

---

# 문화유산 3차원 스캔데이터 구축 가이드라인

---

2018.11

# 서 문

본 가이드라인의 주요 목적은, 문화유산을 보존하기 위한 기록과 실측에 3차원 스캐닝기술을 효과적으로 적용하여 좋은 품질의 데이터를 구축하고 이를 바탕으로 한 결과물을 유용하게 활용할 수 있도록 실용적인 안내와 정보를 제공하는 데 있다. 이러한 목적을 달성하기 위해 본 가이드라인은 문화유산을 대상으로 3차원 스캐닝을 활용하는 과제의 발주와 계획 수립, 작업 과정, 결과를 도출하는 일련의 과정과 관련한 학술적 연구와 해당 분야 전문가 및 실무자들의 자문을 기반으로 하여 작성되었다. 이를 바탕으로 본 가이드라인은 문화유산 관련 분야에 종사하는 고고학자, 역사학자, 보존 및 복원 전문가, 관련 공공분야 종사자, 연구자 등 다양한 분야의 전문가 집단에 3차원 스캐닝기술을 가장 적절하게 활용할 수 있도록 지원하는 역할을 담당한다. 또한 3차원 스캐닝기술을 문화유산의 보존에 활용하는 것에 관심이 있는 누구에게나 유용한 가이드라인인 동시에 안내서로서, 3차원 스캔데이터를 체계적으로 구축하는 작업에 대해 일관성 있고 범국가적인 기준을 설립하며 효과적인 권고 사항에 관한 설명을 제공한다.

본 가이드라인은 단순히 문화유산의 3차원 스캐닝데이터를 확보하기 위한 전문적 안내를 제공하고 3차원 스캐닝기술을 문화유산 분야에서 활용할 수 있는 전문가들의 역할을 대체하는 것에 머무르지 않는다. 더 나아가 문화유산의 원형을 복원하고 보존하기 위한 데이터의 구축과 그것의 활용 계획 등을 수립하는 데 있어 가장 적절한 기술, 절차와 방법 등을 결정할 수 있도록 작업 과정 및 성과물의 품질관리를 위한 조언자로서 막중한 임무를 수행한다. 또한 3차원 스캐닝을 활용한 데이터를 기반으로 표준화된 데이터베이스를 구축할 수 있는 기반을 조성하는 데 중요한 역할을 담당한다.

본 가이드라인의 초안은 2012년에 작성되었으며, 초안의 개정 작업을 거쳐 2015년에는 ‘문화유산 기록화 표준 매뉴얼’과 통합된 후 일반에 공개되어 다양한 문화유산의 기록과 실측 현장에 적용되었다. 그 과정에서 가이드라인을 활용한 3차원 스캐닝데이터 구축에 관한 다양한 경험과 전문성을 축적할 수 있었으며, 기존 가이드라인의 긍정적 효과를 높이는 동시에 발견된 문제점들을 극복하기 위한 주요 개선 방향을 파악할 수 있었다. 초판의 활용을 통해 확인된 개선 요구사항과 최근까지의 기술적인 진보를 반영하기 위해 가이드라인을 보완하는 필요성이 대두됨에 따라, 2018년에 이르러 더 발전된 가이드라인의 면모를 갖춘 개정판을 발간하게 되었다.

우리나라뿐만 아니라 국제사회에서도 문화유산을 보호하기 위한 장기적인 보존 대책 중 하나로서 디지털 기록화를 바탕으로 하는 표준화된 데이터 구축의 중요성이 점차 강조됨에 따라 본 가이드라인의 역할은 더욱 중요해지게 되었다. 본 가이드라인에서 제시된 실용적인 조언들이 디지털 시대에서 문화유산의 새로운 기록과 실측 수단인 3차원 스캔데이터를 구축하는 데 있어 효율성과 신뢰도를 높이고, 나아가 향후 문화유산 3차원 스캔데이터를 활용하는 여러 분야에서 적극적으로 참조될 수 있을 것을 기대한다.

본 가이드라인 개정판의 발간을 위한 연구와 집필에는 한국과학기술원 문화기술대학원의 안재홍 교수와 심혜승 연구원이 참여했다. 가이드라인의 내용을 검토하고 전문성을 높이기 위해 안대환 교수(충북대), 김은화 실장, 오정은 선임연구원(이상 문화유산기록보존연구소)이 자문과 검수를 하고 여러 3차원 스캐닝 전문 업체 및 관련 분야 종사자들이 도움을 주었다.

# 목 차

<b>1. 개요</b>	<b>10</b>	<b>5. 결과물 제작과 납품 가이드라인</b>	<b>43</b>
1.1 목적	10	5.1 사업 성격에 따른 결과물의 종류와 범위	43
1.2 기본 원칙	10	5.2 파일명명(命名) 및 파일형식 지정 가이드라인	44
1.3 가이드라인의 구성	11	5.3 메쉬 모델 결과물 제작	48
1.4 용어	12	5.4 도면 결과물 제작	51
<b>2. 문화유산 3차원 스캐닝 일반</b>	<b>12</b>	5.5 사진 결과물 제작	57
2.1 3차원 스캐닝기술의 분류	12	5.6 기타 결과물	57
2.2 3차원 스캐너	13	5.7 납품시트 작성	58
2.3 3차원 스캐닝 소프트웨어	16	<b>6. 부록</b>	<b>59</b>
2.4 업무 절차	16	6.1 제안 요청서 작성 예시	59
2.5 사진측량	17	6.2 현장 워크시트 작성 요령	63
<b>3. 사업의 발주와 준비</b>	<b>18</b>	6.3 후처리 워크시트 작성 요령	77
3.1 사업의 범위 결정	18	6.4 납품시트 작성 요령	82
3.2 대상의 특징에 따른 스캐닝 방식 결정	19	6.5 3차원 스캐닝 하드웨어 및 소프트웨어 목록	89
3.3 제안 요청서 작성	30	6.6 용어 정리	101
<b>4. 문화유산 3차원 스캐닝 실무</b>	<b>32</b>	6.7 3차원 스캐닝 사례	106
4.1 작업 계획의 수립과 사전조사	32	6.8 주요 참고 자료	128
4.2 현장에서의 3차원 스캐닝 작업	32	별첨 서식	131
4.3 스캔데이터의 후처리	38		
4.4 스캔데이터의 검수	42		

## 〈표 차례〉

〈표 1〉 스캐닝시스템과 사용처(출처: 3D Laser Scanning for Heritage)	15
〈표 2〉 사업 범위에 따른 3차원 스캐닝의 범위 결정 시 주요 체크 리스트 및 고려 사항	19
〈표 3〉 문화유산의 성격별 광대역 스캐닝 방식 결정(예시)	20
〈표 4〉 문화유산의 성격별 정밀 스캐닝 방식 결정(예시)	23
〈표 5〉 스캐닝 작업에 고려해야 할 문화유산의 주요 특성과 예시	27
〈표 6〉 부동산 문화유산의 스캐닝 방식 적용 사례	28
〈표 7〉 비고정형 동산 문화유산의 스캐닝 방식 적용 사례	29
〈표 8〉 기록보존용 포맷 유형(3차원 스캔 데이터 및 메쉬 모델, 2차원 이미지)	45
〈표 9〉 기록 보존용 포맷 유형(도면, 동영상)	45
〈표 10〉 웹서비스용 포맷 유형(3차원 메쉬 모델, 2차원 이미지) 기록 보존용 포맷 유형(도면, 동영상)	46
〈표 11〉 기타 포맷 유형(도면, 동영상)	46
〈표 12〉 최종 산출결과물의 납품 항목(예시)	47
〈표 13〉 최종 산출결과물의 납품 항목(예시)	63

## 〈그림 차례〉

〈그림 1〉 스캐닝 방식에 따른 3차원 스캐너 분류	12
〈그림 2〉 문화유산 3차원 스캐닝 업무 절차도	17
〈그림 3〉 광대역 스캐닝이 적합한 문화유산의 예시 (왼쪽 위부터 시계방향: 익산 미륵사지, 전남 목포 신안선, 장수 향교대성전, 창녕 석빙고, 수원 화성 팔달문, 오산 독산성과 세마대지 성곽 및 발굴지)	22

〈그림 4〉 정밀 스캐닝이 적합한 유물의 예시 (왼쪽 위부터 시계방향: 경남 창원 함안 성산산성 출토 고대목간, 경주구 황동금제여래좌상, 토우장식장경호, 철제약사여래좌상, 송례문 안초공)	24
〈그림 5〉 경주 남산 칠불암마애불상군 정밀 스캐닝(사용기종: Konica-Minolta Vivid 910)	24
〈그림 6〉 광대역 스캐닝과 정밀 스캐닝을 복합적으로 사용하기에 적합한 문화유산의 예시 (왼쪽부터 시계방향: 경주 단석산 신선사 마애불상군, 원주 법천사지 지광국사 탑비, 예천 용문사 윤장대, 봉화 북지리 마애여래좌상)	26
〈그림 7〉 기준점 측량을 위한 기준점 매설	36
〈그림 8〉 디지털카메라를 이용한 매핑소스 이미지 취득	37
〈그림 9〉 순천 송광사 목조삼존불감 실내 촬영	38
〈그림 10〉 노이즈가 포함된 데이터(왼쪽)와 이를 제거하는 과정(오른쪽)	39
〈그림 11〉 도갑사 해탈문 외부 광대역 스캔데이터 정합 과정(왼쪽)과 결과(오른쪽)	40
〈그림 12〉 수덕사 대웅전 내부 광대역 스캔데이터 정합 과정(왼쪽)과 결과(오른쪽)	40
〈그림 13〉 왕궁리 정원지 광대역 스캔데이터 정합 과정(왼쪽)과 결과(오른쪽)	40
〈그림 14〉 쌍봉사 대웅전 지장보살삼존상 중 무독귀왕상 정밀 스캔데이터 정합 과정(왼쪽)과 결과(오른쪽)	41
〈그림 15〉 광대역 스캔데이터와 매핑 소스(왼쪽)를 이용한 컬러 매핑 결과(오른쪽)	41
〈그림 16〉 쌍봉사 대웅전 무독귀왕상의 점군데이터(왼쪽)과 메쉬모델(오른쪽)	48
〈그림 17〉 왕궁리 정원지 광대역 스캔데이터로부터 생성한 메쉬 모델	48
〈그림 18〉 메쉬 모델에 발생한 오류(위)와 편집 기능을 이용해 수정한 모델(아래)	49
〈그림 19〉 컬러 카드를 이용한 데이터 보정(사용 소프트웨어: PhaseOne Capture One 5)	50
〈그림 20〉 쌍봉사 대웅전 무독귀왕상 메쉬 모델 텍스처 매핑 (왼쪽부터 텍스처 이미지, 메쉬 모델, 텍스처 매핑 후의 메쉬 모델)	50
〈그림 21〉 스캔데이터 이미지를 활용한 도면(왼쪽)과 라인 드로잉 도면(오른쪽)	51
〈그림 22〉 앞 뒤의 점 데이터가 겹쳐서 보이는 기존 스캔데이터(위)와 겹친 데이터를 제거한 결과(아래)	52

〈그림 23〉 배치도 예시. 광명동굴(위)과 정읍피향정(아래)	53	〈그림 44〉 저용량 메쉬모델을 삽입한 3D PDF(왼쪽)와 ICF 형식의 메쉬모델(왼쪽)	120
〈그림 24〉 입단면도 예시(광명동굴)	54	〈그림 45〉 담양 개선사지 석등 주변에 대한 광대역 스캐닝(왼쪽)과 석등 정밀 스캐닝(오른쪽)	121
〈그림 25〉 정면도 · 배면도, 입면도 · 평면도 · 양시도, 상세도 예시(성덕대왕신종)	55	〈그림 46〉 후처리가 완료된 담양 개선사지 석등 정밀 스캔데이터. 메쉬 모델(왼쪽)과 텍스처가 매핑된 메쉬 모델(오른쪽)	122
〈그림 26〉 사직단 수직 촬영 / 정면, 좌측면, 우측면, 배면(왼쪽 위로부터 시계 방향)	57	〈그림 47〉 스캔데이터를 활용해 작성된 석등의 도면. 정면도(왼쪽)와 우측면도(오른쪽)	123
〈그림 27〉 광대역 스캔위치 현황도 예시. 안동 도산서원 전교당(위)과 단양 신라적성비(아래)	67	〈그림 48〉 저용량 메쉬모델을 삽입한 3D PDF(왼쪽)와 ICF 형식의 메쉬모델(가운데). 광대역 스캔데이터로 제작한 영상(오른쪽)	123
〈그림 28〉 부동산 문화유산 방위 표시 예시(단양신라적성비)	69	〈그림 49〉 문경 봉암사 지증대사탑비	124
〈그림 29〉 창덕궁 명정전	106	〈그림 50〉 후처리가 완료된 문경 봉암사 지증대사탑비 정밀 스캔데이터. 메쉬 모델(왼쪽)과 텍스처가 매핑된 메쉬 모델(오른쪽)	126
〈그림 30〉 명정전 내부(왼쪽)와 외부(오른쪽)에 대한 광대역 스캐닝	107	〈그림 51〉 후처리가 완료된 광대역 스캔데이터. 반사광의 세기에 의한 컬러(왼쪽)와 컬러 매핑(오른쪽)	126
〈그림 31〉 후처리가 완료된 광대역 스캔데이터. 반사광의 세기에 의한 컬러(왼쪽)와 컬러 매핑(오른쪽)	108	〈그림 52〉 스캔데이터를 활용해 작성된 봉암사 지증대사탑비의 정면도	127
〈그림 32〉 스캔데이터를 활용해 작성된 명정전 정면도(왼쪽)와 실측용 파노라믹 뷰(오른쪽)	109	〈그림 53〉 저용량 메쉬모델을 삽입한 3D PDF(왼쪽)와 ICF 형식의 메쉬모델(가운데). 광대역 스캔데이터로 제작한 영상(오른쪽)	127
〈그림 33〉 안동 도산서원 상덕사 및 삼문(왼쪽)과 광대역 스캐닝 장면(오른쪽)	110		
〈그림 34〉 후처리가 완료된 서원 스캔데이터. 반사광의 세기에 의한 컬러(왼쪽)와 컬러 매핑(오른쪽)	111		
〈그림 35〉 스캔데이터를 활용해 작성된 도면. 상덕사의 배면도(위)와 삼문의 정면도(아래)	112		
〈그림 36〉 점군데이터에 카메라 애니메이션을 넣어 제작한 영상	113		
〈그림 37〉 안동 하회탈 및 병산탈 정밀 스캐닝	114		
〈그림 38〉 후처리가 완료된 스캔데이터. 메쉬 모델(왼쪽)과 텍스처가 매핑된 메쉬 모델(오른쪽)	115		
〈그림 39〉 스캔데이터를 활용해 작성된 안동 하회탈의 도면. 정면도(왼쪽)와 우측면도(오른쪽)	115		
〈그림 40〉 저용량 메쉬모델을 삽입한 3D PDF. 3차원 메쉬모델(왼쪽)과 단면 보기(오른쪽)	116		
〈그림 41〉 ICF 형식의 안동 하회탈 메쉬모델	116		
〈그림 42〉 금동보살입상의 전후면(왼쪽)과 정밀 스캐닝 장면(오른쪽)	117		
〈그림 43〉 스캔데이터를 활용해 작성된 금동보살입상의 도면. 좌측면도(위)와 정면도(아래)	119		

## 1. 개요

### 1.1 목적

본 가이드라인은 문화유산을 보존하기 위한 기록과 실측기술로서의 3차원 스캐닝기술과 관련하여, 계획 수립부터 작업 과정과 결과물 산출까지의 표준화된 절차를 정의한 후 이를 체계적이고 효율적인 데이터 구축에 활용하는 것을 목적으로 한다. 본 가이드라인에서 명시된 권고 및 안내 사항은 문화유산 관련 사업에서 3차원 스캐닝기술을 사용할 때 적절하고 효율적으로 사용하기 위해 필요한 기술과 정보를 제공해 주는 역할을 수행한다.

### 1.2 기본 원칙

본 가이드라인에서 기술한 내용은 3차원 스캐너를 이용하여 문화유산의 기록과 정밀실측, 데이터베이스 구축을 목적으로 시행하는 각종 연구·용역사업에 적용될 수 있다. 문화유산을 대상으로 3차원 스캐닝을 실시하는 직접사업, 국고보조사업, 기금사업 등을 수행할 때는 사업의 대상과 범위를 분명하게 설정하고 본 가이드라인에서 해당하는 사항을 따르도록 한다. 다만, 다른 법령에 특별한 규정이 있는 경우에는 해당 법령이 정한 바에 따른다. 본 가이드라인을 사업에 적용할 때에는 문화유산 3차원 데이터의 획득, 최종 산출 결과물의 제작, 3차원 데이터의 품질 검사, 검수 등 가이드라인에서 정한 세부 절차를 적용하는 것에 유의해야 한다. 본 가이드라인은 3차원 스캐닝이 활용되는 문화유산 기록화 혹은 정밀실측사업이 주요 대상이므로, 본문에서 기술하는 여러 기준은 3차원 스캐닝기술로 문화유산을 가급적 상세하고 높은 품질로 디지털화하고 이를 바탕으로 산출물을 제작하는 것을 목표로 한다. 따라서 사업의 성격과 목적에 따라 본 가이드라인의 일부 절차를 달리 적용할 필요가 있다. 이에 대해서는 「3.1 사업의 범위 결정」에서 기술한다.

3차원 스캐닝을 구현하는 기술에는 여러 다른 방식이 있다. 본 가이드라인은 문화유산의 기록과 실측에 많이 활용되는, 지상에서 사용하는 광대역 스캐닝 및 정밀 스캐닝기술을 대상으로 한다. 이때 광대역 스캐닝은 지상에 세워 고정하는 스캐너 방식을, 정밀 스캐닝은 고정 방식 혹은 핸드헬드(hand-held) 방식을 주요 대상으로 한다. 항공 라이더(lidar) 혹은 무인 항공기(Unmanned Aerial Vehicle; UAV 또는 드론)를 이용한 3차원 스캐닝은 다루지 않는다.

3차원 스캐닝 외에도 다른 조사 방법과 기술들을 통해 문화유산의 3차원 정보를 획득할 수 있다. 최근 사진측량(photogrammetry)기술이 빠르게 발전하면서 사용이 간편하면서도 고품질의 결과물을 생성할 수 있는 소프

트웨어가 널리 보급되어, 문화유산의 3차원 디지털 기록이나 모델 생성에 유용하게 활용되고 있다. 그러나 사진측량기술의 특성상 원천 자료인 사진을 취득하는 과정과 사진의 품질에 따라 결과물인 3차원 데이터의 품질이 크게 좌우된다. 즉 기술 자체는 고품질의 데이터 구축을 지원함에도 데이터 구축 과정을 운용하는 작업자의 숙련도에 따라 데이터의 품질이 영향을 받음에 따라 결과 데이터의 정확도에 대해 신뢰도를 보장하기 어렵다. 사진측량기술을 이용한 작업 과정에 대한 내용은 본 가이드라인에는 포함하지 않는다. (사진측량기술에 대한 설명은 「6.6 용어 정의」에 있다.)

본 가이드라인에 기술된 내용은 일반 사항, 권고 사항, 지침을 포함하고 있다. 일반 사항은 기술과 활용에 대한 이해를 위한 내용이며, 권고 사항은 고품질 데이터를 구축하고 보다 효과적인 작업을 수행하기 위해 권고되는 내용을 포함한다. 지침은 사업에서 요구되는 결과물의 형식과 조건에 대한 내용으로서 필수적으로 준용해야 하는 내용을 포함한다.

### 1.3 가이드라인의 구성

본 가이드라인은 총 6장으로 구성되어 있다. 먼저 1장에서 가이드라인의 목적 및 기본 원칙을 담은 개괄적인 소개를 하고, 2장에서는 3차원 스캐닝 기술에 대한 이해를 증진하기 위한 일반적인 내용과 함께 직접적으로 관련이 있는 범위 내에서 기술의 분류, 하드웨어 및 소프트웨어의 소개 그리고 작업 과정에 대한 내용을 기술한다. 3장은 3차원 스캐닝사업의 발주와 준비를 위한 안내로서 3차원 스캐닝을 활용한 문화유산 기록화사업 및 정밀실측사업을 기획하고 발주하는 데 고려해야 할 사항들을 설명한다. 4장은 3차원 스캐닝을 수행하는 실무와 관련된 내용으로, 문화유산을 대상으로 하는 3차원 스캐닝 작업을 이해하고 고품질 결과물을 산출하기 위하여 필요한 고려 사항들을 다룬다. 5장은 최종 결과물을 제작하고 납품하는 데 고려해야 할 사항과 준수해야 할 지침을 다루고 있으며, 앞 장에서 설명하는 3차원 스캐닝사업의 발주와 수행 및 검수 단계에서 확인해야 할 사항들을 명시한다. 마지막으로, 6장은 부록으로서 문화유산 3차원 스캐닝사업을 계획하고 추진 및 납품하는 데 활용될 수 있는 각종 서식 작성 방법을 제공하고, 3차원 스캐닝과 관련된 용어, 3차원 스캐닝 하드웨어 및 소프트웨어 목록, 3차원 스캐닝 사례, 본 가이드라인의 개정판 작성을 위해 참고한 주요 참고자료 목록을 기술한다. 또한 워크시트 서식을 별첨으로 제공한다.

1.4 용어

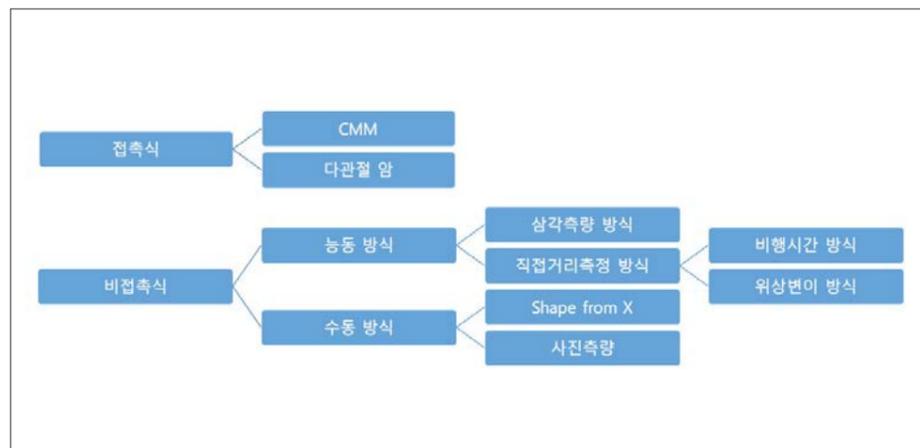
본 가이드라인에서 사용하는 3차원 스캐닝 관련 용어는, 국내외 학계와 실무에서 널리 사용되며 특히 국내 문화유산을 대상으로 한 3차원 스캐닝 실무에서 주로 사용되는 것을 우선적으로 선정했다. 용어의 정의는 과학기술 분야에서 통용되는 용어 본래의 광의(廣義)적·사전적 의미보다 문화유산의 원형 보존과 복원에 필요한 원천 데이터를 구축하기 위한 3차원 스캐닝 실무에서 통용되는 좁은 의미를 우선적으로 기술했다. 각 용어의 정의는 「6.6 용어 정의」에 수록했다.

2. 문화유산 3차원 스캐닝 일반

본 장에서는 3차원 스캐닝기술에 대한 이해를 돕기 위한 일반적인 내용을 다루며, 문화유산 3차원 스캐닝과 직접적으로 관련이 있는 범위에 한해 기술의 분류, 하드웨어와 소프트웨어, 작업 과정의 내용을 포함한다.

2.1 3차원 스캐닝 기술의 분류

1) 스캐닝 방식에 따른 분류



〈그림 1〉 스캐닝 방식에 따른 3차원 스캐너 분류

3차원 데이터를 획득하는 스캐닝 방식은 대상의 표면에 스캐너가 물리적으로 접촉하는 접촉식, 직접적인 접촉이 없이 이루어지는 비접촉식으로 크게 나눌 수 있다. 비접촉식은 스캐너에서 레이저나 광(光)을 직접 발사하여 3차원 데이터를 획득하는 능동 방식, 이미지 센서로 대상을 인식하여 3차원

데이터를 계산하는 수동 방식으로 나뉜다. 문화유산에 대해서는 훼손 위험이 없는 비접촉식이 적합하다. 본 가이드라인에서 대상으로 하는 스캐닝 방식은 비접촉식 능동 방식이며, 이는 다시 측정 방식에 따라 크게 삼각측량 방식과 직접거리측정 방식으로 나뉜다.

2) 스캐닝 거리에 따른 비접촉식 능동 방식 스캐닝의 분류

국내의 3차원 스캐닝 실무에서는 지상에서 사용하는 비접촉식 능동 방식 스캐닝을 스캐닝이 가능한 거리와 정밀도에 따라 일반적으로 광대역 스캐닝과 정밀 스캐닝으로 나눈다.

가. 광대역 스캐닝

광대역 스캐닝은 지상에서 레이저 스캐너로 규모가 크거나 멀리 떨어진 대상의 3차원 공간 정보를 취득할 수 있는 방식으로, 비행시간(飛行時間; time-of-flight) 방식이나 위상변이(位相變移; phase-shift) 방식과 같은 직접거리측정 방식에 해당한다. 일반적으로 스캐닝이 가능한 거리가 수십에서 수백 미터이고 수 킬로미터까지 스캐닝이 가능한 모델도 있어서 넓은 영역의 데이터 취득에 적합하다. 지상라이다 측량(terrestrial lidar survey), 지상레이저 스캐닝(terrestrial laser scanning) 또는 HDS(High Definition Surveying)이라고도 불린다.

나. 정밀 스캐닝

대상을 근거리(약 2.5m 이내)에서 스캐닝하는 방식으로서 광대역 스캐닝에 비해 점밀도(點密度; point density)와 정확도(accuracy)가 높다. 측정 방식으로는 삼각측량(三角測量) 방식이 대표적이다.

2.2 3차원 스캐너

3차원 스캐너는 3차원 스캐닝을 수행하는 기기로서, 비접촉식 능동 방식 3차원 스캐너의 구동 방식은 크게 비행시간 방식, 위상변이 방식, 삼각측량 방식으로 구분될 수 있다. 일반적으로 광대역 스캐너에는 비행시간 방식과 위상변이 방식이 있으며, 정밀 스캐너에는 삼각측량 방식이 널리 사용된다.

1) 구동 방식

가. 비행시간 방식

스캐너에서 대상으로 송출한 레이저광과 대상 표면에서 반사되어 스캐너에서 수신된 레이저광의 시간 차이를 측정하고, 이를 이용해 거리를 계산하는 방식이다. 계산된 거리와 레이저 송출 각도를 이용해 대상 표면의 측정 점의 좌표를 결정한다.

나. 위상변이 방식

위상변이 방식은 송출한 신호와 수신된 신호의 위상 차이를 분석해 거리를 계산한다. 레이저광은 주파변조되어 대상 표면에 송출되며, 반사된 광이 수신부에서 획득되면 송출된 레이저 파형과 반사된 레이저 파형 간의 위상 차이를 측정하여 시간 지연을 계산하고 이를 이용해 대상 표면의 측정 점의 좌표를 결정한다.

다. 삼각측량 방식

스캐너가 점이나 선, 패턴 형태의 광을 대상의 표면에 투영하면 이를 하나 또는 그 이상의 이미지 센서에서 감지하고, 센서 측정값과 내부 인자값으로부터 삼각측량 기법으로 대상 표면상 해당 점의 3차원 위치 좌표를 계산하는 방식이다. 이 방식은 가까운 거리에서 사용되며, 정확도와 점밀도가 매우 높다. 점 또는 선 형태의 레이저광을 투영하여 레이저광의 송출 각도와 고정된 베이스 길이를 삼각측량에 이용하는 방식, 측정 대상 물체에 일정한 패턴의 빛을 주사하고 대상 물체의 외곽에 투영되는 패턴을 센서에서 읽어 3차원 형상을 복원하는 구조광(構造光; structured light) 방식 등이 있다. 많이 사용되는 기기 형태는 삼각대 고정 방식, 다관절 암 고정(arm mounted) 방식, 핸드헬드 방식 등이 있다. 상용 제품으로 판매되고 있는 주요 3차원 스캐너 모델은 「6.5 3차원 스캐닝 하드웨어 및 소프트웨어 목록」에 수록되어 있다.

아래 <표 1>은 3차원 스캐닝시스템을 구동 방식에 따른 스캐닝 기기의 형태 별로 사용처, 정확도, 스캐닝 범위를 정리한 것이다.

<표 1> 스캐닝시스템과 사용처(출처: 3D Laser Scanning for Heritage)

스캐닝시스템		사용처	일반적 정확도 (mm)	일반적 스캐닝 범위 (m)
삼각측량 방식	회전판	소형 유물 복제품 제작	0.05	0.1 - 1
	다관절 암 고정 (arm mounted)	소형 유물 실험실 혹은 현장 복제품 제작	0.05	0.1 - 3
	삼각대 고정 방식	현장의 소형 유물 복제품 제작	0.1 - 1	0.1 - 2.5
	근거리 핸드헬드	소형 유물 실험실 복제품 제작	0.03 - 1	0.2 - 0.3
	이동식	건물 내부, 동굴 등 일반적이지 않은 장소	0.03 - 30	0.3 - 20
비행시간 방식	지상	건물 외부·내부 도면, 분석, 3D 모델	1 - 6	0.5 - 1000
	이동식(차량)	거리 조정, 고속도로, 철도 도면, 분석, 3D 모델	10 - 50	10 - 200
	무선항공측량	건물 지붕 경관, 고고학적 유적지 매핑(mapping) 및 3D 모델	20 - 200	10 - 125
	항공	대규모 유적지의 탐색 및 매핑	50 - 300	100 - 3500
위상변이 방식	지상	건물 외부·내부 도면, 분석, 3D 모델	2 - 10	1 - 300

2) 레이저의 안전성

레이저는 파장과 방출하는 에너지의 강도에 따라 분류되는 등급분류시스템을 갖추고 있으며, 등급에 따라 안전에 대한 기준이 달라진다. 특정 종류의 레이저는 눈에 노출되었을 때 위험할 수 있다. 이런 이유에서 레이저의 사용에 따른 잠재적인 위험을 피하기 위해 레이저를 기반으로 하는 스캐너는 사용 레이저의 안전성에 대한 정보를 가지고 있다. 따라서 작업자들은 작업할 때 항상 사용하는 레이저 스캐너의 등급에 대해 인지하고 있어야 한다. 특히 맨눈으로 레이저를 직접 보지 말아야 하는 등급의 레이저 스캐너를 사용할 경우, 작업자와 보행자들의 안전에 유의하여 작업을 수행하도록 한다.

### 2.3 3차원 스캐닝 소프트웨어

3차원 스캐닝 소프트웨어는 3차원 스캐닝 작업 과정에서 필요한 여러 기능을 제공하는 전용 소프트웨어다. 일반적으로 스캐너 제어, 점군데이터 처리, 메쉬·곡면 모델 생성, 텍스처 매핑 혹은 데이터와 프로젝트 관리를 처리하는 기능을 가지고 있다. 3차원 스캐너 제조회사나 전문 소프트웨어 개발사에서 판매하는 상용 소프트웨어 혹은 무료로 공개된 소프트웨어가 있다. 「6.5 3차원 스캐닝 하드웨어 및 소프트웨어 목록」에 주요 소프트웨어 목록이 기술되었다.

상용 소프트웨어는 일반적으로 고유의 파일 형식을 사용하는데, 납품 시에는 고유의 파일 형식 외에 표준 파일 형식을 별도로 제출하도록 한다. 이는 상호운용성이 높은 파일 형식을 사용하여 활용성과 지속적인 보존 가능성을 높이기 위함이다. 이에 대해서는 「5.2 파일명명(命名) 및 파일형식 지정 가이드라인」에서 기술한다.

### 2.4 업무 절차

3차원 스캐닝을 수행하는 공정은 크게 작업 계획 수립, 현장 작업, 스캔 데이터 후처리 단계로 이루어진다. 이는 3차원 스캐닝을 수행하는 일반적인 단계로서 각 공정 단계의 세부 업무는 스캐너 모델, 소프트웨어, 수행 기관에 따라 다를 수 있다. 그러므로 작업 계획을 수립할 때는 예비조사를 통해 작업 환경, 작업 일정, 스캐닝 방식, 스캐닝 장비, 인력 운영, 실무협의 방법 등을 면밀히 검토하여 반영한다. 현장 작업에서는 광대역 스캐닝 혹은 정밀 스캐닝에 의한 3차원 스캐닝 작업을 수행하고, 필요에 따라 기준점 측량, 관측, 매핑 출처 촬영 등의 작업을 수행한다. 현장 작업을 통해 구축한 데이터는 후처리 과정을 거치게 되며, 여기에는 여러 지점에서 스캐닝하여 획득한 여러 3차원 스캔데이터를 정렬하는 정합, 불필요한 노이즈 제거, 정렬된 스캔데이터를 하나의 데이터로 합치는 병합 및 매핑 등의 작업이 포함된다.

다음의 업무 절차도(節次圖)는 문화유산을 대상으로 3차원 스캐닝 작업을 수행할 때 필요한 절차를 단계적으로 도식화한 것이다. 문화재청과 소속 기관, 지자체 등 유관기관은 문화유산을 대상으로 한 각종 보존·복원·보수·정비·조사연구사업의 계획 단계부터 표준화된 업무 절차도를 적용할 수 있다. 본 업무 절차도는 고품질의 원천데이터를 구축하여 신뢰도 높은 데이터를 만들 수 있도록 산출 결과물을 체계적으로 관리하고 보존하는 데 활용되는 것을 목적으로 한다. 여기서 제시한 업무 절차도는 「문화유산 기록화사업 표준데이터 제작 가이드라인」(문화재청 훈령 제291호)에서 정한 데이터 구축 단계부터 적용될 수 있다.



〈그림 2〉 문화유산 3차원 스캐닝 업무 절차도

### 2.5 사진 측량

사진측량은 대상을 다른 위치로부터 중첩되도록 하여 촬영한 사진들로부터 대상의 3차원 형상 정보를 추출하는 기술로서 이미지 기반의 모델링 기법 중 하나다. 최근에는 디지털카메라를 이용하여 촬영한 사진 이미지 세트로부터 사진측량 전용 소프트웨어로 실측데이터를 취득하는 디지털 사진측량이 널리 사용되고 있다. 일반적으로 사용되는 사진측량 기법은 촬영 방식에 따라 크게 항공 사진측량과 근거리 사진측량으로 나눌 수 있다. 최근 사진측량 전용 소프트웨어는 일반 카메라를 사용하여 고품질의 3차원 모델을 쉽게 제작할 수 있는 장점을 제공함으로써 사진측량기술의 활용 폭을 넓히고 있다. 문화유산의 3차원 디지털 기록이나 모델 생성에도 단독 혹은 3차원 스캐닝과 병행하는 방식으로 활용되고 있다. 이를 통해 3차원 스캐닝이 가진 한계를 보완할 수 있다.

사진측량기술은 문화유산의 기록을 위한 데이터를 취득하는 데 있어 다음과 같은 장점이 있다.

- 사진 이미지가 가진 고품질의 색상 정보가 형상 정보에 자동으로 매핑됨으로써 사실적인 3차원 형상의 재현이 가능하다.
- 3차원 스캐닝과 같은 비접촉 간접 방식이므로 측정 도구나 사람 등의 접촉이 발생하지 않으며, 적외선 및 자외선이나 음파 등을 사용하지 않으므로 문화유산에 대한 물리적 훼손이 발생할 우려가 적다.
- 일반 디지털카메라를 사용하므로 장비가 소형 또는 경량이며, 전력 소비량이 적고 휴대성이나 이동성이 우수하다. 기구나 회전익 또는 고정익 소형 무인항공기에 부착할 경우 높은 구조물이나 지붕 상부의 측량이 가능하다.
- 시스템 구축 비용, 후처리에 투입되는 시간, 인력, 기술 등의 비용 발생 규모를 절감할 수 있다.

그러나 사진측량기술의 특성상 원천 자료인 사진을 취득하는 과정과 사진의 품질에 따라 결과물인 3차원 데이터의 품질이 크게 좌우되며, 최종 결과물만으로는 데이터의 품질과 정밀도를 검증하기 어렵다는 단점이 있다. 따라서 사진측량기술의 활용 여부와 범위는 사업의 목적과 상황에 따라 결정할 필요가 있다.

### 3. 사업의 발주와 준비

본 장은 문화유산의 기록과 실측을 위해 3차원 스캐닝기술을 사용하는 사업을 발주하는 기관의 입장에서 사업 담당자가 사업 발주와 준비 과정에서 고려해야 하는 사항을 다룬다. 여기에는 사업의 범위 및 산출물의 요건을 결정하고, 대상에 따라 스캐닝 방식을 결정하는 방법 그리고 그 과정에서 유의해야 하는 사항이 포함된다.

#### 3.1 사업의 범위 결정

문화유산을 대상으로 3차원 스캐닝을 활용하는 사업의 목적은 문화유산의 기록·실측으로부터 도면 작성, 콘텐츠 제작 등으로 다양하다. 이러한 사업에서 3차원 스캐닝에 요구되는 조건으로는, 스캐닝 결과로 산출되는 점군(點群; point cloud)데이터에서 인접한 점 사이의 간격인 점밀도(點密度)의 설정, 불필요한 데이터인 노이즈를 제거하는 정도, 컬러 데이터의 포함 여부, 점군데이터로부터 생성하는 삼각형 기반의 메쉬 모델 제작 여부 등이 있다. 이러한 요구 조건들은 사업 수행의 시간, 인력, 비용에 영향을 미치므로 사업의 목적, 대상, 예산을 고려해 범위와 수준을 결정하여야 한다.

본 가이드라인은 3차원 스캐닝을 활용한 문화유산 기록화사업 혹은 정밀 실측사업을 대상으로 한다. 기록화 혹은 정밀실측의 경우에는 가능한 한 높은 품질의 데이터를 산출하도록 하고, 산출 과정과 결과물에서의 주요 항목을 기록하도록 하며, 장기 보존을 고려한 납품 형식 지정을 목표로 한다. 그러므로 본 가이드라인에서 기술한 내용과 제공하는 각종 서식은 이러한 목적을 위한 것이다. 이와 달리 3차원 스캐닝이 도면이나 콘텐츠의 제작을 위한 보조적인 수단으로 사용되는 경우 기준을 달리할 수 있다. 예를 들어, 도면 제작만을 목적으로 하는 사업의 경우에는 정밀한 스캔데이터 구축을 하되 스캔데이터나 메쉬 모델 등의 납품은 불필요할 수 있다. 또한 콘텐츠를

제작하는 사업의 경우 대상의 모든 영역을 스캐닝하거나 높은 점밀도로 스캐닝하지 않아도 될 수 있다. 따라서 사업의 목적과 데이터 활용 계획에 따라 사업의 요구 조건을 결정하여야 한다. 사업의 범위와 이에 따른 3차원 스캐닝의 요구 사항을 결정하기 위하여 다음 사항을 체크하는 것이 도움이 된다.

〈표 2〉 사업 범위에 따른 3차원 스캐닝의 범위 결정 시 주요 체크 리스트 및 고려 사항

번호	체크 사항	고려 사항
1	사업의 목적이 문화유산 3차원 기록 혹은 정밀실측인가, 아니면 그에 준하는가	사업의 목적이 기록 혹은 정밀실측인 경우에는 본 가이드라인에서 제시하는 기준이 사업에 부합하므로, 가이드라인의 내용을 참고하여 사업 범위와 산출물의 납품 요건을 설정한다.
2	3차원 스캔데이터의 역할이 사업의 주요한 최종 결과물인가, 아니면 도면이나 콘텐츠와 같은 다른 산출물의 보조적인 도구인가	3차원 스캔데이터가 주요 결과물로 제출되어야 하는 경우, 대상 문화유산의 전체 영역을 빠짐없이 스캐닝하도록 한다. 도면이나 콘텐츠 제작의 보조적역할인 경우 필요한 부분만 스캐닝하거나 점밀도를 너무 높지 않게 할 수 있으며, 후처리의 모든 과정을 수행하지 않을 수도 있다.
3	3차원 스캔데이터가 문화유산 3차원 기록 혹은 정밀실측 수준의 품질을 필요로 하는가	3차원 스캔데이터의 품질 수준이 기록 및 실측의 수준일 경우에는 점밀도를 높게 설정하도록 한다.
4	3차원 스캔데이터에 기반을 둔 여러 형식의 산출물을 획득하기 위한 예산이 사업비에 고려되어 있는가	사업비를 고려하여 산출물의 범위, 형식, 조건을 적절하게 결정하도록 한다.

#### 3.2 대상의 특징에 따른 스캐닝 방식 결정

사업의 대상과 목적에 따라 스캐닝 방식, 점밀도 등을 결정해야 할 필요가 있다. 스캐닝 방식은 사업 수행기관을 선정한 후 대상에 대한 사전 조사 과정을 통해 더욱 구체화되기도 한다. 크게 부동산 문화유산과 동산 문화유산으로 나뉘어서 대상 문화유산의 성격과 여러 결정 요소에 따라 광대역 스캐닝 방식과 정밀 스캐닝 방식 중 적합한 방식을 채택할 수 있다.

##### 1) 스캐닝 방식 결정 요소

스캐닝 방식을 결정할 때는 대상 문화유산의 전체 규모와 형태의 복잡성 그리고 조각의 세밀함과 접근성 등을 고려하여야 하고, 광택이나 표면색에 따라 스캐너의 방식이나 사양을 달리 정할 수 있다.

스캐닝 방식을 결정할 때는 문화유산의 형태, 규모, 중요한 형상의 특징 등을 고려하여 광대역 혹은 정밀 스캐닝 방식 중에서 결정하여야 한다. 예를 들어 스캐닝의 범위가 커지면 데이터의 크기가 커지고 후처리 작업에 소요되는 인력과 시간이 늘어나며, 이는 산출 결과물 제작에 한계로 작용할 수 있다. 따라서 문화유산의 특징, 사업의 목적과 성격 등에 대한 면밀한 분

석이 요구된다. 또한 대상 문화유산의 형태와 주요한 형상 특징을 3차원 데이터로 취득하는 데 필요한 최소한의 거리는 점밀도를 결정하는 요소가 된다. 즉 데이터로 획득되어야 하는 형상 특징의 크기보다 점밀도가 작아야 해당 부분의 형태가 데이터에 나타나게 된다. 일반적으로 3차원 스캔데이터의 점밀도가 높을수록 데이터의 완성도 또한 높아지므로 대상 문화유산에 대해 정밀한 데이터의 취득이 필요한 경우 이러한 점을 고려하여야 한다. 다만, 요구 점밀도는 스캐닝 방식이 갖는 최소 점밀도 수준보다 높지 않아야 하며, 불필요하게 높게 설정되지 않는 것이 좋다. 지나치게 높게 설정된 점밀도는 데이터의 크기를 크게 하고 후처리 작업을 어렵게 하므로 사업 목적에 적절하게 설정하는 것이 중요하다.

2) 광대역 스캐닝

광대역 스캐닝은 주로 건축물 및 탑과 같은 건조물이나 사적, 발굴지와 같은 비교적 큰 규모의 문화유산에 활용된다. 적용 사례로는 창덕궁, 월정사, 수원화성, 수덕사 대웅전, 도갑사 해탈문, 석가탑, 회암사지 등이 있다. <그림 3>은 광대역 스캐닝이 적합한 문화유산의 예시를 보여준다. 규모가 큰 문화유산이나 넓은 영역을 대상으로 빠르게 데이터를 획득하는 데 용이하며, 특히 석조·목조·건조물 문화유산의 3차원 데이터와 더불어 주변 지형 데이터를 획득할 수 있고, 지리 정보를 함께 획득할 경우 이를 3차원 데이터와 연계함으로써 활용폭을 넓힐 수 있다는 장점이 있다. <표 3>은 광대역 스캐닝 방식을 활용할 수 있는 문화유산의 사례와 예시를 보여준다.

<표 3> 문화유산의 성격별 광대역 스캐닝 방식 결정(예시)

구분	점밀도	문화유산의 성격	예시
광대역 스캐닝	3mm - 10mm	궁, 성, 절과 같이 여러 문화유산으로 구성되어 균을 이루는 문화유산	창덕궁, 월정사, 수원화성
		건물, 탑과 같은 건조물과 대형 조각	수덕사 대웅전, 도갑사 해탈문, 석가탑
		가마터, 절터와 같은 유적지 및 발굴지	황룡사지, 회암사지

3차원 스캐닝을 통해 생성되는 점군데이터는 각 점의 위치 좌표, 컬러, 반사광의 세기와 같은 속성을 포함할 수 있다. 광대역 스캐너에 내장된 카메라가 있는 경우 점 데이터는 스캐닝 시 내장카메라에 의해 획득된 컬러를 가질 수 있다. 대상의 컬러가 아닌, 스캐너에서 수신한 반사광의 세기(intensity)에 따라 소프트웨어에서 설정한 컬러로 데이터가 표현되기도 한다.

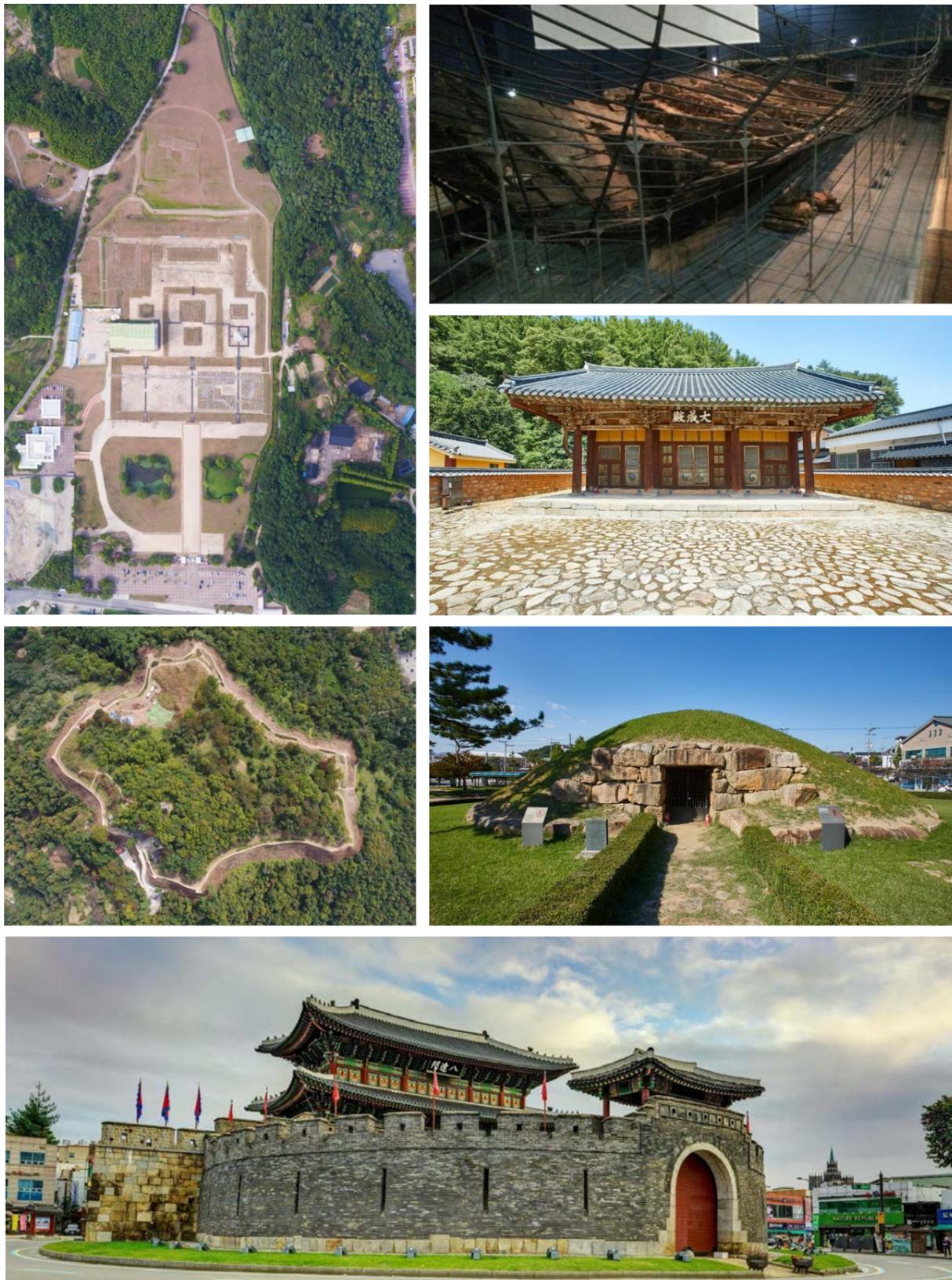
점군데이터에 포함된 컬러는 시각적으로 사실감을 높이거나 부재 구분에 도움이 되지만, 특별한 사용 목적이 있지 않으면 반드시 점군데이터에 별도의 컬러 매핑을 할 필요는 없다.

부동산 문화유산인 경우, 점군데이터를 절대공간좌표계에 배치하여 대상 문화유산의 지리적 위치 정보를 함께 기록하는 것이 유용하다. 이 경우 절대공간좌표를 획득하기 위한 기준점 측량을 함께 실시하여 스캔데이터와 함께 납품하도록 한다.

광대역 스캐닝은 내외부 환경 조건에 따라 제약이 있기 때문에 여러 환경적 요소를 감안하여 작업 환경을 구축해야 한다. 스캐닝이 어려워지거나 데이터에 품질 저하가 발생할 수 있는 현장의 작업 환경 요소는 다음과 같다.

- ① 스캐닝 작업 공간이 좁거나 복잡한 경우
- ② 대상의 상부를 스캐닝하기 위해 충분한 높이에 도달하기 어려운 경우
- ③ 대상의 규모가 매우 작거나 세밀한 부분이 포함된 경우
- ④ 대상에 레이저가 닿기 어려운 영역이 포함된 경우
- ⑤ 대상에 날카로운 모서리가 포함된 경우
- ⑥ 대상 표면에 광택(예: 금장, 거울)이나 검은색이 포함된 경우
- ⑦ 대상의 재질이 투명(예: 유리) 혹은 반투명(예: 대리석)한 경우
- ⑧ 대상에 젖은 부분이 있는 경우
- ⑨ 강한 바람이 불거나 공기 중 습도가 높은 경우와 같은 환경적 요인
- ⑩ 허가를 득하기 못한 경우(예: 실 거주 공간)와 같은 기타 요인

이와 같은 작업 환경에서는 스캐닝이 아예 불가능할 수 있고, 스캐닝이 가능하더라도 데이터의 품질이 떨어질 수 있으며, 비계(飛階)와 같은 부가적인 장치를 필요로 하는 경우에는 비용이 추가될 수 있다. 따라서 사업 발주 시 이러한 점을 인지하여야 하며, 사업을 선정할 후에도 수행기관과 협의를 통해 범위를 명확하게 구분하여야 한다.



〈그림 3〉 광대역 스캐닝이 적합한 문화유산의 예시(왼쪽 위부터 시계방향: 익산 미륵사지, 전남 목포 신안선, 장수 향교대성전, 창녕 석빙고, 수원 화성 팔달문, 오산 독산성과 세마대지 성곽 및 발굴지)

### 3) 정밀 스캐닝

광대역 스캐닝 방식보다 정확도 및 점밀도가 높은 정밀 스캐닝 방식은 대상 문화유산을 가까운 거리에서 세밀하게 스캐닝할 수 있다. 주로 삼각측량 방식의 스캐너가 이에 해당된다. 일반적으로 점밀도를 3mm 이하로 하여 스캐닝하며, 대상에 따라 1mm 이하로 스캐닝하기도 한다. 대상 문화유산이 가진 세밀함에 따라 요구되는 점밀도를 결정한다.

정밀 스캐닝 방식은 소금동불(小金銅佛), 토기, 장신구와 같이 크기가 부피의 규모가 비교적 작은 문화유산에 적용이 가능하며, 마애불, 암각화, 탑, 탑비와 같이 규모가 크더라도 세밀한 조각이 포함되어 있는 경우도 적용 대상이 된다. 〈표 4〉는 정밀 스캐닝 방식을 활용할 수 있는 문화유산의 사례와 예시를 보여준다.

〈표 4〉 문화유산의 성격별 정밀 스캐닝 방식 결정(예시)

구분	점밀도	문화유산 성격	예시
정밀 스캐닝	1mm - 3mm	조각, 공예품	한송사 석조보살좌상, 자각루
		조각이 얇거나 세밀한 마애불, 암각화, 탑 표면 조각	경주남산칠불암마애불상군, 연곡사동승탑
		건조물에 포함된 단집, 윤장대, 공포, 난간이나 다리의 석물과 같은 세부 문화유산	창덕궁 금천교 석물
	1.0mm 이하	소규모의 조각, 공예품	소금동불, 동경, 인장
		조각이 얇거나 세밀한 문화유산	경판, 송광사 불감, 문경, 양부일구, 은입사귀면문철퇴
		마모가 심해 남아있는 조각이 희미한 문화유산	북각천상열차분야지도각석

건축물의 단집이나 윤장대, 공포를 비롯해 난간이나 다리에 있는 석조각과 같은 건조물의 세부 부재, 구조물 등에도 적용할 수 있다. 이와 같은 경우 점밀도는 1~3mm 정도로 설정한다. 작은 금동불이나 동경, 인장 등과 같은 소규모의 조각이나 공예품을 비롯해 경판이나 청동다뉴세문경과 같이 조각이 얇거나 세밀한 문화유산, 마모가 심해 남아 있는 조각이 희미한 문화유산의 경우는 더욱 정밀한 스캐닝이 요구된다. 이와 같은 경우의 점밀도는 1.0mm 이하로 설정한다.

〈그림 4〉는 정밀 스캐닝이 적합한 유물의 예시이며, 〈그림 5〉는 정밀 스캐닝 작업 장면을 보여준다.



<그림 4> 정밀 스캐닝이 적합한 유물의 예시(왼쪽 위부터 시계방향: 경남 창원 함안 성산산성 출토 고대목간, 경주구 황동금제여래좌상, 토우 장식장경호, 철제약사여래좌상, 송례문 안초공)



<그림 5> 경주 남산 칠불암마애불상군 정밀 스캐닝(사용기종: Konica-Minolta Vivid 910)

정밀 스캐닝 과정에서 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

- ① 야외에서 스캔할 때 구동 방식으로 인해 직사광선의 영향을 받는 스캐너의 경우에는 별도의 공간을 만들어 스캐닝하거나 해가 뜨기 전 혹은 해가 지고 나서 작업을 해야 한다.
- ② 스캐닝 작업 시 일반적으로 여러 번에 걸쳐 스캐닝하고 여러 데이터를 정합하게 되는데, 대상이 크거나 넓은 경우에는 정합 후 전체적인 형태에서 왜곡이 발생할 수 있다. 이를 보완하기 위해 광대역 스캐닝으로 해당 영역의 데이터를 획득하고, 이를 정밀 스캔데이터 정합에 활용할 수 있다. 이 경우에는 보조적으로 사용하는 광대역 스캔데이터는 점밀도 등의 스캔데이터 구축 기준을 따르지 않아도 된다.
- ③ 스캐닝 작업 시 스캐너는 고정되어 있어야 하므로 외부에서 스캐닝 작업 시 강한 바람이나 바닥의 진동, 흔들림 등을 피해야 한다.

정밀 스캐닝이 어려워지거나 데이터의 품질 저하가 발생할 수 있는 현장의 작업 환경 요소는 다음과 같다.

- ① 스캐닝 작업 공간이 좁거나 복잡한 경우
- ② 대상에 레이저가 닿기 어려운 영역(예: 입구가 좁은 병 모양의 도자기)이 포함된 경우
- ③ 대상에 날카로운 모서리가 포함된 경우
- ④ 대상 표면에 광택(금장, 거울)이나 검은색이 포함된 경우
- ⑤ 대상의 재질이 투명(예: 유리) 혹은 반투명(예: 대리석)한 경우
- ⑥ 대상에 천 재질이 포함된 경우
- ⑦ 대상에 젖은 부분이 있는 경우
- ⑧ 스캐닝 과정 중 전체 스캐닝을 수행하기 위해 대상을 움직여야 하는 과정에서 대상의 형태가 변형(예: 휘어짐)되는 것을 피할 수 없는 경우
- ⑨ 강한 바람이 불거나 공기 중 습도가 높은 경우와 같은 환경적 요인
- ⑩ 허가를 득하지 못한 경우(예: 실 거주 공간)와 같은 기타 요인

정밀 스캐닝은 한 번에 스캐닝 할 수 있는 영역이 좁아 문화유산의 규모가 클 경우 작업시간이 오래 걸리며, 형상이 복잡하고 규모가 클수록 데이터의 용량이 커져서 후처리에 어려움이 있을 수 있다. 경우에 따라서는 소프트웨어가 전체 스캔데이터의 크기를 감당하기 어려울 수 있으므로, 불가피한 경우 취득한 정밀 스캔데이터를 부분적으로 나누어 정합하는 것도 고려할 수 있다. 따라서 문화유산의 규모나 복잡도가 큰 경우 이러한 점을 고려하여 점밀도 혹은 데이터 후처리 방안에 대한 결정을 신중하게 하도록 한다.

#### 4) 광대역 스캐닝과 정밀 스캐닝 병행 방식

비교적 규모가 큰 문화유산이라도 정밀한 데이터 취득이 필요한 부분이 포함된 경우에는 광대역 스캐닝 방식과 정밀 스캐닝 방식을 병행하여야 한다. 예를 들면, 경주 칠불암 마애불상군은 건축 1동 규모의 큰 문화유산이기 때문에 기준점 측량을 포함한 광대역 스캐닝 방식이 적합하나, 세밀한 불상 조각의 데이터를 함께 취득하기 위해서는 불상 조각에 대해 정밀 스캐닝 방식을 병행하는 것이 바람직하다. 석탑에 발생한 균열과 같이 정밀한 데이터를 획득해야 하는 특이 사항이 있는 경우에도 해당 부분에 대해 일부 정밀 스캐닝을 수행하도록 할 수 있다.



〈그림 6〉 광대역 스캐닝과 정밀 스캐닝을 복합적으로 사용하기에 적합한 문화유산의 예시(왼쪽부터 시계방향: 경주 단석산 신선사 마애불상군, 원주 법천사지 지광국사 탑비, 예천 용문사 윤장대, 봉화 북지리 마애여래좌상)

#### 5) 환경과 재질의 특성에 따른 스캐닝 방식

작업 공간 및 대상 문화유산의 표면적 특성으로 인해 스캐닝이 어려운 부분이 있는 경우, 이러한 특성에 강건한 스캐닝 방식과 스캐닝 장비를 활용할 수 있다. 예를 들어, 스캐닝 작업 공간이 협소한 부분의 경우(예: 순종

황후어차 내부, 천왕문의 사천왕상 측면과 배면, 대규모 불상 내부 등)에는 핸드헬드 스캐너를 사용할 수 있다. 또한 도자기나 개금불상과 같이 대상의 표면에 광택이 심한 경우(예: 상원사문수동자좌상, 고려청자, 순종황후어차 외부 등) 혹은 표면이 검은색에 가까운 경우(예: 해인사 고려대장경판 등)에는 입체 스캐너(stereoscopic scanner)와 같은 수동 방식의 스캐너 혹은 청색 레이저를 사용하는 스캐너가 효과적일 수 있다. 사업 수행기관은 가능한 경우 대상 특성에 따라 스캐닝 방식을 복합적으로 활용해 볼 수 있다.

#### 6) 광대역 스캐닝과 정밀 스캐닝 방식의 적용 사례

일반적으로 광대역 혹은 정밀 스캐닝과 같은 스캐닝 방식을 결정하는 기준은 대상의 규모, 세밀한 형상의 포함 여부 등이다. 그 외에도 구체적인 스캐닝 방법을 결정하기 위해서는 대상과 현장의 상황을 검토해야 하는데, 조각의 깊이나 너비, 문양, 명문, 접근성 및 광택의 정도 등이 이에 해당한다. 이러한 판단 기준과 예시는 〈표 5〉와 같다.

〈표 5〉 스캐닝 작업에 고려해야 할 문화유산의 주요 특성과 예시

특성	정도	해당 내용 및 예시
문양·명문 조각의 깊이·너비	소	조각의 깊이가 얕거나 너비가 좁아 세밀한 경우 예) 비문, 목판, 은입사문, 인장 등
	중	조각이 두드러져 있는 경우 예) 문양전, 토기, 불상 등
	대	조각의 규모가 큰 경우 예) 건조물 등
접근성	양호	접근성이 용이한 경우 예) 상하, 사방으로 접근이 용이한 경우
	보통	공간 협소 등 접근에 다소 어려움이 있는 경우 예) 절벽에 위치하거나 대상 문화재와 주변 환경의 거리가 좁은 경우 등
	불가	접근이 보존에 영향을 주는 경우 예) 문화재 내부 등
광택 (반사 정도)	고	광택이 매우 심한 경우 예) 최근에 개금한 불상이나 옷칠한 문화유산 등
	중	직사광선이나 조명 없이도 광택이 있는 경우 예) 도자기나 개금불상 등
	저	직사광선이나 조명에 반사가 약간 있는 경우 예) 청동제 문화재나 광택이 있는 석조물 등
	무	광택이 거의 없는 경우 예) 기와, 전, 목판 등

〈표 6〉과 〈표 7〉은 3차원 스캐닝을 이용한 기록화 사업 사례에서 대상의 특성과 이에 따른 스캐닝 방식을 보여준다. 각각 부동산 문화유산, 비고정형 동산 문화유산에 대한 사례이며, 스캐닝 방식을 결정하는데 있어 주요한 요소인 대상의 형태적 특성과 작업 시 고려할 특성을 보여준다.

〈표 6〉 부동산 문화유산의 스캐닝 방식 적용 사례

번호	문화재 명	특성		작업시 고려할 특성			스캐닝 방식	기준점	비고
		규모	문양·명문 조각 깊이·너비	광택	표면색	접근성			
41	국보 제225_호 창덕궁 인정전	대	소	무	다양	양호	광대역	○	규모가 크고, 건축 문양 정밀스캐닝 불필요
52	국보 제49_호 예산 수덕사 대웅전	대	소	무	다양	양호	광대역	○	규모가 크고, 건축 문양 정밀스캐닝 불필요
63	국보 제50_호 영암 도갑사 해탈문	대	소	무	다양	양호	광대역	○	규모가 크고, 건축 문양 정밀스캐닝 불필요
74	사적 제424_호 대한성공회 강화성당	대	소	무	다양	양호	광대역	○	규모가 크고, 건축 문양 정밀스캐닝 불필요
85	사적 제136_호 강화 참성단	대	소	무	회색	보통	광대역	○	
96	사적 제1_호 경주 포석정지	대	소	무	회색	양호	광대역	○	
7	보물 제111호 담양 개선사지 석등	중	소	무	회색	양호	광대역+정밀	○	대상주변 광대역
8	보물 제504호 영광 신천리 삼층석탑	소	무	무	회색	양호	광대역+정밀	○	핸드헬드 정밀 스캐너 사용, 광대역으로 석탑과 주변 스캐닝
9	보물 제17호 충주 정토사지 범경대사탑비	대	소	무	회색	양호	광대역+정밀	○	핸드헬드 정밀 스캐너 사용, 광대역으로 탑비와 주변 스캐닝
10	보물 제28호 김제 금산사 당간지주	중	중	무	회색	양호	광대역+정밀	○	
101	국보312_경주남산칠불암 마애불상국보 제201호 봉화 복지리 마애여래좌상	대	중대	저무	회색	보통	정밀광대역	○	조각이 세밀하지 않아 정밀스캐닝 미수행

번호	문화재 명	특성		작업시 고려할 특성			스캐닝 방식	기준점	비고
		규모	문양·명문 조각 깊이·너비	광택	표면색	접근성			
12	국보 제199호 경주 단석산 신선사 마애불상군	대	중	무	회색	보통	광대역+정밀	○	
13	보물 제1762호 창덕궁 금천교	대	중+소	무	회색	양호	광대역+정밀	○	
14	국보 제198호 단양 신라 적성비	중	대+소	무	회색	양호	광대역+정밀	○	
15	보물 제605호 고려 장기리 암각화	대	대+중	무	회색	양호	광대역+정밀	○	

〈표 7〉 비고정형 동산 문화유산의 스캐닝 방식 적용 사례

번호	문화재 명	특성		작업시 고려할 특성			스캐닝 방식	비고
		규모	문양·명문 조각 깊이·너비	광택	표면색	접근성		
1	보물 제839호 신법 지평일구	소	소	저	갈색	양호	정밀	
2	보물 제860호 비격진천리	소	소	저	갈색	양호	정밀	
3	보물 제1152호 경주 죽동리 청동기 일괄	소	소	저	흑색 녹색	양호	정밀	핸드헬드 스캐너
4	보물 제1475호 안압지 출토 금동판 불상 일괄	소	소	저	갈색	양호	정밀	핸드헬드 스캐너
5	보물 제148호 공주 중동 석조	중	중	저	회색	양호	정밀+광대역	주변 광대역 스캐닝
6	국보 제58호 청양 장곡사 철조약사여래좌상 및 석조 대좌	대	중+소	중	금색 회색	양호	정밀+광대역	주변 광대역 스캐닝
7	국보 제229호 창경궁 자격루	대	중	저	녹색 회색	양호	정밀+광대역	주변 광대역 스캐닝
8	보물 제837호 복각천상열차분아지도 각석	중	대	무	회색	양호	정밀+광대역	정밀 스캔데이터 정합 시 광대역 스캔데이터 복합적 활용

번호	문화재 명	특성		작업시 고려할 특성			스캐닝 방식	비고
		규모	문양·명문 조각 깊이·너비	광택	표면색	접근성		
9	보물 제1726호 화순 쌍봉사 목조지장보살삼존상 및 시왕상 일괄/지장보살상	대	중	중	금색	양호	정밀	
10	보물 제582호 월인석보 목판	소	대	무	흑색	양호	정밀	
11	국보 제42호 순천송광사 목조삼존불감	소	대	무	갈색	양호	정밀	
12	보물1444_은입사귀면 문철퇴	소	대	고	은색 흑색	양호	정밀	
13	통일신라 귀면와	소	중	무	흑색	양호	정밀	
14	청자 사자장식 향로	소	중	저	청색	양호	정밀	
15	문정왕후 어보	소	소	고	금색	양호	정밀	
16	등록 제319호 순종어차	대	중	고	다양	불가	정밀	핸드헬드 스캐너
17	보물 제845호 앙부일구	소	대	중	흑색	양호	정밀	
18	어좌(국립고궁박물관 소장)	중	중	고	적색	양호	정밀	
19	이하응 인장(국립고궁 박물관 소장)	소	대	무	갈색 적색	양호	정밀	

### 3.3 제안 요청서 작성

제안 요청서 혹은 과업 지시서에 3차원 스캐닝과 관련한 요구 사항을 작성할 때, 다음 사항을 반드시 명시해야 한다.

#### ① 대상 문화유산

사업의 대상인 문화유산을 명시하며, 3차원 스캐닝의 직접적인 대상이 되는 문화유산을 구체적으로 명시하도록 한다.

#### ② 3차원 스캐닝의 범위

3차원 스캐닝의 범위는 대상 문화유산을 모두 기록하는 것을 전제로 하며, 이 과정에서 데이터에 발생하는 불필요한 노이즈는 후처리 과정에서 삭제하는 것을 원칙으로 한다. 대상 문화유산의 일부 영역만이 그 범위에 해당하는 경우, 대상 문화유산을 명시하는 것만으로 범위가 분명하게 확정되지 않는 경우, 주변 환경을 함께 기록할 필요가 있는 경우, 특정 영역을 특별히 정밀하게 스캐닝할 필요가 있는 경우 등의 예외적인 상황이 있을 때는 3차원 스캐닝의 범위를 더욱 구체적으로 명시하는 것이 바람직하다.

#### ③ 3차원 스캐닝의 방식

앞서 「3.2 대상의 특징에 따른 스캐닝 방식 결정」에서 기술한 내용을 바탕으로 3차원 스캐닝 방식을 결정하고 이를 명시한다. 사업자 선정 후 사업자는 대상 문화유산에 대한 예비조사를 통해 작업 계획을 수립하고, 이 과정에서 결정된 스캐닝 방식 등이 제안 요청서와 다를 경우에는 담당 공무원에게 반드시 보고한 후 이에 대해 협의해야 한다.

#### ④ 점밀도

3차원 스캐닝 방식과 대상의 특징, 사업의 목적을 고려하여 점밀도를 결정한다. 점밀도를 지나치게 작게 할 경우에는 데이터의 용량이 너무 커져서 운용이 어려워지고, 너무 크게 할 경우에는 세밀한 형상을 획득할 수 없게 되는 문제가 생길 수 있다. 따라서 사업에서의 요구 점밀도는 스캐너의 가장 높은 사양을 기준으로 하는 것이 아니라 대상 문화유산의 규모와 3차원 스캐닝을 통해 획득하고자 하는 특징의 최소 크기를 고려하여 결정하는 것이 바람직하다. 요구 점밀도를 결정하는데 있어 대상과 스캐닝의 방식에 따라 일반적인 예시를 제시한 <표 2>, <표 3>을 참고할 수 있다.

#### ⑤ 최종 납품 결과물과 각 결과물별 요구 사항

최종 납품 결과물의 리스트와 각 결과물에 대해 파일 형식, 요구 사항을 구체적으로 명시한다.

제안 요청서 혹은 과업 지시서에 3차원 스캐닝 작업이나 산출물과 관련한 내용을 기술하는 예시를 「6.1 제안요청서 작성 예시」에 수록했다. 해당 내용은 제시 가능한 내용의 예시로서, 발주기관의 요구 사항, 대상 문화유산의 특성, 사업의 특정한 목적에 따라 추가 혹은 수정하여 달리 제시될 수 있다.

## 4. 문화유산 3차원 스캐닝 실무

본 장은 문화유산을 대상으로 하는 3차원 스캐닝 작업을 이해하고 고품질의 결과물을 산출하기 위해 고려해야 할 사항을 다루며, 3차원 스캐닝이 포함된 문화유산의 기록화·실측사업을 관리·수행하는 데 있어 참고가 될 수 있도록 하는 것을 목적으로 한다. 본 작업 과정은 3차원 스캐닝으로 작업하는 일반적인 단계로서 3차원 스캐너 모델, 사용 소프트웨어, 수행기관 등에 따라 다를 수 있다.

### 4.1 작업 계획의 수립과 사전조사

작업 계획을 수립할 때는 예비조사를 통해 스캐닝 대상과 환경을 분석하고, 이를 토대로 조사 방식과 장비, 인력 운영, 실무협의 방법 등을 결정한다.

작업 계획 수립 시 고려 사항은 다음과 같다.

- ① 작업 대상 문화유산에 관한 예비조사를 실시한다.
- ② 예비조사 시 작업 대상 문화유산의 전체 규모, 재원, 위치, 인문, 지리적·자연적 환경 요소 등을 확인한다.
- ③ 작업 대상 문화유산과 주변 환경 등을 고려하여 가장 적합한 스캐닝 방식과 장비를 결정한다.
- ④ 점밀도는 작업 대상 문화유산의 형상이나 조각의 세밀함, 보존 상태 등을 고려하여 선정한다.
- ⑤ 현장 작업 시 필요한 작업 공간을 사전에 확인하여 작업 대상 문화유산의 안전과 효과적인 작업 환경을 확보하여야 한다.
- ⑥ 기준점 측량을 함께 실시하는 경우에는 스캐닝하는 위치를 감안하여 기준점 위치를 사전에 선정한다.
- ⑦ 문화유산 주변 현황의 스캐닝 계획은 물론 장애물로 인해 자료를 획득하기 곤란한 스캐닝 영역이 생기지 않도록 사전에 점검하고 스캐닝 계획에 반영한다.
- ⑧ 문화유산 관계 전문가의 컨설팅 또는 실무협의 일정, 방법 등도 사전에 협의하여 계획 수립 시 반영한다.

### 4.2 현장에서의 3차원 스캐닝 작업

#### 1) 3차원 스캐닝

작업 계획 단계에서 결정한 스캐닝 방식에 의거해 광대역 스캐닝, 정밀 스캐닝 혹은 두 가지를 혼용한 방식으로 현장에서 스캐닝을 수행한다.

광대역 스캐닝 시 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

- ① 작업 대상 문화유산에 대한 전체적인 3차원 데이터를 구축하기 위해, 여러 번에 걸쳐 스캐닝하여 구축되는 전체 스캔데이터가 모든 영역을 포함할 수 있도록 각 스캐닝 위치를 정한다.
- ② 부재가 많고 구조가 복잡한 문화유산의 경우, 스캐닝이 되지 않는 영역이 발생하지 않도록 여러 지점에서 중복하여 스캐닝한다.
- ③ 불가피하게 스캐닝을 할 수 없는 부분이 있는 경우, 사업 담당자와 협의를 거쳐 범위를 결정한다.
- ④ 여러 번에 걸쳐 구축된 스캔데이터를 정합하기 위해 데이터 간에 충분히 중첩이 되도록 스캐닝 위치를 정한다.
- ⑤ 정합점과 검사점을 설정하기 위해 표지(target)를 사용하는 경우에는 설치 지점을 워크시트에 정확히 기록한다.
- ⑥ 스캐너에서 송출하는 레이저가 대상의 표면에 도달하는 입사각이 작거나 스캐닝 거리가 먼 경우, 데이터의 품질이 저하되고 점밀도가 커지게 되므로 각 스캐닝 위치를 결정할 때 이를 고려하도록 한다.
- ⑦ 스캐닝 지역의 좌표계와 측량기준점 등의 공간정보 위치 기준을 확인한 후 측량기준점상에서 스캐닝하며, 문화유산의 주변 환경도 충분히 스캐닝한다.
- ⑧ 풍속 8.0~10.7m/s(흔들바람) 이상의 강한 바람이 불 경우에는 스캐닝 작업을 중단하고, 바람이 잦아진 후 스캐닝 작업을 실시한다. 특히 스캐너가 높이 올라갈수록 유의하여야 한다.
- ⑨ 현장조사 과정에서 획득된 모든 정보는 워크시트(「6.부록」의 별첨 서식 참고)에 꼼꼼히 기록하여야 하고, 데이터에 대한 자체 검수(1차)를 병행하여 실시한다.

정밀 스캐닝 시 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

- ① 작업 대상 문화유산에 대한 전체적인 3차원 데이터를 구축하기 위해, 여러 번에 걸쳐 스캐닝하여 구축되는 스캔데이터가 가급적 모든 형상을 포함할 수 있도록 각 스캐닝의 방향을 정한다.
- ② 형상이나 구조가 복잡한 문화유산의 경우, 스캐닝이 되지 않는 영역이 발생하지 않도록 여러 각도에서 충분히 스캐닝한다.
- ③ 불가피하게 스캐닝을 할 수 없는 부분이 있는 경우, 사업 담당자와 협의를 거쳐 범위를 결정한다.
- ④ 여러 번에 걸쳐 구축된 스캔데이터를 정합하기 위해 데이터 간에 충분히 중첩이 되도록 스캐닝 방향을 정한다.

- ⑤ 스캐너에서 송출하는 레이저가 대상의 표면에 도달하는 입사각이 작거나 스캐닝 거리가 먼 경우, 데이터의 품질이 저하되고 점밀도가 커지게 되므로 각 스캐닝 방향과 거리를 결정할 때 이를 고려하도록 한다.
- ⑥ 규모가 큰 석탑이나 건축물과 같이 높이에 따른 제한이 있는 경우는 비계와 같은 안전구조물을 설치하고 스캐닝한다.
- ⑦ 안전구조물을 설치할 때 조사자와 작업 대상 문화유산의 안전을 비롯한 최적의 스캔데이터를 취득할 수 있는 조건을 고려한다.
- ⑧ 외부에서 스캐닝 작업 시 풍속 8.0~10.7m/s(흔들바람) 이상의 강한 바람이 불 경우에는 스캐닝 작업을 일시 중단하고, 바람이 잦아진 후 작업을 재개한다.
- ⑨ 조사자는 원시데이터의 이해와 분석을 위해 현장에서 이뤄지는 조사의 내용을 워크시트(「6.부록」의 별첨 서식 참고)에 꼼꼼히 기록하여야 하고, 데이터에 대한 자체 검수(1차)를 함께 실시한다.

## 2) 기준점 측량

기준점 측량이란 문화유산 3차원 스캐닝 시 위치의 기준이 되는 지점에 표지를 설치하고, 그 지점의 위치를 결정하는 측량을 의미한다. 기준점은 문화유산의 3차원 스캐닝뿐만 아니라 향후 문화유산의 변위, 변동 등을 확인할 수 있는 기준으로 사용될 수 있으므로 정확하게 설치하여야 한다.

일반적으로 문화유산은 국가나 지자체 등 공공기관에서 관리하는 시설물이므로 「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률」(법률 제15719호, 2018.8.14., 타법개정) 제17조(공공측량의 실시 등)에 따라 공공측량<sup>1)</sup>으로 실시하여야 한다. 이 규정에서 정하지 않은 내용은 「공공측량 작업규정」(국토지리정보원고시 제2018-1076호, 2018. 3. 30., 일부개정)에 따른다. 일반적인 문화유산은 공공측량을 하며 정밀계측이 필요한 문화유산은 직접수준측량<sup>2)</sup>을 실시한다. 다만, 스캔데이터의 문화유산 보존관리, 활용도를 감안하여 지형도면이 필요하다고 판단될 때는 지적현황측량<sup>3)</sup>을 동시에 실시한다.

예비조사 시 대상 문화재의 스캔위치를 확인하여 기준점을 설정하고, 영구 혹은 임의표지를 매설한 후 관측한다. 이후 계산 및 성과 점검을 통해 기준점 데이터를 정리한다. 기준점의 위치기준은 「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률」(법률 제15719호, 2018.8.14., 타법개정) 제6조(측량기준)에 따른다. 좌표계는 「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률 시행령」에서 규정

1) 국가나 공공단체가 관계 법령에 따른 사업 등을 시행하기 위하여 기본측량을 기초로 실시하는 측량  
 2) 지표면에 있는 제점의 표고차를 측정하여 지점의 표고를 결정하는 측량  
 3) 토지에 있는 구조물이나 건물 등의 위치를 측량하여 지적도나 입야 도면에 표시하는 측량

한 세계측지계좌표계(TM)를 사용하며, 전국적 문화재 관리의 필요성과 연속성 유지를 위해 단일평면직각좌표계(UTM-K, 「기본공간정보 구축규정」(국토지리정보원고시 제2017-1041호, 2017. 12. 30. 일부개정))의 성과도 동시에 산출한다.

기준점의 관측은 GPS 관측 망에 따라 세션(session)단위로 수행한다. 측량 점은 X, Y, Z가 모두 최대 1cm이하의 오차를 갖도록 하며, 높이값의 경우에는 GPS를 활용한 간접수준측량보다 직접수준측량을 실시한다. 통합기준점, 국가삼각점, 국가수준점 및 상시관측소 전자기준점을 기지점으로 측량을 수행하며, 측량과 계산은 「공공측량작업규정」(국토해양부고시 제2013-1887호)에 따라야 한다.

기준점 측량과 관련한 단계적 작업 과정과 유의사항은 다음과 같다.

### ① 답사 및 선점

답사 및 선점이란, 기준점을 설치하기 위하여 GPS의 수신상태, 손실여부, 스캐닝 대상 시설물 현황과 주변환경을 직접 확인하고 대상 시설물을 스캐닝하기 위한 최적의 위치를 선점하는 것을 의미한다. 기준점 위치는 3차원 스캐닝 작업팀, 대상 문화유산 관리·보존 주체와 사전협의를 거쳐 설정하도록 한다.

선점 시 장소에 대해 고려하여야 할 사항은 다음과 같다.

- 기준점은 최소 1점 이상 시통되어야 하며, 3차원 스캐닝 작업을 위해 시야가 확보되는 장소
- 대상 문화유산 관리·보존 주체와 사전협의를 거쳐 표지를 설치할 수 있는 장소(영구표지의 설치가 곤란한 경우 임시 표지를 사용)
- GNSS관측 방법을 사용할 경우 GNSS 신호의 수신에 원활한 장소
- 망실 또는 훼손되지 않도록 안전한 장소

### ② 기준점 매설

기준점은 문화유산 주변 경관과 환경을 고려하여 훼손이나 변위가 없는 곳에 영구표지를 설치한다. 다만, 훼손 가능성이 있거나 소장처의 불허 등으로 영구표지를 설치할 수 없는 때에는 임의표지를 설치하여 진행한다.



〈그림 7〉 기준점 측량을 위한 기준점 매설

표지 설치시 고려사항은 다음과 같다.

- 기준점의 표지는 망실 또는 훼손되지 않도록 튼튼하게 설치한다.
- 설치 시 사전 협의된 장소에 설치하고, 통행에 장애가 되지 않도록 유의하여 설치한다.
- 부득이한 사유로 표지의 설치가 불가할 경우 감독관과 사전 협의하여 기타 시설물로 대체 선점 또는 설치한다.

### ③ 관측

관측 시 고려할 사항은 다음과 같다.

- 일반적인 스캐닝 작업에 필요한 기준점의 측량은 「공공측량 작업규정」(국토지리정보원고시 제2018-1076호, 2018. 3. 30, 일부개정) 제2편 공공기준점측량에 따라 실시하며, 필요에 따라 등급을 조정한다.
- 높이값은 GNSS, TS등을 이용한 간접수준측량보다 직접수준측량을 실시함을 원칙으로 하며, 안전관리 등 정밀계측이 필요한 경우 높은 등급의 수준측량<sup>4)</sup>을 실시한다.

### ④ 계산 및 성과 점검

- GPS 관측데이터와 수준측량데이터의 신뢰성을 점검하며, 망 평균 계산에 의한 좌표 계산과 함께 「공공측량성과심사 규정」(국토지리정보원 고시 제2014-2531호)에 따라 공공측량성과심사를 실시한다.

## 3) 매핑소스(mapping source) 촬영

정밀 스캐닝으로 취득한 점군데이터로부터 메쉬모델을 생성한 경우, 시각적 사실감을 높일 수 있도록 텍스처 매핑을 수행한다. 텍스처 매핑에 사용되는 매핑소스는 카메라를 이용해 2차원 이미지 형태로 취득한다. 카메라

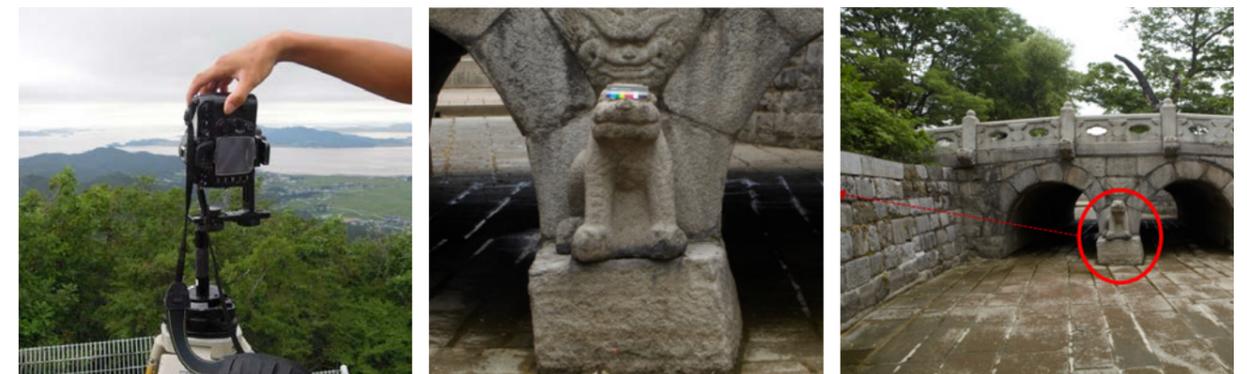
4) 지표면에 있는 제점의 표고차를 측정하여 지점의 표고를 결정하는 측량

라가 내장된 스캐너는 스캔데이터와 컬러값을 함께 취득할 수 있어 편리하나, 카메라의 성능이 충분히 높지 않은 경우에는 해상도가 충분히 높지 않고 원색 보정이 용이하지 않아 육안으로 보는 실제 컬러와 다르다는 단점이 있다. 이와 같은 경우, 별도의 고해상도 카메라로 매핑소스를 촬영한다.

광대역 스캐닝의 경우, 내장 카메라가 있으면 점군데이터에 색상 정보가 더해진다. 그러나 점군데이터 자체를 컬러로 시각화하기 위한 것이 아니면 각각의 점 데이터에 컬러를 부여하는 것이 반드시 필요한 것은 아니므로, 사업에서 별도로 요구하지 않는 경우 별도의 매핑소스를 촬영할 필요는 없다.

매핑 소스 촬영은 취득하고자 하는 대상을 수평선상에 두고 그림자가 최대한 지지 않는 환경에서 실시한다. 사진은 비압축 형식인 RAW 이미지로 촬영하고, 원색 보정을 위해 컬러카드나 그레이카드를 대상 문화재에 가까이 대고 촬영한다. 또한 광대역 스캐닝으로 넓은 영역을 대상으로 할 경우, 컬러카드나 그레이카드 촬영은 대상 문화재의 주변 환경이 바뀔 때마다 하는 것이 보정에 도움이 된다. 실내에서 촬영 시 조명은 백색광으로 하며, 대상에 음영이 생기지 않도록 유의하여야 한다.

실외에 노출되어 있거나 문화유산의 규모가 커 조명 설치가 불가능하여 전체 매핑소스를 획득하기 어려울 경우, 대상 문화유산의 표면색과 재질을 고려하여 매핑 샘플을 정한 후 일괄 매핑할 수 있다. 단, 사업 담당자와의 협의가 필수적이다. 원시 사진데이터에 대한 이해와 해석을 위해 촬영 작업 내용은 워크시트(「6.부록」의 별첨 서식 참고)에 기록한다.



〈그림 8〉 디지털카메라를 이용한 매핑소스 이미지 취득



〈그림 9〉 순천 송광사 목조삼존불감 실내 촬영

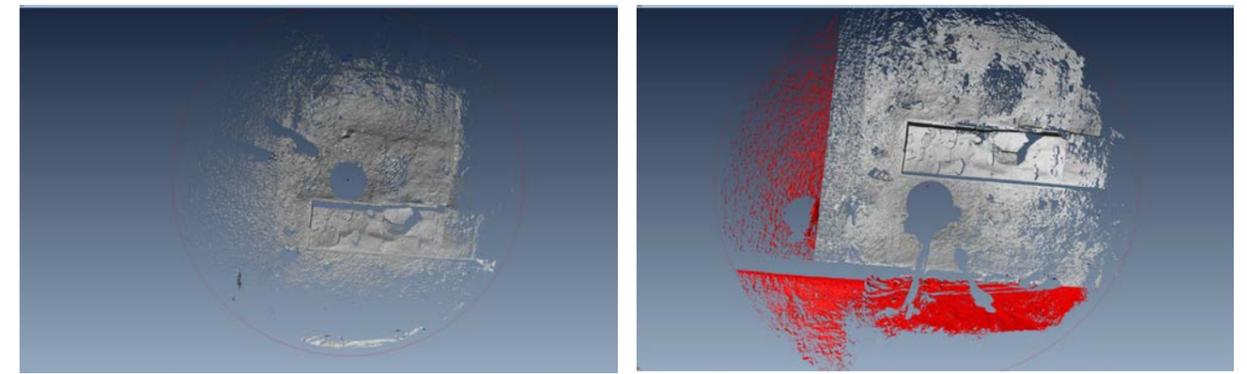
### 4.3 스캔데이터의 후처리

현장조사에서 구축한 스캔데이터는 원본 그대로 저장하여야 하며, 스캔데이터의 후처리 공정은 원본의 사본을 이용하여 진행한다. 주요한 스캔데이터 후처리 작업 공정은 정합과 노이즈 제거이며, 기준점 측량을 실시한 경우 기준점 데이터 처리 과정을 수행한다. 핸드헬드 스캐너와 같이 스캐닝 과정에서 정합이 이루어지거나 응용 소프트웨어에서 메쉬 형태로 스캔데이터를 산출하는 경우 등과 같이 아래에 제시한 작업 공정과는 달라지는 경우가 있다. 그러므로 본 공정의 순서나 과정이 반드시 동일하게 적용되지 않을 수 있다. 일반적인 스캔데이터 후처리 작업공정은 다음과 같다.

#### 1) 노이즈 제거

노이즈는 스캐닝 대상 외의 불필요한 데이터로서, 스캐닝하는 과정에서 스캐닝 범위를 넘어서 획득된 데이터, 대상과 무관한 물체에 의한 데이터 혹은 반사, 오류 등의 요인으로 인해 발생한 부적합한 데이터 등이 포함된다. 노이즈가 취득되었을 때는 육안으로 확인하여 자동 또는 수동 방식으로 노이즈를 삭제하여야 한다. 노이즈를 제거하는 작업은 정합 전, 정합 후 혹은 병합 후에도 이뤄질 수 있다.

점군데이터상에서 모든 노이즈를 제거하는 것은 쉽지 않다. 따라서 사람이나 움직이는 사물로 인한 노이즈 및 작업 과정에서 설치한 비계 혹은 불필요한 물체로 인한 노이즈는 삭제하되, 소화전과 같이 고정되어 있어 삭제시 원 데이터에 문제가 생기거나 부시(罌罌)와 같이 삭제가 거의 불가능한 노이즈는 그대로 둔다. 또한 나무는 대상 문화재를 포함하는 환경에 해당하므로 삭제하지 않는다. 노이즈를 삭제하는 과정에서 원 데이터에 변형이나 소실이 많이 발생하는 경우, 사업 담당자와 협의가 필요하다.



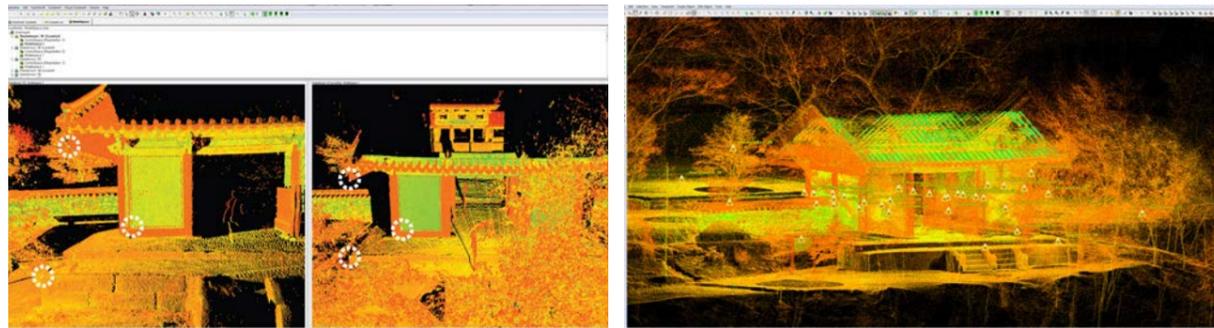
〈그림 10〉 노이즈가 포함된 데이터(왼쪽)와 이를 제거하는 과정(오른쪽)

#### 2) 정합

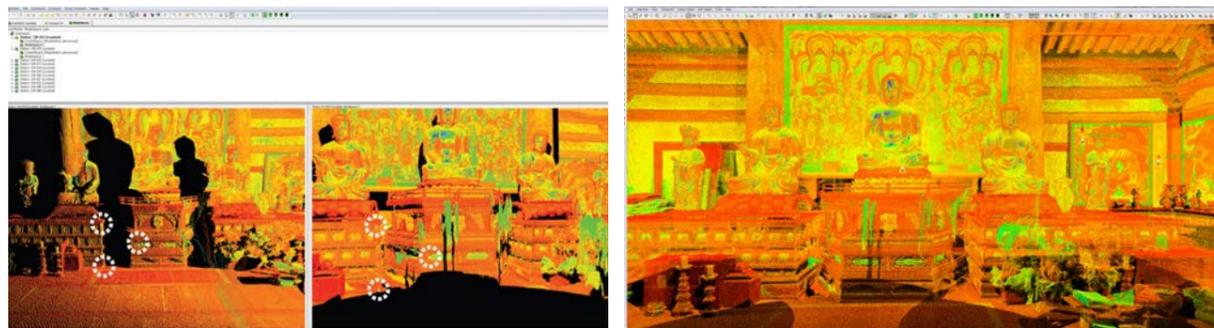
여러 지점에서 스캐닝하여 획득한 다양한 3차원 스캔데이터를 정렬하는 작업을 정합이라고 한다. 정합 과정을 통해 하나의 좌표계로 정렬된 전체 형상에 대한 3차원 스캔데이터를 구축하게 된다. 일반적으로 스캐닝 과정에서 중첩이 되도록 스캔데이터를 획득하고, 스캔데이터에 포함된 중첩 영역의 데이터를 활용해 정합을 수행한다. 정합을 위해 스캐닝 과정에서 표지를 설치하고, 이를 스캐닝하여 정합에 활용할 수도 있다.

일반적으로 스캐닝 전용 소프트웨어에서 수동정합 또는 자동정합을 지원한다. 자동정합은 스캐닝 순서, 형상 등을 고려해 소프트웨어에서 자동으로 정합을 수행하는 것이다. 편리하다는 장점은 있으나, 형태나 스캐닝 결과에 따라 정합이 제대로 되지 않거나 정합 시간이 오래 걸릴 수도 있다. 수동정합은 한 쌍의 스캔데이터에 대해 중첩 영역 내에서 3개 이상의 동일점을 사용자가 지정하면, 이 정보를 바탕으로 소프트웨어에서 중첩 영역의 차이를 최소화하는 방식으로 스캔데이터를 정렬하는 방식이다. 각 스캔데이터를 하나씩 정합하는 과정을 마치고 나면, 전체적으로 누적된 오차를 최소화하기 위한 과정을 거쳐야 한다.

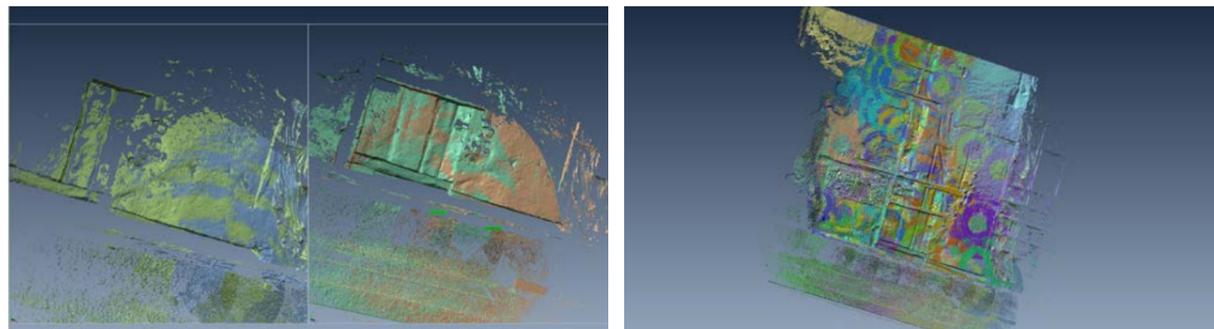
중첩 영역이 충분히 넓지 않거나 영역 내에 정합을 위한 특성이 부족한 경우에는 정합이 어려워지므로, 스캐닝 과정에서 이를 고려해 데이터를 취득해야 한다. 또한 정합은 데이터 품질에 많은 영향을 미치므로, 정합 후 오차가 충분이 낮은지 반드시 확인하여야 한다.<sup>5)</sup> 생성 데이터의 품질이 낮은 경우에는 정합 과정을 재수행하여 고품질의 데이터를 생성하여야 한다.



<그림 11> 도갑사 해탈문 외부 광대역 스캔데이터 정합 과정(왼쪽)과 결과(오른쪽)

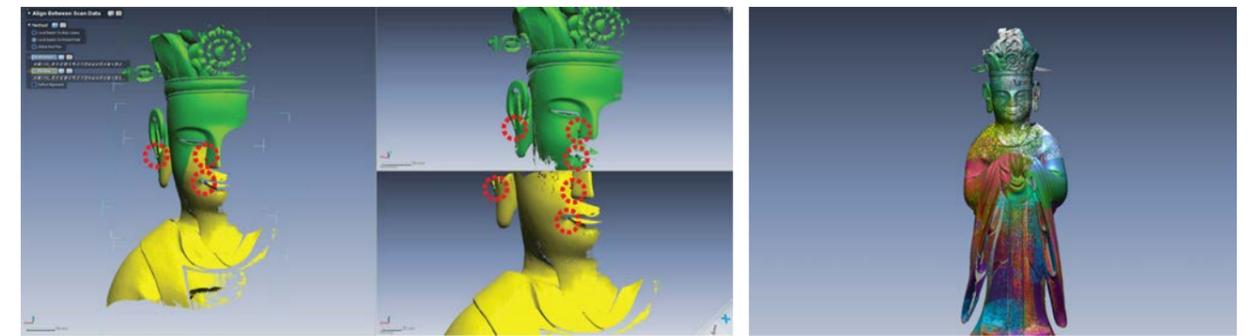


<그림 12> 수덕사 대웅전 내부 광대역 스캔데이터 정합 과정(왼쪽)과 결과(오른쪽)



<그림 13> 왕궁리 정원지 광대역 스캔데이터 정합 과정(왼쪽)과 결과(오른쪽)

5) 정합의 품질을 확인하는 방법은 스캐닝 소프트웨어마다 다르다. 오차의 정도를 정량적으로 확인하기 어려운 경우, 소프트웨어가 제공하는 방법의 기준을 확인하는 것이 바람직하다.



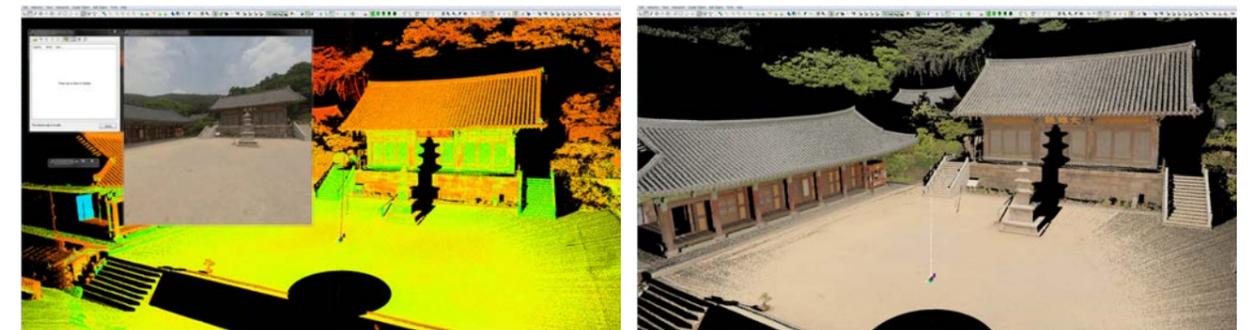
<그림 14> 쌍봉사 대웅전 지장보살삼존상 중 무독귀왕상 정밀 스캔데이터 정합 과정(왼쪽)과 결과(오른쪽)

### 3) 병합

정합을 거친 여러 개의 스캔데이터는 동일한 좌표계로 정렬되는데, 병합은 정합을 마친 여러 점군데이터를 하나의 점군데이터로 합치는 과정이다. 정합을 위해 중첩해서 스캐닝한 영역은 데이터가 중복이 되어 있어 그대로 병합을 하면 점밀도가 높아지게 되는데, 정밀도의 한계를 넘는 지나치게 높은 점밀도로 인해 데이터의 크기가 불필요하게 커질 수 있다. 병합 과정에서 일정 밀도를 유지하는 범위 내에서 중복 영역의 점 개수를 줄이도록 할 수 있다.

### 4) 컬러 매핑

광대역 스캐너로 취득한 점군데이터에 현장에서 별도로 촬영한 매핑 소스를 입력해 컬러값을 부여하는 과정이다. 스캐너에 내장된 카메라가 있는 경우에는 직접 컬러 취득이 가능하지만, 내장된 카메라가 없는 스캐너의 경우에는 별도의 카메라를 사용하여 매핑 이미지를 촬영하고 소프트웨어에서 컬러를 매핑할 수 있다. 이러한 과정이 필수적인 것은 아니며, 사업에서 특별히 요구하는 경우에만 수행한다.



<그림 15> 광대역 스캔데이터와 매핑 소스(왼쪽)를 이용한 컬러 매핑 결과(오른쪽)

#### 5) 기준점데이터 제작 방법

정합이 완료된 광대역 스캔데이터에서 기준점과 동일 지점의 점데이터 (3~4점의 X,Y,Z 값으로 상대좌표)를 PTS 파일 형식으로 제작한다. 스캔데이터를 운용할 수 있는 프로그램상에서 기준점데이터(PTS)와 기준점의 조서의 절대좌표값의 대비를 통해 오차 범위(1cm) 내 일치 여부를 확인한다.

#### 4.4 스캔데이터의 검수

최종 산출 결과물을 제작하기 위해서는 스캔데이터의 검사와 검수를 거쳐야 한다. 스캔데이터의 검수 공정은 다음과 같다.

- ① 3차원 스캔데이터의 검수는 데이터 구축 단계와 후처리 완료 단계에서 사업 수행자가 자체적으로 실시한다.
- ② 각각의 워크시트에 상세한 내용을 기록한다.
- ③ 납품데이터의 최종 검수는 사업 담당자가 실시한다. 전문 지식을 갖춘 검수위원에게 의뢰하여 실시할 수도 있다.
- ④ 전문가에게 검수를 의뢰할 경우, 3차원 스캐닝에 대한 전문 지식이 풍부하고 조사 경험이 있는 검수위원을 2인 이상 구성하여 데이터 품질 보증을 위한 최종 검수를 실시한다.
- ⑤ 검수위원은 작성된 조사별 워크시트를 참조하여 각 대상별, 스캐닝 방식별 데이터 검수시트(「6.부록」의 별첨 서식 참고)를 작성하도록 하여야 한다.
- ⑥ 광대역 스캐닝 검수시트에는 원시데이터의 점밀도와 병합데이터의 점밀도, 노이즈 제거 여부, 기준점측량 심사 여부, 기준점 정보 등을 포함해 원시 스캔데이터와 후처리 완료 데이터의 용량이나 파일 형식 등을 확인하여 기록하고 검수 과정에 사용된 소프트웨어를 기입한다.
- ⑦ 정밀 스캐닝 검수시트에는 원시데이터의 점밀도와 병합데이터의 점밀도, 스캐닝 불가 영역의 여부를 체크한다.
- ⑧ 매핑 소스 유형, 원시데이터와 후처리 완료 데이터의 용량, 파일 명명 및 디렉터리 구조 등을 확인하여 기록하며, 검수 과정에 사용된 소프트웨어를 기입한다.

## 5. 결과물 제작과 납품 가이드라인

본 장에서는 사업 결과물을 제작하는 데 있어 준수해야 할 가이드라인을 다루고 있으며, 사업의 발주와 수행 그리고 검수 단계에서 확인되어야 한다. 단, 사업의 성격에 따라 해당 범위를 조정해 최종적으로 납품할 산출물을 지정하여야 한다.

#### 5.1 사업 성격에 따른 결과물의 종류와 범위

3차원 스캐닝을 수행한 후 산출되는 결과물로는 워크시트와 스캔데이터 외에도, 이를 바탕으로 한 메쉬 모델, 도면, 인터랙티브 콘텐츠, 영상 등의 결과물이 있다. 아울러 납품과 검수를 위해 납품시트 및 검수시트를 작성하여 제출한다.

##### ① 납품시트

납품시트는 사업에서 요구한 최종 납품 결과물 목록을 바탕으로 제작한 실제 납품 결과물 목록 및 세부 사양을 기록한 시트이다.

##### ② 검수시트

검수시트는 검수위원이 대상별, 스캐닝 방식별로 스캔데이터 결과물을 검수하는 과정에서 체크하고 작성할 내용이 포함된 시트이다.

##### ③ 워크시트

워크시트는 작업 과정을 기록한 일지로서 기록 보존에 데이터 품질의 신뢰도를 보장하기 위해 반드시 필요한 메타데이터의 역할을 한다.

##### ④ 스캔데이터

스캔데이터는 원본 데이터와 함께 범용 형식으로 변환한 데이터를 제출한다.

##### ⑤ 메쉬 모델

3차원 데이터의 경우에는 메쉬 모델의 형태로 제작되어야 활용성이 높아 지므로, 점군데이터로부터 고품질의 메쉬 모델을 생성한다. 광대역 스캔데이터의 경우 정밀 스캐닝에 비해 낮은 점밀도, 다량의 노이즈 등의 특성상 고해상도의 메쉬 모델로 직접 변환하는 것이 어려우므로, 일반적으로 메쉬 모델의 납품은 정밀 스캐닝에 한정한다.

⑥ 인터랙티브 콘텐츠

사용자가 직접 운용해 볼 수 있는 인터랙티브 콘텐츠로는 웹에서 구동하기 위한 저용량의 메쉬 모델이나 3D PDF가 있다. 웹에서 구동하기 위한 메쉬 모델은 용량의 한계 때문에 고품질의 메쉬 모델로부터 삼각형 수를 줄이는 과정을 거쳐 제작하는 것이 일반적이다. 이때 세부 형상이 지나치게 없어지지 않도록 유의한다. 3D PDF는 PDF 내에 메쉬 모델을 포함하여 범용성이 높은 PDF 뷰어에서 3차원 모델을 확인할 수 있는 파일로, 메쉬 모델이 너무 크지 않은 경우에 유용하다.

⑦ 영상

스캔데이터를 직접 확인하기 어려운 점을 고려해 광대역 스캔데이터에 카메라 애니메이션을 적용하거나 정밀 스캔데이터 기반의 모델에 애니메이션을 적용해 동영상 제작할 수 있다.

기록화사업 및 정밀실측사업의 경우에는 일반적으로 스캔데이터, 워크시트, 메쉬 모델(정밀 스캔데이터), 도면, 인터랙티브 콘텐츠(웹서비스용 메쉬 모델)를 필수적으로 납품하며, 필요시 영상이나 기타 인터랙티브 콘텐츠 등이 포함될 수 있다. 이와 더불어 납품시트를 작성하여 제출하도록 한다. 기타 사업의 경우에는 사업의 목적과 범위, 예산 등을 고려해 결과물의 범위를 신중하게 결정하여야 한다.

5.2 파일명명(命名) 및 파일형식 지정 가이드라인

1) 파일명명 규칙

최종 산출 결과물의 파일명명 기준은 「문화재 기록화사업 관리 및 활용에 관한 규정」(문화재청 훈령 제291호) 제7조에서 정한 「문화재 기록화사업 표준데이터 제작지침」을 따라야 한다<sup>6)</sup>. 단, 도면의 경우에는 파일명 중복을 피하기 위해 지침의 파일명명 규칙에 도면 크기를 추가하여 표기한다(예시: A3 도면과 A4 도면을 작성한 경우에는 \_A3, \_A4를 추가한다. 국보\_제51호\_강릉임영관삼문\_단면\_A3.dwg, 국보\_제51호\_강릉임영관삼문\_단면\_A4.dwg).

2) 파일 형식

3D 기록화와 DB구축사업의 목적은 크게 문화유산의 원형 보존과 복원 그리고 이들 데이터의 다양한 활용에 있다. 따라서 구축된 데이터베이스는 기록 보존용과 웹서비스를 위한 서비스용 파일로 구성되어야 한다. 파일 형

6) 문화재청 홈페이지-법령정보-행정규칙 참조

식의 구성은 국제표준을 우선 따라야 하고, 국제표준이 없는 경우에는 실무에서 범용되고 있는 파일 형식을 따르도록 한다.

가. 기록 보존용

- ① 모든 웹서비스 파일은 원본 파일이어야 하고, 비압축이어야 한다.
- ② 대상 문화유산의 모든 원천 정보를 가지고 있어야 한다.

〈표 8〉 기록보존용 포맷 유형(3차원 스캔 데이터 및 메쉬 모델, 2차원 이미지)

유형	포맷	설명	표준
3차원 스캔데이터 및 메쉬 모델	원본 파일	3D 스캐닝을 한 후 스캐너에 저장되는 원천 데이터를 말하며, 파일 형식은 스캐너에 따라 다양하다.	비표준
	PTS <sup>6)</sup>	스캐닝을 통해 얻어진 점군데이터를 저장하기 위해 Leica사에서 개발한 범용성이 높은 파일 형식이다. 점군데이터를 텍스트 형태로 표현하며, X·Y·Z로 구성되는 3차원 좌표, 스캔 대상 표면의 레이저 반사정도를 표현하는 강도(intensity) 값, 스캔 대상의 색상 정보(RGB)와 같은 순으로 총 7가지 정보를 담고 있다. 예) 4.246445(X), -6.426620(Y), -50.214615(Z), -399(I), 66(R), 50(G), 83(B)	비표준
	PLY	메쉬 변환 작업을 통해 생성한 3D 모델을 저장할 수 있는 파일 형식이다.	비표준
2차원 이미지	원본 파일	2D 이미지를 처음 생성할 때 만들어지는 원본 파일 형식이다.	비표준
	TIFF	Tiff(Tagged Image File Format) 파일은 윈도우나 맥 등 어디서나 사용이 가능한 호환성 높은 파일로서 고화질 출력 및 인화가 가능하며, 무손실 압축 방식을 사용함으로써 문화유산의 원천 정보를 수록하기에 적합한 파일 형식이다.	국제표준

〈표 9〉 기록 보존용 포맷 유형(도면, 동영상)

유형	포맷	설명	표준
도면	DWG	CAD 프로그램의 포맷 형식으로서 전 세계적인 상호운용성이 높아서 대부분의 설계 틀에서 인식할 수 있다.	비표준
동영상	AVI	AVI(Audio Video Interleaving)는 Microsoft에서 개발한 영상과 소리를 저장하기 위한 컨테이너 포맷으로서 영상을 압축하기 위한 대부분의 코덱을 담을 수 있다. 용량이나 화질은 코덱에 따라 결정된다.	비표준

나. 웹서비스용

- ① 범용성 · 호환성이 있어야 한다.
- ② 파일 크기 및 포맷이 웹서비스용 환경에 적합해야 한다.

7) 3차원 스캔데이터의 납품을 위해 이전 지침에서 사용하도록 한 ASC 형식은 일부 3차원 스캐닝 전용 소프트웨어에서 내보내기 지원이 되지 않거나 데이터 처리 과정에서 오류가 발생하는 문제점이 발견되어 본 가이드라인부터는 널리 쓰이고 있는 PTS 형식으로 수정한다. 점군데이터를 저장하기 위한 표준 형식으로 ASTM에서 개발하고 있는 E57 형식은 본 가이드라인에서 다루지는 않으나, 표준화 추이를 지켜볼 필요가 있다.

〈표 10〉 웹서비스용 포맷 유형(3차원 메쉬 모델, 2차원 이미지) 기록 보존용 포맷 유형(도면, 동영상)

유형	포맷	설명	표준
3차원 메쉬 모델 <sup>8)</sup>	WRL	VRML(Virtual Reality Modeling Language)은 인터넷 문서에서 3차원 공간을 표현할 수 있는 텍스트 파일로, wrl의 확장자명을 가진다. VRML은 전용 브라우저를 통해서만 재생할 수 있다.	국제표준
	X3D	X3D는 Extensible 3D(확장 가능한 3D)를 의미하며, 명칭이 뜻하는 바와 같이 VRML의 기능을 확장한 차세대 확장 가능한 3D 그래픽 규약이며, X3D라는 이름은 XML과의 통합을 의미한다. VRML과 완전한 하위 호환성을 유지하도록 설계되어 기존 VRML이 유지하던 모든 기능을 제공하며, VRML 형식은 스타일시트를 이용하여 X3D 형식으로 변환이 가능하다.	국제표준
2차원 이미지	JPG	JPEG(Joint Photographic Experts Group)은 정지 화상을 위해서 만들어진 손실 압축 방법 표준으로서, 용량이 작고 24비트 트루 컬러를 지원하여 대중적인 파일 포맷이다. 압축 정도에 따라 이미지의 품질이 결정되는데, 압축을 많이 하면 용량을 많이 줄일 수 있는 반면 이미지 손실이 발생한다.	국제표준

〈표 11〉 기타 포맷 유형(도면, 동영상)

유형	포맷	설명	표준
도면	DWF	DWF(Design Web Format)는 고도로 압축되어 있어 크기가 훨씬 작고 전송 속도가 좋아 풍부한 설계데이터를 교환할 수 있으며, 원본 파일(DWG)의 풍부한 데이터와 충실도를 유지하기 때문에 도면이나 지도 또는 모형을 보고 정확하게 인쇄할 수 있다. 편집이 불가능하여 dwg를 대체할 수 없으며, 데이터의 교환과 리뷰 및 검토 등을 위한 형식이다.	비표준
동영상	MPEG (MPG)	MPEG(Moving Picture Experts Group)는 영상 압축 포맷과 표준을 개발하는 단체의 이름으로, 표준규격 자체를 포괄하는 용어로도 쓰인다.	국제표준
	MP4	MP4는 ISO/IEC JTC 1의 동영상 압축부호화의 표준규격인 MPEG-4의 part 14로 규정된 파일 포맷이어서, 기본 확장자는 mp4다.	국제표준
	ASF	ASF(Active Stream Format)는 마이크로소프트사가 제안한 동영상 스트리밍 파일이며, 인터넷 방송 등에 많이 사용되고 있다.	비표준
	WMV	WMV(Windows Media Video)는 멀티미디어 압축 방식으로 파일을 내려받아 재생하거나 내용을 스트리밍하는 데 보통 사용되며, 마이크로소프트 윈도우 미디어 플레이어의 주 스트리밍 포맷이다.	비표준
3D PDF	PRC	PRC(Product Representation Compact)는 ISO(International Organization for Standardization) 표준을 위한 3D 파일 포맷이다. 이는 PDF 문서에서 사용되는 3D 모델을 만들거나 보고, 전달하기 위한 표준이다. 특히 CAD를 이용하여 만든 3D 데이터를 문서에서 저장하고 보기 위한 포맷이다.	국제표준
	PDF	PDF(Portable Document Format)는 이동 가능한 문서 형식으로, 어도비 시스템즈에서 개발한 전자문서 형식으로 일반 문서 및 문자, 도형, 그림, 글꼴을 포함할 수 있다. PDF는 컴퓨터 환경에 관계없이 같은 표현하기 위한 목적으로 개발되었고, 장치 독립성 및 해상도 독립성을 가진다.	국제표준

다. 최종 산출 결과물의 납품 항목

- ① 기록 보존용 파일은 대상 문화유산의 원천 정보를 가진 제작 원본을 제출한다.

8) 서비스를 위한 3차원 메쉬 모델 형식 중 이전 메뉴얼에서 다룬 ICF는 특정 소프트웨어에서만 지원하는 형식이므로, 호환성 확보와 표준을 준수하기 위해 본 가이드라인부터는 포함하지 않는다. 플랫폼과 무관하게 3차원 모델을 압축적으로 저장하여 웹에서 사용할 수 있도록 개발 중인 glTF(GL Transmission Format) 형식은 본 가이드라인에서 다루지는 않았으나 추이를 지켜볼 필요가 있다.

- ② 활용 서비스용 파일은 기록 보존용 파일을 기준으로 만들어 제출한다.
- ③ 최종 산출 결과물의 저장 매체는 전체 데이터에서 20%의 여유 공간이 보장되는 매체를 발주기관과 상의하여 정하고, 매체와 케이스 표 면에는 사업에 관한 기본 정보를 기입한 라벨을 부착한다.
- ④ 모든 파일은 각종 바이러스 감염 여부를 확인한 후 납품한다.
- ⑤ 납품 파일의 디렉터리(폴더) 구조는 파일 산출물의 분류 방식을 따른다.
- ⑥ 납품 파일의 현황을 쉽게 식별할 수 있는 목록표(인덱스) 및 위치도(찾아보기)를 작성하여 함께 제출한다.

〈표 12〉 최종 산출결과물의 납품 항목(예시)

대분류	중분류	기록 보존용 파일	활용 서비스용	비고
3차원 스캔데이터	광대역 스캔데이터	원본 파일, PTS	-	
	정밀 스캔데이터	원본 파일, PTS, PLY	100MB 이하의 PLY (텍스처 내장) <sup>9)</sup> , WRL 또는 X3D (텍스처 별도), 3D PDF 요구 시 PDF	
이미지	매핑소스	원본 파일, TIFF	JPG(72~300DPI)	
	사진자료	원본 파일, TIFF	JPG(300DPI)	
도면	주변 배치도면	DWG	DWF, JPG	지적도, 지형도 삽입
	스캔데이터 이미지 도면	DWG	DWF, JPG	
	라인드로잉 도면	DWG	DWF, JPG	
멀티미디어	동영상	원본 AVI	MPEG2, WMV, MP4, ASF 중 택1	
워크시트	광대역 스캐닝	HWP, PDF	-	
	정밀 스캐닝			
	기준점측량			
	사진 촬영			
스캔데이터 검수시트	광대역 스캐닝	HWP, PDF	-	
	정밀 스캐닝			
기준점측량	점의조서	HWP, PDF		
	기준점데이터	PTS	-	
	공공측량성과심사서	HWP, PDF	-	

9) 국가문화유산포털 (<http://www.heritage.go.kr>)에서 서비스를 제공하기 위한 형식

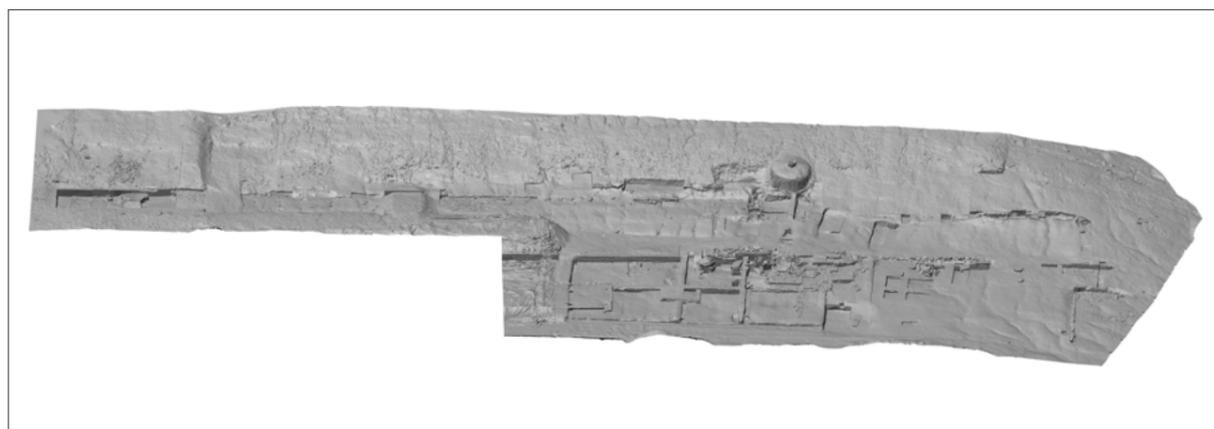
**5.3 메쉬 모델**  
**결과물 제작**

**1) 메쉬 모델 생성**

점군데이터로부터 삼각형으로 이루어진 면을 가진 메쉬 모델을 생성하는 공정이다. 3차원 모델링이나 캐드 소프트웨어에서 주로 메쉬 모델을 사용하기 때문에 스캔데이터의 범용적 활용을 위해 필요한 공정이다. 일반적으로 정밀 스캔데이터는 고품질의 메쉬 모델을 생성할 수 있는 반면, 광대역 스캐닝을 통해 구축한 데이터로부터 고품질의 메쉬 모델을 직접 생성하는 것은 데이터의 크기나 점밀도 등에서 부적합하다. 따라서 광대역 스캐닝 결과물에 대해서는 메쉬 모델을 반드시 생성할 필요가 없으며, 활용 방안에 따라 메쉬 모델의 생성 여부를 결정한다. 그러나 복잡한 대상의 광대역 스캔데이터의 경우, 이것을 바탕으로 별도의 모델링 작업을 해야 하는 경우도 있다. 크지 않은 규모의 유적(예: 석탑, 탑비 등)을 조밀하게 스캐닝하고, 세밀한 메쉬 모델이 필요하지 않은 경우에는 광대역 스캔데이터를 메쉬 모델로 직접 변환할 수도 있다.

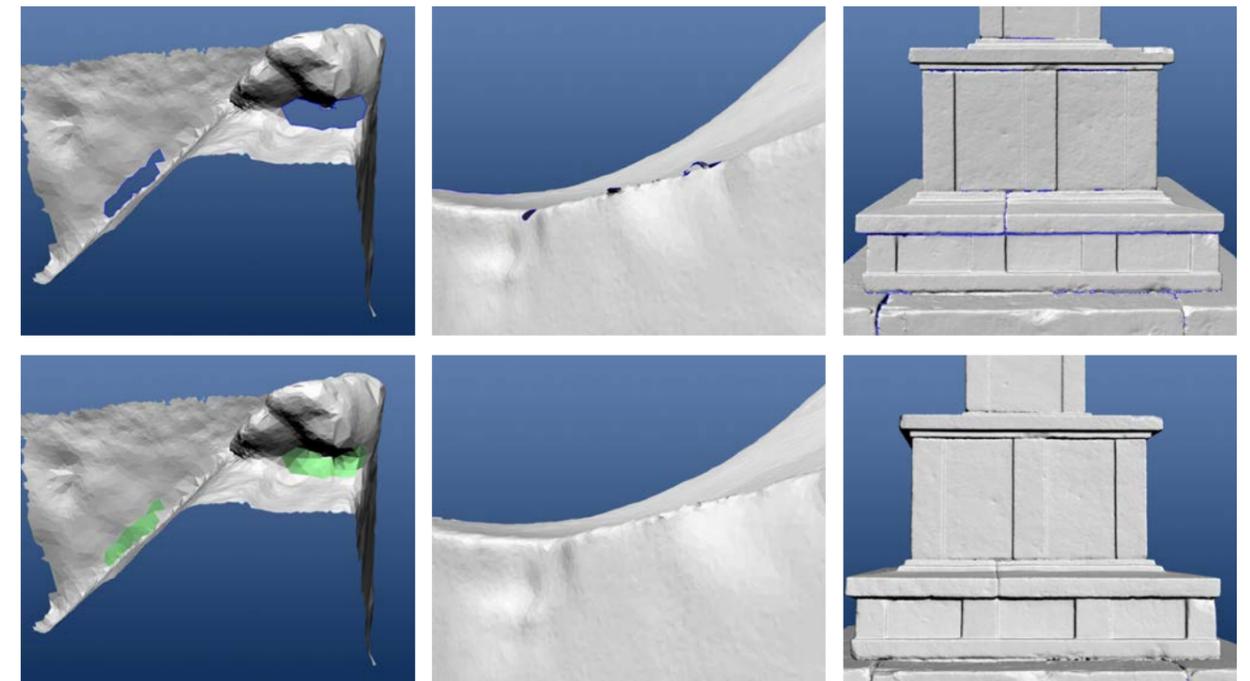


〈그림 16〉 쌍봉사 대웅전 무독귀왕상의 점군데이터(왼쪽)와 메쉬모델(오른쪽)



〈그림 17〉 왕궁리 정원지 광대역 스캔데이터로부터 생성한 메쉬 모델

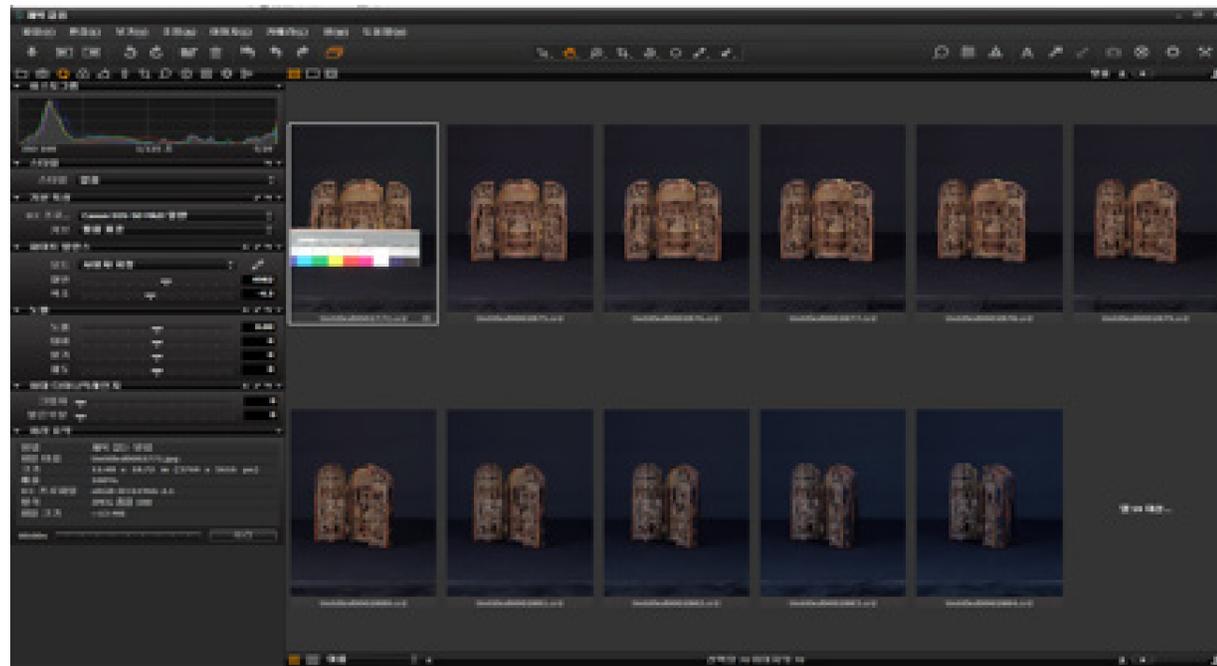
점군데이터를 삼각형 면으로 구성된 메쉬 모델로 변환하는 과정에서 점군데이터에 포함된 노이즈, 스캐닝 장비의 접근이 어려워 스캐닝되지 못한 영역 등으로 인해 오류가 포함된 부분이 발생하는 경우가 있다. 오류는 구멍, 뾰족한 삼각형, 꼬인 삼각형 등 다양한 형태가 있으며, 소프트웨어에서 제공하는 편집 기능을 이용해 수정할 수 있다. 그러나 오류의 범위가 크거나 수정에 문제가 있는 경우 사업 담당자와 협의하여 처리 방식을 정해야 한다.



〈그림 18〉 메쉬 모델에 발생한 오류(위)와 편집 기능을 이용해 수정한 모델(아래)

**2) 텍스처 매핑**

텍스처 매핑은 3차원 메쉬 모델의 사실감을 높이기 위해 2차원 이미지인 텍스처를 모델의 표면에 입히는 작업이다. 주로 정밀 스캐너로 취득한 스캔데이터로부터 생성한 메쉬 모델에 스캐너 내장 카메라 혹은 현장에서 별도의 카메라로 촬영한 매핑소스를 텍스처로 사용한다. 텍스처 매핑 전 매핑소스의 색을 보정하는데, 컬러카드 및 그레이카드와 함께 촬영한 사진을 기준으로 원형 색감이 손상되지 않는 범위 내에서 색 보정을 한다. 실외에 노출되어 있는 문화유산의 경우, 촬영 환경의 영향으로 인해 짙은 그림자 등으로 실제 컬러와 많은 차이가 발생할 수 있다. 이때 사업 담당자와 협의하여 취득된 사진의 일부 컬러데이터를 매핑자료로 활용하여 현존 문화유산과 이질감이 최대한 없도록 매핑할 수 있다.



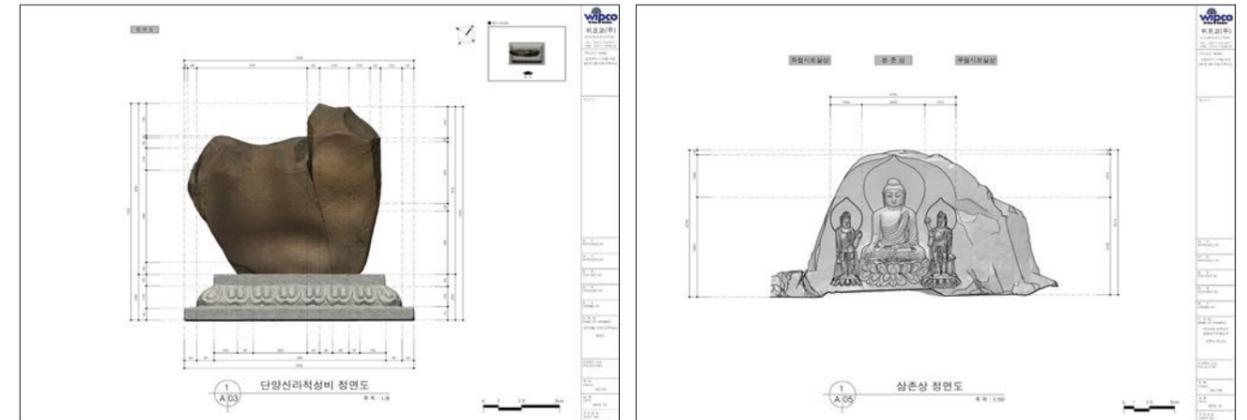
〈그림 19〉 컬러 카드를 이용한 데이터 보정(사용 소프트웨어: PhaseOne Capture One 5)



〈그림 20〉 쌍봉사 대웅전 무독귀왕상 메쉬 모델 텍스처 매핑(왼쪽부터 텍스처 이미지, 메쉬 모델, 텍스처 매핑 후의 메쉬 모델)

#### 5.4 도면 결과물 제작

3차원 스캔데이터를 활용하여 도면을 작성할 경우, 스캔데이터의 이미지를 활용하는 방식 또는 라인을 직접 그리는 방식을 사용할 수 있다(그림 21).

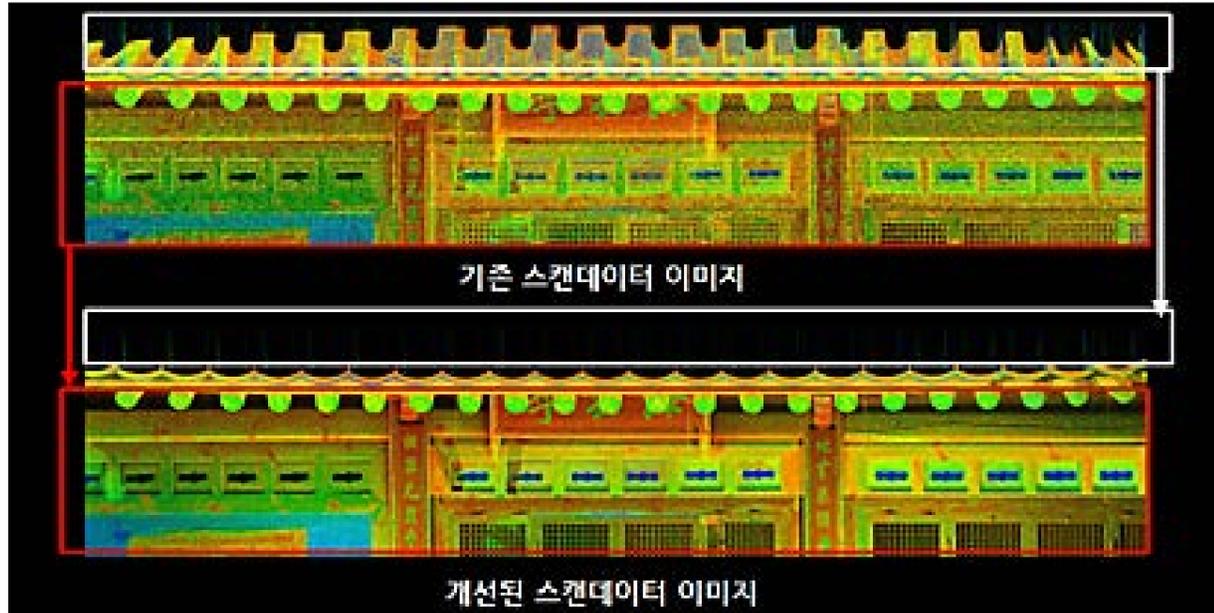


〈그림 21〉 스캔데이터 이미지를 활용한 도면(왼쪽)과 라인 드로잉 도면(오른쪽)

스캔데이터의 이미지를 직접 나타내어 도면화하는 경우에는 시각적으로 이해하기 쉽게 표현할 수 있고, 비정형의 대상에 대한 작업자의 임의 해석이 없는 객관적인 시각 정보를 제공하는 특징을 가지고 있다. 스캔데이터의 이미지를 넣기 위해서는 3차원 스캔데이터 운용을 지원하는 CAD 소프트웨어에서 스캔데이터를 읽어서 직접 도면화하거나, 스캔데이터의 정사투영(正射投影; orthogonal projection) 이미지를 추출하고 이를 CAD 소프트웨어에서 읽어서 도면화하는 경우가 있다. 치수를 스캔데이터로부터 추출하지 않고 CAD 소프트웨어에서 2차원 이미지로부터 추출할 경우, 원래의 스캔데이터로부터 측정하는 것보다 오차가 발생하는 문제가 있다는 것을 인지하여야 한다.

스캔데이터에서 보이는 컬러는 스캐너 기종마다 다르게 나온다. 스캐너에 카메라가 내장되어 있는 경우, 스캐닝 과정에서 대상 문화유산의 컬러가 함께 취득되어 데이터에 포함된다. 스캐닝 과정에서 대상에 반사되어 수신된 레이저 반사광의 세기 값에 따른 컬러로 표현되기도 하는데, 컬러는 스캐너 기종에 따라 다른 컬러로 표현될 수 있다. 반사광의 세기에 의한 컬러는 부재를 구분해 표현하는 데 유용하게 활용되기도 한다. 컬러 이미지를 도면에 직접 활용할 경우, 부재를 인식하기에 적합하면 어떤 식으로 표현되어도 무방하다.

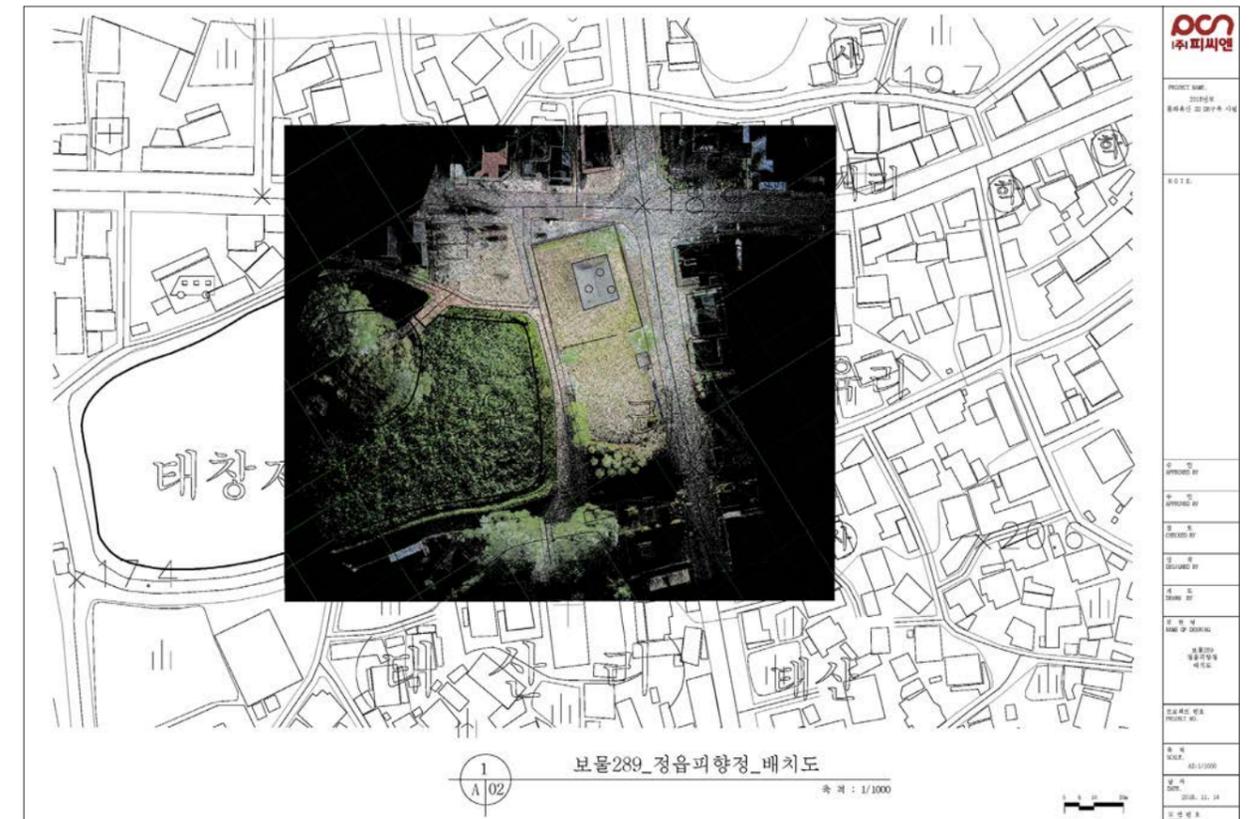
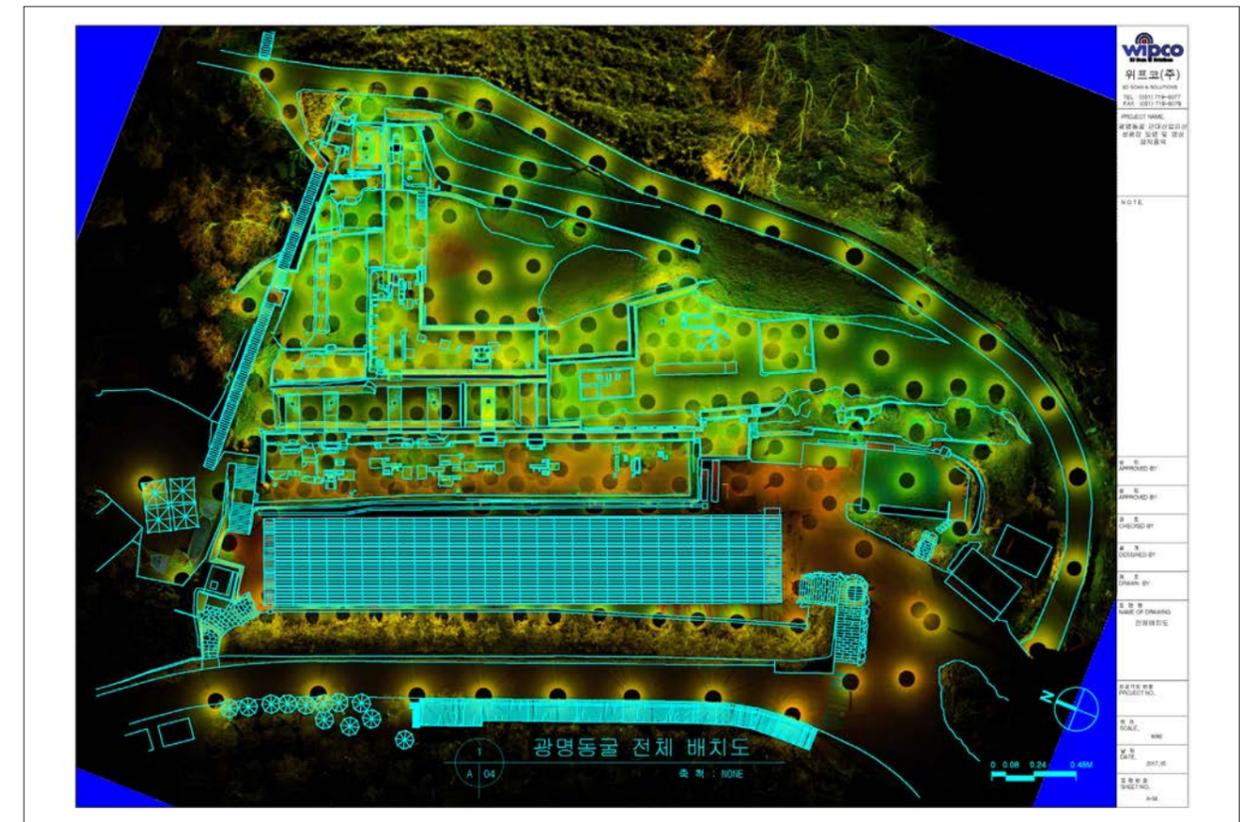
점 형태의 데이터가 모여 있는 점군데이터는 뒤편에 있는 점 데이터들이 겹쳐 보이게 되는데, 스캔데이터의 이미지를 도면에 그대로 사용할 경우 이러한 문제로 인해 시각적으로 혼동을 줄 수 있다. 따라서 건물의 부재와 같은 부분이 겹치지 않도록 데이터를 조정하여 이미지를 생성하는 것이 좋다 (그림 22).



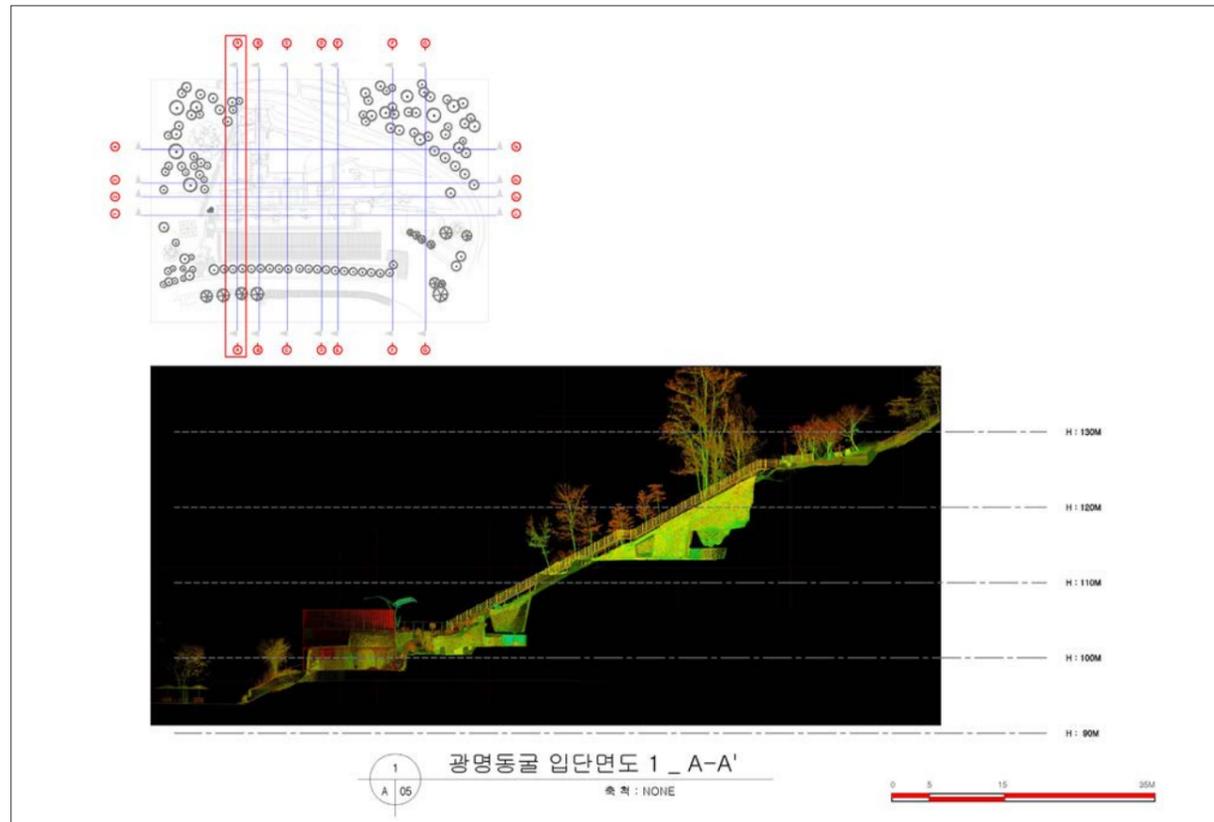
〈그림 22〉 앞 뒤의 점 데이터가 겹쳐서 보이는 기존 스캔데이터(위)와 겹친 데이터를 제거한 결과(아래)

라인을 직접 그리는 도면은 문화유산의 기록화, 실측을 목적으로 도면 작성이 필요할 때 문화유산의 실측 또는 도면 작성 전문가가 스캔데이터를 활용하여 작성한다. 또한 작업자가 곡률에 기반을 둔 형상 특성과 주관적인 해석을 바탕으로 라인을 그려 기본 수치를 입력한 도면으로서 객관적 자료로 보기 어려운 단점이 있으므로 문화유산 실측 또는 도면 작성 전문가가 도면을 반드시 제작하도록 하고, 전문가의 검수를 거쳐야 한다. 기준점측량을 실시한 문화유산은 수치지형도와 지적도에 스캔데이터를 배치하여 주변 배치도를 함께 제작한다. 〈그림 23〉은 스캔데이터를 활용한 전체 배치도 예시를 보여준다.

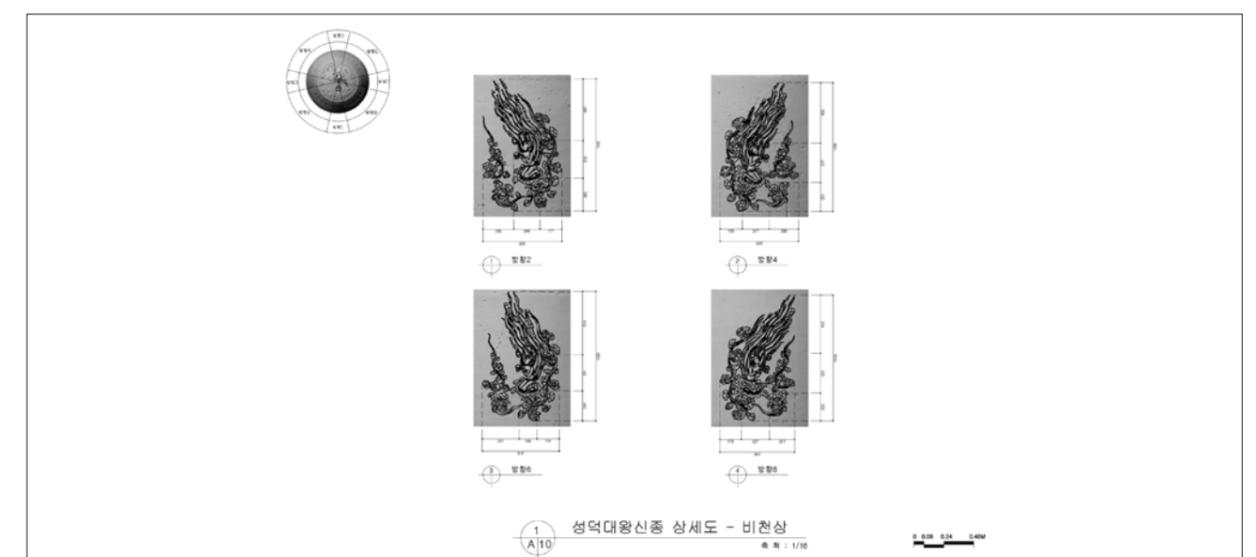
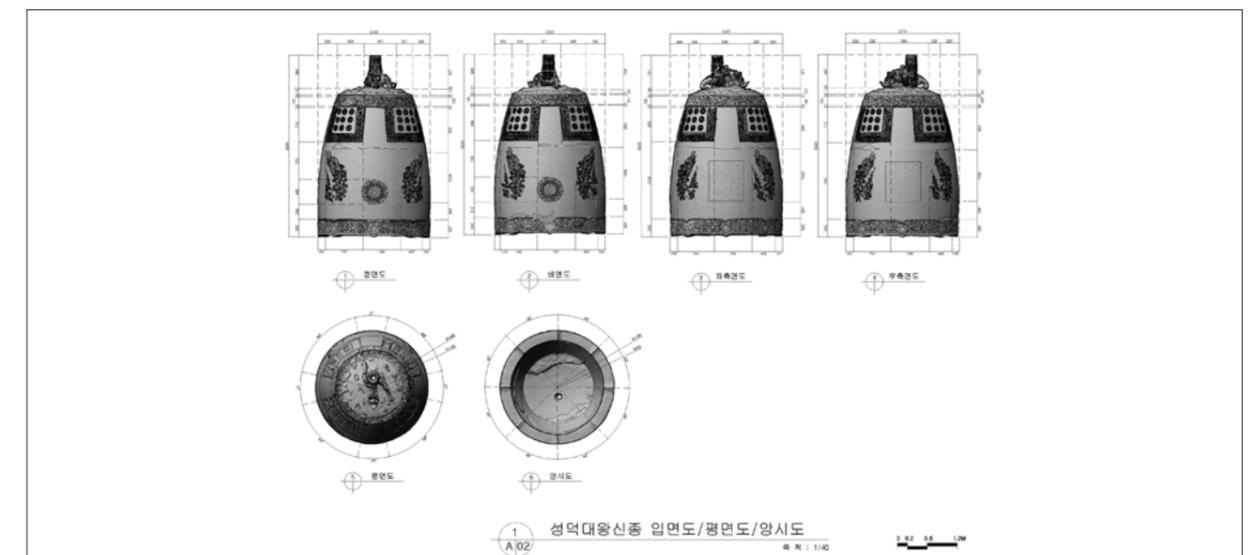
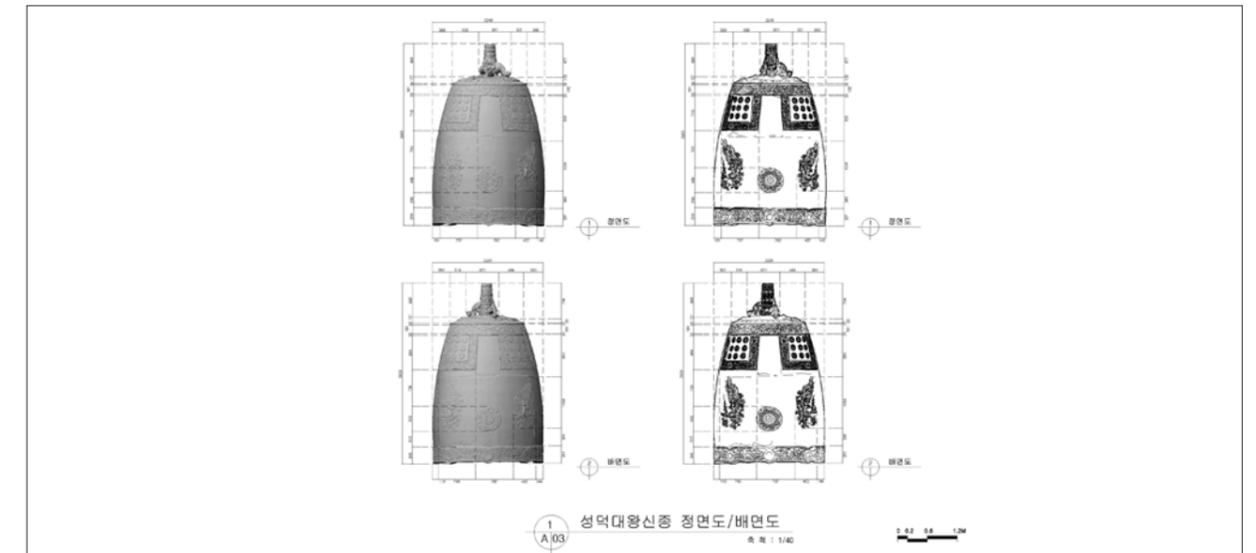
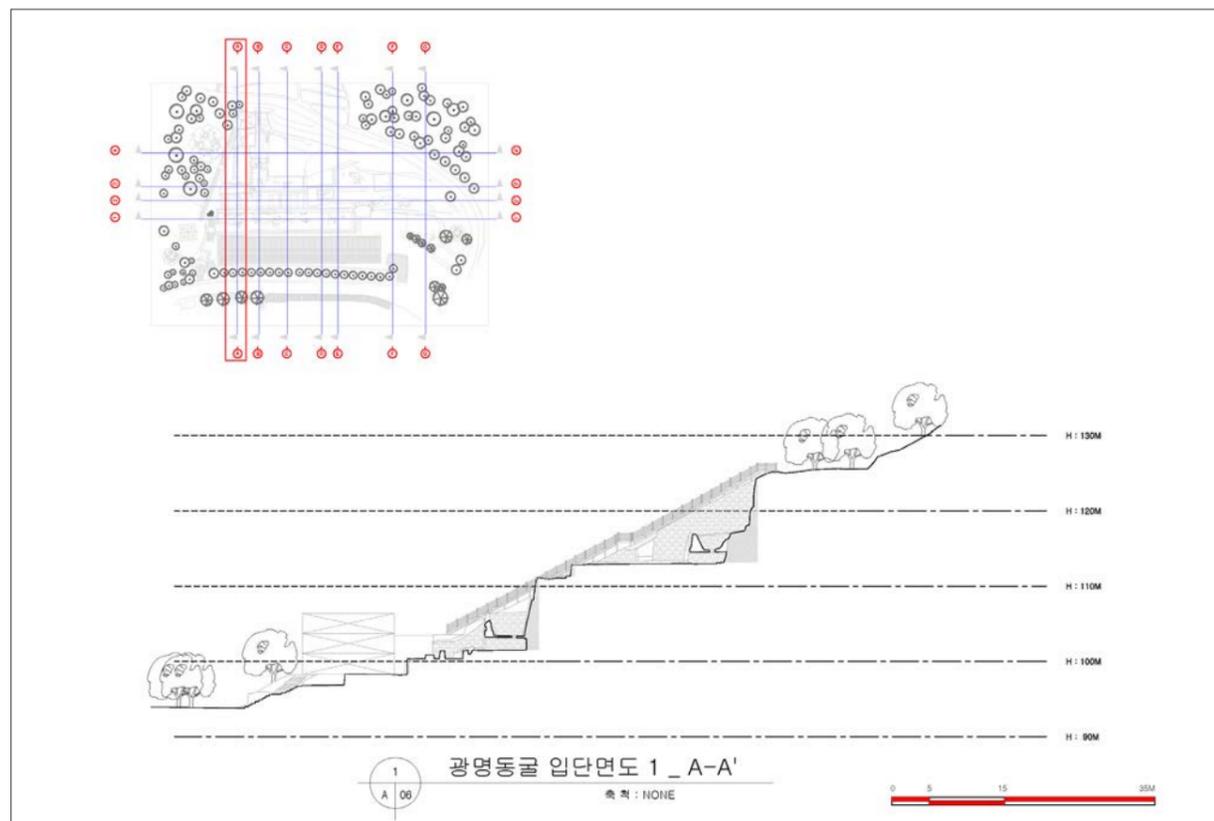
도면의 기본 구성은 입면도, 배면도, 평면도, 단면도이며 대상에 따라 적합한 도면 형식으로 달리 구성할 수 있다. 아래 〈그림 24〉와 〈그림 25〉는 입단면도, 정면도·배면도, 입면도·평면도·양시도, 상세도 예시를 보여준다. 모든 도면은 반드시 목차를 첨부한다.



〈그림 23〉 배치도 예시. 광명동굴(위)과 정읍피향정(아래)



<그림 24> 입단면도 예시(광명동굴)



<그림 25> 정면도 · 배면도, 입면도 · 평면도 · 양시도, 상세도 예시(성덕대왕신종)

도면 제작 시 라인의 굵기와 색에 대한 규격은 아래에서 제시한 기준을 따르는 것을 기본으로 한다. 문화유산의 성격에 따라 수정이나 추가가 필요한 경우에는 사업담당자와 협의하여 정한다.

1) A3 기본 도면 작성 시 유의 사항

- ① 도면 구성상 같은 면에 그릴 경우, 축척은 동일하게 적용한다. 다만, 부득이한 경우에는 사업 담당자의 승인을 거쳐 적용한다.
- ② 각 도면에는 도면 명칭과 번호, 치수, 축척, 그리고 필요시 방위표, 키 플랜<sup>10)</sup>을 넣는다.③ CAD 작업 시 부재별로 레이어를 설정한다.
- ④ 선은 단위 부재별로 폴리선(polyline)으로 작성 또는 묶는 것을 기본으로 한다.
- ⑤ 치수는 레이어를 달리하여 상세히 기록하도록 한다.
- ⑥ 치수선은 4면에 모두 기입하되, 같은 부재의 치수는 도면이 달라지더라도 같아야 한다.
- ⑦ 도면 치수는 mm 단위를 기본으로 하고, 필요할 경우에는 m와 cm를 병기한다.
- ⑧ 제출용 도면은 A3 크기의 도면을 백상지에 출력하여 제출한다.

2) A4 기본 도면(보고서 수록용 도면) 작성 시 유의 사항

- ① A4 기본 도면은 A3 규격의 CAD 도면을 활용하여 A4 규격으로 출력할 수 있도록 재편집한 도면이다.
- ② A4 규격의 편집 양식에 맞도록 기본 도면을 배치한다.
- ③ 도면 명칭과 번호, 치수, 축척, 방위표, 키 플랜은 도면 외곽선 영역의 크기에 따라 크기를 달리하여 출력 시 동일한 스케일이 되도록 한다.
- ④ CAD 도면 작성과 관련된 세부 사항은 작업 착수 전에 사업 담당자와 필히 협의하여 작성한다.
- ⑤ 편집이 끝난 도면은 A4 규격의 도면을 백상지에 출력하여 도면함에 편철하여 제출한다.
- ⑥ CAD 작업 시에 부재별로 레이어를 설정한다.
- ⑦ 선은 폴리선(polyline)으로 작성 또는 묶는 것을 기본으로 한다.
- ⑧ 치수는 레이어를 달리하여 상세히 기록하며 도면 이름에 알맞은 부재의 치수를 기입토록 한다.
- ⑨ 치수는 4면에 기입하되 부재의 치수는 도면이 달라지더라도 같아야 한다.

10) 전체 사이트 중 도면이 해당하는 영역, 부재의 위치, 단면의 위치와 방향, 입면의 방향 등 도면이 기술하는 내용이 전체에 대해 가지는 관계를 보여주는 부수적인 도면

5.5 사진 결과물 제작

사진자료는 현장조사 시 문화유산 전경 및 주변 환경을 촬영한 사진을 비롯한 작업 사진 등을 말한다. 문화유산은 가능한 한 수평·수직 촬영을 준수하며, 정면·배면·좌우 측면 촬영을 기본으로 한다.



<그림 26> 사적단 수직 촬영 / 정면, 좌측면, 우측면, 배면(왼쪽 위로부터 시계 방향)

5.6 기타 결과물

기록·실측사업에서 주로 요구되는 상기 산출물 외에 사업에서의 필요에 따라 동영상, 3D PDF 등의 산출물이 요구될 수 있다. 사업의 성격상 필수적으로 요구되는 형식이 아닌 경우, 사업 발주 시 포함하지 않도록 한다.

1) 동영상

동영상은 카메라 애니메이션을 통해 스캔데이터를 손쉽게 감상하기 위한 목적으로 제작한다. 광대역 스캐닝에 의한 점군데이터에서의 카메라 애니메이션 혹은 정밀 스캐닝에 의한 메쉬 모델의 애니메이션으로 제작할 수 있다. 동영상은 대상 문화유산의 규모와 특성을 잘 고려하여 카메라 혹은 메쉬 모델의 움직임을 정하고, 해상도와 영상 시간, 완성된 동영상을 실행할 영상매체 등을 고려하여 제작한다. 필요한 경우, 대상 문화유산의 이해를 돕기 위해 설명 자료를 작성한 후 별도의 자막 파일로 제작한다.

## 2) 3D PDF

3D PDF 산출결과물은 정밀 스캐닝에 의한 메쉬 모델을 대상으로 제작이 가능하며, 일반적인 PDF 뷰어 프로그램에서 손쉽게 구동할 수 있다. PDF 내에서 3차원 모델을 회전하여 보거나 원하는 단면을 쉽게 확인할 수 있는 장점이 있다. 다만 구동 가능한 용량의 한계로 인해 용량을 줄여서 포함하여야 해서, 원래의 표면 색상이나 세밀한 조각 등의 정보 제공이 어렵다는 단점도 있다. 따라서 점밀도가 상대적으로 큰 광대역 스캔데이터, 매우 복잡한 형상의 메쉬 모델은 일반적으로 적합하지 않다. 그 외 용량 문제로 제작이 어렵다고 판단되는 부득이한 경우에는 발주기관과 협의하여 제작 여부를 결정한다.

## 5.7 납품시트 작성

납품시트는 납품하는 결과물을 기술하는 시트로서, 스캔데이터를 포함하여 스캔데이터를 기반으로 한 납품 목록과 결과물별 주요 내용을 기술한다. 스캔데이터의 경우 광대역 스캔데이터와 정밀 스캔데이터를 별도로 작성한다. 납품시트 작성요령은 「6.4 납품시트 작성 요령」에 기술되어 있다.

## 6. 부록

### 6.1 제안 요청서 작성 예시

다음은 사업 발주에 필요한 제안 요청서 혹은 과업 지시서에 3차원 스캐닝 및 납품과 관련한 내용의 예시이다. 본 예시의 내용은 제시 가능한 내용의 예시로서 발주 기관의 요구 사항, 대상 문화유산의 특성, 사업의 특정한 목적에 따라 추가 혹은 수정하여 달리 제시될 수 있다.

#### 1) 용역 일반 사항

- 3차원 스캐너를 이용한 스캐닝
  - 전체 현황: 광대역 스캐너 이용. 점밀도 4mm
  - 균열부, 이음부, 박락 및 탈락 등 양식적·구조적 중요 부분: 정밀 스캐너 이용. 점밀도 0.5~0.8mm
- 사진 촬영
  - 3차원 스캐닝 현장의 작업공정 사진
  - 부재의 세부 사진촬영
- 스캔데이터 후처리 작업
  - 3차원 스캔데이터의 정합, 병합, 메쉬 모델 최적화
  - 후처리 작업은 원본 스캔데이터의 점밀도를 유지하여 작업 실시
- 워크시트 작업
  - 데이터의 목록, 부재별 스캐닝 번호, 스캐닝 각도 등을 기재한 워크시트 정리
- 도면 작성
  - 입면, 각층 평면, 단면, 세부 디테일에 대한 A3 도면 작성
  - 주요 도면을 배치한 편집 도면(A4)

#### 2) 세부 사항

- ① 3차원 스캐닝
  - 실측 방법
    - 토목측량에 의거하여 중요 부분에 수직과 수평거리를 측정할 수 있는 좌표를 설치하여 광파측거기나 좌표를 측정할 수 있는 장비로 기준을 측정한 후 스캐닝한다.

- 전체 부재를 광대역 스캐너를 이용하여(점밀도 4mm) 스캐닝한 후 각 부재별 상태 및 특징에 따라 특히 균열부, 이음부, 박락 및 탈락 등 양식적·구조적 중요 부분 및 문비나 사천왕상 등 부조에 대하여 정밀 스캐닝(점밀도 0.5~1.0mm)을 수행한다.
- 부재의 스캐닝은 보이는 모든 면에 대해 수행하며(성혈, 이음부 등), 가려서 보이지 않는 높은 부분은 비계를 설치하여 스캐닝한다.

○ 후처리 방법

- 각 부재별 상태 및 특징에 따라 광대역(점밀도 4mm) 및 정밀(점밀도 0.5~0.8mm) 스캐닝으로 구축한 데이터에 대해 각각 적합한 방법으로 후처리를 실시한다.
- 과업 수행 중 스캐닝되지 않은 부분을 발견하면 이를 감독 공무원에게 보고하고, 다시 스캐닝하여 보완한다.
- 완성된 데이터를 이용하여 부분 및 전체의 3차원 메쉬 모델을 인터넷상에 서비스할 수 있도록 제작한다.

② 도면

○ 작성 방법

- 도면은 3차원 스캐닝한 데이터를 직접 활용하여 CAD로 작성함을 원칙으로 한다.
- 도면의 맨 앞에는 전체 도면의 목차를 작성하여야 한다.
- CAD 도면은 1:1 스케일로 작성하고, 배치도, 대지단면도, 정면도, 배면도, 우측면도, 좌측면도, 종단면도, 횡단면도, 각 부재 평면도, 각 부재 입면도, 각 부재 단면도, 각 부재 양시도, 상세도 순으로 나열한다.
- 단면도의 경우, 단면의 위치를 정확히 표현하여야 한다.
- 도면마다 부재의 원위치를 표시한 키 플랜을 작성한다. 방위표는 평면도와 바닥면에 표기하고, 입면에 대해서는 입면도의 명칭에 방위를 조합하여 표기한다.
- 도면은 입면 4매, 각층 평면, 단면, 양시, 세부 디테일 등 총 50매 내외로 하며 기존의 실측된 치수와 비교하여 차이가 없어야 한다.
- 도면은 감독 공무원과 협의하여 A3 및 A4의 도면에 맞게 레이아웃 및 선의 굵기를 지정하여 수행한다.

○ 도면 레이아웃 기준

펜 번호	색상	펜 두께	선 종류	layer 명칭
1	red	0.020	중심선 해치선 key plan	cen hat key
2	yellow	0.020	입면의 도상 및 문양, 균열, 파손부	elev-3
3	green	0.090	입면 내부선	elev-2
4	cyan	0.200	입면 외곽선 (각 부재 외곽선)	elev-1
6	magenta	0.300	주단면	sec-1
7	black(white)	0.090	text 치수선 bar scale	text dim scale
8	blue	0.500	G.L.	gl

○ 제출 도면 목록

도면명	비고	
기본 도면	배치도	· 보호구역 내외 건조물, 도로, 수목 등
	대지단면도	· 종·횡 단면
	평면도	· 지대석 또는 기단부 등 최하부 평면도
	입면도	· 전·후·좌·우 4면
	단면도	· 전체 단면도 2면 이상
부재별 상 세도	평면도	· 기단, 탑신, 옥개석(각 층별)
	양시도	· 옥개석 · 기타 양시가 필요한 경우(기단갑석, 노반 등)
부분 상세도	주요 부재 상세	· 상륜부 · 문비, 연화 등 문양이 있는 부재
	건축 기법 상세	· 옥개석 지붕면곡, 양곡, 안허리곡 등(부분 상세 단면도) · 기둥의 흘림 등
A4 크기의 편집도면		· 위에서 만든 도면을 A4 크기에 적절히 재배치한 도면 · 석탑 1기당 A4 30매 내외(3층 석탑일 경우)

③ 사진 촬영

- 텍스처로 사용되거나 작업 기록을 위해 첨부되는 사진은 3000홀 이상의 해상도로 촬영되어야 한다<sup>11)</sup>.
- 일광 상태에서 촬영해야 하나 일몰 상태에서 촬영 시에는 플래시를 사용하여 촬영하되, 음영 및 다른 부재와 이질감이 생기지 않도록 주의하며 촬영하여야 한다.

④ 보고서 및 워크시트 작성

- 보고서는 스캐닝 과정에 대한 일자별 기록 및 작업량, 작업 투입 인원, 시간 등 세부 내용을 날짜별 혹은 부재별로 정리하여야 한다.
- 워크시트는 광대역 스캐닝, 정밀 스캐닝, 사진 촬영 작업에 대해 별도로 작성하되 워크시트 양식상의 내용을 상세히 정리하여야 된다.

3) 성과품의 작성 및 제출

① 성과품의 작성

○ 3D 스캔데이터

- 3D 스캔데이터는 스캔 소프트웨어에서 저장한 원시 데이터와 PTS 형식으로 저장한 데이터, 병합 작업 후 PTS 형식으로 저장한 데이터를 제출하는 것을 원칙으로 한다.
- 스캔데이터는 이동 가능한 외장하드에 저장하여 제출한다.

○ 후처리 작업

- 후처리 과정에 사용한 프로그램, 작업 방법 등에 대해 상세하게 기록하여 제출한다.
- 3D 후처리 작업은 통상적으로 프로그램 상에서 훼손 상태(균열, 결실, 박락 등) 및 부재의 형태가 확인될 수 있도록 컬러를 기준으로 한다.

○ 도면 작업

- A3 도면은 입면 4매 및 각 층의 평면, 단면, 세부 디테일 등 석탑 1기당 50장 내외로 해서 dwg 파일과 출력본 형태로 제출한다.
- 도면 작업에 사용된 3D스캔 jpeg 파일을 도면 파일과 함께 제출한다.
- A4 크기의 편집 도면을 dwg 파일과 출력본 형태로 제출한다.

11) 해상도의 기준은 카메라의 발전이나 사업에 따라 달라질 수 있다.

② 제출 성과품의 목록

〈표 13〉 최종 산출결과물의 납품 항목(예시)

구분	제출물 명	규격	비고
3D 스캔 데이터	데이터 파일	○ 외장하드 - 스캔 원본 데이터 파일(원시 데이터 형식, PTS) - 병합 데이터 파일(PTS)	
작업공정 사진	작업공정 디지털사진	○ 외장하드 - 참고용 사진, 작업상 필요한 세부 사진 - 사진별 제목 및 목록 포함	
도면	캐드 도면 출력본(A3), dwg 파일	- 대지단면도 - 배치도 - 전·후·좌·우 입면 4매 - 각 부재별 전·후·좌·우 입면 4매 - 평면 상하층 기단, 1·2·3층 평면 - 옥개석 등 양시도(기타 필요한 부분) - 단면(남북, 동서 단면도) - 상세 디테일 등(특히, 옥개석)	상세내역은 제출 도면 목록 참조
도면	편집 도면 출력본(A4), dwg 파일	- A4 크기에 주요 도면을 배치한 편집 도면 - 입면도 4면, 단면도 2방향 이상 - 각 부재별 평면, 단면, 입면을 적절히 배치한 도면 각 2매씩 - 각 페이지마다 킷플랜, 방위표, 스케일바 포함 - 담당 공무원과 충분히 협의할 것	
보고서 및 워크시트	보고서	○ A4 - 10부 - 50쪽 내외	
	워크시트	○ A4 - 10부	

③ 성과품의 파일 명 및 저장 경로

- 성과품의 파일 명과 저장 경로의 설정은 「문화재 기록화사업 표준 데이터 제작지침」의 기준을 따르도록 한다.

6.2 현장조사 워크시트 작성 요령

1) 현장조사 워크시트의 구성과 납품

워크시트는 표지와 스캐닝 방식별 워크시트로 구성된다. 하나의 대상 문화유산에 대해 여러 스캐닝 방식을 혼용한 경우는 사용한 스캐닝 방식별로 워크시트를 작성하되, 표지를 포함한 하나의 PDF 및 HWP로 묶어서 하나의 대상 문화유산에 대해 하나의 워크시트(PDF 및 HWP)가 나오도록 제작하여 납품한다.

2) 작성 요령

표지에는 다음 사항이 포함된다.

- ① 문화재 명: 국가지정 또는 시도지정 문화유산은 지정 내용과 지정 명칭 등을 기재한다.(예: 국보 225호 창덕궁 인정전)
  - ② 부속문화재: 해당 문화재 내에 다른 부속문화재(편액, 현판, 주련, 동종, 불상 등)를 포함하고 있는지 그 여부와 명칭을 기재한다.
  - ③ 주소: 문화재가 소재하고 있는 도로명주소를 기재한다.(예: 서울특별시 종로구 율곡로 99 창덕궁)
  - ④ 소유(자) 기관: 국유, 개인, 00박물관 등 소유 기관이나 소유자를 기재한다.
  - ⑤ 조사 일자: 연월일 순서로 기재한다.(예: 2018년 10월 25일)
  - ⑥ 스캐닝 방식: 사용한 3차원 스캐닝 방식을 광대역 스캐닝과 정밀 스캐닝 중에서 선택하여 체크하며, 병행하여 사용한 경우 모두 체크한다.
  - ⑦ 사용 스캐너: 사용한 스캐너의 제조사와 모델 명을 모두 기입한다.(예: Leica ScanStation C10)
  - ⑧ 특이 사항: 현장조사 과정의 특이 사항을 기재한다.
  - ⑨ 총 페이지 수: 표지를 포함한 워크시트의 총 페이지 수를 기록한다.
- 광대역 스캐닝 현장조사 워크시트에는 다음 사항이 포함된다.

- ① 문화재 명: 국가지정 또는 시도지정 문화유산은 지정 내용과 지정 명칭 등을 기재한다.
- ② 조사 일자: 연월일 순서로 기재한다.(예: 2018년 10월 25일)
- ③ 작업 시간: 조사 시작 시간과 종료 시간을 기재한다.(예: 09:30~17:30)
- ④ 조사 장소: 실제 조사가 이루어진 장소를 기재한다.(예: 국보 제225호 창덕궁 인정전 내외부, 인정문·회랑 내외부)
- ⑤ 기상 환경
  - ⑤-1 날씨는 다음 중에서 선택하며, 해당 사항이 없는 경우는 기타로 분류한 후 괄호 안에 내용을 기재하며, 변화 추이에 따라 중복 기재가 가능하다.

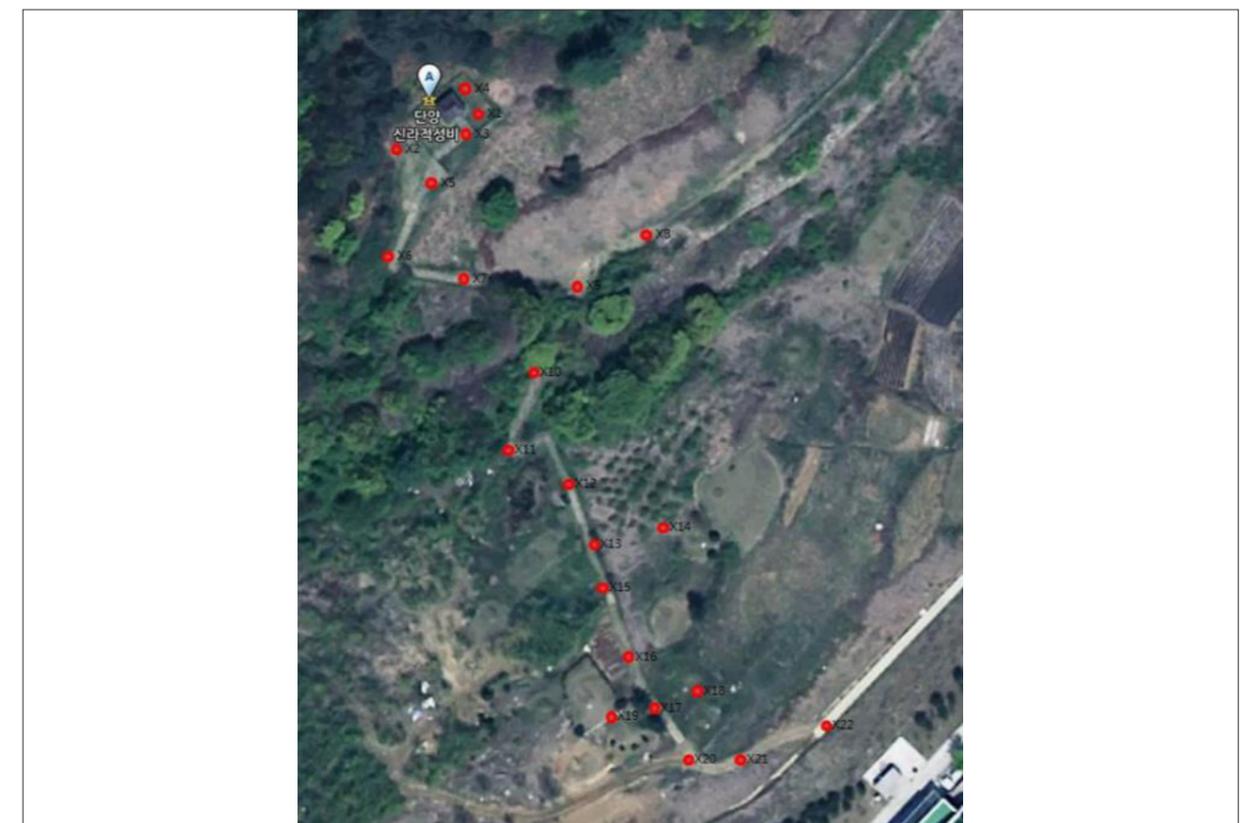
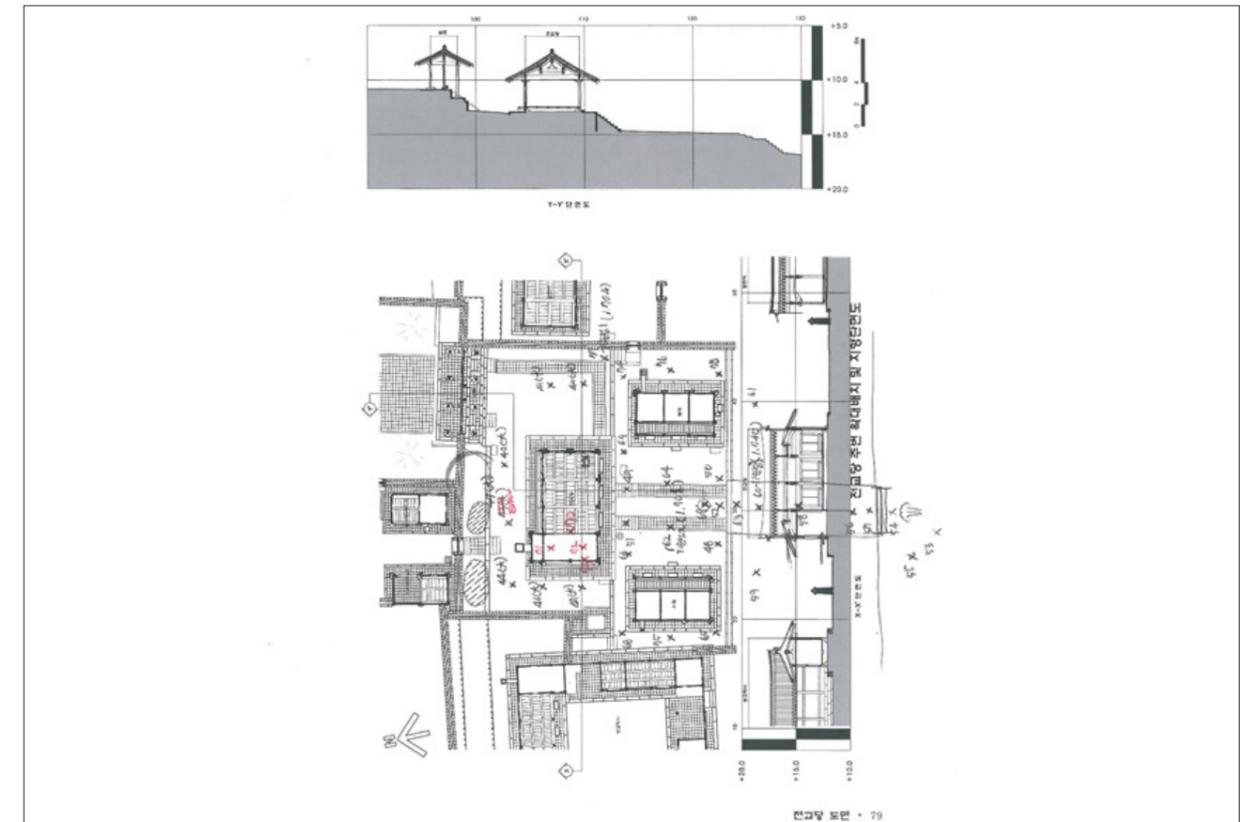
맑음	맑은 후 흐림	맑은 후 비	비 온 후 맑음	흐림	안개	비	눈	기타
----	---------	--------	----------	----	----	---	---	----

⑤-2 바람은 다음 구분 내용 중에서 선택한다.

구분	풍속(m/s)	비고
고요	0	연기가 수직 상승
실바람	0.3 - 1.5	가장 여린 바람
남실바람	1.6 - 3.3	얼굴에 느껴지고 나뭇잎이 살랑거림
산들바람	3.4 - 5.4	나뭇잎과 잔가지가 흔들리고 깃발이 나부김
건들바람	5.5 - 7.9	먼지가 일고 잔가지가 흔들림
흔들바람	8.0 - 10.7	잎이 있는 작은 나무가 흔들리기 시작
된바람	10.8 - 13.8	큰 나뭇가지가 흔들리고 우산 사용 불가

- ⑥ 작업자·소속: 실제 작업자의 이름을 기재하며, 이때 소속도 함께 기재한다.(예: 홍길동 / 000연구소)
- ⑦ 장비 명: 스캔장비의 제조사와 모델 명을 모두 기입한다.(예: Leica ScanStation C10)
- ⑧ 요구 점밀도: 과업 내용서에 요구되어 있는 점밀도를 그대로 기재한다.(예: 6mm 이하)
- ⑨ 사용 점밀도: 실제 스캐닝 작업 시 설정하여 사용한 점밀도를 열거한다.(예: 50x50mm/100m(High Resolution), 100x100mm/100m(Medium Resolution))
- ⑩ 스캔위치 수: 스캐닝한 총 위치 수를 기재한다. 이때 위치 수와 다음 페이지에 도표화될 스캔위치현황도의 수가 일치해야 한다.(예: 34개)
- ⑪ 컬러 데이터: 컬러 데이터의 구축 여부를 먼저 표기하고, 내장 카메라인지 외장 카메라인지를 표기한다. 외장 카메라인 경우에는 괄호 안에 카메라의 사양도 함께 기재한다.(예: 외장(Nikon D200))
- ⑫ 기준점 측정 여부: 기준점 측정 여부를 표기하고, 기준점 측정 일자와 스캔 일자가 서로 다를 경우에는 측정한 연월일을 기재한다.

- ⑬ 표석 및 기준점 수: 총 측정 기준점 수와 매립한 표석 수를 기재하며, 표석을 매립하지 못한 경우에는 그 사유를 기재한다.(예: 기준점 표석 수 1/기준점 수 4, 소유자의 불허)
- ⑭ 기준점 측정 장비 명: 기준점 측정에 사용된 장비의 제조사와 모델 명을 기입한다.(예: Leica社 Scan Station C10)
- ⑮ 조사 시 특이 사항: 현장조사 과정에서의 특이 사항을 기재한다.
- ⑯ 광대역 스캐닝 위치: 위성사진 혹은 평면도를 확보하거나 직접 그린 평면 이미지에 광대역 스캐닝을 수행한 위치를 표시한다. 영역이 넓은 경우 스캐닝 위치가 겹치지않도록 여러 장에 나누어 표기하고, 위성사진 또는 평면도를 활용한 키 플랜을 삽입하여 각 이미지가 전체 사이트 중 어디에 해당하는지 표시한다. 각 위치에 대한 캡션은 대문자 P에 스캐닝한 순번(P01, P02...)으로 작성한다.
- ⑰ 광대역 스캔위치별 설정 점밀도: 각 스캔위치별로 설정한 점밀도를 표 형식으로 모두 기재한다.(예 : P01-50x50mm/100m(high))



<그림 27> 광대역 스캔위치 현황도 예시. 안동 도산서원 전교당(위)과 단양 신라적성비(아래)

정밀 스캐닝 현장조사 워크시트에는 다음 사항이 포함된다.

- ① 문화재 명: 국가지정 또는 시도지정 문화재는 지정 내용과 지정 명칭 등을 기재한다.(예: 보물 제210호 안동 도산서원 전교당)
- ② 조사 일자: 연월일 순서로 기재한다.(예: 2018년 10월 25일)
- ③ 작업 시간: 조사 시작 시간과 종료 시간을 기재한다.  
(예: 09:30~17:30)
- ④ 조사 장소: 실제 조사가 이루어진 장소를 기재한다.(예: 국보 제225호 창덕궁 인정전 내외부, 인정문·회랑 내외부)
- ⑤ 기상 환경
  - ⑤-1 날씨는 다음 중에서 선택하며, 해당 사항이 없는 경우는 기타로 분류한 후 괄호 안에 내용을 기재하며, 변화 추이에 따라 중복 기재가 가능하다.

맑음	맑은 후 흐림	맑은 후 비	비 온 후 맑음	흐림	안개	비	눈	기타
----	---------	--------	----------	----	----	---	---	----

⑤-2 바람은 다음 구분 내용 중에서 선택한다.

구 분	풍속(m/s)	비 고
고 요	0	연기가 수직 상승
실 바람	0.3 - 1.5	가장 여린 바람
남실바람	1.6 - 3.3	얼굴에 느껴지고 나뭇잎이 살랑거림
산들바람	3.4 - 5.4	나뭇잎과 잔가지가 흔들리고 깃발이 나부킴
건들바람	5.5 - 7.9	먼지가 일고 잔가지가 흔들림
흔들바람	8.0 - 10.7	잎이 있는 작은 나무가 흔들리기 시작
된 바람	10.8 - 13.8	큰 나뭇가지가 흔들리고 우산 사용 불가

- ⑥ 작업자·소속: 실제 작업자의 이름을 기재하며, 소속도 함께 기재한다.(예: 홍길동 / 000연구소)
- ⑦ 장비 명: 스캔장비 제조사와 모델 명을 모두 기입한다.(예: ATOS COMPACT 5, VIVID 910i)
- ⑧ 스캐닝 방식: 정밀 스캔 방식을 기입한다.(예: 구조광 방식)
- ⑨ 해상도 세팅: 스캐닝 시 해상도를 세팅하기 위해 적용한 방식을 기재한다. 스캐너별로 해당하는 방식을 그대로 사용하는데, 예를 들어 렌즈 교체형의 경우에는 사용한 렌즈타입을 기재한다.(예: ATOS COMPACT 5 300×300, 300×600)
- ⑩ 요구 점밀도: 과업 내용서에 요구되어 있는 점밀도를 그대로 기재한다.(예: 3mm 이하)
- ⑪ 스캐닝 횟수: 정밀 스캐닝한 총 횟수를 기입한다.(예: 67회)
- ⑫ 조명: 스캔 시 자연광인지, 별도의 조명을 설치하였는지를 기재한다.  
(예: 백색 지속광)
- ⑬ 방위: 부동산 문화유산의 경우에는 위성사진 및 평면도 활용하여 대상 문화유산의 방위를 기재하며, 기재 방식은 다음 그림과 같다. 부동산 문화유산이 아닌 경우 기입하지 않는다.



〈그림 28〉 부동산 문화유산 방위 표시 예시(단양신라적성비)

- ⑭ 문화재의 특징: 해당 문화재의 간단한 설명과 특징을 기재한다.(예: 단양 신라적성비는 약 50cm 높이의 문화재로서 정면에는 288자의 비문이 새겨져 있다.)
- ⑮ 조사 시 특이 사항: 현장조사 과정에서의 특이 사항을 기재한다.

사진 촬영 워크시트에는 다음 사항이 포함된다.

- ① 문화재 명: 국가지정 또는 시도지정 문화유산은 지정 내용과 지정 명칭 등을 기재한다.(예: 국보 225호 창덕궁 인정전)
- ② 조사 일자: 연월일 순서로 기재한다.(예: 2018년 3월 3일)
- ③ 작업 시간: 조사 시작 시간과 종료 시간을 기재한다.  
(예: 09:30~17:30)
- ④ 기상 환경: 다음 예시 중에서 날씨 정보를 선택하여 기재한다. 해당 사항이 없는 경우는 기타로 분류한 후 괄호 안에 내용을 기재하며, 변화 추이에 따라 중복 기재가 가능하다.

맑음	맑은 후 흐림	맑은 후 비	비 온 후 맑음	흐림	안개	비	눈	기타
----	---------	--------	----------	----	----	---	---	----

- ⑤ 작업자·소속: 실제 작업자의 이름을 기재하고, 괄호 안에는 소속도 함께 기재한다.(예: 홍OO, 김OO, 이OO(OOO연구소))
- ⑥ 사진 촬영의 유형: 사진 촬영의 유형을 기재한다. 2가지 이상의 촬영 유형을 적용하여 실시한 경우에는 해당 사항에 모두 체크한다.
- ⑦ 카메라 모델 명: 촬영 시 사용한 카메라의 제조사와 모델 명을 기입한다.(예: Canon 5D Mark II)
- ⑧ 사용 렌즈: 촬영 시 사용한 렌즈를 기입한다.(예: Canon EF 70-200 F4L USM, Canon EF 24-70 F2.8L USM)
- ⑨ 조명: 설치한 조명의 수량을 기입한다.(예: 좌·우·탑 각 1개, 총 3개)
- ⑩ 요구 해상도: 과업 내용서에 제시되어 있는 요구 해상도를 기입한다.  
(예: 1200×600)
- ⑪ 사용 해상도: 촬영 시 사용한 해상도를 기입한다.
- ⑫ 촬영 매수: 총 촬영한 사진 매수를 기입한다.(예: 92매)
- ⑬ 컬러(그레이)차트 촬영: 컬러차트 또는 그레이차트 촬영은 원 색상의 보정을 위해 꼭 필요한 과정이므로, 촬영 여부를 기재한다.
- ⑭ 주요 촬영 내역: 방위가 기재된 약식 평면도와 약식 입면도에 사진 촬영 방향을 표시한다.
- ⑮ 특이 사항: 사진 촬영 과정에서의 특이 사항을 기재한다.

### 3) 작성 예시

#### ① 현장조사 워크시트 표지

문화재명	보물 제210호 안동 도산서원 전교당
부속문화재	
소유기관	도산서원

조사일자	2018. 5. 2.
스캐닝 방식	<input checked="" type="checkbox"/> 광대역 스캐닝 <input type="checkbox"/> 정밀 스캐닝
사용 스캐너	Leica ScanStation P40
특이사항	
워크시트 구성 및 총 페이지 수	<input checked="" type="checkbox"/> 광대역 스캐닝 현장조사 워크시트 <input type="checkbox"/> 정밀 스캐닝 현장조사 워크시트 <input type="checkbox"/> 사진 촬영 워크시트 <input type="checkbox"/> 기준점의조서 <input checked="" type="checkbox"/> GPS 측량관측기록부 <input type="checkbox"/> 기타: ( ) 총 페이지 수: 표지포함 7 페이지

작업팀장	김 OO	(확인)
사업관리자	박 OO	(확인)

② 광대역 스캐닝 현장조사 워크시트

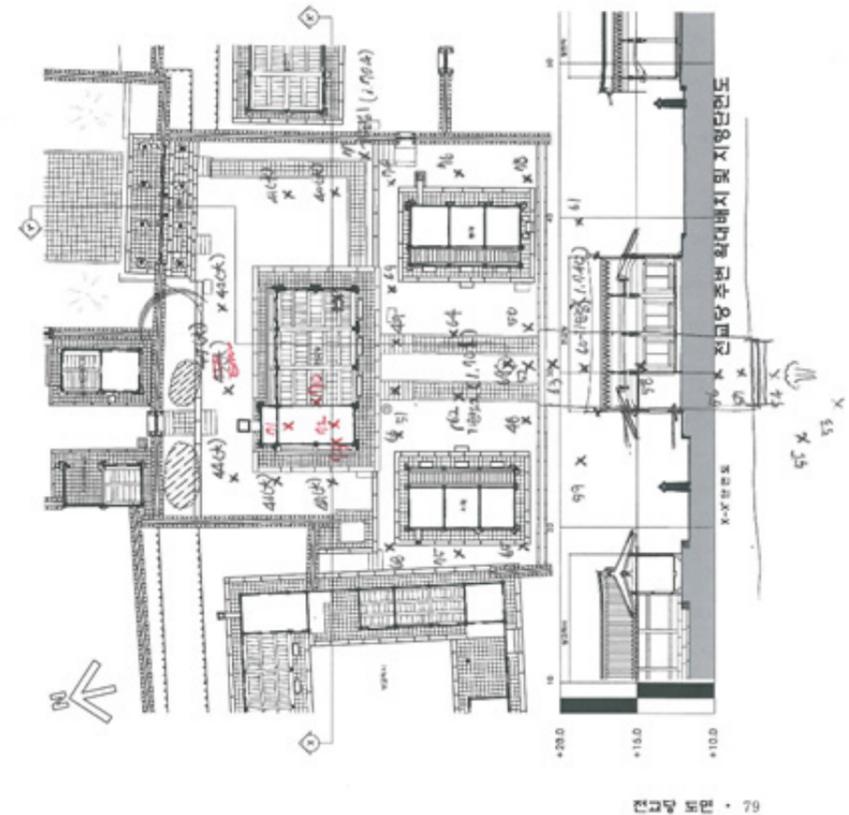
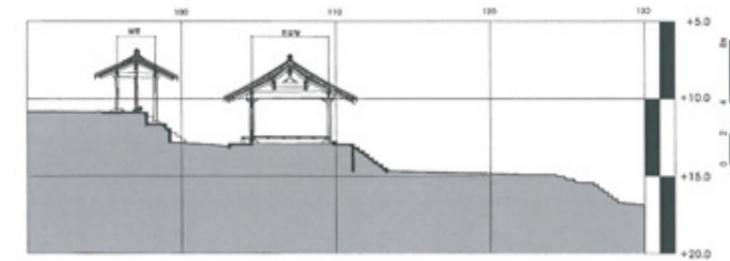
작성자	작업팀장	사업관리자	1차 백업
김OO	이OO	박OO	2018.5.4.

문화재 명	보물 제210호 안동 도산서원 전교당	조사 일자	2018. 5. 2.
작업 시간	09:30~17:30	조사 장소	보물 제210호 안동 도산서원 전교당 내외부
기상 환경	___실내 ___외(날씨: 맑음 바람: 0.3~1.5m/s)	작업자 / 소속	김OO/(주)OOOOO

세부 작업공정

장비 명	Leica ScanStation P40			
요구 점밀도 (mm)	6mm 이하			
사용 점밀도 (mm)	6,3mm@10m, 3,1mm@10m			
스캔위치 수 (개)	78 개			
컬러 데이터	구축 여부	___여 ___부		
	구축 방식	내장 ___외장(장비: Nikon D200 )		
기준점 측정	기준점 측정 여부	___여 ___부	측정 일자	2018. 4. 30.
	표석 및 기준점 수	표석_0 개, 기준점_3 개	미설치 사유	
	기준점 측정장비 명	Sokkia GRX-2		
조사 시 특이 사항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 관람객의 동선과 3차원 스캐닝 작업 동선이 서로 겹치므로 작업 시간이 다소 지연되었으나, 3차원 광대역 스캐닝 작업 과정을 관람객들에게 공개함으로써 문화재의 보존과 기록에 대한 관심과 흥미를 유발하는 계기가 되었음</li> </ul>			

광대역 스캐닝 위치



광대역 스캐닝 위치별 설정 점밀도

위치	설정 점밀도 (mm)	위치	설정 점밀도 (mm)	위치	설정 점밀도 (mm)
P01	6.3mm@10m	P31	6.3mm@10m	P61	3.1mm@10m
P02	6.3mm@10m	P32	3.1mm@10m	P62	6.3mm@10m
P03	6.3mm@10m	P33	3.1mm@10m	P63	6.3mm@10m
P04	6.3mm@10m	P34	6.3mm@10m	P64	6.3mm@10m
P05	6.3mm@10m	P35	6.3mm@10m	P65	6.3mm@10m
P06	6.3mm@10m	P36	6.3mm@10m	P66	6.3mm@10m
P07	6.3mm@10m	P37	6.3mm@10m	P67	6.3mm@10m
P08	6.3mm@10m	P38	6.3mm@10m	P68	6.3mm@10m
P09	6.3mm@10m	P39	6.3mm@10m	P69	6.3mm@10m
P10	6.3mm@10m	P40	3.1mm@10m	P70	6.3mm@10m
P11	6.3mm@10m	P41	3.1mm@10m	P71	6.3mm@10m
P12	6.3mm@10m	P42	3.1mm@10m	P72	6.3mm@10m
P13	6.3mm@10m	P43	3.1mm@10m	P73	6.3mm@10m
P14	6.3mm@10m	P44	3.1mm@10m	P74	6.3mm@10m
P15	6.3mm@10m	P45	3.1mm@10m	P75	6.3mm@10m
P16	6.3mm@10m	P46	3.1mm@10m	P76	6.3mm@10m
P17	6.3mm@10m	P47	3.1mm@10m	P77	6.3mm@10m
P18	6.3mm@10m	P48	6.3mm@10m	P78	6.3mm@10m
P19	6.3mm@10m	P49	6.3mm@10m		
P20	6.3mm@10m	P50	6.3mm@10m		
P21	6.3mm@10m	P51	6.3mm@10m		
P22	6.3mm@10m	P52	6.3mm@10m		
P23	6.3mm@10m	P53	6.3mm@10m		
P24	6.3mm@10m	P54	6.3mm@10m		
P25	6.3mm@10m	P55	6.3mm@10m		
P26	6.3mm@10m	P56	6.3mm@10m		
P27	6.3mm@10m	P57	6.3mm@10m		
P28	6.3mm@10m	P58	6.3mm@10m		
P29	6.3mm@10m	P59	6.3mm@10m		
P30	6.3mm@10m	P60	3.1mm@10m		

③ 정밀 스캐닝 현장조사 워크시트

작성자	작업팀장	사업관리자	1차 백업
김OO	이OO	박OO	2018.6.15.

문화재 명	국보 제198호 단양신라적성비	조사 일자	2018. 6. 12
작업 시간	09:30 - 17:30	조사 장소	국보 제198호 단양신라적성비 보호각 내
기상 환경	___실내 ___실외 (날씨: 맑음 바람: 0.3~1.5m/s)	작업자 / 소속	김OO/(주)OOOOO

세부 작업공정

장비 명	ATOS COMPACT 5, VIVID 910i
스캐닝 방식	구조광 방식
요구 점밀도 (mm)	3mm 이하
사용 점밀도 (mm)	ATOS COMPACT 5 300x300, 300x600
스캐닝 회수 (회)	67회
조명	백색 지속광

방위



문화재의 특징

정면과 배면에 명문이 있음

조사 시  
특이 사항

- 보호각 내 위치
- 지표상 고정된 부동산문화재로서 광대역 스캐닝 병행

④ 사진 촬영 워크시트

작성자	작업팀장	사업관리자	1차 백업
김OO	이OO	박OO	2018.6.15.

문화재 명	국보 제198호 단양신라적성비	조사 일자	2018. 6. 12
작업 시간	09:30 ~ 17:30	조사 장소	국보 제198호 단양신라적성비 보호각 내
기상 환경	___실내 __v_실외(날씨: 맑음)	작업자 / 소속	안OO/(주)OOOOO

사진 촬영 유형	항공 촬영	스캔데이터 컬러매핑	메쉬모델 텍스처매핑	사진 자료	기타
				v	

세부 작업공정

카메라 모델 명	Canon 5D Mark II
사용 렌즈	Canon EF 70-200 F4L USM, Canon EF 24-70 F2.8L USM
조명	자연광
요구 해상도	3000×2000
사용 해상도	3000×2000
촬영 매수 (매)	97매
컬러(그레이)차트 촬영 여부	__v__여 ___부
주요 촬영 내역	적성비 정면, 배면, 좌측면, 우측면 각 1매 보호각 전체 정면, 배면, 좌측면, 우측면 각 1매
특이 사항	<ul style="list-style-type: none"> <li>실외 촬영으로 조리개 값 및 셔터 속도 수시 변동</li> <li>보호각 내부에 유물이 위치하여 24-70mm로 촬영</li> </ul>

6.3 후처리 워크시트  
작성 요령

1) 후처리 워크시트의 구성과 납품

워크시트는 표지와 스캐닝 방식별 워크시트로 구성된다. 하나의 대상 문화유산에 대해 여러 스캐닝 방식을 혼용한 경우에는 사용한 스캐닝 방식별로 후처리 워크시트를 작성하되, 표지를 포함한 하나의 PDF 및 HWP로 묶어서 하나의 대상 문화유산에 대해 하나의 후처리 워크시트(PDF 및 HWP)가 나오도록 제작하여 납품한다.

2) 작성 요령

표지에는 다음 사항이 포함된다.

- 문화재 명: 국가지정 또는 시도지정 문화유산은 지정 내용과 지정 명칭 등을 기재한다.(예: 국보 제225호 창덕궁 인정전)
- 부속문화재: 해당 문화재 내에 다른 부속문화재(편액, 현판, 주련, 동종, 불상 등)를 포함하고 있는지 그 여부와 명칭을 기재한다.
- 주소: 문화재가 소재하고 있는 도로명주소를 기재한다.(예: 서울특별시 종로구 율곡로 99 창덕궁)
- 소유(자) 기관: 국유, 개인, OO박물관 등 소유 기관이나 소유자를 기재한다.
- 작업일자: 후처리 작업을 한 날짜를 연월일 순서로 기재한다.(예: 2018년 11월 25일)
- 스캐닝 방식: 사용한 3차원 스캐닝 방식을 광대역 스캐닝과 정밀 스캐닝 중에서 선택하여 체크하며, 병행하여 사용한 경우 모두 체크한다.
- 사용 스캐너: 사용한 스캐너의 제조사와 모델 명을 모두 기입한다.(예: Leica ScanStation C10)
- 특이 사항: 현장조사 과정에서의 특이 사항을 기재한다.
- 워크시트 페이지 수: 표지를 포함한 워크시트의 총 페이지 수를 기록한다.

광대역 스캔데이터 후처리 워크시트에는 다음 사항이 포함된다.

- 문화재 명: 국가지정 또는 시도지정 문화유산은 지정 내용과 지정 명칭 등을 기재한다.(예: 국보 제225호 창덕궁 인정전)
- 일시: 시작 일시와 완료 일시를 기재한다.(예: 2018. 3. 26. 10:00)
- 원시데이터: 원시데이터의 총 점 개수, 파일 형식, 파일 용량, PTS 형식으로 저장한 파일의 용량, 사용한 소프트웨어 명과 버전을 기입한다.(예: 원시데이터의 파일 형식 / 원시데이터의 파일 용량 382MB / PTS데이터의 파일 용량 411MB, (S/W) Faro Scene 7.1)

- ④ 정합데이터: 정합 과정을 완료한 데이터의 총 점 개수, 파일 용량을 기입한다.
- ⑤ 병합데이터: 병합 과정을 완료한 데이터의 총 점 개수, 파일 용량을 기입한다.
- ⑥ 작업 SW: 작업 시 활용한 S/W를 기입한다.(예: Faro Scene 7.1)
- ⑦ 컬러매핑 여부: 매핑 여부를 확인하고 사용한 소프트웨어 명과 버전을 기입한다.(예: Faro Scene 7.1, Adobe Photoshop CC)
- ⑧ 기준점데이터(PTS)의 유무: 기준점데이터(PTS 형식)의 유무를 확인하며, 사용한 소프트웨어 명과 버전을 기입한다.(예: Faro Scene 7.1)
- ⑨ 특이 사항: 광대역 스캔데이터 후처리 과정에서의 특이 사항을 기재한다.

정밀 스캔데이터 후처리 워크시트에는 다음 사항이 포함된다.

- ① 문화재 명: 국가지정 또는 시도지정 문화유산은 지정 내용과 지정 명칭 등을 기재한다.(예: 국보 225호 창덕궁 인정전)
- ② 일시: 시작 일시와 완료 일시를 기재한다.(예: 2018. 3. 26. 10:00)
- ③ 원시데이터: 원시데이터의 총 점 개수, 파일 형식, 파일 용량, PTS 형식으로 저장한 파일의 용량, 사용한 소프트웨어 명과 버전을 기입한다.(예: 원시데이터의 파일 형식 / 원시데이터의 파일 용량 382MB / PTS데이터의 파일 용량 411MB, (S/W) Faro Scene 7.1)
- ④ 정합데이터: 정합 과정을 완료한 데이터의 총 점 개수, 파일 용량을 기입한다.
- ⑤ 병합데이터: 병합 과정을 완료한 데이터의 총 점 개수, 파일 용량을 기입한다.
- ⑥ 작업 SW: 작업 시 사용한 소프트웨어 명과 버전을 기입한다.(예: Faro Scene 7.1)
- ⑦ 메쉬모델의 파일 형식 · 용량: 병합이 완료된 스캔데이터로부터 생성한 메쉬모델의 파일 형식과 용량, 사용한 소프트웨어 명과 버전을 기입한다.(예: PLY 100MB, (S/W) MeshLab 2016)
- ⑧ 텍스처 매핑: 매핑 여부를 확인하고 사용한 소프트웨어 명과 버전을 기입한다.(예: Faro Scene 7.1, Adobe Photoshop CC)
- ⑨ 기준점데이터(PTS)의 유무: 기준점데이터(PTS 형식)의 유무를 확인하며, 사용한 소프트웨어 명과 버전을 기입한다.(예: Faro Scene 7.1)
- ⑩ 특이 사항: 광대역 스캔데이터 후처리 과정에서의 특이 사항을 기재한다.

### 3) 작성 예시

#### ① 후처리 워크시트 표지

문화재명	문경 봉암사 지증대사탑비
부속문화재	
소유기관	봉암사

작업일자	2018. 3. 26. - 2018. 3. 31.
스캐닝 방식	<input checked="" type="checkbox"/> 광대역 스캐닝 <input checked="" type="checkbox"/> 정밀 스캐닝
사용 소프트웨어 개발사 SW명 버전	광대역 스캐닝, 기준점 입력: Leica Cyclone 9.2 정밀 스캐닝: 3D Systems Geomagic Design X 2018
특이사항	
워크시트 구성 및 총 페이지 수	<input checked="" type="checkbox"/> 광대역 스캔데이터 후처리 워크시트 <input checked="" type="checkbox"/> 정밀 스캔데이터 후처리 워크시트 __기타: ( )  총 페이지 수: 표지포함 <u>3</u> 페이지

작업팀장	(확인)
사업관리자	(확인)

② 광대역 스캔데이터 후처리 워크시트

사업책임자		사업관리자
정	부	
김OO	안OO	이OO

문화재 명	문경 봉암사 지증대사탑비		
시작 일시	2018. 3. 26. 09:00	완료 일시	2018. 3. 31. 18:00

세부 작업공정			작업 S/W 개발사 SW명 버전
원시데이터	점 개수 (개)	425,097,004 개	Leica Cyclone 9.2
	원시 데이터 파일형식	imp	
	원시 데이터 파일용량 (MB,GB)	14,203MB	
	PTS 데이터 파일용량 (MB,GB)	10,649MB	
정합데이터	점 개수 (개)	225,193,238개	Leica Cyclone 9.2
	파일용량 (MB,GB)	5,439MB	
병합데이터	점 개수 (개)	128,343,572개	Leica Cyclone 9.2
	파일용량 (MB,GB)	2,023MB	
컬러매핑 여부		___여___부	
기준점 PTS데이터 유무		___유___무	

특이 사항	
-------	--

③ 정밀 스캔데이터 후처리 워크시트

사업책임자		사업관리자
정	부	
김OO	안OO	이OO

문화재 명	문경 봉암사 지증대사탑비		
시작 일시	2018. 3. 26. 09:00	완료 일시	2018. 3. 31. 18:00

세부 작업공정			작업 S/W 개발사 SW명 버전
원시데이터	점 개수 (개)	23,425,523개	MeshLab 2016
	원시 데이터 파일형식	mlp (MeshLab project file)	
	원시 데이터 파일용량 (MB,GB)	2,53GB	
	PTS 데이터 파일용량 (MB,GB)	3,12GB	
	정합데이터	점 개수 (개)	
정합데이터	파일용량 (MB,GB)	2,10GB	MeshLab 2016
	점 개수 (개)	12,342,564개	
병합데이터	파일용량 (MB,GB)	1,53GB	MeshLab 2016
	메쉬모델 파일형식/용량 (MB,GB)	ply / 450MB	
텍스처 매핑		컬러소스 추출 매핑	Autodesk 3dsmax 2018

특이 사항	
-------	--

**6.4 납품시트**  
**작성 요령**

**1) 납품시트의 구성과 납품**

납품시트는 표지와 스캐닝 방식별 납품시트로 구성된다. 하나의 대상 문화유산에 대해 여러 스캐닝 방식을 혼용한 경우에는 사용한 스캐닝 방식별로 납품시트를 작성하되, 표지를 포함한 하나의 PDF 및 HWP로 묶어서 하나의 대상 문화유산에 대해 하나의 납품시트(PDF 및 HWP)가 나오도록 제작하여 납품한다.

**2) 작성 요령**

표지에는 다음 사항이 포함된다.

- ① 문화재 명: 국가지정 또는 시도지정 문화유산은 지정 내용과 지정 명칭 등을 기재한다.(예: 국보 225호 창덕궁 인정전)
- ② 부속문화재: 해당 문화재 내에 다른 부속문화재(편액, 현판, 주련, 동종, 불상 등)를 포함하고 있는지 그 여부와 명칭 기재한다.
- ③ 주소: 문화재가 소재하고 있는 도로명주소를 기재한다.(예: 서울특별시 종로구 율곡로 99 창덕궁)
- ④ 소유(자) 기관: 국유, 개인, 00박물관 등 소유 기관이나 소유자를 기재한다.
- ⑤ 납품일자: 연월일 순서로 기재한다.(예: 2018년 11월 25일)
- ⑥ 스캐닝 방식: 사용한 3차원 스캐닝 방식을 광대역 스캐닝과 정밀 스캐닝 중에서 선택하여 체크하며, 병행하여 사용한 경우 모두 체크한다.
- ⑦ 납품 목록: 납품하는 데이터의 종류와 각각의 개수를 기입한다.  
(예: 광대역 스캔데이터 원본 1개, 광대역 스캔데이터 pts)
- ⑧ 특이 사항: 현장조사 과정에서의 특이 사항을 기재한다.
- ⑨ 총 페이지 수: 표지를 포함한 납품시트의 총 페이지 수를 기록한다.

광대역 스캔데이터 납품시트에는 다음 사항이 포함된다.

- ① 문화재 명: 국가지정 또는 시도지정 문화유산은 지정 내용과 지정 명칭 등을 기재한다.(예: 국보 225호 창덕궁 인정전)
- ② 작성 일자: 시트 작성 일자를 기재한다.(예: 2018년 3월 26일 10:00)
- ③ 작성자 · 소속: 작성자의 이름을 기재하고, 소속도 함께 기재한다.(예: 홍길동 / 000연구소)
- ④ 원시데이터: 원시데이터의 점밀도 및 파일 형식을 포함한 파일 명, 파일 용량, PTS 형식으로 저장한 파일의 용량을 기입한다.(예: 원시데이터의 점밀도, 파일 명, 원시데이터의 파일 용량 382MB, PTS데이터의 파일 용량 411MB)

- ⑤ 병합데이터: 병합 과정을 완료한 데이터의 점밀도, 파일 명, 파일 용량을 기입한다.
- ⑥ 컬러매핑 여부: 매핑 여부를 확인하고, 사용한 소프트웨어 명과 버전을 기입한다.(예: Faro Scene 7.1, Adobe Photoshop CC)
- ⑦ 기준점: 측량심사 여부를 기입하고, 기준점데이터(PTS)의 유무를 확인하여 기입한다.
- ⑧ 파일 저장 위치(폴더 구조): 파일 저장 시 디렉토리(폴더) 구조의 기준을 준수하였는지 확인한 후 이를 기입한다.
- ⑨ 특이 사항: 광대역 스캔데이터 후처리 과정에서의 특이 사항을 기재한다.

정밀 스캔데이터 납품시트에는 다음 사항이 포함된다.

- ① 문화재 명: 국가지정 또는 시도지정 문화유산은 지정 내용과 지정 명칭 등을 기재한다.(예: 국보 제198호 단양 신라적성비)
- ② 작성 일자: 작성 일자를 연월일 순서로 기재한다.(예: 2018년 3월 26일)
- ③ 작성자: 사업 PM이 검수 · 확인 후 서명한다.
- ④ 원시데이터: 과업 내용서에서 제시한 점밀도에 부합하는지 여부를 확인하고, 사용한 소프트웨어 명과 버전을 기입한다.(예: 평균점밀도 3.00±1.00mm, 부합, (S/W) Rapidform)
- ⑤ 병합데이터: 병합된 데이터가 과업 내용서에서 제시한 점밀도에 부합하는지 또는 미스캔 부분이 있는지 확인하고, 파일 명과 용량을 기입한다.(예: 평균점밀도 2.70±0.50mm, 부합)
- ⑥ 컬러매핑 여부: 매핑 여부를 확인하고, 사용한 소프트웨어 명과 버전을 기입한다.(예: Faro Scene 7.1, Adobe Photoshop CC)
- ⑦ 파일 저장 위치(폴더 구조): 파일 저장 시 디렉토리(폴더) 구조의 기준을 준수하였는지 여부를 확인하여 기입한다.
- ⑧ 특이 사항: 광대역 스캔데이터 후처리 과정에서의 특이 사항을 기재한다.

스캔데이터를 이용하여 제작한 산출물에는 메쉬 모델(보존용, 서비스용), 도면, 영상 등이 있다. 이를 기재하는 스캔데이터 가공 산출물 납품시트에는 다음 사항이 포함된다.

- ① 메쉬 모델: 보존용으로 제작한 메쉬 모델과 서비스용으로 제작한 메쉬 모델에 대해 파일 명과 파일 형식, 텍스처 유무, 폴리곤 개수를 각각 기입한다.

- ② 도면: 작성된 도면의 구성 내용, 파일 명, 파일 형식, 파일 저장 위치 (폴더 구조)를 기입한다.(예: 스캔데이터의 이미지 도면, 라인드로잉 도면, 평면도, 입면도, 앙시도)
- ③ 영상: 러닝타임, 프레임율(초당 프레임 수), 파일 명, 파일 형식, 파일 저장 위치(폴더 구조)를 기입한다.
- ④ 기타: 메쉬 모델, 도면, 영상 외의 다른 산출물이 있을 시 주요 사항을 기재한다.
- ⑤ 특이 사항: 산출물 제작 과정에서의 특이 사항을 기재한다.

### 3) 작성 예시

#### ① 납품시트 표지

문화재명	영광 신천리 삼층석탑
부속문화재	
소유기관	국유

납품일자	2018년 11월 25일
스캐닝 방식	<input checked="" type="checkbox"/> 광대역 스캐닝 <input checked="" type="checkbox"/> 정밀 스캐닝
납품 목록	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 광대역 스캐닝: 원시데이터, PTS데이터</li> <li>• 기준점 PTS데이터</li> <li>• 정밀 스캐닝: 원시데이터, PTS데이터, 메쉬모델(PLY), 서비스용 메쉬모델(WRL)</li> <li>• 도면: 주변배치도, 평면도, 정면도, 배면도, 좌측면도, 우측면도</li> </ul>
특이사항	
워크시트 구성 및 총 페이지 수	<input checked="" type="checkbox"/> 광대역 스캔데이터 납품시트 <input checked="" type="checkbox"/> 정밀 스캔데이터 납품시트 <input checked="" type="checkbox"/> 스캔데이터 가공산출물 납품시트 ___기타: ( ) 총 페이지 수: 표지포함 <u>3</u> 페이지

작업팀장	(확인)
사업관리자	(확인)

② 광대역 스캔데이터 납품시트

문화재 명	영광 신천리 삼층석탑		
작성 일자	2018. 11. 22.	작성자	김OO / OO문화재연구소

세부 작업공정

원시데이터	점밀도 (mm)	평균점밀도 4,00±.90mm
	파일명	보물504_영광신천리삼층석탑_광대역원시 (.imp, .pts)
	원시 데이터 파일용량 (MB,GB)	12,382MB
	PTS 데이터 파일용량 (MB,GB)	12,411MB
병합데이터	점밀도 (mm)	평균점밀도 4,00±.50mm
	PTS 데이터 파일명	보물504_영광신천리삼층석탑_광대역병합.pts
	파일용량 (MB,GB)	11,400MB
컬러매핑 여부		<input checked="" type="checkbox"/> 여 <input type="checkbox"/> 부
기준점	측량심사	공공측량심사
	PTS데이터 유무	<input checked="" type="checkbox"/> 여 <input type="checkbox"/> 무
파일저장 위치(폴더 구조)		지정/보물504영광신천리삼층석탑/이미지/입체정보 /보존용/3D스캔/
특이 사항		

③ 정밀 스캔데이터 납품시트

문화재 명	영광 신천리 삼층석탑		
작성 일자	2018. 11. 22.	작성자	김OO / OO문화재연구소

세부 작업공정

원시데이터	점밀도 (mm)	1mm 이하
	파일명	보물504_영광신천리삼층석탑_정밀원시 (.xrl, .pts)
	원시 데이터 파일용량 (MB,GB)	304MB
	PTS 데이터 파일용량 (MB,GB)	431MB
병합데이터	점밀도 (mm)	1mm 이하
	PTS 데이터 파일명	보물504_영광신천리삼층석탑_정밀병합.pts
	파일용량 (MB,GB)	285MB
컬러매핑 여부		<input checked="" type="checkbox"/> 여 <input type="checkbox"/> 부
파일저장 위치(폴더 구조)		지정/보물504영광신천리삼층석탑/이미지/입체정보/보존용/3D스캔/
특이 사항		

④ 스캔데이터 가공산출물 납품시트

문화재 명	영광 신천리 삼층석탑		
작성 일자	2018. 11. 22.	작성자	김OO / OO문화재연구소

스캔데이터 가공 산출물

스캔데이터 가공 산출물					
메쉬 모델	보존용	파일명	보물504_영광신천리삼층석탑_보존용메쉬.ply		
		폴리곤 개수 (개)	1,373,202개	텍스처 매핑 여부	___여___부
		파일저장 위치 (폴더 구조)	지정/영광신천리삼층석탑/이미지/입체정보/보존용/3D대상체/		
	서비스용	파일명	보물504_영광신천리삼층석탑_서비스용메쉬.wrl		
폴리곤 개수 (개)		201,343개	텍스처 매핑 여부	___여___부	
도면	도면 구성 (스케일)	배치도 (1/1000) 정면도, 우측면도, 좌측면도, 배면도, 평면도, 단면도 (이상 1/30)			
	파일 명	보물504_영광신천리삼층석탑_배치도.dwg 보물504_영광신천리삼층석탑_정면도.dwg 보물504_영광신천리삼층석탑_우측면도.dwg 보물504_영광신천리삼층석탑_좌측면도.dwg 보물504_영광신천리삼층석탑_배면도.dwg 보물504_영광신천리삼층석탑_평면도.dwg 보물504_영광신천리삼층석탑_단면도1.dwg 보물504_영광신천리삼층석탑_단면도2.dwg			
	파일저장 위치 (폴더 구조)	지정/보물504영광신천리삼층석탑/이미지/실측정보/보존용/			
영상	리닝타임 (분 초)		프레임율 (fps)		
	파일 명				
	파일저장 위치 (폴더 구조)				
기타					
특이 사항					

6.5 3차원 스캐닝 하드웨어 및 소프트웨어 목록

1) 광대역 스캐너

(2018년 11월 현재)

제조사	제품명	측정원리	레이저 파장	최대 스캔속도	측정영역	스캔 범위	정확도 (거리)	정밀도 (°)
FARO	Focus 3D	Phase difference	905nm	976,000 pps	0.6m/120m @90% reflectivity	305°/360°	±2mm @25m	0.015°
FARO	Laser Scanner LS 880	Phase difference	785nm	120,000 pps	0.6m/76m @90% reflectivity	320°/360°	±3mm @25m	0.009°
Leica	ScanStation 2	Pulse Ranging	532nm	50,000 pps	1m/300m @90% reflectivity	100°/360°	±4mm @50m	0.0034°
Leica	HDS8800	Pulse Ranging	1545nm	8,800 pps	2.5m/1400m @80% reflectivity	80°/360°	±20mm @1000m	0.01°
Leica	HDS6200	Phase difference	650-690nm	1,016,727 pps	1m/79m @90% reflectivity	310°/360°	±9mm @50m	0.0067°
Leica	C10	Pulse Ranging	532nm	50,000 pps	0.1m/300m @90% reflectivity	270°/360°	±4mm @50m	0.0033°
Optech	ILRIS-LR	Pulse Ranging	1,064nm	2,500pps	3m/3000m @80% reflectivity	40°/40°	±4mm @100m	0.0045°
Optech	ILRIS-3D-ER	Pulse Ranging	1,550nm	10,000 pps	3 m/1750m @90% reflectivity	180°/360°	±7mm @100m	0.00115°
REIGL	LMS-Z620	Pulse Ranging	near Infrared	11,000 pps	2m/2000m @80% reflectivity	80°/360°	±10mm	0.002°
REIGL	LMS-Z420i	Pulse Ranging	near Infrared	11,000 pps	2m/1000m @80% reflectivity	80°/360°	±10mm	0.002°

제조사	제품명	측정원리	레이저 파장	최대 스캔속도	측정영역	스캔 범위	정확도 (거리)	정밀도 (°)
REIGL	LMS-Z390i	Pulse Ranging	near Infrared	11,000 pps	1m/400m @80% reflectivity	80°/360°	±6mm	0.001°
REIGL	VZ-1000	Pulse Ranging	near Infrared	122,000 pps	2.5m/1350m @80% reflectivity	100°/360°	±8mm	0.0005°
REIGL	VZ-400	Pulse Ranging	near Infrared	122,000 pps	1.5m/550m @80% reflectivity	100°/360°	±5mm @500m	0.0005°
REIGL	LPM-321	Pulse Ranging	near Infrared	1,000 pps	10m/6000m @80% reflectivity	150°/360°	±25mm	0.009°
TOPCON	GLS-1500	Pulse Ranging	1535nm	30,000 pps	1m/330m @90% reflectivity	70°/360°	±1mm @100m	0.0017°
Trimble	FX	Phase difference	685nm	216,000 pps	1m/60m @50% reflectivity	270°/360°	±2.4mm @50m	0.002°
Trimble	VX	Pulse Ranging	905nm	up to 5 pps	1m/1300m @90% reflectivity	12.3°/16.5°	±10mm @150m	0.0003°
Trimble	GX	Pulse Ranging	532nm	5,000 pps	1m/350m @90% reflectivity	60°/360°	±7mm @100m	0.004°
Zoller + Fröhlich	IMAGER 5010	Phase difference	1500nm	1,016,000 pps	0.3m/187m	320°/360°	±2mm @100m	0.007°
Zoller + Fröhlich	IMAGER 5006h	Phase difference	visible	1,016,727 pps	0.4m/79m	310°/360°	±1.8mm @50m	0.007°

2) 정밀 스캐너

(2018년 11월 현재)

제조사	제품명	측정원리	광원규격	카메라 해상도	카메라 컬러	측정영역	측정시간	정밀도
BREUCKMAN	smartSCAN 3D standard	MPT (Miniaturised Projection Technique)	100 W halogen lamp	1 x 1,032 x 776 Pixel	흑백 / 컬러 지원	90 ~ 600 mm (대각선)	980msec	12µm
BREUCKMAN	smartSCAN C2	MPT (Miniaturised Projection Technique)	100 / 250 W halogen lamp	2 x 1,624 x 1,234 Pixel	흑백 / 컬러 지원	90 ~ 600 mm (대각선)	980msec	10µm
BREUCKMAN	smartSCAN C5	MPT (Miniaturised Projection Technique)	100 / 250 W halogen	2 x 2,452x 2,056 Pixel	흑백 / 컬러 지원	25 ~ 2500 mm (대각선)	980msec	8µm
BREUCKMAN	smartSCAN 3D-HE1.4 M	MPT (Miniaturised Projection Technique)	100 / 250 W halogen	2 x 1,388 x 1,038 Pixel	흑백 / 컬러 지원	25 ~ 2500 mm (대각선)	980msec	±5µm
BREUCKMAN	smartSCAN 3D-HE 4 M	MPT (Miniaturised Projection Technique)	100 / 250 W halogen	2 x 2,048 x 2,048 Pixel	흑백 / 컬러 지원	25 ~ 2500 mm (대각선)	980msec	7µm
BREUCKMAN	stereoSCAN 1.4M	MPT (Miniaturised Projection Technique)	100 W halogen / 120 W discharge lamp	1.4M pixels	흑백 / 컬러 지원	S, M, L	0.98s	7µm
BREUCKMAN	stereoSCAN 4M	MPT (Miniaturised Projection Technique)	100 W halogen / 120 W discharge lamp	4M pixels	흑백 / 컬러 지원	60 ~ 725 mm (대각선)	980msec	7µm
BREUCKMAN	stereoSCAN 5M	MPT (Miniaturised Projection Technique)	100 W halogen / 120 W discharge lamp	5M pixels	흑백 / 컬러 지원	60 ~ 725 mm (대각선)	0.98s	7µm
BREUCKMAN	naviSCAN	MPT (Miniaturised Projection Technique)	200W Discharge Lamp (High Power Projector)	5M pixels	흑백 / 컬러 지원	60 ~ 725 mm (대각선)	< 1s	7µm
Konica Minolta	Vivid910	Triangulation light block method	Class 2 (IEC60825-1), Class 1 (FDA)	0.3M pixels	컬러 지원	111 x 83 ~1196 x 897 mm (Tele, Middle, Wide)	2.5s	50µm

제조사	제품명	측정원리	광원규격	카메라 해상도	카메라 컬러	측정영역	측정시간	정밀도
Konica Minolta	Vivid 9i	Triangulation light block method	Class 2 (IEC60825-1), Class 1 (FDA)	0.3M pixels	컬러 지원	93 x 69 ~ 463 x 347 mm (Tele, Middle, Wide)	2.5s	50µm
Konica Minolta	Range7	Triangulation light block method	Class 2 (IEC60825-1 Amendment 2)	1.31M pixels	흑백 지원	99 x 79 ~ 334 x 267 mm (Tele, Wide)	2s	40µm
NextEngine	HD Pro	MultiStripe Laser Triangulation (MLT) technology	Class 1M	3.0M pixels Twin sensors	컬러 지원	129 x 96 ~ 343 x 256 mm	35s	100µm
GOM	ATOS Compact Scan 2M	Artificial optical radiation, (blue)	Class 1M	2 x 2,000,000 pixels	흑백 / 컬러 지원	35 x 30 - 1000 x 750 mm <sup>2</sup>		0.021 - 0.615 mm
GOM	ATOS Compact Scan 5M	Artificial optical radiation, (blue)	Class 1M	2 x 5,000,000 pixels	흑백 / 컬러 지원	40 x 30 - 1200 x 900 mm <sup>2</sup>		0.017 - 0.481 mm
GOM	ATOS II Triple Scan	Artificial optical radiation, (blue)	Class 1M	2 x 5,000,000 pixels	흑백 / 컬러 지원	38 x 29 - 2000 x 1500 mm <sup>2</sup>		0.02 - 0.79 mm
GOM	ATOS III Triple Scan	Artificial optical radiation, (blue)	Class 1M	2 x 8,000,000 pixels	흑백 / 컬러 지원	38 x 29 - 2000 x 1500 mm <sup>2</sup>		0.01 - 0.61 mm
SOLUTIONIX	Rexcan 4	Phase-shifting optical triangulation, twin-camera		2.0 / 5.0 / 8.0 mega pixel	흑백 / 컬러 지원	55 ~ 1545 mm	1s	0.03 ~ 0.71 mm
SOLUTIONIX	Rexcan 3	Phase-shifting optical triangulation, twin-camera		0.8 / 1.4 / 2.0 Mega pixels	흑백 / 컬러 지원	45 mm ~ 912 mm	1s	0.04 mm ~ 0.48 mm
Faro	Laser Scan Arm					60mm		50µm

3) 소프트웨어

(2018년 11월 현재)

Company	Program	Features and Benefits	상용 여부
Leica	Cyclone REGISTER	<ul style="list-style-type: none"> <li>• For use with Leica Geosystems and non-Leica Geosystems scanners</li> <li>• Auto-match targets or modeled objects</li> <li>• Easy geo-reference to survey or control data</li> <li>• Complete in-office management and editing of traverse data</li> <li>• Cloud-to-cloud registration standalone or with targets</li> <li>• Wizard-based controls</li> <li>• Detailed statistics and histograms</li> </ul>	유료
Leica	Cyclone MODEL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Multiple, fast, convenient visualization modes</li> <li>• Texture mapping and rectified orthophotos</li> <li>• Plant &amp; building tools include:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Best-fit modeling, catalog fitting, clash detection</li> <li>- Automated pipe run, intelligent modeling</li> </ul> </li> <li>• Civil &amp; related tools include:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Data collector emulation, contours and cross sections</li> <li>- TIN/mesh creation, volumes, areas, clearances</li> </ul> </li> <li>• Full set of import/export utilities</li> </ul>	유료
Leica	Cyclone SURVEY	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Multiple, fast, convenient visualization modes</li> <li>• "Virtual Surveyor" data collector emulation</li> <li>• Contours</li> <li>• Cross-sections, profiles</li> <li>• TIN/Mesh creation, including grid option</li> <li>• Volumes &amp; areas</li> <li>• Clearances</li> <li>• Texture mapping and rectified orthophotos</li> <li>• Full set of import/export utilities</li> </ul>	유료
Leica	CloudWorkx for AutoCAD CloudWorx for Microstation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fast manipulation of scans in AutoCAD</li> <li>• Slices -quickly trace or auto-fit 2D lines, polylines, arcs</li> <li>• Auto pipe fit -intelligent, as-builts in AutoPLANT, CADWorx, more</li> <li>• Accurate tie-ins &amp; clash checks</li> <li>• Fully-featured for 3D or 2D deliverables</li> <li>• English, German and Japanese versions</li> </ul>	유료

Company	Program	Features and Benefits	상용 여부
Leica	CloudWorx for PDMS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fast manipulation of scan data</li> <li>• Slices, Half-Space Sections, and Limit Boxes</li> <li>• Automatic pipe center D-points</li> <li>• Direct measurements from point clouds</li> <li>• Accurate tie-ins, clash checking &amp; reporting</li> <li>• Multi-user simultaneous network access</li> <li>• Supports any laser scanner</li> </ul>	유료
HEXAGON PPM	CloudWorx for Intergraph Smart@ 3D	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fast manipulation of scan data</li> <li>• Slices, Half-Space Sections, and Limit Boxes</li> <li>• Find pipe center construction lines and diameter</li> <li>• Accurate tie-ins, clash checking &amp; reporting</li> <li>• Direct measurements from point clouds</li> <li>• Multi-user simultaneous network access</li> <li>• Supports any laser scanner</li> </ul>	유료
HEXAGON PPM	CloudWorx Intergraph Smart@ Review	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leica CloudWorx 1.1 for Intergraph SmartPlant Review</li> <li>• Review and Visualize in Context with the Existing Environment</li> <li>• Powerful Point Cloud Management &amp; Measurement</li> <li>• Automated Point Cloud Interference Detection</li> <li>• High Accuracy Plus High Performance</li> <li>• Versatile Support of Multiple Scanner Formats</li> </ul>	유료
Leica	Cyclone TruView PUBLISHER	<ul style="list-style-type: none"> <li>• View TruView file sets locally or via the web</li> <li>• Publish TruViews for any vendor's laser scanner</li> <li>• Use high-resolution images and true-color point clouds</li> <li>• Full markup capabilities</li> <li>• Within views, incorporate hyperlinks to asset information</li> <li>• Include 3D models in TruView scenes</li> <li>• Free download: <a href="http://www.leica-geosystems.com/hds">www.leica-geosystems.com/hds</a></li> </ul>	무료
FARO	Scene	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efficient workflow through the original data acquisition to the finished project</li> <li>• Minimal manual post-processing required due to automatic scan processing</li> <li>• Simple and easy to learn</li> <li>• Interfaces with numerous industry specific software products</li> </ul>	유료

Company	Program	Features and Benefits	상용 여부
Z+F	LaserControl	<ul style="list-style-type: none"> <li>• quick scanner set-up and control</li> <li>• data visualisation and storage</li> <li>• 2d and 3D view of the scans</li> <li>• colour camera function and calibration, colour mapping</li> <li>• scan registration with control points, identical points, bundle adjustment</li> <li>• several export functions</li> <li>• and much more</li> </ul>	유료
AVEVA	LFM Server	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ability to manage huge datasets comfortably and with ease</li> <li>• A database can hold an unlimited number of scans</li> <li>• Innovative BubbleViews can be loaded and displayed simultaneously</li> <li>• A huge array of CAD interfaces</li> <li>• A structured list of interferences and clashes</li> <li>• CAD objects can be presented in the BubbleView</li> <li>• Even small inter-references can be checked</li> <li>• Pipe centrelines can be located with a one click process</li> </ul>	유료
AVEVA	LFM NetView	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Secure access to high resolution laser scan data from around the globe</li> <li>• Extremely intuitive to use</li> <li>• An unlimited number of innovative BubbleViews can be loaded simultaneously</li> <li>• Extensive mark up and annotation facilities</li> <li>• Key plans ensure ease of navigation</li> <li>• Master-Slave mode for collaborative interactive reviews</li> <li>• Extensive measurement tools</li> </ul>	유료
Gexcel/Topotech	JRC 3D Reconstructor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Raw data import and filtering</li> <li>• Scans alignment and geo-referencing</li> <li>• Meshing and mesh simplification</li> <li>• High resolution digital image texture mapping</li> <li>• Data extraction (cross sections, orthophotos, CAD drawings, area and volumes, flight-through videos, inspections)</li> <li>• Easy export to CAD and modelling software(3DStudioMax, Rhinoceros, Cinema 4D, etc.)</li> </ul>	유료

Company	Program	Features and Benefits	상용 여부
RIEGL	RiSCAN PRO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fully integrated within RiSCAN PRO</li> <li>• Processing of unlimited number of scans from different scan positions</li> <li>• Sophisticated multistage triangulation algorithms considering edges</li> <li>• Minimization of shadowing effects by consideration of object visibility</li> <li>• Automated extrapolation of texture into shadowed areas</li> <li>• Usability of free shot images</li> <li>• Automatic color adjustment for smooth overall appearance</li> </ul>	유료
Topcon	Scan Master	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operator-friendly user interface</li> <li>• Mass 3D point cloud acquisition and manipulation</li> <li>• Traverse and back sight capabilities</li> <li>• Image capture and live video feed</li> <li>• Target scans and tie-point registration</li> <li>• Create mesh objects and annotations</li> </ul>	유료
Lupos3D	LupoScan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtering and elimination of faulty measurements</li> <li>• Orientation / referencing</li> <li>• Creation of points, lines and surfaces</li> <li>• Sections function</li> <li>• Orthophotos</li> <li>• Unfolded Cylinder</li> <li>• Create adjusted planes, cylinders, spheres</li> <li>• Intermeshing</li> <li>• Colour Laser scans</li> <li>• Digital Image rectification</li> <li>• Deformation Analysis</li> </ul>	유료
Bentley	Bentley Pointools	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3D Model Aggregation, Large Point Cloud Support</li> <li>• High Performance Graphics</li> <li>• Data Interoperability, Application Interoperability</li> <li>• View Configuration, Model Shaders</li> <li>• Georeference Support, Productivity Settings</li> <li>• Geometry Creation, Point Cloud Processing</li> <li>• Streamline scan-to-model workflows</li> <li>• Eliminate time-consuming translations</li> <li>• Maintain visual quality &amp; accuracy</li> <li>• Increase modelling productivity</li> </ul>	유료

Company	Program	Features and Benefits	상용 여부
Bentley	Bentley Pointools View	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3D Model Aggregation, Large Point Cloud Support</li> <li>• High Performance Graphics</li> <li>• Data Interoperability, Application Interoperability</li> <li>• Model Shaders, Georeference Support</li> <li>• Review tools, Image Generator</li> <li>• Animation producer</li> <li>• Annotate models with notes</li> <li>• Configure and save view settings</li> <li>• Publish web pages from view</li> <li>• Generate high-quality images</li> <li>• Produce animated movies</li> </ul>	유료
Trimble INPHO	SCOP++	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Well-proven, advanced DTM technology</li> <li>• High productivity through effective, high-capacity data processing and batch processing capabilities.</li> <li>• Suited for seamless management of nation-wide DTMs</li> <li>• Unsurpassed DTM quality through precise interpolation and filtering</li> <li>• Advanced modules available for pre- and post-processing of DTM data</li> <li>• Easy integration into any third-party workflow</li> </ul>	유료
Trimble	Trident	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lidar point cloud registration tools to achieve better accuracy</li> <li>• Enhanced polyline tool for improved editing</li> <li>• Automated pavement edge detection to supplement existing pavement marking breakline creation</li> <li>• Export breaklines, cross-sections and triangulated irregular network (TIN) models in LandXML</li> </ul>	유료

Company	Program	Features and Benefits	상용 여부
Trimble	RealWorksSurvey	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intuitive visual interface and workflow intuitive visual interface and workflow</li> <li>• Large database management large database management</li> <li>• Registration</li> <li>• Advanced inspection tools advanced inspection tools</li> <li>• Multi-orthoprojection</li> <li>• Contouring</li> <li>• Profiles / cross-sections profiles / cross-sections</li> <li>• Volume and surface calculation volume and surface calculation</li> <li>• Feature code feature code</li> <li>• Direct print-outs, export to cad, text and spreadsheet reports direct print-outs, export to cad, text and spreadsheet reports and much more</li> </ul>	
-	Meshlab	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Open source system for processing and editing 3D triangular meshes</li> <li>• 3D Acquisition: Aligning</li> <li>• Visualization and Presentation</li> <li>• 3D Acquisition: Reconstruction</li> <li>• Color Processing</li> <li>• 3D Acquisition: Color Mapping and Texturing</li> <li>• 3D Printing: Offsetting, Hollowing, Closing</li> <li>• Cleaning 3D Models</li> <li>• Comparing Models</li> <li>• Scaling, Positioning and Orienting</li> <li>• 3D Models Conversion and Interchange</li> <li>• Simplification, Refinement and Remeshing</li> <li>• Raster Layers: Integration with Images</li> <li>• Measurement, and Analysis</li> </ul>	무료 (Open Source)
-	Cloud Compare	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Open source system for 3D point cloud (and triangular mesh) processing</li> <li>• designed to perform comparison between two dense 3D points clouds (such as the ones acquired with a laser scanner) or between a point cloud and a triangular mesh</li> <li>• extended to a more generic point cloud processing software, including many advanced algorithms</li> </ul>	유료

Company	Program	Features and Benefits	상용 여부
Autodesk	ReCap	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cloud-based photo-to-3D service(ReCap Photo, ReCap Pro for mobile, Automatically register laser scans, Measure and edit point clouds)</li> <li>• Laser scan reality capture features in ReCap Pro(Scan settings, Measurement features, Inter grate Naviswork data)</li> <li>• Photo and ortho view from UAV photos</li> </ul>	유료
3D SYSTEMS	Geomagic Design X	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Supports import of over 60 file formats including polygons, point clouds and CAD</li> <li>• Expertly handles massive mesh and point cloud data alignment, processing and refining, mesh construction</li> <li>• Easy-to-use mesh repair tools deliver rapid hole filling, smoothing, optimizing, rewrapping and polishing tools such as Smart Brush</li> <li>• Automatic, feature-based solid and surface extraction direct from 3D scans</li> <li>• Rapidly creates solids or surfaces like you would in CAD</li> <li>• Automated Accuracy Analyzer™ tools compare and validate surfaces, solids and sketches against original scan data</li> <li>• Live Transfer™ supports the output of data to the industry's leading CAD systems</li> <li>• Industry-leading Exact Surface creation converts organic shapes to precise CAD models</li> <li>• Supports comprehensive export of neutral CAD or polygon files</li> <li>• Instantly create stunning renderings of your designs in KeyShot</li> </ul>	유료

Company	Program	Features and Benefits	상용 여부
3D SYSTEMS	Geomagic for SOLIDWORKS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3D Comparison with Deviation Analysis with Geomagic for SOLIDWORKS</li> <li>• Geomagic® for SOLIDWORKS® Region Grouping Tools for Detailed Mesh Segmentation</li> <li>• Point cloud processing directly inside SOLIDWORKS</li> <li>• Geomagic for SOLIDWORKS Automatic Surfacing</li> <li>• Geomagic for SOLIDWORKS Powerful Alignment Tools</li> <li>• Scan to MCAD Solids with Geomagic for Solidworks</li> </ul>	유료
3D SYSTEMS	Geomagic Wrap	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trapped Volume Engraving</li> <li>• Scripting 3.0</li> <li>• UV Map Creation</li> <li>• Dimension Tools</li> <li>• The Industry's most powerful and accurate 3D scan processing software</li> <li>• Support for the industry's widest range of non-contact 3D scanning and probe devices</li> <li>• Extensive and Precise Exact Surfacing Tools</li> <li>• Extensive 3D file format export support</li> <li>• Immediately use 3D data for 3D printing</li> </ul>	유료
Artec 3D	Artec Studio 13	<ul style="list-style-type: none"> <li>• High precision</li> <li>• Optional advanced settings</li> <li>• Built with speed in mind</li> <li>• Create and process huge datasets</li> <li>• Direct compatibility with CAD</li> <li>• Scan with 3D sensors</li> </ul>	유료

### 6.6 용어 정의

#### 3차원(3D)

직교 좌표계의 X, Y, Z축에 관한 좌표값을 이용하는 표현 방식이다.

#### 3차원 레이저스캐닝(3D laser scanning)

대상의 표면(表面)에 레이저를 투사하고, 3차원 좌표를 갖는 점군(點群, point cloud)으로 3차원 형상 정보를 취득하는 스캐닝 방식이다.

#### 3차원 스캐닝(3D scanning)

대상의 표면 형상을 3차원 공간좌표를 가진 디지털데이터로 획득하는 기술로서 본 가이드라인에서는 스캐닝 가능 거리와 데이터의 점밀도(點密度, Point Density) 등을 기준으로, 3차원 레이저 스캐닝을 크게 광대역 스캐닝과 정밀 스캐닝으로 구분한다.

#### 광대역 스캐닝(long/mid-range scanning)

지상에서 레이저 스캐너를 이용해 먼 거리를 스캐닝하는 방식으로, 비행 시간의 방식 혹은 위상변이 방식에 의한 스캐닝을 포함한다. 광대역 스캐닝은 정밀 스캐닝에 비해 스캔가능한 거리가 길어 넓은 구역의 데이터 취득에 용이하며, 수백 혹은 수 km 이내까지 스캐닝이 가능하다.

#### 기하학적 정확도(geometric accuracy)

측정값의 참값에 대한 근접도로서 정확도 측정은 일반적으로 실효값(제곱평균 제곱근)의 오차이며, 실제값(또는 예측값)과 관측값 사이의 차이를 추정한다.

#### 기하학적 정밀도(geometric precision)

평균값에 대한 일련의 측정치 분포로서 정밀도 측정은 표준편차이며, 오차확률에 의해 정의된다. 예를 들어, 표준편차가 5mm인 경우에 관측치가 평균의 5mm 이내일 확률은 67%이고, 관측치가 10mm 이내일 확률은 95%다. 이는 계측기의 변동성 또는 반복성을 정량화한다.

#### 라이다(lidar)

광 감지 및 범위측정시스템으로서 물체 또는 표면까지의 거리와 반사율을 측정하기 위해 레이저 펄스를 사용한다. 주로 항공 레이저 스캐닝 시스템을 지칭하지만, 지상에서 측정하는 시스템에 적용되기도 한다.

**정밀 스캐닝(short-range scanning)**

스캐너로 측정된 값과 대상의 해당 위치가 갖는 실제 좌표값(true value)에 대한 차이의 정도를 말한다.

**정확도(accuracy)**

스캐너로 측정된 값과 대상의 해당 위치가 갖는 실제 좌표값(true value)에 대한 차이의 정도를 말한다.

**점밀도(點密度, point density)**

점군데이터 형태의 3차원 스캔데이터 상에서 인접한 점과 점 사이의 평균 거리를 말한다. 점 데이터의 분포는 균일하지 않고 스캐닝 거리와 각도에 따라 달라지기 때문에 전체 점 데이터 간의 간격을 일정하게 할 수는 없다. 따라서 주요한 대상 부분의 점 데이터에서 평균적인 거리를 점밀도로 본다. 또한 3차원 스캐너의 장비 사양서에 표기된 점밀도는 해당 장비로 측정된 3차원 좌표 사이의 최소 점밀도를 가리키나, 일반적으로는 스캔한 대상의 3차원 점들 간의 평균 거리를 점 간격으로 나타낸다.

**정밀도(precision)**

스캐너로 여러 번 측정된 결과값의 균질성을 표시하는 척도로서 측정값의 편차가 작을수록 정밀도가 높다.

**비행시간(time-of-flight) 방식**

스캐너에서 대상으로 송출한 레이저 광과 반사되어 수신된 광의 시간 차이로 거리를 계산하는 방식으로, 계산된 거리와 송출 각도를 통해 대상 점의 좌표를 결정한다.

**위상변이(phase-shift) 방식**

스캐너에서 지속적으로 방출되는 레이저를 이용하는 스캔 방식으로, 스캔 대상과의 거리를 계산하기 위하여 레이저가 반사되어 돌아오는 위상변이를 측정하는 방식이다. 이런 특징을 제외한 나머지 기능은 위에 언급한 비행시간 방식과 같다.

**E57**

미국시험재료협회(American Society for Testing and Materials)가 개발한 점군(點群, point cloud) 데이터를 위한 비독점적 형식으로서 LAS(LASer) 형식보다 더 범용적이고 유연한 시스템이다. 예를 들

면, 이미지 데이터, 격자 데이터 및 다른 좌표계를 포함시키는 것이 가능하다.

**사진측량(photogrammetry)**

동일한 대상을 다른 위치로부터 중첩되도록 촬영한 사진으로부터 대상의 3차원 형상에 대한 기하적 정보를 추출하는 기술이다. 사진 상의 영상과 렌즈의 투영 중심 그리고 대상 간의 기하학적 관계를 이용하여 대상이 가지고 있는 정량적·정성적 특성을 측정할 수 있다.

**삼각측량(triangulation) 방식**

스캐너가 점이나 선, 패턴 형태의 광을 대상의 표면에 투영하고, 이를 하나 또는 그 이상의 이미지 센서에서 감지하여 삼각측량 방식으로 대상 표면에 있는 해당 점의 3차원 위치 좌표를 계산하는 방식이다.

**매핑(mapping)**

매핑은 3차원 모델의 사실감을 높이기 위해 2차원 이미지를 입히는 작업이며, 2차원 이미지인 매핑 소스는 사진 촬영이나 채색을 통해 제작할 수 있다.

**스캔데이터(scan data)**

3차원 스캐닝을 통해 산출되는 원천데이터를 의미하며, 일반적으로 점군데이터의 형태를 띤다. 일부 스캐너 및 구동 소프트웨어에서는 스캐닝 과정에서 메쉬 형태로 변환하여 산출하기도 한다.

**점군(點群, point cloud)데이터**

3차원 스캐너를 통해 산출되는 원천데이터로서, 3차원 좌표값을 가지는 수많은 점(point) 데이터로 이루어져 있다.

**지리정보시스템(GIS - Geographical Information System)**

지표면의 그래픽(도표적) 표현과 관련된 정보를 찾을 수 있는 데이터베이스 및 분석 소프트웨어를 지칭한다.

**전지구위성항법시스템(GNSS - Global Navigation Satellite System)**

우주 궤도에 배치된 수십 개의 인공 위성군에 근거하여 측량이나 경로 탐색을 가능하게 하는 시스템이다.

**위성위치확인시스템(GPS – Global Positioning System)**

미국에 의해 운영되는 인공위성군을 지칭하는 용어임에도 불구하고 이는 측량 또는 경로 탐색을 설명하는 데 일반 용어로 사용된다.(전지구위성항법시스템(GNSS) 참조)

**후처리(post processing)**

현장에서 스캔데이터를 취득한 후 컴퓨터에서 이루어지는 일련의 데이터 처리 과정을 말하며, 정합이나 노이즈 제거 등을 포함한다.

**정합(registration)**

3차원 스캐닝 작업으로 취득한 여러 원시데이터를 합쳐서 하나의 3차원 형상데이터로 구축하는 과정으로, 각 원시데이터가 겹치는 영역을 이용하여 하나의 좌표계로 통합한다.(기하학적 정밀도 참조)

**노이즈**

스캔하는 과정에서 다양한 원인에 의해 발생한 대상의 형상과 무관한 데이터를 말하며, 이는 후처리 과정에서 자동 혹은 수동으로 지우게 된다.

**메쉬(mesh)**

입체적 모델을 여러 개의 작은 폴리곤(일반적으로 삼각형 또는 정사각형)을 정의하기 위해 선으로 연결된 점을 사용하여 지표면을 디지털 형태로 기술하는 방식으로, 3차원 스캔을 통해 취득한 점군데이터의 활용성을 높이기 위해 메쉬로 변환한다.

**병합**

정합을 거친 여러 개의 스캔데이터는 동일한 좌표계로 정렬되는데, 이를 하나의 점군데이터로 합치는 과정이다. 병합 과정에서 스캔데이터 간의 중첩영역에 대해 점 개수를 줄여서 전체적으로 밀도를 유지하면서 파일 크기를 줄일 수도 있다.

**좌표체계**

3차원 스캐닝을 통해 취득한 대상 문화재의 주변, 지형, 지물 등의 데이터는 좌표체계에 따라 대상에 부여된 좌표를 입력할 수 있으며, 위치를 나타내는 좌표체계로는 지리좌표체계와 투영좌표체계가 있다.

**지리좌표체계**

지구의 구면 또는 회전 타원체 모델에서 위치를 정의한 것으로, 지구상의 3차원 위치를 경위도로 나타낸 것이다. 일반적인 경위도 좌표가 지리좌표체계에 해당한다.

**투영좌표체계<sup>12)</sup>**

3차원의 위치를 2차원 평면 좌표로 변환한 좌표체계로, 투영법에 따라 3차원 지구타원체 표면의 좌표를 2차원 평면으로 변환한다. 이때 길이나 면적, 방향, 모양 등의 왜곡이 수반되기도 한다. 참고로, 우리나라에서 주로 사용하는 투영좌표체계는 평면직각좌표계, 단일평면직각좌표계(UTM-K), TM좌표계(Transverse Mercator), 한국측지계, 세계측지계(ITRF ; International Terrestrial Reference Frame) 등이 있다.

**좌표등록**

좌표등록이란 상호 표정에 의하여 재현된 모상(模相, 貌相, 模像)의 축척, 경사, 방위 등을 수정하여 실제 좌표와 대응적 관계를 맺어 주는 작업이다. 3차원 스캐닝을 통해 취득한 원시자료의 좌표는 특정 좌표계에 자동으로 안착되어 있지 않기 때문에 측량 후 데이터관리자, 사용자에게 적합한 좌표계로 반드시 수동 등록해야 한다. 지표면에 고정되어 있는 부동산문화재의 경우는 공간상에 존재하는 절대좌표 정보를 가져야하므로 좌표값을 반드시 등록하여야 하며, 기록화를 위해 등록된 좌표의 좌표체계도 함께 명시하여야 한다.

**항공레이저스캐닝(airborne laser scanning)**

지구 표현의 지형을 기록하기 위하여 사용하는 항공 플랫폼의 레이저스캐닝 장비다.

12) 지구상의 위치를 나타내기 위한 기준 체계와 지구의 형상을 나타내는 타원체를 일컬어 측지기준계라고 한다. 우리나라는 1910년부터 한국측지계를 사용하던 중 전 세계 공통으로 사용할 수 있는 측지기준계가 필요함에 따라 2001년에 측량법을 개정해 ITRF계에 따른 세계측지계를 도입하기로 결정하였고, 2010년 1월1일부터 공공측량성과에서는 변경된 세계측지계 사용을 의무화하고 있다.

6.7 3차원 스캐닝 사례

「3.2 대상의 특징에 따른 스캐닝 방식 결정」에서는 사업의 대상과 목적에 따라 스캐닝 방식, 점밀도 등 적합한 방식과 요구 조건을 채택하는 방법에 대해 설명한 바 있다. 여기에서는 본 가이드라인의 적용 대상인 문화유산의 성격 및 규모 등에 따라 광대역 스캐닝, 정밀 스캐닝 및 복합(광대역 및 정밀) 스캐닝 방식을 적용하여 스캔데이터를 획득한 실제 사례들을 제시한다. 여기에 포함된 사례들은 문화재청의 ‘문화유산 디지털세트 3D·기록자원 DB구축 용역’사업의 일환으로 수집된 최근의 다양한 사례<sup>13)</sup> 중에서 발췌했다.

[광대역 스캐닝 사례 1] 창경궁 명정전 (2015년)



<그림 29> 창덕궁 명정전

① 문화재의 개요

종목/명칭	국보 제226호 창경궁 명정전
분 류	유적건조물/정치국방/궁궐·관아/궁궐
수량/면적	1동
지 정 일	1985. 01. 08.
소 재 지	서울특별시 종로구 창경궁로 185 (외룡동, 창경궁)
시 대	조선시대
소 유 자	국유(문화재청)

13) 본 부록에 포함된 사례들은 문화재청의 뱀년 문화재 3D DB구축-문화재 3차원 레이저 스캐닝 사례 보고서 및 2015년 '문화유산 디지털세트 3D·기록자원 DB구축사업-문화재 3차원 레이저 스캐닝 사례 보고서'에서 발췌한 것이다.

② 선정 이유

창경궁의 명정전은 임진왜란 이후에 다시 지은 건물이지만, 조선 전기 건축 양식의 특징을 잘 계승하고 있는 건물로서 건축사 연구에 귀중한 자료가 된다. 사업 발주 이전에 3차원 스캐닝이 실시되지 않았고 보존 및 기록적 가치가 높아 기록화사업 대상으로 선정되었다.

③ 대상의 특성 및 조사 방법

대상의 특성	규모(대·중·소)	대(부동산문화재)
	문양 및 명문	건축 문양 및 부재
	접근성	양호
3차원 스캐닝	스캐닝 방식	광대역 스캐닝
	사용 스캐너	Leica ScanStation C10, Z&F 5010c
	스캔위치 수	305개
기준점 측량	측량장비	Trimble 5700
사진 촬영	촬영장비	<ul style="list-style-type: none"> <li>매핑소스: Nikon D7000 (렌즈: Sigma 8mm F3.5 EX DG CIRCULAR FISHEYE)</li> <li>파노라마: Gigapan Epic PRO</li> </ul>
	촬영매수	<ul style="list-style-type: none"> <li>광대역 스캔데이터 매핑용 사진 총 2400매</li> <li>파노라마 사진 총 96매</li> </ul>
후처리 작업	사용 소프트웨어	Cyclone, Photoshop, PTGui, Panoweaver

④ 현장조사



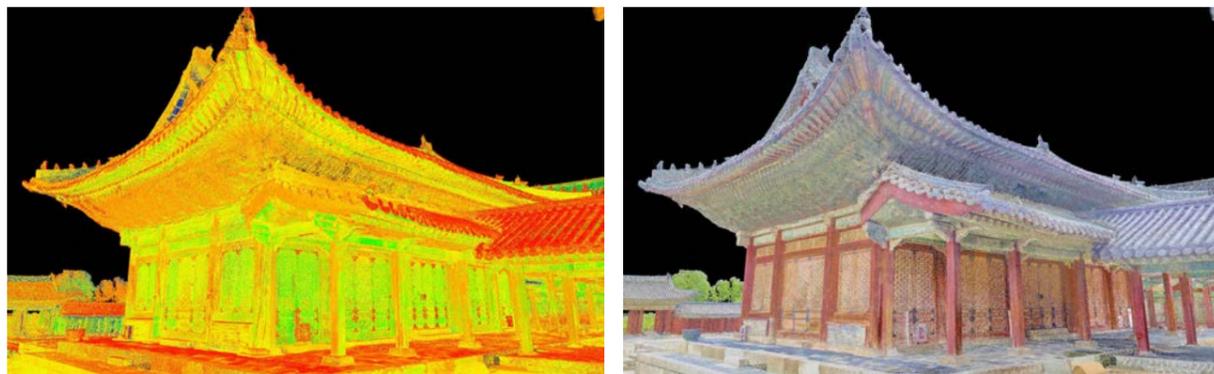
<그림 30> 명정전 내부(왼쪽)와 외부(오른쪽)에 대한 광대역 스캐닝

창경궁 휴관일에 내·외부 모두 광대역 스캐닝을 수행했다. Leica 社의 Scanstation C10과, Z&F 社의 5010c를 사용했는데 스캐닝 거리가 짧은 대

신 빠르고 정밀도가 좋은 5010c로 창경궁 명정전 내부 및 외부 회랑 등을, 넓은 영역을 스캐닝할 수 있는 C10으로 주로 외부를 돌며 스캐닝했다. 명정전 건물의 규모가 크고 높이가 높을 뿐만 아니라 우측면이 명정전 배면과 가까워 지붕을 실측하는 데 어려움이 있어 가설비계를 설치했고, 정전외부의 박석에 손상이 가지 않도록 가설비계와 박석이 맞닿는 부분에 나무판재, 고무 등을 추가적으로 설치했다. 매핑에 사용할 고품질의 이미지를 취득하기 위해 스캐너 내장 카메라 대신 DSLR 카메라와 어안렌즈를 사용하여 촬영했다. 이와 더불어 Gigapan 장비를 사용해 고해상도의 파노라마 사진 촬영을 했다. 광대역 스캐닝과 함께 기준점 측정도 실시했다.

⑤ 후처리

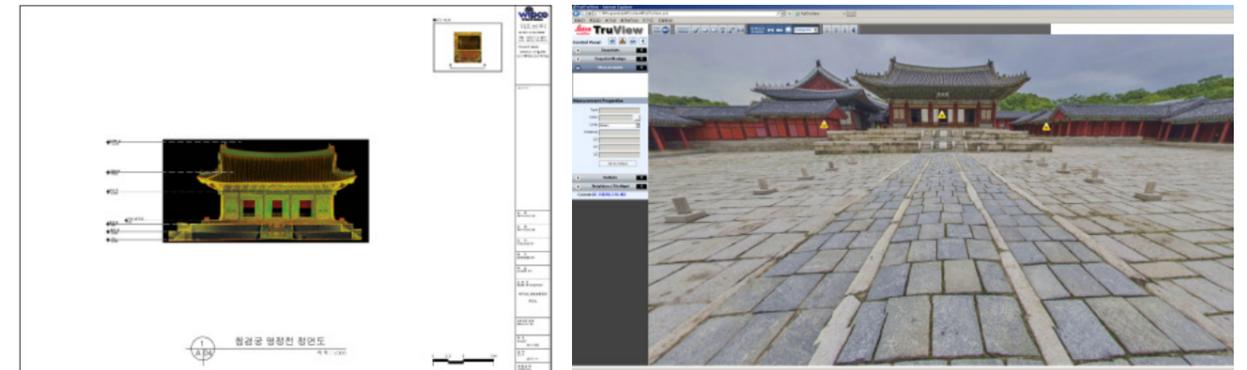
원시스캔데이터는 Cyclone에서 육안으로 동일 지점을 지정하는 수동정합을 실시했으며, 정합이 완료된 데이터의 오차범위는 6mm이하로 확인되었다. DSLR 카메라로 취득한 매핑 소스는 Photoshop에서 색상 보정을 거친 후 PTGui를 이용하여 하나의 스캔위치 당 6장의 큐브(cube) 이미지로 제작해 Cyclone에서 스캔데이터에 컬러 매핑했다. 그리고 정합 완료된 스캔데이터에 기준점 좌표데이터를 삽입한 후 좌표값을 가지는 하나의 스캔데이터 파일로 병합했고, 최종 병합 데이터의 점 간격은 5mm이내로 확인되었다. 관람객과 같은 대상 문화재와 무관하게 취득된 노이즈는 기준점이 입력된 스캔데이터 상에서 제거했다.



<그림 31> 후처리가 완료된 광대역 스캔데이터. 반사광의 세기에 의한 컬러(왼쪽)와 컬러 매핑(오른쪽)

⑥ 산출물 제작

총 305개의 스캔위치에 대해 스캔데이터(원시스캔데이터와 후처리 완료 데이터)를 모두 ASC 파일로 추출했으며, 스캔데이터 이미지를 활용하여 주변배치도, 평면도, 정면도, 배면도, 좌측면도, 우측면도를 제작하고 실측용 파노라마 뷰 및 스캔데이터 동영상 등을 제작했다.



<그림 32> 스캔데이터를 활용해 작성된 명정전 정면도(왼쪽)와 실측용 파노라마 뷰(오른쪽)

[광대역 스캐닝 사례 2] 안동 도산서원 상덕사 및 삼문(2017년)

① 문화재의 개요

종목/명칭	보물 제211호 안동 도산서원 상덕사 및 삼문
분 류	유적건조물/교육문화/교육기관/서원
수량/면적	2동
지정 일	1963. 01. 21.
소재지	경북 안동시 도산면 도산서원길 154
시 대	조선시대
소유자	도산서원

② 선정 이유

상덕사와 삼문은 퇴계 이황을 기리기 위한 제사 공간으로, 강연 구역과 더불어 서원의 주요 공간으로서 민간인들의 집처럼 전체적인 분위기가 간결·검소하게 꾸며져 있다. 퇴계의 품격과 학문에 집중하는 선비의 자세를 잘 나타낸 문화유산이다. 사업 발주 이전에 3차원 스캐닝이 실시되지 않았고 보존 및 기록적 가치가 높은 문화유산이므로 기록화사업 대상 중 하나로 선정되었다.

③ 대상의 특성 및 조사 방법

대상의 특성	규모(대·중·소)	중(부동산문화재)
	문양 및 명문	건축 문양 및 부재
	접근성	양호
3차원 스캐닝	스캐닝 방식	광대역 스캐닝
	사용 스캐너	Leica ScanStation P40
	스캔위치 수	81개
기준점 측량	측량장비	HI TARGET/SOKKIA
사진 촬영	촬영장비	<ul style="list-style-type: none"> <li>매핑소스: Nikon D7000 (렌즈: Sigma 8mm F3.5 EX DG CIRCULAR FISHEYE)</li> <li>파노라마: Gigapan Epic PRO</li> </ul>
	촬영매수	<ul style="list-style-type: none"> <li>광대역 스캔데이터 매핑용 사진 총 81매</li> <li>파노라마 사진 총 73매</li> </ul>
후처리 작업	사용 소프트웨어	Cyclone, Photoshop, PTGui, Panoweaver



〈그림 33〉 안동 도산서원 상덕사 및 삼문(왼쪽)과 광대역 스캐닝 장면(오른쪽)

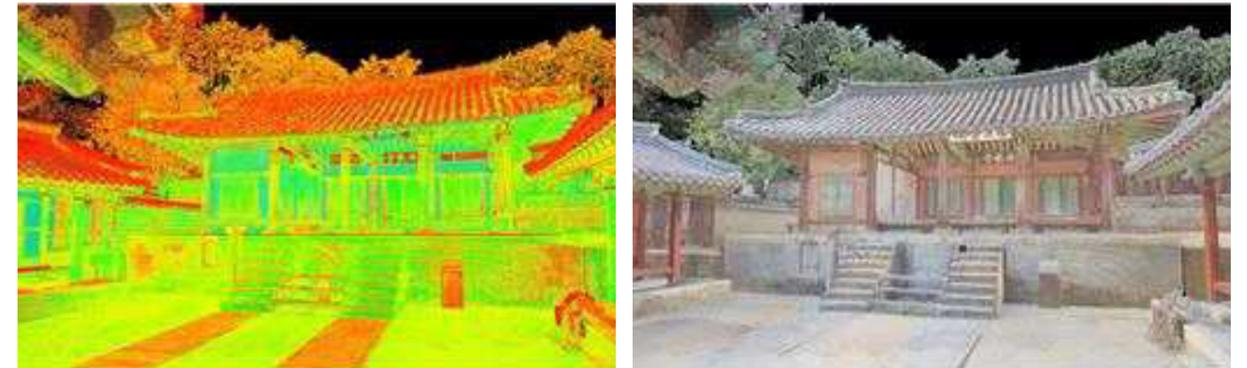
④ 현장조사

광대역 스캐너인 Leica Scanstaion P40으로 총 81개 위치를 선점하여 스캐닝했다. 이와 더불어 동일 위치에서 매핑에 사용될 고품질의 이미지를 촬영하였다. 또한 주요 부재 및 형상을 고해상도 DSRL카메라로 촬영하여 문화재의 현재 모습에 대한 2D 이미지 데이터를 구축했다.

⑤ 후처리

총 81개의 원시 스캔데이터의 점 개수는 1,247,034,441개로 확인되었다. 이에 대해 Cyclone에서 육안으로 동일 지점을 지정하는 수동정합을 실시했으며, 정합이 완료된 데이터의 오차범위는 6mm이하로 확인되었다.

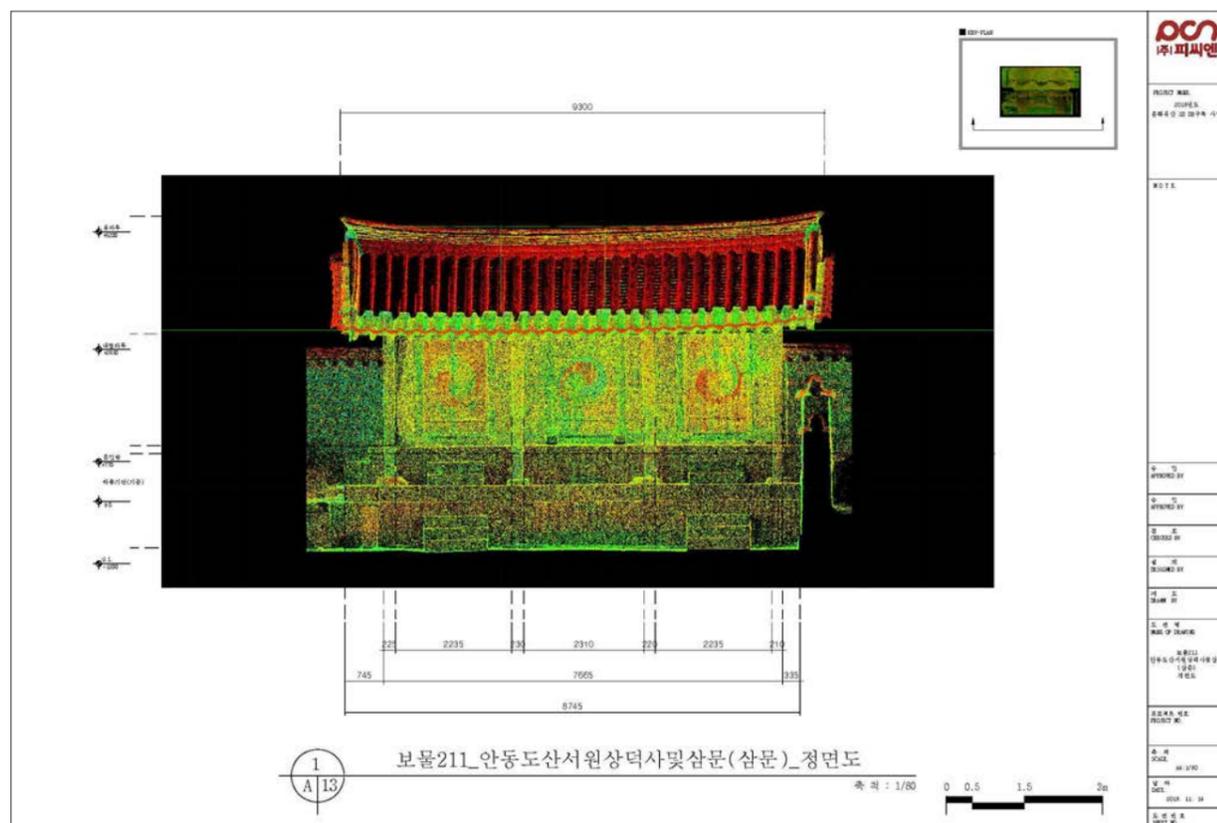
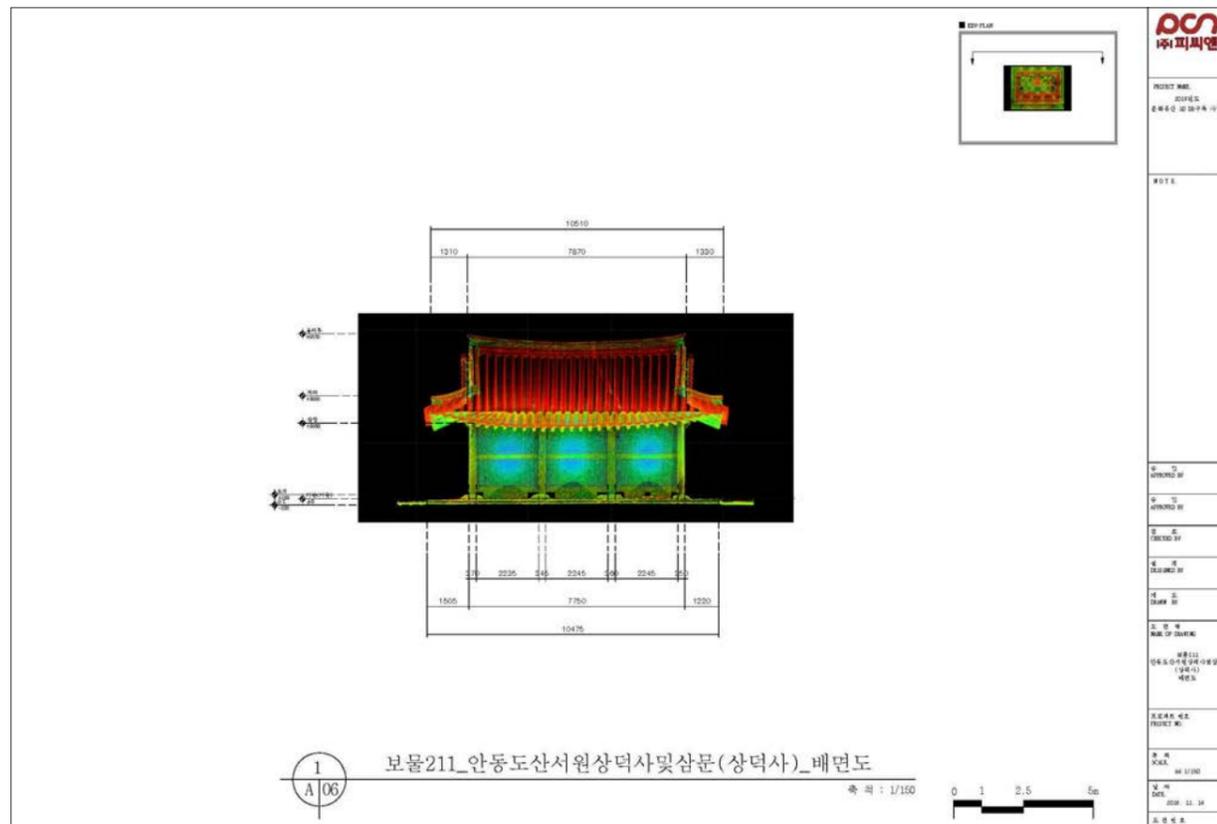
DSLR 카메라로 취득한 매핑 소스는 Photoshop에서 색상 보정을 거친 후 PTGui를 이용하여 하나의 스캔위치 당 6장의 큐브(cube) 이미지로 제작해 Cyclone에서 스캔데이터에 컬러 매핑했다. 그리고 정합 완료된 스캔데이터에 기준점 좌표데이터를 삽입한 후 좌표값을 가지는 하나의 스캔데이터 파일로 병합했다. 관람객과 같은 대상 문화재와 무관하게 취득된 노이즈는 기준점이 입력된 스캔데이터 상에서 제거했다.



〈그림 34〉 후처리가 완료된 서원 스캔데이터. 반사광의 세기에 의한 컬러(왼쪽)와 컬러 매핑(오른쪽)

⑥ 산출물 제작

3차원 스캔데이터(원시스캔데이터와 후처리 완료데이터)를 모두 PTS 파일로 추출했다. 스캔데이터 이미지를 활용하여 배치도, 평면도, 바닥평면도, 앙시도, 정면도, 우측면도, 좌측면도, 배면도, 단면도를 작성하고 스캔데이터에 카메라 애니메이션을 넣어서 동영상 제작했다.



<그림 35> 스캔데이터를 활용해 작성된 도면. 상덕사의 배면도(위)와 삼문의 정면도(아래)



<그림 36> 점군데이터에 카메라 애니메이션을 넣어 제작한 영상

[정밀 스캐닝 사례 1] 안동 하회탈 및 병산탈(2018년)

① 문화재의 개요

종목/명칭	국보 제121호 안동하회탈 및 병산탈
분 류	유물/생활공예/목공예/가구류
수량/면적	13개
지 정 일	1964. 03. 30.
소 재 지	경북 안동시
시 대	고려시대
소 유 자	국유/안동민속박물관

② 선정 이유

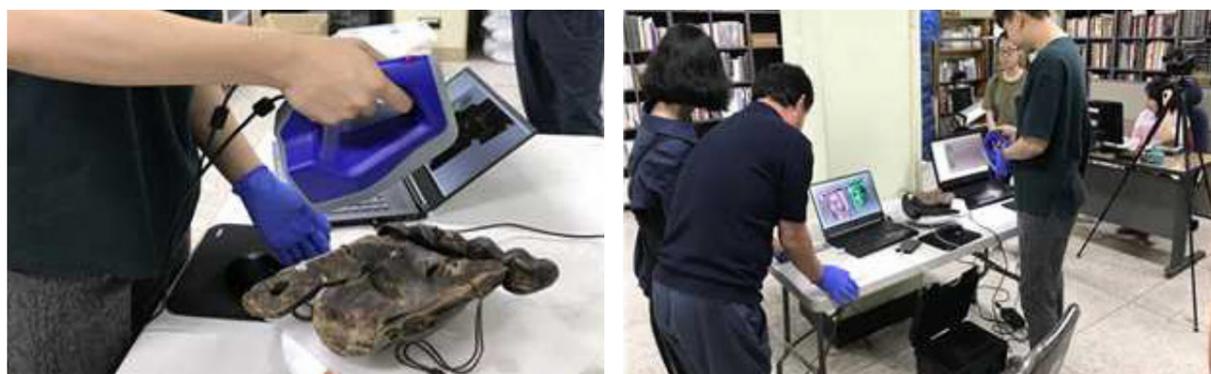
한국의 가면은 대개 바가지나 종이로 만든 것이 많으므로 오래 보존된 예가 드물다. 또한 그해 탈놀이가 끝난 후 태워 버리는 것이 일반적이다. 하회탈과 병산탈은 드물게 보이는 목조탈로서 현존하는 가장 오래된 탈놀이가면이다. 제작자와 정확한 제작 연대는 알 수 없으나 고려 후기쯤 만들어진 것으로 추정된다. 사업 발주 이전에 3차원 스캐닝이 실시되지 않았고 연구 목적과 보존 및 기록적 가치가 높은 문화유산이므로 기록화사업의 대상 중 하나로 선정되었다.

③ 대상의 특성 및 조사 방법

대상의 특성	규모(대·중·소)	소(동산문화재)
	문양 및 명문	문양
	접근성	양호
3차원 스캐닝	스캐닝 방식	정밀 스캐닝
	사용 스캐너	Artec Spider
	스캐닝 회수/프레임	핸드헬드 스캐닝 총 41,844 프레임
사진 촬영	촬영장비	<ul style="list-style-type: none"> <li>매핑소스: 스캐너 내장 카메라</li> <li>기초 자료 사진: Sony A7 M2 (렌즈: Sony SAL1635Z VARIO-SONNAR T* 16-35mm F2.8ZA SSM)</li> </ul>
	촬영매수	기초 자료 사진 총 464매
후처리 작업	사용 소프트웨어	Artec Studio Geomagic, Adobe Photoshop

④ 현장조사

안동민속박물관의 협조를 받아 현장 조사를 진행을 했다. 핸드헬드 방식의 정밀 스캐너인 Artec SpaceSpider로 대상의 중요한 형태와 문양의 데이터가 누락되지 않도록 스캐닝했고, 고해상도의 매핑소스를 얻기 위해 별도로 고해상도 DSLR카메라를 이용해 촬영했다. 이와 더불어 대상 문화재의 형상을 고해상도DSLR 카메라로 촬영하여 문화재의 현재 모습에 대한 2D 이미지 데이터를 구축했다.



〈그림 37〉 안동 하회탈 및 병산탈 정밀 스캐닝

⑤ 후처리

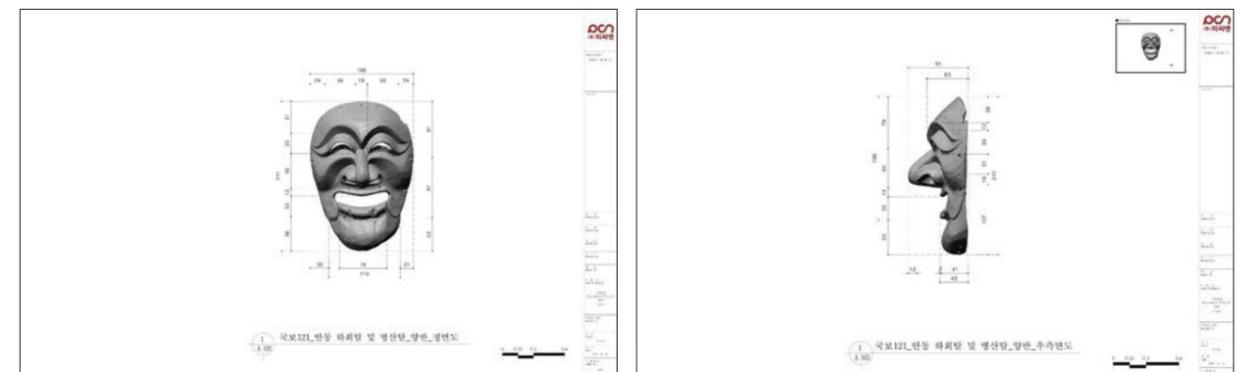
Artec SpaceSpider로 획득한 스캔데이터의 프레임 수는 총 41,844개로 확인되었다. Artec에서 제작한 전용 소프트웨어인 ArtecStudio를 이용하여 정합을 실시했으며, ArtecStudio, Geomagic에서 병합했다. 병합까지 완료된 데이터의 오차범위는 1mm이하로 확인되었다. 병합된 데이터는 ArtecStudio, Geomagic을 이용해 모델링을 마무리했다. DSLR 카메라로 취득한 매핑 소스는 Photoshop에서 색상 보정을 거친 후 Artec Studio, Photoshop을 활용하여 스캔데이터에 매핑했다.



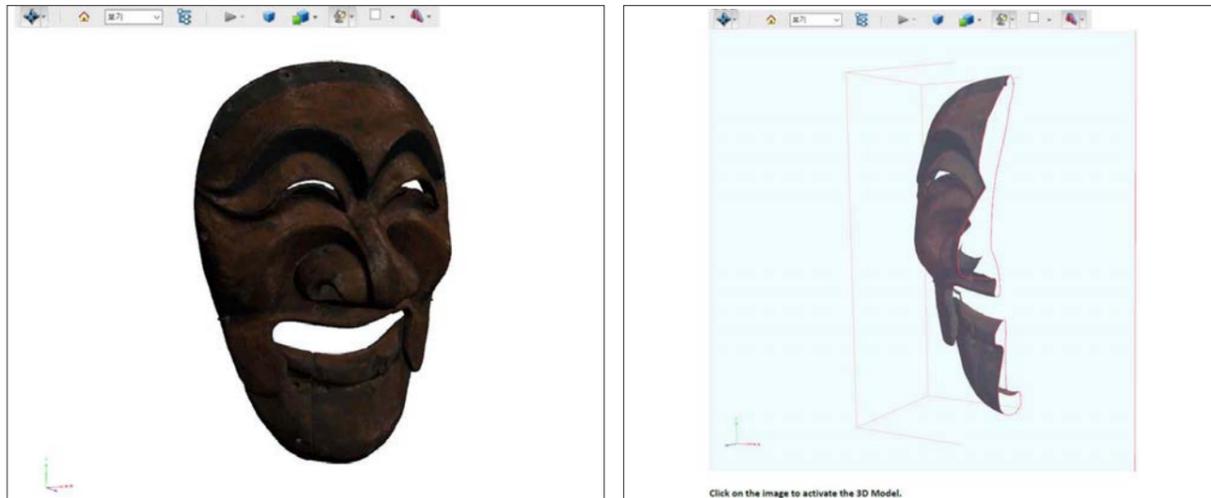
〈그림 38〉 후처리가 완료된 스캔데이터. 메쉬 모델(왼쪽)과 텍스처가 매핑된 메쉬 모델(오른쪽)

⑥ 산출물 제작

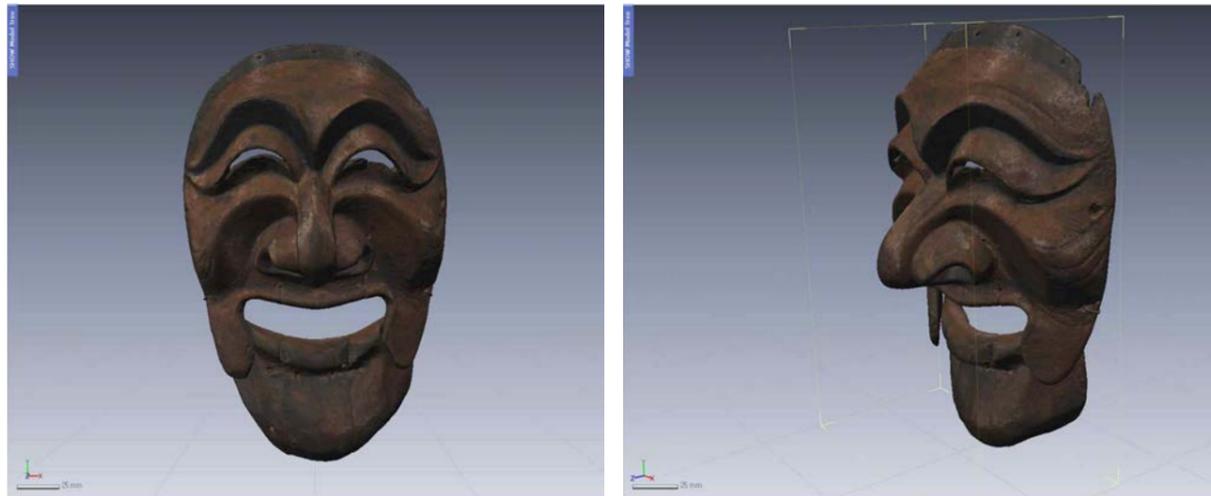
3차원 스캔데이터(원시스캔데이터와 후처리 완료데이터)를 모두 ASC 파일로 추출했으며, 스캔데이터 이미지를 활용하여 도면을 제작하고 인터랙티브 콘텐츠를 제작할 수 있는 저용량 메쉬모델로 ICF, PDF 파일을 제작했다.



〈그림 39〉 스캔데이터를 활용해 작성된 안동 하회탈의 도면. 정면도(왼쪽)와 우측면도(오른쪽)



〈그림 40〉 저용량 메쉬모델을 삽입한 3D PDF. 3차원 메쉬모델(왼쪽)과 단면 보기(오른쪽)



〈그림 41〉 ICF 형식의 안동 하회탈 메쉬모델

[정밀 스캐닝 사례 2] 금동보살입상(金銅菩薩立像)(2018년)



〈그림 42〉 금동보살입상의 전후면(왼쪽)과 정밀 스캐닝 장면(오른쪽)

① 문화유산의 개요

종목/명칭	국보 제200호 금동보살입상
분 류	유물/불교조각/금속조/보살상
수량/면적	1구
지정일	1979. 04. 30.
소재지	부산시립박물관
시 대	통일신라시대
소유자	국유

② 선정 이유

통일신라시대에는 백제와 신라의 불교조각 전통 위에 새롭게 수용되는 중국 당나라 및 인도, 서역과의 문화 교류로 인해 불교미술의 전성기를 맞았으며 가장 국제적인 성격을 띠게 되었다. 불교조각도 신체비례의 균형이 잡히고 얼굴의 세부 표현이나 몸체의 양감 및 사실적인 옷주름 처리, 정교한 영락 장식의 표현 등에서 뛰어난 조각 솜씨를 보여 준다. 이 시기의 보살상은 삼굴 자세를 취하며 천의가 삼국시대처럼 앞에서 X자형으로 교차하지 않고 자유롭게 표현되었다. 이 보살상은 통일신라시대에 유행한 금동보살입상의 전형적인 양식을 보여 주는 작품이다. 전체적으로 표현이 사실에 충실한 편이며, 균형과 입체감도 충분하여 보살의 위엄과 자비로움을 함께 갖춘 불상으로서 통일신라시대 장인의 기상과 원숙한 조형기법으로 조성된 뛰어난 작품으로 평가된다. 또한 이전에 3차원 스캐닝이 실시되지 않았고

보존 및 기록적 가치가 높은 문화유산이어서 기록화사업 대상 중 하나로 선정되었다.

③ 대상의 특성 및 조사 방법

대상의 특성	규모(대·중·소)	소(동산문화재)
	문양 및 명문	문양
	접근성	양호
3차원 스캐닝	스캐닝 방식	정밀 스캐닝
	사용 스캐너	GOM ATOS CompactScan 5M
	스캐닝 회수/프레임	123 프레임
사진 촬영	촬영장비	Canon 5D Mark II (렌즈: Canon EF 100mm F2.8 Macro USM)
	촬영매수	정밀 매핑사진 총 100매
후처리 작업	사용 소프트웨어	Geomagic DesignX

④ 현장조사

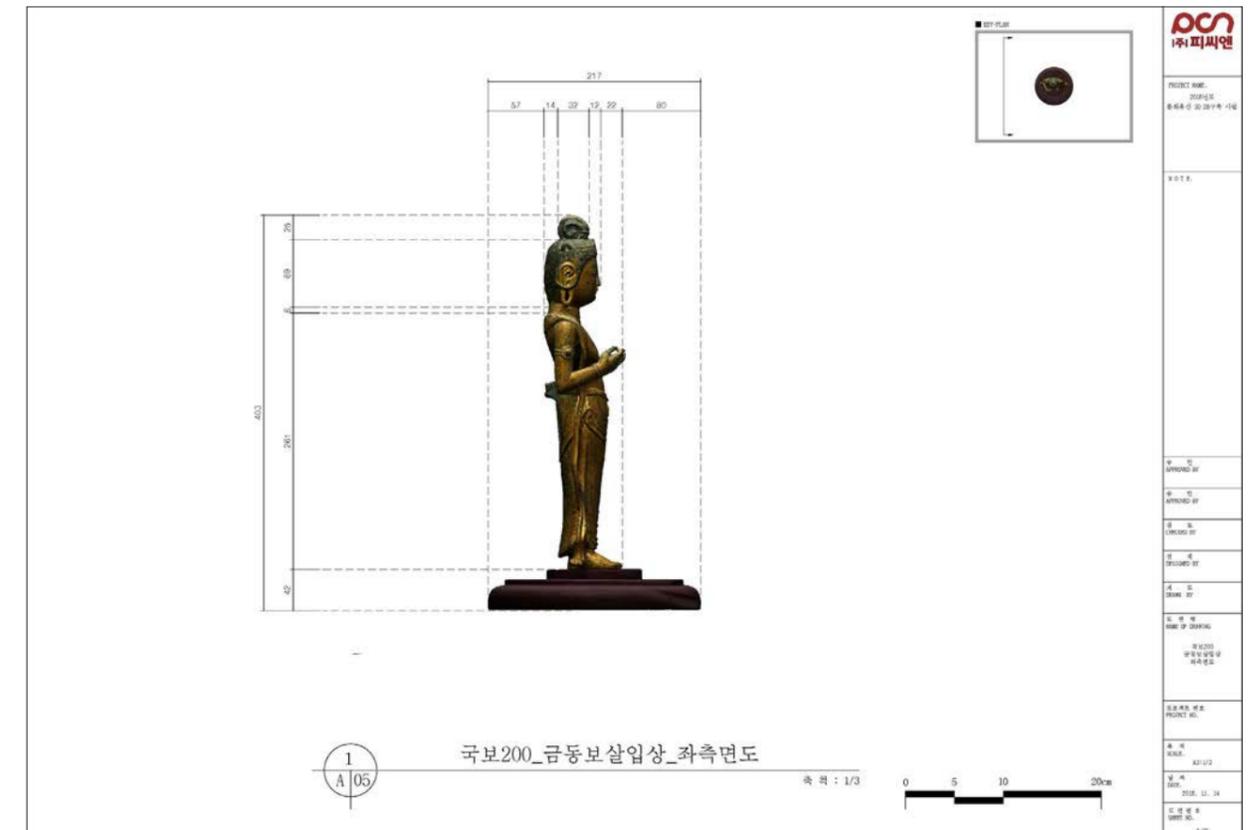
청색 레이저광 기반의 구조광 방식 정밀 스캐너인 GOM ATOS Compact Scan 5M로 스캐닝을 수행했으며, 데이터가 과도하게 무거워 지는 것을 방지하기 위해 300/MV300 렌즈를 사용했다. 이를 이용하여 대상 유물의 6면 전체에 대해 점밀도 1mm이하로 총 123회 스캐닝했다. 매핑에 사용될 고품질의 이미지를 취득하기 위해 DSLR 카메라를 사용하여 총 100매의 매핑소스를 촬영했다.

⑤ 후처리

GOM에서 제작한 전용 소프트웨어인 ATOS professional을 이용하여 정합을 실시했으며, Geomagic Design X에서 병합하였다. 병합까지 완료된 데이터의 오차범위는 1mm이하로 확인되었다. 병합된 데이터는 ArtecStudio, Geomagic을 이용해 모델링을 마무리하여 메쉬모델(ply 363MB)을 생성했다. DSLR 카메라로 취득한 매핑 소스는 Photoshop에서 색상 보정을 거친 후 Geomagic Design X와 Cyedit을 활용하여 메쉬모델에 매핑했다.

⑥ 산출물 제작

총 123컷의 3차원 스캔데이터(원시스캔데이터와 후처리 완료데이터)를 모두 ASC 파일로 추출했으며, 스캔데이터를 활용한 이미지 도면 형태로 평면도, 바닥평면도, 정면도, 배면도, 좌측면도, 우측면도, 단면도를 제작하고 인터랙티브 콘텐츠를 제작할 수 있는 저용량 메쉬모델로 ICF·PDF 파일을 제작했다.



<그림 43> 스캔데이터를 활용해 작성된 금동보살입상의 도면. 좌측면도(위)와 정면도(아래)



<그림 44> 저용량 메쉬모형을 삽입한 3D PDF(왼쪽)와 ICF 형식의 메쉬모델(오른쪽)

[복합 스캐닝 사례 1] 담양 개선사지 석등(2018년)

① 문화유산의 개요

종목/명칭	보물 제111호 담양 개선사지 석등
분 류	유적건조물/종교신앙/불교/석등
수량/면적	1기
지정일	1963. 01. 21.
소재지	전남 담양군 남면 학선리 593-2번지
시 대	통일신라시대
소유자	국유

② 선정 이유

석등의 창 사이 공간에는 통일신라시대 진성여왕 5년(891)에 만들었다는 글이 새겨져 있다. 이는 신라시대 석등 가운데 글씨를 새긴 유일한 예로, 비슷한 시대의 다른 작품의 연대와 특징을 연구하는 데 있어 표준이 되는 유물이다. 보존 및 기록적 가치가 높은 문화유산이므로 기록화사업 대상 중 하나로 선정되었다.

③ 대상의 특성 및 조사 방법

대상의 특성	규모(대·중·소)	중(부동산문화재)
	문양 및 명문	부재 문양 및 명문
	접근성	양호
3차원 스캐닝	스캐닝 방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>석등: 정밀 스캐닝</li> <li>석등 주변: 광대역 스캐닝</li> </ul>
	사용 스캐너	<ul style="list-style-type: none"> <li>정밀 스캐너: Artec Eva, flexscan hdi-R4</li> <li>광대역 스캐너: FARO Focus 3D</li> </ul>
	스캐닝 회수/프레임	정밀 스캐닝 총 41,844프레임
사진 촬영	촬영장비	Canon 5Ds (렌즈: Canon EF 16-35mm f/2.8L)
	촬영매수	기초 자료 사진 총 95매
후처리 작업	사용 소프트웨어	<ul style="list-style-type: none"> <li>정밀 스캐닝: Artec Eva, flexscan hdi-R4</li> <li>광대역 스캐닝: Faro Scene, Leica Cyclone, RapidForm, Photoshop</li> </ul>

④ 현장조사

담양 군청의 협조를 받아 현장조사를 진행했다. 대상의 주변은 광대역 스캐너인 FARO Focus3D를 사용해 점밀도 20mm이하로 스캐닝했으며, 석등의 전체 형상은 정밀 스캐너인 Artec Eva로, 명문은 flexscan hdi-R4로 스캐닝했다. 이때 대상에 포함된 중요한 명문과 문양의 데이터가 누락되지 않도록 유의했다. 정밀스캔 데이터의 매핑소스를 획득하기 위해 고해상도 DSLR카메라로 촬영하고, 별도로 석등을 고해상도 DSLR 카메라로 촬영해 문화재의 현재 모습에 대한 2D 이미지 데이터를 구축했다.

스캐닝과 더불어 기준점 측정도 실시했다. 먼저 좌표값 취득을 위한 기준점 3점을 선점하여 그 위에서 광대역 스캐닝을 한 후 GPS 장비로 좌표를 취득하는 작업을 했다. 취득한 좌표 값은 후처리 작업 시 광대역 스캔데이터에 입력하여 광대역 스캐닝으로 얻어진 데이터에 공간좌표 값을 부여한다.



<그림 45> 담양 개선사지 석등 주변에 대한 광대역 스캐닝(왼쪽)과 석등 정밀 스캐닝(오른쪽)

⑤ 후처리

광대역 스캔데이터의 경우, 총 13개의 원시 스캔데이터는 Faro Scene 에서 육안으로 동일 포인트를 지정하는 수동정합을 실시했다. 정합 완료된 데이터의 오차범위는 2mm이하로 확인되었다. 정합 완료된 스캔데이터에는 내장 카메라로 취득한 컬러이미지를 매핑해 컬러를 부여했다. 이후 Cy-clone에서 기준점 좌표데이터를 삽입한 후 좌표값을 가지는 하나의 스캔데이터로 병합했으며, 병합이 완료된 스캔데이터의 점 간격은 20mm이내로 확인되었다. 대상과 무관하게 취득된 불필요한 노이즈는 기준점이 입력된 스캔데이터 상에서 제거했다. 최종 스캔데이터는 Pointools를 이용하여 영상으로 렌더링 하였으며, Adobe Premier로 자막, 효과 등을 넣어 편집해서 영상을 제작했다.

Artec Eva, flexscan hdi-R4 2가지 정밀 스캐너를 사용한 정밀 스캔데이터는 각각 Artec Studio, Geomagic 소프트웨어를 이용하여 정합을 실시했으며, 정합된 데이터는 각각 Geomagic, Artec Studio를 이용해 모델링을 마무리했다. 병합까지 완료된 데이터의 오차범위는 1mm이하로 확인되었다. 마지막으로 DSLR 카메라로 취득한 매핑 소스를 Photoshop에서 색상 보정을 거친 후 Artec Studio, Photoshop을 활용하여 스캔데이터에 매핑했다.

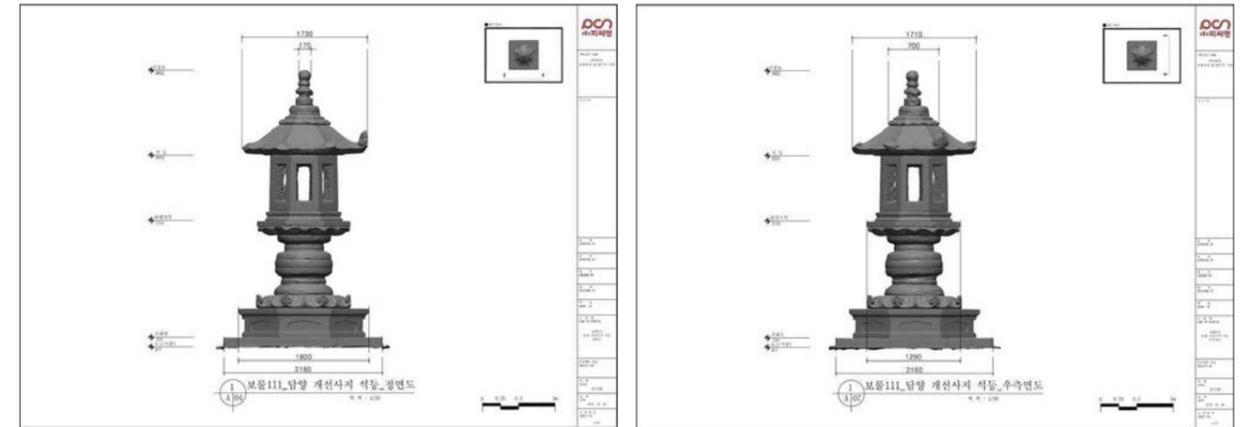


〈그림 46〉 후처리가 완료된 스캔데이터. 메쉬 모델(왼쪽)과 텍스처가 매핑된 메쉬 모델(오른쪽)

⑥ 산출물 제작

3차원 스캔데이터(원시스캔데이터와 후처리 완료데이터)를 모두 ASC 파

일로 추출했으며, 스캔데이터를 활용한 이미지 도면을 제작하고 인터랙티브 콘텐츠를 제작할 수 있는 저용량 메쉬모델로 ICF · PDF 파일을 제작했다.



〈그림 47〉 스캔데이터를 활용해 작성된 석등의 도면. 정면도(왼쪽)와 우측면도(오른쪽)



〈그림 48〉 저용량 메쉬모델을 삽입한 3D PDF(왼쪽)와 ICF 형식의 메쉬모델(가운데). 광대역 스캔데이터로 제작한 영상(오른쪽)

[복합 스캐닝 사례 2] 문경 봉암사 지증대사탑비(2018년)

① 문화재의 개요

종목/명칭	국보 제315호 문경 봉암사 지증대사탑비
분 류	기록유산/서각류/금석각류/비
수량/면적	1기
지정일	2010. 01. 04.
소재지	경북 문경시 가은읍 원북길 313, 봉암사 (원북리)
시 대	통일신라시대
소유자	봉암사

② 선정 이유

이 탑비는 고비(古碑)로서 지증대사의 전기자료적 가치는 물론 한국고대사, 특히 신라 선종사·서예사·한문학사 등 한국고대문화사 연구에 중요한 가치가 있는 탑비로 평가되는 문화재다. 사업 발주 이전에 3차원 스캐닝이 실시되지 않았고 보존 및 기록적 가치가 높으므로 기록화사업 대상 중 하나로 선정되었다.

대상의 특성	규모(대·중·소)	대(부동산문화재)
	문양 및 명문	탑신 전후 양면 명문, 이수 및 귀부 문양
	접근성	양호
3차원 스캐닝	스캐닝 방식	광대역 스캐닝 및 정밀 스캐닝
	사용 스캐너	<ul style="list-style-type: none"> <li>광대역: Leica ScanStation C10</li> <li>정밀: GOM ATOS 5M, Mantis Vision F5-40</li> </ul>
	스캔위치 수 스캐닝 회수/프레임	<ul style="list-style-type: none"> <li>광대역 스캔위치 총 93개</li> <li>정밀 스캐닝 총 162회, 8938 프레임</li> </ul>
기준점 측량	측량장비	Trimble 5700
사진 촬영	촬영장비	<ul style="list-style-type: none"> <li>기초 자료 사진: Canon 5D Mark II (렌즈: Canon EF 24-70mm F2.8L USM)</li> <li>매핑소스: Nikon D200, Nikon D7000 (렌즈: Sigma 8mm F3.5 EX DG CIRCULAR FISHEYE)</li> </ul>
	촬영매수	<ul style="list-style-type: none"> <li>광대역 스캔데이터 매핑사진 총 714매</li> <li>매핑사진 총 105매</li> <li>파노라마 사진 총 120매</li> </ul>
후처리 작업	사용 소프트웨어	<ul style="list-style-type: none"> <li>광대역 스캐닝: Cyclone, Photoshop, PTGui, Panoweaver</li> <li>정밀 스캐닝: Rapidform, Geomagic, MVP, Cyedit(Headus)</li> </ul>

③ 대상의 특성 및 조사 방법



〈그림 49〉 문경 봉암사 지증대사탑비

④ 현장조사

대상 문화재의 중요한 명문이나 문양의 데이터가 누락되지 않도록 정밀 스캐너를 이용했으며, 광대역 스캐너를 이용하여 대상 문화재 주변의 데이터를 같이 취득했다. 보령 성주사지 낭혜화상탑비는 Leica 社의 Scan station C10으로 광대역 스캐닝을 했고, GOM 社의 ATOS 5M과 Mantis Vision F5-40으로 정밀 스캐닝을 실시했다.

비석의 높이가 높아 원활한 스캐닝 작업을 위해 가설비계 설치 후에 본 조사를 실시했다. 정밀 스캐너인 ATOS 5M의 경우 빛의 의한 외부간섭을 피해야하는데 대상 문화재가 야외에 있는 관계로 부득이하게 일몰 후 일출 전의 야간에 진행되었다. 또한 ATOS 5M의 특성과 현장 상황 상 촬영이 어려운 이수나 귀부 일부는 핸드헬드 방식의 정밀스캐너인 Mantis Vision 으로 스캐닝했다. 정밀 스캔 데이터의 매핑소스를 획득하기 위해 고해상도 DSLR카메라를 이용해 촬영했다.

대상 문화재 및 주변의 총 93위치를 선점하고 광대역 스캐닝을 했으며, 동일 지점에서 스캐너 내장 카메라 대신 DSLR 카메라와 어안렌즈를 사용하여 고품질의 매핑용 이미지를 함께 취득했다. 이와 더불어 고품질의 파노라마 사진을 제작하기 위해 기가픽 장비를 활용하여 파노라믹 촬영을 했다.

기준점 측정도 실시했다. 기준점 측정은 먼저 좌표값 취득을 위한 기준점 4점을 선점한 후 그 위에서 광대역 스캐닝을 했으며 마지막으로 GPS 장비로 좌표를 취득하는 작업을 했다. 취득한 좌표 값은 후처리 작업 시 광대역 스캔데이터에 입력하여 광대역 스캐닝으로 얻어진 데이터에 공간좌표 값을 부여한다.

⑤ 후처리

광대역 스캔데이터의 경우, 총 93개의 원시 스캔데이터는 Cyclone에서 육안으로 동일 포인트를 지정하는 수동정합을 실시했다. 정합 완료된 데이터의 오차범위는 6mm이하로 확인되었다. DSLR 카메라로 취득한 매핑 소스는 Photoshop에서 색상 보정을 거친 후 PTGui를 이용하여 하나의 위치 당 6장의 큐브(cube) 이미지를 제작해 Cyclone에서 스캔데이터에 매핑했다. 정합 완료된 스캔데이터에는 내장 카메라로 취득한 컬러이미지를 매핑해 컬러를 부여했다. 이후 Cyclone에서 기준점 좌표데이터를 삽입한 후 좌표값을 가지는 하나의 스캔데이터로 병합했으며, 병합이 완료된 스캔데이터의 점 간격은 5mm이내로 확인되었다. 대상과 무관하게 취득된 불필요한 노이즈는 기준점이 입력된 스캔데이터 상에서 제거했다.

ATOS 5M과 Mantis F5-40 2가지 정밀 스캐너를 사용한 정밀 스캔데이터는 각각 ATOS professional과 MVP 소프트웨어를 이용하여 정합을



## 6.8 주요 참고 자료

본 가이드라인의 개정판 발간을 위한 연구와 집필 과정에서 국내외의 현장, 학술지, 책자, 보고서 및 웹페이지들에 수록된 많은 자료를 분석 및 검토했다. 여기에 기술된 자료 목록은 연구에 참조한 자료 중 문화유산 3차원 스캐닝 기술을 활용하는 목적 및 방법과 관련된 유용한 주요 참고 자료다.

### 1) 국제현장, 선언 및 가이드라인

#### 베니스헌장

The Venice Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites, 1964

#### 디지털 유산의 보존에 관한 유네스코헌장

UNESCO Charter on the Preservation of the Digital Heritage, 2003

#### 유네스코·밴쿠버헌장 '디지털시대의 세계의 기억: 디지털화 및 보존

UNESCO/UNC Vancouver Declaration, The Memory of the World in the Digital Age: Digitization and Preservation, 2012

#### 문화유산의 컴퓨터에 기반을 둔 시각화를 위한 런던헌장

The London Charter for the computer-based visualization of cultural heritage, 2009

#### 세비야 원칙, 가상 고고학에 관한 국제 원칙

Principles of Seville, International Principles of Virtual Archeology, 2011

#### 히스토리컬 잉글랜드, 유산을 위한 3차원 레이저 스캐닝 - 고고학 및 건축 분야의 레이저 스캐닝 활용을 위한 조언 및 가이드

3D Laser Scanning for Heritage - Advice and Guidance on the Use of Laser Scanning in Archaeology and Architecture, Historic England, 2007

#### 히스토리컬 잉글랜드, 고고학 조사를 위한 항공 라이더의 활용

The Light Fantastic: Using Airborne Lidar in Archaeological Survey, Historic England, 2010

### 2) 국외 서적 및 논문

Andrews, D., Bedford, J. and Bryan, P. (2015). Metric Survey Specifications for Cultural Heritage, 3rd edn Swindon: Historic England

Barber, D. M., Mills, J. P. and Bryan, P. G. (2003). Towards a standard specification for terrestrial laser scanning. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 34(5/C15): pp. 619-624

Bryan, P., Blake, B., Bedford, J., Barber, D., & Mills, J. (2013). Metric survey specifications for cultural heritage. English Heritage.

Boehler, W. and Marbs, A. (2002). 3D scanning instruments. Proceedings of the CIPA WG, 6 International Workshop. Corfu: CIPA

MacKinnon, D., Beralden, J.—A., L. Cournoyer, Picard, M., and F. Blais (2012), Lateral resolution challenges for triangulation-based three-dimensional imaging systems, Opt. Eng., vol. 51, no. 2, p. 021111

Remondino, F., & Stylianidis, E. (2016). 3D recording, documentation and management of cultural heritage (Vol. 2). Whittles Publishing.

W. H. Blake, (2010). What is the Future of Metric Heritage Documentation and its skills?, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXX-VIII, Part 5 Commission V Symposium, UK, 2010

### 3) 국내 서적, 논문 및 보고서

과학기술정보통신부. 2017.년 '2017년 국가정보화에 관한 연차보고서'. 과학

안재홍, 김충식. 2016. '디지털 유산: 문화유산의 3차원 기록과 활용'. 시그마프레스. 서울

4) 참고 웹사이트

The Getty Conservation Institute  
<http://www.getty.edu/conservation>

ICOMOS (International council on Monuments and Site)  
<http://www.icomos.org>

London Charter  
<http://www.londoncharter.org>

LDI Archer(Ludwig Boltzmann Institute)  
<http://archpro.lbg.ac.at>

문화재청(Cultural Heritage Administration of the Republic of Korea)  
<http://www.cha.go.kr>

CyArk  
<http://www.cyark.org>

UNESCO(United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization)  
<http://en.unesco.org>

CIPA(Comité International de la Photogrammétrie Architecturale / International Committee of Architectural Photogrammetry)  
<http://cipa.icomos.org>

FUTURE BUILT ON KNOWLEDGE  
<http://www.fbk.eu>

문화유산 3차원 스캐닝  
 현장조사 워크시트

문화재명	
부속문화재	
소유기관	

조사일자	
스캐닝 방식	___ 광대역 스캐닝 ___ 정밀 스캐닝
사용 스캐너	
특이사항	
워크시트 구성 및 총 페이지 수	___ 광대역 스캐닝 현장조사 워크시트 ___ 정밀 스캐닝 현장조사 워크시트 ___ 사진 촬영 워크시트 ___ 기준점의조서 ___ GPS 측량관측기록부 ___ 기타: ( )  총 페이지 수: 표지포함 ___ 페이지

작업팀장	(확인)
사업관리자	(확인)

광대역 스캐닝 현장조사 워크시트

작성자	작업팀장	사업관리자	1차 백업

문화재명		조사일자	
작업시간		조사장소	
기상환경	___실내 ___실외(날씨: 바람: )	작업자 / 소속	/

세부 작업 공정

장비명			
요구 점밀도 (mm)			
사용 점밀도 (mm)			
스캔위치 수 (개)			
컬러 데이터	구축여부	___여 ___부	
	구축방식	___내장 ___외장(장비: )	
기준점 측정	기준점 측정여부	___여 ___부	
	기준점 측정여부	___여 ___부	측정일자
	표석 및 기준점 수	표석___개, 기준점___개	미설치 사유

조사 시 특이사항

광대역 스캐닝 위치

광대역 스캐닝 위치별 설정 점밀도

위치	설정 점밀도 (mm)	위치	설정 점밀도 (mm)	위치	설정 점밀도 (mm)
P01					
P02					
P03					
P04					
P05					
P06					
P07					
P08					
P09					
P10					
P11					
P12					
P13					
P14					
P15					
P16					
P17					
P18					
P19					
P20					

정밀 스캐닝 현장조사 워크시트

작성자	작업팀장	사업관리자	1차 백업

문화재명		조사일자	
작업시간		조사장소	
기상환경	___ 실내 ___ 실외(날씨: 바람: )	작업자 / 소속	/

세부 작업 공정

장비명	
스캐닝 방식	
렌즈타입	
요구 점밀도 (mm)	
사용 점밀도 (mm)	
스캐닝 회수 (회)	
조명	
방위	
문화재의 특징	
조사 시 특이사항	

사진 촬영 워크시트

작성자	작업팀장	사업관리자	1차 백업

문화재명		조사일자	
작업시간		조사장소	
기상환경	___실내 ___실외(날씨: 바람: )	작업자 / 소속	/

사진 촬영 유형	항공 촬영	스캔데이터 컬러매핑	메쉬모델 텍스처매핑	사진 자료	기타

세부 작업 공정

카메라 모델명	
사용 렌즈	
조명	
요구 해상도	
사용 해상도	
촬영 매수 (매)	
컬러(그레이)차트 촬영 여부	___여 ___부
주요 촬영 내역	
특이사항	

문화유산 3차원 스캔데이터  
후처리 워크시트

문화재명	
부속문화재	
소유기관	

조사일자	
스캐닝 방식	___광대역 스캐닝 ___정밀 스캐닝
사용 소프트웨어 개발사 SW명 버전	
특이사항	
워크시트 구성 및 총 페이지 수	___광대역 스캔데이터 후처리 워크시트 ___정밀 스캔데이터 후처리 워크시트 ___기타: ( )  총 페이지 수: 표지포함 ___페이지

작업팀장	(확인)
사업관리자	(확인)

광대역 스캔데이터 후처리 워크시트

사업책임자		사업관리자
정	부	

문화재명			
시작 일시		완료 일시	

세부 작업 공정			작업 S/W 개발사 SW명 버전
원시 데이터	점 개수 (개)		
	원시 데이터 파일형식		
	원시 데이터 파일용량 (MB,GB)		
	PTS 데이터 파일용량 (MB,GB)		
정합 데이터	점 개수 (개)		
	파일용량 (MB,GB)		
병합 데이터	점 개수 (개)		
	파일용량 (MB,GB)		
컬러매핑 여부		___여 ___부	
기준점 PTS 데이터 유무		___유 ___무	

특이사항	
------	--

정밀 스캔데이터 후처리 워크시트

사업책임자		사업관리자
정	부	

문화재명			
시작 일시		완료 일시	

세부 작업 공정			작업 S/W 개발사 SW명 버전
원시 데이터	점 개수 (개)		
	원시 데이터 파일형식		
	원시 데이터 파일용량 (MB,GB)		
	PTS 데이터 파일용량 (MB,GB)		
정합 데이터	점 개수 (개)		
	파일용량 (MB,GB)		
병합 데이터	점 개수 (개)		
	파일용량 (MB,GB)		
메쉬모델 파일형식/용량 (MB,GB)			
텍스처 매핑			

특이사항	
------	--

문화유산 3차원 스캔데이터  
납품시트

문화재명	
부속문화재	
소유기관	

납품일자	
스캐닝 방식	___광대역 스캐닝 ___정밀 스캐닝
납품 목록	
특이사항	
납품시트 구성 및 총 페이지 수	___광대역 스캔데이터 납품시트 ___정밀 스캔데이터 납품시트 ___스캔데이터 가공산출물 납품시트 ___기타: ( )  총 페이지 수: 표지포함 ___페이지

작업팀장	(확인)
사업관리자	(확인)

광대역 스캔데이터 납품시트

문화재명			
작성일자		작성자	

세부 작업 공정

원시 데이터	점밀도 (mm)	
	파일명	
	원시 데이터 파일용량 (MB,GB)	
	PTS 데이터 파일용량 (MB,GB)	
병합 데이터	점밀도 (mm)	
	파일명	
	파일용량 (MB,GB)	
킬러매핑 여부		___여 ___부
기준점	PTS데이터 유무	___유 ___무
	측량심사	
파일저장 위치(폴더 구조)		

특이사항	
------	--

정밀 스캔데이터 납품시트

문화재명			
작성일자		작성자	

세부 작업 공정

원시 데이터	점밀도 (mm)	
	파일명	
	원시 데이터 파일용량 (MB,GB)	
	PTS 데이터 파일용량 (MB,GB)	
병합 데이터	점밀도 (mm)	
	PTS 데이터 파일명	
	파일용량 (MB,GB)	
컬러매핑 여부		___여 ___부
파일저장 위치(폴더 구조)		

특이사항

스캔데이터 가공 산출물 납품시트

문화재명			
작성일자		작성자	

스캔데이터 가공 산출물

메쉬 모델	보존용	파일명			
		폴리곤 개수 (개)		텍스처 매핑 여부	___여 ___부
		파일저장 위치 (폴더 구조)			
	서비스용	파일명			
		폴리곤 개수 (개)		텍스처 매핑 여부	___여 ___부
		파일저장 위치 (폴더 구조)			
도면	도면 구성/ 스케일				
	파일 명				
	파일저장 위치 (폴더 구조)				
영상	러닝타임 (분 초)		프레임율 (fps)		
	파일 명				
	파일저장 위치 (폴더 구조)				
기타					
특이 사항					

기준점의조사서

점의 명칭		번호	
도엽번호		도엽명	
소재지			
측량시행자		측표상황	
매설일자		매설자	
관측일자		관측자	

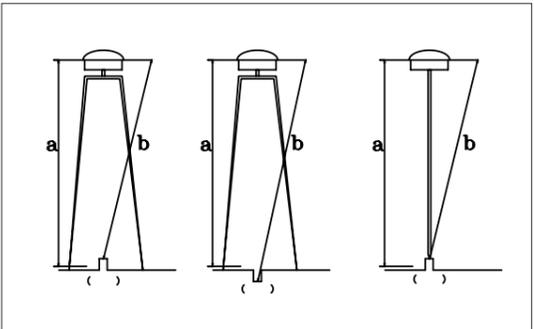
직각 좌표	좌표계	세계측지계(ITRF)	직각 좌표	좌표계	기본지리정보좌표계 (UTM-K)
	X(N)			X(N)	
	Y(E)			Y(E)	
경위도 좌표	위도		높이 (H)	표고	
	경도			타원체고	
좌표 원점			타원체		
경로					
약도			관측도		
근경			원경		

GPS 측량관측기록부

작성자	작업팀장	사업관리자	1차 백업

문화재명		관측자	
관측점 명		수신기 번호	
수신 취득 간격 (")		안테나 종류	
위성 최저 관측각 (°)		날씨	
관측 시작일시 (년 월 일 시 분)			
관측 종료일시 (년 월 일 시 분)			

세부 작업 공정

표석 상태	화강석	<p>* 안테나 높이의 측정을 상세히 기록할 것.</p> 
	반석	
	말목	
	기타	
안테나 높이 (m)		



후처리데이터 검수시트

문화재명	
스캐닝 방식	___광대역 스캐닝 ___정밀 스캐닝

기준점 데이터(PTS)	___여 ___부 ___해당없음		
매핑	___여 ___부 ___해당없음		
노이즈 유무	___유 ___무	내용	
스캐닝 누락 부위	___유 ___무	내용	
정합 오차 적합성	___적합 (정합오차 ) ___부적합		

문화재 스캔데이터 점밀도 확인(주요 부분)

연번	지점 명칭	점밀도 (mm)	연번	지점 명칭	점밀도 (mm)
01			06		
02			07		
03			08		
04			09		
05			10		

문화재 주변 스캔데이터 점밀도 확인

01			02		
----	--	--	----	--	--

기타 의견

상기 내용을 확인하였음

년 월 일  
검수자 (인)