구조물 등 지표 위에 존재하는 모든 지물을 포함하여, 3차원 좌표계 상에서 수치로 표현한 공간모델을 의미한다.

과 담장의 배부름 및 구조적 불안정이 초래될 우려가 있다. 이러한 조사 결과는 <표 8>에 문제점과 개선 방안을 함께 정리하였다. 특히, 문제점이 지적된 장소의 측정좌표를 함께 기록하였기 때문에, 향후 관리 활동 및 재해예방 조치에서의 활용 가능성이 높을 것으로 기대된다.

표7. 현장 조사 및 점검 결과(\*)

| 유산            | N 유적                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                     |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 3차원 영상 및 위험지도 |                                                                                                                                                                      |    |
| 문제점           |                                                                                                                                                                      |    |
| 개선 방안         | 담장 일부가 붕괴<br>담장을 수리 한다                                                                                                                                                                                                                                | 배수로에 이물질이 퇴적<br>정기적으로 이물질을 청소한다                                                     |
| 유산            | G 왕릉                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                     |
| 3차원 영상 및 위험지도 |                                                                                                                                                                     |   |
| 문제점           |                                                                                                                                                                    |  |
| 개선 방안         | 배수로에 이물질이 퇴적(G1, G2)<br>정기적으로 이물질을 청소한다                                                                                                                                                                                                               |                                                                                     |
| 유산            | D 향교                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                     |
| 3차원 영상 및 위험지도 |                                                                                                                                                                    |  |
| 문제점           |                                                                                                                                                                    |  |
| 개선 방안         | D1 : 지표수에 의한 담장 기초 침식<br>D2 : 기단 갑석의 높이가 지면과 가까움<br>D3 : 저부에서 침식과 물웅덩이가 발생 우려<br>D1 : 배수로를 설치하여 담장 기초 침식을 방지한다<br>D2 : 기단 주변 지면을 정리하여 기단면과 지면 사이에 최소 10cm 이상의 높이 차이를 확보하고, 우수가 기단 상부로 침입하지 않도록 한다.<br>D3 : 사면 저부와 담장 경계를 따라 자연석 배수로를 설치하여 빠른 배수를 유도한다 |                                                                                     |

\*지면 관계상 가장 심각한 문제점인 배수와 관련한 내용만 다루었음

#### 4. 결론

본 연구는 기후변화로 인한 풍수해가 건조물 문화유산에 미치는 영향을 분석하고, 예방 관리 활동의 실효성을 검토하였다. 문헌 고찰을 통해 다음과 같은 내용을 확인하였다. 풍수해는 균열부로 우수의 침투·습윤을 일으키며 지반을 침하·침식 시키는 등 건축물과 기초에 심각한 구조적 영향을 미친다. 제도적 관리 활동이 마련되어 있음에도 불구하고 점검 결과의 공간적 해석 부족, 지자체 지원 의존, 지정구역 외부 관리 공백 등의 한계가 확인된다.

문화유산 3개소를 대상으로 한 현장 조사는, 풍수해 예방 관리가 단순히 입지 조건에 국한되지 않고 건축물의 구조적 특성, 관리 방식, 주변 배수 체계와 복합적으로 연계되어 있음을 보여주었다. N유적은 배수로 기능 저하, G 왕릉은 일부 배수로 퇴적, D향교는 대성전 기반부의 여러 장소에서 침수·침식 위험이 확인되었으며, 이는 입지와 환경 조건이 풍수해 취약성에 직접적인 영향을 미친다는 점을 시사한다.

따라서 피해를 최소화하기 위해서는 첫째, 기존 점검표 중심의 관리에서 벗어나 드론 정사영상·DSM 등 디지털 측량 성과물을 활용한 정량적 관리 체계로 전환해야 한다. 둘째, 지자체와 관리단체의 역할을 확대하여 지정구역 외부 환경까지 포괄하는 통합 관리가 필요하다. 셋째, 정기적인 현장 점검에 더해 디지털 트윈, 3차원 공간정보, IoT 센서 등을 활용한 데이터 기반 관리 체계를 도입하여 과학적 근거에 기반한 예방 관리가 이루어져야 한다.

본 연구는 문헌고찰 단계에서 풍수해 이외의 기후재해(폭염, 한파, 화재 등)에 대한 분석은 포함하지 않았으며, 세 개 대상지에 국한된 조사라는 한계가 있다. 향후 연구에서 보다 다양한 유형의 문화유산을 대상으로 장기 모니터링을 실시하고, 디지털 트윈 및 3차원 공간정보 기반의 방재 환경 지표를 구체화함으로써 문화유산 예방보존을 위한 과학적 근거를 확립할 필요가 있다.

#### 참고문헌

1. 국토지리정보원, 공간정보 용어사전, 2016
2. 국립문화유산연구원, 문화유산 풍수해 피해와 대응기술, 2024
3. 국립문화재연구소, 건축문화재 재해예방 기획 연구, 2008
4. 국립문화재연구원, 우리나라 문화·자연유산의 기후변화 대응 현황과 과제, 2022
5. Kim, J. S. (2024). A Geographical Consideration and Suggestion on Current Issues and Challenges to Cope with Climate Change for National Heritage, *Journal of Korean Geographical Society*, 59(3), 315-333.
6. Lee, J. P. (2021). Quality Assessment of Digital Surface Model Vertical Position Accuracies by Ground Control Point Location, *Journal of Cadastre & Land InformatiX*, 51(1), 125-136.