문화재조사용 스마트 탐사장비 개발

과제명	문화재조사용 스마트 탐사장비 개발		
국가과학기술 표준분류	**대분류**	**중분류**	**소분류**
	지구과학 (지구/대기/해양/천문)(ND)	지구물리학(ND02)	응용/환경 지구물리학 (ND0205)
	문화/예술/체육(HE)	문화재(HE15)	매장문화재(HE1508)
문화유산 기술분류	**대분류**	**중분류**	**소분류**
	문화유산 보존 기술	매장문화재 조사 기술	물리탐사 기술
	문화유산 보존 기술	문화재 진단 및 평가 기술	달리 분류되지 않은 문화재 진단 및 평가 기술
과제유형	**연구단계**	☐ 기초연구 ☐ 응용연구 ☑ 개발연구	
	목표유형	☐ 창의도전형 ☑ 성과창출형	
지원기간/예산	○ 지원기간: 4년 이내 ○ 정부출연금: '22년 642백만원(총 3,100백만원)		
추진체계	○ 주관기관: 제한없음		

1. 연구개발의 필요성

○ 정부지원 필요성

- 문화재 조사는 공공수요 측면이 강하고 정부 기관이 주도하는 분야로 일반 민간 기업의 참여 및 기술개발 투자를 기대하기 어려워 정부의 집중적인 투자가 필요한 분야임.
- 다른 산업 분야의 장비들은 최신 디지털 기술과 ICT 기술을 접목하여 자동화 및 고도화된 장비개발이 활발하고 장비개발 주기도 단축되는 동향인데 반해, 문화재 발굴 및 진단 평가에 사용되는 유적탐사 장비는 디지털 기술 및 사람이 직접 운전하는 자동차에 의해 운행되는 장비로의 변환까지는 이루었으나 ICT 기술 접목에 의한 자동화는 미진한 상황임.
  * 현재 문화재청이 보유하고 있는 차량 견인형 GPR 장비는 탐사 정밀도는 향상시켰으나 자동화가 되어 있지 않고, 지형의 기복이 심한 지역 또는 식생이 무성한 지역 등 차량을 운전해서 접근하기 어려운 지역의 탐사에 적합하지 못한 상태임.
- 따라서 정부지원을 통해 다양한 환경 하에 매장되어있는 문화재를 탐사할 수 있는 장비 개발 및 자료처리 기술의 자동화를 이뤄 문화재 조사, 진단 평가 시간 단축뿐 아니라 탐사 신뢰도 재고가 반드시 필요함.

○ 기술성

- 문화재 조사장비 운용에 드론과 같은 무인 비행체와 자율주행 기술을 도입하여 문화재 조사의 효율성 및 안정성을 극대화하고 문화재 과학기술의 국가경쟁력을 확보할 필요가 있음.
- 기존 문화재 조사방법은 탐사인력의 노동에 의존하여 제한된 양의 자료획득만 가능하였지만, ICT 기술을 접목한 문화재 조사 자동화 및 고도화 기술개발로 대용량 자료획득이 가능해지며 AI, 빅데이터 분석과 같은 최첨단 자료처리 기법의 적용을 통한 조사 성과품의 획기적인 성능 향상을 기대할 수 있음.
- 드론과 같은 무인비행체를 이용한 탐사 자동화 기술은 탐사지역에서 일정 높이를 유지하며 일정한 속도로 정해진 경로를 따라 안정적으로 운행할 수 있는 장비와 자동항법 시스템의 개발 및 얻어진 자료의 후처리 기술개발이 필요함.
- 기 보유한 지상 문화재 탐사장비를 탑재 가능하며 소형화, 경량화, 기동성 높은 장비로 개발하여 면적이 좁은 지역에서도 운행이 자유롭고, 지형의 기복이 심하고 장애물이 있는 지역에서도 기동이 가능한 자율주행 탐사장비 운반체의 개발이 필요함.
- 이러한 탐사 자동화 장비들의 개발 및 스마트 탐사자료처리 SW 개발은 사람의 접근이 어려운 지역과 위험지역에 매장되어 있는 문화재도 조사를 가능하게 하는 기술 개발이 요구됨.

○ 경제성

- 문화재 조사 기법 자동화 및 고도화 기술은 저비용·고효율의 문화유적 조사 및 관리뿐만 아니라 문화재 탐지 정확도 향상을 도모할 수 있으며, 문화재 발굴을 통한 지역경제의 관광자원 제공을 통한 경제 활성화에 기여할 수 있어 기술개발이 요구됨.
- 스마트 문화재 탐사자료 처리 및 분석 SW 개발은 광범위 지역을 빠르고 객관적인 탐사자료 해석을 가능하게 하여 문화재 발견 확률을 높이고 문화재 조사의 정확도를 높여줘 비용절감 효과를 기대할 수 있음

2. 연구개발 목표

○ 최종목표

1. 지상 물리탐사용 자율주행 운반시스템 장비 개발 및 이동형 매장문화재 탐사장비 개발
   1) Lidar, SLAM 등의 자율주행으로 험한 지형을 극복할 수 있는 지상 물리탐사 운반체 개발
   2) 자율주행 운반시스템 탑재용 매장문화재탐사에 최적화된 탐사장비 선정 및 모듈 최적화(개발)
2. 무인 비행체를 이용한 항공 문화재탐사 장비 및 SW 개발
   1) 물리탐사에 적합한 장비 견인 무인 비행체(드론) 및 탐사 자동항법 시스템 개발
   2) 지상제어(차량) 방식의 시스템 개발
   3) 항공 문화재 탐사에 적합한 물리탐사 장비 선정 및 모듈 최적화(개발)
3. 자료처리 및 분석 SW개발
   1) 자율주행운반시스템과 탐사장비를 본부(차량)에서 제어하는 SW 개발
   2) 드론 문화재 물리탐사 자료처리 SW 개발
   3) 지상 물리탐사 자료처리 SW 개발
   4) 드론 및 지상 자율주행을 통해 획득한 지표 측량 및 이동경로를 물리탐사 자료처리에 활용 가능한 SW개발
   5) 기계학습 기반 복합해석 기술 SW개발
   6) 복합해석 결과와 매장문화재 위치를 디스플레이 해주는 모바일 기반 SW개발

○ 정량적 개발목표

성능지표		정량적 목표	세계최고수준
1-1	지상 물리탐사용 자율주행 운반시스템 장비 개발	- 지정한 범위에서 미리 설계한 탐사측선을 따라 자동운행을 하며 탐사장비를 탑재하여 이동식 탐사가 가능하게 해주는 자율주행 운반체 완성품 - 자율주행(수평위치) 오차 5cm 이하 - 급경사 및 장애물을 극복 가능하고 충분한 페이로드와 운행시간 보유 - 장비 lost 등 비상사태를 대비한 홈커밍 기능과 자기위치발신 기능 - 자율주행시 취득된 SLAM 데이터로 지표측량에 활용 가능하도록 개발 - 자율주행운반시스템과 탐사장비를 본부(차량)에서 제어하는 시스템 모듈 개발 - 측량 데이터 실시간 송출 및 모니터 기능	문화재 탐사를 위한 지상용 자율주행 시스템은 국내외 최초 및 선도 기술

1-2	자율주행 운반시스템에 탑재하여 매장문화재탐사에 최적화된 탐사장비 선정 및 모듈 최적화(개발)	- 자율주행 운반시스템에 탑재하여 매장문화재 탐사에 가장 최적화 할 수 있는 물리탐사 장비를 선정, 한국형 시스템에 맞게 장비를 변형 및 개조하여 모듈 최적화 - 탐사법은 GPR탐사, 자력탐사, 전기저항탐사, 전자탐사이며 탐사장비를 탑재하여 운반체의 간섭 없이 양질의 데이터 취득이 가능하도록 모듈 개발 - GPR 및 전기저항탐사 탐지깊이 2m 이상, 해상도 10cm 이하	지상에서 측정하는 각각의 탐사장비의 스펙은 일반적인 기술에 해당하나 운반체에 부착되서 자동으로 측정되는 다중센서 모듈은 국내외 최초 및 선도 기술
2-1	물리탐사에 적합한 장비 견인 무인 비행체(드론) 및 탐사 자동항법 시스템 개발	- 무인 비행체(드론) 및 GPS연동을 활용한 정밀 자동항법 시스템 완성품 - 탐사장비 견인이 가능한 충분한 페이로드와 운행 지속시간 - 무인 비행체 자동운행 및 제어(고도, 수평위치) 오차 5cm 이하 - 부착된 물리탐사장비 흔들림 최소화(롤, 피치, 요: 10°이내) - 장비 lost 및 비상사태를 대비한 안전기능(홈커밍 기능 등) - 무인 비행체(드론)와 탐사장비를 지상(차량)에서 제어하는 시스템 모듈 개발 - 측량 데이터 실시간 송출 및 모니터 기능	(미국) Collier Geophysics사와 (프랑스)TERREMYS사 등에서 드론 기반의 자력탐사 시스템 개발 및 운용. 국내에서도 한국지질자원연구원 등 연구 개발 중. 드론기반 GPR의 경우 DfR컨설팅, 항공우주연구원, 캐나다의 공동연구로 개발 초기 단계. 그러나 문화재 관련분야에 적합한 탐사 장비 개발은 전무
2-2	항공 문화재 탐사에 적합한 물리탐사 장비 선정 및 모듈 최적화(개발)	- 항공 문화재 탐사용 최신의 물리탐사 장비를 선정, 한국형 시스템에 맞게 장비를 변형 및 개조하여 모듈 최적화 - GPR탐사 탐지깊이 1.5 m 이상, 해상도 10cm 이하 - 자력탐사 고성능 데이터 샘플링 - 드론 라이다(LiDAR) 지표측량	지상탐사용으로는 일반적인 기술에 해당하나 항공원격센서로는 국내외 선도 기술
3	탐사자료 처리 및 복합해석 SW 개발	- 각각 얻어진 물리탐사 자료의 다양한 자료처리 및 기계학습기반 복합해석이 가능한 SW - 복합해석 결과와 매장문화재 위치를 디스플레이 해주는 모바일 기반 SW	국내외 최초 및 선도 기술

○ 연도별 개발목표

단계	연도	연도별 개발목표
1단계	2022년	ㅇ지상 물리탐사용 자율주행 운반시스템 장비 및 이동형 매장문화재 탐사장비 개발과 SW 개발(1차년) - 지형의 기복이 심하고 장애물이 있는 지역에서도 탐사장비를 안정적으로 견인할 수 있는 자율주행 운반시스템 설계 및 시제품 개발 - 세계 각국에서 개발된 다양한 물리탐사 장비의 성능 조사 및 실 탐사사례를 조사하여 자율주행 운반시스템에 부착이 가능하며 문화재 조사에 가장 적합한 GPR 탐사, 자력탐사 센서 선정 및 구입 - 각종 물리탐사 자료의 다양한 자료처리 및 기계학습기반 복합해석이 가능한 SW 개발(1차) - 복합해석 결과와 매장문화재 위치를 디스플레이 해주는 모바일 기반 SW 개발(1차)
	2023년	ㅇ지상 물리탐사용 자율주행 운반시스템 장비 및 이동형 매장문화재 탐사장비 개발과 SW 개발(2차년) - 지형 기복이 있는 테스트베드에서 설계된 측선에 대한 시험운행을 통한 운반체의 자율주행 성능 검증 - 전기저항탐사, 전자탐사 센서 선정 및 구입 - 탐사장비를 변형 및 개조하여 모듈을 최적화하며 자율주행 운반체 성능개선을 통한 장비 완성 - 지형 기복이 있는 테스트베드에서 탐사센서를 부착하여 현장자료 취득 시연 및 취득된 현장자료 분석을 통한 탐사자료 품질 검증 - 자율주행 이동체에 부착되어 측정된 물리탐사 자료처리 기술 및 자동해석 SW개발(2차) - 테스트베드에서 얻어진 자료의 처리 및 해석을 통한 개발 장비 및 SW의 기초성능 검증 - 건물지, 가마터, 고분 등 최소 2곳 이상의 실제 유적 발굴지에서의 탐사를 수행하여 개발 장비의 현장 적용능력 검증 및 문제점 보완 - 자율주행 운반시스템과 탐사장비를 본부(차량)에서 제어하는 시스템 모듈 개발 - 각종 물리탐사 자료의 다양한 자료처리 및 기계학습기반 복합해석이 가능한 SW 보완 및 완성(2차) - 복합해석 결과와 매장문화재 위치를 디스플레이 해주는 모바일 기반 SW 보완 및 완성(2차)

2단계	2024년	ㅇ무인 비행체를 이용한 항공 문화재탐사 장비 및 SW 개발(1차년) - 세계 각국에서 개발된 다양한 센서의 성능 조사 및 실 탐사사례를 조사하여 무인비행체에 부착이 가능하며 문화재 조사에 가장 적합한 GPR탐사와 자력탐사 센서 선정 및 구입 - 선정된 다양한 센서를 부착하여 안정적으로 운행할 수 있는 무인 비행체 개발 - 탐사장비를 변형 및 개조하여 모듈을 최적화하며 무인 비행체의 성능개선을 통한 장비 완성 - 무인 비행체(드론)와 탐사장비를 지상(차량)에서 제어하는 자동항법 시스템 모듈 개발(1차) - 드론 물리탐사 자료의 다양한 자료처리 SW 개발(1차)
	2025년	ㅇ무인 비행체를 이용한 항공 문화재탐사 장비 및 SW 개발(2차년) - 무인 비행체(드론)와 탐사장비를 지상(차량)에서 제어하는 시스템 모듈 보완 및 완성(2차) - 드론 라이다 센서 선정 및 구입 - 테스트베드에서의 시험비행을 통한 현장자료 취득 및 자료분석을 통한 무인 비행체와 탐사장비의 문제점 보완 - 건물지, 가마터, 고분 등 최소 2곳 이상의 실제 유적 발굴지에서의 탐사를 수행하여 개발 장비의 현장 적용능력 검증 및 문제점 보완 - 동일 지역에서 상용화된 장비에 의해 지상에서 수동으로 측정된 자료와의 비교 분석을 통한 자료처리 및 해석 SW기술 보완 및 고도화하여 목표치에 맞는 정확도 및 분해능 검증 - 무인 비행체 물리탐사 자료의 다양한 자료처리 SW 보완 및 완성(2차) - 무인 비행체(드론)와 탐사장비를 지상(차량)에서 제어하는 자동항법 시스템 모듈 보완 및 완성(2차) - 기계학습기반 복합해석이 가능한 SW 보완 및 데이터 연동 - 복합해석 결과와 매장문화재 위치를 디스플레이 해주는 모바일 기반 SW 보완 및 데이터 연동

3. 연구내용

○ 지상 물리탐사용 자율주행 운반시스템 장비 및 이동형 매장문화재 탐사장비 개발과 SW 개발

- Lidar, SLAM 등의 센서를 활용한 자율주행 지상 탐사 운반체 개발
  1) 지형의 기복이 심하고 장애물이 있는 지역에서도 운행이 가능하며 탐사 자료의 왜곡을 최소화 할 수 있는 탐사장비 견인용 문화재 탐사 차량 개발
  2) 자율주행기술을 적용한 스마트 탐사 주행 기술 개발(자동운행 및 제어시 수평위치 오차 5cm 이하)
  3) 차량 및 장비 융합 동기화 기술 개발(차량의 실시간 위치와 견인되는 탐사 센서 들로부터 확득된 탐사 자료의 동기화 기술)
- 탐사센서를 자율주행 운반체에 부착하는 기술
  1) 이동형 지상 탐사에 적합한 센서 선정 및 선정된 센서와 운반체를 안정적으로 연결시켜주는 기술개발
  2) 운반체에 탐사센서를 부착하여 현장자료를 취득하여 탐사의 효율성 및 탐사자료 품질 검증
- 자율주행 센서기반 지상 문화재 탐사에 특화된 자료처리 및 분석기술 개발

1) 이동시 발생하는 각종 잡음을 처리하는 자료처리 기술 개발

2) 선정된 센서로부터 획득된 물리탐사자료의 기계 학습기반 해석 SW개발

○ 무인 비행체를 이용한 항공 문화재탐사 장비 및 SW 개발

- 항공 문화재 탐사 센서를 안정적으로 견인하여 미리 설계된 측선을 따라 이동하며 자료취득을 할 수 있는 무인 비행체 및 자동 항법 시스템 개발

1) 항공 문화재 탐사용 무인 비행체 개발(탐사장비를 탑재한 채 지표면으로 부터의 고도를 일정하게 유지하며 일정속도로 비행 할 수 있는 시스템, 고도 및 수평 위치오차 5cm 이하)

2) 자동, 개별 탐사 항법 시스템 개발(정해진 탐사측선 주행 가능 시스템)

3) 탐사장비 획득자료 동기화 기술 개발(실시간 위치 및 고도 정보, 탐사장비의 흔들림, 물리탐사 등 획득되는 자료의 동기화 기술)

- 항공 문화재 탐사에 적합한 GPR, 자력, 라이다 등 고해상도 원격센서 선정

1) 매장 문화재의 매장 깊이 및 크기, 물성에 가장 적합한 항공탐사용 GPR, 자력, 라이다 센서 선정(GPR 탐지심도 1.5 m이상, 해상도 10 cm이하, 자력센서 동작범위 ∓60 μT이상, 해상도 0.1 nT이하, 고성능 데이터 샘플링)

2) 원격센서와 지상과의 무선통신 기술 개발

3) 비행체 및 흔들림의 영향을 최소화 하는 센서 부착 기술 개발

- 무인비행체를 이용한 항공 문화재 탐사에 특화된 자료처리 및 분석기술 개발

1) 측정된 각 탐사자료가 갖는 각종 잡음을 보정 및 제거 할 수 있는 자료 처리 기술 개발

2) 각종 자료의 기계 학습기반 해석 알고리듬 개발

3) 복합해석 결과와 매장문화재 위치를 디스플레이 해주는 모바일 기반 SW 개발

○ 테스트베드에서 시험 운행 및 탐사자료 획득, 자료처리 및 해석을 통한 개발된 장비 및 SW의 기초 성능 검증

○ 건물지, 가마터, 고분 등 최소 2곳 이상의 실제 유적 발굴지에서의 탐사를 수행하여 개발 장비의 현장 적용능력 검증 및 문제점 보완을 통한 장비 및 해석 기술 최적화

4. 기대효과

○ 기술적 측면의 기대효과

- 스마트 탐사장비 기술 개발에 따른 문화재 조사 및 관리 신뢰성 향상 및 기술 자립화・선진화 가능
- 무인 비행체 및 자율주행 이동체에 부착된 장비에 의해 복합 물리탐사를 빠르게 수행하는 기술은 매장문화재 발굴뿐만 아니라 유해발굴 분야에서도 활용 가능

* 드론 같은 무인 비행체나 자율주행 이동체에서 발생하는 잡음에 의한 영향을 최소화하여 물리탐사 센서를 부착하고 운행하는 기술 및 자료처리 기술

* 다중 탐사자료를 복합 해석하는 기술

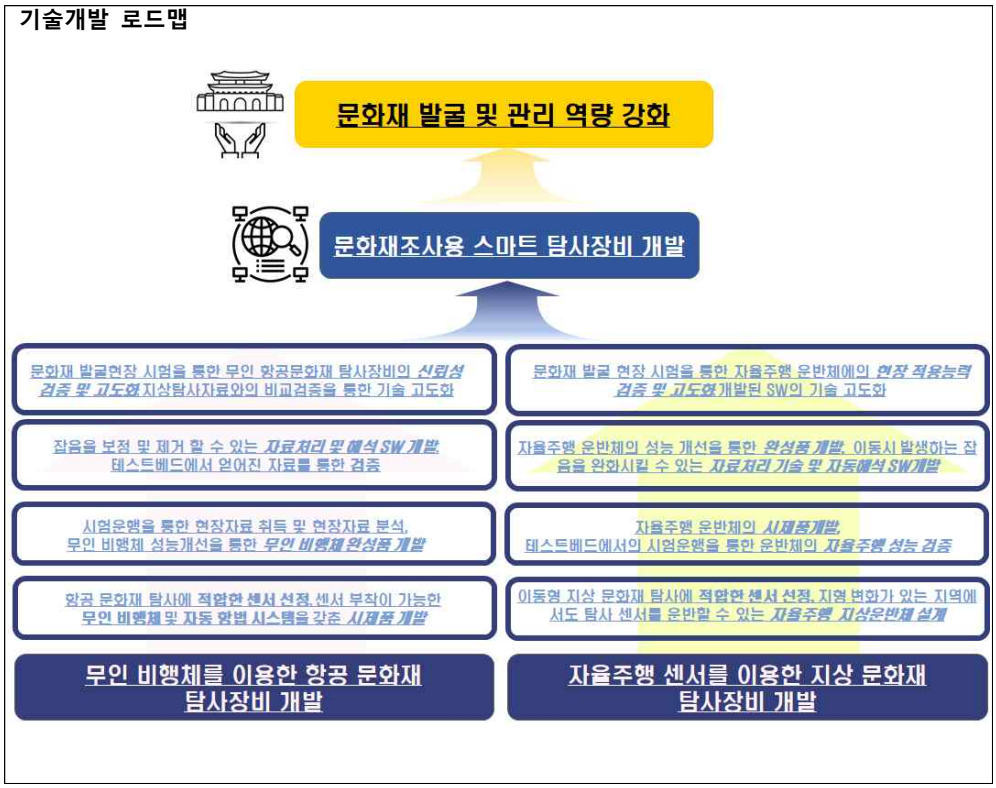
○ 경제적 측면의 기대효과

- 스마트 문화재 탐사 장비 개발에 따른 저비용・고효율의 문화유적 조사 및 관리 가능
- 스마트 문화재 탐사자료 처리 및 분석 SW 개발에 따른 대용량 자료의 빠르고 정확한 처리에 의한 문화재 조사 및 진단에 투입되는 예산절감 효과

○ 사회적 측면의 기대효과

- 개발된 스마트 문화재 탐사기술 활용에 따른 연구소 및 지자체 전반에 문화재 관리 역량 강화
- 그동안 사람의 접근이 어려워 탐사가 수행되지 못한 지역에 대한 탐사 수행을 통해 문화재 발견 확률을 높이고 보존 역량의 강화를 통한 대국민 문화향유권 확대

기술개발 로드맵


문화재 발굴 및 관리 역량 강화
문화재조사용 스마트 탐사장비 개발
문화재 발굴현장 시험을 통한 무인 항공문화재 탐사장비의 신뢰성 검증 및 고도화 지상탐사자료와의 비교검증을 통한 기술 고도화
문화재 발굴 현장 시험을 통한 자율주행 운반체에의 현장 적용능력 검증 및 고도화 개발된 SW의 기술 고도화
잡음을 보정 및 제거 할 수 있는 자료처리 및 해석 SW 개발, 테스트베드에서 얻어진 자료를 통한 검증
자율주행 운반체의 성능 개선을 통한 완성품 개발, 이동시 발생하는 잡음을 완화시킬 수 있는 자료처리 기술 및 자동해석 SW개발
시험운행을 통한 현장자료 취득 및 현장자료 분석, 무인 비행체 성능개선을 통한 무인 비행체 완성품 개발
자율주행 운반체의 시제품개발, 테스트베드에서의 시험운행을 통한 운반체의 자율주행 성능 검증
항공 문화재 탐사에 적합한 센서 선정, 센서 부착이 가능한 무인 비행체 및 자동 항법 시스템을 갖춘 시제품 개발
이동형 지상 문화재 탐사에 적합한 센서 선정, 지형 변화가 있는 지역에서도 탐사 센서를 운반할 수 있는 자율주행 지상운반체 설계
무인 비행체를 이용한 항공 문화재 탐사장비 개발
자율주행 센서를 이용한 지상 문화재 탐사장비 개발