

발 간 등 록 번 호

11-1613000-002337-01

국토교통기술사업화
지원사업 R&D Report

노후화된 대형 배수시설물의 3차원 안전관리 시스템 개발 최종보고서

2018. 9. 21.

주관연구기관 / (주)한국지중정보

공동연구기관 / (주)인트라테크, (주)내가시스템

국토교통부

국토교통과학기술진흥원

제출문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘노후화된 대형 배수시설물의 3차원 안전관리 시스템 개발’
(연구개발 기간 : 2016. 4. 27 ~ 2018. 8. 26) 과제의
최종보고서 10부를 제출합니다.

2018. 9. 21.

주관연구기관명 : (주)한국지중정보 양재영

공동연구기관명 : (주)인트라테크 신승연

공동연구기관명 : (주)내가시스템 신형일



주관연구기관책임자: 이충현

공동연구기관책임자: 신승연

공동연구기관책임자: 신형일

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	18TBIP-C1115 06-03	해당 단계 연구 기간	2018.01.01 - 2018.08.26. (8개월)	단계구분	3/3
연구사업명	중사업명	국토교통기술사업화 지원사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명	노후화된 대형배수시설물의 3차원 안전관리 시스템 개발			
	세부과제명				
연구책임자	이충현	해당단계 참여 연구원 수	총: 13명 내부: 13명 외부: 명	해당단계 연구개발비	정부:186,000천원 기업:130,700천원 정부 외: 천원 계:316,700천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 47명 내부: 43명 외부: 4명	총 연구개발비	정부:775,000천원 기업:523,367천원 정부 외: 천원 계:1,298,367천원
연구기관명 및 소속 부서명	(주)한국지중정보			참여기업명: (주)인트라테크 (주)내가시스템	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명: 한국건설기술연구원, (주)에이치투알			연구책임자: 송호면(한국건설기술연구원), 김창완((주)에이치투알)	
- 3차원 원격 탐사장비 개발 - 3차원 자료 관리 시스템 개발 - 복개하천 시설물의 조사 및 진단 매뉴얼 - 대형박스구조물 진단 매뉴얼				보고서 면수	

국문 요약문

연구의 목적 및 내용	○ 연구개발 최종목표는 노후시설의 정확한 현황조사와 복개 하천내·외측의 현황과 좌표, 표고가 표기된 수치도면 생성을 위한 SYSTEM 개발로 도시하천 및 시설물 자료 관리자가 정확히 판단하고 구조물의 안전등급을 판단하여 유지 관리할 수 있는 총괄적인 SYSTEM을 개발 하는 것임. ○ 이를 실현하기 위하여 복개하천 내·외부를 상세하게 조사할 수 있는 3차원 원격탐사장비제작, 제어장치, 3차원 자료관리 시스템 개발을 통해 지자체에 바로 구현 하는 것이 최종목표임.				
연구개발성과	□ 본 연구의 핵심성과로는 사후 보수 관리 방식에서 예방 관리방식으로 관리 전환 가능한 기술 개발임. □ 지금까지 인력으로 점검자의 육안판단 및 몇장의 사진촬영 자료에 의한 안전 점검 방법을 근거로 한 유지보수의 방법을 채택해왔으나, 향후에는 점검자와 관리자가 정밀한 3차원 및 2D 관련 자료와 도면으로 충분히 검토 후 보수방법을 채택할 수 있음. □ 당사의 핵심 연구 성과물은 ● 탐사장비개발측면: 구조물 내·외측을 탐사할 수 있는 고정밀 Laser Scanning 탐사 장비 개발품. ● 탐사제어시스템측면: 고화질 영상 및 점군 Data를 활용할 수 있는 3차원 안전 관리 시스템 개발품 □ 이를 통해 3차원 및 2D 도면으로 자동 생성하여, 유지관리를 위해 Engineer 및 관리자가 참고함으로서 정확한 유지보수방안 결정이 가능해 질 수 있음.				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	- 종래 유명무실했던 중대형 지하박스 구조물의 데이터 베이스화가 가능해짐. - 3차원 안전 관리 시스템을 활용하여 진단가능한 상태의 자료를 제공할 수 있음에 따라 Engineer 및 관리자에게 정비 의사결정을 지원할 수 있음. - 싱크홀 및 도심지 침수 예방이 가능해짐에 따라서 시민에게 공공시설물에 대한 안전성 확보 가능 - 지하 대형배수구조물 관리에 있어서 사후복구 위주에서 예방방재개념으로 전환할 수 있게 됨에 따라 피해복구비용 절감 및 중장기적 유지관리 보수보강예산의 효율적 사용가능 - 지하시설물 공공측량활성화를 통하여 인력 창출효과 증대 - 탐사장비의 국산화를 통하여 장비제작업계의 활성화 및 동남아 기술수출 가능 - 복개하천 구조물의 유지관리 우선순위 선정이나 정비예산계획 수립등 지원				
핵심어 (5개 이내)	지하대형 구조물	레이저	원격탐사장비	3차원	안전관리 시스템

영문 요약문

Purpose & Contents	○ The final goal of research and development is to develop a system for generating accurate numerical drawings with the status of current and coordinates and elevation inside and outside of the submerged river, and to determine the safety level of the structure accurately by city river and facility data manager. And to develop a comprehensive system that can be maintained and managed ○ In order to realize this, it is the ultimate goal to implement directly in the local government through the development of 3-dimensional remote sensing equipment, control device, and 3-dimensional data management system that can examine the inside and outside of the embankment river in detail.				
Results	○ Exploration equipment development aspect: Developed high-precision laser scanning exploration equipment for exploring inside and outside of structures. ○ Surveillance control system side: 3-D high-quality video and point cloud data Safety management system development product				
Expected Contribution	- Database mapping of medium and large underground box structures Available. - It is able to provide diagnosis-enabled data by using 3D safety management system, so it can support maintenance decision to engineer and manager. - As it becomes possible to prevent flooding of sinkholes and downtown, safety of public facilities can be secured to citizens - In the management of underground large drainage structures, it is possible to switch from post-repair to preventive disaster prevention concept, thus reducing damage restoration cost and mid / long term maintenance. - Increase the efficiency of manpower creation through activation of underground facilities public survey - Activation of equipment manufacturing industry through localization of exploration equipment and technology export to Southeast Asia				
Key words	Underground Large Drainage Facilities	Laser	Remote sensing equipment	three dimension	Disaster Management System

영문 목차

1. Outline of Research Project	6
2. Development Status of Domestic and Overseas	10
3. Research performance	14
4. Target probability and Contribution to the field	51
5. Plan to utilize R&D achievements	79
6. Information on Overseas Science Technology from Research Process	88
7. Security Level of R&D Performance	92
8. Research facility and equipment status	92
9. Implementation of safety measures in laboratories based on R&D tasks	92
10. Representative research achievements of R&D tasks	92
11. ETC	93
12. References	93
13. Appendix	94

국문 목차

1. 연구개발과제의 개요	6
2. 국내외 기술 개발 현황	10
3. 연구 수행 내용 및 성과	14
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	51
5. 연구개발성과의 활용 계획	79
6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	88
7. 연구개발성과의 보안등급	92
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황	92
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	92
10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적	92
11. 기타 사항	93
12. 참고 문헌	93
13. 별지	94

본 문

제 1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

- 가. 연구개발 최종목표는 노후시설의 정확한 현황조사와 복개 하천내·외측의 현황과 좌표, 표고가 표기된 수치도면 생성을 위한 SYSTEM 개발로 도시하천 및 시설물 자료 관리자가 정확히 판단하고 구조물의 안전등급을 판단하여 유지 관리할 수 있는 총괄적인 SYSTEM을 개발 하는 것임.
- 나. 이를 실현하기 위하여 복개하천 내·외부를 상세하게 조사할 수 있는 3차원 원격탐사장비제작, 제어장치, 3차원 자료관리 시스템 개발을 통해 지자체에 바로 구현 하는 것이 최종목표임.

2. 연구개발의 필요성

가. 복개구조물 조사

- (1) 대형복개구조물 육안조사는 점검자가 내부상태를 시각적으로 점검조사
 - 복개구조물 조사는 내부상태를 시각적으로 점검 조사하고 균열 및 훼손부위를 카메라로 촬영한 사진자료를 활용 점검결과 보고서의 작성과 확인이 이루어짐
 - 따라서 점검자의 전문성 수준, 카메라 성능, 촬영기술에 따라 작성되는 점검결과 성과물에 의해 이루어지는 유지관리 와 자료 활용 등 한계나. 복개구조물 보수보강
 - 보수보강후 준공자료는 담당자의 육인확인 과 보수보강 지점을 카메라로 촬영한 사진자료를 활용 제출된 점검결과 보고서에 의해 결과 확인 및 자료관리가 이루어짐
 - 임의로 표시한 위치와 카메라 성능 및 촬영기술에 따라 작성되는 점검결과물에 의해 이루어진 자료에 의해 사후판단과 위치 확인 등에 한계가 있음
 - 위치확인이 용이하고 보수보강 이력자료에 의한 판단이 가능한 과학적이고 체계적인 유지관리가 필요하나 현행처리 수준으로는 사후관리에 어려움이 있음

3. 연구개발 범위

연구내용의 범위는 복개하천 및 대형박스의 구조물 전체를 정밀 조사할 수 있는 『3차원 원격탐사장비 및 자료 DB화가 통합된 안전관리 시스템』을 개발하는 것이다.

세부 연구개발 범위는 다음과 같다.

- 1) 복개하천 및 대형박스구조물 표본 DB조사
- 2) 복개하천 및 대형박스 구조물 상태평가 및 리스크 진단 방법 개발
- 3) 3차원 원격탐사시스템 의 진단 매뉴얼 개발
- 4) 원격탐사장비 설계

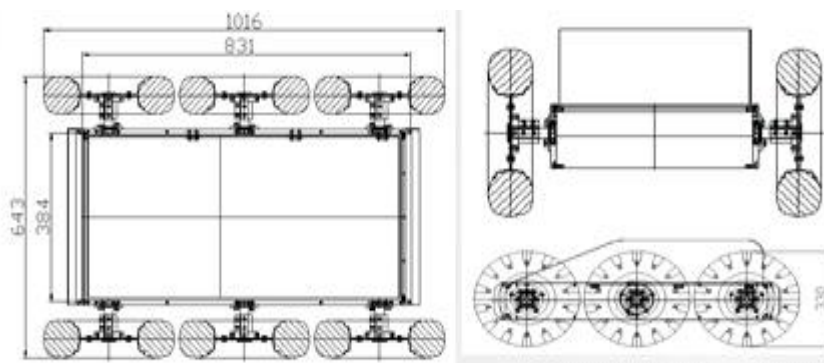


그림 [1-3-1]

□ 원격탐사 로봇구성은 다음과 같다

- ① 중앙 제어장치
- ② 탐사로봇 몸체
- ③ 궤도
- ④ 조명장치 거치대
- ⑤ 레이저 스캐너 및 동영상 촬영 거치대
- ⑥ 몸체 내부 배터리 장착

5) 원격탐사 장비 본체 시제품 제작

□ 설계된 도면을 사용하여 1차 목형을 제작하고 자문회의 하여 탐사로봇에 대한 모형을 검토.

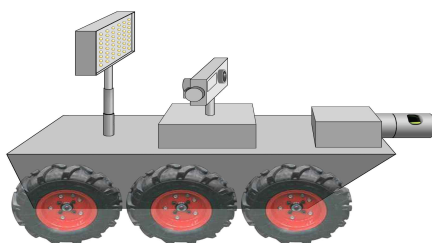


그림 [1-3-2]

6) 3차원 원격 탐사 장비 시제품 제작

□ 원격탐사 장비 통합장비 구축

(Laser Scanning, 영상촬영장비, IMU, 조명장치)

7) 3차원 원격탐사 장비 탑재 센서 개별 품목별 세부성능 시험실시

□ Laser·동영상 장비의 세부 성능 시험

8) 3차원 원격탐사 장비 제어 장치 제작

9) GIS 기반의 3차원 자료 관리 시스템 및 전개 프로그램 S/W 개발

□ GIS 기반의 3차원 자료 관리 시스템



그림 [1-3-3]

- 기존 2차원 기반의 지리정보 시스템을 3차원으로 확장
- 2차원 데이터와 3차원 데이터 연계
- 3차원 웹 서비스가 가능하도록 3차원 데이터 타일 프로그램 개발
- 시스템을 사용하는 모든 사람이 시설물 내부에서 실제 조사하는 것처럼 볼 수 있는 3차원 시스템을 구축
- 수치지형도 및 시설물 2차원 데이터와 시설물 내부의 3차원 지도 화면, 시설물 내부의 펼친 이미지를 한 화면에서 확인함으로써 위치 및 상태에 대한 직관적 판단 가능
- 시설물 내부를 주행설정 및 마우스를 이용해 자유자재로 컨트롤하고 내부 상태 및 손상현황을 확인

☐ 3차원 자료 평면 전개 S/W



그림 [1-3-4]

- 라이다(LiDAR)와 카메라를 활용하여 취득한 시설물 데이터를 좌측, 상부, 우측으로 펼친 이미지 제작 프로그램 개발
- 사용자의 편의성을 고려하여 3차 데이터를 전개하여 보여줌으로써 파손지점의 신속한 의사결정 지원
- 시설물 안전점검 기초자료 활용
- 펼친 이미지를 활용하여 시설물 내부의 손상 위치 및 규모 확인

10) 원격탐사 장비 및 제어 장치 운영 현장 적용 시험

☐ 원격탐사 장비 및 중앙제어장치 운영 테스트

- 현장적용 지역 선정
- 탐사로봇 시험방법 및 촬영계획 설정
- 중앙제어장치 작동 시험
- 3차원 데이터 동영상 데이터 정확도 검토
- 3차원 자료 공공측량성과심사 의뢰

11) 3차원 원격 탐사 장비 상용화 제작

☐ 상용화제품 제작

☐ 한국형 IT 융합준비

제 2장. 국내외 기술 개발 현황

○ 관련 분야의 국내외 연구동향 및 학술적 성과

가. 국가연구개발사업 유사연구 검토

발주처	수행기간	과제명	관련 내용	차이점/한계성
환경부	2011 ~ 2016	하수관거 상태평가 DB 표준화 및 레이저 탐사시스템 개발	- 국내 실정에 나타나는 하수관거의 각종 결함에 대한 DB 표준화 매뉴얼을 제시하여 조사자 및 지자체 관리자가 일관적으로 하수관거 상태를 평가할 수 있도록 함. - 하수관망의 구조적, 수리적 결함DB 표준화 체계에 따른 관리자가 결함데이터를 정량적으로 판독하고, Critical Sewer 개념의 중요도기반 우선순위를 통합한 종합적 정비우선순위 의사결정방법론을 제안함. - 최근 국내에 매설비중이 큰 오수관 연성관의 노후화에 따른 관변형을 측정하기 위한 시스템이 필요하여, 레이저 프로파일링 시스템을 개발·활용하여, 수치정량적으로 관변형량 및 퇴적토량 등을 계산가능할 수 있도록 함.	일반적인 CCTV조사 가시 범위인 원형 $\Phi 250\sim 600\text{mm}$호관에서 발생한 각종 결함을 정립하여 조사 표준화 매뉴얼에 활용되도록 하는 연구과제임. 주요목적이 소형 연성관의 관변형을 파악하기 위한 것으로서, 원주형 띠형태로 전방에 레이저를 주사하여 타원형으로 생성된 원주형 띠를 화면상 패턴인식방식으로 파악하여 관변형량을 측정하는 방식임. 본 연구방식과 데이터 취득방식과 범위가 상이하하며, 기존 CCTV자주차 주행범위의 한계를 벗어나지 못함.
미래창조과학부	2015 ~ 2017	사물인터넷(IoT) 기반 도시 지하 매설물 모니터링 및 관리시스템 개발	- 중대형 융합연구과제로서 상수관망, 하수관망 상태, 지하철로 및 지하철역사 등의 지하공간을 실시간 모니터링함으로서 지하공간에서 발생하는 이상 징후를 사전에 감지하여 재난을 예방하는 것을 목표로 함. - 주요 내용으로 지하매설물에 센서를 설치하고 센싱된 결과를 실시간으로 수집하고 저장하는 것임. 수집되는 데이터는 상수관 분야는 청음, 피치(pitch), 롤(roll), 하수관 분야는 로봇이 이동하면서 촬영한 동영상과 파노라마 이미지, 도시철도 수집데이터는 지반과 관련된 GPR 영상, 진동, 유입수, 터널관련 데이터 등임.	이 연구는 하수관망 분야에서 채택하여 수집하는 촬영 동영상과 파노라마 이미지는 이미 국내에도 보급된 기술을 활용하고 있으며, 자료를 수집할 수 있는 적용 대상은 원형관으로서 관경이 $\Phi 250\sim 600\text{mm}$범위의 소형관에 국한되며, 대형관 또는 BOX형관은 자료를 수집할 수 없음.

발주처	수행 기간	과제명	관련 내용	차이점/한계성
미래창조 과학부	2015 ~ 2017	사물인터넷 (IoT) 기반 도시 지하 매설물 모니터링 및 관리시스템 개발	- 상이한 특징을 가지는 지하매설물로부터 생성되는 데이터를 관리할 수 있는 센싱 데이터 관리기를 개발하여 단일한 인터페이스를 통해 수집하고 저장함으로서 통합관리할 수 있도록 연구 중임.(2차년도 수행 중) 자료참고: 지하매설물 모니터링을 위한 센싱 데이터 관리기 개발, 김광수 외 3인, 한국통신학회 학술발표회, 2016년 1월)	

나. 사업화과제의 차별화 방안

(1) 조사범위 및 연장 측면의 차별화 방안

- ① 기존 연구과제 들은 주로 지하매설관의 일반적인 CCTV조사의 가시범위인 관경 Φ 250~600mm 에서 발생된 각종 결함을 정립하거나, 원형관 중심에서 영상데이터를 취득함에 따라서 균일한 거리에서만 조사가능한 원형관의 조사데이터를 취득하는 기술에 국한되었으나, 본 연구는 그간 조사데이터를 수집하지 못하고 육안조사에 머물렀던 중대형 하수박스나 복개하천 수로 등을 조사할 수 있게 하는 장비 및 시스템의 개발이 목표이다.
- ② 본 연구목표는 내부 형상이 불규칙적인 직사각형, 복단면 등을 스캐닝 할 수 있게 됨에 따라서 조사영역의 한계를 극복할 수 있는 3차원 스캐닝 장비 및 데이터 관리시스템을 개발하는 연구이다.
- ③ 또한 기존 조사연장의 범위가 Manhole to Manhole의 연장인 최대 50~100m 이내 조사가 가능했으나, 본 연구개발에서는 최소 200m 이상의 연장을 한번에 수행할 수 있는 장비 및 시스템으로 개발하고자 한다.

(2) 데이터 취득 측면의 차별화 방안

- ① 기존 연구과제 들은 주로 하수관의 상태평가를 위한 취득목적에 국한 되어 있기 때문에 정밀측량 개념이 부족하였음. 그러나 본 연구에서 개발하고자 하는 기술은 정밀한 위치 측량이 가능하기 때문에 고퀄리티의 단면형상과 거리측량을 동시에 취득 가능해질 수 있다.
- ② 기존의 지하 대형 복개하천 구조물 BOX관의 형상은 오차가 많았기 때문에 관리자가 유지관리에 어려움이 있었으나, 본 연구개발시스템을 통하여 정확히 파악하여 데이터베이스화 할 수 있게 됨에 따라서 지하매설물의 대장 전산화 및 안전관리시스템의 활용을 통하여 국민의 안전에 크게 기여할 수 있을 것이다.

다. 국내외 관련 기술 특허 동향

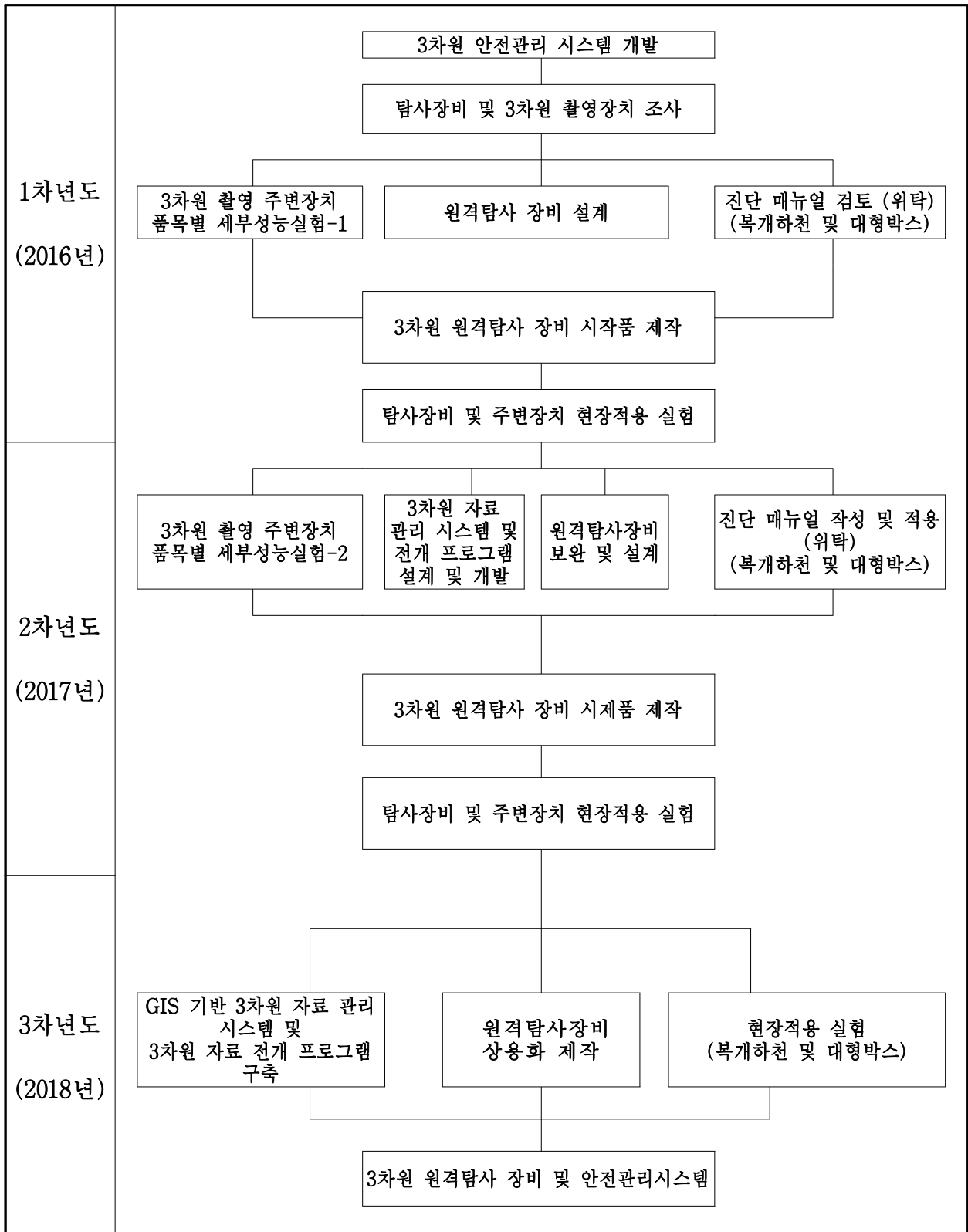
특허명	해당 기술	본 연구의 차별성
관로 내외면 동시탐사 분석 시스템 (10-0939529호)	하수관로 상태를 탐사하는 시스템으로서, 관로 내면의 전방 및 측시를 동시에 취득하는 디지털영상취득기술과 탐사용 자주차 상부에 설치되는 지표투과레이더(GPR)을 탑재하여 관 내면의 동영상(파노라마영상)과 관 외부의 공동을 동시에 탐사할 수 있는 장비의 특허기술임. 본 연구의 조사대상은 주로 원형인 원심력철근콘크리트관으로서 관경 300~600mm 범위임.	기존 특허는 CCTV영상과 GPR을 조합한 기술임. 기존 특허기술은 중소형 원형관을 대상으로 조사하는 한계를 가지고 있음. 본 연구는 기존 육안조사에 머물렀던 대형 박스시설을 조사 하고 데이터 수집이 가능한 기술임.
레이저 프로파일러를 이용한 하수관의 내부 탐사장치 (10-1311357호)	레이저 빔을 이용한 연성관 변형률 측정용 장치 용도로 개발되었음. 기존 외국기술은 CCTV조사용 자주차 앞면에 레이저 빔을 투사할 레이저 프로파일러를 장착하였는데, 이 기술은 전방에 길게 노출되어 있기 때문에 투입하기가 난해하고, 왜곡된 원형의 레이저 프로파일을 취득할 수 있다는 단점이 있기 때문에 이러한 단점을 극복하기 위해서 탐사용 자주차에 원추형상의 레이저 빔을 주사할 수 있는 방식을 채택하여 종래문제를 해결할 수 있는 기술임.	기존 특허는 소형 원형 연성관의 변형률을 조사하기 위한 목적임. 본 연구는 그간 조사데이터를 수집하지 못하고 육안조사에 머물렀던 중대형 하수박스나 복개하천수로 등을 조사할 수 있게 하는 장비 및 시스템의 개발이 목표임. 기존 조사영역의 한계를 극복할 수 있는 레이저를 활용하여 3차원 스캐닝 장비 및 데이터 관리시스템을 개발하는 연구임.
관로 삽입형 장치치를 이용한 지하시설물 정보 취득 시스템 및 방법 (10-1670488호)	관로 내에 무선 신호를 송수신하여 관로 특성 및 관로 주변 특성을 수집하는 기술임 관로 및 관로 주변의 특성을 검출할 수 있는 관로 삽입형 장치를 이용한 지하시설물 정보 취득 시스템 및 방법에 관한 기술임 본 기술의 대상은 전기,가스, 상하수도, 통신시설 등과 같은 지하매설물의 조사하는데 있음	기존 특허는 하수관 대상으로 하는 것이 아닌 주변 지하매설물의 정보를 얻기 위한 목적임 본 연구는 하수관을 직접조사하여 기존의 육안조사에 머물렀던 문제점을 안전하게 조사할 수 있는 장비 및 데이터 관리시스템을 개발하는 연구임
하수관로의 CCTV 데이터 및 상부지반의 GPR 데이터를 이용한 지반침하 진단 시스템 및 그 방법 (10-1557865호)	하수관로 CCTV 조사를 통해 하수관로 변형을 조사하고, 하수관로의 결함이 발생한 상부지반을 GPR 탐사하여 하수관로로 인한 지반침하를 예측 및 평가하여 하수관로 노후화와 외부 충격에 따른 하수관로 손상에 기인한 지반침하하는 방지할 수 있는 지반침하 진단 시스템임	기존 특허는 CCTV영상과 GPR을 조합한 기술임. 기존 특허기술은 중소형 원형관을 대상으로 조사하는 한계를 가지고 있음. 본 연구는 기존 육안조사에 머물렀던 대형 박스시설을 조사 하고 데이터 수집이 가능한 기술임.

라. 국내외 시장분석 및 사업화 전망

- 국토교통부는 싱크홀 예방을 위한 지반침하 예방 대책 발표(2014년) 주요내용
 - 지반침하 통합지도 구축 서비스
 - 불안요소에 대한 선제적 모니터링 및 관리
 - 지하 공간 통합 안전관리체계의 기반 조성
- 노후관로 정밀조사('15~'16, 환경부)에서 1m 이상 관로는 육안조사 실시
 - 하수관로 정보 및 운영관리 D/B 표준화('17)를 위해서는 육안조사 결과를 DB화 하는 것은 신뢰도 및 정확성이 떨어질 것으로 판단됨
- 하수관로 자산관리 기반 조성 예정('20, 환경부)
 - 하수도시설 자산관리를 위한 제도 정비('18)
 - 하수도시설 자산관리 표준 가이드라인 수립('20)
 - 하수도 자산관리시스템 구축 및 자산관리 시범사업 추진('20)
- 시특법 대상 시설물에 대한 3차원 원격탐사 기술 확대 적용 사업
 - 시설물의 안전관리에 관한 특별법 12종 시설물(교량, 터널, 댐, 항만, 상수도, 건축, 하구둑, 수문, 제방, 처리장, 옹벽, 절토사면)의 안전점검 사업에 3차원 원격탐사 장비를 활용하여 점검업무를 시행할 수 있도록 사업범위 확대
- 안전관리시스템 개발 기능인 3D PDF화 기술 과 3차원자료 전개 기술 사업화

구 분	관거 조사 현황	한계성	비고
미국	미국에서는 Sewer System Evaluation Survey (SSES)를 실시하고 있으며, 여기에는 smoke test, CCTV, I/I (관거 부실평가) 등이 포함	대부분의 나라에서 우리나라와 마찬가지로 CCTV를 이용한 대형박스시설물 조사 작업을 수행하고 있으며 다양한 기술을 도입하려 시도하고 있지만 현재까지 적합한 기술은 아직 개발되지 않음.	
영국	과거의 대형박스시설물 데이터와 자산정보 해석을 통해 대형박스시설물의 파손가능성 예측. 알고리즘을 개발해 가장 경제적인 정비방법 설정 및 우선순위 결정함.		
노르웨이	CCTV 카메라 조사결과를 이용하여 대형박스시설물 상태별 등급 분류함.		
일본	대형박스시설물 정보시스템(SEMIS)를 통해 관리 하며, 육안 또는 CCTV카메라로 10년에 1회 정도로 실시하고 있음.		

제 3장. 연구 수행 내용 및 성과



1. 3차원 원격탐사 장비

가. 3차원 원격탐사 장비 구성 및 제작

(1)구성도

3차원 원격탐사 장비 구성은 다음과 같다

- (가) 탐사 로봇
- (나) 3차원 라이다센서
- (다) 조명장치
- (라) 데이터 저장 장치

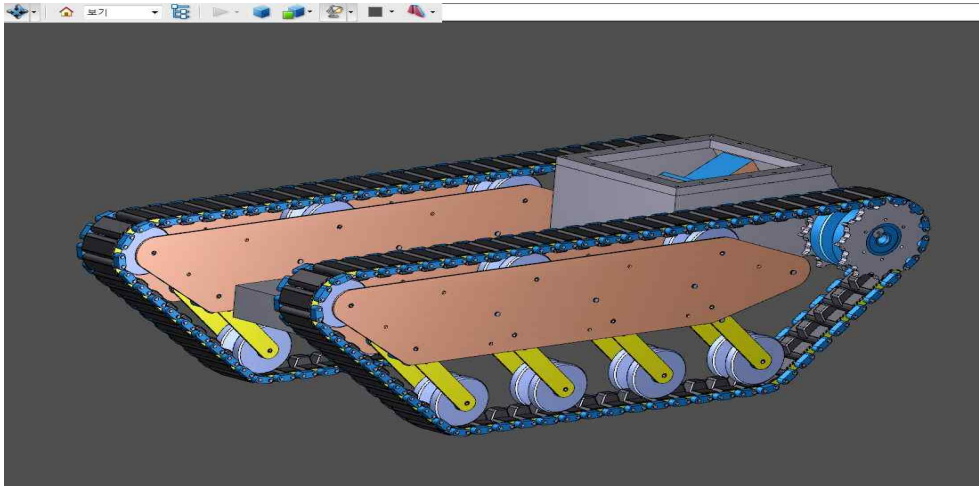


그림 [3-1-1] 궤도형 탐사장비 구성도

(2) 3차원 원격탐사 장비 개발

노후화된 대형 배수시설물(북개하천·대형하수박스)의 내부는 슬러지, 유량 등의 열악한 환경이다. 이러한 환경을 고려하여 탐사로봇을 제작하여야 한다.

- 대형 배수시설물 환경(슬러지, 하수, 어두움, 장애물 등)
- 박스규격 4m x 4m 이상 대형박스
- 탐사로봇 시설물 진입 맨홀뚜껑 64.8cm 고려한 개발
- 안전점검 활용 할수 있는 3차원 데이터 정밀도

위와 같은 점을 고려하여 원격탐사장비를 개발한다.



그림 [3-1-2] 개발 절차

(가) 탐사로봇 설계

궤도형 탐사장치의 기초형상은 로봇 본체, 레이저스캐너, 조명으로 구성 되어있다.

		
	①	3 D 센서
		
궤도형 탐사장치 기초형상	②	조 명
		
	③ ④	궤도형 탐사장치

그림 [3-1-3] 궤도형 탐사장비 기초형상



수륙양용 탐사 기초형상



라이더 장비

수륙양용차 본체

그림 [3-1-4] 수륙양용 탐사장비 기초형상

① 탐사로봇 본체 설계

㉠ 궤도형 탐사장비

탐사 로봇 제원은 23cm(가로) * 103cm(세로)*26cm(높이)로 구성하였다. 유량흐름을 극복 할 수 있는 무게는 100kg,속도는 분당 18m이동 속도를 유지하고, 배터리 수명은 7시간 연속 사용 할 수 있는 배터리를 설치 할 수 있도록 설계 하였다.

장비명	크기(cm)	무게	속도	배터리 지속시간	수밀성	비고
배수시설물 조사용이동체	23X103X26	100kg	18m/m	7h (교체형)	100%	

그림 [3-1-5] 탐사로봇 제원

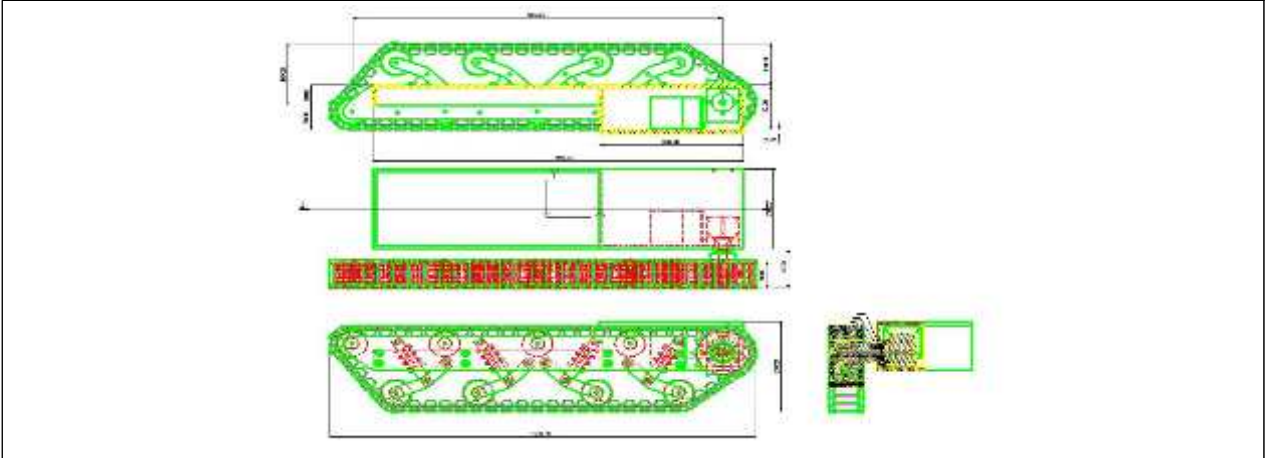


그림 [3-1-6] 궤도형 탐사 설계도

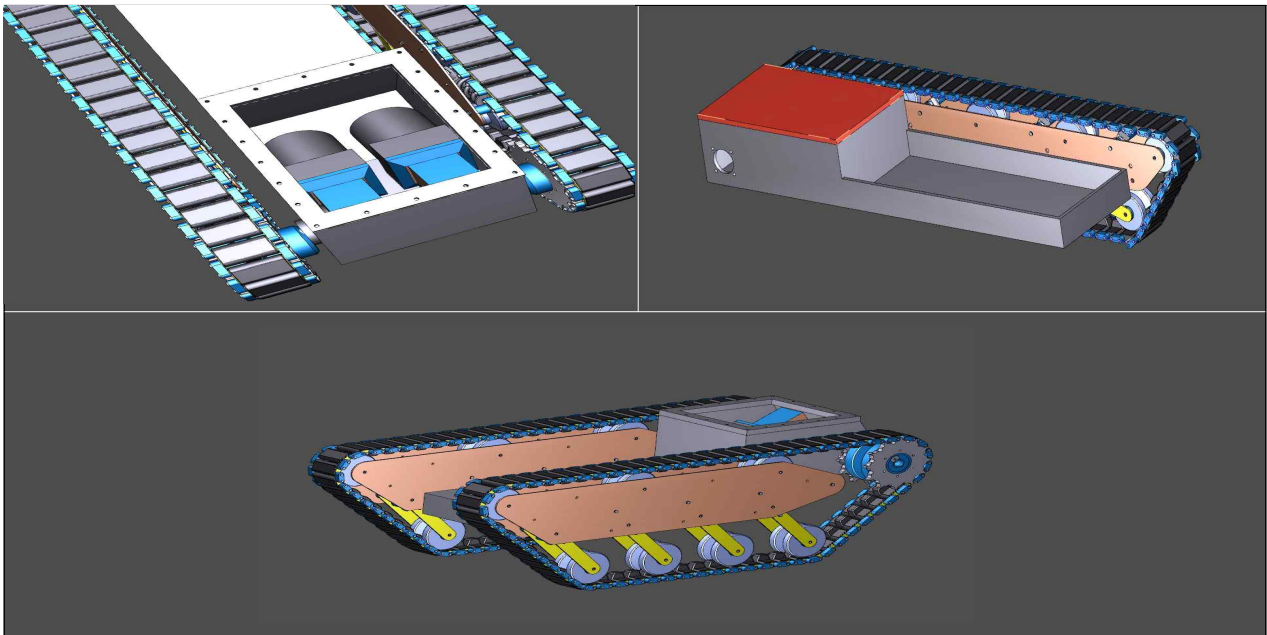


그림 [3-1-7] 궤도형 탐사 설계도

- 대형배수구조물의 하부는 모르타르, 토사 퇴적등의 장애물을 고려하여 바퀴를 체인 구성하여,
- 접지력 배가 및 연속구동으로 장애물시에도 이동이 용이 하도록 구성, 유량 고려하여 방수기능 설계
- 바닥의 불균형으로 구동에 장애가 발생하는 것을 방지하기 위하여 장애물이나 퇴적물을 통과가능 가능하도록 앞바퀴 경사면 40°을 설계
- 진행방향의 전단부에 제어장치를 배치, 후단부에 중량장치를 배치하여 전진할 때 부하를 줄여서 운행에 충분한 힘을 받을 수 있도록 설계
- 앞쪽 부분에 엔진을 두어 전륜구동으로 설계
- 파워휠에 의하여 구동하여 전진함, 장애물 및 슬러지에 접지면이 연속하여 접지하므로 접지력이 증가하여 주행성능을 확보
- 체인바퀴를 채택하여 충분한 구동이 될 수 있도록 설계

② 바퀴 구성

바퀴에는 파워바퀴, 자유바퀴가 구성되어 있으며 자유바퀴(휠)에는 강력한 스프링이 연결되어 충격을 방지하도록 하였다.

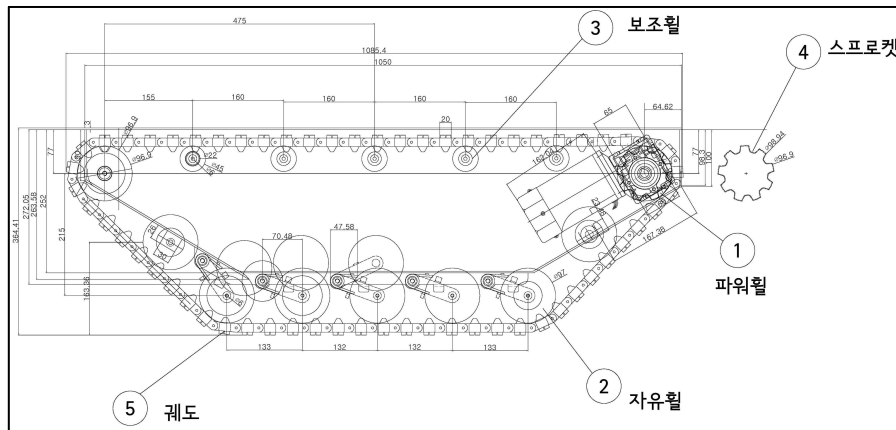


그림 [3-1-11] 궤도형 탐사장비 바퀴 구성

- 파워휠

파워바퀴에는 동력전달장치에 직접 연결되어 구동력의 상실을 최소화 하였다.

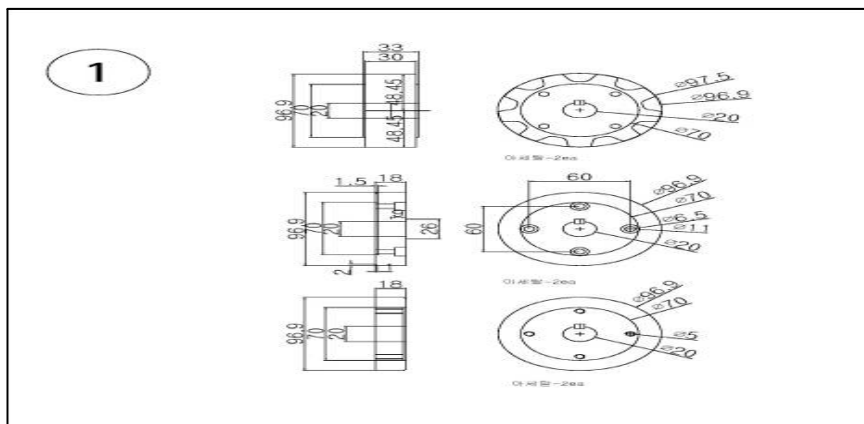


그림 [3-1-12] 파워휠 구성

- 자유월

자유바퀴에는 스프링이 연결되어 충격을 방지하고 자중의 힘을 지탱하도록 하였다.

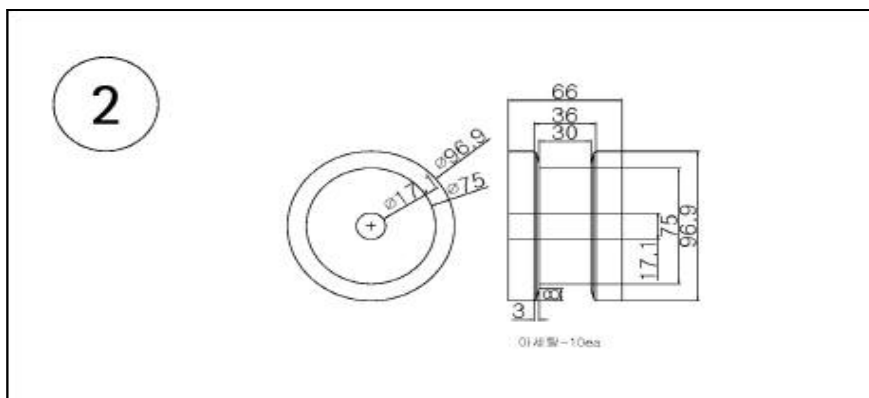


그림 [3-1-13] 자유혈

- 보조휠

체인의 처짐과 뒤틀림을 방지하는 작용을 한다.

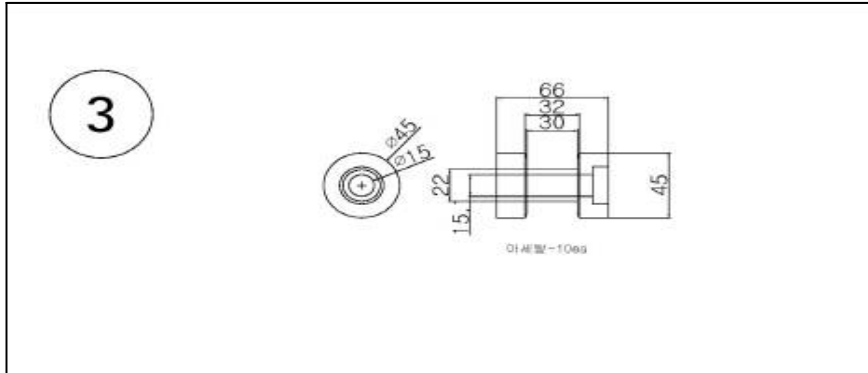


그림 [3-1-14] 보조휠

- 스프로킷

직접체인에 동력전달이 되도록 설계되었음

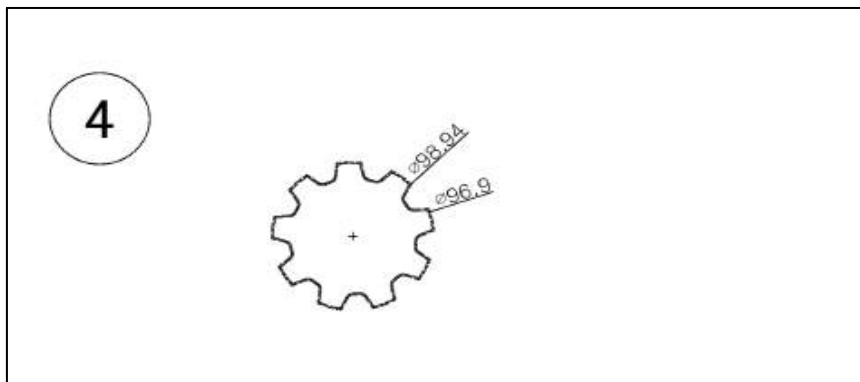


그림 [3-1-15] 스프로킷

③ 체인 구성

체인사이에는 철심을 넣고 고무판을 제작한다. 본체 중량에 의한 트랙변형을 방지하기 위하여 철심을 넣고 고무판을 제작한다. 궤도는 슬러지나 지장물을 넘어 가도록 하기 위한 고무 모양을 제작 하였다

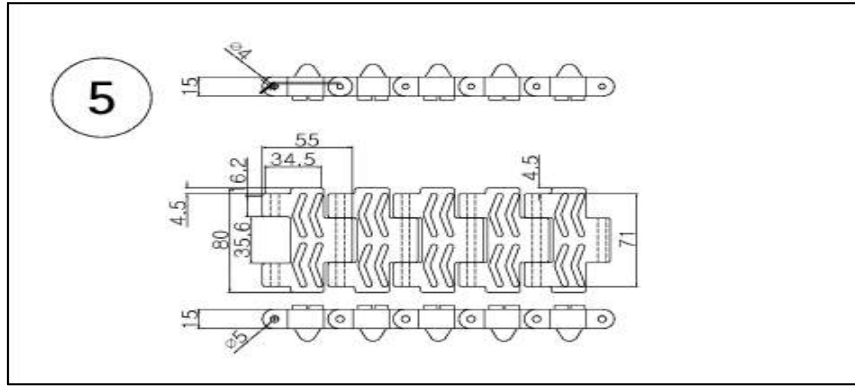


그림 [3-1-16] 바퀴체인 구성

㉠ 수륙양용 탐사장비

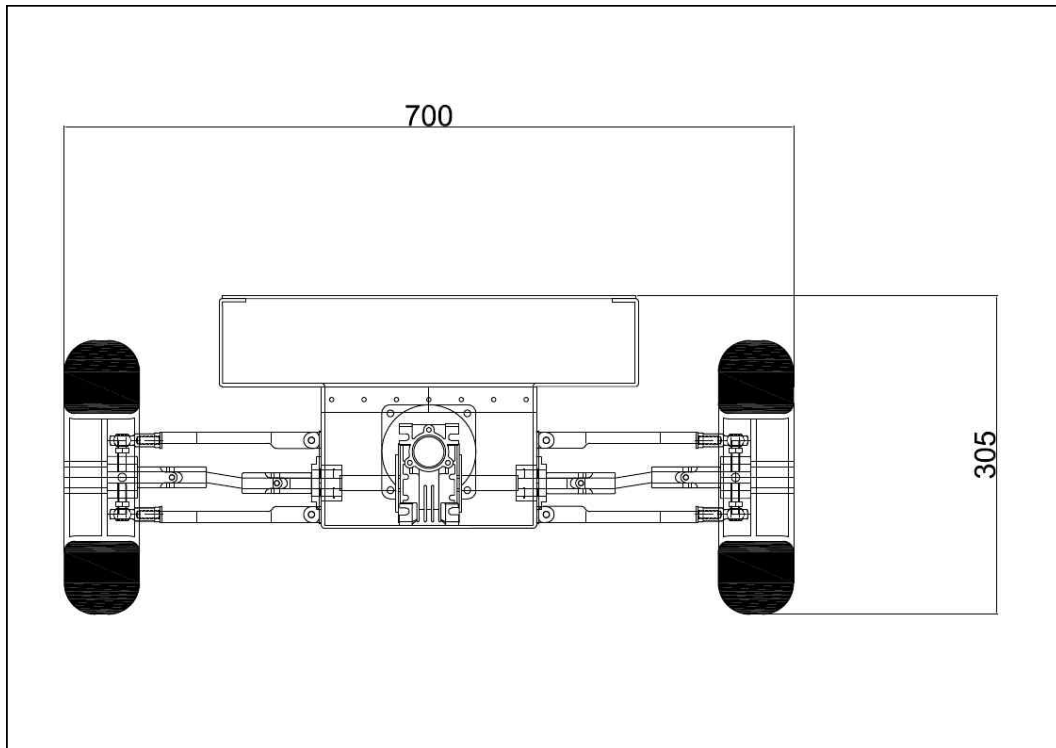


그림 [3-1-8] 수륙양용 탐사장비 정면도

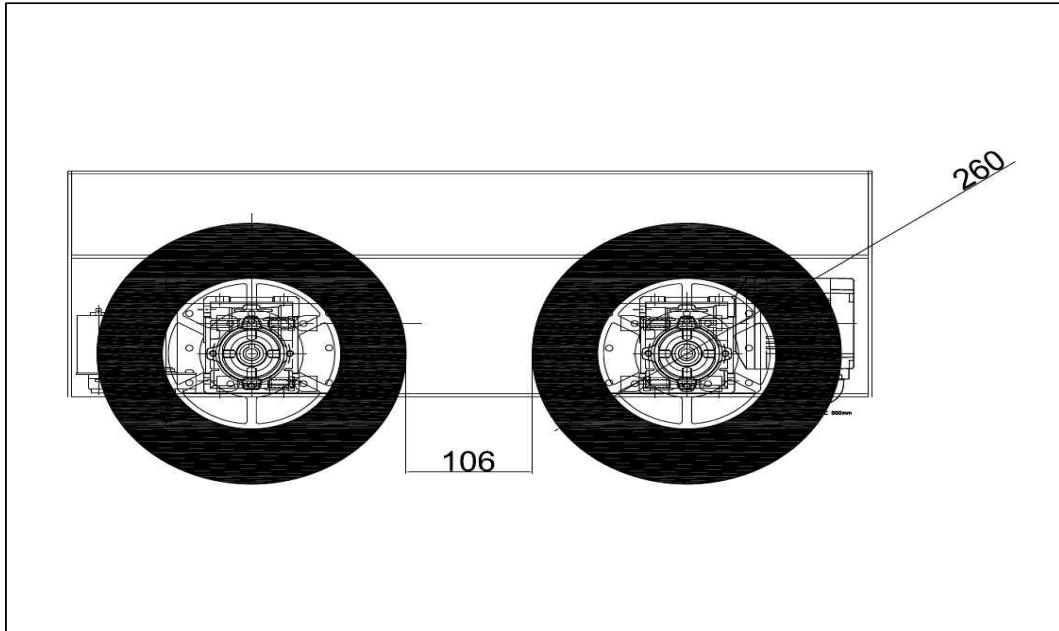


그림 [3-1-9] 수륙양용 탐사장비 측면도

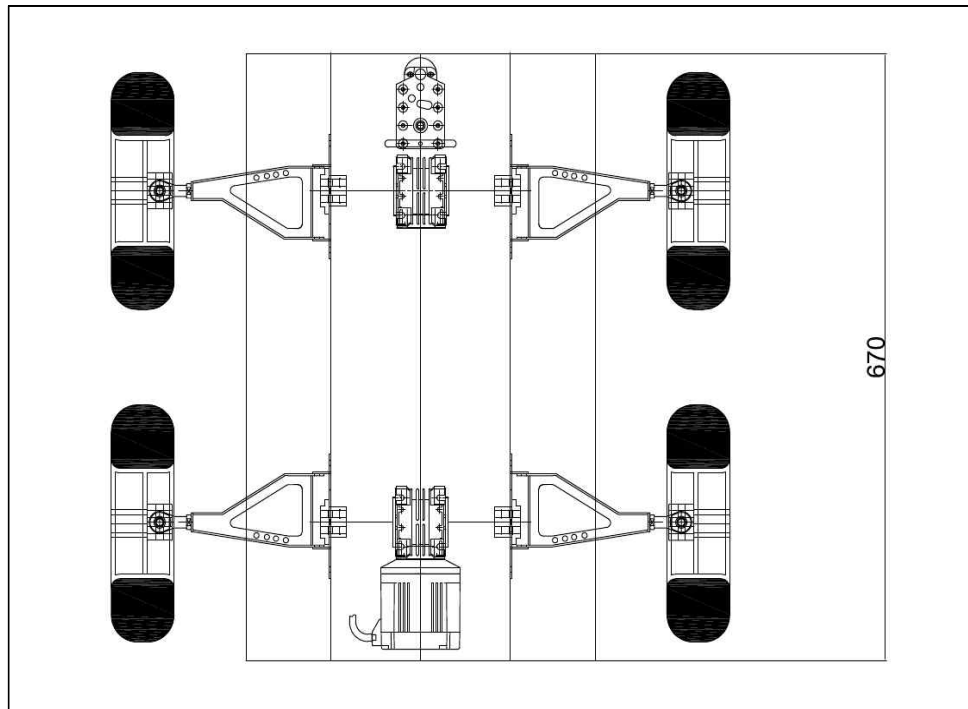


그림 [3-1-10] 수륙양용 탐사장비 평면도

- 궤도형 탐사장비를 활용한 시험탐사 결과 모르타르, 토사 퇴적 등의 장애물에서는 운행
- 하지만 시설물 하부로부터 수위가 50cm이상인 경우 궤도형 탐사장비 주행 불가능
- 수위에 영향을 받지 않는 탐사장비 개발
- 수위에 영향을 받지 않도록 플라스틱 재질로 몸체를 구성
- 유속에 의한 라이다 장비의 거동을 최소화하기 위하여 측면 고정식 장측을 설치
- 유속의 흐름에 영향을 받지 않고 주행하기 위하 장비 후단에 프로펠러 설치

(3) 목형제작 및 시제품 제작

대형박스용 및 수륙양용 설계 자료를 토대로 목형제작을 하였고 feedback을 거쳐서 시작품을 제작 하였다

(가) 궤도형 탐사장치



그림 [3-1-17] 궤도형 탐사장비 목형제작



그림 [3-1-18] 궤도형 탐사장비 시제품 제작

① 몸체

몸체는 로봇의 동력을 공급하는 엔진, 배터리, 제어장치로 구성 되어 있다
몸체 틀은 방수 처리 하였다.재질은 알루미늄 재질로 특수도금을 하였다.

② 바퀴

슬러지 와 모르타르 등을 주행하기 위해 후륜구동 장치 와 주바퀴와 체인의 궤도 역할을 하기 위해 파워휠 1개, 자유휠 8개, 보조휠 5개로 구성 하였다.

재질은 고압 PP제품으로 제작 하였다.

③ 체인

슬러지 와 물에 서도 구동이 되도록 제작 하였고 강철에 삽입된 고무형상 압출 제품으로 제작 하였다.

(나)수륙양용 탐사장비



그림 [3-1-19] 수륙양용 탐사장비 시제품 제작



그림 [3-1-20] 수륙양용 탐사장비 모형 제작

① 몸체

몸체는 물에 부양 할 수 있도록 아크릴로 제작

시설물의 정중앙을 운행 할 수 있도록 측면의 바퀴4개를 설치함

로봇의 동력을 공급하는 엔진, 밧데리, 제어장치로 구성 되어 있다

② 바퀴

바퀴 구조를 쉽게 부양할 수 있도록 설계

③ 측면 바퀴

박스의 규격에 따라서 유연성 있게 측면 장축을 교체 할 수 있도록 제작

(4) 탐사장비 성능실험

(가) 궤도형 탐사장비 주행시험

날 짜 : 2017년 9월

장 소 : 성북구 성북동 하수박스

시 험 : 수륙 로봇장치가 운행 되어야 할 하수박스에 시험 운행을 시행함

결 과 : 하수박스 내부에서도 주행에 성공함, 모르타르 등 시험함



그림 [3-1-21] 궤도형 탐사장비 주행실험

(나) 수륙양용 탐사장비 주행시험

날 짜 : 2017년 9월

장 소 : 성북구 성북동 하수박스

시 험 : 수륙 로봇장치가 운행 되어야 할 하수박스에 시험 운행을 시행함

결 과 : 하수박스 내부에서도 주행에 성공함, 모르타르 등 시험함



그림 [3-1-22] 수륙양용 탐사장비 주행실험

날 짜 : 2017년 3월
장 소 : 경기도 남양주시 하천변
시 험 : 수륙양용 탐사장비 수밀시험
결 과 : 하천의 유속 흐름에서 주행 성공함



그림 [3-1-23] 수륙양용 탐사장비 주행실험

(다) 3차원 원격 탐사장비 성능인증 실험

①성능 인증 내용

-인증기관 : 대구기계부품연구원

-실험내용 : 크기 측정, 속도 측정, 등판각도 측정, 장애물 극복시험, 하천현장 시험 시행.



그림 [3-1-24] 궤도형 탐사장비 성능인증 시험

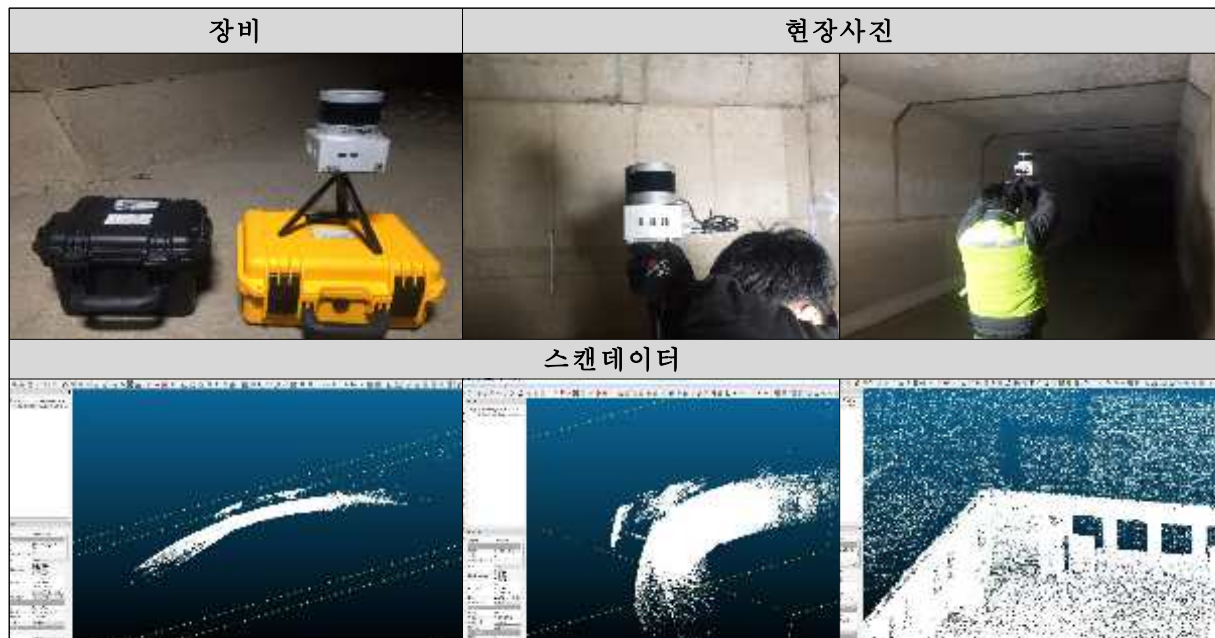
-실험 장비: Faro Laser Tracker를 이용하여 각종 시험 시행 [첨부1-시험성적서]

(5) Laser Scanning 장비 및 영상카메라 장비 성능연구

(가)Laser scanner

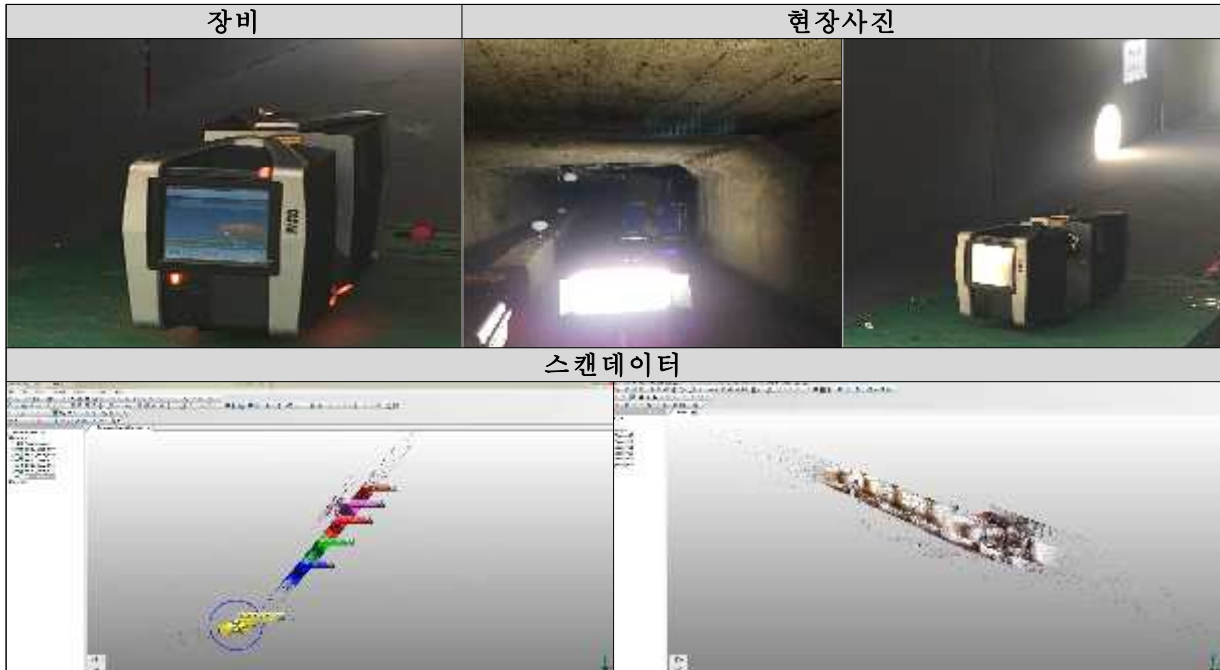
① Velodyne

제조사	제품명	관측방법	사용파장	최대스캔 속도	최소/최 대 스캔거리	시야 (FOV) 수직/수 평	거리 관측 정확도
Velodyne	VLP-16	Time of flight distance measurement with calibrated reflectivities	903nm	300,000 pps	0.5/100 m	30°/360°	±3cm(typical)



- VLP-16 모바일 스캐너로 IMU장치인 스텐실과 결합하여 스캔.
- VLP-16단자에 LEMO connector를 스텐실에 연결.
- Configuration 설정을 통하여 스캔 정확도 높임.
- 일률적으로 연결되는 하수관거의 특징상 정합오류 발생.
- 중간중간 타겟 혹은 마커 부착으로 정합 정확도 높임.

② FARO



- 볼 타겟을 이용한 정합 방법 사용.
- 삼각대를 이용하여 scan position 4m 간격으로 촬영.
- SCENE 프로그램을 사용하여 정합.
- 따로 수평맞춤을 실시하지 않아도 스캔가능.

③ Leica

제조사	제품명	관측방법	사용파장	최대스캔 속도	최소/최대 스캔거리	시야 (FOV) 수직/수평	거리 관측 정확도
Leica	HDS6 200	Phase difference	650-690nm	1,016,727 pps	1m/79m	310°/360°	±9mm @50m
	HDS7 000	Phase difference	650-690nm	1,016,727 pps	0.3m/187 m	320°/360°	±9mm @50m
	C10	Pulse Ranging	532nm	50,000	0.1m/300 m	270°/360°	±4mm @50m
	P20	Ultra-high speed time-of-flight enhanced by Waveform Digitising (WFD) technology	658-808nm	1,000,000 pps	0.4m/120 m	270°/360°	±3mm @50m
	P40	Ultra-high speed time-of-flight enhanced by Waveform Digitising (WFD) technology	658-1550nm	1,000,000 pps	0.4m/270 m	290°/360°	±3mm @50m

- Pegasus는 지상에서 GPS신호를 먼저 받은 후에 지하 스캔 시작.
- P20/40은 4m 간격으로 스캔촬영.
- cyclone을 활용하여 정합 작업.
- 타겟 없이 visual 정합을 활용.
- 스캔데이터의 오차범위는 ±3mm @50m.

④ Topcon

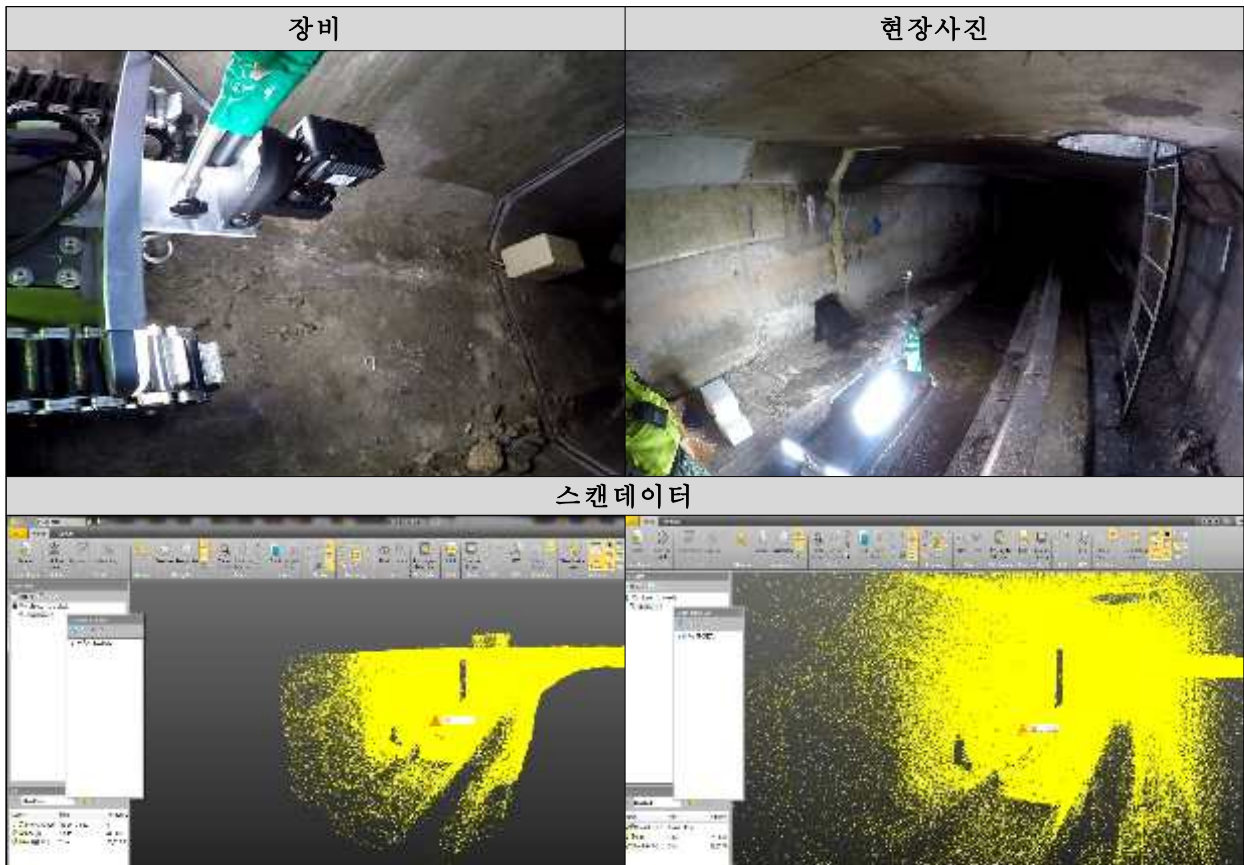
제조사	제품명	관측방법	사용파장	최대스캔 속도	최소/최 대 스캔거리	시야 (FOV) 수직/수평	거리 관측 정확도
Top con	GLS-1 500	Pulse Ranging	1535nm	30,000 pps	1m/330m	70°/360°	±1mm @100m
	GLS-2 000	Pulsed Precise Scan Technology	639nm-10 64nm	120,000 pps	1m/350m	270°/360°	



- 지상에서의 기준점을 끌고 지하로 들어가야 함
- 측량장비 Total과 함께 운용
- 오차를 작업 중에 확인가능 및 수정가능
- 폐합측량 및 결합측량 가능
- 작업 후 정위치 작업 필요 없음

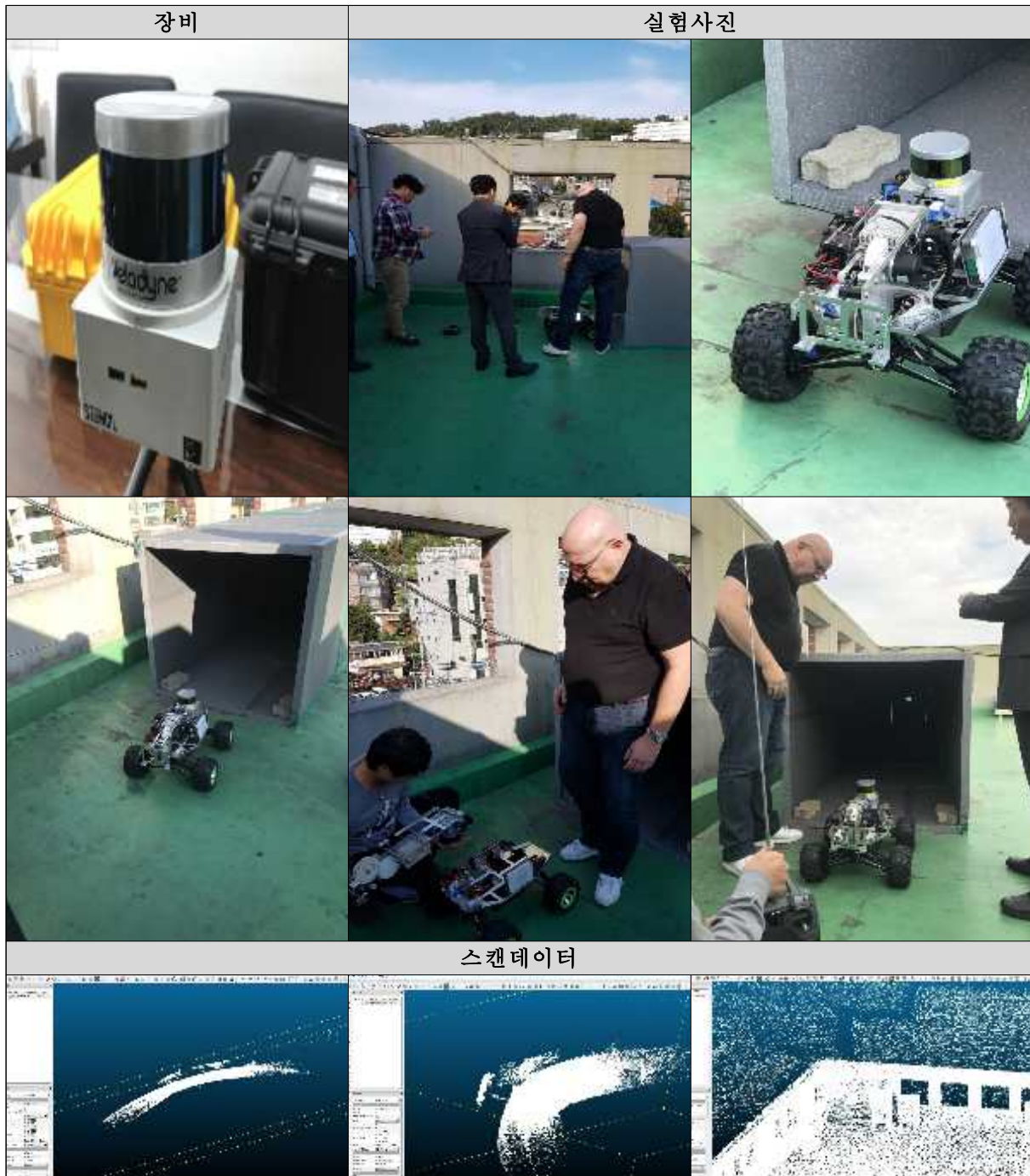
⑤ Geoslam

제조사	제품명	레이저등급	최대스캔속도	최소/최대 스캔거리	시야 (FOV) 수직/수평	거리 관측 정확도
Geoslam	Zeb-revo	class 1 eye safe	43,200pps	0.5m/30m	270°/360°	±0.1%(typical)
	Zeb-1	class 1 eye safe	43,200pps	0.5m/300m	270°/360°	±0.1%(typical)



- 모바일 라이다로 가볍고 사람이 직접 들고 가면서 스캔 가능
- 이동체에 장착하여 스캔 가능
- 별도의 수평유지 없이 촬영 가능
- 10x15x30cm크기의 타겟을 이용하여 정합오류 최소화
- 스캔 시작점에서 시작하여 다시 스캔 시작점으로 돌아와서 스캔 종료

⑥ Velodyne & Stencil



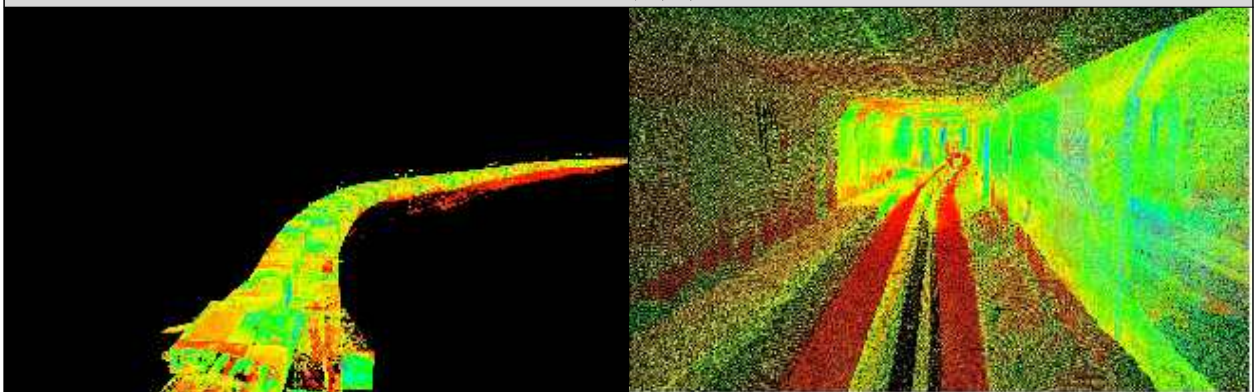
- VLP-16 모바일 스캐너로 IMU장치인 스텐실과 결합하여 스캔.
- Configuration 설정을 통하여 스캔 정확도 높임.
- 일률적으로 계속되는 하수박스안의 환경을 스캔하는데 슬립 및 정합오류.
- 중간중간 타겟 혹은 마커 부착으로 정합 정확도 높임.
- LED불빛을 이용한 시각적인 타겟 활용. 업그레이드된 장비에 한함.

⑦ Leica

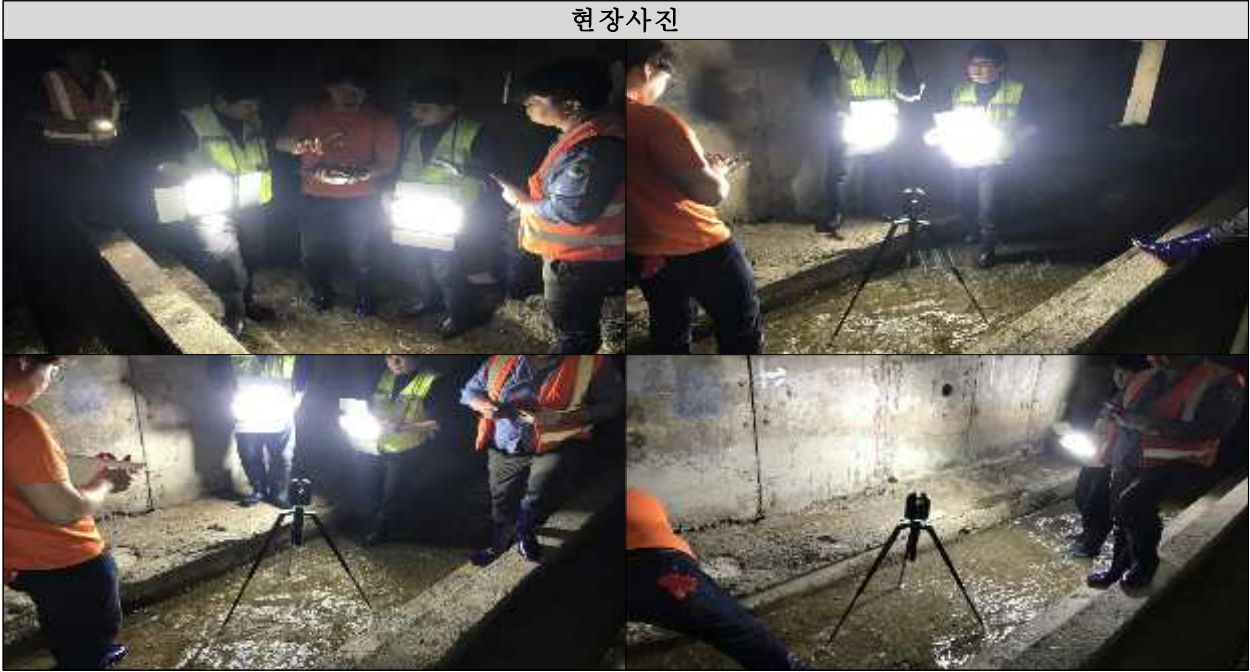
Leica BLK360



스캔 데이터



현장사진

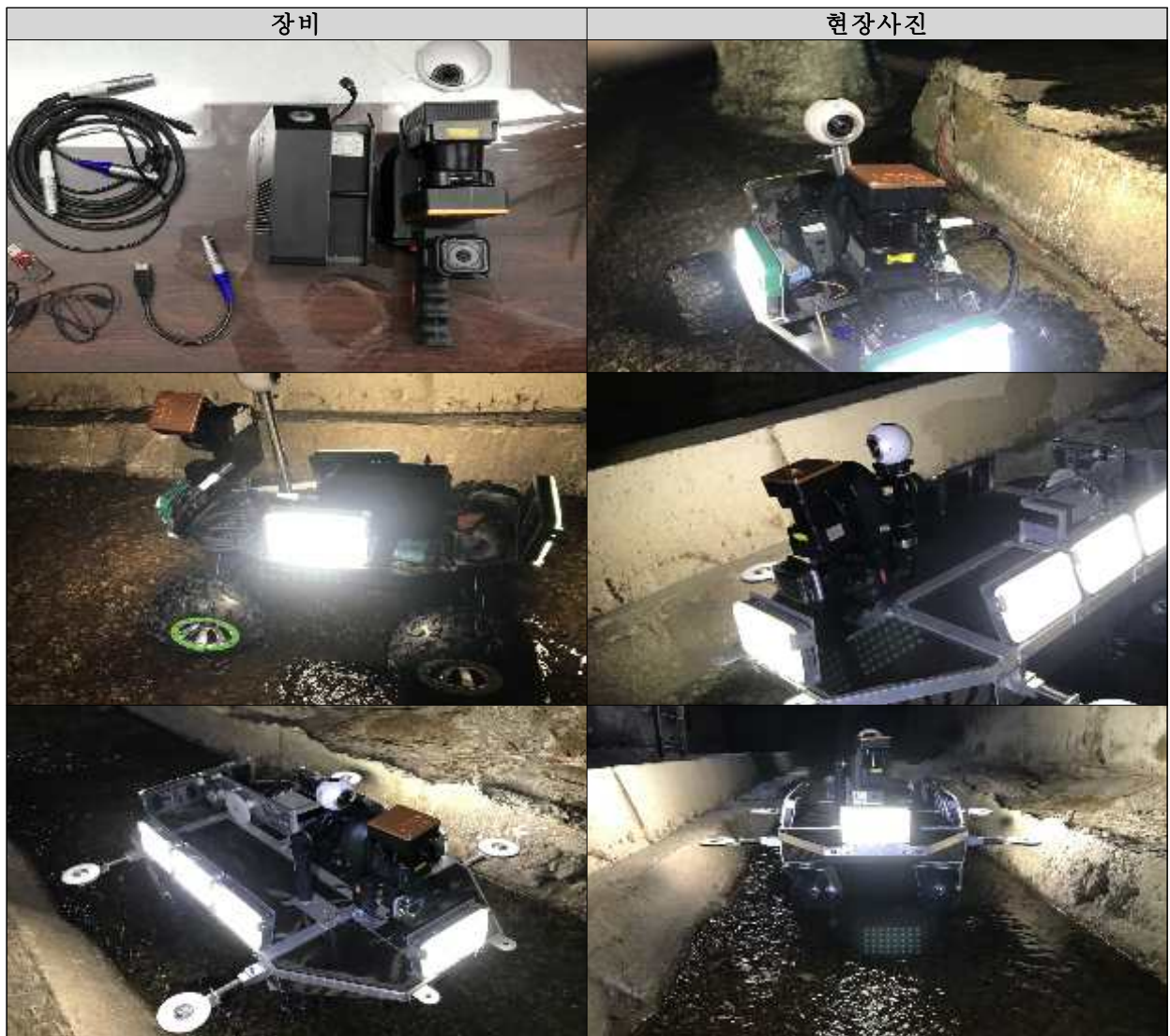


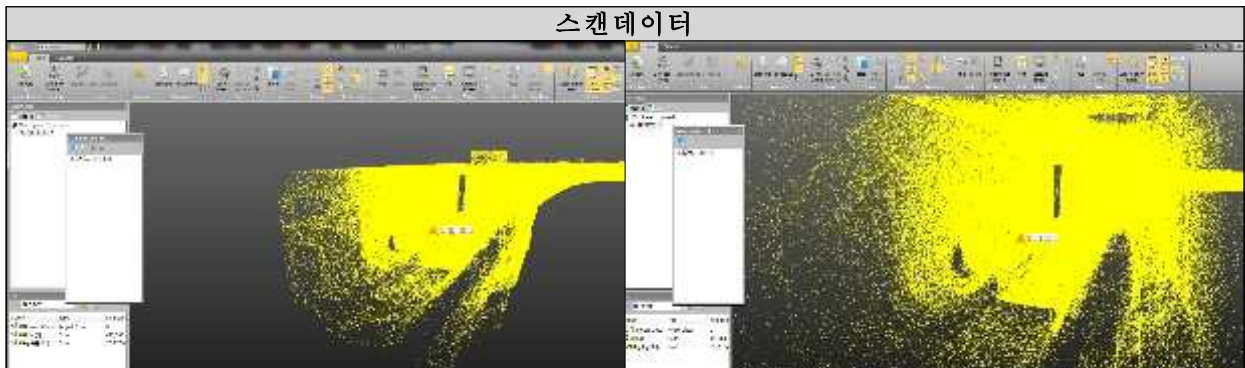
제조사	제품명	관측방법	사용파장	최대스캔 속도	최소/최대 스캔거리	시야 (FOV) 수직/수 평	거리 관측 정확도
Leica	BLK360	high speed time-of-flight enhanced by Waveform Digitising (WFD)technology	830nm	360,000 pps	0.4m /60m	360° /300°	6mm@ 10m 8mm @20m
	P20	Ultra-high speed time-of-flight enhanced by Waveform Digitising (WFD)technology	658-808 nm	1,000,000 pps	0.4m /120m	270° /360°	±3mm @50m
	P40	Ultra-high speed time-of-flight enhanced by Waveform Digitising (WFD)technology	658-1550n m	1,000,000 pps	0.4m/ 270m	290° /360°	±3mm @50m

- Pegasus는 지상에서 GPS신호를 먼저 받은 후에 지하 스캔 시작.
- P20/40은 4m 간격으로 스캔촬영.
- cyclone을 활용하여 정합 작업.
- 타겟 없이 visual 정합을 활용.
- 스캔데이터의 오차범위는 ±3mm @50m.
- BLK360은 외장카메라 없이 내장카메라로 촬영. 스캔 및 이미지 촬영시간 3분30초
- BLK360은 cyclone과 recap pro를 통하여 정합 작업.
- 조명에 영향을 많이 받는 BLK360은 조명의 밝기, 위치, 방법에 대한 점검 필요.

⑧ Geoslam

제조사	제품명	레이저등급	최대스캔속도	최소/최대 스캔거리	시야 (FOV) 수직/수평	거리 관측 정확도
Geoslam	Zeb-revo	class 1 eye safe	43,200pps	0.5m/30m	270°/360°	±0.1%(typical)
	Zeb-1	class 1 eye safe	43,200pps	0.5m/300m	270°/360°	±0.1%(typical)





- 기존 라이다 방식보다 장비 자체무게가 가볍고 빠르게 스캔할 수 있는 장점.
- 추가적인 Gopro Session 카메라 장착으로 Color RGB값 취득 가능.
- 작은 하수박스에서의 일정한 모양을 가진 환경에서는 슬립 발생.
- 3차원 물체 타겟을 이용하여 실험한 결과 타겟 없는 상황보다 있는 상황에서의 정합률 향상.
- 지상에서의 촬영을 시작하여 하수박스를 지나 다시 지상으로 돌아와서 폐합할 수 있게 촬영.
- 지상에서의 스캔방법에 따라 지하의 정합률에 영향을 미치는 것으로 판단됨.

(나) 영상카메라(360도 카메라)

①Gopro

- 4K 동영상
- 사진해상도 12MP(4000X3000)
- 5개의 Gopro Hero4 Black을 리그에 결합하여 무선 블루투스 리모콘을 이용하여 촬영
- 촬영된 5개의 이미지를 Autopano Giga 프로그램을 통하여 Stitching작업
- Autopano Giga 프로그램의 자동 Stitching 후 수동 Stitching을 통한 Stitching 정확도 개선

현장사진



360도 파노라마 이미지



② Gear360

-56.3x66.7x60.1mm, 152g, 동영상 해상도-360(3480x1920)@30fps

메인카메라화소-cmos 15.0MPx2

-2개의 어안렌즈로 촬영하여 360도 이미지 생성.

-촬영된 이미지를 따로 정합할 필요없이 Gear360 ActionDirector를 통하여 편집가능

현장사진



360도 이미지



2. GIS 기반의 3차원 시설물 관리 시스템 개발(공동연구)

본 공동연구의 목표는 노후화된 대형 배수시설물 내부의 영상과 3차원 위치좌표를 시각적으로 표현하고, 기존 GIS 2차원 지도와 시설물 내부의 펼친 이미지를 동시에 서비스 할 수 있는 시스템 개발임

가. GIS 기반의 3차원 자료관리 시스템 개발

(1) 기능 구성도

- 기능 대분류 로는 2D 지도관리, 3D 영상 관리, 3차원 평면 이미지 관리 등 구현
- 서비스를 위하여 대용량 파일 처리기술
- 시설물 내부를 마우스 및 주행 설정을 통해 자유자재로 컨트롤하며 확인



그림 [3-2-1] 3차원 시설물 관리 시스템 기능 구성도

(2) 주요 기능

- 라이다로 취득된 배수시설물 3차원 데이터를 활용하여 입체적으로 관리
- 기존 2차원 기반의 지리정보 시스템을 3차원으로 확장
- 2차원 데이터와 3차원 데이터 연계
- 시스템을 사용하는 모든 사람이 시설물 내부에서 실제 조사하는 것처럼 볼 수 있는 3차원 시스템을 구축
- 수치지형도 및 시설물 2차원 데이터와 시설물 내부의 3차원 지도 화면, 시설물 내부의 펼친 이미지를 한 화면에서 확인함으로써 위치 및 상태에 대한 직관적 판단 가능
- 시설물 내부를 주행설정 및 마우스를 이용해 자유자재로 컨트롤하고 내부 상태 및 손상 현황을 확인



그림 [3-2-2] 3차원 시설물 관리 시스템 메인 화면

① 화면관리 기능

- 2D 지도화면, 3D영상 화면, 이미지 조회 화면으로 전체 시스템 화면을 구성
- 3가지 업무 화면에 대한 크기변경, ON/OFF 기능을 구현

시스템 화면 구성 예시		사용자 화면관리 기능 예시	
메뉴바 및 업무 아이콘 2D 지도화면 영역 평면 이미지 화면 영역 3D 영상화면 영역		■ 화면 ON/OFF 기능 ■ 화면위치 및 구성 변경 ■ 화면 크기 변경	
업무 진행사항 및 기능			
■ 업무화면 별 ON/OFF 기능버튼 적용 ■ 업무화면 자동 화면 채움 설정 기능 적용 ■ 화면에 대한 마우스 드래그 창 조정 기능 적용		■ 개별 업무화면 스냅핑 기능 적용 ■ 전체 화면에 변경에 따른 업무화면 자동 크기조정 기능 적용 ■ 시스템 설정에 화면구성 환경설정 기능 적용	

그림 [3-2-3]

② 2D 지도관리 기능

- 2D 지도화면 영역에 지도를 표시
- 사용자 레이어 설정에 따라 지도화면에 공간데이터가 표시
- HOLE 정보(측점위치)에 대한 위치가 기본으로 표시되며 해당 정보에 따라 3D 영상 영역으로 이동



그림 [3-2-4]

③ 3D 지도관리 기능

- 서버에 구축된 Point 클라우드 데이터를 3D 지도영역에 디스플레이
- 3차원 데이터의 전체보기, 확대, 축소 기능을 구현
- HOLE 지점을 기준으로 전진하기, 후진하기, 회전하기, 지정 지역 이동 기능 구현



그림 [3-2-5]

④ 트래킹 및 화면 도구 구성

- 트래킹 기능은 라이다 측량 중심점을 기준으로 사용자 주행설정에 따라 자동으로 위치를 이동하는 기능
- 측량된 데이터의 정보를 사용자가 직접 컨트롤 하지 않고 조회
- Material 설정은 라이다 강도값으로 데이터를 변경하여 화면 조회

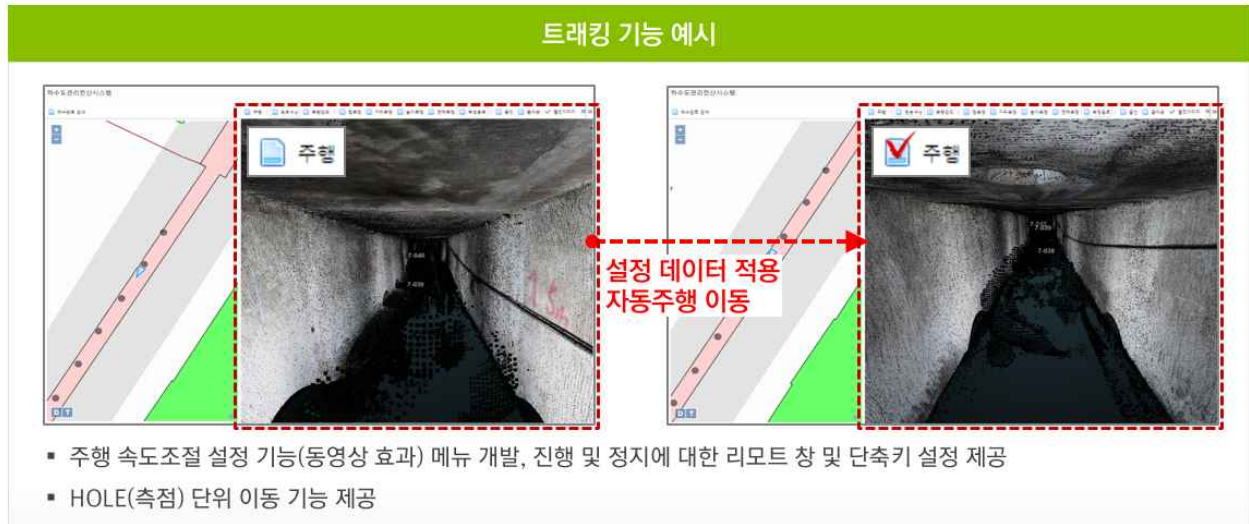


그림 [3-2-6]

⑤ 각종 측정 도구

- 각종 측정(각도, 높이, 수평, 면적)에 대한 시스템 개발 내역 정의
- 영상내의 선택 지점에 대한 좌표측정 기능 개발
- 화면 뷰 선택에 따라 상부, 좌측, 우측 보기 기능 개발

각도 측정도구 예시	높이 측정도구 예시	수평 측정도구 예시
		
▪ 각도측정 기능 선택 시 선택된 지점을 기준으로 폴리곤을 폐합하여 내부 각도를 화면에 표시한다.	▪ 높이측정 기능 선택 시 선택된 두 지점간의 거리를 측정하여 화면에 결과를 표시한다. 좌표 값을 기준으로 수직거리를 계산한다.	▪ 수평측정 기능 선택 시 선택된 두 지점간의 거리를 측정하여 화면에 결과를 표시한다. 좌표 값을 기준으로 수평거리를 계산한다.
면적 측정도구 예시	위치 측정도구 예시	뷰 컨트롤 예시
		
▪ 면적측정 기능 선택 시 구하고자 하는 범위에 대한 면적 값을 구하여 화면에 결과를 표시한다.	▪ 좌표측정 기능 선택 시 사용자가 지도상에 선택한 지점의 좌표 값을 화면에 표시한다.	▪ 측점을 기준으로 상부 방향, 좌측 방향, 우측 방향에 대한 뷰를 선택하여 조회한다.

그림 [3-2-7]

나. 3차원 자료 평면 전개 소프트웨어 개발

(1) 주요 기능

- 라이다(LiDAR)와 카메라를 활용하여 취득한 시설물 데이터를 좌측, 상부, 우측으로 펼친 이미지 제작 프로그램 개발
- 사용자의 편의성을 고려하여 3차 데이터를 전개하여 보여줌으로써 파손지점의 신속한 의사결정 지원
- 시설물 안전점검 기초자료 활용
- 펼친 이미지를 활용하여 시설물 내부의 손상 위치 및 규모 확인
- 평면 이미지 정보와 2D, 3D 데이터를 연계
- 이미지 선택, 조회, 확대/축소, 이동, 이미지 저장 기능을 구현

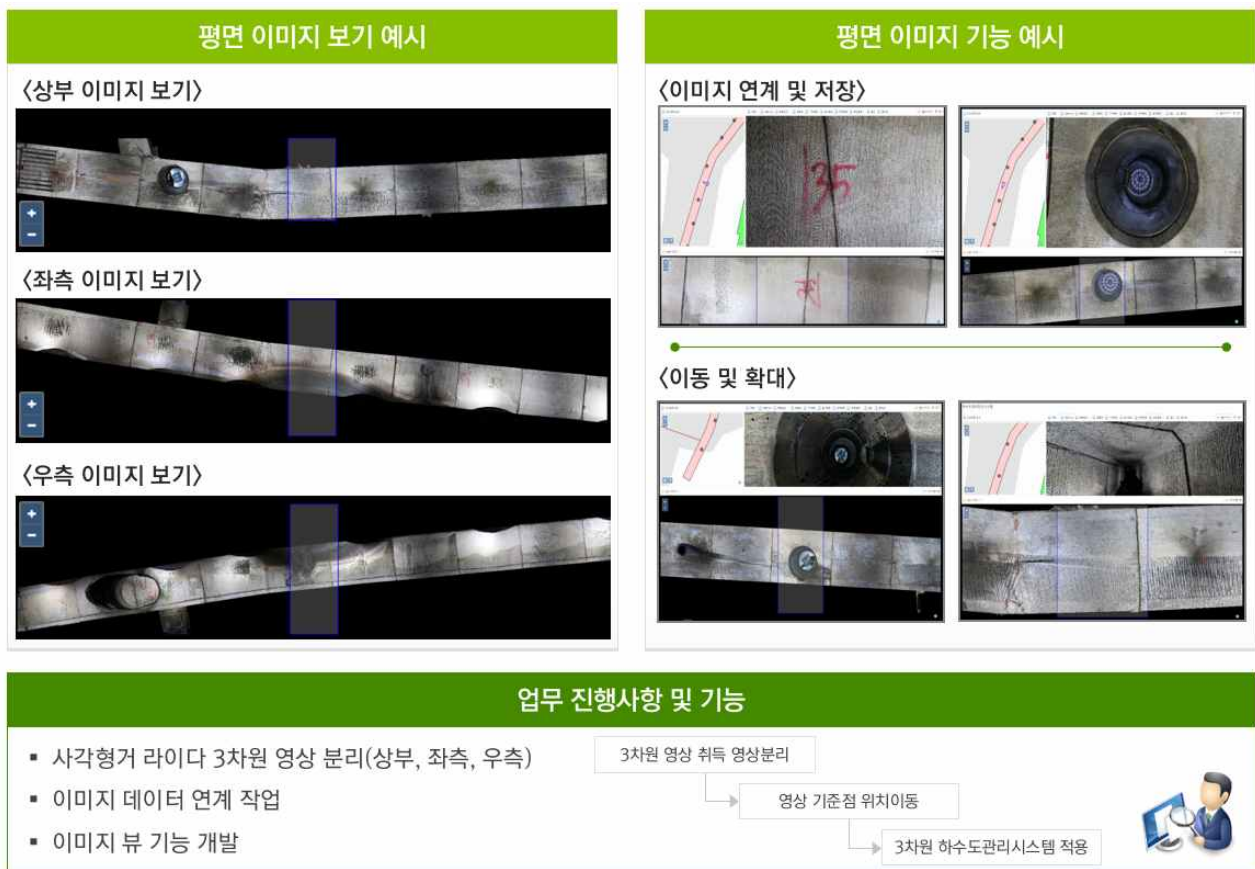


그림 [3-2-8]

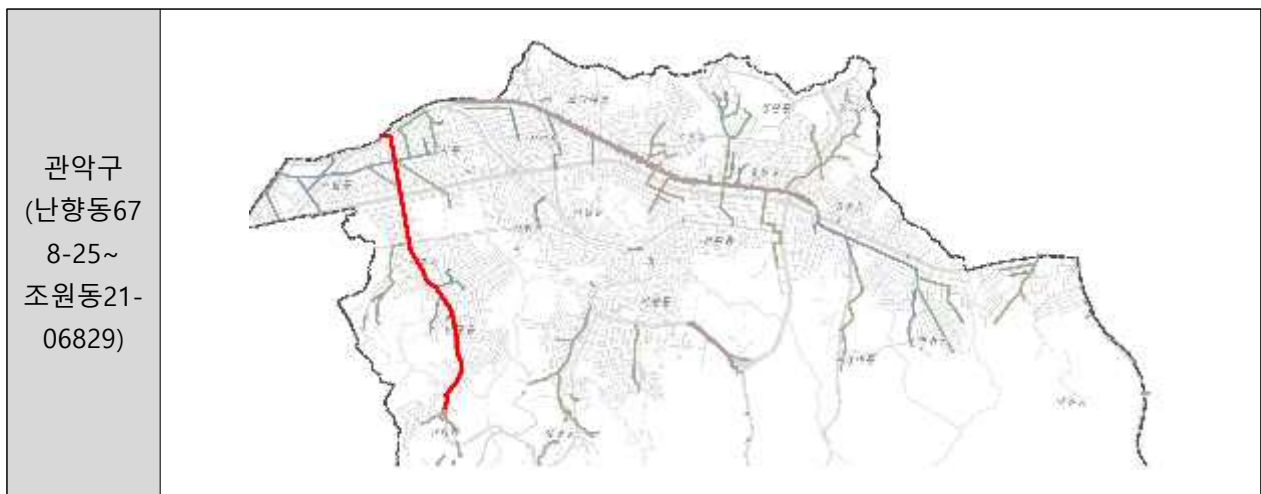
3.구조물 조사 및 진단 방법 개발

본 위탁연구의 목표는 국내 실정의 대형박스 구조물 및 복개하천 시설물을 표본 조사하여 구조적, 수리적 결함군들을 수집하고, 판독 방법론을 제시할 수 있는 진단 매뉴얼을 개발

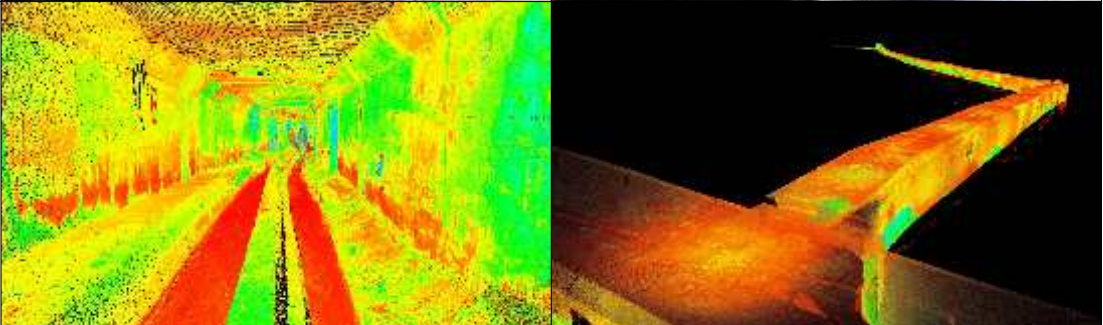
가. 대형박스 구조물 조사 및 진단방법 개발

(1)대형박스 구조물 현황조사

- 장소 : 관악구 난향동
- 일시 : 2016년 8월



- 내용: 관악구 5km구간의 대형박스를 조사하여 이상부위 항목 확인 및 스캔데이터를 취득하여 모델링.

대형박스 구조물 현황조사	
현장조사 (약5km)	
이상부위 항목 확인	
스캐닝 및 모델링 데이터	

(2) 대형박스 구조물 진단방법 개발

대형 하수박스암거를 데이터베이스화 할 수 있는 3D Laser Scanning 기술이 도래함에 따라서 박스암거의 구조적, 운영적 결함유형을 명확히 구분하고 결함자료를 분석할 수 있는 표준화 매뉴얼 개발이 필요하였다. 이를 위하여 국내 표본조사대상지역 3개 구를 선정하여 총 14,827m의 하수박스암거에서 발생하는 결함들을 수집하고 분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- ① 표본조사구간에서 발견된 가장 많은 결함은 표면손상(Surface damage)군으로서 골재노출, 철근노출, 철근도출에 대한 각각의 결함밀도는 $2.17 \text{ m}^2/\text{m}$, $0.27 \text{ m}^2/\text{m}$, $0.10 \text{ m}^2/\text{m}$ 를 차지하였다. 두 번째 많은 결함군은 바닥면 세굴로서 $0.29 \text{ m}^2/\text{m}$ 를 차지하였다.
- ② 하수박스암거의 결함구분은 원심력철근콘크리트관의 결함구분과 비교검토하여 재생성하였다. 박스암거에서 결함이 존재하지 않았기 때문에 제외가 필요한 결함코드는 JO(Joint, Open), PB(Pipe, Broken), PX(Pipe, Collapsed), DF(Pipe Deformation), PL(Protective lining defective), DE(Deposits, Encrusted), DG(Debris, Greasy), RI(Roots Intrusion) 였고, 박스암거에서 발생하는 결함특성을 반영하기 위해 신규 결함코드로서 BB(Box culvert, Bend), SR(Section Reduction), CE(Crack and Efflorescence), CI(Crack and Infiltration), FE(Floor Erosion), CD(Construction Debris), SI(Soil Ingress)를 제안하였다.
- ③ 박스암거 유지관리 의사결정지원을 위해 단계별로 5등급으로 배분하고 각각의 결함점수 범위를 배분하였다. 1등급은 조치없음에 해당하며, 2등급은 부분보수단계 C1, LF, BH 결함이 해당되었고, 3등급은 단면보수 및 준설 단계로서 C2, CE, DS1, SE, DS2, BB1이 해당되었다. 4등급은 주의깊은 벽면보수보강이 필요한 단계로서 RSF, FE, SP, C3, JF, CI, 등이 해당되었다. 5등급은 SR, NS, SI 결함이 해당되어 도심지 침수나 도로함몰을 예방하기 위한 박스암거의 전면적인 굴착 정비사업이 필요한 구간이다. 본 연구결과는 국내 하수암거를 조사하는 실무자에게 진단을 위해 유용하며, 관리자들에게 유지관리 의사결정을 지원할 것으로 기대된다.

나. 복개하천 구조물 조사 및 진단방법 개발

(1) 복개구조물 현황조사

- 장소 : 성북구 성북동, 관악구 중앙동
- 일시 : 2016년 8월

가) 조사 구간	
성북구 (성북동58-28 ~ 성북동1-3)	
관악구 (중앙동975-2 ~ 신림동23-1)	

(2). 복개하천 구조물 진단방법 개발

- 기존 문헌조사를 통해 구조적, 수리적 결함 항목의 유형을 정리 하였고
- 이 중에서 복개하천 시설물에서 발생 가능한 내부결함을 발췌하였으며
- 백태에 의한 균열은 새롭게 추가
- 표본 DB 조사 결과를 토대로 구조적, 수리적 결함 판독기준을 제시
- 이상항목 결함등급 및 결함점수를 통한 구조적, 수리적 결함 심각도 평가 방법을 제시
- 향후 더 많은 3차원 탐사자료를 통해 1차년도에서 반영할 수 없었던 결함 항목에 대한 검증이 필요하며 결함 판독기준 및 결함 심각도 평가 방법의 개선이 필요

4. 경제적 성과

가. 생산성 향상

(1) 기존 방법의 문제점

기존방법	3차원라이다 측량방식	비교
대형배수시설물 내부에서 점검자의 육안에 의한 불량유무 판단 의견과 균열 및 훼손부위 카메라 촬영 사진 기록 활용 제출된 점검 결과 보고서 의해 사후 확인 및 결정	점검자의 의견과 고화질 동영상 및 위치, 규격, 경사등 확인가능 성과물로 제출 (탐사 및 측량성과 동시가능)	
임의로 표시한 위치와 카메라에 의해 촬영한 사진자료로는 정확한 위치 파악 곤란과 사진선명도에 따라 파나단 혼란우려	시설물 내부 전체적인 3차원의 선명한 동영상 사진 영상물로 자유로운 확대조정 및 지상영상조합으로 위치 파악 및 불량유무 확인용이	
성과물 자료만으로는 정비범위 및 방법선정 적정성 등의 종합적인 결론이 어렵고 기록 데이터 자료 활용성 미흡	고성능 최신기기에 의한 종합탐사(위치, 규격, 균열 또는 훼손부위, 경사등)에 의해 다양한 자료 확인 등 과학적이고 체계적인 데이터 구축	

(2) 비용대비 효과

- 사각형거 대상체 내부 전면을 투사한 위치데이터(Point Data)를 취득하여 고정밀 데이터 확보
- 사각형거의 단면손상 뿐 아니라 미세한 암거변위(슬라브 처짐, 벽체 변위 등) 자료 확보
- 취득한 고화질 영상은 정밀안전점검 예비조사 자료로 활용(손상지점, 면적 확인)
- 안전점검의 현장조사 공정과 CCTV 촬영 비용을 일부 절감하는 효과
- km당 비용은 라이다 측량 약 1,300만원인데 비해, 라이다 결과를 낼 수 있는 각각 용역비의 합 1,800만원과 비교해 약 500만원의 절감 효과 발생

		km당 비용(만원)	
작업내용	비용	작업내용	비용
안전점검 현장조사	450	라이다측량	1,300
위치 정확도 측량	660		
CCTV 촬영	690		
		-500	

나. 시장 점유율

- 대형배수시설물의 3차원 라이다 측량 방식은 새로운 방식으로 시장을 개척해나가는 기술

다. 매출액 증대 및 고용 창출

(1)매출액 증대

노후화된 대형배수시설물에 대한 3차원 안전관리 시스템 관련 매출 현황

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액(천원)		매출 발생 연도	기술 수명
							국내	국외		
1	용역	계약	관악구	하수암거 시설물 DB구축	하수박스 3차원 레이저 촬영	(주)한국지 중정보	177,000		2016~2017	10년
2	용역	계약	서울시	하수암거 시설물 DB구축	하수박스 3차원 레이저 촬영	(주)한국지 중정보	1,385,000		2017	10년
3	용역	계약	동대문구	하수암거 시설물 DB구축	하수박스 3차원 레이저 촬영	(주)한국지 중정보	21,100		2017	10년
4	용역	계약	종로구	하수암거 시설물 DB구축	하수박스 3차원 레이저 촬영	(주)한국지 중정보	548,700		2017	10년

제 4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

구분	핵심성과	연구개발의 내용	양적성과 목표	목표 달성도
구조물 조사 및 진단 방법 개발	대형 박스 구조물 진단 방법 개발	매뉴얼 개발	매뉴얼 개발 (1건)	매뉴얼 개발 (1건)
	복개 하천 구조물 조사 및 진단방법 개발	매뉴얼 개발 논문 발표	매뉴얼 개발 (1건) 학술발표 (1건)	매뉴얼 개발 (1건) 학술발표 (1건)
3차원 원격 탐사 시스템	기본 설계	도면	특허:출원(1건) 등록(1건) 시제품:(1건)	특허:출원(1건) 시제품 1건
	목합제작	목합제작		
	원격탐사 시작품 제작	시작품제작		
	원격탐사 시제품 제작	시제품제작		
	Laser Scanning 장비 테스트	보고서		
	3차원 원격탐사 제어장치	제작		
GIS 기반관리시스템	GIS 기반관리시스템	GIS 기반관리시스템 개발	특허:출원1건 등록1건 S/W:1건	특허등록 1건
현장적용실험	복개하천 및 대형 시설물 탐사	공공측량성과심사	사업화 매출액:25억 상용화제작:1건	사업화 매출액:25억 상용화제작:1건
3차원원격탐사 시스템	원격탐사 상용화제작	상용화제작		

-학술지 게재

논문명	학술지명	ISBN ISSN	주저자명	Vol. (No)	시작 페이지	끝 페이지	게재 일자
대형하수박스 암거의 속성 데이터베이스구축을 위한 결함유형 평가	상하수도학회지	1225-7672	한상중 송호면	31(6)	619	628	2017.12.15

가.세부 목표 달성도

(1)구조물 조사 및 진단방법 개발

구분	핵심성과	최종 성과점검기준	목표달성도	비고
구조물 조사 및 진단 방법 개발	① 대형 박스 구조물 진단 방법 개발	매뉴얼 개발	매뉴얼 개발	첨부 자료
	②복개 하천 구조물 조사 및 진단방법 개발	매뉴얼 개발 논문 발표	매뉴얼 개발 학술발표 (대형하수박스 암거의 속성 데이터베이스구 축을 위한 결함유형 평가)	매뉴얼 개발 (1건) 학술발표 (1건)

① 대형박스구조물 진단 방법개발

위탁기관	연구책임자	비고
한국건설기술연구원	송호면 선임연구위원	

㉠ 박스암거조사 개요

1.1 개 요

대형 박스암거 구조물의 탐사는 3차원 안전관리시스템을 통하여 손상현황 및 결함의 상태를 데이터베이스화 하고, 시설물의 건전성을 저해시키는 위험요인을 미리 파악하여 적절한 보수대책 수립을 위한 기초자료를 얻기 위함이다.

1.2 박스암거 조사의 순서

조사 대상으로 선정된 박스암거에 대한 3차원 안전관리시스템 탐사를 수행하여, 해당 시설물의 상태등급을 판정하고 추가적인 정밀검사 여부를 판별하는데 그 목적이 있다.

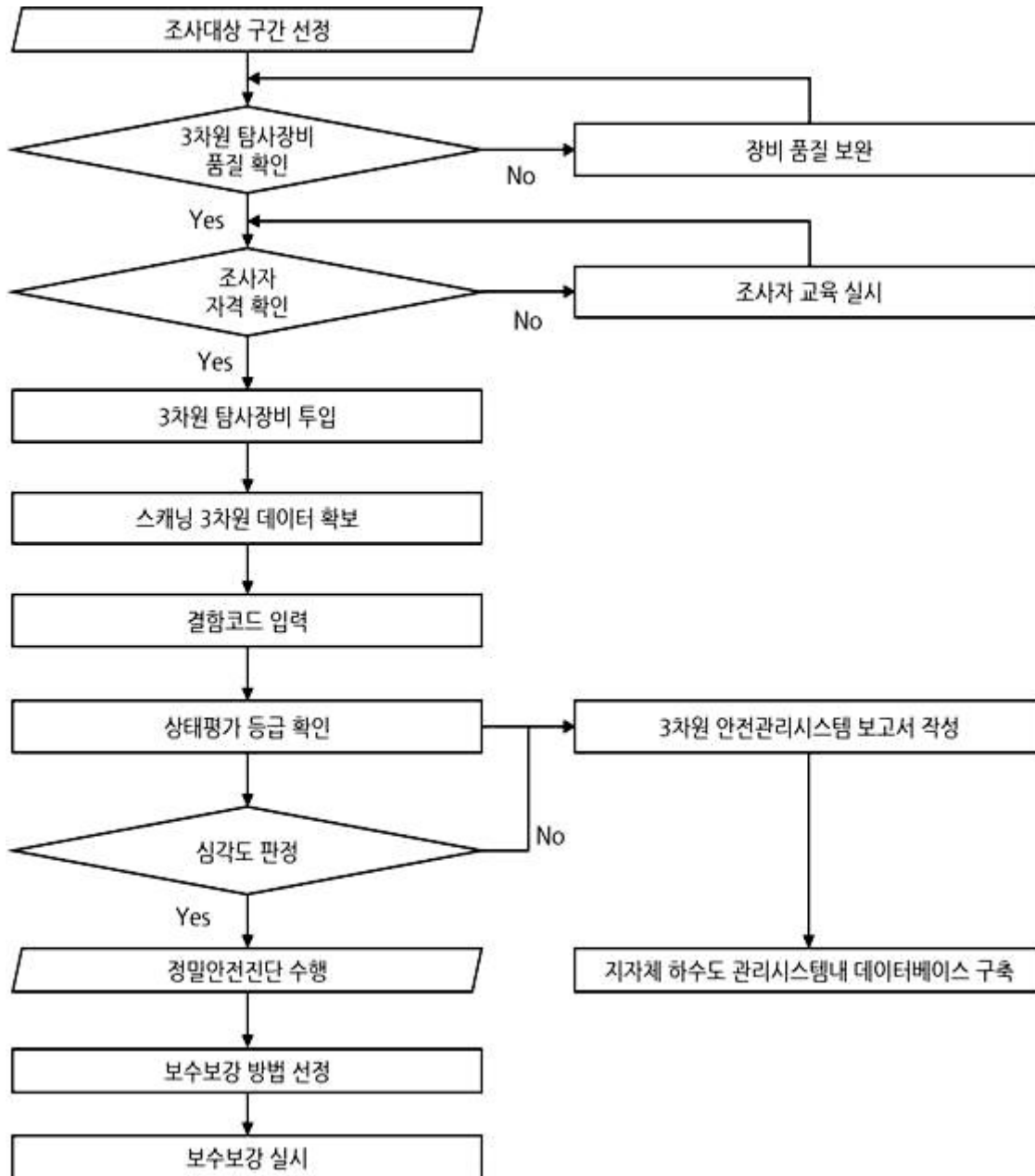


그림 [4-1-1] 박스암거의 조사 및 진단 순서

1.3 박스암거 3D탐사장비의 표준사양

3D탐사장비는 주행부가 장착된 촬영장비를 하수암거 내부로 투입하여 조사자가 외부로 연결된 모니터를 통해 주행하여 이상항목을 촬영할 수 있는 장비이다. 일반적으로 하수관거 조사용 CCTV보다 크기가 크며, 암거 중심에서 스캐닝할 수 있는 3D레이저 스캐너와 정확한 위치측량을 위한 IMU가 장착되어 있는 것이 특징이다.

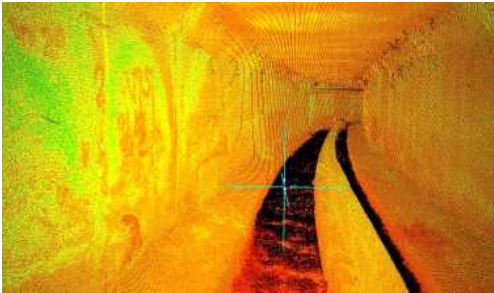
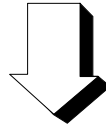
1.4 3D탐사장비의 데이터 취득순서

3D탐사장비의 데이터 취득순서는 레이저 스캐닝, 점군데이터 생성, 병합처리, 오차보정순서로 진행된다.



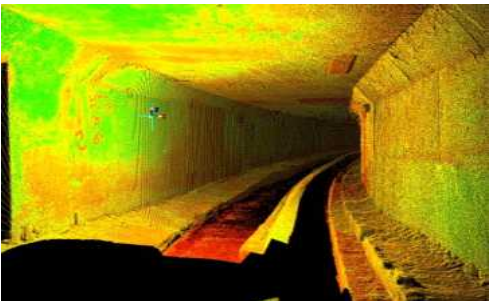
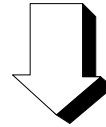
Step1.

- KiScan II 를 이용한 하수관거 레이저 스캐닝



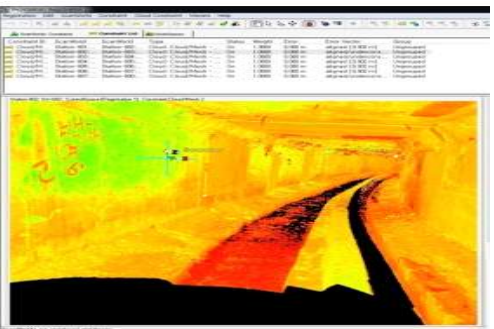
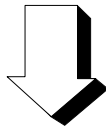
Step2.

- Kiscan Software
- 포인트 클라우드(점군 데이터)의 정밀도 검사



Step3.

- IntraMESH Software
- 포인트 클라우드 정'병합
- 수정 및 마감처리 (수평 & 수직 측정)



Step4.

- VRMESH Software
- 포인트 클라우드를 활용한 분석
- 각각의 포인트 클라우드에 GPS 좌표 값 존재
- AutoLISP Program 개발

1.5 박스암거 3D탐사 및 판독

박스암거 3D탐사 및 판독은 박스암거의 구조적, 운영적 상태조사결과와 호환성을 위하여 환경부에서 제시한 하수암거의 육안조사 및 CCTV조사의 표준화된 절차 및 방법, 촬영된 하수암거 내부의 사진 및 영상을 바탕으로 제시한 결함항목 및 상태등급 판독의 표준화된 절차와 방법을 그대로 따른다.

1.6 박스암거 결함항목 판독 및 상태등급 판정 단계

박스암거 결함은 구조적 결함, 운영적 결함으로 구분한다. 세부적인 결함을 나타내기 위해서 환경부 매뉴얼에서 제시한 구조적 내부결함과 운영적 내부결함코드를 다음 해설에서 발췌하였다. 그러나 국내박스암거에서 발생하는 실질적인 결함을 파악하기 위한 결함코드와 결함정의 자세한 설명은 상세편에서 기술한다.

1.7 박스암거 3D탐사 보고서 작성 개요

박스암거 3D탐사 보고서에는 ①일반사항, ②박스암거 정보, ③박스암거 3D탐사 결과 등 각 항목들에 대해 다음의 해당사항들을 기입한다.

외관조사항목	내구성조사 항목	기타항목
- 콘크리트 : 균열, 박리, 박락, 층 분리, 철근노출, 재료분리, 백태, 누수, 파손 - 신축이음 탈락 및 열화 등 - 강재 : 부식, 피로균열, 도장손상 등 - 구조물 : 변형, 세굴 침하 등	- 콘크리트강도: -비파괴시험(반발경도법, 초음파법) -파괴시험(코어채취시험법) - 철근탐사 : 배근간격 등 - 콘크리트 탄산화 깊이 - 콘크리트 염화물 함량 - 강재시험	각종 기기의 작동시험

표[4-1-1] 정밀안전진단 조사항목

1.8 구조적 결함의 전체 분류

대형박스 구조물의 구조적 결함항목은 다음과 같이 분류할 수 있다.

- 1) 균열관련 결함
- 2) 부식관련 결함
- 3) 연결관 관련 결함
- 4) 이음부 단차(곡관) 관련 결함
- 4) 바닥면 침식 관련 결함

1.9 균열관련 결함

매설된 박스암거가 지속적 하중재하에 따른 발생결함유형으로서 다음과 같은 결함코드로 분류한다. 조사대장 기입자는 3D 탐사결과 결과를 활용하여 다음 중 하나를 선정하여 꼭 기입해야 한다.

- 1) 횡방향 균열 : CC1, CC2, CC3
- 2) 축방향 균열 : CL1, CL2
- 3) 다중균열 : CM1, CM2
- 4) 백태 : CE1, CE2
- 5) 부분보수 : PR

1.10 부식관련 결함 (Surface Damage Failure)

부식관련 결함은 박스암거에서 발생하는 황화수소 발생에 따른 표면 부식 손상정도로 판단할 수 있다. 부식결함은 연속성 결함으로서 3D 탐사자료 기입 시 단위 m별로 다음 중 하나의 표면손상 결함을 선정하여 꼭 기입해야 한다.

- 1) 표면 손상 : SD1, SD2, SD3

1.11 연결관 관련 결함 (Lateral Failure)

연결관 천공 불량에 대한 결함은 박스암거에 연결관 삽입시 천공관련 불량시공의 원인으로 발생하는 유형으로서 다음과 같은 유형의 결함코드가 있다. 3D 탐사자료 분석 시 다음 중 하나를 선정하여 꼭 기입해야 한다.

- 1) 연결관 접합부 : LF1, LF2, LF3
- 2) 연결관 접합부 보수 후 : LF0

1.12 이음부 단차(곡관) 결함

이음부 단차는 박스암거에서는 주로 곡관의 형태로 나타난다. 곡관의 경사에 따라서 JD1, JD2로 나타낸다.

- 1) 이음부 단차 : JD1, JD2

1.13 바닥면 침식 (Floor erosion) 결함

바닥면 침식은 발생하수가 유하하면서 황화물의 영향 등으로 콘크리트 바닥면을 침식한 현상을 칭한다.

- 1) 바닥면 침식 : FE1, FE2

1.14.수리적 결함항목 세부사항

1.14.1 개 요

국내 실정에서 발생하는 하수관거 전체의 수리적 결함항목은 구조적 결함요인이 동시에 통수능력을 저하시키는 요인과 기능상 결함이 통수능력을 저하시키는 요인으로 구분된다. 수리적 결함점수화 방법은 선행연구(CARE-S)에서 결함원인으로 발생된 통수단면적 감소에 대하여 수리적 손실수두값을 산출한 값을 활용하였다.

1.14.2 수리적 결함의 구분

수리적 결함 중 구조적 결함요인이 통수능력을 저하시키는 요인은 다음과 같이 분류할 수 있다.

- 1) 이음부 단차(곡관)

기능상 결함이 통수능력을 저하시키는 요인은 다음과 같이 분류할 수 있다.

- 1) 연결관 돌출
- 2) 기타 장애물(영구, 임시)
- 3) 토사 퇴적

수리적 결함점수화 방법은 결함의 통수단면적 감소에 대하여 수리적 손실수두값을 산출한 값을 활용하여 비례한 점수를 산출하였다.

기타 중요한 항목으로 유입수/침입수 결함이 포함된다.

- 1) 유입수/침입수

1.15.결함점수계산 및 등급판정

1.15.1 결함점수 계산

하수관의 심각도 평가를 위하여 종합적인 결함(평균)점수를 계산하고, 그 계산 등급에 따라 등급판정을 실시한다.

1.15.2 결함 등급 판정

하수관의 상태평가 DB 표준화 결과를 활용하여 하수관거 유지관리 및 정비시기를 결정할 수 있다.

구조적 등급	구조적 평균점수 (주 판단기준)	구조적 최대점수 (보조적 판단기준)	정비의사결정
1	0.0 ~ 2.99	0 ~ 14	조치 없음
2	3.0 ~ 6.49	15 ~ 39	유지관리(수선)
3	6.5 ~ 9.99	40 ~ 50	전체보수(갱신)

표[4-1-2] 구조적 결함 등급 분류

하수관별 중요도 (Critical Sewer)		하수관 잔존수명에 따른 정비시기				
		내용년수 11~15년	내용년수 16~20년	내용년수 21~25년	내용년수 25~30년	내용년수 30년초과
		보수/유지관 리	보수/유지관 리	5년 이후 정비	단기계획 정비	긴급 정비
		A	B	C	D	E
중요도 매우 적음	a	1	3	6	13	20
중요도 적음	b	2	4	7	14	21
중요도 보통	c	5	10	15	18	23
중요도 큼	d	8	11	16	19	24
중요도 매우 큼	e	9	12	17	22	25

표[4-1-3] 잔존수명에 따른 조사 및 정비 우선순위 평가 (리스크 매트릭스법)

수리적 등급	수리적 평균점수	정비의사결정
1	0 ~ 0.99	조치없음
2	1 ~ 2.49	10 년 1 회 준설
3	2.5 ~ 6.99	5 년 1 회 준설
4	7 ~ 9.99	3 년 1 회 준설
5	10 이상	긴급 준설

표[4-1-4] 수리적 결함 등급 분류

②복개하천 구조물 조사 및 진단방법 개발

위탁기관	연구책임자	비고
에에치투알	김창완	

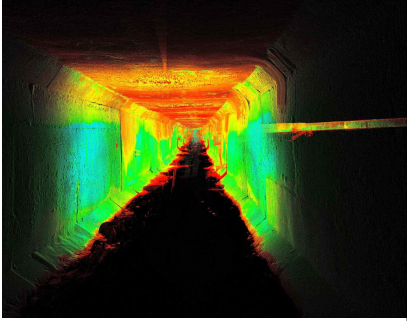
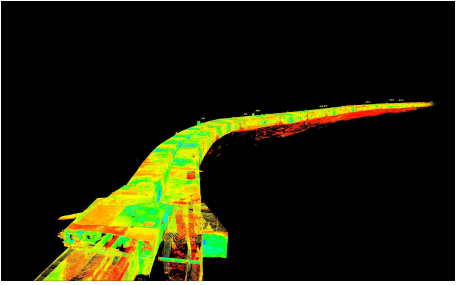
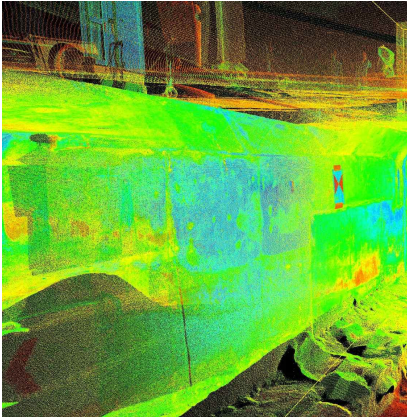
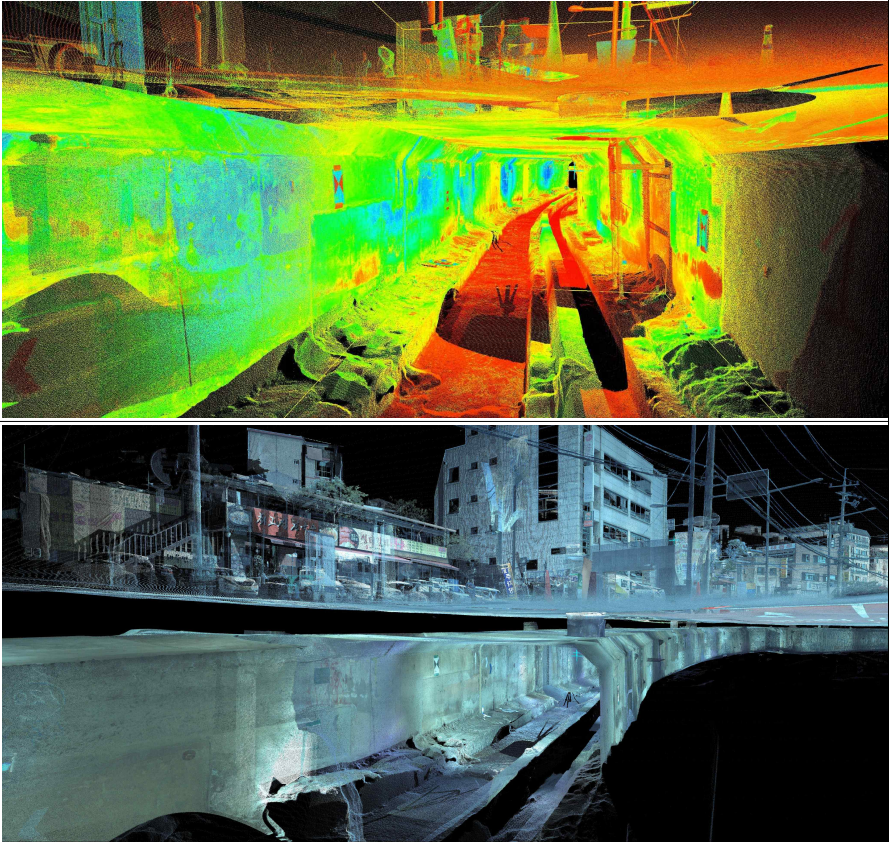
㉠복개구조물 개요

1.1 개 요

주관연구의 최종 성과물인 “대형 배수시설물의 3차원 안전관리시스템” 개발은 복개하천 시설물을 조사함에 있어서 기존의 한계를 극복하고 지자체 관리자가 한눈에 판단하기 쉬운 형태로 데이터베이스화 하기 위한 것이다. 이러한 목표를 달성하기 위해서는 국내 실정의 복개하천 시설물의 구조적, 수리적 결함 판독기준과 심각도를 평가할 수 있는 방법론이 제시되어야 한다. 본 위탁연구의 목표는 국내 실정의 복개하천 시설물을 표본 조사하여 구조적, 수리적 결함군들을 수집하고, 판독 방법론을 제시할 수 있는 진단 매뉴얼을 개발하는 것이다. 이를 통하여 복개하천 시설물의 조사결과는 지자체 관리자가 박스암거 시설물의 유지관리 우선순위 선정이나 정비예산계획 수립 등을 지원할 수 있을 것으로 기대된다.

1.2 복개하천 시설물 현황조사

현장 조사 (약 5 km)		
이상부위 항목 확인		

스캐닝 및 모델링 데이터		
스캐닝 및 모델링 데이터		

1.3 구조적 결함 항목

결함 종류		영문 표기	코드
균열	길이	Crack, Longitudinal (box)	CLb
	원주	Crack, Circumferential (box)	CCb
	사선	Crack, Diagonal (box)	CDb
	복합	Crack, Multiple (box)	CMb
천공		Pipe, Holed (box)	PHb
표면손상		Surface Damage (box)	SDb
침하		Dipped Pipe (box)	DPb
파손		Pipe, Broken (box)	PBb
붕괴		Pipe, Collapsed (box)	PXb
연결관	돌출	Lateral, Protruding (box)	LPb
	접합부 이상	Lateral, Sealing Faulty (box)	LFb
이음부	단차	Joint, Displaced (box)	JDb
	결함	Joint, Faulty (box)	JFb
	이탈	Joint, Open (box)	JOb
역경사		Reversed Flow inclination (box)	RFb
기타장 애물(영구)		Obstruction, Permanent (box)	OPb

표[4-1-5] 하수암거 구조적 내부결함 종류 및 코드체계

결함 종류		영문 표기	코드
균열	종방향	Crack, Longitudinal (box)	CLb
	횡방향	Crack, Circumferential (box)	CCb
	복합	Crack, Multiple (box)	CMb
	백태	Crack, Efflorescence (box)	CEb
표면손상		Surface Damage (box)	SDb
연결관	접합부 이상	Lateral, Sealing Faulty (box)	LFb

표[4-1-6] 복개하천 시설물(박스 형태) 구조적 내부결함 종류 및 코드체계

1.4 수리적 결함 항목

결함 종류	영문 표기	코드
내피생성	Encrustation Deposits (box)	EDb
기타 장애물(임시)	Obstruction, Temporary (box)	OTb
토사퇴적	Debris, Silty (box)	DEb
폐유부착	Debris, Greasy (box)	DGb
뿌리침입	Root Intrusion (box)	RIb
침입수	Infiltration Present (box)	IPb

표[4-1-7] 하수암거 운영적 내부결함 종류 및 코드체계

나)

결함 종류	영문 표기	코드
토사퇴적	Debris, Silty (box)	DEb
기타 장애물(임시)	Obstruction, Temporary (box)	OTb

표[4-1-8] 복개하천 시설물의 수리적 내부결함 종류 및 코드체계

1.5 구조적 수리적 결함 판독기준

1.5.1 구조적 결함 판독기준

1.5.1.1 균열 관련 결함 판독기준

- ① 종방향 균열 : CLb1, CLb2, CLb3
- ② 횡방향 균열 : CCb1, CCb2, CCb3
- ③ 복합 균열 : CMb1, CMb2, CMb3
- ④ 백태 균열 : Ceb1, Ceb2, CMb3

1.5.1.2 표면손상 관련 결함 판독기준

SDb1, SDb2, SDb3

1.5.1.3 연결관 관련 결함 판독기준

LFb1, LFb2, LFb3

1.5.2 수리적 결함 판독기준

1.5.2.1 토사퇴적 관련 결함 판독기준

DEb1, DEb2, DEb3

1.5.2.2 기타 장애물(임시)관련 결함 판독기준

OTb1, OTb2, OTb3

1.6 구조적 수리적 결함 심각도 평가

1.6.1 이상항목 결함등급 및 결함점수

- 1등급 : 경미, 초기 수준의 노후, 이상이 진행
- 2등급 : 보통, 중간 정도의 노후, 이상이 진행
- 3등급 : 심각, 심각한 수준의 노후, 이상이 진행

1.6.2 구조적 결함 심각도 평가

표 5-85

결함 종류		코드	결함 등급	결함 등급 설명	결함 구분	결함 점수
균열	종방향	CLb	3	폭 2 mm 초과	연속	40
			2	폭 2 mm 이내, 길이 1 m 초과		25
			1	폭 2 mm 이내, 길이 1 m 이내		10
	횡방향	CCb	3	폭 2 mm 초과	연속	40
			2	폭 2 mm 이내, 길이 1 m 초과		25
			1	폭 2 mm 이내, 길이 1 m 이내		10
	복합	CDb	3	종방향 또는 횡방향 균열 10개 초과	연속	45
			2	종방향 또는 횡방향 균열 5 ~ 10개		30
			1	종방향 또는 횡방향 균열 5개 이내		15
	백태	CEb	3	폭 15 cm 초과	연속	60
			2	폭 10 ~ 15 cm		30
			1	폭 10 cm 이내		15
표면손상		SDb	3	철근이 돌출된 상태	연속	60
			2	철근이 노출된 상태		30
			1	표면의 골재가 돌출된 상태 또는 철근의 흔적이 보이는 상태		15
연결관	접합부	LFb	3	800 mm 이상의 관 천공이나 벽체 높이의 1/2 이상의 손상	지점	45
			2	관경 300~800 mm의 관 천공이나 벽체 높이의 1/2 이하 손상		30
			1	관경 300 mm 이하의 배수설비의 연결관		5

표[4-1-9] 구조적 결함코드, 결함구분, 결함등급, 결함점수

1.6.3 수리적 결함 심각도 평가

결함 종류	코드	결함 등급	결함 등급 설명	결함 구분	결함 점수
토사퇴적	DEb	3	토사퇴적의 높이가 시설물 내부 높이의 10 % 초과	연속	40
		2	토사퇴적의 높이가 시설물 내부 높이의 5 ~ 10 %		20
		1	토사퇴적의 높이가 시설물 내부 높이의 5 % 이내		10
기타 장애물 (임시)	OTb	3	흐름방향 투영면적이 통수 단면적의 10 % 초과	지점	30
		2	흐름방향 투영면적이 통수 단면적의 5 ~ 10 %		10
		1	흐름방향 투영면적이 통수 단면적의 5 % 이내		3

표[4-1-10] 수리적 결함코드, 결함구분, 결함등급, 결함점수

1.6.4 결함점수 계산 및 등급 판정

$$\text{결함평균점수} = \frac{\sum \text{결함별 점수}}{\text{조사연장}}$$

다)

구조적 등급	구조적 평균점수 (주 판단기준)	구조적 재평균점수 (보조적 판단기준)	정비의사결정
1	0.0 ~ 2.99	0 ~ 14	조치 없음
2	3.0 ~ 6.49	15 ~ 39	유지관리(수선)
3	6.5 ~ 9.99	40 ~ 50	전체보수(갱신)

표[4-1-10] 구조적 결함 등급 분류

수리적 등급	수리적 평균점수	정비의사결정
1	0 ~ 0.99	조치없음
2	1 ~ 2.49	10년 1회 준설
3	2.5 ~ 6.99	5년 1회 준설
4	7 ~ 9.99	3년 1회 준설
5	10 이상	긴급 준설

표[4-1-11] 수리적 결함 등급 분류

		잔존수명에 따른 정비시기				
중요도		내용년수 11~15년	내용년수 16~20년	내용년수 21~25년	내용년수 25~30년	내용년수 30년 초과
		보수/유지관리	보수/유지관리	5년 이후 정비	단기계획 정비	긴급 정비
		A	B	C	D	E
매우 적음	a	1	3	6	13	20
적음	b	2	4	7	14	21
보통	c	5	10	15	18	23
큼	d	8	11	16	19	24
매우 큼	e	9	12	17	22	25

표[4-1-12] 잔존수명에 따른 조사 및 정비 우선순위 평가(리스크 매트릭스법)

1.6.5 결론

본 위탁연구의 목표는 국내 실정의 복개하천 시설물을 표본 조사하여 구조적, 수리적 결함군들을 수집하고, 판독 방법론을 제시할 수 있는 진단 매뉴얼을 개발하는 것이다. 이를 위한 복개하천 시설물 표본 DB 조사는 서울시 관내의 성북구(성북동58-28 ~ 성북동1-3) 및 관악구 (중앙동975-2 ~ 신림동23-1)에서 실시하였다.

기존 문헌조사를 통해 구조적, 수리적 결함 항목의 유형을 정리하였고 이 중에서 복개하천 시설물에서 발생 가능한 내부결함을 발췌하였으며, 백태에 의한 균열은 새롭게 추가하였다. 표본 DB 조사 결과를 토대로 구조적, 수리적 결함 판독기준을 제시하였다. 이상항목 결함등급 및 결함점수를 통한 구조적, 수리적 결함 심각도 평가 방법을 제시하였다.

향후 더 많은 3차원 탐사자료를 통해 1차년도에서 반영할 수 없었던 결함 항목에 대한 검증이 필요하며 결함 판독기준 및 결함 심각도 평가 방법의 개선이 필요하다.

대형 하수박스암거의 속성 데이터베이스 구축을 위한 결함유형 평가

1.1 서론

따라서 본 연구의 목표는 대형 박스암거에서 실제로 발생하는 여러 결함사례를 조사 및 분석하고, 각 결함별 구조적 심각도 가중치를 제시하는 것이다. 이를 통하여 향후 국내에도 도입될 수 있는 원격 3D 탐사장비를 통한 데이터 수집시, 결함 데이터를 시스템 기반으로 생성하여 심각도 평가 및 정비 소요물량을 누계하고, 관리자에게 유지관리 의사결정을 지원할 수 있도록 하는 것이다.

1.2 결론

대형 하수박스암거를 데이터베이스화 할 수 있는 3D Laser Scanning 기술이 도래함에 따라서 박스암거의 구조적, 운영적 결함유형을 명확히 구분하고 결함자료를 분석할 수 있는 표준화 매뉴얼 개발이 필요하였다. 이를 위하여 국내 표본조사대상지역 3개 구를 선정하여 총 14,827m의 하수박스암거에서 발생하는 결함들을 수집하고 분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 표본조사구간에서 발견된 가장 많은 결함은 표면손상(Surface damage)군으로서 골재노출, 철근노출, 철근도출에 대한 각각의 결함밀도는 $2.17 \text{ m}^2/\text{m}$, $0.27 \text{ m}^2/\text{m}$, $0.10 \text{ m}^2/\text{m}$ 를 차지하였다. 두 번째 많은 결함군은 바닥면 세굴로서 $0.29 \text{ m}^2/\text{m}$ 를 차지하였다.

2) 하수박스암거의 결함구분은 원심력철근콘크리트관의 결함구분과 비교검토하여 재생성하였다. 박스암거에서 결함이 존재하지 않았기 때문에 제외가 필요한 결함코드는 JO(Joint, Open), PB(Pipe, Broken), PX(Pipe, Collapsed), DF(Pipe Deformation), PL(Protective lining defective), DE(Deposits, Encrusted), DG(Debris, Greasy), RI(Roots Intrusion) 였고, 박스암거에서 발생하는 결함특성을 반영하기 위해 신규 결함코드로서 BB(Box culvert, Bend), SR(Section Reduction), CE(Crack and Efflorescence), CI(Crack and Infiltration), FE(Floor Erosion), CD(Construction Debris), SI(Soil Ingress)를 제안하였다.

3) 박스암거 유지관리 의사결정지원을 위해 단계별로 5등급으로 배분하고 각각의 결함점수 범위를 배분하였다. 1등급은 조치없음에 해당하며, 2등급은 부분보수단계 C1, LF, BH 결함이 해당되었고, 3등급은 단면보수 및 준설 단계로서 C2, CE, DS1, SE, DS2, BB1이 해당되었다. 4등급은 주의깊은 벽면보수보강이 필요한 단계로서 RSF, FE, SP, C3, JF, CI, 등이 해당되었다. 5등급은 SR, NS, SI 결함이 해당되어 도심지 침수나 도로함몰을 예방하기 위한 박스암거의 전면적인 굴착 정비사업이 필요한 구간이다. 본 연구결과는 국내 하수암거를 조사하는 실무자에게 진단을 위해 유용하며, 관리자들에게 유지관리 의사결정을 지원할 것으로 기대된다.

(2) 3차원 원격 탐사 시스템 개발

구분	핵심성과	최종 성과점검기준	목표달성도	비고
3차원 원격 탐사 시스템	기본 설계	도면	도면제작	
	목합제작	목합제작	목합제작	
	원격탐사 시작품 제작	공인인증기관의 성능평가	대구기계부품 연구원 성능시험	특허:출원(1건) 시제품 1건 시작품 1건 상용화 제작 사업화 매출액 : 54억
	원격탐사 시제품 제작			
	3차원 원격탐사 제어장치			
	원격탐사 상용화제작	상용화 제작	상용화 제작	
	Laser Scanning 장비 테스트	성능test	성능test 보고서	

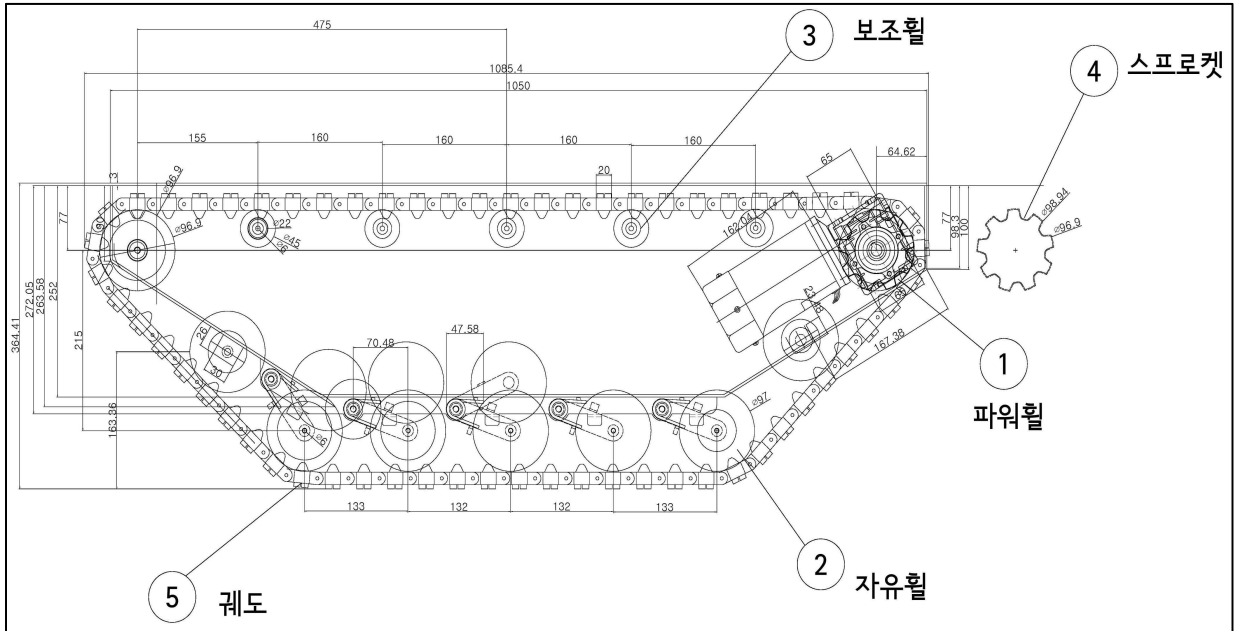
(가) 기본설계 및 목합제작

3차원 원격탐사 장비 기본설계시 고려사항

- ① 유량,유속
- ② 장애물 통과
- ③ 경사각 주행
- ④ 주행속도
- ⑤ 회전반경
- ⑥ 운행지속시간
- ⑦ 컨트롤러 제어

① 기본설계

3차원 원격탐사 장비 운행할 복개하천 및 대형하수박스를 고려하여 설계



② 목업제작

가로 X 세로 X 높이 의 설계도면을 활용하여 목업제작



그림 [4-1-2] 궤도형 탐사장비 목형제작

(나) 시작품 및 시제품 제작

탐사 로봇 제원은 23cm(가로) * 103cm(세로)*26cm(높이)로 구성. 유량흐름을 극복 할 수 있는 무게는 100kg,속도는 분당 18m이동 속도를 유지하고, 배터리 수명은 7시간 연속 사용 할 수 있는 배터리를 설치 할 수 있도록 제작,장애물 통과 가능하도록 앞쪽 경사각 주행 30도 제작,장애물 50cm 통과 가능.

장비명	크기(cm)	무게	속도	배터리 지속시간	수밀성	비고
궤도형 탐사 이동체	23X103X26	100kg	18m/m	7h (교체형)	100%	



그림 [4-1-3] 궤도형 탐사장비 시제품 제작

○수륙양용 탐사장비

장비명	크기(cm)	무게	속도	배터리 지속시간	수밀성	비고
수륙양용 탐사 이동체	23X103X26	100kg	18m/m	7h (교체형)	100%	

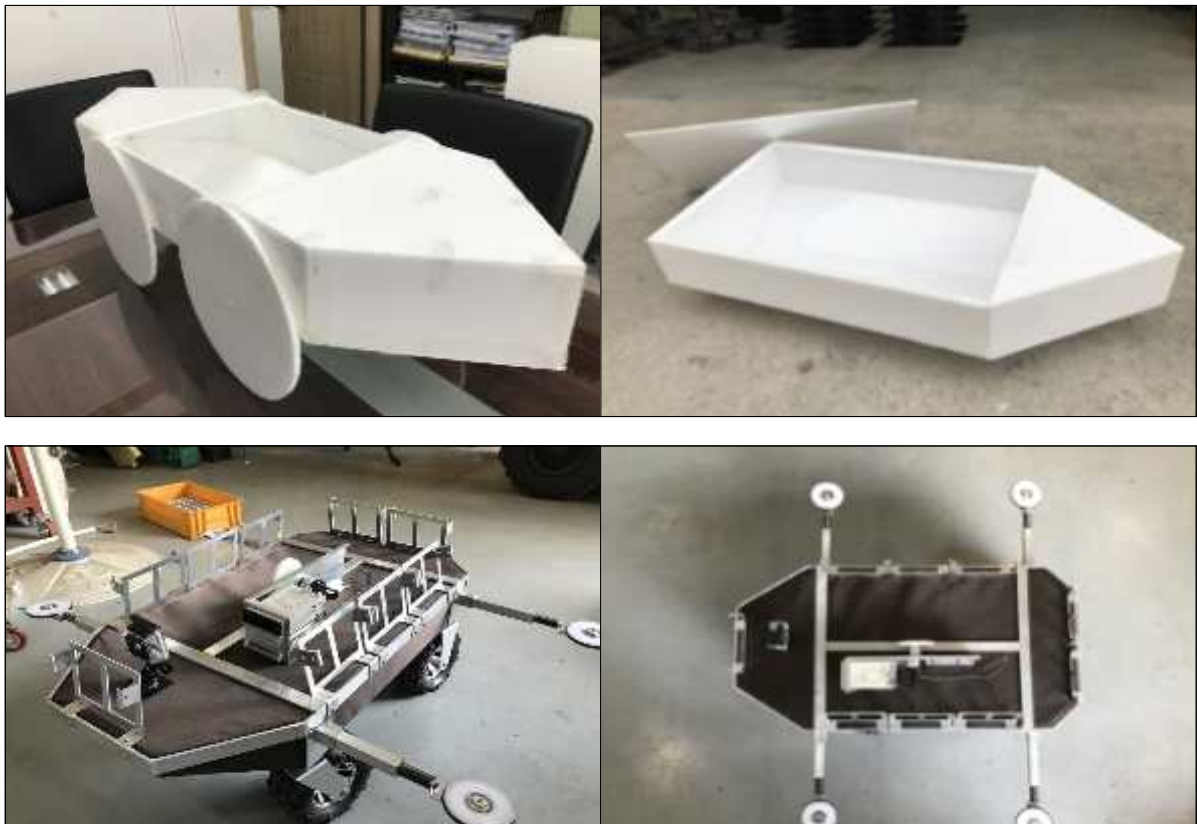


그림 [4-1-4] 수륙양용 탐사장비 시제품 제작

① 몸체

- 몸체 물에 부양 할수 있도록 아크릴 제작
- 측면 4바퀴 설치

② 바퀴

- 수륙양용 가능도록 고무재질 작성

③ 측면 바퀴

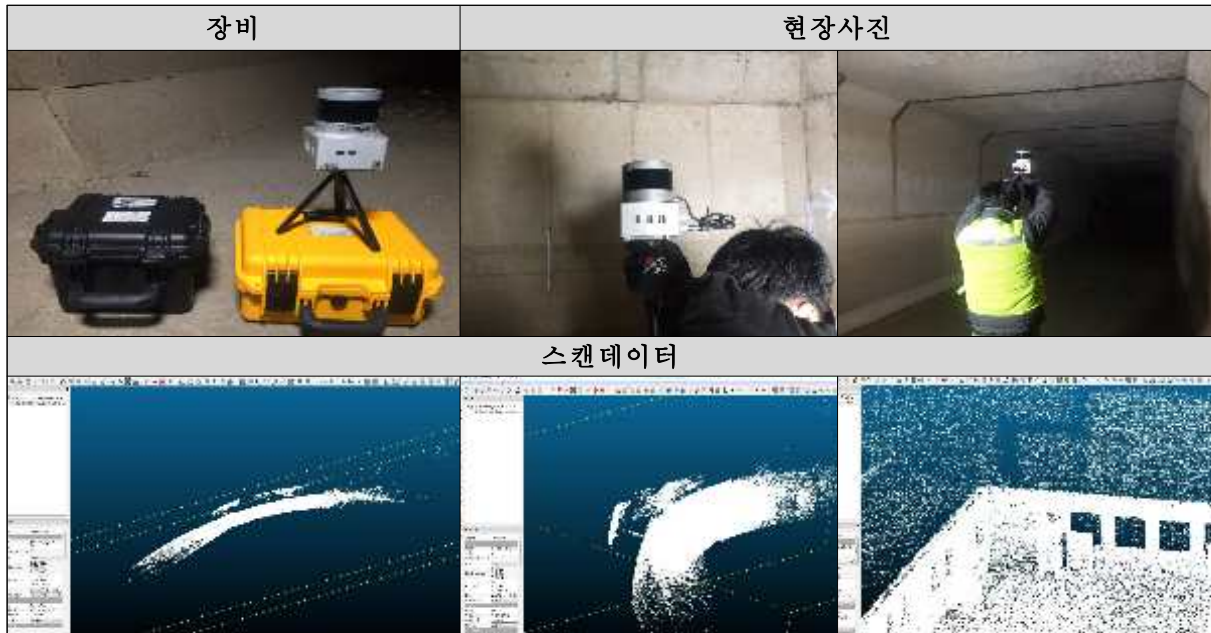
- 박스의 벽면을 따라 운행가능 하도록 플라스틱 재질로 롤 구조
- 박스의 규격에 따라 장축이 변경 될수 있도록 제작

(다) Laser Scanning 장비 테스트

Laser Scanning 장비 테스트는 Velodyne 외 3개회사를 비교 평가함

① Velodyne

제조사	제품명	관측방법	사용파장	최대스캔 속도	최소/최 대 스캔거리	시야 (FOV) 수직/수 평	거리 관측 정확도
Velodyne	VLP-16	Time of flight distance measurement with calibrated reflectivities	903nm	300,000 pps	0.5/100 m	30°/360°	±3cm(typical)



- VLP-16 모바일 스캐너로 IMU장치인 스텐실과 결합하여 스캔.
- VLP-16단자에 LEMO connector를 스텐실에 연결.
- Configuration 설정을 통하여 스캔 정확도 높임.
- 일률적으로 연결되는 하수관거의 특징상 정합오류 발생.
 - 중간중간 타겟 혹은 마커 부착으로 정합 정확도 높임.

② Geoslam

제조사	제품명	레이저등급	최대스캔속도	최소/최대 스캔거리	시야 (FOV) 수직/수평	거리 관측 정확도
Geoslam	Zeb-revo	class 1 eye safe	43,200pps	0.5m/30m	270°/360°	±0.1%(typical)
	Zeb-1	class 1 eye safe	43,200pps	0.5m/300m	270°/360°	±0.1%(typical)



- 모바일 라이다로 가볍고 사람이 직접 들고 가면서 스캔 가능
- 이동체에 장착하여 스캔 가능
- 별도의 수평유지 없이 촬영 가능
- 10x15x30cm크기의 타겟을 이용하여 정합오류 최소화
- 스캔 시작점에서 시작하여 다시 스캔 시작점으로 돌아와서 스캔 종료

③Leica

제조사	제품명	관측방법	사용파장	최대스캔 속도	최소/최대 스캔거리	시야 (FOV) 수직/ 수평	거리 관측 정확도
Leica	BLK360	high speed time-of-flight enhanced by Waveform Digitising (WFD)technology	830nm	360,000 pps	0.4m /60m	360° /300°	6mm@ 10m 8mm @20m
	P20	Ultra-high speed time-of-flight enhanced by Waveform Digitising (WFD)technology	658-808 nm	1,000,000 pps	0.4m /120m	270° /360°	±3mm @50m
	P40	Ultra-high speed time-of-flight enhanced by Waveform Digitising (WFD)technology	658-1550 nm	1,000,000 pps	0.4m/ 270m	290° /360°	±3mm @50m

- Pegasus는 지상에서 GPS신호를 먼저 받은 후에 지하 스캔 시작.
- P20/40은 4m 간격으로 스캔촬영.
- cyclone을 활용하여 정합 작업.
- 타겟 없이 visual 정합을 활용.
- 스캔데이터의 오차범위는 ±3mm @50m.
- BLK360은 외장카메라 없이 내장카메라로 촬영. 스캔 및 이미지 촬영시간 3분30초
- BLK360은 cyclone과 recap pro를 통하여 정합 작업.
- 조명에 영향을 많이 받는 BLK360은 조명의 밝기, 위치, 방법에 대한 점검 필요.

(라) 3차원 원격탐사 장비 공인기관 인증

성적서 번호 : TE-17-04515

시험대상 품목 : 원격탐사 장비 성능 시험

시험기간: 2017. 10. 17 ~ 2017. 10. 30

시험원 : 대구기계부품연구원

① 크기

(단위 : cm)

시험항목	x축	y축	z축
크기	46.3	105.5	29.3

② 속도

(단위:m/min)

시험항목	목표값	측정값
속도	18이상	19.44

③ 경사각 주행

(단위:도)

시험항목	목표값	측정값
경사각 주행	30	32.091

④ 회전반경

(단위:도)

시험항목	목표값	측정값
회전 반경	360	360도 이상 회전 가능함

⑤ 운행지속시간

(단위:hr)

시험항목	목표값	측정값
회전 반경	2	2.2

⑥ 장애물 통과

(단위:cm)

시험항목	목표값	측정값
장애물 통과	50이하 나무/돌 주행	나무(16cm)/비 평탄지역(돌) 주행가능

⑦ 컨트롤제어

시험항목	목표값	측정값
컨트롤러 제어	속도 유 ,회전 유	속도 유 ,회전 유

(3) GIS 기반 3차원 시설물관리 시스템 개발

구분	핵심성과	최종 성과점검기준	목표달성도	비고
GIS기반 3차원 시설물 관리 시스템	웹기반	설계서에 의한 구현	시스템 구현함	특히:등록(1건)
	3차원관리			
	동영상 관리			
	GIS 기능			
	3차원 전개기능			

(가) 웹기반,3차원관리,GIS 관리기능

- 서버에 구축된 Point 클라우드 데이터를 3D 지도영역에 디스플레이
- 3차원 데이터의 전체보기, 확대, 축소 기능을 구현
- 2D 지도화면, 3D영상 화면, 이미지 조회 화면으로 전체 시스템 화면을 구성



그림 [4-1-5]GIS 기반 시설물 관리 시스템

(나) 3차원 전개 기능

① 주요 기능

- 라이다(LiDAR)와 카메라를 활용하여 취득한 시설물 데이터를 좌측, 상부, 우측으로 펼친 이미지 제작 프로그램 개발
- 사용자의 편의성을 고려하여 3차 데이터를 전개하여 보여줌으로써 파손지점의 신속한 의사결정 지원
- 시설물 안전점검 기초자료 활용
- 펼친 이미지를 활용하여 시설물 내부의 손상 위치 및 규모 확인
- 평면 이미지 정보와 2D, 3D 데이터를 연계
- 이미지 선택, 조회, 확대/축소, 이동, 이미지 저장 기능을 구현



그림 [4-1-6] 3차원 전개 시스템

(4) 현장적용 실험

구분	핵심성과	최종 성과점검기준	목표달성도	비고
현장적용 실험	복개하천 및 대형시설물 탐사	공공측량성과 심사	국토지리정보원 공공측량성과 심사 획득	

- ① 수륙양용 상용화 제품 제작 전 기본적인 현장실험 수행
 - 토사 10cm이상 50cm이하 구간 장애물 극복 실험
 - 자갈 및 모르타르 10cm이상 50cm이하 구간 장애물 극복 실험
 - 수중구간 전.후진 및 좌우 조향실험
- ② 라이다와 360도 영상장비의 최적화된 조명장치 실험 수행
 - 조명밝기 최소 7200루멘, 최대 18000루멘 확보



[그림 4-1-7] 현장적용시험

-박스크기에 따라 조명밝기 조정 및 위치선정 실험

(1.0X1.0이상~1.5X1.5이하 / 1.5X1.5이상~2.0X2.0이하 / 2.0X2.0이상)

③현장실험을 통해 취득된 데이터 분석

④공공측량 성과심사 취득

2. 관련 분야 기여도

가. 측량 분야

(1) 시설물 위치 탐사중 불탐 구간 극복

- 심도 4m 이상인 구간, 자기장 장애 또는 지상공사 등으로 지상 탐사를 실시하지 못하는 경우 실측자료 없이 가상관저고로 자료 구축하였으나,
- 심도 3m 이상인 구간, 자기장 장애 등 기술적 한계 구간과 사유지 통과, 지상 공사 등 환경적 한계 구간은 탐사를 실시하지 못해 실측자료 없이 가상관저고로 자료를 구축하였으나,
- 지상 일부 및 지하 전체의 좌표값을 스캔(라이다 측량)하여 정합을 통해 심도값 해결하였음.

(2) 정확하고 정밀한 하수관망도 보유

- 대형박스 및 박스 유입관로의 1cm 간격의 고정밀 관망 데이터 확보.
- 대형박스 내부 모습을 실제 내부에서 보는 것처럼 제공.
- 하수도 수리검토 기초자료로써의 자료 활용도 향상.

나. 대형배수시설물 안전점검 분야

(1) 정밀안전진단 지역 선정 자료 활용

- 현재 사각형거 정밀안전진단 과업 지역의 선택은 문제 발생지역, 담당자의 경험 및 과거 정밀 안전진단 시행여부에 의해 결정.
- 정밀안전진단 사업 지역 선정시 사각형거 내부의 상황을 사전에 파악하여 노후화가 심한 지역을 선정하고, 정밀안전진단 시행.

(2) 정밀안전진단 기초자료 제공

- 지상라이다와 함께 촬영되는 고정밀 영상을 정밀점검 예비 조사 자료로 활용.
- 정밀점검 외관망도 작성에 활용하고 외관망도와 영상을 중첩해서 제공.

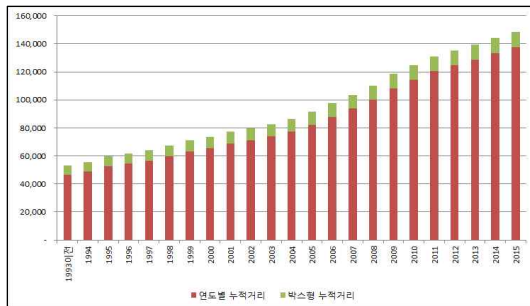
제 5장. 연구개발성과의 활용계획

1.사업화 계획

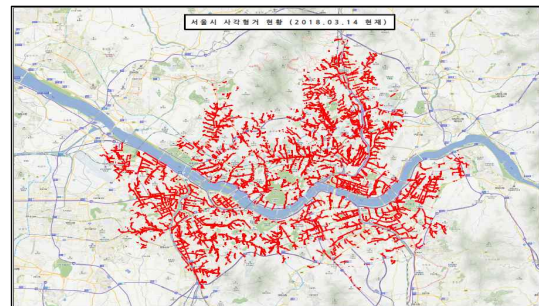
가. 시장현황 및 경쟁사(경쟁제품) 분석

(1). 시장현황

- 전국적으로 2015년 기준 철근콘크리트관(BOX형) 하수관로의 총 연장은 10,776km이며, 서울시의 총연장은 1,497km 임

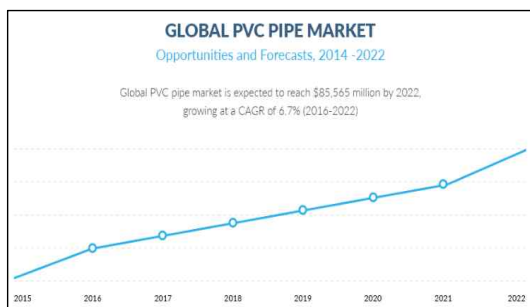


※ 출처 : 국가하수도정보시스템 통계자료

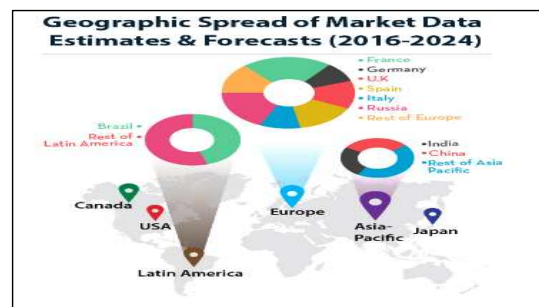


서울시 BOX형형거 현황(2018.03.14.기준)

- 세계적으로 건설활동 재개, 개발 도상국의 인프라 및 주거 프로젝트 증가 등의 요인으로 인해 상/하수도 세계시장은 2024년 3,524억 달러에 달할 것으로 예상됨
- 아시아 태평양 지역은 분석기간 동안 연평균 6.0% 이상 빠르게 성장하는 시장이며, 도시 인구 증가로 인한 상/하수도 시설 증가와 기존 하수도 노후화로 인한 교체 수요가 증가함
- Global Pvc Pipe 시장 규모는 2015 년에 5,424억 6천만 달러로 평가되었으며, 2022년까지 연평균 6.7 % 성장하여 8,556억 5천만 달러를 기록할 것으로 예상됨



<출처 : alliedmarketresearch >



<출처 : marketBytes Knowledge Center>

(2). 경쟁사 분석

- 현재 국내에서는 지하시설물 조사 및 탐사를 수행하는 기업이 다수(27개) 있으나, 대형배수시설물의 철근 콘크리트관(BOX형) 하수관로 안전점검의 경우 제안기관 이외에는 경쟁사가 없는 상황임
- 해외의 경우 스위스 'FLYABILITY'라는 회사에서 Elios 무인기를 활용한 지하시설물 조사 및 탐사 관련기술을 개발하고 있으며, 일본 블루이노베이션에서는 스위스 'FLYABILITY'회사의 Elios 무인기를 활용하여 기술협력으로 비즈니스를 진행 중임

일본 (블루 이노베이션)		스위스(FLYABILITY SA)	
- 도쿄에 본사를 두고있는 혁신적인 무인 항공기 솔루션 공급 업체 - 보안, 실내 검사, 교육/안전, 엔터테인먼트/물류 5 서비스 - 하수/전화 터널 검사를 위한 Elios 무인기의 사용을 개발/실험		- Flyability는 접근하기 어려운 장소에 안전한 무인 항공기를 활용하여 점검하는 스위스 회사 - 주요 시장(산업 검사) 발전/석유 /가스/해상 인프라 등 검사 - 검색/구조/보안 분야에서 인명 피해 없이 긴급 상황 평가	
- (유효탐재량) 풀 HD 카메라, 열상 카메라, 원격 조정이 가능한 온보드 LED(28W) 조명 시스템 - (보호 프레임)보호 틀 사후 선교 리뷰 탄소 섬유 구조 - (지상장치) 리모트 컨트롤러/타블렛/라이브 텔레 메 트리 데이터/SD 라이브 비디오 스트림 - (사용성) 0° ~50° 환경/쉬운 조정/무인항공기 규정 미 적용 - 속도 4m/s, 사이즈 400mm, 2.42.4 GHz 주파수 대역, 150m 터널 내에 구성된 작은 커브 - 비행시간 10분, 자중 700g, 비행경로(IMU, 자기계, 기압계),			
Elios 제원			

경쟁사명		사업분야	경쟁사명		사업분야	
1	(주)선****링	경기	측지수치지하	15 대****업(주)	서울	측지수치지하
2	(주)신****업	경기	측지수치지하	16 (주)대****솔	경북	측지수치지하
3	(주)미****보	경기	측지수치지하	17 (주)대****지	경기	측지수치지하
4	삼****솔(주)	경기	측지수치지하	18 (주)원****보	인천	측지수치지하
5	(주)삼****씨	강원	측지수치지하	19 (주)지****21	경기	측지수치지하
6	중****업(주)	서울	측지수치지하	20 명****보(주)	경기	측지수치지하
7	(주)범****링	경기	측지수치지하	21 서****업(주)	경북	측지수치지하
8	대****업(주)	서울	측지수치지하	22 (주)한****보	서울	측지수치지하
9	공****솔(주)	경기	측지수치지하	23 (주)그****보	경남	측지수치지하
10	(주)지****선	서울	측지수치지하	24 (주)라****트	서울	측지수치지하
11	(주)아****측	경기	측지수치지하	25 중****씨(주)	경기	측지수치지하
12	삼****업(주)	경기	측지수치지하	26 네****템(주)	서울	측지수치지하
13	새****업(주)	충북	측지수치지하	27 천****측(주)	인천	측지수치지하
14	제****업(주)	경기	측지수치지하			

표 [5-1-1] 국내·외 지하시설물 조사 및 탐사 분야 업체 현황

나. 제품화 및 양산 계획

- 대형배수시설물은 5년 마다 주기적으로 점검하도록 법제화 되어 있으며, 그간 육안조사 방법으로 해온 대형 배수시설물 조사를 3차원 라이다 측량기술을 통해 점검이 가능해짐에 따라 관련 시장 규모는 확대 될 전망이다
- 연구종료 후 1년('18 ~ '19) 중 최종 상용화 제작을 완료하고 시장에서 판매 할 수 있도록 인증을 확보할 계획임
- 연구 종료 후 12개월 이내에 OEM(주문자 생산방식)방식의 제품 양산을 위해 생산 공장과 계약을 체결하고 초도 양산을 실시 할 계획임

다. 마케팅계획(판매처 현황, 판로확보계획 등)

(1). 신청기업 주요 실적

- 하수암거 시설물 유지관리 계약실적은 2016년 이후 계약건수는 7건, 계약금액은 58.1억 원임
- 본 제안기술의 제품화를 통해 국내·외 제품판매 및 용역을 수행하는 등 당사 사업을 다변화 할 계획임

(단위 : 천원)

번호	사업화 방식	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		계약 연도	
						국내	국 외		
1	용역	관악구	하수암거시설물 DB구축	하수박스 3차원 레이저 촬영	(주)한국지중정보	177,000		2016 ~ 2017	
2	용역	서울시	하수암거시설물 DB구축	하수박스 3차원 레이저 촬영	(주)한국지중정보	1,385,000		2017	
3	용역	동대문구	하수암거시설물 DB구축	하수박스 3차원 레이저 촬영	(주)한국지중정보	21,100		2017	
4	용역	종로구	하수암거시설물 DB구축	하수박스 3차원 레이저 촬영	(주)한국지중정보	548,700		2017	
5	용역	서울시	하수암거시설물 DB구축	하수박스 3차원 레이저 촬영	(주)한국지중정보	2,400,000		2018	
6	용역	도봉구	하수암거시설물 DB구축	하수박스 3차원 레이저 촬영	(주)한국지중정보	430,000		2018	
7	용역	중랑구	하수암거시설물 DB구축	하수박스 3차원 레이저 촬영	(주)한국지중정보	850,000		2018	

표 [5-1-2] 한국지중정보 용역 계약서 기준

(2). 주요 고객군

- 우리나라에서 관리하고 있는 철근콘크리트관(BOX형) 하수관로의 총연장은 10,776km이며, 서울특별시의 총연장은 1,496km이고 주요 6대 광역시의 총연장은 3,969km임
- 현재 하수관로는 '94년 41.9% 하수도 보급률이 '04년 81.4%로 급증하였으며, '93년도 설치한 하수관로는 현재 25년이 지나 노후관로로 판단되어 정밀조사가 시급한 상황이라 시설물 유지보수를 위하여 자치구 자체에서 안전점검 및 유지보수 사업이 곧 발주 될 것으로 예상됨

구분	매출분야	정책분야
2018년	서울,부산,울산 등 (9개 특별시/광역시)	시설물 특별법 관리대상 안전점검시 점검방식 개편추진
2019년		
2020년	서울,부산,울산 등 (9개 특별시/광역시)	노후배수시설물 관리 솔루션 구축 (H/W 및 S/W)
2021년	경기도, 강원도 등 (8개 자치단체)	
2022년	시, 군, 구 기초 자치단체 (226개 기초 자치단체)	

(단위 : km)

지역구분	BOX형 철근콘크리트관	지역구분	BOX형 철근콘크리트관
서울특별시	1,497	경기도	1,299
부산광역시	1,406	강원도	283
대구광역시	477	충청북도	192
인천광역시	627	충청남도	264
광주광역시	535	전라북도	416
대전광역시	255	전라남도	639
울산광역시	669	경상북도	845
세종특별자치시	59	경상남도	771
제주특별자치도	542		
소계	6,067	소계	4,709
합계		10,776	

표 [5-1-3] 국가하수도정보시스템 통계분석 자료 2015년 기준

- 해외의 경우 당사와 유사 점검·계측 전문기업을 대상으로 판촉 활동을 추진하고 해당 국가 전시회 등에 참여하여 제품을 홍보 할 계획임
- 또한, 해외 지자체 대상으로 제품 홍보를 통해 전문기업의 제품 구매에 영향을 미치도록 할 계획임.

라. 수출(수입대체) 계획 및 효과

- 대형배수 시설물 라이다 측량기술 과 관련하여 해외에서도 하수관로 점검의 중요성을 인식하여 정부, 대학 및 지자체와 협력하여 프랑스에서 유사 제품 관련 제품을 개발하고 성능 개선을 하고 있음
- 다만, 하수관로를 대상으로 시범작업을 시행하고 있으며, 상용화를 위해 현장 테스트를 수행하고 있어, 국내 진입이 가시화되고 있는 상황임
- 따라서, 3차원 원격탐사기술을 성공적으로 완료할 경우 프랑스에서 개발된 제품에 대한 수입대체 효과를 꾀할 수 있으며, 국내시장 규모를 감안할 때 약 15억원의 수입대체 효과를 창출할 수 있음
- 또한, 중국·베트남·영국·프랑스·일본 등 지하관로가 많은 국가를 대상으로 수출을 기대할 수 있으며, 예상 시장은 연간 10억 ~ 25억원 기대됨

▷ 개발된 제품의 판매는 한국무역투자진흥공사(KOTRA)의 지사화 사업 등을 활용하여 해외 국가별로 수입희망기업 및 Agent 등을 사전조사 및 마케팅 전략을 수립하여 사전영업을 통해 수출효과를 높일 예정임

- 국내 점검 계측전문기업은 약 27개로 1개 기업당 1대 제품 판매를 목표로 할 때 약 40.5억원(27개 기업 x 1대 x 1.5억원)임
- 전문기업의 km당 1,300만원의 점검비용을 고려 할 때 10,776km 점검 시 약 1,400억원의 매출이 기대되며, 매 5년마다 점검 시 5년 마다 동 매출이 발생 할 것으로 전망됨

구 분		사업화 년도			
		(2018)년 (개발종료)	(2019)년	(2020)년	(2021)년
사업화 제품		원격탐사 점검영상장비	원격탐사 점검영상장비	원격탐사 점검영상장비	원격탐사 점검영상장비
투자계획(백만원)			300	300	300
판매 계획 (백만원)	내 수	-	300	600	900
	직접수출	-	-	300	300
	간접수출	-	-	-	-
	계	-	300	900	1,200
비용절감(백만원)		-	-	-	-
수입대체(백만원)		-			

표 [5-1-4] 과제 관련 사업화 계획 및 기대효과(장비부문)

마. 타분야 확대 적용방안

(1). 지하시설물 맨홀점검 분야

- 지하안전관리에 관한 특별법 시행(2018.1.1)

- 지하를 안전하게 개발하고 이용하기 위한 안전관리체계를 확립함으로써 지반침하로 인한 위험을 방지하고 공공의 안전을 확보함을 목적
- 지상에 있는 맨홀 안전점검(전기,통신,상하수도등)
- 맨홀에 대한 안전점검 분야에 라이다 촬영방법 적용하여 정밀점검

2. 활용분야

가. 측량분야

- 대형 배수시설물은 지하공간에 설치되어 있으므로 지상에서 시설물의 위치를 알수 없으므로 국가에서는 시설물 관리기관에서 지하시설물도를 작성하여 관리하도록 규정
- 하수박스 지하시설물도 측량 적용 및 공공측량 성과심사 적용
- 하수시설물 수리 계산시 인입관로에 대한 정확한 관저고 값 확보로 시설물 용량 검토 적용
- 기존 지하시설물 측량시 4m 이상 깊은 심도로 인한 불탐구간, 라이다 측량을 통한 시설물 정확도 확보



그림 [5-1-1] 지하시설물도 작성 활용

나. 시설물 유지관리 분야

- 대형배수시설물 안전점검 분야 기초 외관망도 작성에 적용
- 대형박스 시설물 육안조서 작성분야 적용

- 대형배수시설물은 시설물특별법에 의한 안전점검 대상으로써,라이다 측량에 의한
- 사각지대 없는 데이터 구축,현장점검자의 주관적인 데이터 구축에서 전문가에 의한 객관적인 시설물 유지관리
- 입체적인 데이터 확보로 시설물 생애주기 시스템 구축
- 효율적인 시설물 점검 및 보수보강 적용



그림 [5-2-1] 안전점검 활용

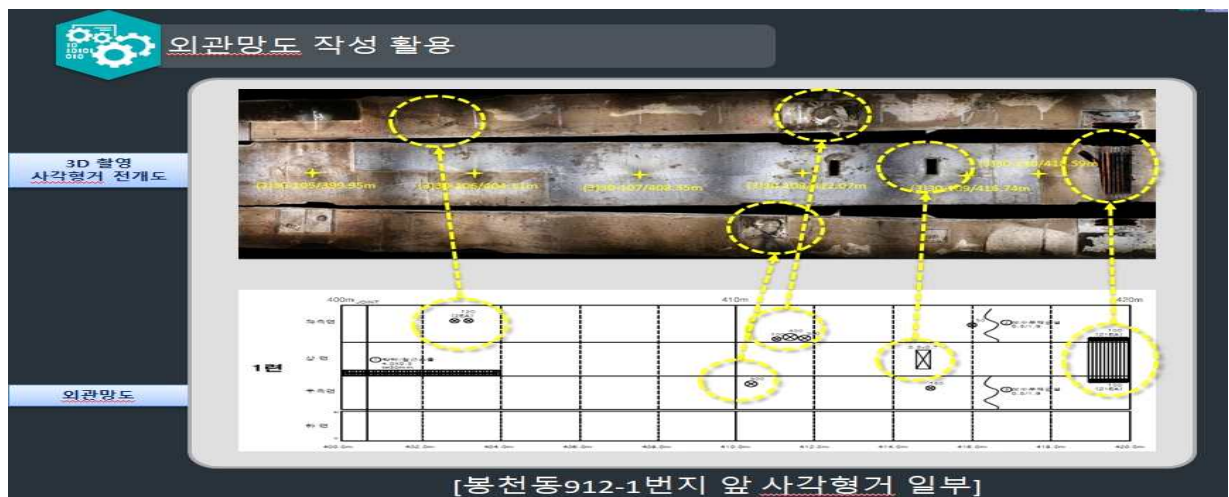


그림 [5-2-2] 안전점검 외관망도 작성



그림 [5-2-3] 복개구조물 생애주기 관리

다. GIS 시설물 관리

GIS 기반 3차원 자료 관리시스템 구축하여 3차원 자료를 시설물관리에 활용

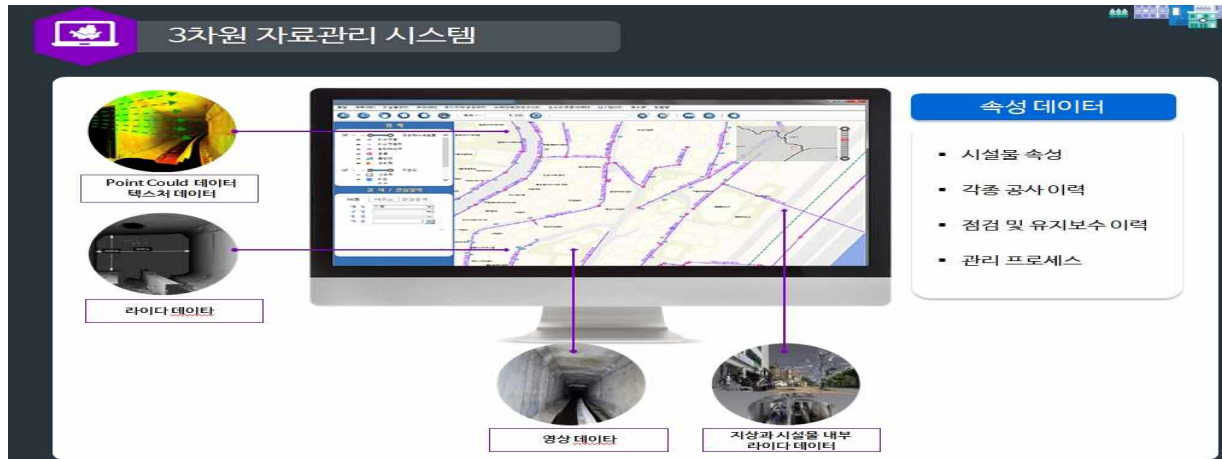


그림 [5-2-3] 3차원 자료 관리시스템

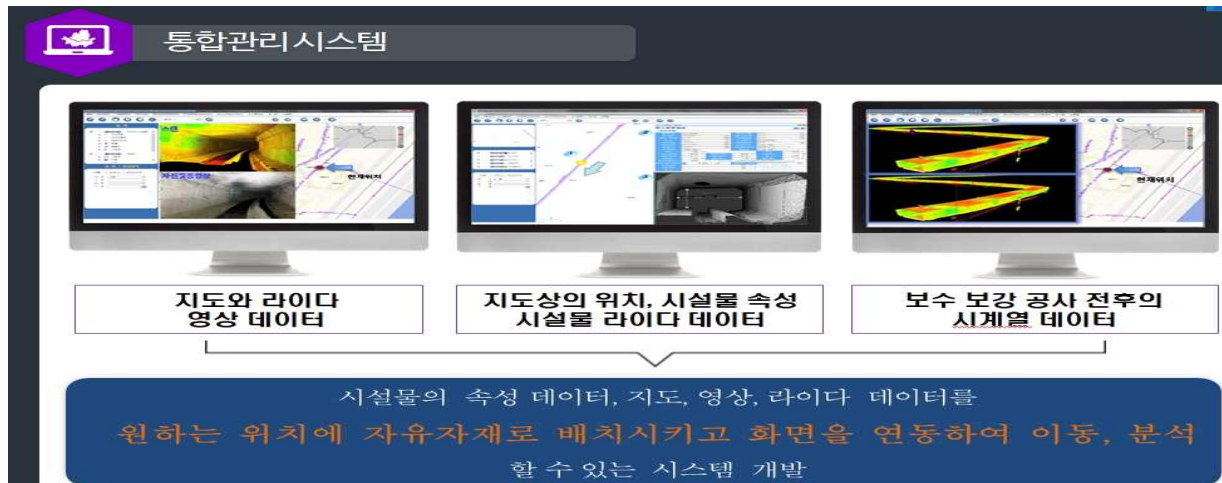


그림 [5-2-4] GIS 기반 3차원 자료 관리시스템

3. 보완의견에 따른 연구 방안

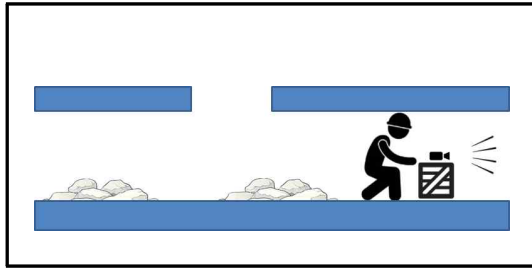
- 향후 이동체와 관내 위치 인식은 상용제품을 도입하여 생산성을 높일수 있도록 추진 하는 방안이 필요함.
- 완전 자동화된 장치보다는 사람의 역할을 줄이는 방향으로 시스템 개발 필요

가. 자율 주행드론을 활용한 대형복개구조물 촬영

- 자율 주행드론을 활용하여 철근 복개구조물 콘크리트관(BOX형)을 대상으로 360° 영상 정보 및 라이다 촬영
 - 영상촬영 카메라를 장착한 자율 비행드론을 지상에서 지하 복개구조물 콘크리트관(BOX형)에 투입하여 360° 영상정보를 취득하고 취득한 영상정보에 거리정보를 통합

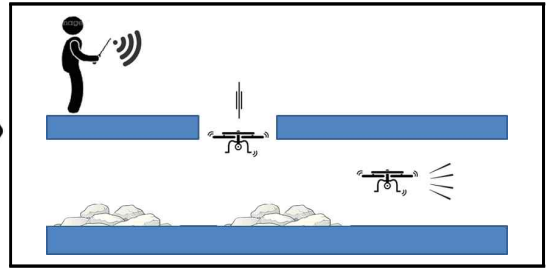
함으로써 지하 복개구조물 콘크리트관(BOX형) 보수·보강에 활용 할 수 있는 시스템 개발

- 철근 콘크리트 BOX형 하수관로의 공간적 제약조건, 장애물에 의한 작업성 효율 저하 및 안전사고 발생 위험성 등으로 인해 안전점검의 사각지대로 방치되고 있음



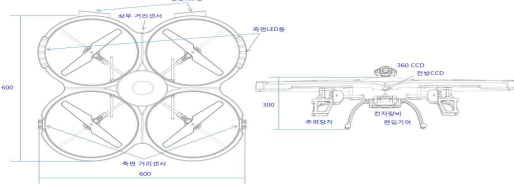
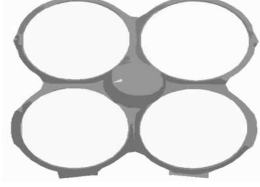
〈인력에 의한 조사방식〉

1일 조사 거리 : 300m



〈드론을 통한 촬영 기술〉

1일 조사 거리 : 3,000m

비행체 형상 예상 디자인		
		

나. 타사에서 측정된 데이터도 본 개발품에 호환 가능하도록 노력할 필요.

본 과제의 3차원 라이다 측량 데이터는 imp 파일 포맷이고,

타 장비의 3차원 측량 데이터 포맷의 종류는 21개에 이르고 있다

(데이터 포맷 종류 : blk, ptb, ptg, ptz, coe, dp, e57, fls, fpr, fws, zfc, zfs, las, xml, ixf, rxp, rsp, sc2, pts, msh, all ascII files)

이러한 3차원 측량 데이터는 공통적으로 pts 파일을 통하여 상호 호환이 가능

다. 장비성능에 대한 규격서 필요.

○ 수륙양용 이동체 사양

-Weight: 37kg

-Width: 620mm

-Depth: 760mm

-Height: 400mm



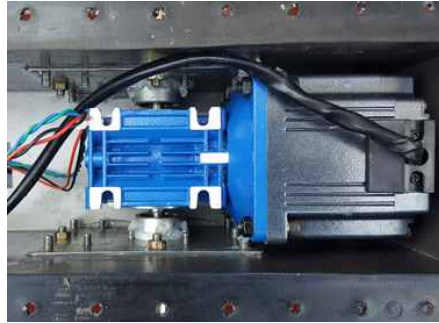
○ 수륙양용 이동체 구성요소

1) BLDC모터

- 사양: DC24V / 150W

- 회전: 3000RPM 감속비 60:1

참고사진



2) 배터리

- 종류: 리튬폴리머 배터리

- 사양: DC24V / 40AH

참고사진



3) 좌우방향 회전모터

- 사양: DC24V / 40AH

참고사진



4) 수상 전후진 스크류모터

- 사양: DC24V / 12W

참고사진



5)무선 조종기

-모델: DX6e

-주파수밴드: 2.4GHz

참고사진



6)무선수신제어 PCB

참고사진



7)배터리 잔량 표시기 및

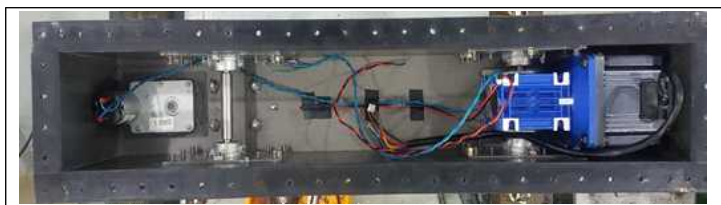
물감지 경고 Buzzer

참고사진



○수륙양용 이동체 구성부

1)추진부



2)제어부



제 6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

1. 주요 핵심기술의 국외 기술 동향 및 수준

- 일본은 국내와 같이 원형관로 관측을 위해 CCTV 자주차와 관련된 기술을 개발하고 있으며, 영상정보와 거리 정보를 취득하여 표출하는 기술에 중점을 두고 있음
- 스웨덴은 관로선형 관리를 위해 단순 관로의 경사도만을 측정하는 견인식 경사도 측정 장비를 개발하였음
- 미국은 원형관로 내부 퇴적물 회피를 위해 제안기술과 유사한 원형관내 벽면을 따라 주행할 수 있는 이동체(3개 바퀴)를 개발하였으며, 관로 구경별로 200mm~300mm 주행 이동체는 10kg, 450~900mm 주행 이동체는 약 43kg의 체원을 가짐

2. 주요 핵심기술 및 관련제품의 국외 시장현황

- 세계적으로 건설 활동 재개, 개발도상국의 인프라 및 주거 프로젝트 증가 등의 요인으로 세계 상/하수도 시장은 2024년 3,524억 달러 수준으로 예상하고 있음
- 아시아 태평양 지역은 도시 인구 증가로 인한 상/하수도 시설 증가와 기존 하수도 노후화로 인한 교체 수요가 증가하고 있음
- 세계 PVC Pipe 시장 규모는 2022년까지 연평균 6.7%씩 성장하여 8,556억 5천만 달러에 이를 것으로 전망되고 있음
- 관망 시설 증가 및 시간경과에 따라 노후화관 교체 및 보수 등 유지보수와 관련 규모가 확대될 것으로 예상됨

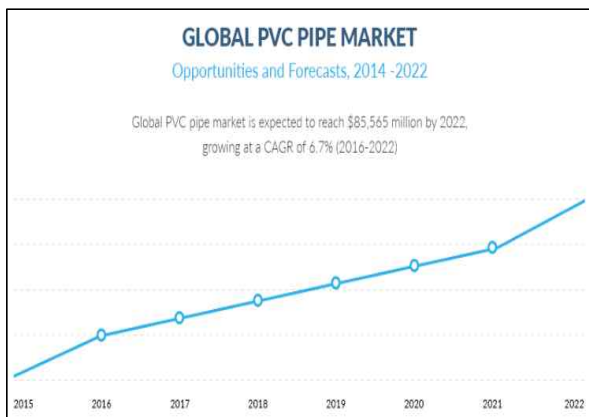


그림 [6-2-1]

<출처 : alliedmarketresearch >

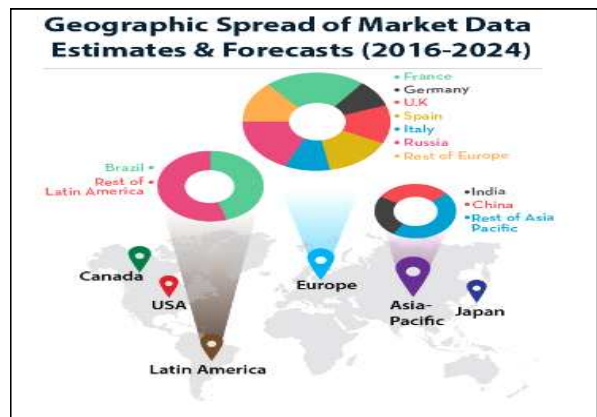


그림 [6-2-2]

<출처 : marketBytes Knowledge Center>

3. 주요 핵심기술 및 관련제품의 국내 경쟁기관 현황

- 국내 기업의 경우 CCTV 자주차를 주로 개발하고 있으며 일부 제품의 경우 선진국에 수출을 통해 기술력을 입증 받고 있음
- 개발된 자주차는 영상정보, 거리정보, 경사 정보를 취득 할 수 있으나, 자주차가 바닥면을 주행하므로 관로내부에 퇴적물 존재시 퇴적 규모에 따라 일부 주행이 불가능한 한계가 있으며, 결함유무는 작업자가 판단하도록 되어 있어 측량오류 여지를 안고 있음

구분	(주)탑전자산업	(주)웹솔루스
사업 분야	상하수관로 검사제품, 인명구조장비, 특수관로 조사 카메라 장비 생산	종합엔지니어링, 상하수도 유지보수 장비 및 전기공사업/정보통신공사업 등을 수행
주요장비 명칭	- 로보캠 이노베이션 및 로보캠 시리즈	- CRUISER 250S/CRUISER 150하수도 CCTV 로봇 장비
주요장비 형상		

4. 주요 핵심기술 및 관련제품의 국외 경쟁기관 현황

- 일본의 기업은 (주)KASTOOL 등이 있으며 주로 CCTV 자주차를 개발하고 있음
 - 측량 관련기업은 (주)KANSEI, (주)칸스루, SGC하수도센터(주) 및 도시바 텔리(주) 등 있으며, 자주차를 활용한 영상정보와 거리 정보 위주의 조사를 실시하여 파손 부위에 대한 유지보수를 하는 상황임
- 스웨덴의 REDUCT社는 견인식 경사도 측정 장비를 개발하였으며, 해당 장비특성은 관로의 경사도에 한정된 정보만 조사할 수 있음

구분	(주)KASTOOL (일본)	REDUCT (스웨덴)
사업분야	하수도 관로청소, 조사, 보수업체	유틸리티조사, 레이저스캐닝, 검사 및 모니터링
주요장비 형상		

5. 국내·외 지식재산권 현황

가. 주요 핵심기술의 특허현황

- 관련 특허 검토 결과, 4건의 유사 특허가 도출되었으며, 세부내용을 보면 활용목적은 유사하지만 주로 CCTV 자주차 및 360°카메라와 관련된 특허 등으로 분석됨
- 제안 기술은 퇴적물 등으로 CCTV 자주차 진입이 어려운 원형관까지 조사가 가능한 3축 이동체 개발 및 기존 상용품인 Depth 센서 영상(2D)과 360° 카메라영상(3D)을 통합하여 표출하기 위한 변환기술, 결합정보와 거리정보를 영상에 표출하는 통합 영상기술 및 원형관 선형을 영상정보와 함께 GIS 맵에 연동 및 DB화하는 기술 등이 핵심기술로 기존 특허간의 차별성이 높은 것으로 판단됨

연번	구분	등록 번호 (등록일)	발명의 명칭	주요 내용
1	등록	KR1442759B1 (2014.09.15.)	하수관 관로 결함 분석 시스템	- 하수관의 내부 관로를 따라 주행하는 탐사용 자주차에서 취득되는 영상을 활용하여 관로의 결함 상태를 확인함 - 수집된 영상정보에 기반하여 3차원 그래프 형태로 랜더링
2	등록	US7164476B2 (2007.01.16.) EP1305594B1 (2010.01.06.)	APPARATUS AND METHOD FOR DETECTING PIPELINE DEFECTS	- CCD카메라를 구비한 프로브를 파이프라인 내에 넣어, 파이프라인 내부의 360도 전방위 영상을 취득하여 결함 상태를 확인함
3	등록	KR0386737B1 (2003.05.26.)	관내벽면 관측장치	- 스캐너를 관내에 삽입하고 스캐너를 관내의 중심축선을 따라 이동시키면서 화상 데이터를 수집하여 결함 상태를 확인함
4	등록	KR1548320B1 (2015.08.24.)	관로의 경로 위치 파악을 위한 관로 맵핑 프로브 장치	- 관로 내부를 따라 이동하면서 위치 정보를 수집하여 3차원 지도상에서 관로의 정확한 위치 정보를 파악함

나. 주요 출원인별 특허동향

- 대상 기술과 관련된 특허를 많이 출원한 주요 출원인들을 살펴보면, 국내 기업인 삼성전자 15건의 특허를 출원하였으며, 그 뒤를 이어서 PHILIPS, THOMSON LICENSING, SONY 등이 있음
- 특히 삼성전자, THOMSON LICENSING 및 SONY는 UHDTV 위성방송 표준 관련 특허 라이선싱을 구축하고 있는 만큼, 영상 처리와 관련된 다양한 특허를 확보하고 있는 것으로 보임
- 대상기술과 관련해서는 자국 출원뿐만 아니라 해외 출원 특히 미국 출원이 가장 많이 이루어지고 있는 점에 비추어 보면, 대상기술과 관련된 시장은 국내 시장보다는 해외 시장이 선도하는 중인 것으로 판단됨
- 또한 PCT 출원이 국내, 일본, 유럽 출원보다 많은 점을 보면 PCT를 통한 여러 해외 국가에 진입하기 위한 것으로서 해외 시장이 크게 증가하고 있는 추세인 것으로 판단됨

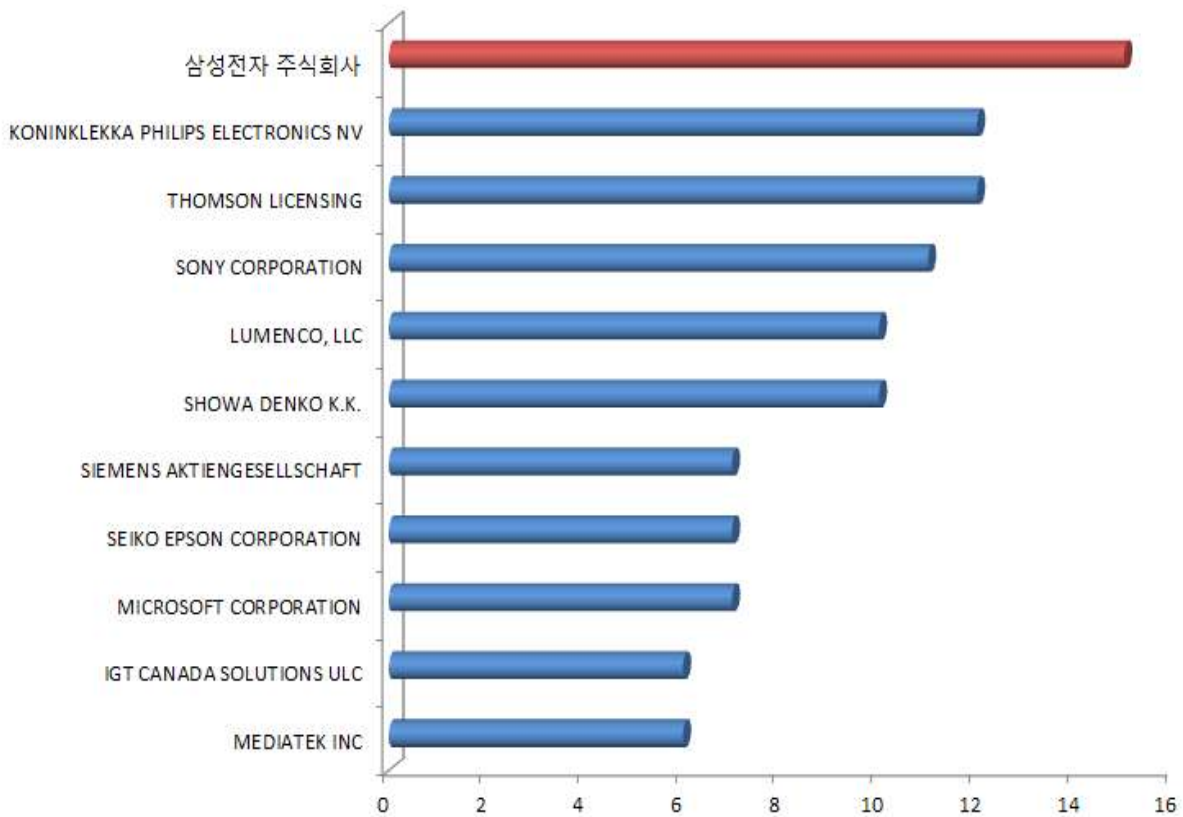


그림 [6-5-1]

제 7장. 연구 개발성과의 보안 등급

--

제 8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호
	스텐실	Stencil	1	2016.06.28	31,900	루미솔	(주)한국지중정보	NFEC-2017-07-239080

제 9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

--

제 10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
	논문	대형하수박스 암거의 속성 데이터베이스구 축을 위한 결합유형 평가	한국건설기술 연구원		상하수도 학회지		2017.12		일반
	특허	하수관거 탐사 장치	(주)한국 지중 정보				2017.11		
	특허	암거시설물 모니터링 시스템	(주)내가 시스템				2018.1		
	시제품	수륙양용이동체 (보트, 탱크)	(주)한국 지중 정보				2017.12		

제 11장. 기타 사항

제 12장. 참고 문헌

- [1] 서원균, 2014, “항공 라이다와 지상라이다를 이용한 고정밀 하천지형 DEM생성” 석사 학위 논문, 서울시립대학교
- [2] 추기환, 2009, “항공레이저 측량을 이용한 하천수계 중·횡단측량 적용방안 연구” 석사 학위 논문, 경기대학교
- [3] 김용돈, 2014, “지상라이다 시스템을 활용한 현황도 작성 및 중형 단측량” 석사 학위 논문, 한경대학교
- [4] 한국공간정보학회지, 지상라이다를 이용한 지하철 역사의 3D 실내공간정보 구축방안 연구, 2013학위 논문, 서울시립대학교
- [5] 정창삼, 2014, R2V2와 UAV를 이용한 3차원 하천지형정보 취득 기법개발 “한국 방재 학회 논문집, 14권, 3호, PP269-275
- [6] 박진우, 2014, “무인항공기(UAV)를 이용한 모니터링에서의 통신모듈 시스템 설계 및 개발” 자료, 부경대학교

연구요약서

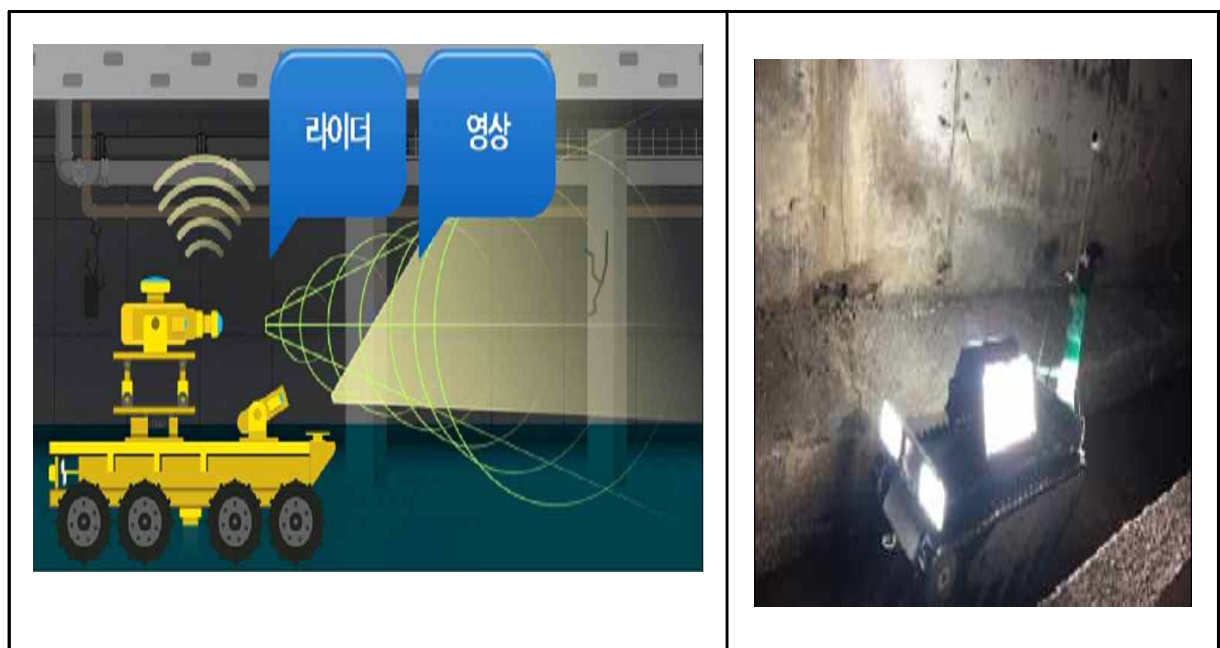
노후화된 대형 배수시설물의 3차원 안전관리 시스템 개발

■ 연구 개요

본 연구는 노후화된 대형 배수시설물의 내부를 3차원 라이더 측량 및 동영상 촬영하여 시설물의 유지관리, 물리적 상태, 시설물 기능, 시설물의 성능에 관한 정보를 제공할수 있는 기술 개발

■ 연구 결과

○ 원격탐사 장비 개발



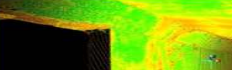
장비명	크기(cm)	무게	속도	배터리 지속시간	수밀성	비고
궤도형 탐사 이동체	23X103X26	100kg	18m/m	7h (교체형)	100%	

[표 1] 원격탐사 장비 제원

사각형거 측량 속성 상세보기

3차원

환영데이터



정합



정합데이터



- 라이다로 취득된 배수시설물 3차원 데이터를 활용하여 입체적으로 관리
- 기존 2차원 기반의 지리정보 시스템을 3차원으로 확장
- 2차원 데이터와 3차원 데이터 연계
- 시스템을 사용하는 모든 사람이 시설물 내부에서 실제 조사하는 것처럼 볼 수 있는 3차원 시스템을 구축
- 수치지형도 및 시설물 2차원 데이터와 시설물 내부의 3차원 지도 화면, 시설물 내부의 펼친 이미지를 한 화면에서 확인함으로써 위치 및 상태에 대한 직관적 판단 가능
- 시설물 내부를 주행설정 및 마우스를 이용해 자유자재로 컨트롤하고 내부 상태 및 손상

현황을 확인



그림 [4] 3차원 시설물 관리 시스템 메인 화면

시스템 화면 구성 예시		사용자 화면관리 기능 예시	
메뉴바 및 업무 아이콘 2D 지도화면 영역 평면 이미지 화면 영역 3D 영상화면 영역		▪ 화면 ON/OFF 기능 ▪ 화면위치 및 구성 변경 ▪ 화면 크기 변경	
업무 진행사항 및 기능			
▪ 업무화면 별 ON/OFF 기능버튼 적용 ▪ 업무화면 자동 화면 채움 설정 기능 적용 ▪ 화면에 대한 마우스 드래그 창 조정 기능 적용		▪ 개별 업무화면 스냅 기능 적용 ▪ 전체 화면에 변경에 따른 업무화면 자동 크기조정 기능 적용 ▪ 시스템 설정에 화면구성 환경설정 기능 적용	

그림 [5]화면 구성

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통과학기술진흥원에서 시행한 사업화지원 사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통과학기술진흥원에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.