17SCIP-B079689-04

Land Infrastructure and Transport R&D Report

ICT를 활용한 건설장비 관제 및 스마트 시공 기술 개발 최종 보고서

2018

국토교통과학기술진흥원

국토교통부

보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )

건설기술연구사업 제 4차 연도 최종보고서

R&D / 17SCIP-B079689-04

ICT를 활용한 건설장비 관제 및 스마트 시공 기술 개발 최종보고서

2018. 2. 15.

주관연구기관 / 한양대학교 산학협력단

협동연구기관 / 부산대학교 산학협력단

국 토 교 통 부

국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘ICT를 활용한 건설장비 관제 및 스마트 시공 기술 개발’(연구개발 기간 : 2014. 7. ~ 2017. 12.) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2018. 2 . 15 .

주관연구기관명 : 한양대학교 산학협력단 대표자 (성 태 현) (인)

협동연구기관명 : 부산대학교 산학협력단 대표자 (윤 석 영) (인)

참여기관명 : 서울과학기술대학교 산학협력단 대표자 (이 동 훈) (인)

한국건설기술연구원 대표자 (한 승 헌) (인)

경북대학교 산학협력단 대표자 (최 제 용) (인)

중앙대학교 산학협력단 대표자 (김 원 용) (인)

인하대학교 산학협력단 대표자 (이 성 규) (인)

㈜두산인프라코어 대표자 (손 동 연) (인)

주관연구기관책임자: 한양대학교 서 종 원
협동연구기관책임자: 부산대학교 문 성 우
참여기관책임자: 서울과학기술대학교 김 성 근
한국건설기술연구원 박 재 우
경북대학교 이 동 은
중앙대학교 김 창 완
인하대학교 신 도 형
㈜두산인프라코어 정 우 용

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>17SCIP-B079689-04</td><td>해당 단계 연구 기간</td><td>2017.04.01.~ 2017.12.31</td><td>단계구분</td><td>4 / 4</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4">건설기술연구사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4">ICT를 활용한 건설장비 관제 및 스마트 시공 기술 개발</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">건설장비 통합 관제 기술 개발 / 건설장비 가이드 기술 시스템화</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">한양대학교
서종원</td><td>해당단계 참여 연구원 수</td><td>총: 71 명
내부: 55 명
외부: 16 명</td><td>해당단계 연구개발비</td><td>정부: 2,818,000천원
기업: 939,800천원
정부 외: 천원
계: 3,757,800 천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간 참여 연구원 수</td><td>총: 157 명
내부: 128 명
외부: 29 명</td><td>총 연구개발비</td><td>정부: 8,387,000천원
기업: 5,082,922천원
정부 외: 천원
계: 111,300,421 천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및 소속 부서명</td><td colspan="3">한양대학교, 서울과학기술대학교, 한국건설기술연구원, 경북대학교, 부산대학교, 중앙대학교, 인하대학교, ㈜두산인프라코어</td><td colspan="2">참여기업명
㈜두산인프라코어, ㈜덕광, ㈜월드이앤씨, ㈜지오엔티, ㈜한보엔지니어링</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명:</td><td colspan="2">상대국 연구기관명:</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명: 서울대학교, 성균관대학교, 인천대학교, 한양대학교, ㈜대림산업</td><td colspan="2">연구책임자:
지석호(서울대학교), 권순욱(성균관대학교), 강상혁(인천대학교), 한창수(한양대학교), 박종범(㈜대림산업)</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약

○ 통합형 건설장비 관제 센터 개발
- 다양한 건설 장비를 대상으로 측량정보와 GIS, 3D 토공 BIM 기법을 이용하여, 건설장비의 움직임과 토공현장의 지형 및 객체의 변화를 실시간으로 모니터링 하는 관제 센터 개발

○ 플릿(Fleet)형 작업계획 시스템 개발
- 각 건설장비별 최적의 작업계획과 움직임으로 작업이 가능하도록 운전자에게 정보를 제공

○ 현장 지반 스마트 스캐닝 및 모델링 기술 개발
- 작업환경 인식을 위한 3D 스캐너, 보조장치, S/W 등이 통합된 시스템으로 3D 지형정보를 실시간으로 추적하여 지형 형상을 모델링하며 토공량을 신속 정확하게 파악

○ 장비 에너지 효율 관리를 위한Eco-Operation 시스템 개발
- 장비별·공종별 작업패턴에 따른 장비의 표준 엔진 부하량을 측정 및 분석하여 에너지 절감형 연료소모 패턴을 유도할 수 있는Eco-Operation System을 개발

○ 스마트 머신 가이던스 시스템 개발
- 플릿형 네비게이터 기반의 토공작업 프로세스 개선을 통해 에너지저감 및 토공작업의 운영 최적화

○ 작업환경 인식 및 운전자 행태 기반 안전 가이던스 시스템 개발
- 건설장비 작업에 의한 재해 요인(작업장 및 작업 환경, 운전자)을 분석하여 건설 안전사고 예방

○ 건설장비AR-어라운드뷰 네비게이터 기술 개발
- 건설장비의 운전 작업에 필요한 정보를 직관적인 증강현실(AR) 형태로 제공하여 운전을 용이하게 하여 작업 효율을 향상시킴

○ 태블릿 기반 굴삭기 버켓 위치 디스플레이 시스템 및 MMI 유닛 개발
- GNSS 및 각도 측정 센서, 굴삭기 각부의 위치 인식이 가능한 태블릿 인터페이스 게이트웨이, 범용 태블릿PC 및 태블릿 앱S/W로 구성되어 운전자에게 굴삭기 버켓 위치 디스플레이가 가능한 시스템을 개발</td><td colspan="2">443쪽</td></tr>
</table>

〈 국문요약문 〉

연구의 목적 및 내용	- 건설장비의 작업 효율을 충분히 고려하여 토공사를 운영하는 것은 매우 중요하며, 숙련된 장비 조종자를 기용하여 건설장비를 효율적으로 활용하는 것이 토공사의 성패를 좌우함. 이에 따라 건설장비의 협업을 높이고 조작의 난이도가 높은 건설장비의 운용을 정보화/자동화 할 수 있는 장비군(Fleet) 관제시스템 도입이 필요하며, 건설장비의 작업 생산성 및 안전성을 제고를 위한 건설장비 네비게이터 시스템화 기술과 같은 건설장비 시각화 기술 또한 필요함. - 따라서 본 연구의 핵심기술인 “ICT를 활용한 건설장비 관제 및 스마트 시공 기술 개발”을 통해 건설장비 통합 관제 기술 및 건설장비 가이드 기술을 개발·시스템화 하여 “에너지 효율30% 향상, 원가15% 개선”을 본 연구의 최종목표로 함. 즉 규모가 큰 토공사에서 높은 업무 비중을 차지하고 있는 건설 기계장비(굴삭기, 불도저, 그레이더, 덤프트럭, 롤러 등의 장비)의 운영 및 작업을 정보화/효율화함으로써 에너지 효율을 높이고 건설 생산성 및 안전을 향상시키며, 원가절감을 이루어 내는 것이 본 연구개발의 목표임. ◆ 1세부: 건설장비 통합 관제 기술 1) 1-1세부: 통합형 건설장비 관제 센터 개발 건설장비 통합 관제 센터 기술은 다양한 건설 장비를 대상으로 GNSS/GPS, UAV, LIDAR, Vision Sensor 등의 측량 및 측정 장비가 관찰한 정보와 GIS, 3D 토공 BIM 기법을 이용하여, 건설현장 내·외에서 이동하는 건설장비의 움직임과 토공현장의 지형 및 객체의 변화를 실시간으로 모니터링 하는 관제 센터(하드웨어 및 통합 소프트웨어)에 관한 것임. 2) 1-2세부: 플릿(Fleet)형 작업계획 시스템 개발 기존의 토공작업은 건설장비 운전자의 경험과 직관에 의하여 수행되어왔지만, 개발될 플릿형 작업계획 시스템은 각 건설장비별 최적의 작업계획과 움직임으로 작업이 가능하도록 운전자에게 정보를 제공함으로써 토공작업의 생산성 향상과 경제성 향상을 가져오고자 함. 3) 1-3세부: 현장 지반 스마트 스캐닝 및 모델링 기술 개발 작업환경 인식을 위한3D 스캐너, 보조장치, S/W 등이 통합된 시스템으로3D 지형정보를 실시간으로 추적하여 지형 형상을 모델링하며 토공량을 신속 정확하게 파악하는 통합 시스템을 개발함. 4) 1-4세부: 장비 에너지 효율 관리를 위한Eco-Operation 시스템 개발 장비별·공종별 작업패턴에 따른 장비의 표준 엔진 부하량을 측정 및 분석하여 공회전, 대기시간, 중복작업, 비효율적 작업패턴에 의해 낭비되는 장비의 에너지 사용량을 절감하고, 에너지 절감형 연료소모 패턴을 유도할 수 있는Eco-Operation System을 개발하고자 함. ◆2세부: 건설장비 가이드 시스템화 1) 2-1세부: 스마트 머신 가이던스 시스템 개발 플릿형 네비게이터 기반의 토공작업 프로세스 개선을 통해 건설 생산성을 증대하고 에너지 효율을 극대화함으로써 에너지저감 및 토공작업의 운영 최적화를 목적으로 함. 2) 2-2세부: 작업환경 인식 및 운전자 행태 기반 안전 가이던스 시스템 개발 건설장비 작업에 의한 재해 요인(작업장 및 작업 환경, 운전자)을 분석하고, 이로 인한 안전사고 가능성을 차단함과 동시에 안전사고 위험 요인을 예방하여 궁극적으로 안전사고로 인한 막대한 사회적 손실비용을 절감하고자 함. 3) 2-3세부: 건설장비AR-어라운드뷰 네비게이터 기술 개발 건설장비의 운전 작업에 필요한 정보를 직관적인 증강현실(AR) 형태로 제공하고 장비의 주변 현황을 탑뷰(top-view)로 제공함으로써, 작업에 따른Mental load를 최소화 하고 운전을 용이하게 하여 작업 효율을 향상하고자 함. 4) 2-4세부: 태블릿 기반 굴삭기 버켓 위치 디스플레이 시스템 및 MMI 유닛 개발 GNSS(Global Navigation Satellite System) 및 각도 측정 센서, 굴삭기 각부의 위치 인식이 가능한 태블릿 인터페이스 게이트웨이, 범용 태블릿PC 및 태블릿 앱S/W로 구성되어 운전

	자에게 굴삭기 버켓 위치 디스플레이가 가능한 시스템을 개발함.
연구개발성과	- 본 연구의 주요 연구 개발 성과는 에너지 효율화, 공사비용 절감, 재해 및 재난에 대응할 수 있는 기술력, 안전사고 발생 저감 등을 통한 건설 산업으로의 기술 시장 이전 및 확보임. - 건설장비 관제 기술과 다수의 건설장비에 맞춤형 가이드 시스템을 설치/운영함으로써 건설장비 조종원과 장비 간 상호작용을 이끌어 내고 토공작업의 생산성을 비약적으로 향상시킬 수 있음. - 최신의 ICT 기술들을 건설 장비 관제, 가이드 기술과 접목하여 증강현실(Augmented Reality), 중장비 네비게이터와 같은 스마트 기기와 연계함으로써 토공작업의 소프트화를 확대함. 이와 같은 첨단 토공기술은 ICT, 기계 등 유관 산업과의 시너지 효과를 통해서 새로운 고부가가치 신사업을 창출할 것임. - 정밀/자동화 기술을 이용하여 절토와 성토작업을 효율적으로 수행 할 수 있는 건설장비 가이드 시스템 기반의 블레이드 자동제어 기술 개발은 국내 선도적인 기술이 될 것이고, 첨단 무인화 건설기술의 기반을 확보함. - 건설장비 관제 기술은 최첨단의 영상 처리 기법과UAV(무인항공기) 등을 이용한 고정밀의 맵 취득, 정합 및 운용기술을 가이드 기술과 융합/적용함으로써 건설 시공 및 관리 부문에서 세계 최초로 건설장비 관제-가이드 통합 기술을 확보하는 성과를 거두게 될 것임.
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	- 관제-가이드 기술을 접목한 토공사 신공법은 건축/토목/플랜트 등 토공사가 요구되는 모든 공종에 적용 가능하며, 관련 기술이 성공적으로 개발될 경우 국내 건설 관리, 건설 시공기술 분야의 새로운 수요 창출을 통해 신산업으로서의 역할을 할 것으로 기대됨. - 장비 및 자원의 이동, 위치정보를 파악하는 ICT 기반 요소 기술들을 건설에 접목하여 다른 관리 부문과의 동반성장 가능성을 제시함. 또한 위치추적정보는 안전관리를 비롯한 다른 관리부문에 활용될 수 있으며, 연계되는 정보를 공유하여 정보의 사용성과 신뢰성을 향상시킴. - 건설 장비 운영 신공법 및 원가절감의 창조 기술의 성공적 개발을 통한 신기술·신공법의 개발은 건설 산업의 이미지 제고 및 건설 분야에 자동화 기술 연구개발의 활성화를 위한 기반환경을 조성함. - 궁극적으로 본 연구를 활용하여 건설시장 개방에 따른 대외 기술경쟁력을 확보하고 국외 기술의 도입에 따른 기술 사용료의 절감 및 해외로의 기술 이전을 통해 막대한 부가가치 창출이 가능할 것으로 기대됨.
핵심어 (5개 이내)	관제 | 건설장비 | 토공사 | 에너지 효율 | 머신 가이던스				

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	Improve energy efficiency by 30%, Reduce earthmoving cost by 15% **Part 1: Construction control center for earthwork equipment** 1) 1-1 : Development of Integrated construction control center for earthwork equipment Construction control center for earthwork equipment is about control center(hardware and software) that monitors movement of earthwork equipment that move in and out of construction sites and changes in topography and objects in real time by using GIS and 3D building information modeling as well as using information from measuring devices such and GNSS/GPS, UAV, LIDAR, and Vision Sensor. 2) 1-2 : Development of fleet task planning system The existing earthwork task operation relied on the operator's experience and instinct. The developed fleet task planning system aims to provide an operator with information that allows the operator to work with optimal task plan and equipment moving path for each equipment in order to improve the productivity and economic aspects of earthwork task. 3) 1-3 : Development of smart scanning and modeling technique. Develope a integrated system that allows 3D scanner, subsidiary equipment, and software to recognize the working environment. The integrated system can track 3D geographic information in real time to model the topography and it can accurately and rapidly calculate volume of earthwork. 4) 1-4 : Develope Eco-Operation system for equipment energy efficiency The developed Eco-Operation System could lead to energy saving fuel usage through measuring standard engine load for equipment according to each equipment's operation pattern. With it, the wasted energy due to idle time, repeated work and inefficient operation pattern could be reduced. **Part 2: Machine guidance system** 1) 2-1 : Develope smart machine guidance system The purpose is to save energy and optimize earthwork operation by improving construction productivity and maximize energy efficiency through improvement of earthwork process based on fleet type navigator. 2) 2-2 : Development of safety guidance system based on operation environment and operator behavior. The safety guidance system is to analyze the accident factors(Working environment, operator) when operating construction equipment in order to prevent such possible accidents and dangerous factors. The system seeks to improve safety measures and create better working environment. Ultimately, the safety guidance system aims to reduce the cost loss due to the accidents. 3) 2-3 : Development of construction equipment AR-around view navigator. The AR-around view navigator provides task related information in AR form and surroundings in top-view form to the equipment operator in order to minimize the mental load and facilitate operation which leads to improve the work efficiency. 4) 2-4 : Tablet based bucket location display system, MMI unit developed GNSS(Global Navigation Satellite System), angle measuring sensor, tablet interface gateway that enables tracking each parts of an excavator, universal tablet PC, and a system that enables excavator operator to display the bucket location on tablet using application software.
Results	-The crucial outcome of the research is composed of variety types of technologies such as system, software, equipment and devices. 8 crucial outcomes were developed. -Construction control center for earthwork equipment -Fleet task planning system -Smart scanning and modeling technique -Eco-Operation system for equipment energy efficiency -Smart machine guidance system using fleet type navigator -Safety guidance system based on operation environment and operator behavior -Construction equipment AR-around view navigator -Display system on tablet for excavator's bucket location.
Expected Contribution	-New earthwork method using control-guide technology enables creation of new industrial field and through patent and securing source technology, pioneering domestic as well as overseas markets is expected. - The research can be applied to all construction industries such as architecture, civil engineering, and plant that requires earthwork. If related technology is successfully developed, domestic demand of the new construction management and construction technology market will be created and the technology will serve as new industry field. -Further research on the technology would bring new foundation which integrates construction control and automation on every constructions phases. -Techniques such as tracking equipment movement and location of ICT can be joined with other fields of construction to seek for shared growth. Also, the tracking information could be applied to other fields of construction such as safety management and linked information of joined technology could enhance usability and reliability of information.

Keywords	Fleet Management	Construction Equipment	Earthwork	Energy Efficiency	Machine Guidance

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ·····1

2. 국내외 기술 개발 현황 ·····22

3. 연구 수행 내용 및 성과 ·····41

4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ·····297

5. 연구개발성과의 활용 계획 ·····361

6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 ·····365

7. 연구개발성과의 보안등급 ·····393

8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설 · 장비 현황 ·····394

9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 ·····396

10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ·····405

11. 향후 연구개발 활용계획(안) ·····426

12. 참고 문헌 ·····435

〈 Contents 〉

1. Introduction of R&D project ·····1

2. Status of domestic and overseas technology development ·····22

3. Research contents and achievements ·····41

4. Achievement of goal and contribution to related field ·····297

5. Plan to utilize R&D achievements ·····361

6. Information on overseas technology obtained in the period of research ·····365

7. Security rating of R & D achievement ·····393

8. Status of research facilities and equipment registered in NTIS ·····394

9. Performance in implementation of safety measures in laboratories based on R & D tasks ·····396

10. Representative Research Achievements of R&D project ·····405

11. Future Research Plan ·····426

12. References ·····435

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

○ 본 과업인 “**ICT를 활용한 건설장비 관제 및 스마트 시공 기술 개발**” 은 토공사의 기획/설계/시공까지 전 단계에 걸쳐 첨단 ICT기술을 융합하여 다수 장비군(fleet)의 네트워크단위 및 장비운영단위(operation level)까지 세분화된 작업계획 및 가이드 정보를 생산하고, 실시간으로 작업내용을 모니터링 및 통제할 수 있는 통합 건설장비 관제기술을 구축함으로써 토공사의 생산성과 안전성을 극대화시키는 것을 목적으로 함.

○ 다음 그림은 본 과업의 목적을 도식화한 내용임.



<과업의 최종 연구개발 개념도>

○ “**건설장비 통합 관제 기술 개발** “은 건설 현장 내·외를 이동하며 작업하는 굴삭기, 그레이더, 덤프트럭 등 건설장비군(fleet)의 효율적인 작업계획/시공계획을 수립하고 토공현장의 지형변화, 각 장비의 이동 및 작업 내용을 실시간 모니터링 하여 총괄적인 의사결정을 내리며, 의사결정내용을 개별 장비에게 지시하기 위해 건설장비 가이드 시스템과 연계하여 장비 조종자와 설계/시공정보를 교류하여 관제하는 기술임.

○ 건설장비 통합 관제 기술 개발을 위해 다음과 같은 기술개발 세부목적을 설정함.

- 통합형 건설장비 관제 센터 개발
- 플릿(Fleet)형 작업계획 시스템 개발
- 현장 지반 스마트 스캐닝 및 모델링 기술 개발
- 장비 에너지 효율 관리를 위한 Eco-Operation 시스템 개발

○ “**건설장비 가이드 기술 시스템 개발**” 은 건설장비가 더욱 효율적이고 안전한 작업이 진행될 수 있도록 관제센터에서 생산된 3차원 설계정보, 작업계획정보를 기반으로 스마트 머신가이드 시스템에서 정확한 3차원 측량정보, 자동 제어기술, 시각화 안전정보, 네비게이터 등의 가이드 정보를 장비 조종자에게 제공하며, 실시간 관제 시스템과의 연계체계를 구축하여 효과적으로 정보를 전송 및 피드백하는 MMI(Man-Machine Interface)를 개발하는 기술임.

○ 건설장비 가이드 기술 시스템 개발을 위해 다음과 같은 기술개발 세부목적을 설정함.

- 스마트 머신 가이던스 시스템 개발
- 작업환경 인식 및 운전자 행태 기반 안전 가이던스 시스템 개발
- 건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발
- 태블릿 기반 굴삭기 작업 가이던스 시스템 및 MMI 유닛 개발

○ ICT를 활용한 건설장비 관제 및 스마트 시공기술 개발을 통한 정량적인 연구개발 성과 목표치는 다음 그림의 내용과 같음. 토공사에 소요되는 에너지 사용량을 평균 30% 저감하고 작업 효율화를 통해 15%의 원가절감을 목적으로 함.

- 건설기계 장비의 유류 사용, 불필요한 작업의 억제 및 다중 장비 토공 계획 수립을 통한 작업 효율증대(Idle time 감소, 공사기간 단축, 기계장비 제어 효율화)를 통한 **에너지 사용량 30% 절감**.
- 토공 프로젝트의 건설장비군 관리(Fleet Management)기반 건설장비 관제 시스템 기술과 스마트 시공기술 적용으로 신속, 정확, 안전 시공을 통한 **원가 15% 절감**



<과제 최종 비전 및 목적>

2. 연구개발의 필요성

○ 현재 시공 현장의 문제점은 아래의 그림과 같으며, 건설기계 시공 의존도가 높음, 측량오차로 인한 재측량 · 재시공 확률이 높음, 비효율적 건설장비운영 등이 있음.



<현재 시공현장의 문제점>

○ 연구개발의 필요성 측면에서 기술, 경제/산업, 사회/환경 별로 각 분야의 문제점 및 필요성 그에 대한 기대효과를 아래 정리했음.

▪ 기술적 측면

- 최근 건설현장이 대형화, 복합화 되어가는 추세에 따라 효율적인 건설프로젝트관리를 위해 자재, 장비, 인력 등의 자원에 대한 실시간 정보파악의 요구가 증가하고 있으며 이를 지원하기 위한 방법으로 IT산업과의 연계를 통한 해결책이 설득력을 얻고 있음.

- 건설현장은 기존의 3D 업종들과 마찬가지로 숙련된 기능공의 부재로 인한 어려움을 겪고 있으며, 숙련된 장비운전자의 부재로 인하여 생길 수 있는 생산성과 품질 저하와 안전사고를 사전에 예방하기 위하여 장비의 조작이 간단하고, 장비조종자의 각종 의사결정에 대한 지원기능을 가진 정보화·자동화 기반의 토공 건설장비 관제 시스템의 개발이 필요함.

- 건설생산 프로세스의 발전과 변화에 따라 건설장비의 관리 프로세스에도 새로운 산업분야와의 융합 및 건설 산업 전반에 걸친 변화가 필요함. 따라서 건설장비에 대한 운영 및 관리는 건설 생산활동이 주로 이루어지는 공사현장의 특수성(기후의 영향을 받는 옥외생산, 표준화하기 힘든 작업여건 등)을 고려하여 건설시공 프로세스에 적합한 기술을 개발해야 함.

- 기존의 관련 연구들은 단일 건설장비가 주어진 정보에 따라서 최적의 움직임을 위한 방안을 제시하므로 실제 현장적용에는 한계가 있음. 실제 현장에 적용 가능한 토공시스템 구축을 위해서는 다종 및 다수의 건설장비가 투입되는 환경에서 건설장비들이 협업을 할 수 있는 시스템을 구축해야 함. 또한 특정 건설장비 위주의 작업계획이 아니라 전체적인 시스템을 효율을 높일 수 있는 투입되는 전체의 건설장비를 고려한 작업계획 및 경로계획이 되어야 함.

- 토공현장의 안전성, 생산성 분석을 위해 영상정보를 활용할 경우 효율적인 현장밀착형 카메라 네트워크를 구성하여 다수의 카메라로부터 실시간, 지속적으로 영상정보를 수집함으로써 영상의 사각지대를 최소화하고 토공현장 전체에 대한 통합적인 의사결정을 뒷받침할 수 있도록 신뢰성 있는 정보를 생산해 내는 것이 중요함. 이와 같은 중요도를 고려할 때 네트워크상에서 유력자 및 유력 장비에 대한 집중 추적을 가능하도록 함으로써 투입인력 및 장비 분석, 작업패턴 분석, 작업 장비별 작업시간 분석 등 정보 분석을 고도화해야 함.

- 건설현장에서는 건설장비의 복잡하고 상이한 작업형태, 토공 공종별 장비조합의 불균형, 장비의 공회전 및 중복작업, 운전자의 잘못된 운행습관 등으로 인하여 다양한 에너지 낭비요인이 발생되고 있음. 이러한 에너지 낭비요인을 최소화하기 위해서는 에너지 소비패턴의 정량화 및 Eco-Driving 개념의 에너지소비 모니터링 기법의 적용도 요구됨.

- 첨단 IT기술을 융합한 최적 작업계획 및 현장 모니터링, 기존 측량 과정을 진보시킨 자동화 건설장비의 효율적 운용은 프로젝트의 생산성 향상 및 에너지 절감을 가능하게 함. 현장 내에서의 작업인력을 감소시키고, 각종 리스크를 제거하여 안전한 건설현장을 구성할 수 있음. 그리고 건설장비 관제 시스템(현장에 투입되는 모든 건설장비의 위치, 데이터 취득, 작업가이던스 및 모니터링, 스마트 진단, 리포팅이 가능한 관리 시스템) 개념을 적용하여 장비 조종자의 의사결정을 지원할 수 있는 스마트 건설장비 가이드 시스템을 개발해야 함.

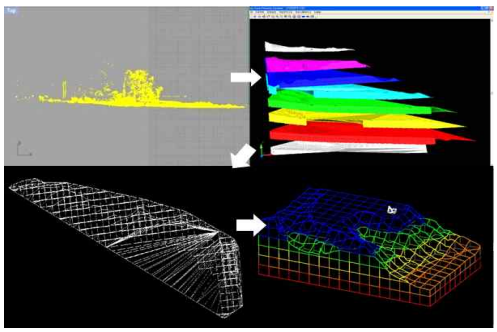
- 항공, 해상, 물류분야에서 사용되고 있는 관제기술은 아래 그림과 같이 위치정보를 기반으로 실시간 위치, 거리정보를 산정하여 장비 운행의 안전과 효율성을 제고하는 효과가 있음. 이러한 기술을 건설 분야에 적용할 경우 토공원가 및 유류비 절감 등의 경제적 효과가 있으므로 건설장비 관제센터 도입이 필수적임.



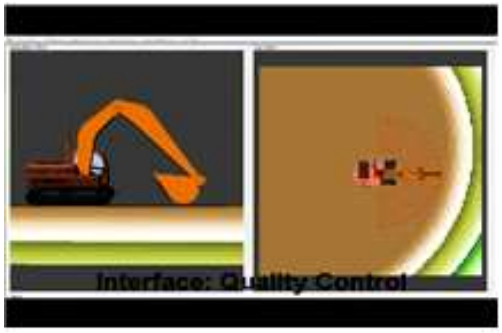
<물류 관제서비스 개요(출처: 위피아)>

- 건설 산업에서 건설 자동화의 활용은 이미 오래전부터 안전성, 생산성, 품질, 작업환경의 향상과 미래의 숙련공 부족에 대한 가장 적극적인 기술적 해결방안으로 거론되어 왔으나, 다양한 산업분야에 걸쳐 자동화 시스템과 로봇의 개발 및 응용기술이 해마다 눈부신 발전을 거듭하고 있는 현실에 비추어 볼 때, 건설 산업에 있어 기계자동화 기술의 발전은 현재까지도 낙후되어 있음(이관종, 2009).

- 그림에 표현된 지능형 굴삭시스템 등을 포함한 현재까지 추진되었던 많은 건설장비 지능화 관련 R&D 성과는 지속적인 연계성의 부족으로 사업화 및 제도화로의 발전이 이루어지지 않고 있음. 특히 국토해양부 지원과제로 개발된 지능형 굴삭시스템과 같은 건설장비 지능화 프로젝트의 성과의 활용을 위해서는 사용하기 쉽고 다수의 장비(Fleet) 제어와 현장 활용을 위해 탈부착이 가능하며 건설장비 가이드 기능을 갖춘 관제 시스템의 개발이 반드시 요구되고 있음.



<지능형 굴삭시스템 계획생성 과정>



<굴삭 시스템의 조종자인터페이스(HMI) 화면>

- 건설공사에서 가이드 시스템을 적용한 건설 환경은 건설공사의 전체적인 작업 프로세스 모델의 개선, 현장 실시간 모니터링 자동화 기술개발, 건설장비의 지능화로 건설현장에서 발생되는 다양한 문제를 해결하는 기회를 제공함. 그리고 건설현장의 스마트화를 통해 자동화 기술, 시각화 기술 등의 첨단기술을 접목하여 장비 조종의 효율성을 제고하며, 토공과 관련된 건설장비와 같아 규모가 크고, 장비 조작의 난이도가 높은 건설장비의 원활한 운용을 지원할 수 있음.

- 또한 비숙련자가 관제센터와의 연계체계를 통해 숙련자가 할 수 있는 작업범위까지 확장하여 현장업무를 수행할 수 있으며, 구글글래스 등 웨어러블 기기와 연동한 추가기능을 통해서 작업자가 현장상황에 대하여 즉각적인 의사결정을 할 수 있도록 지원함.

▪ 경제 · 산업적 측면

- 건설장비 관제 센터 기술과 유사하다고 판단되는 해상교통관제센터(VTS)는 국내에서 15개 항만에 설치 운영 중에 있음. 2006년 기준 830억 원이 투자되었으며, 연안 VST와 VTS 전국 통합망 구성 등을 위해 400억 원을 추가 투자할 예정임. VTS 관련 연간 유지보수 비용만 약 20억 원에 이르고 있으며 사업규모가 확장되고 있으나 그림과 같이 국내 시장의 대부분을 외산장비가 점유하고 있음. 이에 따라 국산화기술 확보의 필요성이 대두되고 있으며 건설장비관제 시스템을 사용하여 위와 유사한 규모의 경제적 효과를 얻을 수 있음.



<항공관제시스템 분야 과거, 현재, 미래모습 (REF)>
(출처: 한국건설교통기술평가원, 이연재 2007)



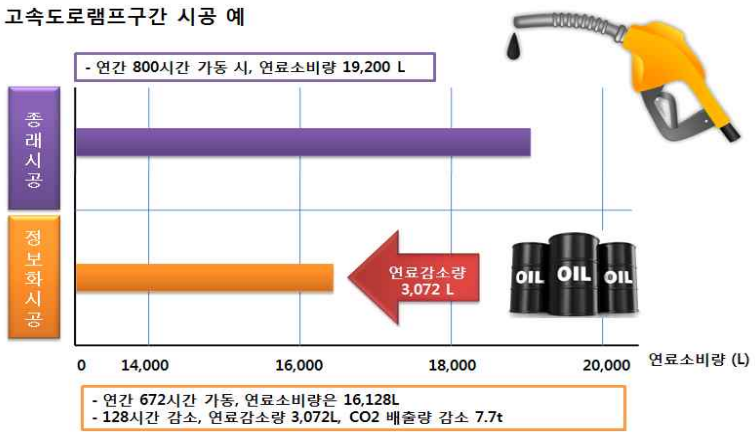
<해상관제시스템 분야 국내시장 점유율>
(출처: 한국항해항만학회, 강남선 012)

- 항공관제 시스템의 경우 통합 관제장비를 전량 해외에서 도입하여 운영 하고 있음. 해외 기술 도입비용 절감, 업그레이드 자율성 확보, 운영유지비 대폭절감 등을 위하여 그림과 같이 관제 시스템분야 국산화를 위한 기술개발이 진행 중임.

- 대한민국 공군에서는 에코 드라이브 종합교육 시스템을 구축하여 연료절약 및 온실가스 배출을 감소시키고 경제적이면서 안전한 운전 환경을 구축하였으며, 이 시스템을 통해 연비 27.7% 향상, 연료소모량 26.4% 감소, CO2 배출량 26.7%감소, 운전자 사고율 43% 감소 등 우수한 수송 장비의 에너지 절감효과가 나타났음(헤럴드경제, 2012).

- 미국과 유럽, 일본 등은 자동차의 네비게이터와 같이 건설기계를 위한 네비게이터(GPS 센서 기반 머신가이던스 장비-조종자 인터페이스)를 활용하여 생산성을 증진한 사례가 있으며, ICT 기술을 적용한 고효율 건설장비 운용의 시공관리 자동화 시스템을 국산화하고, 특수공법 형태로 기술을 구체화하여 건설장비의 스마트 시공 시스템 을 개발함으로써 국내외적으로 건설장비 개발의 원천기술을 확보하고 해외시장의 선점이 가능함.

- 일본 Sokkia 社의 경우 장비 가이드 기술(네비게이터)과 같은 스마트 시공법을 사용했을 경우 그림과 같이 고속도로 램프구간 시공을 위해 장비를 연간 800시간 가동하는 것으로 가정 시 작업시간은 128시간 감소, 연료는 3,072ℓ 감소(16% 절감)로 공사비, 공기측면에서 월등한 효과를 보이며, 이 기술이 확대 적용될 경우 건설생산성 증진 관련 파급효과는 매우 클 것으로 기대됨. (출처 : Sokkia, IT 자동화시공 종합 카탈로그, 2010)



<건설장비 관제 관련 기술 개발 시 원가절감/에너지 효율성 효과>

- Sokkia 社에서는 2010년 국토교통성 북해도 개발국에서 발주한 도시중앙연락도로 개량공사(공사금액 : 5억 5398만 엔)에서 앞서 말한 장비 네비게이터와 같은 스마트 시공기술을 적용하였으며, 종래공법과 비교하여 다음과 같은 결과를 창출하였음.(출처 : Sokkia, IT 자동화시공 종합 카탈로그, 2010)

  → 착공 전 측량 : 지반선 측량 감소로 측량비용 20% 감소.

  → 공사 측량 및 검사측량 : 규준틀 설치 감소, 측량사 감소, 인건비 감소, 시공오류 감소 등으로 인해 측량비용 75% 감소

  → 그 외에 결과들은 아래 표와 같음.

<Sokkia 社의 관련기술 적용 결과>

기술	MC 불도저 (고르기 작업)	롤러 (다짐 작업)	굴삭기 (굴착, 법면성형)	MC 모터 그레이더 (고르기 작업)	MC 아스팔트 피니셔 (아스팔트 포장)
시공효율 (시공속도)	1.1배	1.2배	굴착:3.8배 정형 3.6배	종래와 동일	0.8배
시공정도	정도편차 30% 감소	다짐의 균일화	종래와 동일	정도편차 30% 감소	정도 편차 50% 감소
시공품질	균일 시공 가능	균일 시공 가능	균일 시공 가능	균일 시공 가능	균일 시공 가능
공사원가	감소	감소	감소	감소	감소
안전성	검측 횟수 감소	검측 횟수 감소	검측 횟수 감소	검측 횟수 감소	종래와 동일

- 위의 결과와 같이 장비 네비게이터 적용은 측량 비용 감소, 시공효율 증가로 인한 공기 단축, 품질의 균일성 및 정확성 향상, 공사원가 절감, 시공 안전성 증대 등 종래 공법에 비해 높은 효율을 가지고 있음.

- 미국의 통계 조사에 따르면 건설 기계 장비를 이용한 Fleet Tracking과 같은 스마트 시공이 가능한 건설현장에 적용될 경우 연간 50,000갤런의 유류를 사용하고 있는 건설회사의 경우 7,500갤런의 유류비용을 절감(Navman에서 제시한 15%의 연료절감 효과를 기준으로)시킬 수 있을 것으로 예상하고 있음(Navman Wireless, 2011). Trimble 社에서는 에스파냐 남부 말라가주(州)에서 시행한 도로 건설 사업에서 관련 기술들을 적용하여 시공하였으며 결과는 다음 표 2와 같음.

<Trimble 社의 관련기술 적용 결과>

건설장비 (기종)	그레이더 (D6N)	굴삭기 (330D)	측량 관련
연료감소율(%)	35% saved	47% saved	- 시간 95% 감소 - 정확도 98% (종래 45%)
생산성증가율(%)	+107%	+29%	

출처 : CATERPILLAR Brochure 'Road Construction Production Study'

-유럽연합의 CECE(Committee for European Construction Equipment)에서는 Eco-Modes, Eco-Driving, Machine control and guidance product 기술 등을 적용하여 평균 약 26%의 연료를 절감함(출처 : CECE Brochure: "Constructing a Brighter Future").

- 이러한 국외의 연구사례는 개별적 장비에 대한 생산성 개선에 국한되어 있기 때문에, 개별적 가이드 기술을 체계화하여 건설 장비군의 운영 효율화에 기여할 수 있도록 혁신적인 프로세스가 필요함. 대부분의 건설공사에서 토공사가 차지하는 비율은 20~30% 정도이며, 앞서 제시한 Sokkia 社, Trimble 社의 생산성 증가 효과를 고려해보았을 때, 관련 기술을 개발하여 도입 및 실용화할 경우 기대할 수 있는 공사비용 절감액은 매우 클 것으로 예상됨. 따라서 건설장비의 가이드 시스템과 플릿 매니지먼트 기술을 효과적으로 접목하여 시너지 효과를 창출한다면 신시장 개척이 가능할 것으로 판단됨.

- 국내의 건설기업들은 전 세계적인 불황으로 국내 건설시장이 지속적으로 침체되고, 해외 건설시장으로 진출도 점차 어려워지고 있어 새로운 건설기술 개발에 대한 투자와 의지가 점차 감소되는 추세임. 따라서 건설기술의 세계적 경쟁력을 확보하기 위해서는 정부차원의 지원이 절실히 요구됨. 그리고 고도의 기술력을 갖춘 미국 및 유럽 등 선진국과, 가격경쟁력과 더불어 기술력까지 더해가고 있는 중국이 치열하게 다투고 있는 해외건설 시장에서 우리나라가 경쟁력을 갖추기 위해서는 원가경쟁력이 있는 고효율, 고생산성, 저에너지 소비 및 환경 친화적인 첨단시공 기술 및 관리방법을 도입해야함.

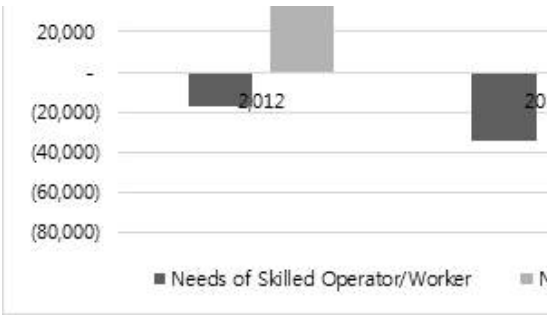
- 한편 고용노동부의 통계에 따르면, 2012년 건설업의 산업재해로 인한 경제적 손실비용은 전체 산업재해로 인한 손실비용의 약 33% 가량을 차지하며 이러한 추세는 매년 증가하고 있음. 또한 건설장비 운전과 관련된 산업재해로 인한 경제적 손실비용은 약 1.6조원에 달하는 것으로 추정됨(한국산업안전보건공단, 2012) 건설장비 관제 및 가이드 기술은 측량기사 및 장비보조원의 현장 투입을 최소화 할 수 있으므로, 이에 따른 IT 자동화 기술에 의한 건설장비안전성 제고는 막대한 경제적 손실비용을 축소하는 효과가 있음.

- 또한 미래의 토공장비 자동화 시스템 개발은 다양한 산업분야에서 통합적 접근이 이루어지고 있으며, 관련 학문기술 분야의 경쟁력 제고와 관련업계의 신시장 일자리 창출, 기술 고도화, 국가 브랜드 이미지 제고 등과 같은 다양한 파급효과를 가져올 것으로 예상됨.

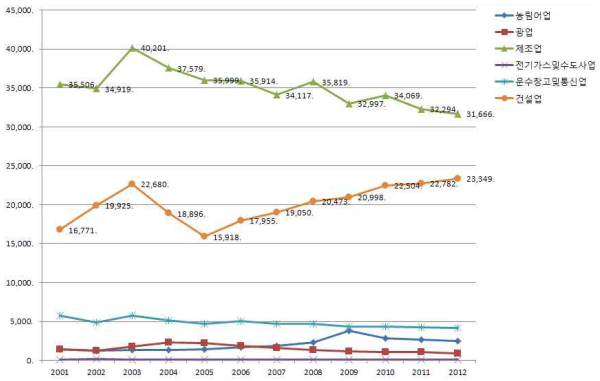
- 건설공사의 자동화 및 고도화는 건설시장에서 새로운 융합기술의 중요성을 요구하고 있음. ICT를 활용한 건설장비 관제 및 스마트 시공 기술은 국내뿐만 아니라 해외공사 수주 및 수행 시 경쟁력을 확보할 수 있도록 지원하며, 향상된 경쟁력을 통해서 해외수주의 확대와 국가경제발전에 기여함. 또한 네비게이터 플릿화 및 시스템 토공기법에서 개발하는 BIM, 네비게이터, 센서 자동화 등 첨단토공기술은 건설 산업을 미래 기술 산업으로 발전시키는 초석이 될 것이며, 전자, 기계, IT 등 각종 기술 산업 분야와 함께 동반성장할 수 있는 기반을 제공함.

▪ 사회 · 환경적 측면

- 우리나라의 건설 산업의 노령화 추세와 더불어 숙련된 건설 인력의 감소 추세는 다음 그림에서 보는 바와 같이 매우 뚜렷함. 인력 부족으로 비숙련공의 투입으로, 이로 인한 건설 안전, 생산성, 품질 저하 등의 문제점이 발생하고 있음.



<건설 숙련공 감소 추세의 심화>
(건설산업연구원, 2012)



<산업별 재해자수>
(고용노동부, '01~'12)

- 한국산업안전보건공단 자료에 따르면 2012년 건설업계의 재해자 수는 총 23,349명(전체 산업재해의 약 25%)이었으며 근로자 100명당 재해율은 0.84(전년도 대비 약 14% 증가)로, 꾸준히 감소하고 있는 전체 산업의 재해율과 비교하였을 때 심각한 문제임(한국산업안전보건공단, 2012).

- 특히 건설장비 운전과 관련된 산업재해가 차지하는 비율은 약 25%로 나타났으며, 또한 건설업 내의 산업재해로 인한 근로손실일수가 약 1560만 일임을 고려할 때, 건설장비 운전과 관련된 산업재해로 인한 근로손실일수는 약 400만 일에 달하는 것으로 추정됨.

- 건설업은 세계 에너지 소비의 약 30%, 이산화탄소 배출의 40%를 차지하고 있음(Pena-Mora, 2009). 그러나 현재 진행되고 있는 에너지 효율화 관련 건설정책은 단열성능 강화, 신재생에너지 사용 등 대상 구조물 및 이의 운영과 관련된 에너지 소비의 절감을 중심으로 추진되어 왔으며, 건설장비 및 시공현장의 친환경성 제고를 위한 노력은 미미한 실정임.

- 국내 건설 분야는 기술발전에 비하여 건설 숙련공이 감소하는 추세라는 점을 고려했을 때 건설장비 조종원에 대한 기술지원체계가 요구됨. ICT를 활용한 건설장비 관제 및 스마트 시공 기술은 숙련 장비조종사뿐 만 아니라 미숙련 장비조종사까지도 효과적으로 사용할 수 있는 실시간 토공정보체계를 제공하며, 시각적 데이터 정보를 바탕으로 장비조종의 생산성을 향상시키는 역할을 제공함.

- 본 연구의 결과에 따른 기술예측은 미래의 경제 · 사회와 과학기술의 변화를 전망하여 미래의 창조적 과학기술 대안을 제공하며 기술개발분야인 국가 중점개발기술 발굴과 전략수립이 가능함. 또한 효과적인 토공현장 안전관리를 위해 지속적인 정보수집 · 분석 · 의사결정 · 재활용을 가능하도록 함으로써 토공현장 안전정보 소통의 선순환 구조를 제공함.

3. 연구개발 범위

□ 1-1세부 - 건설장비 통합관제 기술 개발

구분 (연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행목표
1차년도 (2014 - 2015)	통합형 건설장비 관제센터 개발 (한양대학교 산학협력단)	건설장비 관제 센터 구성 설계	토공현장 맞춤형 건설장비 관제센터 하드웨어 구성 및 개념 설계
			건설장비 관제센터 통합 소프트웨어 구성 설계
			관제센터-건설장비 간 통신 인터페이스 설계
	관제용 글로벌 맵 정보 취득 시스템 개발 및 현장 인식 시스템 개발 (한양대학교 산학협력단)	현장 부합형 공중 이동형 이미지 센싱 플랫폼 선정 및 검증	다양한 공중 이동형 이미지 센싱 플랫폼의 성능 평가
			현장 부합 가능한 최적의 이미지 센싱 플랫폼 선정
		이미지 센싱 플랫폼을 이용한 현장 영상 정보 및 객체 정보 수집 기술 개발	영상 정보 취득 및 데이터 전송 기술 연구
			2차원 영상정보로부터 객체 정보 분리를 위한 영상 처리기술 연구
	위치추적 및 상황인식 시스템 개발 (한양대학교 산학협력단)	상황인식정보 자동분석 시스템 개념설계	영상기반 물체 인식/추적/좌표투영 및 현장정보 생산 알고리즘 비교분석 및 타당성 검토
		카메라 네트워크 최적화 시스템 개념설계	가시성 최대화/카메라 핸드오프(Hand-off)/글로벌 맵(Global Map) 형성 알고리즘 비교분석 및 타당성 검토
2차년도 (2015 - 2016)	통합형 건설장비 관제센터 개발 (한양대학교 산학협력단)	건설장비 관제센터 개발 및 통합	토공현장 맞춤형 GIS, IoT, BIM기반 건설장비 관제 시스템 하드웨어 개발
			건설장비 관제 시스템 통합 소프트웨어 개발
			건설장비 관제센터와 토공 의사결정 지원모듈 개발
	관제용 글로벌 맵 정보 취득 시스템 개발 및 현장 인식 시스템 개발 (한양대학교 산학협력단)	관제용 공중 이동형 이미지 센싱 플랫폼 구현	토목현장에 적용 가능한 이미지 센싱 플랫폼과 관제 시스템 간의 무선 통신 기술 개발(제어 및 데이터 전송용)
			토목현장에 적합한 공중 영상 정보 취득 시스템 구현
		3D 기반 관제용 맵 생성엔진 개발	공중 이동형 이미지 센싱 플랫폼으로부터 취득한 영상 정보 기반 관제용 맵 생성 엔진 개발
			LiDAR 기반의 지형 스캔 오버레이 및 통합 기술 개발
	위치추적 및 상황인식 시스템 개발 (한양대학교 산학협력단)	상황인식정보 자동분석 시스템 프로토타입 개발	유사환경 작업자 및 중장비 인식/추적/좌표투영 및 현장정보 생산 알고리즘 개발
		카메라 네트워크 최적화 시스템 프로토타입 개발	유사환경을 대상으로 카메라 네트워크 최적화 시스템 구축 및 알고리즘 개발

구분 (연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행목표
3차년도 (2016 - 2017)	통합형 건설장비 관제센터 개발 (한양대학교 산학협력단)	관제센터-건설장비 가이드 기술간 SW/HW 통합 구축 및 성능평가	건설장비 관제센터-건설장비 가이드 기술간 S/W, H/W 통합 구축
			Web-GIS기반 토공프로젝트 통합 성능관리 소프트웨어 개발
			머신가이던스 연계용 Flexible Earthwork BIM 설계/관리 소프트웨어 개발
	관제용 글로벌 맵 정보 취득 시스템 개발 및 현장 인식 시스템 개발 (한양대학교 산학협력단)	관제용 글로벌 맵 정보 취득 시스템 개발	공중 이동형 이미지 센싱 플랫폼 간 시각 동기화 기술 개발
			다중 이미지 소스 기반 관제용 맵 정보 추출 기술 개발
			관제용 글로벌 맵 모델 생성 솔루션 개발
		IoT 기반 지상 고정형 센싱 데이터 취득 솔루션 개발	토공현장 환경정보 취득 솔루션 개발
	위치추적 및 상황인식 시스템 개발 (한양대학교 산학협력단)	상황인식정보 자동분석 시스템 시제품 개발	실제 환경 작업자 및 중장비 인식/추적/좌표투영 및 현장정보 생산 알고리즘 개발
		카메라 네트워크 최적화 시스템 시제품 개발	실제 환경을 대상으로 카메라 네트워크 최적화 시스템 시제품 성능 시험

구분 (연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행목표
4차년도 (2017.4 - 2017.12)	통합형 건설장비 관제 센터 개발 (한양대학교 산학협력단)	건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package현장 적용 및 검증	관제센터 H/W, S/W 기술의 성능평가 및 보완을 통한 시스템 시제품화
			스마트 하이브리드 네트워크 실용화 기술개발
			관제센터와 건설장비 가이드 기술의 시스템 통합 구축 및 검증
			다양한 유형의 Full-Package 현장적용 및 생산성 검증
			건설장비 관제센터 기술 매뉴얼 작성 및 홍보
	관제용 글로벌 맵 정보 취득 시스템 개발 및 현장 인식 시스템 개발 (한양대학교 산학협력단)	다중 Geo-Image 기반 PCD(PointCloud Data) 생성 및 Rapid Data Handling Software 개발	Image Processing 알고리즘 개선 및 데이터 처리 개선 기술 개발
			PCD(PointCloud Data) 에디팅 및 3차원 가공 기술 개발
	위치추적 및 상황인식 시스템 개발 (한양대학교 산학협력단)	위치추적 및 상황인식 시스템 통합 구축	개발된 상황인식정보 자동분석 시스템과 카메라 네트워크 최적화 시스템 간의 통합
		현장시험을 통한 시제품 검증	시스템 시제품의 토공현장 설치 및 안전성, 신뢰성 검증
		연구기대효과 검증	시스템 시제품의 타당성 검증을 위한 전문가 의견수렴
	덤프트럭 운반경로 탐색 모듈 (한양대학교 산학협력단)	덤프트럭 경로 탐색 모듈	덤프트럭 주행의 제약조건을 사전에 반영하여 덤프트럭 운행이 가능한 경로를 탐색할 수 있는 모듈 개발
		라우트 좌표변환 모듈	덤프트럭의 최적 운반경로를 산출하여 그 정보를 위도/경도 데이터로 변환하여 관제탑으로 제공하는 모듈

□ 1-2세부 - 플릿(Fleet)형 작업계획 시스템 개발

구분 (연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행목표
1차년도 (2014 - 2015)	플릿(Fleet)형 작업계획 시스템 설계 및 알고리즘 개발 (서울과학기술대학교 산학협력단)	플릿형 작업 계획 알고리즘 개발	플릿형 작업계획 시스템을 위한 토공작업 고려요소 설정 및 가중치 결정 플릿형 작업계획 시스템의 구조 제시 토공작업을 위한 8가지 기본적인 3차원 파라메트릭 솔리드 모델 제시
		플릿형 건설장비 작업순차 생성 알고리즘 개발	플릿형 작업을 위한 굴삭기 및 다짐기 작업 프로세스 알고리즘 제시 사례연구를 통한 가동률 향상 검증
2차년도 (2015 - 2016)	플릿형 작업계획 시뮬레이터 개발 (서울과학기술대학교 산학협력단)	이동거리, 공간간섭 최소화, 작업시간 단축을 위한 건설장비 Path planning 기술 개발	확률적 등분포 난수를 발생 시켜 확률 누적 함수로 대응하는 건설장비 작업경로 알고리즘 제시 장비 대수 12대 일 때 작업시간 10.26% 단축 덤프 운행속도를 시간당 24㎞/hr 적용 작업시간 10.01% 단축 실제 현장 데이터와 비교 평균 이동거리 12% 단축 실제 현장 데이터와 비교 평균 공간 간섭율 10% 미만 굴삭기 최적 작업경로 산정 휴리스틱 의사결정 요소를 반영한 토량 배분 방법과 건설장비 별 최적 경로 제시
3차년도 (2016 - 2017)	플릿형 작업계획 시뮬레이터 개발 (서울과학기술대학교 산학협력단)	플릿형 협업 알고리즘 제시	자원할당 및 관리 알고리즘 제시
		플릿형 작업계획 시뮬레이터 개발	현장의 토량분배 및 자원할당, 자원관리 기능 구현 작업자의 의사결정 지원을 위한 작업경로의 화면 구현 전문가 대상 시뮬레이터 현장 적용성 평가 수행(3.8/5 Level)
		플릿형 협업 작업 시 탄소 배출량 저감	탄소 측정 센서를 활용한 기존장비(덤프트럭) 운영방식과 제안 방식의 탄소배출량 측정
4차년도 (2017.4 - 2017.12)	플릿형 작업계획 시뮬레이터 개발 (서울과학기술대학교 산학협력단)	플릿형 협업 소프트웨어	재래식방식과 비교하여 협업S/W를 이용하는 경우 작업시간율의 변화비교 시간당 작업율의 10% 감축 토공계획에 따른 경로인식과 실시간 장비위치 모니터링 경로 인식률 90% 일치
		SW등록	한국저작권협회 등록

□ 1-3세부 - 스마트 스캐닝을 이용한 3D 토공형상 모델링 시스템 개발

구분 (연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행목표
1차년도 (2014 - 2015)	스마트 스캐닝을 이용한 3D 토공형상 모델링 시스템 (한국건설기술연구원)	3D지반형상 인식 알고리즘 개발	스마트 지형 스캔 플랫폼 개발
			토공현장 지반 객체 모델링 알고리즘 개발
2차년도 (2015 - 2016)	스마트 스캐닝을 이용한 3D 토공형상 모델링 시스템 (한국건설기술연구원)	스마트 Geo 시스템 개발	스마트 Geo 의사지원 플랫폼 개발
			지형Model Generator개발
			볼륨, 작업량 자동 계산 알고리즘
3차년도 (2016 - 2017)	스마트 스캐닝을 이용한 3D 토공형상 모델링 시스템 (한국건설기술연구원)	개발 시스템 최적화 및 현장 테스트	3차원 지반지형 시스템 최적화
			T/B적용 및 결과분석
4차년도 (2017.4 - 2017.12)	스마트 스캐닝을 이용한 3D 토공형상 모델링 시스템 (한국건설기술연구원)	3차원 지형지반 분석시스템과 통합관제시스템 연계 시스템 개발	통합관제시스템과 연계 가능한 3차원 지형 지반분석 시스템 모듈 개발
			통합 3차원 지형지반 분석 시스템 최적화 및 현장적용을 통한 검증
			개발 시스템의 현장 안정성 및 내구성 확인

□ 1-4세부 - 장비 에너지 효율 관리를 위한 Eco-Operation 시스템 개발

구분 (연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행목표
1차년도 (2014 - 2015)	장비 에너지 효율 관리를 위한 Eco-Operation 시스템 개발 (경북대학교)	에너지 낭비요인 실태 분석	기존문헌 고찰 및 연구동향 분석
			작업 중 건설장비의 에너지 낭비요인 현장조사
			장비별 · 공종별 에너지 낭비요인 DB구축
		장비의 작업효율 정량화 분석	장비의 표준 작업패턴 분석
		Traffic Queue 알고리즘 개발	현행 장비 운용의 비효율성 검토 및 문제점 도출
			실태조사를 활용한 에너지 사용량 저감 방법론 개념설계
2차년도 (2015 - 2016)	장비 에너지 효율 관리를 위한 Eco-Operation 시스템 개발 (경북대학교)	Traffic Queue 알고리즘 개발	에코토공을 위한 굴삭기 작업장치 최적 조합 탐색
			가설로 설치를 고려한 토사운반 최적화 방법론 설계
			DES기반 Non-traffic queue 최적 장비 군단 탐색 및 도출
		연비측정 HW/SW 개발	유효출력을 고려한 도저의 등판각도 및 생산성연산 방법론 설계
			스마트 센서기반 스마트기기용 실시간 변수측정 및 장비출력 App개발
3차년도 (2016 - 2017)	장비 에너지 효율 관리를 위한 Eco-Operation 시스템 개발 (경북대학교)	Eco-Operation 시스템 개발	굴삭기를 대상으로 하는 Eco-Operation 시스템 개발
4차년도 (2017.4 - 2017.12)	장비 에너지 효율 관리를 위한 Eco-Operation 시스템 개발 (경북대학교)	Eco-Operation 시스템의 현장 검증	Eco-Operation 시스템 현장 검증 및 성능평가

□ 2-1세부 - 스마트 머신 가이던스 시스템 개발

구분 (연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행목표
1차년도 (2014 - 2015)	스마트 머신 가이던스 시스템 개발 (부산대학교 산학협력단)	건설장비군 구성요소 분석	주요 건설장비에 대한 구성요소 분석
			주요 건설장비 운영특성 분석
			건설장비 간 인터페이스 특성분석
		건설장비에 대한 관리 속성 스마트화	주요 건설장비 조종기능 분석
			건설장비 Man Machine Interface 분석
			주요 건설장비 스마트 지원기능 분석
		건설장비 관리 속성에 대한 데이터 모델링	장비별 ERD 작성
			건설장비 간 데이터 연계 모델링
			장비별 주요 속성값에 대한 데이터베이스 개발
		토공작업 프로세스 모델링	개별 건설장비 현행 운영 프로세스 분석
			건설장비간 현행 연계 프로세스 분석
			스마트 토공 비젼 및 개념도 작성
			개별 건설장비 개선 운영 프로세스 분석
			건설장비간 개선 연계 프로세스 분석
			스마트 토공을 위한 시스템 요구사항 분석
		토공대상 지역 3D 모델링	지형데이터 구성 (수치지도, 3D스캐너 등)
			토공 데이터 변위 설정을 위한 기초 DB 체계구성
			지층 3D 모델 포맷 분석 및 표준 포맷 분석
			TIN 기반의 지형데이터 생성
		센서 기반 모션인식 모듈설계	건설장비 및 센서의 연계동작 프로세스 분석
			건설장비군 모션 인식칩을 위한 무선송수신 모듈 분석
		블레이드 자동제어 시스템 개발을 위한 요소기술 분석 및 개념 설계	블레이드형 건설 자동화 장비 분석 및 건설 작업 분석
			블레이드 자동제어 장비 개념 설계

구분 (연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행목표
2차년도 (2015 - 2016)	스마트 머신 가이던스 시스템 개발 (부산대학교 산학협력단)	현장 네비게이션 환경개발	네비게이션 기능 분석 및 메뉴체계 개발
			네비게이션 인터페이네비게이션 모듈 개발 성능검토스 개발
			네비게이션 모듈 개발 성능검토
		센서 기반 모션인식 모듈개발	건설장비군 모션이식칩을 위한 무선송수신 모듈 개발
		GPS 위치정보 및 장비 모션 정보 연동	GPS 정보 데이터와 지형데이터 연계 모듈 개발
			GPS 정보에 따른 장비 BIM 데이터 연계 모듈 개발
			관제센터 GPS 지원 시스템 체계 구성
		시운전 매뉴얼 작성	개별 건설장비 별 시운전 매뉴얼 작성
			플릿형 가이드 시스템 모듈별 시운전 매뉴얼 작성
			플릿형 가이드 시스템 통합 시운전 매뉴얼 작성
		데이터 연계박스 개발	개별 장비 정보 송신 모듈 개발
			플릿 시스템 데이터 수신 모듈 개발
		스마트 글래스 건설장비 데이터 인터페이스	스마트 글래스 인터페이스 및 데이터 연계 프로그래밍
			스마트 글래스 지원 정보체계 구축
			관제센터 GPS 지원 시스템 체계 구성
		개별 건설장비 현장 테스트	개별 건설장비에 대한 스마트 토공 현장 테스트
			개별 건설장비에 대한 작업성과 평가 및 보완
		블레이드 자동제어 시스템 시제품 개발	블레이드 자동제어 시스템 구축
			블레이드 자동제어 시스템 각도 제어 시험
		스마트 시공 기술 적용을 통한 토공현장 원가 성과 검증	토공 관제 시스템 기술을 적용한 원가산정 방법 제시
			토공 관제 시스템 기술을 적용한 원가산정 방법 제시

구분 (연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행목표
3차년도 (2016 - 2017)	스마트 머신 가이던스 시스템 개발 (부산대학교 산학협력단)	다기능 3D 토공 BIM 환경개발	굴삭기, 도저, 그레이더 등 다양한 건설장비를 위한 3D 토공 BIM 환경 개발
			건설장비 간 연계 3D 그래픽 시뮬레이션 구현
		다양한 건설장비의 형상을 인식하기 위한 다기능 건설장비 형상인식 센서 모듈 개발	굴삭기, 도저, 그레이더 등 다양한 건설장비 모션인식센서 개발
			모션인식 데이터 전송을 위한 송수신 모듈 개발
			모션인식 데이터 처리를 위한 프로그램 모듈 개발
		RTK 건설장비 위치추적시스템	건설장비 위치를 위한 거리센서 모듈 개발
			절대좌표와 상대좌표 변환 모듈 개발
			위치추적 데이터 처리를 위한 프로그램 모듈 개발
		다기능 토공작업을 위한 건설장비 가이던스 시스템 사용자 환경 개발	굴삭기, 도저, 모터 그레이더 등 다양한 건설장비 운용에 필요한 다기능 메뉴체계 개발
			수치지도 현황 업데이트를 위한 지형변환 모듈개발
			토공작업 현황관리를 위한 기능추가
		건설장비 형상추적을 위한 단거리위치 추적모듈 프로토타이핑 및 테스트	굴삭기 삽날 또는 도저와 모터 그레이더의 블레이드 위치추적
			단거리 위치를 추적하여 블레이드의 형상을 인식
		건설장비 조종을 위한 3D 토공 BIM 시뮬레이터 개발	건설장비를 3D 그래픽 환경에서 조종하는 기술개발
			건설장비 교육 및 사전훈련 환경 제공
		개별 건설장비 현장 테스트	개별 건설장비에 대한 스마트 토공 현장 테스트
			개별 건설장비에 대한 작업성과 평가 및 보완
		블레이드 자동제어 시스템 통합 및 성능 보완	블레이드 자동제어 시스템 개발
			건설장비 가이드 시스템(주관기관)과의 유선 통신 연계
			블레이드 자동제어 시스템 성능 보완
		Key Performance Index 도출	Key Performance Index 도출을 위해 해외사례 문헌연구 진행
		토공사 원가 산정식 개발 및 검증	원가계산방식에 의한 토공사원가 산정과 실적공사방식에 의한 토공사원가 산정 검증
		시스템 토공 평가모델 개발	시스템 토공 평가 모델을 구축하여 토공사 원가를 도출함

구분 (연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행목표
4차년도 (2017.4 - 2017.12)	스마트 머신 가이던스 시스템 개발 (부산대학교 산학협력단)	개발 플릿형 3D 토공 BIM 단독 환경 개발	3D 그래픽 시뮬레이션을 통한 Virtual 작업환경
			토공작업에 필요한 굴삭정보 제공
			굴삭정보 음성안내
			지형정보 데이터베이스 화
		플릿형 3D 토공 BIM 서버 환경 개발	다수의 건설장비에 대한 통합운영
			건설장비와 서버 간 데이터 교환
			건설장비와 건설장비 간 데이터 교환
		플릿형 건설장비 가이던스 시스템 사용자 환경 개발	플릿형 건설장비 가이던스 시스템 (3D 토공 BIM 환경) 사용자 환경 제공
		센서 모듈 성능 고도화 및 모듈제작	건설장비 형상인식을 위한 다양한 센서 모듈 성능 고도화 개발
		건설장비 위치추적시스템 개발	RTK 원거리 건설장비 위치추적시스템
			단거리 RTK 건설장비 위치추적시스템
		VR 시뮬레이터 개발	3D 그래픽 시뮬레이션
			Virtual Graphic (VR) 시뮬레이션
		블레이드 자동제어 시스템 현장적용	블레이드 자동제어 시스템 성능 최적화
			블레이드 자동제어 시스템 현장적용
		시스템 토공작업 평가모델 개발	생산성, 에너지 효율을 KPI(Key Performance Index)로 설정한 시스템 토공작업 평가 모델을 개발하여 여러 토공사 현장 적용

□ 2-2세부 - 작업환경 인식기반 안전 가이던스 시스템 개발

구분 (연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행목표
1차년도 (2014 - 2015)	작업환경 인식 기반 안전 가이던스 시스템 개발 (중앙대학교 산학협력단)	건설장비 안전 가이던스 시스템 요구 사항 정의	작업 환경 인식 기반 안전 가이던스 시스템 성능 수준 설정
			건설산업에서의 작업자 안전 확보를 위한 장비 시스템 분석
			자동차산업에서의 보행자 안전 시스템 분석
			안전 가이던스 시스템에 활용 가능한 센서 및 알고리즘 파악
		굴삭기 안전 가이던스 시스템 설계	굴삭기 안전 가이던스 시스템 설계
			제안된 굴삭기 안전 가이던스 시스템 적용 가능성 파악
2차년도 (2015 - 2016)	작업환경 인식 기반 안전 가이던스 시스템 개발 (중앙대학교 산학협력단)	안전 가이던스 시스템 성능 수준 설정 및 개발	시스템 개발 프레임워크 구축
			센서 융합 기반 입력 및 처리 모듈 구현
			처리결과에 대한 태블릿PC 출력 (Output) 모듈 구현
		시스템 고도화를 위한 평가 및 보완	전문가 자문을 통한 입력 모듈 구성 보완
			전문가 자문을 통한 처리/출력 모듈 보완 개발 및 성능 평가
3차년도 (2016 - 2017)	작업환경 인식 기반 안전 가이던스 시스템 개발 (중앙대학교 산학협력단)	작업환경 인식 기반 안전 가이던스 시스템 프로토타입 ver.1 개발	전방위 탐지를 위한 입력 모듈 보완 및 통합
			처리 모듈 성능 개선
			시스템 연계를 위한 출력 모듈 보완 개발 (영상 및 음성 출력)
		테스트베드 적용 결과를 바탕으로 프로토타입 ver.1 현장 적용성 평가	안전 가이던스 시스템 프로토타입 ver.1 현장 적용성 평가
			해당 시스템의 테스트베드 적용 및 평가 결과를 기반으로 한 보완
4차년도 (2017.4 - 2017.12)	작업환경 인식 기반 안전 가이던스 시스템 개발 (중앙대학교 산학협력단)	작업환경 인식 기반 안전 가이던스 시스템 프로토타입 ver.2 개발	하드웨어 회로 설계를 통한 영상 개선, 작업자 인식 속도 및 출력 속도 개선
			인식된 복수 작업자 추적 및 시나리오 기반 인식 오류 개선
			시스템 통합 시 백그라운드 실행 지원을 위한 규칙 설계 및 시스템 이벤트 처리 개발
		작업환경 인식 기반 안전 가이던스 시스템의 Full-Package 현장 테스트 및 검증	다수의 중장비가 운전되는 복잡한 환경에의 안전 가이던스 프로토타입 ver.2 현장 적용성 평가
			해당 시스템의 테스트베드 적용을 통한 평가 및 보안

□ 2-3세부 - 건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발

구분 (연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행목표
1차년도 (2014 - 2015)	건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발 (인하대학교 산학협력단)	AR 네비게이터 시스템 설계	AR 네비게이터 시스템 설계
		어라운드 뷰 시스템 설계	어라운드 뷰 영상장치 관련 선행연구 및 기술개발동향 분석
		Task-시각정보 맵	어라운드 뷰 표현정보 정의
			어라운드 뷰 카메라 최적 설치위치 분석
			어라운드 뷰 하드웨어 디자인(안) 도출 및 최적 디자인 선정
			토공 건설장비 운용 Task 시각정보 맵 도출
2차년도 (2015 - 2016)	건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발 (인하대학교 산학협력단)	AR 네비게이터 시스템 개발	AR 네비게이터의 가시영역
		어라운드 뷰 시스템 개발	AR 네비게이터 어플리케이션 개발
			어라운드 뷰 시스템 기능별 요구사항 도출 및 하드웨어 선정/개발
			어라운드 뷰 알고리즘 설계 및 프로그래밍
			어라운드 뷰 통합 어플리케이션 기능 구현
			어라운드 뷰 통합 어플리케이션 실험실 테스트 및 성능 평가
3차년도 (2016 - 2017)	건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발 (인하대학교 산학협력단)	AR 네비게이터 시스템 개발	AR 네비게이터와 스마트가이던스의 호환성
		어라운드 뷰 시스템 개발	어라운드 뷰 모니터링 시스템 개선, 특허출원, 프로그램 등록 및 안정성 확보
		AR-어라운드 뷰 네비게이터 프로토타입 개발	어라운드 뷰 통합 어플리케이션 현장적용 실험
			AR 네비게이터와 어라운드 뷰 모듈의 통합성
4차년도 (2017.4 - 2017.12)	건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발 (인하대학교 산학협력단)	건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 시스템 개선 및 운용 매뉴얼 작성	건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 시스템 개선
			건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 운용 매뉴얼 작성
		건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 시스템 현장 실험	건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 현장실험 운영계획 수립 및 현장실험
			작업부하 측정을 통한 시스템 효율성 검증
			건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 개선요구사항 도출

□ 2-4세부 - 건설장비 가이드 기술 시스템화

구분 (연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행목표
1차년도 (2014 - 2015)	건설장비 가이드 기술 시스템화 ((주)두산인프라코어)	태블릿 기반 굴삭기 버켓 위치 디스플레이 시스템 및 MMI 유닛 개발	버켓 위치 디스플레이 시스템 구성 부품 조사 및 기술 분석
			태블릿 기반 버켓 위치 디스플레이 시스템 요구사양 정의
2차년도 (2015 - 2016)	건설장비 가이드 기술 시스템화 ((주)두산인프라코어)	태블릿 기반 굴삭기 버켓 위치 디스플레이 시스템 및 MMI 유닛 개발	굴삭기 버켓 위치 디스플레이 시스템 센서 부품 적용 개발
			굴삭기 버켓 위치 디스플레이용 태블릿 인터페이스 게이트웨이 개발 및 검증
			굴삭기 버켓 위치 디스플레이용 태블릿 앱 S/W 요구사양 도출 및 UI 설계
3차년도 (2016 - 2017)	건설장비 가이드 기술 시스템화 ((주)두산인프라코어)	태블릿 기반 굴삭기 버켓 위치 디스플레이 시스템 및 MMI 유닛 개발	디스플레이용 태블릿 앱 S/W 개발 및 검증
			위치인식 S/W 정확도 향상 로직 개발 및 정확도 검증
			게이트웨이 H/W 보완 제작 및 신뢰성 검증 착수
			굴삭기 버켓 위치 디스플레이 시스템 보완 개발 및 검증
4차년도 (2017.4 - 2017.12)	건설장비 가이드 기술 시스템화 ((주)두산인프라코어)	태블릿 기반 굴삭기 버켓 위치 디스플레이 시스템 및 MMI 유닛 개발	굴삭기 버켓 위치 디스플레이용 태블릿 앱 S/W 기능 개발 및 검증
			위치인식 S/W 정확도 향상 로직 개발 및 정확도 검증
			게이트웨이 H/W 신뢰성 검증

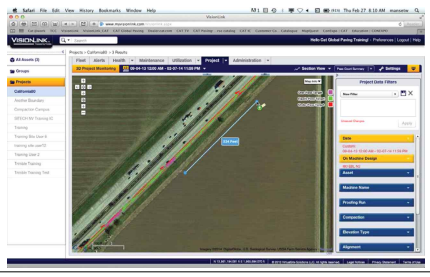
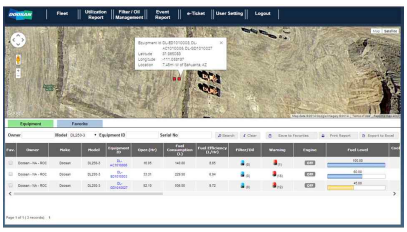
제2장. 국내외 기술 개발 현황

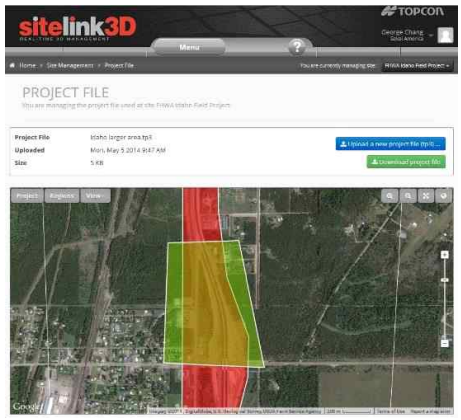
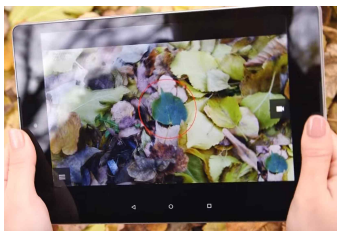
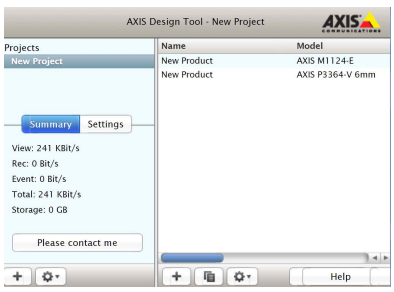
1. 1세부 - 건설장비 통합관제 기술 개발

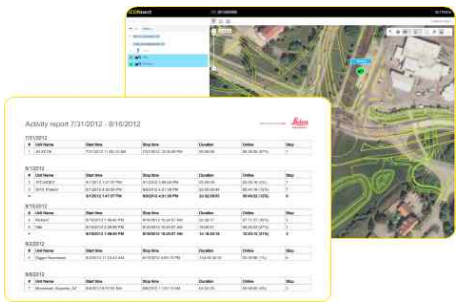
□ 통합형 건설장비 관제센터 개발 (1-1세부 주관-한양대학교 산학협력단)

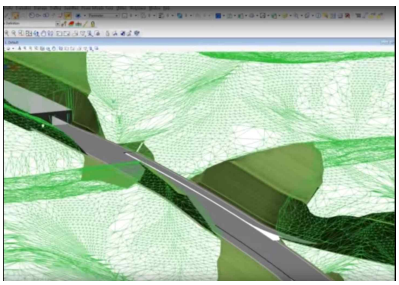
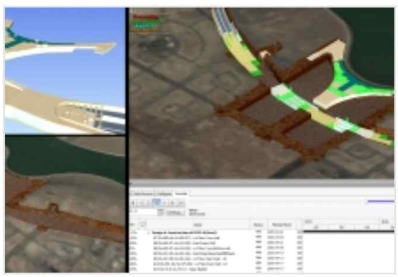
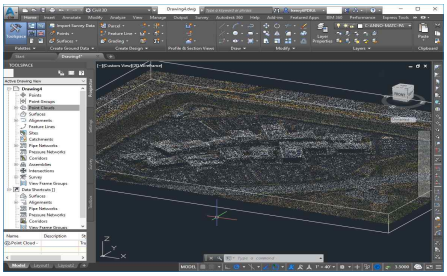
- 국내·외 기업별 건설장비 텔레매틱스 기술은 유럽, 미국, 일본을 중심으로 개발·보급되고 있으며 주요 기술에 대한 내용은 다음 표의 내용과 같이 요약할 수 있음
- 국내·외 기업별 건설장비 텔레매틱스 기술은 유럽, 미국, 일본을 중심으로 개발·보급되고 2000년초 일본 건설장비회사인 고마쯔는 업계 최초로 Komtrax를 출시하였고 이어 Caterpiller와 Trimble의 합작社인 VisionSite Solution에서 VisionLink를 출시하면서 지금은 거의 모든 건설장비 회사가 Telematics 서비스를 제공하고 있음. 국내에서는 두산인프라코어가 2005년 중국시장에서 처음 텔레매틱스 서비스를 시작한 이후 유럽과 북미시장으로 서비스 지역을 확대해 현재 전 세계 약 4만 6천대의 장비에 텔레매틱스 서비스를 제공 중임. 2015년부터는 그간 쌓아온 서비스 노하우와 장비 데이터에 독자 개발한 기술을 접목해 업그레이드한 'DoosanCONNECT'를 중국, 미국, 유럽시장에 잇달아 출시했음.
- 해외에서는 AutoCAD, Bentley Systems 등 대기업을 선두로 토목 BIM 시장이 활성화 되고 있음. 이에 국내에선 Taesung SNI 社가 한국, 싱가폴, 카타르, 일본, 홍콩 등 국내외 대규모 SOC 사업에 토목 BIM을 활용 하여 국내 기업으로써 시장에서 많은 활약 중임.

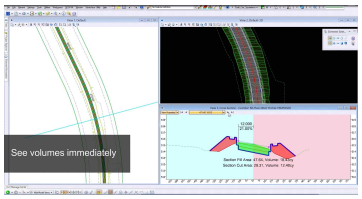
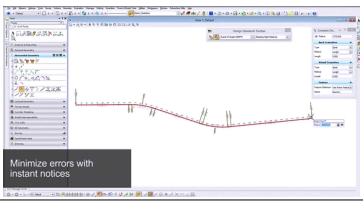
<국내외 Telematics 기술개발 현황>

국가 / 회사	시스템 명칭	주요 기능	R&D 개발기술 수준
미국 / Caterpillar, Volvo	VisionLink	- 다짐작업 전구간의 색상화를 통하여 작업 관리자 Quality Control 향상 - 실시간 관제를 통한 향상된 다짐도 및 평탄도 도출 	100 % (기술선도)
한국 / 두산이프라코어 社	Doosan Connect	 - Job Site Manager : GPS, Report - Work Efficiency Management : 장비의 연료 효율을 분석하여 최적 연료 소비 효율을 가이드 해줌 - Preventive Maintenance : 장비의 소모품 주기를 체크하여 장비 유지관리 측면에서 편리한 기능 - Proactive Service : 장비의 결함이나 긴급 상황(안전사고 등) 발생 시 빠른 대처 가능.	100% (기술선도)

국가 / 회사	시스템 명칭	주요 기능	R&D 개발기술 수준
일본 / Sakai	Topcon SiteLink 3D	- 다짐작업 구간에 대한 바운더리 형성 및 롤러의 작업 범위 지시 - 지반 정보 확인을 통한 작업 프로세스 설정 	100 % (기술자립)
체코 / TLD Vision	TLD2.2	- Object tracking: 영상 데이터에 나타난 물체의 유형과 위치를 실시간으로 파악 	100 % (기술자립)
미국 / Reconstruct	Visual Data Analytics Platform for Construction	- Productivity Measurement: 3차원 형상정보와 스케줄 정보를 연계 및 분석하여 건설 생산성을 자동 측정 	100 % (기술자립)
독일 / AXIS	Axis Design Tool	- Camera placement: 실내공간의 특정 위치에 설치된 카메라의 커버리지를 시각화함으로써 사용자의 이해를 돕고 카메라 배치 의사결정을 지원 	120 % (기술선도)

국가 / 회사	시스템 명칭	주요 기능	R&D 개발기술 수준
미국 / Trimble	GeoManager	- Fleet Productivity: 실시간 위치정보 및 운송 관리, 운전자와 엔지니어의 직접 통신가능 - Fuel Reduction: 차량의 지나친 과속 및 공회전 관리, 차량 유지보수 스케줄 관리 구현 	95 % (기술자립)
스위스 / Leica	Fleet Manager	- Real Time view : 실시간 스트림을 통해 장비 위치 제공 - Historical view : 현장에 투입된 장비의 위치가 기록된 데이터를 제공 - Reports : 장비 운행 중 발생한 데이터를 보고서형식으로 출력 가능 	100 % (기술자립)
미국 / Topcon	Haul Truck Assignment and Tracking System	- 트럭에 적재되는 하중에 대한 데이터가 입력되고, 입력된 하중을 Sitelink3D ™ Enterprise3D에 통합하고 계획, 일정 계획 등에 따라 경로를 변경하고 작업이 완료되면 기록 할 수 있음 	80 % (기술자립)

국가 / 회사	시스템 명칭	주요 기능	R&D 개발기술 수준
한국 / Taesung SNI 社	Taesung SNI BIM(Rodas)	- 토공량 계획 및 체크 - 교통량 분석 - 부대 작업 계획 기능 - 가시설 계획 - 지하입구 공기벤트 설계 - 기존 구조물의 연결 및 충돌 검사  	100 % (기술자립)
미국 / AutoDesk 社	Civil 3D	- 토목설계 : 반복적인 설계 작업을 더 빠르게 수행하고 시간이 많이 걸리는 작업을 간소화할 수 있음 - 실시설계 및 문서화 :설계를 문서와 연결하여 생산성을 대폭 개선하고 품질을 더 높일 수 있음. - 시각화 및 분석 : 설계 프로세스에 통합된 시각화, 시뮬레이션 및 물 분석 도구를 사용하여 프로젝트 실행 및 의사 결정을 개선할 수 있음. 	100% (기술자립)

국가 / 회사	시스템 명칭	주요 기능	R&D 개발기술 수준
미국 / Bentley Systems 社	InRoads	InRoads 프로그램의 주요 기능은 - 평면 및 종단 선형 생성 - 종횡단면 생성 - 프로젝트 베이스 생성 - 토목 프로젝트 성과품 생성 (2D/3D PDF, XML) - 타사 모델을 토목설계에 통합 - 지형 및 항공 영상의 통합 - 지형 모델링 및 분석 - 설계 시각화  	100 % (기술자립)
스위스 / Pix4D	Pix4D Mapper	- 자동 공중 삼각 측량(AAT)과 블록 조절 번들(BBA) - 자동 포인트 고밀도 클라우드 - 자동 포인트 클라우드 필터링 및 수정 - 자동 지형/객체 포인트 클라우드 분류 및 DTM 추출(BETA) - Surface, Volume, Polyline, 포인트 클라우드 에디팅 기능	70% (기술자립)
러시아/Agisoft	Photo Scan	- 측정 거리와 측정 저울에서 출력(위도,경도 정보 출력) - DEM 데이터의 출력 - 클라우드 생성 및 메쉬 변환 기능 - 메쉬를 통한 다양한 용도로 사용 가능 (조각물, 건물 및 지형) - 메쉬를 생성 후 포인트 클라우드의 자동 기준점 생성 - 최종 메쉬의 최대면 조절 - 이미지 사이의 구멍 보정 기능	70% (기술자립)
스위스/Leica	Cyclone	- 각각의 스캔데이터를 하나의 프로젝트로 관리가능 - 취득데이터 정합 시 타겟기반/특징점 매칭/ 평면도매칭 기능 제공 - 점군 데이터를 CAD 데이터로 입출력이 가능 - 어플리케이션(Cyclone modeler, Truview)을 통한 모델링, 좌표정보 출력 등이 가능 - 클라우드 서비스를 이용한 Truview 뷰어는 사용자가 쉽게 데이터 확인 및 측정이 가능하며, 가벼운 데이터 크기로 사용자들 간의 데이터 공유가 용이	60% (기술자립)

□ 플릿형 작업계획 시스템 개발 (1-2세부 공동-서울과학기술대학교 산학협력단)



< 'VoDa Pro' 는 LoRa통신망을 사용해 PC는 물론 스마트폰으로 관제망을 이용할 때도 끊김 없이 위치 보고 가능>

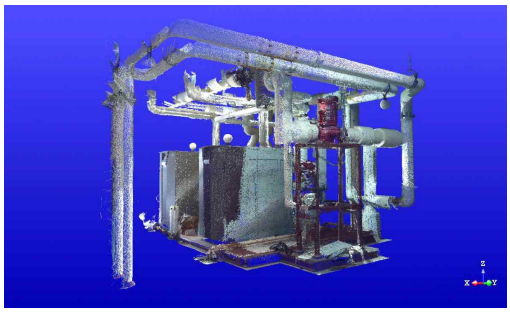
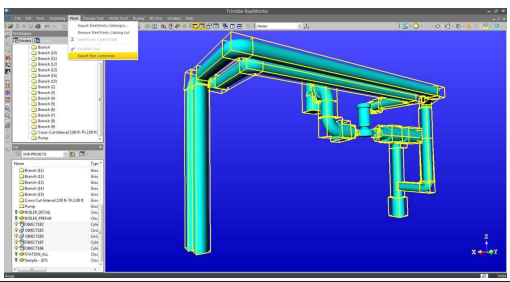
- 위 그림은 'VoDa Pro' 개념도로 위치관제시스템을 활용한 장비의 효율적인 관리와 운영으로 비용을 절감하고, 경영을 개선함과 동시에 언제 닥칠지 모르는 장비 도난의 위험으로부터 장비를 안전하게 보호하는 IoT 기반의 첨단 텔레매틱스 건설기계 운용 솔루션으로, 특히 세계최초의 IoT 전용망인 LoRa를 활용한 혁신적인 위치관제 및 도난방지시스템이라는 점이 눈길을 끈다. LoRa를 활용하게 되면 여러 가지 활용 범위가 크면서도 저렴한 기기 가격과 월간 이용료로 활용할 수 있다.
- 특히 건설기계가 도난방지 및 관제가 어려운 작업현장 등에 보관된다는 점을 감안해 기존의 GPS 등을 이용한 도난방지시스템이 막지 못했던 도난까지 막는 것은 물론 장비의 실시간 위치를 지도에서 확보해 장비 회수에도 획기적이라는 점은 기존 솔루션과 대비되는 차별화된 특장점이다. 또한 현장에서의 엔진시동을 감지해 휴대폰과 인터넷통보, 유무선 동시 감지로 연결전기선의 단선시의 감지와 장비 충격시도 감지 통보함은 물론 지정된 일정구역을 벗어나도 즉시 통보되어 실시간 장비위치를 확인할 수 있다.
- 그 외에도 실시간 간편 모니터링 기능은 등록되어 있는 모든 단말기들의 상태 정보(시동on/off 속도정보) 등을 실시간으로 확인해 효율적인 관리 기능을 제공하고 운행 중인 장비의 속도 및 좌표, 주소까지 확인 가능한 로드뷰를 제공, 근처 지형지물 확인이 가능하다.
- 이동경로 조회 기능은 이동 동선 및 장소 내역 등을 파악하여 통계자료, 업무상세 기록 등으로 활용이 가능하다. 아울러 이 시스템은 배터리 저전압시 알림기능 등 관련 통계 작성기능이 있어 장비 소유자, 운전자, 보험회사, 금융회사, 렌탈 회사 등도 이용방안을 고려하여 활용할 수 있다. 멀티 모니터링은 다수의 차량을 4화면으로 분할하여 상세 모니터링이 가능하다.
- 건설장비 원격관리시스템은 중장비 최종고객들에게는 상당히 생소한 아이템임은 분명하지만 최근 4차 산업혁명 관련 건설기계 신기술이 빠르게 보편화 되고, 소프트웨어 기술이 적용된 건설기계 제어 시스템이 각광을 받으면서 건설기계 분야의 확실한 블루오션으로 자리매김하고 있다. VoDa Pro는 기존의 텔레매틱스 솔루션에서 더욱 다양한 기능 옵션을 자랑하며 건설기계 제어 시장에 상당한 센세이션을 불러일으킬 것이다.

<국내 플릿형 작업계획 시스템 기술개발 현황>

국가 / 회사	시스템 명칭	주요 기능	R&D 개발기술 수준
미국/Trimble	3D Modeling From P	- 실시간 모니터링 기능으로 운행 중인 단일 단말기의 속도 및 좌표, 주소까지 확인가능하며, 로드뷰 제공으로 근처 지형지물에 대한 확인 가능  - 장비운행 경로조회 기능을 통한 이동 경로 및 장소내역 등을 통한 통계자료 및 업무 상세기록 제공  	100%(기술자립)

□ 스마트 지형 스캔 플랫폼 개발 (1-3세부 공동-건설기술연구원)

<스마트 사물 스캔 기술개발 현황>

국가 / 회사	시스템 명칭	주요 기능	R&D 개발기술 수준
한국/기계산업 전력연구원	Trimble MEP	- 스캔 데이터가 수집되면 Trimble의 Point Cloud Service에서 모델링하여 이를 작동 중인 3D 모델로 전환하는 다음 단계로 넘어갈 수 있음. MEP에서 자세히 설명하는 LOD 프로젝트 요구 사항에 대한 3D 모델링 환경은 LOD 프로젝트 요구 사항에 지정된 대로 상세하고 정교하게 지정됨.  - MEP 계약자는 기존 구조물에 대한 프로젝트 설계와 시스템 영향을 결정할 때 일반 계약자로부터 3D point cloud를 받을 수 있음. point cloud 자체는 세부 작업을 위한 시각적인 참조 포인트 일 수도 있고 point cloud가 MEP 시스템 설계와 세부 작업을 위한 출발점 역할을 할 수도 있음. Point Cloud 서비스의 Trimble 3D 모델링을 사용하면 점군에서부터 Trimble MEP Services Team으로 고형물 생성의 부하를 덜어줌으로써 조직이 현재 작업 부하에 집중할 수 있음. 	100%(기술자립)

□ 장비 에너지 효율 관리를 위한 Eco-Operation 시스템 개발 (1-4세부 공동-경북대학교 산학협력단)

- 국내·외 기업별 건설장비 에너지 효율 관리를 위한 Eco-operation 시스템 기술은 각국의 토공장비 제조사를 중심으로 개발되어 장비자체에 적용된 상태로 제공되는 상황임. 주요 기술에 대한 내용은 다음 표의 내용과 같이 요약할 수 있음

<국내외 장비 에너지 효율 관리를 위한 Eco-operation 시스템 기술개발 현황>

국가 / 회사	시스템 명칭	주요 기능	R&D 개발기술 수준
미국 / Bosh社: 및 Caterpillar社	장비 모니터링 시스템	- 장비에 탑재된 전자장치, 또는 구동계 부분에 센서장비를 설치하여 이들의 GPS정보와 활동정보를 취득하여 관리자로 하여금 장비의 고장이나 활동상황에 대한 판단을 가능하도록 구성됨	120%(기술선도)
일본/KOMATSU社	Eco-Guidance	- 굴삭기에 장착된 모니터 디스플레이를 통해 장비의 유압상태, 엔진부하상태, 종합적인 모니터링을 시행하며, 이를 통해 사용자의 연료절감에 필요한 정보를 제공함. 예를 들어, 과다한 유압상태 및 공회전, 장거리 주행등으로 인해 에너지소모가 클 시, 이를 감지하여 사용자에게 상황을 인지시키고 ECO 작업동작을 제시함	115%(기술선도)
대한민국 / 두산인프라코어社 및 BOSCH社	D-ECOPOWER	- 압력 센서가 굴삭기 작동에 필요한 유량과 힘(파워)을 감지하고 유압펌프를 제어함으로써 필요한 만큼의 유량과 힘을 공급하여 에너지 절감을 달성함	100%(기술자립)
스웨덴/VOLVO社	auto idle system	- 20~30초간 장비가 작동하지 않을 시 엔진 공회전 속도를 저감 상태로 유지하며 5분 이상 작동하지 않을 시 엔진을 자동으로 정지시켜 공회전 방지를 통해 연료 낭비를 저감시킴	100%(기술자립)

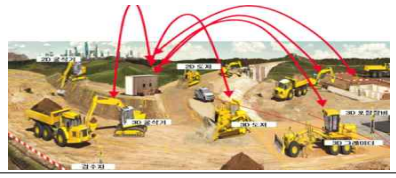
2. 2세부 - 건설장비 가이드 기술 시스템화

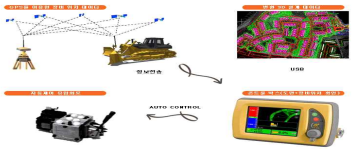
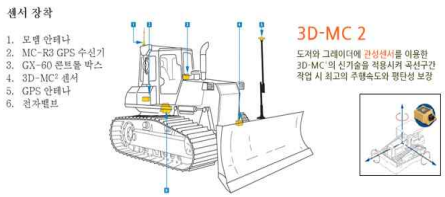
□ 스마트 머신 가이던스 시스템 개발 (2-1세부 협동-부산대학교 산학협력단)

- 국내외에서 건설장비에 대한 스마트 머신 가이던스 시스템 기술은 미국, 유럽, 일본을 중심으로 한 업체의 제품위주로 개발·보급되고 있다. 특히, 미국의 경우 American Association of State Highway and Transportation Officials(AASHTO), Caltrans 등의 정부 기관에서 스마트 머신 가이던스 시스템 기술을 적극적으로 지원하여 기술력 확보와 시장선도를 이루고 있음.
- 건설현장에서 건설장비 조종원의 수급이 원활하지 않아서 고령화가 진행되고 있으며, 이러한 현상을 극복하기 위해서는 건설장비 조종원에게 스마트 머신 가이던스 시스템과 같은 쾌적한 토공작업 기능을 제공해야 함.

<국내외 건설중장비 자동화 기술개발 현황>

국가 / 회사	시스템 명칭	주요 기능	R&D 개발기술 수준
미국 / Trimble	GradeMax Plus	- 실시간 정보로 회피 영역 모니터링 - 기계의 자동 블레이드 제어 설정을 실시간으로 제어 - 불도저, 다짐기, 굴삭기 등의 토공장비의 실시간 위치정보를 GPS 시스템을 이용하여 실시간으로 업데이트 하여 장비 내에 설치된 모니터 상에 CAD 설계정보와 오버랩하여 보여줌으로써 장비 운전자에게 절토위치와 성토위치에 대한 정보를 제공하는 시스템을 제공 	85 % (기술자립)
미국 / Trimble	Earthworks Grade Control Platform	- 125 피트 길이의 산사태 수리 프로젝트 - 굴착 작업에 대한 전용 등급 검사기의 필요성 감소 - 토공 작업의 각 트렌치의 시작 역 고도와 값을 입력하여 굴착속도 향상  	80 % (기술선도)

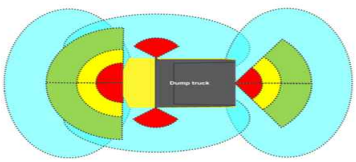
국가 / 회사	시스템 명칭	주요 기능	R&D 개발기술 수준
미국 / Leica Geosystems	Machine Control Construction (MCC)	- 모든 굴삭기 및 도저에 장착가능 (장비종류, 제조사에 상관없음) - 굴착 및 성토의 최적화 (과굴착, 과성토 감소 및 방지) - 연료비 절감 (반복 시공 불필요, 한 번에 시공)  - 생산성 증가 (기준틀 및 유도선 설치 불필요, 측량대기 시간 불필요 등) - 품질 향상(±1㎝의 정확도로 재작업 없이 한 번에 작업 완료) 	80 % (기술선도)
일본/Sokkia, Topcon	3D Machine Control for Excavators (X63)	- 작업자가 굴착 작업 전체를 컨트롤, 위험요소를 원천적으로 제거한다. - 신속하고 정밀한 시공 - 계획 면 생성이 매우 간단 - 멀티뷰 화면을 통해 평면도, 종단 및 횡단 화면을 동시에 확인 가능 - 절/성토 인디케이터를 통해 높이를 지시해 작업자가 확인하면서 시공가능 	80 % (기술선도)
일본/Sokkia, Topcon	X-32 System	- 구성 : X-32센서 4개, 회전센서 1개, 모니터 - 따로 레벨측량 작업 없이 조종원 혼자서 땅고르기 작업, 터파기 작업, 구배 작업 등 다양한 굴삭작업 진행 가능 	80 % (기술선도)
일본/Topcon	3D-MC System(QS)	- 현장 : 이시가키 공항 활주로 프로젝트  - 노반 작업에서 일일 6,000m 2 의 속도로 일할 수 있었고 이는 종래의 방법보다 약 4 배 빠른 시공성 확보 - 허용 정확도는 ± 15mm이지만, 이 프로젝트의 목표 정확도는 ± 5mm이지만 목표 정확도에 도달 	80 % (기술선도)

국가 / 회사	시스템 명칭	주요 기능	R&D 개발기술 수준
일본/Topcon	LPS-900 3D-MC Grader	- 시공사 : Watanabe Sato - 고 규격 고속도로 건설현장 - 시스템을 사용하고 ± 10㎜ (± 0.4 인치) 내에 건설 정확도를 달성 - 설계 데이터와 비교하였을 때, 마감 정밀도의 표준 편차 4㎜ 이내  	80 % (기술선도)
대한민국 / ㈜영신디엔씨	Machine Control	- GPS를 활용한 중장비 자동제어 시스템으로 별도의 측량지원 없이 시공이 가능하고, 자동밸브 제어를 통해 목표하는 설계값으로 자동 시공이 가능  - 3D MC 2 : GPS와 관성센서를 이용해 주행시 정확한 좌표 산출 및 유압제어를 통한 배토판 높이 자동제어 시스템 	80 % (기술선도)
대한민국/ ㈜영신디엔씨	굴삭기 3D MC X-53i	- 시공사 : GS건설 현장명 : 광주외곽순환고속도로 작업공종 : 도로 토공사 작업내용 : 별도 측량없이 법면절취 및 바닥면 고르기 작업  	80 % (기술선도)
대한민국/ ㈜영신디엔씨	그레이더 3D MC G-63	- 시공사 : 삼성물산 현장명 : 평택고덕인프라 조성 현장 작업공종 : 택지공사 작업내용 : 복잡한 택지공사에서 3D 도면입력 후 측량원의 도움 없이 신속정밀하게 시공, 측량없이 전자유압밸브를 이용한 자동제어 시공  	80 % (기술선도)

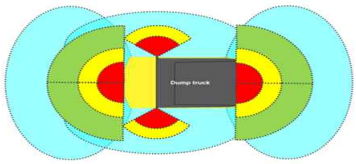
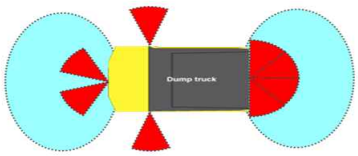
□ 작업환경 인식 및 운전자 행태기반 안전 가이던스 시스템개발 (2-2세부 공동-중앙대학교 산학협력단)

▪ 국내·외 기업별 건설장비 안전 가이던스 시스템 기술은 미국과 독일을 중심으로 개발·보급되고 있으며 주요 기술에 대한 내용은 다음 표의 내용과 같이 요약할 수 있음.

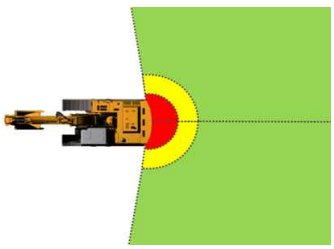
<국내외 건설중장비 안전가이던스 기술개발 현황>

국가 / 회사	시스템 명칭	주요 기능	R&D 개발기술 수준
미국 / Integrated Object Detection System	Caterpillar Inc.	- 레이다를 사용해 건설장비 최대 20m 주변으로 접근하는 물체를 탐지하고, 물체가 탐지되었을 때 알람을 울림과 동시에 카메라를 통해 획득한 해당 구역의 영상을 장비 운전자에게 제공 - 해당 시스템은 거리 기반 센서를 사용하여 건설장비 주변으로 접근하는 물체에 대한 정보를 얻고, 획득한 정보를 바탕으로 건설장비 작업자에게 음성 알람 등의 수단을 통해 경각심을 일깨움으로써, 건설장비로 인한 안전사고를 미연에 방지하는 목적을 지님.  <Caterpitllar사 Integrated Object Detection System의 개요도>  <Caterpitllar사 Integrated Object Detection System 물체 탐지 가능 범위>	120 % (기술선도)

※ 거리 기반 센서 탐지 범위: 0m 이상 7m 초과, 7m 이상 12m 초과, 12m 이상 20m 초과
※ 영상 기반 센서 탐지 범위:

국가 / 회사	시스템 명칭	주요 기능	R&D 개발기술 수준
미국 / TrackVision RadarEye Around	RMT Equipment	- 레이다를 사용해 건설장비 최대 20m 주변으로 접근하는 물체를 탐지하고, 물체가 탐지되었을 때 알람을 울림과 동시에 카메라를 통해 획득한 해당 구역의 영상을 장비 운전자에게 제공  <RMT Equipment사 Integrated TrackVision RadarEye Around 제품 사진>  <RMT Equipment사 Integrated TrackVision RadarEye Around의 물체 탐지 가능 범위>	120 % (기술선도)
미국 / PreView Radar System	Preco™ Electronics Inc	- 레이다를 사용해 건설장비 주변으로 접근하는 물체를 탐지하고, 필요시 카메라를 함께 설치해 설치된 카메라를 통해 획득한 해당 구역의 영상을 장비 운전자에게 제공  <PrecoTM Electronics Inct사 Integrated PreView Radar System의 물체 탐지 가능 범위>	150 % (기술선도)

※ 거리 기반 센서 탐지 범위: ■ 0m 이상 7m 초과, ■ 7m 이상 12m 초과, ■ 12m 이상 20m 초과
※ 영상 기반 센서 탐지 범위 : ■

독일 / Protection System	SICK AG	- 2대의 2D 레이저 스캐너를 통해 건설장비 후방으로 접근하는 물체가 존재하는지, GPS Global Positioning System)를 통해 건설장비가 위험지역으로 진입하는지를 각각 탐지하여 위험하다고 판단될 때 장비 운전자에게 알람을 울림  <SICK AG사 Protection System의 물체 탐지 가능 범위>	150 % (기술선도)

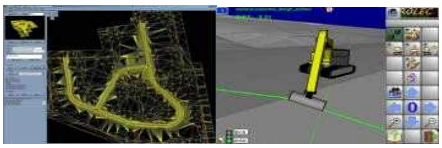
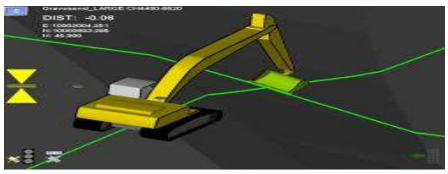
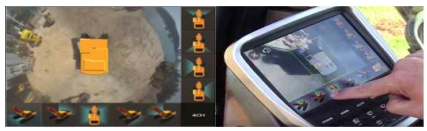
※ 거리 기반 센서 탐지 범위: ■ 0m 이상 7m 초과, ■ 7m 이상 12m 초과, ■ 12m 이상 20m 초과
※ 영상 기반 센서 탐지 범위: ■

- 조사결과, 국내 건설장비 안전 가이던스 시스템 기술 개발은 전무한 실정이며, 국외 건설장비 안전 가이던스 시스템으로는 Caterpillar Inc., RMT Equipment, Preco™ Electronics, SICK AG에서 건설장비 안전 가이던스 시스템을 개발하여 판매 중에 있음.
- 하지만, 상용 건설장비 안전 가이던스 시스템은 다음과 같은 측면에서 한계를 지님. 시스템의 탐지 범위가 짧거나 탐지 각도가 좁으며, 전방위를 감지하기 위해 부착이 필요한 센서의 수가 늘어나면서 시스템 구축에 필요한 비용이 수 천만 원에 이름. 뿐만 아니라, 이들은 탐지 대상을 구분할 수 없어 능동적 탐지가 불가하고, 탐지 범위 내에 들어온 물체 전체에 대해 알람을 울려 작업자 외에도 다양한 물체 (흙, 가시설 등)을 위험요소로 탐지하는 오류가 발생함.
- 특히 시스템 구성 내에 카메라가 있는 경우, 거리 기반 센서 (레이다, 레이저 스캐너)가 장비 주변 상황 탐지를 수행하고, 카메라는 단순히 거리 기반 센서가 물체를 감지한 영역의 영상을 송출만을 수행하고 있어 센서의 활용이 제한적이고 송출되는 영상 내에서 어떤 것이 위험물로 탐지되었는지 장비 운전자가 영상을 보고 직접 판단해야 하기 때문에 시스템 편의성이 떨어짐.

□ 건설장비 AR-어라운드뷰 네비게이터 기술개발 (2-3세부 공동-인하대학교 산학협력단)

- 건설장비 네비게이터 시스템 기술이 국내외 소수의 건설장비에 적용되어 있으며, 건설장비 운전자에게 네비게이팅 정보를 실제 지형이 아닌 2D/3D의 가상의 지형으로 전달해 사용자가 이해하는데 직관적이지 않다고 판단됨.
- 건설장비 어라운드 뷰 시스템 기술이 국내외적으로 개발되고 있으나, 현재까지 개발된 기술은 영상 왜곡 및 건설 장비의 특수성 반영 부족 등으로 인해 건설현장에서의 실용성 및 적용성이 부족한 실정임.

<국내외 건설장비 네비게이터 시스템 기술개발 현황>

국가 / 회사	시스템 명칭	주요 기능	R&D 개발기술 수준
일본 / Sokkia	2D/3D 인디케이트 시스템	- 종단, 횡단 및 3D 지형 단면 제공 - 버킷 끝단 위치 모니터링과 설계 지형도에 따른 시공 상황을 시각적으로 제공 - 시공 상황을 전달하기 위해 지형도를 탑재시키고 버킷 끝단의 좌표를 이용하여 지형의 구배, 표고를 표시해줌. 	80 % (기술선도)
멕시코 / Prolec	Digmaster Pro - 3D	- 굴삭기를 2D/3D 기반으로 제어하는 시스템으로 디지털 지형도 생성 및 디스플레이 시켜주는 시스템 - 토공사 및 현장 준비, 도로건설, 트렌치 공사, 수로 공사 등에 적용 가능 	85 % (기술선도)
멕시코 / Prolec	3D Machine Guidance grade control systems	- 실시간 지형도 업데이트 - 위치기반 정보전달 - Digmaster Pro 3D를 이용하여 건설 기계를 제어하는 시스템으로 위치 센서를 이용하여 실시간 지형도 설계모형을 제시함 - 토공사, 도로 건설, 굴착 등 각종 토공사 등에 사용 가능. 	85 % (기술선도)
한국/현대중공업 & PLK	AAVM(Advanced Around View Monitoring)	- 3D 맵핑 시스템: 3D 형상을 2D 형상으로 전환할 때 발생하는 왜곡을 최소화하고 굴곡의 존재 또는 모양이 원거리에서도 식별이 쉽도록 보조하는 시스템 - 물체 감지 시스템: 굴삭기 전방위에서의 근접 이동물체를 인식하여 운전자에게 알려주는 시스템 	100 % (기술선도)

국가 / 회사	시스템 명칭	주요 기능	R&D 개발기술 수준
한국 / Image NEXT	OMNIVUE 3D VGA	-굴삭기이탈경보시스템: 주행 중이던 굴삭기가 경로를 이탈 시, 운전자에게 경보하는 시스템 -전방추돌경보시스템: 주행 중이던 굴삭기가 전방의 물체와 추돌이 예상될 경우, 운전자에게 경보하는 시스템 -이동물체감지시스템: 굴삭기 후방에 근접하여 이동하는 물체를 감지하여 운전자에게 알려주는 시스템 	100 % (기술선도)
한국/ 두산 인프라코어	AVM(Around View Monitor)	- 듀얼 화면 시스템: AVM 시스템의 특정 화면(탑 뷰, 후방 화면, 코너 화면, 좌우 화면) 2가지를 동시에 모니터에 나타내는 시스템 - 후방 경고 시스템: 굴삭기 후방, 측방에 설치된 센서를 통해 위험 반경 내 물체가 감지되면 영상 신호 및 경고음을 통해 운전자에게 알려주는 시스템 	100 % (기술선도)
독일/Continental	ProViu ASL360	- 디지털 비디오 녹화 시스템: 사용자에게 GPS 기능을 제공 및 카메라 영상, 굴삭기 속도를 녹화하는 시스템 - 자동 밝기 조절 시스템: 4개의 카메라 영상의 밝기 차이를 맞추기 위해서 자동으로 적절 밝기를 맞추어 주는 시스템 - 화면 커스텀 시스템: 사용자가 보고 싶은 여러 화면을 직접 추가 및 제거를 하여 커스텀 된 화면을 제공하는 시스템 	100 % (기술선도)

□ 태블릿 기반 굴삭기 작업가이던스 시스템 및 MMI 유닛개발 (2-4세부 공동-두산인프라코어)

- 국내 · 외 기업별 굴삭기 버켓 위치 디스플레이 시스템 기술은 유럽, 미국, 일본을 중심으로 개발 · 보급되고 있으며 주요 기술에 대한 내용은 다음 표의 내용과 같이 요약할 수 있음

<국내외 굴삭기 버켓 위치 디스플레이 시스템 기술개발 현황>

국가 / 회사	시스템 명칭	주요 기능	R&D 개발기술 수준
미국 / Trimble	GCS900	- F듀얼 GPS가 장착되어진 그레이더로써 3D 컨트롤 시스템에 의한 설계 표면 시공이 가능함 - GPS를 이용하여 날의 방향이 측정되어 정확한 위치 및 정확한 경사로 공사가 가능함. 이 제품은 특히 고도의 그레이딩 작업이 필요한 복잡한 표면에 유리하며 큰 현장, 장기 공사 및 다중 위상 프로젝트에 이상적임 - 컴퓨터에서 위치 정보를 사용하여 절토 및 성토 여부를 확인하고 설계 표면과 비교함. 이 정보들은 컨트롤 박스 화면에 계획, 단면 부 그리고 텍스트로 표시됨 - 도로 및 고속도로, 댐 및 간척 등 대형 프로젝트에 적합함 	태블릿 앱 S/W: 80 % 위치 인식 S/W: 100%
스위스 / Leica	iCP40	- 필드를 대상으로 하는 대형 고속 3D 레이저 스캐닝 분야에 가장 잘 알려진 Leica Geosystems 업체에서 출시한 제품임 - 설계 정보와 실시간 절토/설토 정보를 화면에서 확인 가능하며 원하는 모형을 빠르게 굴착할 수 있음 - 원버튼으로 쉽게 2D 및 3D 화면 전환 가능함  - 스크린에서 직접 간단한 지형모델, 프로파일, 구배 생성 가능함	태블릿 앱 S/W: 87 % 위치 인식 S/W: 100%

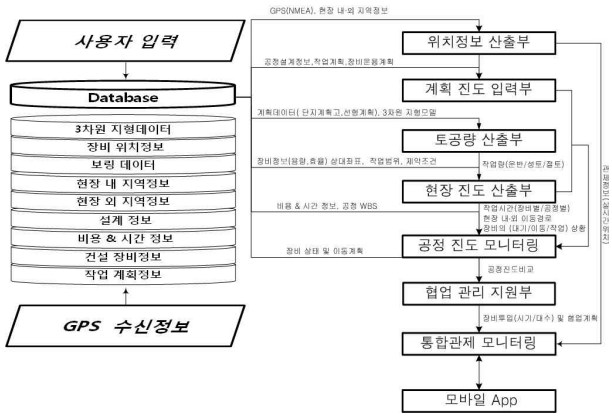
국가 / 회사	시스템 명칭	주요 기능	R&D 개발기술 수준
일본 / Komatsu	PC210i-11 (Intelligent Machine Control)	-Komatsu의 intelligent Machine Control은 stroke 감지 유압 실린더, IMU 센서 및 3D GNDSS 안테나를 이용하여 Auto grade assist, Auto stop Control, Minimum distance control 구현함 -12.1인치 대화면 모니터를 사용하여 3D 및 plan, section의 여러 view를 제공하여 작업자의 편의성을 넓힘 -붐과 암 회전축에 Rotary 타입 각도 센서가 추가로 장착하여 변위 측정 실린더의 정확도 보정하여 정밀도 향상됨  	태블릿 앱 S/W: 64 % 위치 인식 S/W: 100%

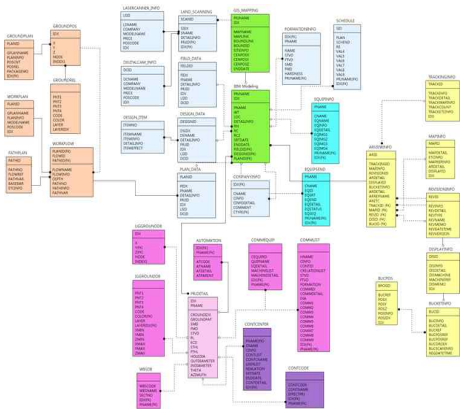
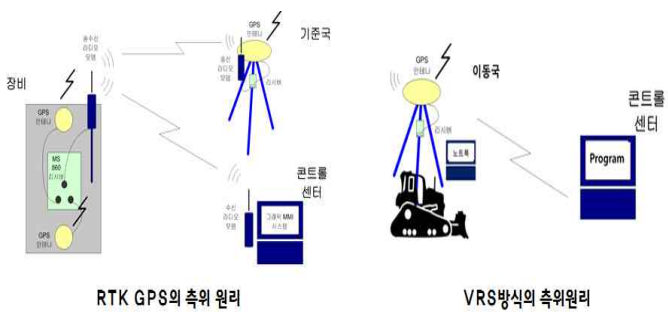
제3장. 연구 수행 내용 및 성과

1. 1차년도 연구수행내용 및 성과

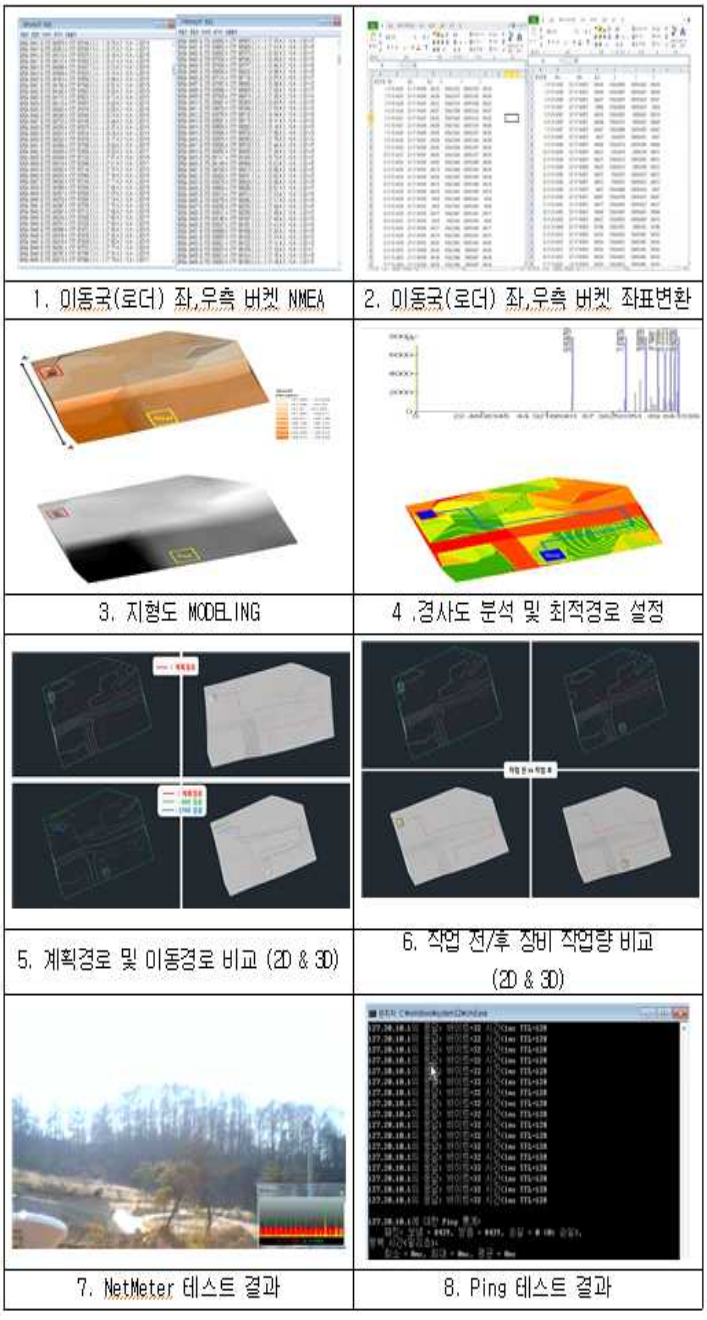
□ 1세부 - 건설장비 통합관제 기술 개발

◎ 통합형 건설장비 관제센터 기술 개발 (1-1세부 주관-한양대학교 산학협력단)

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
토공현장 맞춤형 건설장비 관제센터 하드웨어 구성 및 개념 설계	▪ 관제센터의 기능에 대한 니즈 분석 및 구성도 설계 ▪ 관제 모니터링 시스템 설계 및 1차 프로토타입 제작 테스트	▪ 건설장비 관제센터의 기능도출에 따른 세부파트설계 및 데이터처리 프로세스 설계 - 데이터베이스부, NMEA데이터 처리부, 토공량 산출 및 진도관리부, 모니터링부, 플릿관리 정보 산출 및 통제부, 데이터 송수신부로 구분  <건설장비 관제센터 기능별 파트구성 및 데이터 흐름설계> ▪ 관제 모니터링 시스템 개념 시제품 제작 및 테스트 - 건설장비 통합센터의 핵심 기능중 하나인 모니터링 시스템 설계/구축 및 테스트 수행 - 화면 구성: CCTV모니터링, 3D BIM 설계, VR 시뮬레이터, 플릿 계획시스템 운영, 건설장비 위치 추적 모니터링, 품질관리 모니터링  <관제 모니터링 시스템 설계/구축 및 테스트>

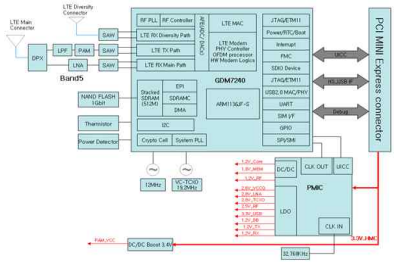
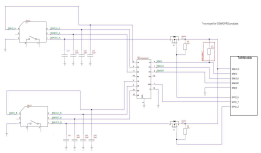
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 관제센터 통합 소프트웨어 구성 설계	▪ 관제센터 운영 소프트웨어 니즈 분석 ▪ 건설장비 관제센터 통합 소프트웨어 ERD(Entity Relationship Diagram)설계	▪ 선행연구 분석, 전문가 설문, 수요자의 니즈 분석을 통한 건설장비 관제센터를 위한 필수개발 프로그램 도출 -개발 필요 프로그램: 토공 최적화 BIM 설계 프로그램, 모든 장비의 위치를 추적하고 자산관리가 가능한 프로그램, 토공 프로젝트 관리 프로그램, 토공량 산출 및 단가관리 등 ▪ 건설장비 관제센터 통합 소프트웨어 개념 설계 -필수 기능: 건설장비 위치추적, 영역정보 표시, 건설장비 가이드 시스템과의 정보교환, 관제 데이터 송수신, 자산관리 등 -데이터 교환 항목: 원지반 3D 정보, BIM 설계 정보, GPS 위치데이터, 프로젝트정보, 장비 정보, 사이트 정보, 관제명령 정보, 장비 상태정보, 생산성 정보, 안전가이드 정보, 진도관리 정보 등 -Entity Relationship Diagram 설계  <관제 통합 소프트웨어 데이터 흐름 구조 설계>
관제센터-건설장비 간 통신인터페이스 설계	▪ 통신 인터페이스 장비에 대한 국내외 선행조사 ▪ GPS를 활용한 장비의 위치 송수신 현장 테스트	▪ GPS원리 및 통신방법 조사 -RTK 및 VRS 방식의 GPS측위 방법 고찰 -머신가이드 시스템의 경우 RTK 방식의 고정밀 측위 방법 활용 -모바일 기반 운반 장비 네비게이터의 경우 모바일의 VRS 측위방법 활용  <GPS 종류별 측위원리> ▪ 통신 장비 조사 및 관제센터-장비간 통신인터페이스 연구 -통신용 모뎀, 라우터 시제품 조사 및 분석 -공인망의 활용이 어려운 지역의 경우 WiFi기반 메쉬 네트워크 필요성 인식 및 구성기술 습득

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
관제센터-건설장비 간 통신인터페이스 설계	▪ 통신 인터페이스 장비에 대한 국내외 선행조사 ▪ GPS를 활용한 장비의 위치 송수신 현장 테스트	▪ GPS를 활용한 장비의 위치정보 송수신 현장 테스트 -실험조건 →활용 장비: 스키드 로더 →GPS 및 데이터처리: VRS 방식 적용 및 초당 NMEA 데이터 전송 후, TM 좌표계 변환 →BIM 응용 소프트웨어: Autodesk사 Civil 3D →통신 검증 방법: NetMeter를 활용하여 데이터 송수신 속도 및 송수신량을 분석. 또한 PingTest를 통해 보낸 패킷에 대하여 받은 패킷 수, 손실 패킷 수 분석 수행



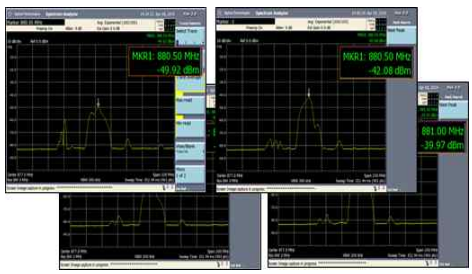
<GPS 위치데이터에 대한 관제센터-장비 간 통신인터페이스 테스트>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
현장 부합형 공중 이동형 이미지 센싱 플랫폼 선정 및 검증	▪ 다양한 공중 이동형 이미지 센싱 플랫폼의 성능 평가 ▪ 현장 부합 가능한 최적의 이미지 센싱 플랫폼 선정	▪ 국내외 이동형 센싱 플랫폼 솔루션 성능 분석 -소형(Hobby & Research용) 센싱 플랫폼 스펙 분석 -중형(Industrial용) 센싱 플랫폼 스펙 분석 ▪ 국내외 이동형 센싱 플랫폼 솔루션 성능 평가 -소형 이동형 센싱 플랫폼(Hobby & Research용) 센싱 플랫폼 성능 테스트 수행 : 소형 이동형 센싱 플랫폼(DJI社 PHANTOM2 VISION)을 이용하여, 총 중량 1,160g, 최고 시속 50km/h 이상에서 약 30분간 200m 거리에서 영상 전송 수행. -센싱 플랫폼 운영 시 방향 전환 등에 따른 밀림 및 떨림 현상 등은 없었으나, WiFi 영상 전송 시 부분적으로 끊김 현생이 발생하였으며, 카메라 외 별도의 Payload 증가 시 주행 불안, 풍력에 따른 주행 불안 문제 발생. ▪ 중형 이동형 센싱 플랫폼(Industrial용) 센싱 플랫폼 성능 테스트 수행 : 중형 이동형 센싱 플랫폼(DJI社 DJI-S1000)을 이용하여, 최고 시속 60km/h 이상에서 자동항법/수동 시험비행 테스트 진행 -자동항법 시험비행을 통해 미리 설정한 위치로 이동 후 자동 귀한 기능을 확인하였으며, 출발지와 도착지에 대한 위치 오차 범위는 1m 이내로 확인 -수동 시험비행을 통해 약 5m/s의 바람에도 밀림, 떨림 현상 등 없이 비행 가능 확인 -8개로 구성된 프로펠라의 구동으로 인해 안정적으로 비행이 가능하나, 프로펠라가 외부에 노출되어 별도의 프레임 필요   <소형> <중형> ▪ 국내 이동형 센싱 플랫폼 선정 -순수 국내 기술로 개발된 제품으로 현장 상용화가 진행 중이며, 해외 제품과 비교하여 동일한 성능과 저가로 경쟁력이 높음 -현재 추가 모델이 개발 중에 있으며, 건설장비 통합 관제 모니터링에 적합한 이동형 센싱 플랫폼의 개발 및 구매가 가능함 -또한, 국내에서 개발되어 이동 경로 제어 S/W와 데이터 전송 연계가 가능
이미지 센싱 플랫폼을 이용한 현장 영상 정보 및 객체 정보 수집 기술 개발	▪ 영상 정보 취득 및 데이터 전송 기술 연구 ▪ 2차원 영상정보로부터 객체 정보 분리를 위한 영상처리기술 연구	▪ LTE 통신부는 센서에서 수집한 데이터를 원거리로 전송하기 위해 LTE 850MHz(Band 5) Single Band 대역을 지원하는 LTE 통신 모듈을 사용하였으며, LTE(Band 5) 대역은 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access)를 기반으로 Diversity를 지원하고 3GPPTS 36.101/35.521의 규격을 준수하였음.

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
이미지 센싱 플랫폼을 이용한 현장 영상 정보 및 객체 정보 수집 기술 개발	▪ 영상 정보 취득 및 데이터 전송 기술 연구 ▪ 2차원 영상정보로부터 객체 정보 분리를 위한 영상 처리기술 연구	 < LTE통신 블록다이어그램 >   <LTE 통신 모듈 회로도> <LTE 통신 모듈> <데이터 용량/전송 주기에 따른 전송테스트 결과>

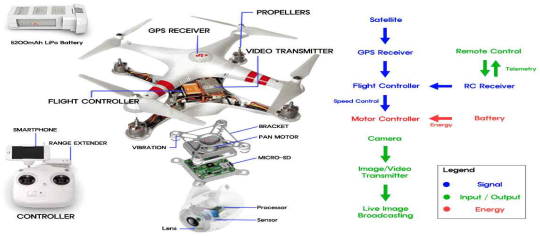
실험	주기_데이터 수 (N*12byte)	시작시간	종료시간	전송실패	결과	전송 packet	비고
1	1000_10	0410_2053	0411_0144	4	nack 수와 동일		290분 계측 후 LTE 모듈 전송 실패(SLGTTCPWR:4) TCP state : 2, network state : 1 접속 종료에도 서버에서 모듈(모듈은 보냈다고 하나 전송은 안되는 현상 발생) 전송률 : 99.98%
2	250_150	0411_1045	0411_1123	대량	nack 수와 동일		7.2kbyte/sec
3	1000_100	0411_1135	0411_1610	58	nack 수와 동일		전송률 : 99.65%
4	100_50	0411_1729	0412_0311	23	nack 수와 동일		전송률 : 99.92%
5	1000_10	0415_1034	0416_0903	13	nack 수와 동일		2시 33분경 연결 끊김(이후 nack 발생) 연결 상태에서의 전송률 : 99.98%
6	1000_1	0416_1841	0417_1612	0		77,341	전송률 : 100%(77341packets)
7	1000_150	0417_1616	0417_1811	12	nack 수와 동일	6,896	전송률 : 99.83% 서버프로그램 파싱부분 오류로 339번의 error 발생
8	1000_10	0417_1815	0418_1916	9	nack 수와 동일	90,056	전송률 : 99.99%

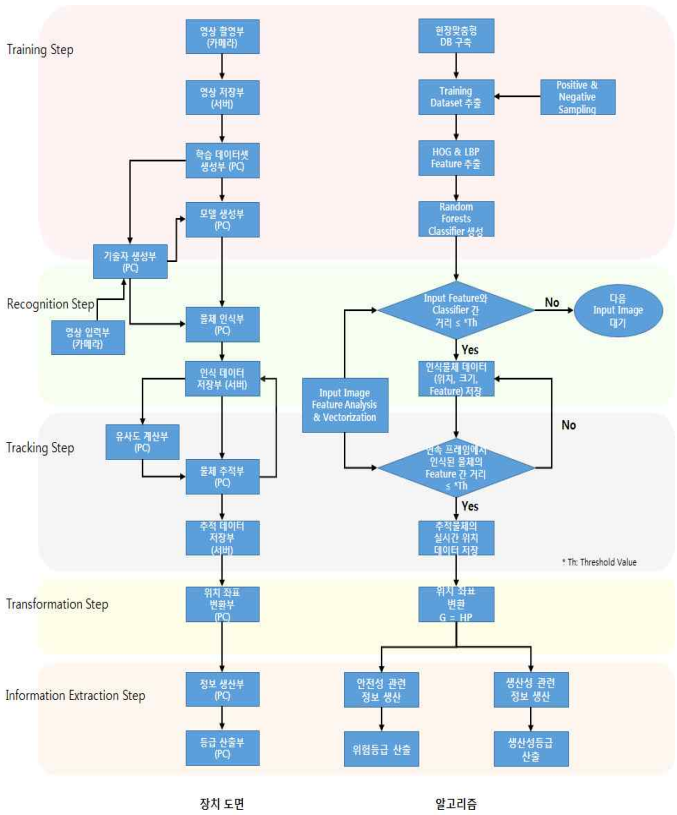
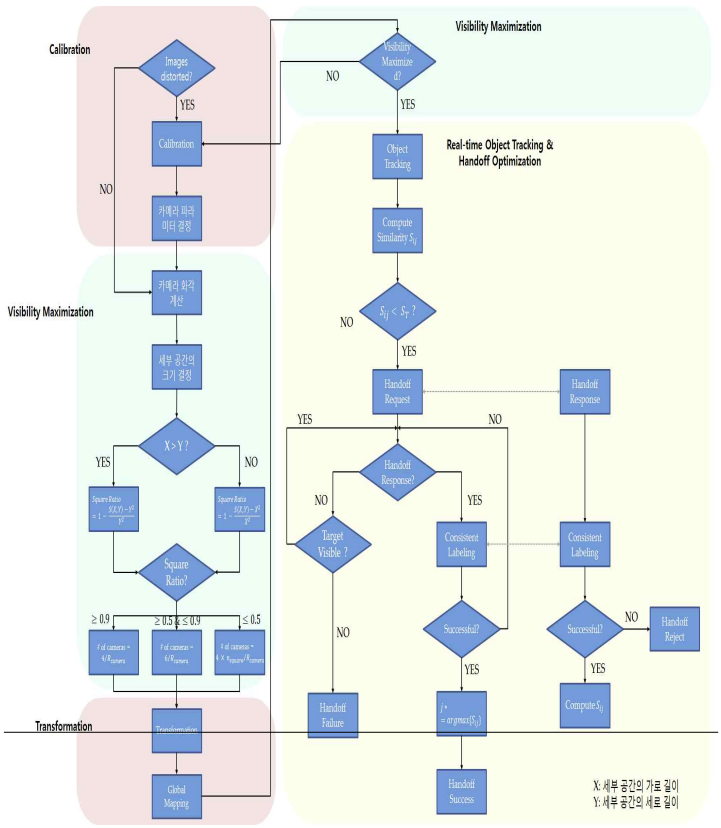

< LTE안테나 검증 실험 >


< 스펙트럼 분석 결과 >

< 분석 결과 요약 >

제품명	주파수 대역	Gain(dBi)	Peak Freq.	감도(dBm)
Anydata 안테나	–	–	880.50	-52.78
다이폴안테나	824~896MHz	2	879.67	-49.96
LTE 옴니 안테나	700~960MHz	3	881.00	-44.39
WIDE LTE 야기안테나	800~2800MHz	11	881.00	-39.49

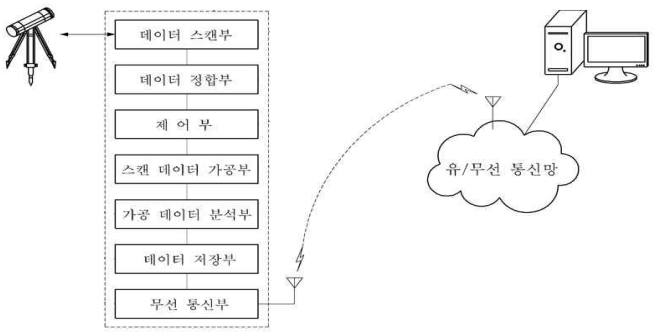
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
이미지 센싱 플랫폼을 이용한 현장 영상 정보 및 객체 정보 수집 기술 개발	▪ 영상 정보 취득 및 데이터 전송 기술 연구 ▪ 2차원 영상정보로부터 객체 정보 분리를 위한 영상 처리기술 연구	▪ Image Processing Test 진행  <장비 구성 및 구동 프로세스> ▪ GCS시스템을 이용한 영상정보 취득 <GCS시스템 영상정보 취득> ▪ Object획득 및 스테레오 비젼처리 기술 - 취득 영상 정보로부터 크기, 면적, 형상 정보 등을 이용 대상체 추출 < Object 획득> ▪ 스테레오 비젼처리 기술을 활용한 대상체의 3차원 정보 추출 < 스테레오 비젼처리> -이동형 센싱 플랫폼을 통해 촬영한 이미지를 활용 스테레오 비젼처리를 통해 3차원 좌표 산출 -스테레오 비젼 좌/우측 포인트의 좌표 환산으로 스테레오 비젼을 이용하여 대상체의 3차원 정보를 추출 <스테레오 비젼 좌측> <스테레오 비젼 우측> <스테레오비젼 처리를 통한 3차원 좌표>

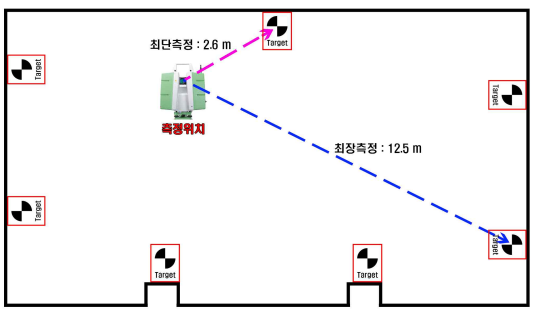
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
상황인식정보 자동분석 및 카메라 네트워크 최적화 시스템 시제품 개발	▪ 시스템 개념설계를 통한 이론적 접근	▪ 시스템 개념설계  <상황인식정보 자동분석 시스템 개념설계안>  <카메라 네트워크 최적화 시스템 개념설계안>

◎ 플릿형 작업계획 시스템 개발 (1-2세부 공동-서울과학기술대학교 산학협력단)

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
플릿 (Fleet)형 작업계획 시스템 설계 및 알고리즘 개발	▪ 현장조사 및 전문가 설문 실시 ▪ 시스템 정보분석 및 작업 프로세스 고찰 ▪ 플릿형 작업계획 시스템에서 3차원 토공계획수립을 위한 BIM 모델 연구 ▪ 굴삭기 및 다짐기 작업순차 알고리즘 제시 ▪ 최적 플릿형 작업계획 수행시 건설장비 가동율 향상정도 및 탄소배출량 추정	▪ 플릿형 작업계획 시스템을 위한 토공작업 고려요소 설정 및 가중치 결정 ▪ 플릿형 작업계획 시스템의 구조 제시 ▪ 토공작업을 위한 8가지 기본적인 3차원 파라메트릭 솔리드 모델 제시 ▪ 플릿형 작업을 위한 굴삭기 및 다짐기 작업 프로세스 알고리즘 제시 ▪ 사례연구를 통하여 플릿형 시스템 운영 시 이론적으로 건설장비(굴삭기, 트럭, 다짐기)의 가동률이 2014년 건설현장의 건설기계 가동률 보다 30%이상 향상되는 것으로 나타남

◎ 스마트 지형 스캔 플랫폼 개발 (1-3세부 공동-한국건설기술연구원)

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
스마트 지형스캔 플랫폼 개발	▪ 토공현장 스마트 관제를 위해 필요한 정보조사 및 시스템 구현을 위한 데이터 가공모듈 구상 ▪ 토공 작업량 자동 산정을 위한 토공량 분석모듈 구상 ▪ 토공 작업량 산정을 위한 Mesh를 활용한 물량산출 알고리즘 구상	▪ 스마트 지형스캔 플랫폼은 스마트 관제를 위한 지반형상 구현 및 관제에 필요한 정보를 제공할 수 있음. 또한 3D 모델링된 지반지형을 바탕으로 계획도면과 비교하여 작업이 필요한 토공량의 산정이 가능함.  <스마트 지형스캔 플랫폼 개념도>

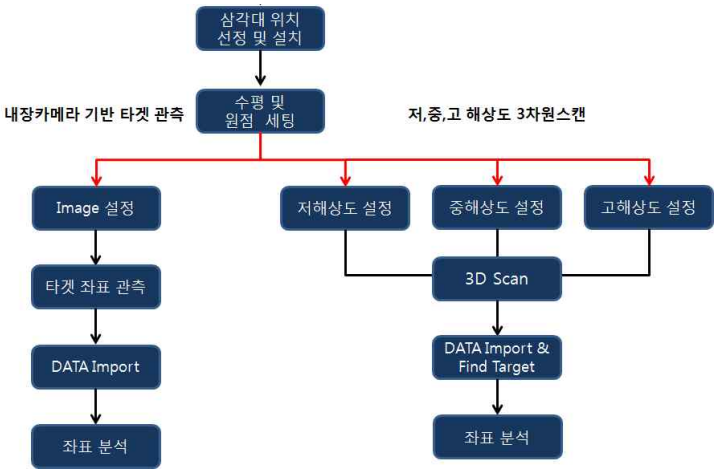
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
스마트 지형스캔 플랫폼 개발	▪ 토공현장 스마트 관제를 위해 필요한 정보조사 및 시스템 구현을 위한 데이터 가공모듈 구상 ▪ 토공 작업량 자동 산정을 위한 토공량 분석모듈 구상 ▪ 토공 작업량 산정을 위한 Mesh를 활용한 물량산출 알고리즘 구상	-데이터 스캔부: 건설현장에 3D 스캐너와 레퍼런스 포인트를 설치하고, 스캔범위를 설정한 후 스캔을 실시하여 포인트 클라우드 형태의 데이터를 저장함. -데이터 정합부: 여러 지점에서 스캔된 포인트 클라우드를 레퍼런스 포인트를 기준점으로 하여 다수의 포인트 클라우드가 자동 정합(Auto Registration)되도록 함. -데이터 가공부: 정합된 지반지형 데이터를 TIN, Mesh, Solid의 형태로 가공하며, 작업자의 입력에 따라 추가적인 정보(토질, 습윤도, 밀도 등)를 입력할 수 있도록 함. 보링정보가 있을 경우 보링정보를 입력할 수 있도록 하고 보로노이 다이어그램(Voronoi Diagram)형태로 추가정보가 지형지반 데이터에 적용되도록 하는 기능을 포함. -데이터 분석부: 3차원 지반지형 데이터 상의 지정된 영역에 대해 계획도면을 읽어들이고 비교 분석하여 토공량을 산정함. -데이터 저장부 및 통신부: 3차원 지반지형 원데이터 및 가공데이터를 DB상에 안전하게 보관하고 이를 유무선 통신망을 통해 관제시스템으로 전달하는 역할을 수행함. ▪ 플랫폼을 이용하여, 3차원 스캐닝을 통해 취득한 데이터를 가공하고 사전에 토공 작업을 위한 건설현장의 지형과 대략적인 지질을 구체적으로 파악함. ▪ 3D 스캐너의 정밀성 및 생산성 검토 -본 실험은 한국건설기술연구원 내에 위치한 건설자동화 실험실에서 진행하였으며, 해당 실험실의 면적은 약 100㎡임. 본 실험을 위해서 실험실내 측정기로부터 최소 2.6m ~ 최대 12.5m 내에서 거리를 달리한 임의 설정 7개 지점에 타겟을 배치하였으며 각 지점마다 3개의 타깃을 동일 수직선상에 배치함.  <실험환경 개략도 (평면도)>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
스마트 지형스캔 플랫폼 개발	▪ 토공현장 스마트 관제를 위해 필요한 정보조사 및 시스템 구현을 위한 데이터 가공모듈 구상 ▪ 토공 작업량 자동산정을 위한 토공량 분석모듈 구상 ▪ 토공 작업량 산정을 위한 Mesh를 활용한 물량산출 알고리즘 구상	-3D 스캐너 내장 카메라를 이용, 현장에 대한 이미지를 취득한 후 작업자가 취득 이미지에서 타깃을 육안으로 찾아 선택하고 이 정보를 이용하여 다시 스캐너가 타깃의 중점을 찾는 방식 -이미지 취득 없이 현장을 12.5㎜ 해상도로 스캔한 후 소프트웨어를 통해 타깃의 중점 좌표 취득 -이미지 취득 없이 현장을 6.3㎜ 해상도로 스캔한 후 소프트웨어를 통해 타깃의 중점 좌표 취득 -둘째 이미지 취득 없이 현장을 3.1㎜ 해상도로 스캔한 후 소프트웨어를 통해 타깃의 중점 좌표 취득하는 방식을 사용함. ▪ 각 해상도 별 현장 스캔 시간과 취득된 데이터 크기는 아래의 표와 같음.

	Image+Scan 방식		Scan 방식	
해상도	스캔 시간	데이터 용량	스캔 시간	데이터 용량
3.1mm @ Quality 2	13min 47s	3000 MB	6min 47s	2200 MB
6.3mm @ Quality 2	10min 25s	1250 MB	3min 25s	420 MB
12.5mm @ Quality 2	8min 40s	800 MB	1min 44s	160 MB

타겟	토탈스테이션	중해상도 스캔		고해상도 스캔	
	거리(m)	거리(m)	오차율(%)	거리(m)	오차율(%)
1	6.661m	6.660m	0.015%	6.660m	0.015%
2	6.668m	6.669m	0.015%	6.669m	0.015%
3	6.828m	6.828m	0.000%	6.827m	0.015%
4	8.271m	8.270m	0.012%	8.270m	0.012%
5	8.267m	8.266m	0.012%	8.266m	0.012%
6	8.388m	8.388m	0.000%	8.389m	0.012%
7	12.536m	12.537m	0.008%	12.537m	0.008%
8	12.544m	12.544m	0.000%	12.544m	0.000%
9	12.627m	12.629m	0.016%	12.628m	0.008%
10	10.763m	10.764m	0.009%	10.764m	0.009%
11	10.765m	10.765m	0.000%	10.765m	0.000%
12	10.860m	10.861m	0.009%	10.861m	0.009%
13	2.626m	2.627m	0.038%	2.627m	0.038%
14	2.650m	2.650m	0.000%	2.651m	0.038%
15	3.005m	3.008m	0.100%	3.007m	0.067%
16	7.066m	7.065m	0.014%	7.066m	0.000%
17	7.065m	7.064m	0.014%	7.065m	0.000%
18	7.215m	7.214m	0.014%	7.214m	0.014%
19	8.011m	8.011m	0.000%	8.010m	0.012%
20	8.023m	8.021m	0.025%	8.022m	0.012%
21	8.160m	8.159m	0.012%	8.160m	0.000%
		평균오차율	**0.015%**	**평균오차율**	**0.014%**

▪ 중해상도와 고해상도의 평균오차율은 각각 0.015%와 0.014%로 고해상도 평균오차율이 조금 작기는 하나 거의 비슷함을 알 수 있음. 또한 토탈스테이션을 통한 정밀 측정과 비교해서 3차원 스캐너의 평균오차율은 0.015% 수준으로 정확도가 99% 이상임을 확인함.

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
스마트 지형스캔 플랫폼 개발	▪ 토공현장 스마트 관제를 위해 필요한 정보조사 및 시스템 구현을 위한 데이터 가공모듈 구상 ▪ 토공 작업량 자동산정을 위한 토공량 분석 모듈 구상 ▪ 토공 작업량 산정을 위한 Mesh를 활용한 물량산출 알고리즘 구상	 <3D 스캐너 계측 프로세스> ▪ 아래의 표는 총 소요시간을 타깃 수로 나눈 결과로 내장 카메라 기반 관측과 저해상도 스캔의 경우 21개의 전체 타깃을 측정하지 못하고 각각 19개, 6개의 타깃만을 취득하였으므로 이를 반영하여 타깃 당 계측에 소요되는 시간을 측정. ▪ 토탈 스테이션을 이용한 타깃 당 계측 소요시간과 3D 스캐너를 이용한 타깃 당 계측 소요시간을 단순 비교할 경우 3D 스캐너를 이용하는 것이 토털 스테이션을 이용하는 것에 비해 71.8%의 시간만을 투입하면 되는 것으로 분석됨. ▪ 토탈 스테이션의 특성(이동시 트래버스 방법 수행, 2인 작업)을 고려할 경우, 토탈 스테이션 대비 70% 미만의 시간만을 투입하여 3D 스캔이 가능할 것으로 예상되며, 같은 비율의 비용절감도 기대할 수 있다.

사용 장비/측정 방법	총 소요 시간	취득 타겟 수	타겟당 계측 소요시간
토탈스테이션	6분 30초	21	18.57초
3D 스캐너 - 내장 카메라 기반 관측	27분 50초	19	87.89초
3D 스캐너 - 저해상도 스캔	2분 4초	6	120.66초
3D 스캐너 - 중해상도 스캔	4분 40초	21	13.33초
3D 스캐너 - 고해상도 스캔	11분 27초	21	32.71초

◎ 건설장비 에너지소모 관련 조사, 에너지소모 정량화, 에너지저감 방법론 설계
(1-4세부 공동-경북대학교 산학협력단)

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
장비 에너지 효율 관리를 위한 Eco-Operation 시스템 개발	▪ 에너지 낭비요인 실태 분석	▪ 기존문헌 고찰 및 연구동향 분석 →에너지 낭비요인 실태 분석을 위하여 사전 단계로 지수 산정 및 알고리즘 개발, CO2 배출, 장비 조합, 스마트 디바이스 적용 그리고 Eco-Driving에 관한 기존 문헌 고찰 및 연구동향 분석을 실시하였음. →기존 문헌 고찰 및 연구동향 분석결과, 지구온난화 영향을 줄이기 위한 국 · 내외 CO2 절감과 에너지 소모량 절감 노력들이 활발하였으나 다음과 같은 부분이 필요할 것으로 판단됨 →현장의 특성, 건설장비의 특성, 작업형태 등을 고려한 건설장비에 적합한 연비효율 분석 방법론 →다량의 연료를 소모하는 중장비에 대한 에코 드라이빙기술 →건설장비의 에너지 사용정보를 파악 할 수 있는 단말 시스템 개발 →정확도 및 현장 적용성이 개선된 에너지 소모량 분석 및 방법론 개발 ▪ 작업 중 건설장비의 에너지 낭비요인 현장조사 →최근 사회적으로 에너지 절감 및 환경 규제에 대응하기 위해 많은 연구가 이루어지고 있으며, 건설 분야에서도 건설장비의 에코 드라이빙 방법들에 대한 연구가 수행되고 있음 →건설장비들이 다양한 지역에서 동일한 작업량을 수행한다고 가정했을 때, 각각 사용하는 에너지가 다르며 생산성도 상이함 →토질 종류별 생산성 차이를 분석하기 위해 토질의 분류체계 정립이 필요하며 토질 상태별 부피 변화량에 대한 명확한 기준이 필요함 →건설장비의 대부분이 중장비이기 때문에 곧바로 건설장비의 에너지효율을 분석하는 것보다 연료소모패턴이 유사한 자동차를 대상으로 에너지효율 및 에너지 낭비요인을 분석하는 것이 필요함 ▪ 장비별 · 공종별 에너지 낭비요인 DB구축 →연비효율 정량화 방법론 개발은 건설 장비가 투입된 작업환경과 작업종류에 따른 연료 사용량에 대한 체계적 관리가 필요하며, ICT 운영 및 통제를 위한 무선센서와 연동 가능하도록 구축이 필요함 →표준품셈은 주요 건설장비의 종류, 크기, 연비 등의 분류기준을 제공하고 표준연비 비교 및 분석을 위한 기초자료를 제공함 →따라서, 표준품셈 기준을 활용하여 장비를 종류, 크기, 연비 등으로 분류하고 공종별 에너지 낭비요인에 대한 DB구축을 다음과 같이 수행함

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
장비 에너지 효율 관리를 위한 Eco-Operation 시스템 개발	▪ 장비의 작업효율 정량화 분석	

<불도저의 규격별 에너지 소모량>

Equipment	type	size (ton)	fuel consumption (L/hr)
bulldozer	pedrail	7	9
bulldozer	pedrail	10	12.5
bulldozer	pedrail	12	14.6
bulldozer	pedrail	19	25
bulldozer	pedrail	32	41.6
bulldozer	tire	15	19.2
bulldozer	tire	28	36
bulldozer	tire	33	42.4
bulldozer	swamp	4	5.4
bulldozer	swamp	13	14.6

<트럭의 규격별 에너지 소모량>

Equipment	type	size (ton)	fuel consumption (L/hr)
dump	tire	2.5	2.9
dump	tire	4.5	5
dump	tire	6.0	8
dump	tire	8.0	9.3
dump	tire	10.5	14.1
dump	tire	15	15.3
dump	tire	20	20
dump	tire	23	L/hr
dump	tire	29.1	L/hr

<롤러의 규격별 에너지소모량>

Equipment	type	size (ton)	fuel consumption (L/hr)
macadum roller	self	8-10	7.6
macadum roller	self	10-20	9.3
macadum roller	self	12-15	10.9
tonandem roller	self	5-8	5
tonandem roller	self	8-10	6.8
tonandem roller	self	10-14	8.4
tonandem roller	self	1	2.5
tonandem roller	self vibro	2	4.1
tonandem roller	self vibro	4	8.2
tonandem roller	self vibro	6	10.2
tonandem roller	self vibro	7	11.2
tonandem roller	self vibro	8	11.2
tonandem roller	self vibro	13	16.8
vibratonory roller	hand guide	0.7	2.2
vibratonory roller	self	2.5	2.3
vibratonory roller	self	4.4	3.2
vibratonory roller	self	6	11.6
vibratonory roller	self	10	14.4
tonire roller	self	5-8	4.9
tonire roller	self	8-15	8
tonire roller	self	15-25	10
sheep's footon roller	self	11	11.3
sheep's footon roller	self	12	13.7
sheep's footon roller	self	15	22.5
sheep's footon roller	self	19	27.2
sheep's footon roller	self	25	27.2
sheep's footon roller	self	30	32.6
sheep's footon roller	self	32	35.2
sheep's footon roller	self	37	41.4

▪ 장비의 표준 작업패턴 분석

→장비의 작업패턴을 수집하기 위해 장비의 연속적인 동작을 불연속적으로 분류(시작 시점과 종료시점을 정의)하고 각 동작의 차별성을 기록할 필요가 있음

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
장비 에너지 효율 관리를 위한 Eco-Operation 시스템 개발	▪ 장비의 작업효율 정량화 분석	→이를 위해, 도저, 콤팩터, 덤프트럭, 굴삭기 4가지 장비의 작업동작을 영상장비로 촬영하고, 각 작업동작의 시작 시점과 종료 시점을 분석함. 또한 각 장비의 작업을 대분류와 소분류로 상세히 분류하여 제시함

<바퀴유형에 따른 도저의 속성비교>

휠 도저	크롤러 도저
● 다져진 토사나 콘크리트처럼 평활한 지형에 적합함 ● 고저차 및 내리막 지형에 효과적 ● 젖은 상태의 지면에서는 느리게 되거나 멈출 수 있음 ● 장거리 작업에 적합 ● 압축되지 않은 토사를 다루기에 효과적 ● 빠른 귀환이 가능 8-28 mph ● 중간정도 크기의 블레이드 장착가능	● 불규칙한 토사지형에서도 작업 가능 ● 불규칙한 지형은 방해되지 않으나, 입자가 작은 모래지형에서는 기어소모가 빠름 ● 거의 모든 지형상태에서 작업가능 ● 진흙지형에서는 바퀴가 파묻힐 수 있음 ● 단거리 작업에 적합 ● 압축된 토사를 다루는것도 가능 ● 느린 귀환 속도 5-10 mph ● 대형크기의 블레이드 장착가능

<도저의 작업분류표>

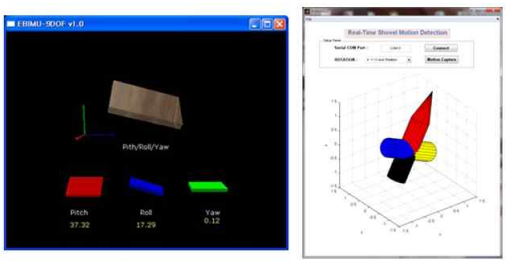
작업분류		작업범위	
대분류	세분류	작업시작	작업종료
Stripping	표토제거부 위로 이동	작업종료 이후 표토제거를 위해 도저가 방향을 전환한 시점	표토제거를 위해 전진하지 않고 제자리에서 대기한 상태
	블레이드 위치 조정	제자리에서 블레이드를 조정하여 표토에 위치시키기 시작한 시점	블레이드의 상하를 더 이상 조정하지 않고 블레이드가 고정상태가 된 시점
	표토긁기 및 모으기	표토위치에서 표토제거 작업을 실시하였을 때	표토를 한곳에 모으고 표토 배출작업을 시작하는 시점
	외부로 표토 배출	표토무더기를 작업장 외부로 배출하기 시작 한 시점	표토무더기를 모두 배출한 시점
	작업위치로 귀환	한번의 작업후 원래 위치로 방향전환한 시점	원래 위치로 되돌아와 작업방향으로 방향을 전환한 시점
Backfilling	작업부위로 이동	되메우기를 위해 작업위치로 방향을 전환한 시점	작업위치에 정지한 시점
	토사 되메우기	토사를 메움지로 이동시키기 시작한 시점	도저의 토사를 완전히 이동시킨 시점
	작업위치로 귀환	한번의 작업후 원래 위치로 방향전환한 시점	원래 위치로 되돌아와 작업방향으로 방향을 전환한 시점
Spreading	작업부위로 이동	되메우기를 위해 작업위치로 방향을 전환한 시점	작업위치에 정지한 시점
	토사면 정리	일정한 방향으로 토사를 평활하게 밀기 시작한 시점	작업면의 끝점에 놓여있는 토사까지 평활화가 진행된 시점
	작업위치로 귀환	한번의 작업후 원래 위치로 방향전환한 시점	원래 위치로 되돌아와 작업방향으로 방향을 전환한 시점
Dozing	작업부위로 이동	되메우기를 위해 작업위치로 방향을 전환한 시점	작업위치에 정지한 시점
	외부로 토사 배출	토사를 작업장 외부로 배출하기 시작 한 시점	한 무더기의 토사를 모두 배출한 시점
	작업위치로 귀환	한번의 작업후 원래 위치로 방향전환한 시점	원래 위치로 되돌아와 작업방향으로 방향을 전환한 시점

<콤팩터의 작업분류표>

작업분류		작업범위	
대분류	세분류	작업시작	작업종료
Compaction	작업부 확인	타설 후, 온도를 체크하여 롤링하기 적합한 상태인지를 확인	롤링하기 적합한 상태라고 판정된 시점
	롤링	콤팩터를 작업방향으로 움직이기 시작한 시점	콤팩터의 진행이 멈춘 시점
	연속 롤링	일정한 구간 내에서 콤팩터를 진행방향의 반대쪽으로 작업을 진행한 시점	콤팩터의 위치가 연속 롤링을 위한 다짐 반복구간을 벗어난 시점

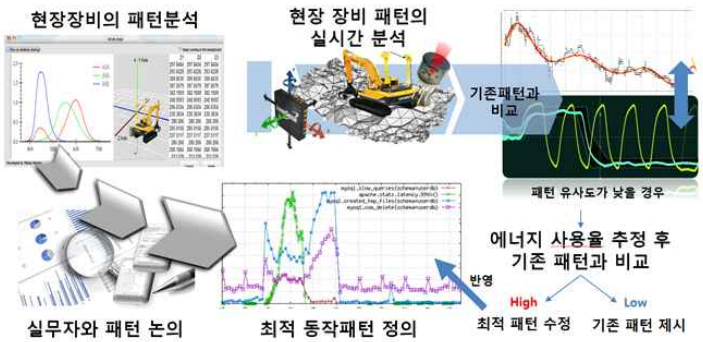
<덤프트럭의 작업분류표>

작업분류		작업범위	
대분류	세분류	작업시작	작업종료
Dumping	작업위치이동(상차)	특정 장비로부터 하역하기 위한 장소로 이동을 시작한 시점	하역위치에서 대기상태가 된 시점
	작업위치이동(하차)	상차되어 있는 자원을 특정 위치에 하역하기 위해 이동을 시작한 시점	하역위치에서 대기상태가 된 시점
	대기	특정 장비로부터 자원을 상차시키기 위해 제자리에 멈춰서 엔진이 공회전하거나 꺼져있는 시점	출발하기 위해 기어변속을 하거나 엔진을 켠 시점
	쏟아내기	상차된 자원을 쏟아내기 위해 완전히 자리를 잡은 시점	덤프를 원상태로 위치시키고 기어변속을 시작한 시점

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
장비 에너지 효율 관리를 위한 Eco-Operation 시스템 개발	▪ 에너지 사용량 저감 방법론 개념설계	<굴삭기의 작업분류표> ▪ 현행 장비 운용의 비효율성 검토 및 문제점 도출 →현재 건설현장에서 사용되고 있는 건설장비들은 숙련된 기능공(예, 장비 운전자)들이 작업경로와 작업시간 등을 독자적으로 판단/결정하여 작업을 수행하고 있음 →동일한 용량의 건설장비가 여러 장소에 사용된다면, 장비를 사용하는 기능공들의 작업 숙련도에 따라 장비가 사용하는 에너지량과 작업생산성이 달라짐 →기능공별 작업 숙련도에 따라 달라지는 장비의 효율성을 개선하기 위해 공정별 건설 장비 최적 작업경로 도출 및 건설 장비의 효율적 움직임 분석에 관한 연구가 필요함 →건설장비는 중장비가 대부분이므로 실제 건설장비로 데이터를 수집하여 실험을 수행하기에는 많은 어려움이 따름 →시뮬레이션 기법 및 3축 가속도 센서를 활용하여 가상으로 건설장비의 경로를 예측하고 비효율적인 움직임을 최소화할 수 있는 최적 운송경로(예, 회전각도, 운행거리 등)를 탐색하는 연구가 필요함  <신호 수신기와 모션센서>  <모션데이터 추출 시스템 환경>

<작업분류>

작업분류		작업범위	
대분류	세분류	작업시작	작업종료
Loading	버켓채움	붐 스윙이 발생하지 않고 붐대가 흙을 파내기 위해 작동한 시점	버켓이 채워지고 난 후, 붐 스윙이 발생하기 전까지의 시점
	붐 스윙	붐대의 횡방향 이동을 시작한 시점	붐대의 횡방향 이동이 종료된 시점
	덤프채움	토사를 쏟아내기 위해 버켓의 종방향 이동이 발생한 시점	덤프에 토사를 상차시키고 붐 스윙이 발생하기 전까지의 시점
	대기	덤프트럭 출발 후 다른 작업이 더 이상 진행되지 않고 장비의 행동이 멈춰있게 된 시점	장비의 움직임이 발생한 시점
	작업소이동	바퀴 또는 무한궤도가 다음 작업소로 이동을 위해 움직인 시점	작업소 이동 후, 제자리에 고정된 시점
Breaking	깨부수기	목표위치에 붐대를 이동시키기 시작한 시점	작업소 이동 또는 툴 바꿈 작업이 발생하기 전까지의 시점
	툴 바꿈	유압 펌을 탈착한 시점	다른 장비를 장착한 시점
	작업소이동	바퀴 또는 무한궤도가 다음 작업소로 이동을 위해 움직인 시점	작업소 이동 후, 제자리에 고정된 시점

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
장비 에너지 효율 관리를 위한 Eco-Operation 시스템 개발	▪ 에너지 사용량 저감 방법론 개념설계	▪ 실태조사를 활용한 에너지 사용량 저감 방법론 개념설계 →작업현장의 상황(즉, 현장의 고저, 노면의 상태, 기후의 조건)에 따라 공정을 최적화 시킬 수 있는 장착장비(Attachment)가 다르며, 장비에 요구되는 최적 행동패턴이 존재함. 이러한 상황을 통제하면 장비 생산성과 효율성 향상을 기대할 수 있음 →작업지형의 속성을 분석하여 적정 장착장비를 사용하도록 하고 최적화된 장비의 행동패턴을 제시하여 장비의 생산성과 효율성을 증대 시킬 수 있는 연구가 필요함 →따라서, 장비 에너지 사용량 저감방법론을 위한 2가지 모듈(즉, 현장지형 분석 및 지형정보에 따른 장비의 부속장비 제안 모듈, 장비의 최적 행동패턴 분석 및 제안 모듈)을 제시하며, 자세한 내용은 아래와 같음  <현장지형 분석 및 지형정보에 따른 장비 부속장비 제안 모듈 구조>  <장비의 최적 행동패턴 분석 및 제안 모듈 구조>

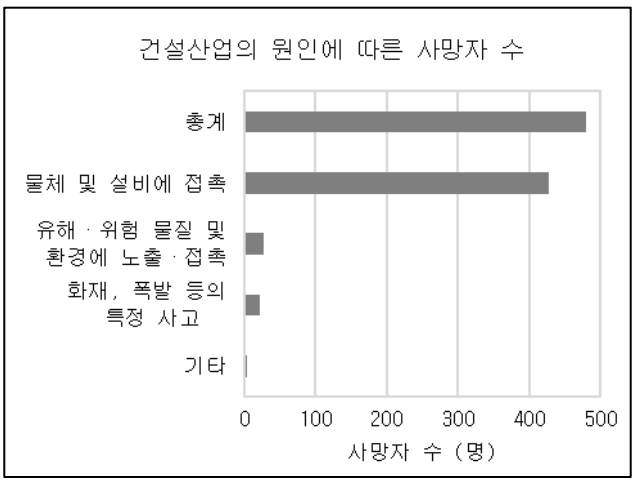
□ 2세부 - 건설장비 가이드 기술 시스템화

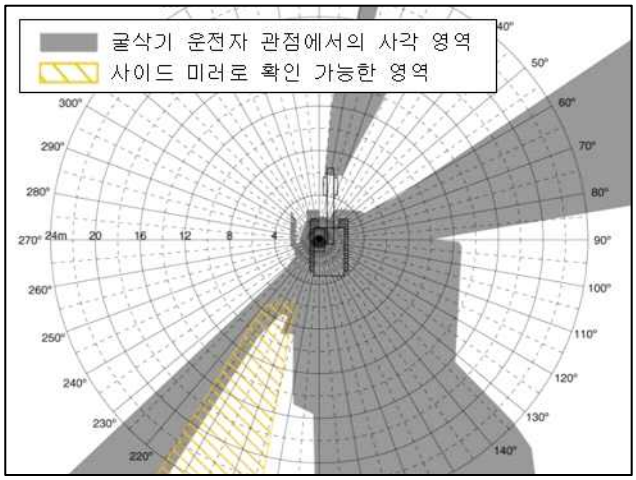
◎ 스마트 머신 가이던스 시스템 개발 (2-1세부 협동-부산대학교 산학협력단)

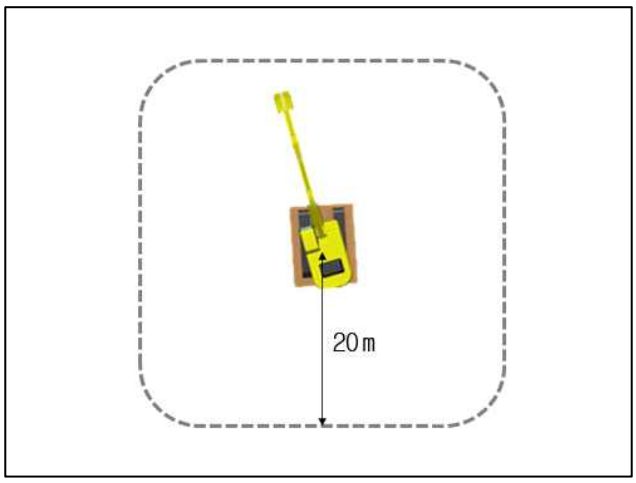
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비군 구성요소 분석	▪ 주요 건설장비에 대한 구성요소 분석	▪ 주요 건설장비 구성요소 및 운영특성 분석 ▪ 건설장비 간 인터페이스 특성분석 ▪ 주요 건설장비 조종기능 분석
	▪ 주요 건설장비 운영특성 분석	
	▪ 건설장비 간 인터페이스 특성분석	
건설장비에 대한 관리속성 스마트화	▪ 주요 건설장비 조종기능 분석	▪ 건설장비 Man Machine Interface 분석 ▪ 주요 건설장비 스마트 지원기능 분석
	▪ 건설장비 Man Machine Interface 분석	
	▪ 주요 건설장비 스마트 지원기능 분석	
건설장비 관리속성에 대한 데이터 모델링	▪ 장비별 ERD 작성	▪ 건설장비 간 데이터 연계 모델링 ▪ 장비별 주요 속성값에 대한 데이터베이스 개발
	▪ 건설장비 간 데이터 연계 모델링	
	▪ 장비별 주요 속성값에 대한 데이터베이스 개발	

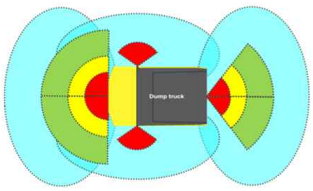
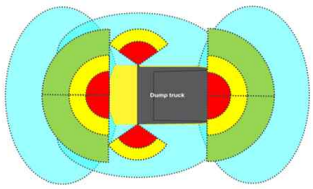
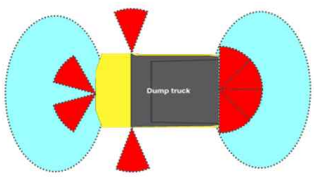
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
토공작업 프로세스 모델링	▪ 개별 건설장비 현행 운영 프로세스 분석 ▪ 건설장비간 현행 연계 프로세스 분석 ▪ 스마트 토공 비젼 및 개념도 작성 ▪ 개별 건설장비 개선 운영 프로세스 분석 ▪ 건설장비간 개선 연계 프로세스 분석 ▪ 스마트 토공을 위한 시스템 요구사항 분석	▪ 개별 건설장비 현행 운영 프로세스 분석 ▪ 건설장비간 개선 연계 프로세스 분석 ▪ 스마트 토공을 위한 시스템 요구사항 분석 ▪ 토공작업 프로세스 모델링 논문 1편 개제
토공대상 지역 3D 모델링	▪ 지형데이터 구성 (수치지도, 3D스캐너 등) ▪ 토공 데이터 변위 설정을 위한 기초 DB 체계구성 ▪ 지층 3D 모델 포맷 분석 및 표준 포맷 분석 ▪ TIN 기반의 지형 데이터 생성	▪ 장비별 모션 데이터 파악 및 시뮬레이션 데이터 작성 ▪ 논문 1편 개제
센서기반 모션인식 모듈설계	▪ 건설장비 및 센서의 연계동작 프로세스 분석 ▪ 건설장비군 모션인식집을 위한 무선송수신 모듈 분석	▪ 건설장비 및 센서의 연계동작 프로세스 분석 ▪ 건설장비군 모션인식집을 위한 무선송수신 모듈 분석 ▪ 프로토타입 센서 시제품 개발
블레이드 자동제어 시스템 개발을 위한 요소기술 분석 및 개념 설계	▪ 블레이드형 건설자동화 장비 분석 및 건설 작업 분석 ▪ 블레이드 자동제어 장비 개념 설계	▪ Trimble, Komatsu 社의 블레이드 자동제어를 위한 구성 분석 ▪ 도저 블레이드의 작업 분석

◎ 작업환경 인식 및 운전자 행태기반 안전 가이던스 시스템개발 (2-2세부 공동-중앙대학교 산학협력단)

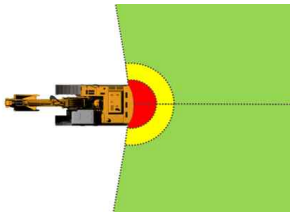
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설잔입 안전 가이던스 시스템 요구 사항 정의	▪ 작업 환경 인식 기반 안전 가이던스 시스템 성능 수준 설정	▪ 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원에서 실시한 2013년 업무상사고 사망재해원인분석에 따르면 (다음 그림 참조), 건설산업에서 산업재해로 사망한 작업자 총 480명 가운데 물체 및 설비에 접촉하여 사망한 작업자는 428명으로 전체 대비 89.2%를 차지함 (한국산업안전보건공단, 2014).  <2013년 건설산업의 사망재해 원인분석 (한국산업안전보건공단, 2014)> ▪ 여기서 "물체 및 설비와 작업자 간의 접촉"에 의한 작업자 사망사고의 주요 원인으로는 건설장비 (굴삭기, 도저 등)에 의한 사고를 꼽을 수 있음. 건설장비에 의한 사고는 크게 건설장비와 작업자 간의 충돌 및 협착, 건설장비 간의 충돌, 건설장비 전도로 나눌 수 있으며 이들 중 건설장비와 작업자 간의 충돌 및 협착이 대다수를 차지함. 다음은 한국산업안전보건공단 국내 건설업 재해사례에서 확인한 건설장비와 작업자 간의 충돌 및 협착 사고 사례 예시를 나타냄. -돌쌓기 작업 중이던 작업자가 선회하던 굴삭기 후면과 전석사이에 끼임. -지하층 되메우기 작업 중이던 굴삭기가 후방에 위치한 작업자와 충돌함. -관로 매설작업 중이던 작업자가 후진하는 굴삭기와 충돌함. -자재운반 중이던 작업자가 회전하는 굴삭기와 충돌함. -굴삭기 후면 웅덩이에 고인 물을 퍼내던 작업자가 후진하는 굴삭기와 충돌함. -상수도 관로작업 후 이동 중이던 작업자가 후진하는 굴삭기와 충돌함.

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설잔입 안전 가이던스 시스템 요구 사항 정의	▪ 작업 환경 인식 기반 안전 가이던스 시스템 성능 수준 설정	▪ 건설장비와 작업자 간의 충돌 및 협착 사고 사례를 살펴보았을 때, 대부분의 사례는 건설장비 운전자가 장비 주변에서 작업 중이던 작업자를 인식하지 못해 일어나는 것으로 파악됨. 굴삭기는 굴삭기 암 (Arm), 붐 (Boom), 버킷 (Bucket)의 위치에 따라 전방 사각지대가 발생하며, 측면 및 후면 또한 구조적 특징으로 인해 사각지대가 넓어 건설장비 운전자가 건설장비 주변 상황을 완전하게 파악하기 어려움. 그림은 25톤 굴삭기 (Caterpillar 325B) 운전 시, 장비 운전자 관점에서의 사각 영역을 나타낸 도식임. 사각 영역에 작업자가 작업 중인 경우, 굴삭기 운전자가 이를 인지하지 못하고 선회, 후진, 주행하여 충돌 및 협착사고가 발생하는 원인이 됨.  <건설장비 운전자 관점에서의 사각 영영 (25톤 굴삭기 (Caterpillar Inc.의 325B)> ▪ 건설현장 내 건설장비는 장비 운전 규정에 따라 최대 시속 20km/h로 제한하여 운행해야 함. 다음 표는 건설현장 내 건설장비 운행속도 제한 규정을 나타냄. <건설현장 내 건설장비 운행속도 제한 규정> 구분 / 제한 속도 (km/h) 대기환경보전법 시행규칙 제58조 제4항 (환경부, 2014) / 20 차량용 건설기계의 작업계획서 (고용노동부, 2013) / 20 ▪ 일반적인 사람의 보행속도를 조사한 기존 연구들은 사람의 평균 속도를 4.32km/h에서 5.04km/h로 명시함. 다음 표는 이들이 수행한 연구에서 나타난 일반적인 사람의 보행 속도를 나타냄.

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설잔입 안전 가이던스 시스템 요구 사항 정의	▪ 작업 환경 인식 기반 안전 가이던스 시스템 성능 수준 설정	<보행자의 일반적인 보행 속도에 관한 연구> 구분 / 기준 속도 (km/h) Fruin (1971) / 5.04 Navin과 Wheeler (1969) / 4.75 Pauls (1987) / 4.50 Tregenza (1976) / 4.72 Young (1999) / 4.97 ▪ 건설장비 안전 가이던스 시스템은 건설장비와 작업자가 서로 마주본 채 접근하는 속도와 이를 인지하여 장비 운전자가 의사결정을 하는데 필요한 시간을 고려하여, 작업자와 장비 간 거리를 최대 20m 거리에서 충돌 발생 전에 탐지함으로써 작업자의 안전을 확보할 수 있도록 하고자 함. 다음 그림은 건설장비 안전 가이던스 시스템의 탐지 필요 범위를 나타냄. ▪ 또한 건설현장 내 건설장비의 운행가능 최대속도와 작업자의 보행속도를 고려할 때, 안전 가이던스 시스템이 원거리로부터 장비와 작업자 간 충돌 1초 전에 미리 알람을 주기 위해서는 초당 4프레임 이상의 작업자 탐지 및 거리 측정 속도를 필요로 함.  <건설장비 안전 가이던스 시스템의 탐지 필요 범위>

<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td>건설잔입 안전
가이던스 시스템
요구 사항
정의</td><td>▪ 건설산업에서의 작업자 안전 확보를 위한 장비 시스템 분석</td><td>▪ 건설장비 주변 상황을 탐지하고, 위험요소가 있을 시에는 위험요소 탐지 결과를 건설장비 운전자에게 제공하는 상용 건설장비 안전 가이던스 시스템의 성능 수준을 파악하기 위해, 상용 안전 가이던스 시스템에 대해 조사함. 다음 표는 해외 상용 건설장비 안전 가이던스 시스템의 개요를 나타냄.
<table>
<tr><th>시스템 명
(회사명)</th><th colspan="4">설명</th></tr>
<tr><td rowspan="5"> 
Integrated Object Detection System
(Caterpillar Inc.)</td><td>국가</td><td>미국</td><td>사용 센서</td><td>레이다, 카메라</td></tr>
<tr><td>탐지 거리</td><td>최대 20m</td><td>탐지 각도</td><td>360°</td></tr>
<tr><td>시스템 비용</td><td colspan="3">약 2,500 만원</td></tr>
<tr><td>시스템 개요</td><td colspan="3">레이다를 사용해 건설장비 주변으로 접근하는 물체를 탐지하고, 물체가 탐지되었을 때 알람을 울림과 동시에 카메라를 통해 획득한 해당 구역의 영상을 장비 운전자에게 제공</td></tr>
<tr><td rowspan="5"> 
TrackVision RadarEye Around
(RMT Equipment)</td><td>국가</td><td>미국</td><td>사용 센서</td><td>레이다, 카메라</td></tr>
<tr><td>탐지 거리</td><td>최대 20m</td><td>탐지 각도</td><td>360°</td></tr>
<tr><td>시스템 비용</td><td colspan="3">약 1,700 만원</td></tr>
<tr><td>시스템 개요</td><td colspan="3">레이다를 사용해 건설장비 주변으로 접근하는 물체를 탐지하고, 물체가 탐지되었을 때 알람을 울림과 동시에 카메라를 통해 획득한 해당 구역의 영상을 장비 운전자에게 제공</td></tr>
<tr><td rowspan="5"> 
PreView Radar System
(Preco™ Electronics Inc.)</td><td>국가</td><td>미국</td><td>사용 센서</td><td>레이다, 카메라</td></tr>
<tr><td>탐지 거리</td><td>최대 7m</td><td>탐지 각도</td><td>360°</td></tr>
<tr><td>시스템 비용</td><td colspan="3">약 1,700 만원</td></tr>
<tr><td>시스템 개요</td><td colspan="3">레이다를 사용해 건설장비 주변으로 접근하는 물체를 탐지하고, 필요시 카메라를 함께 설치해 설치된 카메라를 통해 획득한 해당 구역의 영상을 장비 운전자에게 제공</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과



Protection System
(SICK AG)

국가	독일	사용 센서	2D 레이저 스캐너, GPS*
탐지 거리	최대 150m	탐지 각도	후방 180° 이상
시스템 비용	약 4,000 만원		
시스템 개요	2대의 2D 레이저 스캐너를 통해 건설장비 후방으로 접근하는 물체가 존재하는지, GPS Global Positioning System)를 통해 건설장비가 위험지역으로 진입하는지를 각각 탐지하여 위험하다고 판단될 때 장비 운전자에게 알람을 울림		

※ 거리 기반 센서 탐지 범위:
■ 0m 이상 7m 초과,
■ 7m 이상 12m 초과,
■ 12m 이상 20m 초과
※ 영상 기반 센서 탐지 범위:■

건설잔입 안전 가이던스 시스템 요구 사항 정의

▪ 건설산업에서의 작업자 안전 확보를 위한 장비 시스템 분석

조사결과, 국내 건설장비 안전 가이던스 시스템 기술 개발은 전무한 실정이며, 국외 건설장비 안전 가이던스 시스템으로는 Caterpillar Inc., RMT Equipment, Preco™ Electronics, SICK AG에서 건설장비 안전 가이던스 시스템을 개발하여 판매 중에 있음. 이들 시스템은 거리 기반 센서를 사용하여 건설장비 주변으로 접근하는 물체에 대한 정보를 얻고, 획득한 정보를 바탕으로 건설장비 작업자에게 음성 알람 등의 수단을 통해 경각심을 일깨움으로써, 건설장비로 인한 안전사고를 미연에 방지하는 목적을 지님.

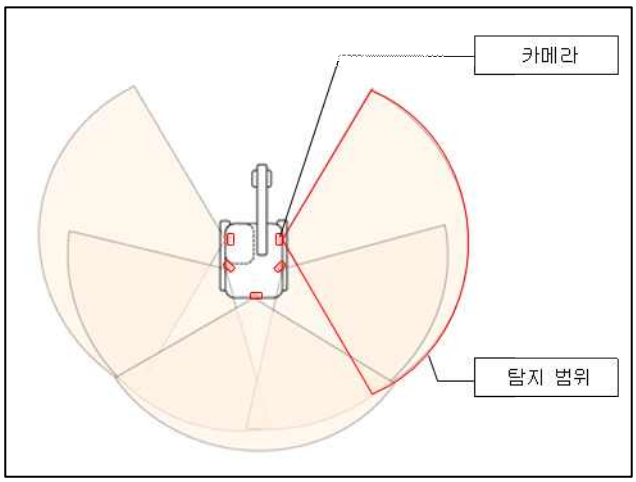
하지만, 상용 건설장비 안전 가이던스 시스템은 다음과 같은 측면에서 한계를 지님. 시스템의 탐지 범위가 짧거나 탐지 각도가 좁으며, 전방위를 감지하기 위해 부착이 필요한 센서의 수가 늘어나면서 시스템 구축에 필요한 비용이 수 천만 원에 이름. 뿐만 아니라, 이들은 탐지 대상을 구분할 수 없어 능동적 탐지가 불가하고, 탐지 범위 내에 들어온 물체 전체에 대해 알람을 울려 작업자 외에도 다양한 물체 (흙, 가시설 등)을 위험요소로 탐지하는 오류가 발생함.

특히 시스템 구성 내에 카메라가 있는 경우, 거리 기반 센서 (레이다, 레이저 스캐너)가 장비 주변 상황 탐지를 수행하고, 카메라는 단순히 거리 기반 센서가 물체를 감지한 영역의 영상을 송출만을 수행하고 있어 센서의 활용이 제한적이고 송출되는 영상 내에서 어떤 것이 위험물로 탐지되었는지 장비 운전자가 영상을 보고 직접 판단해야 하기 때문에 시스템 편의성이 떨어짐.

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설잔입 안전 가이던스 시스템 요구 사항 정의	▪ 건설산업에서의 작업자 안전 확보를 위한 장비 시스템 분석	건설장비 안전 가이던스 시스템 관련 국내·외 특허를 분석하기 위해 "NDSL 국가과학기술정보센터 특허검색 (http://patent.ndsl.kr/)" 를 이용하여 1991년부터 2014년까지 국내·외에 공개된 특허를 검색함. -건설장비 안전 가이던스 시스템과 관련한 특허 검색을 위해 사용된 키워드는 다음과 같음. →안전+건설+알람+근접/(Safety+Construction+Alarm+Proximity) →건설+장비+근접/ (Construction+Equipment+Proximity) →안전+굴삭기/(Safety+Excavator) →안전+건설+작업자/(Safety+Construction+Worker) -특허 검색을 통해 파악된 국내·외 건설장비 안전 가이던스 시스템 관련 특허는 다음 표와 같음

<건설장비 안전 가이던스 시스템 관련 특허>

특허명	발명자	국가	연도
파노라마 영상이 제공되는 안전 시스템을 구비한 굴삭기	(주)경우시스테크	한국	2012
Monitoring Proximity of Objects at Construction Jobsites via Three-dimensional Virtuality in Real-time	Michigan University	국제	2014
Enhanced Heavy Equipment Proximity Sensor	개인	미국	2013
Integrated Object Detection and Warning System	Caterpillar Inc.	미국	2011
Object Detection System Having Interference Avoidance Strategy	Caterpillar Inc.	미국	2010
System and Method for Tracking Objects Using a Detection System	Caterpillar Inc.	미국	1996
Moving Object Monitoring System in Construction Site	개인	일본	2008
Recession Alert System Comprising Object Detector	Caterpillar Inc.	일본	1999
Proximity Alarm Device for Construction Machine	Sakai Heavy Industry Ltd.	일본	1996
Monitoring Device of Construction Equipment	Shin Caterpillar Mitsubishi Ltd.	일본	1995
Safety System for Construction Machine	Hitachi Construction Machine Corporation Ltd.	일본	1993

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설잔입 안전 가이던스 시스템 요구 사항 정의	▪ 건설산업에서의 작업자 안전 확보를 위한 장비 시스템 분석	"파노라마 영상이 제공되는 안전 시스템을 구비한 굴삭기 (출원번호: 10-2012-0019560)"에서는 굴삭기 상부 선회체의 측방 및 후방에 120° 의 탐지범위를 가진 3대 이상의 카메라를 설치하고, 이로부터 후방 300° 가량의 영역에 해당하는 파노라마 영상을 합성하여 장비 운전자에게 제공하는 특허 기술임. 다음 그림은 해당 특허의 개요도를 나타냄.  <파노라마 영상이 제공되는 안전 시스템을 구비한 굴삭기 (경우시스테크, 2012)의 개요도> 이러한 특허 기술들은 앞서 언급한 국외 상용 안전 가이던스 시스템과 같이 단순히 장비 주변 물체의 존재 여부를 탐지하여 장비 운전자에게 알려주거나, 혹은 사각지대의 영상정보를 제공할 뿐 능동적인 위험요소 탐지를 수행하는 특허 기술은 전무함.

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설잔입 안전 가이던스 시스템 요구 사항 정의	▪ 자동차산업에서의 보행자 안전 시스템 분석	▪ 건설산업의 안전 가이던스 시스템과 유사한 사례로 자동차산업의 보행자 안전 시스템을 들 수 있음. 자동차산업에서의 보행자 안전 시스템은 주행 중인 자동차와 보행자간의 충돌 사고를 예방함으로써 보행자의 안전을 추구한다는 측면에서 안전 가이던스 시스템에서 추구하는 목적과 매우 유사함. 자동차산업에서 보행자의 안전을 위한 기술 개발은 오랫동안 진행되어 왔으며, 건설산업과 비교하여 많은 기술적 진보를 이룸. ▪ 기존 상용 건설장비 안전 가이던스 시스템의 한계점을 보완하기 위하여, 자동차산업에서의 보행자 안전 시스템을 분석함으로써 작업자 탐지 전략을 벤치마크하고자 함. 다음 표는 자동차 제조사별 안전 시스템과 각 시스템을 구성하는 센서를 나타냄.

<자동차 제조사별 안전 시스템> *특정 종류 레이다를 밝히지 않음.

회사명	보행자 안전 시스템 명	거리 기반 센서	영상 기반 센서
Honda Motor Co., Ltd.	Pedestrian Collision Mitigation Steering System	밀리미터파 레이다	카메라
Toyota Motor Co.	Pre-Crash Safety System	밀리미터파 레이다	스테레오 카메라
Volvo Car Co.	Collision Warning with Auto Brake	밀리미터파 레이다	카메라
Audi AG	Forward-Looking Pedestrian Protection	밀리미터파 레이다	스테레오 카메라
Mercedez-benz	BAS PLUS and Pre-Safe Brake	초광대역 레이다	스테레오 카메라
General Motors	Driver Assistance Package	초광대역 레이다	카메라
Ford Motor Company	Adaptive Cruise Control and Collision Warning with Brake Support	레이다*	카메라
Volkswagen AG	Blind Spot Monitoring with Rear Traffic Alert and Forward Collision Warning	레이다*	카메라

▪ 자동차 제조업체들은 거리 기반 센서와 영상 기반 센서를 함께 사용하여 보행자 안전 시스템을 구축하고, 차량 전방에 위치한 보행자를 인식하여 운전자에게 경보음을 울려 알려주거나 차량 자체적으로 감속을 하여 발생 가능한 안전사고를 예방하고 있음.

▪ Honda Motor Co., Ltd.의 Pedestrian Collision Mitigation Steering System은 카메라와 밀리미터파 레이더로 구성된 시스템으로, 밀리미터파 레이더가 차량 전방에 위치한 대상의 존재 유무를 탐지하면, 카메라가 해당 물체의 속성과 크기를 구분하여 위험하다고 판단될 시 경고음을 울리거나 직접 조향 장치를 조작해 차량의 주행방향을 정상화시킴. 다음 그림은 Honda Motor Co., Ltd.의 Pedestrian Collision Mitigation Steering System의 개요를 나타냄.

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설잔입 안전 가이던스 시스템 요구 사항 정의	▪ 자동차산업에서의 보행자 안전 시스템 분석	 <Pedestrian Collision Mitigation Steering System (Honda Motor Co., Ltd.)의 개요 (Ziff Davis, LLC., 2015)> ▪ Mercedez-benz의 BAS PLUS and Pre-Safe Brake는 스테레오 카메라와 레이다 센서로 구성된 시스템으로, 스테레오 카메라와 레이다 센서가 차량이외의 보행자를 탐지했을 때 운전자에게 경보음을 울림. ▪ 거리 기반 센서를 이용하여 장애물의 존재 유무만을 탐지하는 경우, 위험요소가 아닌 물체를 위험요소로 잘못 인식하는 오류가 발생하므로, 탐지 대상이 어떠한 물체인지를 구분하기 위해 영상 기반 센서를 통해 획득한 정보를 바탕으로 이미지 프로세싱을 수행하여 탐지 대상에 대한 정보를 획득하고 그 종류를 판별하고자 함. ▪ 하지만, 보행자 안전 시스템과 건설장비 안전 가이던스 시스템의 적용 환경 간에 다음과 같은 차이가 있어 본 연구과제에서는 이러한 차이점을 고려하여 건설장비에 특화된 안전 가이던스 시스템을 개발하고자 함. 보행자 안전 시스템은 일반적인 도로에서 주행을 하는 차량에 적용되어 전방에서 걷고 있는 보행자 탐지를 필요로 함. ▪ 반면, 안전 가이던스 시스템은 20km/h 이하의 저속 주행을 하는 건설장비에 적용되어 건설장비 작업 공간 내의 전방위에서 작업 중인 작업자 탐지를 필요로 함. 특히, 보행자 탐지의 경우, 탐지 대상의 형태를 서 있거나 걷고 있는 보행자의 형태로 한정할 수 있는 반면, 건설현장 내 작업자는 걷거나 숙이거나, 쪼그려 앉아 작업을 하는 등 보행자와 비교하여 다양한 자세와 동작을 취하기 때문에 이에 대한 고려가 필요함. 다음 그림은 Volvo Car Co.의 보행자 인식 시스템 예시를 나타냄.  <보행자 인식 시스템 (Volvo Car Corporation)의 예시 (EuroCarNews.com, 2015)>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설잔입 안전 가이던스 시스템 요구 사항 정의	▪ 안전 가이던스 시스템에 활용 가능한 센서 및 알고리즘 파악	▪ 안전 가이던스 시스템에서 영상 기반 센서는 이미지 프로세싱을 통해 탐지 대상의 종류를 구분하기 위한 영상 정보를 획득에 활용됨. 건설장비가 작업 중인 건설현장의 특성과 안전 가이던스 시스템의 개발 목적을 고려할 때, 본 연구과제에서 개발하고자 하는 안전 가이던스 시스템에 활용하기 위한 영상 기반 센서는 다음과 같은 요구사항을 만족하여야 함. -야외 환경에서 사용하기에 적합할 것 -장비 작동 온도 범위를 만족할 것 -작업 공간 내 실시간 탐지가 가능할 것 -작업 반경 내 탐지 대상의 구분이 가능할 것 -장비 근접 지역 (2m 이내)에 대한 사각 없이 탐지 대상의 구분이 가능할 것 ▪ 영상 기반 센서는 포토다이오드를 통해 들어온 전하를 프로세서로 전송하는 방식에 따라 CCD (Charge-Coupled Device) 센서와 CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) 센서로 구분됨 (홍명수, 2008). ▪ CCD 센서는 CMOS 센서에 비해 비교적 정확한 전하량을 프로세서로 전달할 수 있어 화질이 우수한 장점이 있으나 태양, 전등, 강한 반사광을 촬영했을 때 전하를 저장하는 콘덴서의 용량을 넘어서면서 수직으로 밝은 선이 그어지는 스미어 (Smear) 현상이 발생할 수 있음 (박종호와 권순경, 2011). 다음 그림은 CCD 센서를 통해 촬영한 이미지에서 발생한 스미어 현상의 예시를 나타냄. ▪ 건설현장은 주로 야외 환경에서 운용되기 때문에 빛 환경에 대한 강인한 성능을 필요로 함. 따라서 CCD 센서와 CMOS 센서 중, 건설장비 안전 가이던스 시스템에 활용하기에는 CMOS 센서가 CCD 센서에 비해 적합함.  <CCD 센서를 통해 촬영한 이미지에서 발생한 스미어 현상의 예시 (Dale, 2010)>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설잔입 안전 가이던스 시스템 요구 사항 정의	▪ 안전 가이던스 시스템에 활용 가능한 센서 및 알고리즘 파악	<안전 가이던스 시스템에 활용 가능한 거리 기반 센서와 안전 가이던스 시스템 구축에 필요한 예상 비용 산출 결과>

제품명	센서종류	제조사	최대 탐지 거리 (m)	최대 탐지 각도 (°)	시스템 구축 비용*	비고
ARS 300	레이다	Continental AG	60	56	2,940 만원	-
QT50RAF	밀리미터파 레이다	Banner Engineering Corp.	24	20	3,780 만원	-
Q120RA	밀리미터파 레이다	Banner Engineering Corp.	40	50	2,640 만원	-
UST-20LX	레이저 스캐너	Hokuyo Automatic Co., Ltd.	20	270	1,020 만원	-
LMS-100	레이저 스캐너	SICK AG	18	270	1,710 만원	-
LMS-111	레이저 스캐너	SICK AG	18	270	1,710 만원	-
LMS-200	레이저 스캐너	SICK AG	18	180	1,470 만원	-
RPLIDAR 360 ° Laser Scanner	레이저 스캐너	RPLIDAR	6	360	-	탐지 거리 기준 미달
OMD8000-R2100-R2-2V15	LED 스캐너	Pepperl-Fuchs AG	8	88	-	탐지 거리 기준 미달
Leddar IS16	LED 센서	LeddarTech	50	45	272 만원	-

※ 시스템 구축 비용*은 센서 단가 (만원)와 전방위 팀지를 위해 설치가 필요한 센서 대수의 곱을 나타냄.

▪ 조사 결과, 탐지거리와 시스템 구축 비용을 종합하여 고려할 때 LeddarTech의 IS16 LED 센서가 안전 가이던스 시스템 구축에 가장 적합한 것으로 나타남. Leddar IS16 LED 센서는 비행 시간 (Time-of-flight) 기술 기반의 센서로, Frank 등 (2014), Zhen 등 (2014), Kang 등 (2014), Yasutomi 등 (2014)의 연구에서 무인 자동보트의 장애물 또는 위험물 탐지 목적으로 카메라와 융합하여 활용된 바 있음.

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설잔입 안전 가이던스 시스템 요구 사항 정의	▪ 안전 가이던스 시스템에 활용 가능한 센서 및 알고리즘 파악	▪ 영상 기반 센서를 활용하여 획득한 건설장비 주변 영상으로부터 작업자를 능동적으로 탐지하기 위해서는 적합한 작업자 탐지 알고리즘을 필요로 함. 건설장비가 작업 중인 건설현장의 특성과 안전 가이던스 시스템의 목적을 고려할 때, 본 연구과제에서 개발하고자 하는 안전 가이던스 시스템에 활용하기 위한 작업자 탐지 알고리즘은 다음과 같은 요구사항을 만족하여야 함. -건설장비와 작업자 간 거리 변화에 따른 영상 내 작업자 크기 변화에 무관할 것 -작업자 작업 상태 변경에 따른 작업자 형태 변화에 무관할 것 -외부 빛 환경 변화에 무관할 것 -탐지 대상 (작업자) 외의 움직임에 무관할 것 -작업자가 정지한 상태로 서 있는 경우의 탐지가 가능할 것 -다수의 작업자 탐지가 가능할 것 -장비 최대 주행 제한속도와 작업자의 보행속도를 고려한 처리속도 -작업자를 탐지하기 위해 개발된 기술의 수준을 파악하기 위해 작업자 탐지 관련 특허 분석을 수행한 결과, 작업자 탐지 기술에 관한 특허는 1건으로 나타남. 이에 대한 분석 결과는 아래 표와 같음. <작업자 탐지 관련 특허의 작업자 탐지 절차>

특허명	출원인	국가	연도	절차1	절차2	속도	적용성
Vision Watching System and Method for Safety Hat	아주대학교 산학협력단	미국	2010	움직임을 통한 관심영역 (ROI) 구분	안전모를 통한 작업자 인식	검증 결과 없음	검증 결과 없음

▪ 해당 특허에서는 건설현장 내부에 설치된 CCTV로부터 획득한 영상으로부터 움직이는 픽셀을 관심 영역 (Region of Interest; ROI)으로 설정하고 해당 영역 내에서 안전모를 탐지함으로써 작업자를 탐지할 수 있는 기술을 제안함. 해당 특허에서 제안된 기술은 건설장비에 부착된 건설장비 안전 가이던스 시스템의 영상 기반 센서와는 달리 카메라가 건설현장 주변 가시설에 고정되어 있어 적용 환경이 다르며, 움직이는 물체만을 탐지 대상으로 삼고 있어 제자리에 서 있는 작업자를 탐지할 수 없는 측면에서 한계를 지님.

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설잔입 안전 가이던스 시스템 요구 사항 정의	▪ 안전 가이던스 시스템에 활용 가능한 센서 및 알고리즘 파악	▪ 동일한 목적으로 작업자 탐지 관련 연구를 파악한 결과는 다음 표와 같음

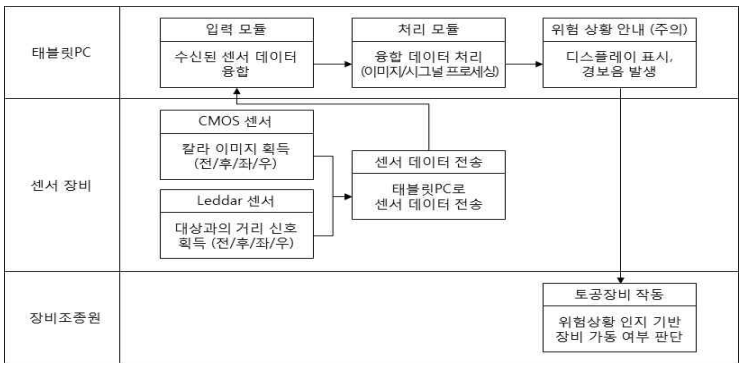
<작업자 탐지 관련 연구의 작업자 탐지 절차 및 특징값>

저자 (연도)	절차 1	특징값	절차 2	특징값
Weerasinghe 등 (2009)	ROI (안전모) 구분	형태	안전모 인식	색상
Weerasinghe 등 (2010)	ROI (안전모) 구분	형태	안전모 인식	색상
			작업자 구분	음성
Weerasinghe 등 (2012)	ROI (작업자) 구분	스켈레톤 (Skeleton)	안전모 인식	색상, 형태
Shrestha 등(2011; 2012)	ROI (작업자) 구분	외곽선	안전모 인식	형태
Guildi 등 (2010; 2011)	ROI (작업자) 구분	Covariance Descriptor	작업자 머리 인식	색상
			안전모 인식	형태
Du 등 (2011)	ROI (Motion) 구분 Background Subtraction	움직임	작업자 얼굴 인식	색상
			안전모 인식	색상, 위치
Gong과 Caldas (2011)	ROI (Motion) 구분 Background Subtraction	Bayesian Model	안전조끼 인식	색상
Min과 Dugelay (2011)	ROI (Motion) 구분 Background Subtraction	실루엣	머리 인식	위치
			모자 인식	색상, 위치
Park과 Brilakis (2012)	ROI (Motion) 구분 Background Subtraction	움직임	작업자 인식	HOG
			안전조끼 인식	색상
Lee와 Hong (2014)	ROI (Motion) 구분 Background Subtraction	움직임	안전모, 안전조끼 인식	색상, 위치

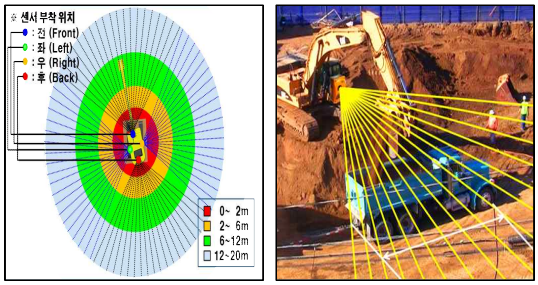
▪ 앞서 언급한 작업자 탐지 알고리즘의 요구사항에 근거하여 분석함. 이러한 방법의 공통된 단점은 서 있거나, 앉아 있는 등 정지 상태로 작업 중인 작업자에 대한 인식이 불가하다는 것임. 뿐만 아니라, Lee와 Hong (2014)에 관한 연구는 이와 같은 근본적인 단점 외에도 선 상태에서 안전모와 안전조끼를 동시에 착용한 작업자만 인식 가능하다는 단점이 있음

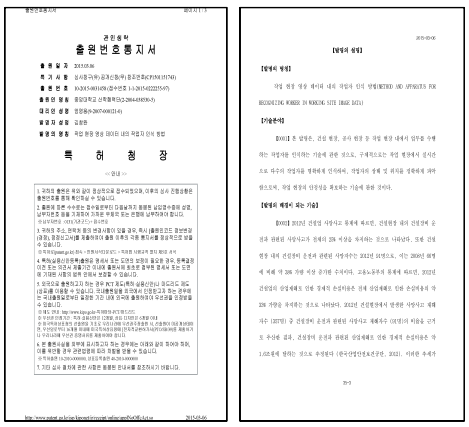
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설잔입 안전 가이던스 시스템 요구 사항 정의	▪ 안전 가이던스 시스템에 활용 가능한 센서 및 알고리즘 파악	<작업자 인식 관련 연구의 성능> ※ 작업자 인식 성능 요구사항*은 다음과 같음. 1. 건설장비-작업자 간 거리 변화에 따른 영상 내 작업자 크기 변화에 무관 2. 작업자 작업 상태 변경에 따른 작업자 형태 변화에 무관 3. 외부 빛 환경 변화에 무관 4. 탐지대상 (작업자 외) 움직임에 무관 5. 작업자가 정지한 상태로 서 있는 경우 탐지필요 6. 영상 내 다수의 작업자 인식 필요 7. 건설장비 최대 주행 가능속도, 작업자 보행속도 고려 ▪ 뿐만 아니라, "Construction Safety Visualization (Shrestha 등, 2011)"에 관한 연구에서는 건설 현장으로부터 이미지 센서를 이용하여 획득한 비디오 영상으로부터 작업자와 배경 사이의 경계선과 안전보호장구의 일종인 안전모의 형태를 작업자의 특징으로 활용하여 작업자를 인식하고자 함. 이러한 방법의 단점은 배경이 단순한 비디오 영상에만 적용 가능하며, 비디오 영상 내에 다수의 작업자가 작업 중인 경우 인식이 불가하다는 단점이 있음. 뿐만 아니라, 이미지 센서와 반대 방향으로 몸을 숙이거나, 엎드려서 작업하는 경우, 안전모가 시야에서 가려지는 문제가 있어 작업자 인식이 불가하다는 단점이 있음. 따라서 본 연구과제에서는 이러한 요구사항을 모두 고려한 작업자 탐지 전략을 수립하고자 함.

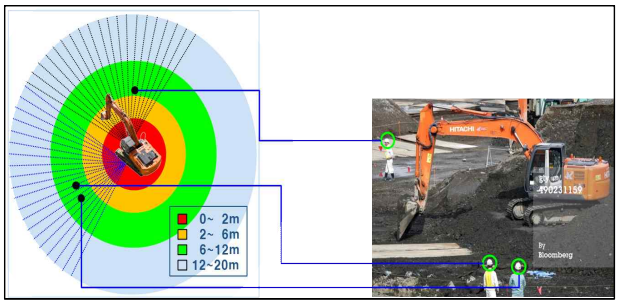
작업자 인식 성능 요구사항* / 저자 (연도)	1	2	3	4	5	6	7
Weerasinghe 등 (2009)	△	X	X	○	○	○	X
Weerasinghe 등 (2010)	△	X	X	○	○	○	X
Weerasinghe 등 (2012)	△	X	X	○	○	○	X
Shrestha 등 (2011; 2012)	△	X	X	○	○	○	X
Guildi 등 (2010;2011)	△	X	○	○	○	○	X
Du 등 (2011)	△	X	○	○	X	○	X
Gong과 Caldas (2011)	△	○	○	○	X	○	X
Min과 Dugelay (2011)	△	X	○	X	X	○	X
Park과 Brilakis (2012)	X	○	○	○	X	○	○
Lee와 Hong (2014)	△	○	○	○	X	○	X

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
굴삭기 안전 가이던스 시스템 설계	▪ 굴삭기 안전 가이던스 시스템 설계	▪ 앞서 기술한 작업 환경 인식 기반 안전 가이던스 시스템 성능 수준 설정, 건설산업에서의 작업자 안전 확보를 위한 장비 시스템 분석, 자동차산업에서의 보행자 안전 시스템 분석, 안전 가이던스 시스템에 활용 가능한 센서 및 알고리즘 파악 결과를 바탕으로 센서 융합을 통한 작업환경 인식 기반 안전 가이던스 시스템 개발을 목표로 하여 이번 1차년도에는 굴삭기를 대상으로 시스템 (이하, 굴삭기 안전 가이던스 시스템으로 명명) 설계를 수행함.  <굴삭기 안전 가이던스 시스템 개발을 위한 프로세스 다이어그램> ▪ 개별 굴삭기에 장착된 CMOS 센서를 통해 장비의 전/후/좌/우 작업 공간에 대한 칼라 이미지를 획득함과 동시에 개별 굴삭기에 장착된 Leddar 센서를 통해 장비 전/후/좌/우 작업 공간 내의 대상과의 거리 신호를 획득함. 이후, 굴삭기 안전 가이던스 시스템 "입력 모듈"을 통해 수신된 데이터를 융합함. ▪ 굴삭기 안전 가이던스 시스템 "처리 모듈"을 통해 융합 데이터를 처리 (이미지 프로세싱+시그널 프로세싱) 함. ▪ 작업 공간 내 위험 상황 (주의, 경고, 위험)이 탐지되면, "출력 모듈"을 통해 태블릿PC의 디스플레이 화면에 표시하고, 단계별 경보음을 발생함. ▪ 굴삭기 안전 가이던스 시스템 "입력 모듈"에서는 영상 기반 센서 (CMOS 센서)와 거리 기반 센서 (Leddar 센서)를 통해 획득된 데이터 간 융합이 이루어짐. 아래 표는 굴삭기 안전 가이던스 시스템 "입력 모듈"을 구성하는 센서의 대수 및 사양을 나타냄.

<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td>굴삭기 안전
가이던스 시스템
설계</td><td>▪ 굴삭기 안전 가이던스 시스템 설계</td><td>
<굴삭기 안전 가이던스 시스템 "입력 모듈"을 구성하는 센서 개요>
<table>
<tr><th colspan="2">CMOS 센서</th></tr>
<tr><td>사 진</td><td> 
(Point Grey Research, Inc., 2015)</td></tr>
<tr><td>설치대수</td><td>4대</td></tr>
<tr><td>탐지거리</td><td>20m 이내</td></tr>
<tr><td>해 상 도</td><td>최대 2,592×1,944 (5 Mega 픽셀)</td></tr>
<tr><td>탐지범위</td><td>120º ×104º ×130º
(광각 렌즈 탑재, f=1.7)</td></tr>
<tr><td>속 도</td><td>초당 최대 30 프레임</td></tr>
<tr><th colspan="2">Leddar 센서</th></tr>
<tr><td>사 진</td><td> 
(LeddarTech, 2015)</td></tr>
<tr><td>설치대수</td><td>4대</td></tr>
<tr><td>탐지거리</td><td>50m 이내</td></tr>
<tr><td>해 상 도</td><td rowspan="2">95º</td></tr>
<tr><td>탐지범위</td></tr>
<tr><td>속 도</td><td>초당 최대 100Hz 시그널</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
굴삭기 안전 가이던스 시스템 설계	▪ 굴삭기 안전 가이던스 시스템 설계	▪ 굴삭기 안전 가이던스 시스템에 대한 센서 부착 위치 및 전방 탐지 개요를 나타냄.  (a) (b) <굴삭기 안전 가이던스 시스템 "입력 모듈" (a) 센서 부착 위치, (b) 전방 탐지 개요> ▪ 굴삭기 안전 가이던스 시스템 "처리 모듈"은 크게 이미지 프로세싱을 담당하는 모듈과 시그널 프로세싱을 담당하는 모듈로 구성됨. ▪ 이미지 프로세싱 모듈은 CMOS 센서를 이용하여 획득한 칼라 이미지로부터 작업자 탐지를 담당함. 한국산업안전보건공단 (건설분야 기술자료 건설 2006-16-690)에서는 건설현장 작업자의 안전성 확보를 위해 안전보호장구 (안전모 또는 안전조끼)의 착용을 "작업지침 및 안전대책"으로 제시함. 다음 그림은 건설현장에서의 작업자 안전보호장구 착용사례를 나타냄.  <건설현장에서의 작업자 안전보호장구 착용사례> ▪ 본 연구과제에서는 이 점에 착안하여 이미지 프로세싱 모듈 내의 분석 절차를 제안함. 이는 Fast Feature Pyramids (Dollar 등, 2014)를 기반으로 한 전체 영상 내에서의 1차 관심 영역 (작업자) 인식 과정과 안전보호장구 (안전모 또는 안전조끼)의 색상을 작업자의 특징으로 활용하여 1차 관심 영역 인식 결과의 오류를 판별함으로써 인식의 정확성을 확보하기 위한 2차 인식 과정으로 구성됨. 다음 그림은 제안된 이미지 프로세싱 모듈 내의 분석 절차 적용 결과 예시를 나타냄.

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
굴삭기 안전 가이던스 시스템 설계	▪ 굴삭기 안전 가이던스 시스템 설계	 (a) (b) <제안된 이미지 프로세싱 모듈 내의 분석 절차 적용 결과 (a) 예시 1, (b) 예시 2 (■: 1차 관심 영역 인식 결과의 오류, ■: 안전보호장구의 색상을 활용한 1차 인식 결과의 오류 개선 결과)> ▪ 이를 통해 본 연구과제에서는 제안한 이미지 프로세싱 모듈 내의 분석 절차는 다음 측면에서 기존 기술과의 차별성 및 기술 적용의 실효성을 가짐. -건설장비 to 작업자 간 거리 변화에 따른 영상 내 작업자 크기 변화에 무관함. -작업자 작업 상태 변경에 따른 작업자 형태 변화에 무관함. -외부 빛 환경 변화에 무관함. -탐지대상 (작업자 외) 움직임에 무관함. -작업자가 정지한 상태로 서 있는 경우 탐지 가능함. -영상 내 다수의 작업자 인식 가능함. -건설장비 최대 주행 가능속도, 작업자 보행속도를 고려하여 초당 최소 4프레임 이상 처리가 가능함. ▪ 제안된 굴삭기 안전 가이던스 시스템 개발 전략은 "작업 현장 영상 데이터 내의 작업자 인식 방법"이라는 명칭의 국내 특허로 출원을 완료함.  (a) (b) <"작업 현장 영상 데이터 내의 작업자 인식 방법"이라는 명칭 특허 출원 (a) 출원번호통지서, (b) 특허출원서>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
굴삭기 안전 가이던스 시스템 설계	▪ 굴삭기 안전 가이던스 시스템 설계	▪ 굴삭기 시그널 프로세싱 모듈에서는 Leddar 센서를 이용하여 획득한 대상과의 거리 신호로부터 건설장비-인식된 작업자 간 거리 측정을 담당함. ▪ 다음 그림은 굴삭기 안전 가이던스 시스템 "처리 모듈" 개요를 나타냄. 그림에서 보는 바와 같이, 이미지 프로세싱 모듈에서 CMOS 센서를 이용하여 획득한 칼라 이미지로부터 작업자를 탐지한 결과와 시그널 프로세싱 모듈에서 Leddar 센서를 이용하여 획득한 대상과의 거리 신호로부터 건설장비-인식된 작업자 간 거리 측정 결과를 융합함으로써 건설장비 작업환경 인식 기반 작업자 안전성 확보를 가능케 함.  <굴삭기 안전 가이던스 시스템 "처리 모듈" 개요> ▪ 굴삭기 안전 가이던스 시스템 "출력 모듈"에서는 건설장비 운전자 모니터에 위험 요소 탐지 결과를 3단계로 구분 (주의, 경고, 위험)하여 표시함과 동시에 화면을 통해 작업 공간 내의 작업자 위치 정보를 제공하도록 함. 다음 그림은 위험 요소 탐지 결과에 따른 주의 및 경고 단계별 위험 상황에 대한 시스템 화면설계 예시를 나타냄. ▪ 위험 요소 탐지 결과에 따른 화면 전환과 동시에 다음과 같이 경보음을 발생함. -주의: 건설장비 운전자에게 1단계 경보음 발생 -경고: 건설장비 운전자에게 2단계 경보음 발생 -위험: 건설장비 운전자에게 3단계 경보음 발생과 동시에 작업자에게 건설장비 외부에 설치된 사이렌 경광등으로 위험 알림 ▪ 특히, 위험 요소 탐지 결과가 "위험" 단계로 구분되는 경우에는 건설장비 운전자에게 작업 공간 내의 작업자 위치 정보를 다음 그림과 같이 운전자 화면을 전환하도록 시스템 화면을 설계하였으며, 동시에 작업자에게도 건설장비 외부에 설치된 사이렌 경광등으로 위험 상황을 알리도록 함.  (a) (b) <위험 요소 탐지 결과에 따른 위험 단계별 굴삭기 안전 가이던스 시스템 "출력 모듈" 시스템 화면설계 예시 (a) 주의, (b) 경고>

<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td>굴삭기 안전
가이던스 시스템
설계</td><td>▪ 제안된 굴삭기 안전 가이던스 시스템적용 가능성 파악</td><td>
▪ 다음 표는 제안된 굴삭기 안전 가이던스 시스템 적용가능성 파악을 위한 실험 개요를 나타냄.
<굴삭기 안전 가이던스 시스템 적용가능성 파악을 위한 실험 개요>
<table>
<tr><td>실험목적</td><td>▪입력 (Input) 모듈
-CMOS 센서와 Leddar 센서의 부착 위치 선정
-CMOS 센서와 Leddar 센서를 통한 작업 반경 (20m 이내) 내 데이터 획득
▪처리 (Processing) 모듈
-이미지 프로세싱을 통한 작업자 탐지 성능 파악
-시그널 프로셍싱을 통한 작업자 탐지 성능 파악</td></tr>
<tr><td>실험일자 및 장소</td><td>▪1차: 2014년 11월 17일 (월), 중앙대학교 서울캠퍼스
▪2차: 2014년 11월 22일 (토), 아현 아이파크 신축공사 현장
▪3차: 2014년 12월 01일 (월), 인천공장 (두산인프라코어)
▪4차: 2015년 01월 27일 (화), 중앙대학교 서울캠퍼스
▪5차: 2015년 01월 28일 (수), 인천공장 (두산인프라코어)
▪6차: 2015년 02월 08일 (일), 고덕동 도로공사 현장
▪7차: 2015년 02월 15일 (일), 고덕동 도로공사 현장</td></tr>
</table>
▪ 다음 그림은 CMOS 센서 부착 위치를 선정하기 위한 실험 시나리오를 나타냄. 그림에서 보는 바와 같이, CMOS 센서의 설치 위치와 화각에 따른 영상의 획득 범위를 파악하기 위해 바닥에 거리를 표시하고 영상의 최상단을 20m 거리에 떨어진 작업자 전신을 포함하여 획득될 수 있도록 CMOS 센서의 설치 각도를 조정함.


<CMOS 센서 부착 위치를 선정하기 위한 실험 시나리오>
▪ 다음 그림은 3차 실험에서 굴삭기 (Doosan V25)를 대상으로 하여 다양한 건설장비 작업 상태 (정지 상태에서 굴토, 배토, 평탄, 선회, 버킷을 접고 주행 (전진, 후진)) 및 작업자 작업 상태 (정지 상태에서 쪼그려 앉아 작업, 숙이고 작업, 서서 작업, 이동)에 대해 CMOS 센서를 활용하여 획득한 작업 반경 (20m 이내) 내 영상 예시를 나타냄.

(a) (b)
<CMOS 센서를 활용한 작업 반경 (20m 이내) 내 영상 획득 예시 (3차 실험)
(a) 건설장비 작업 상태 - 굴토/ 이동/ 정면, 작업자 작업 상태 - 이동
(b) 건설장비 작업 상태 - 굴토/ 이동/ 정면, 작업자 작업 상태 - 정지>
</td></tr>
</table>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
굴삭기 안전 가이던스 시스템 설계	▪ 제안된 굴삭기 안전 가이던스 시스템적용 가능성 파악	▪ 1차 관심 영역 (작업자) 인식 과정에 필요한 작업자 상태 데이터베이스 구축을 위해 현장 실험 (2차, 4차, 5차, 6차, 7차)에서 CMOS 센서를 통해 획득한 영상으로부터 작업자 형태 데이터베이스 구축을 수행함. <작업자의 형태 데이터베이스 구축 예시>  선 상태 / 걷는 상태 / 앉은 상태  숙인 상태 / 앉았다가 서는 상태 / 서있다가 앉는 상태

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
굴삭기 안전 가이던스 시스템 설계	▪ 제안된 굴삭기 안전 가이던스 시스템적용 가능성 파악	▪ 2차 안전보호장구 색상 기반 작업자 판별 과정에 필요한 색상 데이터베이스 구축을 위해 현장 실험 (2차, 4차, 5차, 6차, 7차)에서 CMOS 센서를 통해 획득한 영상으로부터 안전보호장구 색상 데이터베이스 구축을 수행함.

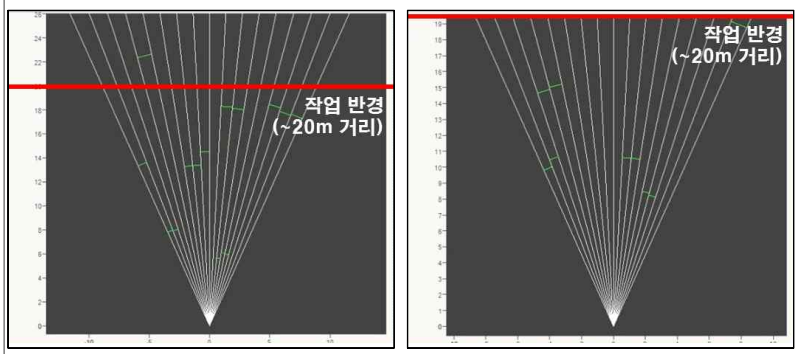


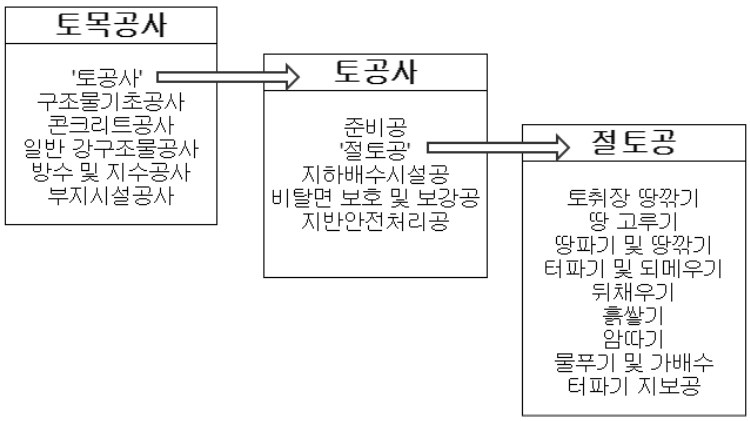
<2차 안전보호장구 색상 기반 작업자 판별 과정에 필요한 색상 데이터베이스 구축 방법>

<현장실험을 통한 안전보호장구 색상 데이터베이스 구축현황>

구분		이미지 수	픽셀 수
안전보호장구	안전조끼 (녹색영역)	215	84,135
	안전모 (흰색)	188	42,401
	안전모 (노란색)	77	25,068
	안전모 (빨간색)	32	7,055
배경	흙 (바닥영역)	205	8,476,184
	기타	101	177,537

▪ 앞서 구축한 작업자 상태 데이터베이스와 안전보호장구 색상 데이터베이스를 활용하여 이미지 프로세싱 모듈 내의 제안 분석 절차를 구현하고, 이를 현장 실험을 통해 획득된 영상에 적용함으로써 작업자 탐지 성능을 파악함. 다음 그림은 제안된 이미지 프로세싱 모듈 내의 분석 절차 적용 결과 예시를 나타냄. 보는 바와 같이, 일부 안전보호장구 (안전모)의 가려짐, 작업자 작업 상태 변경에 따른 작업자 형태 변화에 무관하게 작업자 탐지가 가능하며, 영상 내 다수의 작업자 인식이 가능할 뿐만 아니라, 굴삭기의 버킷과 같이 탐지대상 (작업자) 외 움직임에 무관하게 작업자 탐지가 가능함을 알 수 있음.

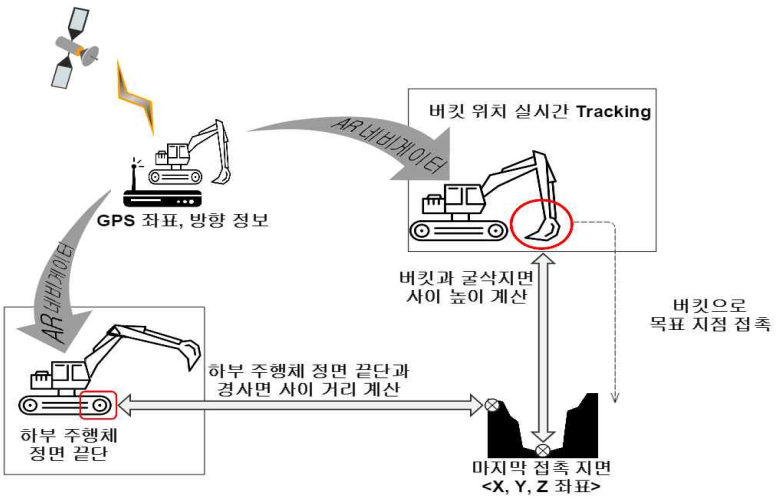
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
굴삭기 안전 가이던스 시스템 설계	▪ 제안된 굴삭기 안전 가이던스 시스템적용 가능성 파악	▪  <제안된 이미지 프로세싱 모듈 내의 분석 절차 적용 결과> 다음 그림은 시그널 프로세싱을 통한 작업자 탐지 성능 파악을 위한 실험 사진과 결과 예시를 나타냄.  (a) (b) <시그널 프로세싱을 통한 작업자 탐지 성능 파악을 위한 실험 사진>  (a) (b) <시그널 프로세싱을 통한 작업자 탐지 성능 파악 예시 (a) 이전 그림의 (a) 사진에 대한 결과, (b) 이전 그림의 (b) 사진에 대한 결과>

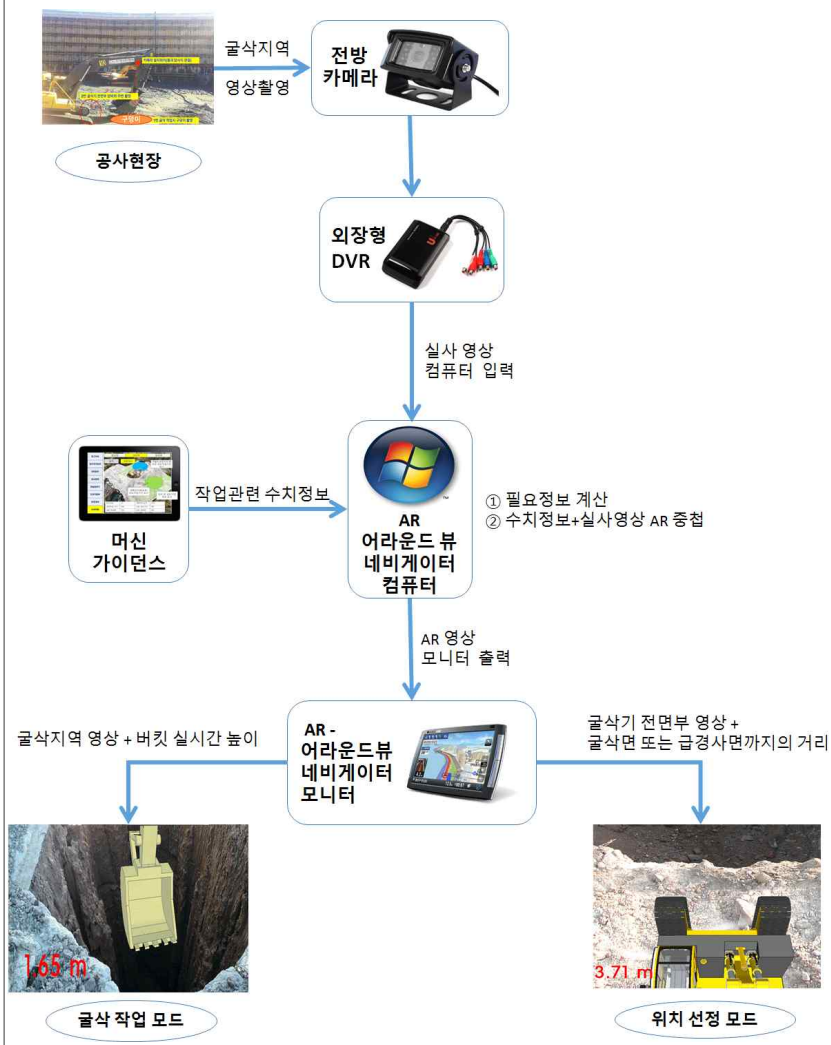
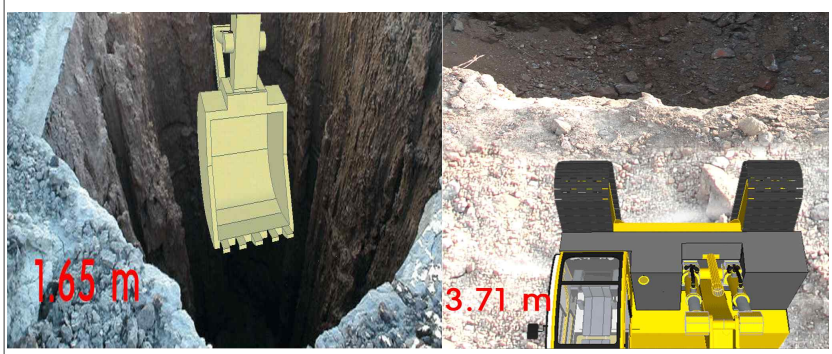
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터기술 개발	▪ 토공 건설장비 운영에 관한 문헌조사 및 토공 건설장비 운영 Task 파악을 위한 인터뷰 및 현장관찰	▪ **공사 관련 문헌조사 및 전문가 인터뷰** -자체 토공사는 상기 언급한 절토, 성토 외에 운반, 다짐, 장비별 특수형태의 작업으로 분류할 수 있음(표 1, 그림 1).  <토목공사의 종류(토목공사 표준일반시방서, 2005)> ▪ **굴삭기 운용상 문제점** - 굴삭 작업 · 깊은 구간 굴삭(심굴삭)을 할 때에는 실제로 운전석에서 굴삭 바닥면과 버킷이 보이지 않음. · 굴삭 바닥면에 버킷을 과도하게 깊이 유인하여 강한 유압을 주면 반력에 의해 피칭이 발생하며 이로 인한 전도의 위험이 큼. · 또한 버킷의 깊은 유인으로 인하여 다량의 토사를 과도하게 굴삭 할 경우 무게중심의 불균형으로 인하여 피칭이 발생하고 전도의 위험이 있음. · 이러한 피칭의 위험을 방지하기 위하여 버킷을 굴삭 바닥면에 과도하지 않은 깊이로 유도하여야 하나 심굴삭 시에는 이를 운전석에서 시야로 확인하기가 어려움. · 심굴삭 작업 시 운전자가 운전석 밖으로 나와서 굴삭 바닥면을 직접 눈으로 확인하고 다시 굴삭기에 탑승하는 행동을 반복하는 경우도 다수 존재함.  <깊은 구간 굴삭 시의 시야 방해>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ 토공 건설장비 운영에 관한 문헌조사 및 토공 건설장비 운영 Task 파악을 위한 인터뷰 및 현장관찰	 <깊은 구간 굴삭 시의 시야 방해> - 파쇄 작업 · 굴삭기 허용 제원 벗어난 작업 시 반력에 의한 전도 위험이 있음. · 암석의 경우 파쇄가 용이한 결이 존재하나 비숙련공의 경우 이를 인지하지 못하여 전도의 위험에 노출될 가능성이 높음. - 리핑 작업 · 지형 정보가 부족할 경우 리퍼의 작업 능력이 상실되어 피칭으로 인한 전도 위험이 있음. - 성토 작업 · 반복 선회 작업으로 인해 주변 작업자에 대한 협착사고의 위험이 있음. - 정지 작업 · 굴삭기를 사용하여 정지 작업을 수행하는 경우는 일반적이지 않음. - 적재 작업 · 바람이 강하게 불 경우 피칭, 롤링, 요잉 등이 발생하여 전도의 위험이 존재함. · 반복 선회 작업으로 인해 주변 작업자에 대한 협착사고의 위험이 있음. · 덤프 높이에 대한 인식 부족으로 인해 적재 직전 덤프트럭에 버킷이 충돌할 위험이 있음. - 작업 공통 · 선회 작업반경 내 부주의하게 진입한 작업자가 있는 경우 다수의 사고가 발생

<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td>건설장비
AR-어라운드 뷰
네비게이터 기술
개발</td><td>▪ 토공 건설장비 운용 Task-시각정보 맵 도출</td><td>
▪ 굴삭기 운용상 필요시각정보 구체화
-굴삭기의 운용 형태는 크게 주행, 현장 내 이동, 작업으로 분류됨.
-본 연구에서는 Task-시각정보 맵을 도출하기 위해 작업효율성에 직접적인 영향을 미치는 운용 형태인 “작업(Task)” 에 대한 문제점 및 필요정보를 제시하고자 함.

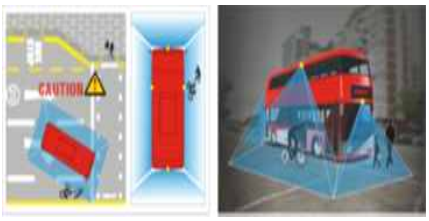
<굴삭기의 Task-시각정보 맵>
<table>
<tr><th>분류</th><th>상세</th><th>문제점</th><th>필요 시각정보</th></tr>
<tr><td rowspan="8">작업</td><td>굴삭</td><td>· 깊은 구간 굴삭 시 굴삭 바닥면 및 버킷이 보이지 않음
· 굴삭 바닥면에 대한 버킷의 과도한 삽입으로 인한 피칭 및 전도의 위험 증가
· 운전자 시야로는 굴삭 바닥면에 대한 버킷의 적절한 삽입여부를 확인하기 어려움
· 사각지대로 인해 굴삭 바닥면 또는 급경사면 접근 시 굴삭기 위치 선정이 어려움
· 운전석 위치에서는 굴삭면 또는 급경사면에 대한 굴삭기 하부 주행체의 적절한 접근 여부를 확인하기 어려움
· 강풍으로 인해 선회 시 롤링 및 전도 위험 증가</td><td>· 깊은 구간 굴삭 시 굴삭 바닥면에 대한 버킷의 실시간 접근 현황
· 굴삭면 또는 급경사면에 대한 하부 주행체의 실시간 접근 현황</td></tr>
<tr><td>파쇄</td><td>· 굴삭기 허용 제원 벗어난 작업 시 전도 위험
· 비숙련공의 암석 파쇄 결 비인식</td><td>· 굴삭기 허용 제원 제시</td></tr>
<tr><td>리핑</td><td>· 지형 정보 부재로 인한 피칭의 위험</td><td>· 작업 현장 지형 정보</td></tr>
<tr><td>성토</td><td>· 반복 선회 작업으로 인한 작업자 협착사고의 위험</td><td>· 후방을 포함한 굴삭기 주변 현황</td></tr>
<tr><td>정지</td><td>· 일반적이지 않음</td><td>-</td></tr>
<tr><td>적재</td><td>· 강풍 시 피칭, 롤링, 요잉으로 인한 전도 위험
· 반복 선회 작업으로 인한 작업자 협착사고의 위험
· 덤프 높이 인식 부족 시 적재 직전 충돌 위험</td><td>· 덤프트럭높이
· 굴삭기 제원상의 최대 덤프 높이
· 후방을 포함한 굴삭기 주변 현황</td></tr>
<tr><td>작업
공통</td><td>선회</td><td>· 작업반경 내에 부주의하게 진입한 작업자가 있는 경우 다수의 사고가 발생</td><td>· 우측 사각지대
후방 및 전체반경</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ 토공 건설장비 운용 Task-시각정보 맵 도출	▪ **굴삭기 AR 네비게이터 기본설계** - Task시각정보 맵 분석을 통하여 AR 기법을 효과적으로 적용할 방안을 모색함. - AR 네비게이터의 시스템 컨셉을 위치선정모드, 굴삭작업모드로 선정함. 위치선정모드는 지형의 경사면 끝단 $(X_{slope}, Y_{slope}, Z_{slope})$과 하부 주행체 끝단$(X_{wheel}, Y_{wheel}, Z_{wheel})$의 사이의 거리를 계산하고, 굴삭작업모드는 제공받은 버킷의 좌표와 굴삭 바닥면의 좌표$(X_{bottom}, Y_{bottom}, Z_{bottom})$를 계산하여 높이 차이를 계산하여 운전자에게 수치정보 혹은 시각정보를 제공함. - 스마트 가이던스(MG)를 통해 굴삭기 좌표값을 획득하여 위치를 추정하고 실시간으로 버킷의 좌표$(X_{bucket}, Y_{bucket}, Z_{bucket})$를 트래킹 할 수 있도록 계획하였으며, 계획된 트래킹 시스템의 개요는 아래 그림과 같음.  <스마트가이던스를 이용한 AR 트래킹>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ 토공 건설장비 운용 Task-시각정보 맵 도출	- 전반적인 AR 네비게이터의 설계 개념도는 다음과 같음.  <AR 네비게이터 시스템 설계 개념도> ▪ **테스크-시각정보 맵(1차년도 수행연구)에 기반한 AR 네비게이터의 시스템의 구체화** - 깊은 구간 굴삭 시 굴삭 바닥면에 대한 버킷의 실시간 접근 현황 - 굴삭면 또는 급경사면에 대한 하부 주행체의 실시간 접근 현황  <AR 네비게이터 구상도>

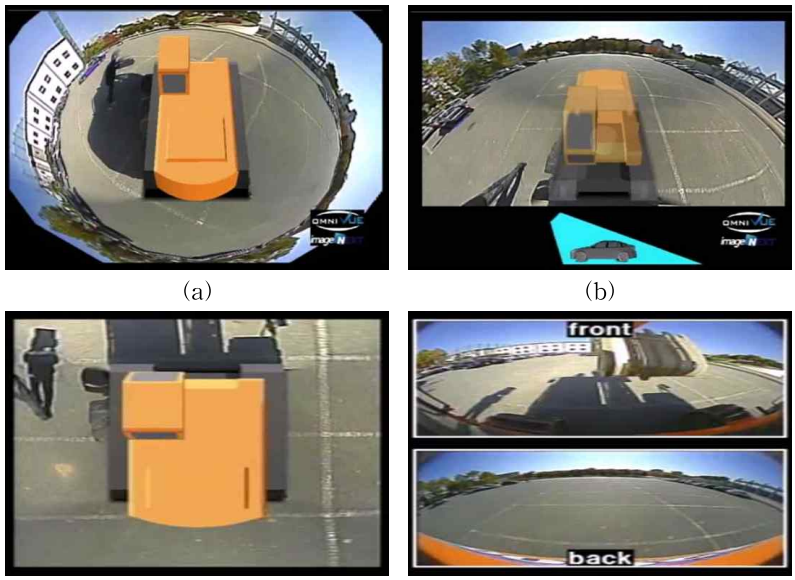
<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td>건설장비
AR-어라운드 뷰
네비게이터 기술
개발</td><td>▪ 어라운드 뷰 영상장치 관련 선행연구 및 기술개발동향 분석</td><td>
▪ 어라운드 뷰 관련 국내 · 외 기술개발동향 분석
-본 연구에서는 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 시스템의 현황 및 문제점을 분석하기 위해, 국내 · 외 기술개발동향 분석 수행하였음.

-먼저, 국내외 건설/비건설 관련 대형장비 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 시스템에 대한 조사를 수행한 결과, 타이완 PSVT 社 Virtual 360TM 시스템, 독일 Continental 社 ProViu 360 시스템 등이 개발 중에 있는 것으로 조사됨.

<국외 AVM 시스템 개발 사례>
<table>
<tr><th>개발사</th><th>대표도</th><th>내용</th></tr>
<tr><td>타이완 PSVT 社 Virtual 360TM 시스템</td><td>  </td><td>일반 차량 뿐 아니라 양한 차량형 건설장비 대해 적용이 가능하도 Virtual 360TM 시스템 범위를 확장시키고자 획하고 있음.</td></tr>
<tr><td>독일 Continental 社 ProViu 360 시스템</td><td>  </td><td>특수차량/건설용 차량 위한 카메라기반 360° 모니터링 시스 인 ProViu 360을 개발 였으며, 현재는 시스 의 현장 테스트를 위 공개를 준비하고 있음.</td></tr>
</table>
-그러나 현재까지 개발 중인 국외 건설/비건설 관련 대형장비 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 시스템은 차량형 장비가 아닌 굴삭기, 도저와 같은 건설기계에는 적용되지 못하고 있는 실정임.

-한국특허정보원의 특허정보검색서비스를 바탕으로 AVM 시스템 및 차량용 영상장치와 관련된 특허 동향을 좌한 결과, 미국과 유럽에서 다수의 특허가 출원 및 등록되어 있으며, 아시아 국가에서는 관련기술의 최초 개발 국가인 일본에 이어 한국과 중국에서 승용차량을 대상으로 한 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 시스템에 대한 기술을 보유하고 있는 것으로 조사됨.

-어라운드 뷰 모니터링(AVM) 시스템 및 차량용 영상장치와 관련된 특허는 국내외 적으로 다수의 특허가 출원 및 등록된 반면, 조사의 범위를 건설장비 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 시스템으로 축소한 결과 일본과 대한민국에 3건의 특허만이 출원 및 등록된 것으로 확인됨.
</td></tr>
</table>

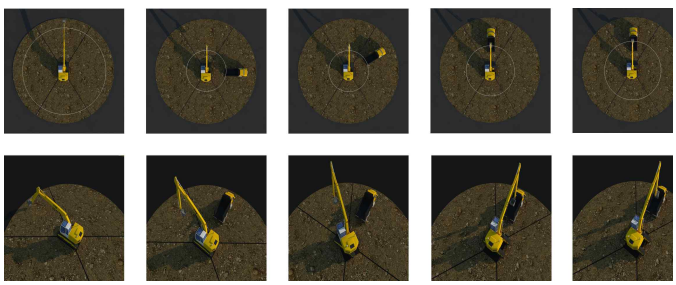
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ 어라운드 뷰 영상장치 관련 선행연구 및 기술개발동향 분석	▪ **건설장비 어라운드 뷰 모니터링 시스템 개발을 위한 주요 고려요소 도출** -건설장비 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 시스템 개발을 위한 주요 고려요소 도출하기 위해 현재 개발을 수행하고 있는 두산인프라코어㈜의 어라운드 뷰 모니터링 시스템을 분석함. -두산인프라코어㈜에서 개발 중에 있는 굴삭기용 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 시스템은 장비의 사각지대를 제거하여, 작업의 안전성 및 효율성을 극대화 시켜준다는 점에서 의의가 있음. 특히 굴삭기 주변현황 전체를 모니터링하면서 주행 할 수 있고, 다수의 뷰 모드를 제공하기 때문에 포장도로, 정지된 지면에서의 주행 시 장비 조종원의 운용 효율을 제고할 수 있을 것으로 기대됨.  (a) (b) (c) (d) <두산인프라코어㈜의 AVM 시스템> -반면 해당 기술은 넓은 영상인식 범위를 지니고는 있으나, 장비로부터 먼 영역(원거리)의 영상은 왜곡을 포함하고 있고, 굴삭기에 카메라를 장착하여 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 영상을 구현하고는 있으나 적용 알고리즘 자체가 굴삭기가 아닌 승용차량을 대상으로 하고 있기 때문에 탑뷰(Top-view)로 표현할 수 있는 영역이 다소 협소(약 4m)한 문제점을 가지고 있음. -또한, 해당 기술은 원천기술이 승용차량을 대상으로 개발된 기술이므로 건설장비의 특성(붐, 암, 버킷 등)을 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 영상에서 표현하지 못하고 있다는 문제점을 지니고 있으며, 해당 기술의 특성상 건설장비의 자세에 따라 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 영상에 심각한 오류(왜곡)가 발생할 수 있음. -따라서 건설장비 제원에 맞는 탑뷰(Top-view) 영역의 확보, 건설장비 특성의(붐, 암, 버킷 등) 반영, 지면 경사 및 굴곡에 따른 영상 보정 등의 개선이 이루어져야만 건설 현업에서의 실무적 활용성이 보다 제고될 수 있을 것으로 사료됨. -건설장비 AVM 시스템 개발을 위한 주요 고려요소 ⑴ 원거리 영상에 대한 왜곡 보정 기술 ⑵ 건설장비 제원에 적합한 탑뷰 영역 확보 ⑶ 건설장비 기울기에 따른 영상 보정기술 ⑷ 건설장비 특성(붐, 암, 버킷의 움직임 등) 반영

<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td>건설장비
AR-어라운드 뷰
네비게이터 기술
개발</td><td>▪ 어라운드 뷰 표현정보 정의</td><td>▪ 작업의 생산성 향상 및 안전성 제고를 위한 어라운드 뷰 표현 정보 정의
-본 연구에서는 건설장비 작업의 생산성 향상 및 안전성 제고를 위한 최적의 AVM 시스템을 구현하기 위해 어라운드 뷰 표현정보를 정의하고자 함.

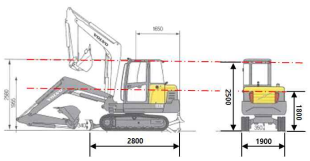
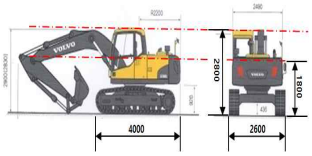
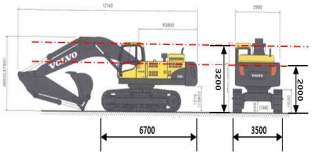
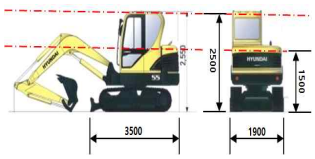
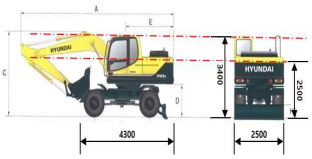
-산업안전보건공단에서 공표한 건설현장에서의 굴삭기 관련 재해 사례를 분석한 결과, ⑴회전하는 굴삭기와의 충돌, ⑵후진하는 굴삭기와의 충돌, ⑶운행 중인 굴삭기의 추락 등의 사고가 빈번하게 발생하고 있는 것으로 조사됨.

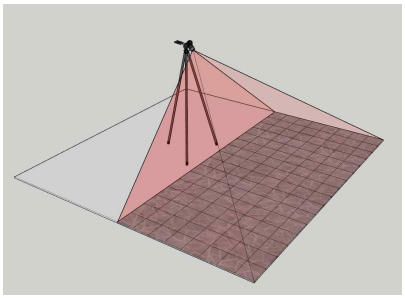
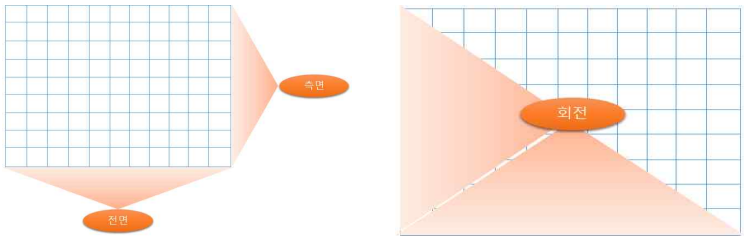
-또한 실질적으로 건설장비의 운용 효율 및 작업 생산성 향상을 위해서는 붐, 암, 버킷을 포함하는 건설장비의 특성 및 상차 등을 위한 버킷 회전 반경 등 작업 상황을 고려한 보다 진보된 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 환경이 제공되어야 할 것으로 사료됨.

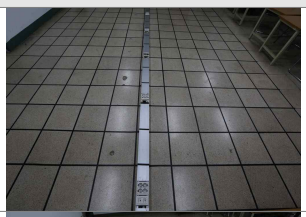
-따라서 본 연구에서는 건설장비의 작업현황(붐, 암, 버킷 현황, 버킷 회전 반경, 지면-버킷 이격거리 등)과 CCD 카메라별 Raw 영상을 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 시스템 화면 위에 표현하는 기술을 개발함으로써 건설장비 운전원의 장비운용 효율, 작업 생산성 및 안전성을 제고 시킬 수 있을 것으로 기대됨.

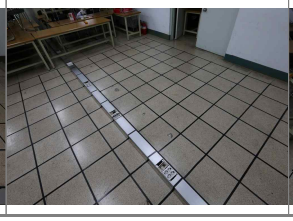
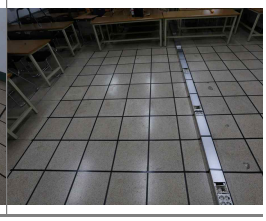
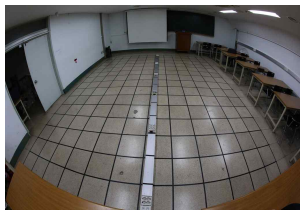
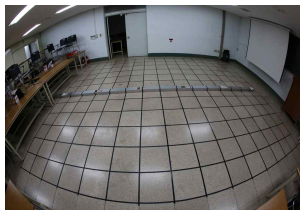
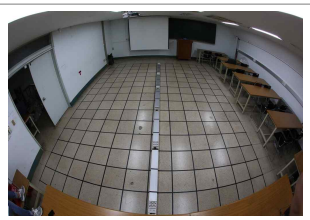
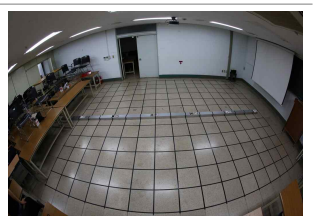
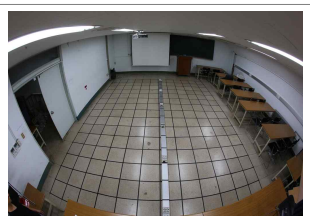
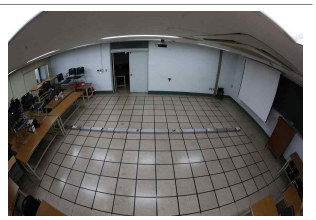
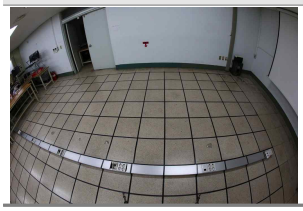
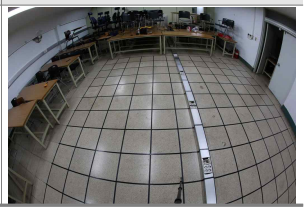
<장비 운용의 효율성 및 작업 생산성 제고를 위한 기술>
<table>
<tr><td>대표도</td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td rowspan="3">요구장비
및 정보</td><td>CCD Camera(4EA)
: 720p(1280x720) 이상의 HD급</td><td>  </td></tr>
<tr><td>어안렌즈(4EA)
: 화각 180° 이상의 어안렌즈</td><td>  </td></tr>
<tr><td>AVM Processor(1EA)
: 취득 영상 보정용 Processor</td><td>  </td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

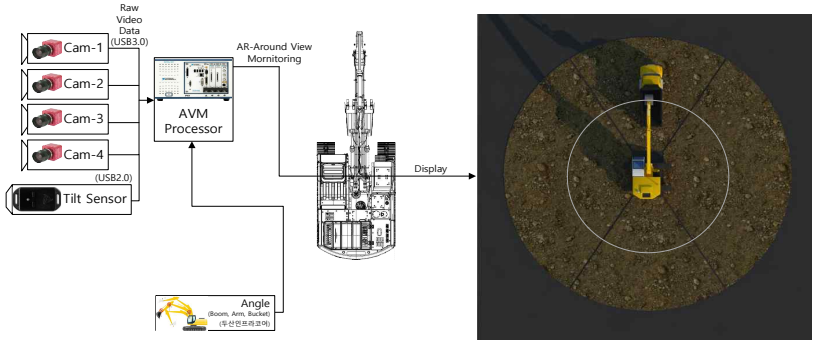
<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td>건설장비
AR-어라운드 뷰
네비게이터 기술
개발</td><td>▪ 어라운드 뷰 카메라 최적 설치위치 분석</td><td>
▪ 건설장비(굴삭기) 제원 별 카메라 최적 설치위치 분석
-본 연구에서는 건설장비 AVM 시스템의 Top-view 영상 구현을 위해 굴삭기 제원 별 카메라 최적 설치위치 분석을 수행함. 카메라 최적 설치위치 분석은 국내 · 외 건설현장에서 주로 활용되는 V社, H 社의 굴삭기를 대상으로 수행되었으며, 다음은 굴삭기 제원별 카메라 설치 가능 위치를 분석한 결과임.

<건설장비(굴삭기) 제원별 카메라 설치가능 위치>
<table>
<tr><th rowspan="2">모델명</th><th colspan="3">카메라
설치가능 높이</th><th colspan="3">차량폭</th></tr>
<tr><th>전면</th><th>측면</th><th>후면</th><th>전면</th><th>측면</th><th>후면</th></tr>
<tr><td> 
Volvo D3</td><td>2.5m</td><td>1.8m</td><td>1.8m</td><td>1.9m</td><td>2.8m</td><td>1.9m</td></tr>
<tr><td> 
Volvo D4E</td><td>2.8m</td><td>1.8m</td><td>1.8m</td><td>2.6m</td><td>4.0m</td><td>2.6m</td></tr>
<tr><td> 
Volvo D12D</td><td>3.2m</td><td>2.0m</td><td>2.0m</td><td>3.5m</td><td>6.7m</td><td>3.5m</td></tr>
<tr><td> 
현대 ROBEX55W</td><td>2.5m</td><td>1.5m</td><td>1.5m</td><td>1.9m</td><td>3.5m</td><td>1.9m</td></tr>
<tr><td> 
현대 ROBEX140LC</td><td>3.4m</td><td>2.5m</td><td>2.5m</td><td>2.5m</td><td>4.3m</td><td>2.5m</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ 어라운드 뷰 카메라 최적 설치위치 분석	▪ **영상취득 실험 개요** -영상취득 실험을 위해 다음과 같은 Test-bed를 구축하였으며, 카메라는 Test-bed 2면에 대해 높이를 구분(1.5m~2.3m)하여 설치함.  <영상 취득 실험을 위한 Test-bed>  <카메라 설치 위치> -영상취득 실험을 위해 토공장비에 부착될 CCD 카메라와 유사한 화각 및 초점거리의 카메라를 선정하고, 넓은 영역의 영상취득이 가능한 2개의 렌즈(광각렌즈, 어안렌즈)를 선정하여 영상취득 실험을 수행함. ▪ **영상취득 실험** -설계된 실험 방법에 따라 16㎜ 광각렌즈를 활용한 영상취득 실험 수행 결과, 카메라 설치위치가 높아짐에 따라 광각렌즈의 영상 인식범위는 확대되었으나, Test-bed 상의 모든 영역의 영상을 취득하지는 못함(최대 높이인 2.3m에서도 가로폭 4.4m의 영상취득 불가능). <카메라 설치위치에 따른 16㎜ 광각렌즈 영상취득 실험 결과>

높이	전면 영상	측면 영상
1.5m		
2.0m		
2.3m		

<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td rowspan="2">건설장비
AR-어라운드 뷰
네비게이터 기술
개발</td><td rowspan="2">▪ 어라운드 뷰 카메라 최적 설치위치 분석</td><td>-영상합성 테스트를 위한 회전영상취득 실험 수행 결과, 16㎜ 광각렌즈로는 90° 단위의 영상 취득이 불가능하여 Top-view 영상을 합성하기 위해서는 영상 경계부에서 3개의 영상을 합성해야 할 것으로 판단됨. 즉, 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 시스템의 구현을 위해서는 광각렌즈의 사용이 적합하지 않은 것으로 분석됨.
<영상합성을 위한 16㎜ 광각렌즈 회전 영상취득 실험>
<table><tr><th>0°</th><th>45°</th><th>90°</th></tr><tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr></table></td></tr>
<tr><td>-반면 설계된 실험 방법에 따라 15㎜ 어안렌즈 영상취득 실험 수행 결과, 취득된 영상에는 어안렌즈 사용에 따른 왜곡이 발생하였으나, 모든 높이에 대해서 테스트베드(Test-bed) 전 영역을 확보할 수 있었으며, 카메라 설치위치가 높아짐에 따라 영상 인식범위가 확대됨.
<카메라 설치위치에 따른 15㎜ 어안렌즈 영상취득 실험 결과>
<table><tr><th>높이</th><th>전면 영상</th><th>측면 영상</th></tr><tr><td>1.5m</td><td>  </td><td>  </td></tr><tr><td>2.0m</td><td>  </td><td>  </td></tr><tr><td>2.3m</td><td>  </td><td>  </td></tr></table>-영상합성 테스트를 위한 회전영상취득 실험 수행 결과, 15㎜ 어안렌즈로는 90° 단위의 영상 취득이 가능하기 때문에 탑뷰(Top-view) 영상 합성에 적합할 것으로 판단됨.
<영상합성을 위한 15㎜ 어안렌즈 회전 영상취득실험>
<table><tr><th>0°</th><th>90°</th></tr><tr><td>  </td><td>  </td></tr></table></td></tr>
</table>

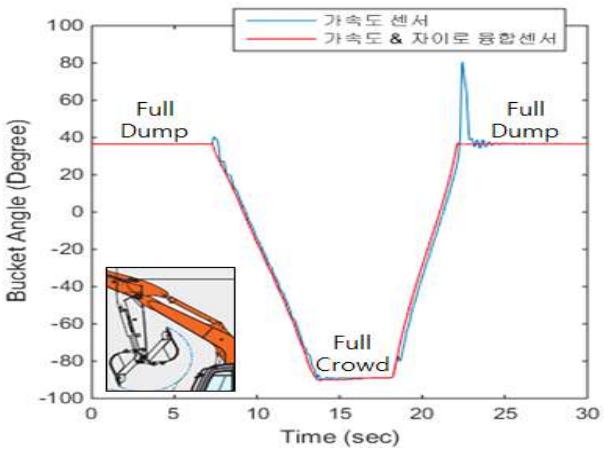
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ 어라운드 뷰 하드웨어 디자인(안) 도출 및 최적 디자인 선정	▪ **하드웨어 디자인(안)** -본 연구에서는 건설장비 AVM 시스템의 하드웨어 디자인을 다음과 같이 제안함. 하드웨어 설계  4면 영상 취득을 위한 카메라(4EA), 넓은 시야각 확보를 위한 광각(어안)렌즈(4EA), 굴삭기 기울기정보 및 작업정보 획득을 위한 센서모듈, 영상 보정을 위한 AVM 프로세서, AVM Display 등으로 구성 <건설장비 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 시스템 하드웨어 디자인(안)>

◎ 태블릿 기반 굴삭기 작업가이던스 시스템 및 MMI 유닛개발 (2-4세부 공동-두산인프라코어)

<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td rowspan="2">태블릿 기반
굴삭기 버켓 위치
디스플레이
시스템 및 MMI
유닛 개발</td><td rowspan="2">▪ 굴삭기 가이던스 전문업체 기술 현황을 조사하고 전문업체의 센서 사양과 동등 수준으로 각도측정 센서 및 GNSS 센서의 요구사양을 정의

▪ 완성차 장착이 용이한 가속도계 센서와 IMU(Inertial Measurement Unit)센서에 대해 정확도 성능을 비교 검증</td><td>▪ 각도 측정 센서의 정확도, 최대 허용 진동, 최대허용 충격량, 방수/방진 등급, 작동 온도 범위 등을 고려하여 SignalQuest社의 제품 적용

<각도 측정 센서 사양>
<table><tr><th>번호</th><th>항목</th><th>사양</th></tr><tr><td>1</td><td>정확도</td><td>오차 ± 0.1° 이하</td></tr><tr><td>2</td><td>Vibration</td><td>1gRMS</td></tr><tr><td>3</td><td>Shock</td><td>100g, 0.1ms</td></tr><tr><td>4</td><td>방수/방진</td><td>IP67</td></tr><tr><td>5</td><td>작동온도</td><td>-40 ~ 85 ℃</td></tr></table>
▪ GNSS의 수평/수직 위치인식 정확도, 최대 허용 진동, 최대 허용 충격량, 방수/방진 등급, 작동 온도 범위 등을 고려하여 Novatel 社 제품 적용
▪
<각도 측정 센서 사양>
<table><tr><th>번호</th><th>항목</th><th>사양</th></tr><tr><td>1</td><td>RTK
정확도</td><td>- 수평 오차:± 10mm 이하
- 수직 오차:± 20mm 이하
- 신뢰도: 68% (± 1Sigma)</td></tr><tr><td>2</td><td>Vibration</td><td>15.3gRMS 수준</td></tr><tr><td>3</td><td>Shock</td><td>40Gs, 10ms duration 수준</td></tr><tr><td>4</td><td>방수/방진</td><td>IP67</td></tr><tr><td>5</td><td>작동온도</td><td>-40 ~ 70 ℃</td></tr></table>
▪ 가속도계/자이로스코프 융합센서인 IMU 센서가 가속도계 센서에 비해 동적 상태에서 각도를 정확히 측정하여 보다 정확한 버킷 끝단 위치 인식이 가능

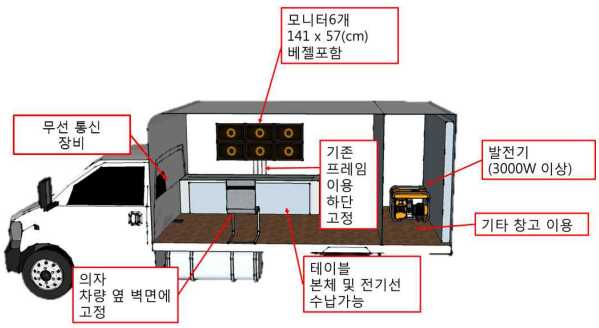
 
<각도 측정 센서 성능 시험 결과>

▪ 기술적 · 경제적 성과
-시스템 기능 요구사양 정의 1건</td></tr>
</table>

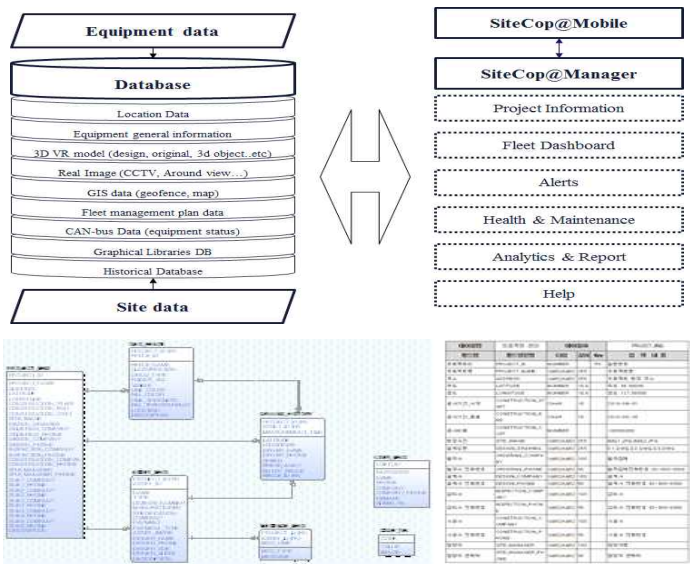
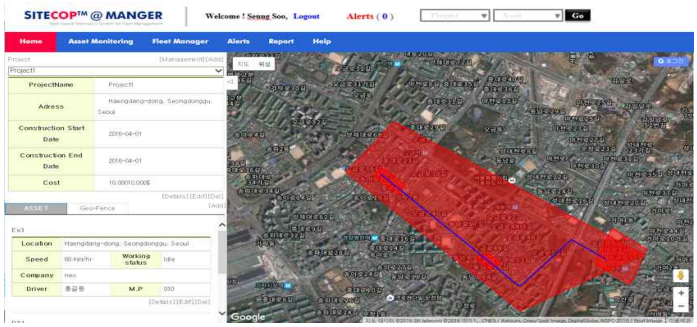
2. 2차년도 연구수행내용 및 성과

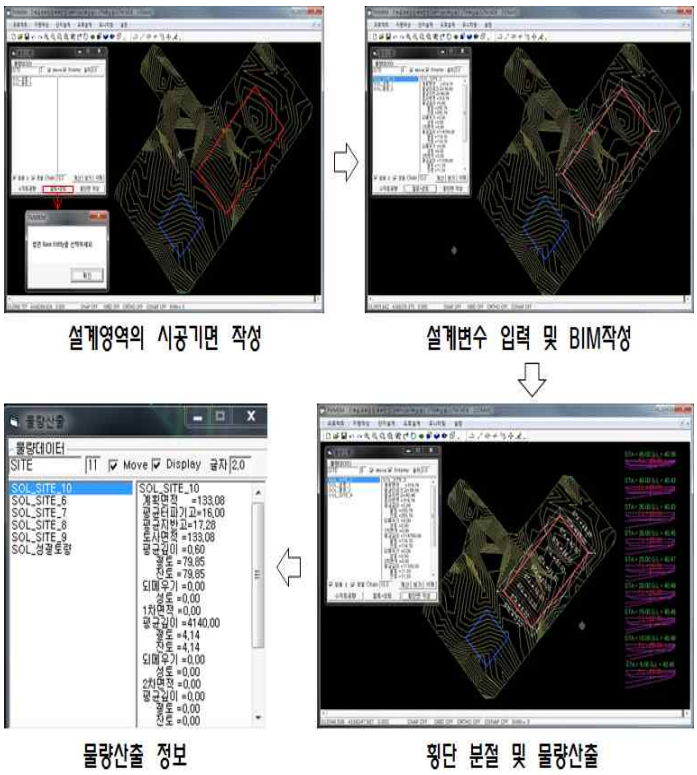
□ 1세부 - 건설장비 통합관제 기술 개발

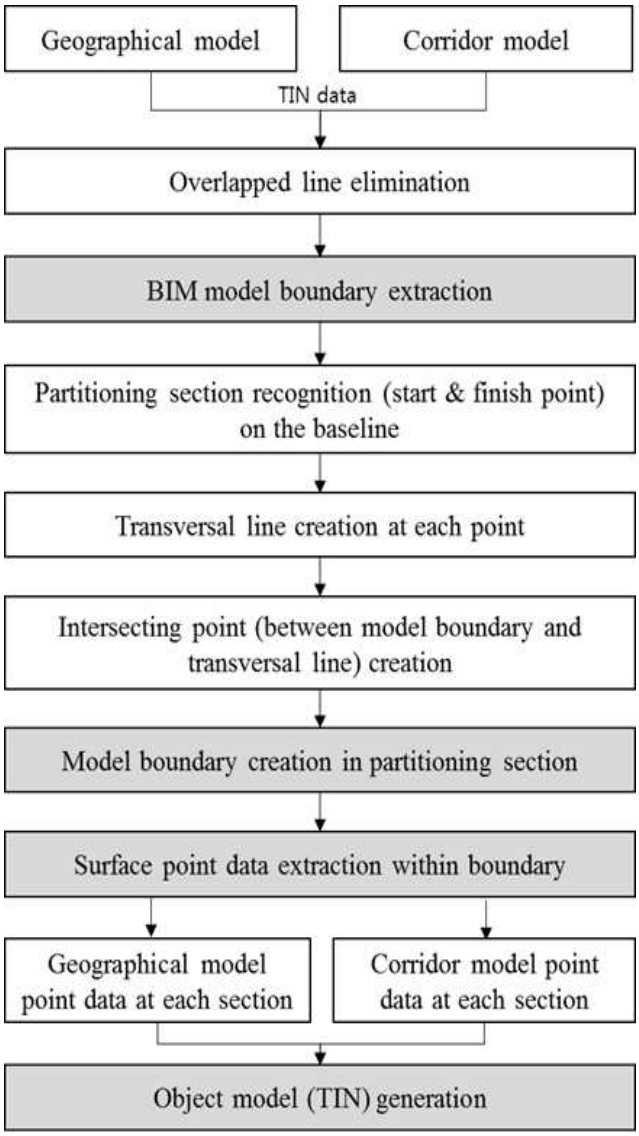
◎ 통합형 건설장비 관제센터 기술 개발 (1-1세부 주관-한양대학교 산학협력단)

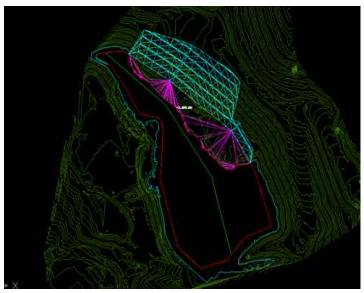
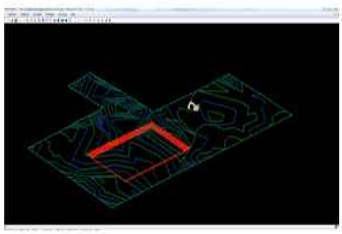
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
토공현장 맞춤형 GIS, IoT, BIM기반 건설장비 관제 시스템 하드웨어 개발	▪ 토공 핵심관제 요소 도출 및 이동형 건설장비 통합 관제 시스템 설계/제작 ▪ 토공 현장 측량 및 품질관리 시스템 구축	▪ 이동형 건설장비 통합 관제시스템 설계 및 제작 -건설장비 관제시스템 하드웨어 구성요소 도출 →고성능 워크스테이션 및 멀티 모니터링 시스템 →현장 대응형 차량형 관제센터 플랫폼 →관제 및 머신가이드 기술의 품질관리용 측량기기 →이동형 관제센터-서버와의 통신연계 라우터 →전력공급용 발전기 →현장 모니터링용 무선 CCTV 세트 등 -이동형 건설장비 통합 관제시스템 설계안 도출  <이동형 건설장비 통합 관제시스템 설계> -이동형 건설장비 통합 관제시스템 1차 프로토타입 개발 →6개의 멀티 모니터링 시스템 →차량 배터리 연결형 전력 시스템 및 통신 라우터 →워크스테이션, 기타 사무용 가구  <이동형 건설장비 통합 관제시스템 개발내용> ▪ 좌표계 캘리브레이션 시스템 및 측량 시스템 구축 -좌표계 캘리브레이션 시스템 (NMEA-> TM) -RTK 기준국 모드 및 이동국(VRS)모드 측량장비: 위치, 고도 측정 (측량오차 ±2 Cm 이내) -Multi-station: 거리, 높이, 구배, 면적, 부피 측정 및 3차원 지형획득

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
토공현장 맞춤형 GIS, IoT, BIM기반 건설장비 관제 시스템 하드웨어 개발	▪ 토공 핵심관제 요소 도출 및 이동형 건설장비 통합 관제 시스템 설계/제작 ▪ 토공 현장 측량 및 품질관리 시스템 구축	 RTK 기준국 측량 장비 이동국(VRS) 측량 장비 Multi-station (광파기 및 레이저스캐너) <토공 형장 스캐닝 및 품질측량 장비 구축> ▪ 토공 현장 모니터링용 CCTV 하드웨어 구축 -CCTV 카메라: PTZ 네트워크 카메라 -NVR과 WLAN 통신 프로토콜 연결: NVR (Network Video Recorder)을 통한 다수의 CCTV 연결네트워크 구성 -PAN/TILT 및 줌 데이터: ASCII형식으로 데이터 연결 및 원격 조종 컨트롤러 장착 →Pan: 360° Continuous, 110°/sec, 0.3° Accuracy →Tilt: Bottom 15°~ 270°, Top 345°~90° tilt angle  CCTV 모니터링 플랫폼 제작 PTZ 네트워크 카메라 원격 CCTV 컨트롤러 WLAN 모뎀 네트워크 통신 구성 및 프로토콜 <무선 네트웍 기반 모바일 CCTV 시스템>
건설장비 관제 시스템 통합 소프트웨어 개발	▪ 수요자의 Needs를 고려한 시스템 기능 도출 ▪ 시스템 ERD(Entity Relationship Diagram) 작성 ▪ 사용자 화면 디자인 및 통합 소프트웨어 개발	▪ 국내·외 선행기술 분석 및 요소기술 획득  Fleet Watcher (EARTHWAVE# Technologies社) VisionLink (Catapillar社) <현재 상용화된 시제품 분석>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 관제 시스템 통합 소프트웨어 개발	▪ 수요자의 Needs를 고려한 시스템 기능 도출 ▪ 시스템 ERD(Entity Relationship Diagram) 작성 ▪ 사용자 화면 디자인 및 통합 소프트웨어 개발	▪ 전문가 자문 및 현장분석을 통한 시스템 기능 도출 ▪ **Location tracking** ✓ Operating & Travel & Idle time analysis ✓ Driving speed ✓ Navigation ▪ **Maintenance** ✓ CAN-bus data (engine, brake, oil 등 상태정보 전송) ✓ Machine use information download directly ✓ Machine health monitoring ✓ Preventive maintenance strategy ▪ **Geofence** (GPS를 이용한 인터페이스로서 특정구역에 대상물이 진입하거나 벗어나는 경우 인지기능) ✓ Security and liability (theft, unauthorized use, etc.) ✓ Zone (site, 사토장 등 visualization) ✓ Work cycle number counting ✓ Route deviation control ▪ **Fleet monitoring** ✓ Equipment general information ✓ Productivity (performance) analysis ✓ Progress monitoring (as-planned vs as-built) ✓ Time & cost analysis ✓ Historical database ✓ Optimum asset allocation ▪ **Dashboard Alert** ✓ Fuel warnings ✓ Geofence related alert (theft, deviation, etc..) ✓ Message communication ✓ Safety alert (speed, danger area, etc) ✓ Quality control alert ▪ **Report** <토공사를 위한 주요 Telematics 기능 도출> ▪ 시스템 데이터베이스 설계 및 ERD(Entity Relationship Diagram) 작성  <시스템 아키텍처 및 ERD 작성> ▪ 토공 장비군 위치추적 및 관제 프로그램 (Telematics) 개발 -개발 언어 및 Application: JAVA, Google Map -NMEA 기반 토공 장비별 위치추적 -프로젝트 및 투입장비별 기본정보 검색 -Geo-Fence: 사이트, 경로 등 바운더리 시각화  <시스템 사용자 인터페이스>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 관제센터와 토공 의사결정 지원 모듈 개발	▪ 토공 BIM 모듈 개발 및 테스트 ▪ 토공 BIM 정보 분할 알고리즘 설계 ▪ 토공 BIM 설계 모듈 현장 실증 적용 테스트 ▪ BIM 설계정보와 머신가이던스 호환성 테스트	▪ 시공기면(패드)기반 토공설계기법 개발 및 모듈화 -시공기면의 바운더리를 작성하고 원지반 모델과 정합하여 사면 기울기를 입력하면 자동으로 3차원 BIM 설계 수행 및 물량 산출가능 -3세부의 스마트 스캐닝 및 모델링 기술과 연계하여 토공의 절 · 성토구간의 3D BIM모델 작성 및 물량산출 기능 -설계대상 토공유형: 모든 유형의 절성토 설계, 법면설계 -횡단 체인별 단면정보 분석 가능 -토공 물량산출은 기존의 양단면 평균법이 아닌 TIN 모델 기반 부피계산법을 활용하여 정확도가 향상됨. -개발환경: Vector Draw, Visual Basic  <토공 BIM 설계모듈 인터페이스> ▪ 토공 BIM 정보 분할 알고리즘 설계 -TIN 모델의 점정보를 활용하여 사용자 지정 스테이션별 개별 모델 추출 알고리즘 개발 -모듈 시스템화는 3차년도에 수행

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 관제센터와 토공 의사결정 지원 모듈 개발	▪ 토공 BIM 모듈 개발 및 테스트 ▪ 토공 BIM 정보 분할 알고리즘 설계 ▪ 토공 BIM 설계 모듈 현장 실증 적용 테스트 ▪ BIM 설계정보와 머신가이던스 호환성 테스트	 <토공 BIM 모델 분절 알고리즘 설계> ▪ 토공 BIM 설계 모듈 현장 테스트 및 성능평가 -Ⅰ(강원도 인제현장) -강원도 인제 현장대상 BIM기반 설계모듈의 성능 테스트 -현장위치: 강원도 인제군 -활용 장비: 3D Laser Scanner, 드론(Drone) -3D Laser Scanner를 활용한 지형 포인트 클라우드 획득 -급경사로 형성된 지형의 경우 Laser Scanner 활용이 어려워 항공촬영용 드론(Drone)을 활용하여 정합하여 3차원 원지반 모델을 작성함. -토공 BIM 설계모듈을 적용하여 택지개발 및 법면의 설계 수행 및 물량산출을 통해 기대이상의 성능을 보장함.

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 관제센터와 토공 의사결정 지원 모듈 개발	▪ 토공 BIM 모듈 개발 및 테스트 ▪ 토공 BIM 정보 분할 알고리즘 설계 ▪ 토공 BIM 설계 모듈 현장 실증 적용 테스트 ▪ BIM 설계정보와 머신가이던스 호환성 테스트	 (1) 사면 물량산출(SOIL_SITE_207) 면적(m^2) / 양단면평균법에 의거한 면적(m^2) / Station간 거리(m) / 성토량(m^3) Station 0 4.7149 69.8676 10 698.676 Station 10 135.0203 190.5879 10 1905.879 Station 20 246.1555 271.9098 10 2719.098 Station 30 297.6641 308.4323 10 3084.323 Station 40 319.2005 344.07395 10 3440.7395 Station 50 368.9474 389.74725 10 3897.4725 Station 60 410.5471 422.03695 10 4220.3695 Station 70 433.5268 445.93825 10 4459.3825 Station 80 458.3497 482.73425 10 4827.3425 Station 90 507.1188 505.38285 10 5053.8285 Station 100 503.6469 474.42855 10 4744.2855 Station 110 445.2102 375.42935 10 3754.2935 Station 120 305.6485 204.97245 10 2049.7245 Station 130 104.2964 71.6309 10 716.309 Station 140 38.9654 38.8744 10 388.744 Station 150 38.7834 37.30485 10 373.0485 Station 160 35.8263 33.4076 10 334.076 Station 170 30.9889 19.9066 10 199.066 Station 180 8.8283 7.4028 10 74.028 Station 180.98 5.9773 합계 46940.706 <토공 BIM 설계모듈 적용 및 물량산출> ▪ BIM Design to Machine guidance 시스템 모듈 현장 테스트 및 성능평가 (삼송) -삼송 현장에서 BIM기반 설계모듈과 3D 머신가이던스의 활용성 및 현장성능 테스트 수행 -현장위치: 경기도 고양시 삼송동 -활용 머신가이던스(MG): Leica GPS80 센서 및 2세부 머신가이던스 -적용 굴삭기: Doosan DX140W -내용 및 결과: 기존의 굴착(측량 병행)방법과 MG를 활용한 굴착결과 약 25%의 시간이 절약됨. MG기반 작업의 품질은 ±5Cm 로 확인됨.  삼송 현장 전경  기준국 설치  3D 토공 BIM 설계  토공 BIM 정보와 머신가이던스 연계   굴삭 작업 및 품질측량 <토공 BIM 설계모듈 적용 및 물량산출> <삼송 현장 테스트 및 평가>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
토목현장에 적용 가능한 이미지 센싱 플랫폼과 관제 시스템 간의 무선 통신 기술 개발	▪ LG 이노텍 피닉스 모델을 이용하여 LTE 통신 모듈 설계 및 개발 ▪ 영상정보 전송 데이터 단말기 설계 및 개발 / 성능 테스트	▪ LG 이노텍 피닉스 모델을 이용한 LTE 통신 모듈 설계 및 개발  <LTE 통신 모듈 제작> ▪ LTE 통신 모듈 검증 SW개발을 통해 LTE 통신 모듈 테스트 수행

실험	주기 (m/s)	전송량 (byte)	NCK 발생	전송Packet	NCK발생율(%)
1	1,000	12	0	77,341	0.000
2	1,000	120	13	57,540	0.023
3	1,000	120	9	90,056	0.010
4	1,000	600	23	34,920	0.066
5	1,000	1,800	12	6,896	0.174

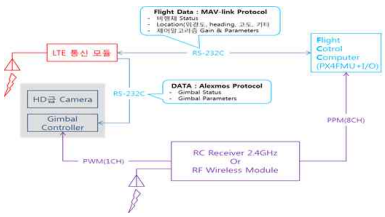
▪ 영상 정보 전송 데이터 단말기 개발

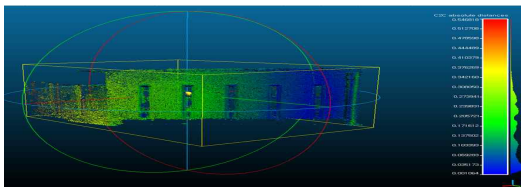


▪ LTE 통신 단말기 적용 이미지 센싱 플랫폼 비행 테스트
- 장소:판교 KPM 본사 부근 공원
- 데이터 전송 단말기 실장착 비행 테스트
- 데이터 전송 단말기 장착시 무게 중심으로 이륙시 비행이 불안정 하였으나 이륙 후 안정적으로 비행



<데이터 전송 단말기 비행 테스트>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
토목현장에 적합한 영상 정보 취득 시스템 구현	▪ 이미지 센싱 플랫폼을 이용한 영상정보 취득 시스템 구현 ▪ 수동 및 자동 비행 테스트	▪ 영상정보 취득 시스템 구현  <공중 이동형 이미지 센싱 플랫폼>  <이미지 센싱 플랫폼 구성도> ▪ 수동 및 자동 비행 테스트 -장소 : 세종대학교 -수동비행 테스트 →급격한 자세 및 위치 변화에 따른 주행 안전성 검증 →GCS를 이용한 수동 비행에 따른 GPS 위치 변화 및 경로 변화 검증 →수동 비행 시 급격한 자세 및 위치 변화에도 밀림 및 흔들림 없이 제어 및 비행 확인  <수동 비행 테스트> -자동(Way Point) 비행 테스트 →Way Point를 지정하여 비행 임무 수행 능력 검증 →GCS를 이용해 자동항법에 따른 자동비행 경로 이동 검증 →자동 비행 시 지정된 Way Point로 비행 임무 완수 및 GCS에 이동경로 표시 확인 →자동항법 오차범위 2m이내 확인  <자동 비행 테스트>

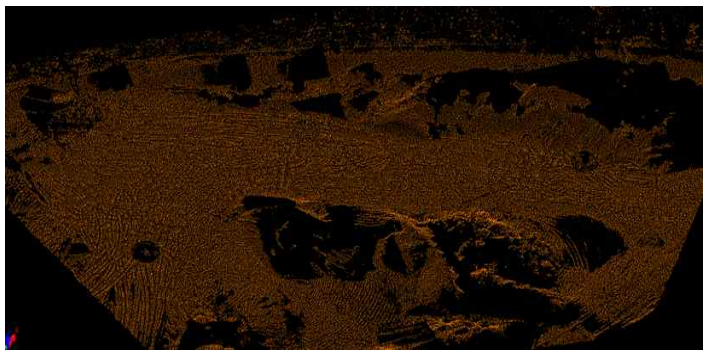
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
공중 이동형 이미지 센싱 플랫폼으로부터 취득한 영상 정보 지간 관제용 맵생성 엔진 개발	▪ 공중 이동형 이미지 센싱 플랫폼 취득 영상 정보 기반 관제용 맵 생성 엔진 성능 Test	▪ 엔진의 각 기능 별 수행 능력 및 다양한 대상 및 기종 적용 Test -Test를 통하여 2차원 취득 영상을 3차원 포인트 클라우드 데이터로의 변환 여부를 파악하였으며, 사진, 해상도에 따른 포인트 생성에 드는 소요 시간을 체크 -2차원 영상으로부터 키포인트 추출/매칭, Dense Reconstruction과정에서 프로세싱 시간이 많이 소비되며, 추출된 키포인트는 대상에 따라 수가 달라지므로 사진 수에 따른 소요시간이 정비례로 증가하지 않음 -키포인트 추출 및 매칭 단계에서 다양한 알고리즘 적용과 이와 더불어 영상 취득 단계에서의 Flight Planning을 통한 영상 수를 줄일 수 있는 방안에 대한 작업이 필요
	▪ 좌표 변환 Target 설정 테스트	▪ Target 기반으로 Point to Point 방식으로 Referencing이 진행 ▪ Target의 위치를 설정에 대한 방법 및 Test 진행  <Test 개요 및 결과>  <Test 1 결과> -오차범위 표현은 포인트 간 거리를 0~54cm 범위로 표현, 오차 구간별 색상을 통해 포인트 간 거리를 확인 -Test1 : 우측 두 번째 창 프레임을 Target으로 Referencing을 실시 -그 주변의 경우 오차가 거의 없지만 Target과 멀어질 수 록 오차 값이 커짐  <Test 2 결과> -Test2 : 산출 결과물을 고려하여 전 범위에 걸쳐 총 6개의 Target을 기점으로 Referencing -Test1에 비해 거의 오차가 없음

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
LiDAR 간의 지형 스캔 오버레이 및 통합기술개발	▪ LiDAR 데이터 기반 오버레이/통합 데이터 오차 검증	▪ LiDAR 데이터 기반 오버레이/통합 데이터 오차 검증 Test -통합 데이터 생성을 위한 Target의 동일한 포인트 추출 및 기준좌표, 변환 좌표 설정 -격자무늬 형태의 패널 Target 사용, 전체 생성 모델을 고려하여 배치

장소	수원시 권선구 호매실동 택지개발 토공 공사 현장
촬영 방법	■ Laser Scanner - Leica Scanstation C5 - 측정 스피드 : 50,000 Point/sec - 해상도 : 중(100m 거리기준 10cm 간격 포인트 생성) - 총 세 곳에서 촬영 후 병합 - 병합 Software : Cyclone ■ UAV - DJI Phantom3 - 카메라 : Sony EXMOR - 89장 사진 촬영 - 이미지 프로세싱 Software : 맵 생성 엔진(본 연구에서 개발)
Target	A0 Size 패널(격자무늬), 총 두 곳에 설치

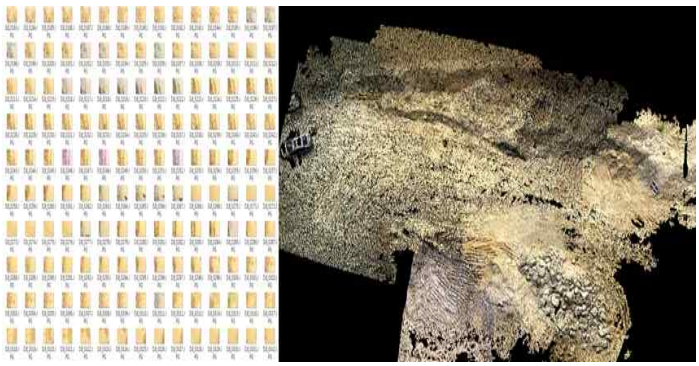
<Test 개요>

-Laser Scan을 통해 획득된 데이터는 총 3곳에서 촬영 후 Cyclone 소프트웨어를 통해 데이터 병합을 실행

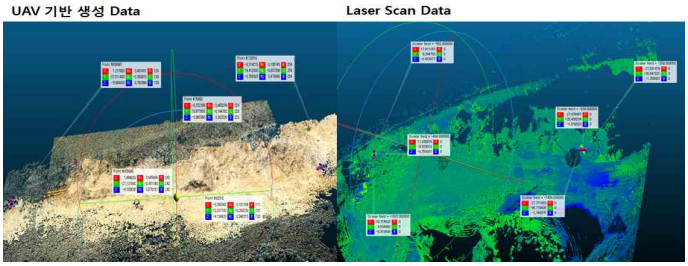


<Laser Scan 3차원 Point Cloud Data>

-총 86장의 영상 데이터(좌)를 취득하여 개발된 맵 생성 엔진을 사용하여 3차원 포인트 클라우드 데이터(우)를 생성



<UAV 영상 Data & 영상 Data 기반 생성 3차원 Point Cloud Data>

<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td>LiDAR 간의 지형 스캔 오버레이 및 통합기술개발</td><td>▪ LiDAR 데이터 기반 오버레이/통합 데이터 오차 검증</td><td>-Target의 동일한 부분의 포인트 좌표 값을 추출하고 Laser Scan 데이터를 기준좌표로 사용하여 UAV 기반 생성 데이터를 변환
 

<Target 좌표 값 추출 및 좌표 변환>
-기준좌표 데이터인 Laser Scan 데이터(주황색)와 좌표 변환된 데이터인 UAV 기반 생성 데이터(초록색)를 오베레이하여 단면을 잘라 z축 값의 오차를 확인
-2방향에 대하여 단면으로 잘라 비교를 실시하였으며 ①번 단면의 경우 최대 포인트 간 거리가 8cm로 나타났고 형상에 있어서는 거의 비슷한 것을 확인할 수 있음.
-②번 단면의 경우 포인트 간 거리 차가 심하게 발생하는 부분이 생성됨을 알 수 있는데, 이 부분은 레이저 스캐너의 사각지대로 포인트 클라우드 생성이 되지 않았던 부분임.</td></tr>
<tr><td>상황인식정보 자동분석 시스템 프로토타입 개발</td><td>▪ 알고리즘 관련 문헌고찰을 통한 이론적 접근
▪ 알고리즘 개발 및 유사환경 검증을 통한 실험적 접근</td><td>▪ 영상 인식, 추적 알고리즘 문헌고찰
<table><tr><th>HOG - Color</th></tr><tr><td>HOG 알고리즘과 색상 알고리즘을 동시에 활용하여 물체를 인식</td></tr><tr><td>- 영상의 밝기/조명 변화에도 물체 인식 가능
- 물체의 크기가 변하더라도 물체인식 가능</td></tr><tr><td>- 물체의 형태가 급격히 변할 경우 인식이 어려움.
- 느린 처리속도에 따라 실시간 인식 불가능</td></tr></table>
<table><tr><th>Haar-HOG</th></tr><tr><td>Haar 알고리즘과 HOG 알고리즘을 동시에 활용하여 물체를 인식</td></tr><tr><td>- 비교적 빠른 처리속도에 따른 실시간 분석 가능
- 물체의 크기 변화, 회전하더라도 물체 인식 가능</td></tr><tr><td>- 물체의 형태가 급격히 변할 경우 인식이 어려움.</td></tr></table>
<table><tr><th>Integral Channel Features</th></tr><tr><td>색상, 형태, 명암 등의 다양한 요인을 동시에 활용하여 물체를 인식</td></tr><tr><td>- 물체의 다양한 특성을 고려할 수 있어 정확도가 높음
- 물체의 크기 변화, 회전의 경우에도 물체 인식 가능</td></tr><tr><td>- 학습 데이터의 특성에 성능이 좌우됨.
- 학습 시간이 오래 걸림.</td></tr></table>
<물체 인식 알고리즘 문헌고찰 결과></td></tr>
</table>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
상황인식정보 자동분석 시스템 프로토타입 개발	▪ 알고리즘 관련 문헌고찰을 통한 이론적 접근 ▪ 알고리즘 개발 및 유사환경 검증을 통한 실험적 접근	

Unsupervised Learning
연속된 영상 프레임 간의 공통점과 차이점을 비교 · 분석하여 물체의 위치를 추정하는 방법
- 사전 학습(Learning) 작업이 필요 없음. - 임의의 물체 추적이 가능함. - 시공간 복잡도(Complexity)가 비교적 낮음.
- 급격한 상황 변화(물체의 형태, 주변환경 등)에 예민함. - 한 번 물체를 잃어버리면 재추적이 어려움. - 다수의 물체를 추적하기 어려움.

Supervised Learning
사전에 학습된 인식기(Detector)를 활용하여 각 영상 프레임에서 독립적으로 물체를 인식하여 추적하는 방법
- 변화하는 상황에도 지속적인 추적이 가능 - 활발히 움직이는 물체를 추적하기 용이 - 다수의 물체를 추적하기 용이
- DB에 포함되지 않은 상황이 발생할 경우 추적이 어려움. - 모든 상황을 고려한 DB 구축과 학습이 어려움.

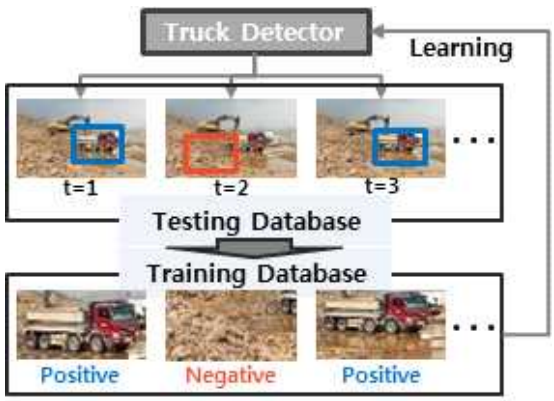
Semi-supervised Learning
테스트 영상으로부터 DB를 실시간 생성 · 학습하여 물체를 추적하는 방법
- 사전 학습 작업이 필요 없음. - 현장맞춤형 DB 구축 및 학습이 가능 - 다수의 물체를 추적하기 용이
- 학습 DB 자동 구축을 위한 추가적인 알고리즘이 요구됨.

<물체 추적 알고리즘 문헌고찰 결과>

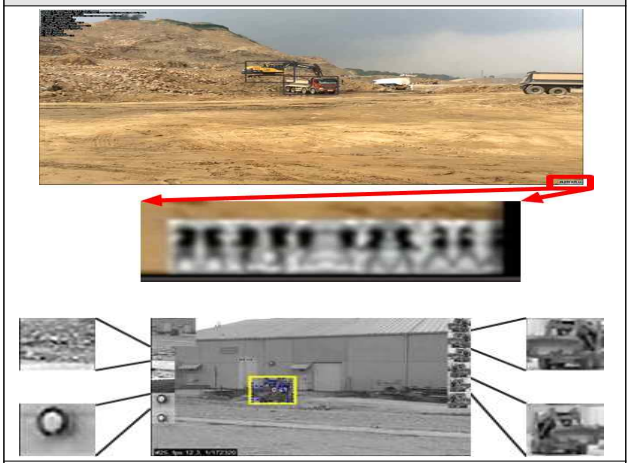
▪ 토공현장에서 촬영된 영상정보에 대해 실험환경 중장비/근로자 인식 및 추적 알고리즘 개발 및 검증

-건설현장 특성(외형, 움직임 등)을 반영한 물체추적 알고리즘 개발

-활용장소에서 실시간 DB 구축 및 학습을 통한 현장맞춤형 추적이 가능



<온라인 학습 기반 인식 및 추적 알고리즘>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
상황인식정보 자동분석 시스템 프로토타입 개발	▪ 알고리즘 관련 문헌고찰을 통한 이론적 접근 ▪ 알고리즘 개발 및 유사환경 검증을 통한 실험적 접근	▪ 실제 건설현장에서 수집된 영상을 활용하여 개발된 알고리즘의 성능 검증 및 수정보완 **물체 인식 결과**  인식률 85 - 95% (물체 유형별 상이) <중장비 인식 결과> **물체 추적 결과**  추적률 90 - 95% (물체 유형별 상이) **실시간 DB 구축 및 학습 결과**  처리속도: 30-70 fps <현장맞춤형 추적을 위한 실시간 DB 구축 및 학습 결과> ▪ 토공현장에서 촬영된 영상정보에 대해 실험환경 작업자 및 중장비 좌표투영 알고리즘 개발 및 검증 **위치 좌표투영 결과**  정확도 90 - 95% (물체 유형별 상이) <위치 좌표투영 결과>

<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td>상황인식정보
자동분석 시스템
프로토타입 개발</td><td>▪ 알고리즘 관련 문헌고찰을 통한 이론적 접근

▪ 알고리즘 개발 및 유사환경 검증을 통한 실험적 접근</td><td>▪ 영상분석 기반 생산성 및 안전성 관련 정보 파악
-생산성 정보: 작업자 유형, 작업시간/유무
-안전성 정보: 위험상황 인지 및 판단을 위한 물체의 위치, 속도, 사면 기울기 등 작업자의 부주의 여부 판단을 위한 개인보호구 착용 여부 등</td></tr>
<tr><td>카메라 네트워크
최적화 시스템
프로토타입 개발</td><td>▪ 카메라 배치 알고리즘 관련 문헌고찰을 통한 이론적 접근

▪ 알고리즘 개발 및 유사환경 검증을 통한 실험적 접근</td><td>▪ 카메라 네트워크 알고리즘 문헌고찰

<table>
<tr><th>Field-Of-View 최대화 방법</th></tr>
<tr><td>기하학적 속성을 이용해 카메라의 위치와 방향을 정의하고 선형계획법을 통해 최소의 카메라로 가시성을 최대화 하는 방법</td></tr>
<tr><td>- 사각지대를 최소화할 수 있음.
- 정적인 환경을 촬영하는 데 적합함.</td></tr>
<tr><td>- 물체의 움직임을 고려하지 않아 발생하는 물체간의 중첩(Occlusion)에 취약함.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>물체의 경로 분석 방법</th></tr>
<tr><td>작업자 및 중장비의 움직임을 PCA(주성분분석)를 통해 이동경로를 결정하고 k-means 클러스터링을 통해 주어진 이동 경로를 k개의 클러스터로 묶어 카메라를 배치하는 방법</td></tr>
<tr><td>- 멈춰있는 물체뿐만 아니라 움직이는 물체를 촬영 또는 모니터링 하는 데 적합함.</td></tr>
<tr><td>- 카메라 배치에 앞서 경로 분석이 선행되어야 하므로 시간이 소요됨.
- 물체의 이동경로가 수시로 변하는 경우 효과적인 배치 및 촬영이 어려움.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>공간중요도 분석 방법</th></tr>
<tr><td>작업자의 주요 이동경로와 중장비의 주요 작업구간 분석을 바탕으로 평가한 공간 중요도를 바탕으로 카메라의 위치 선정 및 필요한 설치 수량을 제안하는 방법</td></tr>
<tr><td>- 물체의 주요 경로와 이동 가능한 영역 모델링을 통해 공간 중요도를 산정하여 효율적인 촬영 및 모니터링 가능함.</td></tr>
<tr><td>- 평면상의 물체의 움직임을 대상으로 하므로 3차원 움직임을 고려하기 어려움.</td></tr>
</table>

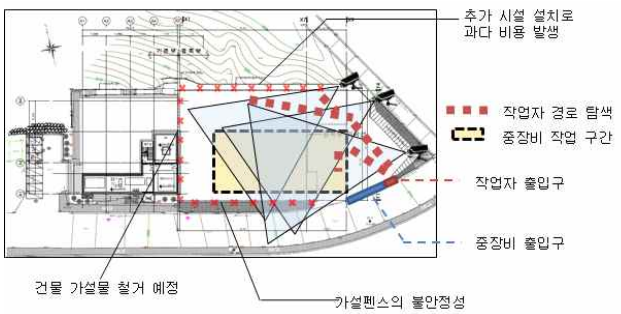
<카메라 배치 알고리즘 문헌고찰 결과></td></tr>
</table>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
카메라 네트워크 최적화 시스템 프로토타입 개발	▪ 알고리즘 관련 문헌고찰을 통한 이론적 접근 ▪ 알고리즘 개발 및 유사환경 검증을 통한 실험적 접근	▪ 가시성 최대화 알고리즘 비교분석 및 건설현장 특성을 반영한 알고리즘 개발 -작업자의 이동경로와 중장비의 작업구간을 고려한 가시성 최대화 알고리즘 개발

가시성 최대화 알고리즘
- 경로 탐색 알고리즘 - 주요 작업 구간 파악을 통한 중장비 이동 경로 예상
- 작업자 및 중장비의 경로 탐색은 2차원 평면상에서 수행되므로 실제 이동 경로와 차이 발생함. - 주요 작업 구간 파악을 현장 경험을 가진 전문가들을 대상으로 이루어진 조사 결과에 의존하므로 해당 현장의 특수성을 모두 반영하기 어려움. - 카메라 네트워크 시스템 구축 효과를 정량적으로 나타낼 평가 지표가 없음.
- 기술의 성과를 정량적으로 평가하기 위해 한계비용, 가시성, 객체 간의 중첩에 의한 인식 실패 등의 다양한 요소들을 종합하여 카메라 네트워크 시스템 구축 효과를 분석할 예정

현장 환경
- 기존 건물을 포함하여 증축 진행되는 소규모 현장 - 범용 카메라 네트워크 시스템 구축
- 외부 전원 공급이 어려움. - 소규모 현장(50.4m x 33.1m)으로 대규모 현장의 복잡한 특성을 모두 반영하기 어려움. - 고정된 카메라를 이용하므로 공정 진행에 따른 현장의 변화를 반영하여 시스템을 조정하기 어려움. - 카메라와 녹화기와의 거리가 멀수록 noise 발생에 따른 취득 영상 데이터 품질 저하 발생함.
- 현장의 규모와 특성을 고려한 카메라 네트워크 시스템 구축 예) 어두운 환경을 고려한 IR LED 성능 90이상 IP 카메라로 어두울 때는 적외선을 이용한 흑백 영상 데이터 취득 - 향후 진행될 공정을 고려한 최적화된 배치 및 분석을 통해 해결 가능

-유사환경에서 카메라 네트워크 시스템을 구축하여 가시성 알고리즘의 성능 검증



<카메라 네트워크 시스템 구축 결과>

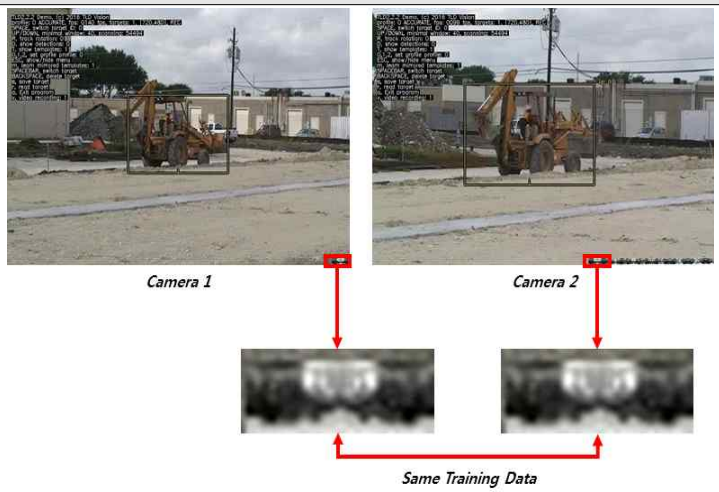
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
카메라 네트워크 최적화 시스템 프로토타입 개발	▪ 알고리즘 관련 문헌고찰을 통한 이론적 접근 ▪ 알고리즘 개발 및 유사환경 검증을 통한 실험적 접근	▪ 카메라 간의 핸드오프(hand-off) 알고리즘 비교분석 및 건설현장 특성을 반영한 알고리즘 개발 -온라인 러닝 기반의 DB 학습을 통해 동일 객체에 대한 Hand-off 알고리즘 개발 -유사환경에서의 검증을 통해 카메라 간 Hand-off 알고리즘 성능 검증

COR (Computing the ratio of Co-occurrence to Occurrence for all pairs of points) 핸드오프 방법
차영상을 이용하여 전경을 분리하고 서로 다른 카메라에 나타난 물체의 특징점 (Foreground pixels) 간의 COR 값을 임계값과 비교하여 Hand-off하는 알고리즘
- 사전에 카메라 캘리브레이션과 3D 모델링 과정이 없어 처리 속도가 빠름. - 평면이 아닌 지형(non-planar ground)에서 Hand-off가 가능함.
- 차영상을 이용하므로 움직이지 않는 물체에 대한 Hand-off가 불가능함. - 급격한 환경 변화에 취약함

Kalman Filter를 이용한 핸드오프 방법
Kalman Filter를 이용하여 이전 이미지 프레임으로부터 현재 물체의 위치를 찾아내고 이를 PTZ카메라와 고정된 카메라 간의 공유를 통해 Hand-off하는 알고리즘
- 정확한 위치 좌표와 방향을 바탕으로 고정된 카메라뿐만 아니라 PTZ 카메라에도 적용 가능함. - 실시간 추적이 가능함.
- 카메라 캘리브레이션 과정이 필요하므로 사전 작업에 의한 시간이 소요됨. - Kalman Filter는 비선형적인 움직임 추적이 어려움.

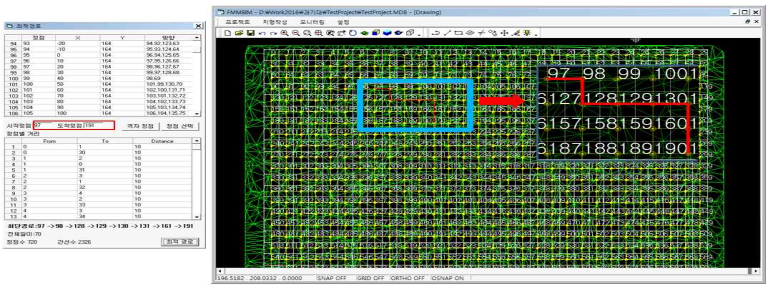
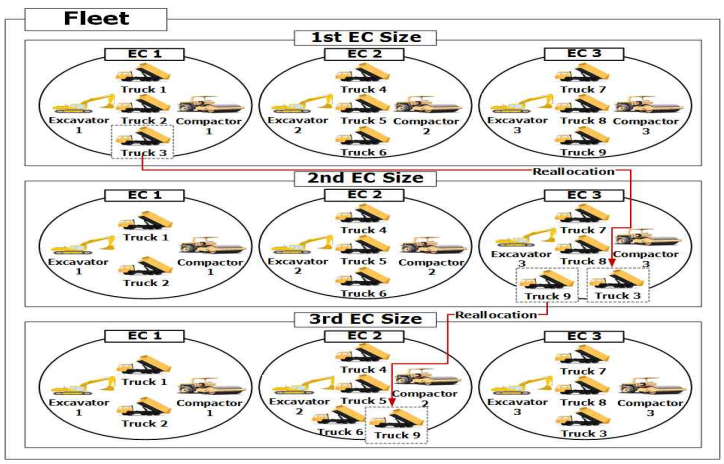
카메라 간 DB(DataBase) 공유를 이용한 핸드오프 방법
카메라 간의 DB 공유를 통해 특정 물체에 대한 정보를 공유함으로써 서로 다른 카메라에서 나타난 동일한 물체를 인식하여 Hand-off 하는 방법
- 다수의 카메라가 활용될 경우 DB 공유를 통해 효과적인 Hand-off가 가능하며 양질의 DB 구축이 가능한 경우 그 활용도가 높음.
- 카메라 네트워크에서 촬영되는 모든 물체에 대한 지속적인 DB구축을 위하여 상대적으로 많은 저장공간이 요구됨.

-온라인 러닝 기반의 DB 학습을 통해 동일 객체에 대한 Hand-off 알고리즘 개발
-유사환경에서의 검증을 통해 카메라 간 Hand-off 알고리즘 성능 검증

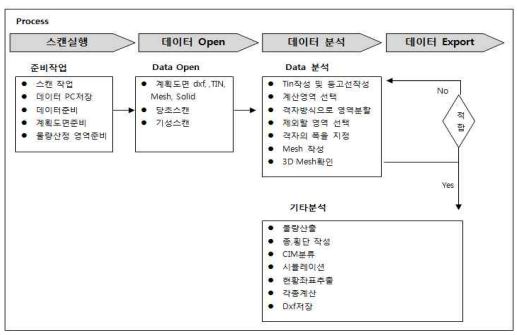
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
카메라 네트워크 최적화 시스템 프로토타입 개발	▪ 알고리즘 관련 문헌고찰을 통한 이론적 접근 ▪ 알고리즘 개발 및 유사환경 검증을 통한 실험적 접근	 <Hand-off 결과> ▪ 글로벌 맵 형성 알고리즘 비교분석 및 건설현장 특성을 반영한 알고리즘 선정 -Harris Corner, SIFT(Scale Invariant Feature Transform) 및 FAST(Features from Accelerated Segment Test) 기반의 알고리즘 개발 -유사환경에서의 검증을 통해 글로벌 맵 형성 알고리즘 성능 검증

◎ 플릿형 작업계획 시스템 개발 (1-2세부 공동-서울과학기술대학교 산학협력단)

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
조사된 휴리스틱스 의사결정 요소를 반영하여 개선된 토량배분 방법 제시	▪ 기존 연구의 토공작업을 위한 고려 요소 파악 및 분석	▪ 토공현장의 파라메트릭 솔리드 모델 정보를 근거로 하여 절토량과 성토량을 입력하여 수송모델 알고리즘을 적용하여 최적화된 3차원 토량이동계획을 수립 ▪ 운반로의 상태(지반상태, 경사도) 장애물 등의 비용인자를 적용하여 토량이동계획을 수립
전문가 면담을 통하여 효율적인 휴리스틱스 의사결정 요소를 반영을 통한 작업경로계획 제시	▪ 플릿형 작업 알고리즘을 개발하기 위한 현장조사 및 전문가 설문 실시 ▪ 시스템 구조 제시	▪ 대단지 토공현장의 경우 장비의 최적 작업경로는 전체 생산량에 직접적인 영향을 미치게 되며, 실시간 변화하는 작업구간에 대응하기 위한 의사결정 요구

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
Simulator를 활용한 사례연구를 실시하여 토량배분계획 및 각 건설장비의 경로계획이 운전자들에게 유용한 정보가 되어 토공작업의 생산성 향상 및 저에너지 시공에 효과가 있는지를 검증	▪ 3가지 가상현장을 활용하여 작업 스케쥴링을 하고 장비의 최적의 작업경로를 도출	▪ 시스템 사례 연구를 통하여 이동거리 단축과 공간간섭률 저하의 결과를 제시하였으며, 이는 현장 여건이 충분히 반영된 작업경로 정보를 현장관리자에게 제공함으로써 최적의 현장 운용을 가능함. ▪ 장비의 이동거리와 공간간섭율의 비교를 통하여 최적의 경로를 선정 ▪ 각 방안 중 최적의 경로대로 작업은 실시되며 최초의 장비의 대수와 그룹은 토공량과 이동거리에 따라 산정 
단지토공을 대상으로 하고 있으며, 플릿관리 시스템의 구성요소 제시와 토량배분계획이 수립된 이후 계획을 효과적으로 이행하기 위한 장비군의 구성 및 운영방법론을 제시하는 것을 범위로 함	▪ 최초의 장비 그룹에서 대수의 조정을 통하여 건설장비를 활용한 토공작업의 효율성 검증을 모색	▪ 건설장비를 이용한 토공작업의 효율을 높이는 방안으로는 작업 진행도중 장비의 대수를 조정하여 그룹을 변경하는 것  ▪ 최초의 장비를 투입하였을 때 각 작업별 작업소요시간을 분석하여 조정 지점과 그룹을 탐색하고, 그룹 변경 이후 소요시간과 이동거리의 비교를 통하여 효율성을 검증

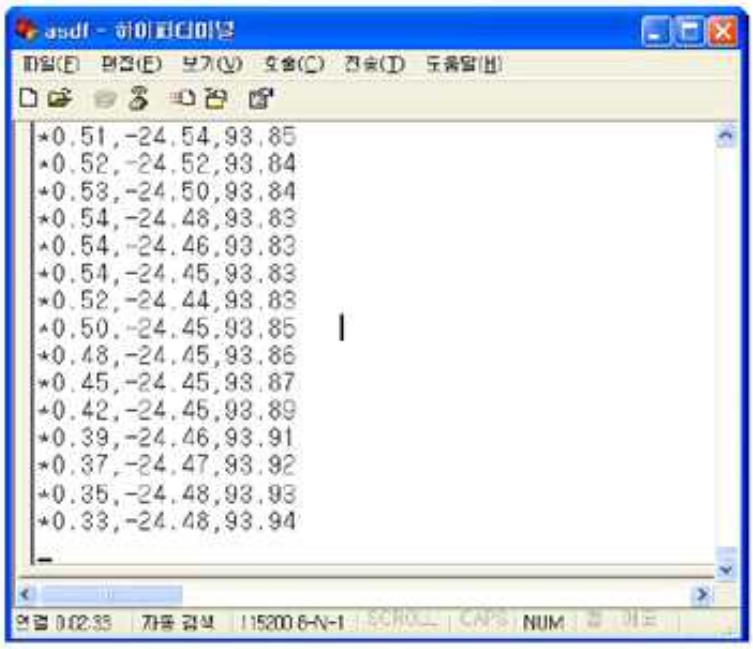
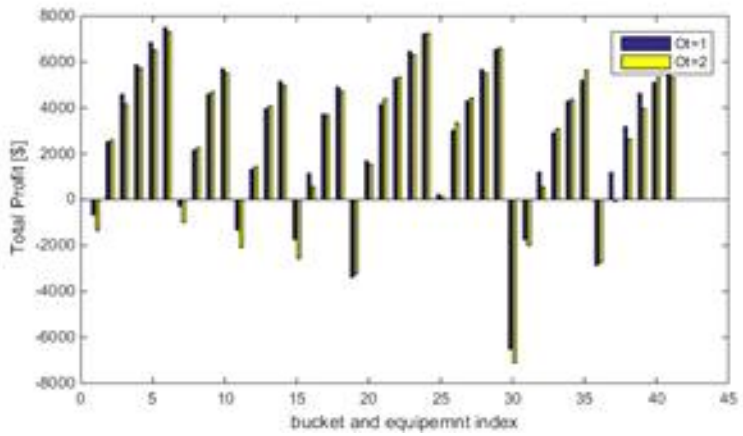
◎ 스마트 Geo 시스템 개발 (1-3세부 공동-한국건설기술연구원)

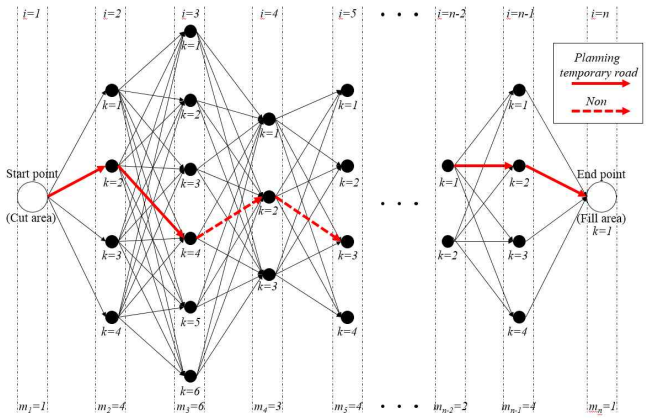
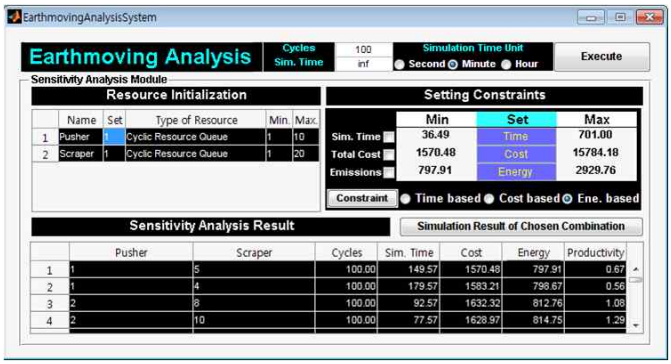
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
스마트 Geo 의사지원 플랫폼 개발	▪ 3차원 스마트 스캔플랫폼 개발 및 검증을 위한 현장실험 ▪ 스캔 플랫폼의 최적조합 도출을 위한 데이터 분석	▪ 1차 현장실험 및 전문가 자문을 통한 3차원 스마트 스캔플랫폼 개발 -지상레이저스캐닝 기술을 현장스캔단계와 후처리단계로 구분 -각 단계별 활용 가능한 다양한 파라미터(스캔해상도 및 후처리방법)별 소요시간 및 정밀도 측정을 위한 현장실험 수행 -소요시간 대비 가장 정확한 결과를 도출시키는 최적조합 제시  <환경조성> <현장전경> <데이터전송> <현장스캔> ▪ 2차 현장실험(3차원 지형지반 분석 시스템 연계)을 통한 3차원 스마트 스캔플랫폼 검증 ▪ 스캔 생산성(시간 등) 측정 및 3차원 지형지반 분석시스템과의 연계 검증
지형 Model Generator 개발 볼륨, 작업량 자동 계산 알고리즘	▪ 3차원 지반지형 분석 시스템 모듈 및 알고리즘 설계 및 개발 ▪ 현장 적용을 통한 검증	▪ 분석 시스템 모듈 및 알고리즘 개념 설계 ▪ 지형 Model Generator 및 볼륨, 작업량 자동 계산 알고리즘 설계  <시스템 구성도>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
지형 Model Generator 개발 볼륨, 작업량 자동 계산 알고리즘	▪ 3차원 지반지형 분석 시스템 모듈 및 알고리즘 설계 및 개발 ▪ 현장 적용을 통한 검증	 <레이어 구성> ▪ 프로토타입(prototype)형태 시스템 개발 및 현장검증 -3차원 스마트 스캔플랫폼과 연계를 통한 적용성 검토 및 검증 -계획도면의 스캔 포인트 투영 및 좌표변환(상대좌표→절대좌표), 지반속성(시추정보 및 토질정보) 업데이트 -셀 범위설정 및 분할, 타입 배정, 분석 셀 생성 기능 등 향후 통합시스템 연계를 고려한 모듈설계 및 구현 ▪ 테스트베드(삼송지구) 적용을 통한 스마트 스캔플랫폼 및 3차원 지반지형 분석시스템 검증

◎ 시스템 알고리즘 및 연비측정 SW/HW 개발 (1-4세부 공동-경북대학교 산학협력단)

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
장비 에너지 효율 관리를 위한 Eco-Operation 시스템 개발	▪ Traffic Queue 알고리즘 개발	▪ 에코토공을 위한 굴삭기 작업장치 최적 조합 탐색 →굴삭기의 모션분석  <모형 굴삭기 센서 부착모습>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
장비 에너지 효율 관리를 위한 Eco-Operation 시스템 개발	▪ Traffic Queue 알고리즘 개발	→굴삭기 모션 기록자동화  <회전각도(pitch, roll, yaw) 데이터 측정> →굴삭장비 운용계획 전략수립 →최적 장비장치조합 탐색  <최적 장치조합 및 전략 별 기대수익> →600x200x5의 토공물량, 단가 $1.0/m3, Hard clay를 평균 3m 작업높이에서 작업하며 운영효율계수는 55 min/hr의 사례를 대상으로함, 이때 43.5시간, →14번째 장치조합 즉, 320C장비와 1.75cy3 버킷일 때 균등분배전략을 사용하지 않는 것이 최적으로 나타남. 이때의 기대수익은 59.9%의 확률로 $7,700인 것으로 나타남.

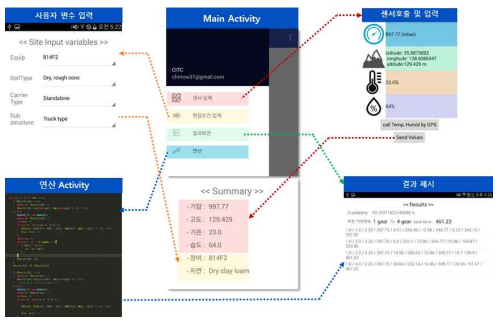
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
장비 에너지 효율 관리를 위한 Eco-Operation 시스템 개발	▪ Traffic Queue 알고리즘 개발	▪ 가설로 설치를 고려한 토사운반 최적화 방법론 →성토,절토구역 및 현장조건을 고려한 최적 경로 →IO분석(Input-Output analysis) 자동화 시스템  <가설로 설치계획 사례 및 결과> →사례결과 [1,2,4,2,3,...,1,2,1]의 경로로 도출됨 $Minimize\ Z = \sum_{k=1}^{m_i} (Q \times C_{r_i r_{i+1}} \times a_i + (Q \times C'_{r_i r_{i+1}} + B_{r_i r_{i+1}})(1-a_i))\ s.t.\ a \in (0,1)$ <가설로 설치계획 최적화 문제를 해결하기 위한 목적함수> →m_i는 i번째 중간지점 k의 선택가능 한 지점 수 →r_i는 경로를 형성하는 중간지점 번호(k)의 집합 →C ‘는 가설로 설치 시 토사운반 단위비용($/m3) →$B_{r_i r_i+1}$는 지점ri와 지점ri+1을 연결한 경로의 가설로 설치 비용 및 해체보수 비용($) →$a_i$는 0 또는 1인 이진수 값으로서 가설로 설치유무에 따라 가설로 설치 시 0, 설치 않을 시 1 ▪ DES기반 Non-traffic queue 최적장비군단 탐색 및 도출 →현장조건 반영(운송경의 경사저항, 주행저항 등) →DES모델을 사용한 재사용가능성 →공사기간, 비용, 에너지소모량을 목표로 최적조합 도출  <DES기반 장비군단 탐색 시스템>

<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td rowspan="2">장비 에너지 효율
관리를 위한
Eco-Operation
시스템 개발</td><td>▪ Traffic Queue
알고리즘 개발</td><td>▪ 사례연구 수행 결과
→총 1,860m3의 Clay 운반 공정
→스크레이퍼, 푸셔를 1~10대로 설정
→200회의 시뮬레이션 수행
→스크레이퍼 5대 푸셔 1대 투입시 가장 연료소모량이 적은 장비조합으로 나타남
→시간 : 36.49분에서 701분
→비용 : 1570$에서 15784$
→연료소모량 : 797에서 2929 리터

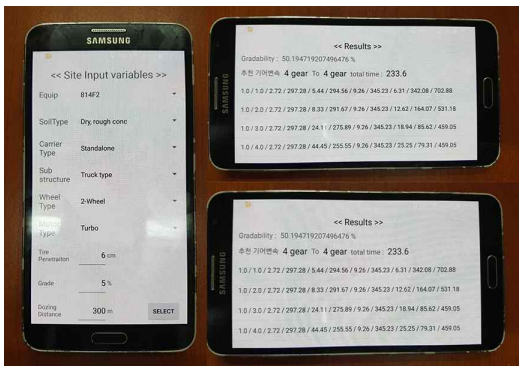
<table><tr><th>Work Task</th><th>Distance(m)</th><th>RR(%)</th><th>GR(%)</th><th>TR(%)</th><th>Speed (km/h)</th><th>time (min)</th></tr><tr><td rowspan="5">Haul</td><td>61(acc)</td><td>4</td><td>4</td><td>8</td><td>8.0</td><td>0.45</td></tr><tr><td>305</td><td>4</td><td>4</td><td>8</td><td>16.1</td><td>1.14</td></tr><tr><td>427</td><td>4</td><td>2</td><td>6</td><td>22.5</td><td>1.14</td></tr><tr><td>366</td><td>4</td><td>-2</td><td>2</td><td>51.5</td><td>0.43</td></tr><tr><td>61(dec)</td><td>4</td><td>-2</td><td>2</td><td>25.7</td><td>0.14</td></tr><tr><td rowspan="5">Return</td><td>61(acc)</td><td>4</td><td>2</td><td>6</td><td>17.7</td><td>0.21</td></tr><tr><td>366</td><td>4</td><td>2</td><td>6</td><td>37.0</td><td>0.56</td></tr><tr><td>427</td><td>4</td><td>-2</td><td>2</td><td>53.1</td><td>0.48</td></tr><tr><td>305</td><td>4</td><td>-4</td><td>0</td><td>53.1</td><td>0.34</td></tr><tr><td>61(dec)</td><td>4</td><td>-4</td><td>0</td><td>25.7</td><td>0.14</td></tr></table>
<사례 운송경로 구간별 특성값>

<table><tr><th rowspan="2">Component Name</th><th rowspan="2">Equipment Model</th><th colspan="5">Average Fuel Consumption(l/hour)</th><th rowspan="2">Cost ($/hour)</th></tr><tr><th>Idle</th><th>Low</th><th>Med.</th><th>High</th><th>Acc.</th></tr><tr><td>Pusher</td><td>Track Type D10R</td><td>19.69</td><td>51.50</td><td>67.50</td><td>84.50</td><td>196.89</td><td>125</td></tr><tr><td>Scraper</td><td>631E Series II</td><td>16.50</td><td>42.50</td><td>56.00</td><td>75.00</td><td>165.00</td><td>101</td></tr></table>
<사례에 투입된 자원의 특성값></td></tr>
<tr><td>▪ 연 비 측 정
HW/SW 개발</td><td>▪ 유효출력을 고려한 도저의 등판각도 및 생산성연산 방법론
→생산성 변동요인 정의 및 수집
→현장조건을 고려한 장비 유효구동력산출
→최적 기어변속안 제시

▪ 스마트 센서기반 스마트기기용 실시간 변수측정 및 장비출력 App개발
→스마트 센서 제어 기술(기압, 온습도, GPS 등)
→현장조건 입력, 장비DB쿼리(소켓통신, MySQL)
→기존방법론 사용성 및 편의성 극대화

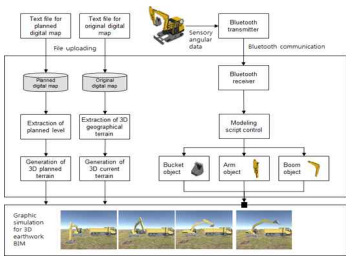
 

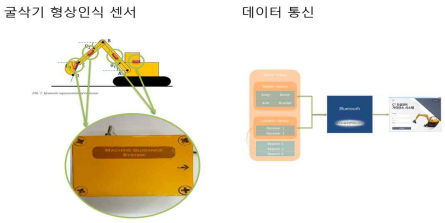
<어플리케이션 구성도></td></tr>
</table>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
장비 에너지 효율 관리를 위한 Eco-Operation 시스템 개발	▪ 연비 측정 HW/SW 개발	 <현장조건 입력화면(좌) 결과제시(우)> →어플리케이션은 4가지 모듈(센서입력, 현장조건입력, 연산, 결과제시)로 구성됨 →센서입력모듈에서는 기압, GPS, 온도, 습도센서를 제어하여 값을 호출할 수 있고 해당센서가 없는 상황도 상정하여 GPS 기반으로 날씨제공API를 호출, 기압, 습도, 온도값을 산출하는 방법도 제공함 →현장조건 입력모듈에서는 장비 DB로부터 기본적인 장비의 제원 값들을 호출하고 측위장비로 측정한 현장조건(도징거리, 경사도 등)을 입력함 →연산모듈에서는 유효출력을 고려한 도저의 등판각도 및 생산성 연산 방법론의 과정을 거쳐 도저의 최적 운용안을 제시하기 위한 연산과정을 수행함 →결과제시 모듈에서는 등판가능각도, 최적 기어변속안, 소요시간, 기어조합별 민감도분석결과를 제시함

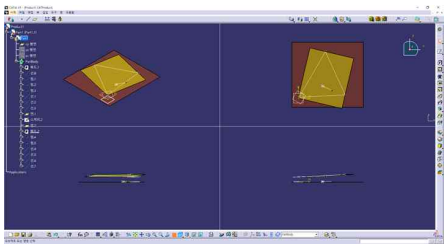
□ 2세부 - 건설장비 가이드 기술 시스템화

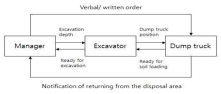
◎ 스마트 머신 가이던스 시스템 개발 (2-1세부 협동-부산대학교 산학협력단)

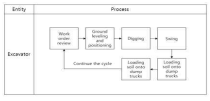
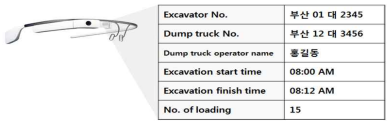
<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td rowspan="3">현장
네비게이션
환경개발</td><td>▪ 네비게이션 기능 분석 및 메뉴체계 개발</td><td>▪ 지형정보에 대한 모델링과 건설장비에 대한 모델링 기법을 통합하여 3D 토공 BIM 개발
 
<3D 토공 BIM 개념도></td></tr>
<tr><td>▪ 네비게이션 인터페이네비게이션 모듈 개발 성능검토스 개발</td><td>▪ 수치지도를 활용하여 현지반고와 계획지반고를 표현
▪ 건설장비 부재에 대한 라이브러리 구축
 

<건설장비 부재 라이브러리></td></tr>
<tr><td>▪ 네비게이션 모듈 개발 성능검토</td><td>▪ 건설장비 형상정보를 이용하여 3D 공간에서 실시간 그래픽 시뮬레이션
▪ 토공작업을 위한 토공 3D 모델링 환경개발
▪ 수치지형정보를 반영하여 건설장비 운영상태를 표시
▪ Path planning을 기반으로 현장 건설장비 운영정보 제공</td></tr>
<tr><td>센서기반
모션인식
모듈개발</td><td>▪ 건설장비군 모션이식칩을 위한 무선 송수신 모듈 개발</td><td>▪ 가속도계와 자이로스코프를 이용한 굴삭기 형상정보 데이터 생성
 

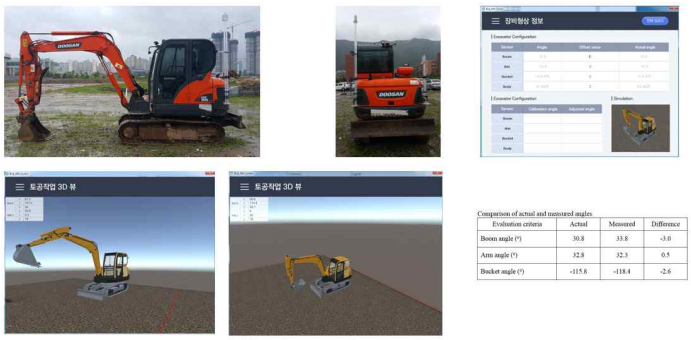
<굴삭기 형상인식 센서와 데이터통신>
▪ 굴삭기 형상정보 데이터 무선 송수신을 위한 블루투스 통신모듈 개발
▪ IMU 센서에서 생성되는 데이터를 XYZ 좌표값으로 변환시키는 소프트웨어 모듈 개발
▪ 굴삭기 작업시 현재 진행상황과 계획현황 정보를 기반으로 하는 굴삭기 가이던스 기능제공
▪ 센서모듈과 연동하여 실시간 굴삭기 형상정보 표현
▪ 굴삭기 형상인식 모듈 프로토타입을 시스템화하여 실제 토공현장에 적용할 수 있는 수준의 제품화</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td rowspan="3">GPS
위치정보
및
장비모션
정보 연동</td><td>▪ GPS 정보 데이터와 지형데이터 연계 모듈 개발</td><td rowspan="3">▪ 건설장비의 거리를 측정하기 위한 거리측정센서 개발
▪ 삼각측량기법을 이용하여 건설장비의 위치좌표값을 계산하는 모듈개발
▪ Fleet Management 적용 시 건설장비 현장 가이던스를 위한 네비게이터 인터페이스 환경개발
▪ 건설장비의 이동경로에 대한 시각화 정보제공
 
<건설장비 위치추적 시스템 설계></td></tr>
<tr><td>▪ GPS 정보에 따른 장비 BIM 데이터 연계 모듈 개발</td></tr>
<tr><td>▪ 관제센터 GPS 지원 시스템 체계 구성</td></tr>
<tr><td rowspan="3">시운전
매뉴얼
작성</td><td>▪ 개별 건설장비 별 시운전 매뉴얼 작성</td><td rowspan="3">▪ 건설장비 가이던스 시스템의 다양향 기능을 구현하기 위한 메뉴체계 개발
 

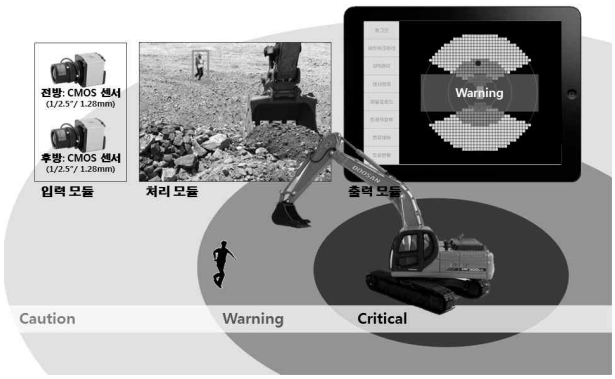
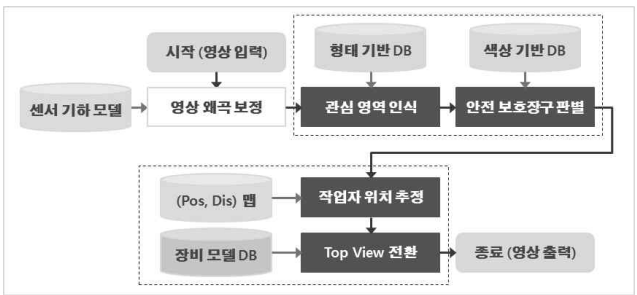
<건설장비 가이던스시스템 체계개발>
▪ 태블릿 노트북에서 터치식으로 사용자가 원하는 기능처리
▪ 3D 토공 BIM 작동에 필요한 수치지도 업로딩 기능 구현</td></tr>
<tr><td>▪ 플릿형 가이드 시스템 모듈별 시운전 매뉴얼 작성</td></tr>
<tr><td>▪ 플릿형 가이드 시스템 통합 시운전 매뉴얼 작성</td></tr>
<tr><td rowspan="2">데이터
연계박스
개발</td><td>▪ 개별장비 정보 송신 모듈 개발</td><td rowspan="2">▪ 굴삭기 형상인식 센서와 RTK 건설장비 위치추적시스템에서 전송되는 데이터 수신
▪ 클라우드 컴퓨팅 환경에서 건설장비 가이던스 시스템이 운영되기 위한 사용자 환경 개발
▪ 구글글래스 인터페이스 환경개발
▪ 시스템 메뉴체계에 따라서 가이던스 기능제공을 위한 시스템 인티그레이션 (SI)</td></tr>
<tr><td>▪ 플릿 시스템 데이터 수신 모듈 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="3">스마트
글래스
건설장비
데이터
인터페이스</td><td>▪ 스마트 글래스 인터페이스 및 데이터 연계 프로그래밍</td><td rowspan="3">▪ 건설장비 간 데이터 인터페이스 프로세스 모델링
 

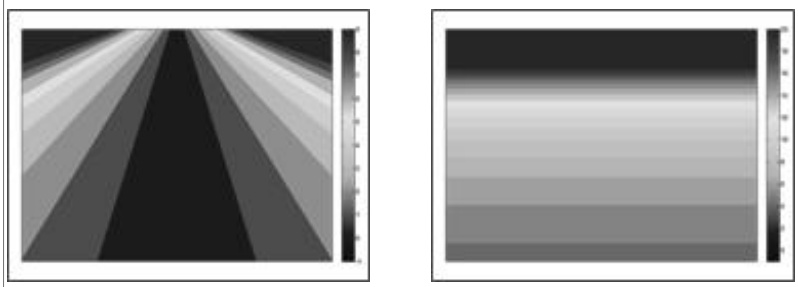
 
 

<스마트 글래스 데이터 인터페이스 구성>
▪ 구글 글래스를 이용하여 건설장비 간 데이터 인터페이스 모듈 구현
▪ 토공정보 모바일 기능제공</td></tr>
<tr><td>▪ 스마트 글래스 지원 정보체계 구축</td></tr>
<tr><td>▪ 관제센터 GPS 지원 시스템 체계 구성</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td rowspan="2">개별
건설장비
현장
테스트</td><td>▪ 개별 건설장비에 대한 스마트 토공 현장 테스트</td><td rowspan="2">▪ 3D 토공 BIM 현장 테스트 및 검증
▪ 굴삭기 형상인식 센서 현장 테스트 및 검증
▪ RTK 건설장비 위치추적시스템 현장 테스트 및 검증
▪ 현장실험 통한 시스템 실증연구 및 검증
▪ 현장 시뮬레이션 수행 및 분석
▪ 건설장비 가이던스 시스템 사용자 환경 현장 테스트 및 검증
 

<건설장비 가이던스 시스템 현장실험></td></tr>
<tr><td>▪ 개별 건설장비에 대한 작업성과 평가 및 보완</td></tr>
<tr><td>블레이드
자동제어
시스템
시제품
개발</td><td>▪ 블레이드 자동제어 시스템 구축</td><td rowspan="2">▪ 도저 블레이드 자동제어를 위한 전자유압 제어 시스템 구축
▪ 작업환경을 고려한 센서 시스템 구축
▪ 블레이드 자동제어를 위한 메인제어기 개발</td></tr>
<tr><td>▪ 블레이드 자동제어 시스템 각도 제어 시험</td></tr>
<tr><td rowspan="2">스마트 시공
기술
적용을
통한
토공현장
원가 성과
검증</td><td>▪ 토공 관제 시스템 기술을 적용한 원가산정 방법 제시</td><td rowspan="2">▪ 기존 해외 통계자료 분석에 따라 스마트 시공 시 건설장비 생산성이 25% 상향된다고 가정하고, 토공사에서의 원가산정 및 비용 편익 분석 방법 도출</td></tr>
<tr><td>▪ 토공 관제 시스템 기술을 적용한 원가산정 방법 제시</td></tr>
</table>

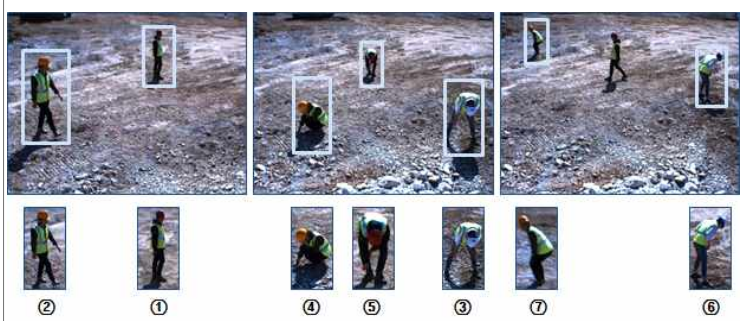
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
안전 가이던스 시스템 성능 수준 설정 및 개발	▪ 시스템 개발 프레임워크 구축	지난 1차년도에 도출한 작업 환경 인식 기반 안전 가이던스 시스템 요구사항 정의를 바탕으로 센서 융합을 통한 작업환경 인식 기반 안전 가이던스 시스템 개발을 목표로 하여 이번 2차년도에는 시스템 개발 프레임워크를 구축하고 개발에 착수함. 입력 모듈로는 CMOS 센서 (BFLY-PGE-50A2C-CS)를 전·후면에 설치하였으며, 해당 센서의 사양 및 설치 위치 정보는 다음과 같음. -해상도: 최대 5 Mega 픽셀 (2,592 X 1,944) -화각: 120º×104º×130º (광각 렌즈 탑재, f=1.28) -속도: 초당 최대 30 프레임 획득 -설치 높이/각도: 1.5 m/30º (전면), 2 m/30º (후면) 다음 그림에서 보는 바와 같이, 입력 모듈을 통해 입력된 영상으로부터 장비 주변 작업자가 인식되면, 장비와 작업자 간 상대적 거리에 따라 충돌 위험 (Critical), 경고 (Warning), 주의 (Caution)로 구분하여 장비 운전자에게 알릴 수 있도록 설계함.  <시스템 개발 프레임워크 개념도> 입력 모듈을 통해 영상이 입력되면, 센서 기하 모델을 기반으로 영상 왜곡 보정이 이루어짐. 영상 왜곡 보정이 완료되면, 관심 영역 인식 (1차, 형태 기반 DB 활용) 및 안전 보호장구 판별 (2차, 색상 기반 DB 활용)의 과정으로 구성된 작업자 탐지가 이루어짐. 작업자 탐지 과정에서 단일 또는 복수의 작업자가 탐지될 경우, (Pos, Dis) 맵을 기반으로 개별 작업자에 대한 위치 추정이 이루어지며, 장비와 작업자 간 상대적 거리 정보에 따라 충돌 위험 (Critical), 경고 (Warning), 주의 (Caution)로 구분하여 Top View로 전환 출력함. 다음 그림은 시스템 절차도를 나타냄. 영상 입력부터 출력까지 일련의 과정은 지난 1차년도에 도출한 요구사항 정의에 따라, 최소 장비와 작업자 간 충돌 1초 전에 미리 알릴 수 있도록 초당 4프레임 이상의 처리 속도를 보장하도록 구현함.  <시스템 절차도>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
안전 가이던스 시스템 성능 수준 설정 및 개발	▪ 센서 융합 기반 입력 (Input) 모듈 구현	▪ 입력 모듈 내의 센서 기하 모델 DB 구축 및 센서 설치 높이별 Geometric 맵 도출을 위해 총 3회 (2015년 07월 15일, 07월 25일, 08월 05일)에 걸쳐 Calibration 실험을 수행함. 실험은 중앙대학교 서울캠퍼스 체육관에서 실시하였으며, 자체 제작한 대형 (40m X 25m) Calibration 보드를 체육관 바닥에 설치한 후 장비 전·후면의 설치 높이/각도에 따라 센서를 설치한 후 영상 획득 실험을 수행함. ▪ 다음 그림은 Calibration 실험을 통해 획득한 영상으로부터 센서 기하 모델을 분석하고, 이를 영상에 적용한 결과를 나타냄.  (a) (b) ▪ <센서 기하 모델 DB 구축을 위한 분석 결과 예시 (a) 왜곡 보정 전 영상, (b) 왜곡 보정 후 영상> ▪ 다음 <그림 2-4>는 Calibration 실험을 통해 센서 설치 높이/각도 별로 획득한 영상으로부터 Geometric 맵을 분석한 결과의 예시를 나타냄.  (a) (b) ▪ <Geometric 맵 분석 결과 예시 (a) Position 맵, (b) Distance 맵>

<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td>안전 가이던스
시스템 성능 수준
설정 및 개발</td><td>▪ 처리
(Processing)
모듈 구현</td><td>
▪ 작업자 탐지 과정 중 관심 영역 인식 (1차) 과정에 필요한 작업자 형태 기반 DB 보완 구축: 이를 위해 총 8회에 걸쳐 수행된 현장 실험에서 CMOS 센서를 통해 획득한 영상으로부터 작업자 형태 기반 DB 추가 구축을 수행함.
▪ 다음 표는 작업자 형태 기반 DB 보완 구축을 위한 실험 개요를 요약하여 나타냄.

▪ <작업자 형태 기반 DB 보완 구축을 위한 실험 개요>
<table>
<tr><td>실험
일자
및 장소</td><td>• 1차: 15년 01월, 인천공장 (두산인프라코어)
• 2차: 15년 02월, 고덕동 도로공사 현장
• 3차: 15년 02월, 고덕동 도로공사 현장
• 4차: 15년 07월, 기흥 푸르지오 현장
• 5차: 15년 07월, 오금 보금자리 현장
• 6차: 15년 07월, 중앙대학교 영신관
• 7차: 15년 07월, 중앙대학교 체육관
• 8차: 15년 08월, 중대부속초등학교</td></tr>
</table>

<작업자 형태 기반 DB 보완 구축 현황>
<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">구분</th><th colspan="3">1차 보완
(15.08)</th><th>2차
보완
(16.05)</th></tr>
<tr><th>프레임
수</th><th>구축량
(개)</th><th>합계</th><th>합계</th></tr>
<tr><td rowspan="7">작
업
자</td><td>① 서 있는 사람</td><td>89</td><td>100</td><td rowspan="7">1,117</td><td rowspan="7">1,524</td></tr>
<tr><td>② 걷는 사람</td><td>431</td><td>546</td></tr>
<tr><td>③ 숙인 사람</td><td>91</td><td>93</td></tr>
<tr><td>④ 앉은 사람</td><td>149</td><td>160</td></tr>
<tr><td>⑤ 숙였다가 앉는 사람</td><td>7</td><td>7</td></tr>
<tr><td>⑥ 서있다가 앉는 사람</td><td>152</td><td>156</td></tr>
<tr><td>⑦ 앉았다가 서는 사람</td><td>111</td><td>115</td></tr>
<tr><td colspan="2">배경</td><td>1,030</td><td>332</td><td>332</td><td>70,078</td></tr>
</table>



<프레임별 작업자 형태 기반 DB 구축 방식에 대한 예시 (※ ① 서 있는 사람, ② 걷는 사람, ③ 숙인 사람, ④ 앉은 사람, ⑤ 숙였다가 앉는 사람, ⑥ 서있다가 앉는 사람, ⑦ 앉았다가 서는 사람)>
</td></tr>
</table>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
안전 가이던스 시스템 성능 수준 설정 및 개발	▪ 처리 (Processing) 모듈 구현	▪ 작업자 탐지 과정 중 안전 보호장구 판별 (2차) 과정에 필요한 색상 기반 DB 보완 구축: 이를 위해 총 5회에 걸쳐 수행된 현장 실험에서 CMOS 센서를 통해 획득한 영상으로부터 색상 기반 DB 추가 구축을 수행함.

▪ <색상 기반 DB 보완 구축 현황 및 DB 구축 방식에 대한 예시 (15년 08월 업데이트)>

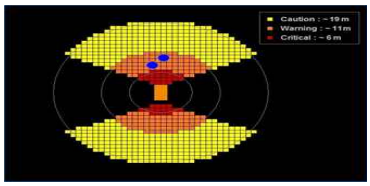
구분		프레임 수	구축량 (픽셀)	DB 구축 방식에 대한 예시
안전조끼	녹색	377	233,261	
	주황색	324	725,912	
안전모	백색	262	80,971	
	황색	162	63,530	
	적색	100	48,503	
배경	흙	447	10,679,444	
	기타	333	1,349.576	

▪ 작업자 탐지 과정에서 단일 또는 복수의 작업자가 탐지될 경우, (Pos, Dis) 맵을 기반으로 개별 작업자에 대한 위치 추정이 이루어짐.



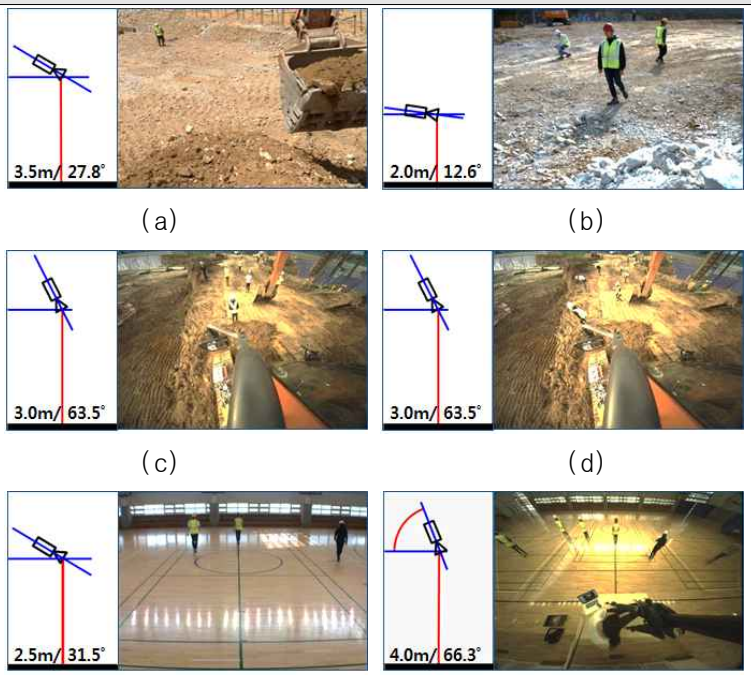
(a) (b)

<작업자 위치 추정 방식의 예시
(a) 영상 왜곡 보정 후 작업자 탐지 결과, (b) 중첩한 (Pos, Dis) 맵으로부터 Top View 전환 계산을 위한 작업자 위치 추정 결과>

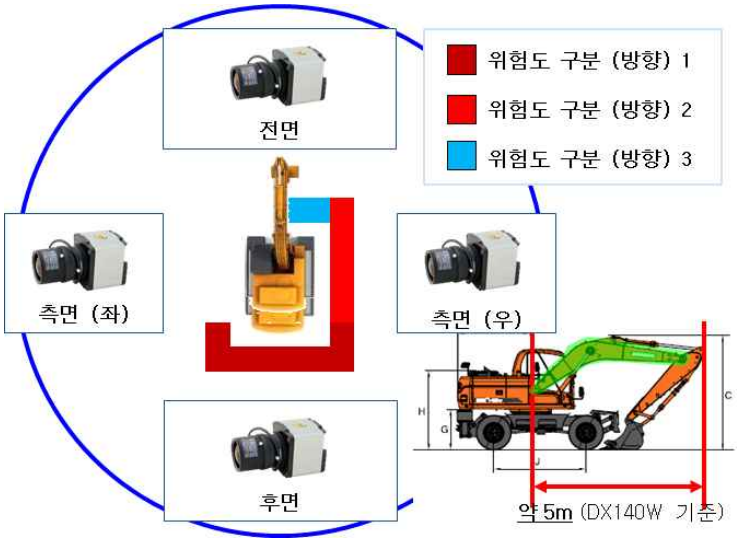
<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td>안전 가이던스
시스템 성능 수준
설정 및 개발</td><td>▪ 처리 결과에 대한 태블릿PC 출력 (Output) 모듈 구현</td><td>▪ 장비 운전자 모니터 출력을 위한 Top View 전환 계산이 완료되면, 장비 운전자가 작업 반경 내 작업자 탐지 결과를 실시간으로 확인할 수 있도록 장비 조종실 내부 태블릿PC 상에 해당 영상을 출력함.
 

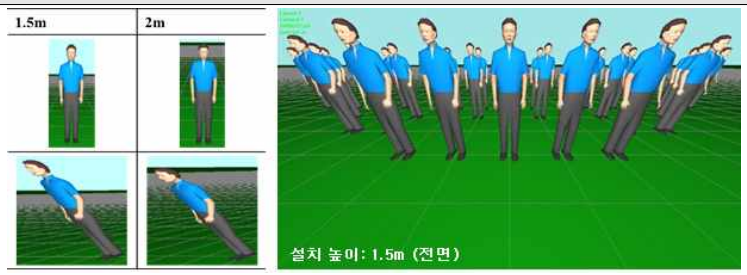
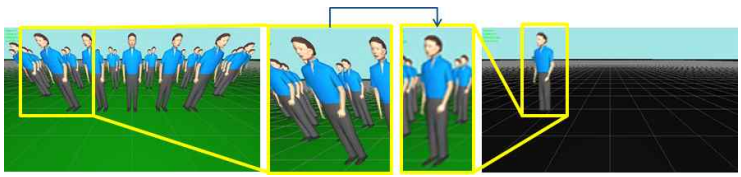
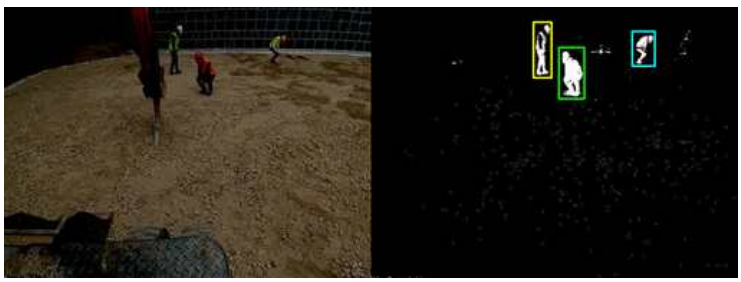
(a)
 
(b)
<출력 모듈 개요
(a) Top View 전환 영상 출력 예시, (b) 장비 조종실 내부 태블릿PC 설치 위치></td></tr>
<tr><td>안전 가이던스
시스템 성능 수준
설정 및 개발</td><td>▪ 적용성 검증 실험 (1차, 2차, 3차)</td><td>▪ 구축한 프레임워크에 따라 개발된 안전 가이던스 시스템의 성능 적용성 검증을 위해 총 3회에 걸쳐 영상 획득 및 분석 시험을 수행함.

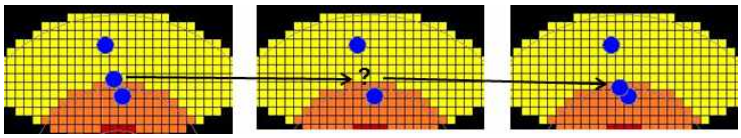
<안전 가이던스 시스템 성능 적용성 검증을 위한 실험 개요>
<table><tr><td>실험
목적</td><td>• 입력 모듈 : CMOS 센서를 이용한 Protective Field 내 칼라 영상 획득
• 처리 모듈 : 영상 처리를 통한 작업자 탐지 및 위치 추정, Top View 전환
• 출력 모듈 : Top View 전환 영상 출력 (실시간 작업자 탐지 결과 시각화)</td></tr><tr><td>실험
시나리오</td><td>센서 설치 가능 높이 (2.0m, 2.5m, 3.0m, 3.5m, 4.0m)*별로 CMOS 센서 설치 및 다음 실험 반복 수행
• 작업자 형태 : 서 있기, 걷기, 숙이기, 앉기, 숙였다가 앉거나 앉았다가 숙이기, 서 있다가 앉거나 앉았다가 서기
• 작업자 거리 : 0m에서 25m 범위 내
• 작업자 방향 : 굴삭기 기준 정면 및 배면, 측면
• 영상 내 위치 : 중앙, 측면</td></tr><tr><td>실험
일자
(실험
인원) 및
장소</td><td>• 1차 (5명): 2015년 07월 16일, 기흥역 0000아파트 신축공사 현장 (대우건설)
• 2차 (6명): 2015년 07월 28일, 오금 보금자리주택지구 건설 공사 (한신공영)
• 3차 (8명): 2015년 07월 30일, 중앙대학교 서울캠퍼스 (체육관)</td></tr></table>
※ 센서 설치 가능 높이*: 장비별 규격에 따라, 센서 설치 가능 높이가 상이함</td></tr>
</table>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
안전 가이던스 시스템 성능 수준 설정 및 개발	▪ 적용성 검증 실험 (1차, 2차, 3차)	 <적용성 검증을 위한 실험 셋업 및 획득 영상 예시 (a; b) 1차 실험, (c; d) 2차 실험, (e; f) 3차 실험> 다음 표는 총 3회에 걸친 적용성 검증 실험에서 획득된 영상의 프레임 수와 개발된 안전 가이던스 시스템 적용을 통해 분석된 작업자 탐지 성능을 요약하여 나타냄. <안전 가이던스 시스템 성능 검증 결과 요약>

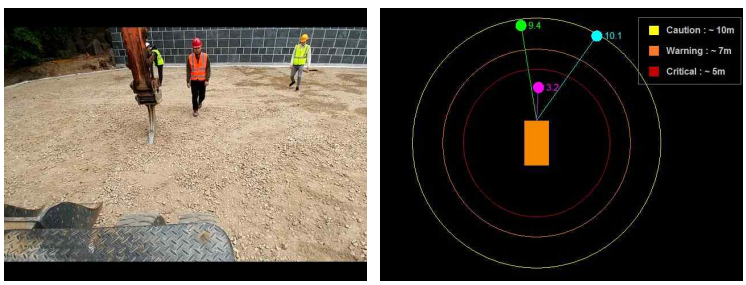
구분	프레임 수	True Positive	False Positive	False Negative	Precision (%)	Recal (%)
1회	20,544	55,200	4,896	288	99.48	91
2회	64,872	152,640	7,632	-	100.00	95
3회	54,000	126,540	7,220	-	100.00	94

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
시스템 고도화를 위한 평가 및 보완	▪ 전문가 자문을 통한 입력 모듈 보완사항 도출	▪ 안전 가이던스 시스템 개발 및 성능 적용성 검증 결과를 바탕으로 시스템 고도화를 위한 추가 요구사항 분석 및 보완사항 도출을 위해 두산인프라코어 인천공장을 방문하여 장경률 부장을 대상으로 전문가 자문을 실시함 (2015년 10월 16일). 전문가 자문 및 성능 적용성 검증 결과 분석을 통해 입력/처리/출력 모듈에 대한 보완사항을 도출하였으며, 모듈별 보완사항을 기술하면 다음과 같음. ▪ 두산인프라코어에서 제시한 장비 작업 반경 내 위험도 구분 (다음 그림 참조)에 따라, 최소 붐 우측부터 장비 우측 및 좌측 모서리와 장비 후면을 포함 (굴삭기의 경우) 하는 영역 내에서 작업자 탐지가 가능하도록 센서 사양 및 설치 대수를 변경함.  <입력 모듈 구성 보완 (작업자 탐지 영역: ~10m)>
	▪ 전문가 자문을 통한 처리 모듈 보완 개발 및 성능 평가	▪ 입력 모듈 구성 보완에 따라 최소 붐 우측부터 장비 우측 및 좌측 모서리와 장비 후면을 포함 (굴삭기의 경우) 하는 영역 내에서 작업자 탐지가 가능하도록 센서 사양을 변경할 경우, 광각 렌즈를 통해 획득되는 영상에서는 위치별로 인식 대상이 서로 다른 형태를 보이며, 이를 해결하기 위한 방법이 요구됨. ▪ 이를 해결하기 위해 기존 작업자 탐지 과정 중 관심 영역 인식 (1차) 과정 수행 이전에 가상의 3차원 검색 그리드를 생성을 통해 세부 영역을 변환하여 정렬 (Local Area Rectification)함으로써 관심 영역 인식이 가능하도록 처리 모듈을 보완 개발함. 이를 통해 위치별로 서로 다른 형태를 보이는 관심 영역 인식이 가능할 뿐만 아니라, 불필요한 인식 범위를 계산에서 제외함으로써 속도 성능을 개선하는 효과를 보임.

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
시스템 고도화를 위한 평가 및 보완	▪ 전문가 자문을 통한 처리 모듈 보완 개발 및 성능 평가	 <광각 렌즈 사용 시 센서 설치 위치별 작업자 형태 비교 (카메라: 1/2.6" - 렌즈: f 1.8 (Focal length), 전면 설치 높이: 1.5 m, 측면/후면 설치 높이: 2 m)> ▪ 다음 그림은 인식 대상 형태 왜곡 보정 과정을 추가한 처리 모듈의 작업자 탐지 및 위치 추정 과정을 개념화하여 나타냄.  (a) (b) (c) (d) <처리 모듈 보완 절차 (a) 가상의 3차원 검색 그리드 생성, (b→c) 세부 영역 변환 정렬 및 인식, (d) 중첩한 (Pos, Dis) 맵으로부터 Top View 전환 계산을 위한 작업자 위치 추정> ▪ 영상 센서만을 이용하여 작업자를 탐지하는 경우, 안정적인 작업자 탐지 성능을 보장하기 위해서는 조도 변화에 따른 영상의 색상 왜곡을 최소화할 필요가 있음. 산업안전보건공단(KOSHA)에서 제시하는 작업장 안전 확보를 위한 야외 중장비 작업 영역 내 최소 조도 확보 기준 범위 내에서 안전적인 작업자 탐지 성능을 보장하기 위한 방안으로 입력 영상의 히스토그램 분석을 통한 색상 왜곡 보정 방법을 추가 반영함.  (a)  (b) <작업자 탐지 결과 비교 예시 (a) 81 lux (16년 04월, 중앙대학교) - 흐림, (b) 33 lux (16년 04월, 중앙대학교)>

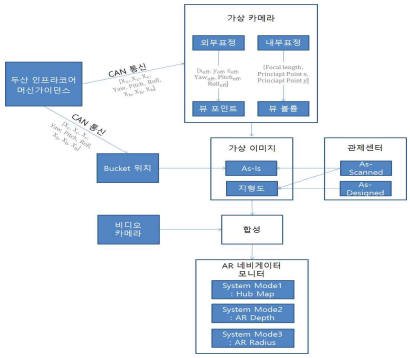
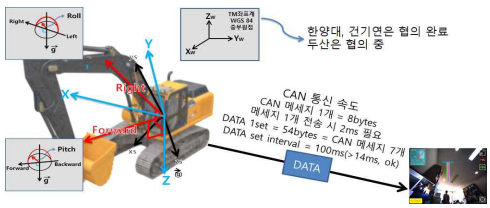
<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td rowspan="2">시스템 고도화를 위한 평가 및 보완</td><td>▪ 전문가 자문을 통한 입력 모듈 보완사항 도출</td><td>▪ 또한 일부 프레임에서 발생하는 작업자 인식 오류를 개선하기 위해 연속된 영상 내 작업자 인식 결과를 바탕으로 연관성 규칙을 적용한 오류 개선 방법을 추가 개발함.
 
(a) (b) (c)
< 연관성 규칙을 적용한 오류 개선 개념
(a) 178번째 프레임, (b) 179번째 프레임, (c) 180번째 프레임>

▪ 다음 표는 총 3회에 걸친 적용성 검증 실험에서 획득된 영상을 대상으로 보완 개발한 처리 모듈 적용을 통해 작업자 탐지 성능이 현저히 개선됨을 나타냄.

<안전 가이던스 시스템 성능 검증 결과 요약>
<table><tr><th>구분</th><th>프레임 수</th><th>True Positive</th><th>False Positive</th><th>False Negative</th><th>Precision (%)</th><th>Recall (%)</th></tr><tr><td>1회</td><td>20,544</td><td>55,200</td><td>4,896
→0</td><td>288
→0</td><td>99.48
→100.00</td><td>91.
→100.</td></tr><tr><td>2회</td><td>64,872</td><td>152,640
→158,364</td><td>7,632
→1,908</td><td>-</td><td>100.00</td><td>95.
→98.</td></tr><tr><td>3회</td><td>54,000</td><td>126,540
→130,720</td><td>7,220
→3,040</td><td>-</td><td>100.00</td><td>94.
→97.</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>▪ 전문가 자문을 통한 처리 모듈 보완 개발 및 성능 평가</td><td>▪ 장비 운전자 모니터 출력을 위한 Top View 전환 계산이 완료되면, 장비 운전자가 작업 반경 내 작업자 탐지 결과를 직관적으로 확인할 수 있도록 다음 그림에 나타낸 바와 같이 해당 영상을 출력함. 영상 내 작업자 추적 기능을 추가 개발함으로써 서로 다른 작업자를 색상 구분하여 표시하며, 작업자가 탐지된 센서가 부착된 장비 표면으로부터 거리 정보를 추가 제공하도록 출력 모듈을 보완 개발함.
▪
 

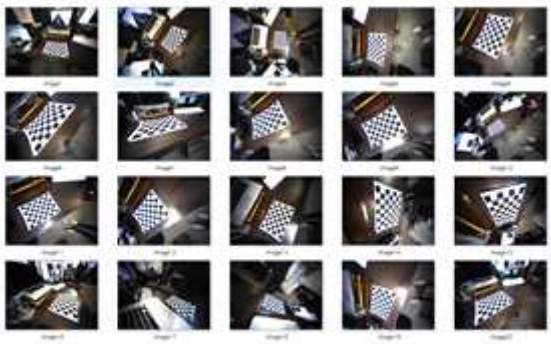
▪ (a) (b)
▪ <출력 모듈 보완 (a) 입력 영상 예시, (b) 출력 영상 예시></td></tr>
</table>

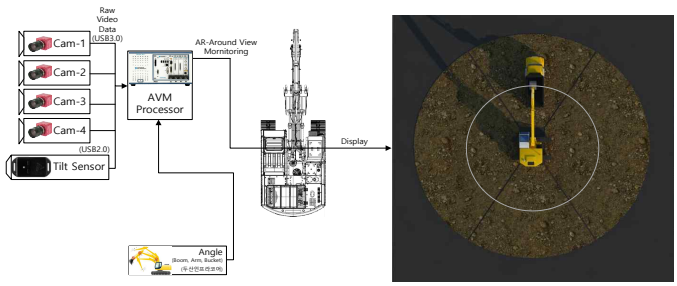
◎ 건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술개발 (2-3세부 공동-인하대학교 산학협력단)

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ AR 네비게이터 시스템 알고리즘 작성 및 구성요소 구입	▪ R 네비게이터의 개발을 진행하기 위한 범위와 기능 정의  ▪ <AR 네비게이터 데이터 처리과정> ▪ 굴삭기 회전 매트릭스 개발 -Right 벡터 = $(\pm\sqrt{1-\tan^2\alpha\tan^2\beta},\ \pm\tan\alpha\tan\beta,\ -\tan\beta)$ -Heading 벡터 = $(0, \cos\alpha, \sin\alpha)$ -Up 벡터 = Right벡터와 Heading벡터의 Outer Product ∴Rotation Matrix = $\begin{pmatrix}\cos\gamma & -\sin\gamma & 0\\ \sin\gamma & \cos\gamma & 0\\ 0 & 0 & 1\end{pmatrix} \circ \begin{pmatrix}Right_x & Heading_x & Up_x\\ Right_y & Heading_y & Up_y\\ Right_z & Heading_z & Up_z\end{pmatrix}$ ▪ AR 네비게이터의 모드 선정 및 UI 개발(HUB Map모드, AR Depth모드, AR Radius모드, 환경설정) ▪ AR 네비게이터의 성능 실현을 위해 필요한 스마트가이던스 정보 정의 및 CAN 통신 설계  <AR 네비게이터 CAN 통신 시스템> ▪ 스마트가이던스로부터 트래킹 정보(데이터 패킷)의 수신을 위한 CAN 통신 데이터 정의  ▪ <CAN 통신 데이터 패킷 형태>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ AR 네비게이터 하드웨어 및 어플리케이션 개발	▪ AR 네비게이터 하드웨어 설계 -AR 네비게이터 하드웨어 개발은 AR 네비게이터 어플리케이션 개발 과정에서 도출된 어플리케이션 구동을 위해 필요한 조건들을 기반으로 수행되었음. -AR 기술 구현에 있어서 가장 중요한 것은 카메라의 선정이므로 기능 구현에 필요한 카메라를 먼저 선정하였음. 해당 카메라의 경우 왜곡 1% 미만으로 AR 기술 중 중첩을 구현하는데 적합하며 수직화각 94도로 AR 네비게이터 기능 구현에 필요한 가시영역확보에 적합한 뷰볼륨을 제공함. <Camera 제원> ▪ 카메라의 경우 굴삭기 외부에 설치되어야 한다는 조건을 고려하여 진동의 영향을 최소화할 수 있도록 강력하게 차량에 거치할 수 있는 네오듐 자석을 이용한 카메라 거치대를 제작하였음. ▪ 선정된 카메라의 구동에 최적화된 AR Board & Display를 제작하였음. 고성능 그래픽 작업이 가능하도록 CPU와 Memory를 선정하였고 빠른 시스템 구동이 가능하도록 저장장치로 SSD를 채택하였음. 굴삭기 전원을 사용하여 구동이 가능하도록 시거잭이 장착된 DC to DC Converter를 제작하였음. OS 또한 시스템 구동 속도 향상을 위해 일반 윈도우가 아닌 임베디드 버전을 사용하였음.

카메라 Body 제조사	Point Grey Research
카메라 모델명	Chameleon3
렌즈 제조사	Theia Technologies
렌즈 모델명	SY110M
Mount typ	CS-mount
Focal length	1.67mm
Linear Opical Technology	YES
Distortion	<1%
Resolution	Up to 3MPix
F/#	F/1.8 to close
IR Correction	Day/Night
Field of view(H)	110°
Field of view(V)	94°
Field of view(D)	122°

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ AR 네비게이터 하드웨어 및 어플리케이션 개발	<AR Board & Display 제원> 제품명 / 항목 : PC104-H81 (Embedded PPC) 제조사 : 부트윈 Display : 9.7" TFT LED (Res : 1024×768) 9.7" Resistive 4-wire Touch(USB) Processor : Intel® i5-4460 (3.2G/Quad/6M) Memory : DDR3 4G Storage : SSD 64G Port : 2 COM / 2 USB 2.0 / 2 USB 3.0 / 1 HDMI / 1 DVI PCI Osprey 100 (RCA-3ea) Network : Gigabit LAN / Wireless LAN & Antena(Bluetooth 4.0) OS : Windows 7 Embedded Standard P version(full package), 64bit Power : DC12V/10A (w/Adapter) SMPS DC to DC100W (Input : DC24V(19~36V) 6A / Output : 12V 8.5A) - AR 네비게이터의 가시영역 -AR 네비게이터가 목표로 하는 가시영역은 붐과 암을 최대작업반경(10~25 m)으로 펼쳤을 때 버킷끝단이 들어오고, 동시에 하부주행체의 전진방향 끝단도 가시영역에 들어오는 것임. -현장 테스트 결과, 카메라를 운전석 위쪽 상부회전체 최상단에 부착하였을 시(수평기준에서 약 10도 기울어서 내려다 보게 설치됨), 카메라에서 50 m 이상 떨어진 물체와 하부회전체의 전진방향 끝단이 동시에 가시영역에 들어옴을 확인함. -따라서 AR 네비게이터의 목표 가시영역이 100% 확보되었음으로 계획한 목표치가 만족되었음. 실험실 테스트로부터 내부표정을 수행하였고 내부표정의 결과 1.8픽셀오차(RMSE)를 얻을 수 있었음  <카메라 내부표정용 타겟>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ 어라운드 뷰 하드웨어 디자인(안) 도출 및 최적 디자인 선정 ▪ 어라운드 뷰 시스템 기능별 요구사항 도출 및 하드웨어 선정/개발	▪ 하드웨어 디자인(안) - 본 연구에서는 건설장비 AVM 시스템의 하드웨어 디자인을 다음과 같이 제안함. 하드웨어 설계  4면 영상 취득을 위한 카메라(4EA), 넓은 시야각 확보를 위한 광각(어안)렌즈(4EA), 굴삭기 기울기정보 및 작업정보 획득을 위한 센서모듈, 영상 보정을 위한 AVM 프로세서, AVM Display 등으로 구성 <건설장비 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 시스템 하드웨어 디자인(안)> ▪ 자체 보유 카메라 및 산업용 카메라 대표 전문업체 2개社 조사 결과, 조사된 카메라는 모두 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 개발에 적합한 사양(720p 이상의 해상도, 160° 이상의 가로화각 등)을 갖췄으나 다음과 같은 문제점이 있는 것으로 분석됨. ⇒프레임 그레이버 및 별도의 드라이버 사용으로 인한 OS와의 호환성 부족(영상 처리속도 저하) ⇒산업용 카메라 및 렌즈의 크기(건설장비 설치 시 보다 축소될 필요가 있음. ⇒산업용 카메라의 가격 경쟁력(Target Price를 맞출 수 없음) -따라서 본 연구에서는 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 개발에 적합한 사양을 갖춤은 물론 가격 경쟁력 확보가 가능한 Module형 카메라를 대상으로 조사를 수행하고 본 연구에 적합한 카메라 모듈을 아래와 같이 개발하였음.

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ 어라운드 뷰 시스템 기능별 요구사항 도출 및 하드웨어 선정/개발	



<개발된 CCD Camera/Lens의 구성 및 사양>

▪ 건설장비 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 시스템 알고리즘 설계

▪ 본 연구에서는 1)카메라 1대를 활용한 탑뷰(Top-veiw) 구현 알고리즘 개발, 2)카메라 2대를 활용한 실시간 탑뷰(Top-view) 구현 및 영상 위치선정 알고리즘 개발, 3)카메라 4대를 활용한 실시간 어라운드 뷰 구현 알고리즘 개발의 3단계에 걸쳐 영상보정 알고리즘에 대한 개발을 수행하였음.

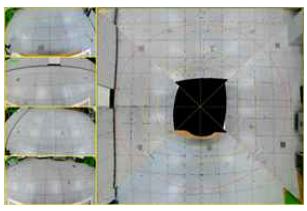
▪ 1) 카메라 1대를 활용한 탑뷰(Top-veiw) 구현 알고리즘 개발 : 본 연구를 통해 개발된 탑뷰(Top-view) 구현 알고리즘을 활용하여 실시간 왜곡보정 및 탑뷰(Top-view) 구현 알고리즘을 구축하고, 카메라 1대로부터 취득된 영상에 대한 실시간 왜곡보정 및 탑뷰(Top-view) 구현 결과를 확인하였음. 이를 위해 (1.2×1.8㎡)의 Test-bed를 설정하고, 본 연구진에서 보유 중인 S社의 CCD Camera(2448×2048)를 활용하여 개발된 알고리즘의 검증을 수행하였음.

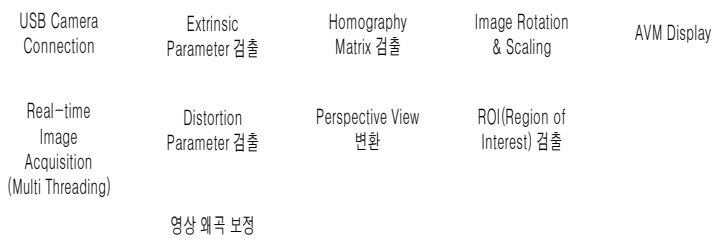


(a) (b) (c)

<카메라 1대를 활용하여 구현된 탑뷰 화면>

▪ 알고리즘에 대한 검증 결과, 본 연구를 통해 개발된 탑뷰(Top-view) 구현 알고리즘은 (a)Raw 영상에 대한 (b)왜곡보정, (c)탑뷰(Top-view) 영상 구현 등을 정상적으로 수행하였고 탑뷰(Top-view) 변환 후에도 매우 낮은 왜곡을 보여 그 구현성능이 우수한 것으로 판단되었으나, 아래와 같은 알고리즘의 개선이 필요할 것으로 사료됨.

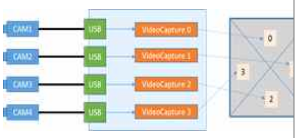
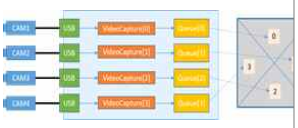
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ 어라운드 뷰 통합 어플리케이션 기능 구현	⇒높은 카메라 해상도(2448x2048)로 인한 영상처리 속도 저하 ⇒광각렌즈의 화각 부족(어안렌즈 등의 초광각 렌즈 사용 必) ⇒산업용 카메라 및 렌즈의 크기(건설장비 설치 시 보다 축소될 필요가 있음) ⇒산업용 카메라의 가격 경쟁력(Target Price를 맞출 수 없음) 2)카메라 2대를 활용한 실시간 탑뷰(Top-view) 구현 및 영상 배치 알고리즘 개발 : 2대의 카메라를 지면으로부터 0.8m높이에서 좌, 우 너비 1.5m의 간격을 두고 설치하여 Test-bed를 설계하고, 본 연구를 통해 개발된 Module형 카메라를 활용하여 개선된 실시간 탑뷰(Top-view) 구현 및 영상 위치선정 알고리즘에 대한 검증을 수행하였음.  (a) (b) (c) <영상보정 및 탑뷰 구현 알고리즘이 지니는 문제점> ▪ 개발된 알고리즘은 (a)Raw 영상의 (c)탑뷰 변환 시 영상의 손실영역이 매우 크고, 이러한 손실로 인해 하나의 카메라가 취득할 수 있는 최대 가로화각이 (b)90° 에 미치지 못한다는 문제점을 지니고 있는 것으로 분석되었으며, 이에 따른 알고리즘의 개선이 반드시 필요할 것으로 사료됨. ▪ 3)카메라 4대를 활용한 실시간 어라운드 뷰 구현 알고리즘 개발 : 상기 2)카메라 2대를 활용한 실시간 탑뷰(Top-view) 구현 및 영상 배치 알고리즘의 검증 과정에서 문제점으로 도출된 “Raw 영상의 탑뷰 변환 시 영상의 손실영역이 매우 크고, 이러한 손실로 인해 하나의 카메라가 취득할 수 있는 최대 가로화각이 90° 에 미치지 못한다는 문제점”의 개선을 위해 취득된 Raw 영상의 손실을 최소화 하는 방향으로 알고리즘의 개선을 수행하였음.  (a’) (b’) (c’) <수정된 영상보정 알고리즘의 AVM 영상>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ 어라운드 뷰 통합 어플리케이션 기능 구현	수정된 알고리즘에 대한 검증 결과, 기존 영상보정 및 탑뷰(Top-view) 구현 알고리즘을 활용할 경우 탑뷰 구현 영역이 가로화각 90° 에 미치지 못했던 반면, 수정된 영상보정 및 탑뷰(Top-view) 구현 알고리즘을 활용할 경우 탑뷰 구현 영역이 가로화각 140° 이상으로 확장된 것(b')을 확인할 수 있었으며, 이를 활용할 경우 4면 영상의 합성을 통한 장비 중심반경이 1,500㎜ 이상의 어라운드 뷰 구현이 가능한 것으로 확인되었음. -질적성과 ⇒Top-view 영상의 취득 범위 측정 ⇒목표치: 장비 중심반경 1,500㎜ ⇒달성치: 장비 중심반경 1,500㎜이상 -위 1) ~ 3)의 실험에 걸친 알고리즘 개발의 과정을 통해 최종적으로 건설장비 제원에 적합한 실시간 왜곡보정 및 어라운드 뷰 구현 알고리즘의 개발을 수행하였으며, 이를 하나의 알고리즘 프로세스로 설정하여 건설장비 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 구현 알고리즘의 프로세스를 아래와 같이 정의하였음.  <건설장비 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 구현 알고리즘의 프로세스> 워프맵(Warp Map)을 활용한 고속화 알고리즘 개발 -고속화 알고리즘 개발(워프맵(Warp Map)을 활용한 고속화 알고리즘 개발) : 본 연구를 통해 개발된 알고리즘은 HD급 해상도의 영상 4개를 동시에 처리해야 하므로, CPU가 제어할 수 있는 데이터의 처리량이 매우 크다는 문제점이 있으며, 이에 대한 개선 없이 어라운드 뷰 모니터링(AVM)을 구현할 경우 영상 처리의 지연, 간헐적 영상끊김 현상 등이 발생한다는 문제점이 있어 이에 대한 개선을 위해 고속화 알고리즘을 개발 및 적용할 필요성이 있는 것으로 분석되었음. -어라운드 뷰 모니터링(AVM)의 고속화 구현을 위한 알고리즘의 지속적인 수정, 하드웨어 활용 방식의 변경 등을 통해 3차 이상에 걸친 고속화 알고리즘의 수정을 수행하였으며, 최종적으로 워프맵(Warp Map) 개념을 영상 고속화 알고리즘에 도입함으로써 어라운드 뷰 영상 고속화 알고리즘을 개발하였음. 개발을 위한 알고리즘의 수정은 아래 표와 같음.

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과

건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발

▪ 어라운드 뷰 통합 어플리케이션 기능 구현

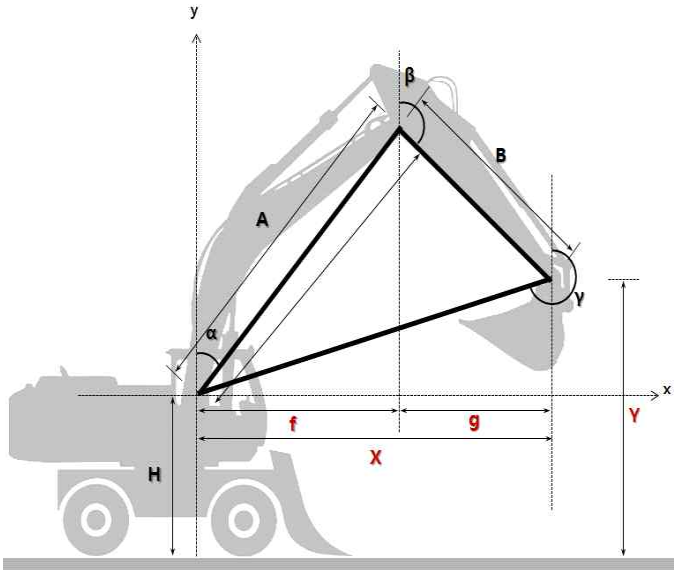
구분	알고리즘 개념	특징
고속화 알고리즘(1차) 개념		4개의 CPU 리소스 동시 사용으로 인한 영상처리 속도의 저하
고속화 알고리즘(2차) 개념		Multi-Thread를 USB컨트롤로 Refresh Rate 및 CPU 효율이 상승하였으나, VideoCapture Thread의 Buffer현상으로 인해 시스템이 불안정
고속화 알고리즘(3차) 개념		알고리즘 상에 Queue 개념의 도입을 통한 VideoCapture Thread의 Buffer현상 제거 영상 프레임 일정/안정
최종 고속화 알고리즘 개념		알고리즘 상에 워프 맵(Warp Map : Pixel 단위 맵핑) 개념의 적용을 통한 Refresh Rate 증가 최종 Refresh Rate 20FPS 확보

-건설장비 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 구현 알고리즘의 프로세스 중 ②~④의 과정은 영상의 매 프레임마다 동일한 계산과정이 반복되고, 입력영상에 관계없이 계산결과가 동일하므로 본 연구에서는 탑뷰로 구현 할 때 전체 과정을 단 한번만 계산하고 그 결과를 메모리에 저장(Warp Map)함으로써 탑뷰를 구현할 수 있도록 하는 고속화 알고리즘을 구축하였음.

-구축된 고속화 알고리즘에 대한 검증 결과, 해당 알고리즘을 활용한 어라운드 뷰 모니터링(AVM)의 구현은 최소 20fps 이상의 Refresh Rate를 확보함에 따라 실시간으로 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 영상의 활용이 가능할 것으로 분석되었음.

▪ 앵글 센서(Angle sensor)를 활용한 건설장비 어라운드 뷰 작업 정보 표현 기술 개발 (특허 출원 : 10-2016-0066926

▪ 어라운드 뷰 모니터링(AVM)에 건설장비의 작업정보를 표현하기 위해서는 건설장비 붐, 암, 버킷의 움직임에 대한 데이터를 센서로부터 취득해야 하며, 이는 건설장비 붐, 암, 버킷에 설치된 앵글 센서로부터 취득된 값을 건설장비 제원을 토대로 1)붐, 암, 버킷의 길이, 2)버킷의 회전반경, 3)지면-버킷 이격거리 등으로 계산하여 나타내도록 설계되었음. 아래 그림은 건설장비 붐, 암, 버킷의 기울기에 따른 1)붐, 암, 버킷의 길이, 2)버킷의 회전반경, 3)지면-버킷 이격거리를 계산하기 위한 건설장비의 단면도 및 수식 기준을 나타냄.

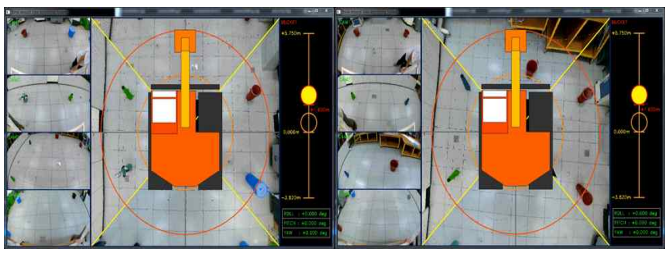
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ 어라운드 뷰 통합 어플리케이션 기능 구현	 <작업 정보 표현 계산식 도출을 위한 건설장비의 단면도> 1) 붐, 암, 버킷의 길이 : 붐, 암, 버킷의 길이를 산정하기 위해 위의 건설장비 단면도 및 수식 기준에서 붐, 암, 버킷의 길이를 f(붐의 수평길이)와 g(암의 수평길이)로 표현하였으며, 건설장비에 설치한 앵글 센서를 통해 제공받은 붐과 암의 각도(α, β)와 건설장비의 제원에 따른 붐과 암의 길이(A, B)를 이용하여 아래와 같이 붐과 암의 수평길이(f, g)를 계산식으로 도출함. <붐, 암, 버킷의 길이 계산식> 구분 | 계산식 붐의 수평 길이 [f] | $f = A \times \sin\alpha$ 암의 수평 길이 [g] | $g = B \times \cos(\beta - 90)$ 2) 버킷의 회전반경 : 본 연구에서는 버킷의 회전 반경을 산정하기 위해 위의 건설장비 단면도 및 수식 기준에서 버킷의 회전반경을 X로 표현하였으며, 위의 1)붐, 암, 버킷의 길이 구하기 위해 도출된 붐과 암의 수평길이(f, g) 합을 통해 버킷의 회전반경(X)을 아래와 같이 계산식으로 도출함. <버킷의 회전반경 계산식> 구분 | 계산식 버킷의 회전반경[X] | $X = A \times \sin\alpha + B \times \cos(\beta - 90)$

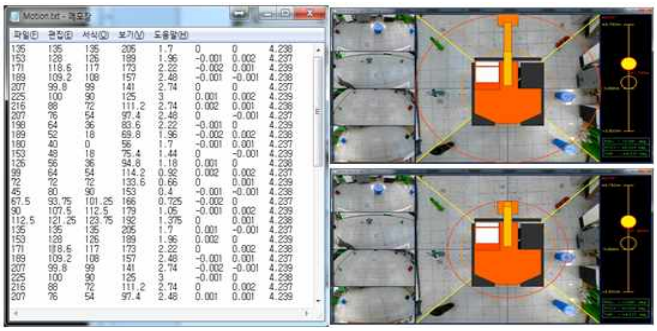
<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>3) 지면-버킷 이격거리 : 본 연구에서는 지면-버킷 이격거리를 산정하기 위해 위의 건설장비 단면도 및 수식 기준에서 지면-버킷 이격거리를 Y로 표현하였으며, 건설장비에 설치한 앵글 센서를 통해 제공받은 붐, 암, 버킷의 각도(α, β, γ)와 건설장비 제원에 따른 붐과 암의 길이(A, B) 및 지면으로부터 붐 시작단까지의 수직 높이(H)를 이용하여 지면-버킷 이격거리(Y)를 아래와 같이 계산식으로 도출함.
<지면-버킷 이격거리 계산식>
<table><tr><th>구분</th><th>계산식</th></tr><tr><td>지면-버킷
이격거리
[Y]</td><td>$Y = \frac{B - A \times \cos(180 - \beta + \alpha)}{\cos[\tan^{-1}(\frac{A \times \sin(180 - \beta + \alpha)}{B - A \times \cos(180 - \beta + \alpha)})]} \times \sin[90 - \beta + 360^{\circ} - (180^{\circ} - \beta) - \gamma] + H$</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>건설장비
AR-어라운드 뷰
네비게이터 기술
개발</td><td>▪ 어라운드 뷰 통합 어플리케이션 기능 구현

▪ 어라운드 뷰 통합 어플리케이션 실험실 실험 및 성능 평가</td><td>AVM 시스템 기반의 건설장비 어라운드 뷰 통합 어플리케이션 개발(학술지 게재 : 건설기계 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 시스템의 파일럿타입 개발)
-상기에서 도출된 수식을 활용하여 건설장비 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 기술 위에 건설장비의 작업정보를 표현할 수 있도록 하는 작업정보 표현기술을 융합함으로써, 건설장비의 특성이 반영된 독자적인 건설장비 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 시스템을 개발하였음. 아래 그림은 2차년도 연구를 통해 실제 개발된 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 시스템을 나타낸 것임.

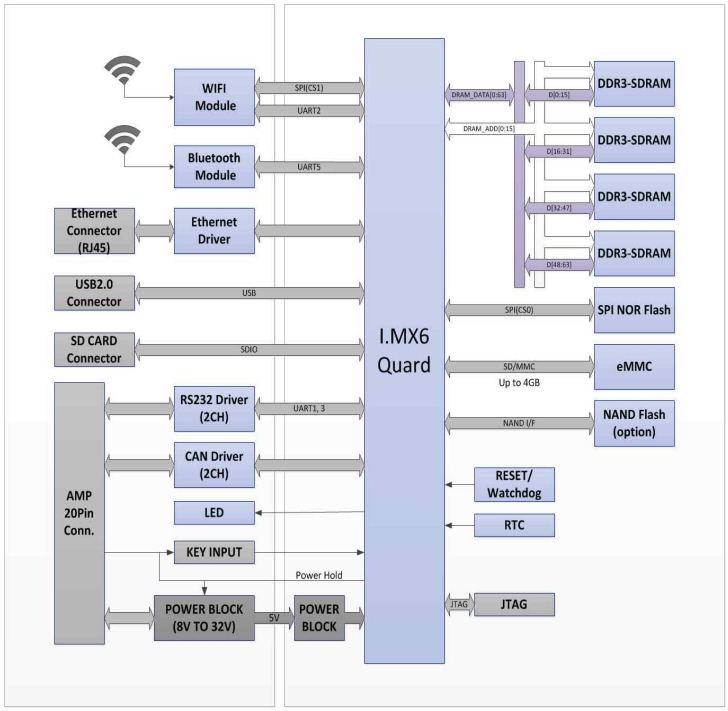
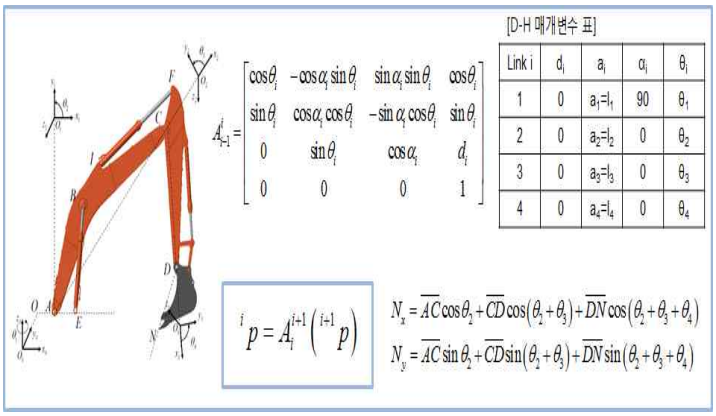
<실제 개발된 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 시스템>

▪ 어라운드 뷰 시스템 검증 및 개선요구사항 도출
개발된 건설기계 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 시스템 파일럿타입의 성능검증을 위해 1)가설장비의 이동 및 장애물 인식 실험, 2)붐, 암, 버킷 각도(Angle) 값에 따른 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 구동 실험의 두 가지로 구분하여 실험을 수행함.</td></tr>
</table>

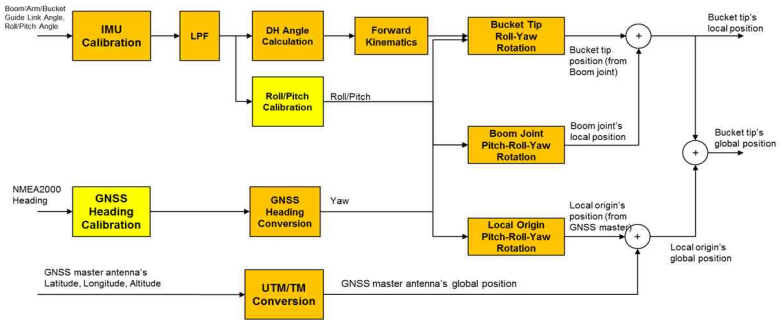
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ 어라운드 뷰 통합 어플리케이션 실험실 실험 및 성능 평가	1) 가설장비의 이동 및 장애물 인식실험 : 본 연구에서는 준비된 가설장비에 건설기계 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 시스템 파일럿 타입을 설치하고, 바닥면에 장애물을 구성하여 가설장비의 전/후방 이동에 따른 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 영상의 구동 및 장애물 인식 실험 아래와 같이 수행함. <AVM 영상의 구동 및 장애물 인식 실험> 가설장비의 이동 및 장애물 인식실험 결과, 가설장비의 이동에 맞춰 하단부 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 영상이 정상적으로 구동됨에 따라 장애물의 식별이 충분히 가능하였으며, 최소 20fps 이상의 Refresh Rate를 확보함에 따라 실시간으로 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 영상의 활용이 가능할 것으로 분석됨.  <AVM 영상 구동 및 장애물 인식 실험 결과> 2) 붐, 암, 버킷 각도(Angle) 값에 따른 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 구동 실험 : 본 연구에서는 가설장치를 제자리에 고정시켜두고, 앵글 센서(Angle Sensor)로부터 획득되는 붐, 암, 버킷의 각도 값에 따른 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 영상의 변화를 확인하는 실험을 수행하였음. 실험 수행 결과, 임의로 주어지는 앵글 센서의 값에 따라 아래 그림의 (a)와 같이 붐, 암, 버킷의 거리 계산식에 의해 산정된 붐, 암, 버킷의 위치정보를 수신할 수 있었으며, 수신된 위치정보에 따라 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 디스플레이 상에서 실시간으로 반영되는 것으로 확인됨(아래 그림의 (b)).

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ 어라운드 뷰 통합 어플리케이션 실험실 실험 및 성능 평가	 (a) (b) <붐, 암, 버킷의 AVM 영상 모션 검증 실험> 3)실험실 실험을 통한 개선요구사항 도출 : 본 연구에서 적용하고 있는 영상의 보간(Interpolation) 방법은 관심화소가 검은색(RGB 0,0,0)인 경우 주변 8개 화소의 (R,G,B) 값을 평균하여 보정하도록 설계되었음. 그러나 해당 보간(Interpolation) 방법은 검은색 화소가 뭉쳐있는 경우 보간(Interpolation)을 수행한 뒤에도 검은색 화소가 뭉쳐있는 경우가 발생(아래 그림의 (a))할 수 있고, 검은색 물체가 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 화면상에 포함되는 경우 이를 보간(Interpolation)의 대상으로 판단하여 영상이 훼손되는 현상(아래 그림의 (b))이 발생함. 따라서 이를 개선하기 위한 알고리즘의 수정이 필요할 것으로 사료됨.  (a) (b) <AVM 시스템에 적용된 인터폴레이션 방법에 대한 문제> - 질적성과(어라운드 뷰 영상 고속화 알고리즘 성능) ⇒목표치 : 5FPS 이상 ⇒달성치 : 20FPS

◎ 태블릿 기반 굴삭기 작업가이던스 시스템 및 MMI 유닛개발 (2세부 협동-두산인프라코어)

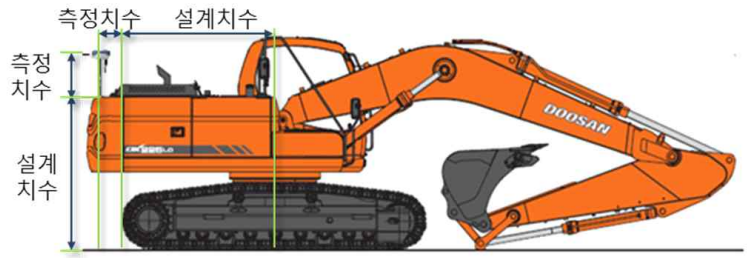
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
태블릿 기반 굴삭기 버킷 위치 디스플레이 시스템 및 MMI 유닛 개발	▪ 1차년도 도출 하드웨어 요구 사양을 기반으로 확장성을 고려하여 게이트웨이 H/W 회로 설계 ▪ 버킷 끝단 위치인식 S/W에 로봇분야에서 사용되는 순기구학(Forward Kinematics) 기법 적용하고 버킷 끝단의 위치를 벡터 합으로 표현	▪ 태블릿 인터페이스 게이트웨이의 입출력 인터페이스 변경 및 확장이 용이하도록 입출력 인터페이스 보드를 CPU 보드와 분리하여 설계  <태블릿 인터페이스 게이트웨이 H/W 구성도> ▪ 굴삭기 본체로부터 버킷 끝단까지의 위치 벡터를 DH (Denavit-Hartenberg) 표현법으로 계산  [D-H 매개변수 표] Link i | d_i | a_i | α_i | θ_i 1 | 0 | $a_1=l_1$ | 90 | θ_1 2 | 0 | $a_2=l_2$ | 0 | θ_2 3 | 0 | $a_3=l_3$ | 0 | θ_3 4 | 0 | $a_4=l_4$ | 0 | θ_4 $A_{i-1}^{i}=\begin{bmatrix}\cos\theta_i & -\cos\alpha_i\sin\theta_i & \sin\alpha_i\sin\theta_i & \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\alpha_i\cos\theta_i & -\sin\alpha_i\cos\theta_i & \sin\theta_i \\ 0 & \sin\theta_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1\end{bmatrix}$ $^{i}p = A_i^{i+1}\left(^{i+1}p\right)$ $N_x = \overline{AC}\cos\theta_2 + \overline{CD}\cos(\theta_2+\theta_3) + \overline{DN}\cos(\theta_2+\theta_3+\theta_4)$ $N_y = \overline{AC}\sin\theta_2 + \overline{CD}\sin(\theta_2+\theta_3) + \overline{DN}\sin(\theta_2+\theta_3+\theta_4)$ <순기구학 수식>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
태블릿 기반 굴삭기 버킷 위치 디스플레이 시스템 및 MMI 유닛 개발	▪ GNSS 안테나 용접 위치 변동에 의한 오차를 최소화하기 위해 설계치수를 활용한 치수 측정 방법을 도출	▪ 전역좌표계에서 버킷 끝단에 대한 위치벡터 분해 - 굴삭기 붐-차체 조인트 핀 중심으로부터 버킷 끝단까지의 위치 벡터 - 굴삭기 선회 중심축과 무한궤도 트랙에 접한 바닥면의 접점(차량 좌표계 원점)으로부터 붐-차체 조인트 핀 중심까지의 위치 벡터 - GNSS 안테나 중심으로부터 차량 좌표계 원점까지의 위치 벡터 - 전역좌표계에서 GNSS 안테나 중심의 위치벡터: 위경도 좌표를 UTM, TM 좌표로 변환



<위치인식 S/W 구성도>

굴삭기의 설계치수와 실제 측정치수를 합산하여 GNSS 안테나 중심으로부터 차량 좌표계 원점까지의 위치 벡터 산출



GNSS 위치	X(전후)	mm	2369	하부체 중심에서 GNSS 안테나 중심까지의 전후 수평 거리
	Y (좌우)	mm	1162	하부체 중심에서 GNSS 안테나 중심까지의 좌우 수평 거리
	Z (높이)	mm	2725	지면에서 GNSS 안테나 중심까지의 수직 높이

<GNSS 안테나 중심 위치 계산>

기술적 · 경제적 성과

-게이트웨어 H/W 설계 1건

-게이트웨이 S/W 설계 1건

-특허출원 1건

건설기계의 가이던스용 웨어러블 디바이스 및 이를 이용한 작업 정보 표시 방법 (10-2015-0094981)

-논문출원 1건

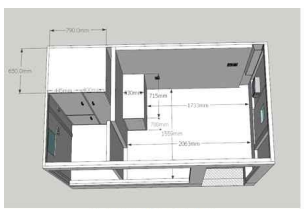
굴삭기의 버킷 끝단 위치인식에 관한 연구

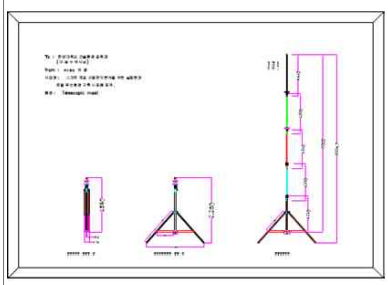
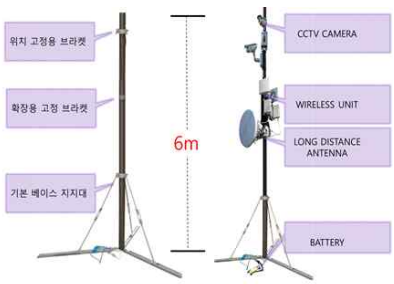
(Journal of Drive and Control, Vol.13)

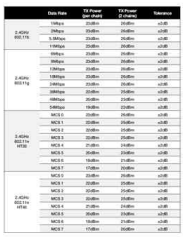
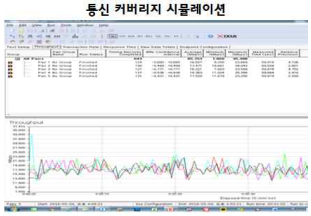
3. 3차년도 연구수행내용 및 성과

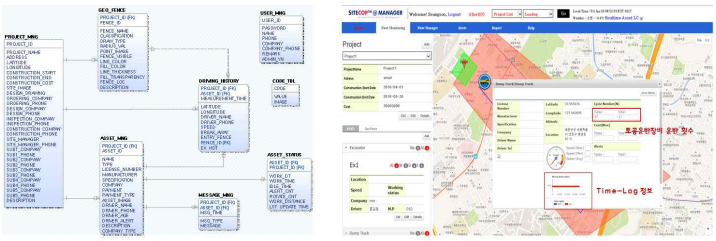
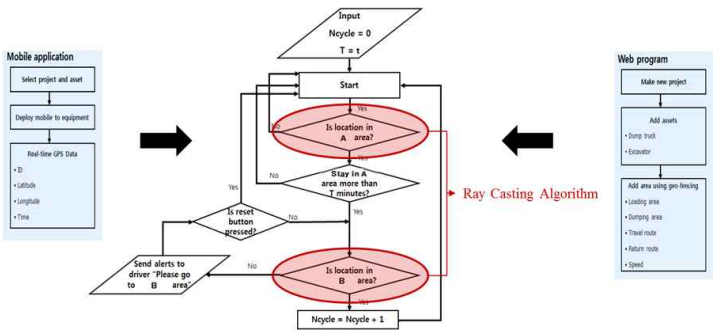
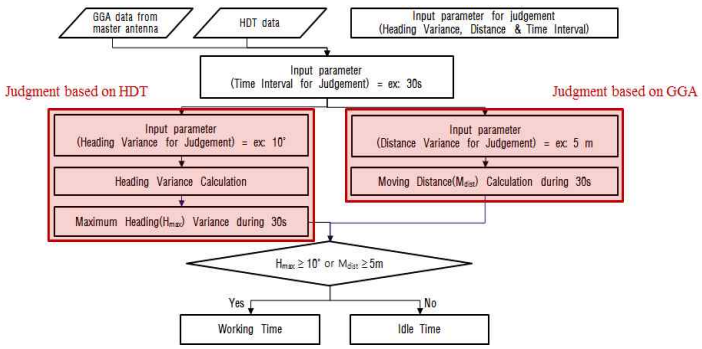
□ 1세부 - 건설장비 통합관제 기술 개발

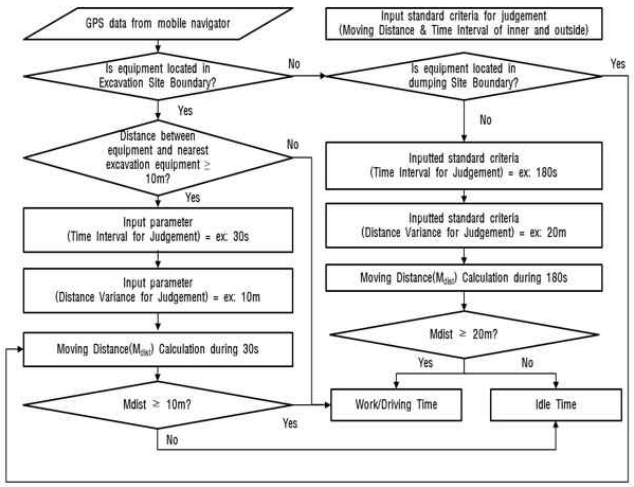
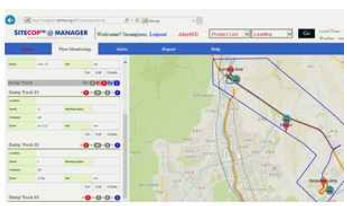
◎ 관제센터-건설장비 가이드 기술간 SW/HW 통합 구축 및 성능평가 (1-1세부 주관-한양대학교 산학협력단)

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 관제센터-건설장비 가이드 기술간 S/W, H/W 통합 구축	▪ 이동형 건설장비 통합관제센터 업그레이드 설계 ▪ 스마트 하이브리드 네트워크 장비 구성장치 및 휴대형 로컬 AP 세트 설계/제작 ▪ 로컬 넷 핸드오버 시스템 성능 테스트 ▪ 스마트 하이브리드 네트워크 시스템 실증 현장적용 테스트/구축	▪ 관제센터-장비의 중간 브릿지 역할 수행을 고려한 이동형 관제차량 설계 및 개발 -설계 중점 항목 →스마트 하이브리드 네크워크 구성을 위한 이동형 기지국 안테나 설치 →변위가 자유로운 벽면 부착형 비디오월 시스템 구축 →고성능 워크스테이션 및 고용량 발전기 탑재 →다수 인원의 모니터링이 가능한 측면 개폐형 윙 개조 →스캐닝 시스템, 측량 시스템, 드론 등을 탑재 가능한 스토리지 공간 확보  관제 차량 내부 설계 내용  관제 차량 외부 설계 내용  관제 차량 내부 구축 내용  관제 차량 외부 구축 내용 <이동형 관제차량 설계 및 개발 내용>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 관제센터-건설장비 가이드 기술간 S/W, H/W 통합 구축	▪ 이동형 건설장비 통합관제센터 업그레이드 설계 ▪ 스마트 하이브리드 네트워크 장비 구성장치 및 휴대형 로컬 AP 세트 설계/제작 ▪ 로컬넷 핸드오버 시스템 성능 테스트 ▪ 스마트 하이브리드 네트워크 시스템 실증 현장적용 테스트/구축	▪ 스마트 하이브리드 네트워크 구성요소 및 이동형 통합 AP세트 설계/제작 -스마트 하이브리드 네트워크 구축을 위한 구성요소 →공인망 활용을 위한 VPN 라우터 →통합 관제 서버 설치 (Static IP) →CCTV NVR 서버 설치 (Static IP) →핸드오버형 무선 송신기 →로컬 Access Point (무선 수신기) -휴대형 AP 세트 설계 및 구축 →카본 프레임 및 변위 1m~6m (초경량: 2.5kg) →태양열 전지 기반 전력 공급 →무지향성, 지향성 듀얼 안테나 →듀얼밴드 AP (2.4Ghz, 5.0 Ghz)  로컬 AP세트 개발 설계 사항  로컬 AP세트 구성요소 및 설치사진 <이동형 관제차량 설계 및 개발 내용> ▪ 로컬 네트워크 핸드오버 시스템 성능 테스트 (삼송부지) -테스트용 장비 Client: DX-140W -장비에 설치된 NMEA 데이터 송신용 Client AP (무선송신기)가 현장에 설치된 수신용 AP 중 가장 신호강도가 양호한 점과의 통신 유무를 확인하고 핸드오버 개발기술로 인한 접속 딜레이 타임을 평가함. -현장 설치 AP: 2세트, 핸드오버 임베디드 -실험 결과: 핸드오버 시스템이 장착되지 않은 경우 최대 8초간의 통신 음영시간이 발생됨. 핸드오버 시스템의 장착 경우 하단의 그림과 같이 통신 음영시간이 발생되지 않음.

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 관제센터-건설장비 가이드 기술간 S/W, H/W 통합 구축	▪ 이동형 건설장비 통합관제센터 업그레이드 설계 ▪ 스마트 하이브리드 네트워크 장비 구성장치 및 휴대형 로컬 AP 세트 설계/제작 ▪ 로컬넷 핸드오버 시스템 성능 테스트 ▪ 스마트 하이브리드 네트워크 시스템 실증 현장적용 테스트/구축	 개략 AP 설치위치 선정 및 설치   무선 AP 출력 값 분석  통신 커버리지 시뮬레이션  현장 무선 출력 값 분석  주파수 간섭 시뮬레이션  AP와의 거리에 따른 신호강도 분석 <스마트하이브리드 네트워크 구축 및 성능평가(남양주 별내동 현장 적용)>
Web-GIS기반 토공프로젝트 통합 성능관리 소프트웨어 개발	▪ 시스템 ERD 보완 및 모듈 업그레이드 ▪ 토공운반장비 운반횟수 자동화 산정 알고리즘 설계를 통한 모듈 구축 ▪ 토공굴착장비 생산성 분석 알고리즘 설계 및 구축	▪ 시스템 추가기능 개선 및 ERD 작성 -시스템 추가기능 →Performance Dash Board: 개별 장비의 기본정보, 이동속도, 생산성, 누적 작업비용, 이동거리, 작업횟수, 경고내용 등 정보연계 창 구성 →장비 유형별 정보 집계 및 제공: 장비 종류(굴삭기, 도저, 그레이더, 롤러, 덤프 등)별 작업성과 및 내용 집계 →GIS 맵 연동 장비 이모티콘 성능 개선: 장비 정보연계, 방향각 인식 및 동기화, 지도의 스케일에 따른 LOD 시각화 →사용자 모니터링 지역 날씨 및 정보 Parsing →장비 생산성 및 덤프 운반횟수 자동화 카운트 알고리즘 설계 및 구축

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
Web-GIS기반 토공프로젝트 통합 성능관리 소프트웨어 개발	▪ 토공 운반장비 생산성 분석 알고리즘 설계 및 구축 ▪ 현장 실증테스트 (남양주 별내 지하차도) ▪ 현장 실증테스트 (고양시 삼송동 도시계획정비 사업)	-시스템 개선을 위한 ERD 작성 및 인터페이스 개발  <Web-GIS기반 토공장비 관제프로그램 개선사항> ▪ 토공 운반장비 운반횟수 산정 알고리즘 설계를 통한 모듈화 -시스템에 입력된 작업영역정보(사토장, 토취장)와 장비 위치 정보를 활용한 알고리즘 설계 →폴리곤 영역의 입출입 판단을 위한 레이캐스팅 알고리즘 응용 →각 영역의 출입판단과 작업시간분석을 통한 신뢰적 운반횟수 카운트  <토공 운반장비 운반횟수 카운트 알고리즘 설계> ▪ 토공 굴착장비 생산성 분석 알고리즘 설계를 통한 모듈화 -토공 굴착장비(굴삭기, 그레이더, 도저, 롤러 등)를 대상으로 작업 휴리스틱스를 분석하여 Working time과 Idle time을 산출하는 알고리즘 설계 -토공 굴착장비의 수신데이터(위치데이터 및 방향각)를 활용하여 일정 시간동안의 변위를 분석하여 생산성 분석  <토공굴착장비 생산성 분석 알고리즘 설계>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
Web-GIS기반 토공프로젝트 통합 성능관리 소프트웨어 개발	▪ 토공 운반장비 생산성 분석 알고리즘 설계 및 구축 ▪ 현장 실증테스트 (남양주 별내 지하차도) ▪ 현장 실증테스트 (고양시 삼송동 도시계획 정비 사업)	▪ 토공 운반장비 생산성 분석 알고리즘 설계를 통한 모듈화 -토공 운반장비에 설치되는 모바일 기반 네비게이터로부터 위치 정보를 수신받아 단위시간동안의 이동거리, 각 작업구역 내에서의 굴착장비 주변의 위치여부와 정차여부를 판단하여 Working time과 Idle time을 자동으로 분석 -레이캐스팅 알고리즘을 활용하여 토공굴착장비 주변에의 위치여부를 판단하고 해당 정차시간은 working time으로 구분되도록 설계  <토공 운반장비 생산성 분석 알고리즘 설계> ▪ Web-GIS기반 관제 프로그램의 현장 실증적용 테스트 수행 -경기도 남양주시 별내동 지하차도 공사현장 →스마트 하이브리드 네트워크가 구축되어 복공지역의 통신 조건이 양호 →총 3대의 덤프트럭 투입, 굴삭기 1대 작업 →분석 목표: 덤프트럭 운반횟수 신뢰도 및 각 장비의 생산성 분석 정확도 →검증 방법: 덤프 운반일지를 통한 실 운반횟수와 시스템 분석내용 비교, 녹화내용 분석을 통한 Time-Log 분석내용과 시스템의 생산성 분석내용 비교 →운반횟수 분석 결과: 당일 총 7회 운반에 대한 100% 정확도 분석 →생산성 분석 결과: 굴착장비 정확도 89%, 덤프트럭 정확도 70% (중간 우연의 사건에 대한 분석 불확실성: 차년도 개선사유)  작업 현장 전경  Web-GIS 관제 프로그램 테스트 <현장 테스트 수행 장면>

<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td>Web-GIS기반
토공프로젝트
통합 성능관리
소프트웨어 개발</td><td>▪ 토공 운반장비 생산성 분석 알고리즘 설계 및 구축

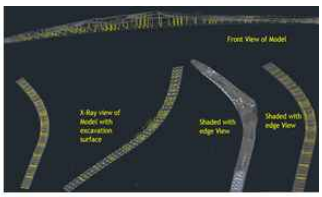
▪ 현장 실증테스트 (남양주 별내 지하차도)

▪ 현장 실증테스트 (고양시 삼송동 도시계획 정비 사업)</td><td>-경기도 고양시 삼송 도시계획시설 사업 정비공사
→총 네 대의 덤프트럭 투입, 굴삭기 1대 투입
→분석 목표: 덤프트럭 운반횟수 신뢰도
→검증 방법: 덤프 운반일지를 통한 실 운반횟수와 시스템 분석내용 비교
→운반횟수 분석 결과: 당일 총 18회 운반에 대한 1회 오류 발생 (영역 밖에서의 작업 이벤트가 발생함: 충분한 영역 Geo-fence 작성)

 
작업 현장 전경
 
Web-GIS 관제 프로그램 테스트

<현장 테스트 수행 장면></td></tr>
<tr><td>머신가이던스
연계용 Flexible
Earthwork BIM
설계/관리
소프트웨어 개발</td><td>▪ 토공 BIM 모델 분절 모듈 개발 및 실증설계 수행

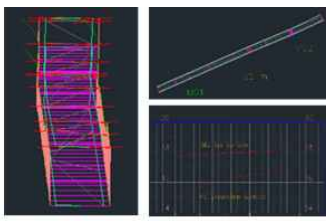
▪ 파라메트릭 기반 토공 BIM 표준단면 설계용 컨텐츠 라이브러리 구축 및 테스트</td><td>▪ 토공 BIM 모델 분절 모듈 개발 내용 실증 현장적용 테스트 수행
-경기도 남양주시 별내동 지하차도 공사
→토로 토공 설계에 적합한 선형기반 토공 BIM 설계 기법 적용
→작업이 진행되면서 여분의 작업토량을 계산하여 진도계획에 따른 재시공계획을 수립하는데 응용됨

 
작업 현장 전경
 

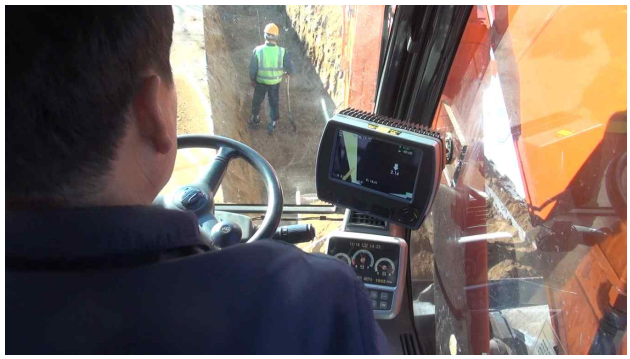
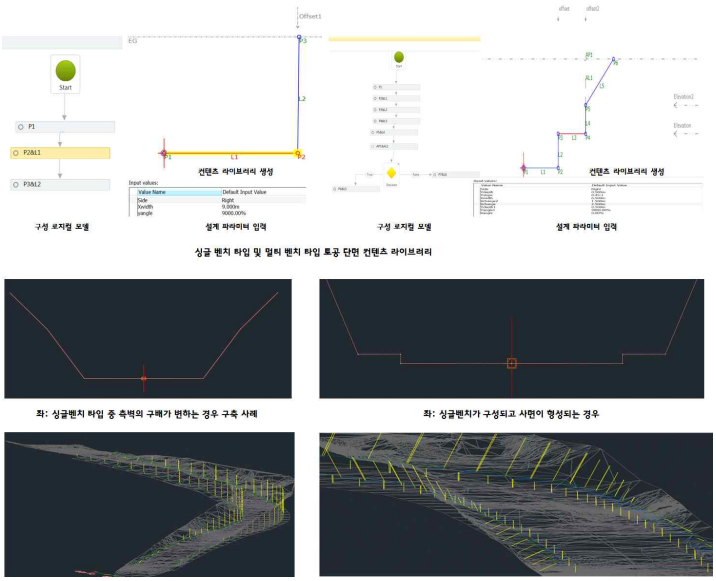
진도별 BIM 모델 업데이트

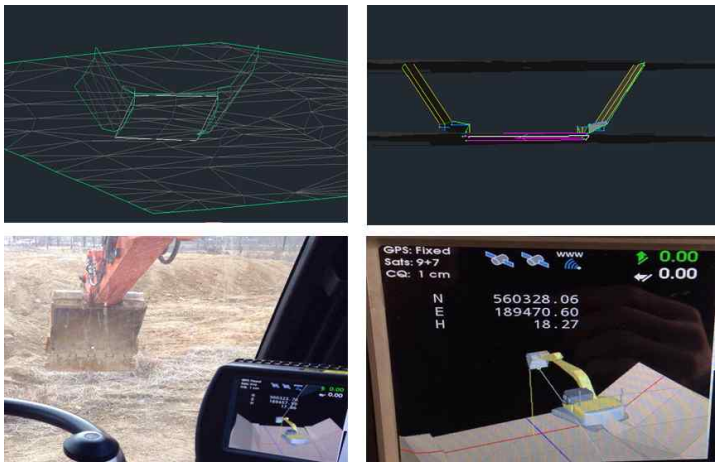
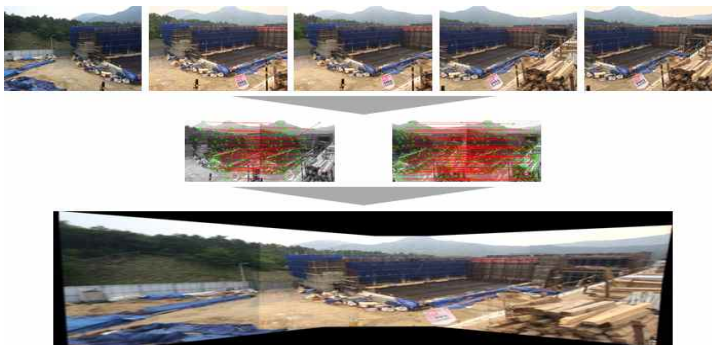
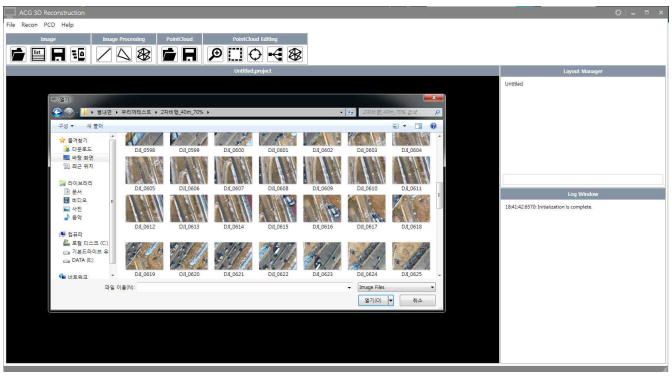
<토공 BIM 설계 적용 (별내동 지하차도 공사)>

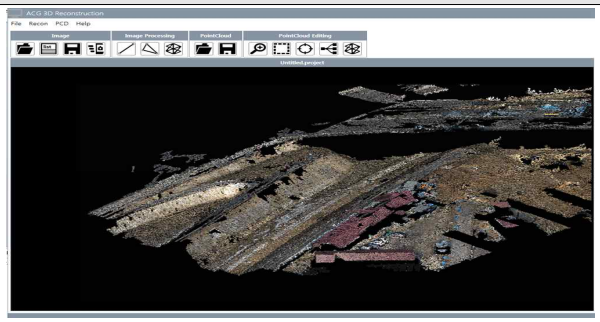
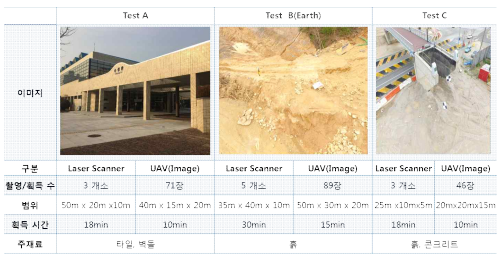
-경기도 고양시 삼송 도시계획시설 사업 정비공사 (BIM모델 활용 머신가이던스 적용 테스트)
→관거 공사에 적합한 선형기반 토공 BIM 설계 기법 적용
→설계된 BIM 모델을 머신가이드 기술에 적용 하여 본 연구단 기술의 실증효과를 분석하였음

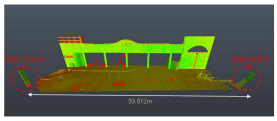
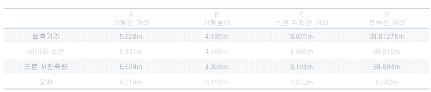
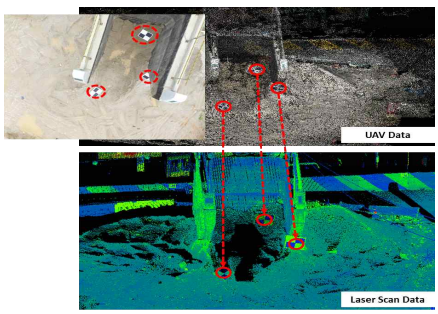
 
작업 현장 전경
 
관거공사 토공 BIM 모델 작성

<토공 BIM 설계 적용 (삼송동 관거 설치 공사)></td></tr>
</table>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
머신가이던스 연계용 Flexible Earthwork BIM 설계/관리 소프트웨어 개발	▪ 토공 BIM 모델 분절 모듈 개발 및 실증설계 수행 ▪ 파라메트릭 기반 토공 BIM 표준단면 설계용 컨텐츠 라이브러리 구축 및 테스트	→설계 BIM 모델의 머신가이던스 적용 실증 테스트 수행 →분석방법: 약 1km구간은 전통적 방식의 공사방법 수행 및 생산성 분석 수행 m/day, 약 500m 구간은 머신가이드 기술 적용을 통한 생산성 분석 수행 →분석결과: 과굴착 방지로 인한 재시공 오류가 없고 측량 작업이 필요 없어 시공시간 약 27% 단축. 작업품질 ±3cm 만족  <연구단 토공 BIM이 적용된 머신가이드 현장 실증테스트 (삼송동 관거 설치 공사)> ▪ 다양한 토공 유형에 대응하기 위한 파라메트릭 기반 토공설계 표준단면 구성요소 DB 구축 -Sub-assembly composer를 활용하여 다양한 유형의 토공(싱글벤치컷, 다단벤치컷, 오픈컷, 흙막이 공, 경사공 등)에 유연하게 대응할 수 있는 단면설계 컨텐츠 라이브러리 구축 -구축 순서: 설계유형 분석- 노드 및 연결선 생성-로직 구성 -DB- 설계변수입력-적용 -현장 적용 테스트 →경기도 남양주시 별내동 지하차도 공사에 개발내용을 적용하여 BIM 모델구축을 수행 →기존대비 BIM 모델 구축시간 약 30% 단축  <컨텐츠 라이브러리를 활용한 BIM 모델 작성>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
머신가이던스 연계용 Flexible Earthwork BIM 설계/관리 소프트웨어 개발	▪ 토공 BIM 모델 분절 모듈 개발 및 실증설계 수행 ▪ 파라메트릭 기반 토공 BIM 표준단면 설계용 컨텐츠 라이브러리 구축 및 테스트	→컨텐츠 라이브러리를 활용한 BIM 모델의 머신가이던스 연계 테스트 수행 및 호환에 문제가 없음을 확인  <컨텐츠 라이브러리를 활용한 BIM 모델의 머신가이드 기술과의 호환성 테스트>
관제용 글로벌 맵 정보 취득 시스템 개발	▪ 공중 이동형 이미지 센싱 플랫폼 기반 영상 정보 추출 및 생성 결과물 가시화 기술 구현	 <글로벌 맵 형성 결과>  ▪ 획득 영상 다중 이미지 불러오기 ▪ 이미지 리스트 불러오기 ▪ 카메라 라이브러리 저장 및 카메라 정보 연동 기술

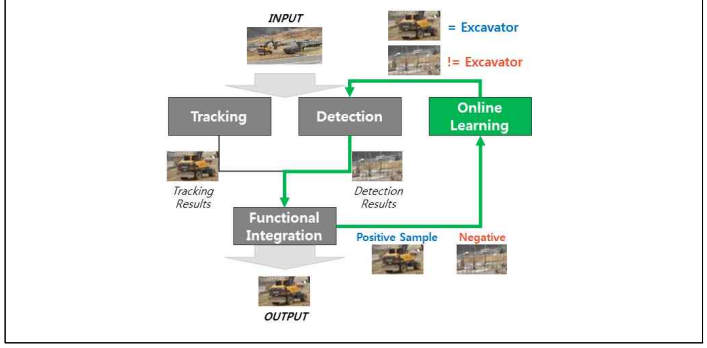
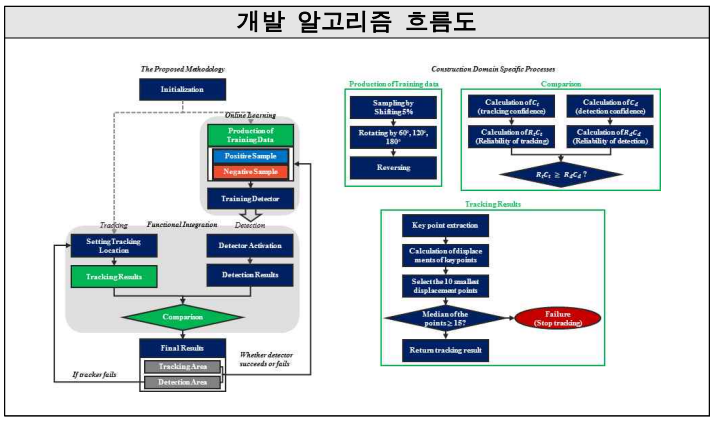
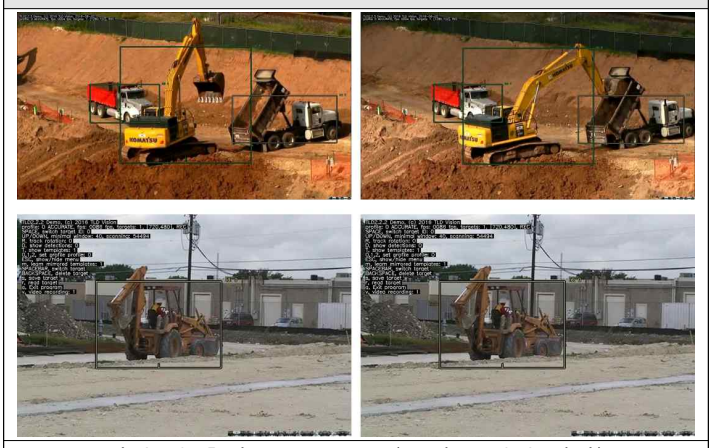
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
관제용 글로벌 맵 정보 취득 시스템 개발	▪ 공중 이동형 이미지 센싱 플랫폼 기반 영상 정보 추출 및 생성 결과물 가시화 기술 구현	 ▪ 3차원 포인트 클라우드 가시화 ▪ 포인트 클라우드 데이터 핸들을 위한 확대/축소, 이동, 회전 등 기능 구현(VTK, PCL library 기반) ▪ X,Y,Z,R,G,B값 표시 가능한 포맷 지원(ply,pts,xyz,obj,txt)
	▪ 3차원 포인트 클라우드 데이터 생성 기술 구현	▪ Keypoint 추출 및 매칭, 카메라 위치추적 기술 구현 ▪ 2차원 이미지 기반 추출된 데이터 기반 3차원 포인트 클라우드 생성 ▪ Sparse Reconstruction 기반 이미지 /카메라별 생성된 포인트 클라우드 가시화 ▪ Clustering/ Dense Reconstruction 기술 구현
	▪ 3차원 포인트 클라우드 좌표 정보, 좌표 변환, 데이터 에디팅 기술 구현	▪ 3차원 포인트 클라우드 좌표 정보(x,y,z,Nx,Ny,Nz,R,G,B값 가시화),좌표 변환(기준 데이터, 변환 데이터 설정 및 좌표 이동/회전 등 변환), 데이터 에디팅(데이터 부분 선택 및 분할/삭제) 기술 소프트웨어 기능 단위로 구현
	▪ 관제용 글로벌 맵 정보 취득 시스템 Test	▪ 토공사 현장, 건물 대상, 가건물 대상으로 Test 진행 ▪ 레이저 스캔 데이터와 비교를 통하여 오차 확인  ▪ 다중 이미지 기반 포인트 클라우드를 생성하고, 생성된 데이터를 레이저 스캔 데이터를 기준으로 좌표 변환 및 스케일 변환 후 추가적으로 포인트 매칭을 통한 좌표변환 과정을 추가적으로 진행 ▪ 실측 치수와 비교하여 오차검증을 실시하고, 생성데이터와 레이져 스캔 데이터 오버레이 후 tie-point 매칭을 통한 정확도 검증 실시

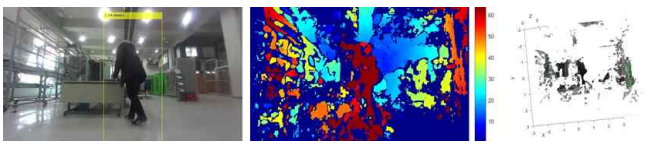
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
관제용 글로벌 맵 정보 취득 시스템 개발	▪ 관제용 글로벌 맵 정보 취득 시스템 Test	▪ 1차적으로 실측 치수와 데이터 치수 간의 정확도 검증실시   ▪ 기둥간 거리, 기둥높이, 스캔위치간 거리, 기준표석간 거리에 대한 오차 검증 ▪ 기둥간 거리의 경우 20cm, 높이는 11cm, 표석간 거리 8cm의 오차 발생  ▪ 2차적으로 매칭 포인트 기법을 통하여 좌표 및 스케일 변환 과정을 추가한 후 Tie-point 매칭을 통한 검증 실시 ▪ 생성된 포인트 클라우드 기반 1차 좌표변환만 한 경우와 추가적으로 포인트 매칭 변환까지 한 두 가지 경우의 결과 값 레이져 스캔 데이터와 비교 ▪ Tie-point 매칭을 통하여 동일한 포인트 간 매칭이 이루어지고 이후 데이터 간 거리를 측정하여 데이터 분포 및 오차를 확인 가능 ▪ 추가적인 포인트 매칭이 이루어진 경우 정확도가 증가(13mm 이하 분포 : +22.149%) ▪ 노이즈 값 제거에 따라 정확도 증가 ▪ 다양한 대상물 대상 실험 

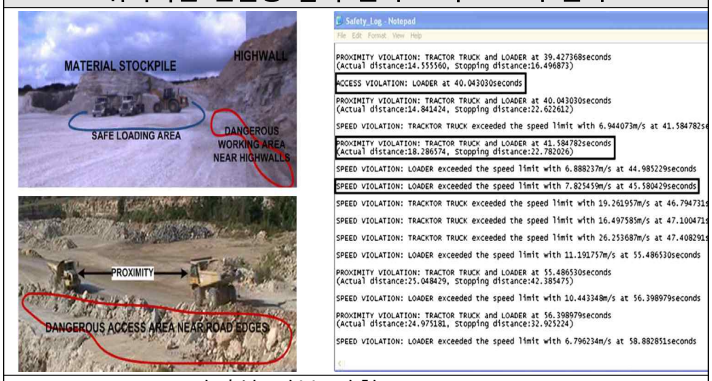
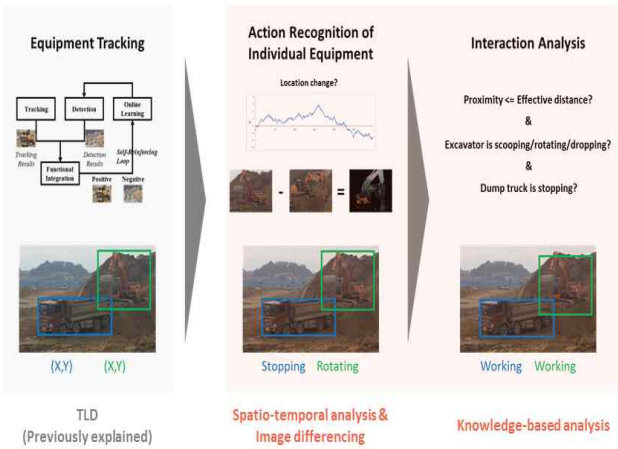
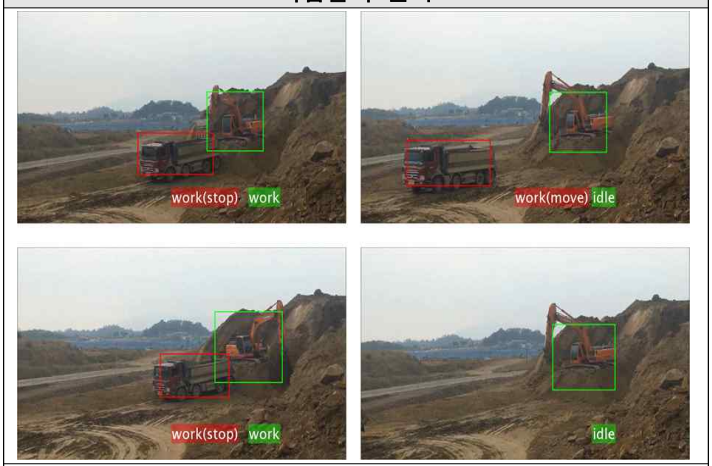
<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td>IoT 기반 지상
고정형 센싱
데이터 취득
솔루션 개발</td><td>▪ 토공현장 환경 정보 취득 솔루션 개발</td><td>▪ 데이터 취득 센싱노드(계측/통신)개발
-토공현장의 환경 정보 계측을 위한 계측 보드 개발
-토공현장의 환경 정보 수집/전송을 위한 통신 보드 개발
 

<데이터 취득 센싱노드>
<table><tr><th>거리</th><th>송신데이터</th><th>수신데이터</th><th>수신율</th></tr><tr><td>50m</td><td>600</td><td>600</td><td>100.00%</td></tr><tr><td>100m</td><td>600</td><td>600</td><td>100.00%</td></tr><tr><td>150m</td><td>600</td><td>595</td><td>99.17%</td></tr><tr><td>200m</td><td>600</td><td>584</td><td>97.33%</td></tr><tr><td>250m</td><td>600</td><td>572</td><td>95.33%</td></tr><tr><td>300m</td><td>600</td><td>558</td><td>93.00%</td></tr><tr><td>350m</td><td>600</td><td>534</td><td>89.00%</td></tr></table>
<무선 통신 거리 테스트 결과>
▪ 센싱노드 함체 개발
-토공현장에 적용 가능한 센서노드 함체 설계 및 개발
▪ 이동형 이기종 게이트웨이 개발
-근거리통신모듈과 LTE통신모듈을 적용한 이동형 이기종 게이트웨이 개발</td></tr>
<tr><td>상황인식정보
자동분석 시스템
시제품 개발</td><td>▪ 알고리즘 관련 문헌고찰을 통한 이론적 접근
▪ 알고리즘 개발 및 현장테스트를 통한 실험적 접근</td><td>▪ 영상 인식, 추적 알고리즘 문헌고찰
<table><tr><th>Unsupervised Learning</th></tr><tr><td>연속된 영상 프레임 간의 공통점과 차이점을 비교 · 분석하여 물체의 위치를 추정하는 방법</td></tr><tr><td>- 사전 학습(Learning) 작업이 필요 없음
- 임의의 물체 추적이 가능함
- 시공간 복잡도(Complexity)가 비교적 낮음</td></tr><tr><td>- 급격한 상황 변화(물체의 형태, 주변환경 등)에 예민함
- 한 번 물체를 잃어버리면 재추적이 어려움
- 다수의 물체를 추적하기 어려움</td></tr></table></td></tr>
</table>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
상황인식정보 자동분석 시스템 시제품 개발	▪ 알고리즘 관련 문헌고찰을 통한 이론적 접근 ▪ 알고리즘 개발 및 현장테스트를 통한 실험적 접근	<물체 인식 및 추적 알고리즘 문헌고찰 결과> **Supervised Learning** 사전에 학습된 인식기(Detector)를 활용하여 각 영상 프레임에서 독립적으로 물체를 인식하여 추적하는 방법 - 변화하는 상황에도 지속적인 추적이 가능 - 활발히 움직이는 물체를 추적하기 용이 - 다수의 물체를 추적하기 용이 - DB에 포함되지 않은 상황이 발생할 경우 추적이 어려움 - 모든 상황을 고려한 DB 구축과 학습이 어려움 ▪ 건설현장 특성 분석 및 문제점 도출: 일반화할 수 없는 다양성 및 복잡성 **환경 요인** **(Environmental characteristics)**  - 다양한 배경(토공, 하늘, 자재 등) - 서로 다른 유형의 장비가 투입 **자원 요인**   - 다양한 유형의 장비가 존재 - 동일 물체의 다양한 특성(형태, 색상 등) <건설현장 특성> ▪ 영상분석 기반 생산성 및 안전성 관련 정보 파악 -생산성 정보: 작업자 및 장비 유형, 작업시간/유무 -안전성 정보: 위험상황 인지 및 판단을 위한 물체의 위치, 속도, 거리, 작업상태(유휴, 이동, 작업 등)

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
상황인식정보 자동분석 시스템 시제품 개발	▪ 알고리즘 관련 문헌고찰을 통한 이론적 접근 ▪ 알고리즘 개발 및 현장테스트를 통한 실험적 접근	▪ 토공현장에서 촬영된 영상정보에 대해 작업자/중장비 인식 및 추적 알고리즘 개발 및 현장테스트 -건설현장 특성(외형, 움직임 등)을 반영한 물체 인식 및 추적 알고리즘 개발 -실시간 DB 구축 및 학습을 통한 현장맞춤형 인식 및 추적이 가능 **개발 알고리즘 개념도**  <온라인 학습 기반 인식 및 추적 알고리즘> **개발 알고리즘 흐름도**  <건설현장 특성을 반영한 작업자 및 중장비 추적 알고리즘> ▪ 실제 건설현장 테스트를 통해 개발된 알고리즘의 성능 검증 및 수정보완 **물체 인식 및 추적 결과**  인식 및 추적률 90 - 95% (물체 유형별 상이)

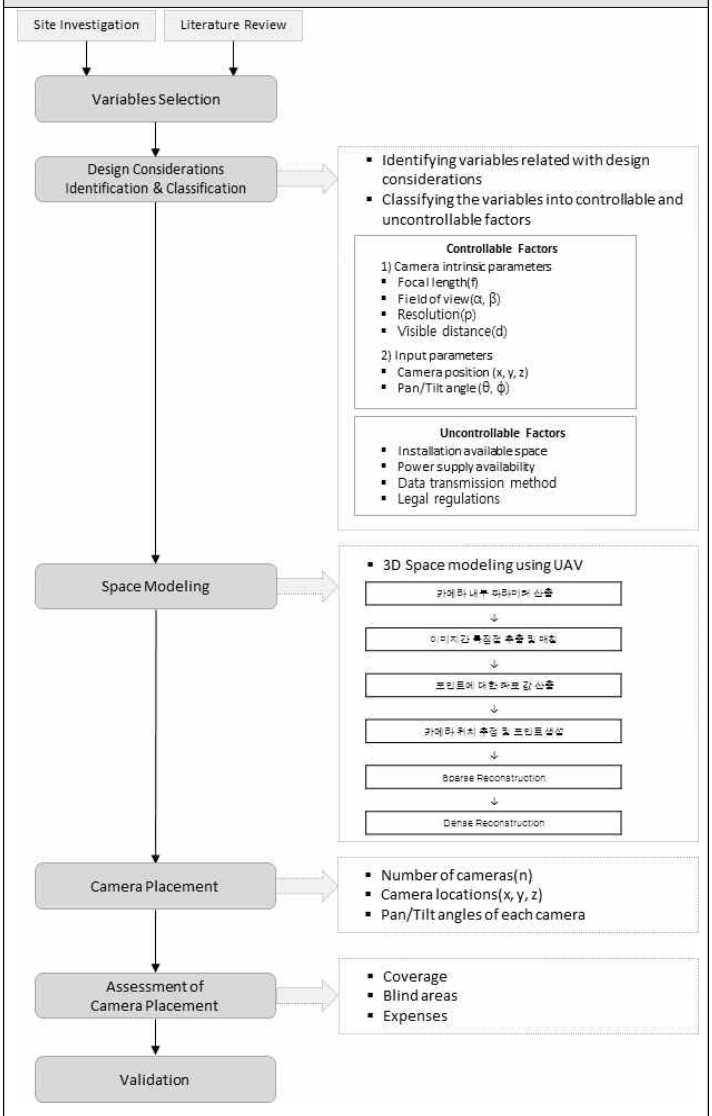
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
상황인식정보 자동분석 시스템 시제품 개발	▪ 알고리즘 관련 문헌고찰을 통한 이론적 접근 ▪ 알고리즘 개발 및 현장테스트를 통한 실험적 접근	실시간 DB 구축 및 학습 결과  처리속도: 30-70 fps (720 x 480; 1280 x 720 기준) <현장맞춤형 추적을 위한 실시간 DB 구축 및 학습 결과> ▪ 영상 좌표투영 알고리즘 문헌고찰 1. 두 영상간의 포인트 매칭을 통한 3차원 위치좌표 취득 두 개의 카메라로부터 얻은 영상간의 포인트 매칭을 통해 카메라간의 관계를 구하여 매치포인트의 포인트 클라우드를 얻는 방법 - 스테레오 영상이 아니어도 데이터 처리가 가능 - 카메라의 이동이 제한되지 않음. - 포인트 매칭 정도에 따라 포인트 클라우드의 결과물이 크게 달라짐. - 특징점 인식이 어려운 물체의 경우 포인트 클라우드 획득이 어려움. - 포인트 클라우드를 실제 크기에 맞추는 스케일링 과정이 필요 2. 스테레오카메라의 Disparity map을 통한 3차원 위치좌표 취득 2개의 독립된 카메라를 스테레오 카메라로 동작하도록 하여 얻은 Disparity map을 통해 Depth map을 얻고 영상의 포인트 클라우드를 얻는 방법 - 고밀도의 포인트 클라우드를 얻기 용이 - 스테레오 카메라가 아니어도 데이터 처리가 가능 - 포인트 클라우드를 실제 크기에 맞추는 스케일링 과정이 불필요 - 스테레오 캘리브레이션 과정이 필요 - 스테레오 캘리브레이션 과정을 거친 위치에서만 기능 - 카메라의 간격에 따라 Disparity map 결과가 달라짐. <좌표투영 알고리즘 문헌고찰 결과> ▪ 토공현장에서 촬영된 영상정보에 대해 위치 좌표투영 알고리즘 개발 및 현장테스트   <위치 좌표투영 결과>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
상황인식정보 자동분석 시스템 시제품 개발	▪ 알고리즘 관련 문헌고찰을 통한 이론적 접근 ▪ 알고리즘 개발 및 현장테스트를 통한 실험적 접근	▪ 토공현장 안전사고 예방 및 알림을 위한 위치기반 충돌 가능성/위험구역 출입 정보 분석 **위치기반 안전성 분석 결과 요약 보고서 결과**  안전성 정보 정확도: 95 - 98% <안전성 분석 결과 예시> ▪ 토공현장 건설장비의 작업분석 방법론 개발 및 현장테스트 **건설장비 작업분석 방법론 흐름도**  건설현장 특성(작업의 연속성, 상호작용 등)을 고려한 작업분석 방법론 **작업분석 결과**  작업상태 파악 정확도: 81 - 85% (물체 유형별 상이)

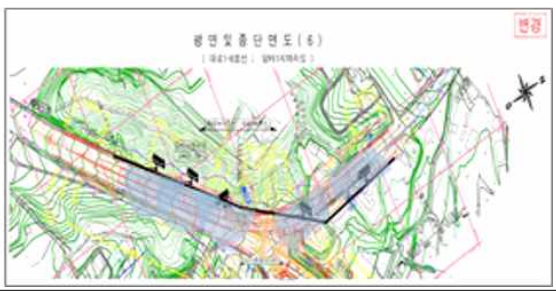
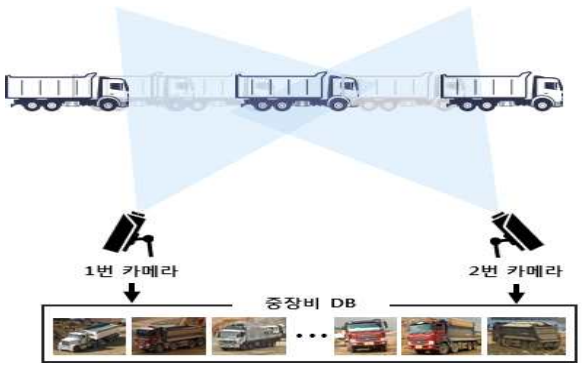
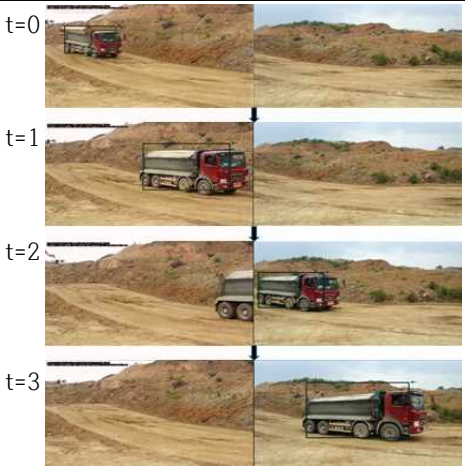
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
카메라 네트워크 최적화 시스템 시제품 개발	▪ 카메라 배치 관련 문헌고찰을 통한 이론적 접근 ▪ 알고리즘 개발 및 현장테스트를 통한 실험적 접근	▪ 가시성 최대화 알고리즘 문헌고찰 - 카메라 렌즈 선택: 실제 영상을 만들어 내는 역할은 렌즈가 수행하므로 현장 규모와 특성을 고려한 렌즈 선택이 요구됨 예시) 초점거리(f)=촬상소자의 크기(s) X 피사체와의 거리(d) / 피사체의 폭(w) 렌즈의 화각(α)=$2\tan^{-1}(w/2d)$ <초점거리에 따른 화각의 변화>

	렌즈 종류				
	어안 렌즈	광각 렌즈	표준 렌즈	망원 렌즈	초망원 렌즈
초점거리(f)	7~15㎜	15~38㎜	38~58㎜	70~200㎜	200㎜ 이상
화각	180°	60-80°	40-60°	40° 이하	

개발 알고리즘 개념도



건설현장 제약조건 및 카메라 관련 요인을 고려한
가시성 최대화 알고리즘

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
카메라 네트워크 최적화 시스템 시제품 개발	▪ 알고리즘 관련 문헌고찰을 통한 이론적 접근 ▪ 알고리즘 개발 및 현장테스트를 통한 실험적 접근	가시성 최대화 알고리즘 적용 결과 현장조사 / 문헌고찰 현장 특성 파악 및 카메라 관련 고려 요인 도출  관측범위(Coverage) 80 - 90% ▪ 카메라 핸드오프(Hand-off) 알고리즘 개발 및 현장테스트 -온라인 러닝 기반의 DB학습을 통해 동일 객체에 대한 핸드오프 알고리즘 개발 -실제 건설현장에서의 검증을 통해 카메라 간 핸드오프 알고리즘 성능 검증  <카메라 핸드오프(Hand-off) 알고리즘 개념도> DB공유를 이용한 카메라 핸드오프(Hand-off) 결과  처리속도: 30-70 fps (720 x 480; 1280 x 720 기준)

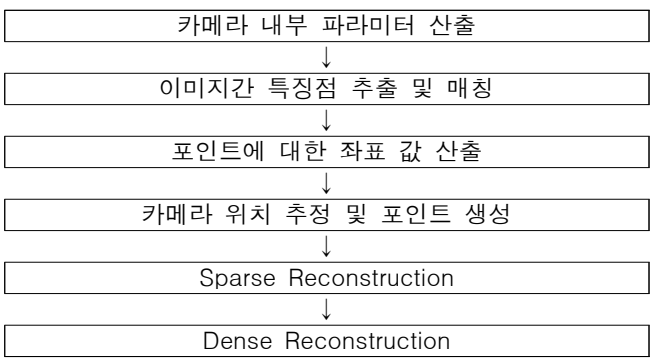
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
카메라 네트워크 최적화 시스템 시제품 개발	▪ 알고리즘 관련 문헌고찰을 통한 이론적 접근 ▪ 알고리즘 개발 및 현장테스트를 통한 실험적 접근	▪ 글로벌 맵(Global Map) 형성 알고리즘 문헌고찰 -고정된 카메라에서 수집한 영상으로부터 SIFT 및 FAST 기반의 알고리즘을 이용한 글로벌 맵 형성

1. 고정 카메라를 이용한 글로벌 맵 형성 프로세스
고정된 서로 다른 카메라로부터 수집한 영상 이미지 간의 특징점을 추출하여 매칭 시켜 글로벌 맵을 얻는 방법
- 중소 규모의 현장에서 만족할 만한 처리속도와 정확성을 보임 - 카메라 위치 좌표와 내부 변수를 사전에 지정할 수 있어 정확도를 높일 수 있음
- 대규모 현장에서 서로 다른 카메라로부터 수집된 이미지로부터 글로벌 맵을 형성하기 위해서는 많은 수의 카메라 설치가 요구되어 비효율적임 - 가시성 최대화 알고리즘을 통해 산출한 카메라 수량으로 구축한 카메라 네트워크 환경에서 글로벌 맵을 형성하는 것은 각 기술 간 최종 목표와 상충됨

2. 드론을 이용한 글로벌 맵 형성 프로세스
드론을 이용하여 상공에서 촬영한 이미지들로부터 특징점을 추출하여 매칭 시켜 글로벌 맵을 얻는 방법
- 상공에서 촬영하여 사각지대의 발생을 최소화할 수 있음 - 카메라 네트워크의 최적 배치를 찾기 위한 목적으로 활용 가능함
- 글로벌 맵을 형성하는데 소요되는 시간이 크며, 정확도를 높이기 위해서는 지상기준점의 설치가 추가적으로 요구됨

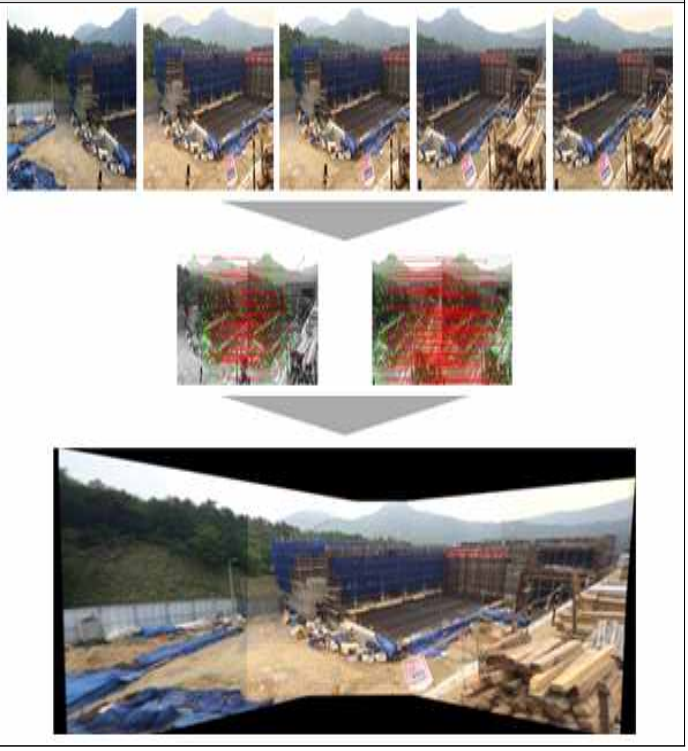
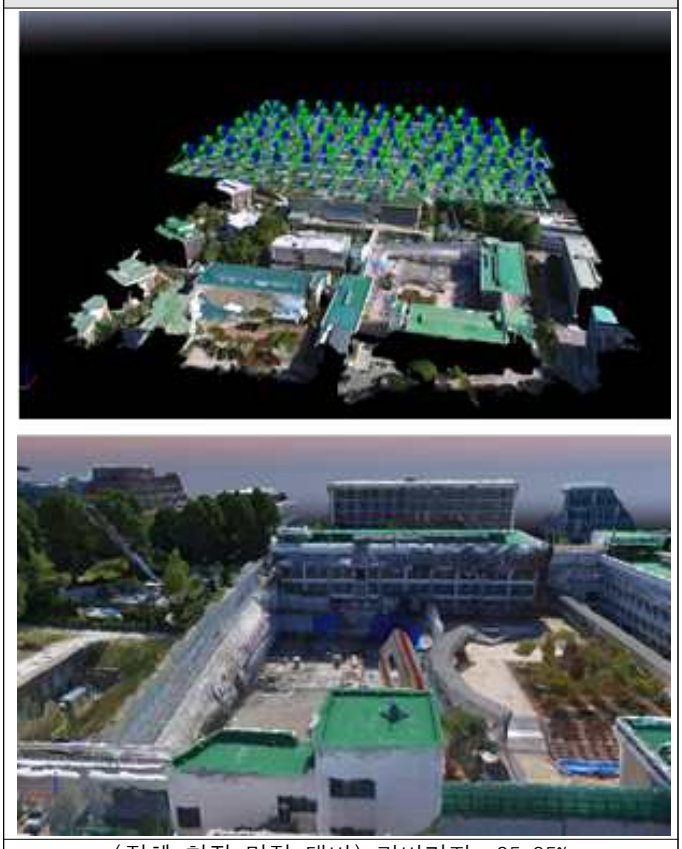
<글로벌 맵 형성 방법 문헌고찰 결과>

글로벌 맵 형성 프로세스



<드론을 이용한 글로벌 맵 형성 프로세스>

▪ 글로벌 맵(Global Map) 알고리즘 개발 및 현장테스트
- 고정된 카메라를 이용한 글로벌 맵 형성 현장 테스트 결과

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
카메라 네트워크 최적화 시스템 시제품 개발	▪ 알고리즘 관련 문헌고찰을 통한 이론적 접근 ▪ 알고리즘 개발 및 현장테스트를 통한 실험적 접근	**글로벌 맵 형성 결과**  <고정 카메라를 이용한 글로벌 맵 형성 결과> -드론을 이용한 글로벌 맵 형성 현장 테스트 결과 **글로벌 맵 형성 결과**  (전체 현장 면적 대비) 커버리지: 85-95% <드론을 이용한 글로벌 맵 형성 결과>

<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td rowspan="2">플릿형 협업
알고리즘 제시</td><td></td><td>▪ 자원할당 알고리즘 제시

<table>
<tr><th>Process Variable</th><th>Variable Information</th><th>Equation</th></tr>
<tr><td>SD_m</td><td>Soil distribution amount(㎥)</td><td>$SD_m = \frac{ESD_j}{m \in EC_j}$</td></tr>
<tr><td>TL</td><td>Carrying capacity of truck(㎥)</td><td>$TL = \frac{TS}{TW} \times L$</td></tr>
<tr><td>LT_m</td><td>Loading time(min)</td><td>$LT_m = \frac{TL}{ES} \times EL_m$</td></tr>
<tr><td>RTC_n
$(n = 1,2...p)$</td><td>The number of round trip</td><td>$Equation2$</td></tr>
<tr><td>RTD_m</td><td>Round trip distance(m)</td><td>$RTD_m = RTC_n \times Dist_i \times 2$</td></tr>
<tr><td>RTT_m</td><td>Round trip time(min)</td><td>$RTT_m = \frac{RTD_m \div 1000}{TV_m \div 60} + (TD_m \times \lceil RTC_n \rceil)$</td></tr>
<tr><td>MU_m</td><td>Serviceability ratio(qty/min)</td><td>$MU_m = \frac{1}{LT_m}$</td></tr>
<tr><td>LAM_m</td><td>Arrival ratio(qty/min)</td><td>$LAM_m = \frac{\lfloor RTC_n \rfloor \times (m \in EC_j)}{RTT_m}$</td></tr>
<tr><td>QUE_m</td><td>Average waiting time(min)</td><td>$QUE_m = \frac{LAM_m}{M_m \times (M_m - LAM_m)}$</td></tr>
<tr><td>TT_m</td><td>Working time(min)</td><td>$TT_m = RTT_m + ((LT_m + QUE_m) \times \lfloor RTC_n \rfloor)$</td></tr>
<tr><td>HW_m</td><td>Work volume per hour(㎥/hr)</td><td>$HW_m = \frac{SD_m}{TT_m \div 60}$</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>▪ 클러스터(Cluster)별로 장비들을 할당하는 자원할당 알고리즘과 클러스터를 재할당하는 자원관리 알고리즘 제시</td><td>▪ 클러스터 구성
-현장속성으로 들어온 LimS(일 토공배분양)를 제한조건으로 하여 작업 순번들의 양의 합산값이 일 토공배분양 이하의 최소편차를 가질 때까지 그룹화하여 클러스터 형성

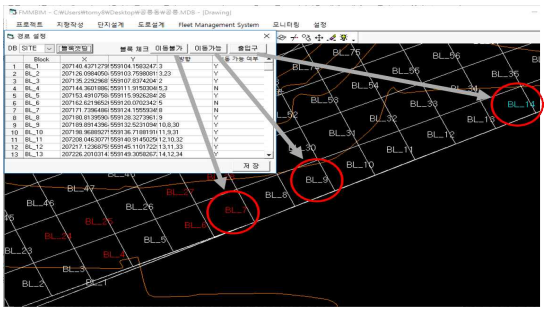
▪ 클러스터 내 덤프트럭 대수 산정
-LimT(일 작업시간)를 제한조건으로 선정

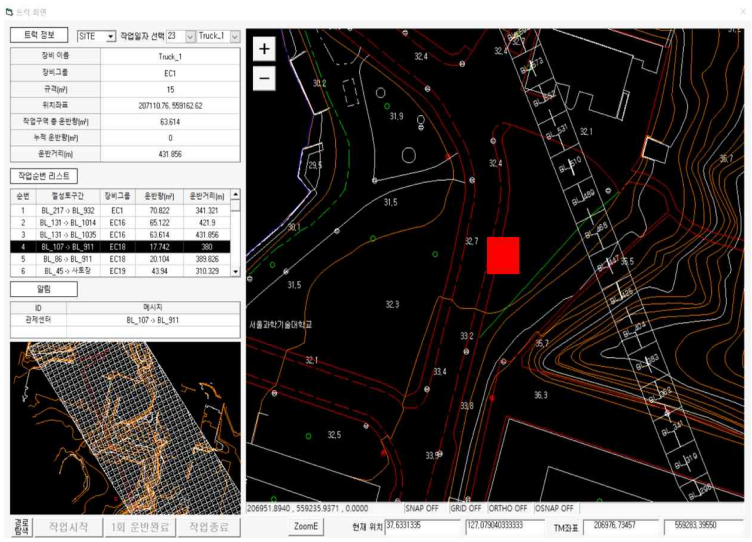
▪ 평균대기시간 산정
-자원할당 알고리즘에 반영된 변수 및 연산식들은 table의 내용과 같음
-이중 장비의 대기시간 산정에는 대기행렬의 (M/M/1):(FCFS/∞/∞) 모형에서 지수분포를 나타내는 서비스율(μ)과 포아송 분포를 나타내는 도착률(λ)로 연산 식을 착안하여 알고리즘에 반영

▪ 자원관리 알고리즘 제시

▪ 작업효율을 반영한 클러스터 간 장비 이동 구현

-각 작업 순번마다 클러스터의 효율을 비교하여 클러스터를 재구성
-각 클러스터의 첫 번째 작업이 끝난 시점을 최초로 시작하여 매 작업 순번마다 효율비교 진행
-클러스터별 시간당 평균작업량의 최대치와 최소치를 비교하여 자원관리 대상 선정</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td rowspan="2">플릿형 협업
시뮬레이터 개발</td><td>▪ 최적 토공운반 경로분석 알고리즘 구축을 위한 문헌조사 및 Case 확인 및 설문</td><td>▪ 문헌조사 및 토공 운반경로 결정 영향요소 검토
-GIS를 활용한 선행연구 조사
-토공 이동계획에 영향을 미치는 요소 조사
<table><tr><th>구분</th><th>요소</th></tr><tr><td>지형/지리적 요소</td><td>거리, 지형의 경사(시공성), 토공 운반 도로 건설비용, 장애물, 기존도로 이용, 토지임대비용</td></tr><tr><td>비지리/지형적 요소</td><td>소음, 진동, 분진으로 인한 민원</td></tr></table>▪ 사례현장 조사를 통한 연구의 방향성 검토
-ArcGIS의 네트워크 분석 툴 적용을 위한 현장부지 외부에 위치한 사토장을 대상으로 토공이동시 고려사항에 대한 조사
-중량제한 및 높이제한, 민원에 대한 DB의 필요성 확인</td></tr>
<tr><td>▪ 현장조건 및 건설장비 대수 변화에 따른 결과 산출능력 파악</td><td>▪ 시뮬레이터 개발
-실시간 현장정보 반영
현장 사이트 내 장비 이동과 관련된 정보의 실시간 반영을 위하여 각 셀의 이동경로 속성 입력기능 탑재
 
▪ 현장 작업자 의사결정 지원 화면 구현
-시뮬레이터는 크게 계획모듈과 실행 모듈로 구분할 수 있으며, 1)계획모듈에서는 토량분배 및 자원할당/관리가 이루어지고 2)실행 모듈 부분에서는 현장 토공 작업자(덤프트럭 운전자)의 의사결정을 지원할 수 있는 Path_Guidance 기능 지원
-토공장비의 실시간 위치추적 및 실제 이동경로 정보 저장을 위해 상용 GPS 모듈을 활용한 실시간 위치추적 기능 탑재
-GPS 좌표를 TM좌표로 실시간 변환하는 모듈을 개발(국토지리정보원 좌표계변환 표준 작업지침 참고)하였으며 국토지리정보원 좌표열람 정보를 통해 효용성 검증</td></tr>
</table>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
플릿형 협업 시뮬레이터 개발	▪ 현장조건 및 건설장비 대수 변화에 따른 결과 산출능력 파악	<table><tr><th>구분</th><th>내용</th></tr><tr><td>제품명</td><td>아센코리아 GPS620</td></tr><tr><td>프로토콜</td><td>NMEA 0183/PMTK 프로토콜</td></tr></table>  -Path_Guidance는 1)장비 일반정보, 2)해당 작업일의 작업 스케쥴, 3)전체현장의 key-map 표현, 4)해당 작업순서의 장비 경로 정보 지원 
	▪ 일반 작업 시와 멀티 협업 작업 시 탄소배출량 비교	▪ 탄소배출량 측정 -상용 탄소 측정 센서 활용 <table><tr><th>구분</th><th>내용</th></tr><tr><td>제품명</td><td>eSENSE™ Carbon dioxide transmitter</td></tr><tr><td>Measured gas</td><td>Carbon dioxide</td></tr><tr><td>Operating Principle</td><td>Non-dispersive infrared (NDIR)</td></tr></table>

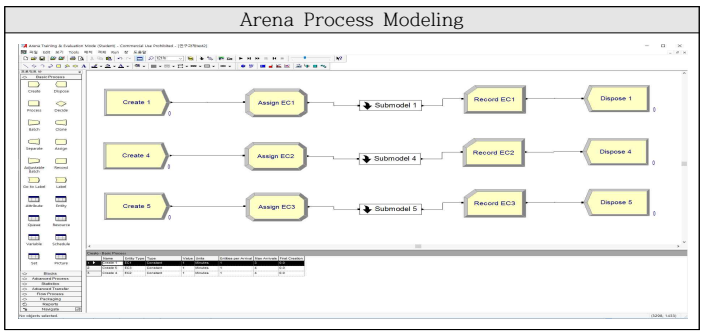
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
플릿형 작업계획 시뮬레이터 모듈 현장 test	▪ 시뮬레이션 툴 Arena ver.15 와의 비교를 통한 시뮬레이터 성능 검증 ▪ 케이스 적용 ▪ 플릿형 협업시 작업시간 측정	▪ 현장테스트 -현장 3곳을 대상으로 테스트 진행

Element	Case_1 attribute	Case_2 attribute	Case_3 attribute
Work cell	- Area of work cell : 10m × 10m - Amount of average soil distribution per cluster : 756.7㎥ - Amount of total soil distribution : 2270㎥ - Average distance between work cells : 4240.5m	- Area of work cell : 10m × 10m - Amount of average soil distribution per cluster : 720 ㎥ - Amount of total soil distribution : 2160㎥ - Average distance between work cells : 6803.9m	- Area of work cell : 10m × 10m - Amount of average soil distribution per cluster : 720 ㎥ - Amount of total soil distribution : 2160㎥ - Average distance between work cells : 5480.1m
Excavator	- Number of excavators : 3 - Excavator's spec : 1㎥ - Loading time once of excavator : Generate a random number with an average of 0.16min	- Number of excavators : 3 - Excavator's spec : 1㎥ - Loading time once of excavator : Generate a random number with an average of 0.17min	- Number of excavators : 3 - Excavator's spec : 1㎥ - Loading time once of excavator : Generate a random number with an average of 0.175min
Truck	- Number of trucks : 15 - Truck's capacity : 15ton - Truck's velocity : Generate a random number with an average of 20km/hr - Truck's dumping time : Generate a random number with an average of 0.5min - Unit weight : 1.8ton/㎥	- Number of trucks : 15 - Truck's capacity : 15ton - Truck's velocity : Generate a random number with an average of 35km/hr - Truck's dumping time : Generate a random number with an average of 0.5min - Unit weight : 1.7ton/㎥	- Number of trucks : 17 - Truck's capacity : 15ton - Truck's velocity : Generate a random number with an average of 25km/hr - Truck's dumping time : Generate a random number with an average of 0.4min - Unit weight : 1.7ton/㎥

▪ Arena version.15 와의 테스트 결과 비교

-기존 시뮬레이션 툴과 본 연구를 통해 개발된 플릿형 작업계획 시뮬레이터와의 결과 비교를 통해 클러스터 형성과 장비 할당의 적정성 확인

-자원할당 의 결과인 클러스터 별 작업소요시간의 비교

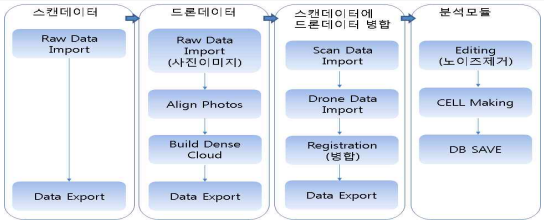
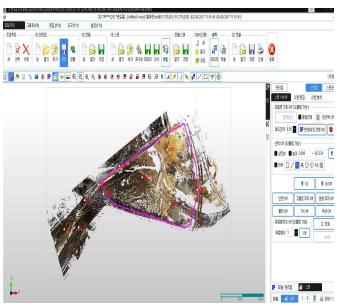
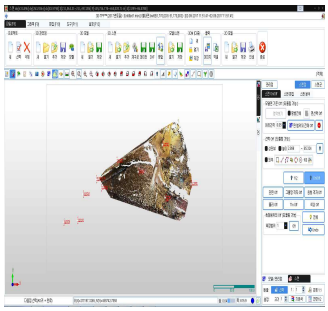


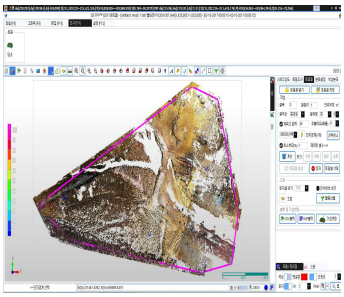
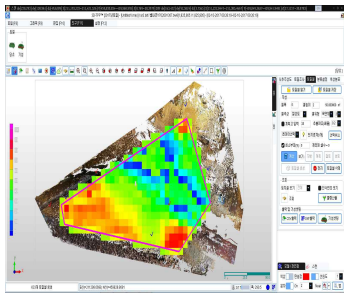
-Arena 툴에서 모델링한 모듈을 30회 반복수행하여 table의 내용과 같은 결과를 확인함.

-플릿형 작업계획 시뮬레이터에서 산출한 결과가 해당 범위 안에 속하였음을 확인함.

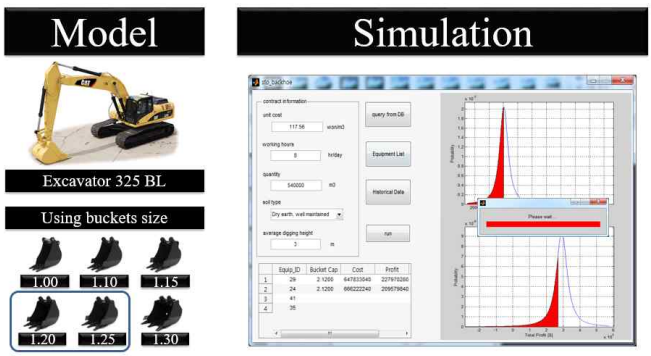
◎ 스마트스캐닝 시스템 최적화 및 현장 테스트 (1-3세부 공동-한국건설기술연구원)

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
스마트스캐닝 시스템 최적화 및 현장 테스트	▪ 3차원 지반지형 시스템 최적화 ▪ T/B적용 및 결과분석	▪ 스마트스캐닝 시스템 T/B적용 및 최적화 -넓은 개발지의 특성상 고전적인 측정 방법(줄자 등)을 통해 정확한 측정과 부피 측정은 매우 힘들며 광파기,GPS등을 이용하여도 제한된 측정점수로 인해 정확한 부피 값을 얻는 것은 매우 어려움. -기존의 측량방법과 달리 3차원 스캐너(3D Scanner, 지상 라이다)와 드론(고정익, 회전익)데이터를 이용하여 3차원 스캐너와 드론데이터의 병합 그리고 이러한 데이터를 활용한 지형변형에 따른 CELL 생성 등을 현장적용 및 최적화함. -3차원 작업을 이용한 측정은 현장 측정 단계와 후처리 단계로 나눌 수 있으며 현장 측정 단계는 현장 답사, 스캔 계획수립, 필요 시 타깃 부착, GCP 타깃 설치(드론용), 현장 측정, 데이터 백업 등의 프로세스가 포함됨. -후처리 단계는 현장 측정 단계에서 취득된 데이터를 전용의 후처리 소프트웨어를 이용하여 점군데이터 처리를 실시하는 단계로 Data import, Editing, Re-Sampling, 체적 연산등의 세부 프로세스로 구성됨. -현장 측정 단계에서는 3차원 스캐너를 이용 기존의 형상 측정 방법이 아닌 토목 작업자의 시점에서 기계후시라는 방법으로 측정을 실시함. 이 방법은 기존 측량기를 사용하는 작업자가 사용하기에 적합한 방법으로 측정 중 기계점 및 후시점의 오차(잘못된 기준)를 확인 할 수 있는 장점과 후처리 프로그램 에서 후처리가 필요 없다는 장점이 있음. -측정 시 GCP 타켓을 동시에 스캔하여 드론 측량으로 작업한 데이터와 레지스트레이션 할 때 기준점으로 활용하면 작업의 효율도 증대됨. -T/B실험은 3차원 스캐너(3D Scanner, 지상 라이다)와 드론(고정익, 회전익)데이터를 병합하고 지형변형에 따른 분석 Cell을 생성하여 통합관제에 활용하도록 지원하는데 목표를 두고 작업함. -2017년 02월 경기도 남양주시 별내면에 위치한 하천확장공사 부지를 대상으로 3차원 스캐너와 드론을 이용하여 현장측정 실험을 실시함. -현장에서 취득된 데이터는 후처리 과정을 통해 분석Cell을 제작하고 결과를 도출하게 됨. 후처리 과정은 스캔데이터의 후처리 과정과 드론데이터의 후처리 과정 그리고 이를 하나의 데이터로 병합하는 과정을 거치게 됨. 세부절차는 아래의 그림과 같음.

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
스마트스캐닝 시스템 최적화 및 현장 테스트	▪ 3차원 지반지형 시스템 최적화 ▪ T/B적용 및 결과분석	 <스캔-드론 데이터 병합 프로세스> ▪ 스캔데이터 처리 -Raw Data Import는 스캐너에서 취득된 원시 데이터를 후처리하기 위하여 전용의 소프트웨어를 이용하여 PC로 입력하는 단계임. 프로젝트 단위로 다수의 스캔 데이터를 입력하거나 개별 단위로 데이터를 입력받게 됨. Import에 소요되는 시간은 현장 스캔의 파라미터(사진촬영 유무, 스캔 밀도)에 따라 처리시간이 결정됨. ▪ 드론데이터 처리 -Raw Data Import는 드론에서 취득된 원시 데이터(사진이미지)를 후처리하기 위하여 전용의 소프트웨어를 이용하여 PC로 처리하는 단계임. -사진이미지를 정합하는 과정이며 현장에서 취득된 사진이미지를 하나로 합치는 과정임. 대상에 대한 완벽한 점군 데이터를 얻기 위해서는 이미지의 특징을 계산하여 진행하게 되는데 일반적인 드론데이터의 경우 최소한 70%이상의 사진 중복도 요구함. ▪ 스캔 및 드론데이터 병합 -3차원 스캔데이터에서 Export한 데이터를 개발 소프트웨어인 3D-TPP로 Import함. 이때 기준이 되는 스캔데이터는 2번(고정)데이터 형태로 Import함. -드론으로 촬영하고 PhotoScan으로 Export한 데이터를 3D-TPP로 Import함. 이때 변환 이동하게 되는 드론데이터는 1번(이동)데이터 형태로 Import함. ▪ 분석모듈 실행 -Editing은 정합이 완료된 점군데이터에 대해 실제 분석이 필요한 부분을 제외하고 불필요한 부분을 제거하는 과정임. Editing은 반드시 필요한 작업과정은 아니나 실제 분석 대상 이외의 데이터가 점군 데이터 내에 남아 있을 때 데이터의 크기가 커져 처리 속도에 영향을 미치며 체적을 측정하는 결과에도 영향을 미칠 수 있으므로 가능한 실제 대상을 제외한 나머지 점군은 editing을 통해 제거함.  <Editing 경계지정>  <Editing 완료>

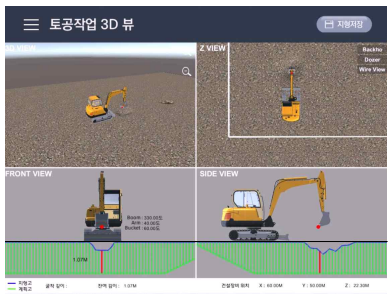
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
스마트스캐닝 시스템 최적화 및 현장 테스트	▪ 3차원 지반지형 시스템 최적화 ▪ T/B적용 및 결과분석	▪ 분석 Cell 생성은 노이즈를 제거한 데이터에 토질속성, 보링 주상도 등의 기본정보를 입력함. 영역을 지정하고 분석 Cell 생성 기능을 실행함. 계획면 대비 절성토 유형에 따라 분석 Cell의 색상을 통해 표현함.  <토질속성 부여>  <분석Cell 생성>

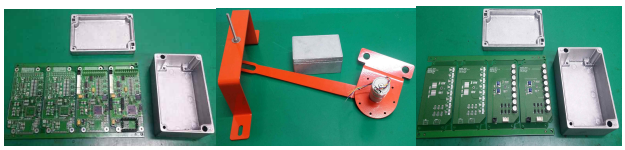
◎ 관제센터- 굴삭장비 대상 Eco-Operation 시스템 개발 (1-4세부 공동-경북대학교 산학협력단)

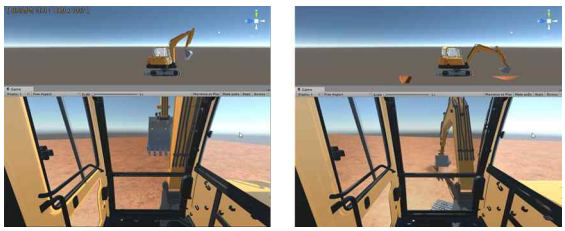
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
장비 에너지 효율 관리를 위한 Eco-Operation 시스템 개발	▪ Eco-Operation 시스템 개발	▪ 굴삭기를 대상으로 하는 Eco-Operation 시스템 개발  <굴삭기를 대상으로 하는 Eco-Operation 시스템> →굴삭기를 대상으로 하는 Eco-Operation 시스템은 다음의 4 가지 단계의 연산과정으로 구성됨. • 대상 현장의 굴삭작업에 투입할 수 있는 굴삭 장비와 버킷 정보, 현장의 토사종류 및 상태에 관한 특성정보를 DB에서 호출하고, 계약서에 명시된 작업 패키지에 관한 정보를 입력하여 대상 현장을 정의. • 목적함수를 규명하고 이를 연산하는 함수를 구현 • 모든 경우의 수 (작업 장치 최대길이 대비 버킷용량)를 중복 없이 반복수행 하여 목적함수가 최적이 되는 전역해를 규명 • 출력 데이터 분석을 수행한다.

□ 2세부 - 건설장비 가이드 기술 시스템화

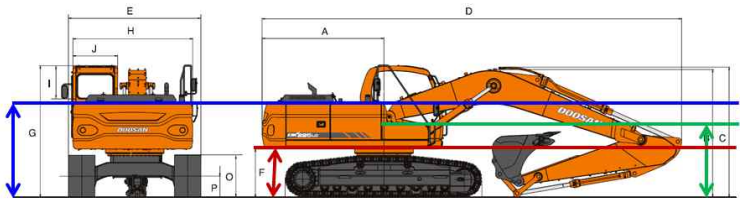
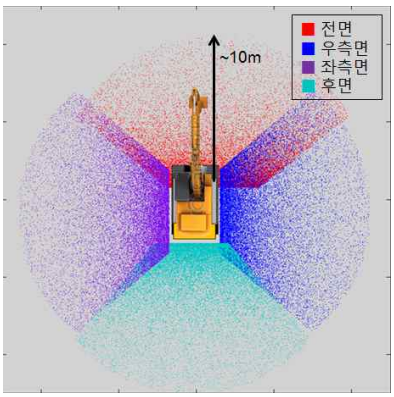
◎ 스마트 머신 가이던스 시스템 개발 (2-1세부 협동-부산대학교 산학협력단)

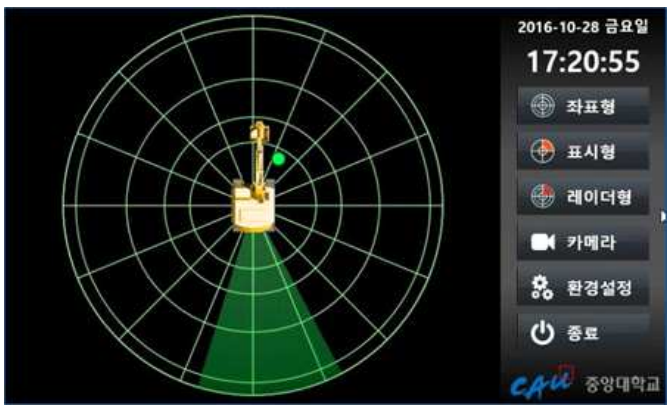
<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td rowspan="2">다기능 3D
토공 BIM
환경개발</td><td>굴삭기, 도저,
그레이더 등 다양한
건설장비를 위한 3D
토공 BIM 환경 개발</td><td rowspan="2">▪ 3D, X, Y, Z 단면에서 건설장비의 움직임을 3D 그래픽 공간에서 실시간으로 표현
▪ 건설장비 조종원이 필요로 하는 굴삭 깊이, 굴삭폭, 굴삭 경사 등 정보를 제공하여 토공작업의 생산성을 향상시킴
 

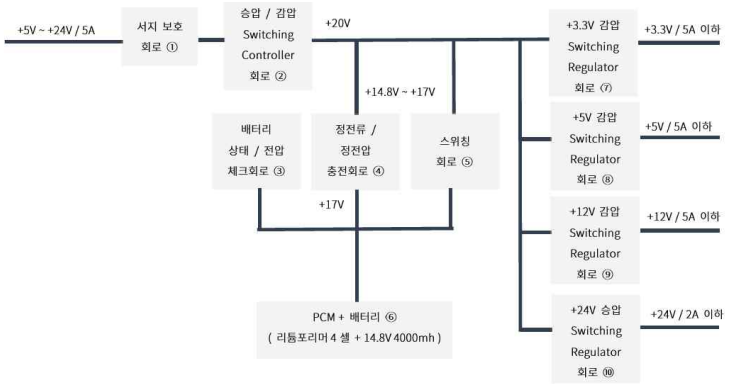
<3D 토공 BIM 화면></td></tr>
<tr><td>건설장비 간 연계 3D
그래픽 시뮬레이션
구현</td></tr>
<tr><td rowspan="3">다양한
건설장비의
형상을
인식하기
위한
다기능
건설장비
형상인식
센서모듈
개발</td><td>굴삭기, 도저,
그레이더 등 다양한
건설장비
모션인식센서 개발</td><td rowspan="3">▪ 초음파 센서모듈을 이용하여 유압실린더 축의 길이를 측정하여 도저와 모터 그레이더의 형상을 인식함
▪ 각도 포텐쇼미터 센서를 이용하여 모터 그레이더 블레이드의 회전 각도를 산정함
▪ 굴삭기 회전 에너지를 이용하여 발전할 수 있는 발전기구를 개발하여 센서모듈의 배터리를 충전함
 
a) IMU 센서 b) 초음파 센서 c) 각도 센서</td></tr>
<tr><td>모션인식 데이터
전송을 위한 송수신
모듈 개발</td></tr>
<tr><td>모션인식 데이터
처리를 위한
프로그램 모듈 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="3">RTK
건설장비
위치추적시
스템</td><td>건설장비 위치를
위한 거리센서 모듈
개발</td><td rowspan="3">▪ 거리측정센서를 이용하여 3개 지점의 비콘을 설치하고 이를 기준점으로 건설장비의 좌표값을 구함
▪ 거리측정을 위해서 kinematic 계산과 삼각측량계산 모델을 작성
▪ 현장에 설치한 상대좌표를 이용하여 장비 좌표값 계산
 
<건설장비 위치추적시스템 모듈></td></tr>
<tr><td>절대좌표와 상대좌표
변환 모듈 개발</td></tr>
<tr><td>위치추적 데이터
처리를 위한
프로그램 모듈 개발</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td rowspan="3">다기능
토공작업을
위한
건설장비
가이던스
시스템
사용자
환경 개발</td><td>굴삭기, 도저, 모터
그레이더 등 다양한
건설장비 운용에
필요한 다기능
메뉴체계 개발</td><td rowspan="3">▪ 굴삭기, 도저, 모터 그레이더를 선택하며, 라이브러리에 저장된 3D 객체를 호출하여 3D 그래픽 시뮬레이션 실시
▪ 원지반고, 계획고, 실지반고 각각에 대한 데이터베이스를 가지고 있어서 실시간으로 지형변화를 3D 공간에서 보여줌
▪ 건설장비의 작동상황을 기록하여 토공작업의 생산성 등 현황정보를 제공</td></tr>
<tr><td>수치지도 현황
업데이트를 위한
지형변환 모듈개발</td></tr>
<tr><td>토공작업 현황관리를
위한 기능추가</td></tr>
<tr><td rowspan="2">건설장비
형상추적을
위한
단거리
위치추적모
듈
프로토타이
핑 및
테스트</td><td>굴삭기 삽날 또는
도저와 모터
그레이더의 블레이드
위치추적</td><td rowspan="2">▪ 단거리 거리측정을 위한 센서모듈의 기능성 검토
▪ 단거리 거리측정을 위한 수학적 알고리즘 개발
 
<단거리 위치추적센서 모듈></td></tr>
<tr><td>단거리 위치를
추적하여 블레이드의
형상을 인식</td></tr>
<tr><td rowspan="2">건설장비
조종을
위한 3D
토공 BIM
시뮬레이터
개발</td><td>건설장비를 3D
그래픽 환경에서
조종하는 기술개발</td><td rowspan="2">▪ 건설장비 조종원의 토공작업 능력을 향상시킬 수 있는 3D 토공 BIM 시뮬레이터 개발
 
<건설장비 조종 시뮬레이터 환경></td></tr>
<tr><td>건설장비 교육 및
사전훈련 환경 제공</td></tr>
<tr><td rowspan="2">개별
건설장비
현장
테스트</td><td>개별 건설장비에
대한 스마트 토공
현장 테스트</td><td rowspan="2">▪ 굴삭기, 도저, 모터 그레이터 등에 대한 현장 테스트와 검토를 통하여 센서모듈 작동방법을 검토하고, 탈부착이 용이한 브라켓을 설계 제작했음
 
a) 굴삭기 b) 도저
 
c) 모터 그레이더</td></tr>
<tr><td>개별 건설장비에
대한 작업성과 평가
및 보완</td></tr>
</table>

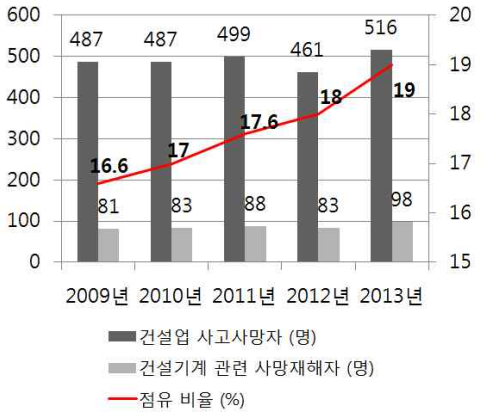
◎ 작업환경 인식 및 운전자 행태기반 안전 가이던스 시스템개발 (2세부 공동-중앙대학교 산학협력단)

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
작업환경 인식 기반 안전 가이던스 시스템 프로토타입 ver.1 개발	▪ 전방위 탐지를 위한 입력 모듈 보완 및 통합	▪ 지난 1차년도에 도출한 작업 환경 인식 기반 안전 가이던스 시스템 요구사항 정의를 바탕으로 센서 융합을 통한 작업환경 인식 기반 안전 가이던스 시스템 개발을 목표로 하여 2차년도에는 시스템 개발 프레임워크를 구축하였으며, 3차년도에는 작업환경 인식 기반 안전 가이던스 시스템 프로토타입 ver.1 개발에 착수함. 입력 모듈로는 CMOS 센서 (BFLY-PGE-50A2C-CS)를 전·후면에 설치하였으며, 해당 센서의 사양 및 설치 위치 정보는 다음과 같음. -해상도: 최대 5 Mega 픽셀 (2,592 X 1,944) -화각: 110º (광각 렌즈 탑재) -속도: 초당 최대 30 프레임 획득 -설치 높이/각도: C+550mm/34º (전면), G+100mm/51º (양측면/후면)  <입력 센서 설치 높이 및 각도 선정을 위한 도식> ▪ 입력 모듈을 통해 입력된 영상으로부터 장비 주변 작업자가 인식되면, 장비와 작업자 간 상대적 거리에 따라 충돌 위험 (Critical), 경고 (Warning), 주의 (Caution)로 구분하여 장비 운전자에게 화면과 음성을 통해 알림하도록 개발함. ▪ 중장비 (굴삭기 또는 도저) 주변 전방위 및 10m 이내 작업 중인 작업자 탐지가 가능하도록 전면/양측면/후면 센서 설치를 완료하였으며, 다음 그림과 같이 입력 영상 통합 출력 모듈을 개발함.  <전면/양측면/후면 입력 영상 통합 출력>센서 Calibration을 통한 추가 기하 모델 DB 구축 및 (Pos, Dis) 맵 DB 구축  <장비 규격별 (14ton, 22ton) 현장 Calibration을 통한 추가 기하 모델 DB 구축 실험>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
작업환경 인식 기반 안전 가이던스 시스템 프로토타입 ver.1 개발	▪ 처리 모듈 성능 개선	▪ 형태 및 색상 기반 데이터베이스를 보완 구축함. ▪ 센서 왜곡 보정 (Radial Undistortion) 후에도 영상 내 위치별로 존재하는 인식 대상 (작업자)의 형태 왜곡을 해결하기 위한 방법을 보완함. ▪ 조도 변화에 따른 색상 왜곡을 최소화하기 위해 보조 센서를 활용한 왜곡 보정 방법을 개발함. ▪ 일부 프레임에서 발생하는 작업자 인식 오류를 개선하기 위해 연속된 영상 내 작업자 인식 결과를 바탕으로 연관성 규칙을 적용한 오류 개선 방법을 보완함. ▪ 작업자 위치 추정 시, 단일 영상 활용에 따른 오류 개선을 위한 영상 기반 차간 거리 추정 기술 벤치마크하여 작업자 Bottom Line 추정 기술을 개선함. ▪ 처리 모듈 개발 환경은 다음과 같음. -Processing Client OS: XP, Vista, Win 7, Win8, Win10 -Language: Microsoft .Net Framework 4.0 (C# WPF - Client Profile 환경) -Database: 파일 기반 -Tool: Visual Studio 2013
	▪ 시스템 연계를 위한 출력 모듈 보완 개발 (영상 및 음성 출력)	▪ 장비-작업자간 거리에 따른 위험도 판단 결과에 따라, 시각적 (좌표형, 표시형, 레이더형) 및 청각적 (3가지 종류의 부저음)으로 운전자에게 정보 제공하도록 개발함. ▪ 사용자가 화면을 터치하여 작업자 위치 출력 화면을 선택할 수 있으며, 작업환경에 따라 화면 깜박임, 위험도 구분, 부저음 출력 빈도 등을 쉽게 변경할 수 있도록 메뉴를 간소화하여 사용자 인터페이스 (UI)를 재구성함.  <사용자 인터페이스> ▪ 출력 화면 및 컨트롤러 사양은 다음과 같음. -화면 크기: 194mm X 110mm X 20mm -화면 해상도: 800 X 480 pixels -컨트롤러: 라즈베리 파이 기반 설계 및 개발 ▪ 출력 모듈 개발 환경은 다음과 같음. -OS: 라즈베리 파이 -Language: C# 라즈베리 -Database: 파일 기반 -Tool: Visual Studio 2013

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
작업환경 인식 기반 안전 가이던스 시스템 프로토타입 ver.1 개발	▪ 전원 보드 개발	▪ 중장비 운전 환경에서의 안정적인 전원 공급을 통해 장비 및 안전 가이던스 시스템을 보호할 수 있도록 전원 보드 사양을 다음과 같이 정의함. -서지보호 회로: 시동 시 입력전원 불안정 요인 제거 -승압/강압 Switching Controller 회로: 다양한 중장비 사양에서 출력하는 +5Vdc~+24Vdc범위의 입력전압을 +20Vdc로 일정하게 출력 -정전압/정전류 충전회로: 충전전류를 약 1.5A로 설정하여 안정적으로 충전하고, 충전 상태 출력 -스위칭 회로: 외부 전원이 공급되면 Off되고, 멈추면 On되어 전원이 공급되도록 스위칭 -Protection Circuit Module+배터리: PCM모듈을 통해 과충전 및 과방전을 방지하고, 과전류 차단  <전원보드 개요> ▪ 차량 배터리 (12~24V)에 가변형으로 사용할 수 있도록 하였으며, 현장테스트 및 실용화의 용이성을 위해 시스템 구동 방식은 장비 전원 사용 및 배터리 사용 병행 방식으로 개발함.

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
테스트베드 적용 결과를 바탕으로 프로토타입 ver.1 현장 적용성 평가	▪ 안전 가이던스 시스템 프로토타입 ver.1 현장 적용성 평가	▪ 산업안전보건법 (산업안전보건기준에 관한 규칙)에 따르면, 차량계 건설기계를 이용하는 작업은 유도자를 배치하여 사전에 정한 일정한 신호방법에 따라 차량계 건설기계를 유도하며 장비조종원은 유도자가 행하는 신호에 따라 차량계 건설기계를 운행하는 등 접촉방지조치 철저하도록 하고 있으나, 이는 수동적인 예방조치에 그침. ▪ 본 연구진은 다음과 같이, 한국산업안전보건공단의 건설산업 사망재해 원인을 추가 분석하였으며, 건설 중장비 운전으로 인해 발생 가능한 안전사고 유형을 분석하고 해당 시나리오를 바탕으로 개발된 프로토타입 ver.1의 현장 적용성 평가를 위한 계획을 수립함.



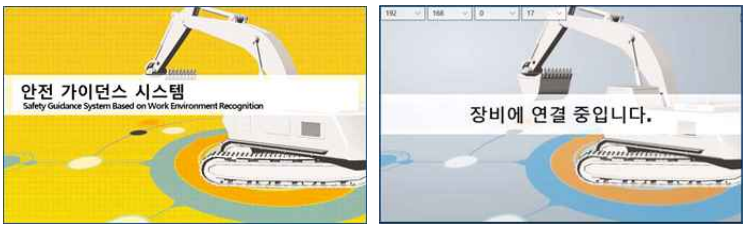
<건설업재해 대비 건설기계관련 사망재해 추이 (2009 '~2013') (한국산업안전보건공단, 2014)>

▪ 2013년 기준, 사고 사망재해자 516명 중 98명이 건설 기계 관련 작업으로 발생하여 점유율이 19.0%까지 상승하였으며, 그 중 굴삭기로 인한 사망사고가 18.7%로 가장 높은 비율을 차지함.

▪

< 5년간 건설기계 종류별 사망재해 추이 (2009 '~2013') (한국산업안전보건공단, 2014)>

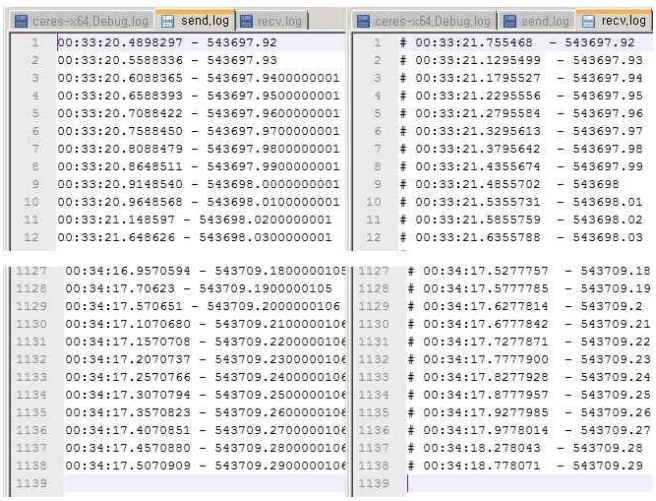
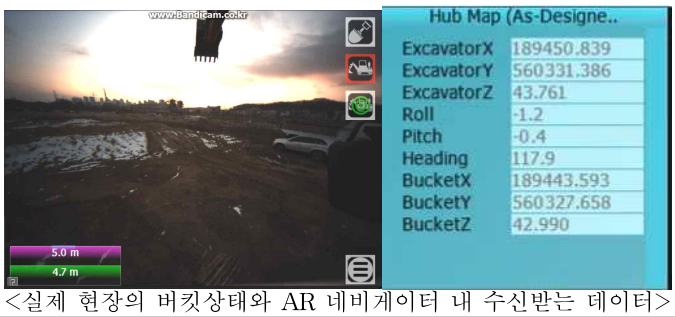
구분	사망재해 발생건수 (건)	점유율 (%)
계	433	100.0
굴삭기	81	18.7
트럭류	59	13.6
이동식크레인	59	13.6
고소작업차	50	11.6
고정식크레인	39	9.0
지게차	21	4.9
...	...	...
기타	74	17.1

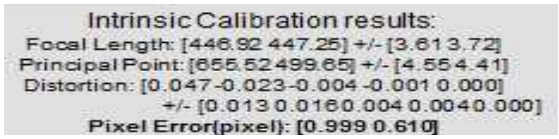
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
테스트베드 적용 결과를 바탕으로 프로토타입 ver.1 현장 적용성 평가	▪ 안전 가이던스 시스템 프로토타입 ver.1 현장 적용성 평가	▪ 건설장비와 작업자 간의 충돌 및 협착 사고 사례를 살펴보았을 때, 대부분의 사례는 건설장비 운전자가 장비 주변에서 작업 중이던 작업자를 인식하지 못해 일어나는 것으로 파악됨. 굴삭기는 굴삭기 암(Arm), 붐 (Boom), 버켓 (Bucket)의 위치에 따라 전방 사각지대가 발생하며, 측면 및 후면 또한 구조적 특징으로 인해 사각지대가 넓어 건설장비 운전자가 건설장비 주변 상황을 완전하게 파악하기 어려움. 사각 영역에 작업자가 작업 중인 경우, 굴삭기 운전자가 이를 인지하지 못하고 선회, 후진, 주행하여 충돌 및 협착사고가 발생하는 원인이 됨. ▪ 한국산업안전보건공단 (2014)의 건설산업 사망재해 원인분석 중, 굴삭기로 인한 사망사고의 유형을 살펴보면, 후진하던 굴삭기에 충돌, 회전하던 굴삭기 후면에 협착, 후진하던 굴삭기의 바퀴에 협착 등이 있음. 이러한 안전사고의 유형과 다양한 날씨별 실험 시나리오를 구성하였으며, 3차년도 연구개발기간 동안 총 7회에 걸쳐 현장 적용성 평가를 위한 실험을 수행함.  <시스템 실행 및 초기 로딩/ 컨트롤 박스 연결 화면>  <시스템 실행 및 초기 로딩>

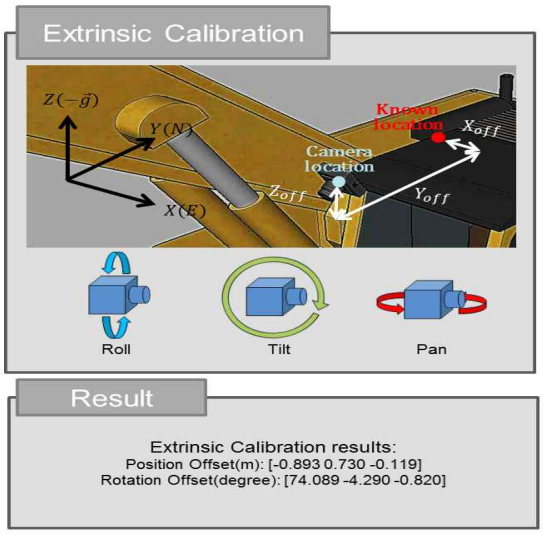
<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>▪ 과제 수행 전 기술과 비교한 관련 기술 수준 향상 정도 측정 및 평가를 수행함. 과제 수행 전 건설 중장비에 특화된 능동적 안전성 확보에 관한 국내 기술 개발은 전무하였음. 본 과제 수행을 통해 실시간으로 장비의 작업 영역 전방위에 대한 위험 요소를 자동으로 탐지하고, 위험 요소별 거리, 속도, 이동 방향에 따른 위험 등급을 구분함으로써 전방위 주변 상황 인지 정보(위험 요소 및 등급)를 기반으로 작업 알림할 수 있는 기술을 확보함.

▪ 개발된 시스템의 현장 적용 결과를 바탕으로 오차 판정 신뢰도 측정 및 평가를 수행함. 오차 판정 신뢰도는 회차 별 평균 작업자 탐지 정확성 (Accuracy)로 산정함. 총 7회에 걸친 실험을 통해 150,800 프레임 획득 및 분석하였으며, 분석 결과 통해 평균 작업자 탐지 정확성은 98.7%로 나타났다.
<안전 가이던스 시스템 오차 판정 신뢰도 검증 결과 요약>
<table>
<tr><th>구분</th><th>프레임 수</th><th>True Positive</th><th>False Positive</th><th>False Negative</th><th>Precision (%)</th><th>Recall (%)</th></tr>
<tr><td>1회</td><td>29,330</td><td>64,160</td><td>3,521</td><td>52</td><td>94.8</td><td>99.9</td></tr>
<tr><td>2회</td><td>32,609</td><td>124,891</td><td>694</td><td>1,384</td><td>99.4</td><td>98.9</td></tr>
<tr><td>3회</td><td>9,143</td><td>35,288</td><td>578</td><td>427</td><td>98.4</td><td>98.8</td></tr>
<tr><td>4회</td><td>32,882</td><td>20,730</td><td>4,517</td><td>1,116</td><td>82.1</td><td>94.9</td></tr>
<tr><td>5회</td><td>22,765</td><td>88,382</td><td>2,705</td><td>862</td><td>97.0</td><td>99.0</td></tr>
<tr><td>6회</td><td>14,046</td><td>53,777</td><td>2,022</td><td>522</td><td>96.4</td><td>99.0</td></tr>
<tr><td>7회</td><td>10,026</td><td>19,465</td><td>986</td><td>197</td><td>95.2</td><td>99.0</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>테스트베드 적용 결과를 바탕으로 프로토타입 ver.1 현장 적용성 평가</td><td>▪ 해당 시스템의 테스트베드 적용 및 평가 결과를 기반으로 한 보완</td><td>▪ 현장 적용성 평가 결과를 기반으로 과제 수행 전 기술과 비교한 관련 기술 수준 향상 정도 및 오차 판정 신뢰도 측정 및 평가와 함께 사용자 인터페이스 및 출력 영상 및 음성에 대한 평가를 수행함. 이를 통해 운전 중 작업자가 탐지되는 경우, 해당 사각 영역을 화면에 출력함으로써 운전자가 이를 작업에 활용할 수 있도록 하는 작업자 탐지 영역 시각화 기능의 필요성이 대두됨. 다음 그림과 같이 터치스크린을 통해 작업자 탐지 영역을 시각화할 수 있도록 사용자 인터페이스를 보완 개발함. 뿐만 아니라, 야외 환경 및 중장비 운전 환경에서의 소음을 고려하여 부저음이 효과적으로 장비 운전자에게 전달될 수 있도록 광폭 장치를 설치함으로써 최대 음량 사용 시, 장비 주변 10m 까지 알림 가능함을 시험함.
 
<작업자 탐지 영역 시각화 예시></td></tr>
</table>

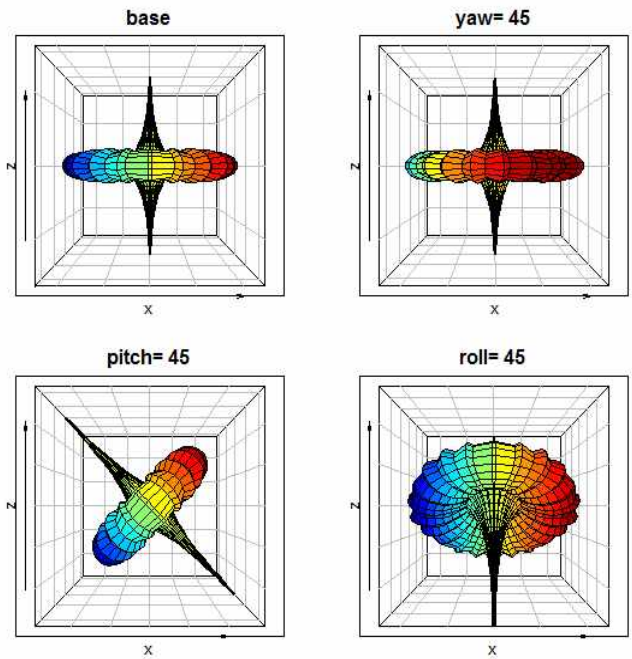
<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적·실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td>건설장비
AR-어라운드뷰
네비게이터
기술 개발</td><td>▪ AR 네비게이터와 스마트가이던스의 CAN 통신 시스템 개발</td><td>
▪ AR 네비게이터와 두산 스마트가이던스의 호환성
- 2차년도 연구에서 설계한 CAN통신 모듈을 개발함
- AR 네비게이터 시스템을 위해 사용을 후보군으로 정했던 두가지 CAN통신 시스템용 케이블(시스템 베이스社의 uCAN, Peak System社의 PCAN-USB-OPTO)을 테스트 한 결과 Peak System社 PCAN-USB-OPTO 제품을 선정함
<CAN 통신 케이블>
<table>
<tr><th>모델명</th><th>PCAN-USB-OPTO</th></tr>
<tr><th>제조사</th><td>Peak System</td></tr>
<tr><th>Interface</th><td>USB plug type A /
D-Sub(m), 9 pins</td></tr>
<tr><th>Type</th><td>up to USB 3.0</td></tr>
<tr><th>CAN Specification</th><td>ISO 11898-2, High-speed
CAN 2.0A (standard format)
and 2.0B (extended format)</td></tr>
<tr><th>Bit rates</th><td>5 kbit/s - 1 Mbit/s</td></tr>
<tr><th>SDK version</th><td>32bit/64bit</td></tr>
</table>
-CAN통신 모듈을 통해 아래의 표와 같은 데이터를 수신함
<스마트가이던스 Tracking 데이터>
<table>
<tr><th>필요 데이터</th><th>단위</th><th>최소
단위</th><th>주기</th><th>크기</th><th>TYPE</th><th>ID</th><th>Network
Byte
Order</th></tr>
<tr><td>굴삭기
회전축
중심 Xc</td><td rowspan="3">m</td><td rowspan="3">1mm</td><td rowspan="9">50ms</td><td rowspan="3">8Bytes x
3 =
24Bytes</td><td rowspan="3">Unsigned
64bits
*
Z값
offset
100m</td><td>0x18FFB9C5</td><td rowspan="9">Little
Endian</td></tr>
<tr><td>굴삭기
회전축
중심 Yc</td><td>0x18FFBAC5</td></tr>
<tr><td>굴삭기
회전축
중심 Zc</td><td>0x18FFBBC5</td></tr>
<tr><td>바디 Roll
바디 Pitch
바디 Yaw
Reserved</td><td>degr
ee</td><td>0.1
도</td><td>2Bytes x
4 =
8Bytes</td><td>Unsigned
short</td><td>0x18FFBCC5</td></tr>
<tr><td>버킷 끝단
Xb</td><td rowspan="3">m</td><td rowspan="3">1mm</td><td rowspan="3">8Bytes x
3 =
24Bytes</td><td rowspan="3">Unsigned
64bits
*
Z값
offset
100m</td><td>0x18FFBDC5</td></tr>
<tr><td>버킷 끝단
Yb</td><td>0x18FFBEC5</td></tr>
<tr><td>버킷 끝단
Zb</td><td>0x18FFBFC5</td></tr>
</table>
-스마트가이던스에서 수신된 데이터는 AR 네비게이터의 Hub Map 모드에서 좌측 상단에 실시간으로 Display 되고, 각 데이터들은 AR 네비게이터의 기능인 지형도 업데이트 및 버킷높이와 지형고, 설계고 사이의 거리를 표현하기 위해 이용됨
</td></tr>
</table>

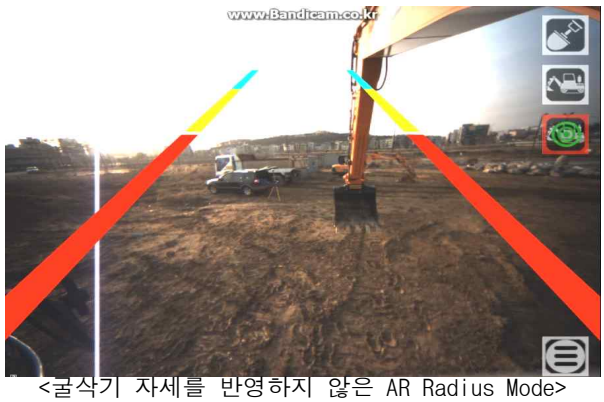
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ AR 네비게이터와 스마트가이던스의 CAN 통신 시스템 개발	▪ **스마트가이던스의 데이터를 AR 네비게이터로 실시간으로 수신받기 위한 CAN 통신 시스템의 구현** 본 연구에서 개발한 AR 네비게이터와 가장 잘 호환되고, 목표 전력요구치를 만족시키며 실시간으로 데이터 수신이 가능한 하드웨어를 선정하였고, 빠른 송수신속도를 위해 USB3.0기능을 이용한 하드웨어를 선정함.  <프로세서, CAN통신장비, 카메라의 연결모습> 실험실 내에서, 가상으로 CAN 데이터를 생성한 뒤, CAN 통신장비로 연결된 프로세서에 가상 테스트 데이터를 송신하여, 프로세서의 실시간 수신이 양호한지에 대한 실험실 테스트를 진행  <CAN통신 송수신 테스트 자료(좌:송신자료, 우:수신자료)> -실제 굴삭기에 부착된 스마트가이던스에서 송신하는 데이터를 AR 네비게이터 내에서 실시간으로 수신 받는지에 대한 현장 테스트 진행  <실제 현장의 버킷상태와 AR 네비게이터 내 수신받는 데이터>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ AR 네비게이터와 스마트가이던스의 CAN 통신 시스템 개발	▪ **AR 네비게이터 내부표정 개선** -2차년도 연구를 통해 진행되었던 AR 네비게이터의 정확도를 더욱 개선시킴 -2차년도에 진행되었던 실사에 대한 가상오브젝트의 정합(Registration) 중, 트래킹 정보 이외에 가상 카메라와 실제 카메라의 초점거리, 주점위치, Distortion의 동일화를 측정하는, 내부표정의 결과 오차를 1.8 픽셀[RMSE] 오차에서 1 픽셀[RMSE] 오차로 더욱 개선시킴  <내부표정 결과> ▪ **현장에서 취득한 실시간 버킷위치와 동시간에 촬영된 사진을 이용한 외부표정 진행** -131건의 현장 데이터와 및 동시간에 촬영된 사진을 각각 txt파일과 jpg파일로 저장 189450.848, 560331.422, 43.74000000000001 -0.5999999999999943, 0.2000000000001705, 87.5 189444.361, 560331.814, 41.006  <버킷에 대한 스마트가이던스 데이터 및 현장 사진> -이미지 수정 프로그램을 이용하여 해당 사진 내 버킷의 픽셀 위치 추출하여 외부표정을 위한 데이터 셋을 생성 순서 | 굴삭기중심X | 굴삭기중심Y | 굴삭기중심Z | Roll | Pitch | Yaw | 버킷끝단X | 버킷끝단Y | 버킷끝단Z | u | v Capture_0003.txt | 189456.004 | 560344.749 | 43.562 | 0.4 | -1.1 | 18.8 | 189453.528 | 560352.186 | 43.935 | 686 | 333 Capture_0004.txt | 189455.991 | 560344.75 | 43.557 | 0.4 | -1.1 | 18.9 | 189453.92 | 560351.005 | 45.144 | 704 | 208 Capture_0005.txt | 189455.999 | 560344.75 | 43.567 | 0.4 | -1.2 | 18.9 | 189453.489 | 560352.204 | 42.484 | 683 | 431 Capture_0006.txt | 189456.002 | 560344.76 | 43.581 | 0.3 | -1 | 18.9 | 189453.155 | 560353.207 | 40.716 | 673 | 514 Capture_0007.txt | 189456.001 | 560344.75 | 43.572 | 0.4 | -1.1 | 18.9 | 189453.777 | 560351.5 | 46.667 | 703 | 70 Capture_0008.txt | 189454.367 | 560349.164 | 43.638 | 0 | 1.9 | 20.2 | 189451.925 | 560355.959 | 46.818 | 699 | 119 Capture_0009.txt | 189454.368 | 560349.164 | 43.654 | 0 | 1.9 | 20.2 | 189451.929 | 560355.957 | 46.833 | 699 | 120 Capture_0010.txt | 189454.38 | 560349.175 | 43.649 | 0.1 | 1.8 | 20.1 | 189451.522 | 560357.131 | 44.347 | 681 | 343 Capture_0011.txt | 189454.393 | 560349.164 | 43.651 | -0.1 | 1.6 | 20 | 189451.499 | 560357.262 | 41.681 | 675 | 498 Capture_0012.txt | 189454.384 | 560349.175 | 43.662 | 0 | 1.6 | 20 | 189451.533 | 560357.141 | 40.77 | 675 | 551 Capture_0021.txt | 189457.416 | 560341.894 | 43.614 | -0.6 | 0.6 | -24 | 189459.91 | 560347.4 | 45.759 | 714 | 137 Capture_0022.txt | 189457.414 | 560341.897 | 43.616 | -0.6 | 0.5 | -24 | 189460.482 | 560348.674 | 44.302 | 689 | 322 Capture_0023.txt | 189457.415 | 560341.896 | 43.61 | -0.6 | 0.5 | -24 | 189460.941 | 560349.646 | 41.864 | 677 | 477 Capture_0024.txt | 189457.416 | 560341.895 | 43.619 | -0.6 | 0.5 | -24 | 189460.901 | 560349.504 | 40.699 | 675 | 546 Capture_0035.txt | 189454.45 | 560332.784 | 43.559 | 0.6 | -0.6 | 170.7 | 189453.01 | 560324.557 | 46.857 | 690 | 121 Capture_0036.txt | 189454.451 | 560332.783 | 43.562 | 0.6 | -0.6 | 170.7 | 189453.014 | 560324.552 | 46.858 | 690 | 120 Capture_0037.txt | 189454.45 | 560332.784 | 43.564 | 0.6 | -0.6 | 170.7 | 189452.886 | 560323.596 | 44.08 | 676 | 335 <정리된 데이터 셋>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ AR 네비게이터와 스마트가이던스의 CAN 통신 시스템 개발	-GPS 트래커로부터 카메라의 위치와 카메라의 자세를 추정하는 외부표정 진행  <외부표정 결과>  <외부표정을 하지 않은 AR 네비게이터 구동 화면>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ AR 네비게이터와 스마트가이던스의 CAN 통신 시스템 개발	-GPS  <외부표정을 적용한 AR 네비게이터 구동 화면> -내부표정에 더불어 실제 카메라와 GPS 트래커의 위치의 각 오프셋(Position Offset, Rotation Offset)을 찾아내는 외부표정(Extrinsic Calibration)을 실제 현장에서 촬영한 131개의 사진을 통해 진행한 결과, 11.9픽셀[RMSE] 오차(버킷끝단 위치와 사진에 중첩된 가상선의 차이의 평균)를 얻어냄 Extrinsic Calibration results: Position Offset(m): [-0.893 0.730 -0.119] Rotation Offset(degree): [74.089 -4.290 -0.820] <외부표정 결과> -본 연차에서 목표한 정합의 정확성은 4픽셀[RMSE]이내이지만, 사진에서 보는 것처럼 11.9픽셀의 오차에도 불구하고, 사용자가 불편함을 거의 느끼지 못하는 정도의 결과를 취득함, 이는 목표했던 r결과치의 80%를 달성한 결과라고 판단됨

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ AR 네비게이터 현장 테스트	▪ **현장 지형도와 설계도를 반영한 AR Depth 모드 구현** -버킷의 높이 변화에 따라 현장 지반고 및 설계고를 표시하는 녹색선과 보라색 선의 변화를 관찰하기 위해 현장 지반고(약 40.8m; GNSS 데이터 기준)를 기준으로 AR 네비게이터 내에 테스트용 지형고(40m) 및 설계고(37m)를 적용시킴.  <버킷 위치 변화에 따른 AR Depth 모드 구동화면> ▪ **현장의 굴삭기 자세를 반영한 AR Radius 모드 구현** -Calibration 및 스마트가이던스의 Roll, Pitch, Yaw 데이터를 이용하여 카메라 및 굴삭기의 자세 추정  <Roll, Pitch, Yaw에 따른 자세 변환>

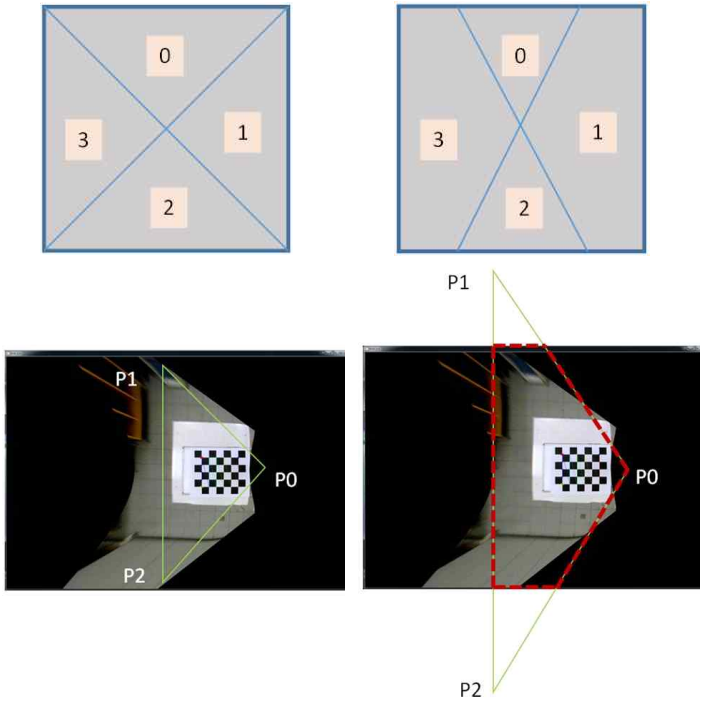
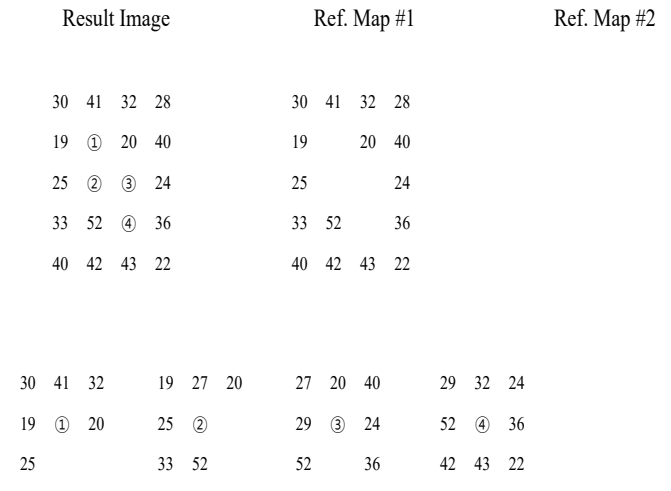
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ AR 네비게이터 제작 완료	-카메라 및 굴삭기의 자세 데이터를 기반으로 AR 이미지의 중첩을 진행  <굴삭기 자세를 반영하지 않은 AR Radius Mode>  <굴삭기 자세를 반영한 AR Radius Mode> ▪ **AR 네비게이터 어플리케이션 제작 완료** -2차년도 연구를 통해 진행되었던 AR 네비게이터의 설계와 기능 명세를 바탕으로 3가지 모드(Hub Map, AR Depth, AR Radius)를 구현한 AR 네비게이터의 제작을 완료함 -두산의 스마트가이던스에서 전송받는 데이터를 실시간으로 처리하기 위한 CAN통신 모듈(Peak 社 PCAN-USB-OPTO)을 개발함 -실제 현장 테스트를 통해 AR 네비게이터의 정보 정확도 검증을 완료하였고, 건설 장비에 부착하였을 때도 오류 없이 돌아가는 모습을 확인하였음 -개발된 소프트웨어는 2월 현재, 한국저작권협회에 등록을 진행중  <현장에서 구현중인 AR 네비게이터의 3가지 기능>

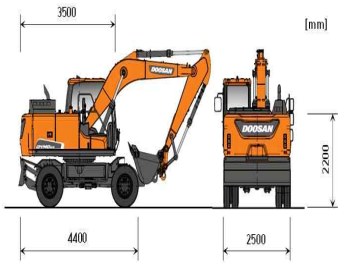
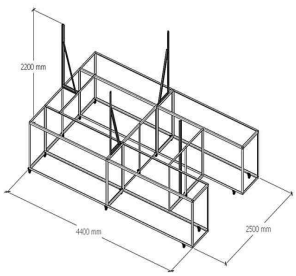
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ AR 네비게이터 현장 테스트	▪ **어라운드 뷰 모니터링 영상 표현범위 확장** -건설장비 AVM 시스템 하드웨어 재설계: AVM 영상의 표현범위 확장을 위해 수직화각 확보에 유리한 센서의 비율의 CCD Camera를 선정하는 과정이 반드시 요구됨. 따라서 본 연구에서는 센서비율이 16:9인 기존의 CCD 카메라를 센서비율이 4:3인 CCD 카메라로 변경하였으며, 아래 표는 본 연구에 적합한 사양을 지닌 CCD Camera 및 렌즈로 이를 활용한 영상취득실험을 수행함.

CCD 카메라		렌즈	
			
mvBlueFOX	u-Nova20c	F125B0137IR	SY125M
해상도 : 2592×1944 센서크기 : 1/2.5인치 센서비율 : 4:3 인터페이스 : usb 2.0 초당 프레임 수 : 5.8FPS	해상도 : 1600×1200 센서크기 : 1/1.8인치 센서비율 : 4:3 인터페이스 : usb 3.0 초당 프레임 수 : 50FPS	렌즈종류 : 어안렌즈 초점거리 : 1.37mm 화각 : 185° 센서크기 : 1/2.5인치	렌즈종류 : 초광각렌즈 초점거리 1.28mm 화각 : 125° 센서크기 : 1/3인치

-영상취득실험 수행 결과, 기존 CCD 카메라 및 렌즈를 사용한 경우에 비해 4:3 센서 비율 및 높은 해상도, USB 3.0 방식의 안정성 등을 장점으로 지닌 u-Nova20c 장비가 최적 CCD Camera로 선정되었으며, 넓은 화각에도 불구하고 왜곡률이 최소화된 SY 125M 장비가 최적 렌즈로 선정됨.

-알고리즘 수정 및 개선:
기존 AVM 시스템(2차 연도)은 굴삭기 4면에서 취득된 영상의 ROI(ROI; Region of Interest)영역을 삼각형 형태로 추출하였으므로 굴삭기 폭 대비 길이가 길 경우 굴삭기 좌·우 영상의 범위가 충분히 확보되지 못하는 문제점이 발생함. 따라서 굴삭기 좌·우영상의 ROI 추출 시 취득된 영상보다 큰 ROI 영역을 설정하고 영상에서 벗어나는 영역은 삭제하는 ROI 영역 추출 방식으로 알고리즘을 수정함. 이와 같은 방식으로 ROI 영역을 추출할 경우 오각형 형태의 영역이 추출되므로 굴삭기 좌·우 영상의 범위를 확장시킬 수 있음.

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ AR 네비게이터 현장 테스트	 (a) 기존 AVM 시스템 (b) 신규 AVM 시스템 <기존/신규 AVM 시스템의 ROI 추출 방식> ▪ **영상 Interpolation 방법 개선** -신규 AVM 시스템에서는 기존 AVM 시스템(2차 연도)과 같이 관심화소가 검은색(0,0,0)인 경우를 대상으로 하는 것이 아니라, 아래 그림과 같이 별도로 영상과 동일한 크기의 레퍼런스 맵(#1)을 만들어 Warp Map을 통해 결과 영상으로 입력되는 화소를 체크한 다음, 체크되지 않은 화소만 Interpolation 대상으로 하는 방식을 채택하였음. 또한 Interpolation 계산결과를 다음 관심화소에도 바로 반영할 수 있도록 또 다른 레퍼런스 맵(#2)을 만들어 Interpolation 된 화소는 별도로 표시하는 방식을 활용함.  ① = (30+41+32+19+20+25) / 6.0 = 27 ③ = (27+20+40+29+24+52+36) / 7.0 = 32 ② = (19+27+20+25+33+52) / 6.0 = 29 ④ = (29+32+24+52+36+42+43+22) / 8.0 = 35 <신규 AVM 시스템의 Interpolation 방법>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ AR 네비게이터 현장 테스트	▪ **건설장비 작업정보 표현기술 개선** -기존 AVM 시스템(2차 연도)은 GDI를 활용하여 AVM 화면상에 굴삭기 이미지를 삽입하는 방식을 사용함. 그러나 GDI는 이미지를 반투명으로 출력하는 기능을 포함하지 않고 있어 굴삭기의 붐, 암, 버킷 이미지를 투명화 하는데 한계점을 지니고 있음. -따라서 AVM 화면상에서 굴삭기의 붐, 암, 버킷 이미지를 투명화하기 위해 GDI+를 활용하도록 알고리즘을 수정하였음. 일반적으로 GDI의 색상 모델은 (R,G,B)인데 비해 GDI+의 색상 모델은 알파가 추가된 (A,R,G,B)로 구성됨. 알파가 0이면 완전히 투명해서 보이지 않는 상태를 의미하며 255이면 불투명한 상태를 의미함. 이처럼 GDI+의 경우 색상 모델에 투명도에 대한 정보가 들어가 있으므로 이미지를 투명화 하여 출력할 수 있음. -결과적으로 신규 AVM 시스템은 굴삭기의 붐, 암, 버킷 이미지를 투명화(투명도 50%)하여 붐, 암, 버킷 하부 영역의 영상정보를 취득할 수 있도록 개선됨. ▪ **어라운드 뷰 시스템의 안정성 검증** -본 연구에서는 건설장비 AVM 시스템의 안정성을 검증하기 위해 기술개발대상 굴삭기인 DX140W의 제원을 분석하고 이를 바탕으로 Test-bed를 설계 및 구축하였음.  <굴삭기 DX140W 제원 분석>  <Test-bed 설계>  <Test-bed 구축>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ AR 네비게이터 제작 완료 ▪ AR 네비게이터 현장 테스트	-건설장비 AVM 시스템의 안정성 검증을 위한 실험은 ⑴AVM 기반 굴삭기 모션정보 표현 기술 구현, ⑵굴삭기 기울기 변화에 따른 AVM 영상보정 기술 구현, ⑶굴삭기 이동에 따른 AVM 구동 실험으로 구분하여 수행됨. ⇒AVM 기반 굴삭기 모션정보 표현 기술 구현 : 본 연구를 통해 개발된 AVM 시스템은 굴삭기로부터 전달받은 굴삭기 모션정보(붐, 암, 버킷)를 활용하여 이를 AVM 영상 위에 구현하도록 설계됨. 따라서 주어지는 굴삭기의 모션정보에 따라 AVM 영상위에 정상적인 표현이 가능한지를 확인하기 위한 실험이 요구됨. 실험 결과, 주어지는 굴삭기 모션정보에 따라 AVM 디스플레이 상에 실시간으로 작업정보가 반영되는 것을 확인할 수 있으며, 작업정보 반영속도 300ms 이상을 확보하여 실시간 활용이 가능할 것으로 사료됨. ⇒굴삭기 기울기 변화에 따른 AVM 영상보정 기술 구현 : 본 연구를 통해 개발된 AVM 시스템은 기존기술과 다르게 굴삭기의 기울기 변화에 따라 AVM 영상을 보정할 수 있는 기능을 포함하고 있음. 따라서 Test-bed의 기울기 변화에 따라 AVM 영상의 보정이 정상적으로 수행되는지를 확인하기 위한 실험이 요구됨. 실험 결과, Test-bed의 기울기에 따라 AVM 영상이 실시간으로 보정되는 것을 확인할 수 있으며, 기울기 반영속도 300ms 이상을 확보하여 실시간 활용이 가능할 것으로 사료됨.  <굴삭기 기울기 변화에 따른 AVM 영상보정 기술 구현 실험 과정> ⇒굴삭기 이동에 따른 AVM 구동 : 본 연구에서는 Test-bed의 이동에 따라 개발된 AVM 시스템이 정상적인 구동을 수행할 수 있는지에 대한 실험을 수행하였음. 실험 결과, 개발된 AVM 시스템은 굴삭기에 이동에 따라 정상적인 영상표현을 수행할 수 있어 실시간 활용이 가능할 것으로 사료됨. 또한 영상의 취득범위는 성과목표로 설정하였던 장비 중심 4m를 초과하는 것으로 측정되었음.  <굴삭기 이동에 따른 AVM 구동 실험 과정>

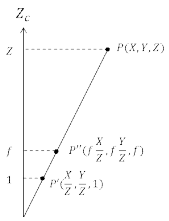
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드뷰 네비게이터 기술 개발	▪ AR 네비게이터 현장 테스트	▪ **건설장비 기울기 변화에 따른 영상 왜곡 보정 기술** -건설장비가 주로 운용되는 토공사 환경은 지면이 평탄하지 않은 경우가 일반적이므로 건설장비의 기울기가 변화되는 경우가 빈번히 발생함. 이러한 기울기의 변화는 AVM 영상에 심각한 왜곡을 가져오게 되므로, 이를 보정하기 위한 기술이 요구됨. 다음은 건설장비의 기울기가 변화됨에 따라 발생하는 AVM 영상의 왜곡을 보정하는 원리를 나타낸 것임.

① 카메라 기울기 변화 전	② 카메라 기울기 변화 후	③ 카메라는 지면이 기울어진 것으로 인식

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} = [yaw][pitch][roll] \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$[pitch] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos pitch & -\sin pitch & 0 \\ 0 & \sin pitch & \cos pitch & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad [roll] = \begin{bmatrix} \cos roll & -\sin roll & 0 & 0 \\ \sin roll & \cos roll & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

④ AVM 영상 Roll, Pitch 변환

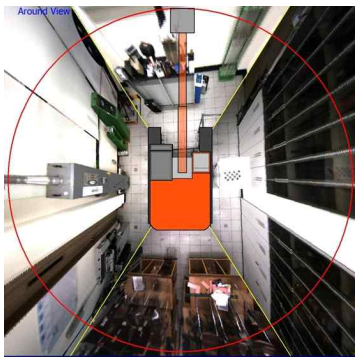


x' = cosΘ×(x - cx) + sinΘ×sinϕ×(y - cy) - sinΘ×cosϕ×z
y' = cosϕ×(y - cy) + sinϕ×z
z' = sinΘ×(x - cx) - cosΘ×sinϕ×(y - cy) + cosΘ×cosϕ×z

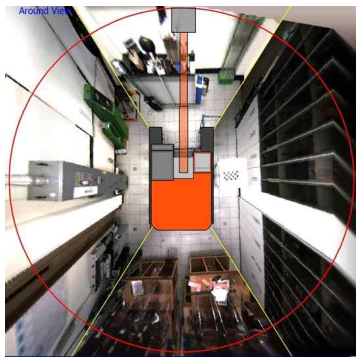
X = (x' / z') + cx
Y = (y' / z') + cx

⑤ AVM 영상 평행이동

<건설장비 기울기 변화에 따른 영상 왜곡 보정 원리>



영상 왜곡 보정 기술 적용 前



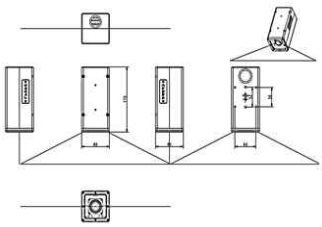
영상 왜곡 보정 기술 적용 後

<건설장비 기울기 변화에 따른 영상 왜곡 보정 기술 적용>

<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td>건설장비
AR-어라운드 뷰
네비게이터
기술 개발</td><td>▪ 어라운드 뷰 어플리케이션 프로그램 등록</td><td>▪ 건설장비 어라운드 뷰 모니터링 어플리케이션 개발 및 프로그램 등록
-명칭: 굴삭기 어라운드 뷰 모니터링 소프트웨어
(프로그램 등록번호: C-2017-004876)
-굴삭기 전용 어라운드 뷰 모니터링 소프트웨어로는 건설장비 전 방위의 실시간 현황을 Top-view 형태로 모니터링 할 수 있는 기능을 지니고 있음. 특히 해당 프로그램의 특징은 일반적인 어라운드 뷰 뿐만 아니라 굴삭기의 작업정보, 기울기 정보 등을 반영하여 작업 효율을 제고할 수 있도록 설계되었으며, 굴삭기의 기울기 변화에 따라 발생하는 AVM 영상의 왜곡을 자동으로 보정해 주는 기능을 추가하였음.

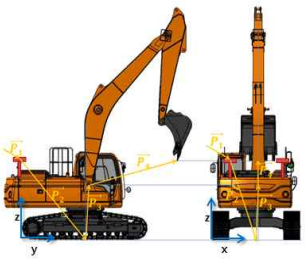
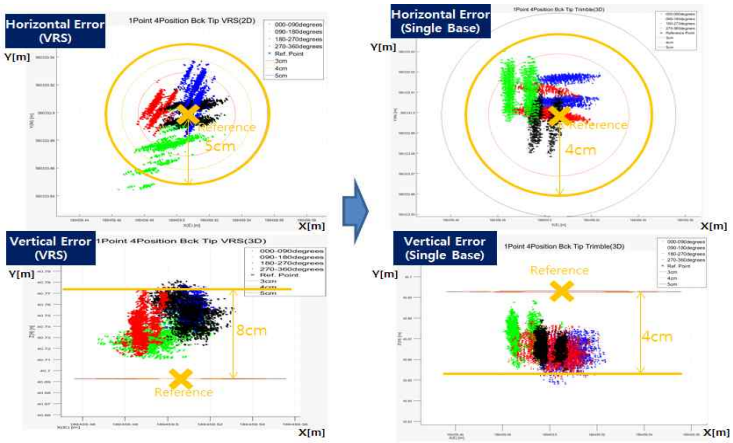
-프로그램 구성
⇒어라운드 뷰 모니터링:
프로그램 실행과 동시에 자동 디스플레이
⇒원본(Raw) 영상 풀사이즈 디스플레이:
화면 좌측에 해당되는 원본영상 클릭 혹은 터치
⇒굴삭기 작업정보 표현:
굴삭기 붐, 암, 버킷 작업정보 자동 디스플레이
⇒굴삭기 기울기정보 표현:
굴삭기 기울기(Roll, Pitch, Yaw) 정보 자동 디스플레이
⇒굴삭기 기울기 변화에 따른 자동 영상 왜곡 보정:
우측 하단의 체크박스를 통해 자동 영상 왜곡 보정 기능 ON/OFF
⇒어라운드 뷰 영상 칼리브레이션:

<table>
<tr><td>0</td><td>전방 카메라 선택</td></tr>
<tr><td>1</td><td>우측 카메라 선택</td></tr>
<tr><td>2</td><td>후방 카메라 선택</td></tr>
<tr><td>3</td><td>좌측 카메라 선택</td></tr>
<tr><td>Q</td><td>Homography Scale 2 확대</td></tr>
<tr><td>W</td><td>Homography Scale 1 축소</td></tr>
<tr><td>F3</td><td>시계방향으로 0.4도 회전</td></tr>
<tr><td>F4</td><td>반시계방향으로 0.2도 회전</td></tr>
<tr><td>F5</td><td>영상 10% 확대</td></tr>
<tr><td>F6</td><td>영상 5% 축소</td></tr>
<tr><td>U</td><td>ROI 영역 X축으로 10픽셀 이동</td></tr>
<tr><td>I</td><td>ROI 영역 X축으로 -5픽셀 이동</td></tr>
<tr><td>O</td><td>ROI 영역 Y축으로 10픽셀 이동</td></tr>
<tr><td>P</td><td>ROI 영역 Y축으로 -5픽셀 이동</td></tr>
<tr><td>S</td><td>세팅파일 저장</td></tr>
<tr><td>T</td><td>모션 동작 시작(타이머)</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ 어라운드 뷰 통합 어플리케이션 현장적용 실험	▪ **CCD 카메라 케이스 설계 및 제작** -본 연구에서 선정된 CCD 카메라 모듈을 외부의 충격 등으로부터 보호하고 굴삭기에 견고하게 설치하기 위해 카메라 케이스 제작이 요구됨. 카메라 케이스는 일정의 방수 · 방진 기능을 지녀야하며, 카메라 초점 및 조리개 조절을 위해 상부 개방이 가능해야 함. 또한 전면 카메라의 설치위치에 따라 상 · 하 · 좌 · 우 각도 조절이 모두 가능해야 함. -상기 내용을 바탕으로 카메라 케이스를 아래와 같이 설계 및 제작하였음.   <카메라 케이스 설계도> <카메라 케이스 제작>   <카메라 케이스 설치> ▪ **굴삭기 제원(DX 140W)에 따른 AVM 영상 칼리브레이션** -본 연구에서는 Test-bed를 통해 도출된 카메라 최적설치 위치를 기반으로 적용 대상 굴삭기인 DX 140W에 카메라 설치 및 칼리브레이션 작업을 수행하였음. 아래 그림은 DX 140W 굴삭기 대상의 AVM 영상 칼리브레이션 작업 수행 방법을 나타낸 것임.    <Homography Matrix 검출> <AVM 영상 칼리브레이션 수행> ▪ **건설현장 환경에서의 굴삭기 이동에 따른 AVM 구동 실험** -개발된 AVM 시스템이 건설현장 환경에서 정상적인 구동을 수행할 수 있는지에 대한 실험을 수행하였음. 실험 결과, 개발된 AVM 시스템은 건설현장 환경에서도 굴삭기에 이동에 따라 정상적인 영상표현을 수행할 수 있으며 실시간 활용이 가능할 것으로 사료됨. 또한 영상의 취득범위는 성과목표로 설정하였던 장비 중심 4m를 초과하는 것으로 측정되었음.  

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드뷰 네비게이터 기술 개발	▪ 건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 프로토타입 제작	▪ **건설장비 AR-어라운드뷰 네비게이터 하드웨어 통합** -AR 네비게이터 모듈은 CAN통신장비와 카메라 1대의 연결이 필요하고, 어라운드 뷰 모듈은 카메라 4대의 연결이 필요함, 즉, 총 6개의 USB input이 가능한 프로세서가 필요함. -그러므로 AR 네비게이터를 개발할 때 제작하였던 프로세서와 성능은 동일하지만, 더 많은 USB 포트를 수용할 수 있는 프로세서를 제작(총 9개의 USB포트를 이용 가능) -AR 네비게이터와 어라운드 뷰의 통합이 진행될 경우, 많은 카메라와 실시간 CAN통신의 수신에 대한 동작여부가 중요한 이슈임.  <모든 장비가 연결된 프로세서> -실험실 테스트 결과, 동시에 AR 네비게이터와 어라운드 뷰를 실행하였을 때 모듈간의 전환이 매끄럽게 진행되는 것을 확인하였음.  <AR 네비게이터(좌) 및 어라운드 뷰(우) 모듈 전환 테스트> -현장 테스트에서도 두 모듈간의 전환이 매끄럽게 진행되는 것을 확인하였음.  <현장에 설치된 카메라>

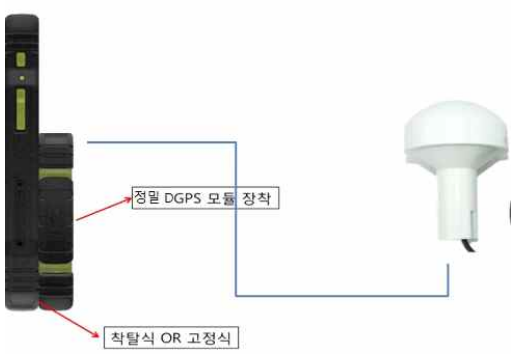
◎ 태블릿 기반 굴삭기 작업가이던스 시스템 및 MMI 유닛개발 (2세부 협동-두산인프라코어)

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
태블릿 기반 굴삭기 버킷 위치 디스플레이 시스템 및 MMI 유닛 개발	▪ 버킷 끝단 위치 인식 S/W에 로봇 분야에서 사용되는 고정각도 회전 행렬 적용 ▪ VRS(Virtual Reference Station)와 Base Station RTK 오차 보정 적용 시 굴삭기 버킷 위치 디스플레이 시스템의 정확도 검증	Roll 각도와 Pitch 각도는 중력가속도에 수직한 평면을 기준으로 측정이 되며, 방위각은 North 방향을 기준으로 측정이 되므로 오일러 회전 행렬 대신 전역 좌표계 축을 기준으로 회전하는 고정각도 회전행렬을 적용  $\vec{P_4} = (0, N_x, N_y)$ $\vec{P}_{bucket\_tip} = \vec{P_1} + R_{XYZ}(\gamma,\beta,\alpha)(\vec{P_2} + \vec{P_3}) + R_{XYZ}(0,\beta,\alpha)\vec{P_4}$ $R_{XYZ}(\gamma,\beta,\alpha) = \begin{bmatrix} c\alpha c\beta & c\alpha s\beta s\gamma - s\alpha c\gamma & c\alpha s\beta c\gamma + s\alpha s\gamma \\ s\alpha c\beta & s\alpha s\beta s\gamma + c\alpha c\gamma & s\alpha s\beta c\gamma - c\alpha s\gamma \\ -s\beta & c\beta s\gamma & c\beta c\gamma \end{bmatrix}$ $c = cos, s = \sin$ γ: pitch angle (rotate around global X axis, East) β: roll angle (rotate around global Y axis, North) α: yaw angle (rotate around global Z axis) <버킷 끝단 위치벡터 계산> ▪ 지면 상 한 점에 대해 GNSS로 측량한 결과와 위치인식 소프트웨어에서 산출된 결과를 비교하였으며, Base Station을 적용하는 경우 VRS를 적용하는 경우에 비해 오차가 개선 (5cm 이상 → 4cm)  <VRS와 Base Station 적용 시 정확도 비교> ▪ **기술적 · 경제적 성과** -태블릿 앱 S/W 기능 요구 사양 구현율 목표치: 80% 달성치: 82% -버킷 끝단 위치 인식 정확도 목표치: ±25mm(2D), ±45mm(3D) 달성치: ±25mm(2D), ±45mm(3D) -특허출원 2건 건설장비의 정보 표시방법 및 장치 (10-2017-0015614) 건설장비 정보의 디스플레이 장치, 제어장치 및 디스플레이 방법 (10-2017-0019582)

4. 4차년도 연구수행내용 및 성과

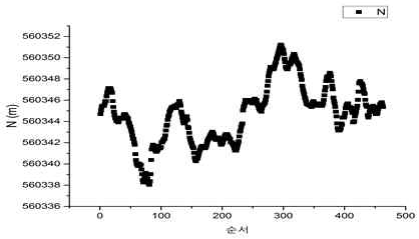
□ 1세부 - 건설장비 통합관제 기술 개발

◎ 관제센터 통합 기술 성능평가 및 시스템 시제품화 (1세부 주관-한양대학교 산학협력단)

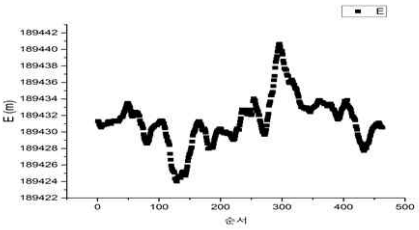
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 관제센터 H/W, S/W 기술의 성능평가 및 보완을 통한 시스템 시제품화	○ 고정밀 DGPS를 활용한 토공 운반장비 네비게이터 개발 ▪ 시스템 아키텍처 및 하드웨어 설계 -3차년도 연구에서는 Fleet Telematics 관제 프로그램 개발 및 업그레이드를 진행하였음. -또한 관제 프로그램용 안드로이드 기반 어플리케이션을 개발하여 관제센터와 장비간의 통신 및 관제 시스템을 구축함 -3차년도에 개발한 안드로이드 기반 어플리케이션 업데이트 및 DGPS 모듈과의 연계를 통해 네비게이터의 위치정보 신뢰성을 향상시킴 → 7인치 안드로이드 기반 테블릿과 자체개발 DGPS 모듈을 결합하여 신뢰적인 위치정보를 수신할 수 있도록 개발함. → 차량 외부에 안정적으로 DGPS 안테나를 설치하기 위해서 초강력 마그네틱 자석 부착 → DGPS 모듈의 성능검증을 위해서 DGPS 안테나를 장착한 네비게이터와 DGPS 안테나를 장착하지 않은 네비게이터를 RTK-GPS장비의 위치데이터와 비교 분석함.  <고정밀 DGPS모듈 연계 네비게이터 1>  <고정밀 DGPS모듈 연계 네비게이터 2>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 관제센터 H/W, S/W 기술의 성능평가 및 보완을 통한 시스템 시제품화	<네비게이터 GPS 위치정보 정확도 테스트>

단위: m	네비게이터	
	X	Y
최대	560479.572079	189453.733875
최소	560336.679499	189238.651338
평균	560344.512303	189447.422412
표준편차	7.097359	9.753149



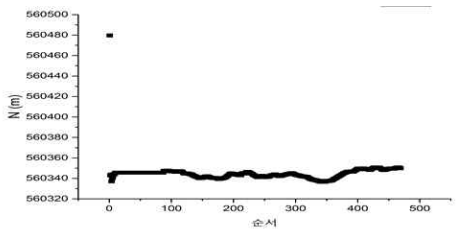
네비게이터 GPS 수신 데이터 (N)



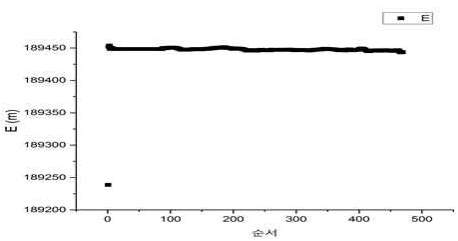
네비게이터 GPS 수신 데이터 (E)

<DGPS 모듈장착 네비게이터 위치정보 정확도 테스트>

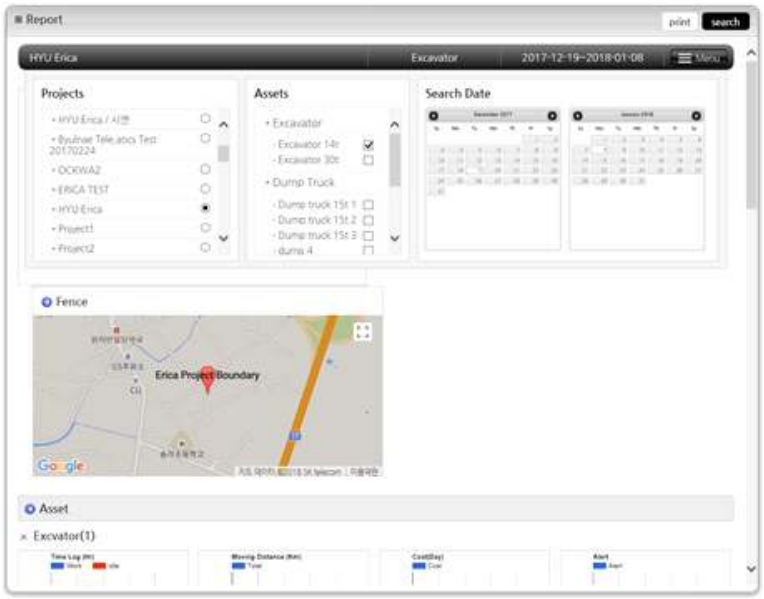
단위: m	DGPS 모듈장착 네비게이터	
	X	Y
최대	560351.229513	189440.681464
최소	560338.037157	189423.993818
평균	560344.700678	189431.352955
표준편차	2.773141	2.896866

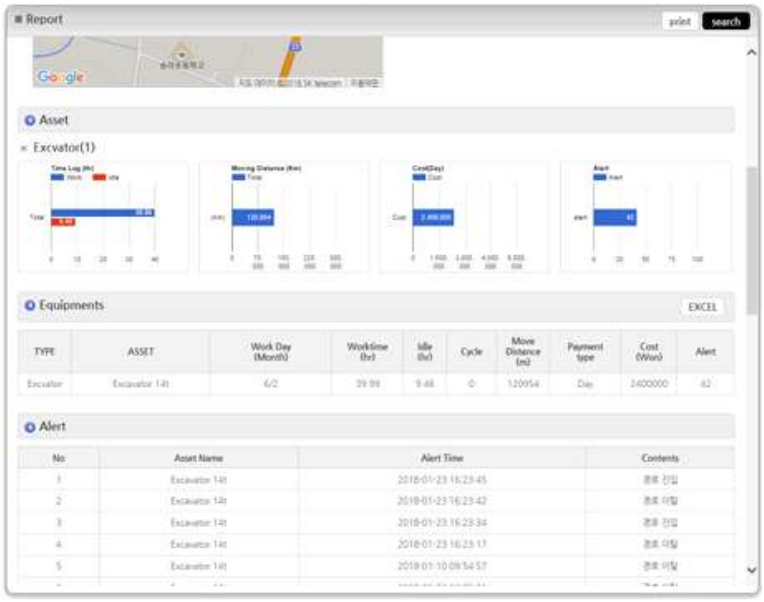


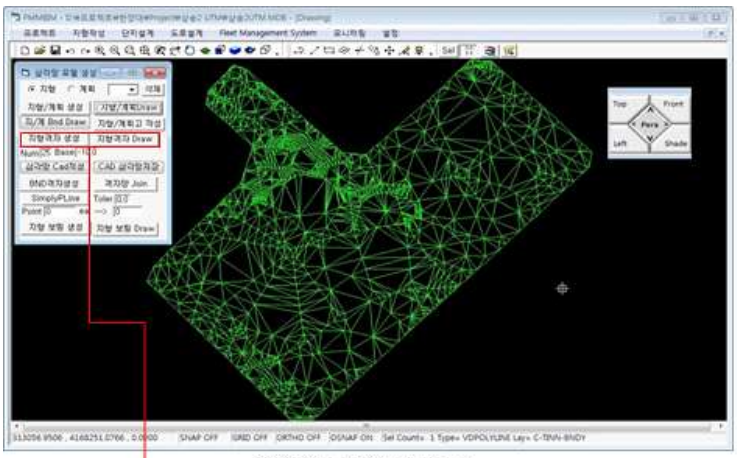
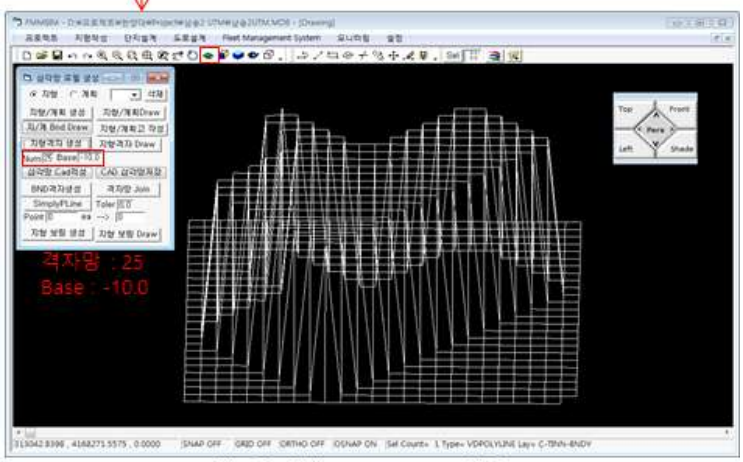
네비게이터 DGPS 수신 데이터 (N)

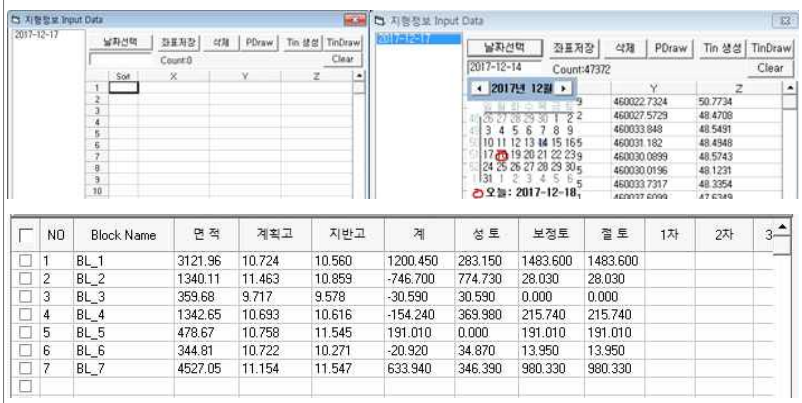
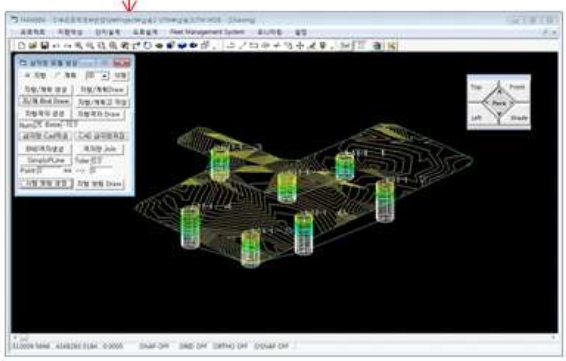
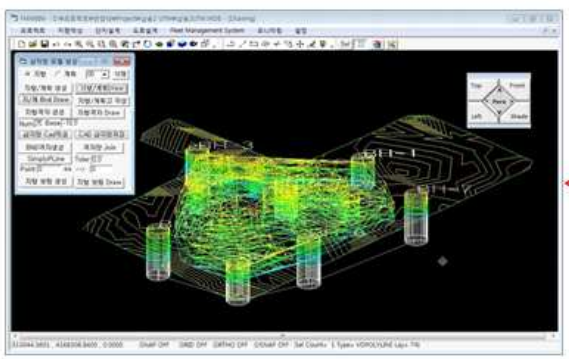


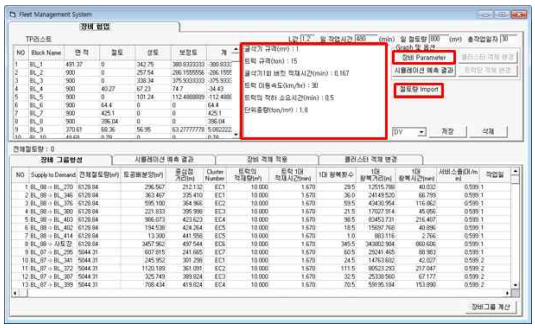
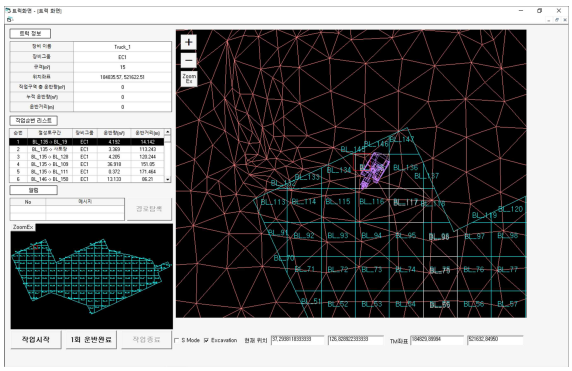
네비게이터 DGPS 수신 데이터 (E)

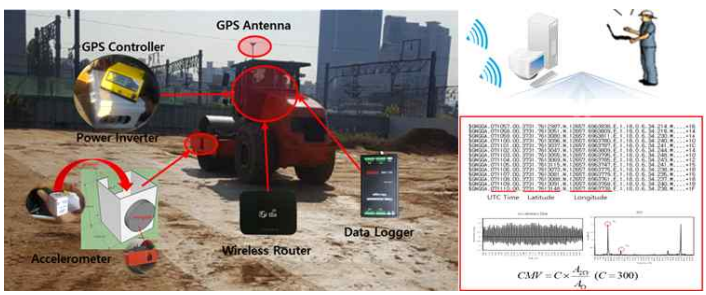
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 관제센터 H/W, S/W 기술의 성능평가 및 보완을 통한 시스템 시제품화	<RTK-GPS 위치정보 테스트> 단위: m / DGPS 모듈장착 네비게이터 X / Y 최대 560342.50776 189429.37940 최소 560342.37114 189429.27440 평균 560342.43458 189429.35471 표준편차 0.01479 0.01238 <DGPS모듈 위치정확도 결과> X(m) Y(m) 거리(m) RTK-GPS 560342.43458 189429.35471 0 내장GPS 560344.51230 189447.42241 18.18678 DGPS 모듈 560344.70068 189431.35296 3.02129 -위치정확도 검증 결과 RTK-GPS의 위치정보를 기준으로 내장GPS 거리 오차는 18.18678m, DGSP 모듈의 거리오차는 3.021929m로 내장GPS보다 DGPS의 위치정보 정확도가 약 83% 증가 ▪ 기술적·경제적 성과 -장착형 DGPS 모듈 개발 -기존 네비게이터 위치정보 정확도 88% 향상 ○ 현장 관리형 Telematics 시스템 업그레이드 ▪ Web-GIS기반 토공장비 관제프로그램 업그레이드 -3차년도 개발한 Web-GIS기반 토공장비 관제프로그램을 활용성을 증대시키기 위해서 진도관리 및 보고서 산출기능 강화 -각 장비의 위치정보를 Time Log기반 기록하는 History 기능 추가하여 각 장비의 활동 내역을 분석할 수 있음.  <현장별, 장비별, 날짜별 리포트 산출 기능1>

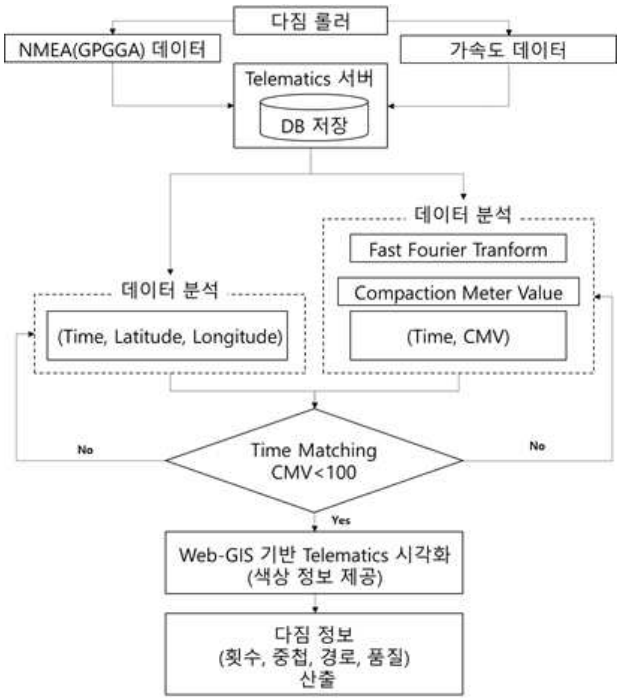
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 관제센터 H/W, S/W 기술의 성능평가 및 보완을 통한 시스템 시제품화	 <현장별, 장비별, 날짜별 리포트 산출 기능2> ○ 이동형 관제차량 H/W 업그레이드 ▪ 로컬네트워크망과 공인망의 연결을 위한 AP브릿지 시스템 구축 - 3차년도에는 관제차량의 리모델링 및 모니터링 시스템을 구축함. - 4차년도에는 현장에 구축되어 있는 로컬 네트워크망과 공인 네트워크망의 연결을 위한 AP 브릿지를 설치하여 관제차량이 현장 내부와 외부를 연결해주는 브릿지 역할 수행가능  <관제차량 AP 브릿지 시스템>

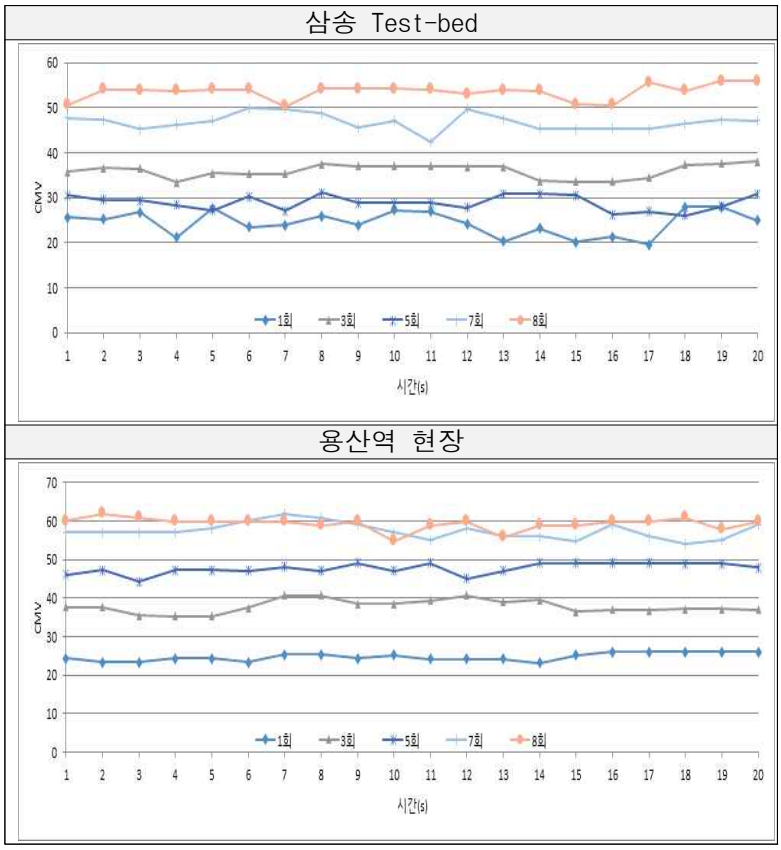
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 관제센터 H/W, S/W 기술의 성능평가 및 보완을 통한 시스템 시제품화	○ 3D 토공 BIM 모듈 업그레이드 ▪ 파라메트릭 기반 MG용 토공 단면설계요소 설계 모듈 개발 - Parameter 정보를 반영한 격자망 생성기능은 PAD를 기반으로 해당 설계지역의 고도 값을 갖는 격자망을 생성하여 섹터별 3차원 모델링 및 토공물량을 산출하고 공정관리에 유용함  지형격자 생성 및 Draw  격자망 생성 (3D Obit으로 확인) <Parameter 기반 격자망 생성>

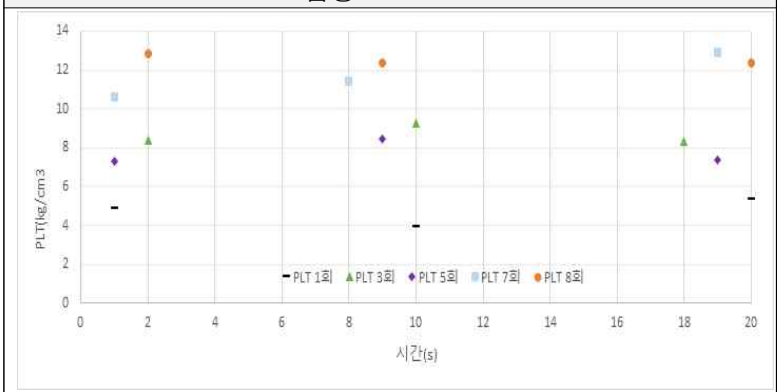
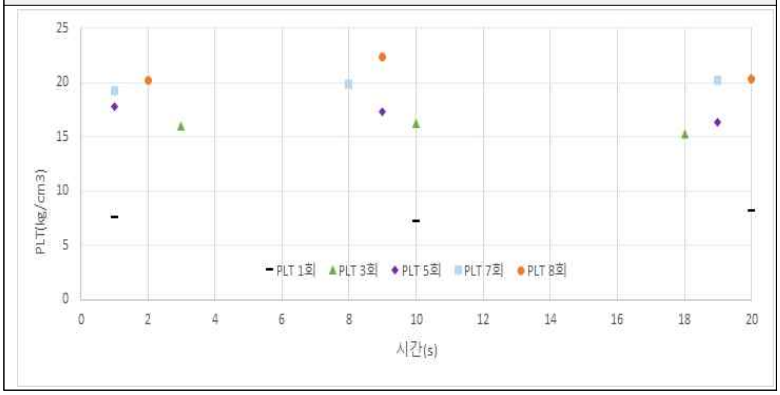
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 관제센터 H/W, S/W 기술의 성능평가 및 보완을 통한 시스템 시제품화	▪ As-Built 정보 기반 자동화 3D 토공 BIM 모델 업데이트 모듈 개발 - As-built 정보 기반 토공 BIM 모델 업데이트를 위해서 지형정보를 해당 날짜별로 Database에 저장기능 추가 - 해당 날짜에 저장된 지형정보와 설계시공기면을 기반으로 토공물량산출  NO | Block Name | 면 적 | 계획고 | 지반고 | 계 | 성 토 | 보정토 | 절 토 | 1차 | 2차 | 3 1 | BL_1 | 3121.96 | 10.724 | 10.560 | 1200.450 | 283.150 | 1483.600 | 1483.600 2 | BL_2 | 1340.11 | 11.463 | 10.859 | -746.700 | 774.730 | 28.030 | 28.030 3 | BL_3 | 359.68 | 9.717 | 9.578 | -30.590 | 30.590 | 0.000 | 0.000 4 | BL_4 | 1342.65 | 10.693 | 10.616 | -154.240 | 369.980 | 215.740 | 215.740 5 | BL_5 | 478.67 | 10.758 | 11.545 | 191.010 | 0.000 | 191.010 | 191.010 6 | BL_6 | 344.81 | 10.722 | 10.271 | -20.920 | 34.870 | 13.950 | 13.950 7 | BL_7 | 4527.05 | 11.154 | 11.547 | 633.940 | 346.390 | 980.330 | 980.330 <날짜별 지형정보 업데이트 및 토공물량 산출> - 보링데이터를 기반으로 암층 BIM 모델 생성기능 업데이트  Boring 데이터 입력화면  보링 Draw (3D Obit으로 확인)  암층 발생 후 암층Draw (3D Obit으로 확인) <암층 BIM 모델 생성기능 업데이트>

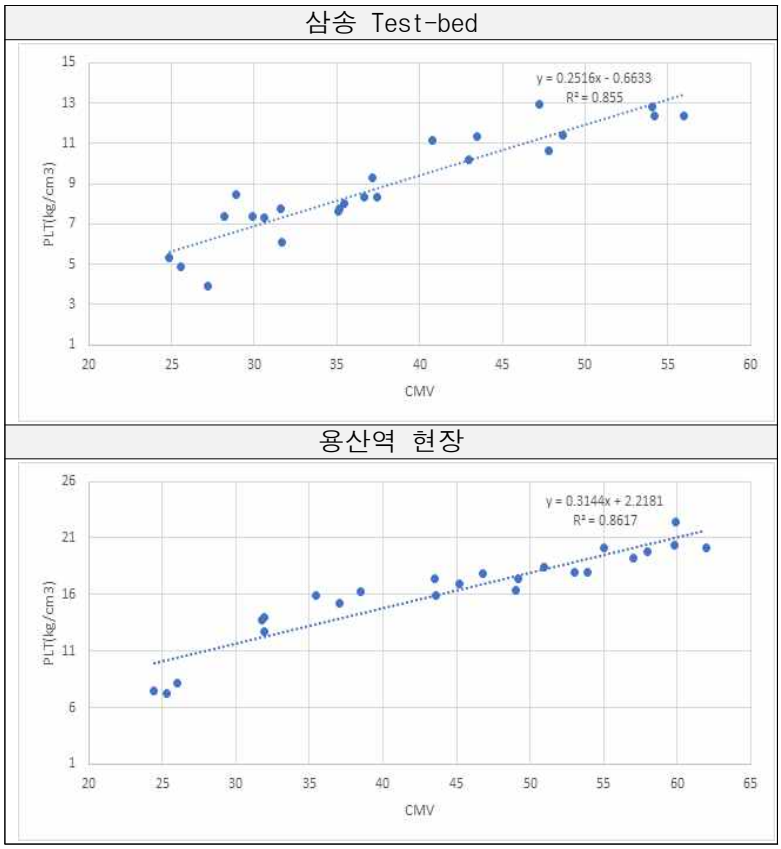
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 관제센터 H/W, S/W 기술의 성능평가 및 보완을 통한 시스템 시제품화	▪ Fleet 계획정보 연계형 BIM기반 통합 VR관제 시스템 개발 - 장비로부터 위치정보가 서버로 전송되고, 그 정보를 프로그램에서 수신 가능 - 수신된 위치정보와 계획되었던 강 장비별 이동경로를 비교하여 예정 경로로 가고 있는지 디스플레이 - 작업지형 정보를 바탕으로 작업물량 조회 기능  <BIM기반 장비관제 시스템>  <BIM기반 장비관제 Display> ○ Web-GIS 기반 토공 관제프로그램을 활용한 롤러의 지반 다짐 분석 시스템 구축 및 검증 ▪ 국내외 기술 개발 현황 조사를 통한 이론적 접근 - 기존 롤러는 QC 측면에서 작업 후 다짐도 테스트를 진행하지만 현장 전 범위 체크가 불가능하며, 테스트 방식이 까다롭고 소요시간이 많음. - 정확하고 신속한 다짐도 측정을 위하여 세계 각국 유럽, 미국, 일본의 중장비 회사에서는 간접적 다짐 측정방법의 롤러를 연구 · 개발하였으며 이를 IC롤러(Intelligent Compaction Roller)라 칭함. - 일반적으로 노상, 노체 다짐의 경우 Single Drum 롤러를 사용하여 지반을 다짐하고, 아스팔트 포장은 Double Drum을 사용함.

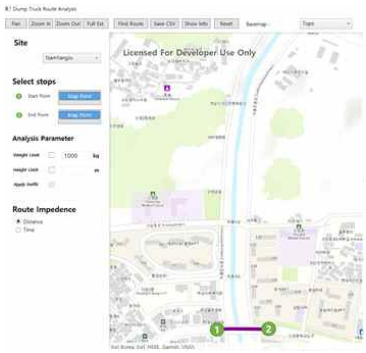
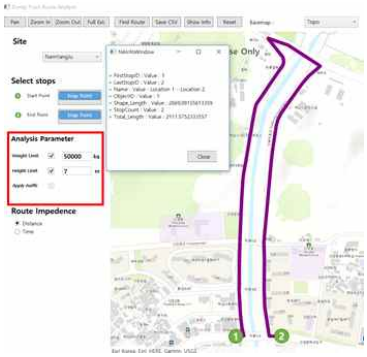
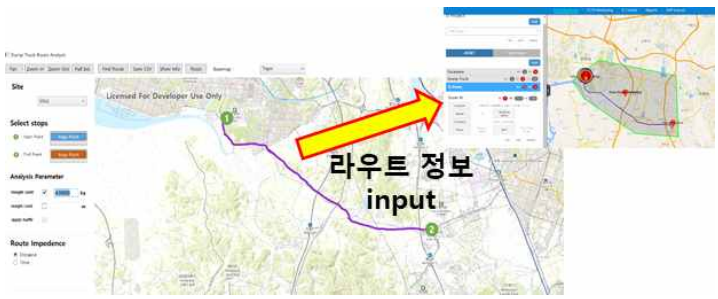
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 관제센터 H/W, S/W 기술의 성능평가 및 보완을 통한 시스템 시제품화	 <각 회사별 IC 롤러> ▪ IC 롤러 시스템 개발 - 고정밀 DGPS 안테나 1개와 연동된 GPS 컨트롤러로부터 정밀한 위치 데이터를 전송받아 NMEA(National Marine Electronics Association)에서 정의한 NMEA 0183 표준을 Web-GIS 기반 토공 관제프로그램에 DB화하고, NMEA 0183 표준에서 제시하는 여러 데이터 규격 중 GGA 포맷을 통해 위도, 경도 및 시간 정보를 추출하여 GIS 맵상에 표시함. - 또한, 롤러 드럼의 회전축에 가속도계를 부착하고 가속도 데이터를 0.01초마다 전송받아 FFT(Fast Fourier Transform)변환함. 측정된 결과의 1초 간격 내에서 기본 주파수 성분의 가속도크기와 첫 번째 조화성분의 가속도 크기를 나누어 시간당 CMV(Compaction Meter Value) 정보를 추출함.(지반의 다짐도는 응력의 변화량과 침하량에 의해 결정되는데 CMV는 가속도계에서 측정되는 수직가속도로써 응력의 변화량과 비례함)  <간접 다짐도 측정 롤러의 시스템 구성>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 관제센터 H/W, S/W 기술의 성능평가 및 보완을 통한 시스템 시제품화	▪ IC Control 소프트웨어 개발 - 다짐롤러에서 가속도와 NMEA 정보를 수신 받아 지반의 위치에 따른 CMV 정보를 IC Control에 시각화함. CMV 정보와 위치정보를 시간에 따라 매치시키는 기능을 통해 롤러가 다짐한 지반의 품질관리가 가능하도록 개발함. - 위치정보에 따라 지형의 다짐 횟수, 중첩, 경로를 확인할 수 있도록 개발함.  <IC Control 알고리즘 설계> ▪ CMV의 타당성 검증 테스트 - 현장 테스트는 총 두 번에 걸쳐 진행하였으며, 4km/h의 속도와 30~32Hz의 진동을 가하여 10m거리를 왕복 테스트함. - 테스트 장소: 삼송 Test-bed, 용산역 오염 토 치환 현장 - 테스트 목표: 1. 다짐 횟수에 따른 CMV 변화 확인 2. 다짐 횟수에 따른 지지력계수 변화 확인 3. CMV와 지지력계수의 상관관계 도출 - 평판재하시험 방법: 1. 시험지반을 수평하게 고른 후 재하판 및 측정 장치 설치 2. 0.35kg/cm^2의 하중을 가해 재하판을 지면에 안정시키고 게이지를 '0'으로 조정 3. 0.35kg/cm^2씩 하중을 가하여 각각의 하중과 침하량 기록 4. 침하량이 15mm에 달하거나 하중강도가 지반의 항복점을 넘을 때 종료 5. 2.5mm에서의 하중강도를 구하고 지지력계수(kgf/cm^3)를 구하여 평판재하시험 판정기준과 비교

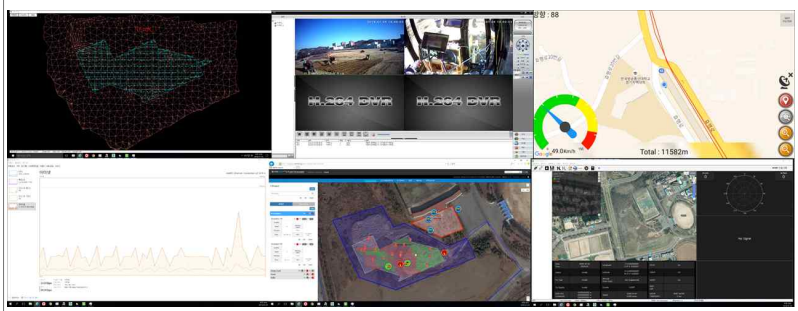
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 관제센터 H/W, S/W 기술의 성능평가 및 보완을 통한 시스템 시제품화	 <평판재하시험> 도로교통공사표준시방서(KS F 2310) 구분 / 시멘트 콘크리트 포장 / 아스팔트 콘크리트 포장 침하량(cm) / 0.125 / 0.25 지지력계수 – 노체 / 10이상 / 15이상 지지력계수 – 노상 / 15이상 / 20이상 지지력계수 – 보조기층, 뒷채움 / 20이상 / 30이상 <평판재하시험 판정기준> - 테스트 결과(1): 다짐 횟수에 따른 CMV 변화 확인  <다짐 횟수에 따른 CMV의 변화>

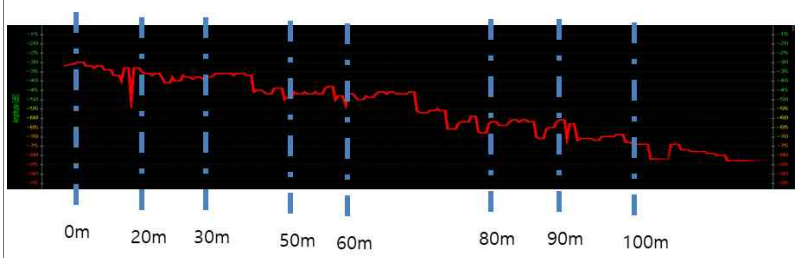
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 관제센터 H/W, S/W 기술의 성능평가 및 보완을 통한 시스템 시제품화	- 서로 다른 물성치를 갖는 두 종류의 지반에서 총1회 부터 8회까지의 테스트를 진행한 결과, 삼송 Test-bed에 비하여 용산역 현장의 CMV가 비교적 높게 나왔음을 확인 할 수 있었음. (CMV를 볼 때 용산역 현장 테스트 구간이 비교적 잘 다져졌다고 판단할 수 있음) 용산역 현장의 경우 CMV가 1회부터 8회까지 순차적으로 증가하였으나 삼송 Test-bed에서는 5회보다 3회의 CMV가 비교적 높게 도출되었음. - 테스트 결과: 지지력계수와 CMV의 연관성 검증이 필요함 - 테스트 결과(2): 다짐 횟수에 따른 지지력계수 변화 확인 삼송 Test-bed  용산역 현장  <다짐 횟수에 따른 지지력계수의 변화> - 평판재하시험을 3구간으로 나누어 총1회 부터 8회까지의 테스트를 진행한 결과, 삼송 Test-bed에 비하여 용산역 현장의 지지력계수가 비교적 높게 나왔음을 확인 할 수 있었음. (지지력계수를 볼 때 용산역 현장 테스트 구간이 비교적 잘 다져졌다고 판단할 수 있음) 용산역 현장의 경우 지지력계수가 1회부터 8회까지 순차적으로 증가하였으나 삼송 Test-bed에서는 5회보다 3회의 지지력계수가 비교적 높게 도출되었음. - 테스트 결과: “다짐 횟수에 따른 CMV 변화 확인” 테스트와 비교하면 CMV와 지지력계수가 서로 비례하게 증가하고 감소하는 것을 확인할 수 있음.(연관성 높음)

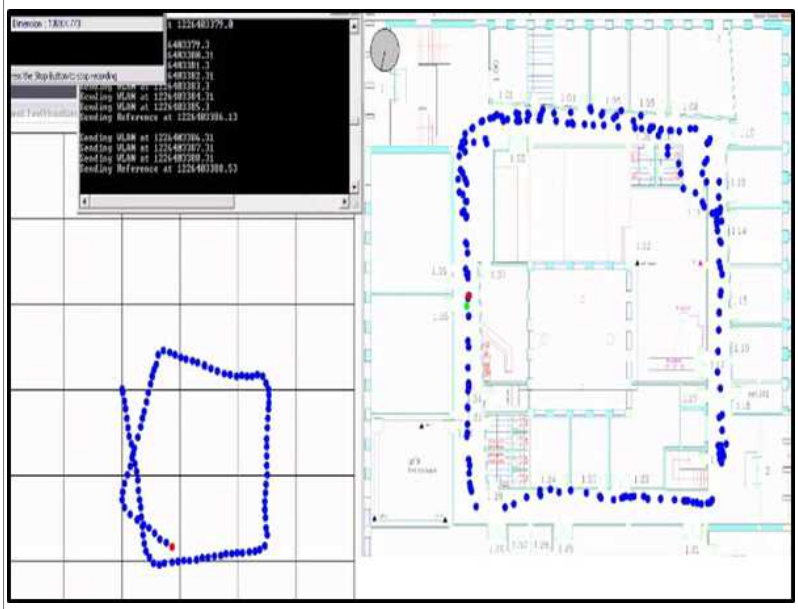
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 관제센터 H/W, S/W 기술의 성능평가 및 보완을 통한 시스템 시제품화	-테스트 결과(3): CMV와 지지력계수의 상관관계 도출  <CMV와 지지력계수의 상관관계> - 두 종류의 지반에 대한 CMV와 지지력계수의 회귀분석을 실시한 결과, CMV와 지지력계수는 통계적으로 조밀한 분포를 나타내고 있어 상관관계가 매우 높다고 할 수 있으며 CMV와 지지력계수가 비례함을 확인 할 수 있음. - 테스트 결과: 현장 다짐도 측정 방법 중 하나인 평판재하 시험을 통하여 CMV와 지지력계수의 상관관계를 비교함으로써 CMV로 지반 다짐도를 평가하는 방법의 타당성을 입증하였음.

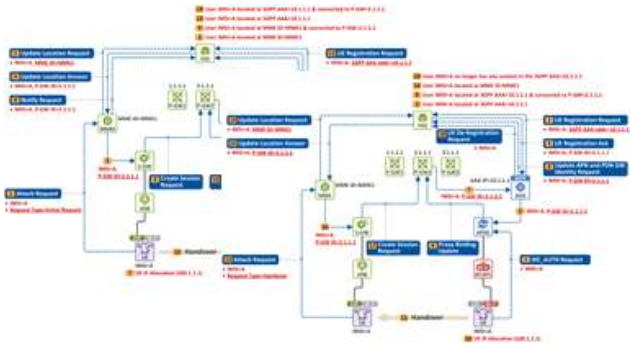
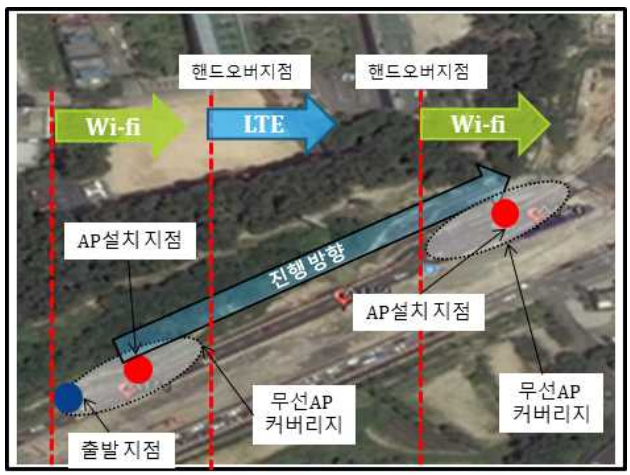
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 관제센터 H/W, S/W 기술의 성능평가 및 보완을 통한 시스템 시제품화	○ 덤프트럭 경로 탐색 모듈 ▪ 시스템 아키텍처 설계 및 구현 -최적의 덤프트럭 경로를 탐색하기 위해 ArcGIS Network Analyst 엔진을 핵심으로 한 독립형 프로그램 아키텍처를 설계하고, 이를 바탕으로 덤프트럭 경로분석 소프트웨어를 구현하였음. → 본 소프트웨어는 건설관리자가 출발지와 목적지를 설정하면 덤프트럭이 운행할 수 없는 구역(예: 높이제한 육교, 중량제한 교량)을 회피하여 운행경로를 도출함. → 이때 중요한 것은 사전에 덤프트럭 운행 제약조건이 포함된 네트워크 데이터베이스를 구축하는 작업임. 이를 위하여 시범지역 현장에 대하여 도로데이터베이스를 구축하였고, 이를 바탕으로 소프트웨어를 구동하여 성능을 검증하였음.  <제한조건 미반영 경로>  <제한조건 반영 경로> ▪ 기술적 · 경제적 성과 -특허출원 1건 -소프트웨어등록 1건 -토사 운반효율성 약 10% 향상
		○ 라우트 좌표변환 모듈 ▪ 관제탑과의 호환성 유지 -도출된 덤프트럭의 운반경로는 관제탑 시스템에 입력값으로 전달되어 향후 이탈방지 모듈의 기본값으로 사용됨. 경로탐색 모듈과 관제탑시스템과의 호환성을 유지하기 위하여 위도, 경도 좌표를 cvs파일로 전달하는 방식을 취하였음. 덤프트럭 운행 경로를 관제탑 시스템에 도시하는 작업이 성공적으로 검증되었음.  <좌표변환 모듈 Input>

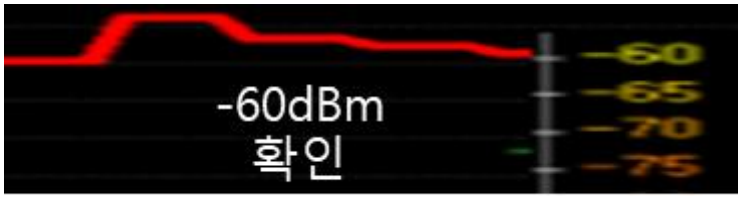
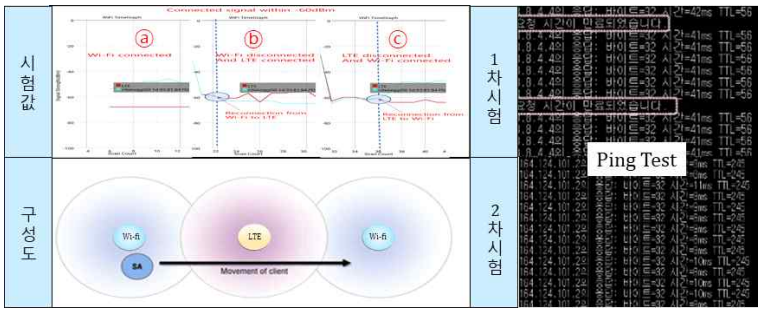
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 관제센터 H/W, S/W 기술의 성능평가 및 보완을 통한 시스템 시제품화	○ 토공사 현장관리자용 모바일 Telematics 개발 및 네비게이터 통합 ▪ 현장 관리자가 모든 정보를 통합하여 휴대용 태블릿으로부터 정보를 확인하여 관제 및 운영할 수 있는 통합 관리 프로그램을 개발함. ▪ 화면 구성 - 방향, 속도, 위치, 총 이동거리 정보 표시 - Site Fence IN, OUT 정보, 경로 OUT 정보 표시 - LTE 연결 유무 아이콘 표시(로컬 네트워크망 외부) - 지도 확대/축소 버튼 ▪ 세팅 - GPS Connection → Serial로 연결된 GPS 장비 정보 제공, 명령어 전송 - WiFi or LTE 설정(Time Graph 제공) - 프로젝트 선택 - 장비 선택 - 확인  <모바일 Telematics 기반 네비게이터>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 관제센터와 건설장비 가이드 기술의 시스템 통합구축 및 검증	○ 스마트 네트워크 통합 콘트롤 프로그램 개발 ▪ 시스템 아키텍처 및 하드웨어 설계 -DGPS 네비게이터, WPS위치추적 시스템, 통신망간 핸드오버 시스템등과 연동을 위한 프로토콜 및 공유 플랫폼의 호환성을 고려하여 개발 - 운영 체제는 윈도우 기반으로 함. - 실시간 모니터링 및 안정성을 위해 필요한 프로토콜만 탑재 - SERVER프로그램과 CLIENT 프로그램으로 이원화 하여 개발 - 각종 보고서 및 분석 자료를 위해 저장된 데이터의 변환(MS OFFICE, HWP..등)이 가능해야함.  <스마트 네트워크 통합 컨트롤 시스템 개요> ▪ 기존 Web(World Wide Web)형태의 프로그램에서 CS(Client Servr)기반의 소프트웨어를 개발  <스마트 네트워크 통합 컨트롤을 통한 실시간 모니터링>

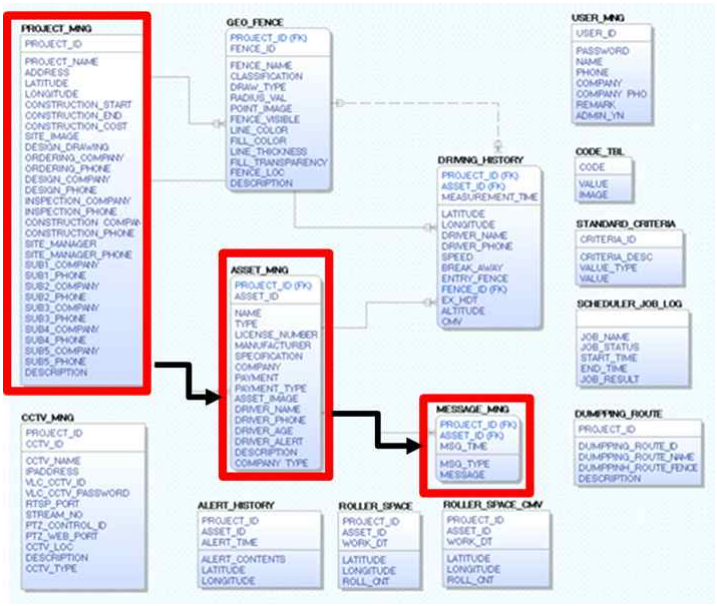
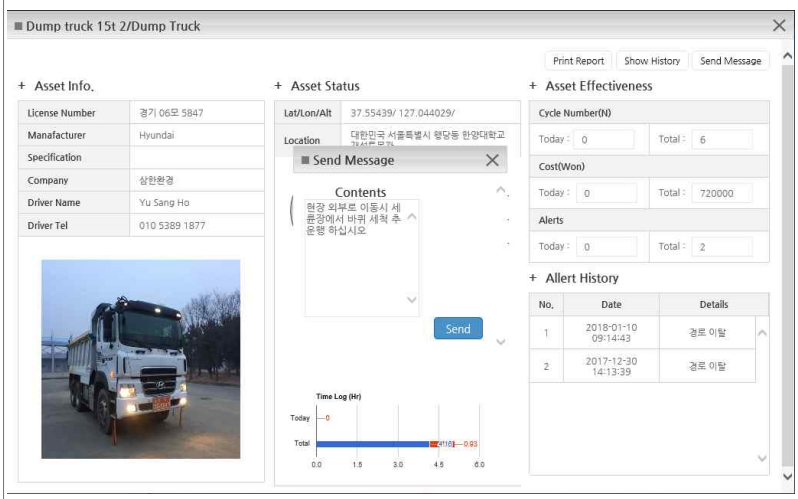
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 스마트 하이브리드 네트워크 실용화 기술 개발	○ WPS기반 음영지역 토공장비 위치 추적 모듈개발 ▪ 시스템 아키텍처 설계 -무선 액세스 포인트가 접속중인 단말기로부터 데이터를 수신하여, 정보를 갱신 -수신된 정보는 신호강도 (Received Signal Strength Indication, RSSI) 에 따라 거리가 계산 -신호강도에 따른 거리정보를 이용하여 현재 단말기의 위치를 파악 -노이즈 필터 및 밴드패스필터 기술을 활용하여 필요한 정보만을 처리함으로써 위치 오차 감소 ▪ WPS기반 음영지역 토공장비 위치 추적 모듈 검증 - 측정위치 : 터널 공사현장(별내IC인근) - 무선 AP 거리 별 출력 측정  <모듈 검증을 위한 AP설치 위치>   <거리에 따른 AP 출력강도>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 스마트 하이브리드 네트워크 실용화 기술 개발	▪ WPS기반 음영지역 토공장비 위치 추적 모듈 검증 결론 -위 그림과 같이 클라이언트의 이동 경로가 화면에 표기 되었다. 이를 향후 추가 개발을 통하여 난반사에 의한 신호감쇠나 이례상황에 대해 데이터 베이스를 축적하여 위치 오류를 줄이는 방안이 필요하다.  <AP 출력강도에 따른 클라이언트 이동경로(Web)>  <AP 출력강도에 따른 클라이언트 이동경로(Mobile)>

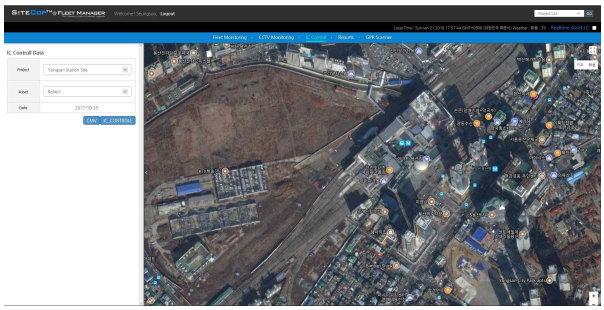
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 스마트 하이브리드 네트워크 실용화 기술 개발	○ 공인망과 사설망간 핸드오버 보드 개발 및 통합 ▪ 핸드오버 알고리즘 분석 및 소프트웨어 개발 -클라이언트 AP의 수평정 핸드오버 기능구축 -LTE 및 Wi-fi 망의 접속 터널경로 의사결정을 위한 로직 설계 -이기종 망간 핸드오버 기술구축 -양방향 통신 송수신이 가능한 모뎀 및 핸드오버가 가능한 보드/설계 개발 -네비게이터용 어플리케이션에 통합하여 사용자의 편의성 증대  <수직적 핸드오버 알고리즘> -원활한 핸드오버 기능을 구축하기 위해 Wi-fi 신호강도를 조절하는 RSSI Value설정 기능 추가  <핸드오버 설정 창> -남양주 별내 관로공사지역에서 LTE <->Wi-fi간 핸드오버 테스트 수행. 핸드오버 지점을 확인하기 위해 노트북에 Inssider2.0을 설치하여 무선 셀 설계를 진행한 후 시험 진행.  <핸드오버 시험현장>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 스마트 하이브리드 네트워크 실용화 기술 개발	-임의로 선정된 위치에 AP를 설치하고 핸드오버 예상지점 확정을 위한 무선 셀 설계 -핸드오버 기능을 확인하기 위해서 1차 시험은 핸드오버 기능을 적용하지 않은 상태에서 진행하였고, 2차 시험은 핸드오버 기능을 적용한 상태에서 진행함.  <무선 셀 설계> -핸드오버 성능검증 결과 →핸드오버 Wi-fi RSSI Value -60dBm으로 설정 →Ⓐ 초기 Wi-fi 연결된 상태. Wi-fi 신호출력 -50dBm 이상 유지 →Ⓑ Wi-fi 신호출력 -60dBm 이상으로 넘어가 LTE망으로 Handover 발생 →Ⓒ Wi-Fii 신호출력 -60dBm 이하로 넘어가 LTE망에서 Wi-fi 망으로 Handover 발생  <핸드오버 테스트 결과> →실험 결과 1차 핑 테스트에서 통신연결이 종료됨을 확인했고 2차 핑 테스트에서 통신연결이 지속됨을 확인 ▪ 기술적 · 경제적 성과 -핸드오버 적용률 100%
	▪ 관제센터와 건설장비 가이드 기술의 시스템 통합구축 및 검증	▪ 관제 프로그램과 Navigator의 연계를 위해서 메시지 송신 기능 개발 <메시지 송신 기능 테이블 set>

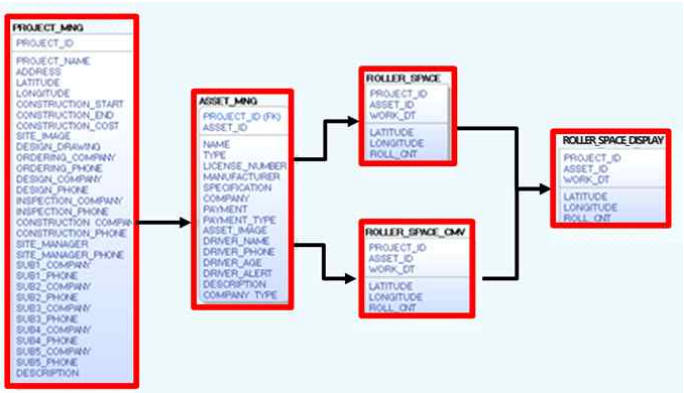
테이블명	메시지 관리	테이블ID			MESSAGE_MNG
필드명	필드영문명	타입	길이	Key	입 력 내 용
프로젝트ID	PROJECT_ID	NUMBER		PK	
장비ID	ASSET_ID	NUMBER		PK	
메시지 시간	MSG_TIME	DATE		PK	
메시지구분	MSG_TYPE	CHAR	1		1.송신, 2.수신
메시지	MESSAGE	VARCHAR2	255		메시지 내용

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 관제센터와 건설장비 가이드 기술의 시스템 통합구축 및 검증	 <관제프로그램과 네비게이터 연계를 위한 메시지 송신기능 ERD>  <관제프로그램에서의 메시지 송신>  <네비게이터에서의 메시지 수신>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 관제센터와 건설장비 가이드 기술의 시스템 통합구축 및 검증	▪ 관제 프로그램과 IC 롤러의 연계를 위해서 IC Control 기능 개발 -개발언어: JAVA -매시업(Mash-up): Google GIS Map -프로젝트 및 투입장비 기본정보 검색 가능 -롤러의 작업구간 Geo-fence 설정 가능 -품질정보 UI: CMV -위치정보 UI: IC Control



<관제프로그램과 IC Roller 연계>

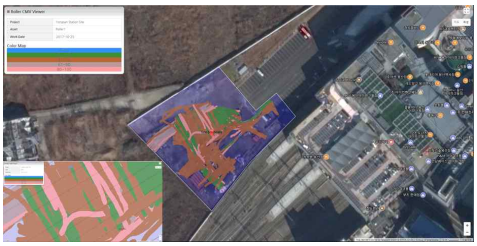
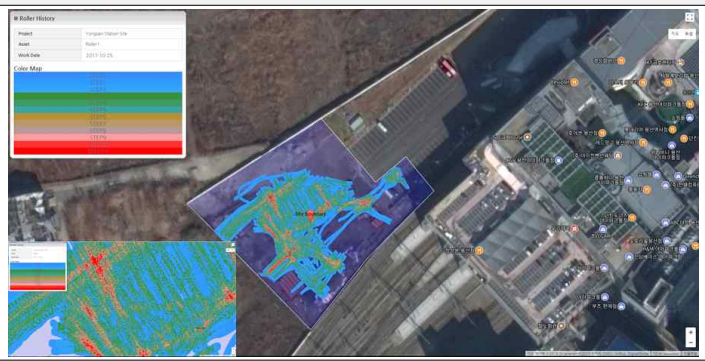
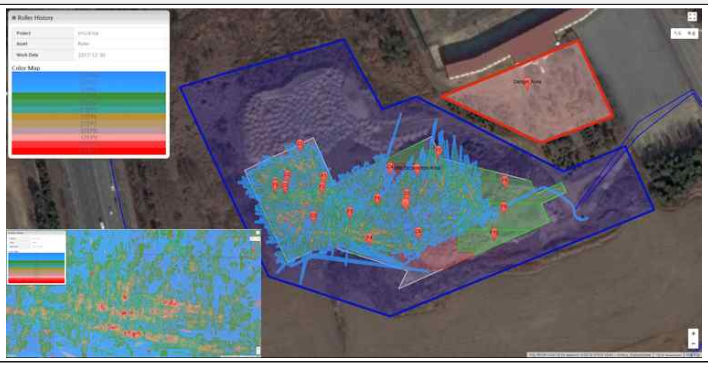


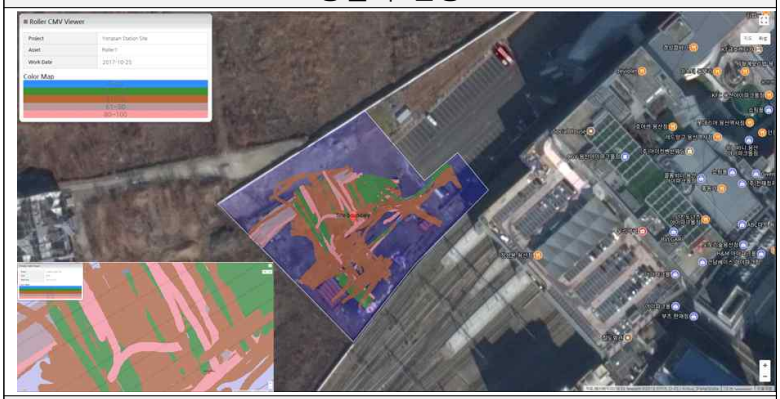
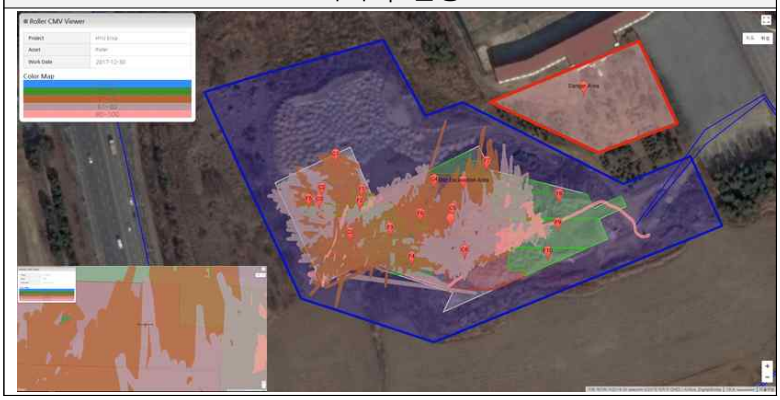
<IC Control ERD>

-IICTG(International Intelligent Construction Technologies Group)에서는 CMV의 평가기준을 다음의 지반 강도로 빗대어 표현하고 있음.

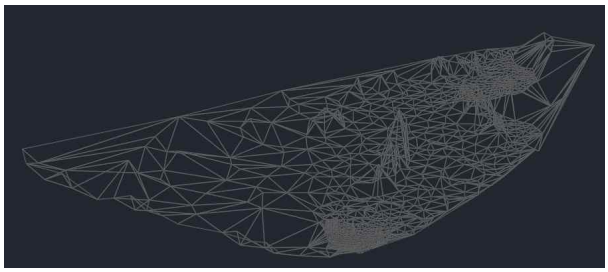
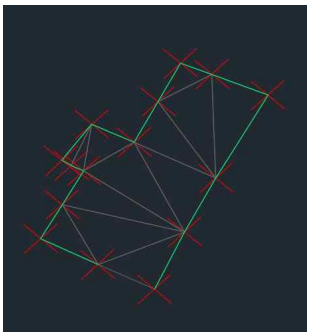
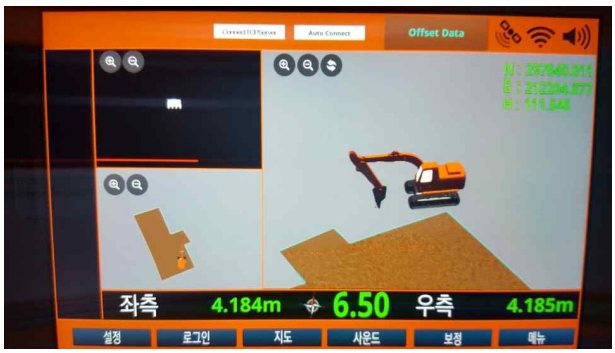
<CMV 평가기준에 따른 색상>

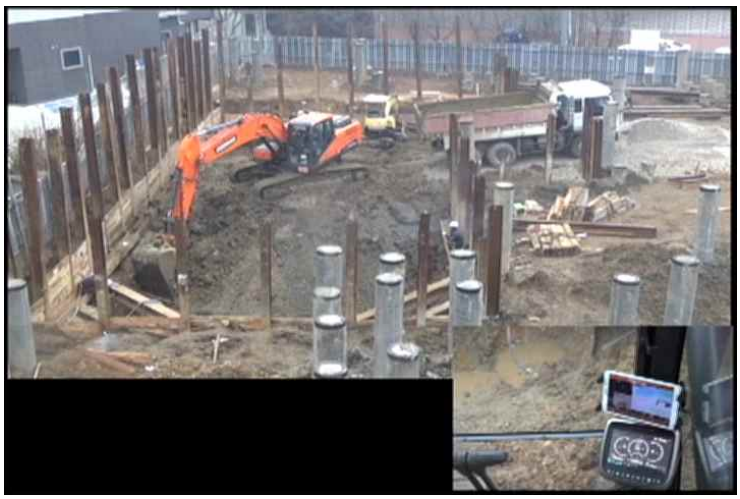
Soil Type	CMV	Color	
Rock fill	60 ~ 100	80 ~ 100	빨간색
Gravel	30 ~ 80	60 ~ 80	회색
Sand	20 ~ 50	40 ~ 60	갈색
Clay and Cilt	5 ~ 30	20 ~ 40	초록색
		0 ~ 20	파란색

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
		 <관제프로그램에서 CMV에 따른 다짐정도 디스플레이> ▪ IC Control 시스템 검증 - IC Control 시스템 검증은 총 두 번에 걸쳐 진행하였으며, 4km/h의 속도와 30~32Hz의 진동을 가함. - IC Control에 롤러의 작업 구간 바운더리를 형성하였으며, 경로를 색깔별로 시각화함. - 검증 장소: 용산역 오염 토 치환 현장, 한양대 에리카 캠퍼스 야외 행사장 조성 현장 - 검증 목표: IC Control과 연계된 롤러를 통해 현장 관리자에게 위치정보와 품질정보를 제공하여 지반 부등침하 방지, 실제 다짐구간 확인 및 전 구간 품질확보를 목표로 함.
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 관제센터와 건설장비 가이드 기술의 시스템 통합구축 및 검증	용산역 현장  에리카 현장  <위치정보 시각화> -파란색에서 빨간색으로 총 12번 다짐을 Step 별 색상으로 구분하고, 롤러의 폭과 동일하게 경로를 1.8m의 폭으로 표현하여 불필요한 다짐구간과 부족한 다짐구간을 시각화함. -작업자가 계획 다짐지반을 포함하지 않을 경우와 불필요한 지반을 다짐할 경우 즉각적인 대처가 가능함.

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 관제센터와 건설장비 가이드 기술의 시스템 통합구축 및 검증	-IC Control 시스템의 품질정보 검증 결과 용산역 현장  에리카 현장  <품질정보 시각화> -CMV와 지지력계수의 상관관계에 따르면 용산역 현장 결과는 CMV가 40이상일 경우 도로교통공사표준시방서(KS F 2310)에서 제공하는 기준치(노체:15) 이상임을 확인할 수 있음. -시스템검증 결과: IICTG에서 제시한 CMV의 평가기준으로 볼 때 용산역 현장과 에리카 현장 모두 Gravel Type 이상, 노체:15 이상으로 측정되고 그에 따른 결과 값이 관제프로그램 상에 적합하게 표시됨을 검증 함.

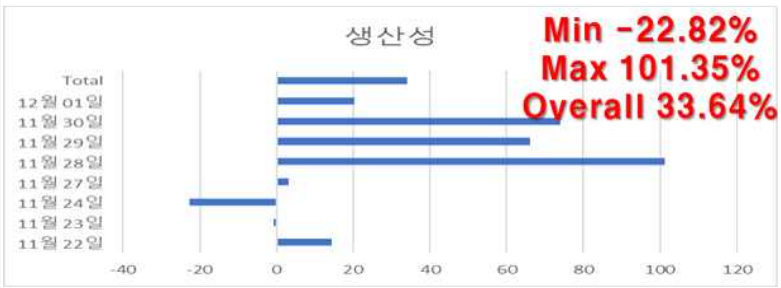
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 관제센터와 건설장비 가이드 기술의 시스템 통합구축 및 검증	▪ 관제프로그램과 무선CCVT와의 연계를 위한 시스템 통합 -Web-GIS기반 토공장비 관제프로그램과 무선 AP와의 연계를 통해 무선CCTV 통합 기능 구현하여 프로그램 상의 CCTV 아이콘을 클릭 시 해당 CCTV 영상을 확인할 수 있음  <Fleet Manger 상의 CCTV>  <Fleet Manager 상의 CCTV 화면>
	▪ 다양한 유형의 Full-Package 현장적용 및 생산성 검증	○ ICT를 활용한 건설장비 관제 및 스마트시공 기술 현장 적용 ▪ ○○주상복합 조성공사현장정보 및 개요 - 위치 : 전라남도 곡성군 옥과면 - 투입장비 : 스마트 시공기술 적용 08굴삭기 - 투입기술 : BIM기반 3차원 토공설계 기술, 스마트 시공기술, Telematics, Smart connect - 현장적용 결과 : 기존 시공대비 생산성 33.64% 향상 ▪ 3차원 토공 BIM 모듈 적용 -3차원 토공 BIM 모듈을 적용하기 위해서 설계지역을 대상으로 레이저스캐닝 진행

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 다양한 유형의 Full-Package 현장적용 및 생산성 검증	 Gokseong Scan - 메모장 파일(F) 편집(E) 서식(O) 보기(V) 도움말(H) 212186.4030 297646.8864 113.1188 -1801 94 68 34 212196.7944 297641.9666 112.3290 -1796 184 178 134 212187.7821 297644.6201 112.5720 -1268 106 86 52 212187.6954 297644.6571 112.5462 -1530 184 172 134 212187.6072 297644.7533 112.5735 -1169 132 106 68 212187.5722 297644.7095 112.5685 -1310 170 158 114 212187.7326 297644.8278 112.5512 -1252 146 130 86 212187.7691 297644.7540 112.5382 -1274 96 82 34 212187.6579 297644.7933 112.5410 -1208 136 124 82 212187.7399 297644.7023 112.5425 -1268 150 128 82 212187.7579 297644.9980 112.5015 -1469 156 134 88 212187.7431 297645.0010 112.5042 -1192 176 154 102 212187.7051 297644.8952 112.5165 -1281 164 148 108 212188.7863 297644.1934 112.5925 -1607 92 72 22 212189.1022 297644.0590 112.5205 -1309 160 144 96 212188.8412 297644.2752 112.6032 -1576 124 100 46 212189.1327 297644.2749 112.5825 -1600 134 110 56 212188.1015 297644.4844 112.7419 -1401 128 104 60 <Point cloud> -레이저 스캐닝으로 획득한 Point cloud를 이용하여 3차원 토공 BIM 모듈에서 원지형 및 3차원 토공모델 생성  <Point cloud를 활용한 TIN Surface 작성>  <대상지역 3차원 설계모델> ▪ 머신가이던스 적용 - 3차원 토공BIM 모듈을 활용하여 작성한 3차원 토공모델을 머신가이던스에 입력하여 시공  <3차원 토공모델 머신가이던스 적용>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 다양한 유형의 Full-Package 현장적용 및 생산성 검증	 <ICT 건설장비 관제기술 현장적용> - ICT 건설장비 관제 및 스마트 시공기술을 현장에 적용하여 기존시공대비 약 33.64% 향상

일시	working	idle	Exception	작업시간	상차횟수	총 굴착량(m³)	시간당 작업량(m³/hr)	생산성 증감(%)
11월 22일	2:45	1:15	3:26	4:00	19	171	42.8	14.35
11월 23일	2:05	0:06	1:16	2:11	9	81	37.1	-0.76
11월 24일	2:45	1:37	2:57	4:22	14	126	28.9	-22.82
11월 27일	2:12	2:28	2:44	4:40	20	180	38.6	3.17
11월 28일	3:54	1:36	3:11	5:30	46	414	75.3	101.35
11월 29일	3:29	3:46	1:45	7:15	50	450	62.1	66.03
11월 30일	2:29	2:55	3:37	5:24	39	351	65	73.87
12월 01일	2:27	1:57	2:19	4:24	22	198	45	20.37
Total	22:06	15:40	21:15	39.3	219	1971	50.2	33.64

<생산성 분석 1>

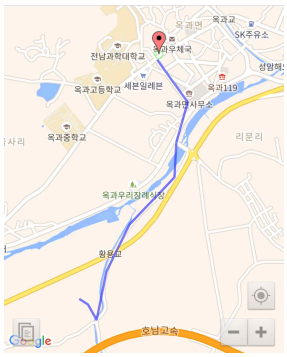
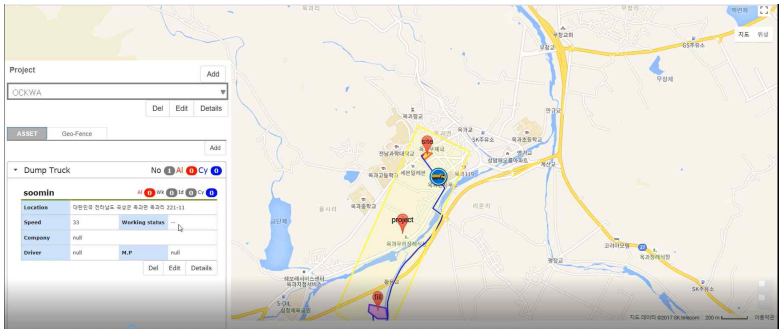
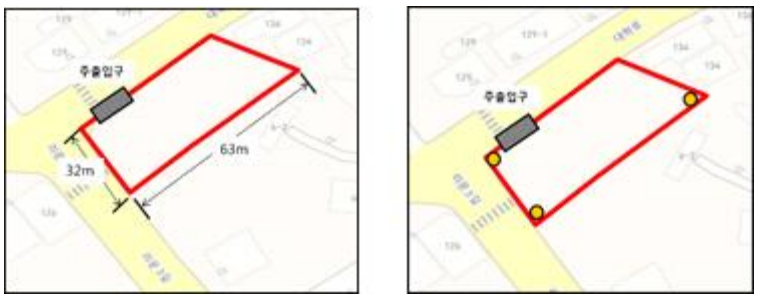


<생산성 분석 2>

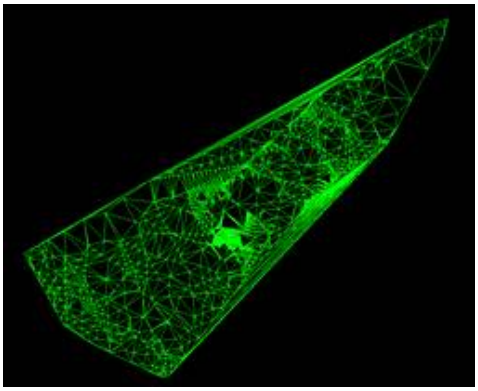
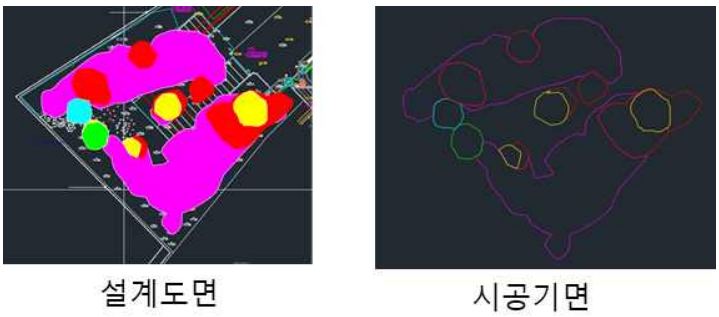
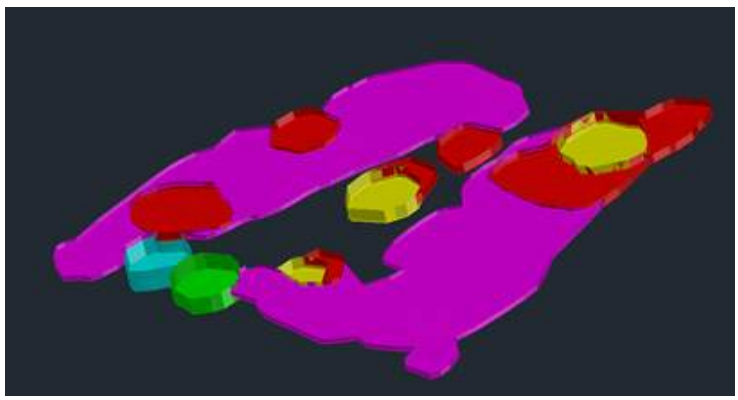
→ 본 현장의 경우 용수 터파기로서 현장 정보를 근거로 한 품셈의 굴삭기 생산성은 37.4㎥ 이고, 스마트 시공기술을 적용한 굴삭기 생산성은 평균 50.0㎥ 로 약 33.64% 향상

▪ Telematics 적용

- Telematics 적용을 위해서 덤프트럭 운반경로 탐색모듈을 활용하여 덤프트럭의 이동경로 산정

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 다양한 유형의 Full-Package 현장적용 및 생산성 검증	 <덤프트럭 이동경로 산정> - Telematics를 활용하여 토공사 관제  <덤프트럭 이동경로 관제> - Telematics 토공사 관제프로그램을 활용하여 외부토공 운반장비(덤프트럭)의 관제를 수행하여 덤프트럭의 활용성을 향상 ▪ Smart connect - 설계대상 지역을 사전답사를 통해 AP Package 필요 대수 및 위치 등을 파악하고 CCTV 화각을 고려한 음영지역 최소화 위치를 선정  <CCTV 화각을 고려한 음영지역의 최소화 위치 선정> - AP Locator를 활용한 무선 AP 커버리지 및 위치분석을 수행하여 현장의 거리가 70m 미만으로 타 장비와의 채널 간섭보다 무선 AP간 간섭이 발생할 수 있음을 파악. 때문에 각 AP별 출력을 50%(50mw)이상으로 조절함

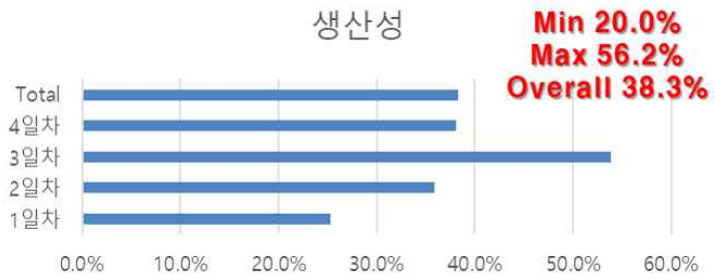
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 다양한 유형의 Full-Package 현장적용 및 생산성 검증	 <최적의 위치 파악 및 커버리지 분석결과> - 최종적으로 최적의 위치에 AP를 설치함으로써 무선망간의 간섭을 최소화 하고 데이터 로스 없는 로컬 네트워크망을 구성하여 고화질의 CCTV영상을 끊김 없이 제공.  <Smart connect 설치 전경>  <Smart connect 설치 화면> ▪ 서울특별시 용산 오염토 정화공사 적용 및 개요 - 위치 : 서울특별시 용산구 용산역 오염토 정화공사 - 투입장비 : 머신가이던스 적용 10굴삭기 - 투입기술 : BIM기반 3차원 토공설계 기술, 머신가이던스, - 머신가이던스 기술을 적용하여 기존 생산성 대비 38.3% 증가 ▪ 3차원 토공 BIM 모듈 적용 -3차원 토공 BIM 모듈을 적용하기 위해서 설계지역을 대상으로 GPS 측량 진행 후 3차원 토공 BIM 모듈을 적용하여 원지형 작성

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 다양한 유형의 Full-Package 현장적용 및 생산성 검증	 <3차원 토공 BIM 모듈을 활용한 TIN Surface작성> -2차원 설계도면을 바탕으로 시공기면 작성하고 3차원 모델링 수행  <설계도면 및 시공기면> -3차원 토공 BIM모듈을 통해 시공기면과 원지형을 이용하여 3차원 토공 모델링  <3차원 토공 모델링> ▪ 머신가이던스 적용 - 3차원 토공BIM 모듈을 활용하여 작성한 3차원 토공모델을 머신가이던스에 입력하여 시공 - 오염토 정화공사의 경우 공사의 특성상 비정형적인 터파기가 진행되어 측량 및 측설의 중요성이 크고 이에 따른 시간소모가 증가함. 하지만 머신가이던스를 적용할 때 별도의 측량작업이 제외되므로 생산성 증대 및 원가 절감의 효과가 있음

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 다양한 유형의 Full-Package 현장적용 및 생산성 검증	 <스마트 시공 기술 적용 현장 전경> - 스마트 시공기술을 대상 현장에 적용하여 산출된 생산성은 평균 144.2㎥ , 현장 정보를 근거로 한 표준품셈의 굴삭기 생산성은 104.3㎥ 으로 품셈대비 스마트 시공 기술을 적용한 굴삭기의 생산성은 약 38.3% 증가

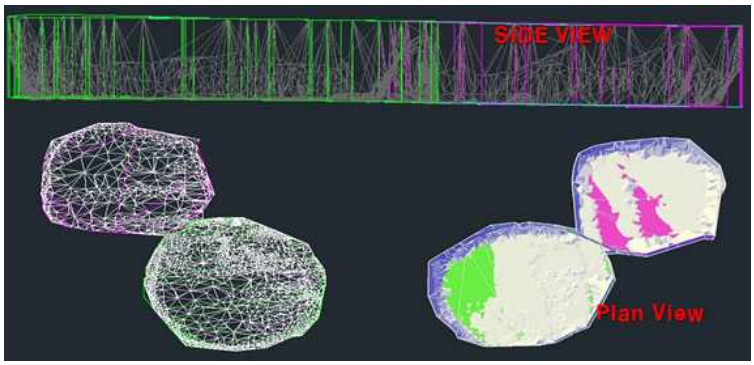
일시	작업조합	Working	Idle	Exception	작업시간	상차횟수	총 굴착량	시간당 작업량	생산성 증감
1일차 오전	10굴삭기 + 15ton 덤프 2대	2:40	0:03	1:23	2:43	34	340	125.2	20.0%
1일차 오후	10굴삭기 + 15ton 덤프 2대	3:55	0:06	0:10	4:01	54	540	134.4	28.9%
1일차		6:35	0:09	1:33	6:44	88	880	130.7	**25.3%**
2일차 오전	10굴삭기 + 15ton 덤프 2대	3:46	0:10	0:21	3:56	57	570	144.9	38.9%
2일차 오후	10굴삭기 + 15ton 덤프 1대	0:49	0:24	1:38	1:13	16	160	131.5	26.1%
2일차		4:35	0:34	1:59	5:09	73	730	141.7	**35.9%**
3일차 오전	10굴삭기 + 15ton 덤프 2대	3:33	0:10	0:16	3:43	59	590	158.7	52.2%
3일차 오후	10굴삭기 + 15ton 덤프 2대	2:37	0:05	1:53	2:42	44	440	163.0	56.2%
3일차		6:10	0:15	2:09	6:25	103	1030	160.5	**53.9%**
4일차 오전	10굴삭기 + 15ton 덤프 2대	2:22	0:22	1:29	2:44	38	380	139.0	33.3%
4일차 오후	10굴삭기 + 15ton 덤프 2대	2:23	0:18	0:18	2:41	40	400	149.1	42.9%
4일차		4:45	0:40	1:47	5:25	78	780	144.0	**38.1%**
Total		22:05	1:38	7:28	23:43	342	3420	144.2	**38.3%**

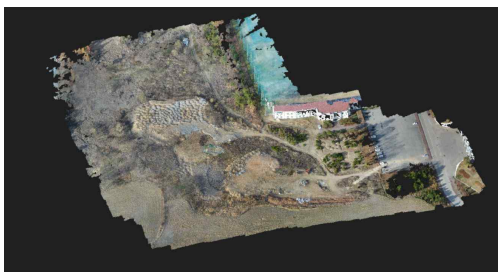
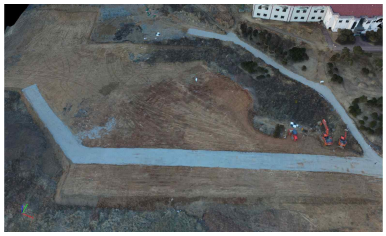
<스마트 시공 기술 적용 굴삭기 생산성 분석>

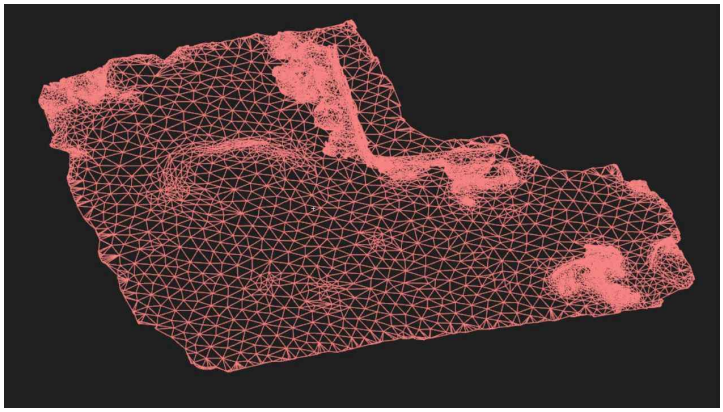
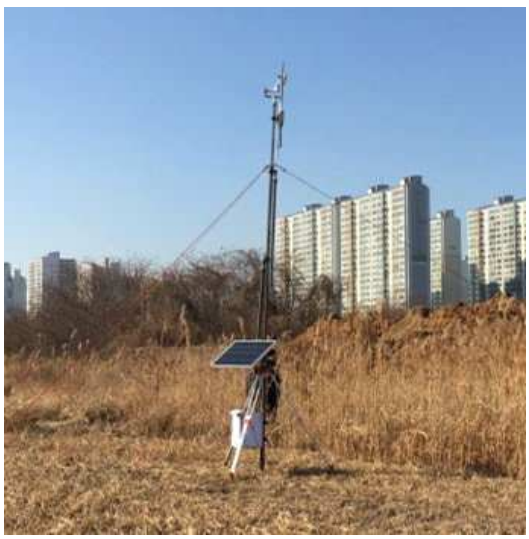


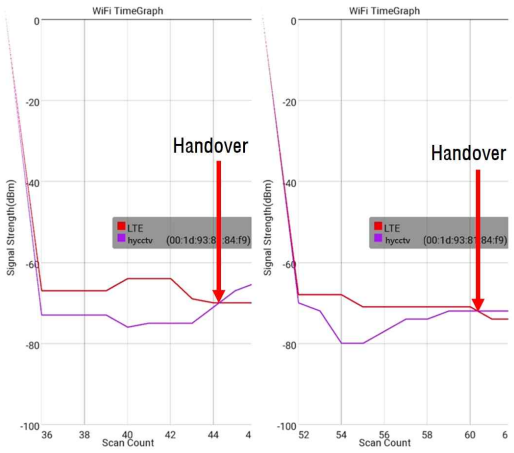
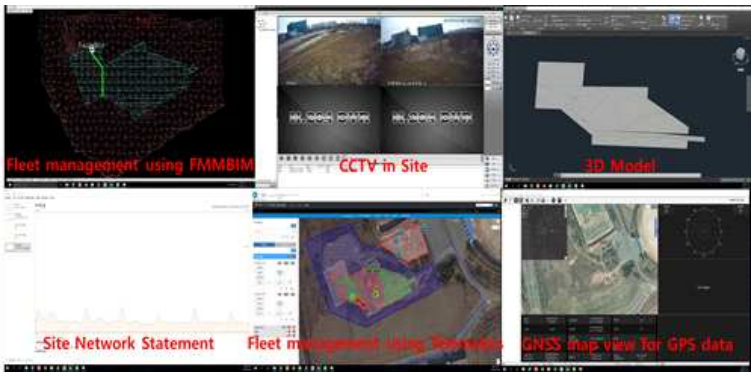
<스마트 시공 기술 적용 굴삭기 생산성 분석 2>

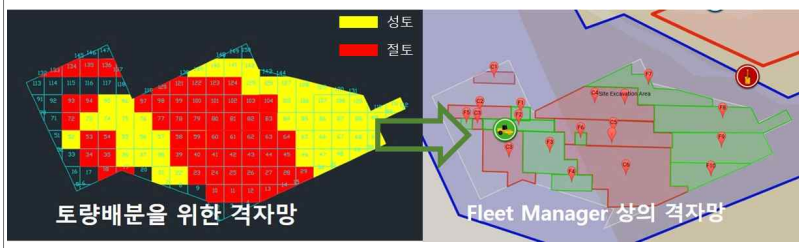
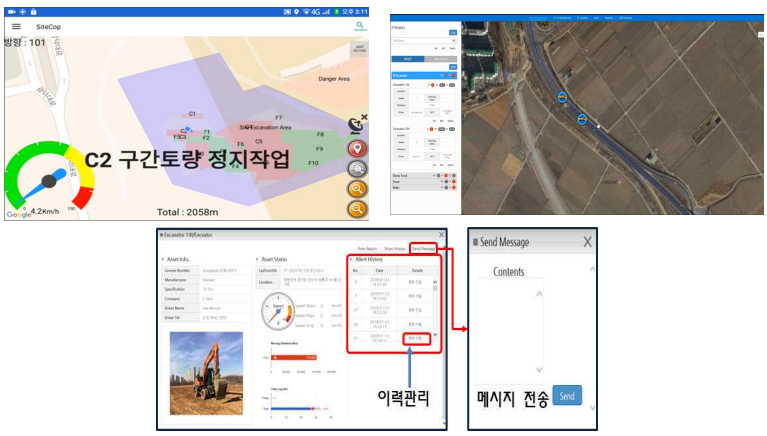
- 머신가이던스 굴착 시공 후, 레이저스캐너를 활용하여 품질테스트 진행.

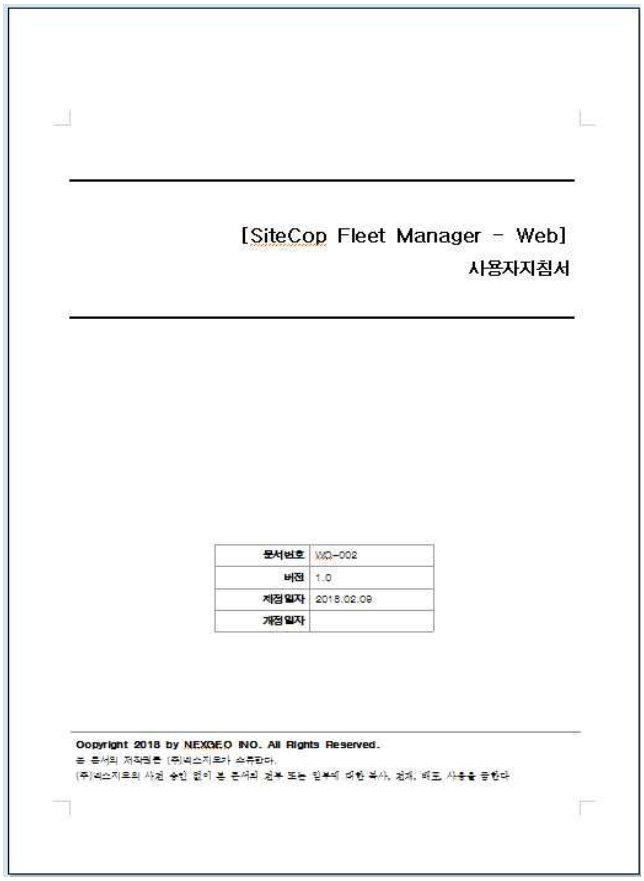
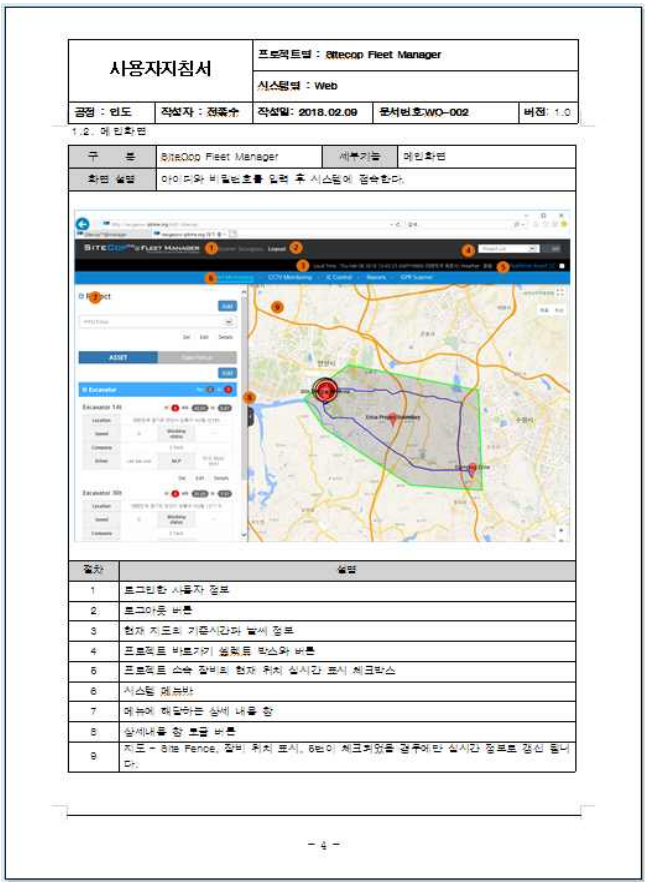
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 다양한 유형의 Full-Package 현장적용 및 생산성 검증	 <레이저 스캐닝 결과 1> - 설계 모델과 레이저 스캐닝모델을 비교한 결과, 총 부피에서는 약 93.3% 일치, 시공 바운더리는 99.9% 일치 - 본 현장의 경우 최대 5m의 굴착고를 갖는 현장이므로 굴착 시 흙막이 시공이 필수적이지만, 공사의 특성상 시공 바운더리가 불규칙적이어서 흙막이 시공이 어려움. 때문에 토사붕괴를 방지하기 위해 불가피하게 일정부분 사면각을 주어 시공하여 설계물량과 실제물량의 차이가 발생함. **Volume Summary** Name / Type / Cut Factor / Fill Factor / 2d Area (sq.m) / Cut (Cu. M.) / Fill (Cu. M.) / Net (Cu. M.) SECTION 1 / full / 1.000 / 1.000 / 324.91 / 0.94 / 65.91 / 64.97<Fill> **Totals** 2d Area (sq.m) / Cut (Cu. M.) / Fill (Cu. M.) / Net (Cu. M.) Total / 324.91 / 0.94 / 65.91 / 64.97<Fill> <설계 모델과 레이저 스캐닝 모델 비교> | | AREA (M^2) | VOLUME (M^3) | ERROR((M^3) | QUALITY (%) | | --- | --- | --- | --- | --- | | DESIGN | 324.92 | 974.76 | 64.97 | 93.3 | | LASER SCAN | 324.91 | 909.79 | | | <설계 모델과 레이저 스캐닝 모델 비교 2> - 설계도면의 최종굴착고는 9.26m 머신가이던스 굴착의 최종굴착고의 차이는 약 9.28788m로 약 0.02m 오차를 보임 | E | N | Z | | --- | --- | --- | | 196575.9 | 547738.3 | 9.2927 | | 196576.4 | 547738.1 | 9.2845 | | 196576.3 | 547738.6 | 9.2875 | | 196576.6 | 547738.4 | 9.286 | | 196576.3 | 547738.8 | 9.2922 | | 196577 | 547738.2 | 9.29 | | 196577.2 | 547738.4 | 9.2912 | | 196577.6 | 547738.3 | 9.287 | | 196577.8 | 547738.5 | 9.282 | | 196577 | 547738.6 | 9.2922 | | 196577 | 547738.9 | 9.2942 | | 196577.5 | 547738.7 | 9.2787 | | 196577.5 | 547738.9 | 9.284 | | 196578.3 | 547738.1 | 9.287 | | 196579.3 | 547738.1 | 9.289 | <머신가이던스 최종 굴착고>

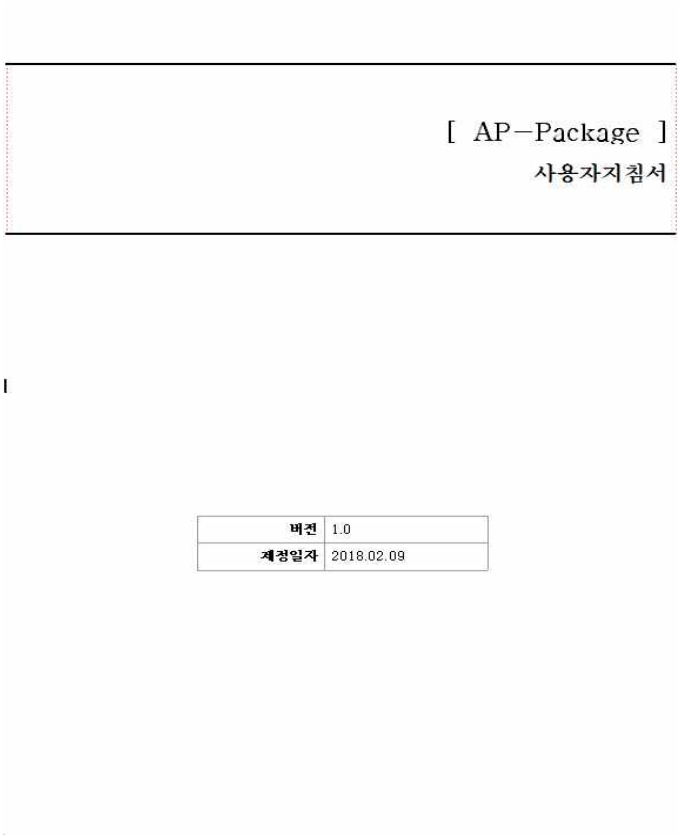
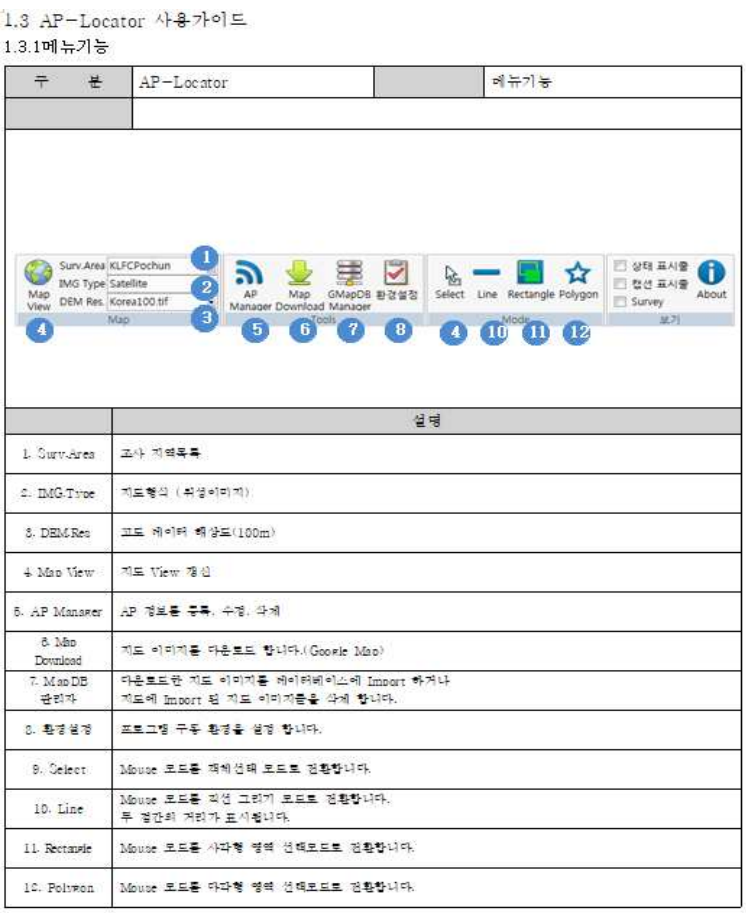
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 다양한 유형의 Full-Package 현장적용 및 생산성 검증	▪ 한양대학교 에리카캠퍼스 야외행사장 조성사업 현장정보 및 개요 - 위치 : 경기도 안산시 한양대학교 에리카캠퍼스 - 투입장비 : 레이저 스캐너, 드론, 스마트 시공기술 적용 06굴삭기, 10굴삭기, 도저, 덤프, 롤러 - 투입기술 : Smart Scanning, BIM기반 3차원 토공설계 기술, 스마트 시공기술, Telematics, Smart connect - 현장적용 결과 : 기존 시공대비 생산성 42.775% 향상 - 공사부지면적 : 11,500m² ▪ Smart scanning - 드론측량 시행 전, Reference data 획득을 위하여 레이저 스캐너를 활용함. - 드론은 고도 70m, 이미지 중첩도 80%로 진행하였으며 카메라 각도는 90도를 유지함. - 획득된 데이터는 키포인트 추출+매칭, 카메라 위치 산정 +Sparse Reconstruction, Dense Reconstruction을 통하여 최종 모델 생성  <드론측량 결과데이터> - 지속적인 현황 측량을 통해 공기 관리 수행  <드론을 활용한 현황측량 1>  <드론을 활용한 현황측량 2>  <드론을 활용한 현황측량 3>  <드론을 활용한 현황측량 4>

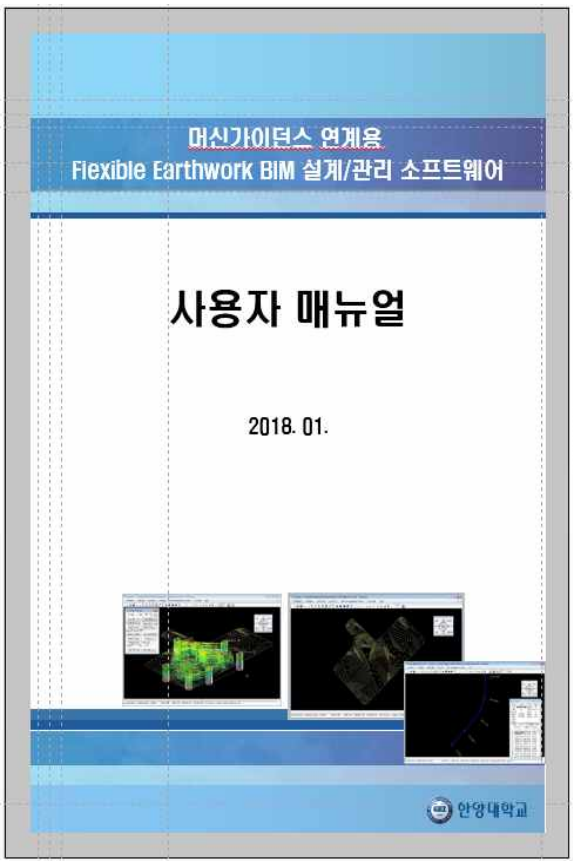
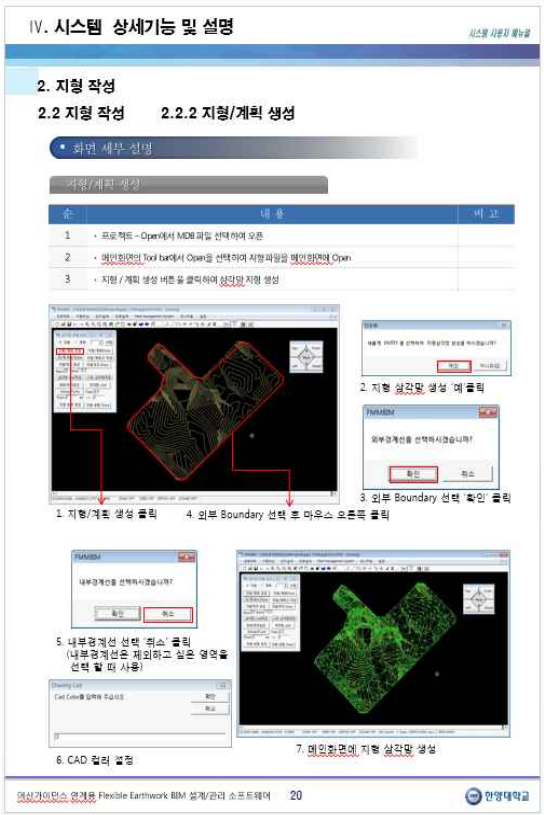
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 다양한 유형의 Full-Package 현장적용 및 생산성 검증	▪ 3차원 토공 BIM 모듈 적용 - 스마트 스캐닝으로 작성된 결과데이터를 활용하여 TIN Surface 작성 및 3차원 토공모델을 작성  <TIN Surface>  <3차원 토공모델> ▪ Smart connect - 현장 내 관제를 수행하기 위한 무선 AP타워 설치 및 관제차량 셋팅  <무선 AP Package 설치 전경>

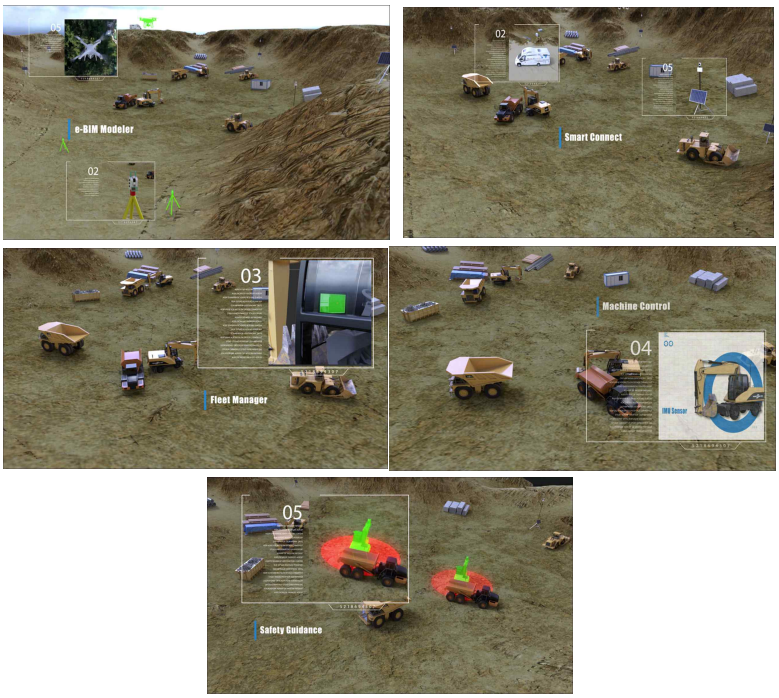
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 다양한 유형의 Full-Package 현장적용 및 생산성 검증	- AP타워 설치 후 LTE <-> Wi-fi 핸드오버 수신율 체크, Wi-fi 수신 강도 기준을 -70dBm으로 설정  <LTE <-> Wi-fi 핸드오버> - AP타워 설치를 통해 구축된 로컬네트워크 망과 관제차량에 설치되어 있는 AP브릿지를 연동하여 현장 내 정보를 실시간으로 관제차량으로 수신하고 이를 바탕으로 관제 수행 - 관제차량은 관제를 위한 현장 정보(CCTV, 설계도면, 현장 내 로컬네트워크 망 정보) 및 관제 소프트웨어(Fleet telematics)를 현장관리자에게 제공하며, 현장관리자는 이런 정보 및 소프트웨어를 활용하여 관제 수행  <현장 내 관제차량>  <관제차량 내 모니터 화면>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 다양한 유형의 Full-Package 현장적용 및 생산성 검증	▪ Telematics - 관제차량 내 Fleet Manager 프로그램을 통해 현장 내/외 장비의 실시간 위치 및 정보 파악 - 3차원 토공 BIM 모듈을 통해 작성된 토량배분 계획을 바탕으로 Fleet Manager 프로그램에 입력하여 현장 내 건설장비들에게 제공. - 현장 관리자가 Fleet Manager에서 각 장비에 설치되어 있는 Navigator에 메시지를 송신하여 건설장비 통제 - 외부 토공 운반장비의 경우, Loading Zone과 Dumping Zone을 설정하면 토공 운반장비가 Loading Zone과 Dumping Zone을 왕복하는 것을 Navigator의 위치정보를 바탕으로 실시간으로 체크하여 토공 운반장비의 Cycle Number를 신뢰적으로 관리함 - 지정된 경로 이탈 및 위험구역에 들어설 경우 자동 메시지 전송기능을 통해 장비 오퍼레이터에게 경고를 하고 이를 Telematics 관제프로그램에 자동 저장하여 장비의 이력을 관리함  <토량배분 격자망 작성>  <Fleet manager를 통한 건설장비 관제> ▪ 기술적 · 경제적 성과 - 현황측량을 드론과 레이저스캐너를 활용하여 단기간에 수행 - 시공 중 측량을 배제한 머신가이던스 시공으로 공기 단축 - 로컬 네트워크망 형성을 통한 신뢰적인 정보 송 · 수신이 이루어져 통신비 절감 - 프로젝트 레벨에서 품셈 대비 공기 7일 중 2일 감소 - 원가 절감 22.84%

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 건설장비 관제센터 기술 매뉴얼 작성 및 홍보	○ 통합관제 시스템 시제품 매뉴얼 작성  [SiteCop Fleet Manager – Web] 사용자지침서 문서번호 WO-002 버전 1.0 제정일자 2018.02.09 개정일자 Copyright 2018 by NEXGEO INC. All Rights Reserved. <통합관제 시스템 매뉴얼 표지>  사용자지침서 프로젝트명 : Sitecop Fleet Manager 시스템명 : Web 공정 : 인도 작성자 : 전홍수 작성일: 2018.02.09 문서번호:WO-002 버전: 1.0 1.2. 메인화면 구 분 SiteCop Fleet Manager 세부기능 : 메인화면 화면 설명 아이디와 비밀번호를 입력 후 시스템에 접속한다. 절차 설명 1 로그인한 사용자 정보 2 로그아웃 버튼 3 현재 지도의 기준시간과 날씨 정보 4 프로젝트 바로가기 셀렉트 박스와 버튼 5 프로젝트 소속 장비의 현재 위치 실시간 표시 체크박스 6 시스템 메뉴바 7 메뉴에 해당하는 상세 내용 창 8 상세내용 창 토글 버튼 9 지도 – Site Fence, 장비 위치 표시, 8번이 체크되었을 경우에만 실시간 정보로 갱신 됩니다. - 4 - <통합관제 시스템 매뉴얼>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 건설장비 관제센터 기술 매뉴얼 작성 및 홍보	○ AP-Package 시제품 매뉴얼 작성  [AP-Package] 사용자지침서 버전 1.0 제정일자 2018.02.09 <AP-Package 시스템 매뉴얼 표지>  1.3 AP-Locator 사용가이드 1.3.1메뉴기능 구 분 AP-Locator 메뉴기능 Surv.Area KLFCPochun IMG Type Satellite DEM Res. Korea100.tif Map View AP Manager Map Download GMapDB Manager 환경설정 Select Line Rectangle Polygon 상태 표시줄 캡션 표시줄 Survey About Map Tools Mode 보기 1 2 3 4 5 6 7 8 4 10 11 12 설명 1. Surv-Area 조사 지역목록 2. IMG-Type 지도형식 (위성이미지) 3. DEM-Res 고도 데이터 해상도(100m) 4. Map View 지도 View 갱신 5. AP Manager AP 정보를 등록, 수정, 삭제 6. Map Download 지도 이미지를 다운로드 합니다.(Google Map) 7. MapDB 관리자 다운로드한 지도 이미지를 데이터베이스에 Import 하거나 지도에 Import 된 지도 이미지들을 삭제 합니다. 8. 환경설정 프로그램 구동 환경을 설정 합니다. 9. Select Mouse 모드를 객체선택 모드로 전환합니다. 10. Line Mouse 모드를 라인 그리기 모드로 전환합니다. 두 점간의 거리가 표시됩니다. 11. Rectanle Mouse 모드를 사각형 영역 선택모드로 전환합니다. 12. Polywon Mouse 모드를 다각형 영역 선택모드로 전환합니다. <AP-Package 시스템 매뉴얼>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 건설장비 관제센터 기술 매뉴얼 작성 및 홍보	○ e-BIM modeler 시제품 매뉴얼 작성  <e-BIM modeler 시스템 매뉴얼 표지>  <e-BIM modeler 시스템 매뉴얼>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설 장비 관제센터 및 통합시스템의 Full-Package 현장적용 및 검증	▪ 건설장비 관제센터 기술 매뉴얼 작성 및 홍보	○ 홍보동영상 제작 (https://www.youtube.com/watch?v=frPgTe59YVc&feature=youtu.be)  <홍보동영상 시작화면>  <홍보동영상 내용>  <홍보동영상 엔딩>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
위치추적 및 상황인식 시스템 통합 구축, 검증 및 보완	▪ 실제 건설현장 구축, 테스트 및 설문조사	▪ 위치추적 및 상황인식 시스템 통합 구축 -3차년도 연구에서는 토공장비(굴삭기, 덤프트럭)의 작업시간/유휴시간/작업량/속도/거리 등의 생산성 및 안전성 정보를 생산하는 상황인식정보 자동분석 시스템 시제품과 실제 건설현장 카메라 배치를 위한 카메라 네트워크 최적화 시스템 시제품을 개발 완료하였음. -4차년도에서는 3차년도 연구결과물을 테스트 및 검증하기 위하여 실제 건설현장에 통합 구축하였음.



<시스템 통합 구축 및 분석 예시>

▪ 현장시험을 통한 시제품 검증

-통합 구축된 시스템을 활용하여 시제품 검증을 수행하였고, 이를 세부 시스템 간 동기화율(정보의 정확성 및 일치성, CCTV영상 송수신율)로 평가하였고 그 결과는 아래 표와 같음.

<시제품 검증 결과>

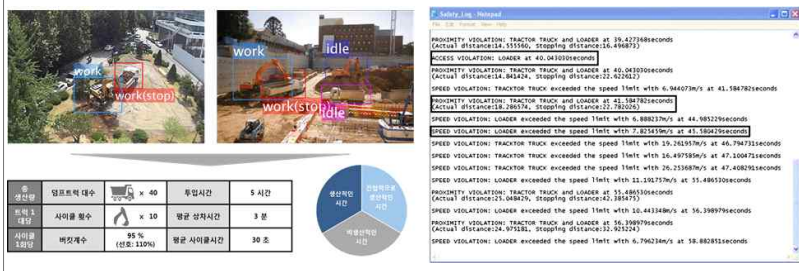
단계	인식	추적	행위파악	작업인식
평균 정확도 (%)	92.23	90.96	91.96	82.42

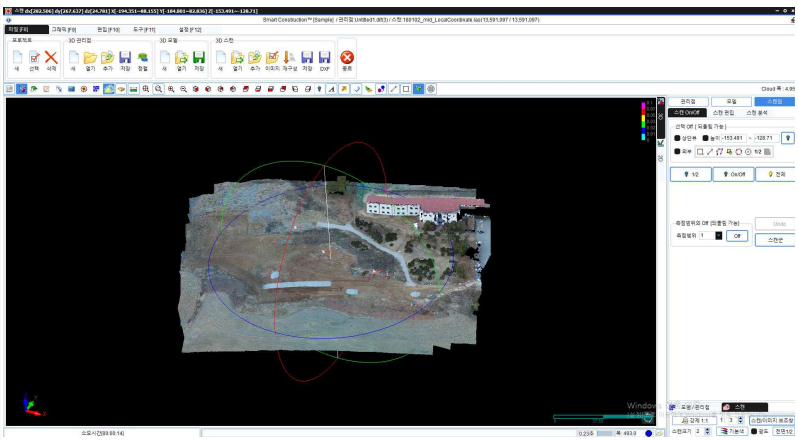
▪ 연구기대효과 검증

-설문조사와 전문가 의견수렴을 수행하여 사용자 만족도와 시스템의 타당성의 평가하였음.

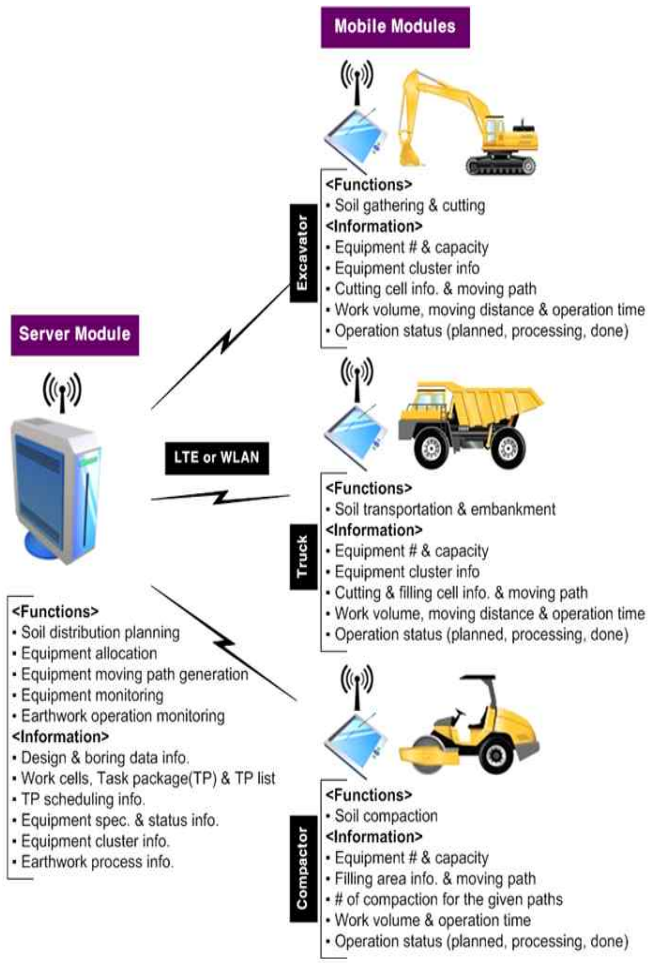
→건설산업 전문가 10명을 대상으로 본 연구에서 개발한 시스템의 필요성, 유용성 및 활용가능성에 대한 설문을 수행하였음. 참여자들의 응답을 분석한 결과, 모든 응답자들이 본 시스템의 필요성에 동의하였으며, 응답자 중 90%가 본 시스템이 유용하다고 응답하였음. 또한, 80%의 응답자가 시스템의 분석결과가 이해하기 쉽고, 실제 토공현장에 활용하는 데 적합하다고 답변하였음.

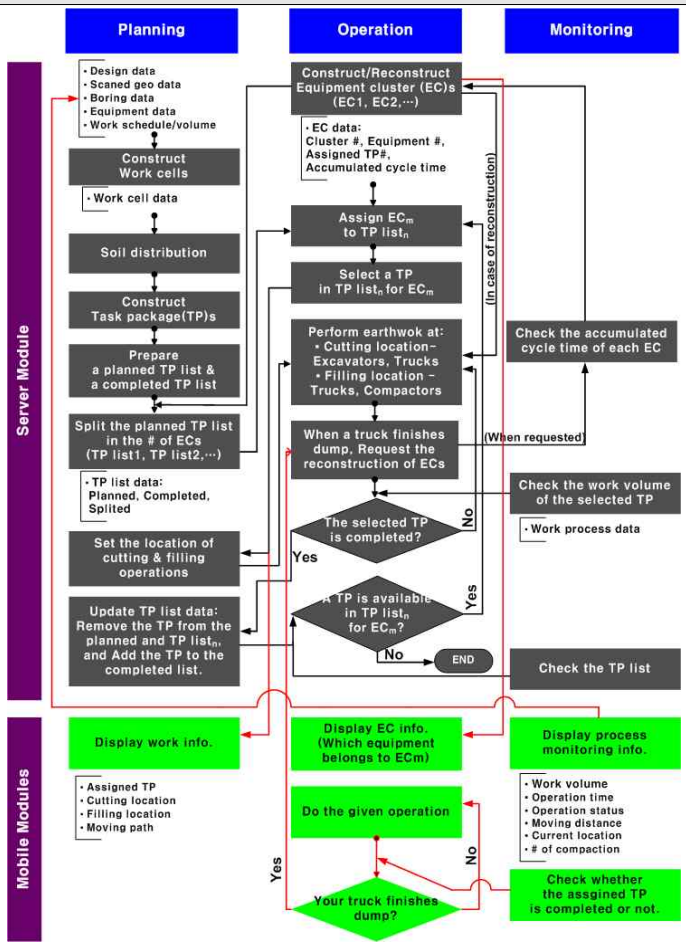
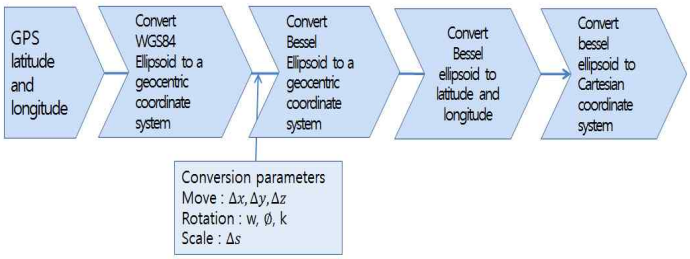
→국제논문/국제학술발표와 특허등록/SW등록을 통해 본 시스템에 대한 이론적 및 기술적 타당성에 대한 전문가 의견을 수렴하고, 이에 대응함으로써 개발 시스템을 보완하였음.

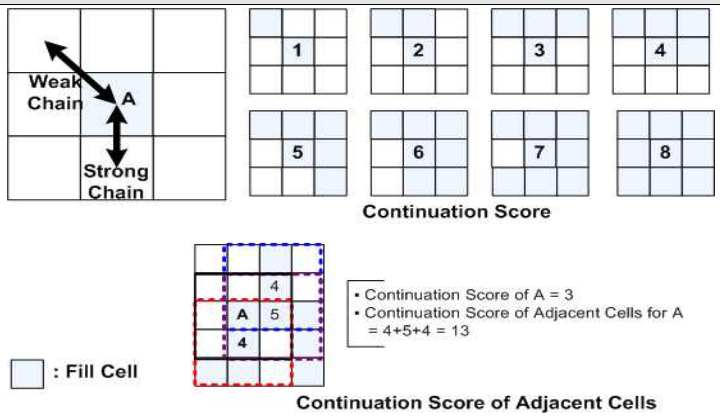
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
위치추적 및 상황인식 시스템 통합 구축, 검증 및 보완	▪ 실제 건설현장 구축, 테스트 및 설문조사	▪ 시스템 보완 -전문가 의견에 따라 개발 시스템에서 분석된 생산성 및 안전성 정보를 시각화 및 보고서 요약하는 기술을 추가 개발하여 본 시스템을 보완하였음. 그 결과 예시는 다음과 같음.  <분석정보 시각화 및 보고서 결과 예시> ▪ 기술적·경제적 성과 -세부 시스템 간 동기화율: 90% (1280x720, 24fps) -사용자 만족도: 80% -시스템 타당성: 90% -국제논문 1건 (Automation in Construction, IF: 2.929) -국제학술발표 2건 (IWCCE 2017) -특허등록 1건 -SW등록 1건
다중 Geo-Image 기반 PCD(PointCloud Data) 생성 및 Rapid Data Handling Software 개발	▪ Geo-Image 기반 PCD 생성 및 가공 소프트웨어 개선 및 업그레이드	▪ Image Processing 알고리즘 개선 및 데이터 처리 개선 기술 개발 -기존 엔진의 프로세스를 축소시키고, 성능을 향상하여 처리속도 및 단계별로 생성되는 데이터를 최소화함. →기존 PCD(Point Cloud Data) 생성 엔진은 키포인트 검출, 키포인트 매칭, 카메라 위치 추정, Sparse Reconstruction, Dense Reconstruction 순으로 크게 총 5단계의 프로세스로 진행됨. →키포인트 매칭과 키포인트 검출, 카메라 위치 추정과 Sparse Reconstruction 프로세스를 통합하여 총 3단계 프로세스로 간소화 함 →사용자의 편의성을 증대시키고, 단계별 생성되는 데이터 최소화 및 다음단계로 바로 연계되도록 구조를 개선 -2차원 Geo-Image의 Key-point 추출을 위한 알고리즘 처리 시 Gpu를 활용하여 기존 대비 처리 속도 향상 →GPU 픽셀 처리는 가우시안 이미지 피라미드 생성을 위한 Intensity 변환, 피라미드 생성, 키포인트 검출, 키포인트 리스트 생성, Feature Orientation, Descriptors 계산에 활용됨.

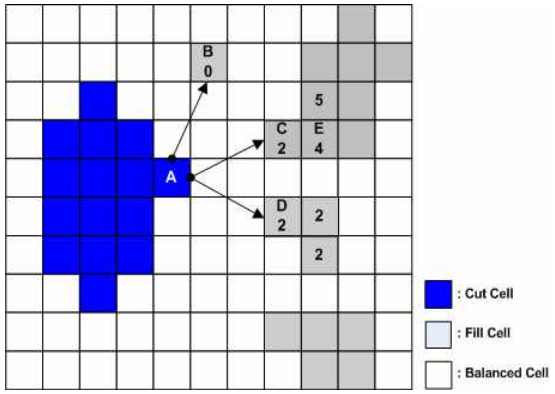
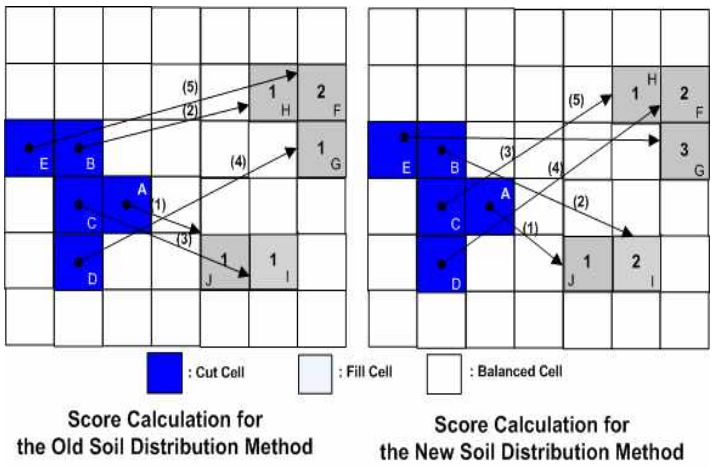
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
다중 Geo-Image 기반 PCD(PointCloud Data) 생성 및 Rapid Data Handling Software 개발	▪ Geo-Image 기반 PCD 생성 및 가공 소프트웨어 개선 및 업그레이드	▪ PCD(PointCloud Data) 에디팅 및 3차원 가공 기술 개발 -4차년도 연구에서는 PCD(Point Cloud Data) 생성 엔진과 포인트 에디팅, Registration 및 좌표 변환 엔진 등을 통합함.  →Registration 및 좌표 변환의 경우 레이저 스캔데이터와 2차원 Image 기반 생성 데이터 간의 통합을 위하여 Point Picking을 통한 Tie-Point Matching 기능을 구성  →또한 GPS 좌표 기반 전체 좌표 변환을 위하여, GPS좌표 기지점 등록 및 PCD(레이저 스캔데이터 또는 UAV 데이터) Point Picking 관측점 등록을 통하여 자동 변환 기능을 추가함. ▪ 기술적·경제적 성과 -정밀도: 정밀도 90% (설치 Target GCP 반경 10m) -프로그램 등록 1건 -학술대회 논문 2건

◎ 플릿형 작업계획 시스템개발 (1-2세부 공동-서울과학기술대학교 산학협력단)

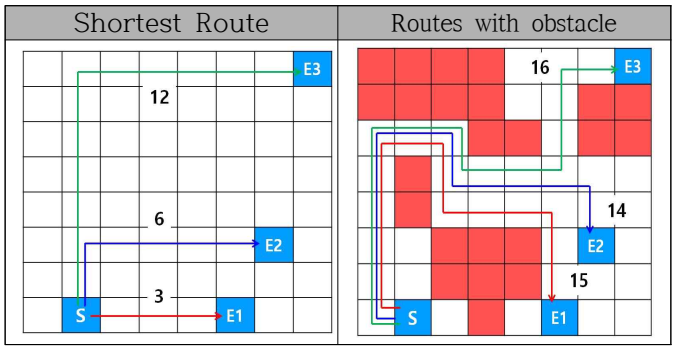
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
플릿형 작업계획 시스템 개발	▪ 경로인식과 실시간 장비위치 모니터링 ▪ 기존방법과 제시방법의 작업시간율의 변화 비교 ▪ S/W등록	▪ 플릿관리 시스템의 모듈구성 -플릿관리 시스템의 서버모듈과 모바일모듈  ▪ -토공계획과 관련된 정보로는 설계정보, 보링정보, 절성토 구역(Work cell) 정보 , 절성토 구역매칭(Task package) 정보, Task package (TP) 수행순서 등이 있으며, 장비할당과 관련된 정보로는 장비의 규격 및 생산성 정보, 장비군(Equipment cluster) 형성정보 관리와 관련된 정보로는 작업진행 정보와 장비 상태 정보 -모바일 모듈에서는 장비 고유번호와 규격, 그리고 시간당 작업량 등에 관한 정보를 기본적으로 저장하고 있으며, 계획된 작업에 따라서 서버 모듈에서 모바일 모듈로 전송되는 정보들은 각 장비별로 다르게 제공됨 굴삭기의 경우에는 해당 장비가 속한 장비군에 대한 정보, 계획된 작업을 위한 구체적인 굴삭위치 정보 및 절토량, 굴착위치별 이동순서 정보 등이 제공되고, 작업진행 중에는 누적 작업량, 이동거리 및 작업시간 등에 관한정보가 제공됨. 트럭의 경우에는 장비군 정보, 구체적인 절토 적재위치와 성토위치 및 절성토 구역간 이동경로에 관한 정보가 제공

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
플릿형 작업계획 시스템 개발	▪ 경로인식과 실시간 장비위치 모니터링 ▪ 기존방법과 제시방법의 작업시간율의 변화 비교 ▪ S/W등록	 - 좌표변환 형식순서  ▪ 토량배분 알고리즘 개선사항 -현장 내 작업구역 분할 -현장 내 토량배분 우선순위 ① 동일 작업구역 내 절성토 배분 ② 작업구간 사이에 절성토 배분 ③ 현장 내 작업구역에서 현장 외부의 사토장 및 토취장 사이의 절성토 배분 Target / Source: Fill Zone; Cut & Fill Zone: (-) Soil Volume; Spoil Bank Cut Zone: ○ ○ ○ Cut & Fill Zone: (+) Soil Volume: ○ ○ ○ Borrow Pit: ○ ○ × -성토구역 연속성 점수, 주변 셀 연속성 점수 및 연결체인 개념 : Layered-Quad Tree 자료구조

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
플릿형 작업계획 시스템 개발	▪ 경로인식과 실시간 장비위치 모니터링 ▪ 기존방법과 제시방법의 작업시간율의 변화 비교 ▪ S/W등록	 -개선된 절성토 구역매칭 방법 Step 1. 최초 성토셀 선정 ▸ 공사관리자 선정 : 현장의 상황에 따라서 특정 위치를 성토셀로 선정 ▸ 시스템 자동 선정: 절토셀 리스트의 첫 절토셀에서 이동거리가 가장 가까운 성토셀을 검색하고 동일한 거리에 위치한 성토셀이 다수이면 성토구역 연속성 점수가 높은 셀을 우선 선정 Step 2. 순차적 절성토셀 매칭 ▸ 매칭결과 절성토량 균형이 맞은 경우: 절토셀 리스트에서 차순의 절토셀을 선정하고, 바로 이전 이루어진 매칭에서 성토셀의 연결체인을 검토한 이후에 성토셀 리스트에서 성토셀을 선정 ▸ 매칭결과 절토량이 많은 경우: 바로 이전 이루어진 매칭에서 성토셀의 연결체인을 검토한 이후에 성토셀 리스트에서 성토셀을 선정하여 매칭에 추가하여 절성토량의 균형을 맞춤. 절성토량 균형을 위하여 성토셀이 더 필요한 경우에는 같은 방법으로 성토셀을 추가 ▸ 매칭결과 성토량이 많은 경우: 절토셀 리스트에서 차순의 절토셀을 선정하여 매칭에 추가하여 절성토량 균형을 맞춤. 절성토량 균형을 위하여 절토셀이 더 필요한 경우에는 같은 방법으로 절토셀을 추가, 성토셀의 연결체인 검토결과 다음과 같이 성토셀을 선정 -Strong Chain이 있는 경우: Strong Chain에 속한 성토셀 중에서 이동거리가 가까운 셀을 선정 -Strong Chain이 없는 경우: 성토셀 리스트에서 현재 선택된 절토셀에서 이동거리가 가깝고, 연속성 점수 및 주변셀 연속성 점수가 큰 성토셀을 선정 Step 3. 절토셀 및 성토셀 리스트 업데이트 ▸ 절성토셀 매칭과 절성토량 균형이 완료된 셀들은 리스트에서 삭제되고 토량배분 계획 리스트에 매칭 된 상태인 작업패키지(Task Package)로 순차적으로 등록 Step 4. 절성토 구역 매칭 종료 및 배분계획 완료 ▸ 절토셀 또는 성토셀 리스트에 잔여 셀이 존재하지 않으면 동일 작업구역 내 절성토 배분계획을 완료

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
플릿형 작업계획 시스템 개발	▪ 경로인식과 실시간 장비위치 모니터링 ▪ 기존방법과 제시방법의 작업시간율의 변화 비교 ▪ S/W등록	 -성토셀 군집점수 산정 개선된 토량배분 방법에 따르면 우선 A셀과 J셀이 매칭되고 1점을 배당. B셀과 I셀이 매칭되고 바로 이전 셀인 J와 연결되어 있어서 1점 가산한 2점을 배당. C셀은 H셀과 매칭되고 바로 이전 셀인 I와는 연결되지 않으므로 1점을 배당함. D셀은 F셀과 매칭되고 바로 이전 성토셀과 연결되므로 1점을 가산한 2점을 부여하며, E셀은 G셀과 매칭되고 바로 이전 셀인 F와 연계되므로 1점을 추가로 가산하여 3점을 배당. 따라서 총 성토셀 군집점수는 9점이 되고 이것은 기존의 방법 보다는 성토구역이 좀 더 효율적으로 모여 있게 배분계획이 수립되고 있음을 나타내는 것  ▪ 건설장비 이동경로 개선 제시된 시스템의 경우에는 기존의 지형을 cell로 세분화 하고 셀 속성을 지정하여 이동 불가지역등으로 설정이 가능함. 셀 이동불가 설정으로 인하여 토량배분에 기반한 이동경로 생성에 있어서 단순 절 · 성토 구간의 직선거리를 고려한 것이 아닌 실제 이동가능한 경로를 생성하도록 함.

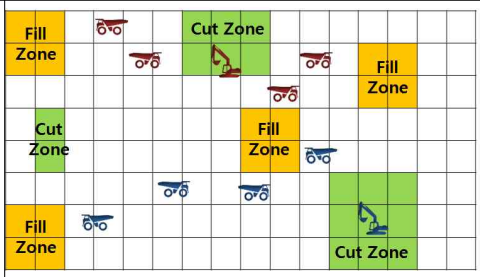
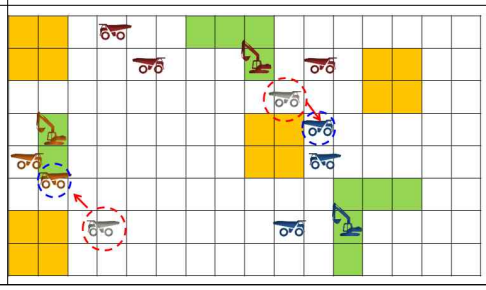
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
플릿형 작업계획 시스템 개발	▪ 경로인식과 실시간 장비위치 모니터링 ▪ 기존방법과 제시방법의 작업시간율의 변화 비교 ▪ S/W등록	



▪ 건설장비 플릿관리 개선

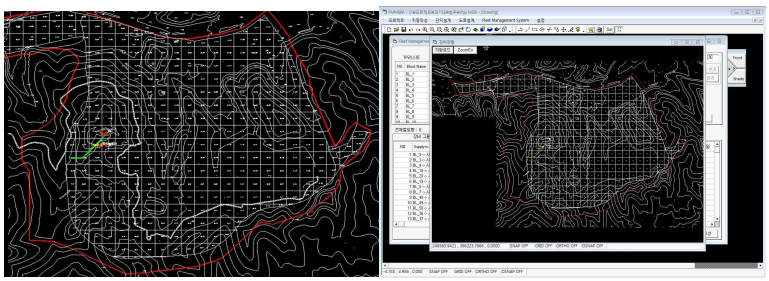
플릿관리 시스템은 작업초기에 설정된 장비의 플릿구성이 단순 대기시간에 의해서만 이루어지는 문제점이 발견. 본 시스템은 이점을 반영하여 작업마다 군집 변경을 통하여 건설장비의 정지나 대기시간을 최소화 하여 생산성을 증대하도록 개발 진행함.

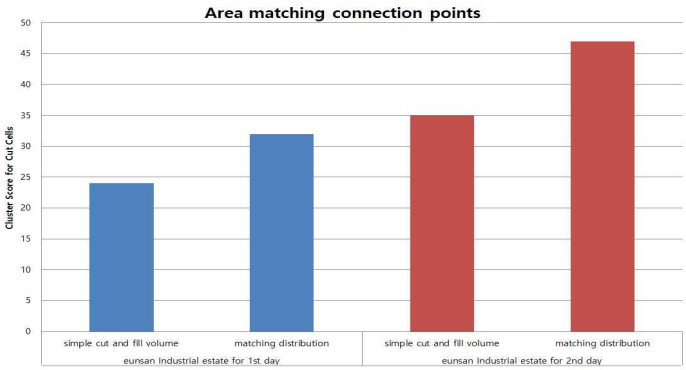
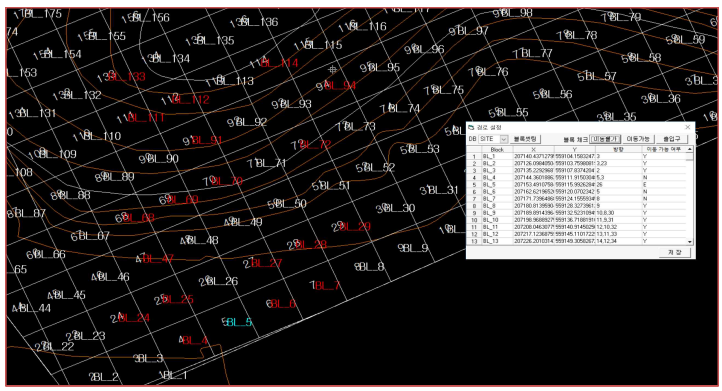
작업의 환경 또는 장비의 잔여 작업량에 따라 새로운 군집을 계속 형성. 하지만 덤프의 이동 중에 군집이 바뀌면 작업자에게 혼란을 가중할 수 있어, 새로운 군집은 트럭의 작업자가 성토지역에서 토량의 하차가 이루어질 때 트럭 작업자가 모바일모듈에 입력 시 서버 모듈에서 Task Planning과 이동거리를 고려한 새로운 군집을 형성하고 덤프의 경로를 설정함.

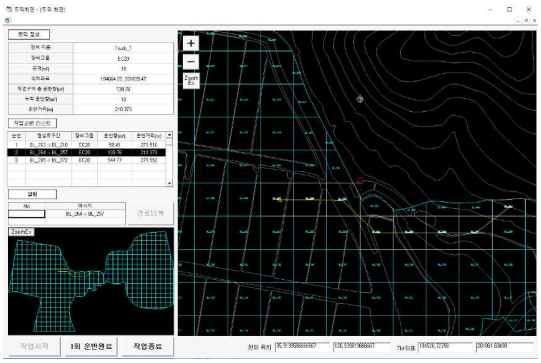
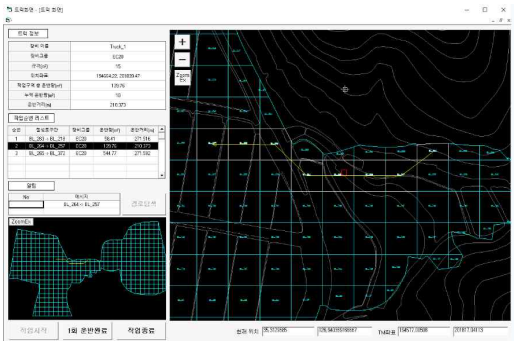
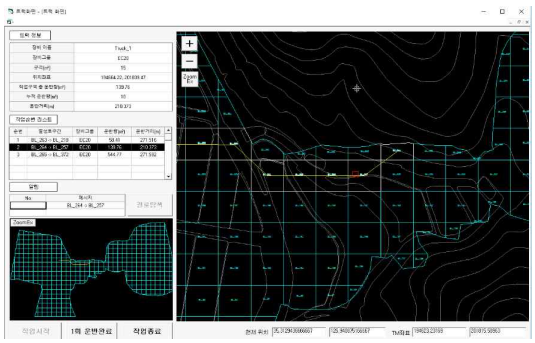
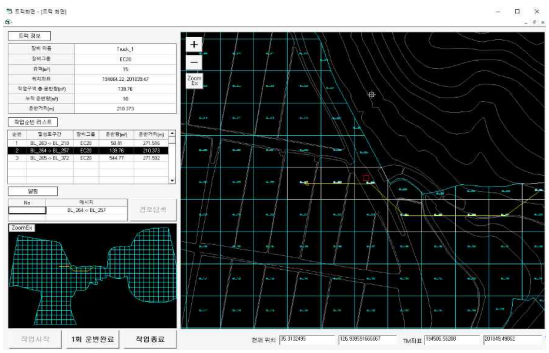
Step	Process
step.1 Create Initial Fleets - Create initial fleets of excavator and dumps.	
step.2 Re-create Fleets - Create new fleets by work condition	

▪ 플릿관리 시스템 현장실험 일정 및 테스트 현장명

현 장 명	현장실험일정
충북 증평 은암산업단지	9.21-2.22
울산 온산산업단지	10.26-10.28
전남 담양 첨단산업단지	11.26-11.28
한양대학교 에리카 현장테스트	12.21-12.22 12.26-12.31

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
플릿형 작업계획 시스템 개발	▪ 경로인식과 실시간 장비위치 모니터링 ▪ 기존방법과 제시방법의 작업시간율의 변화 비교 ▪ S/W등록	 ▪ Field name : 00 industrial complex ▪ Location : Chungpyeong-myeon ▪ Area : 611,283㎡ ▪ Enforcer : 00 Development Co., Ltd. ▪ Business period : 2009year ~ 2019year   · Soil distribution planning · Equipment allocation · Equipment moving path generation · Equipment monitoring · Eathwork operation monitoring ◯ Excavator · Soil gathering &cutting ◯ Truck · Soil transportation & embankment ▪ 00산업단지의 토공은 30일간 수행되는 것으로 계획되어 있었으며 그 중에서 처음 1일과 2일에 수행될 토공량을 기준으로 토량배분 계획을 수립.  ▪ 00산업단지의 전체 현장 지형에서 장비의 경로를 관제화면에서 보여지는 것으로 서버모듈에서 절성토 셀이 형성되고 토량배분 계획에 따라 특정 트럭을 위하여 건설장비 이동 경로가 생성되는 것.

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
플릿형 작업계획 시스템 개발	▪ 경로인식과 실시간 장비위치 모니터링 ▪ 기존방법과 제시방법의 작업시간율의 변화 비교 ▪ S/W등록	 ▪ 기존 시스템의 방식으로 토량배분 계획을 수립하고 본 연구에서 제시한 방식으로 토량배분 계획을 수립한 이후에 성토셀 군집점수를 비교한 결과에 따르면 기존 방식보다 평균 33% 군집성이 개선된 것 ▪ 기존 플릿관리 시스템과는 달리 토량배분에 기반하여 이동경로 생성 시 시스템에서 셀 속성을 이동 불가지역(붉은색)으로 설정하면 건설장비의 작업경로에서 붉은 색 구역은 선정되지 않고 이동 가능한 지역만을 대상으로 작업경로가 생성되는 것  ▪ 경로인식과 실시간 장비위치 모니터링 결과 -서울과기대에서 이루어진 모니터링 결과  -담양현장에서 장비의 위치에서 경로 찾기를 실행하면서 장비의 현위치와 이동경로가 나타나는 화면

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
플릿형 작업계획 시스템 개발	▪ 경로인식과 실시간 장비위치 모니터링 ▪ 기존방법과 제시방법의 작업시간율의 변화 비교 ▪ S/W등록	  -현장에서 경로를 따라 이동하는 장비의 위치 화면   -현장테스트를 통한 실시간 장비위치 매칭율은 장비의 지점부를 기준으로 5개 현장의 테스트결과 100%의 매칭 성공률을 나타냄

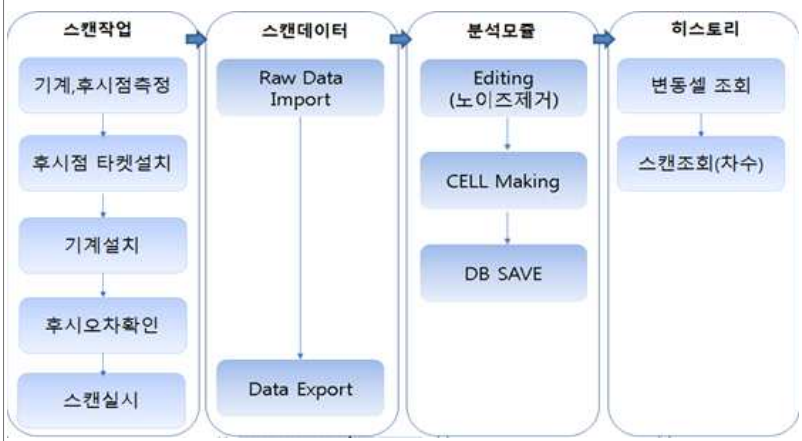
◎ 3차원 지형지반 분석시스템과 통합관제시스템 연계 시스템 개발 (1-3세부 공동-한국건설기술연구원)

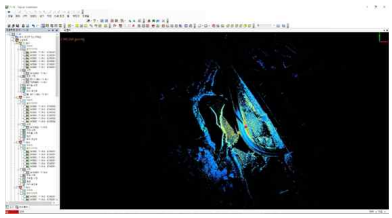
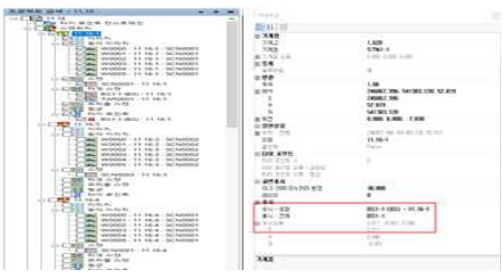
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
3차원 지형지반 분석시스템과 통합관제시스템 연계 시스템 개발	▪ 3D-TTP 히스토리관리 알고리즘 적용 ▪ 현장적용 및 개발 시스템 성능 시험	▪ 넓은 개발지의 특성상 고전적인 측정 방법(줄자 등)을 통해 정확한 측정과 부피 측정은 매우 힘들며 TotalStaion, RTK-GPS등을 이용하여도 제한된 측정점수로 인해 정확한 부피 값을 얻는 것은 매우 어려움. 그러나 본 과제는 기존의 측정 방법이 아닌 3차원 PointCloud를 이용한 과업으로 기존의 측량방법과 달리 3차원 스캐너를 이용 대량의 PointCloud 데이터를 취득하고 관리하는 실험을 진행하였음. ▪ 3차원 스캐너를 이용 PointCloud를 취득하는 방법은 다음과 같음. ▪ 3차원 스캐너(3D Scanner, 지상 라이다)는 매 초당 수십만~백만에 가까운 레이저를 투사한 후 대상물에 반사되어 돌아온 반사 레이저를 통해 대상에 대한 3차원 점군 데이터(Point Cloud Data)를 구성하는 장비로 수많은 점군을 통해 비정형 대상에 대해 기존의 측정방법에 비해 더 풍부하고 정확한 측정 데이터를 얻어 낼 수 있음. 이러한 데이터는 mm단위에 가까운 정밀도를 보이고 있음. ▪ 3차원 작업을 이용한 측정은 현장 측정 단계와 후처리 단계로 나눌 수 있는데 현장 측정 단계는 현장 답사, 스캔 계획 수립, 현장 측정 (GPS 또는 TotalStaion으로 기준점 내리기), 데이터 백업 등의 프로세스가 포함됨. 후처리 단계는 현장 측정 단계에서 취득된 데이터를 전용의 후처리 소프트웨어를 이용하여 점군데이터 처리를 실시하는 단계로 Data import, Editing, Re-Sampling, 체적 연산 등의 세부 프로세스로 구성되며 후처리에 대한 자세한 내용은 뒷장에서 다루었음. ▪ 본 실험은 최신의 3차원 스캐닝 기술을 이용 측정하고 이러한 데이터를 비정형 토사 대상 체적 계측에 적용하되 현장 측정 단계와 후처리 단계로 나누어 각 단계별로 활용 가능한 다양한 파라미터를 실제 과정에 적용하여 최적의 체적 측정 방법을 도출하여 CELL을 만들고 DB를 구축한 후 DB를 차수별로 관리하고 스캔데이터 또한 차수별로 관리 자동 업데이트 하는 것을 그 목적으로 하였음.

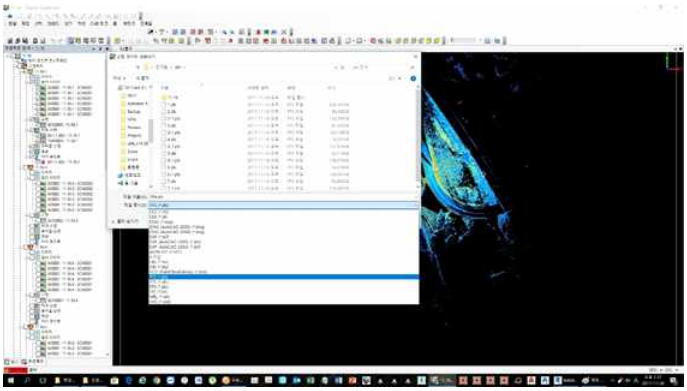
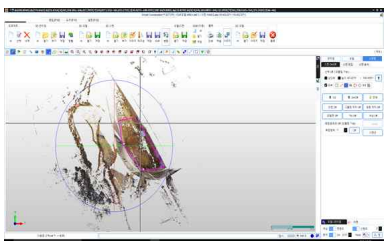
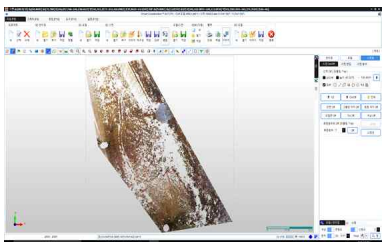
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
3차원 지형지반 분석시스템과 통합관제시스템 연계 시스템 개발	▪ 3D-TTP 히스토리관리 알고리즘 적용 ▪ 현장적용 및 개발 시스템 성능 시험	▪ 현장 측정 단계에서는 3차원 스캐너를 이용 기존의 형상 측정 방법이 아닌 토목 작업자의 시점에서 기계후시라는 방법으로 측정을 실시하였음. 아마도 이러한 방법은 기존 3차원 스캐너를 사용하는 분들은 다소 생소하리라 봄. 그러나 이 방법은 기존 측량기를 사용하는 작업자가 사용하기에 적합한 방법으로 측정 중 기계점 및 후시점의 오차(잘못된 기준)를 확인 할 수 있는 장점과 후처리 프로그램에서 후처리가 필요 없다는 장점이 있음. ▪ 기존 스캔데이터 후처리 방법은 현장에서 측정된 데이터를 후처리 과정을 통해 최종 결과물인 부피 값을 얻게 되는데 후처리 단계에서는 정합 방법, 정합 대상 수량, 원본 스캔 데이터의 해상도 등이 부피 측정과 관련된 주요 인자로 이용함. 정합 방법에 대해서는 3차원 스캔 데이터 정합 방식 중 대표적인 두 가지 정합 방법 Cloud to Cloud와 Target to Target 방식과 일부 후처리 소프트웨어에서 지원하고 있는 자동정합 방법과 Visual Align 방법을 이용하여 결과를 도출 함. ▪ 정합 방법별 결과 도출에 있어서는 정합 방법별로 현장 취득과 후처리 모두에 프로세스 간 큰 차이를 갖고 있으므로 현장 작업 소요 시간 과 후처리 소요 시간 그리고 얻어진 결과 값을 분석하여 실제 작업에 가장 근사한 처리방법을 이용함. 그러나 기계후시 방법의 스캔방법은 현장에서 스캔 시 모든 작업이 완료된다고 보면 되기 때문에 기존 토목 측량 기사들도 바로 적용이 가능하다는 장점이 있음. ▪ 본 실험은 3차원 스캐너(3D Scanner, 지상 라이다)와 드론(고정익, 회전익)데이터 등 3차원 PointCloud의 차수별 변화 데이터 관리 및 CELL을 구축하고 DB를 구축 차수별로 관리(공정관리) 하는데 목표를 두고 작업하였음. ▪ 실험방법 -현장 측정 실험은 2017년 11월 16일 경기도 양평군 양평읍 회현리 국도변 에서 3차원 스캐너(TOPCON사 GLS-2000L)으로 실시함.  <양평군 양평읍 회현리 국도변>

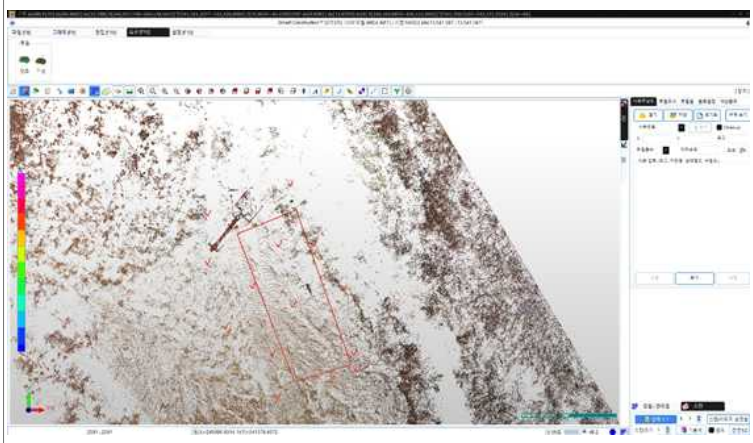
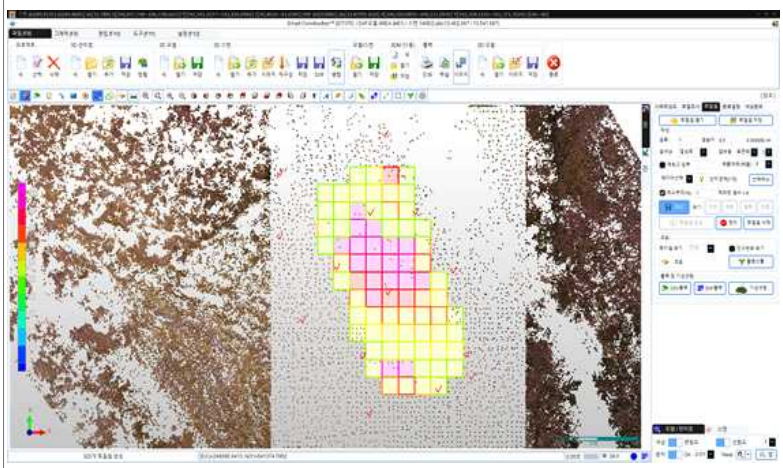
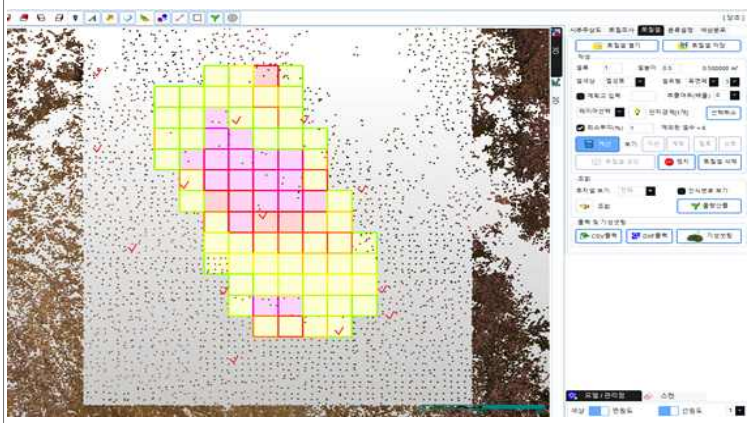
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
3차원 지형지반 분석시스템과 통합관제시스템 연계 시스템 개발	▪ 3D-TTP 히스토리관리 알고리즘 적용 ▪ 현장적용 및 개발 시스템 성능 시험	▪ 실험 환경 -실험장소가 도로변 유휴공간으로 계절이 가을인 관계로 마른풀이 자라 주변을 형성하고 있음. 본 실험은 대략 8M X 20M X 1.8M 가량을 굴착할 에정이며 작업의 중간단계에서 3차원스캔을 진행하고 이후 주기적으로 수차례에 걸처 3차원 스캔을 진행할 예정임. 3차원 레이저 스캔은 스캐너로부터 발진된 레이저가 측정점에 반사되어 장비로 돌아와야만 대상의 좌표를 측정할 수 있으며 이는 측정 대상이 스캐너의 위치에서 직선으로 관측 가능한 위치에 존재 하여야만 측정이 가능하다는 것을 의미함. 일반적인 대상의 경우 한 번의 스캔을 통해 대상에 대한 빠짐없는 측정은 힘들며 특별한 경우를 제외하고 스캐너의 위치를 이동하며 다수의 포지션에서 데이터를 취득하여 대상을 빠짐없이 구성하게 됨. 앞서 기술한바와 같이 실험지에 갈대 및 잔풀이 우거져 있고 이러한 데이터는 PointCloud에서는 노이즈라고 정의함. 이러한 노이즈제거 기능을 체크하기에 적합하고 짧은 시간에 수차례 Test하고 결과를 도출할 수 있는 위치를 실험 대상지로 결정 함. ▪ 실험 도구 -2.1)실험에 사용된 3차원 레이저 스캐너는 TOPCON사에서 2016년 출시된 GLS2000L모델로 기계후시 및 후방교회가 가능한 현재 사용되는 3차원 광대역 스캐너 중 최신 제품에 속함. GLS2000L 모델은 토목 측량에 많이 사용되는 Total Station 수준의 이중 축 보정장치를 내장하고 있음. -이중 축 보정장치를 통해 실시간 수평교정이 가능하여 본 실험의 목적인 정확한 체적 계측이 가능하므로 GLS2000L모델을 채택하게 되었음. -TOPCON사의 GLS2000L의 주요 제원은 표와 같으며 기타 모든 스펙은 별첨으로 수록하였음. 모델명 | GLS-2000L 최대 측정 속도 | 120000 pts/sec 최소 측정 거리 | 0.3m 최대 측정 거리 | 500m 최대 정밀도 | 3mm(at 50m)  <TOPCON사의 GLS2000L의 주요 제원 TOPCON- GLS-2000L>

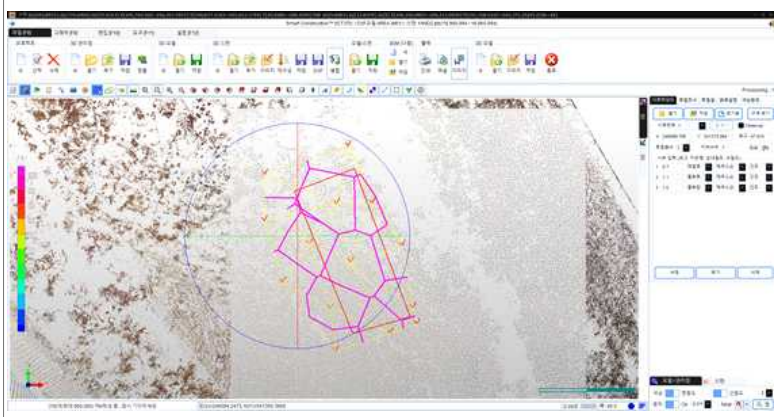
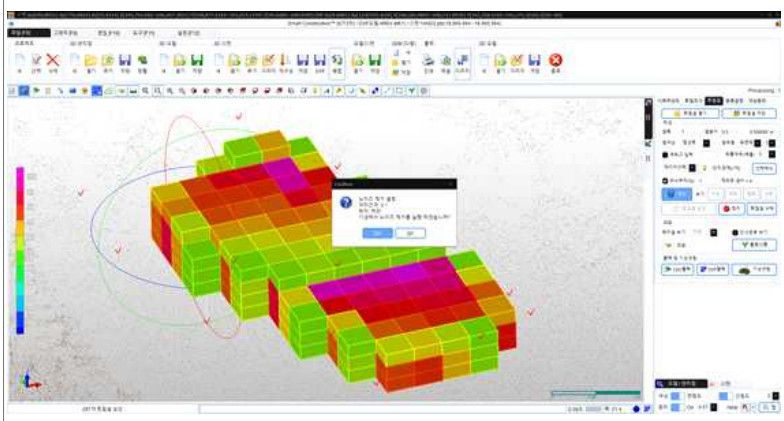
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
		▪ 기계설치 및 타깃 설치 그리고 측정 -본 실험은 기계후시의 방법을 이용한 스캔으로 타깃은 전용타깃을 이용하였다. 실험방법은 아래와 같음. 첫째, 타깃 기준점 및 기계점 위치를 GPS(VRS)로 측정 둘째, GPS1 측정 위치에 스캔장비를 설치 셋째, GPS2 측정 위치에 후시점 스캔용 타켓을 설치 넷째, 후시점 측정후 오차를 확인 다섯째, 스캔 시작  <GPS1,2 측정위치>
3차원 지형지반 분석시스템과 통합관제시스템 연계 시스템 개발	▪ 3D-TTP 히스토리관리 알고리즘 적용 ▪ 현장적용 및 개발 시스템 성능 시험	첫째, 타깃 기준점 및 기계점 위치를 GPS(VRS)로 측정  후시점 위치 타깃 기계점 위치 측정 둘째, GPS1 측정 위치에 스캔장비를 설치 

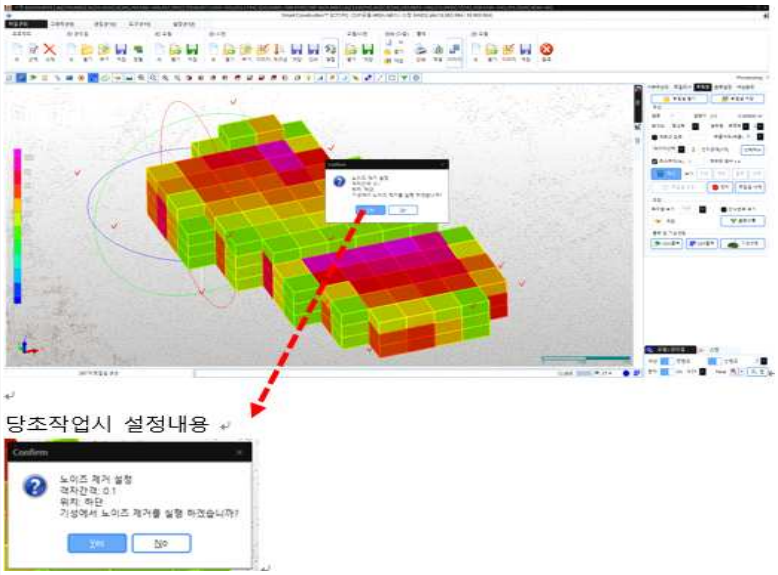
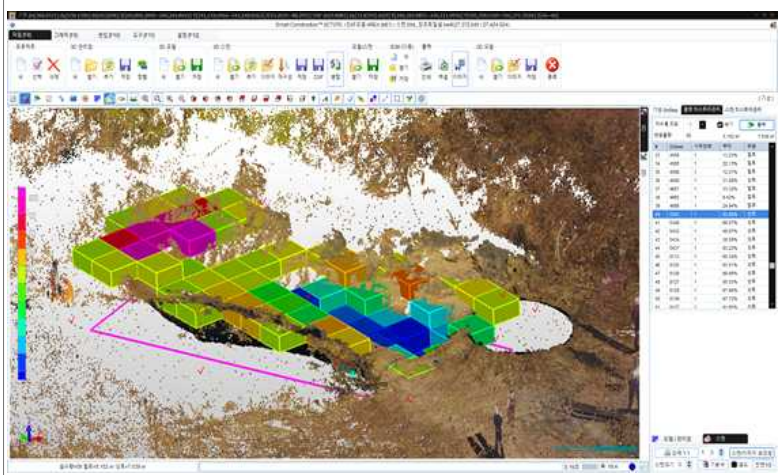
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
3차원 지형지반 분석시스템과 통합관제시스템 연계 시스템 개발	▪ 3D-TTP 히스토리관리 알고리즘 적용 ▪ 현장적용 및 개발 시스템 성능 시험	셋째, GPS2 측정 위치에 후시점 스캔용 타깃을 설치  넷째, 후시점 측정후 오차를 확인  다섯째, 스캔 시작  ▪ 분석방법 -취득된 현장 데이터는 후처리 과정을 통해 pts로 저장하고 3D-TPP소프트웨어를 이용 노이즈제거 및 CELL을 만듬. 작업의 처음 과정을 진행하면 기초작업데이터의 프로세스가 저장되고 추후 1,2차 작업시 자동 적용하여 노이즈 제거를 비롯한 작업관리 및 PTS관리를 함. 구체적인 작업은 다음과 같음. 

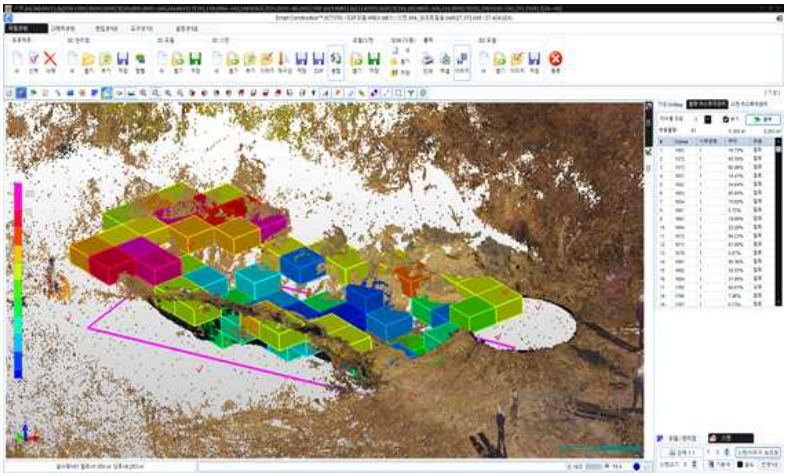
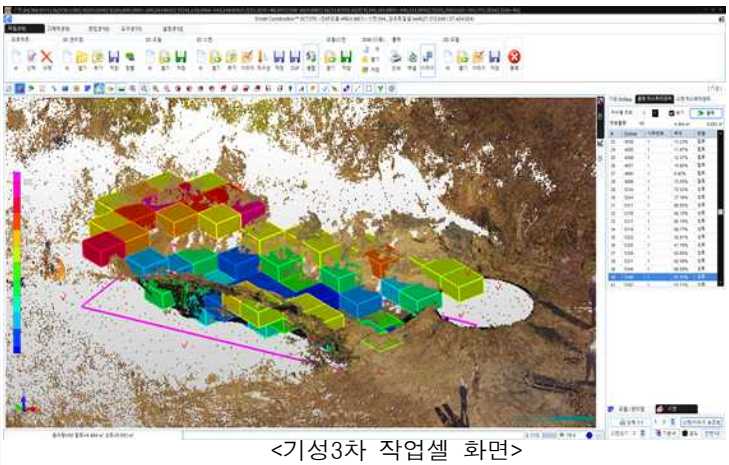
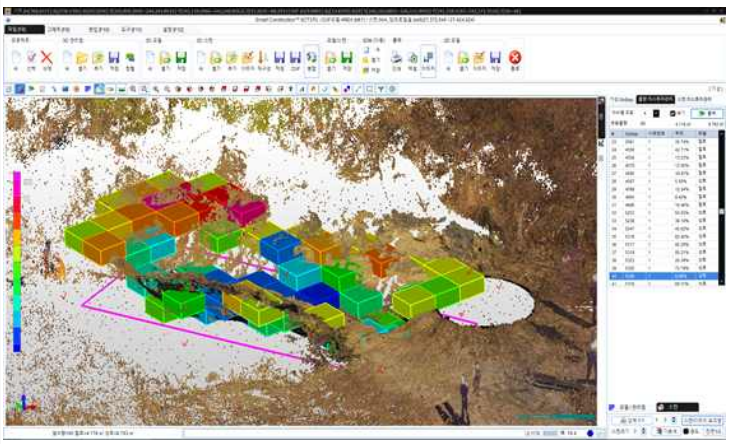
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
3차원 지형지반 분석시스템과 통합관제시스템 연계 시스템 개발	▪ 3D-TTP 히스토리관리 알고리즘 적용 ▪ 현장적용 및 개발 시스템 성능 시험	▪ 스캔작업 앞서 실험방법에서 설명한바와 같음. ▪ 스캔데이터 -다음으로 스캔데이터처리 이고 스캔작업후 후처리 과정에 사용되는 소프트웨어는 다양한 종류가 있으나 스캐너의 원시데이터 입력에는 장비 제조사의 전용 소프트웨어를 사용하게 됨. 본 실험에서는 3차원 스캐너는 제조사인 Topcon사의 ScanMatser를 사용처리 하였고 3D-TPP를 사용하여 작업을 진행함.  <스캔마스터 사진 (양평군 양평읍 회현리)> ▪ Raw Data Import  -Raw Data Import는 스캐너에서 취득된 원시 데이터를 후처리하기 위하여 전용의 소프트웨어를 이용하여 PC로 입력하는 단계임. 프로젝트 단위로 다수의 스캔 데이터를 입력하거나 개별 단위로 데이터를 입력받게 됨. Import에 소요되는 시간은 현장 스캔의 파라미터에 따라 달라짐. 사진촬영 유무, 스캔 밀도에 따라 처리시간이 결정됨. ▪ Topcon사의 ScanMaster Import Option  <Import된 점군 구조> <기계후시 오차를 확인> -참고로 Scan시 기계후시방법을 사용하면 측정중 또는 후처리시 기계후시 오차확인이 가능함. 이러한 방법은 현재 측량기술자의 측량방법과 유사함.

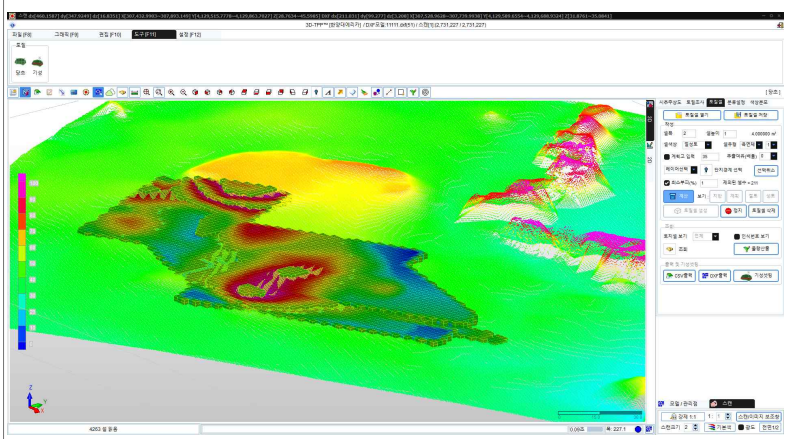
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
3차원 지형지반 분석시스템과 통합관제시스템 연계 시스템 개발	▪ 3D-TTP 히스토리관리 알고리즘 적용 ▪ 현장적용 및 개발 시스템 성능 시험	▪ Raw Data Export -Raw Data Export의 데이터 형태는 pts,csv,txt등으로 가능하며 소요시간은 현장 스캔의 파라미터에 따라 달라진다. 사진촬영 유무, 스캔 밀도에 따라 Export 시간이 결정된다. Export화면옵션은 다음 그림과 같다.  <Export 화면구조> ▪ 분석모듈 Editing -Editing은 정합이 완료된 점군데이터에 대해 실제 분석이 필요한 부분을 제외하고 불필요한 부분을 제거하는 과정이다. Editing은 반드시 필요한 작업과정은 아니나 실제 분석 대상 이외의 데이터가 점군 데이터 내에 남아 있을 때 데이터의 크기가 커져 처리 속도에 영향을 미치며 체적을 측정하는 결과에도 영향을 미칠 수 있으므로 가능한 실제 대상을 제외한 나머지 점군은 editing을 통해 제거 하는 것이 좋다.  <3D-TPP 활용한 Editing 경계지정>  <3D-TPP 활용한 Editing 완료>

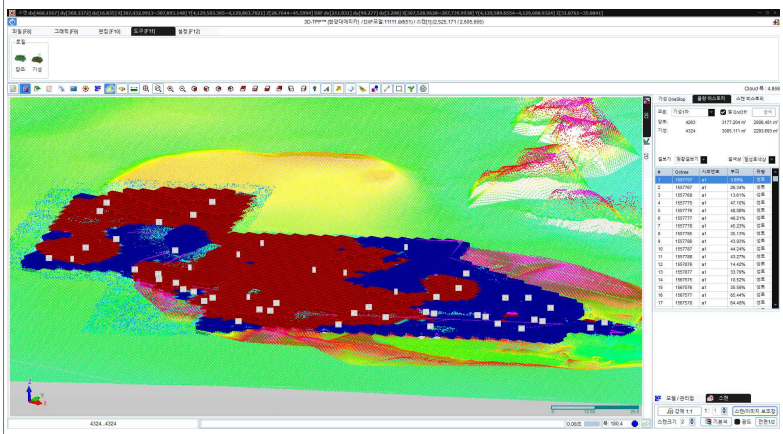
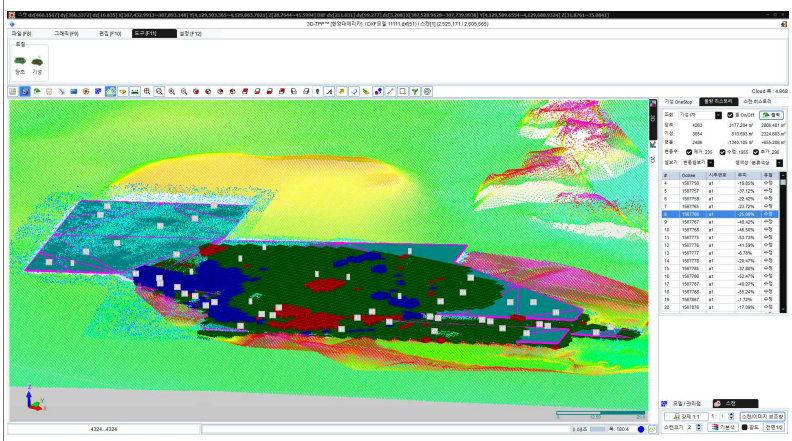
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
3차원 지형지반 분석시스템과 통합관제시스템 연계 시스템 개발	▪ 3D-TTP 히스토리관리 알고리즘 적용 ▪ 현장적용 및 개발 시스템 성능 시험	▪ CELL Making -Cell Making은 노이즈를 제거한 데이터를 토질속성, 보링주상도등을 입력하고 계산영역을 지정하고 Cell생성을 클릭하면 Octree구조로 Cell을 만들기 한다. 이때 계획면이 있다면 계획면을 기준으로 절토,성토의 Cell로 색상을 각기 나타내주고 dxf로 저장이 가능하다.  <3D-TPP 활용한 계획경계선택 Option>  <3D-TPP 활용한 CELL Making> ▪ DB(csv,dxf) SAVE -이렇게 제작된 Cell을 DB(csv,dxf)형태로 저장한다.  <3D-TPP 활용한 DB저장 Option>

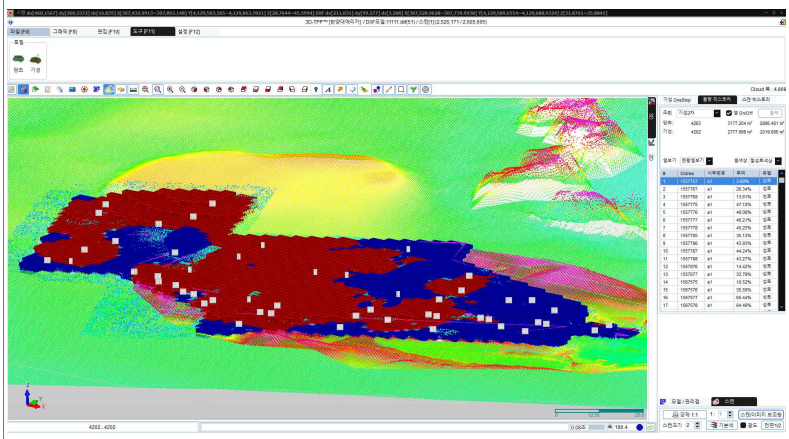
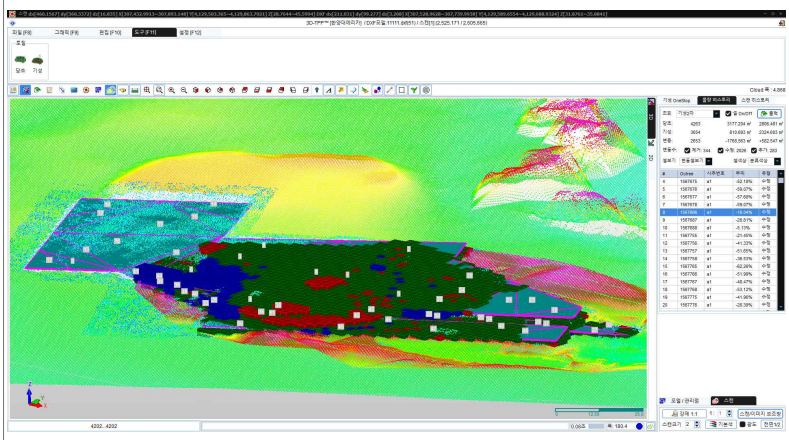
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
3차원 지형지반 분석시스템과 통합관제시스템 연계 시스템 개발	▪ 3D-TTP 히스토리관리 알고리즘 적용 ▪ 현장적용 및 개발 시스템 성능 시험	▪ 히스토리관리 -공사가 진행되면서 연속적으로 취득되고 처리되는 다량의 데이터 히스토리를 관리한다.  <히스토리관리 메인화면> <히스토리관리> ▪ 1차분석 -3D-TPP의 노이즈제거 기능중 그물망격자를 이용 노이즈 제거. -시추주상도 및 토질조사서 작성 -토질셀작성 및 기성셋팅 (셀의 크기를 작업장에 비례하여 1M로 줄임)  <3D-TPP 활용한 노이즈제거 및 시추주상도 작성 화면>  <3D-TPP 활용한 CELL Making및 기성셋팅>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
3차원 지형지반 분석시스템과 통합관제시스템 연계 시스템 개발	▪ 3D-TTP 히스토리관리 알고리즘 적용 ▪ 현장적용 및 개발 시스템 성능 시험	▪ 2차분석 -2차스캔을 열기하고 동시에 3.4.1스캔데이터를 열기한다. -기성을 클릭하고 토질셀 ONE STOP을 클릭한다. -기존 당초작업 노이즈 작업시 이루어졌던 기능을 이용 ONE STOP작업이 이루어진다. 만약 노이즈 제거가 미진하면 노이즈 작업을 진행하고 개별 저장하여 사용할 수 있다. -3차,4차 작업 또한 2차방법과 동일하다. ▪ 2차 분석 시작화면  당초작업시 설정내용 ▪ 당초 작업내용이 기성 ONE STOP에 적용 자동 작업된다.  <기성1차 작업셀 화면>

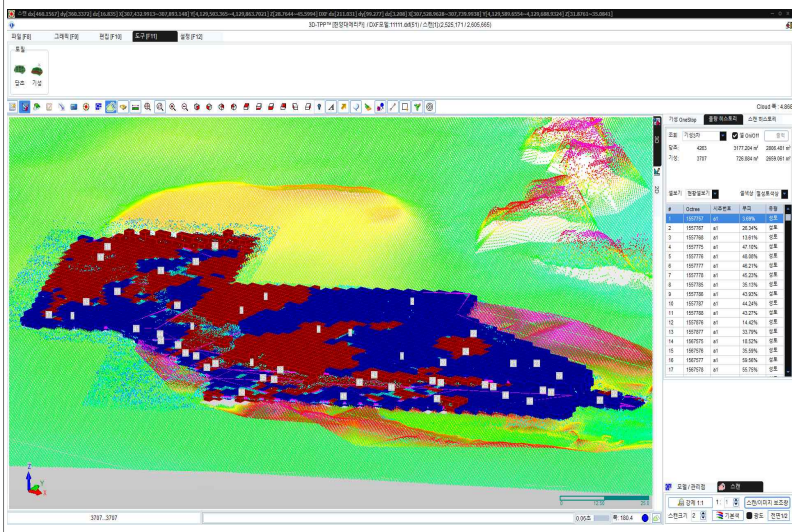
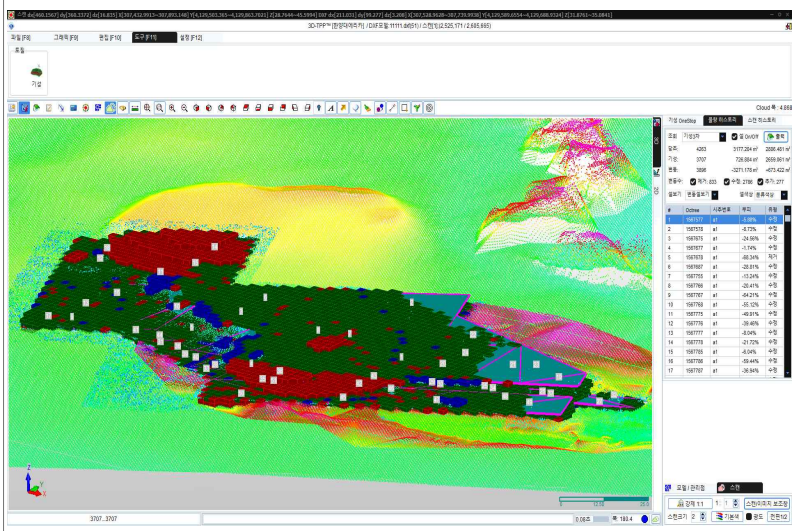
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
3차원 지형지반 분석시스템과 통합관제시스템 연계 시스템 개발	▪ 3D-TTP 히스토리관리 알고리즘 적용 ▪ 현장적용 및 개발 시스템 성능 시험	 <기성2차 작업셀 화면>  <기성3차 작업셀 화면>  <기성4차 작업셀 화면> ▪ 결과 총 5회 스캔을 진행하였고 관련하여 다음과 같이 결과를 도출하였다.

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
3차원 지형지반 분석시스템과 통합관제시스템 연계 시스템 개발	▪ 3D-TTP 히스토리관리 알고리즘 적용 ▪ 현장적용 및 개발 시스템 성능 시험	Octree변동 관련 차수 / 현재Octree / 변동Octree / 삭제 Octree / 추가 Octree / 비고 당초 1340 0 0 0 기성1차 1964 746 570 176 기성2차 905 905 728 177 기성3차 946 946 791 155 기성4차 973 973 832 141 물량변동 차수 / 당초물량 / 기성물량 / 절토 / 성토 / 비고 당초 91.453㎥ 0㎥ 91.453㎥ 0㎥ 기성1차 ㎥ 82.047㎥ 22.935㎥ 3.795㎥ 기성2차 ㎥ 71.760㎥ 33.455㎥ 2.972㎥ 기성3차 ㎥ 66.221㎥ 35.761㎥ 2.634㎥ 기성4차 ㎥ 63.782㎥ 38.184㎥ 2.651㎥ Octree변동 관련 차수 / 현재Octree / 변동Octree / 삭제 Octree / 추가 Octree / 비고 당초 1340 0 0 0 기성1차 1098 540 484 56 기성2차 950 724 652 72 기성3차 877 762 708 54 기성4차 837 772 733 39 물량변동 차수 / 당초물량 / 기성물량 / 절토 / 성토 / 비고 당초 61.893㎥ 0㎥ 61.893㎥ 0㎥ 기성1차 ㎥ 45.880㎥ 22.935㎥ 3.795㎥ 기성2차 ㎥ 36.396㎥ 29.684㎥ 0.934㎥ 기성3차 ㎥ 31.585㎥ 33.090㎥ 0.558㎥ 기성4차 ㎥ 28.992㎥ 33.944㎥ 0.481㎥ ▪ 실증현장 검증 내용 -작업 방법 및 계산 방법은 실증 Ⅰ과 같다. -본 장에서는 한양대학교 에리카 캠퍼스에서 이루어진 실증 검증에 대한 결과만 정리한다. -작업을 위해서는 3차원 설계데이터와 PointCloud Data가 필요하다. -당초데이터 취득 -당초데이터(1차 물량)은 설계 시 제공한 데이터를 기준으로 진행 하였다.  스캔 차수 / 현재 셀수 / 추가셀 / 삭제셀 / 변경셀 / 절토㎥ / 성토㎥ 당초 4263 0 0 0 3177.204 2806.481 ▪ 참고 -스캔차수 : 작업횟수 이다. 당초는 설계 시 계산된 물량임. -현재셀수 : 현재 작업해야 할 전체 셀의 수임. -추가셀 : 존재하지 않던 셀이 생성된 수치임. -삭제셀 : 작업하여 없어진 셀의 수치임. -변경셀 : 각 셀 안쪽의 물량이 변화한 수치임. -절토 /성토 : 작업해야 물량.

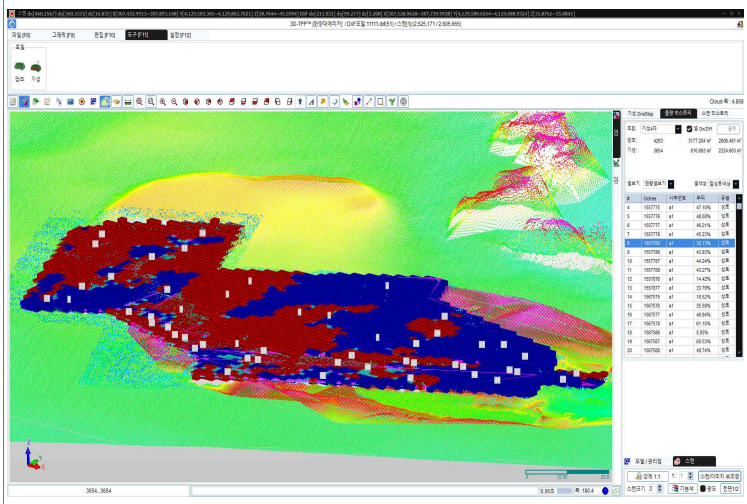
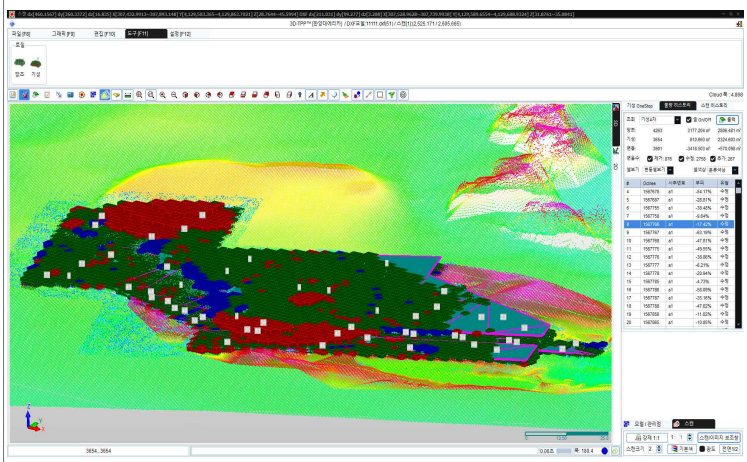
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
3차원 지형지반 분석시스템과 통합관제시스템 연계 시스템 개발	▪ 3D-TTP 히스토리관리 알고리즘 적용 ▪ 현장적용 및 개발 시스템 성능 시험	▪ 기성데이터 취득 -기성데이터는 총 4회 데이터를 사용하였다. 아래는 Scan작업일이다. 1차기성 : 2017년 12월27일 2차기성 : 2017년 12월28일 3차기성 : 2018년 01월02일 4차기성 : 2018년 01월03일 ▪ 1차기성  ▪ 절성토 분포도  ▪ 작업셀 분포도 스캔 차수 | 현재 셀 | 추가셀 | 삭제셀 | 변경셀 | 절토㎥ | 성토㎥ 당초 | 4263 | 0 | 0 | 0 | 3177.204 | 2806.481 1차 20171227 | 4324 | 296 | 235 | 1955 | 3005.100 | 2293.701

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
3차원 지형지반 분석시스템과 통합관제시스템 연계 시스템 개발	▪ 3D-TTP 히스토리관리 알고리즘 적용 ▪ 현장적용 및 개발 시스템 성능 시험	▪ 2차기성  ▪ 절성토 분포도  ▪ 작업셀 분포도

스캔 차수	현재 셀	추가셀	삭제셀	변경셀	절토㎥	성토㎥
당초	4263	0	0	0	3177.204	2806.481
1차 20171227	4324	296	235	1955	3005.100	2293.701
2차 20171228	4202	283	344	2026	2777.980	2019.693

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
3차원 지형지반 분석시스템과 통합관제시스템 연계 시스템 개발	▪ 3D-TTP 히스토리관리 알고리즘 적용 ▪ 현장적용 및 개발 시스템 성능 시험	▪ 3차기성  ▪ 절성토 분포도  ▪ 작업셀 분포도

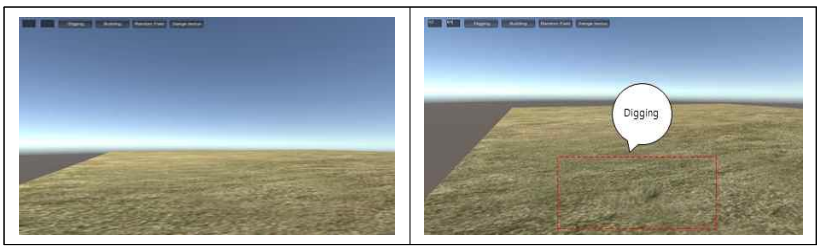
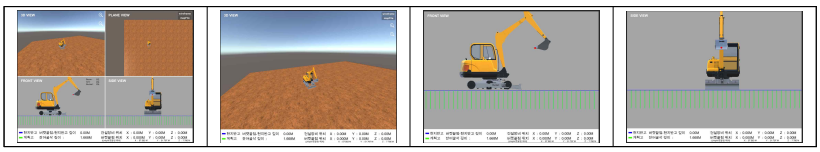
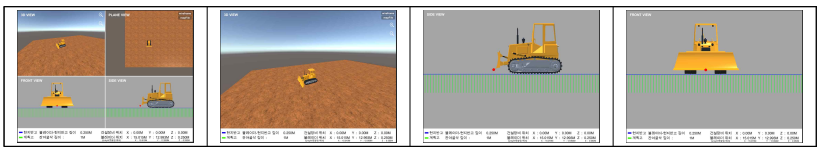
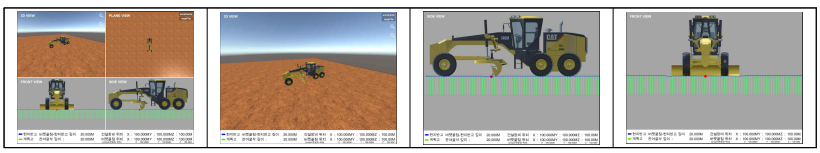
스캔 차수	현재 셀	추가셀	삭제셀	변경셀	절토㎥	성토㎥
당초	4263	0	0	0	3177.204	2806.481
1차 20171227	4324	296	235	1955	3005.100	2293.701
2차 20171228	4202	283	344	2026	2777.980	2019.693
3차 20180102	3707	277	833	2786	726.878	2659.062

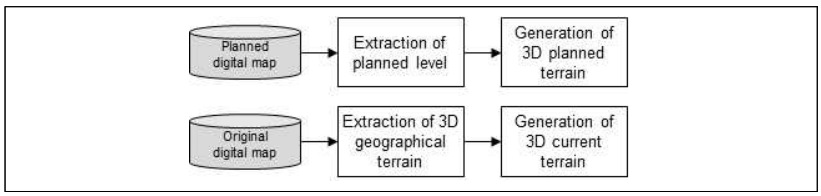
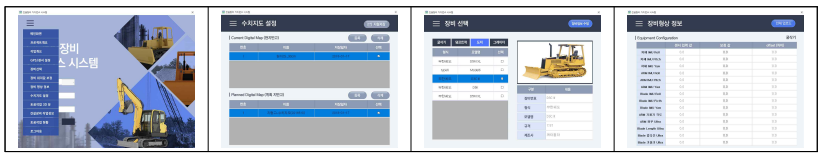
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
3차원 지형지반 분석시스템과 통합관제시스템 연계 시스템 개발	▪ 3D-TTP 히스토리관리 알고리즘 적용 ▪ 현장적용 및 개발 시스템 성능 시험	▪ 4차기성  ▪ 절성토 분포도  ▪ 작업셀 분포도 스캔 차수 | 현재 셀 | 추가셀 | 삭제셀 | 변경셀 | 절토㎥ | 성토㎥ 당초 | 4263 | 0 | 0 | 0 | 3177.204 | 2806.481 1차 20171227 | 4324 | 296 | 235 | 1955 | 3005.100 | 2293.701 2차 20171228 | 4202 | 283 | 344 | 2026 | 2777.980 | 2019.693 3차 20180102 | 3707 | 277 | 833 | 2786 | 726.878 | 2659.062 4차 20180103 | 3654 | 267 | 876 | 2758 | 810.688 | 2324.605 ▪ 기술수준 - 본 연구를 통하여 3차원 지형지반을 분석하기 위한 소프트웨어를 개발. 기술개발 이전에는 작업현장을 3차원 스캐너로 측량하고 다수 지점에서 스캔한 데이터를 정합하는 정도의 기술수준을 가지고 있었지만, 본 연구를 통해 정합뿐만 아니라 정합한 데이터를 활용하여 토공량의 변화를 분석하고 작업계획에 활용할 수 있는 기초데이터를 제공할 수 있는 수준까지 개발함. - 본 연구의 기술개발 전에는 최고기술선도국(미국) 대비 30%정도의 수준이었다면, 본 연구를 통하여 선진국 대비 70% 수준까지 기술수준을 높임.

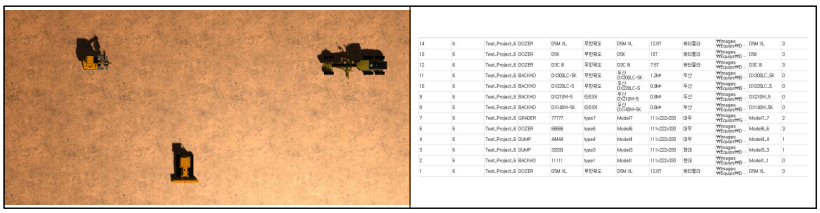
◎ Eco-Operation 시스템의 현장검증 및 성능평가 (1-4세부 공동 경북대학교 산학협력단)

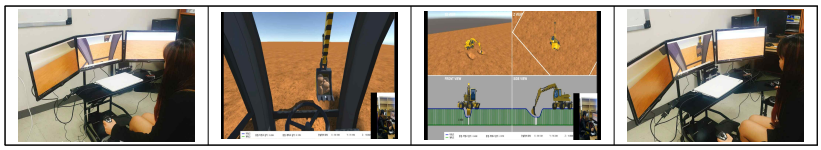
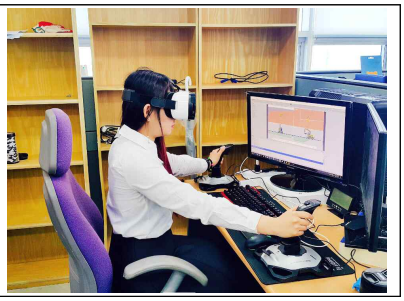
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
장비 에너지 효율 관리를 위한 Eco-Operation 시스템 개발	▪ Eco-Operation 시스템의 현장검증 및 성능평가	▪ Eco-Operation 시스템 검증  <도저 장비 대상 어플리케이션 현장 검증> -4차년도 연구 목표인 Eco-operation 시스템 검증을 달성하기 위하여 다음과 같은 현장검증을 수행함. -현장의 물성적 정보(작업거리, 침하량, 토사상태 등)와 어플리케이션에 내장된 환경변수(기온, 고도, 습도 등)호출 기능을 이용하여 현장정보를 입력함 -타깃 장비는 Caterpillar사의 도저장비로 사전에 장비데이터베이스 정보를 입력하였고 해당 장비정보를 호출함 -시스템에서 예측하는 장비운용소요시간과 실제 도저장비의 운용시간간의 정확성을 사전에 테스트함 -사전 테스트결과 정확성 부분에 있어서 장비노후화와 블레이드에 쌓이는 토사에 의한 저항정도의 예측부분에서 차이가 있어서 보정작업을 수행함 -보정된 시스템을 바탕으로 종래의 장비운용안(운전자 경험에 의한)과 시스템에서 제시하는 추천 운용안과의 소요시간 차이를 반복 측정함 ▪ 기술적 · 경제적 성과 -에너지 소모율: 종래 대비 감소 31% (타깃 장비대상) -국제논문 2건 (Automation in Construction, IF: 2.929) -특허등록 1건

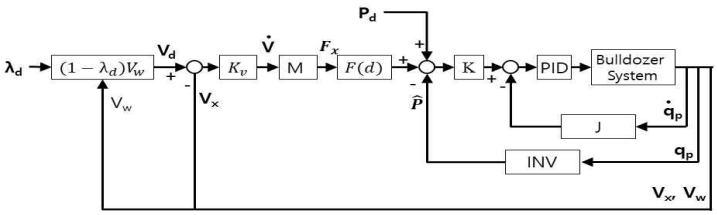
◎ 스마트 머신 가이던스 시스템 개발 (2-1부 협동-부산대학교 산학협력단)

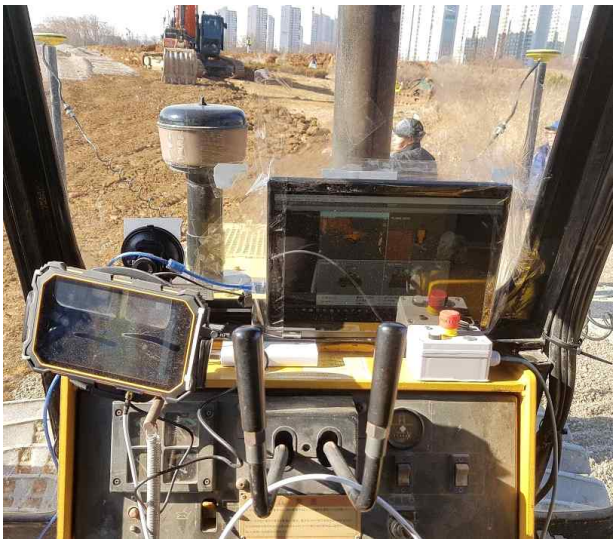
<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td rowspan="2">개별 플릿형
3D 토공 BIM
환경</td><td>▪ 3D 그래픽 시뮬레이션을 위한 지형 정보 제공</td><td>▪ 3D 그래픽 공간상에서 지형의 변화를 표현
-원지반고는 토공작업 시작 전 지형형상에 대한 정보를 제공함
-계획고는 토공작업이 목표로 하는 지형형상정보를 제공함
-현지반고는 토공작업의 결과로 나타나는 지형형상의 변화에 대한 정보를 제공함
-굴삭기 조종원은 3D 뷰와 XYZ 축에 대한 굴삭기 형상을 볼 수 있음
  </td></tr>
<tr><td>▪ 3D 그래픽 시뮬레이션을 위한 건설장비 형상정보를 제공</td><td>▪ 굴삭기에 대한 3D 그래픽 시뮬레이션
-개별 플릿형 3D 토공 BIM 환경은 굴삭기, 도저, 모터 그레이더 등 건설장비 조종원이 토공작업 시 필요로 하는 굴삭 깊이, 굴삭 폭, 굴삭 기울기 등에 관한 정보를 실시간으로 제공함
-굴삭기 부재에 대한 형상을 모델링하여 실시간으로 굴삭기의 형상을 3D 그래픽 환경에서 보여줌
-굴삭기 조종원은 3D 뷰와 XYZ 축에 대한 굴삭기 형상을 볼 수 있음
 
▪ 도저에 대한 3D 그래픽 시뮬레이션
-도저 부재에 대한 형상을 모델링하여 실시간으로 굴삭기의 형상을 3D 그래픽 환경에서 보여줌
-도저 조종원은 3D 뷰와 XYZ 축에 대한 도저 형상을 볼 수 있음
 
▪ 모터 그레이더에 대한 3D 그래픽 시뮬레이션
-모터 그레이더 조종원은 3D 뷰와 XYZ 축에 대한 모터 그레이더 형상을 볼 수 있음
  </td></tr>
</table>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
개별플릿형 3D 토공 BIM 단독환경	▪ 굴삭정보 음성안내	▪ **굴삭정보 음성안내 모듈** -3D 토공 BIM에서 제공하는 굴삭정보를 음성으로 변환하여 건설장비 조종원에게 전달 -시선을 굴삭작업 현장에서 옮길 필요가 없어서 굴삭작업의 정확성과 생산성을 향상시킴 
	▪ 지형정보 데이터베이스 화	▪ **지형정보 저장과 업데이트를 위한 데이터베이스** -개별 플릿형 3D 토공 BIM 환경은 데이터베이스를 장착하고 있으며, 데이터베이스에는 토공작업을 대상으로 하는 지역에 대한 원지반고와 계획고, 그리고 현지반고 등을 저장함 -데이터베이스에 저장된 원지반고와 계획고를 활용하여 굴삭에 필요한 굴삭 깊이, 굴삭폭, 굴삭 기울기 등에 관한 정보를 실시간으로 제공함 
플릿형 건설장비 가이던스 시스템 사용자 환경	▪ 플릿형 건설장비 가이던스 시스템 (3D 토공 BIM 환경) 사용자 환경	▪ **다수의 건설장비를 투입했을 때 통합관리를 위한 사용자 화면** -플릿형 3D 토공 BIM 사용자 개별환경은 건설장비 조종원이 3D 토공 BIM을 이용하여 실제 굴삭작업을 하기 위한 사용자 환경임 -건설장비 조종원은 좌표값 등 기본값을 입력하고, 지형도를 업로드 시키며, 건설장비 3D 모델을 구동시켜서 필요한 정보를 얻음 -플릿형 3D 토공 BIM 사용자 서버환경은 다수의 건설장비가 투입되었을 때 건설현장사무실에서 건설장비의 작동현황을 원격으로 모니터링 하는 위한 사용자 환경임 -플릿형 3D 토공 BIM 사용자 환경 (서버)는 각 개별장비의 움직임을 보여줌 -화면에서 개별장비를 선택하면 개별장비에 대한 3D 시뮬레이션을 보여 주도록 화면이 전환됨 
	▪ 건설장비 형상인식을 위한 다양한 센서모듈 성능 고도화 개발	▪ **성능 고도화를 위한 센서모듈 개발** -굴삭기, 도저 그리고 모터 그레이더 등 건설장비의 거동을 형상화하기 위한 기구학적 센서값을 제공함 -기구학적 모델링을 적용하여 굴삭기, 도저 그리고 모터 그레이더의 블레이드 끝점을 추적함 -3차년도에 개발한 센서모듈과 비교하여 데이터 송수신과 신뢰성이 향상됐음 

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
플릿형 3D 토공 BIM 서버환경 개발	▪ 다수의 건설장비에 대한 통합운영	▪ **다수의 건설장비 운영상태를 안내하는 통합운영 모듈** -토공작업에 투입되는 다수의 건설장비에 대한 통합 모니터링 -3D 그래픽 환경에서 굴삭기, 도저, 모터 그레이더 등 건설장비의 움직임을 실시간으로 추적 -건설현장사무실에서 건설장비가 작업하고 있는 현황을 원격으로 모니터링 할 수 있음 
	▪ 건설장비와 서버 간 데이터 교환	▪ **건설장비와 서버 데이터 교환을 통한 커뮤니케이션 향상** -건설현장사무실에서 건설장비 조종원에게 문자 메시지를 전송하여 작업지시를 할 수 있음 -서버와 3D 토공 BIM이 장착된 터치식 콘트롤러 간 데이터 교환 -건설장비와 건설장비 간 문자 메시지를 전송하여 작업정보를 공유할 수 있음 
다수의 건설장비를 위한 RTK 건설장비 위치추적시스템 개발	▪ RTK 건설장비 위치추적시스템	▪ **오픈지역에 위치한 건설장비 위치추적** -건설장비가 위치한 지역이 오픈되어 있어서 Line of Sight (LOS)가 확보될 경우 RTK 건설장비 위치추적시스템 적용 -3~4개의 액세스 포인트를 기준으로 하는 위치추적계산식을 적용하여 토공작업에 투입된 건설장비의 위치를 추적함 
	▪ 단거리 RTK 건설장비 위치추적시스템	▪ **협소한 지역에 위치한 건설장비 위치추적** -건설장비가 위치한 지역이 협소하여 다수의 기준위치좌표가 필요할 경우 단거리 RTK 건설장비 위치추적시스템 적용 -다수의 액세스 포인트를 기준으로 하는 위치추적계산식을 적용하여 토공작업에 투입된 건설장비의 위치를 추적함 

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
VR 시뮬레이터 개발	▪ 3D 그래픽 시뮬레이션	▪ **3D 그래픽 시뮬레이션을 이용한 트레이닝** -3D 토공 BIM 시뮬레이터는 3D 그래픽 공간에서 굴삭기, 도저, 모터 그레이더 등 건설장비를 조종할 수 있는 3D 그래픽 시뮬레이션 환경을 제공함. -건설장비 조종원은 3D 토공 BIM 시뮬레이터를 위한 의자에 앉아서 전면에 부착된 컴퓨터 모니터를 보면서 가상적으로 건설장비를 조종할 수 있음. -3D 그래픽 시뮬레이션을 이용한 건설장비 조종원 트레이닝 환경 -건설장비를 투입하여 토공작업을 실시하기 이전 현장지역에 대한 정보를 입력하여 3D 그래픽 환경에서 시뮬레이션 실시 -건설장비 조종원의 작업능력을 향상시켜서 생산성을 높임 
	▪ Virtual Graphic (VR) 시뮬레이션	▪ **VR을 이용한 트레이닝** -Virtual Reality 가상현실 환경은 Virtual Reality 기술기반의 가상현실 공간에서 굴삭기, 도저, 모터 그레이더 등 건설장비를 조종할 수 있는 3D 그래픽 시뮬레이션 환경을 제공함. -건설장비 조종원은 Virtual Reality 기어를 착용한 후 Virtual Reality 기어가 보여주는 가상현실에서 가상적으로 건설장비를 조종할 수 있음. -VR을 이용한 건설장비 조종원 트레이닝 -건설장비를 투입하여 토공작업을 실시하기 이전 현장지역에 대한 정보를 입력하여 VR 기어를 착용한 후 가상현실 환경에서 시뮬레이션 실시 -3D 그래픽 시뮬레이션과 마찬가지로 건설장비 조종원의 작업능력을 향상시켜서 생산성을 높임 

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
블레이드 자동제어 시스템 현장적용	▪ 블레이드 자동제어 시스템 성능 최적화 및 현장적용	▪ **블레이드 자동제어 시스템 성능 최적화** -블레이드 자동제어 시스템의 성능 최적화를 위하여 불도저 트랙의 구동 속도와 차량의 주행 속도를 이용하여 블레이드의 위치를 제어하는 블레이드 자동제어 알고리즘을 개발하여 기존의 블레이드 제어 성능을 최적화함 →GPS로부터 계측된 속도와 불도저의 트랙 구동 속도를 비교하여 불도저 블레이드에 작용하는 외력을 추정하고 추정된 외력에 따라서 블레이드의 위치를 제어하는 알고리즘을 개발함 →λ_d는 목표 슬립률, V_w는 트랙의 속도, V_x는 GPS 속도, P_d는 블레이드의 목표 높이, q_p는 블레이드의 Pitch 각도를 표시함 →기존의 블레이드 위치 제어 알고리즘은 블레이드의 높이만 제어하여 블레이드에 많은 저항이 작용하면 불도저의 전면이 상승하고 차량의 이동이 원활하지 못하는 문제점을 보유하고 있으나 제안된 알고리즘은 해당 문제를 해결하여 자동제어 시스템의 성능을 업그레이드함  <블레이드 자동제어 알고리즘> ▪ **블레이드 자동제어 시스템 현장적용** -개발된 블레이드 자동제어 시스템의 성능 향상을 위하여 한양대 에리카 캠퍼스 부지정리 현장에 투입하여 자동제어 시스템의 현장 적용을 실시함  <블레이드 자동제어 시스템 현장적용1>  <블레이드 자동제어 시스템 현장적용2>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
블레이드 자동제어 시스템 현장적용	▪ 블레이드 자동제어 시스템 성능 최적화 및 현장적용	 <블레이드 자동제어 시스템 현장적용3>  <블레이드 자동제어 시스템 장착 내부>
머신 가이던스 시스템 현장적용	▪ 해당 시스템의 테스트베드 적용 및 평가 결과를 기반으로 한 내구성 평가 및 보완	▪ **시스템 및 연구장비 내구성 검토** - 2017. 12. 26. ~ 2018. 01. 02. 수행된 한양대학교 에리카 캠퍼스 야외 행사장 조성사업 Test-Bed에 적용 시 -10oC 이하의 토공현장에서 형상인식 센서, 위치추적 센서 등의 센서모듈 데이터 송수신이 정상적으로 작동하는 것을 확인함 - 플릿형 3D BIM 네비게이터의 배터리의 수명이 -10oC 이하의 온도에서 약 40% 단축되는 현상이 발생함. 이에 대한 대책으로 인버터와 배터리를 추가설치하는 대책을 마련하였고 추후 네비게이터 배터리에 대한 문제는 발생하지 않았음. - 토공현장의 특성상 강우, 강설, 먼지 등의 환경적 요소가 많이 발생하므로 이에 대하여, 위치추적센서 및 형상인식센서에 생활방수 및 방진기능이 탑재된 보호 케이스와 결합하여 건설장비에 설치함으로써 외부의 충격에 대비하고 토공 현장의 환경적 요소에 대한 안정성을 확보함. - 추후 한국산업기술시험원 등과 같은 공인된 산업기술 시험기관에서 방수 · 방진 능력을 검증함으로써 건설현장에서 사용 가능한 신뢰등급(IP67 등)을 명시할 계획에 있음.

<table>
<tr><td>시스템 토공현장 에너지 및 원가 성과 검증</td><td>▪ 개발된 시스템 토공 평가 모델을 수정·보완한 후, 여러 토공사 현장에 적용하여 토공사 원가를 도출함</td><td>▪ 기존에 개발된 시스템 토공 평가 모델에 KPI (Key Performace Index)를 고려하여 시스템 토공 평가 모델을 수정·보완한 후, 이를 토대로 여러 토공사 현장에 적용하여 토공사 원가 절감이 몇 %씩 이루어 졌는지 확인함.

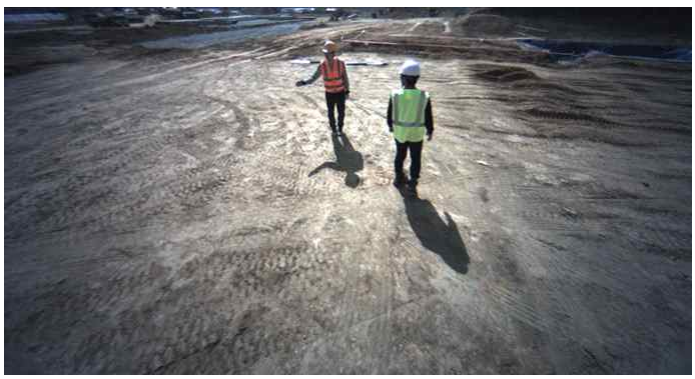
▪ 4개의 실 토공사 현장에 대해 건설장비 관제 및 스마트 시공 시스템을 적용한 원가분석을 실시한 결과, 건설장비 관제 및 스마트 시공 시스템 적용 시 약 평균 29%의 원가절감 효과가 나타남.</td></tr>
<tr><td>추후 연구 개발 및 방향성 제시</td><td>▪ 연구성과의 활용성 제고 및 후속 2단계 연구개발사업이 실효성 있게 추진될 수 있도록 기술실시계약을 포함한 본 연구개발 성과의 실용화 방안제시</td><td>▪ 부산대학교에서 개발한 건설장비 머신 가이던스 시스템은 산업침체, 전문인력 고령화, 안전사고 등 건설산업의 주요 문제를 해결하기 위한 새로운 대안기술의 역할을 할 것이며, 국토교통부에서 추진하고 있는 스마트 시공기술을 민·관 합동연구로 추진하기 위해서 한국토지주택공사(LH공사) 및 ㈜대우건설 등과 협력체계를 구축하고 있음 (전자신문 2018.04.11. 보도).

▪ 이러한 목표에 따라서 부산대학교, LH공사, 그리고 ㈜대우건설 등은 2018년 4월 10일 부산대학교에서 국토교통 R&D 투자로 개발된 건설장비 머신 가이던스 시스템을 시범적용하기 위한 산·학·연 협약을 체결했음. 이번에 시행하는 시범적용은 국토교통 R&D 투자를 통하여 개발된 건설장비 가이던스 시스템 을 양산사송 공공택지 조성공사에 적용하여 건설장비 머신 가이던스 시스템의 현장적용성을 테스트하는 것을 목적으로 함. 부산대와 LH공사의 협약을 통하여 LH공사는 국토교통부 R&D 투자로 개발된 건설장비 머신 가이던스 시스템의 실제 건설현장에서의 생산성 검증을 위한 테스트베드를 제공하고, 부산대는 국내 건설환경 스마트화 및 관련 기술 고도화 연구성과를 올릴 계획임.

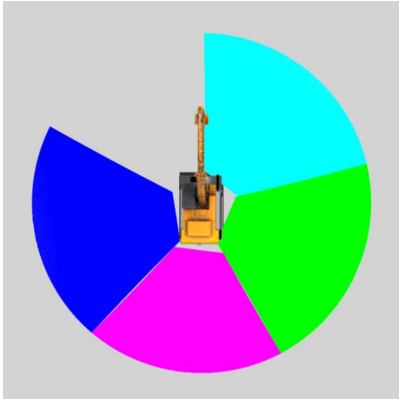
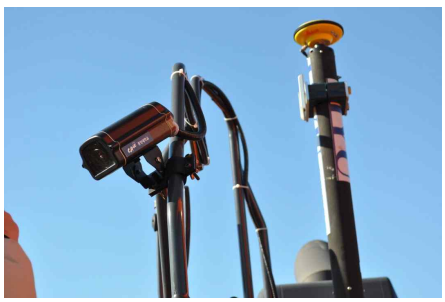
<table>
<tr><th>머신 가이던스 협약공문</th><th>머신 가이던스 현장적용 협약체결 (전자신문 2018.04.11. 보도)</th></tr>
<tr><td>일자리가 성장이고 복지입니다. LH Good Job!
LH 한국토지주택공사 LH good job
수신자 : 부산대학교 총장
(경유)
참 조 : 건설융합학부 토목공학과 문성우 교수
제 목 : 건설자동화 신기술(머신 가이던스) 현장 시범적용 참여여부 의견조회
1. 귀 교의 무궁한 발전을 기원합니다.
2. 우리 공사에서는 국내 건설환경 변화에 대응하고 건설기계의 편의성 및 효율성 확대를 위해 선진 건설기술의 현장적용 방안을 수립 중에 있으며, 귀 교의 연구팀에서는 국가 정책연구과제인 머신 가이던스 연구 등 해당 분야 연구에 매진하고 있어 협업을 추진할 경우 시너지 효과가 발생할 것으로 판단됩니다.
3. 이에 우리 공사에서 2018년도 시행예정인 「건설자동화 신기술(머신 가이던스) TEST-BED 구축 시범사업」에 귀 교 연구팀의 참여 의사를 조회하오니 2017.12.29일까지 회신하여 주시기 바랍니다. 끝.
한국토지주택공사 사장 한국토지주택공사장인</td><td>LH, 건설자동화시스템 전 현장으로 확대 추진
발행일 : 2018.04.11
[AD] 로움 센서 평가 kit 판매 개시!
한국토지주택공사(LH, 사장 박상우)는 국토교통부 연구개발(R&D) 과제로 개발된 건설자동화 시스템을 LH 현장에 시범 적용하고 전 현장으로 확대 추진한다고 11일 밝혔다.
LH는 양산사송 공공택지 조성공사에는 비콘(블루투스4.0), 과천지식정보타운 조성공사에는 GPS-RTK(위성수신)를 시범 적용한다.
성공적인 사업 추진을 위해 지난 10일 부산대학교 본관에서 부산대학교, 대우건설 및 영신디엔씨와 '건설자동화 시범적용 공동연구' 수행을 위한 산학연 업무협약을 체결했다. LH는 개발된 기술의 실제 건설현장 생산성 검증을 위한 테스트베드를 제공한다. 각 기관은 국내 건설환경 스마트화 및 관련 기술 고도화를 위해 연구성과를 공유하게 된다.
LH는 이번 공동연구 결과를 바탕으로 스마트시티 국가시범단지로 조성되는 세종시 5-1생활권에 드론, 빌딩정보모델링(BIM), 건설자동화 장비 등 다양한 첨단기술을 종합라한 패키지형 건설자동화 시범 사업을 추진할 예정이다.
한편, 국토부는 지난해 12월 발표한 '제6차 건설기술진흥 기본계획'에 따라 2025년까지 기술개발을 통해 건설현장 노동생산성을 40%까지 향상시킬 계획이다.
박상우 LH 사장은 "건설자동화는 산업침체, 전문인력 고령화, 안전사고 등 건설산업의 주요 문제를 해결하기 위한 새로운 대안으로 주목 받고 있다"면서 "이번 공동연구를 통해 건설자동화 기술에 대한 생산성 및 경제성을 검증하여 확대발주 가능성을 높이고, ICT기술을 활용한 건설현장 안전시스템 시범 적용으로 안전한 건설환경 조성에 앞장서겠다"라고 말했다.</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

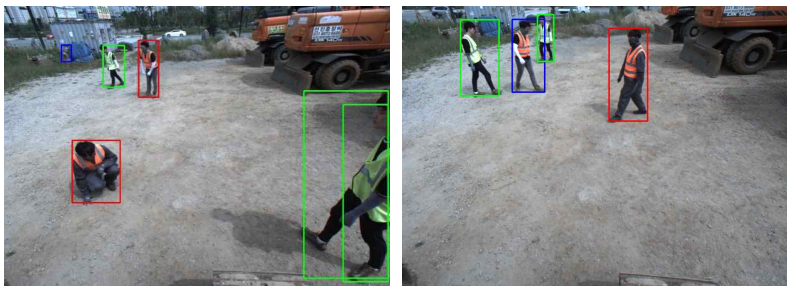
	▪ 시방서, 건설기계 안전기준에 대한 건설장비 가이드 사용 규정 제시	▪ 현재 LH공사, 한국도로공사, 한국수자원공사, 서울특별시 등 공공기관에서는 건설기술진흥법을 공공공사에 반영하기 위해서 전면적으로 전문시방서를 개정하고 있음. 특히, LH공사는 전국 215개 LH 사업지구에 드론을 도입하여 조사, 설계, 공사관리 등에 활용할 계획을 가지고 있음 (전자신문 2018.01.03. 보도). LH공사는 이와같이 스마트 시공기술을 도입하기 위한 일환으로 건설장비 머신 가이던스 시스템 현장적용을 위한 토대를 마련하고 시방 가이드라인을 수립할 계획임. ▪ 부산대학교는 LH공사가 추진하는 건설장비 머신 가이던스 시스템 도입을 위한 시방 가이드라인 수립에 관한 협약을 체결한 바 있으며 (전자신문 2018.04.11. 보도), 아래와 같은 관점에서 시방 가이드라인을 수립할 계획임. **머신 가이던스 시방 가이드라인 (예)** 1항. 머신 가이던스 시스템은 건설장비 위치추적시스템 또는 Global Positioning System (GPS)을 기반으로 3차원 모델을 사용하여 시행된다. 2항. 시공사는 감독에게 머신 가이던스 시스템을 적용할 것이라는 계획서를 감독에게 제출하여 승인 받아야 하며, 계획서는 다음 내용을 포함한다. 가. 건설장비 위치추적을 위한 단독 시스템 또는 GPS 나. 건설장비 위치추적을 위한 단독 시스템 수신기 또는 GPS 로버(Rover) 다. 토공작업 정보를 제공하는 3차원 토공작업 정보제공 환경 라. 토공작업 일일현황정보를 제공하기 위한 토공수량산출시스템 3항. 시공사는 토공작업 5일전까지 허용오차 범위 내에서 토공현장의 수평·수직 좌표를 확인해야 하며, 그 결과를 감독에게 제출해야 한다. 가. 토공작업 콘트롤을 위한 토공현장 3차원 측량정보 나. 머신 가이던스 적용 효과를 높이기 위한 토공작업 분할계획 다. 토공작업 굴삭정보를 제공하기 위한 원지반고와 계획에 대한 3D 지형정보 4항. 시공사는 토공작업 착수 5일전까지 머신 가이던스 시스템을 적용하는 건설장비의 규격과 캘리브레이션 결과에 대하여 서면으로 감독에게 제출해야 한다. 5항. 시공사는 착수 5일전까지 토공작업을 시행하는 토공작업 현장의 토공단면에 대한 3D 지형모델을 서면으로 감독에게 제출해야 한다. 6항. 시공사는 건설장비 위치와 높이를 정확히 추적하여 토공작업을 수행해야 한다. 7항. 시공사는 머신 가이던스 시스템을 적용하여 수행한 토공작업 결과를 일일단위로 감독에게 보고해야 한다.

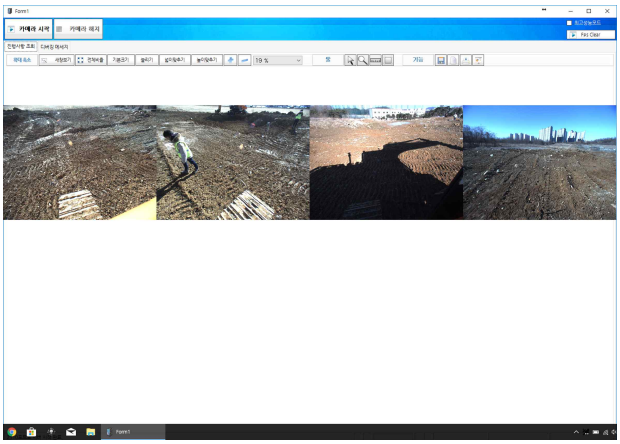
◎ 작업환경 인식 및 운전자 행태기반 안전 가이던스 시스템개발 (2-2세부 공동-중앙대학교 산학협력단)

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
작업환경 인식 기반 안전 가이던스 시스템 프로토타입 ver.2 개발	▪ 하드웨어 회로 설계를 통한 영상 개선, 작업자 인식 속도 및 출력 속도 개선	▪ 지난 3차년도 연구기간 동안 개발된 작업환경 인식 기반 안전 가이던스 시스템 프로토타입 ver.1 (이하, 프로토타입 ver.1)의 현장 적용성 평가 결과를 바탕으로 4차년도 연구기간에는 프로토타입 ver.1을 보완하여 프로토타입 ver.2를 개발 완료함. ▪ 프로토타입 ver.1의 하드웨어에 대한 현장 적용성 평가 결과 분석에서 다음의 보완사항을 도출함. -롤링 셔터 (Rolling Shutter) 방식의 센서 (BFLY-PGE-50A2C-CS)로부터 획득된 영상 내에 일부 프레임이 선명하지 못한 블러링 현상이 발생함. -입력 센서의 렌즈로 시야각이 넓은 초 광각렌즈 (Theia SY125M)를 사용함에 따라 획득된 영상의 가장자리 부분이 어둡게 나타나는 비네팅 (Vignetting) 효과, 영상 내 근거리-원거리 관계 및 센서-물체간 정렬 관계로 인한 과장, 측면과 모서리 부분의 물체 형상 왜곡이 발생함. -입력 모듈 보호 케이스 제작에 사용된 스테인리스 강판 소재는 하절기 고온 환경에서 센서 발열시 외부 열을 흡수하는 반면 내부 열을 배출하지 못해 케이스 내부 온도가 상승되는 현상이 발생함. -운전자 모니터 (라즈베리 파이 2, 1.2 버전) 모드 전환시, 일부 화면 떨림 현상이 발생함. ▪ 다음 그림은 프로토타입 ver.1의 입력 모듈로부터 획득된 영상 중 블러링 현상, 비네팅 효과, 각종 과장 및 왜곡이 발생한 프레임의 예시를 나타내며, 이러한 현상으로 인해 영상 분석 (작업자 인식 등) 및 출력 속도가 지연되거나 부분적으로 작업자 인식 오류가 발생됨.  <블러링 현상, 비네팅 효과, 각종 과장 및 왜곡이 발생한 프레임 예시>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
작업환경 인식 기반 안전 가이던스 시스템 프로토타입 ver.2 개발	▪ 하드웨어 회로 설계를 통한 영상 개선, 작업자 인식 속도 및 출력 속도 개선	▪ 이를 해결하기 위해 프로토타입 ver.1의 입력 모듈을 구성하는 센서를 변경하였으며, 이에 적합한 하드웨어 회로를 설계함. ▪ 입력 모듈로부터 획득된 영상의 품질 향상 및 입력 영상에 대한 작업자 인식 속도 개선을 목적으로 글로벌 셔터 (Global Shutter) 방식의 입력 센서 (BFLY-PGE-31S4C-C)로 변경함. 이는 4차년도 연구기간 기준 (’17년도), 산업용 센서 중 유일하게 광원 종류, 시간, 날씨 변화에 대한 실시간 자동 노출 제어 기능을 탑재하여 특히 건설 현장과 같은 야외 환경에서의 빛 변화에 자동 적응할 수 있도록 하는 처리 기능을 내장함. BFLY-PGE-31S4C-C의 사양은 다음과 같음. -해상도: 최대 3.45 Mega 픽셀 (2,048 X 1,536) -화각: 89° -속도: 초당 최대 35 프레임 ▪ 입력 센서의 변경과 함께 프로토타입 ver.1에 사용된 초광각렌즈의 비네팅 효과, 각종 과장 및 왜곡 현상을 보완하기 위해 광각렌즈 (LM3NCM)로 변경함. LM3NCM의 사양은 다음과 같음. -TV 왜곡: 0.4% 이하 ▪ 이번 프로토타입 ver.2의 입력 모듈 보호 케이스 제작에는 하절기 고온 환경에서 센서 발열 시 외부 열을 적게 흡수하고, 내부 열을 배출하는 성능을 가진 알루미늄 합금 소재를 사용함. 또한 프로토타입 ver.1의 운전자 모니터 모드 전환 시 발생했던 일부 화면 떨림 문제를 개선하기 위해 출력 모니터를 라즈베리 파이 3 (1.1 버전)으로 변경함. ▪ 입력 및 출력 모듈이 변경 개발한 프로토타입 ver.2를 건설장비 (DX300LC-5K, 22톤 굴삭기)에 설치하기 위해 설치 위치를 산정하였으며, 입력 모듈 Calibration을 통해 기하 모델 데이터베이스와 (Pos, Dis) 맵 데이터베이스를 추가 구축함. 다음 그림은 기하 모델 데이터베이스와 (Pos, Dis) 맵 데이터베이스 구축을 위한 영상 획득 실험의 예시를 나타냄.  <기하 모델 데이터베이스와 (Pos, Dis) 맵 데이터베이스 구축을 위한 영상 획득 실험 예시> ▪ 건설장비 운전석에서 육안으로 확인 가능한 범위를 제외하고, 건설장비를 중심으로 주변 10m 이내 거리 (Protective Field)에서 작업 중인 작업자 인식이 가능하도록 전면/양측면/후면에 입력 모듈 설치를 완료하였으며, 다음 그림과 같이 변경한 입력 모듈에 따른 통합 출력 모듈 개발을 완료함.

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
작업환경 인식 기반 안전 가이던스 시스템 프로토타입 ver.2 개발	▪ 하드웨어 회로 설계를 통한 영상 개선, 작업자 인식 속도 및 출력 속도 개선	▪ 건설장비 운전석에서 육안으로 확인 가능한 범위를 제외하고, 건설장비를 중심으로 주변 10m 이내 거리 (Protective Field)에서 작업 중인 작업자 인식이 가능하도록 전면/양측면/후면에 입력 모듈 설치를 완료하였으며, 다음 그림과 같이 변경한 입력 모듈에 따른 통합 출력 모듈 개발을 완료함.  <변경한 입력 모듈 (전면/양측면/후면)의 입력 영상 통합 출력 (■: 전면 카메라, ■: 우측면 카메라, ■: 후면 카메라, ■: 좌측면 카메라> ▪ 다음 그림은 건설장비 (DX300LC-5K, 22톤 굴삭기) 전면에 설치한 프로토타입 ver.2의 입력 모듈 사진을 나타냄.  <건설장비 (DX300LC-5K, 22톤 굴삭기) 전면에 설치한 프로토타입 ver.2의 입력 모듈>
	▪ 인식된 복수 작업자 추적 및 시나리오 기반 인식 오류 개선	▪ 입력 모듈로부터 획득된 영상의 일부 프레임에서 발생하는 복수의 작업자 인식 및 추적 오류를 개선하기 위해 패턴 매칭 기반 안전 보호 장구 판별 기술을 개발 완료함. 작업자의 안전 보호 장구 형태 및 색상을 기반으로 한 작업자 인식 방법과 추적 알고리즘을 추가 개발하여 처리 모듈을 보완함으로써 인식된 복수 작업자 추적 및 시나리오 기반 인식 오류를 개선함. 이를 위한 형태 및 색상 기반 데이터베이스 보완 구축 및 현장 적용성 평가 실험을 수행하였으며, 다음 표는 실험 개요를 나타냄.

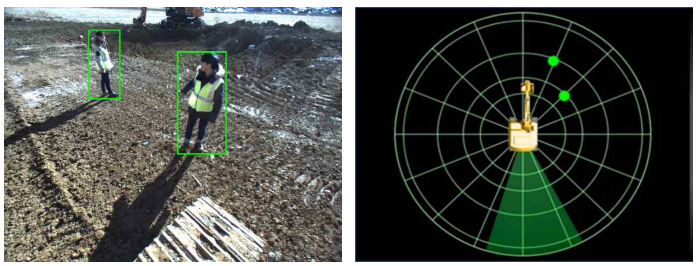
<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td rowspan="2">작업환경
인식 기반
안전
가이던스
시스템
프로토타입
ver.2 개발</td><td>▪ 인식된 복수 작업자 추적 및 시나리오 기반 인식 오류 개선</td><td><형태 및 색상 기반 데이터베이스 보완 구축 및 현장 적용성 평가를 위한 실험 개요>
<table><tr><td>실험 목적</td><td>• 입력 모듈: Protective Field 내 복수 작업자 영상 획득 및 처리 모듈 전송
• 처리 모듈: 영상 처리를 통한 복수 작업자 탐지 및 추적, 위치 추정, Top View 전환
출력 모듈: Top View 전환 영상 출력 (실시간 복수 작업자 인식 및 추적 결과 시각화, 경보음 송출)</td></tr><tr><td>실험
시나리오</td><td>건설장비 전면/양측면/후면에 입력 모듈 설치 및 다음 실험 반복 수행
• 작업자 형태: 서 있기, 걷기, 숙이기, 앉기, 숙였다가 앉거나 앉았다가 숙이기, 서 있다가 앉거나 앉았다가 서기
• 작업자 수: 5명
• 작업자 거리: 건설장비를 중심으로 주변 10m 이내
• 작업자 방향: 건설장비 기준 전면/양측면/후면
• 영상 내 작업자 위치: 중앙, 측면</td></tr></table>• 다음 그림은 작업자의 안전 보호 장구 형태 및 색상을 기반으로 한 작업자 인식 방법과 추적 알고리즘을 추가 개발하여 보완한 처리 모듈의 현장 적용성 평가 결과의 예시를 나타냄.
 
<작업자 인식 오류 개선 시각화 예시></td></tr>
<tr><td>▪ 시스템 통합 시 백그라운드 실행 지원을 위한 규칙 설계 및 시스템 이벤트 처리 개발</td><td>▪ 프로토타입 ver.2의 입력 모듈, 처리 모듈, 출력 모듈을 일괄적으로 제어함으로써 시스템 통합 시 백그라운드 실행을 지원하기 위해 서버, 클라이언트 프로그램을 모듈화하여 개발함.
▪ 서버 프로그램은 입력 모듈로부터 영상을 획득하고, 클라이언트 프로그램으로 획득된 영상을 전송하며 클라이언트 프로그램에서 분석된 작업자 인식 결과를 수신하여 운전자 모니터에 시각화하고 경보음을 송출하는 기능을 수행하며, 특징은 다음과 같음.
- SpinView 프로그램을 통해 GigE으로 연결된 입력 모듈로부터 실시간 획득되는 영상을 클라이언트 프로그램에 전송
- 클라이언트 프로그램으로부터 수신된 작업자 인식 결과를 운전자 모니터에 시각화 및 경보음 송출
▪ 해당 프로그램의 개발 환경은 다음과 같음.
- Processing Client OS: Win 7, Win10
- Language: Visual Studio 2013, C#, .NET
- Required Program: SpinnakerSDK_FULL_x64
▪ 다음 그림은 서버 프로그램의 사용자 화면을 나타냄.</td></tr>
</table>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
작업환경 인식 기반 안전 가이던스 시스템 프로토타입 ver.2 개발	▪ 인식된 복수 작업자 추적 및 시나리오 기반 인식 오류 개선	 <서버 프로그램 사용자 화면> ▪ 클라이언트 프로그램은 통신 프로토콜을 통해 서버 프로그램으로부터 입력 모듈을 통해 획득된 영상을 수신하고, 다음 기능이 복합 작용하여 작업자 인식 및 추적, 위치 추정, Top View 전환 등을 수행하며 수행 결과를 서버 프로그램으로 전송하는 기능을 수행하며, 수행 결과는 프레임별로 시각화되고 필요에 따라 지정 폴더에 저장됨. - 광각 렌즈 이용시 발생되는 비네팅 효과 저감 - 패턴 매칭 (흑백 이진화 대상) - 색상 패턴 매칭 - 이동 분석 (프레임 간) - 학습 기반 보행 분석 - 색상 분석 - 배경 제거 분석 등 ▪ 사용자는 해당 프로그램을 이용하여 다음 세 가지 종류의 영상에 대한 입력 모드를 선택할 수 있음. - 단일 프레임 파일 (정지 영상 파일) - 연속 프레임 파일 (동영상 파일) - CMOS 센서 실시간 연결 ▪ 해당 프로그램의 개발 환경은 다음과 같음. - Processing Client OS: Linux Ubuntu - Language: Python

	▪ 추가 아이템 및 필요 기술 개발 및 실용화 건설장비 가이드 사용규정 마련	▪ 2단계 연구개발사업의 원활한 추진을 위한 추가 아이템 및 필요 기술 - 향후 2단계 과제 추진시에는 굴삭기를 포함한 다양한 건설장비의 종류 및 규격별 특성을 고려하여 본 과제 (작업환경 인식 기반 안전 가이던스 시스템 개발)에서 도출한 핵심성과별 최종성과물의 적용을 위해 추가적인 설계 및 개발이 요구됨. - 건설장비 작업 반경 내 작업자를 포함한 다양한 지형지물에 대한 탐지 기술 확보가 요구되며, 이를 위해 데이터베이스 구축, 탐지 기술 개발, 기술 검증을 위한 테스트베드 및 현장 적용에 대한 연구가 필요함. - 국제 수준 이상의 기술력을 확보하여 세계시장에서의 실용화를 염두에 두는 상황에서 건설장비 관련 산업을 선도하는 두산인프라코어와 같은 선진 기업과의 협력이 요구됨. - 전방위 주변 상황 인지 정보를 기반으로 한 작업환경 인식을 통해 건설장비 작업의 안전성 향상 및 작업 환경을 개선할 수 있는 안전 가이던스 시스템 ▪ 추후 과제의 실용화를 위한 건설장비 가이드 사용 규정 마련 - 굴삭기는 주행 외에 상부체 선회, 각종 작업장치 (붐, 암 및 버킷)의 작동 도중 작업자와의 협착 및 충돌로 인한 안전사고 발생 가능성이 높음. 「건설기계 안전기준에 관한 규칙 (국토교통부령 제7호, 2013.5.27)」 제151조2에서 굴삭기 및 도저, 롤러 등과 같이 밀폐된 캡에 조종석이 설치된 타이어식 건설기계에는 실내·외 후사경 외에 운전자가 후방을 확인할 수 있는 장치의 부착이 필수적임을 명시하고 있으나, 작업자와의 협착 및 충돌 위험 탐지는 작업 중인 운전자의 경험에 의한 판단에 의존하기 때문에 근본적인 대책이 될 수 없음. 따라서 안전사고 방지를 위해 실내·외 후사경 외에 장치 부착뿐만 아니라, 능동적으로 작업 반경 내 작업자를 탐지하고 경보음을 울리는 안전장치 설치를 의무화할 필요가 있음.

<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td>작업환경 인식 기반 안전 가이던스 시스템의 Full-Package 현장 테스트 및 검증</td><td>▪ 안전 가이던스 시스템 프로토타입 ver.2 현장 적용성 평가</td><td>▪ 4차년도 연구기간 동안 개발 완료한 프로토타입 ver.2의 성능을 검증하기 위해 총 9회에 걸쳐 Full-Package 현장 적용성 평가를 수행함.

<프로토타입 ver.2의 Full-Package 현장 적용성 평가 실험 개요>
<table><tr><td>실험 목적</td><td>• 입력 모듈: Protective Field 내 복수 작업자 영상 획득 및 처리 모듈 전송
• 처리 모듈: 영상 처리를 통한 복수 작업자 탐지 및 추적, 위치 추정, Top View 전환
• 출력 모듈: Top View 전환 영상 출력 (실시간 복수 작업자 인식 및 추적 결과 시각화, 경보음 송출)</td></tr><tr><td>실험 시나리오</td><td>건설장비 전면/양측면/후면에 입력 모듈 설치 및 다음 실험 반복 수행
• 작업자 복장: 안전 보호 장구 착용
• 작업자 형태: 서 있기, 걷기, 숙이기, 앉기, 숙였다가 앉거나 앉았다가 숙이기, 서 있다가 앉거나 앉았다가 서기
• 작업자 거리: 건설장비를 중심으로 주변 15m 이내
• 작업자 방향: 건설장비 기준 전면/양측면/후면
• 작업자 수: 최소 3명</td></tr><tr><td>실험 일자 및 장소 (실험 인원)</td><td>• 1차: 2017년 12월 12일, 한양대 에리카캠퍼스 (5명)
• 2차: 2017년 12월 21일, 한양대 에리카캠퍼스 (5명)
• 3차: 2017년 12월 26일, 한양대 에리카캠퍼스 (5명)
• 4차: 2018년 01월 02일, 한양대 에리카캠퍼스 (5명)
• 5차: 2018년 01월 19일, 한양대 에리카캠퍼스 (4명)</td></tr></table>
• 다음 그림은 프로토타입 ver.2의 8차 Full-Package 현장 적용성 평가 결과의 예시를 나타냄. 실험은 건설장비 (DX300LC-5K, 22톤 굴삭기) 전면/양측면/후면에 프로토타입 ver.2의 입력 모듈을 설치하고, 운전석 내부에 프로세서 및 운전자 모니터를 설치한 후 수행함. 프로토타입 ver.2 모듈간 통신 프로토콜을 통해 영상 획득, 작업자 인식 및 추적 기능 (a), 위치 추정, Top View 전환 결과의 시각화 기능 (b)이 정상 작동함을 확인함.

 
(a) (b)
<프로토타입 ver.2의 Full-Package 현장 적용성 평가 결과 예시 (a) 입력 영상 내 인식 및 추적된 작업자 예시, (b) 운전자 모니터에 표시된 Top View 전환 예시></td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td>작업환경 인식 기반 안전 가이던스 시스템의 Full-Package 현장 테스트 및 검증</td><td>▪ 해당 시스템의 테스트베드 적용 및 평가 결과를 기반으로 한 평가 및 보완</td><td>▪ 3차년도 연구기간 동안 개발된 프로토타입 ver.1의 모듈을 고도화함에 따라, 연구 수행 전과 비교한 기술 수준 향상 정도와 오차 판정 신뢰도를 측정 및 평가함. 4차년도 연구 개발을 통해 실시간으로 건설장비의 작업 공간 전방위에 대한 위험요소 (작업자)를 자동으로 인식하고, 위험요소별 위치를 보다 정확하게 추정함으로써 전방위 주변 상황 인지 정보 (위험요소 및 위험성)를 시각화하고 작업 중인 운전자에게 경보음을 통해 이를 효과적으로 알림할 수 있는 통합 기술을 확보함.
▪ 개발 완료한 프로토타입 ver.2의 현장 적용성 평가 결과를 분석하여 오차 판정 신뢰도 측정을 수행함. 오차 판정 신뢰도는 회차별 평균 작업자 인식 정확성 (Accuracy)으로 산정함. 총 9회에 걸친 실험을 통해 35,000 프레임을 획득 및 분석하였으며, 분석 결과 통해 평균 작업자 인식 정확성은 100%로 나타남.

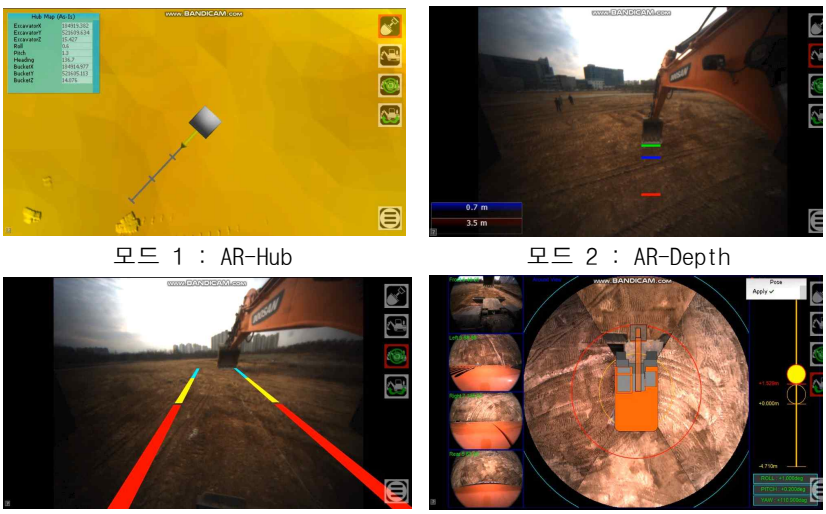
<안전 가이던스 시스템 오차 판정 신뢰도 검증 결과 요약>
<table><tr><th rowspan="2">구분</th><th colspan="2">3차년도</th><th colspan="2">4차년도</th></tr><tr><th>Precision (%)</th><th>Recall (%)</th><th>Precision (%)</th><th>Recall (%)</th></tr><tr><td>1</td><td>94.8</td><td>99.9</td><td>100</td><td>100</td></tr><tr><td>2</td><td>99.4</td><td>98.9</td><td>100</td><td>100</td></tr><tr><td>3</td><td>98.4</td><td>98.8</td><td>100</td><td>100</td></tr><tr><td>4</td><td>82.1</td><td>94.9</td><td>100</td><td>100</td></tr><tr><td>5</td><td>97.0</td><td>99.0</td><td>100</td><td>100</td></tr></table>
▪ 열악한 토목 현장의 특성을 감안하여 개발된 시스템과 각종 센서의 내구성 테스트에 대한 검증 계획

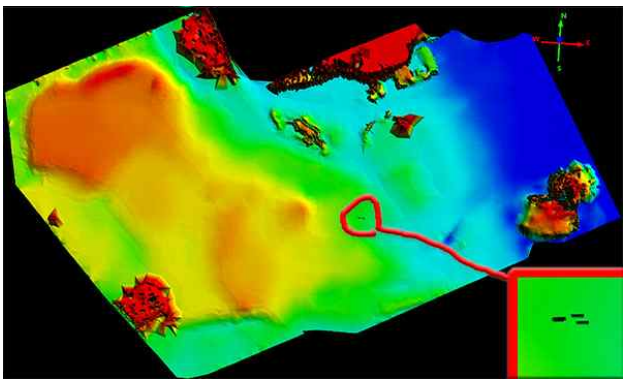
- 작업환경 인식 기반 안전 가이던스 시스템의 입력 모듈은 열악한 토목 현장의 특성을 고려하여 입력 센서를 보호하도록 하절기 고온 환경에서 센서 발열시 외부 열을 적게 흡수하고, 내부 열을 배출하는 성능을 가진 알루미늄 합금 소재의 보호 케이스를 설계 및 제작함.

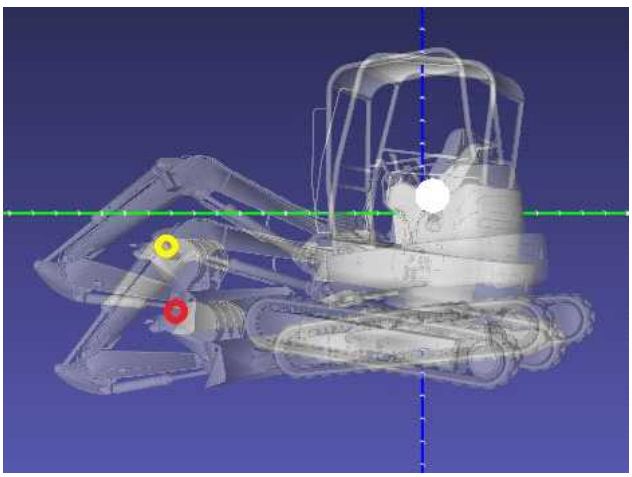
- 다양한 현장조건을 가진 테스트베드에서 개발된 작업 환경 인식 기반 안전가이던스 시스템의 요구성능 충족도에 대한 현장 적용성 검증을 추가적으로 수행할 계획임.</td></tr>
</table>

		▪ 현장 적용성 평가 결과를 기반으로 연구 수행 전과 비교한 기술 수준 향상 정도와 오차 판정 신뢰도 측정 및 평가 결과와 함께 백그라운드 지원을 위한 통합 시스템 및 영상의 출력 속도, 건설장비-작업자간 거리 추정에 대한 평가를 수행함. 이를 통해 작업 중인 건설장비를 중심으로 주변 10m 이내 거리에서 작업 중인 작업자의 정확한 위치가 운전자 모니터에 실시간으로 출력되는 것을 확인하였으며, 통합 시스템을 통해 각 모듈의 기능이 정상 작동함을 검증함.

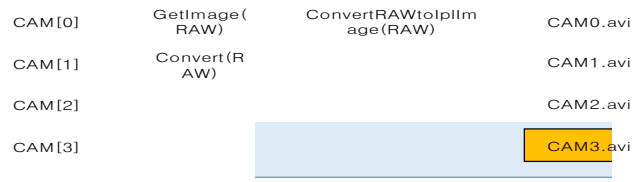
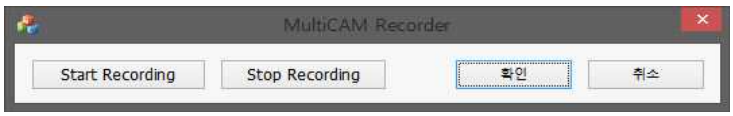
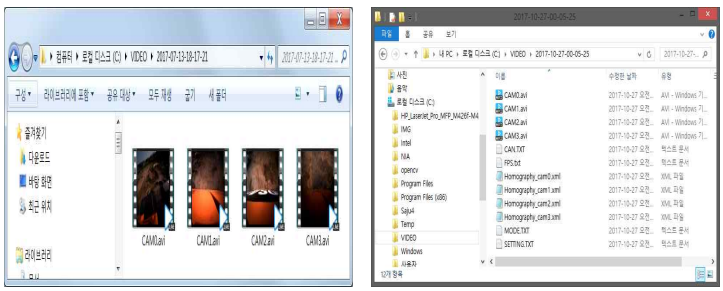
◎ 건설장비 AR-어라운드뷰 네비게이터 기술개발 (2-3세부 공동-인하대학교 산학협력단)

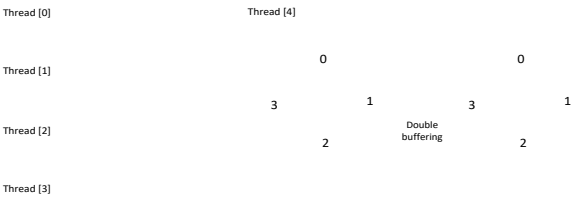
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ 건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 프로토타입 개선	▪ AR-어라운드 뷰 네비게이터 소프트웨어 통합 - AR 네비게이터와 어라운드 뷰 모니터링 시스템을 통합 완료하였으며, 동기화 모듈의 오류는 발견되지 않음. - 통합된 프로그램인 AR-어라운드 뷰 네비게이터의 기능은 4개로 아래와 같음. · MODE1(AR-Hub): 실시간 지형도의 업데이트를 표현하는 기능으로 실시간으로 변화되는 지형을 나타내는 As-Is, 설계된 지형도를 나타내는 As-Designed, 두 지형도의 차이를 나타내는 Difference로 구성되어 있음. · MODE2(AR-Depth): 지형도의 높이와 연동되어, 버킷끝단의 위치는 초록색, 버킷의 연직아래 지면은 파란색, 설계 지형도의 위치는 빨간색으로 증강현실 중첩기법으로 표현되며, 좌측하단에 버킷끝단과의 높이차이가 m단위로 수치정보가 주어짐. · MODE3(AR-Radius): 굴삭기의 최대 작업반경을 3등분하여, 증강현실 중첩기법으로 표현함. 그림에서 보이는 선의 위치는 굴삭기 구동체(휠 또는 궤도)의 위치임. · MODE4(AVM): 굴삭기 전, 후, 좌, 우에 설치된 카메라로부터 취득되는 4개의 영상을 Top-View로 변환하여 AVM영상을 구현함. - 화면 우측 상단의 4개의 버튼으로 각 MODE를 변경할 수 있으며, 우측 최상단부터 아랫방향으로 MODE1, 2, 3, 4임. - 화면 좌측 하단 버튼으로 어플리케이션의 기타 옵션을 조정할 수 있음.  모드 1 : AR-Hub 모드 2 : AR-Depth 모드 3 : AR-Radius 모드 4 : AVM <AR-어라운드 뷰 네비게이터 통합 소프트웨어>

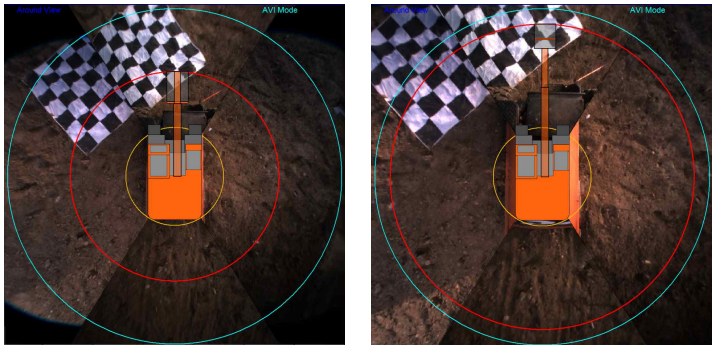
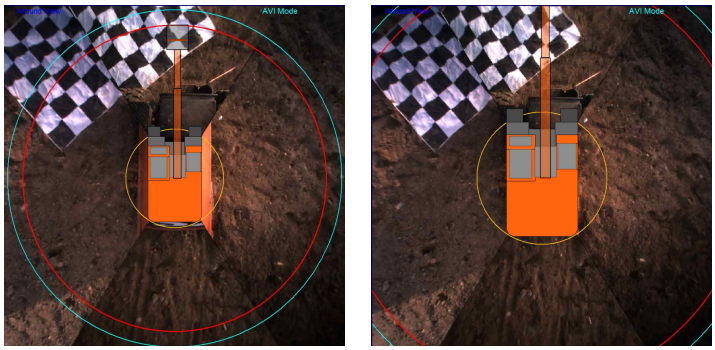
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ 건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 프로토타입 개선	▪ **AR-어라운드 뷰 네비게이터 소프트웨어 시스템 개선사항1 (실시간 지형도 업데이트)** - 실시간 지형도 업데이트 시스템 개발 · 머신가이던스에서 제공받는 버킷끝단의 좌표(X_B,Y_B,Z_B)값이 굴삭기 버킷좌표(X_B,Y_B)에 위치한 현재지면의 높이Z보다 낮다면 해당 지점의 현재지면이 버킷끝단의 높이로 업데이트 되는 모듈을 개발함. · 해당 기능은 굴삭기의 머신가이던스로부터 받는 좌표가 10초 이상 바뀌지 않는 상태에서 프로그램 폴더에 시간 순으로 백업파일을 생성하게 설정되어 있음. · 아래 그림은 버킷의 움직임을 시뮬레이션 하여 실시간으로 지형도 업데이트 되는 그림임.  <실시간 지형도 업데이트 시스템 시뮬레이션> ▪ **AR-어라운드 뷰 네비게이터 소프트웨어 시스템 개선사항2 (AR 중첩 정확도 개선)** - AR 중첩도 개선 개요 · 해당사항은 AR-어라운드 뷰 네비게이터의 4가지 모드 중 AR-Depth(MODE2)에 해당함. AR 중첩 정확도란 ㈜두산인프라코어(2-4세부)의 머신가이던스 좌표를 기반으로, 굴삭기 외부에 설치된 카메라 촬영영상에 정확한 위치로 중첩시키는 정도를 의미함. · 해당사항을 수행하기 위해 제공받는 머신가이던스 데이터의 구조는 굴삭기 회전축 중심 좌표(x, y, z), 버킷끝단 좌표(x, y, z), 굴삭기 자세정보(Roll, Pitch Yaw)가 있으며, 이와 같은 데이터와 카메라 영상정보를 통해 Extrinsic Calibration을 수행하고 AR 중첩을 실시함.

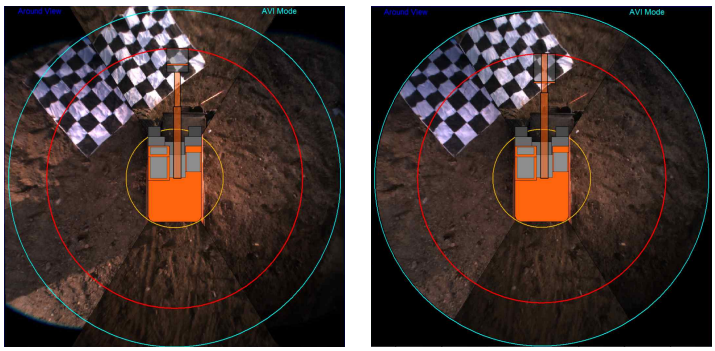
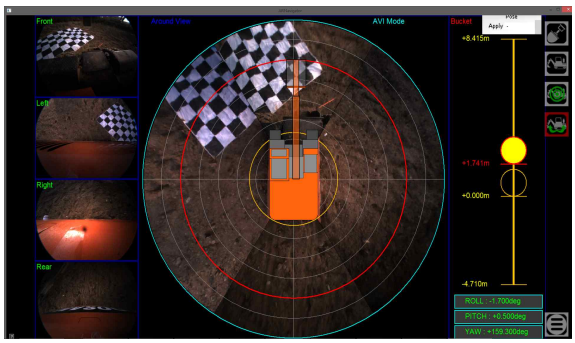
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ 건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 프로토타입 개선	- Extrinsic Calibration 모델링 결과 · 기존의 Extrinsic Calibration 모델은 굴삭기의 자세정보의 Pitch, Roll, Yaw 중 Yaw는 Global 좌표체계의 회전축을 기준으로 회전이 적용됨. Global 좌표체계의 좌표축으로 회전을 적용시킬 시 중력 방향의 법면 기준으로 기울어진 정도인 Pitch, Roll의 영향이 적게 적용되고, Calibration되어 카메라 화면상 Z좌표의 값이 큰 오류를 갖게 됨. · 따라서, 기존의 모든 자세정보의 Global 좌표체계 적용 대신 Yaw는 굴삭기의 Local 좌표의 Z축을 회전축으로 회전을 반영하여 Extrinsic Calibration 모델링을 수립하고 개발함. · 기존 모델과 개선 모델의 굴삭기 움직임에 따른 차이는 아래 그림과 같음. 노란색으로 표시되어 있는 부분이 변경 전, 빨간색으로 표시되어 있는 부분이 변경 후임.   <Extrinsic Calibration 모델링 변경 전후 비교> - 외부표정 모델링 변경을 통해 3차년도 대비 AR 중첩 정확도가 대폭 상향됨. - 아래의 그림은 3차년도 AR 중첩 이미지와 4차년도 AR 중첩 이미지를 비교한 그림임.

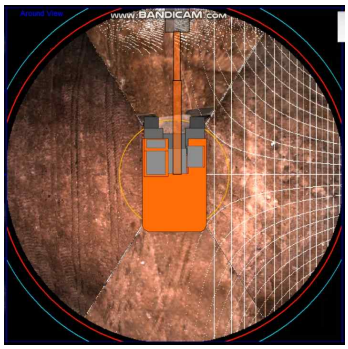
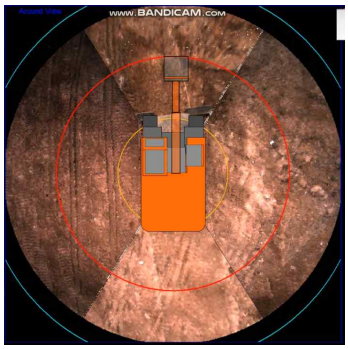
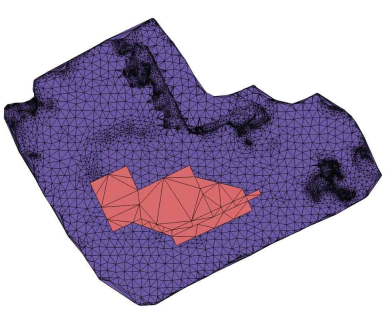
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ 건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 프로토타입 개선	  3차년도 AR 중첩도   4차년도 AR 중첩도 <3차년도 대비 AR 중첩도 변화> - 픽셀오차의 경우 평균 8.6픽셀 오차(RMSE), 표준편차 8.9로 당초 목표했던 10픽셀 오차 이내로 보정가능함을 확인할 수 있었음. - 일부 오차가 나는 이유는 Calibration 데이터를 수집하는 과정에서 머신가이던스가 보이고 있는 3cm 내외의 오차와 데이터를 수집하는 현장의 베이스 좌표 미구축으로 인한 오차이며, 해당 사항이 개선된다면, 오차가 거의 없는 AR 중첩 정확도를 가질 것이라 판단됨. ▪ **AR-어라운드 뷰 네비게이터 소프트웨어 시스템 개선사항3 (AR Depth 모드 UI 개선)** - 기존 3차년도에는 AR-Depth(MODE2)의 시스템 UI는 굴삭기 버킷 끝단의 수평바와 지면, 설계지면과의 높이를 수직 바를 이용하여 표현되었음. - 이와 같이 표현된다면 아래 그림과 같이 시야에 방해가 있다고 판단됨. - 따라서, 4차년도에는 버킷 끝단의 위치로부터 연직 아랫방향의 지면과 설계지면의 높이 차이를 수직바가 아닌 수평바로 대체시키고, 좀 더 넓은 시야를 확보할 수 있도록 개선함   3차년도 AR-Depth 시스템 UI 4차년도 AR-Depth 시스템 UI <MODE2(AR-Depth) 시스템 UI 변경>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ 건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 프로토타입 개선	▪ **AR-어라운드 뷰 네비게이터 소프트웨어 시스템 개선사항4 (AVI 레코딩 모듈 개발)** - AVI 레코딩 모듈 개발 · AVI 레코딩 모듈은 1,600×1,200 (1.92 MP) 영상 4개의 입력을 동영상으로 기록하기 위한 모듈로서, AVM 프로그램의 영상 획득 모듈에서 획득하는 영상을 대상으로 함. 본 모듈은 ①카메라 연결, ②영상획득, ③RAW-IplImage 변환, ④AVI 저장 순서로 실행되며, 이 중 캠 연결과 영상획득 부분은 AVM 프로그램의 영상획득 모듈과 동일함.  <AVI 레코딩 모듈의 프로세스> · AVI 레코딩 모듈의 사용자 인터페이스는 아래 그림과 같으며 "Start Recording" 버튼을 누르면 비디오 레코딩이 시작되고, "Stop Recording" 버튼을 누르면 레코딩이 종료됨.  <AVI 레코딩 모듈 인터페이스> · AVI 레코딩 모듈을 통해 취득한 레코딩 영상은 AVI 파일로 저장되며,C:₩VIDEO₩2017(년)-07(월)-13(일)-18(시)-17(분)-21(초) 형식의 폴더에 각각 CAM0.AVI, CAM1.AVI, CAM2.AVI, CAM3.AVI 파일로 저장됨.  <레코딩 파일 저장 결과> · AVI 레코딩 모듈은 싱글 쓰레딩과 멀티 쓰레딩 버전 2개로 개발되어 있으며, 카메라의 광량이 충분한 경우 싱글 쓰레딩의 경우 초당 8~10프레임, 멀티 쓰레딩의 경우 30~35 프레임 수준의 레코딩이 가능함

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ 건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 프로토타입 개선	**AR-어라운드 뷰 네비게이터 소프트웨어 시스템 개선사항5 (Multi Threading 모드 개발)** - Multi Threading 모드 개발 · 3차 년도까지의 AVM 프로그램은 싱글 쓰레딩(Single Threading) 기반으로 제작되어 하나의 코어가 순차적으로 0번 영상 (전방 카메라), 1번 영상 (좌측 카메라), 2번 영상 (후방 카메라), 3번 영상 (우측 카메라) 순서로 워프맵을 통해 실시간 데이터를 AVM 변환하며 4개의 영상이 모두 처리되면 데이터를 실제 화면에 그려주는 방식으로 동작하였음. 해당 데이터 처리 프로세스의 경우, 4개의 카메라에서 최대 100프레임에 가까운 영상을 동시에 획득하기 때문에 최종적인 AVM 영상은 20프레임 이하의 낮은 프레임 수로 표현되는 문제점을 지니고 있음.  <싱글 쓰레딩 데이터 처리 프로세스> · 이를 해결하기 위해 4차 년도 AVM 프로그램에서는 각 카메라의 데이터 처리과정을 멀티 쓰레딩(Multi Threading)로 분할하였으며 각자 쓰레드에서 영상을 직접 화면에 그릴 경우 발생하는 화면의 번쩍거림을 방지하기 위해 별도의 화면 그리기 쓰레드를 구성하였음.  <멀티 쓰레딩 데이터 처리 프로세스> · 멀티 쓰레드로 변경한 후 각 카메라 영상(쓰레드 0~3)의 AVM 변환 시간을 테스트한 결과 평균 초당 49.8 프레임의 속도로 변환되는 것을 확인할 수 있었으며, 최종적으로 화면에 AVM을 표시하는 쓰레드 4의 속도는 평균 28.2 프레임인 것으로 확인되어 기존 싱글 쓰레딩에 비해 2배 이상 AVM 성능이 개선되었음.  <각 카메라 영상의 AVM 변환속도>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ 건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 프로토타입 개선	**AR-어라운드 뷰 네비게이터 소프트웨어 시스템 개선사항6 (AVM 디스플레이 수정)** - AVM 영상 확대 옵션 개발 · 최종 AVM 시스템에서는 AVM 영상 확대 모듈 개발을 통해 AVM 영역의 원점을 중심으로 AVM 화면을 F9를 누르면 crop 영역이 +6 증가하고 F10을 누르면 -3 감소하도록 하였음.  <AVM 확대 옵션 적용 결과> - 굴삭기 이미지 확대 옵션 개발 · AVM 영상 확대 옵션을 통해 AVM 영상을 확대할 경우 굴삭기의 크기도 확대되어야 하나 AVM 영역은 Bitmap 방식으로 그리고 굴삭기는 CDC 방식으로 그리기 때문에 함께 연동될 수가 없음. 또한 함께 연동되도록 제작할 경우 Calibration에서 어려움을 겪을 수 있기 때문에 굴삭기의 축소/확대는 별개로 동작할 수 있도록 제작하였음. · 최종 AVM 프로그램에서는 F11을 누를 경우 굴삭기의 크기는 1% 증가하고, F12를 누를 경우 1% 감소하도록 설정되었음.  <굴삭기 이미지 확대 옵션 적용 결과> - 비네팅 영역 확대 축소 옵션 개발 · 굴삭 최대 영역 바깥쪽의 영역은 실제 화질이 낮고 안전 관리상의 문제가 발생하지 않는 지역임. 최종 AVM 프로그램에서는 이 영역의 경우 옵션에 따라 나타내지 않을 수 있도록 하였음. 단위는 px이며 최대작업반경의 크기 (467px)에서 F1키를 누를 경우 비네팅의 반경이 5px 증가하고 F2키를 누를 경우 비네팅의 반경이 2.5px 감소하도록 설정하였음.

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ 건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 프로토타입 개선	 <비네팅 영역 확대 축소 옵션 적용 결과> - AVM 화면 그리드 옵션 개발 · 최종 AVM 프로그램에서는 칼리브레이션을 용이하게 하기 위하여 AVM 화면 그리드 옵션을 개발하였으며 단축키 "G"를 누르면 1미터 간격의 그리드가 나타나고 다시 G를 누르면 그리드가 보이지 않도록 개발하였음.  <AVM 화면 그리드 옵션 적용 결과> **AR-어라운드 뷰 네비게이터 소프트웨어 시스템 개선사항7 (AVM 밝기 자동조절 모듈 개발)** - AVM 밝기 자동조절 모듈 개발 · 최종 AVM 시스템에서 사용하는 렌즈는 수동 조리개 조절 렌즈이므로 영상의 밝기를 조절하기 위해서는 Exposure 값을 조절하거나 Frame Rate를 조절하는 방법을 사용해야 하며, 강제로 Shutter speed를 조절할 수는 없는 것으로 파악됨. · 본 연구에서는 각 카메라별로 기대 명도치를 미리 입력받고 현재의 명도치가 기대 명도치보다 낮을 경우 카메라의 Exposure를 증가시키고, 반대로 현재의 명도치가 기대 명도치보다 높을 경우 카메라의 Exposure를 낮춰주도록 하는 모듈을 개발함. · 그러나 실외 환경에서 테스트한 결과 기대 명도치가 실내 환경과 실외 환경에서 확연히 다르고 카메라의 조리개 설정에 따라 Exposure 값이 크게 변화되는 경향을 보여 현실적으로 사용하기 위해서는 더 많은 테스트가 필요한 것으로 판단됨. · 따라서 현실적으로 현장에서 카메라의 밝기를 쉽게 조절하기 위하여 본 연구에서는 F7 키를 누르면 Exposure 설정 값이 +2 증가하고 F8 키를 누르면 Exposure 설정 값이 -1 감소하도록 프로그래밍하였음.

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ 건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 운용 매뉴얼 작성	  <AVM 밝기 자동조절 모듈 적용 결과> ▪ **건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 운용 매뉴얼 작성** - 건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 운용 매뉴얼은 시스템 조작 및 유지관리 방법에 대한 사용자의 원활한 이해를 돕기 위해 작성 되었음. 아래의 내용은 작성된 운용 매뉴얼의 주요사항을 요약한 것임. - 전체화면/창모드 전환 · AR-어라운드 뷰 네비게이터는 전체화면과 창모드 전환이 가능함. · 전체화면/창모드 전환은 /data/config.txt파일에서 true' 입력 시 전체화면, 'false' 입력 시 창모드로 전환이 가능함. - AR-어라운드 뷰 네비게이터 MODE1(AR-Hub) · MODE1을 구동시키기 위해서는, 토공사를 수행하고자 하는 현장의 실제 지형도(As-Scanned.TIN), 토공사 설계 지형도(As-Designed.TIN)가 필요함. · 실제 지형도와 설계 지형도는 AR-어라운드 뷰 네비게이터의 Shp2Terrain.exe 바이너리를 통하여 Geo-tiff 형태로 지형도 포맷의 변환이 이루어지며, AR-어라운드 뷰 네비게이터에 적용됨.   <지형도 형태 변환> · 또한, 사용된 좌표계의 원점에 따라 프로그램의 /data/config.txt파일에서 지형도의 원점에 대한 정보를 입력해야 정상작동 됨. · 현재 MODE1(AR-Hub)의 굴삭기 모델은 DX140w로 설정되어 있어, 굴삭기 모델이 변경된다면 /data/models.txt파일에서 굴삭기 제원을 업데이트 시켜야 함.

<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td>건설장비
AR-어라운드
뷰
네비게이터
기술 개발</td><td>▪ 건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 운용 매뉴얼 작성</td><td>
- AR-어라운드 뷰 네비게이터 MODE2(AR-Depth)
· MODE2를 사용하기 전, 카메라 설치 위치에 따라 Extrinsic Calibration이 필요함. 설치위치가 고정된다면 한번의 Extrinsic Calibration만 수행하면 됨.
· Extrinsic Calibration을 수행하기 위해서는 카메라를 설치한 상태에서 캡처된 영상 상 버킷 끝단 중앙의 픽셀좌표, 머신가이던스 데이터의 정리된 csv포멧과 캡처된 영상정보가 필요함.
· 정리된 데이터와 캡처된 영상정보를 AR-Navigator-x64.exe와 같은 경로에 위치시켜 Extrinsic Calibration을 수행할 수 있음.
· 현재 MODE2(AR-Depth)의 굴삭기 모델은 DX140w로 설정되어 있어, 굴삭기 모델이 변경된다면 /data/models.txt파일에서 굴삭기 제원을 업데이트 시켜야 함.

<AR-Depth Calibration>
- AR-어라운드 뷰 네비게이터 MODE4(AVM)
· MODE4(AVM)의 카메라 설정과 관련된 기본 셋팅 값은 C:₩VIDEO₩Choiced Video₩SETTING .TXT 파일에서 수정해야함.
· MODE4(AVM)의 전방카메라, 좌측 카메라, 후방 카메라, 우측 카메라는 각각 0번 카메라, 1번 카메라. 2번 카메라 3번 카메라로 명명되었으며, 각각의 화면영역을 수정하기 위해서는 해당 영역의 카메라 번호를 선택한 후 아래의 조절키를 참고하여 수정하면 됨.
<table>
<tr><th>순서</th><th>구분</th><th>변수명</th><th>타입</th><th>범위</th><th>조절키</th></tr>
<tr><td rowspan="2">1</td><td rowspan="2">Z</td><td>Cam_Set[i].Z</td><td>double</td><td>-100~100</td><td>Q/W</td></tr>
<tr><td colspan="4">호모그라피의 확대/축소 변수</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2</td><td rowspan="2">회전각</td><td>Cam_Set[i].RotAngle</td><td>double</td><td>-360~360deg</td><td>F3/F4</td></tr>
<tr><td colspan="4">AVM 각 화면의 회전</td></tr>
<tr><td>3</td><td>스케일</td><td>Cam_Set[i].Scale</td><td>double</td><td>1.0±a</td><td>F5/F6</td></tr>
<tr><td colspan="5">AVM 각 화면의 확대/축소 (※ 화질저하가 있음)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">4</td><td rowspan="2">x
시작점</td><td>Cam_Set[i].xStart</td><td>int</td><td>0~1600px</td><td>U/I</td></tr>
<tr><td colspan="4">AVM 영역 삼각형의 꼭지점 위치 중 x축 시작점</td></tr>
<tr><td rowspan="2">5</td><td rowspan="2">y
시작점</td><td>Cam_Set[i].yStart</td><td>int</td><td>0~1600px</td><td>O/P</td></tr>
<tr><td colspan="4">AVM 영역 삼각형의 꼭지점 위치 중 y축 시작점</td></tr>
<tr><td rowspan="2">6</td><td rowspan="2">화면밝기</td><td>Cam_Set[i].Exp</td><td>int</td><td>0~100</td><td>F7/F8</td></tr>
<tr><td colspan="4">각 카메라의 밝기 (Exposure)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">7</td><td rowspan="2">sleep
타임</td><td>DelayTime[i]</td><td>int</td><td>0~100sec</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="4">AVI 모드로 동작 시 각 영역의 딜레이 타임.</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ 건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 운용 매뉴얼 작성 ▪ 건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 현장실험 운영계획 수립 및 현장실험	· MODE4(AVM)의 디스플레이 옵션으로는 ①AVM 영상 확대기능, ②굴삭기 이미지 확대기능, ③비네팅영역 확대축소 기능, ④AVM 화면 그리드 기능이 있으며 각각의 사용 조절키는 아래와 같음.

순서	조절키	설명	값
1	G	그리드 라인 보이기/안보이기	
2	F1	전체 AVM 영역 비네팅 영역 확대	+5px
3	F2	전체 AVM 영역 비네팅 영역 축소	-5px
4	F9	전체 AVM 영역 확대	+6px
5	F10	전체 AVM 영역 축소	-3px
6	F11	굴삭기 크기 확대	+1%
7	F12	굴삭기 크기 축소	-1%

· AVI 레코딩 모듈의 사용자 인터페이스를 통해 레코딩 된 영상은 C:₩VIDEO₩녹화된시간 폴더에 자동 저장되며, 저장된 각 변수의 타입 및 단위는 아래와 같음.

순서	구분	변수명	타입	범위	조절키
1	프레임수	RecFrameNo[i]	int	0~(EA)	-
		각 동영상의 프레임 기록 수			
2	녹화시간	RecTime[i]	double	0~(ms)	-
		각 레코딩 쓰레드의 동작시간			
3	FPS	RecFPS[i]	double	0~(fps)	-
		각 프레임 수를 녹화시간으로 나눈 값			
4	1000/FPS	1000.0/RecFPS[i]	int	0~(ms)	-
		이론적인 delay 값이나 참조만 할 것			

▪ 건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 현장실험

- AR-어라운드 뷰 네비게이터 현장 실험 개요

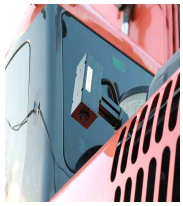
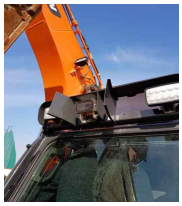
· AR-어라운드 뷰 네비게이터 현장실험은 경기도 안산시 한양대학교 에리카 캠퍼스 부지에서 2017. 12. 26. - 2018. 01. 03간 수행 되었으며, 굴삭기는 DX140w-5x를 적용대상으로 선택하였음.

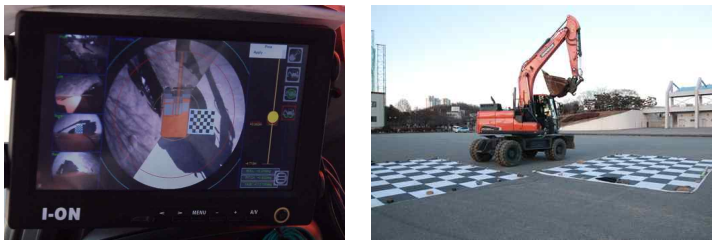
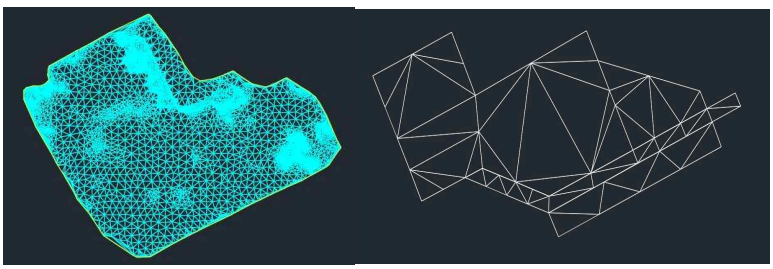
· 현장실험 데이터 확보를 위해 아래와 같이 굴삭기 내부 영상 및 굴삭기 외부 영상 2개, 총 3개의 영상을 현장실험 중 레코딩 하였음.


<굴삭기 내부 영상>

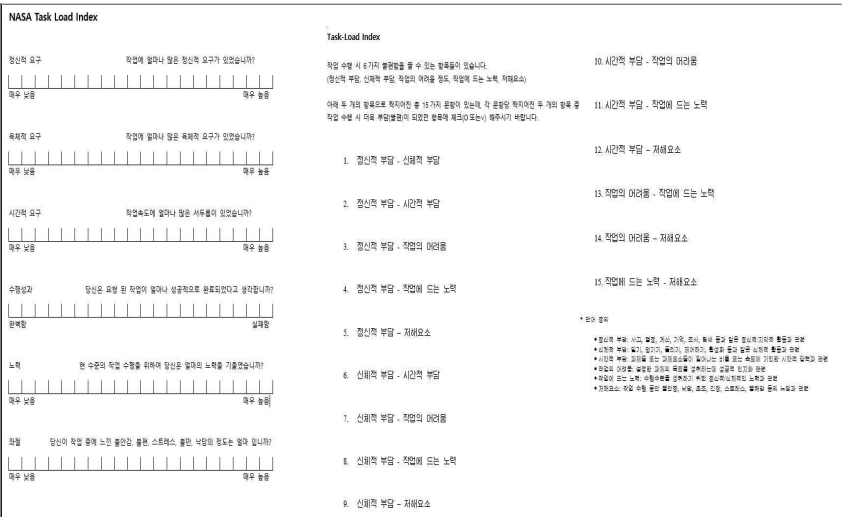

<굴삭기 외부 영상①>


<굴삭기 외부 영상②>

<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td>건설장비
AR-어라운드
뷰
네비게이터
기술 개발</td><td>▪ 건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 현장실험 운영계획 수립 및 현장실험</td><td>
- AR-어라운드 뷰 네비게이터 현장 실험 운용
· 현장실험 운용일정은 아래 표와 같으며, 현장실험은 아래와 같이 수행되었음.
<table>
<tr><th>일정</th><th>업무</th></tr>
<tr><td>~ 2017. 12. 22.</td><td>- 현장실험 준비 :
· Calibration(AR-Depth, AVM)
· 지형도(As-Scanned, As-Designed) 탑재
· 카메라 설치 및 용접
· 현장여건 분석
· 하드웨어 구입 및 굴삭기 탑재</td></tr>
<tr><td>2017. 12. 26.</td><td rowspan="2">- AR-어라운드 뷰 네비게이터 현장 테스트 수행 :
· AR 중첩 정확도 확인
· AVM Top-view 영상 영역 확인
· 시스템 버그 탐색 및 수정
· 하드웨어 정상작동 확인
- AR-어라운드 뷰 네비게이터 사용 훈련
- NASA-TLX(Task Load Index) 수행 전 운전자의 학습효과를 제거하기 위함.</td></tr>
<tr><td>2017. 12. 27.</td></tr>
<tr><td>2017. 12. 28.</td><td>- AR-어라운드 뷰 네비게이터 미사용 조건 NASA-TLX 측정</td></tr>
<tr><td>2017. 12. 29.</td><td>- AR-어라운드 뷰 네비게이터 미사용 조건 NASA-TLX 측정(오전 작업)
- AR-어라운드 뷰 네비게이터 사용 조건 NASA-TLX 측정(오후 작업)</td></tr>
<tr><td>2018. 01. 02.</td><td>- AR-어라운드 뷰 네비게이터 사용 조건 NASA-TLX 측정</td></tr>
</table>
<현장실험 운용일정>
- 현장 실험을 위한 건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 설치
· 현장실험을 위해 실험대상 굴삭기인 DX140W에 현장 실험을 위한 건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터를 아래 그림과 같이 설치하였음.
  
①받침대 용접 ② 배선 공사 ③ 거치대 설치
  
  
④ 모니터 및 프로세서 설치 ⑤ 카메라 설치
</td></tr>
</table>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ 건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 현장실험 운영계획 수립 및 현장실험	현장 실험 전 최종 칼리브레이션 · AR-어라운드 뷰 네비게이터를 실험 굴삭기에 설치한 후, 현장 실험 전 시스템의 MODE2(AR-Depth)와 MODE4(AVM)에 대한 최종 칼리브레이션 작업을 수행하였음.  <MODE2(AR-Depth)의 칼리브레이션 작업 수행>  <MODE4(AVM)의 칼리브레이션 작업 수행> - 지형도 탑재 · 현장실험 전 MODE1(AR-Hub)에 필요한 지형정보를 한양대학교(1세부 총괄)로부터 전달받아 AR-어라운드 뷰 네비게이터 시스템에 탑재시킴.  <현장실험 수행 현장의 지형도와 설계지형도> ▪ **AVM Top-view 영상 영역 확인** · 본 연구진은 건설장비 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 시스템의 4차 년도 성과목표(Top-view 영상 표현범위: 장비중심반경 5m 이상)를 검증하기 위해 굴삭기 DX140W를 대상으로 최종 AR-어라운드 뷰 네비게이터의 현장 실험을 수행하였음. · 실험결과, 최종 AVM 시스템의 영상 취득범위는 성과목표로 설정하였던 장비 중심 5m를 초과하는 것으로 측정되었음. 또한 해당 시스템은 멀티 쓰레딩 방식으로 개선된 평균 28 이상의 프레임을 통해 현장실험 환경 하에서도 굴삭기 이동에 따라 실시간 영상표현이 가능하여, 건설 현장에서의 시스템 실용성 및 활용성이 높은 것으로 분석되었음.

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ 작업부하 측정을 통한 시스템 효율성 검증	  <AVM Top-view 영상 영역 확인 실험> ▪ **시스템 및 연구장비 내구성 검토** - 본 연구에 사용된 장비는 5개의 CCD카메라, 시스템 프로세서 보드, 시스템 모니터로 구성되어 있음. - 2017. 12. 26. ~ 2018. 01. 02. 수행된 Test-Bed에 적용 시 시스템 프로세서 보드, 시스템 모니터의 내구성에 대한 문제는 발생하지 않았음. - CCD 카메라의 경우, 강우와 강설에대한 방수대책을 마련하여 굴삭기 외부에 설치되었으며, Test-Bed 기간내에 발생한 강설에도 문제가 없음을 확인함. - 하지만, 영하의 날씨로 CCD카메라 취득영상의 끊김 현상이 발생됨을 확인하여, 매일 작업 종료 후 에어캡과 비닐재질의 덮개로 방한대책을 마련하였고 추후 CCD 카메라에 대한 문제는 발생하지 않았음. - 추후 한국산업기술시험원 등과 같은 공인된 산업기술 시험기관에서 AR-어라운드 뷰 네비게이터 전체 연구장비의 방수 · 방진 능력을 검증할 계획이 있음. ▪ **현장실험을 통한 건설장비 AR 어라운드 뷰 네비게이터 작업부하 (Task Load) 측정** - AR-어라운드 뷰 네비게이터의 작업부하를 측정하기 위해 NASA-Task Load Index 설문지를 이용하였으며, 이는 굴삭기운전자의 작업부하의 하위요소인 정신적 부담, 신체적 부담, 시간적 부담, 작업의 어려움(수행성과), 작업에 소요되는 노력, 저해요소(스트레스 등)을 가중치 산정 방식으로 종합적인 작업부하를 판단하는 것에 적합하다 판단됨. - NASA-Task Load Index 설문지는 아래의 그림과 같으며 운전자의 이해의 편리성을 위해 한글화 작업이 진행되었음. 설문의 대상은 현장실험 부지의 섭외된 DX140w-5x 굴삭기 운전자 1명을 대상으로 함. 아래 그림은 설문에 이용된 설문지를 나타냄.


NASA Task Load Index

정신적 요구 작업에 얼마나 많은 정신적 요구가 있었습니까?
매우 낮음 매우 높음

육체적 요구 작업에 얼마나 많은 육체적 요구가 있었습니까?
매우 낮음 매우 높음

시간적 요구 작업속도에 얼마나 많은 서두름이 있었습니까?
매우 낮음 매우 높음

수행성과 당신은 요청 된 작업이 얼마나 성공적으로 완료되었다고 생각합니까?
완벽함 실패함

노력 원 수준의 작업 수행을 위하여 당신은 얼마의 노력을 기울였습니까?
매우 낮음 매우 높음

좌절 당신이 작업 중에 느낀 불안감, 불편, 스트레스, 불만, 낙담의 정도는 얼마 입니까?
매우 낮음 매우 높음

Task-Load Index

작업 수행 시 6가지 불평항을 들 수 있는 항목들이 있습니다.
(정신적 부담, 신체적 부담, 작업의 어려움 정도, 작업에 드는 노력, 저해요소)

아래 두 개의 항목으로 짝지어진 총 15가지 묶음이 있는데 각 묶음당 짝지어진 두 개의 항목 중 작업 수행 시 더욱 부담(불편)이 되었던 항목에 체크(O 또는 v) 해주시기 바랍니다.

1. 정신적 부담 - 신체적 부담
2. 정신적 부담 - 시간적 부담
3. 정신적 부담 - 작업의 어려움
4. 정신적 부담 - 작업에 드는 노력
5. 정신적 부담 - 저해요소
6. 신체적 부담 - 시간적 부담
7. 신체적 부담 - 작업의 어려움
8. 신체적 부담 - 작업에 드는 노력
9. 신체적 부담 - 저해요소
10. 시간적 부담 - 작업의 어려움
11. 시간적 부담 - 작업에 드는 노력
12. 시간적 부담 - 저해요소
13. 작업의 어려움 - 작업에 드는 노력
14. 작업의 어려움 - 저해요소
15. 작업에 드는 노력 - 저해요소

* 용어 정의

• 정신적 부담: 사고, 결정, 계산, 기억, 조사, 탐색 등과 같은 정신적/지각적 활동과 관련
• 신체적 부담: 밀기, 당기기, 돌리기, 조작하기, 활성화 등과 같은 신체적 활동과 관련
• 시간적 부담: 과제를 요구하는 과업요소들이 높거나/또는 서둘 필요는 속도와 기민한 시간적 압박과 관련
• 작업의 어려움: 결함된 과업과 목표를 성취하는데 곤란과 힘겨움 관련
• 작업에 드는 노력: 수행수준을 성취하기 위한 정신적/신체적 노력과 관련
• 저해요소: 작업 수행 중의 불만 불편함, 부담, 좌초, 지장, 스트레스, 불확실 등의 노출과 관련

<NASA-Task Load Index 한글화 ver.>

- 작업부하 측정은 굴삭기의 작업 종류, AR-어라운드 뷰 네비게이터 사용 유/무에 따라 측정되었으며, IDLE 시간을 고려하였음.
- NASA-Task Load Index의 점수는 높을수록 작업부하가 높은 것임. 작업부하의 하위요소의 쌍대비교를 통한 가중치 산정방식으로 계산되었으며, 측정된 자료는 아래와 같음.

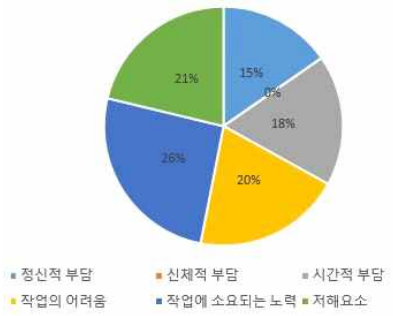
세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과

건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발

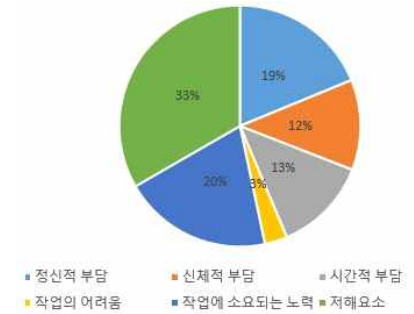
▪ 작업부하 측정을 통한 시스템 효율성 검증

구분	작업 종류	IDLE Time	정신적 부담	신체적 부담	시간적 부담	작업의 어려움	작업에 소요되는 노력	저해요소	Task Load
AR-어라운드 뷰 네비게이터 미사용	평탄화	약 2시간	8.67	0	7	5.33	15	11	47
	굴삭, 평탄화	약 1시간	8.67	0	13	17.33	14	13	66
AR-어라운드 뷰 네비게이터 미사용	평탄화	약 2시간	5	4	4	0	11	10	34
	굴삭, 평탄화	약 1시간	5.33	2.67	3	1.67	0	8.33	21

- AR-어라운드 뷰 네비게이터 사용 시 신체적 부담이 약간 증가하는 추세를 보이며 해당사항은 운전자가 작업 중 4개의 모드를 전환 중 화면을 누르는 과정이 원인인 것으로 판별됨.
- 또한, 작업부하 요소 중 시간적 부담, 작업의 어려움이 확연히 감소하는 것을 확인할 수 있음.



AR-어라운드 뷰 네비게이터 미사용



AR-어라운드 뷰 네비게이터 사용

<작업부하 요소 비중 분석>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ 작업부하 측정을 통한 시스템 효율성 검증	- AR-어라운드 뷰 네비게이터 미사용 시 정신적 부담은 21%, 신체적 부담 0%, 시간적 부담 18%, 작업의 어려움 20%, 작업에 소요되는 노력 26%, 저해요소가 21%로 측정됨. · 신체적 부담 외에는 비교적 균등한 작업부하가 발생하였음. · 신체적 부담은 AR-어라운드 뷰 네비게이터 미사용 시 운전자에게 작업부하에 대한 특별한 영향을 끼치지 않은 것으로 판단됨. - AR-어라운드 뷰 네비게이터 사용 시 정신적 부담은 19%, 신체적 부담 12%, 시간적 부담 13%, 작업의 어려움 3%, 작업에 소요되는 노력 20%, 저해요소가 33%로 측정됨. · 운전자가 생각하는 작업의 어려움에 대한 작업부하 비중이 대폭 감소한 것으로 볼 수 있음. · 저해요소의 경우 다른 작업부하 요소보다 비중이 더 커지는 현상이 나타났는데, 이 경우는 평소 사용하지 않던 익숙하지 않은 프로그램을 사용하게 되고 학습해야하는 과정이 포함되었다고 판단됨. - 결과적으로 AR-어라운드 뷰 네비게이터 미사용 시 평균 56.5의 Task Load가 측정되었고, AR-어라운드 뷰 네비게이터 사용 시 평균 27.5의 작업부하가 측정됨. · 특히 굴삭 작업을 진행할 경우 작업부하가 66에서 21로 약 68% 줄어듦을 확인할 수 있는데, 이는 AR-어라운드 뷰 네비게이터가 처음 목표했던 굴삭 효율의 향상을 가져온 결과라 판단됨. - AR-어라운드 뷰 네비게이터 사용 유무에 따라, 사용 시가 미사용 시보다 약 50%의 작업부하 절감의 효과가 있는 것으로 나타남.

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발	▪ 건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 개선요구사항 도출	▪ **개선요구사항 도출 및 요구사항을 반영한 시스템 개선** - 굴삭기 운전자 인터뷰에 대한 답변 정리 · AR-어라운드 뷰 네비게이터의 사용 유무에 따라 사용 시 5점 만점에 4점 정도의 작업 효율 향상이 존재함. · AR-어라운드 뷰 네비게이터의 4개 모드 중 작업에 도움이 된 정도는 MODE1(높음), MODE2(매우높음), MODE3(중간), MODE4(매우높음) · AR-어라운드 뷰 네비게이터의 4개의 모드 중 가장 도움이 되는 모드는 MODE2, MODE4임. · AR-어라운드 뷰 네비게이터의 전체적인 시스템에서 개선되어야 할 사항: 1) MODE3의 작업반경 표시기능 대신 지면 굴삭 시 지면에 파여질 위치를 계산하여 화면에 증강현실 기법을 이용하여 표시되었으면 함. 2) 작업 반경 내에 사람 혹은 장비 등 물체가 존재할 시 소리로 보조적인 알람이 추가되었으면 함. 3) 굴삭기 운전원은 대체로 사이드 미러를 통해 확인되는 굴삭기 본체 모서리를 참고하여 굴삭기 선회 작업을 수행한다고 함. 따라서 굴삭기 본체 모서리에 대한 명확한 표시가 시스템에 있다면 선회 작업 시, MODE4의 활용성이 더 클 것이라 제안함. · AR-어라운드 뷰 네비게이터를 주변 동료에게 추천할 의향은 매우 높음으로 답변함. · 인터뷰 답변 정리의 시스템 개선사항 중 1), 2), 3)은 추가기능 개발 계획을 수립 중에 있음. ▪ **연구성과의 활용성 제고** - 연구성과에 대한 기술이전 협의와 기술자료 홍보를 통해 연구성과의 활용성을 제고하고 있음. - 본 연구의 성과로 창출된 AR-어라운드 뷰 네비게이터에 대하여 삼성전자와 기술이전을 위하여 협의 하에 있음. - 또한, 과기정통부, 국토부, 해수부, 산업부, 중기부, 특허청에서 주최한 ‘중소기업의 공공기술 활용 촉진을 위한 2018년 제1차 공공기술 이전 로드쇼’에 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 출품을 진행 중에 있음.

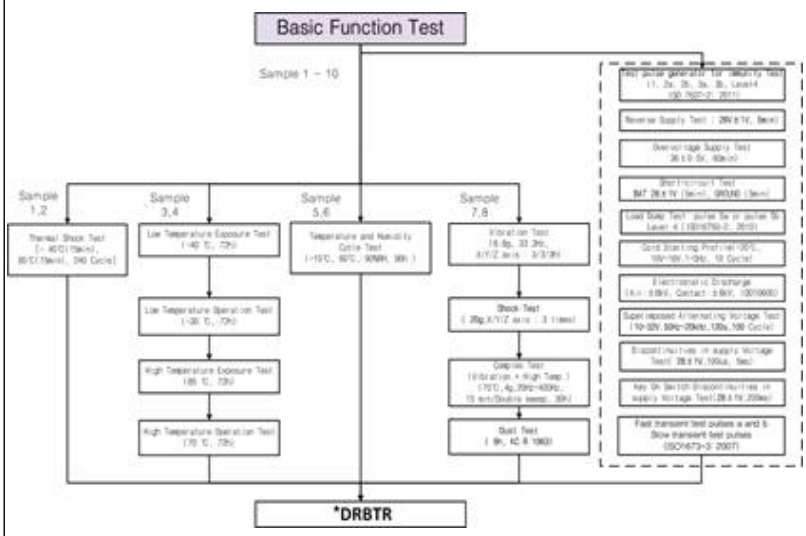
		▪ **후속연구방안** - 본 연구개발의 원천기술은 굴삭기뿐만 아니라 다른 건설장비에 도 확장되어 적용이 가능할 것임. - 특히 최근 사고가 빈번히 발생되고 크레인에 본 연구의 원천기술을 적용할 경우 운영에 따른 수행능력 및 안전성이 크게 확보될 것으로 기대됨. - 타워크레인의 경우 타 타워크레인과의 충돌, 붕괴 등의 사고, 이동식크레인의 경우 전도, 붕괴 등의 사고가 발생할 수 있음. - 크레인의 사고는 건설장비가 대형화된 만큼 한번의 사고로 공기지연, 비용증가 심지어 인명피해까지 발생하는 상황이 초래됨. - 크레인 운전사에게 증강현실을 통한 직관적인 작업정보, 어라운드 뷰 모니터링기술을 통한 안전정보를 제공함으로서, 크레인을 통한 시공의 안전성, 효율성을 제고할 수 있을 것이라 판단됨. - 이에 따라 후속연구가 수행될 경우 본 원천기술을 크레인에 적용하여 시스템을 개발하고, 효용성 및 안전성 검증을 진행할 예정임. 이를 통하여 크레인의 효율과 안정성을 크게 개선할 수 있을 것으로 기대함. - 건설현장에서 실제로 사용할 수 있는, 작업현장의 작업 진행도를 보여주는 AR 네비게이터와 굴삭기 주변의 상황을 실시간으로 보여주는 어라운드 뷰 시스템을 하나의 시스템으로 통합하고, 사용자의 편리에 맞게 설계된 UI를 통해 굴삭작업의 효율성을 높일 수 있는 소프트웨어 개발

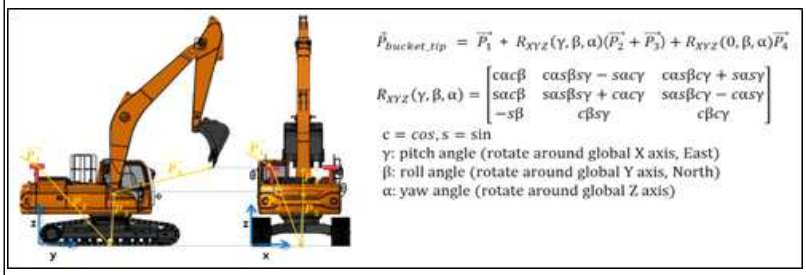
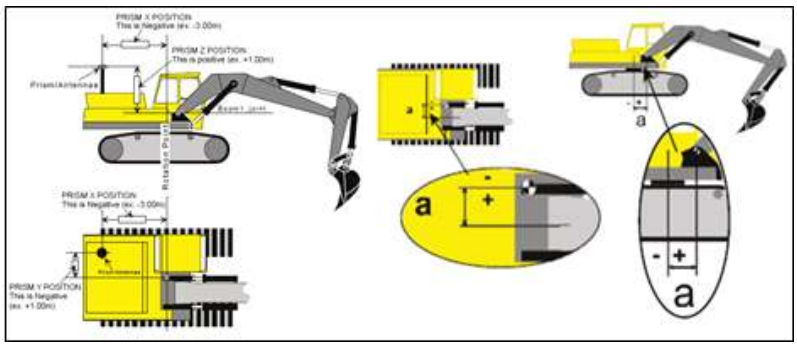
◎ 태블릿 기반 굴삭기 작업가이던스 시스템 및 MMI 유닛개발 (2-4세부 공동-두산인프라코어)

<table>
<tr><th>세부
연구 목표</th><th>연구 수행 방법
(이론적 · 실험적
접근방법)</th><th>연구 결과 및 성과</th></tr>
<tr><td>태블릿 기반
굴삭기 버켓
위치
디스플레이
시스템 및
MMI 유닛
개발</td><td>▪ 디스플레이용 태블릿 앱 S/W 개발</td><td>▪ 3차년도까지의 구현 기능 37개에 대해 보완 개발하고 신규 기능 8개를 구현하여 총 45개의 목표 기능 중 45개의 기능을 개발함 (진행율 100%)

<디스플레이 앱 S/W 개발 기능 리스트>

<table>
<tr><th></th><th colspan="2">디스플레이 기능 (총 45개)</th><th>2차년도
구현 (32개)</th><th>3차년도
구현 (5개)</th><th>4차년도
구현 (8개)</th></tr>
<tr><td rowspan="26">메인
화면</td><td rowspan="6">View
표시</td><td>Side View</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Front View</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Ground View</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>3D View</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>View 전환 (2D ↔ 3D)</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Zoom In/Out</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">도면</td><td>지형 도면</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>목표 도면</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">Indicator</td><td>높이 제한 영역</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Target Indicator</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4">Position
정보</td><td>장비 위치</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>수직 가이드 버킷 위치</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>수평 가이드 버킷 위치</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>방위</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="8">Shot cut
기능</td><td>Log In/Out</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Network 설정</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>도면 Load</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>도면 Offset 설정</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Sound 설정</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>메뉴 진입</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="24">메뉴</td><td>도면 관리</td><td>도면 다운로드/업로드</td><td></td><td></td><td>O</td></tr>
<tr><td rowspan="5">도면
생성/편집</td><td>Leveling</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Single Slope</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Dual Slope</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Trenching</td><td></td><td></td><td>O</td></tr>
<tr><td>Profile</td><td></td><td>O</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">Zone
설정</td><td>Grade Zone</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Height Limit Zone</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>버킷 설정</td><td>버킷 Data 입력</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">장비 설정</td><td>Arm Data 입력</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Boom Data 입력</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Body Data 입력</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Tool 선택</td><td>어태치먼트 종류 선택</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>장비 정보</td><td>장비 ID, 톤수 등 표시</td><td></td><td></td><td>O</td></tr>
<tr><td>GPS 정보</td><td>수신 감도 등 표시</td><td></td><td></td><td>O</td></tr>
<tr><td>측정모드</td><td>수평/수직거리, 경사도 측정</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">네트워크
설정</td><td>Gateway와의 네트워크 설정</td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>관제 센터와의 네트워크 설정</td><td></td><td></td><td>O</td></tr>
<tr><td>보안 설정</td><td>비밀번호, 권한 설정</td><td></td><td></td><td>O</td></tr>
<tr><td>환경 설정</td><td>단위, 밝기 등 환경 설정</td><td></td><td>O</td><td></td></tr>
<tr><td>진단 기능</td><td>센서 고장 진단</td><td></td><td></td><td>O</td></tr>
<tr><td rowspan="4">캘리브레
이션</td><td>Boom 캘리브레이션</td><td></td><td>O</td><td></td></tr>
<tr><td>Arm 캘리브레이션</td><td></td><td>O</td><td></td></tr>
<tr><td>Bucket 캘리브레이션</td><td></td><td>O</td><td></td></tr>
<tr><td>선회 캘리브레이션</td><td></td><td></td><td>O</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
태블릿 기반 굴삭기 버켓 위치 디스플레이 시스템 및 MMI 유닛 개발	▪ 디스플레이용 태블릿 앱 S/W 개발 ▪ 게이트웨이 H/W 신뢰성 시험 검증	 [메뉴]  [버켓 선택 및 설정]  [차량 설정]  [경사영역 설정]  [높이 제한 설정]  [신규 개발 굴삭기 3D 모델] <디스플레이 앱의 주요 메뉴 및 기능> ▪ 게이트웨이 H/W 신뢰성 시험 기준으로 전기적 시험 11개 항목, 내구/환경 시험 10개 항목 시험하여 pass 완료함  <신뢰성 시험 절차 및 항목>

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
태블릿 기반 굴삭기 버킷 위치 디스플레이 시스템 및 MMI 유닛 개발	▪ 게이트웨이 H/W 신뢰성 시험 검증 ▪ 버킷 끝단 위치인식 S/W에 사용되는 굴삭기 차체 치수 Calibration 기능 설계 및 정확도 검증 완료	 <전기적 시험> <내구/환경 시험> ▪ 버킷 끝단 위치인식 정확도 개선을 위해 GNSS 안테나 중심부터 Boom Joint 중심사이 거리벡터($\overrightarrow{P_2} + \overrightarrow{P_3}$)를 정확하게 찾아내는 Calibration 기능을 개발 완료  $\hat{P}_{bucket\_tip} = \overrightarrow{P_1} + R_{XYZ}(\gamma,\beta,\alpha)(\overrightarrow{P_2} + \overrightarrow{P_3}) + R_{XYZ}(0,\beta,\alpha)\overrightarrow{P_4}$ $R_{XYZ}(\gamma,\beta,\alpha) = \begin{bmatrix} c\alpha c\beta & c\alpha s\beta s\gamma - s\alpha c\gamma & c\alpha s\beta c\gamma + s\alpha s\gamma \\ s\alpha c\beta & s\alpha s\beta s\gamma + c\alpha c\gamma & s\alpha s\beta c\gamma - c\alpha s\gamma \\ -s\beta & c\beta s\gamma & c\beta c\gamma \end{bmatrix}$ $c = cos, s = \sin$ γ: pitch angle (rotate around global X axis, East) β: roll angle (rotate around global Y axis, North) α: yaw angle (rotate around global Z axis) <버킷 끝단 위치벡터>  <위치인식에 필요한 차체치수> ▪ Calibration 기능을 통해 찾아낸 차체 치수를 이용한 버킷 끝단 위치인식 정확도가 개선 (2D: ±20mm 이내, 3D: ±30mm 이내)

세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
태블릿 기반 굴삭기 버킷 위치 디스플레이 시스템 및 MMI 유닛 개발	▪ 버킷 끝단 위치인식 S/W에 사용되는 굴삭기 차체 치수 Calibration 기능 설계 및 정확도 검증 완료 ▪ GNSS 기반의 3D Machine Guidance 시스템을 Local Site 임의의 좌표계로 변환하는 좌표계 Localization 기능 설계	

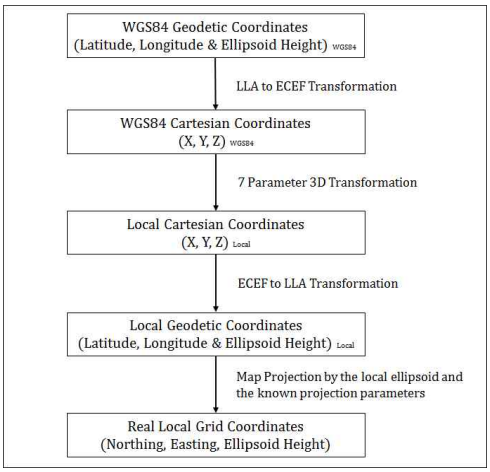
시험 시험조조건	버킷끝단 위치 오차 (Avg.)			
방위각 (°)	2D (cm)		3D(cm)	
	수평	수직	수평	수직
0°	1.1	1.9	3.0	2.5
45°	0.8	1.8	2.6	3.0
90°	0.8	2.0	3.1	3.1
135°	1.3	2.0	2.6	3.8
180°	0.9	2.3	2.5	4.2
225°	1.1	2.0	3.2	1.8
270°	0.9	1.9	4.0	1.2
315°	1.4	1.6	2.9	2.6
Total Avg.	1.0	1.9	2.9	2.8

<Calibration 기능 적용 후 2D/3D 정확도 비교>

▪ GNSS 기반의 3D Machine Guidance 시스템을 Local Site의 임의의 좌표계에서도 사용할 수 있도록 좌표계를 변환해주는 Localization 기능 개발

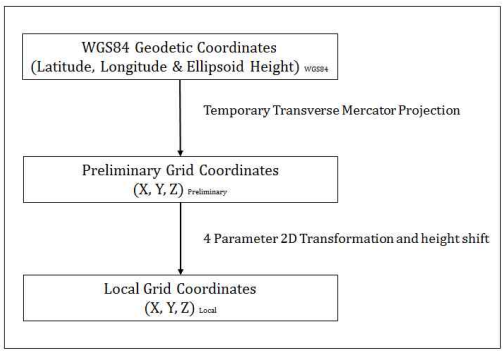
- Classic-3D

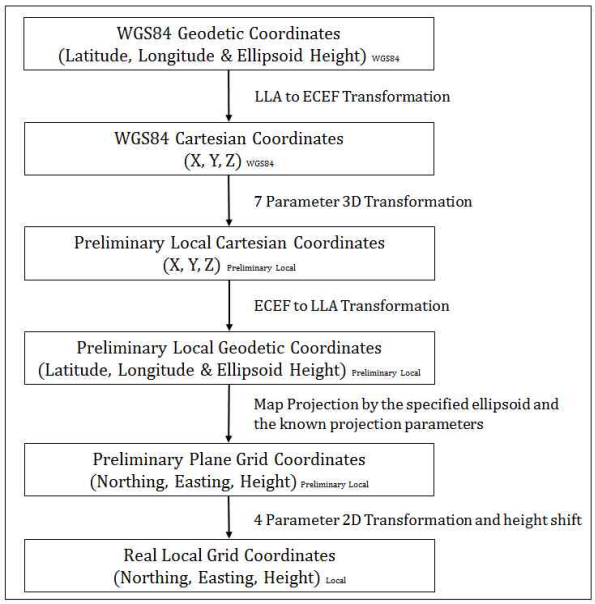
: Local Site의 좌표계 옵션(타원체, 투영법, 기준원점)을 알고 있을 때, 사용한다.



- One-Step

: Local Site의 좌표계 옵션을 모를 때 사용하며, 투영시 임의의 축척계수를 사용하기 때문에 Site 범위가 넓어지면 오차가 커진다.



세부 연구 목표	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	연구 결과 및 성과
태블릿 기반 굴삭기 버킷 위치 디스플레이 시스템 및 MMI 유닛 개발	▪ GNSS 기반의 3D Machine Guidance 시스템을 Local Site 임의의 좌표계로 변환하는 좌표계 Localization 기능 설계	- Two-Step : Classic-3D와 One-Step을 결합한 방식으로, Local Site의 좌표계 옵션을 알고 있어야 하며 넓은 범위의 Site에서도 사용이 가능하다.  ▪ **기술적 · 경제적 성과** -태블릿 앱 S/W 기능 요구 사양 구현율 목표치: 100% 달성치: 100% -버킷 끝단 위치 인식 정확도 목표치: ±20mm(2D), ±35mm(3D) 달성치: ±20mm(2D), ±35mm(3D) -S/W 등록 1건 태블릿 기반 굴삭기 버킷 위치 디스플레이 소프트웨어 (C-2017-036310)

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 1세부 - 건설장비 통합 관제 기술 개발

□ 건설장비 관제 센터 개발 및 통합 (1-1세부 주관-한양대학교 산학협력단)

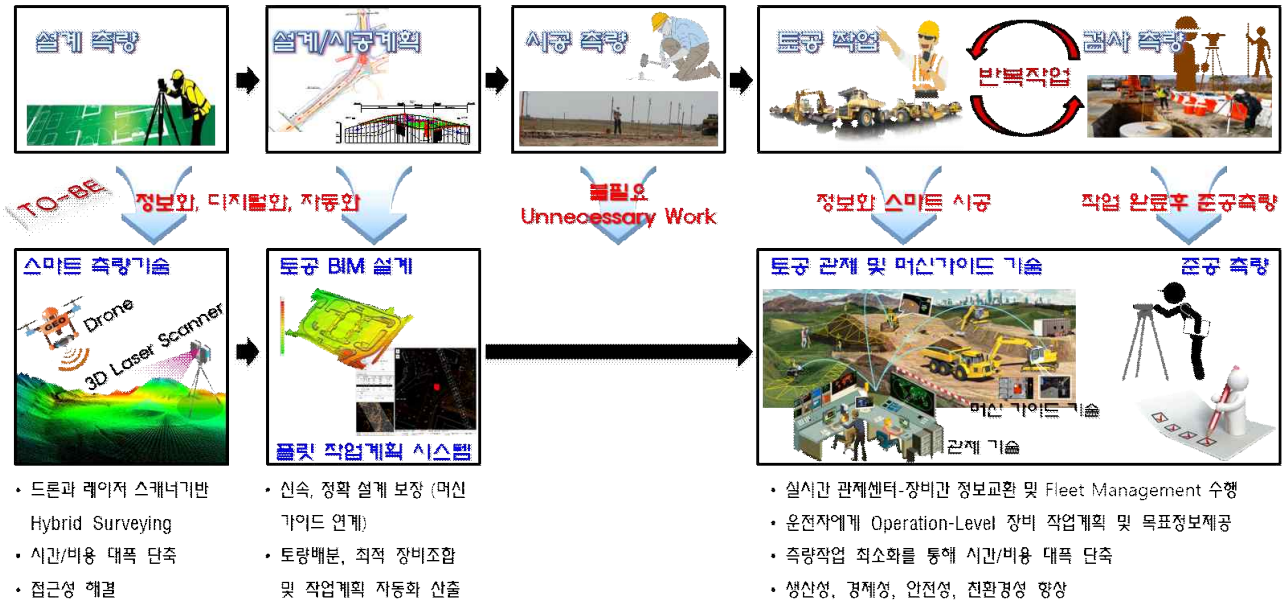
◎ 최종 목표 달성도 및 검증

핵심연구 성과	단위 성과		질적 성과지표	목표치	측정방법	평가치	달성도
건설장비 통합관제 센터	A-1	통합 관제 시스템 현장 적용	토공 장비 생산성	30% 향상	기존 장비 작업 생산성 대비 향상정도 측정	평균 39% 향상	100%
			토공 원가절감	15% 절감	기존 원가대비 15% 절감	평균 29% 절감	100%
			매뉴얼 작성	1 건	시제품 등록 및 매뉴얼 교육	3건	100%
	A-2	위치추적 및 상황인식 시스템	세부 시스템 간 동기화율	90%	정보 동기화율 및 일치성	90%	100%
			사용자 만족도	80%	만족도 조사	80%	100%
			전문가 의견	80%	타당성 조사	90%	100%
다중 Geo-Image 기반 PCD(PointCloud Data) 생성 및 Rapid Data Handling Software 개발	A-3	Image Processing 알고리즘 개선 및 데이터 처리 개선 기술 개발	정밀도 확보	80%	실측, 레이저 스캔 데이터 기반 측량값 비교를 통한 정밀도 확인	90%	100%
	A-4	PCD(PointCloud Data) 에디팅 및 3차원 가공 기술 개발	프로그램 개발	1건	모듈별 성능 확인	1건	100%
덤프트럭 경로탐색 모듈	A-5	덤프트럭 경로 탐색 모듈	덤프트럭 주행경로 적합도	85%	덤프트럭 운행자 인터뷰 및 통행제한 구역 식별능력 확인	85%	100%
	A-6	라우트 좌표변환 모듈	라우트 좌표 적합도	95%	구글어스기반 좌표측정	95%	100%

○ 통합 관제 시스템 현장 적용

건설장비 관제 및 스마트 시공 기술의 현장 적용 및 검증 방법

- 개발 시스템의 생산성 검증을 위하여 총 3차례의 현장테스트(주상복합 신축공사 현장, 오염토 치환 현장, 야외 행사장 조성 현장)를 진행하였음. 각 현장에서 중장비의 생산성과 전체 작업 공정의 소요일수를 분석하여 스마트 토공장비의 효율성을 검증함.
- 현장 적용을 위한 시스템의 준비 프로세스는 드론과 레이저 스캐너를 이용한 스마트 측량을 실시하여 머신가이던스에 적용될 토공 BIM 모델을 설계하는데 있음.
- 형성된 BIM 모델을 머신가이던스에 적용시켜 작업자는 시공 측량없이 토공작업을 진행하고, 이러한 과정을 작업관리자는 통합 관제 시스템으로 관제하여 생산성 분석 및 시공 안전 향상을 도모할 수 있음.



<시스템 토공 현장 적용 방법 도식화>

- 실험은 Web-GIS 기반 토공관제프로그램을 통하여 기존 작업장비의 품셈대비 머신가이던스가 구축된 장비의 생산성 관제로 진행되었으며, 각 장비의 Working Time, Idle Time을 비교하여 본 연구의 생산성 30% 향상 목표치 달성도를 검증하였음.
- 또한, 토공 물량에 따른 소요일수와 장비대수를 산정하여 공사를 진행하고, 시스템 생산성 향상 대비 소요일수의 감소를 측정하였음.

○ 토공장비 생산성

스마트 시공 기술 적용 굴삭기의 생산성(한양대학교 에리카 캠퍼스 야외행사장 조성공사)

- 최종 Full-Package 현장 적용 테스트는 한양대학교 에리카 캠퍼스 내에 위치한 야외 행사장 조성사업에서 실시되었으며, 해당 공사는 본 연구단의 주도하 품셈기준 설계공정 스케줄로 진행되었음.
- 통합 관제시스템과 머신가이던스 시스템에 의한 생산성 향상이 전체공정의 공기에 얼마나 영향을 미치는지 확인하는데 목표가 있음.
- 계획단계와 실행단계에서의 현장 장비대수 산정 및 소요일수 산정은 다음과 같음.

1. 계획단계의 장비 대수 산정

→ B/H (DX140LC-5) 일일 작업가능 물량

49.5㎥/hr * 7 hr = 346.5 ㎥ (자연 상태의 보통 기준)

→ B/H (DX300LC-5K) 일일 작업가능 물량

78.6㎥/hr * 7 hr = 550 ㎥ (자연 상태의 보통 기준)

→ 총 투입 장비 예상 대수

B/H (06W) : 1대 * 7일 = 2310.05 ㎥

B/H (10W) : 1대 * 7일 = 3850.09 ㎥

D/T (15 T) : 3대(6회*10㎥/일) * 1일 = 180 ㎥ (단, 부지내 골재 포설 작업시 사용)

DOZER : 1대 * 5일 (단, 부지내 사토 정지 작업시 사용)

ROLLER: 1대 * 1일 (단, 부지내 사토 다짐 작업시 사용)

→ 일일 투입 예상 장비

B/H (06W) : 1대

B/H (10W) : 1대

D/T (15 T) : 1대

DOZER : 1대

ROLLER: 1대

2. 계획단계의 예상 소요일수 산정(설계토공물량: 6160.14 ㎥)

→ 성토 및 터파기 소요일수 = 6160.14 ㎥ / 896.5 ㎥ = 6.87일 ≒ 7일

(단, 천재지변 및 기타 변수로 인한 작업 중단 일수는 고려하지 않음)

<토공사 계획/실행 공정표>

구분			2017년 12월						
			21일(목)	22일(금)	26일(화)	27일(수)	28일(목)	29일(금)	30일(토)
토공사	터파기	계획							
		실행							
	성토	계획							
		실행							
	시공측량	계획							
		실행	-						
	준공측량	계획							
		실행							
포장공사	정지작업	계획							
		실행							
	다짐작업	계획							
		실행							
	포설작업	계획							
		실행							
인력장비	소요인력 (기사 제외)	계획	3	4	4	4	4	4	4
		실행	1	1	1	1	1	-	
	소요장비	계획	2	3	3	3	3	3	7
		실행	2	3	3	3	7	-	
비고			▪ 토공사: 터파기 및 성토작업의 생산성 향상으로 인한 공기 감소 2일 시공측량의 불필요에 따른 작업 효율 극대화 ▪ 포장공사: 도저와 롤러의 경우 굴삭기 작업 진행과 동일 ▪ 인력장비: 계획공정의 경우 토공사는 보통인부 1명, 특별인부 1명이고 포장공사는 보통인부 1명임 실행공정의 경우 안전가이던스 시스템, AR-어라운드 뷰에 의한 신호수의 불필요, 현장관리자 한명이 통합관제시스템을 이용하여 전 범위 현장통제 가능 시공측량의 불필요에 따른 현장관리자의 업무량 절감						

- 테스트 결과 굴삭기(DX140LC-5)의 생산성 40.02% 향상, 굴삭기(DX300LC-5K)의 생산성 45.53% 향상으로 타 현장에 비해 단순 터파기 작업에 의한 Idle Time이 낮아 생산성이 비교적 높게 측정되었음을 확인 할 수 있었음.
- 시스템 적용결과 전체 3개의 현장(주상복합 신축공사 현장, 오염토 치환 현장, 야외 행사장 조성 현장) 평균 생산성 39.385% 향상됨을 확인 할 수 있음.
- 전체 프로젝트 레벨에서 예상 소요일수 7일 대비 2일이 감소함을 확인 할 수 있음.

- 주상복합 신축공사 현장(장소: 전라남도 곡성군 옥과면 옥과리 220-1/2)의 테스트는 작업관리자가 기록한 Working, Idle Time 대비 Web-GIS 기반 토공관제프로그램의 신뢰도를 분석하고, 산출된 시간당 작업량을 바탕으로 생산성을 측정하였음.



<시스템 작업 환경>

- 총 작업 소요일수 8일 하루 작업시간은 8시간 이었으며, 굴삭기 1대(DX220LC-5), 덤프 1대(15ton)가 투입되었음.
- Web-GIS 기반 토공관제프로그램에서 분석한 Working Time, Idle Time 및 덤프이동 횟수와 현장 작업관리자가 기록한 Working Time, Idle Time 및 덤프이동 횟수를 비교하여 신뢰도를 분석하고 생산성 향상을 확인하는 것을 목표로 함.

<Web-GIS 기반 토공관제프로그램의 신뢰도 분석>

구 분		Excavator
실제 기록	Working Time/Idle Time(hr)	39.30/24.70
토공관제프로그램	Working Time/Idle Time(hr)	39.45/24.55
Error	실제 기록 - 토공관제프로그램	-0.15/+0.15
	$\frac{\sum(\lvert error \rvert)}{8*100}$	3.75%
구 분		Dump Truck
실제 기록	Cycle(운반횟수)	219
토공관제프로그램	Cycle(운반횟수)	219
Error	실제 기록 - 토공관제프로그램	0

- 신뢰도 분석결과 실제 측정결과 대비 Web-GIS 기반 토공관제프로그램을 통해 분석한 Working Time, Idle Time 값의 오차가 3.75%로 매우 정확하게 측정되었으며, 굴삭기의 Working Time, Idle Time이 동일한 오차를 보이는 이유는 DGPS의 수신율 및 분석 기준치 설정(헤딩, 범위 등)의 정밀한 조정이 필요하다고 판단됨.
- 덤프의 운반횟수는 현장 작업관리자가 기록한 운반횟수와 비교하여 오차가 0으로 나옴. 용수터파기 환경에서의 덤프 한 대 일회 운반 토공량을 $9m^3$으로 산정하였으며, 총 굴착량은 $1971m^3$로 계산됨.
- Web-GIS 기반 토공관제프로그램의 총 작업시간이 39.45hr이므로 시간당 작업량은 $50.0m^3$/hr로 계

산됨. 용수터파기 환경에서 필요시 되는 흙막이 가시설(H-Pile + 토류판) 설치, 현장의 협소한 환경 및 오염토 치환 현장에 투입된 굴삭기보다 비교적 작은 크기의 굴삭기 투입이 시간당 작업량을 감소시키는 요인인 것으로 판단됨.

- 굴삭기 시간당 작업량 품셈 대비 본 시스템의 생산성 향상은 33.64%로 나타났으며, 본 연구의 목표치 이상임을 확인하였음.

스마트 시공 기술 적용 굴삭기의 생산성(오염토 치환 현장)

- 오염토 치환 현장(장소: 서울특별시 용산역 아이파크몰 신라면세점 앞)의 테스트는 머신가이던스가 장착된 굴삭기의 작업 종류를 현장 작업 관리자가 Working Time, Idle Time으로 나누어 기록하였음.



<시스템 작업 환경>

- 총 작업 소요일수는 4일 이었으며, 총 굴착량 3420m^3, 작업시간 23.53hr으로 시간 당 작업량 145.3m^3/hr로 측정됨.
- 굴삭기 시간당 작업량 품셈 대비 본 시스템의 생산성 향상은 38.35%로 나타났으며, 이는 Staking이 필요 없고, 측량 작업으로 인한 굴삭기의 대기시간이 감소 및 운전자에게 목표정보를 실시간 제공하여 능동적이고, 정확한 공사가 가능하게하기 때문임.

○ 시스템 토공작업 평가모델 개발 및 실 토공사 현장적용에 따른 원가절감 분석 실시

- 굴삭기, 도저 등 건설장비의 기계경비, 건설장비 관제 및 스마트 시공 시스템 적용 시 향상된 건설장비의 생산성 데이터, 건설장비 관제 및 스마트 시공 시스템을 구성하고 있는 개발된 여러 기술들의 단위시간당 렌탈비 등을 고려하여 토공사 원가 평가 모델을 개발함.
- 건설 기계경비 단가는 국내 품셈기준에 의해 다음과 같이 산출함.
  - 기계경비단가 = 단위작업(m^3)당 사용시간 × 시간당 경비
- 여기서, 단위작업당 사용시간은 시간당 작업량(=생산성)의 역수이며, 시간당 경비는 국내 표준품셈에 의거함.
  - 건설장비 관제 및 스마트 시공 시스템 렌탈비 산출 근거

건설장비 종류	구분	굴삭기 렌탈비	건설장비 관제 및 스마트시공 기술		시간당 경비 증가율	비고
				적용기술		
굴삭기 0.6m^3 (타이어)	기계 경비	687,440 원 (1일 기준)	100,000 원 (1일 기준)	스마트 머신 가이던스[1]		기계경비는 손료, 연료, 건설기계운전사 노무비가 포함되어 있음.
	시간당 장비 렌트비	71,635 원	12,500 원		17%	
굴삭기 1.0m^3 (무한궤도)	기계 경비	573,080 원 (1일 기준)	100,000 원 (1일 기준)	스마트 머신 가이던스		
	시간당 장비 렌트비	85,930 원	12,500 원		15%	
불도저 (7ton)	기계 경비	445,400 원 (1일 기준)	100,000 원 (1일 기준)	스마트 머신 가이던스		
	시간당 장비 렌트비	55,675 원	12,500 원		22%	
덤프트럭 (15 ton)	기계 경비	569,152 원 (1일 기준)	2,560 원	Navigator[2]	0.7%	
	시간당 장비 렌트비	71,144 원	530 원			

건설장비 관제 및 스마트시공 기술 내 공통 적용 기술:

e-BIM Modeler[3], 디지털 측량 및 준공측량[4], Fleet Manager[5], 로컬 통신망 및 CCTV 구축 패키지[6]

건설장비 관제 및 스마트시공 기술 적용시 장비 생산성 증가율

① 한양대 에리카 행사장 부지 조성 공사

건설장비 종류	생산성 증가율
굴삭기 0.6m^3 (타이어)	40%
굴삭기 1.0m^3(무한궤도)	45.53%
불도저 (7ton)	52%

② 전남 곡성 옥과 ○○주상복합 조성공사

건설장비 종류	생산성 증가율
굴삭기 0.6m^3 (타이어)	33.64%

③ 용산역 오염 토 치환 현장

건설장비 종류	생산성 증가율
굴삭기 1.0m^3(무한궤도)	38.35%

(참고) 삼송 관거 설치 공사 (3차년도 연구 데이터 기반)

건설장비 종류	생산성 증가율
굴삭기 0.6m^3 (타이어)	26.87%

▪ 스마트 머신 가이던스 시스템 (≒외국의 Machine Control System, 굴삭기 · 불도저에 적용)

구분	P사	L사	평균
시간당 3D Machine Control System 렌탈료 (₩/ hr)	약 12,000	약 18,000	약 15,000
외산 제품들은 관세 20%가 붙으므로 평균값인 15,000원에서 관세 20%를 제외한 금액인 12,500원을 스마트 머신 가이던스 시스템의 렌탈비로 책정함			

(예시) 굴삭기 0.6㎥에 스마트 머신 가이던스 시스템을 적용하였을 경우

명 칭	규 격	산 출 근 거	합 계	노무비	재료비	경비
굴삭기 (무한궤도)	***0.6㎥***		**84,135**	**32,187**	**18,075**	**33,873**
손 료		₩96,582,000 × 2,213 × 10^{-7}				21,373.5
주연료	경유	11.6ℓ × ₩1,257			14,576.9	
잡 품	주연료의	24% × ₩14,577			3,498.4	
건설기계운전사		1인 × ₩154,499 × (1/8×16/12×25/20)		32,187.		
스마트 머신 가이던스 시스템						**12,500**

▪ Navigator(Tablet) (덤프트럭에 부착, 건설장비 관제용)

- 시중에 나와 있는 안드로이드 기반 네비게이션 월 렌탈료가 106,000원/ 월 · 대 정도임을 감안하여 530원/ hr · 대 (1달 25일, 1일 8시간)로 책정함.

(예시) 덤프트럭 15ton에 Navigator를 부착하였을 경우

명 칭	규 격	산 출 근 거	합 계	노무비	재료비	경비
덤프트럭	***15 ton***		**71,674**	**30,961**	**22,866**	**17,847**
손 료		₩80,650,000 × 2,213 × 10^{-7}				17,847.
주연료	경유	15.9ℓ × ₩1,018			16,186.2	
잡 품	주연료의	38% × ₩16,186			6,150.7	
화물차운전자		1인 × ₩148,613 × (1/8×16/12×25/20)		30,961.		
Navigator					**530**	

▪ e-BIM Modeler (지형모델링 및 토공량 산출 S/W, 공통적용)

- e-BIM Modeler의 기능과 목적을 유사하게 서비스되고 있는 Autodesk사의 Civil3D의 렌탈비를 살펴보면, 2,900,000원/년임. 이를 월 단위로 환산하면 약 240,000원/월이며 이를 e-BIM Modeler의 월 렌탈비로 설정함.

▪ 디지털 측량 및 준공측량 (공통적용)

- 건설장비 관제 및 스마트 시공 시스템을 적용 시 드론을 활용하여 지형현황 측량을 진행함. 공사 시작 전에 1번 드론 측량을 하여 원지반에 대한 지형모델 처리를 하여 이를 e-BIM Modeler에서 원지반 대비 설계지반에 대한 토공량 산출을 가능하게 함. 또한 매일 공사 끝날 때마다 드론을 날려 실증 측량 및 토공변화량(설계 대비 잔여 물량 및 기존대비 변화된 물량 산출)을 체크함.
- 준공측량을 모든 공사가 완료되었을 때 1일 진행하며, 고급기술자 1명과 초급기술자 1명으로 구성됨.

			자재비		노무비		경비		합계	
			단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액
디지털 측량(드론)										
드론을 활용한 항공촬영, GCP 및 3D 지형모델 처리	회.일	1			604,000	604,000	150,000	150,000	754,000	**754,000**
초급기술자 2명	회.일	1			302,000	302,000				302,000
DJI Inspire 2	EA	1					150,000	150,000		150,000
포인트 클라우드 처리 및 3D 토공 BIM작성										
초급기술자 2명	회.일	1			302,000	302,000				
준공측량					322,053	322,053			322,053	**322,053**
측량(고급+초급)	인.일	1			322,053	322,053			322,053	322,053

- 시중에서 DJI Inspire 2 (드론)의 월 렌탈료는 150,000원임.
- 2017년 엔지니어링 사업대가 기준 노임단가에서 건설부분에서 초급기술자의 노임단가는 하루에 1인당 151,000원임.
- 2017년 측량기술자임금 공표에 의해 고급기술자는 하루에 1인당 185,959원, 초급기술자는 하루에 1인당 136,094원임.

▪ Fleet Manager (건설장비 관제 프로그램, 공통적용)

- Fleet Manager 교육

  →본 프로그램과 유사한 'CAT EMSolution- Level2' 라는 프로그램의 월 렌탈료를 바탕으로 산출하여 적용함.
- $200/월
- 226,000원/월 (2017.1.1~2017.12.31 평균 환율 1,130원 적용)
- Server 구축 및 소프트웨어 설치

  →시중에 있는 GMB 서비스 업체 기준 Server Rental 가격을 근거로 함.
- 350,000원 / 월

▪ 로컬 통신망 및 CCTV 구축 패키지

- 자본 회수 개념을 적용하여 다음 아래와 같은 식으로 계산된 금액을 적용함.

$$A = P \times [\frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}]$$

A: ₩/년 =6,449,570원/년 · 세트 = 541,631원/달 · 세트 = 135,408원/주 · 세트 = 270,815원/2주 · 세트

P: 개발금액 (12,171,536원)

I: 할인율 = 4.5% (사회적 할인율 적용)

N: 내용연수 = 2년

- 이를 토대로 여러 실 토공사 현장에 적용하여 토공사 원가절감 분석을 실시한 결과, 건설장비 관제 및 스마트 시공 시스템 적용 전후 대비 약 평균 28%의 원가절감이 이루어짐.
- 실제 토공사 현장 적용 결과

No.	현장명	건설장비 관제 및 스마트 시공 시스템 적용 전 (A)	건설장비 관제 및 스마트 시공 시스템 적용 후 (B)	원가 절감율 ((B-A)/A)×100(%)
1	한양대 에리카 행사장 조성공사	21,749,100원	16,782,250원	-22.84 %
2	전남 곡성 옥과 ○○주상복합 조성공사	17,499,000원	11,186,000원	-36.08 %
3	용산역 오염 토 치환 현장	7,102,000원	5,155,000원	-27.41 %
4	삼송 관거 설치 공사	2,964,000원	2,158,000원	-27.19 %

- 시스템 토공원가 평가 모델에서의 KPI(Key Performance Index)는 건설장비 관제 및 스마트 시공 시스템 적용에 의한 각 건설장비의 향상된 생산성 및 에너지 효율로 볼 수 있으며, 상세 원가 절감 내역은 다음과 같음.

① 한양대 에리카 행사장 부지 조성공사 - Full-Package 현장

- 건설장비 관제 및 스마트 시공 시스템 적용 전

공종	규격	수량	단위	계		노무비		재료비		경비	
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액
					21,749,106		14,411,106		3,867,000		3,471,000
1. 토공사					**21,749,106**		14,411,106		3,867,000		3,471,000
1). 토공	백호 1㎥ 1대 + 백호 0.6㎥ 1대 + 불도우저(7Ton) + 특별인부 1인 + 보통인부 2인	6,160	m^3	2,255	13,888,000	1,329	8,188,000	484	2,984,000	441	2,716,000
2). 포장	진동롤러(6Ton) + 불도우저(7Ton) + 보통인부 1인	1,352	m^2	820	1,109,000	513	693,000	151	204,000	157	212,000
3). 운반	15Ton 덤프트럭 1대 (골재포함)	180	m^3	12,018	2,163,000	5,230	941,000	3,773	679,000	3,015	543,000
4). 측량		1	식		4,589,106		4,589,106				
	지형현황측량 평지 1:250	20,000	m^2	197	3,945,000	197	3,945,000				
	시공중 측량 (고급 측량 기술사 1명+ 초급기술사 1명)	2	일	322,053	644,106	322,053	644,106				

- 건설장비 관제 및 스마트 시공 시스템 적용 후 (토공사 원가 절감율: -22.84 %)

공종	규격	수량	단위	합계		노무비		재료비		경비	
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액
					16,782,250		8,038,000		2,949,250		5,795,000
1. 토공사					**15,714,250**		8,038,000		2,949,250		4,727,000
1). 토공	백호 1㎥ 1대 + 백호 0.6㎥ 1대 + 불도우저(7Ton)	6160	m^3		8,413,000	526	3,240,000	333	2,050,000	507	3,123,000
2). 포장	진동롤러(10Ton) + 불도우저(7Ton)	1352			1,031,000	381	515,000	151	204,000	231	312,000
3). 운반	덤프트럭 15ton 1대	180			2,178,250	5,229.8	941,000	3,862.5	695,250	3,014.6	542,000
4). 측량					4,092,000		3,342,000				750,000
디지털 측량		5	1회.1일		3,770,000	604,000	3,020,000			150,000	750,000
준공측량		1	인.일		322,000	322,053	322,000				
2. 공통가설공사					1,068,000						1,068,000
1). 로컬 통신망 및 CCTV 구축					540,000						
2-1-1). 로컬 통신망 및 CCTV 구축 패키지		2	세트.2주		540,000					270,000	540,000
2). e-BIM Modeler (Version, 2017)		1	개월		240,000					240,000	240,000
3). Fleet Manager (version, 2017)		1	2주		288,000						288,000
2-3-1). Fleet Manager Software		1	2주		113,000					113,000	113,000
2-3-2). 서버구축		1	2주		175,000					175,000	175,000

② 전남 곡성 옥과 ○○주상복합 조성공사 - Full-Package 현장

- 건설장비 관제 및 스마트 시공 시스템 적용 전

공종	규격	수량	단위	계		노무비		재료비		경비	
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액
					17,499,000		13,053,000		2,413,000		2,033,000
1. 토공사					**17,499,000**		13,053,000		2,413,000		2,033,000
1). 토공	백호 0.8㎥ 1대 + 보통인부 1인 + 특별인부1인	1,971	m^3		10,345,000	2,993	5,899,000	1,224	2,413,000	1,031	2,033,000
2). 측량		1	식		7,154,000		7,154,000				
	지형현황측량 시가지 1:250	1,000	m^2		4,900,000	4,901	4,900,000				
	시공중 측량 (고급 측량 기술사 1명+ 초급기술사 1명)	7	일		2,254,000	322,053	2,254,000				

- 건설장비 관제 및 스마트 시공 시스템 적용 후 (토공사 원가 절감율: -36.08 %)

공종	규격	수량	단위	계		노무비		재료비		경비	
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액
					11,186,000		5,801,000		1,825,000		3,560,000
1. 토공사					**10,388,000**		5,801,000		1,825,000		2,762,000
1). 토공	백호 0.8㎥ 1대 + 덤프트럭	1,971	m^3		6,325,000	1,262	2,488,000	926	1,825,000	1,021	2,012,000
2). 측량					4,063,000		3,313,000				750,000
	디지털 측량	5	1회.1일		3,770,000	604,000	3,020,000			150,000	750,000
	준공측량	1	인.일		293,000	292,805	293,000				
2. 공통가설공사					798,000						798,000
1). 로컬 통신망 및 CCTV 구축					270,000						
2-1-1). 로컬 통신망 및 CCTV 구축 패키지		1	세트.2주		270,000					270,000	270,000
2). e-BIM Modeler (Version, 2017)		1	개월		240,000					240,000	240,000
3). Fleet Manager (version, 2017)		1	2주		288,000						288,000
2-3-1). Fleet Manager Software		1	2주		113,000					113,000	113,000
2-3-2). 서버구축		1	2주		175,000					175,000	75,000

③ 용산역 오염 토 치환 현장

- 건설장비 관제 및 스마트 시공 시스템 적용 전

공종	규격	수량	단위	계		노무비		재료비		경비	
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액
					7,102,000		5,337,000		982,000		783,000
1. 토공사					**7,102,000**		5,337,000		982,000		783,000
1). 토공	백호 1.0㎥ 1대 + 보통인부 1인	3,420	m^3		3,345,000	462	1,580,000	287	982,000	229	783,000
2). 측량		1	식		3,757,000		3,757,000				
	지형현황측량 시가지 1:250	1,000	m^2		2,469,000	2,469	2,469,000				
	시공중 측량 (고급 측량 기술사 1명+ 초급기술사 1명)	4	일		1,288,000	322,053	1,288,000				

- 건설장비 관제 및 스마트 시공 시스템 적용 후 (토공사 원가 절감율: -27.41 %)

공종	규격	수량	단위	계		노무비		재료비		경비	
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액
					5,155,000		2,896,000		708,000		1,551,000
1. 토공사					**4,915,000**		2,896,000		708,000		1,311,000
1). 토공	백호 1.0㎥ 1대	3,420	m^3		2,331,000	223	762,000	207	708,000	252	861,000
2). 측량					2,584,000		2,134,000				450,000
	디지털 측량	3	1회. 1일		2,262,000	604,000	1,812,000			150,000	450,000
	준공측량	1	인.일		322,000	322,053	322,000				
2. 공통가설공사					240,000						240,000
1). 로컬 통신망 및 CCTV 구축											
2-1-1). 로컬 통신망 및 CCTV 구축 패키지											
2). e-BIM Modeler (Version, 2017)		1	개월		240,000					240,000	240,000
3). Fleet Manager (version, 2017)											
2-3-1). Fleet Manager Software											
2-3-2). 서버구축											

(참고) 삼송 관거 설치 공사 - 3차년도 연구 데이터 기반

- 건설장비 관제 및 스마트 시공 시스템 적용 전

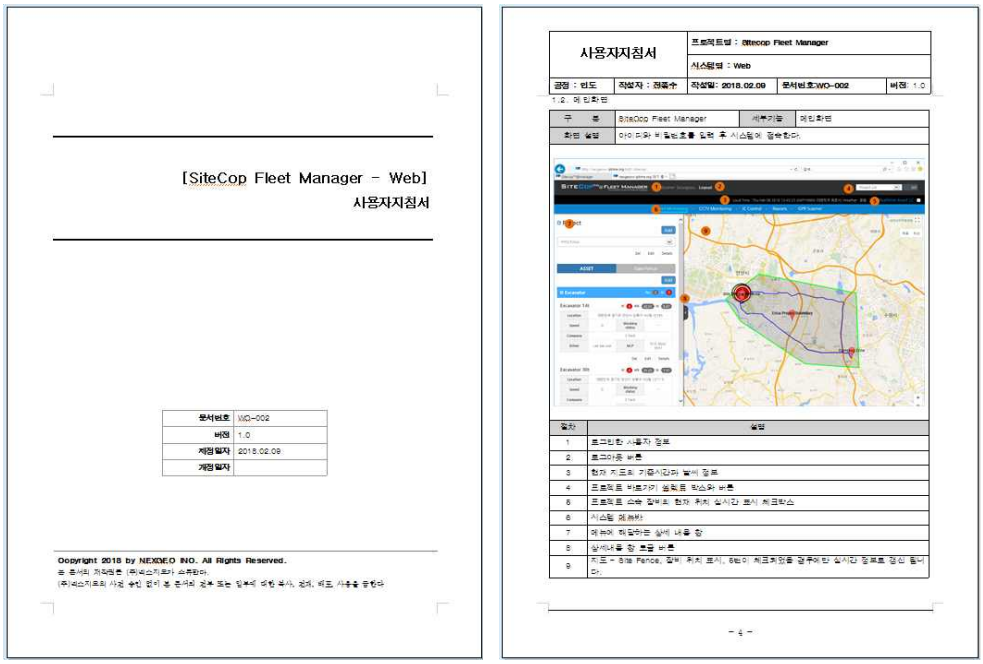
공종	규격	수량	단위	계		노무비		재료비		경비	
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액
					2,964,000		2,464,000		229,000		271,000
1. 토공사					**2,964,000**		2,464,000		229,000		271,000
1). 토공	백호 0.6㎥ 1대 + 보통인부 1인	376.45	m^3		1,190,000	1,835	690,000	609	229,000	720	271,000
2). 측량		1	식		1,774,000		1,774,000				
	지형현황측량 평지 1:250	1,000	m^2		1,130,000	1,131	1,130,000				
	시공중 측량(고급 측량 기술사 1명+ 초급기술사 1명)	2	일		644,000	322,053	644,000				

- 건설장비 관제 및 스마트 시공 시스템 적용 후 (토공사 원가 절감율: -27.19 %)

공종	규격	수량	단위	계		노무비		재료비		경비	
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액
					2,158,000		1,248,000		181,000		729,000
1. 토공사					**1,918,000**		1,248,000		181,000		489,000
1). 토공	백호 0.6㎥ 1대	376.45	m^3		842,000	855	322,000	480	181,000	900	339,000
2). 측량					1,076,000		926,000				150,000
	디지털 측량	1	1회.1일		754,000	604,000	604,000			150,000	150,000
	준공측량	1	인.일		322,000	322,053	322,000				
2. 공통가설공사					240,000						240,000
1). 로컬 통신망 및 CCTV 구축											
2-1-1). 로컬 통신망 및 CCTV 구축 패키지											
2). e-BIM Modeler (Version, 2017)		1	개월		240,000					240,000	240,000
3). Fleet Manager (version, 2017)											
2-3-1). Fleet Manager Software											
2-3-2). 서버구축											

○ 통합관제 시스템 시제품 매뉴얼 작성

- Web-GIS기술을 기반으로 프로젝트 관리, 장비 자산관리 및 영역정보를 저장하여 관리하고, 모든 장비의 정보를 연계하여 GIS기반 실시간 위치추적 모니터링, 생산성 분석, 상태정보 분석을 바탕으로 장비를 모니터링/운영/통제 등 종합적인 관제를 수행할 수 있으며, 특히, 장비의 컨트롤 보드의 정보 연계 없이 GPS의 정보만으로 모든 생산성을 분석할 수 있음.


[SiteCop Fleet Manager - Web]
사용자지침서

문서번호	WD-002
버전	1.0
제정일자	2018.02.09
개정일자	

Copyright 2018 by NEXGEO INC. All Rights Reserved.

사용자지침서

프로젝트명 : SiteCop Fleet Manager
시스템명 : Web

공정 : 빈도	작성자 : 정홍수	작성일: 2018.02.09	문서번호:WD-002	버전: 1.0

1.2. 메인화면

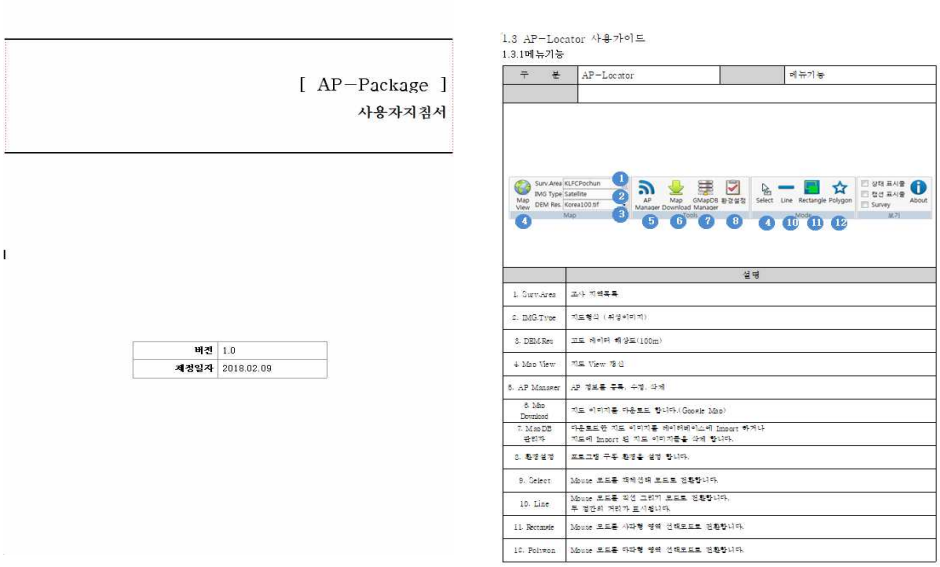
구 분	SiteCop Fleet Manager	제주기업	메인화면
화면 설명	아이디와 비밀번호를 입력 후 시스템에 접속한다.		

절차	설명
1	로그인한 사용자 정보
2	로그아웃 버튼
3	현재 지도의 기준시간과 달력 정보
4	프로젝트 바로가기 생성화면 팝업창 버튼
5	프로젝트 소속 장비의 현재 위치 실시간 표시 체크박스
6	시스템 메뉴바
7	메뉴에 해당하는 상세 내용 창
8	상세내용 창 토글 버튼
9	지도 - 장비 Panel, 장비 위치 표시, 장비 체크화면을 경우에만 실시간 정보로 정신 됩니다.

<통합관제 시스템 매뉴얼>

○ AP-Package 시제품 제작 및 매뉴얼 작성

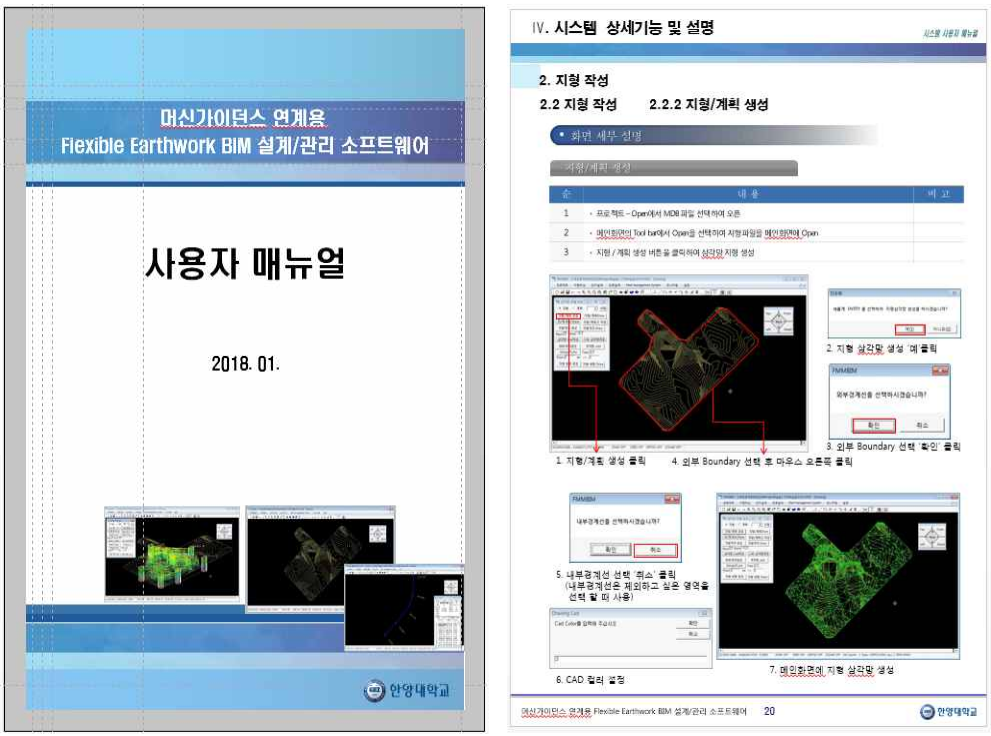
- 지지대 및 태양광 모듈, CCTV, AP 라우터, 안테나, UTP, 브라켓 등 네트워크 기반 무선 CCTV, 모바일/PC 모니터링 애플리케이션은 일체형 세트로 제작 됨.
- AP Package의 서비스 품목인 AP-Locator 는 토공현장의 통신음영지역에 구현할 로컬네트워크를 구축하기 위한 Access Point(무선 수신기)의 거치를 용이하게 함.
- 본 AP Package는 토공현장의 열악한 통신여건(ex: 산악지형, 지하차도공사, 대심도 토공, 터널 등)을 고려하여 공인망과 연계하고, 통신음영지역의 데이터 송·수신을 보장하기 위해 로컬 네트워크망을 구축하여 통합관제시스템과 장비 간 통신을 신속·정확하게 보장하는 기술임.
- IEEE 802.11 abg의 표준규격에 따른 WiFi기반 네트워크 구성이 가능하며, 수신기의 경우 듀얼채널(2.4Ghz & 5.0 Ghz)을 활용함.(환경적 간섭에 유리한 듀얼채널 설정이 가능)
- 본 시제품의 구성과 AP-Package, AP-Locator의 사용 가이드 매뉴얼 제공



<AP-Package 매뉴얼>

○ e-BIM modeler 매뉴얼 작성

- 비정형적이고 광역의 부지에 대한 형상정보를 드론과 레이저 스캐너를 활용한 하이브리드 방식의 측량 및 지반 모델링 기술과 다양한 토공사 설계유형에 최적화된 독보적 기법으로 단시간에 토공 Building Information Modeling을 구현할 수 있는 3차원 BIM기반 토공 정보화 기술을 통해 토공사의 정확한 물량산출 및 진도를 효과적으로 관리할 수 있는 기술.
- 드론과 레이저 스캐닝을 통한 신속/정확한 원지형의 변화를 체크하고 토공 BIM 설계 및 응용기술을 통해 “토공량의 변화량 및 잔여량의 체크”, “토질별 물량 산출”, “선택 영역(격자별)의 물량 산출” 등을 수행.



<e-BIM Modeler 매뉴얼>

○ 위치추적 및 상황인식 시스템의 통합 구축, 검증 및 보완

- 위치추적 및 상황인식 시스템의 기술개발개요

  - 위치추적 및 상황인식 시스템은 토공현장 CCTV영상을 분석하여 장비의 생산성 및 안전성 정보(작업

시간, 작업량, 불안전한 행동 등)를 자동 생산하는 (1) 상황인식정보 자동 분석 시스템과 효과적인 카메라 설치 및 영상 수집을 위한 (2) 카메라 네트워크 최적화 시스템으로 구성됨.

- (1) 상황인식정보 자동 분석 시스템은 수집된 CCTV영상에서 토공장비를 인식(Detection)-추적(Tracking)-행위인식(Action recognition)-작업인식(Activity identification)함으로써 시간에 따른 위치, 움직임, 행위, 작업유형을 파악하고 이를 토대로 생산성 및 안전성 데이터를 생산하는 시스템임.
- (2) 카메라 네트워크 최적화 시스템은 도로, 건물내부보다 열악한 환경의 건설현장에 카메라를 설치하기 위해서 고려해야할 요인들을 파악하고 이를 반영하여 촬영범위를 최대화하는 카메라 배치를 제안하는 시스템임.



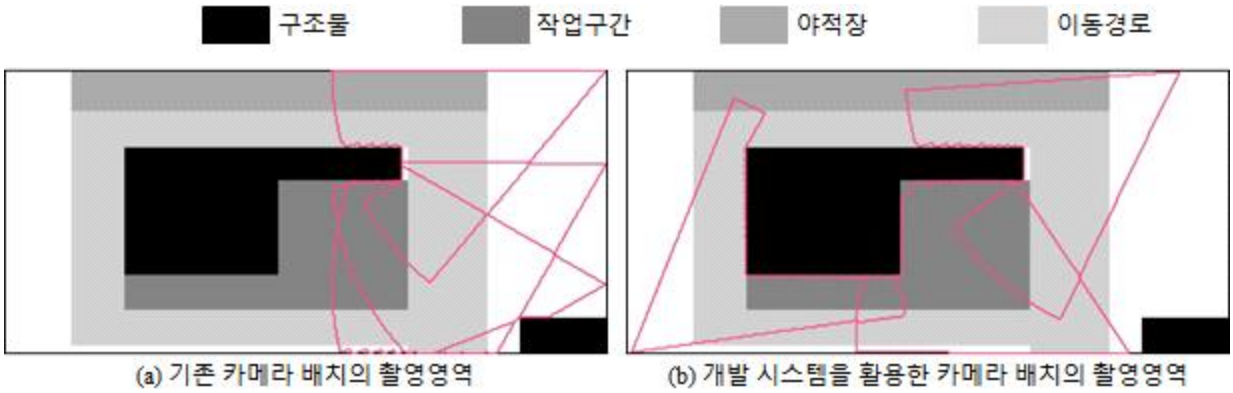
<위치추적 및 상황인식 시스템 개념도>

- 개발한 시스템을 검증하기 위해서 총 3차례의 현장테스트(위례신도시 주택단지개발 건설현장, 서울대학교 공과대학 건물 증축현장, 남양주 별내지하차도 건설현장, 한양대학교 에리카캠퍼스 건설현장)를 수행하였음.
- 구체적으로 3개의 건설현장에 카메라 네트워크를 구축하고 CCTV 영상을 수집 및 분석하여 상황인식 정보를 생산하였음. 시스템 검증을 위해 건설현장의 전체면적 대비 촬영영역 비율을 산정하였고, 생산된 정보의 신뢰성을 검증하기 위해서 각 건설현장에서 수동으로 수집한 정보와 비교하였음.
  - 4차년도 성과지표인 세부 시스템 간 동기화율을 측정하기 위해서 측정방법으로 제안하였던 각 시스템에서 생산된 정보의 일치성 확인을 진행하였고, 목표 대비 100%를 달성하였음.
  - 다음 그림은 실제 건설현장에 설치한 카메라 예시와 배치 개념도이며, 카메라 네트워크의 성능은 다음 표에 요약되어 있음. 본 시스템에서 제안하는 위치, 각도, 카메라 유형 등을 토대로 카메라 네트워크를 구축할 경우 전체면적 대비 평균 45.7%의 영역을 촬영할 수 있었음. 또한, 기존의 전문가가 결정한 카메라 배치와 달리 개발 시스템에서 제안된 카메라 배치는 평균 82.1%의 촬영영역을 확보할 수 있었음.





<카메라 설치 및 수집 영상 데이터 예시>



<카메라 배치에 따른 성능비교 예시>

- 다음 그림은 건설현장에서 수집된 CCTV 영상으로부터 장비를 인식-추적-행위파악-작업인식을 자동으로 분석하는 예시이며, 상황인식정보 자동분석 시스템의 성능은 다음 표에 요약되어 있음.

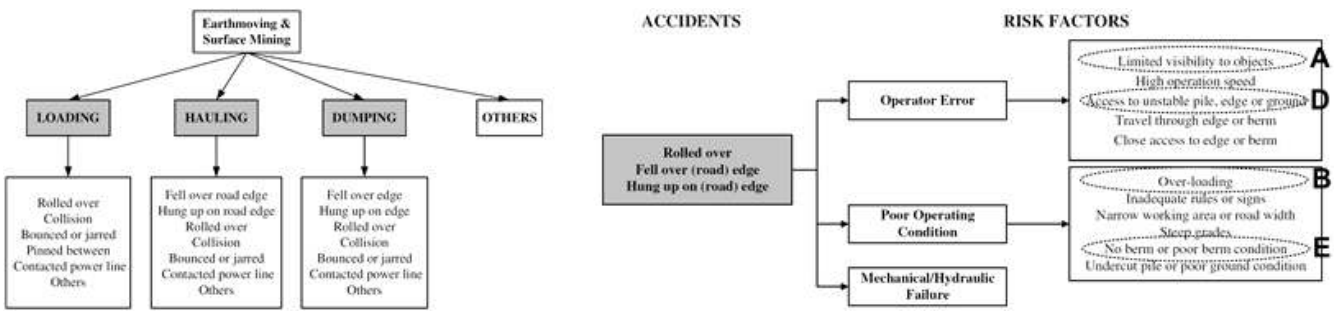


<상황인식정보 자동분석 예시>

<상황인식정보 자동분석 시스템 성능 결과>

단계	인식	추적	행위파악	작업인식
평균 정확도 (%)	92.23	90.96	91.96	82.42

- 앞서 언급된 생산성 관련 정보뿐만 아니라 토공현장의 안전성 정보도 생산하는 기술을 개발하였음. 보다 구체적으로, 토공작업 수행 시 자주 발생하는 안전사고 유형을 파악하고 각 안전사고의 위험요인(규정속도위반,)을 도출한 뒤, 촬영된 CCTV 영상에서 자동으로 분석하는 기술을 개발하였음. 파악된 안전사고 및 위험요인과 분석결과 예시는 다음 그림과 같음.



<안전사고 및 위험요인 예시>



<분석결과 예시>

- 실제 건설현장에 위치추적 및 상황인식을 구축하고 성능 평가를 수행하였을 뿐만 아니라, 설문조사를 통해 사용자 만족도를 평가하고 국제논문/국제학술발표 및 지적재산권 등록을 진행하여 개발 시스템의 타당성을 검증하였음. 그 결과 목표 대비 100% 달성도를 보였음.

- 개발 기술의 검증을 위해 건설 분야 관련자 10명을 대상으로 설문조사를 실시하여 사용자 만족도를 파악하였음. 구체적으로, 위치추적 및 상황인식 시스템의 필요성 및 현장 활용성과 결과물 이해의 용이성을 조사하였음. 설문조사 결과, 모든 참여자들이 위치추적 및 상황인식 시스템의 필요성에 동의하였고, 실제 건설현장에서 장비투입계획, 공기예측, 작업순서 결정, 표준품셈 산정 등에 활용 가능할 것으로 응답하였음. 또한 응답자의 90%가 본 기술이 유용하다고 판단하였고, 60%가 분석 결과가 이해하기 쉽다고 응답하였으며, 80%가 위치추적 및 상황인식 시스템을 실제 토공현장에 활용하기에 적당하다고 판단함. 이를 종합한 결과, 80%의 사용자 만족도가 조사되었음.


위치추적 및 상황인식 시스템을 이용한 토공작업 생산성 분석 기술 만족도 조사

안녕하십니까?
귀중한 시간을 할애하여 본 설문에 허락해 주셔서 깊이 감사드립니다.
저는 서울대학교에서 건설관리를 전공하고 있는 대학원생이며,
현재 "컴퓨터비전 기반 위치추적 및 상황인식 시스템 개발"에 대한 연구를 하고 있습니다.

본 연구는(또는 본 기술은) 토공현장에 비치된 비디오카메라로부터 수집된 고화질 영상 데이터를 자동 분석하여 토공작업의 생산성 및 안전성 분석에 필요한 정보를 실시간으로 제공하기 위한 기술을 구축을 목표로 하고 있습니다.

귀하께서 응답해주신 답변은 오직 학술적 연구를 위한 통계자료로만 사용되며, 통계법 제 8조에 따라 비밀이 보장됨을 알려드립니다. 또한, 제 13조에 따라 통계 분석에 있어 무기명으로 처리됩니다. 특히 개인 신상과 관련된 모든 자료를 공개되지 않을 것입니다.

설문지 상의 질문항목에는 정답이 없으며, 귀하의 진지하고 솔직한 답변을 부탁드립니다. 다시 한 번 본 연구에 참여해 주신 것에 감사드립니다.

아래 그림은 위치추적 및 상황인식 시스템이 제공하는 결과물의 예시입니다.
(영상분석을 통해 장비를 인식하고 각각의 작업시간 및 작업 효율성을 알 수 있습니다.)
결과물을 자세히 살펴보시고 설문지를 작성해 주시기 바랍니다.

최종결과물 예시

총 생산량	덤프트럭 대수	× 40	투입시간	5 시간
트럭 1대당	사이클 횟수	× 10	평균 상차시간	3 분
사이클 1회당	버킷계수	95 % (선호: 110%)	평균 사이클시간	30 초

<사용자 만족도 설문조사지>

- 전문가 의견수렴을 통한 개발 시스템의 이론적 및 기술적 타당성을 검증하기 위해서 건설자동화/건설IT 분야의 국제저명학술지인 Automation in Construction에 논문을 투고하였음. 투고 및 리뷰 과정에서 전문가들과의 의견을 수렴하고 이를 반영하여 기술 개발을 진행하였음. 특히 작업인식 기술에서 장비 간의 상호작용과 작업순서를 추가 고려함으로써 성능을 보다 향상할 수 있었음.

○ Geo-Image 기반 PCD 생성 및 가공 소프트웨어의 PCD 정밀도/정확도 및 가공 기술 성능 검증

<현장 개요>



공사명	한양대 Erica Campus 행사장 조성사업
장소	한양대 Erica Campus 골프연습장 옆 나대지
일시	2018.01.02. ~ 2018.01.03.
Test 대상 규모	120m*60m*4m
Test 일시	총 2일(Laser/UAV 각각 2개 Data 생성)

▪ 정밀도 및 정확도 검증을 위한 Reference 데이터 및 UAV 데이터 생성

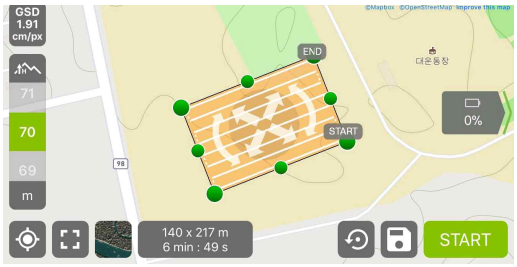
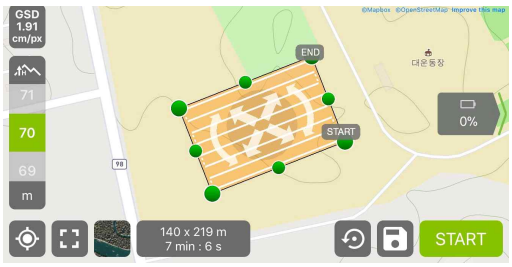
- 2차원 Geo-Image 기반의 3차원 PCD의 정밀도/정확도 검증을 위한 3차원 Reference Data 및 Target 기반 좌표 값(실측/GPS)을 활용함.
- 생성된 스캔 데이터는 작업 날짜 별로 현장 상태 및 변화를 파악하기 위한 월드모델로 생성됨. 따라서 스캔된 데이터는 각 날짜별로 따로 Registration 작업을 실시하였음.

<장비 개요>

Laser Scanner		UAV(Image)	
			
Leica Scanstation C5		DJI Phantom4 pro	
측정 속도	50.000 Point/sec	**카메라**	2,000만 화소 CMOS
Full-of-View	360° * 270°	**장애물 감지 범위**	0.7 - 15m
촬영 범위	35m ~ 300m	**짐벌**	-90° 에서 +30°
최대 촬영 시간	약 240분	**최대비행시간**	약 28분
데이터 저장	내부 드라이버 or 외부 USB	**최대높이**	6,000m
작동가능 온도	-25° ~ +65°	**컨트롤 최대 전송거리**	3.5km ~ 5.0km

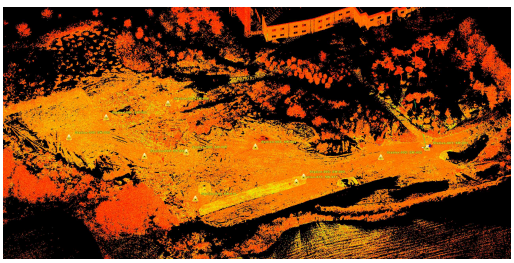
- Reference Data 획득에는 Leica Scanstation C5를 활용하였으며, 해상도 중(100m 거리 기준 10cm 간격 포인트 생성)으로 데이터를 획득하였음.
- 다중 Geo-Image 획득을 위하여 DJI Phantom4 Pro를 활용하였으며, Flight Planning을 통한 자동 비행으로 이미지를 획득함.

<Flight Planning>

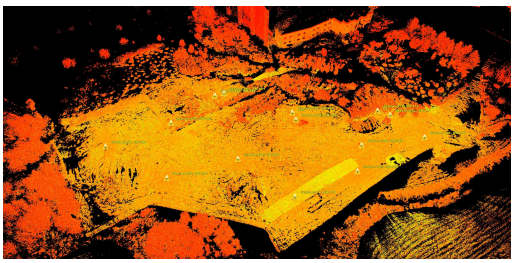
2018.01.02.	2018.01.03.
	

- 고도 70m, 이미지 중첩도 80%로 진행하였으며, 카메라 각도는 수직(90°)으로 고정함. 실험 부지의 경우 140m*187m로 187m를 방향을 기준으로 비행 방향이 바뀌도록 설정함.
- 획득된 데이터는 키포인트 추출+매칭, 카메라 위치 산정+Sparse Reconstruction, Dense Reconstruction을 통하여 최종 모델 생성.

<Point Cloud Data - 2018.01.02.>

Laser Scanner		UAV(Image)	
			
촬영수	11회	**사진수**	109장
범위	140m*187m	**범위**	140m*187m
획득시간	약 165min	**획득시간**	약 7min
해상도	중(100m 거리기준 10cm 간격 포인트 생성)	**중첩도**	80%
시야	360° * 270°	**촬영 고도**	70m

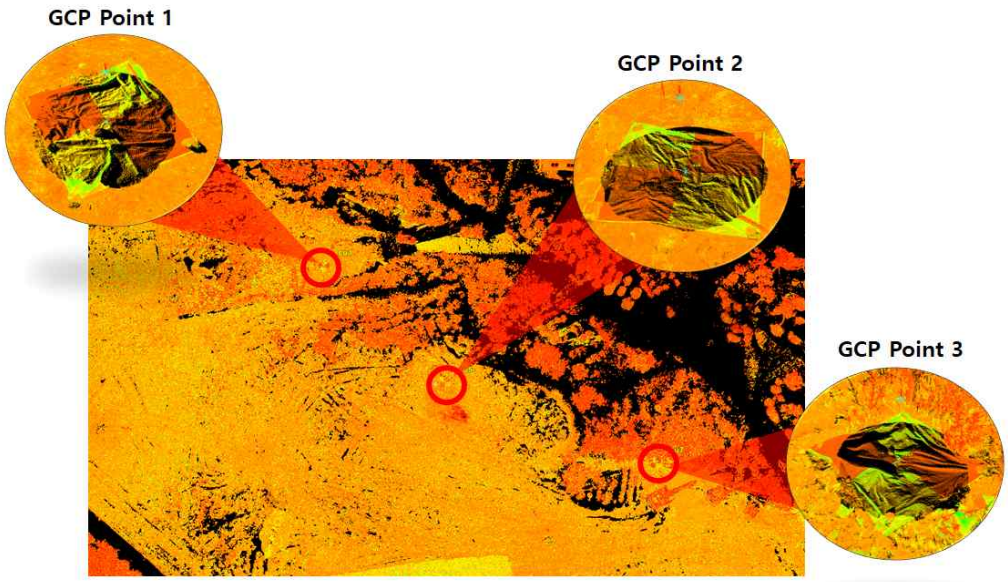
<Point Cloud Data - 2018.01.03.>

Laser Scanner		UAV(Image)	
			
촬영수	14회	**사진수**	111장
범위	140m*187m	**범위**	140m*187m
획득시간	210min	**획득시간**	약 7min
해상도	중(100m 거리기준 10cm 간격 포인트 생성)	**중첩도**	80%
시야	360° * 270°	**촬영 고도**	70m

- Reference Data는 Laser Scan Data를 통하여 생성하였음. 추 후 현장 좌표 값을 입력하기 위하여 총 3곳에 마커를 설치하고, GPS 값을 미리 확보함. 현장 레이저 스캐닝은 총 이틀에 걸쳐 각각 11 Stations, 13Stations로 나누어 레이저 스캐닝을 실시함. 획득한 Laser Scna Data는 Leica Cyclone 소프트웨어를 통해 Registration 작업을 실시하였으며, X,Y 값은 마커의 GPS 값을, Z 값은 GPS 값에서 스캔 시 설치된 레이저 스캔의 높이(미리 측정)를 뺀 값을 사용함.

▪ Point Cloud Data 정밀도 및 정확도 검증

- 본 실험에서는 동일 지점 추출을 위한 Target을 설치하여 GCP(Ground Control Point/기지점)을 구축하였으며, GPS를 활용하여 GCP 좌표 값을 확보함. 정밀도/X,Y,Z 좌표 값의 오차를 확인하기 위한 방법으로, 현장 내 노이즈 발생 요소(나무, 풀, 장비 등등)가 많아 데이터 간 오버랩을 통한 Closest Points Distance를 추출하는 방법은 효율적이지 못함.



<GCPTarget(마커) 설치>

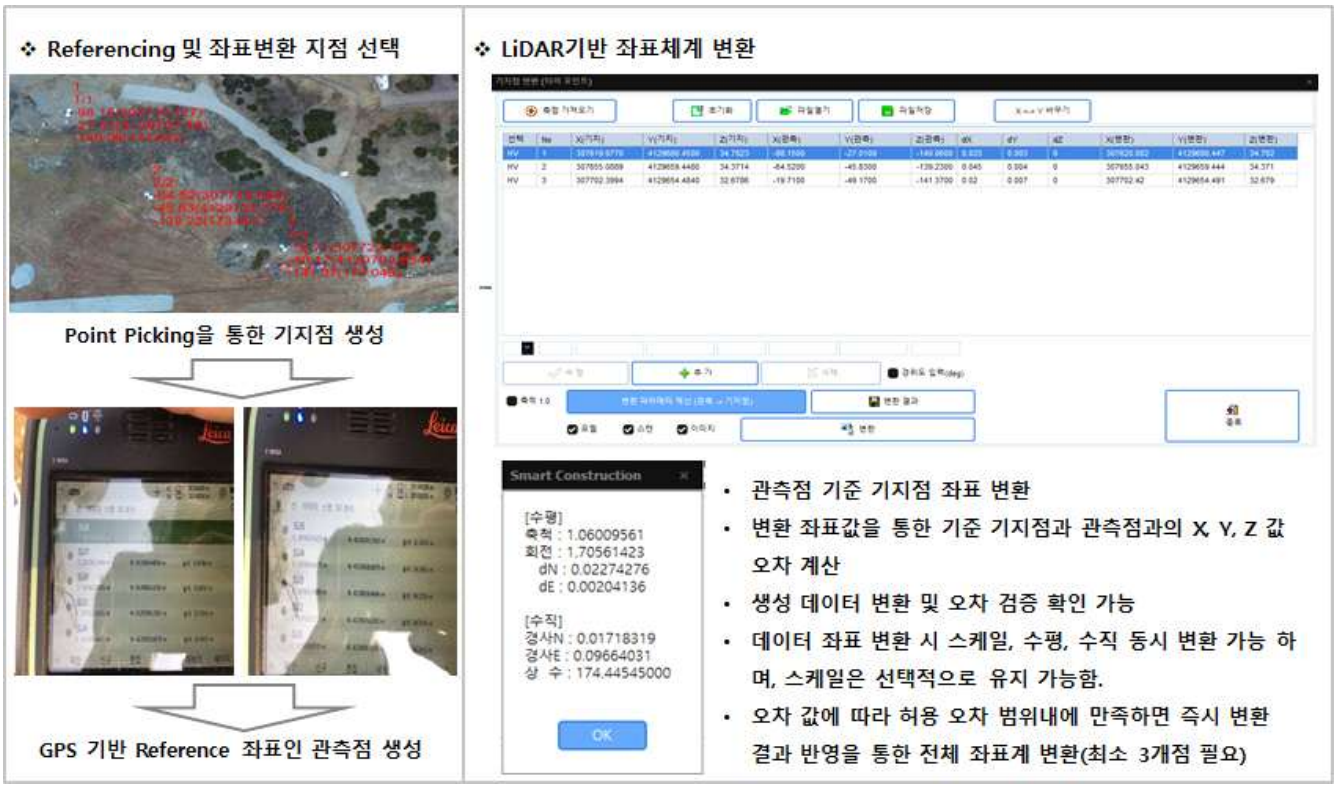
- 따라서 Referencing 및 변환을 통해 최종 생성된 UAV Data와 Reference Data간의 오차 비교를 실시. 동일 지점의 포인트 값을 추출하여 X,Y,Z 값 오차를 비교.
- 변환 파라미터 계산 결과 수평 기준 스케일(1.06009561), 회전(1.70561423)을 통한 UAV 데이터의 전체 데이터를 변환하였으며, GPS 좌표 값, 변환된 좌표 값, 오차 값은 아래 표와 같음.

<Target GCP Point 좌표 및 변환 좌표 값>

	GPS 좌표 값		변환 좌표 값(UAV)		오차	
GCP Point1	X	307619.9770	X	307620.035	X	0.025
	Y	4129680.4500	Y	4129680.574	Y	0.003
	Z	34.7823	Z	34.782	Z	0.0
GCP Point2	X	307655.0889	X	307655.033	X	0.045
	Y	4129659.4484	Y	4129659.206	Y	0.004
	Z	34.3714	Z	34.371	Z	0.0
GCP Point3	X	307702.3994	X	307702.397	X	0.02
	Y	4129654.4838	Y	4129654.602	Y	0.007
	Z	32.6786	Z	32.679	Z	0.00

▪ Point Cloud Data Referencing 및 변환(기능 Test)

- Referencing : 기지점 기준으로 관측점의 좌표를 변환하며 스케일, 수평, 수직 동시 변환이 가능하며, 스케일은 선택적으로 변환이 가능함
- Referencing : 기지점 기준으로 관측점의 좌표를 변환하며 스케일, 수평, 수직 동시 변환이 가능하며, 스케일은 선택적으로 변환이 가능함. (변환 파라미터 계산 관측 ->기지점)
- 변환 : 변환 결과(기지점(x,y,z), 관측점(x,y,z), dX, dY, dZ, X(변환), Y(변환), Z(변환)) 저장 및 전체 좌표 변환을 통한 최종 PCD 데이터 생성



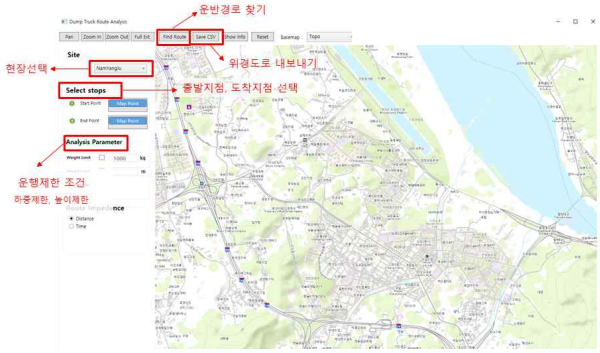
<Point Cloud Data 에디팅 및 가공 기능>

○ 덤프트럭 경로 탐색 모듈을 통한 토사 이동차량(덤프트럭) 운반 효율성 증대

▪ 기존의 자동차 내비게이션 시스템은 범용의 자동차 경로 정보만을 제공하고 있고, 일부 도로 중 덤프트럭의 운행이 제한이 되는 도로는 제공이 되지 않기 때문에 덤프트럭 운전자가 사용하기에는 무리가 있었음. 이러한 문제를 해결하기 위해 ArcGIS Network Analyst 엔진을 사용자화(customizing) 하여 덤프트럭에 적합한 내비게이션 엔진을 개발하였음.

▪ 본 연구에서 개발한 기술은 독립형 소프트웨어로 구현되었으며 소프트웨어 안에 덤프트럭의 운행이 제한이 되는 조건(하중, 높이 등)들이 내재되어 있어 여느 내비게이션 시스템과 마찬가지로 출발지와 목적지 정보를 입력해 주면 소프트웨어는 덤프트럭이 최소 시간으로 운행할 수 있는 경로를 도출해 줌. 시범 사례 현장에 적용하여 통행제한 구역 식별능력을 검증하였으며, 아울러 덤프트럭 운전자 인터뷰 결과 도출된 경로의 효율성을 확인하였음.

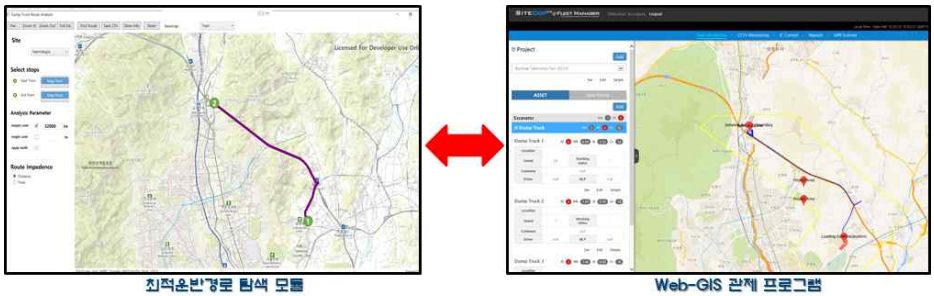
▪ 덤프트럭 운행의 제약사항은 두 가지로 볼 수 있는데, 하나는 도로 네트워크 DB에 반영될 수 있는 것들(예를 들어 교량의 중량제한, 육교의 높이제한)이고, 다른 하나는 그때, 그때 도로 상황에 따라 경로분석 직전에 사용자가 입력해야 하는 것들임. 이런 것들에는 도로보수공사, 상하수도공사, 트럭진입제한구역 등이 있음. 당해년도 연구 결과는 전자의 운행 제약조건을 소프트웨어에 반영하는 것을 범위로 함. 후자의 기술이 추가되면 기계의 장점(정확한 계산)과 인간의 장점(경로에 대한 경험 지식)을 두루 반영할 수 있는 소프트웨어가 될 것임.



<덤프트럭 내비게이션 소프트웨어>

○ 라우트 좌표 변환 모듈을 통한 라우트 좌표 적합도 검증

- 덤프트럭 운반경로 분석 모듈의 경과물은 관제탑 시스템에 입력값으로 제공됨. 이때 중요한 것은 두 시스템 간의 호환성임. 본 연구에서는 호환성을 유지하기 위하여 산출된 경로정보의 위도, 경도 좌표를 csv 파일로 전달하는 방식을 취하였음. 따라서 덤프트럭 운반경로 도출 소프트웨어에서 산출된 경로정보는 위도, 경도 좌표로 변화되어 csv 파일로 저장됨. 이 파일이 관제탑 시스템에 입력되면 모니터 상에 덤프트럭 기준 운반경로가 표시됨. 이 경로는 덤프트럭의 이탈 방지 시스템으로 이어져 덤프트럭의 모니터링 기준경로가 됨.
- 소프트웨어에서 도출된 운반경로 csv 형식의 테이블을 관제탑 시스템에 입력한 결과 정확하게 매핑되는 것을 확인하였음. 즉, 관제탑 시스템과의 호환성이 어느 정도 확보 되었으며, 향후 운반경로 도출 소프트웨어를 관제탑 시스템에 탑재하여 자동으로 데이터의 이동이 이루어질 수 있도록 추진해야 함.



<덤프트럭 내비게이션 소프트웨어>

◎ 관련분야 기여도

- 건설 현장 내·외를 이동하는 굴삭기, 그레이더, 덤프트럭 등 건설장비의 움직임과 토공 현장의 지형 변화를 관제센터 내에서 모니터링하고, 토공 작업에 대한 총괄적인 의사결정을 내리며, 이에 따른 작업 변경 사항을 개별 장비에게 지시하기 위해 건설장비 가이드 시스템과 연계하여 장비 조종자와 설계/시공 정보를 자유롭게 교류하는 기술임.
- 해당 통합관제 시스템은 크게 4가지 기술로 구성되어있음. 이동형 통합 관제차량, 3차원 토공 BIM 모듈, 무선 로컬네트워크 시스템, Web-GIS 기반 토공관제프로그램으로 구성됨.

○ 통합관제 시스템의 관련분야 기여도

- 건설 기계 산업으로의 기술 시장 이전 및 확보와 더불어 기술이 적용되는 건설 산업에서 직접적으로는 에너지 효율화, 공사비용 절감 및 생산성 증가와 같은 효과가 발생하며 간접적으로는 재해 및 재난에 대응할 수 있는 기술력과 안전사고 발생 저감으로 인한 효과를 거둘 수 있음.
- 미국의 경우 본 과제에서 추진하는 자동화 건설장비 가이드 기술이 정부와 산업계의 협력을 통하여 정책 및 제도화로 이어졌으며 대표적으로 위스콘신 DOT(Dept. of Transportation)에서 시행하

고 있는 Automated Machine Guidance(AMG)에 대한 Specification을 신설·운영하고 있음. 본 연구의 결과도 이와 같은 건설 스마트 시공 시스템의 제도화 및 시장 개척에 필요한 기반 지식을 제공할 것임.

- 정부 연구개발을 기반으로 본 기술이 개발되고 이에 대한 필요성의 인식이 확산되고 또한 상용화 실적이 누적되면 민간에서도 관심과 수요가 확대될 것으로 기대되므로 본 과제의 기반 기술을 응용하는 후속 연구개발이 계속 이루어 질 것으로 판단됨.

○ 무선 로컬네트워크 시스템의 관련분야 기여도

- 본 시스템은 전파를 전송매체로 사용하므로 단말기의 빈번한 이동이 필요한 장소나 또는 유선 설치가 어려운 경우, 건설현장과 같은 단기간 사용목적일 때 유용함.
- 기존 유선 통신 기술은 네트워크 구축 시에 꼬임 쌍선, 광케이블 등으로 구성되는 환경으로써 전력 및 각종 통신케이블의 설치로 구축 시 용이성이 낮으며, 유지보수에서 케이블 단락 시 원인 및 위치를 파악하기가 어려움.
- 또한, 철거 및 이설작업이 어려우며 건설 현장의 특성상 케이블의 길이가 길어질수록 데이터 및 전력 손실률이 증가함.
- 따라서 표와 같이 전파를 이용한 무선 환경에서 기존의 네트워크 서비스를 제공할 수 있는 로컬 네트워크 기반 무선 로컬 네트워크 기술을 살펴볼 수 있음.
- 무선 로컬 네트워크 기술은 각종 케이블 포설이 필요 없어 구축 시 용이하며 철거 및 이설작업 또한 편리함.
- 즉, 건설 현장에서 계획되지 않은 굴착작업과 같은 변수에 대한 고려가 필요 없어, 원지반에서 계획지반으로 지반의 변형이 일어나도 이동성이 우수하여 유기적 대처가 가능함.

<무선 로컬 네트워크 시스템의 필요성>

구분	무선 네트워크	유선 네트워크
케이블	미사용	사용
이동성	상	하
속도	IEEE 802.11b - 최대 11Mbps IEEE 802.11g - 최대 54Mbps IEEE 802.11a - 최대 54Mbps IEEE 802.11n - 최대 300Mbps (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	장비에 따라 좌우
설치시간	적음	많음
유지보수	간편	불편

○ 3차원 토공 BIM 설계의 관련분야 기여도

- BIM 기술을 활용하여 다양한 토공유형(단지/법면/도로/부대토목/가시설 등)과 사용자 편의성 및 머신가이던스와의 활용성이 고려된 토공 설계 최적화 소프트웨어를 개발하는 것을 목표로 함.
- 또한, 물량산출, 진도관리, VR기반 토공현장 시각화 시뮬레이션 등의 관리기능을 추가하여 토탈 솔루션 형태의 시스템을 제공함.
- CAD엔진 기반 Graphic Component를 활용하여 개발함으로써 출력 모델(dwg, dxf등)을 Revit 플랫폼 등과 연계하여 정합 혹은 시뮬레이션 할 수 있음.
- Surface-to-Surface 방법을 활용한 디지털 토공량 산출 방법이 적용되어 물량산출의 신뢰도를 확보함으로써 원가 산출을 보다 정확하게 할 수 있음.
- 3차원 토공 BIM 모델은 현재 이슈가 되고 있는 머신가이던스 시스템 기술, 물량기반 토공 PMIS(Project Management Information System)기술, 구조물 BIM 기술과 연계호환성이 뛰어나 향후 ICT 기반 현장관리의 목적에 다양하게 활용될 수 있음.

○ 위치추적 및 상황인식 시스템의 관련분야 기여도

▪ 앞서 언급된 대로 위치추적 및 상황인식 시스템은 상황인식정보 자동분석 시스템과 카메라 네트워크 최적화 시스템으로 구성됨. 본 연구목표를 달성함으로써 그 과정에서 생산된 연구성과물(논문, 지적재산권)을 고려할 때 국내외 관련 기술 개발에 우수한 기여를 한 것으로 판단되며, 세부 시스템별 자세한 내용은 다음과 같음.

▪ 상황인식정보 자동분석 시스템

- 기존의 상황인식정보 자동분석 시스템은 GPS(Global Positioning Systems), RFID(Radio Frequency Identification)를 이용하여 건설 작업자 및 장비의 위치를 자동으로 파악하고 이를 토대로 작업유형, 작업시간 등의 현장상황정보를 생산하였음. 그러나 이러한 전자파 기반의 방법은 위치 데이터만을 생산할 수 있고 이를 통해 2차 정보를 유추하기 때문에 정확하고 면밀한 현장정보를 생산하는데 어려움이 있음. 예를 들어, 동일한 위치에 존재하더라도 다른 작업을 수행하는 경우를 분류하는데 한계가 있음. 이 같은 한계를 극복하기 위해서 본 연구에서는 다양하고 세밀한 정보를 포함하며 사람 눈의 역할을 대신할 수 있는 영상 데이터를 수집 및 분석하는 기술을 개발하였음. 이 같은 차별성 및 장점은 상황인식정보 자동분석 시스템 발전에 우수한 이론적 기여를 하였고, 그 결과 해당 연구내용으로 국제저명학술지 게재 2건, 국제학술발표 4건, 국내학술발표 2건을 달성할 수 있었음. 또한, 특허등록 1건, SW등록 2건을 달성함으로써 본 연구는 기술적 기여가 우수하다고 판단됨.

▪ 카메라 네트워크 최적화 시스템

- 기존의 카메라 네트워크 최적화 시스템은 일부 목적(교통상황파악, 보안감시)과 제한된 환경(도로시스템, 건물 내부)에서 활용 및 개발되었기 때문에 고려해야 할 요인이 많고 설비 등이 갖추어지지 않은 건설현장에 적용하는 데 많은 한계가 있었음. 예를 들어, 건물 내부에는 전원공급, 데이터 송수신 관련 설비가 잘 갖추어져 있는 반면 건설현장은 이에 대한 고려가 필수적임. 따라서 본 연구에서는 인터뷰, 현장조사를 통해 건설현장 카메라 네트워크 구축을 위한 고려요인을 파악하고, 이를 고려한 최적화 방법론은 개발하였음. 연구결과의 기여도 및 우수성에 따라 국내학술발표 2건, SW등록 1건을 달성하였음. 또한, 연구과제 종료일 후 3개월 이내에 국제저명학술지(SCI(E)급)에 관련 연구내용을 투고할 계획임.

○ 덤프트럭 운반경로 분석 모듈의 관련분야 기여도

▪ 현재 덤프트럭과 같은 화물차의 운반경로를 제공하는 상용 프로그램은 국내에는 1-2개, 해외에도 다수 존재하는 것으로 조사되었음. 이것들은 현재 범용적으로 사용되는 자동차 네비게이션 시스템의 덤프트럭 버전이라고 보면 될 것임.

▪ 이런 제품은 확장성이 미흡하다는 단점과 함께 토공 생산성 관리 시스템과 같은 관제탑 시스템과 연동되어 사용할 수 없다는 호환성 미비의 단점을 갖고 있음. 이를 극복하기 위하여 본 연구에서는 독립적으로 구동이 가능하면서 관제탑 시스템과 연동이 용이한 덤프트럭 운반경로 분석 모듈을 개발하였음. 이 모듈은 관제탑 시스템에 탑재될 수 있는 호환성이 뛰어남.

○ 운전자 상호 모니터링 앱의 관련분야 기여도

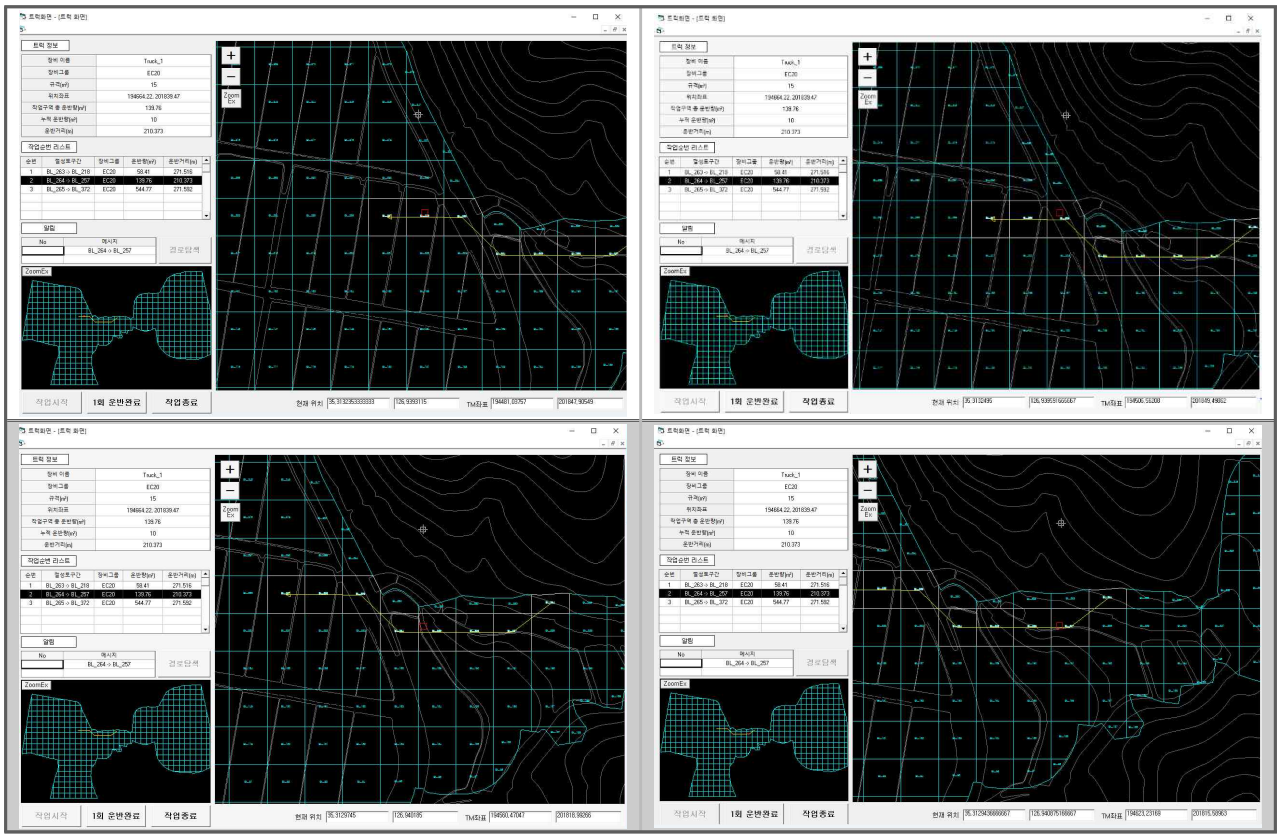
▪ 향후 덤프트럭 운전자끼리 상호 모니터링이 가능한 스마트폰 기반의 앱을 개발할 예정임. 서로의 위치를 파악하고, 거리 및 시간을 유지하도록 함으로써 관제탑 중심의 이탈방지 기능의 부족한 점을 보충하고, 아울러 토공 생산성을 향상시킬 수 있을 것으로 예상함. 또한 운전자들이 서로의 위치 정보를 공유함으로써 실시간으로 효율이 뛰어난 경로로의 유도가 가능할 것으로 판단함.

□ 건설장비 관제 센터 개발 및 통합 (1-2세부 공동-서울과학기술대학교 산학협력단)

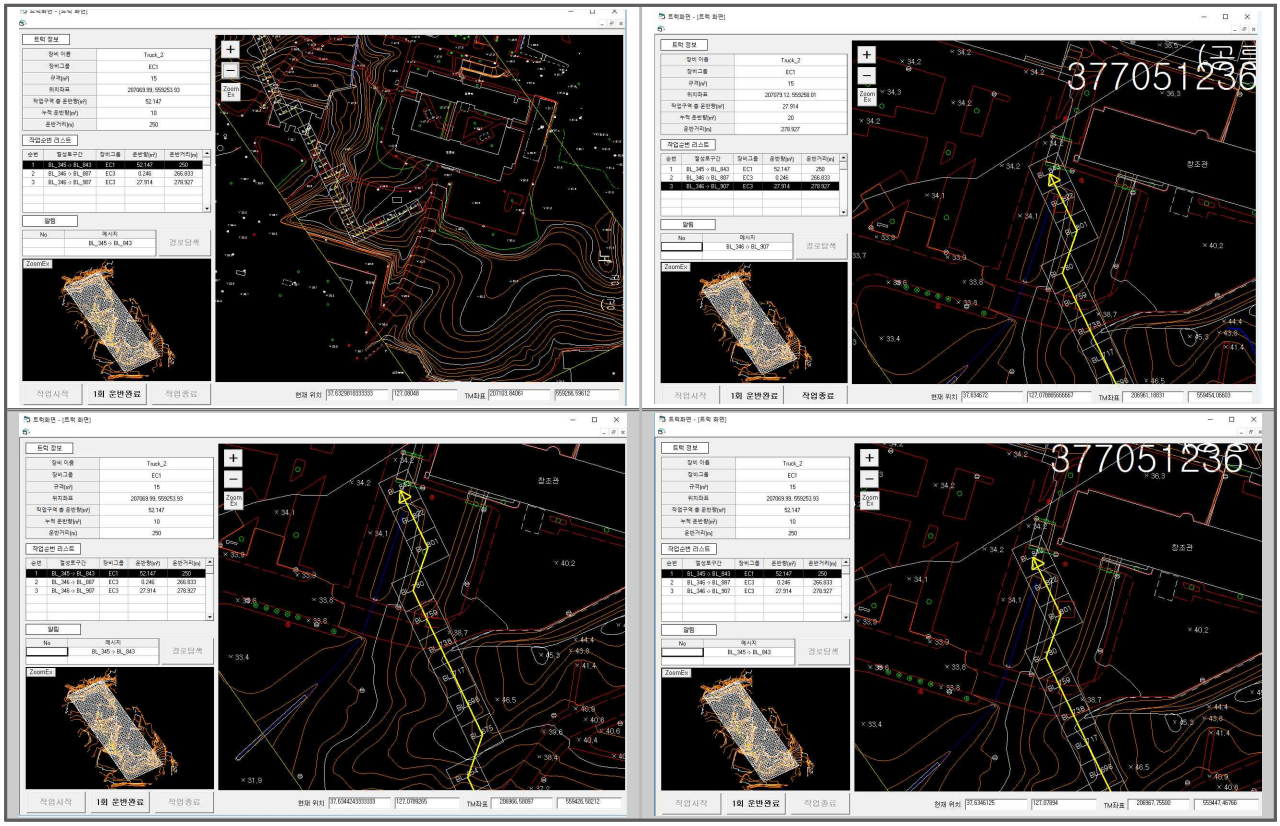
◎ 최종 목표 달성도 및 검증

핵심연구 성과	단위 성과		질적 성과지표	목표치	측정방법	평가치	달성도
플릿형 작업계획 시스템 개발	B-1	경로인식과 실시간 장비위치 모니터링	인식 및 맵핑정보 정확도	인식 및 맵핑정보정확도 90%이상	토공계획에 따른 경로인식과 실시간 장비위치 모니터링 현장테스트	100%	100%
	B-2	기존방법과 제시방법의 작업시간율의 변화 비교	건설장비 작업시간율	작업시간율 10%향상	재래식방식과 비교하여 협업S/W를 이용하는 경우 작업시간율의 변화비교 현장테스트	평균 18% 향상	100%
	B-3	S/W 등록	프로그램등록	1건	한국저작권협회 저작권등록	1건 등록	100%

○ 경로인식과 실시간 장비위치 모니터링



<작업경로를 따라 이동하는 장비위치 모니터링-담양현장>



<작업경로를 따라 이동하는 장비위치 모니터링-서울과기대현장>

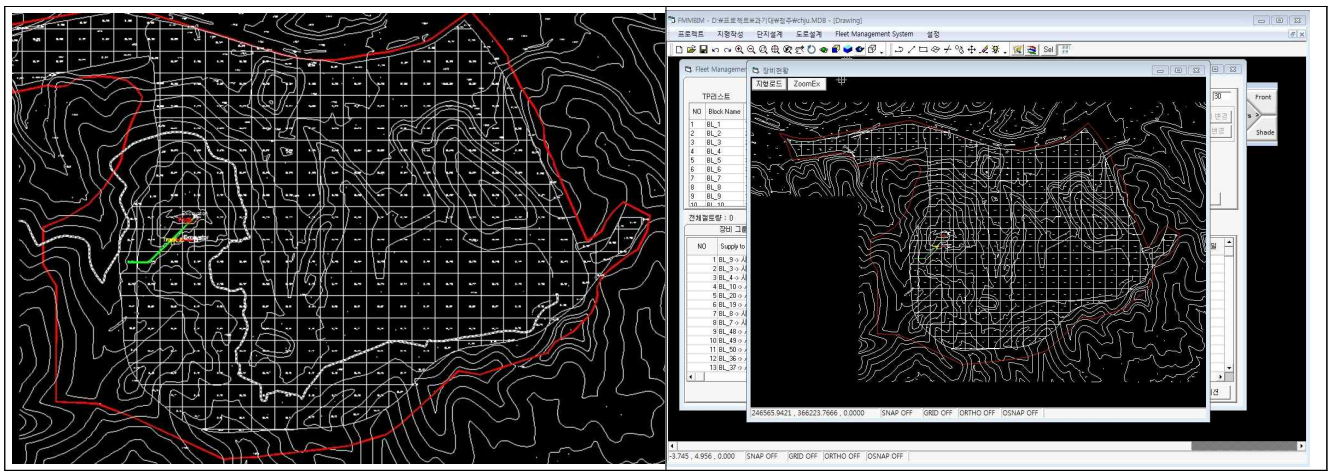
현 장	작업경로 테스트	인식 및 맵핑정보 정확도	달성도
서울과기대 캠퍼스 현장	일 3 회	100%	100%
은암산업단지 현장	일 3 회	100%	100%
온산산업단지 현장	일 3 회	100%	100%
담양 첨단산업단지 현장	일 3 회	100%	100%
한양대 에리카캠퍼스 현장	일 3 회	100%	100%

○ 재래식방식과 비교하여 협업S/W를 이용하는 경우 작업시간율의 변화비교 현장테스트

- 기존의 토공작업은 건설장비 운전자의 경험과 직관에 의하여 수행되어 왔지만 개발될 플릿형 작업관리 시스템은 건설장비별 최적의 작업계획과 건설장비의 움직임으로 작업이 가능하도록 운전자에게 정보를 제공함으로써 토공작업의 생산성 향상과 경제성 향상을 가져오고자 함.
- 기존의 연구결과물들은 개별 장비의 작업을 위한 방법을 제시하였다면 본 연구는 다종 및 다수의 건설장비가 투입되는 경우에 각 건설장비 운전자에게 작업계획 및 작업현황 정보를 실시간으로 제공 및 활용하는 방안을 제시하는 것을 목적으로 함.
- 건설장비등의 최적 협업이 가능하도록 하기 위하여 토량 배분계획에 따른 이동경로를 제시
- 장비별로 작업 시간율을 높이기 위한 그룹핑 정보를 제시
- 실시간으로 위치와 작업량을 추적할 수 있는 기능을 제공함

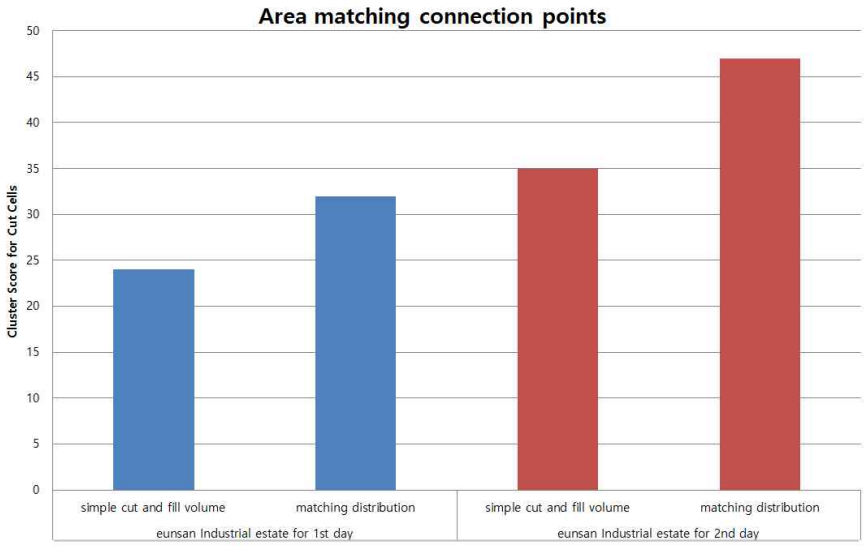


<은암산업단지 현장의 현장조건>



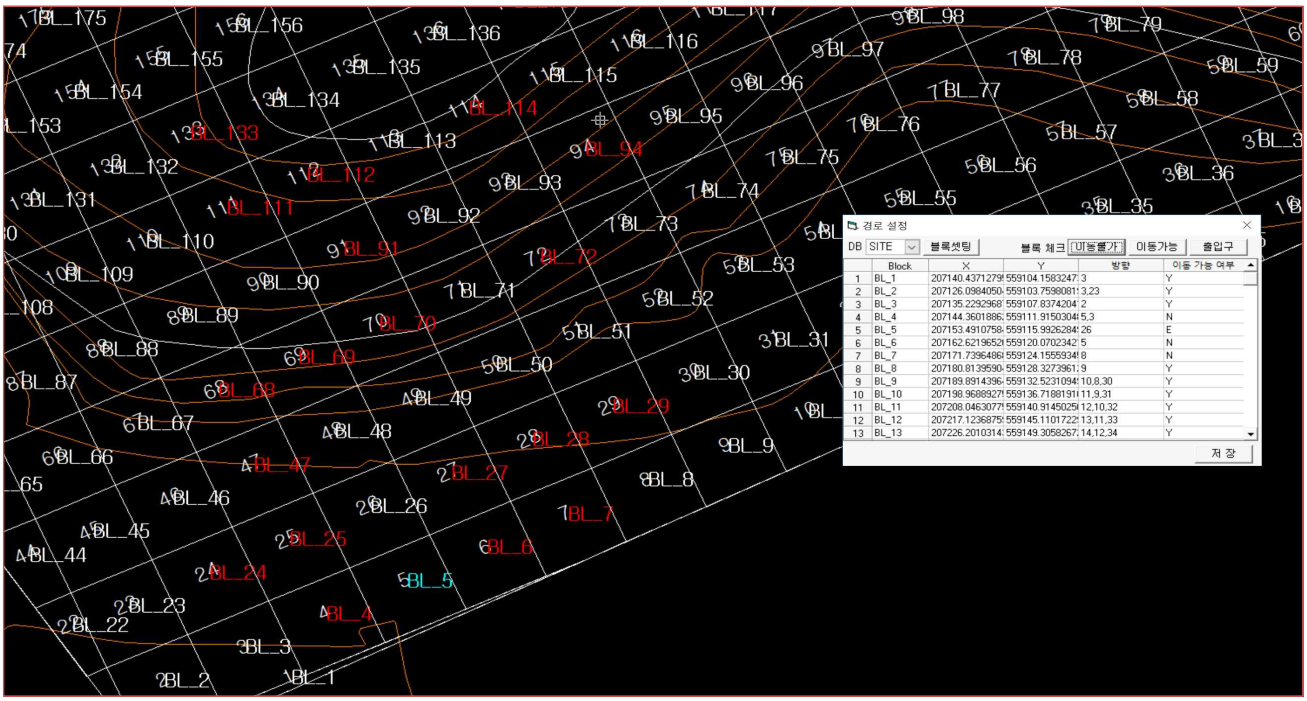
<은암산업단지 현장의 토량배분과 장비계획>

- 붉은색 원으로 나타나는 장비의 위치에 대한 좌표값이 화면에 제시된다. 시스템에 의하여 제공되는 실지형 위에 표시되는 위치정보가 오차범위 이내에서 제공될 수 있음을 확인하였음. 이러한 정보에 근거하여 건설장비 운전자는 현장 내 보조인력이나 측량말뚝의 도움이 없이도 계획에 따른 절성토 구역을 움직일 수 있도록 하였음.
- 또한 적정한 토공계획 생성여부를 테스트 해 보았으며 서버모듈에서 절성토 셀이 형성되고 토량배분 계획에 따라 특정 트럭을 위하여 건설장비 이동경로가 생성되는 것을 볼 수 있음. 또한 기존 토량배분 방식과는 달리 성토셀이 연속되어 있도록 배분되도록 하여 다짐작업의 생산성이 올라갈 수 있도록 하였으며, 효율성을 측정하기 위하여 성토셀 군집점수를 비교하였음.
- 은암산업단지의 토공은 30일간 수행되는 것으로 계획되어 있었으며 그 중에서 처음 1일과 2일에 수행될 토공량을 기준으로 토량배분 계획을 수립하였음. 기존 시스템의 방식으로 토량배분 계획을 수립하고 본 연구에서 제시한 방식으로 토량배분 계획을 수립한 이후에 성토셀 군집점수를 비교한 결과에 따르면 기존 방식보다 평균 33% 군집성이 개선된 것으로 나타났음. 즉 개선된 방법론을 적용하면 더욱 효율적으로 연속 다짐작업이 가능한 것으로 나타났음.



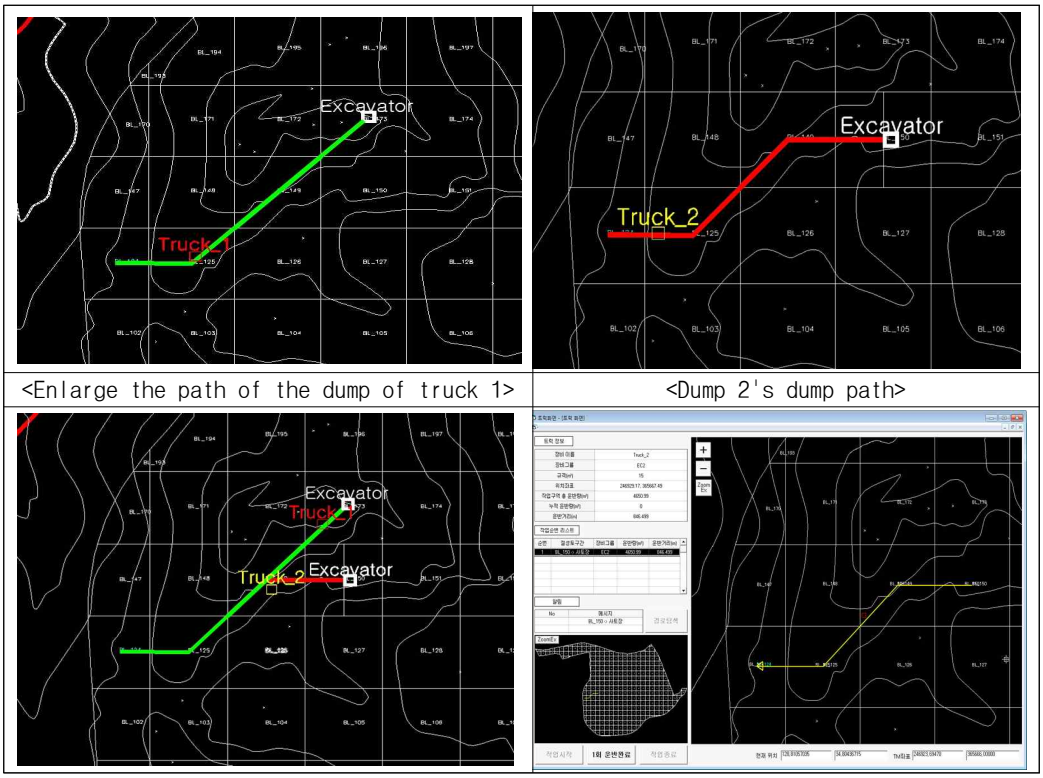
<군집점수를 통한 작업율 비교>

- 기존 플릿관리 시스템과는 달리 토량배분에 기반하여 이동경로 생성시 시스템에서 셀 속성을 이동 불가지역(붉은색)으로 설정하면 건설장비의 작업경로에서 붉은 색 구역은 선정되지 않고 이동 가능한 지역만을 대상으로 작업경로가 생성되는 것을 확인하였음.



<이동불가셀과 이동가능셀을 보여주는 시스템 화면>

- 수립된 토량배분 계획에 따라 각 건설장비별로 절토구역의 위치, 성토구역의 위치 및 이동경로가 모바일 모듈 화면에 제시되고 있으며, 개발된 시스템은 운전자가 이러한 정보를 바탕으로 효율적으로 작업을 수행할 수 있도록 환경을 제공하고 있음.

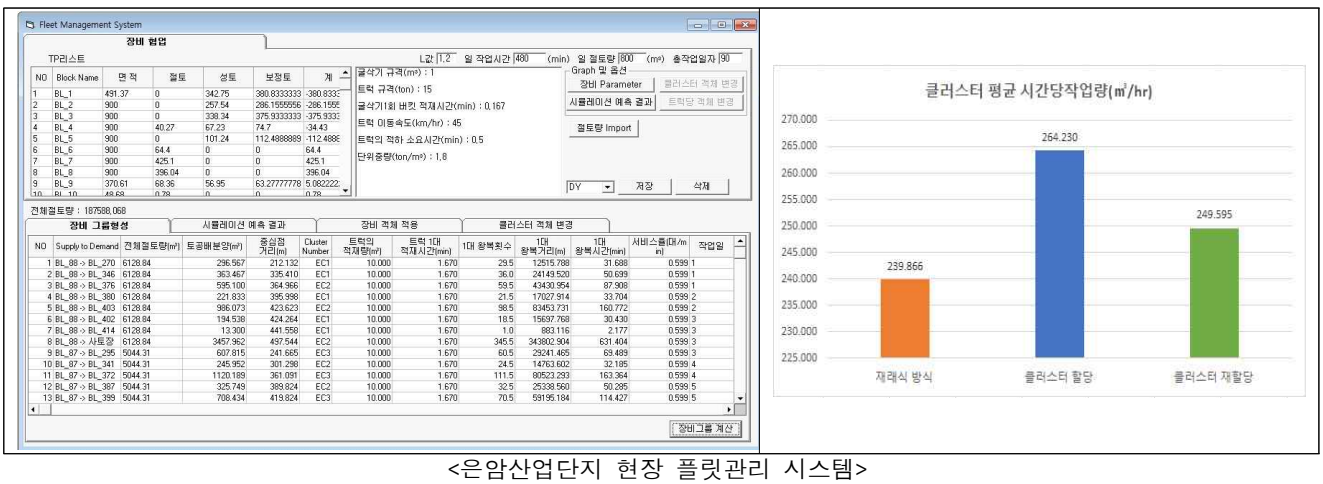


<Enlarge the path of the dump of truck 1> <Dump 2's dump path>

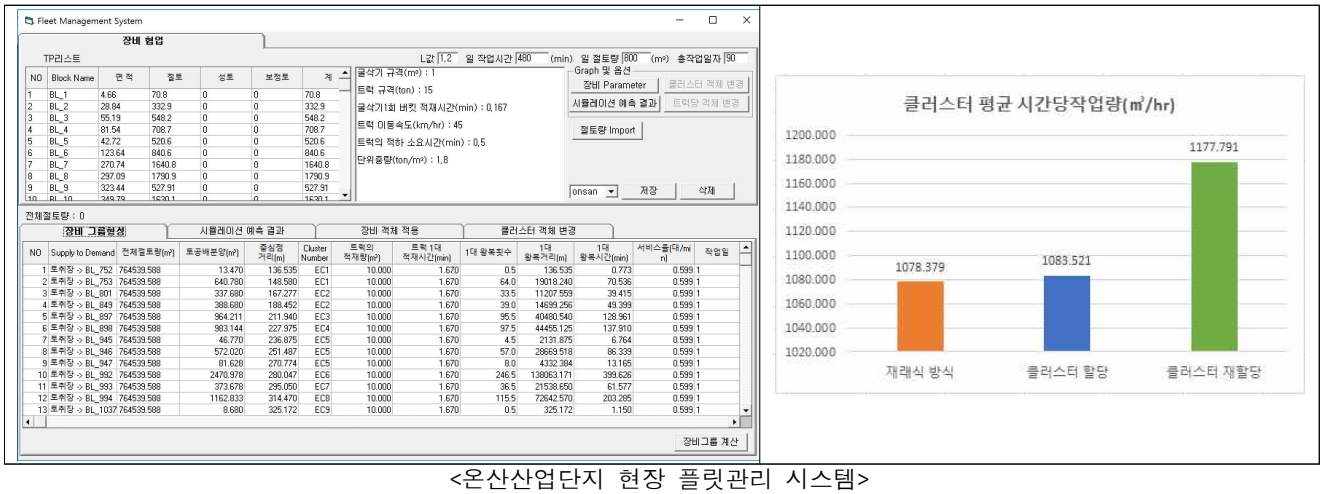
<Enlarge the path on the server module> <Mobile module screen in Dump 2>

<트럭별 이동경로 실시간 제공 화면>

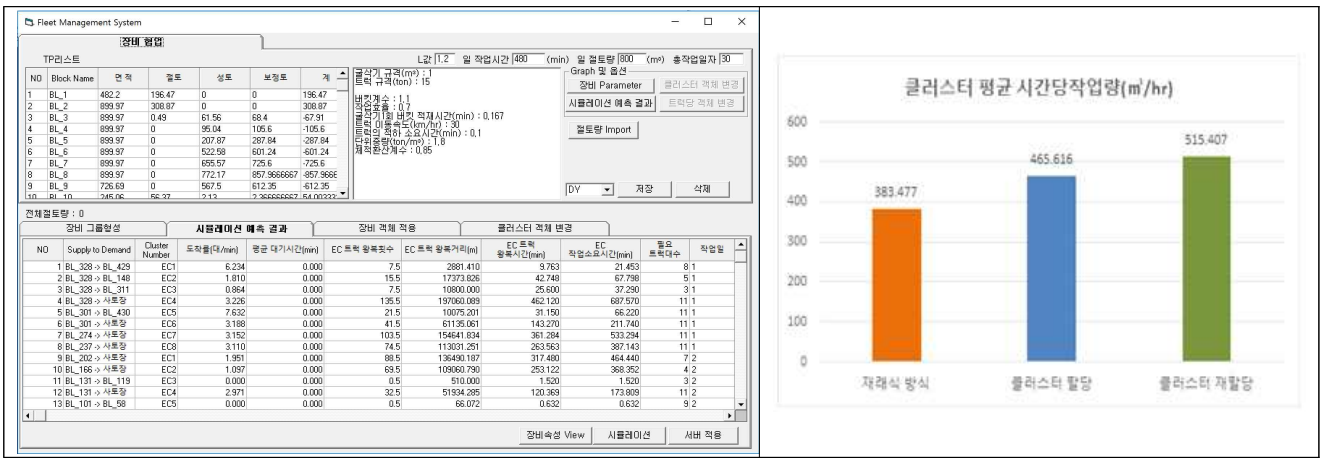
현 장	일작업시간	작업시간율 비교 (재래식방식:할당시)	(재래식:재할당)	달성도
은암산업단지 현장	일 8시간	10%	4%	100%
온산산업단지 현장	일 8시간	5%	10%	100%
담양 첨단산업단지 현장	일 8시간	18%	26%	100%



<은암산업단지 현장 플릿관리 시스템>



<온산산업단지 현장 플릿관리 시스템>



<담양첨단산업단지 현장 플릿관리 시스템>

◎ 관련분야 기여도

○ 개선된 플릿관리 시스템은 현실적인 토공계획의 수립과 건설장비에 탑재 가능한 시스템 형태로서 개선이 되어 현장적용성이 높아졌으며, 효율적인 건설장비 운영과 현장관리자의 의사결정에 사용될 수 있을 것으로 사료됨. 추가 연구에서는 다수의 모바일 모듈을 투입하여 건설장비들이 실시간으로 현장 및 작업정보를 이용하여 최적의 장비군을 새롭게 형성할 수 있음을 검증해야 할 것임.

□ 스마트 스캐닝을 이용한 3D 토공형상 모델링 시스템 (1세부 공동-한국건설기술연구원)

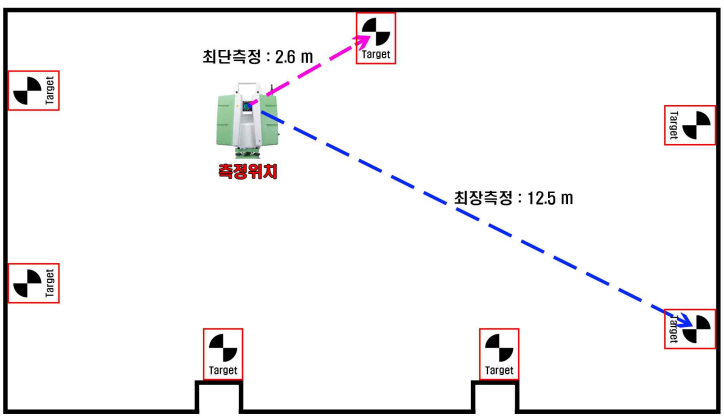
◎ 최종 목표 달성도 및 검증

핵심연구 성과	단위 성과		질적 성과지표	목표치	측정방법	평가치	달성도
스마트 스캐닝을 이용한 3D 토공형상 모델링 시스템	C-1	토공현장 지반객체 모델링 알고리즘	정밀도 확보	정밀도 측정치 대비 90% 수준	실제정밀측정치와 3D스캔 모델 비교	99% 수준	100%
			비용절감	기존대비 30% 절감	기존 측량방식과 3D스캔 모델링 방식의 비용비교	30% 절감	100%
	C-2	3D 지형정보 기반 토공량산정 기술	정밀도 확보	실측치 대비 90% 수준	3D 지형정보기반 토공량과 정밀실측치 비교	99% 수준	100%
			비용절감	기존대비 50% 절감	기존 토공량 산정방식과 3D지형정보기반 방식의 비용비교	50% 절감	100%
	C-3	T/B 적용 3D 토공형상 시스템	정밀도 확보	정밀측정치 대비 90% 수준	T/B대상 실제정밀측정치와 비교	99% 수준	100%
			비용절감	기존대비 50% 절감	T/B대상 기존 토공계측 및 토공량 산정방식과 비용비교	50% 절감	100%

○ 3D 토공형상 모델링 시스템의 정밀도 및 비용절감 검증

▪ 토공현장 지반객체 모델링 알고리즘 정밀도 및 비용절감 개요

- 토공현장에서 운용되고 있는 중장비를 효과적으로 관제하기 위해서는 현장지반에 대한 정밀한 계측이 필요함. 토공현장계측을 위해 주로 사용되는 토탈 스테이션과 최근에 주목받고 있는 3차원 스캐너의 정밀도 및 비용절감을 검증하고자 함.
- 본 실험은 한국건설기술연구원 내에 위치한 건설자동화 실험실에서 진행하였으며, 해당 실험실의 면적은 약 100㎡임. 본 실험을 위해서 실험실내 측정기로부터 최소 2.6m ~ 최대 12.5m 내에서 거리를 달리한 임의 설정 7개 지점에 타깃을 배치하였으며 각 지점마다 3개의 타깃을 동일 수직선상에 배치함.



<실험환경 개략도 (평면도)>

▪ 토탈 스테이션과 3차원 스캐너간의 정밀도 및 생산성의 비교가 주목적이므로 신뢰도 있는 측정 데이터의 도출이 무엇보다도 중요한 요소임.

- 토탈 스테이션으로 측정한 좌표를 정밀측정 좌표로 설정하고 이를 기준으로 스캔된 좌표와의 차이를 살핌.





<실험에 사용된 광파기 및 스캐너>

▪ 3차원 스캐너의 정밀도를 측정한 결과는 아래 표와 같음.

- 중해상도 및 고해상도 스캔 결과를 분석한 결과 기준이 되는 토탈 스테이션과의 오차율은 0.015% 정도로 상당한 정밀도를 보여주는 것으로 분석됨.

타겟	토탈 스테이션	중해상도 스캔		고해상도 스캔	
	거리(m)	거리(m)	오차율(%)	거리(m)	오차율(%)
1	6.661m	6.660m	0.015%	6.660m	0.015%
2	6.668m	6.669m	0.015%	6.669m	0.015%
3	6.828m	6.828m	0.000%	6.827m	0.015%
4	8.271m	8.270m	0.012%	8.270m	0.012%
5	8.267m	8.266m	0.012%	8.266m	0.012%
6	8.388m	8.388m	0.000%	8.389m	0.012%
7	12.536m	12.537m	0.008%	12.537m	0.008%
8	12.544m	12.544m	0.000%	12.544m	0.000%
9	12.627m	12.629m	0.016%	12.628m	0.008%
10	10.763m	10.764m	0.009%	10.764m	0.009%
11	10.765m	10.765m	0.000%	10.765m	0.000%
12	10.860m	10.861m	0.009%	10.861m	0.009%
13	2.626m	2.627m	0.038%	2.627m	0.038%
14	2.650m	2.650m	0.000%	2.651m	0.038%
15	3.005m	3.008m	0.100%	3.007m	0.067%
16	7.066m	7.065m	0.014%	7.066m	0.000%
17	7.065m	7.064m	0.014%	7.065m	0.000%
18	7.215m	7.214m	0.014%	7.214m	0.014%
19	8.011m	8.011m	0.000%	8.010m	0.012%
20	8.023m	8.021m	0.025%	8.022m	0.012%
21	8.160m	8.159m	0.012%	8.160m	0.000%
		평균오차율	**0.015%**	**평균오차율**	**0.014%**

<해상도별 스캔오차율>

▪ 생산성 비교를 위해 토털 스테이션과 3차원 스캐너의 계측 시간을 측정함. 실험에서 사용된 타깃 중심점 측정에 소요된 시간은 아래 표와 같음.

- 총 소요 시간은 현장 작업에 소요된 시간과 후처리 과정에 소요된 시간의 합으로 이루어지는데 후처리 소요 시간은 언급 하였듯 후처리가 진행되는 PC의 성능에 따라 달라질 수 있는 요소임.
- 토탈 스테이션을 이용하여 21개의 포인트를 시준 측량하는데 소요된 시간이 6분 30초로 한 포인트당 30초가량 소용되는 것으로 분석됨. 토탈 스테이션이 후처리 소요시간이 없다는 점을 고려하더라도, 현장에서 측정지점의 수가 늘어나면 유사한 정밀도를 보이는 중해상도 스캔에 비해 더 많은 시

간이 소요되는 것으로 판단됨.

- 현장의 측점수가 늘어날수록 비용 절감률은 커질 것으로 예상됨. 따라서 측점이 30개 이상일 때, 비용 절감률이 30% 이상으로 커질 것으로 분석됨.

<토탈스테이션과 3차원 스캐너의 측정소요시간>

사용 장비	측정 방법	소요 시간(현장)	소요 시간(후처리)
토탈스테이션 (Leica Nova MS50)	시준 측량	6분 30초	
3차원 스캐너 (Leica ScanStation P20)	내장 카메라 기반 관측	27분 50초	
	저해상도 스캔	1분 44초	20초
	중해상도 스캔	3분 25초	1분 15초
	고해상도 스캔	6분 47초	4분 40초

- TB적용을 통한 3D 지형정보기반 토공량산정 기술의 정밀도 및 비용절감 개요
- 3차원 스마트 스캔플랫폼의 정밀도확보와 비용절감 검증을 수행하였음. 목표는 실측치 대비 90% 수준의 정밀도 확보와 기존 대비 50%의 비용절감을 목표로 진행
- 3차원 스캔시 정밀도에 영향을 미치는 인자를 스캔횟수와 해상도, 정합방법으로 가정하고 각 파라미터의 조합을 통해 최적의 스캔방법을 도출하고 99% 이상의 정밀도 확보
  - 스캔 해상도를 4개구간으로 구분하고 각 해상도별 스캔횟수(3회, 4회, 6회), 정합방법(4가지)에 따른 체적 측정 정밀도를 측정
  - 스캔횟수별에 따른 정밀도 측정결과 '고해상도 + 6회스캔'의 조합을 기준으로 '저해상도 + 6회스캔', '중저해상도 + 6회스캔' 순으로 정밀하게 측정

<스캔 횟수별 해상도별 정밀도>

	고해상도	중고해상도	중저해상도	저해상도
6회 스캔	100.000%	100.494%	100.042%	100.026%
4회 스캔	100.505%	100.949%	100.615%	100.706%
3회 스캔	100.245%	100.496%	100.398%	100.322%

- 후처리방법에 따라서는 '고해상도 + C2C'의 조합을 기준으로 '저해상도 + T2T', '저해상도 + C2C' 순으로 정밀하게 측정

<후처리 방법별 해상도별 정밀도>

	고해상도	중고해상도	중저해상도	저해상도
C2C	100.000%	100.494%	100.042%	100.026%
T2T	100.567%	100.513%	100.067%	99.988%
Auto Align	100.968%	100.391%	-	-
Visual	100.549%	100.069%	100.037%	99.897%

- 현장스캔 소요시간까지 고려할 경우 '중저해상도 + C2C + 6회스캔'의 조합이 정밀도 및 생산성 측면에서 가장 유리한 것으로 분석되었으며, 정밀도 측면에서 목표로 한 90% 이상 달성한 것으로 판단

- 기존 측정 장비인 토탈 스테이션과 3D스캐너의 비용비교를 위해 토탈 스테이션과 3D스캐너의 좌

표 취득시간을 비교 측정한 결과,

- 데이터 취득에 소요되는 시간을 측정한 결과 변곡점 수에 따른 토탈 스테이션의 소요시간은 표와 같음

변곡점 수	1개당 좌표 취득 시간	총 좌표 취득 시간
100개	18.57초	1,857초
200개	18.57초	3,714초
300개	18.57초	5,571초
1000개	18.57초	18,570초

▪ 변곡점 수에 따른 3D스캐너의 소요시간은 표와 같음

스캔 방법	변곡점 수	현장 작업 시간(전체)	후처리 시간(1개당)	후처리 시간 (전체)	총 작업 시간
중해상도	100	3분 25초(205초)	3.57초	357초	562초
	200	3분 25초(205초)	3.57초	714초	919초
	300	3분 25초(205초)	3.57초	1,071초	1276초
	1000	3분 25초(205초)	3.57초	3,570초	3,775초
고해상도	100	6분 47초(407초)	13.3초	1,330초	1,737초
	200	6분 47초(407초)	13.3초	2,660초	3,067초
	300	6분 47초(407초)	13.3초	3,990초	4,397초
	1000	6분 47초(407초)	13.3초	13,300초	13,707초

▪ 이를 기준으로, 변곡점의 숫자가 늘어날수록 토탈 스테이션 대비 3D 스캐너의 생산성 향상 기대

- 실제 비정형 지반 현장을 고려하면 수천~수십만의 변곡점 존재 → 두 방법 간의 차이 확대

▪ 또한, 노무비 측면에서, 기존 2인 1조 작업만이 가능한 토탈 스테이션 대비 1인 작업이 가능한 3D스캐너 작업에 의한 비용절감 효과는 동일면적 데이터 취득시 50% 이상일 것으로 판단함.

◎ 관련분야 기여도

○ 작업현장 디지털 맵 구축기술은 미국, 일본 등 선진국을 기준으로 디지털맵 구축을 통한 기초데이터를 이용하여 작업현황분석에 활용되는 등 활용단계에 이르러 있지만, 국내는 디지털맵 구축기술 조차 전무한 실정이었음. 본 연구를 통하여 작업현장을 디지털로 구현하고 이를 활용하기 위한 기초데이터로서의 가능성을 확인함.

○ 디지털 맵 구축을 효과적으로 수행하기 위해서는 정밀도 및 비용절감 등의 목적이 달성되어야 하며, 본 연구에서 개발된 기술을 활용하여 정밀도 및 경제성이 확보된 디지털맵 구축이 가능함을 확인함.

○ 본 기술을 기반으로 향후 건설현장 디지털맵 구축 및 이를 활용한 작업현장 분석시스템 등의 개발에 활용이 가능함.

□ 건설장비 Eco-Operation 시스템 개발 (1-4세부 경북대학교)

◎ 최종 목표 달성도 및 검증

핵심연구 성과	단위 성과		질적 성과지표	목표치	측정방법	평가치	달성도
장비의 에너지 절감 분석기법을 적용한 ECO - Operation System	D-1	Eco-Operation 시스템의 현장 검증 및 경제성 분석	에너지 소모량 절감	소모량 30%절감	토공장비의 현장실험을 통한 에너지소모량 비교 측정	100%	100%

○ 토공장비의 현장실험을 통한 에너지소모량 비교 측정

▪ Eco-operation 시스템 기술 개발 개요

- 기존 토공장비 운용 시 과학적인 연산절차 혹은 수학적 방법에 근거하지 않고 개략적인 규모에 의한 장비선정과 경험에 의한 운용계획을 수립하고 있음. 이러한 종래의 방법은 최적의 장비운용계획 수립으로 에너지 효율화 달성이라는 가능성을 담보하지 못하는 문제점이 존재함. 이에 따라 토공사의 계약조건, 현장의 환경변수, 토공장비의 제원정보를 자동으로 수집하고 수집된 정보를 바탕으로 (예를 들어, 기후에 따른 엔진마력의 변동성, 장비 하부구조에 따른 저항차이, 각종 저항(경사도, 침하량, 토사상태)에 따른 생산성 변동) 최적의 장비운용안을 제시하는 시스템을 개발함.



<도저 장비를 대상으로 하는 Eco-operation 시스템>

- 도저 장비를 대상으로 하는 Eco-operation 시스템은 환경변수의 수집, 통신의 용이성, 데이터처리가 가능을 모두 충족할 수 있는 안드로이드 기반의 어플리케이션으로 개발되었음. 관제센터의 정보로부터 작업물량 및 현장정보(침하량, 작업거리, 경사도)를 입력받고 스마트폰의 GPS좌표 정보를 기반으로 기후 및 날씨 API로부터 환경변수를 입력받음. 이러한 정보를 바탕으로 최적의 운용안을 작업자에게 제시함. 작업자는 최적의 기어 운용안을 바탕으로 도저 작업을 수행함으로서 Eco-dozing을 달성할 수 있음.

▪ Eco-operation 시스템의 현장검증에 사용된 현장 정보 및 장비제원 정보는 표와 같음.

<장비 제원 및 현장변수 정보>

도저 제원		현장변수	
장비 명	Caterpillar D3C LGP series III	기온	-2℃
총중량	7501 kg	습도	20%
엔진마력	72/2400 PS/RPM	고도	10.61m
하부구조	무한궤도식	침하량	3cm
		토사상태	hard, clay



<도징 작업 및 실험 현장>

- 장비정보, 현장정보를 입력하여 제시된 최적의 운용안은 전진3단 후진3단으로 나타났음. 이때 소요되는 예상시간은 72초였으나 1차 실험에서 실측값은 85-88초대로 차이가 존재하였음. 이는 장비의 노후화, 진행에 따른 블레이드에 쌓이는 토사량의 변동성, 추운날씨로 토사상태의 악화로 인한 저항증가 등에 의한 차이로 보임. 이에 따라 보정작업을 거친 후 실험을 진행함.

- 실험은 도저 정리 작업 부지를 반복하여 운전하는 것으로 종래의 운용안과 최적안에 각각 반복 수행하였음. 이때 소요되는 시간을 기반으로 Eco-dozing의 달성도를 기록함. 이때의 기록은 아래의 표와 같으며, 약 36%의 시간 및 에너지 절감을 달성하는 것으로 나타남.

2	2	2	3	61.03	36.71	36.15	35.61	24.88	1.1	25.98
3	3	2	3	61.36	35.82	36.15	35.61	25.21	0.21	25.42
4	4	2	3	60.19	36.47	36.15	35.61	24.04	0.86	24.9
5	5	2	3	60.96	35.62	36.15	35.61	24.81	0.01	24.82
6	6	2	3	63.5	35.2	36.15	35.61	27.35	-0.41	26.94
7	7	2	3	62.48	36.95	36.15	35.61	26.33	1.34	27.67
8	8	2	3	64.65	35.83	36.15	35.61	28.5	0.22	28.72
9	9	2	3	61.86	35.16	36.15	35.61	25.71	-0.45	25.26
10	10	2	3	62.81	35.34	36.15	35.61	26.66	-0.27	26.39
11	11	2	3	62.21	36.37	36.15	35.61	26.06	0.76	26.82
12	12	2	3	64.21	36.77	36.15	35.61	28.06	1.16	29.22
13	13	2	3	61.13	35.64	36.15	35.61	24.98	0.03	25.01
14	14	2	3	61.58	35.75	36.15	35.61	25.43	0.14	25.57
15	15	2	3	63.59	35.28	36.15	35.61	27.44	-0.33	27.11
16	16	2	3	62.27	36.16	36.15	35.61	26.12	0.55	26.67
17	17	2	3	62.37	36.03	36.15	35.61	26.22	0.42	26.64
18	18	2	3	61.8	35.7	36.15	35.61	25.65	0.09	25.74
19	19	2	3	60.52	35.28	36.15	35.61	24.37	-0.33	24.04
20	20	2	3	64.36	36.69	36.15	35.61	28.21	1.08	29.29
21	21	2	3	62.17	36.93	36.15	35.61	26.02	1.32	27.34
22	22	2	3	61.8	35.51	36.15	35.61	25.65	-0.1	25.55
23	23	2	3	61.89	35.1	36.15	35.61	25.74	-0.51	25.23
24	24	2	3	61.43	35.65	36.15	35.61	25.28	0.04	25.32
25	25	2	3	60.07	35.94	36.15	35.61	23.92	0.33	24.25
26	26	2	3	61.32	36.93	36.15	35.61	25.17	1.32	26.49
27	27	2	3	60.76	35.68	36.15	35.61	24.61	0.07	24.68
28	28	2	3	62.64	35.31	36.15	35.61	26.49	-0.3	26.19
29	29	2	3	63.4	35.62	36.15	35.61	27.25	0.01	27.26
30	30	2	3	61.41	35.8	36.15	35.61	25.26	0.19	25.45

<최적안 운용 대비 기록>

◎ 관련분야 기여도

○ Eco-operation 시스템 기술적 기여도

<토공장비 친환경분야 연구>

제목	저자	연구 내용
차량 유비쿼터스 시스템 (CUbiS) 개발	지상우 외3명 (2012)	무선 통신 기술을 이용하여 차량 관리 기능을 어느 곳에서나 손쉽게 사용할 수 있는 차량 유비쿼터스 시스템(CUbiS)을 개발
TPMS 에 의한 CO_2 및 연비 효과 검토	유승준 외2명 (2013)	TPMS기능을 통하여 기대할 수 있는 연비효과와 타이어 공기압 저감 시 예상되는 CO2 및 연비영향을 알아보기 위하여 Simulation Test와 Bench Test를 실시
내리막길 Fuel Cut 기능을 활용한 CO_2 배출 절감에 대한 실험적 연구	조승현 외4명 (2013)	Fuel Cut 기능을 사용하였을 경우와 사용하지 않는 경우의 CO2 배출량을 산출하여 비교
Key factors controlling the real exhaust emissions from earthwork machines	Bogdan 외 5인 (2015)	온실가스 배출 저감전략 수립을 위한 배출량 결정 요인 분석

▪ 위 표와 같이 토공 장비에 관한 친환경성 고려 연구는 아직까지 CO2배출저감에 관하여 주목하고 있음. 이러한 관점에서 본 연구에서 개발한 Eco-operation 시스템은 스마트 디바이스를 이용하여 사용자의 간단한 입력으로 장비사용계획 및 운용단계에서 최적의 장비 운용안을 제시함으로서 기여점이 존재함.

2. 2세부 - 건설장비 가이드 기술 시스템화

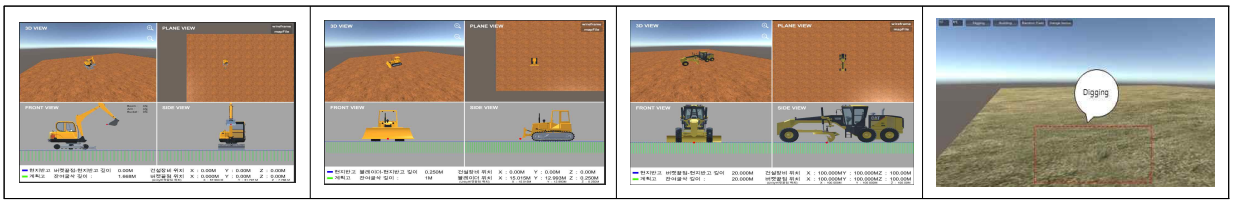
□ 스마트 머신 가이던스 시스템 개발 (2-1세부 협동-부산대학교 산학협력단)

◎ 최종 목표 달성도 및 검증

핵심연구 성과	단위 성과		질적 성과지표	목표치	측정방법	평가치	달성도
건설장비의 정보화 및 운영 효율화를 위한 플릿형 건설장비 가이던스 시스템	A-1	관제센터와 건설장비 가이던스 시스템 간 통합 및 운영 테스트	플릿형 3D 토공 BIM 환경의 정확성	시각정보 일치성 90%	플릿형 3D 토공 BIM의 사용자 테스트	96%	100%
			플릿형 건설장비 가이던스 시스템 사용자 환경 만족도	사용자 만족도 95%	실제 건설장비 조종원이 건설장비 가이던스 시스템을 운영한 후 사용자 만족도 평가	97%	100%
			관제센터 간 시스템 통합을 위한 연동성	항목별 연동성 90점%	관제센터와 연동기능에 대한 항목별 연동성 분석	100%	100%
	A-2	다수의 건설장비를 위한 RTK 건설장비 위치추적시스템 개발 및 테스트	RTK 건설장비 위치추적시스템의 정확성	10cm	무타겟 광파기를 이용한 실측	2.1cm	100%
			단거리 RTK 건설장비 위치추적시스템의 정확성	1cm	줄자를 이용한 실측 시뮬레이션을 이용한 검증	0.9cm	100%
	A-3	블레이드 자동제어 시스템 제어정밀도	블레이드 위치 정밀도	±4cm	목표 입력 값과 센서로부터 계측된 값의 비교를 통하여 오차범위 확인	±2cm 이내	100%
			블레이드 각도 정밀도	±5°	목표 입력 값과 센서로부터 계측된 값의 비교를 통하여 오차범위 확인	±1deg 이내	100%

○ 개별 플릿형 3D 토공 BIM 환경 개발 및 평가

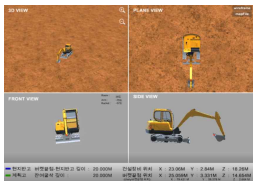
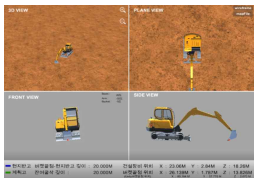
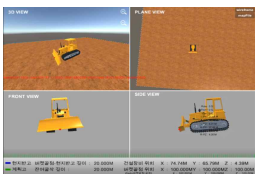
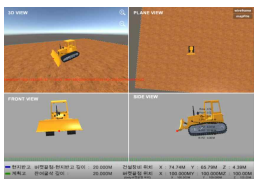
- 굴삭기, 도저, 모터 그레이더 등 건설장비에 대하여 개별 3D 토공 BIM 환경을 개발했으며, 3D 토공 BIM 상 건설장비의 가상적인 움직임과 실제 굴삭작업 상 건설장비의 실제 움직임이 동적으로 일치했음.
- 굴삭작업 중 굴삭으로 인하여 생성되는 지형의 변화를 3D 토공 BIM의 3D 공간에서 표현했음



- 3D 토공 BIM 환경에서 초당 10 프레임을 변환하여 건설장비 형상에 대한 3D 동적표현이 자연스럽게 보이도록 시뮬레이션을 구성했음.
- 건설장비 조종원이 필요로 하는 굴삭정보를 시각적으로 보이기 위해서 3D 토공 BIM 화면의 토공 단면을 원지반고 · 계획고 · 현지반고 등으로 구분하여 시각적으로 표현했음.
- 굴삭 작업 시 건설장비 조종에 필요한 굴삭 깊이, 굴삭폭, 굴삭 경사 등에 대한 정보를 3D 토공 BIM 화면 하단에 실시간으로 표시하여 제공했음

▪ 플릿형 3D 토공 BIM 환경의 정확성 - 시각정보의 일치성

- 굴삭기에 대한 실제형상과 3D 토공 BIM에서 표현된 3D 그래픽 형상을 비교하여 시각적 일치성을 검토했음.
- 검토결과 건설장비가 움직임에 따라서 3D 토공 BIM에서 표현되는 건설장비의 3D 그래픽 형상이 실시간으로 작동되는 것으로 나타났음.

No.	실제형상	3D 그래픽 형상	평가치(%)				
			XYZ 위치	지형 형상	장비 형상	반응도	평균
1			95	96	96	94	95.3
2			97	95	95	94	95.3
3			98	96	97	95	96.5
4			96	95	96	92	94.8
전 체 평 균							95.5

목표치	90%	평가치	96%	달성도	100%

○ 플릿형 건설장비 가이던스 시스템 사용자 환경 개발 및 평가

▪ 플릿형 건설장비 가이던스 시스템 사용자 환경 구성

- 3D 토공 BIM 기반으로 개발된 플릿형 건설장비 가이던스 시스템을 토공작업 시 굴삭작업에 실질적으로 적용할 수 있는 사용자 인터페이스 기능 제공
- 굴삭기, 도저, 모터 그레이더 등 건설장비에 대한 관리사항을 목록으로 처리하여 토공작업에 투입된 다수의 건설장비를 관리할 수 있는 관리체계 제공

▪ 다수의 건설장비 라이브러리 관리

- 굴삭기, 도저, 모터 그레이더 등 다양한 건설장비에 대한 3D 모델과 제원을 라이브러리에 저장
- 굴삭작업 시 필요한 건설장비를 선택하여 토공작업을 위한 3D 그래픽 시뮬레이션에 사용함.

▪ 건설장비의 위치정보를 제공하기 위한 좌표값 입출력

- 건설장비 가이던스 시스템을 운영하기 위해서 GPS 좌표 데이터를 사용할 경우 UTM 좌표값을 입력하여 절대좌표로 사용
- 건설장비 가이던스 시스템을 운영하기 위해서 로컬 좌표 데이터를 사용할 경우 현장의 임시좌표(TBM)를 입력하여 상대좌표로 사용

▪ 터치식 기반의 사용자 인터페이스 개발

- 건설장비 가이던스 시스템 사용자 환경의 메뉴체계를 터치식으로 처리할 수 있도록 메뉴구성과 사용자 인터페이스를 구현했음.
- 터치식 기반의 사용자 인터페이스를 통하여 건설장비 조종원이 굴삭작업 중 또는 전후에 건설장비 가이던스 시스템을 사용하기 위한 데이터를 입출력 할 수 있음.

▪ 설문지 작성 및 평가 - 플릿형 건설장비 가이던스 시스템 사용자 환경 만족도

- 플릿형 건설장비 가이던스 시스템 사용자 환경에 대한 평가는 건설장비 조종원과 토공작업 전문가 3인에 의하여 진행됐음
- 평가를 위해서 아래와 같은 설문지가 작성되었고, 건설장비 조종원과 토공작업 전문가는 시각정보 일치성을 평가하기 위해서 각 세부평가항목별 요구수준과 평가수준을 작성했음.

구 분	평가항목	요구수준 (평균)	평가수준 (평균)	달성도(%)
플릿형 건설장비 가이던스 시스템 사용자 환경 만족도	사용자 환경 기능 적합성	27	29	100
	사용자 환경 기능 다양성성	30	30	100
	사용자 인터페이스 편리성	29	29	100
	플릿 관리메뉴 적용성	29	30	100
	데이터 통신 연속성	28	28	100
	전 체 평 균	9.5	9.7	100
주) 요구수준 및 평가수준에 대한 평가는 다음과 같은 1부터 10까지의 정량적 점수를 사용했음 10~9 : 매우 높음; 8~7 : 높음; 6~5 : 보통; 4~3 : 낮음; 2~1 매우 낮음				

목표치	95%	평가치	97%	달성도	100%

○ 관제센터간 시스템 통합을 위한 서버 환경개발 및 평가

▪ 굴삭기, 도저, 모터 그레이더 등 건설장비에 대하여 서버버전의 3D 토공 BIM 환경을 개발했으며, 3D 토공 BIM 화면에서 굴삭작업에 투입된 각 건설장비의 가상적인 움직임을 동시에 표현했음.

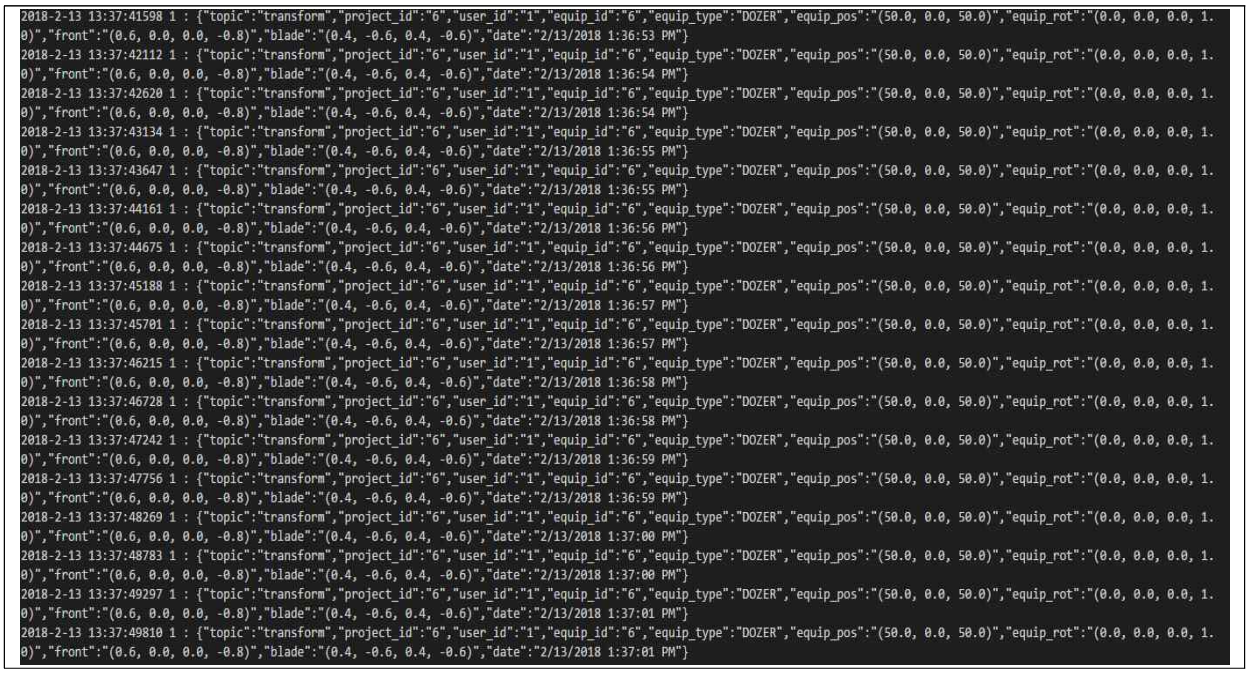
▪ 서버버전의 3D 토공 BIM에서 표현되는 굴삭기, 도저, 모터 그레이더 등 건설장비를 터치스크린 모니터에서 클릭하면 해당 건설장비에 대한 개별 3D 토공 BIM 환경으로 이동하여 개별 건설장비의 동적 형상정보를 3D 그래픽 환경에서 볼 수 있음.

▪ 관제센터와 개별 건설장비의 커뮤니케이션을 위해서 관제센터와 건설장비간 문자 메시지 기능이

장착됐으며, 문자 메시지를 통해서 굴삭작업에 필요한 정보를 전달할 수 있음.

- 개별 건설장비 간 커뮤니케이션을 위해서 건설장비와 건설장비간 문자 메시지 기능이 장착됐으며, 문자 메시지를 통해서 굴삭작업에 필요한 정보를 공유할 수 있음.
- 전송 데이터 종류
  - 개별 장비의 위치 데이터
  - 토공작업 현황관리를 위한 생산성 데이터
  - 개별 플릿형 3D 토공 BIM 환경과 플릿형 3D 토공 BIM 서버환경 간 작업지시 등 정보교환을 위한 문자 메시지

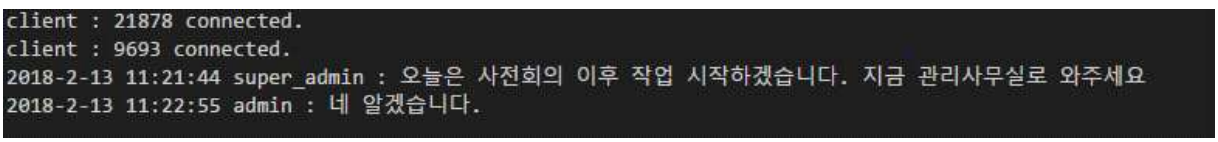
- "개별 3D 토공 BIM"에서 "3D 토공 BIM 서버"로 데이터 전송
  - 전송 데이터 종류 : 프로토콜 - TCP / 데이터 형식 - JSON
  - 데이터 전송 속도 : 약 500ms
  - 데이터 전송 정확성 : 손실 없음



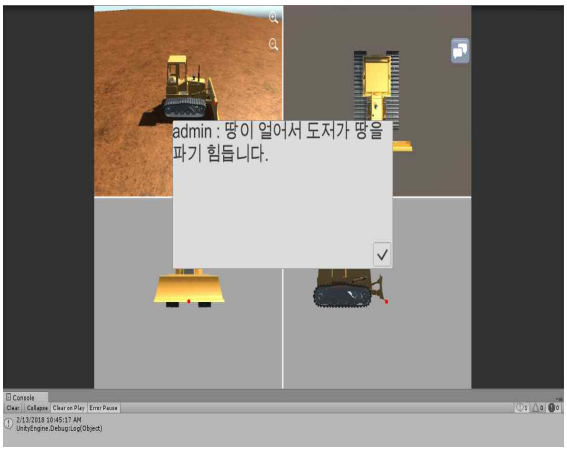
목표치	90%	평가치	100%	달성도	100%

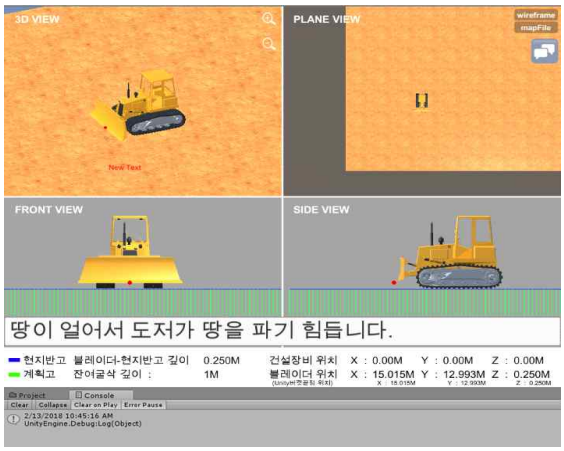
- "개별 3D 토공 BIM"와 "3D 토공 BIM 서버" 간 메시지 전송
  - 전송 메시지 문자 전송 속도 : 최대 1000ms 이하
  - 전송 메시지 문자 전송 정확성 : 손실 없음

- "개별 3D 토공 BIM"와 "개별 3D 토공 BIM" 간 메시지 전송
  - 전송 메시지 문자 전송 속도 : 최대 1000ms 이하
  - 전송 메시지 문자 전송 정확성 : 손실 없음



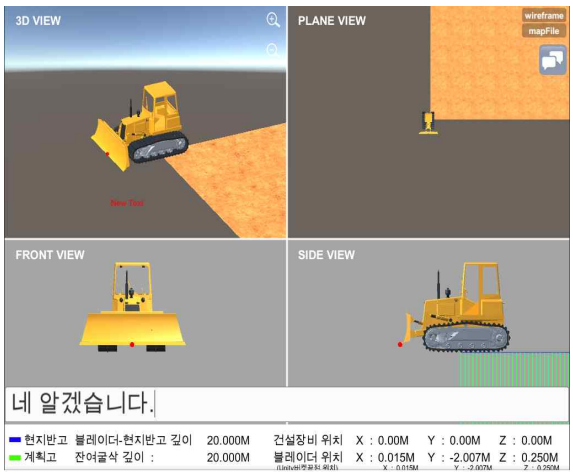
- 개별 플릿형 3D 토공 BIM 환경





- 플릿형 3D 토공 BIM 서버환경





○ RTK 건설장비 위치추적시스템 개발 및 테스트

▪ 다수의 건설장비 위치를 추적하기 위한 건설장비 위치추적시스템

- 송신기와 수신기로 구성된 거리측정센서를 이용하여 토공작업 시 현장에 투입된 건설장비의 위치를 실시간으로 추적함.
- 삼각측량기법을 이용하여 상대좌표 상에서 건설장비의 위치 좌표값을 추적

▪ 고가의 GPS-RTK를 대체하기 위한 기술개발

- RTK 건설장비 위치추적시스템은 고가의 GPS-RTK 장비와 비교하여 정확성에서 불리하지만 정확도가 낮은 초기 토공작업 시 적용성이 높음.
- RTK 건설장비 위치추적시스템은 오픈공간에서 30~50mm의 정확성을 가지고 있음.
- RTK 건설장비 위치추적시스템의 안정성과 현장 적용성을 높이기 위해서 지속적인 기술보완이 필요함.

No.	측정구분	실측거리(㎜)	측정거리(㎜)	오차(㎜)
1	거리	100,310	100,342	32
2	거리	100,310	10,343	33
3	거리	29,223	29,210	13
4	거리	27,681	27,661	21
5	거리	27681	27688	7
6	거리	29,223	29,202	21
평 균 오 차				21

목표치	10㎝	평가치	2.1㎝	달성도	100%

○ 단거리 RTK 건설장비 위치추적시스템 개발 및 테스트

▪ 협소한 지역에서 건설장비 위치 추적 기능제공

- 송신기와 수신기로 구성된 거리측정센서를 이용하여 토공작업 시 현장에 투입된 건설장비의 위치를 실시간으로 추적함.
- 삼각측량기법을 이용하여 상대좌표 상에서 건설장비의 위치좌표값을 추적함.
- 단거리 RTK 건설장비 위치추적시스템은 협소한 지역 등 RTK 건설장비 위치추적시스템의 적용이 경제성 또는 정확성에서 어려울 경우 대체할 수 있는 건설장비 위치추적시스템 임.

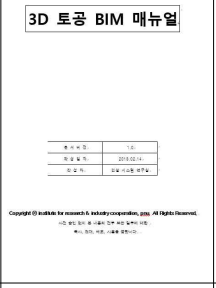
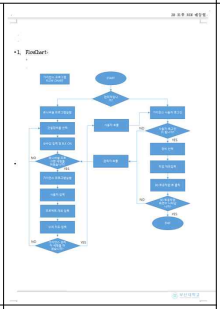
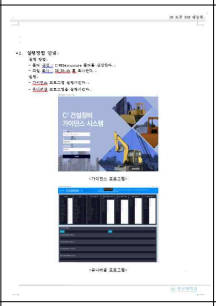
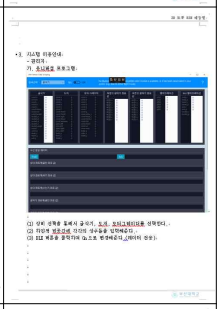
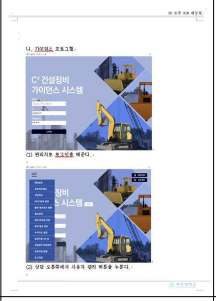
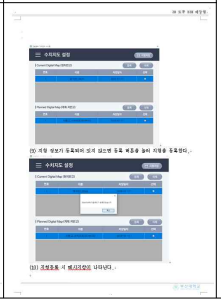
No.	측정구분	실측거리(㎜)	측정거리(㎜)	오차(㎜)
1	거리	2000	2008	8
2	거리	3000	2992	8
3	거리	4000	3989	11
4	거리	5000	5008	8
5	거리	6000	6009	9
6	거리	7000	7012	12
평 균 오 차				9.3

목표치	1㎝	평가치	0.9㎝	달성도	100%

○ 플릿 건설장비 가이던스 시스템 매뉴얼

- 플릿 건설장비 가이던스 시스템 매뉴얼은 건설장비 가이던스 시스템 사용자가 시스템을 효율적으로 사용하기 위해서 작성됐음.
- 플릿 건설장비 가이던스 시스템 매뉴얼은 전체 시스템 흐름도와 함께 시스템 세부기능의 작동법

을 기술함.

No.	매뉴얼		달성치(%)					
			전체 플로우	기능 다양성	기능 작동성	굴삭 관리	생산성 관리	평균
1			98	95	96	98	94	96.2
2								
3								
4								

목표치	95%	평가치	96%	달성도	100%

○ 플릿 건설장비 가이던스 시스템 현장 테스트

- 굴삭기, 도저 그리고 모터 그레이더에 대한 현장 테스트 실시
  - 굴삭기, 도저 그리고 모터 그레이더 등 개별 건설장비에 대한 현장 테스트를 실시했음
  - 건설장비에 RTK 건설장비 위치추적시스템과 IMU 센서를 설치하여 굴삭기의 버킷 끝점을 추적했음.
  - 건설장비에 RTK 건설장비 위치추적시스템과 IMU 센서, 초음파 센서, 각도 포텐쇼미터 등을 설치하여 도저와 모터 그레이더의 블레이드 끝점을 추적했음.

- XYZ 좌표값
  - 굴삭기 버킷 끝점을 추적하여 XYZ 좌표값에 대한 실측거리 값 (광파기 사용)과 측정거리 값 (플

릿형 3D 토공 BIM 환경 사용)을 비교하여 XYZ 좌표값의 일치성을 검토했음.

No.	실측거리(mm)			측정거리(mm)			오차(mm)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	23,264	14,360	1,385	23,305	14,339	1,300	41	21	85
2	22,489	6,766	181	22,427	6,668	255	62	98	83
3	21,268	6,903	1,329	21,311	6,838	1,431	43	65	102
4	20,885	8,799	303	20,782	8,830	409	103	31	106
5	20,923	8,412	3,098	20,740	8,345	2,980	183	67	118
평 균 오 차							86	57	98

목표치 (X)	10cm	달성치	8.6cm	차이	(-)1.4	달성도	100%
목표치 (Y)	10cm	달성치	5.7cm	차이	(-)5.7	달성도	100%
목표치 (Z)	10cm	달성치	9.8cm	차이	(-)0.2	달성도	100%

▪ IMU 센서

- 건설장비 형상인식을 위한 IMU 센서는 피치 (Pitch), 롤 (Roll, 요우 (Yaw) 값을 생성하여 건설장비부재의 기울기를 측정하기 위한 것임.
- IMU 센서의 데이터 통신은 블루투스 무선통신을 이용했음.
- 4차년도에서는 3차년도에서 개발한 IMU 센서의 데이터 통신기능을 개선하여 건설장비 조종실 안에서도 원활한 데이터 통신이 가능함.

측정구분	목표치 (실측정 오차값)	목표치(%)	달성치 (평가치)	차 이	달성치(%)	달성도
Pitch	1o	95	0.74°	(-)0.26°	100%	100%
Yaw	1o	95	0.63°	(-)0.37°	100%	100%
Roll	1o	95	0.77°	(-)0.23°	100%	100%

▪ 초음파 센서

- 건설장비 형상인식을 위한 초음파 센서는 도저의 블레이드의 움직임을 추적하기 위해서 적용했음.
- 초음파 센서는 실린더 축 길이의 비례성을 측정하여 블레이드의 위치를 추적함.
- 초음파 센서의 정확도를 높이기 위해서 송수신 기능을 분리하여 적용했음.
- 4차년도에서는 3차년도에서 개발한 초음파 센서의 데이터 통신기능을 개선하여 건설장비 조종실 안에서도 원활한 데이터 통신이 가능함.

측정구분	목표치 (실측정값)	목표치(%)	달성치 (평가치)	차 이	달성치(%)	달성도
거리	469mm	95	483mm	(-)14mm	97	100%
거리	445mm	95	458mm	(-)13mm	97	100%

▪ 각도 포텐쇼미터

- 건설장비 형상인식을 위한 각도 포텐쇼미터는 모터 그레이더 블레이드의 회전각을 측정학 위해서 적용했음.
- 4차년도에서는 3차년도에서 개발한 각도 포텐쇼미터의 데이터 통신기능을 개선하여 건설장비 조종실 안에서도 원활한 데이터 통신이 가능함.

측정구분	목표치 (실측정값)	목표치(%)	달성치 (평가치)	차 이	달성치(%)	달성도
모터 그레이더 블레이드 각도	360o	95	357.9°	(-)0.1°	99	100%

▪ 데이터 통신

- 건설장비 가이던스 시스템에 적용하는 형상인식 센서 모듈과 RTK 건설장비 위치추적시스템의 데이터 통신은 블루투스 기반의 무선통신을 적용했음.
- 유선통신을 기반으로 할 경우 개별 건설장비에 센서 모듈을 설치할 경우 통신선의 설치 등 불편하고 시간이 많이 걸리지만 건설장비 가이던스 시스템은 유선통신을 적용하여 센서 모듈의 설치를 간편화 했음.

측정구분	최대값	목표치(95%)	평가치 (측정값)	차 이	달성도
데이터 송수신 (Bit 기준)	최대 207,360 BPS	196,992 BPS	197,885 BPS	(+)893BPS	100%
데이터 송수신 (Package 기준)	40 Package / 1 sec @BLE Advertising	38 Package / 1 sec @BLE Advertising	38 Package / 1 sec @BLE Advertising	0 Package / 1sec @BLE Advertising	100%

▪ CAN 통신

- 건설장비 가이던스 시스템에 적용하는 센서 모듈은 블루투스 기반의 무선통신뿐만 아니라 CAN 통신 기반의 유선통신을 병행하여 적용할 수 있으며, 데이터 통신에 대한 다양한 요구사항을 반영할 수 있음.
- 즉, 센서 모듈을 블루투스와 CAN 통신을 병행하여 적용할 수 있으므로 센서 모듈의 적용성을 높일 수 있음.

측정구분	최대값	목표치(95%)	평가치 (측정값)	차 이	달성도
데이터 송수신 (Bit 기준)	최대 10,880 BPS	10,336 BPS	10,554 BPS	(+)218BPS	100%
데이터 송수신 (Package 기준)	17 Package / 100ms @CAN 2.0A	16 Package / 100ms @CAN 2.0A	16 Package / 100ms @CAN 2.0A	0 Package / 100ms @CAN 2.0A	100%

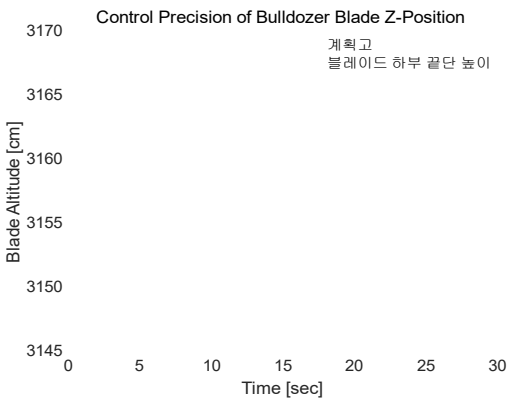
○ 블레이드 자동제어 시스템의 블레이드 위치 정밀도 평가

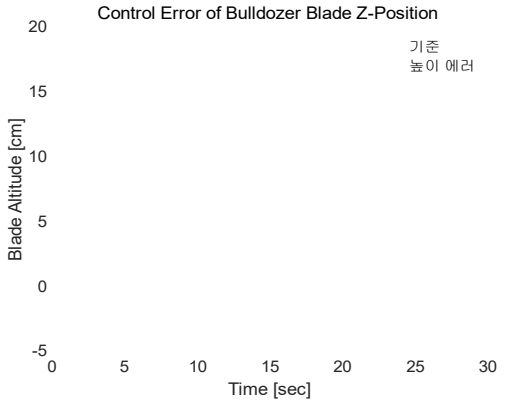
▪ ±2㎝ 이내의 불도저 블레이드의 위치 제어 정밀도 확보

- 불도저 블레이드의 위치 제어 정밀도를 확인하기 위하여 목표 위치 입력에 대비하여 센서로부터 추정한 위치 값을 측정하여 불도저 블레이드의 위치 제어 정밀도를 측정함
- 블레이드의 위치 제어 정밀도를 평가하기 위하여 총 2번의 실험을 진행하여 제어 정밀도를 확인함

<블레이드 위치 제어 결과 1차> <블레이드 위치 제어 에러 1차>

- 블레이드 위치 제어 결과 목표 높이 값 3150㎝ 에 대비하여 ±2㎝ 이내의 위치 제어 정밀도를 가지고 있음을 확인할 수 있음





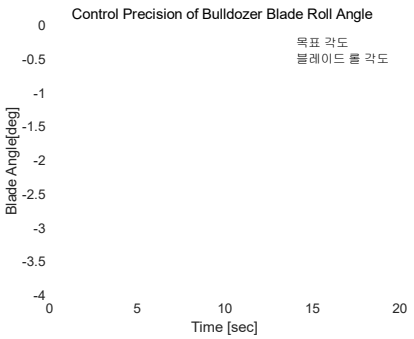
<블레이드 위치 제어 결과 2차> <블레이드 위치 제어 에러 2차>

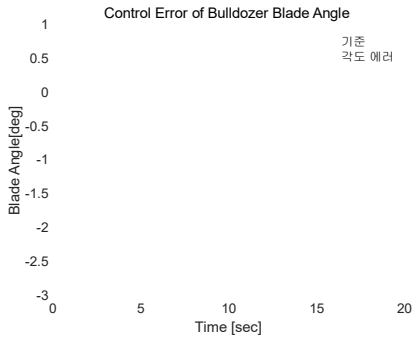
- 블레이드 위치 제어 2차 결과에서 역시 목표 입력 값인 3165㎝ 높이에 대하여 블레이드의 제어 높이가 ±2㎝ 이내의 정밀도를 보유함을 확인 가능함

○ 블레이드 자동제어 시스템의 블레이드 각도 정밀도 평가

▪ ±1deg 이내의 불도저 블레이드의 각도 제어 정밀도 확보

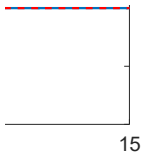
- 불도저 블레이드의 각도 제어 정밀도를 확인하기 위하여 목표 각도 입력에 대비하여 센서로부터 측정한 값을 이용하여 불도저 블레이드의 위치 제어 정밀도를 측정함
- 블레이드의 각도 제어 정밀도를 평가하기 위하여 총 2번의 실험을 진행하여 제어 정밀도를 확인함





<블레이드 각도 제어 결과 1차> <블레이드 각도 제어 에러 1차>

- 블레이드 각도 제어 결과 목표 각도 -3 deg 에 대비하여 ±1 deg 이내의 위치 제어 정밀도를 가지고 있음을 확인할 수 있음



<블레이드 각도 제어 결과 2차>　　<블레이드 각도 제어 에러 2차>

- 블레이드 각도 제어 2차 결과에서 역시 목표 입력 각도 -5 deg 에 대하여 블레이드의 제어 각도가 ±1 deg 이내의 정밀도를 보유함을 확인 가능함

◎ 관련분야 기여도

○ 플릿형 3D 토공 BIM 환경

▪ 플릿형 3D 토공 BIM 환경은 3D 그래픽 환경에서 지형정보모델과 건설장비 형상모델을 구현하여 건설장비 조종원이 굴삭작업을 용이하게 하기 위한 머신 가이던스 시스템이다. 본 플릿형 3D 토공 BIM 환경은 기존 상용화되어서 시장에서 구매할 수 있는 제품과 대비하여 1) 3D 시뮬레이션, 2) 3D 뷰 기능, 그리고 3) 워크스루 기능 등 관점에서 기술적인 진보를 달성했다.

항 목	기존 상용화 제품	플릿형 3D 토공 BIM 환경
3D 시뮬레이션	3D 공간상에서 건설장비의 움직임을 구현하고 있으나, 특정지점에서 굴삭기 조종원이 필요로 하는 굴삭정보 제공에 치중하고 있음	건설장비에 대한 3D 모델을 생성한 후 3D 공간에서 굴삭기, 도저 그리고 모터 그레이더 등 실제 건설장비의 움직임과 연동하여 3D 그래픽 시뮬레이션을 구현함
3D 뷰 기능	3차원 공간상에서 건설장비의 움직임을 지형도와 연계하여 제공하고 있음	토공작업에 투입된 건설장비의 움직임을 3D 뷰, X 뷰, Y 뷰, 그리고 Z 뷰 등 4개의 카메라 뷰에서 보여주며, 이와 같은 다양한 뷰 기능은 건설장비 조종원이 필요로 하는 이미지 정보를 효과적으로 제공할 수 있음
워크스루 기능	3D 건설장비 모델을 이용한 어플리케이션 개발이 어려움	건설장비를 3D 모델로 구현함으로써 3D 시뮬레이션과 virtual reality 환경 구현 등 다양한 목적으로 활용할 수 있음

○ 건설장비 위치추적시스템

▪ 기존 머신 가이던스 시스템은 건설장비의 위치를 분석하기 위해서 GPS-RTK 시스템을 적용하고 있다. 그러나, 이와 같은 GPS-RTK 시스템은 고가의 수입품으로써 국내 토공작업에 투입되는 건설장

비 운영업자의 영세성을 고려할 때 적용하기 어려웠다.

- 그러나 본 연구에서 개발된 건설장비 위치추적시스템은 기존 머신 가이던스 시스템에 적용하는 GPS-RTK 시스템을 대체하여 Access Point (AP)를 비콘으로 하는 자체적인 위치추적 기능을 가지고 있어서 저비용 고효율의 성능을 제공하는 기술적인 진보를 달성했다.
-

	기존 상용화 제품	플릿형 3D 토공 BIM 환경
건설장비 위치추적	GPS-RTK 시스템 적용	Access Point (AP) 적용
좌표값	UTM 또는 TM 좌표값 적용	UTM, TM 또는 현장좌표값 적용
비 용	고가	저가

○ 건설장비 형상인식 센서모듈

- 플릿형 3D 토공 BIM 환경을 운영하기 위해서는 건설장비의 형상을 정확히 추적하여 3D 그래픽 시뮬레이션과 연동시켜야 한다. 건설장비의 형상을 추적하기 위해서는 건설장비의 각 부재의 움직임을 실시간으로 추적할 수 있어야 하며, 이러한 목적을 위해서 본 연구에서는 자체적으로 센서모듈을 개발하여 수입품을 대체했다.

종류	이미지	용 도	성능오차
IMU 센서		▪ 굴삭기의 붐암버켓의 기울기 측정 ▪ 굴삭기 바이의 기울기 측정 ▪ 도저 블레이드의 기울기 측정 ▪ 모터 그레이더 블레이드의 기울기 측정	0.23° - 0.37°
초음파 센서		▪ 모터 그레이더의 실린더 축 길이 측정 ▪ 모터 그레이더의 실린더 축 길이 측정	13 - 14mm
각도 포텐쇼미터		▪ 모터 그레이더 블레이드의 회전각도 측정	0.1°

□ 작업환경 인식 및 운전자 행태기반 안전 가이던스 시스템개발 (2세부 공동-중앙대학교 산학협력단)

◎ 최종 목표 달성도 및 검증

핵심연구 성과	단위 성과		질적 성과지표	목표치	측정방법	평가치	달성도
작업환경 인식 기반 안전 가이던스 시스템	B-1	안전 가이던스 시스템 개발	작업자 인식 모듈 신뢰도	오차 판정 신뢰도 95% 이상	현장 실험	100%	100%
			작업자 거리 추정 모듈 신뢰도	오차 판정 신뢰도 95% 이상	현장 실험	100%	100%

○ 작업환경 인식 기반 안전 가이던스 시스템 개발 (작업자 인식 오차 범위 5% 이내)

- 건설장비 작업 반경 (10m 이내) 작업자 인식 결과와 실제 와의 비교를 통한 오차 범위를 측정함. 개발 프레임워크에 따라 개발된 안전 가이던스 시스템의 작업자 인식 오차 범위 측정 및 검증을 위해 총 5회에 걸쳐 영상 획득 및 분석 실험을 수행함. 다음 표는 실험 개요를 나타냄.

실험 목적	• 처리 모듈 : 영상 처리를 통한 작업자 인식 오차 범위 측정 및 검증
실험 시나리오	실험 대상 굴삭기 (DX300LC-5K)에 CMOS 센서 설치 및 다음 실험 반복 수행 • 작업자 형태 : 서 있기, 걷기, 숙이기, 앉기, 숙였다가 앉거나 앉았다가 숙이기, 서 있다가 앉거나 앉았다가 서기 • 작업자 거리 : 0m에서 10m 범위 내 • 작업자 방향 : 굴삭기 기준 정면 및 배면, 측면 • 영상 내 위치 : 중앙, 측면
실험 일자 (실험 인원) 및 장소	• 1차 (5명): 2017년 12월 12일, 한양대 에리카캠퍼스 • 2차 (6명): 2017년 12월 21일, 한양대 에리카캠퍼스 • 3차 (5명): 2017년 12월 26일, 한양대 에리카캠퍼스 • 4차 (5명): 2018년 01월 02일, 한양대 에리카캠퍼스 • 5차 (4명): 2018년 01월 19일, 한양대 에리카캠퍼스

<안전 가이던스 시스템의 작업자 인식 오차 범위 측정 및 검증을 위한 실험 개요>

- 개발된 시스템의 현장 적용 결과를 바탕으로 오차 판정 신뢰도를 측정함. 다음 표는 총 5회에 걸친 신뢰도 측정 및 검증 실험에서 획득된 영상을 대상으로 보완 개발한 처리 모듈 적용을 통해 작업자 탐지 성능이 현저히 개선됨을 나타냄.

구분	Precision (%)	Recall (%)	신뢰도 (%)
1회	94.8 →100.00	99.9 →100.00	99.9 →100.00
2회	99.4 →100.00	98.9 →100.00	98.9 →100.00
3회	98.4 →100.00	98.8 →100.00	98.8 →100.00
4회	82.1 →100.00	94.9 →100.00	95.8 →100.00
5회	97.0 →100.00	99.0 →100.00	99.1 →100.00
합계			100.00

<안전 가이던스 시스템 신뢰도 성능 검증 결과 요약>



<안전 가이던스 시스템의 현장 적용 실험 예시>

◎ 관련분야 기여도

○ 상용 건설장비 안전 가이던스 시스템과 개발 기술의 성능 및 시스템 비용 비교

- 건설장비 작업 공간 내의 위험요소 탐지 결과를 장비 운전자에게 제공하는 상용 건설장비 안전 가이던스 시스템과 개발 기술의 성능 및 시스템 비용 비교를 위해, 상용 건설장비 안전 가이던스 시스템을 조사함. 다음 표는 상용 건설장비 안전 가이던스 시스템과 개발 기술의 개요를 나타냄.

구분	시스템명 (회사 또는 기관)	국가	센서 구성	탐지 거리	탐지 각도	시스템 비용
상용 시스템	Integrated Object Detection System (Caterpillar Inc.)	미국	레이다, 카메라	최대 20m	360°	약 2,500 만원
	RadarEye Corner, Center-Rear SRD Set (Orlaco)	미국	레이다, 카메라	최대 20m	360°	약 1,700 만원
	PreView® Radar System (Preco Electronics Inc.)	미국	레이다, 카메라	최대 7m	360°	약 1,700 만원
	Protection System (SICK AG)	독일	2D 레이저 스캐너,GPS	최대 150m	후방 180° 이상	약 4,000 만원
개발 기술	작업환경 인식 및 운전자 행태 기반 안전 가이던스 시스템 (중앙대학교)	대한민국	카메라	최대 10m	330°	약 300만원

<상용 건설장비 안전 가이던스 시스템과 개발 기술의 개요>

- 조사 결과, 상용 건설장비 안전 가이던스 시스템은 건설장비 작업 공간 내의 위험요소를 탐지하기 위해 단가가 높은 거리 기반 센서 (레이다, 레이저 스캐너)를 사용하며, 전방위를 탐지하기 위해 다수 설치가 필요하여 시스템 비용이 수 천만 원에 이름. 뿐만 아니라, 상용 건설장비 안전 가이던스 시스템은 물체의 종류를 구분하는 능동적 탐지가 불가하여, 일정 거리 이내의 모든 물체를 위험요소로 간주하고 이에 대한 경보음을 울림. 이에 따라 작업자 외에도 다양한 종류의 물체 (흙, 자재, 가시설 등)를 모두 위험요소로 간주하여 경보음을 울림.
- 특히 시스템 구성에 카메라가 포함된 경우에도, 카메라는 거리 기반 센서를 통해 물체가 탐지된 영역에 대한 영상 송출에만 활용되며, 장비 운전자는 송출된 영상을 보고 어떤 물체가 탐지되었는지 직접 판단해야 하기 때문에 시스템의 편의성이 떨어짐.
- 개발 기술인 작업환경 인식 및 운전자 행태 기반 안전 가이던스 시스템은 카메라만을 활용하여 건설장비 작업 공간 내의 작업자를 위험요소로 구분하여 인식하고, 건설장비-작업자 간 거리를 자동으로 추정하며, 위험요소 탐지 결과를 시각화하는 기능을 지님. 따라서 상용 건설장비 안전 가이던스 시스템과 비교하여 합리적인 비용으로 설치가 가능하며, 이를 통해 건설장비 안전 가이던스 시스템의 상용화에 기여할 것으로 기대됨.

○ 영상 센서 기반 작업자 인식 관련 선행 연구와 개발 기술의 활용성 비교

- 건설장비가 작업 중인 건설현장의 특성과 안전 가이던스 시스템의 목적을 고려할 때, 건설장비 안전 가이던스 시스템에 활용하기 위한 작업자 인식 알고리즘은 다음과 같은 요구사항을 만족해야 함.
  → 건설장비와 작업자 간 거리 변화에 따른 영상 내 작업자 크기 변화에 무관할 것
  → 작업자 작업 상태 변경에 따른 작업자 형태 변화에 무관할 것
  → 외부 빛 환경 변화에 무관할 것
  → 탐지 대상 (작업자) 외의 움직임에 무관할 것
  → 다수의 작업자 탐지가 가능할 것
  → 작업자가 정지한 상태로 서 있는 경우의 탐지가 가능할 것
  → 장비 최대 주행 제한속도와 작업자의 보행속도를 고려한 처리속도를 보장할 것

- 앞서 언급한 작업자 인식 알고리즘의 요구사항에 근거하여 비교한 결과는 다음 표와 같음. 선행 연구에서 사용된 알고리즘은 정지한 상태로 서 있거나, 작업자 상태 변경에 따라 다양한 형태로 작업 중인 작업자에 대한 인식이 불가하다는 근본적인 단점이 있음. Lee와 Hong (2014)의 연구는 이외에도 서 있는 상태에서 안전모와 안전조끼를 동시에 착용한 작업자만 인식 가능하다는 한계가 있음. 또한 Shrestha 등 (2011)의 연구는 단순한 배경에만 적용 가능하며, 영상 내에 다수의 작업자가 작업 중이거나 카메라와 반대 방향으로 몸을 숙이거나, 엎드려서 작업하는 경우 작업자 인식이 불가하다는 단점이 있음.

<작업자 인식 관련 선행 연구와 개발 기술의 활용성 비교>

구분	저자 (연도)	작업자 인식 성능 요구사항						
		1	2	3	4	5	6	7
선행 연구	Weerasinghe 등 (2009)	△	X	X	○	○	○	X
	Weerasinghe 등 (2010)	△	X	X	○	○	○	X
	Weerasinghe 등 (2012)	△	X	X	○	○	○	X
	Shrestha 등 (2011; 2012)	△	X	X	○	○	○	X
	Guildi 등 (2010;2011)	△	X	○	○	○	○	X
	Du 등 (2011)	△	X	○	○	X	○	X
	Gong과 Caldas (2011)	△	○	○	○	X	○	X
	Min과 Dugelay (2011)	△	X	○	X	X	○	X
	Park과 Brilakis (2012)	X	○	○	○	X	○	○
	Lee와 Hong (2014)	△	○	○	○	X	○	X
개발 기술	작업환경 인식 및 운전자 행태 기반 안전 가이던스 시스템	○	○	○	○	○	○	○

※ 작업자 인식 성능 요구사항*은 다음과 같음.
1. 건설장비-작업자 간 거리 변화에 따른 영상 내 작업자 크기 변화에 무관
2. 작업자 작업 상태 변경에 따른 작업자 형태 변화에 무관
3. 외부 빛 환경 변화에 무관
4. 탐지대상 (작업자 외) 움직임에 무관
5. 작업자가 정지한 상태로 서 있는 경우 탐지
6. 영상 내 다수의 작업자 인식
7. 건설장비 최대 주행 가능속도 및 작업자 보행속도를 고려한 처리속도 보장

- 본 연구과제에서 개발된 기술은 건설장비의 작업 공간에 대한 영상으로부터 작업자를 능동적으로 탐지하기 위해 건설현장의 특성을 고려하여 개발되었으며, 앞서 살펴본 바와 같이 건설장비 안전 가이던스 시스템에 활용하기 위한 작업자 인식 알고리즘 개발 시 요구사항을 모두 만족함.
- 건설 장비에 특화된 안전성 확보를 위한 개발 기술의 활용성을 고려할 때, 작업환경 인식 및 운전자 행태 기반 안전 가이던스 시스템은 국내 기술이 세계 선진수준의 안전 가이던스 기술을 확보하는데 기여함.

□ 건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술개발 (2세부 공동-인하대학교 산학협력단)

◎ 최종 목표 달성도 및 검증

핵심연구 성과	단위 성과		질적 성과지표	목표치	측정방법	평가치	달성도
건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터	C-1	건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 개발	AR 네비게이터와 머신가이던스의 호환성	필요정보의 호환성 확보(AR 중첩 정확도 10 픽셀오차(RMSE))	시뮬레이션상 실제거리와 알고리즘 계산거리 간의 오차	8.6 픽셀오차(RMSE)	100%
			어라운드 뷰 시스템 개선 및 안정성 확보	5fps이상 Top-View / 영역 장비중심 반경 5m 이상	어라운드 뷰 영상 고속화 알고리즘 성능 테스트 / Top-View 영역 측정	20fps / 5m 이상	100%
	C-2	건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 현장실험을 통한 효율성 검증	AR-어라운드 뷰 네비게이터 Task Load	Task Load 50 미만	NASA-Task Load Index 설문 수행	27.5	100%

○ AR 네비게이터와 머신가이던스의 호환성(달성도 100%)

- 알고리즘 개선을 통한 외부표정 오차 보정

→ AR 네비게이터의 주요 기능인 AR-Depth를 정교하게 구동시키기 위해서는 설치된 카메라에 대한 외부표정의 오차를 최소화 하는 것이 필수적임.

→ 기존 외부표정을 위해 3차년도에 개발한 알고리즘을 이용할 경우 외부표정의 오차는 약 11.9 픽셀(RMSE)로 기존 목표에 부합하지 않으므로, AR 네비게이터의 오차를 보정할 필요가 있다고 판단됨.

→ 기존 알고리즘의 보완을 통해(머신가이던스에서 제공받는 Yaw 각도의 처리방법 개선) 외부표정 정확도를 개선하고자 하였고, 이를 확인하기 위해 실시간으로 제공받는 머신가이던스 데이터와 동시간의 영상을 이용하여 외부 표정을 수행함.

→ 외부표정 결과 머신가이던스와의 호환성(AR 중첩 정확도)은 8.6 픽셀오차(RMSE)로, 기존 11.9 픽셀오차(RMSE)를 약 27% 감소시킨 결과이며, 목표했던 10 픽셀오차 범위에도 만족한 결과를 얻었음.

→ AR 네비게이터의 경우 머신가이던스의 데이터에 의존하는 프로그램이므로, 추후 머신가이던스로부터 제공받는 GNSS 데이터의 오차 보정이 가능하다면 추가적인 외부표정의 향상을 기대할 수 있을 것이라 판단됨

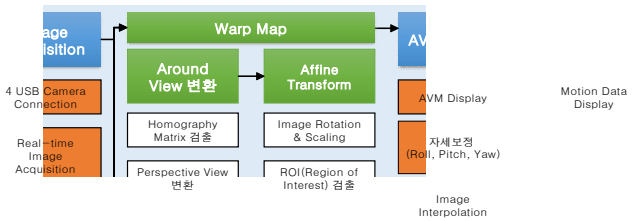
○ 건설장비 어라운드 뷰 시스템 개선 및 안정성 확보(달성도 100%)

- 어라운드 뷰 모니터링 시스템 프로세스 개요

→ 건설장비 어라운드 뷰 모니터링 시스템은 MFC(Microsoft Foundation Class) 기반으로 개발되었으며 1,600×1,200 (1.92 MP) 영상 4개를 입력받아 실시간으로 AVM 변환하여 화면에 표시하는 소프트웨어임. 어라운드 뷰 모니터링 프로세스는 ①영상획득, ②워프맵 생성, ③AVM 디스플레이, ④굴삭기 모션 디스플레이 순서로 구동됨.

→ 4차 년도에는 전체 시스템을 멀티 스레딩(Multi Threading) 기반으로 제작하여 획기적인 속도 개선이 있었으며, 카메라의 영상을 실시간으로 레코딩하는 “AVI 레코딩 모듈”과 레코딩된 영상을 다시 AVM으로 불러오는 “AVI 영상 모드”가 신규 제작되었음. 또한 기존 굴삭기 모션 디스플레이 모듈에 굴삭기의 CAN 데이터를 직접 연동하여 roll, pitch, yaw 데이터 및 붐, 암, 버킷의 위치를 표시하고 모듈이 개발되었으며 영상 획득 부분에서는 카메라의 노출을 자동으로 조절하는 모듈을 제작하였음.

Multi-Threading 기반

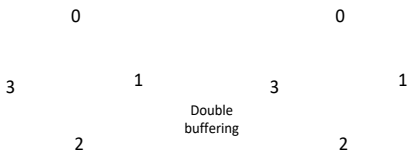


<최종 어라운드 뷰 모니터링 시스템 프로세스>

- Multi Threading 모드 개발

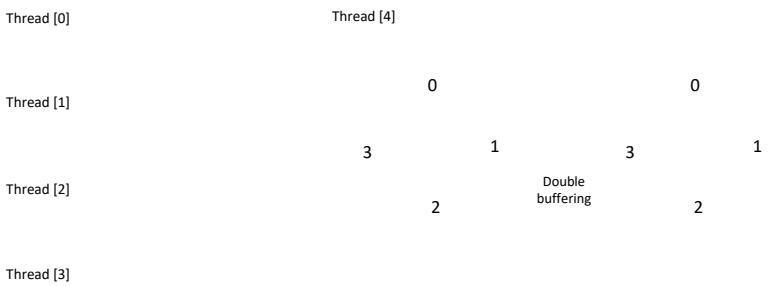
→ 3차 년도까지의 AVM 프로그램은 싱글 쓰레딩(Single Threading) 기반으로 제작되어 하나의 코어가 순차적으로 0번 영상 (전방 카메라), 1번 영상 (좌측 카메라), 2번 영상 (후방 카메라), 3번 영상 (우측 카메라) 순서로 워프맵을 통해 실시간 데이터를 AVM 변환하며 4개의 영상이 모두 처리되면 데이터를 실제 화면에 그려주는 방식으로 동작하였음. 해당 데이터 처리 프로세스의 경우, 4개의 카메라에서 최대 100프레임에 가까운 영상을 동시에 획득하기 때문에 최종적인 AVM 영상은 20프레임 이하의 낮은 프레임 수 변환하게 되는 문제점을 지니고 있음.

Single Core 기반



<싱글 쓰레딩 데이터 처리 프로세스>

→ 이를 해결하기 위해 4차 년도 AVM 프로그램에서는 각 카메라의 데이터 처리과정을 멀티 쓰레딩(Multi Threading)으로 분할하였으며 각자 쓰레드에서 영상을 직접 화면에 그릴 경우 발생하는 화면의 번쩍거림을 방지하기 위해 별도의 화면 그리기 쓰레드를 구성하였음.



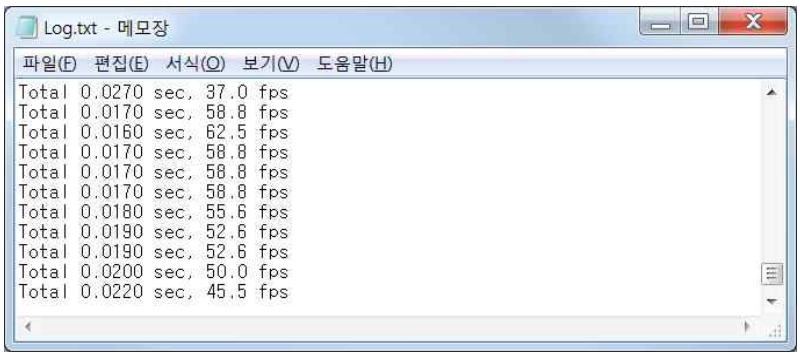
<멀티 쓰레딩 데이터 처리 프로세스>

- 어라운드 뷰 영상 고속화 알고리즘 성능 및 Top-View 영역 측정

→ 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 시스템의 Top-view 영상을 구현함에 있어 건설장비의 주행 시 운전원이 장비 주변부 현황을 실시간으로 충분히 파악할 수 있도록 일정 수준 이상의 프레임 수 및 영상 반경이 확보되어야함.

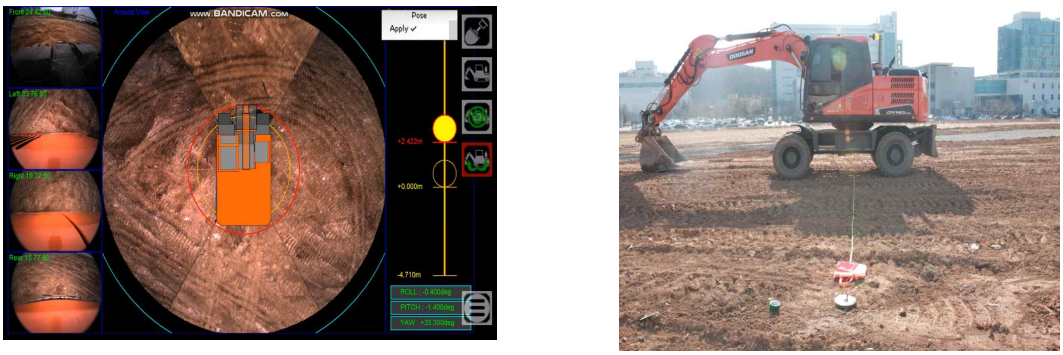
→ 본 연구진은 건설장비 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 시스템의 영상 범위 및 프레임 수 확보를 위해 알고리즘 및 하드웨어 등을 개발 및 개선하였으며, Test-bed를 활용한 현장 실험 및 실험실 실험을 수행하였음. 실험 결과, 개발된 시스템이 주어지는 굴삭기 모션 정보에 따라 AVM 디스플레이 상에 실시간으로 작업정보를 반영하는 것을 확인할 수 있으며, Test-bed의 기울기에 따라 AVM 영상이 실시간으로 보정되는 것으로 분석됨.

→ 어라운드 뷰 모니터링 시스템의 최종 성과 목표인 어라운드 뷰 영상 고속화 알고리즘 성능 검증을 위해 각 카메라 영상(쓰레드 0~3)의 AVM 변환 시간을 테스트한 결과, 평균 초당 49.8 프레임의 속도로 변환되는 것을 확인할 수 있었으며, 최종적으로 화면에 AVM을 표시하는 쓰레드 4의 속도는 평균 28.2 프레임인 것으로 확인되어 기존 싱글 쓰레딩에 비해 2배 이상 AVM 성능이 개선된 것으로 확인됨.



<각 카메라 영상의 AVM 변환속도>

→ 어라운드 뷰 모니터링 시스템의 최종 성과 목표인 Top-view 영상 표현범위(장비중심반경 5m 이상) 검증을 위해 굴삭기 DX140W를 대상으로 어라운드 뷰 통합 어플리케이션 현장적용 실험을 수행하였음. 실험 결과, 영상의 취득범위는 성과목표로 설정하였던 장비 중심 5m를 초과하는 것으로 측정되었음. 또한 개발된 시스템은 건설현장 환경에서도 굴삭기에 이동에 따라 정상적인 영상표현을 수행할 수 있으며, 영상 프레임 수 28fps 이상을 확보하여 실시간 활용이 가능할 것으로 사료됨.



<건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 현장 적용 실험 및 영상 범위 측정>

○ AR-어라운드 뷰 네비게이터 Task Load (달성도 100%)

- AR-어라운드 뷰 네비게이터 효용성 측정 (NASA-Task Load Index)

→ AR-어라운드 뷰 네비게이터의 효용성을 측정하기 위해 NASA-Task Load Index 설문지를 이용하였으며, 이는 굴삭기운전자의 작업부하의 하위요소인 정신적 부담, 신체적 부담, 시간적 부담, 작업의 어려움(수행성과), 작업에 소요되는 노력, 저해요소(스트레스 등)을 가중치 산정 방식으로 종합적인 작업부하를 판단하는 것에 적합하다 판단됨.

→ 작업부하 측정은 굴삭기의 작업 종류, AR-어라운드 뷰 네비게이터 사용 유/무에 따라 측정되었으며, IDLE 시간을 고려하였음.

→ NASA-Task Load Index의 점수는 높을수록 작업부하가 높은 것으로, 작업부하의 하위요소의 쌍대비

교를 통한 가중치 산정방식으로 계산됨

→ 측정 결과 AR-어라운드 뷰 네비게이터 미사용 시 평균 56.5의 Task Load가 측정되었고, AR-어라운드 뷰 네비게이터 사용 시 평균 27.5의 작업부하가 측정됨.

→ 특히 굴삭 작업을 진행할 경우 작업부하가 66에서 21로 약 68% 줄어듦을 확인할 수 있는데, 이는 AR-어라운드 뷰 네비게이터가 처음 목표했던 굴삭 효율의 향상을 가져온 결과라 판단됨.

→ AR-어라운드 뷰 네비게이터 이용 시 목표했던 작업부하가 50미만으로 만족되었으며, 사용 유무에 따라 사용 시가 미사용 시보다 약 50%의 작업부하 절감의 효과가 있는 것으로 나타남.

◎ 관련분야 기여도

- 대한민국 정부는 미래 신성장동력 창출과 국민 생활의 질을 향상하기 위한 '국가중점과학기술 전략로드맵' 을 수립하고 과학기술 발전을 위한 국가적 차원의 노력을 기울이고 있음. 특히 본 연구에서 개발하고자 하는 건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술 개발의 경우 30개의 국가중점과학기술 중 ①실감형 콘텐츠 기술, ②스마트 자동차 기술, ③생산시스템 생산성향상 기술, ④환경 통합모니터링 및 관리 기술 등 다양한 중점기술에 복합적으로 부합되는 기술이므로 해당 기술의 개발은 과학기술 발전에 대한 기여도 및 그 파급효과가 매우 클 것으로 판단됨.
- 건설장비는 매우 열악한 환경에서 운용되는 장비로서, 각종 진동/소음, 분진 등의 유해한 요소뿐만 아니라, 낙석, 전복, 추락 등의 잠재적 위험 요소를 많이 가지고 있는 시스템이기 때문에 이 분야의 전문인력이 줄어들고 있는 상황에서, 센서 및 제어 부분의 IT기술을 적용한 AR-어라운드 뷰 네비게이터 시스템 개발은 상기의 문제를 해결 할 수 있는 중요한 기술로 판단됨.
- 건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술은 고도의 트래킹, 칼리브레이션 작업, 영상처리에 대한 알고리즘을 개발함으로써, 차량형 건설장비가 아닌 굴삭기와 같은 건설 특수장비에 대한 시스템 적용이 가능함. 또한 건설장비의 운전작업에 필요한 정보를 직관적인 증강현실 형태로 제공하고 장비의 주변 현황을 어라운드 뷰로 제공함으로써, 작업에 따른 Mental load를 최소화 하고 운전을 용이하게 하여 작업 효율을 향상시킴.
- 건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술은 고도의 트래킹, 칼리브레이션 작업, 영상처리에 대한 알고리즘을 개발함으로써, 차량형 건설장비가 아닌 굴삭기와 같은 건설 특수장비에 대한 시스템 적용을 가능하게 할 것임. 본 연구가 성공적으로 수행될 경우 관련 연구 및 기술개발 분야의 선두주자가 될 수 있으며, 실용화 및 사업화 가능성도 매우 클 것으로 기대됨.
- 건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터는 건설현장에서의 몇 가지 문제점에서 큰 장점을 지니고 있음. 장비 조종에 관련하여, 장비조종자간의 숙련도 차이에 의해 품질 및 작업 생산성이 크게 영향을 받는 등 많은 문제점을 포함하고 있음. 따라서 토공을 위한 자동화 장비인 AR-어라운드 뷰 네비게이터는 인력 위주의 작업을 자동화 시스템으로 대체함으로써 노무비 절감, 생산성 향상을 통한 막대한 원가절감 효과를 가져 올 수 있을 것으로 기대됨.
- 3D 업종으로 전락한 기계화 시공 건설작업이 건설 장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술과 타 세부 및 세세부에서 진행하는 여러 기술을 활용하여 건설작업을 수행한다면 쾌적한 환경에서 위험성이 전무한 작업을 수행할 수가 있어 작업의 생산성, 품질, 친환경성을 제고하며, 다중의 건설 장비를 소수의 작업자가 작업수행을 할 수가 있기 때문에 경제적 효과도 클 것으로 기대됨.
- 후에 AR-어라운드 뷰 시스템과 플릿형 네비게이터, 구글글래스 등의 결합이 자연스럽게 이루어질 것이고, 이는 작업자의 안전성과 편의성 그리고 작업능률을 향상시킬 것임. 현재 건설장비 운용 및 조작체계에 대한 휴대성, 편리성을 추구하는 기술에 대한 수요가 증가함에 따라서 이 부문에 대한 기술투자는 점차 가속화되고 있음을 고려할 때 관제시스템과 플릿형 네비게이터를 접목한 융합신기술은 향후 건설산업의 국가경쟁력을 강화하고, 세계 건설시장의 주도권을 확보하는데 기여할 것임.

□ 태블릿 기반 굴삭기 작업가이던스 시스템 및 MMI 유닛개발 (2세부 공동-두산인프라코어)

◎ 최종 목표 달성도 및 검증

핵심연구 성과	단위 성과		질적 성과지표	목표치	측정방법	평가치	달성도
태블릿 기반 굴삭기 버켓 위치 디스플레이 시스템	D-1	태블릿 위치 디스플레이 태블릿 앱 S/W	태블릿 앱 S/W 기능 요구 사양 구현율	100%	태블릿 앱 S/W의 기능 요구사양 항목 수와 구현 완료 항목 수의 비교	100%	100%
			버켓 끝단 위치 인식 정확도	2D: ±20mm 3D: ±35mm	위치 인식 결과와 외부 계측기를 이용한 측정 결과와의 비교	2D: ±20mm 3D: ±35mm	100%

○ 태블릿 앱 S/W기능 요구 사양 구현율 검증

- 3차년도까지 구현한 기능 37개에 대해 보완 개발하고 신규 기능 8개를 추가 구현하였으며, 총 45개의 목표 기능 항목 중 45개의 기능 항목을 구현하여 구현율 100%를 달성함.

	디스플레이 기능 (총 45개)		2차년도 구현 (32개)	3차년도 구현 (5개)	4차년도 목표 (8개)
메인 화면	View 표시	Side View	○		
		Front View	○		
		Ground View	○		
		3D View	○		
		View 전환 (2D ↔ 3D)	○		
		Zoom In/Out	○		
	도면	지형 도면	○		
		목표 도면	○		
	Indicator	높이 제한 영역	○		
		Target Indicator	○		
	Position 정보	장비 위치	○		
		수직 가이드 버킷 위치	○		
		수평 가이드 버킷 위치	○		
		방위	○		
	Shot cut 기능	Log In/Out	○		
		Network 설정	○		
		도면 Load	○		
		도면 Offset 설정	○		
		Sound 설정	○		
		메뉴 진입	○		
메뉴	도면 관리	도면 다운로드/업로드			○
	도면 생성/편집	Leveling	○		
		Single Slope	○		
		Dual Slope	○		
		Trenching			○
		Profile		○	
	Zone 설정	Grade Zone	○		
		Height Limit Zone	○		
	버킷 설정	버킷 Data 입력	○		

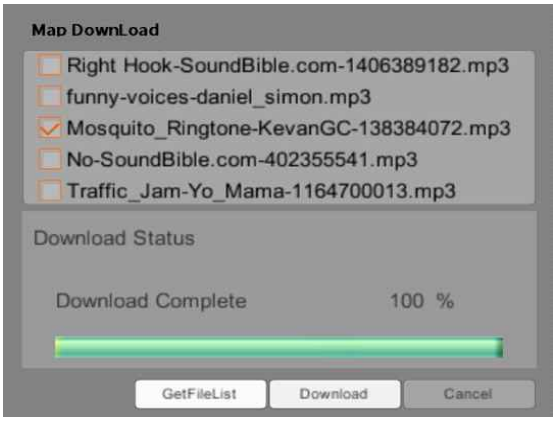
	장비 설정	Arm Data 입력	○		
		Boom Data 입력	○		
		Body Data 입력	○		
	Tool 선택	어태치먼트 종류 선택	○		
	장비 정보	장비 ID, 톤수 등 표시			○
	GPS 정보	수신 감도 등 표시			○
	측정모드	수평/수직거리, 경사도 측정	○		
	네트워크 설정	Gateway와의 네트워크 설정	○		
		관제 센터와의 네트워크 설정			○
	보안 설정	비밀번호, 권한 설정			○
	환경 설정	단위, 밝기 등 환경 설정		○	
	진단 기능	센서 고장 진단			○
	캘리브레이션	Boom 캘리브레이션		○	
		Arm 캘리브레이션		○	
		Bucket 캘리브레이션		○	
		선회 캘리브레이션			○
달성률			**71%**	**82%**	**100%**

<디스플레이 기능 요구사양 및 개발 결과>

- 기존 메뉴 화면의 UI 개선을 진행하였으며, 도면 다운로더/ Trenching 목표 지형 모델 생성/편집 기능, 굴삭기 선회 IMU 각도 캘리브레이션 기능 등을 추가 개발함. 목표 지형 모델은 주로 현재 지형 모델을 기반으로 3D CAD 툴을 이용하여 생성하지만, 디스플레이 화면에서 간단한 형상을 가진 목표 지형 모델을 생성할 수 있도록 하였으며, 또한 토공 현장에서 범용으로 사용되는 DXF 형식의 지형 모델을 표시하도록 개발함.



<메인 메뉴 화면 및 세부 메뉴 UI 개선>



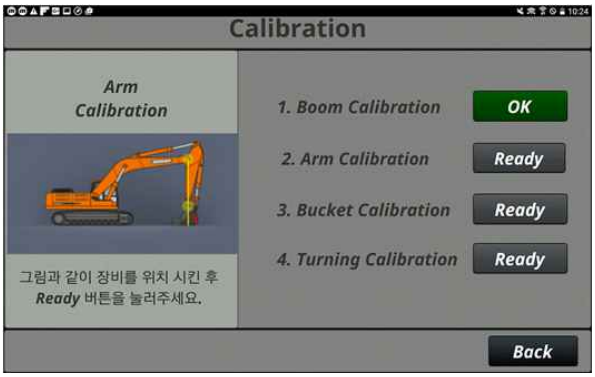
<목표 및 지형 도면 다운로드 기능>



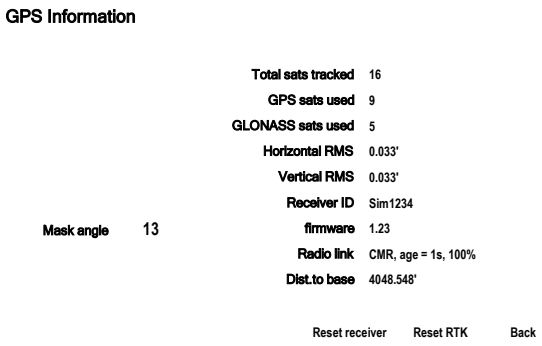
<신규 개발 굴삭기 3D 모델 >



<목표 지형 모델 표시기능 개선>



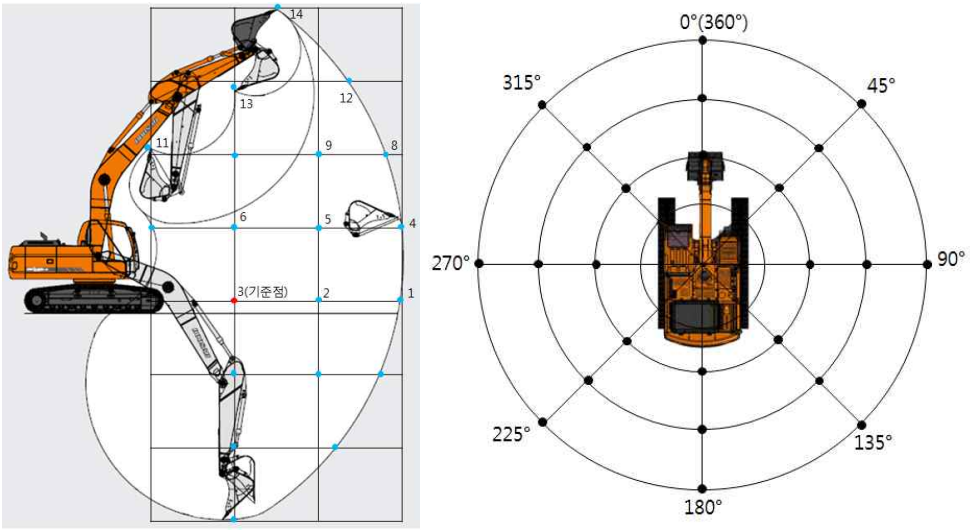
<선회 캘리브레이션 기능 추가>



<GPS 정보 확인 표시 기능>

○ 버킷 끝단 위치 인식 정확도 검증

- GNSS(Global Navigation Satellite System)를 사용하지 않고 버킷 끝단의 위치를 인식하는 2D 가이던스 모드인 경우, 3차년도 연구 목표인 버킷 끝단의 상대 위치인식 정확도 ± 25㎜ 이내를 만족함.
  →22톤 굴삭기의 버킷 끝단이 위치한 서로 다른 두 위치에 대해 위치인식 소프트웨어에서 계산된 거리와 Total Station에서 측정된 거리를 비교하여 버킷 끝단의 거리 오차를 산출함.
  →지면 위에서 버킷 끝단이 위치 가능한 13개의 위치에 대해 기준점으로부터의 수평 거리와 수직 거리를 측정하며, 총 8개의 차체 방향각(0도, 45도, 90도, 135도, 180도, 225도, 270도, 315도)에 대해 각각 13개의 위치를 측정함.



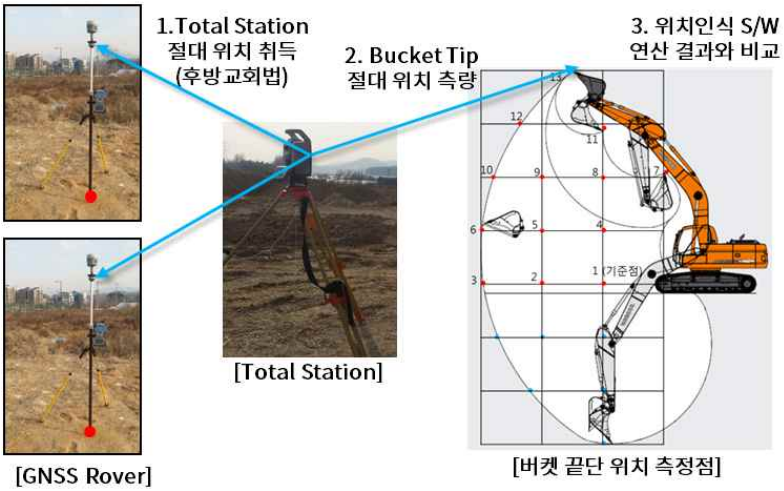
<버킷 끝단 위치 측정점 및 차체 방향각>

→ 수평 거리에 대한 오차는 평균 10㎜, 수직 높이에 대한 오차는 평균 16㎜이며, 정밀도는 2시그마 수준임.

Test Condition	Bucket Tip Position Error			
Heading Angle(°)	Horizontal (mm)		Vertical (mm)	
	Avg.	Max.	Avg.	Max.
0°	11	20	19	34
45°	8	18	18	32
90°	8	14	20	37
135°	13	22	20	32
180°	9	17	23	36
225°	11	22	20	30
270°	9	13	19	34
315°	14	26	16	34
Total Avg.	**10**	-	**16**	-

<2D 가이던스 위치인식 정확도>

- GNSS를 사용하여 버킷 끝단의 위치를 인식하는 3D 가이던스 모드인 경우, 4차년도 연구 목표인 버킷 끝단의 상대 위치인식 정확도 ± 35㎜ 이내를 만족함.
  →지면 위에서 버킷 끝단이 위치 가능한 13개의 위치에 대해 위치인식 소프트웨어에서 계산된 절대위치와 Total Station에서 측정된 절대위치를 비교하여 버킷 끝단의 위치 오차를 산출함.
  →Total Station은 이미 알고 있는 2개의 절대위치를 취득하여 내부 좌표계를 설정하는 후방교회법을 이용하여 측정함.
  →총 8개의 차체 방향각(0도, 45도, 90도, 135도, 180도, 225도, 270도, 315도)에 대해 각각 13개의 위치를 측정함.
  →수평 위치에 대한 오차는 평균 29㎜, 수직 높이에 대한 오차는 평균 28㎜이며, 정밀도는 1시그마 수준임.



<3D 가이던스 버킷 끝단 위치 검증 방법>

Test Condition	Bucket Tip Position Error			
Heading Angle(°)	Horizontal (mm)		Vertical (mm)	
	Avg.	Max.	Avg.	Max.
0°	30	76	25	44
45°	26	73	30	53
90°	30	61	30	57
135°	25	74	38	67
180°	25	88	42	51
225°	32	62	18	43
270°	40	79	12	14
315°	29	45	26	28
Total Avg.	**29**	-	**28**	-

<3D 가이던스 위치인식 정확도>

◎ 관련분야 기여도

○ 태블릿 기반 굴삭기 버킷 위치 디스플레이 시스템

- 3D 가이던스 S/W의 주요 경쟁사인 Trimble, Leica, Komatsu와 기술 수준 비교하기 위해 주요 기능 개발 유/무 기준으로 비교함

구분 1	구분 2	개수	Trimble (GCS900)	Leica (iCP40)	Komatsu (PC210i-11)	국책과제
표시	수평 가이드	21	14	3	10	4
	수직 가이드	14	9	9	9	8
	공동 가이드	27	12	19	21	19
	Sub Total	62	42	33	38	31
설정	수평가이드	6	2	5	5	1
	수직 가이드	12	6	6	9	6
	공동 가이드	7	1	4	6	2
	도면 관련 설정	17	8	6	15	7
	Sub Total	42	17	21	35	16
	Total	104	59	54	73	47

<3D 가이던스 S/W에 대한 경쟁사 대비 기능 비교>

- 경쟁사 3D 가이던스 S/W 대비 기능 수준을 백분율로 나타낸 것으로 국책과제 태블릿 앱 S/W는 Trimble의 80%, Leica의 87%, Komatsu의 65% 수준으로 나타났지만, 주요 기능의 개발 유/무 기준으로 한 것이라서 실제 주요 기능에서의 성능은 경쟁사 대비 동등 수준이라고 볼 수 있다.

	Trimble (GCS900)	Leica (iCP40)	Komatsu (PC210i-11)
기능 개수	59	54	73
백분율 (%)	80	87	64

<3D 가이던스 S/W에 대한 경쟁사 대비 수준 비교>

- 굴삭기 버킷 위치 디스플레이 시스템을 개발하여 목표 지형 모델과 굴삭기의 움직임을 운전자에게 가이드 하는 기술을 국산화할 수 있으며, 향후 자동화/무인화 굴삭기의 자동 제어를 위한 기반 기술로도 활용될 수 있어 선행개발 기간 단축에 기여할 것으로 보임.

- 굴삭기 버킷 위치 디스플레이 시스템의 예상 제작 원가는 약 2천7백만 원이며 Trimble, Topcon, Leica 등 해외 업체들로부터 시스템 전체를 공급받을 경우의 최저 원가인 4천만 원 대비 30%의 원가 절감이 가능하여 제품 경쟁력 확보에 기여할 것으로 보임.

제5장. 연구개발성과의 활용계획

1. 1세부-건설장비 통합관제 기술 개발

○ 1-1세부 연구개발성과 활용계획

- 통합형 건설장비 관제센터는 3차원 토공BIM 모듈, Web-GIS기반 Fleet Telematics system, 무선 AP Package, 이동형 관제차량으로 구성됨

- 3차원 토공 BIM 모듈 기술은 단지 및 택지개발, 법면공사 등의 대규모 토공현장에 적용이 가능하며 CAD엔진 기반 graphic component를 활용하여 기존의 Revit 플랫폼 등과 연계 활용이 가능함. 또한 정확한 구역별, 암질별 물량 산출을 통해 하도급 기성관리 및 원가관리를 수행하는데 활용될 수 있음. 종합하면 이 기술을 활용하여 작성된 3차원 토공 BIM모델은 현재 이슈가 되고 있는 제4차 산업혁명의 핵심 기술 중 하나인 BIM기술과 연계 호환성이 뛰어나고 정보화 기반 현장관리의 목적에 다양하게 활용될 수 있음

- Web-GIS 기반 Fleet Telematics system 기술은 자산정보 등록을 통한 건설장비의 관리, 건설 중 장비의 Utilization Time(working, idle time)분석을 통한 최적의 장비 조합군 제시, 토공 운반 장비의 위치를 정확히 파악함으로서 사토처리 오용방지 그리고 프로젝트 리포트 산출기능 등을 활용하여 궁극적으로 장비의 위치데이터와 Fleet 작업계획 모듈과 연계하여 실시간 생산성 분석, 최적 작업계획에 따른 가이드, 자산의 이동 경로에 대한 deviation control, 공정/비용 관리 등의 핵심적인 프로젝트관리 수행에 활용

- 무선 AP Package 기술은 통신환경이 좋지 않은 건설현장에 무선 Access Point를 설치하여 로컬 네트워크망 구축을 통한 통신음영구역을 극복할 수 있고, 802.11AC 프로토콜을 통한 300Mbps 이상의 속도로 현장정보 및 고화질의 CCTV 영상을 구축한 로컬 네트워크망을 통해 관제차량으로 보냄으로서 관제 및 안전사고 방지에 활용

- 이동형 관제차량은 정보화 기반 관제기술의 정수로써 로컬 네트워크망과 공인망을 이어주는 브릿지 역할을 하여 현장 내부의 정보를 현장 외부의 관제센터로 보내줄 수 있음. 또한 현장 내부에서 Web-GIS 기반 Fleet Telematics system과 무선 AP Package 기술을 활용하여 실시간 관제를 수행할 수 있는 환경을 제공하고 설계변경 등과 같은 현장 여건의 변화에 유기적으로 대처하기 위해 3차원 BIM 모듈 기술을 이용할 수 있는 플랫폼을 제공하여 어느 건설현장에서나 정보화 기반 관제를 수행할 수 있도록 함

- 위치추적 및 상황인식 시스템은 최적의 카메라 네트워크(카메라 수, 위치, 각도 등)를 제안함으로써 건설현장 CCTV 설치 및 배치 관련 의사결정을 지원할 수 있음. 2016년에 제정된 CCTV 설치계획 및 비용을 안전관리비에 계상하고 의무화하는 건설기술진흥법 제98조 및 제99조에 따라 급속히 증가하는 건설현장 CCTV 설치 이슈에 효과적으로 대응할 수 있음.

- 위치추적 및 상황인식 시스템은 수집된 건설현장 CCTV 영상에서 장비의 작업 데이터를 자동 생산

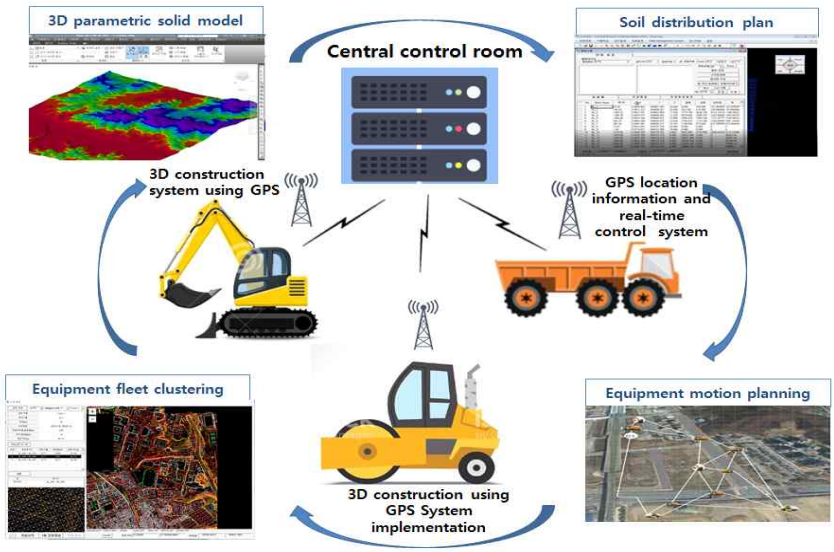
함으로써 기존의 수동적인 방법을 대체하여 비용을 크게 절감할 수 있음. 또한, 장비유형/현장조건별 생산성을 추가 분석하여 데이터 기반의 장비 생산성 모니터링이 가능하고 장비투입 의사결정(장비대수, 장비조합 등) 지원이 가능함.

- 위치추적 및 상황인식 시스템은 수집된 건설현장 CCTV 영상에서 작업자와 장비의 불안전한 행동, 안전규칙위반 등의 안전성 정보를 생산함으로써 현장관리자 및 안전관리자의 현장상황인식을 효과적으로 지원할 수 있음. 또한, 기존의 안전사각지대(중소규모 건설현장 등)의 한계를 보완하고 안전한 건설현장을 구현할 수 있음.

- 기 개발된 기술을 활용하여 향후 2단계 연구에서는 머신가이던스 기술 적용이 되는 굴삭기를 포함한 다양한 건설장비의 생산성 및 통합 관제를 위해 지속적으로 3차원 토공BIM 모듈, Web-GIS기반 Fleet Telematics system을 각 장비별 특성을 고려하여 업데이트할 필요성이 있음.

- 2단계 연구에서는 초기 As-planned 계획(3차원 모델, 투입 장비제원, 장비 생산성, 작업계획 등)을 활용하여 5D(3D+cost+time)BIM 설계기술 개발 또한 필요할 것으로 판단됨. 시공 중 주기적인 3차원 스캐닝(드론 스캐닝, 레이저스캐닝)을 통해 변화된 지형 및 물량을 체크하고, 진도관리를 위해서 공사 참여자(발주처, 시공사, 협력업체 등)의 일일 작업현황 체크 및 As-built 계획을 활용한 EVMS(Eared Value Management System)을 접목하여 초기 설계단계부터 시공이 완료되는 시점까지 지속적으로 작업계획을 관리할 수 있는 통합형 BIM 기술 개발이 요구됨.

○ 1-2세부 연구개발성과 활용계획



<플릿 관리 시스템 개요도>

- 다종 및 다수의 건설장비를 위한 작업계획 및 경로계획 기술 개발

- 실제 현장에서 이루어지는 건설작업의 효율적인 운용을 위한 작업계획과 건설장비의 경로를 제공함으로써 현장관리자 및 장비 운전자에게 유용한 정보를 제공함.

- 전체 시스템의 효율을 높이기 위한 건설장비들 간 협업을 위한 정보제공 기능 개발

- 실시간으로 각 장비별 협업 정보를 제공함으로써 대단지 토공현장에서 장비의 고장이나 기타 돌발

적으로 발생하는 현장의 상황에 유연하게 대처함으로써 현장의 전체 생산성 향상을 가져옴.

▪ 실제 현장에서 다수의 다종의 건설장비가 투입되는 상황을 고려하여 개발 기술 수준을 설정함

- 현장별로 운영되어지는 장비의 협업을 제공되는 정보에 의하여 작업이 이루어지게 하며 그로 인한 현장의 기민한 대처가 이루어짐.

○ 1-3세부 연구개발성과 활용계획

▪ 건설기계장비의 머신가이던스 및 머신 컨트롤을 위한 기초 자료로써 작업계획 및 공정관리 등 플릿매니지먼트를 위한 다양한 분야에 폭넓게 활용가능 함.

▪ 토공 현장의 변화를 3차원 포인트 클라우드로 취득함으로써 토공현장의 변화량을 정량적으로 표현 가능하며 이를 활용하여 토공사 공정에 대한 진척도를 상세히 파악이 가능함.

▪ 토공사 뿐만 아니라 건설현장에 대한 디지털 맵 구축을 위한 핵심기술 확보가 가능해짐에 따라 현실과 가상의 세계를 연결한 사이버물리시스템(CPS) 구축에 활용 가능 함.

▪ 기 개발된 기술을 활용하여 향후 2단계 연구사업에서는, 드론 촬영 토공량 산출 및 분석기술, 디지털맵 기반 현장분석기능(작업현장 위험성분석, 최적 운반로 도출 알고리즘 등) 및 인공지능 기반 현장인식기술 고도화 등의 연구수행 가능. 특히, 드론 촬영 데이터 해석시, 노이즈인 것과 노이즈가 아닌 것을 포인트클라우드 데이터로부터 구별하는 것인데, 산악지형의 토적량 산출을 위해서는 드론촬영으로 얻어진 포인트클라우드 데이터를 지모와 지물로 구별할 수 있는 데이터 처리 알고리즘 개발이 필요함.

○ 1-4세부 연구개발성과 활용계획

▪ 토공장비 중 도저를 대상으로 종래의 경험적 방법에 의존하지 않고 과학적 연산절차에 의해 실질 구동력을 도출해냄. 따라서, 현장조건 및 장비제원 정보에 따라 적합한 최적의 장비 운영안을 제시함. 이는 곧 소요시간 단축과 에너지 절감으로 이어지는 효과를 얻음.

▪ 또한, 현재 토공장비를 대상으로 하는 친환경 연구들은 장비자체의 온실가스 배출저감 혹은 장비자체의 효율향상에 주목하고 있음.

▪ 하지만 본 연구는 기존장비들을 대상으로 장비운용계획단계에서부터 적용 가능케 함으로서 학문적 파급효과와 추후 더 많은 토공장비를 대상으로 활용할 수 있는 계기가 됨.

▪ 추가적인 장비가 필용하지 않은 안드로이드 오픈소스 기반의 어플리케이션으로 개발됨. KT경제경영 연구소에 따르면 국내 스마트폰 보급률은 91%로 나타났음.

▪ 이는 경제적 관점에서 본 시스템의 이용에 있어서 추가적 장치개발이 요구되지 않음을 의미함.

- 또한 사회적 관점에서 입력해야 할 요소들을 자동으로 불러오거나(센서 및 api활용한 환경변수 수집) 간단한 드롭 다운 메뉴 선택으로 구성하여 누구나 사용할 수 있도록 구성됨.

- 이는 장비사용 및 운용단계에서 사용자에 크게 관계없이 활용 할 수 있을 것으로 기대됨.

2. 2세부 - 건설장비 가이드 기술 시스템화

○ 2-1세부 연구개발성과 활용계획

- 스마트 건설장비 가이드 기술은 3D 토공 BIM 기술을 바탕으로 개발됨. 3D 토공 BIM에서는 3D 지형도를 활용하여 토공작업 착수 이전의 원지반고, 토공작업 중의 현 시공 지반고, 그리고 토공작업 완료 이후의 계획고를 표현함. 이와 같은 3D 지형도가 제공되면 원지반고와 계획고를 비교하여 전체 토공작업물량을 계산할 수 있으며, 현 시공 지반과와 계획고를 비교하여 잔여작업물량을 계산할 수 있음. 즉, 스마트 건설장비 가이드 기술은 토공작업에 대한 관리체계로 활용될 수 있음.

- 3D 토공 BIM은 토공작업 과정에서 굴삭 작업과 관련한 다양한 정보를 제공. 예를 들어서, 3D 토공 BIM은 토공작업에 투입된 굴삭기, 도저, 모터 그레이더 등 건설장비의 작업현황에 대한 정보를 제공함. 3D 토공 BIM이 제공하는 건설장비에 대한 작업현황정보는 개별 건설장비의 작업시간, 지연시간, 작업경로 등에 대한 정보를 제공하여 개별 건설장비와 플릿형 건설장비의 생산성을 파악할 수 있으며, 이러한 작업현황정보를 데이터베이스에 저장하여 건설사업관리시스템 (PMIS)과 통합하여 활용될 수 있음.

- 현재 한국토지주택공사(LH)는 LH 드론-웍스 운영시스템을 구축하고 있음. LH 드론-웍스 운영시스템은 그동안 개별적으로 업무에 활용하던 드론을 설계와 시공, 유지관리 등 건설공사의 라이프사이클 전반에 걸쳐서 일괄적으로 적용하는 건설관리 및 시공체계를 의미. LH 드론-웍스 운영시스템이 적용될 경우 건설장비 가이드 기술은 한국토지공사에서 시행하는 단지개발 과정에서 드론이 제공하는 지형정보와 결합하여 스마트한 토공작업을 할 수 있는 기회가 될 것으로 사료됨. 이 경우 드론을 이용하여 원지반고와 토공작업 결과 생성되는 시공 지반고 등 3차원 지형정보를 이용하여 대상 토공작업 부지에 대한 토공량을 분석할 수 있고, 굴삭기, 도저, 모터 그레이더 등 건설장비 조종원에게 굴삭 깊이, 굴삭폭, 굴삭경사 등 굴삭정보를 제공하여 토공작업의 생산성을 높일 수 있음.

○ 2-2세부 연구개발성과 활용계획

- 작업자 인식 관련 선행 연구는 건설장비-작업자 간 거리 변화, 작업자 형태 변화, 작업자 상태 등에 활용성이 떨어지는 반면, 본 연구과제에서 도출한 결과는 이러한 다양한 환경 변화와 무관하게 작업자 인식이 가능함에 따라 건설장비와 작업자의 충돌 및 협착으로 인한 안전사고 가능성을 차단하는데 효과적으로 활용될 것임.

- 건설장비 운전 중 발생하는 산업재해로 인한 경제적 손실비용과 근로손실일수가 각각 약 1.6조원, 약 400만 일임을 고려할 때 (한국산업안전보건공단, 2012), 작업환경 인식 및 운전자 행태 분석 기반의 건설장비 가이드 시스템은 작업 흐름의 유지, 품질 확보, 작업자 생산성 향상에 기여함으로써 건설 프로젝트의 경제적 손실비용을 감소시킬 뿐만 아니라 건설 생산성을 향상시키는데 활용될 것임.

- 작업환경 인식 및 운전자 행태 분석 기반의 건설장비 가이드 시스템은 건설장비 지능화의 핵심기술로 활용될 수 있으며, 이를 통해 건설 산업의 재해율을 감소시켜 타 산업에 비해 위험한 산

업으로 인식되는 건설 산업의 이미지를 제고하는데 기여할 것임.

○ 2-3세부 연구개발성과 활용계획

- 건설장비 AR-어라운드 뷰 네비게이터 기술은 토공 건설장비에 적용되어 건설업 전반의 생산성 및 효율성을 제고하는 성과를 제공할 것이며, 더 나아가 기존 증강현실과 어라운드 뷰 기술에 비해 발전된 트래킹, 칼리브레이션, 고속화 알고리즘 등을 통해 항만 및 항공 등의 비정형 대형 장비 분야로의 확대 적용도 가능할 것으로 기대됨.

- 최근 증강현실과 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 시스템의 개발 동향은 시스템을 다양한 분야로 확장하고자하는 노력을 기울이고 있는 실정임. 이에 발맞추어 본 연구가 성공적으로 수행될 경우 관련 연구 및 기술개발 분야의 선두주자가 될 수 있으며, 실용화 및 사업화 가능성도 매우 클 것으로 기대됨.

- 본 연구를 통해 개발될 건설장비 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 시스템은 국내 실정에 적합하고 국제적 수준의 기술력을 지닌 최첨단의 건설장비 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 시스템이 될 것으로 기대됨. 해당 시스템은 건설/비건설 관련 대형장비 뿐 만 아니라 굴삭기, 도저와 같은 특수 건설장비의 특성을 반영하여 적용될 수 있으므로, 건설장비가 활용되는 모든 건축/토목 공사에 활용될 수 있으며, 건설장비 개발업체 등 다양한 기술수요처가 존재할 것으로 기대됨.

- 또한 건축/토목 공사에서의 건설장비 활용의 지속적인 증가와 건설산업의 대형화, 다양화, 복잡화 등을 감한해 볼 때, 개발된 시스템의 적용 범위 및 효과는 매우 클 것으로 판단됨. 본 연구 결과물의 현장 적용성 및 기술적/경제적 타당성이 확보될 경우, 국내 민간 기술이전 및 해외 시장으로의 발전 가능성도 무한할 것으로 예상됨.

○ 2-4세부 연구개발성과 활용계획

- 태블릿 기반 굴삭기 버킷 위치 디스플레이 시스템은 목표 지형 모델과 굴삭기의 움직임을 운전자에게 가이드 하여 토공작업의 생산성을 향상시키며, 세계적으로 확대되고 있는 건설현장의 자동화 기술이나 연료량, 가동시간 등의 차량 기본 정보를 수집하는 역할이 가능하므로 테레메틱스 관제시스템을 이용한 Fleet Management 기술과 연계되어 활용될 것으로 기대됨.

- 태블릿 기반 굴삭기 버킷 위치 디스플레이 앱 S/W는 개방형 소프트웨어 플랫폼이 적용된 타 하드웨어에 탑재하여 활용될 것으로 기대됨.

- 태블릿 기반 굴삭기 버켓 위치 디스플레이 시스템 1단계 연구에서 도출 된 핵심성과를 바탕으로 가격 경쟁력이 우수한 2D Machine Guidance 시스템을 양산할 계획을 수립하고 있음.

- 태블릿 기반 굴삭기 버켓 위치 디스플레이 시스템의 핵심성과인 위치인식 S/W 원천기술의 확보와 Gateway H/W와 범용 태블릿 간의 WiFi-Direct 통신 기술을 확보하는데 의의가 있으며 해당 기술을 바탕으로 2단계 연구에서 실용화를 위해 다음과 같은 목표를 수립할 예정임.

  - 클라우드 기반의 3차원 측량 데이터 연계

- 사용자 편의성을 고려한 3차원 타겟 모델생성 모듈 탑재

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

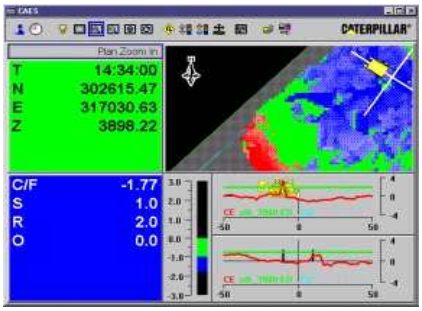
1. 1세부-건설장비 통합관제 기술 개발

○ 국내 · 외 기업별 능력을 정리하면 다음 표와 같음.

기업명(국적)	기업별 능력	중점 분야
Trimble (미국)	▪ GPS 시스템을 이용하여 위치정보를 실시간으로 업데이트 ▪ 장비 내에 설치된 Man-Machine-Interface 의 모니터 상에 CAD 설계정보와 오버랩하여 보여 줌. ▪ On-Board 시스템이기 때문에 원격조종의 기능은 갖고 있지 않음.	자동화 핵심 부품 제작
Fujita (일본)	▪ 입체영상, 그래픽을 이용하고 GPS 데이터에 근거하여 원격조종이 가능케 함. ▪ 최적의 토량 배분을 고려한 장비의 진로 계획과 같은 시공계획 지원 기능을 보유하고 있지 않음.	정보화 시공
Caterpillar (미국)	▪ 건설장비를 제작하는 기업. ▪ 무인 토공 시스템 개발하여 상용화 함.	장비 제작
스미토모 건설 (일본)	▪ 도로 토공 총계 관리 시스템 SEAMS-it’ 을 시즈오카시의 대규모 공사에 전면 채용해 공사 간략화를 도모하면서 정밀도가 높은 ‘성토 품질 관리’ 로 전체의 ‘공사 진척 관리’ 을 할 수 있음을 실증함.	정보화 시공
마에다 건설 (일본)	▪ 무인화 시공 작업에서 약 1,000m 정도 떨어진 장소에서 라디오 컨트롤로 건설 기계를 원격 조종해 토사의 굴착 · 적재, 운반, 정지 및 암반 파쇄를 할 수 있는 ‘무인화 기계 토공 시스템’ 을 개발하고 (사)일본 건설 기계화 협회의 건설 기술 심사 증명을 취득함.	정보화 시공
오바야시구미 (일본)	▪ 부지조성이나 도로 토공, rock-fill dam 등의 성토 공사에 있어 고도 종합 정보화 시공을 통해 고정밀도로 시공 관리를 간소화하는 고정밀도 성토 관리 시스템 'COMPACT'를 개발, 실용화함. ▪ 'COMPACT'은 실시간 처리로 고정밀의 성토 다짐 관리를 실현한 시스템임. 이 시스템은 GPS를 이용해 롤링을 행한 진동 롤러의 주행 위치나 작업 상황을 3 차원으로 추적 관리하고 롤링 장소와 롤링 회수를 종합적으로 관리함.	정보화 시공

기업명(국적)	기업별 능력	중점 분야
POC (일본)	▪ 대형 중장비를 이용한 토목공사에 무선 LAN을 도입함. 즉, 원격조작 무인 시공을 실시하는 방법과 결과에 대한 검증을 수행하여 가능성을 확인하여 위험한 작업지역에 무선 원격조작에 의하여 건설 토목공사를 할 수 있게 하는 기초를 확보함.	자동화 핵심 부품 제작
두산 인프라코어 (대한민국)	▪ 지능형 굴삭 시스템 개발 연구 주관기관으로서, 굴삭로봇의 완전 자동화 기술을 구현하였으며 각종 계획 및 측량 기술의 지능화와 컨트롤 스테이션 개발 등의 선도 기술을 보유하고 있음.	장비 제작
Leica Geosystems (미국)	▪ 필드를 대상으로 하는 대형 고속 3D 레이저 스캐닝 분야에 가장 잘 알려진 업체로서 주요 생산 품목은 TPS, 레이저 측량계, 3D 레이저 스캐너, 3D 레이저 트래커 등이 있음. ▪ 주요 사업 분야는 항공기 제작, 토목, 공장 자동화 분야 등임.	자동화 핵심 부품 제작
Riegl (오스트리아)	▪ 레이저 측량계 및 3D 레이저 스캐닝 기술이 세계적으로 가장 우수한 성능의 업체로서 3D 레이저 스캐닝 기술과 디지털 영상 정보를 동시에 지원하며, 리버스 엔지니어링(Reverse Engineering) 분야에서 가장 선도 기술을 보유하고 있음.	자동화 핵심 부품 제작
ESRI (미국)	▪ GIS and Mapping 소프트웨어 개발	소프트웨어 개발
Mitsubishi (일본)	▪ 다자유도 Manipulation 설계 및 제어기술	메커니즘 및 제어
Mapinfo (미국)	▪ Mapping 관련 소프트웨어 개발	소프트웨어 개발
Tuck(독일)	▪ 다양한 센서 기술 개발	센서 개발
iRobot(미국)	▪ 센서 기반의 로봇 주행 지능제어 기술	지능제어
Sensible Tech.(미국)	▪ 실감형 다자유도 조작기 및 SDK기술	메커니즘 설계
TOPCON (일본)	▪ 측량기기 제조 업체. ▪ 프로젝트 관리 소프트웨어 DynaRoad를 이용한 생산성 평가 및 시공 일정 관리.	소프트웨어 개발
SANY (중국)	▪ 원격제어기능을 이용한 굴삭기 동작 제어. VR 기능을 이용하여 먼 거리에서도 굴삭기 자동 제어가 가능하게 함. ▪ 운전기사, 설비주인, 대리상, 연구인원 4개 고객 군을 대상으로 설비관리, 서비스 지원, 시장분석, 통계 관리, 빅데이터 분석의 5개 기능을 제공함. 손쉽게 건설 장비의 운행 궤적과 상황을 확인할 수 있음. ▪ 정밀도가 높은 GNSS 신호를 이용하여 굴삭기 버킷 위치의 정확한 계산이 가능함. 버킷의 3D 위치를 이용하여 자동 제어 시공을 유도할 수 있음.	정보화 시공

○ 국내 · 외 기업별 기술을 정리하면 다음 표와 같음.

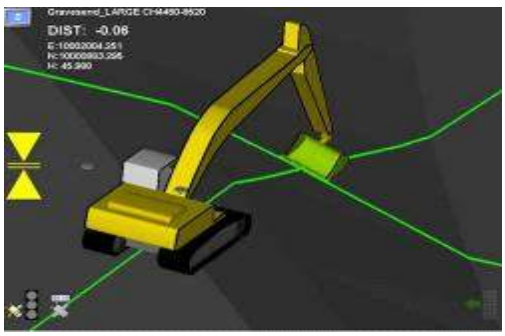
기업명	Trimble
시스템 및 장비명	토공자동화 시스템
개발기술 및 장비	- 그래픽을 이용한 머신 가이던스의 예로서 이들 시스템은 불도저, 다짐기, 굴삭기 등의 토공장비의 실시간 위치정보를 GPS 시스템을 이용하여 실시간으로 업데이트 하여 장비 내에 설치된 모니터 상에 CAD 설계정보와 오버랩하여 보여줌으로써 장비 운전자에게 절토위치와 성토위치에 대한 정보를 제공함. - 본 HMI(Human-Machine Interface, 장비-조종자 인터페이스)를 이용하면 기존의 토공작업 시 요구되던 측량말뚝을 설치할 필요 없이 조종자는 어느 부분을 절토 혹은 성토를 해야 할 지를 그래픽정보에 준하여 알 수 있게 되므로 매우 효율적인 토공작업을 수행할 수 있게 됨. - HMI를 위한 디스플레이 장치는 장비 운전자는 버튼을 조작하여 토공 작업을 위한 위치정보를 확인하고, 터치스크린을 조작을 통해서 효율적인 토공작업 수행이 가능함.
비고	 토공자동화를 위한 HMI  그래픽 HMI 스크린
차별화/실용화	- 가이드 기술력 수준은 매우 뛰어나나, Fleet 기술과의 연계성은 현재 미진한 상황임. 국내 건설시장의 진입은 여전히 미흡함. - 이는 국내 시장 여건을 반영하지 못한 기술개발로 판단됨. 단순하고 Ready-to-use, UX 수준이 높고 기술 장벽이 낮도록 구성할 계획임.

기업명	Trimble
시스템 및 장비명	CS900 on a Motor Grader with Dual GPS
개발기술 및 장비	- 듀얼 GPS가 장착되어진 그레이더로써 3D 컨트롤 시스템에 의한 설계 표면 시공이 가능함. - GPS를 이용하여 날의 방향이 측정되어 정확한 위치 및 정확한 경사로 공사가 가능함. 이 제품은 특히 고도의 그레이딩 작업이 필요한 복잡한 표면에 유리하며 큰 현장, 장기 공사 및 다중 위상 프로젝트에 이상적임. - 컴퓨터에서 위치 정보를 사용하여 절토 및 성토 여부를 확인하고 설계 표면과 비교함. 이 정보들은 컨트롤 박스 화면에 계획, 단면 부 그리고 텍스트로 표시됨. - 도로 및 고속도로, 댐 및 간척 등 대형 프로젝트에 적합함.
비고	

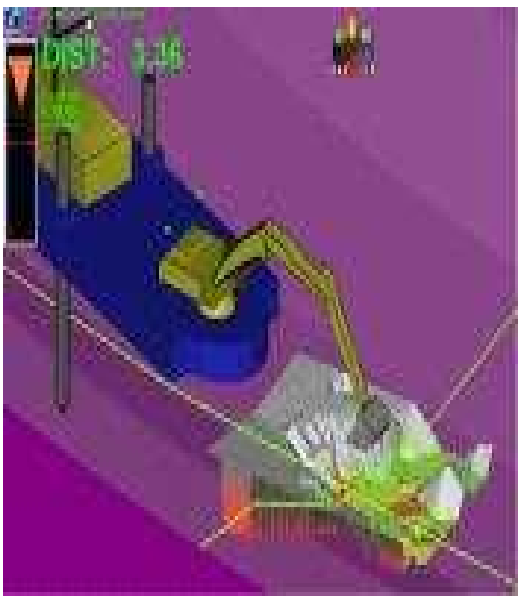
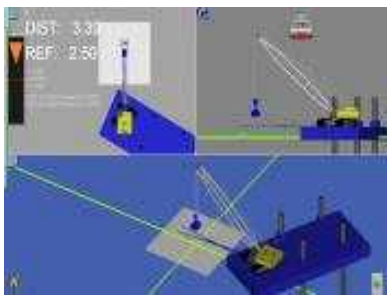
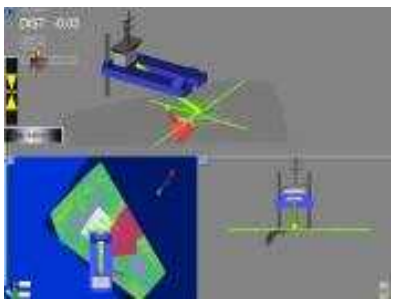
기업명	Trimble
시스템 및 장비명	GeoManager (Fleet Solutions)
개발기술 및 장비	- Fleet Productivity : 실시간 위치정보 및 운송 관리, 운전자와 엔지니어의 직접 통신 - Fuel Reduction : 차량의 지나친 과속 및 공회전 관리, 차량 유지보수 스케줄관리 - Driver Safety : 차량 과속 최소화, 위험지역 궤도차량 관리, 긴급 상황 알림 - Environmental Impact : 과속 및 공회전, 경로 편차와 같은 탄소 방출의 원인 활동을 감소 - Asset Utilization : 장비 고장의 위험을 낮추어 부품의 마모를 감소, 자산 사용보고를 자동화 - Business Intelligence : 운전자와 기술자의 의사소통 개선 및 정확한 추적으로 초과 근무 비용 절감
비고	

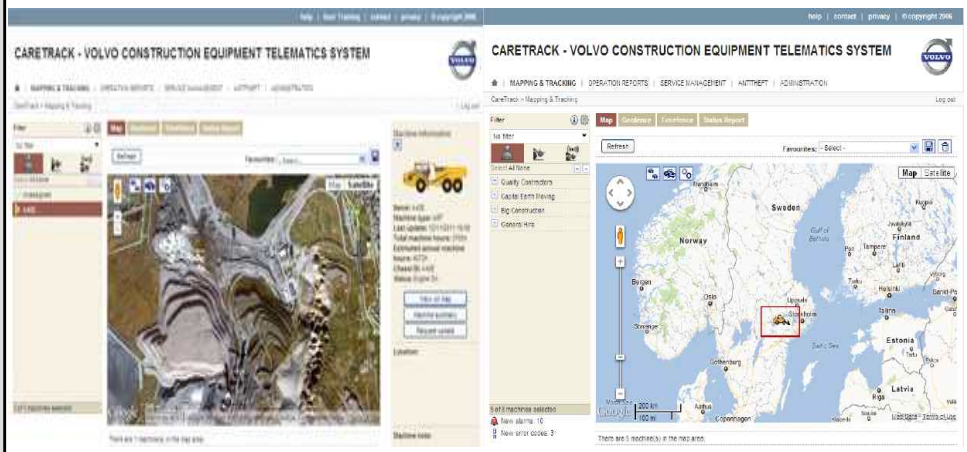
기업명	Sokkia
시스템 및 장비명	3D-MC(Machine Control) GNSS(Global Navigation Satellite System) 굴삭기
개발기술 및 장비	- 정지 작업에서 배토 판의 높이 자동제어가 가능함. - 고저차가 큰 현장이나 복잡한 형태의 현장에서도 실시간으로 절토량, 성토량을 확인하며 작업이 가능함. - 설계면을 기초 데이터로 사용하여 최소한의 운행 회수로 작업이 가능. - 후진 시공의 경우 배토 판의 높이를 자동으로 제어하여 운전자가 후방 확인에 집중, 작업의 안정성과 마무리 정도가 향상됨.
비고	

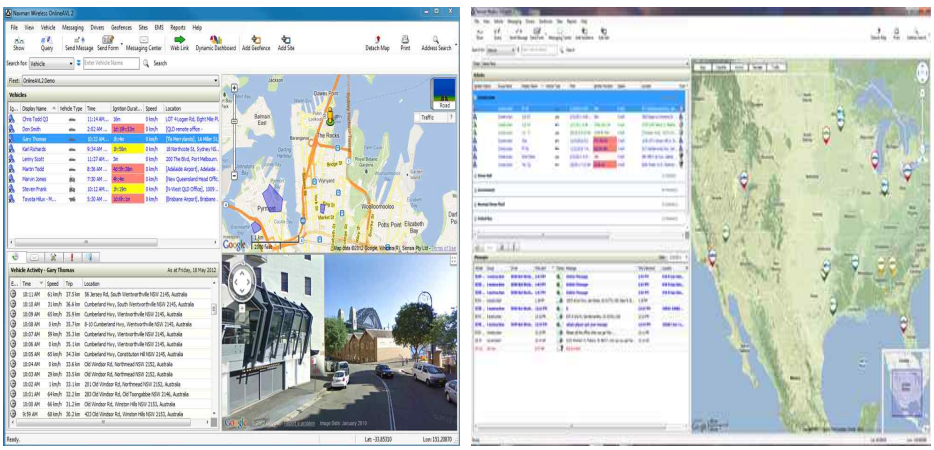
기업명	Sokkia
시스템 및 장비명	3D-MC mmGPS 모터그레이더
개발기술 및 장비	- 설계면에 따라 고정도로 배토 판을 자동 제어함. - 복수구배와 3차원 곡면 등의 복잡한 설계에도 높은 정도를 유지하며 자동화가 가능함. - 복잡한 조작이 요구되는 모터그레이더의 주행을 핸들과 가속페달만의 간단한 조작으로 가능함. - 시스템은 GNSS 수신기 MC-R3, mmGPS 센서 MainFall, UHF 모뎀, 유압밸브, 레이저 발신기, 회전센서, 경사센서로 이루어져 있음.
비고	

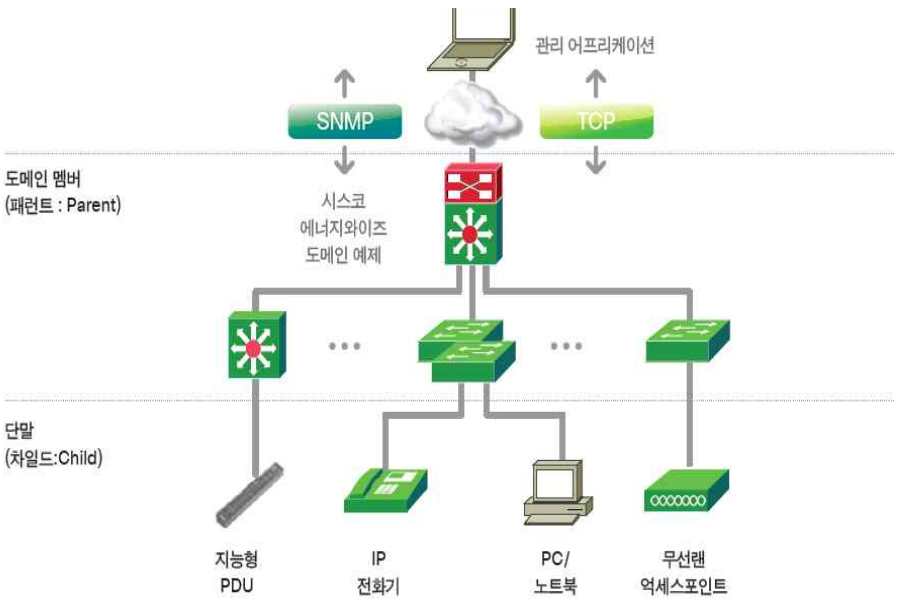
기업명	PROLEC
시스템 및 장비명	3D Machine Guidance grade control systems
개발기술 및 장비	- Digmaster Pro 3D를 이용하여 건설 기계를 제어하는 시스템으로 디지털 지형 모델 또는 프로젝트의 디지털 디자인은 컴퓨터에 디스플레이 됨. - 정밀 센서를 이용하여 버킷과 블레이드의 정밀한 제어와 추가로 위치 센서인 GNSS를 이용하여 실시간으로 정확한 설계 모델을 보여줌. - 디스플레이를 통하여 작업자는 현장에 자신이 정확히 어디에 있는지, 어디를 작업해야 할지 알 수 있음. 또한 계획 대비 작업 진행 정도도 알 수 있으며, 이 시스템을 이용하여 토공사, 도로 건설, 굴착 등 각종 토공사에 폭넓게 사용 가능함.
비고	 

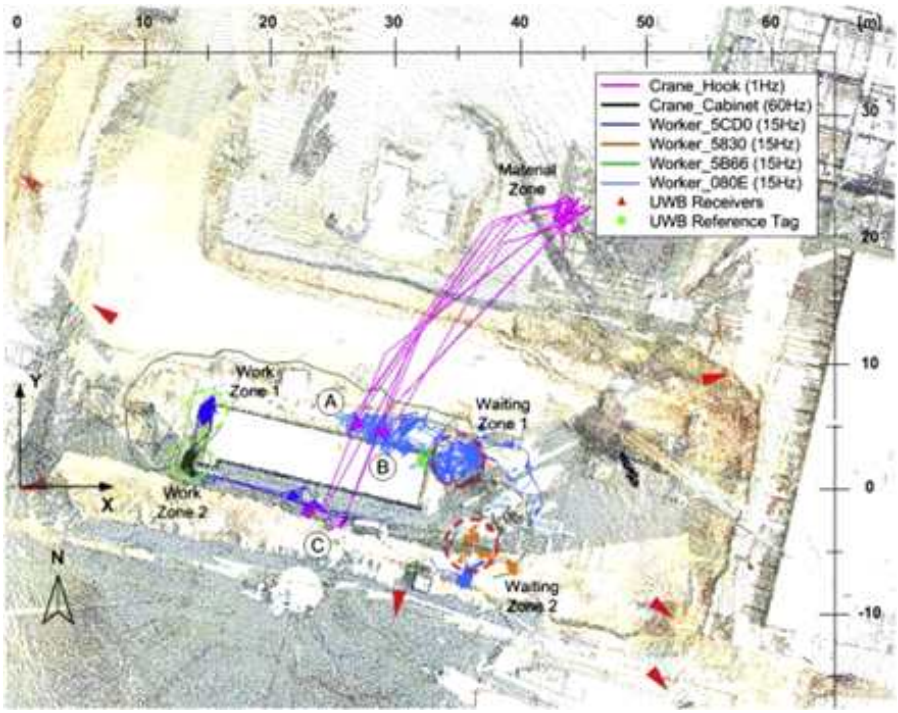
기업명	PROLEC
시스템 및 장비명	Digmaster Pro - 3D
개발기술 및 장비	- Digmaster 프로는 굴삭기를 2D/3D 기반으로 제어하는 시스템으로 디지털 지형도 생성 및 디스플레이 시켜주는 시스템임. 3차원 디지털 지형도는 대상 지형의 자동 줌과 보는 다른 각도에서 관찰 할 수 있음. - 작업자가 쉽게 사용 할 수 있도록 아이콘을 기반으로 한 인터페이스를 갖추었으며, 모든 데이터는 실시간으로 전송됨. - 시스템 적용시 정확도 향상과 공기 단축, 안전성 증가 및 연료 사용량 감소 등이 있음. Digmaster Pro의 용도는 일반 토공사 및 현장 준비, 도로건설, 트렌치 공사, 수로 공사 등이 있음.
비고	 

기업명	PROLEC
시스템 및 장비명	PCX-PRO
개발기술 및 장비	- PCX-Pro는 기계 제어 시스템으로 Digmaster-Pro와 유사한 인터페이스를 가지고 있으며 터치스크린 방식임. - 높은 정확도와 빠른 실시간 데이터 전송 속도를 가지고 있으며, 수중 작업 및 시야 확보가 힘든 현장에서 사용 할 수 있음. - PCX-PRO는 설계와 시공의 매개체로서 원활한 설계변경이 가능함. 또한 측량 감소, 정확성 향상, 공기 단축, 안전성 증가 등 생산성이 향상 되었고 일반 토공사, 도로 건설, 유지보수 및 드릴링 등에 유리함.
비고	  

기업명	Volvo
시스템 및 장비명	Caretrack
개발기술 및 장비	- GPS를 통하여 24시간 장비를 관리 감독할 수 있으므로 현장간의 거리가 광범위한 미국의 경우, 타 현장의 장비를 보다 효과적으로 관리하기 위한 방안으로 Fleet management가 사용되고 있음 - Volvo의 Caretrack은 건설장비 전문회사의 특징을 살려 맞춤형 건설장비 관리가 가능하도록 장비의 운영시간 파악과 위치 파악을 통해 운휴장비가 없도록 하는 기술과 장비의 실시간 위치정보 뿐만 아니라 건설장비의 연료 상황까지 파악을 통해 오랜 기간 장비를 이용할 수 있도록 수명을 예측하는 서비스를 제공하고 있음.
비고	

기업명	NAVMAN WIRELESS
시스템 및 장비명	OnlineAVL2
개발기술 및 장비	- NAVMAN WIRELESS의 OnlineAVL2는 Fleet management 솔루션으로 다음과 같은 기능을 가짐. - 인스턴트 정보 : 실시간으로 차량과 장비의 Tracking, 배달 확인 및 관리가 가능하여 작업자의 생산성을 극대화함. - 경고 기능 : 가상 경계면의 출입, 장비 운전자의 과도한 속도, 대기시간 등을 실시간으로 알림. - 종합적 보고 기능 : 자동 요약보고서 작성 기능 - Cost Saving 기능 : 연료 낭비, 부적절한 사용 및 불필요한 급여시간을 보고함. - 지도상에 차량의 작동 여부, 위치, 속도 등을 실시간으로 알 수 있으며, 메시지 전달 및 스케줄 확인 가능함.
비고	

기업명	SAP & 시스코
시스템 및 장비명	에너지 와이즈(Energy Wise)
개발기술 및 장비	- SAP와 시스코는 기업의 탄소 배출량을 감시하고 절감하는데 도움을 제공하는 툴과 서비스를 제공함. - SAP는 탄소 측정 서비스를 제공하는 클리어 스탠다드(Clear Standards)를 지난 2009년에 인수했고 시스코는 에너지 사용량과 요구조건을 추적하고 감시하기 위한 에너지 와이즈(Energy Wise) 제품군을 제공함. - 에너지 와이즈는 도메인 멤버에 해당되는 스위치 및 라우터 장비에 적용된 에너지 제어 정책에 따라, 연결된 단말 장치의 에너지를 자동적으로 제어 가능함. - 통합 관리 애플리케이션을 통해 손쉽게 운영하고 관리함으로써 전사 차원에서의 에너지 사용 현황과 통계 및 추세를 파악할 수 있고, 에너지 측정, 분석, 리포팅, 정책 적용과 같은 에너지 제어 순환 기법을 활용하여 에너지 비용을 절감할 수 있음. - 용산구청은 2010년 4월 신청사 중공과 함께 에너지 와이즈를 도입해 통신장비 전반의 전력 사용 실태를 자동 모니터링을 통해 상당부분의 전력사용량을 절감하고 있음.
비고	 에너지 와이즈의 시스템 구성도(출처: www.cisco.com)

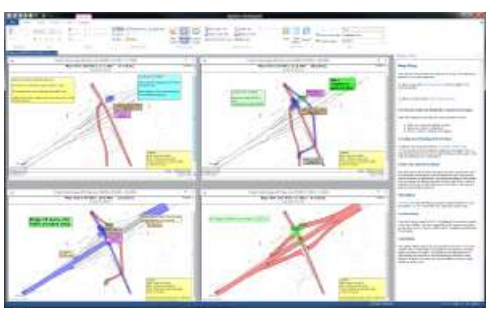
기업명	Georgia Tech
시스템 및 장비명	실시간 위치 추적 시스템
개발기술 및 장비	- Georgia Tech에서 개발한 실시간 위치 추적 시스템은 다양한 종류의 건설관리 업무에 사용될 수 있음. - 건설장비, 인력 및 자재들의 위치 데이터는 프로젝트 진도 관리, 현장 안전 관리, 생산성 분석, 공정 관리 등에 유용한 정보가 됨. - 주로 무선 주파수 기술을 기반으로 한 RFID (Radio Frequency Identification), GPS (Global Positioning System), UWB (Ultra Wide Band) 등이 현장에서 위치 추적 시스템으로 적용되고 있음.
비고	

기업명	타이완 PSVT®
시스템 및 장비명	Virtual 360TM 시스
개발기술 및 장비	- 일반 차량 뿐 아니라 다양한 차량형 건설장비에 대해 적용이 가능하도록 Virtual 360TM 시스템의 범위를 확장시키고 있음.
비고	

기업명	독일 Continental
시스템 및 장비명	ProViu 360 시스템
개발기술 및 장비	- 특수차량 혹은 건설용 차량을 위한 카메라기반의 360° 모니터링 시스템인 ProViu 360을 개발하였으며, 현재는 시스템의 현장 테스트를 위해 공개를 준비하고 있음.
비고	 

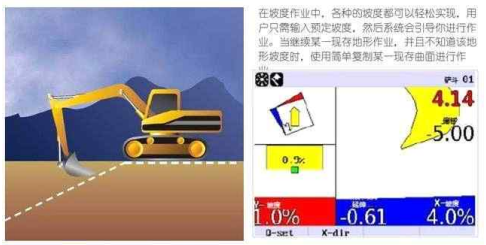
기업명	스웨덴 Husqvarna
시스템 및 장비명	DRX310
개발기술 및 장비	- 건축 구조물 해체와 같은 위험지역에서의 중장비 무인-원격화를 위해 조작 장치 내 비상정지, 해머의 충격량/모드 조정, 움직임 제어 등의 모니터링 기술을 적용하여 사용자의 편의성 증대를 도모함. - 4.7인치 고휘도 TFT 모니터, 시스템 외부 LED 등을 통해 해체작업의 상황 및 유압/전장부 정보를 제공하는 등 시스템 운용 전반의 상황을 작업자에게 제공함. - Blootooth 통신 방식을 채용하였으며, 모듈 타입의 CAN 기반의 PLC를 채택하여 극한환경의 견실한 제어-통신 성능을 나타냄.
비고	 

기업명	Bobcat
시스템 및 장비명	Loader Radio Remote Control Systems
개발기술 및 장비	- 유인 로더 중장비의 접근이 어려운 협소한 지형이나 위험지역에서도 보다 용이하고 효율적인 작업을 목적으로 개발되었음. 원격 조종시스템 내부 Tilt 센서를 이용하여 기울기 45도 이상이 될 경우, 조종기의 동작을 제한하는 안전장치를 사용하였음. 또한, 작업자가 조종기를 떨어트리는 경우에 버튼, 조작기 등의 오작동을 방지하기 위한 안전 프레임이 적용되었음. - Loader의 최대 속도 10km/h의 조작성능을 낼 수 있으며, Frequency Hopping Spread Spectrum(License Free 2.4GHz per FCC PART 18)방식을 채용하여 최대 통신범위 500m내 안정적 통신이 가능하도록 함.
비고	 

기업명	TopCon
시스템 및 장비명	DynaRoad
개발기술 및 장비	- 인프라 건설 프로젝트를 위한 Topcon의 프로젝트 관리 소프트웨어 - 질량 균형 및 운반 거리 계산, 설계alc 대체 계획의 비용 평가 - 위치 기반 일정, 수량, 자원 및 생산속도를 지도상에 표시 - 프로젝트 실행 제어
비고	 

기업명	SANY
시스템 및 장비명	SY215 VR
개발기술 및 장비	- SANY 제 3세대 원격 제어 굴삭기는 일반적인 조작, 단거리 원격 제어 이동 작업, 원격제어조종실 조작, 원격 제어지휘차 조작 등 다양한 조작 패턴을 가지고 있음. - 단거리 원격 제어 이동 작업은 맞춤형 굴삭기 전용 리모콘을 이용하여 작동함. 굴삭기에 장착된 RF 숫니기가 신호를 받아들인 후, 굴삭기 메인 컨트롤러에 신호를 보내 기계의 동작을 제어함. 최대 2000m의 원격제어가 가능. - 원격제어조종실 조작은 HD 카메라 시스템으로, 굴삭기 이미지 캡쳐한 후 VR 안경, 전면 이미지, 360도 파노라마 이미지 무선 전송을 통한 원격 조작을 함. - 원격제어 지휘차 조작. 차량에 탑재하여 작동함. 차량용 배터리를 배치하기에 강한 항송력을 가짐. 이동의 편리성, 굴삭기 각도를 필요에 따라 조절할 수 있는 강점을 가지고 있음.
비고	  

기업명	SANY 三一重工
시스템 및 장비명	易维讯
개발기술 및 장비	- 易维讯는 Sany 지능화 서비스 체계의 핵심 제품이로서 주로 4 개 고객군, 운전기사, 설비주인, 대리상, 연구인원을 대상으로 함. 이 시스템은 설비관리, 서비스 지원, 시장분석, 통게관리, 빅 데이터 분석의 5개 종류 기능을 제공함. - 지금까지 11만대 건설 장비의 운행 상태 정보를 가지고 있음. 안드로이드와 아이오에스 모두에 운행 가능함. - 고객은 언제 어디서나 장비의 최신 상황을 파악할 수 있으며 설비의 운행 궤적을 확인할 수 있음. 설비 운행 사항과 설비 가동률을 분석할 수 있음.
비고	

기업명	SANY
시스템 및 장비명	Digital Construction System
개발기술 및 장비	- GNSS 신호를 이용하여 굴삭기 버킷 위치 계산에 높은 정밀도를 보여줌. 버킷의 3D 위치에 대한 오차를 30mm 이하로 줄임. 버킷의 3D 위치를 컴퓨터 상의 설계도면과 실시간 비교하여 자동 제어 시공을 유도함.
비고	 

○ 국내·외 ICT를 활용한 건설장비 관제 관련 과학기술을 정리하면 다음과 같음.

▪ 소리 데이터 분석을 통한 건설장비 생산성 모니터링 기술

- 미국 Georgia Institute of Technology에서는 건설 작업 수행 시 중장비에서 발생하는 오디오 신호를 처리 및 분석하여 장비의 작업 유형을 자동으로 파악하는 기술을 개발하고 있음. 본 기술은 건설장비의 작업 유형을 인식하여 생산성 정보를 생성한다는 측면에서 위치추적 및 상황인식 시스템과 유사함. 그러나 해당 기술은 아직 기술타당성 검토 단계이며, 소음이 없는 제한된 환경에서 단일 장비의 일부 작업을 인식하는 수준으로 파악됨.

▪ IMU 센서와 Dynamic Time Warping(DTW)를 활용한 건설장비 생산성 모니터링 기술

- 경남과학기술대학교와 미국 Texas A&M University 등은 스마트폰에 장착된 Inertial Measurement Units(IMU) 센서와 DTW 알고리즘을 이용하여 건설장비의 움직임(정지, 이동 등)을 파악하고 이를 토대로 사이클 타임을 측정하는 기술을 개발함. 하지만 굴삭기와 덤프트럭 간의 상호작용을 고려하지 않아 동일한 움직임(정지)을 보이는 생산활동(상차)과 비생산활동(대기)을 구분하는 데 어려움이 있음.

▪ Eye-tracking 기술을 활용한 건설 작업자 안전관리 기술

- 미국 University of Nebraska-Lincoln에서는 eye-tracking 기술을 이용하여 작업자의 시선을 자동 인식하여 작업자의 안전경험지식(근무경험, 안전훈련여부 등)이 위험인지능력에 미치는 영향을 분석하였음. 실시간으로 작업자의 위험인지여부를 파악한다는 장점이 있으나 현재까지는 유사환경 테스트를 통해 성능을 검증하는 수준에 머무르고 있음.

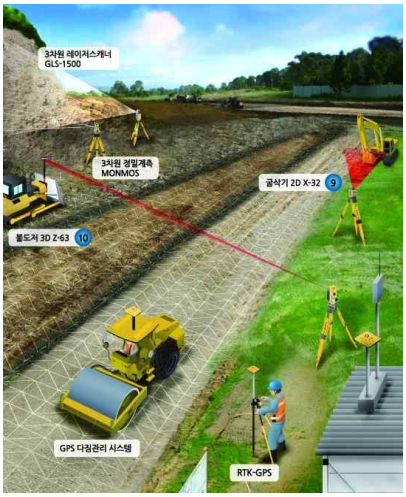
▪ 안전모 착용여부 검출 기술

- 중국 Huashong University of Science & Technology에서는 건설현장에서 촬영한 동영상 데이터를 분석하여 안전모 미착용자를 자동 검출해내는 기술을 개발함. 컴퓨터비전 기술을 활용하여 건설현장 내 대상물을 추적하고 안전성을 분석한다는 점에서 위치추적 및 상황인식 시스템와 유사함.

▪ TOPCON의 2D 굴삭기레벨시스템이 최근 굴삭기 업계에서 큰 반향을 일으켜, TOPCON의 한국 현지 법인인 소끼아코리아 “소끼아코리아와 영신D&C는 2009년 중기제어 시스템(굴삭기레벨) 도입 후, 건설사를 대상으로 3D 굴삭기시스템 위주로 영업해 현재 국내 3D시장 100%를 점유했음.

▪ 굴삭기레벨 시스템을 장착하면 기존의 측량기사에게 의존하던 시공측량작업이 일부 생략되고 장비의 대기시간이 없어져, 개인차주의 경쟁력 확보에 도움이 되는 직접적인 효과가 나타남.







- 최근 ICBM(IoT, Cloud, Big-data, Mobile) 기술의 발전으로 인해 건설산업에도 지능화에 대한 요구가 점점 커지고 있음.
  - 자동화된 건설장비, 드론/센서 등을 통한 현장정보 수집, ICT기술기반 정보활용, 빅데이터 기반 건설사업관리 등 다양한 기술을 건설현장에 적용하기 위한 연구가 진행되고 있음.
  - 향후, 건설산업에 4차 산업혁명기술의 도입을 통한 생산성 및 안전성 향상을 위한 노력이 이루어질 것으로 예상됨.

- 일본은 건설 인력감소에 대응하고 건설현장의 생산성 향상을 위해 '16년부터 측량, 시공, 검사 부분에서 ICT기술을 활용하는 i-construction을 추진하고 있음.
  - i-Construction은 '토공분야 ICT 활용', '콘크리트공 규격화', '시공시기 평준화'의 3개축으로 구성되어 있음. '토공분야 ICT 활용' 분야에서는 연구를 통한 기술개발뿐만 아니라, 제도마련을 통한 시장 확대를 병행하여 진행하고 있음.
  - ICT토공의 전면실시에 맞추어 매뉴얼, 시방서, 기준 등을 마련하여 관련기술들이 현장에서 활용될 수 있도록 하고 있음. 새로운 기술 및 공법을 현장에 적용하기 위해 16개에 달하는 기준, 시방서, 매뉴얼 등을 재개정하였음

- 선진 국가 및 기업에서 스마트 건설기계에 대한 다양한 실증을 통해 신기술의 조기 정착을 지원하고 있음
  - Cat.(美)는 '06년 스페인 Caterpillar Demonstration & Learning Center에서 "Road Construction Production Study"를 수행한 바 있음.
  - 아이슬란드의 Reykjavik 대학교에서 '08년 "GPS Machine Guidance in Construction Equipment" 프로젝트를 수행

- 글로벌 건설기계업체는 건설기계에 위치기반 정보를 기반으로 글로벌 통신시스템을 연결하여 다양한 서비스를 제공하고 있음
  - 코마츠의 KOMTRAX는 '01년 미국 퀄컴과의 합작을 통해 개발한 건설기계 예방 유지 보수 및 위치추적을 위한 텔레매틱스 서비스임. 건설기계 상태와 가동 데이터를 실시간으로 수집·분석하여 원격 진단 및 제어, 기계 가동이력, 소모품 교환주기 등의 데이터를 제공함.
  - 캐터필러는 Cat Equipment management, Cat Productivity, Cat Safety 등 건설기계를 운영할 때, 장비 모니터링, 유지 보수 지원, 작업현장 매핑, 생산성 관리, 피로위험 분석 등 작업 효율성 및 안전성 향상을 위한 서비스를 포함하고 있음.
  - 글로벌 선진 제조업체들은 각사의 텔레매틱스 시스템에 대한 활용성을 높이기 위해 표준화를 공동으로 추진하고 있음.

▪ 드론을 활용한 3차원 현장계측, 시공계획 작성, 지능화 시공 등을 수행할 수 있는 있도록 소프트웨어 및 하드웨어 기술을 제공함.

- 캐터필러는 Cat Link, Cat Grade, Cat Payload, Cat Compact, Cat Detect, Cat Command 등 건설기계를 운전할 때, 운전자의 작업편의성을 높여주기 위해 작업을 가이드하거나, 자동작업이 가능하도록 지원하는 다양한 기술을 포함하는 시스템을 제공
- Komatsu는 자회사인 Komatsu rental을 통하여 '16년 기준 2,500건의 Smart construction 실증을 수행하면서 관련기술에 대한 개선 및 상업화를 위한 노력을 하고 있으며, '17. 7부터 Komatsu, NTT DOCOMO, SAP 및 OPTiMO는 건설 생산 프로세스 전체를 연결하는 새로운 플랫폼 "LANDLOG"의 공동 기획 및 운영 결정

▪ 토공 센서업체와 선진 건설기계업체를 중심으로 운전자에게 작업 정보를 제공하는 Machine Guidance 기술과 정형화된 일부 작업에 대하여 자동으로 작업을 구현할 수 있는 Machine Control 기술을 상용화하고 있음

- 건설기계 위치기반 센서업체인 Trimble 및 Topcon은 운전자의 작업을 지원하는 Machine Guidance 기술을 개발하여 건설기계 업체와 After-market에 공급하고 있음
- Komatsu의 반자동 굴삭기(PC210LCi-11)는 Lehnhoff 社와 공동으로 개발한 Auto Tilt Bucket을 장착하고 있으며, 스트로크 감지 유압실린더와 IMU 센서 등을 바탕으로 시공 계획 면에 따라 버킷의 끝단을 실시간으로 제어할 수 있는 지능화된 Machine Control 기능을 탑재하고 있음.

▪ 토공장비를 대상으로 하는 친환경 기술

- 캐터필러 사의 최신 건설장비들은 ECO Mode 기능을 장착하고 있음. 굴삭기의 경우 ECO Mode 사용 시 각 구동계를 동작하는 유압관리를 향상시켜 10%-15%의 연료 소모 감소를 달성함. 도로포장기의 경우 ECO Mode 사용 시 엔진의 부하를 감지하여 자동으로 RPM를 관리함으로써 연료소모 효율화를 달성함.
- 코마츠 사의 경우 Economy 모드를 제공하고 있음. 하지만 이러한 연료 절약 모드를 극대화하려면 적절한 운용 교육이 필요하며, 이를 위해 연료 절감을 위한 운용 가이드북을 제공하고 있음.

2. 2세부-건설장비 가이드 기술 시스템화

○ 국내·외 ICT를 활용한 스마트 시공 기술 관련 과학기술을 정리하면 다음과 같음.

- 건설장비 가이던스 시스템 관련 영구과 유럽 건설시장 동향 (Implementation of Construction Equipment Guidance Systems in England and Europe)- 영국 케임브리지 대학교의 Ioannis Brilakis 교수의 2-1 세부과제 자문 리포트에서 발췌

- Navon and Shpatnitsky (2005) 건설장비에 부착된 GPS에서 데이터를 자동으로 수집하여 건설장비의 위치를 시간에 따라서 추적하는 시스템을 개발했음. 건설장비의 시간별 위치정보는 토공작업 시 건설장비의 실시간으로 이뤄지는 생산성 예측에 활용했다. Navon and Shpatnitsky이 개발한 시스템은 이스라엘 건설현장에 적용되어서 성능을 검증했음.

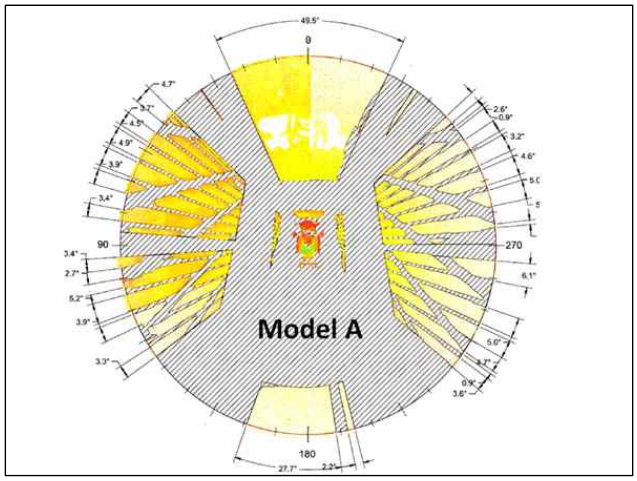
- Siebert and Teizer (2014)는 독일에서 드론을 이용하여 토공작업에 대한 이동식 3D 매핑 기술을 개발했다. Siebert and Teizer가 개발한 이동식 3D 매핑 기술은 토공작업에서 현지형을 인식하고 굴삭작업 결과로 나타나는 지형을 인식하여 토공작업의 생산성을 측정하는 것을 목적으로 하고 있음. 본 연구자들은 쿼드콥터 형식의 드론을 사용했으며, 이 경우 측정할 수 있는 길이가 수백 미터에 그치고, 비행시간도 20~30분 정도로 제한되었음. 또한 연구자들은 드론의 비행성능을 개선하기 위해서 GPS 수신기와 지자석을 이용하여 비행거리를 4km까지 증가시킬 수 있었음.

- Bugler et al. (2014)은 독일에서 컴퓨터 비전, 사진측량 그리고 비디오 분석을 통하여 토공작업 진행 현황을 분석하는 방법을 개발했음. 사진측량은 굴삭된 흙의 양을 측정하기 위해서 사용됐으며, 비디오 분석은 굴삭시간과 지연시간 등 토공작업 활동시간을 확률적으로 분석하기 위해서 적용했음. 결과적으로 사진측량과 비디오 분석을 통합하여 정확한 토공작업의 생산성을 측정할 수 있었음. Bugler et al 은 이에 추가하여 건설장비 조합의 문제점을 분석하여 최적의 플릿이 운영되도록 관리할 수 있었음.

- Kirchbach et al. (2015) 토공작업에서 건설장비의 지연 현상이 발생하는 것은 생산성에 문제점이지만, Leica 또는 Trimble과 같은 회사에서 상용화하여 제공하고 있는 텔레매틱 기술은 비용적으로 감당하기 어려운 현실이 있다고 지적했음. Kirchbach et. al은 이와 같은 비용적인 측면의 문제를 해결하기 위해서 토공작업에서 정보흐름을 저비용으로 실시간 처리할 수 있는 프로토타입을 영국 Highways England에 제출한 바 있음. 연구자들은 GPS 센서와 기타 센서를 사용하여 건설장비의 위치와 오리엔테이션을 추적하고, 굴삭기 버킷 끝점 또는 도저 블레이드 끝점의 위치를 계산할 수 있었음. 그러나 본 연구자들이 제시한 시스템은 건설장비 당 4,500만 원 내지 9,000만 원의 비용이 소요되며, 통신 플랫폼에 연결하여 데이터를 송수신하기 위해서는 추가로 건설장비 당 600만원 이 소요되는 것으로 예상됐음.

- 핀란드에서는 건설 자동화를 위해서 텔레매틱, 지형공간 그리고 컨트롤을 통합하는 기술을 산학협력 연구과제로 개발했음. Heikkila and Jaakkola (2003)에 따르면 본 연구과제는 “Intelligent Road Construction Site “라는 타이틀을 가지며, 오백만 유로의 연구비로 진행됐음. 본 연구과제에서는 자동화된 3D 블레이드 컨트롤 시스템을 개발했으나, 완전 자동화를 위해서는 추가 연구가 진행되고 있음. Heikkila and Jaakkola는 본 연구 중 블레이드 콘트롤을 위해서 로봇 타코미터와 위치센서를 사용하여 했으며, CAD와 머신 컨트롤을 연결하는 필요성을 강조했음. 본 연구자들은 향후 지하매장물 탐지기구를 결합하여 토공작업 중 지장물을 처리할 계획을 밝히고 있음.

▪ 조지아 공과대학 연구진은 레이저 스캐닝을 통해 건설장비의 사각지대를 분석하고 RFID, 초음파 센서를 이용하여 건설장비와 작업자가 근접할 경우 5m, 10m, 15m 단위로 실시간 경보를 울리는 시스템을 개발함(Teizer et al., 2010; Marks et al., 2013).

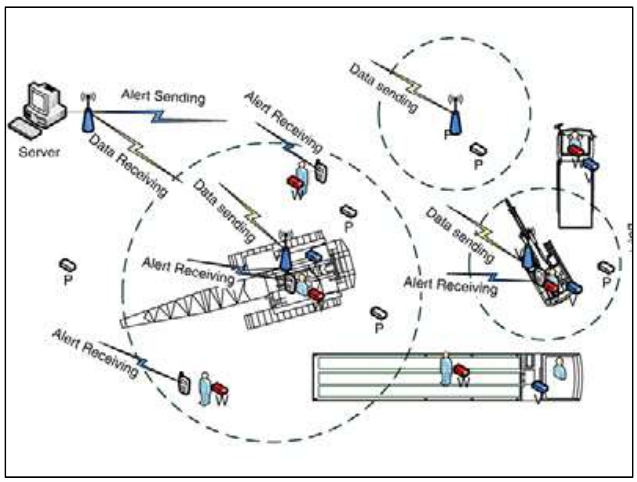


<건설장비 사각지대 분석 결과 >
(Marks et al., 2013)



<건설장비에 설치된 경보 시스템>
(Teizer et al., 2010)

▪ 일본의 쓰쿠바 대학 연구진은 스테레오 비전 센서를 이용하여 굴삭기 작업 중 근접하는 물체를 감지하는 연구를 수행함(Ishimoto and Tsubouchi, 2013). 굴삭기 후방에 설치된 스테레오 비전 센서를 이용해 후방에서 근접하는 작업자를 인식함.

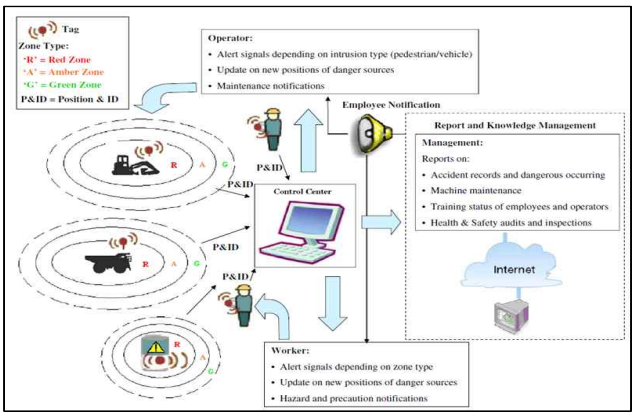


<건설장비간 충돌 방지 시스템 구성도>
(Chae and Yoshida, 2010)



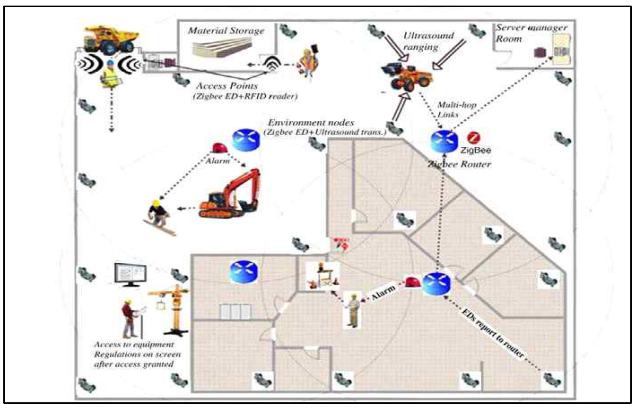
<후방 스테레오 비전 센서로 획득한 영상>
(Ishimoto and Tsubouchi, 2013)

▪ 영국의 러프버러 대학 연구진은 GPS와 스마트 센서를 이용한 건설장비와 작업자 간 충돌 방지 시스템 개발에 관한 연구를 수행함(Riaz et al., 2006). 이 연구는 건설장비 주변 공간을 위험에 따라 세 단계로 구분하고 작업자가 위험 구역에 진입할 경우, 구분에 따라 작업자에게 각기 다른 경보를 통해 알려줌.



<GPS와 스마트 센서를 이용한 건설장비와 인력 간 충돌 방지 시스템 구성도>
(Riaz et al., 2006)

- 중국의 남동 대학 연구진은 RFID와 초음파 센서를 이용한 건설현장 내 충돌 방지 시스템 개발에 관한 연구를 수행함(Wu et al., 2010). 이 연구는 RFID와 초음파 센서 간 무선 통신이 가능하도록 설계하였으며, 건설장비 주변에 작업자가 근접할 경우 실시간으로 경보를 통해 현장 상황을 알려줌.



<건설현장 내 충돌 방지 시스템의 적용 시나리오>
(Wu et al., 2010)

- 건설현장의 건설장비 안전 가이던스와 관련된 국외 연구 현황은 다음 표와 같음.

<건설장비 안전 가이던스 관련 국외 연구 현황>

연구내용	연구자	비고
각종 센서(초음파 센서, 스마트 센서)를 이용한 물체 추적, 충돌 방지 시스템, 작업 구역 지정에 관한 연구	Cheng, T., Venugopal, M., Teizer, J., Vela, P.A.	2011 미국
	Teizer, J., Lao, D., Sofer, M.	2007 미국
	Riaz, Z., Edward, D.J., Thorpe, A.	2006 영국
RFID를 이용한 건설현장 내 충돌 방지 시스템 및 작업 구역 지정에 관한 연구	Wu, W., Yang, H., Chew, D.A.S., Yang, S., Fibb, A.G.F., Li, Q.	2010 중국
	Chae, S., Yoshida, T.	2010 일본
	Teizer, J., Allread, B.S., Fullerton, C.E., Hinze, J.	2010 미국
획득한 비전 정보(스테레오 비전, 레이저스캐닝)를 이용한 굴삭기 작업 중 물체 감지에 관한 연구	Marks, E.D., Teizer, J.	2013 미국
	Ishimoto, H., Tsubouchi, T.	2013 일본
	Marks, E.D., Cheng, T. Teizer, J.	2013 미국

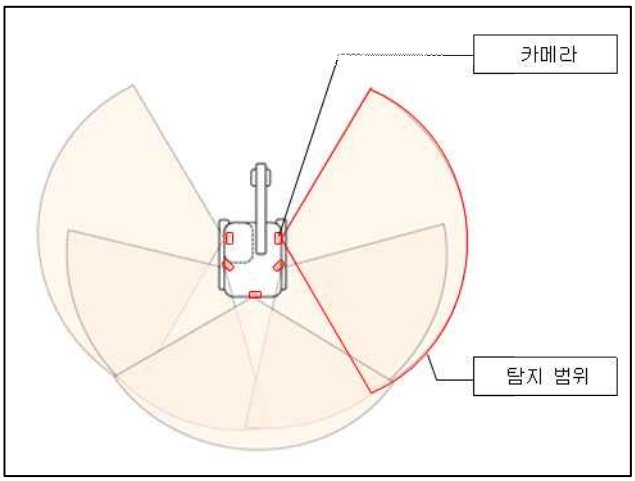
▪ 건설장비 안전 가이던스 시스템 관련 특허 분석

- 건설장비 안전 가이던스 시스템 관련 국내·외 특허를 분석하기 위해 "NDSL 국가과학기술정보센터 특허검색 (http://patent.ndsl.kr/)"를 이용하여 1991년부터 2014년까지 국내·외에 공개된 특허를 검색함.
- 건설장비 안전 가이던스 시스템과 관련한 특허 검색을 위해 사용된 키워드는 다음과 같음.
  → 안전+건설+알람+근접/
  (Safety+Construction+Alarm+Proximity)
  → 건설+장비+근접/
  (Construction+Equipment+Proximity)
  → 안전+굴삭기/
  (Safety+Excavator)
  → 안전+건설+작업자/
  (Safety+Construction+Worker)
- 특허 검색을 통해 파악된 국내·외 건설장비 안전 가이던스 시스템 관련 특허는 다음 표와 같음.

특허명	발명자	국가	연도
파노라마 영상이 제공되는 안전 시스템을 구비한 굴삭기	(주)경우시스테크	한국	2012
Monitoring Proximity of Objects at Construction Jobsites via Three-dimensional Virtuality in Real-time	Michigan University	국제	2014
Enhanced Heavy Equipment Proximity Sensor	개인	미국	2013
Integrated Object Detection and Warning System	Caterpillar Inc.	미국	2011
Object Detection System Having Interference Avoidance Strategy	Caterpillar Inc.	미국	2010
System and Method for Tracking Objects Using a Detection System	Caterpillar Inc.	미국	1996
Moving Object Monitoring System in Construction Site	개인	일본	2008
Recession Alert System Comprising Object Detector	Caterpillar Inc.	일본	1999
Proximity Alarm Device for Construction Machine	Sakai Heavy Industry Ltd.	일본	1996
Monitoring Device of Construction Equipment	Shin Caterpillar Mitsubishi Ltd.	일본	1995
Safety System for Construction Machine	Hitachi Construction Machine Corporation Ltd.	일본	1993

<건설장비 안전 가이던스 시스템 관련 특허>

- "파노라마 영상이 제공되는 안전 시스템을 구비한 굴삭기 (출원번호: 10-2012-0019560)"에서는 굴삭기 상부 선회체의 측방 및 후방에 120° 의 탐지범위를 가진 3대 이상의 카메라를 설치하고, 이로부터 후방 300° 가량의 영역에 해당하는 파노라마 영상을 합성하여 장비 운전자에게 제공하는 특허 기술임. 그림은 해당 특허의 개요도를 나타냄.



<파노라마 영상이 제공되는 안전 시스템을 구비한 굴삭기 (경우시스테크, 2012)의 개요도>

- 이러한 특허 기술들은 앞서 언급한 국외 상용 안전 가이던스 시스템과 같이 단순히 장비 주변 물체의 존재 여부를 탐지하여 장비 운전자에게 알려주거나, 혹은 사각지대의 영상정보를 제공할 뿐 능동적인 위험요소 탐지를 수행하는 특허 기술은 전무함.

▪ 자동차산업의 보행자 안전 시스템 사례 분석

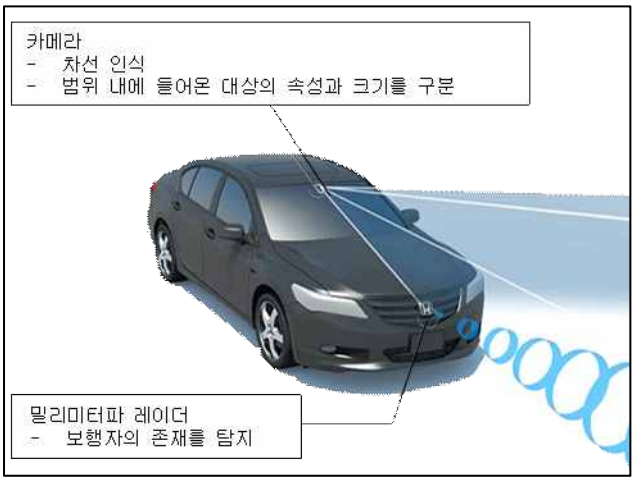
- 건설산업의 안전 가이던스 시스템과 유사한 사례로 자동차산업의 보행자 안전 시스템을 들 수 있음. 자동차산업에서의 보행자 안전 시스템은 주행 중인 자동차와 보행자간의 충돌 사고를 예방함으로써 보행자의 안전을 추구한다는 측면에서 안전 가이던스 시스템에서 추구하는 목적과 매우 유사함. 자동차산업에서 보행자의 안전을 위한 기술 개발은 오랫동안 진행되어 왔으며, 건설산업과 비교하여 많은 기술적 진보를 이룸.
- 기존 상용 건설장비 안전 가이던스 시스템의 한계점을 보완하기 위하여, 자동차산업에서의 보행자 안전 시스템을 분석함으로써 작업자 탐지 전략을 벤치마크하고자 함. 다음 표는 자동차 제조사별 안전 시스템과 각 시스템을 구성하는 센서를 나타냄.

<동차 제조사별 안전 시스템>

회사명	보행자 안전 시스템 명	거리 기반 센서	영상 기반 센서
Honda Motor Co., Ltd.	Pedestrian Collision Mitigation Steering System	밀리미터파 레이다	카메라
Toyota Motor Corporation	Pre-Crash Safety System	밀리미터파 레이다	스테레오 카메라
Volvo Car Corporation	Collision Warning with Auto Brake	밀리미터파 레이다	카메라
Audi AG	Forward-Looking Pedestrian Protection	밀리미터파 레이다	스테레오 카메라
Mercedez-benz	BAS PLUS and Pre-Safe Brake	초광대역 레이다	스테레오 카메라
General Motors	Driver Assistance Package	초광대역 레이다	카메라
Ford Motor Company	Adaptive Cruise Control and Collision Warning with Brake Support	레이다*	카메라
Volkswagen AG	Blind Spot Monitoring with Rear Traffic Alert and Forward Collision Warning	레이다*	카메라

*특정 종류 레이다를 밝히지 않음.

- 자동차 제조업체들은 거리 기반 센서와 영상 기반 센서를 함께 사용하여 보행자 안전 시스템을 구축하고, 차량 전방에 위치한 보행자를 인식하여 운전자에게 경보음을 울려 알려주거나 차량 자체적으로 감속을 하여 발생 가능한 안전사고를 예방하고 있음.
- Honda Motor Co., Ltd.의 Pedestrian Collision Mitigation Steering System은 카메라와 밀리미터파 레이더로 구성된 시스템으로, 밀리미터파 레이더가 차량 전방에 위치한 대상의 존재 유무를 탐지하면, 카메라가 해당 물체의 속성과 크기를 구분하여 위험하다고 판단될 시 경고음을 울리거나 직접 조향 장치를 조작해 차량의 주행방향을 정상화시킴. 다음 그림은 Honda Motor Co., Ltd.의 Pedestrian Collision Mitigation Steering System의 개요를 나타냄.



<Pedestrian Collision Mitigation Steering System (Honda Motor Co., Ltd.)의 개요>
(Ziff Davis, LLC., 2015)

- Mercedez-benz의 BAS PLUS and Pre-Safe Brake는 스테레오 카메라와 레이다 센서로 구성된 시스템으로, 스테레오 카메라와 레이다 센서가 차량 이외의 보행자를 탐지했을 때 운전자에게 경보음을 울림.
- 거리 기반 센서를 이용하여 장애물의 존재 유무만을 탐지하는 경우, 위험요소가 아닌 물체를 위험요소로 잘못 인식하는 오류가 발생하므로, 탐지 대상이 어떠한 물체인지를 구분하기 위해 영상 기반 센서를 통해 획득한 정보를 바탕으로 이미지 프로세싱을 수행하여 탐지 대상에 대한 정보를 획득하고 그 종류를 판별하고자 함.
- 하지만, 보행자 안전 시스템과 건설장비 안전 가이던스 시스템의 적용 환경 간에 다음과 같은 차이가 있어 본 연구과제에서는 이러한 차이점을 고려하여 건설장비에 특화된 안전 가이던스 시스템을 개발하고자 함. 보행자 안전 시스템은 일반적인 도로에서 주행을 하는 차량에 적용되어 전방에서 걷고 있는 보행자 탐지를 필요로 함.
- 반면, 안전 가이던스 시스템은 20km/h 이하의 저속 주행을 하는 건설장비에 적용되어 건설장비 작업 공간 내의 전방위에서 작업 중인 작업자 탐지를 필요로 함. 특히, 보행자 탐지의 경우, 탐지 대상의 형태를 서 있거나 걷고 있는 보행자의 형태로 한정할 수 있는 반면, 건설현장 내 작업자는 걷거나 숙이거나, 쪼그려 앉아 작업을 하는 등 보행자와 비교하여 다양한 자세와 동작을 취하기 때문에 이에 대한 고려가 필요함. 다음 그림은 Volvo Car Corporation의 보행자 인식 시스템 예시를 나타냄.



<보행자 인식 시스템 (Volvo Car Corporation)의 예시>
(EuroCarNews.com, 2015)

▪ 안전 가이던스 시스템에 활용 가능한 영상 기반 센서 파악

- 안전 가이던스 시스템에서 영상 기반 센서는 이미지 프로세싱을 통해 탐지 대상의 종류를 구분하기 위한 영상 정보를 획득에 활용됨. 건설장비가 작업 중인 건설현장의 특성과 안전 가이던스 시스템의 개발 목적을 고려할 때, 본 연구과제에서 개발하고자 하는 안전 가이던스 시스템에 활용하기 위한 영상 기반 센서는 다음과 같은 요구사항을 만족하여야 함.
  → 야외 환경에서 사용하기에 적합할 것
  → 장비 작동 온도 범위를 만족할 것
  → 작업 공간 내 실시간 탐지가 가능할 것
  → 작업 반경 내 탐지 대상의 구분이 가능할 것
  → 장비 근접 지역 (2m 이내)에 대한 사각 없이 탐지 대상의 구분이 가능할 것
- 영상 기반 센서는 포토다이오드를 통해 들어온 전하를 프로세서로 전송하는 방식에 따라 CCD (Charge-Coupled Device) 센서와 CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) 센서로 구분됨 (홍명수, 2008).
- CCD 센서는 CMOS 센서에 비해 비교적 정확한 전하량을 프로세서로 전달할 수 있어 화질이 우수한 장점이 있으나 태양, 전등, 강한 반사광을 촬영했을 때 전하를 저장하는 콘덴서의 용량을 넘어서면서 수직으로 밝은 선이 그어지는 스미어 (Smear) 현상이 발생할 수 있음 (박종호와 권순경, 2011). 다음 그림은 CCD 센서를 통해 촬영한 이미지에서 발생한 스미어 현상의 예시를 나타냄.



<CCD 센서를 통해 촬영한 이미지에서 발생한 스미어 현상의 예시>
(Dale, 2010)

- 건설현장은 주로 야외 환경에서 운용되기 때문에 빛 환경에 대한 강인한 성능을 필요로 함. 따라서 CCD 센서와 CMOS 센서 중, 건설장비 안전 가이던스 시스템에 활용하기에는 CMOS 센서가 CCD 센서에 비해 적합함.

▪ 안전 가이던스 시스템에 활용 가능한 거리 기반 센서 파악

- 안전 가이던스 시스템에서 거리 기반 센서는 시그널 프로세싱을 통해 건설장비 주변에 위치한 물체의 존재 유무를 탐지하고 해당 물체와 건설장비 간의 거리 측정을 위한 거리 정보 획득에 활용됨. 건설장비가 작업 중인 건설현장의 특성과 안전 가이던스 시스템의 개발 목적을 고려할 때, 본 연구과제에서 개발하고자 하는 안전 가이던스 시스템에 활용하기 위한 영상 기반 센서는 다음과 같은 요구 사항을 만족하여야 함.
  → 야외 환경에서 사용하기에 적합할 것
  → 장비 작동 온도 범위를 만족할 것
  → 작업 공간 내 실시간 탐지가 가능할 것
  → 작업 반경 (20m) 내 위험요소 (작업자) 간의 거리 측정이 가능할 것
  → 상용 건설장비 안전 시스템과 비교하여 합리적인 가격일 것
- 안전 가이던스 시스템의 거리 기반 센서로 활용하기에 적합한 센서를 선정하기 위해 레이다 센서, 레이저 스캐너, LED 센서와 같은 다양한 종류의 거리 기반 센서의 성능을 조사함 (다음 표 참조).

<안전 가이던스 시스템에 활용 가능한 거리 기반 센서와 안전 가이던스 시스템 구축에 필요한 예상 비용 산출 결과>

제품명	센서종류	제조사	최대 탐지 거리 (m)	최대 탐지 각도 (°)	시스템 구축 비용*	비고
ARS300	레이다	Continental AG	60	56	2,940 만원	-
QT50RAF	밀리미터 파 레이다	Banner Engineering Corp.	24	20	3,780 만원	-
Q120RA	밀리미터 파 레이다	Banner Engineering Corp.	40	50	2,640 만원	-
UST-20LX	레이저 스캐너	Hokuyo Automatic Co., Ltd.	20	270	1,020 만원	-
LMS-100	레이저 스캐너	SICK AG	18	270	1,710 만원	-
LMS-111	레이저 스캐너	SICK AG	18	270	1,710 만원	-
LMS-200	레이저 스캐너	SICK AG	18	180	1,470 만원	-
RPLIDAR 360° Laser Scanner	레이저 스캐너	RPLIDAR	6	360	-	탐지거리 기준미달
OMD8000-R2100-R2-2 V15	LED 스캐너	Pepperl-Fuchs AG	8	88	-	탐지거리 기준미달
Leddar IS16	LED 센서	LeddarTech	50	45	272 만원	-

※ 시스템 구축 비용*은 센서 단가 (만원)와 전방위 팀지를 위해 설치가 필요한 센서 대수의 곱을 나타냄.

- 조사 결과, 탐지거리와 시스템 구축 비용을 종합하여 고려할 때 LeddarTech의 IS16 LED 센서가 안전 가이던스 시스템 구축에 가장 적합한 것으로 나타남. Leddar IS16 LED 센서는 비행시간 (Time-of-flight) 기술 기반의 센서로, Frank 등 (2014), Zhen 등 (2014), Kang 등 (2014), Yasutomi 등 (2014)의 연구에서 무인 자동보트의 장애물 또는 위험물 탐지 목적으로 카메라와 융합하여 활용된 바 있음.

▪ 안전 가이던스 시스템에 활용 가능한 작업자 탐지 알고리즘 조사

- 영상 기반 센서를 활용하여 획득한 건설장비 주변 영상으로부터 작업자를 능동적으로 탐지하기 위해서는 적합한 작업자 탐지 알고리즘을 필요로 함. 건설장비가 작업 중인 건설현장의 특성과 안전 가이던스 시스템의 목적을 고려할 때, 본 연구과제에서 개발하고자 하는 안전 가이던스 시스템에

활용하기 위한 작업자 탐지 알고리즘은 다음과 같은 요구사항을 만족하여야 함.

→ 건설장비와 작업자 간 거리 변화에 따른 영상 내 작업자 크기 변화에 무관할 것

→ 작업자 작업 상태 변경에 따른 작업자 형태 변화에 무관할 것

→ 외부 빛 환경 변화에 무관할 것

→ 탐지 대상 (작업자) 외의 움직임에 무관할 것

→ 작업자가 정지한 상태로 서 있는 경우의 탐지가 가능할 것

→ 다수의 작업자 탐지가 가능할 것

→ 장비 최대 주행 제한속도와 작업자의 보행속도를 고려한 처리속도

- 작업자를 탐지하기 위해 개발된 기술의 수준을 파악하기 위해 작업자 탐지 관련 특허 분석을 수행한 결과, 작업자 탐지 기술에 관한 특허는 1건으로 나타남. 이에 대한 분석 결과는 아래 표와 같음.

<작업자 탐지 관련 특허의 작업자 탐지 절차>

특허명	출원인	국가	연도	절차1	절차2	속도	적용성
Vision Watching System and Method for Safety Hat	아주대학교 산학협력단	미국	2010	움직임을 통한 관심영역 (ROI) 구분	안전모를 통한 작업자 인식	검증 결과 없음	검증 결과 없음

- 해당 특허에서는 건설현장 내부에 설치된 CCTV로부터 획득한 영상으로부터 움직이는 픽셀을 관심 영역 (Region of Interest; ROI)으로 설정하고 해당 영역 내에서 안전모를 탐지함으로써 작업자를 탐지할 수 있는 기술을 제안함. 해당 특허에서 제안된 기술은 건설장비에 부착된 건설장비 안전 가이던스 시스템의 영상 기반 센서와는 달리 카메라가 건설현장 주변 가시설에 고정되어 있어 적용 환경이 다르며, 움직이는 물체만을 탐지 대상으로 삼고 있어 제자리에 서 있는 작업자를 탐지할 수 없는 측면에서 한계를 지님.
- 동일한 목적으로 작업자 탐지 관련 연구를 파악한 결과는 다음 표와 같음.

<작업자 탐지 관련 연구의 작업자 탐지 절차 및 특징값>

저자 (연도)	절차 1	특징값	절차 2	특징값
Weerasinghe 등 (2009)	ROI (안전모) 구분	형태	안전모 인식	색상
Weerasinghe 등 (2010)	ROI (안전모) 구분	형태	안전모 인식 작업자 구분	색상
Weerasinghe 등 (2012)	ROI (작업자) 구분	스켈레톤 (Skeleton)	안전모 인식	색상, 형태
Shrestha 등(2011; 2012)	ROI (작업자) 구분	외곽선	안전모 인식	형태
Guildi 등 (2010; 2011)	ROI (작업자) 구분	Covariance Descriptor	작업자 머리 인식 안전모 인식	색상
Du 등 (2011)	ROI (Motion) 구분 Background Subtraction	움직임	작업자 얼굴 인식 안전모 인식	색상
Gong과 Caldas (2011)	ROI (Motion) 구분 Background Subtraction	Bayesian Model	안전조끼 인식	색상
Min과 Dugelay (2011)	ROI (Motion) 구분 Background Subtraction	실루엣	머리 인식 모자 인식	위치
Park과 Brilakis (2012)	ROI (Motion) 구분 Background Subtraction	움직임	작업자 인식 안전조끼 인식	HOG
Lee와 Hong (2014)	ROI (Motion) 구분 Background Subtraction	움직임	안전모, 안전조끼 인식	색상, 위치

- 시장 및 정책

→ 2012년 미국에서는 후방 카메라 의무 설치 방안이 논의됨에 따라 출시된 차량 모델의 45%가 후방 카메라를 장착하였고, 호주는 내수 전 차량에 카메라 장착을 기본으로 하고 있음. 이에 따라 자연스

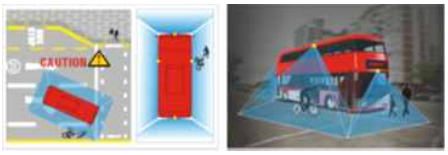
럽게 어라운드 뷰 시스템을 비롯한 차량용 비전 시스템들이 주목받고 있으며, 전 세계 차량용 카메라 시장규모는 지난해 14억3000만 달러(약 1조5000억 원)에서 올해 20억 달러(약 2조1000억 원)로 늘었고 2015년 35억2000만 달러(약 3조7000억 원)로 확대되었음.

→ 2012년 세계 건설기계산업 매출규모 및 점유율 2위 국가 일본의 국토교통성은 2013년 4월 향후의 건설 로봇 기술 개발·활용에 관한 방향성 및 이를 실현하기 위한 방책 등에 대한 보고서, 建設ロボット技術の開発·活用に向けて(건설 로봇의 활용을 위한 기술·개발)을 발표함. 이 보고서는 건설 로봇 기술의 개발 및 활용의 중점 단기 목표로서 어라운드 뷰 모니터(around view monitor)와 작업장치의 가동 범위 제한 등을 통한 건설기계 자동화 등의 추진을 명시함.

→ 3D 머신가이던스로의 발전을 위해 각 장비별 특성과 여건을 반영한 BIM기반 설계소프트웨어 혹은 서비스와 관련된 업종이 상업화되고 있음. 그러나 여전히 대부분 머신가이던스의 개발에 집중되고 있고 근본적으로 활용도를 향상시키기 위한 소프트웨어 산업부분에서의 기술력이 부족한 실정임.

- 기술

→ 국외 건설 관련 대형장비 어라운드 뷰 시스템을 조사한 결과, 타이완의 PSVT 社의 Virtual 360TM 시스템 및 독일 Continental社의 ProViu 360 시스템이 개발 중에 있는 것으로 조사됨.

개발사	대표도	내용
타이완 PSVT 社 Virtual 360TM 시스템		일반 차량뿐 아니라 다양한 차량형 건설장비에 대해 적용이 가능하도록 Virtual 360TM 시스템의 범위를 확장시키고자 계획하고 있음.
독일 Continental 社 ProViu 360 시스템		특수차량/건설용 차량을 위한 카메라 기반의 360° 모니터링 시스템인 ProViu 360을 개발하였으며, 현재는 시스템의 현장 테스트를 위해 공개를 준비하고 있음.

<국외 건설 관련 대형장비 어라운드 뷰 시스템>

→ 현재까지 개발 중인 국외 건설 관련 대형장비 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 시스템은 장비로부터 먼 영역(원거리)의 영상은 왜곡을 포함하고 있고, 굴삭기에 카메라를 장착하여 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 영상을 구현하고는 있으나 적용 알고리즘 자체가 굴삭기가 아닌 승용차량을 대상으로 하고 있기 때문에 탑뷰(Top-view)로 표현할 수 있는 영역이 다소 협소(약 4m)한 문제점을 가지는 것으로 분석됨.

→ 또한, 두 시스템 모두 원천기술이 승용차량을 대상으로 개발된 기술이므로 건설장비의 특성(붐, 암, 버킷 등)을 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 영상에서 표현하지 못하고 있다는 문제점을 지니고 있으며, 해당 기술의 특성상 건설장비의 자세에 따라 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 영상에 심각한 오류(왜곡)가 발생할 수 있는 것으로 사료됨.

→ 국외의 경우 일본 Topcon 社 AR-네비게이터의 원천기술을 실제 건설현장에서 사용할 수 있도록 만든 “3D-MC” 제품이 존재함. 그러나 해당 기술은 작업 현장을 2D로 도식하고, 실시간 현장에 대한 데이터는 반영하지 못함. 또한 버킷의 위치정보를 제공하지만 실제의 모습과 제품에서 표현하는 버킷의 모습에 차이가 있어, 사용자가 즉각적으로 파악하는데 어려움이 있음.

개발사	대표도	내용
일본 Topcon社 3D-MC 시스템		Sokkia로 유명한 GPS, 광학, 스캔 분야에서 유명한 업체로 레이저 스캐닝 기술과 기계제어 기술을 이용하여 위성신호 수신이 어려운 현장에서도 연속적인 시공이 가능한 개별 장비의 제어 솔루션을 제공함

<국외 건설 관련 건설장비 머신가이던스 시스템>

→ “3D-MC” 기술은 현재 국내 몇 개의 현장에서 사용되고 있지만 굴삭기에 많은 센서를 부착해야 하는 비용과 “3D-MC” 자체의 구매 비용으로도 많은 비용이 소요 된다는 평가를 받고 있음.

▪ Komatsu PC210i-11 스테레오 카메라(KomEye)

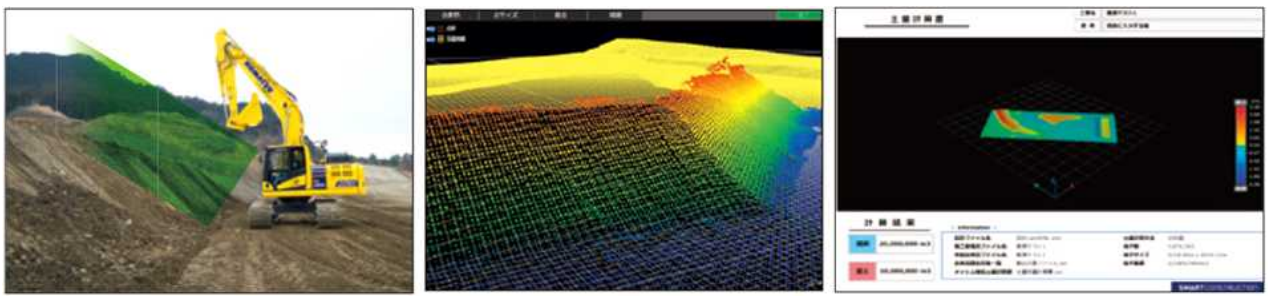
- 굴삭기에 장착된 스테레오 카메라(KomEye)를 이용하여 실시간 Local 지형 변화를 서보로 보내 3D 지형 정보를 업데이트 가능함
- 스테레오 카메라(KomEye)를 캐빈 바깥의 양쪽 끝에 배치하여 시야성 향상 및 창문 개폐 가능함
- 굴삭기 정지 상태에서 전방의 지형을 계측하는 단촬영 기능과 굴삭기 선회 중에 자동으로 촬영하는 선회 시 촬영 기능 있음



<스테레오 카메라(KomEye)>



<카메라 스위치>



<스테레오 카메라(KomeEye)에 의한 중간 결과물 측량 및 업데이트>

▪ Trimble earthworks application - real-time view

- IP 카메라에서 촬영된 화면의 버킷 끝단을 자동으로 인식하여 작업자가 설정한 버킷 높이와 IMU 센서에서 측정한 버킷 높이와의 차이를 화면의 버킷 양 끝에 실시간 표시함



<Trimble earthworks application - real-time view>

제7장. 연구개발성과의 보안등급

보안등급 분류	보안	일반
		∨
결정 사유	본 연구개발 과제는 「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」 제24조의 4 제1항에서 규정하고 있는 가~마 항목에 해당되는 보안과제가 아니므로, 본 연구과제의 보안등급은 일반으로 결정함이 타당함.	

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호
부산대학교	불도저	캐터필라 D3CLGP, 1996년식 이후, 7.5톤, 6기통 (D3C LGP)	1	2015/11/11	39,420	㈜블루트랙 건설기계(031-719-1225)	경기 안산시 상록구 한양대학로 55 한양대학교 BMR 연구센터 한양대학교 BMR 연구센터 5공학관 지하	NFEC-2015-11-206020
부산대학교	IMU 기반 건설장비 형상인식 센서모듈 개발 및 성능 고도화	개 (개발장비)	1	2017-3-14	43,503.5	㈜씨에이치 플러스 (051-973-9685)	부산광역시 금정구 부산대학로63번길 2 (장전동, 부산대학교) 부산대학교	NFEC-2017-03-236823
부산대학교	플릿형 3D 토공 BIM 환경 개발	개 (개발장비)	1	2017/10/18	34,100	율시스템 (031-717-9440)	부산광역시 금정구 부산대학로63번길 2 (장전동, 부산대학교) 부산대학교	NFEC-2017-10-240386
두산인프라코어	PCAN		1		2,200		두산인프라코어 실험실	-
두산인프라코어	와이어 변위 측정 센서		11		12,370		두산인프라코어 실험실	-
두산인프라코어	Trace 32 Emulator		3		21,080		두산인프라코어 실험실	-
두산인프라코어	미들웨어 개발 환경 구축용 툴(VMWare)		2		560		두산인프라코어 실험실	-
두산인프라코어	Novatel GNSS API 기능 개발 툴		1		24,300		두산인프라코어 실험실	-
두산인프라코어	CANoe		2		24,231		두산인프라코어 실험실	-

두산인프라코어	포터블 스펙트럼 아날라이저		1		16,770		두산인프라코어 실험실	-
두산인프라코어	RCP 및 임베디드 포팅 툴		2		38,500		두산인프라코어 실험실	-
두산인프라코어	기구학 시뮬레이션 툴		1		567		두산인프라코어 실험실	-
두산인프라코어	디스플레이 소프트웨어 개발툴(Unity)		4		13,200		두산인프라코어 실험실	-
두산인프라코어	Micro Autobox 포팅툴		2		48,980		두산인프라코어 실험실	-
두산인프라코어	CANalyzer		2		19,782		두산인프라코어 실험실	-
두산인프라코어	정확도 검증 계측기		1		25,200		두산인프라코어 실험실	-
두산인프라코어	Simulink Toolbox		2		15,680		두산인프라코어 실험실	-
두산인프라코어	측량 정보 표시 컨트롤러		1		12,000		두산인프라코어 실험실	-
두산인프라코어	측량 정보 원격 디스플레이 장치		1		6,840		두산인프라코어 실험실	-
두산인프라코어	이동용 GNSS 수신기		1		25,200		두산인프라코어 실험실	-
두산인프라코어	정확도 개선 로직 개발 툴		2		12,520		두산인프라코어 실험실	-
두산인프라코어	소프트웨어 검증 툴		2		30,200		두산인프라코어 실험실	-
두산인프라코어	Static 측량 데이터 후처리 툴		1		6,200		두산인프라코어 실험실	-
두산인프라코어	RCP(Rapid Control Prototyping) 컨트롤러		1		26,000		두산인프라코어 실험실	-
두산인프라코어	수평계 계측기		1		4,322		두산인프라코어 실험실	-
두산인프라코어	각도 계측기		3		1,821		두산인프라코어 실험실	-

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

1. 1세부-건설장비 통합관제 기술 개발

○ 한양대학교 산학협력단

1. 안전점검

가. 연구실 일일안전점검

1) 점검범위: 본 과제 수행 연구실 및 실습실
2) 검시기: 매일(단, 실습실(연구실)을 사용하지 않는 날은 제외)
3) 점검내용: 기계, 기구, 전기 등을 유해요소 이상유무의 일상(육안)적인 점검
4) 점검자: 본 과제의 참여연구원 중 안전관리담당자를 지정하여 일일안전점검을 실시

나. 정기점검

1) 점검범위: 교내 건물전체 소방 정밀안전진단 시 본 과제 수행 연구실을 함께 점검
2) 점검시기: 대학 소방 정밀안전진단 일정과 동일
3) 점검내용: 설비, 펌프, 탱크, 소화기, 감지기 등 소방시설물 점검

2. 교육훈련

1) 대상범위: 본 과제에 참여한 연구원 전체
2) 교육시기: 매 학기 실시
3) 교육방법: 사이버 안전교육 강의 (safetyedu.hanyang.ac.kr), 교육자료 배부
4) 교육내용: 소방안전교육, 시설물 관리 요령 등

3. 건강검진

1) 대상범위: 본 과제에 참여연구원 중 특정유해물질 및 유해인자 179종 사용자
2) 검진시기: 특정유해물질 사용자: 4월~5월, 유해인자 179종 사용자: 10월~11월
3) 검진방법: 일반건강검진 및 유해인자에 따른 특수건강검진 시행
4) 검진기관: 국민건강보험법에 의거한 검진기관

4. 보험가입

1) 대상범위: 본 과제에 참여한 연구원 전체
2) 보 험 명: 연구활동종사자 상해보험 및 학교경영자배상책임보험
3) 가입시기: 매년 자동갱신

○ 서울대학교 산학협력단

본 연구실은 서울대학교 환경안전원의 연구실안전환경관리규정에 의거하여 연구실 안전을 확보함.
본 연구는 컴퓨터를 주요 연구 장비로 사용함에 따라 기술적 위험 요소는 존재하지 않음.

▪ 연구실 안전 관리 계획

- 연구실 정기점검: 서울대학교 연구실안전환경관리규정에 의거하여 연구실 정기점검 및 정밀안전진단을 실시함.
- 연구실안전환경관리규정 연구실 비치 및 준수: 연구실에 서울대학교 연구실안전환경관리규정을 비치하

고 과제참여자에게 규정 숙지 및 교육을 정기적으로 실시함.
- 안전 관리 담당자를 지정하여 매달 안전점검을 실시하며, 서울대학교 환경안전원에서 정기적으로 실시하는 각종 안전점검에 성실히 임하여 안전 확보를 도모함.
▪ 연구실 안전 관리 계획
- 건설현장 방문 시 기본적 안전장비를 착용 및 관련 규정을 숙지 및 엄수함.

○ 성균관대학교 산학협력단

- 본 연구기관은 연구기관 차원에서 실행하는 교무위원회 회의를 통하여 '연구실 안전 환경조성에 관한 법률' 제 18조 및 '안전교육이수확인서 의무화 의결 안내'에 의거하여 매 학기별 1회에 걸쳐 안전교육을 실시하고 있음.
- 교육을 통해 연구 중 발생이 우려되는 안전사고를 예방하는 것을 목표로 함.
- 또한 공공기관의 소방안전관리에 관한 규정 제11조에 의거하여 관할 소방서 정기 지도점검 내용을 만족시키는 법정 소방교육을 시행하고 있음.

○ 인천대학교 산학협력단

1)인천대학교는 환경안전관리 규정을 대폭 개정하여 이공계 대학원생 및 연구원들에게 실험실 및 연구실 안전교육을 의무화하였으며, 환경안전교육 수료증을 받지 않으면 실험실 및 연구실을 출입할 수 없도록 규정을 강화.
2) 정기 환경안전교육은 2일간(10~12과목)의 교육을 실시하고 평가 시험에 응시하여 일정수준의 점수를 획득하여야 수료증이 발급되며, 이 수료증은 환경안전교육 의무시행에 따라 대학원생 논문자격시험 첨부 자료로 활용.

○ 서울과학기술대학교 산학협력단

제2장 연구실의 안전조치

제6조 (안전관리규정의 작성 및 준수 등) ①연구주체의 장은 연구실의 안전을 유지관리하기 위하여 다음 각호의 사항을 포함한 안전관리규정을 작성하여 각 연구실에 게시 또는 비치하고, 이를 연구활동종사자에게 알려야 한다.

1. 안전관리조직체계 및 그 직무에 관한 사항
2. 연구실별 안전관리담당자의 지정 및 그 책임과 권한의 부여
3. 주기적 안전교육의 실시에 관한 사항
4. 연구실 안전표식의 설치 또는 부착
5. 사고발생시 긴급대처방안과 행동요령에 관한 사항
6. 사고조사 및 후속대책수립에 관한 사항
7. 그 밖의 안전관리에 관한 사항

② 연구주체의 장 및 연구활동종사자는 제1항의 규정에 따른 안전관리규정을 성실히 준수하여야 한다.
③ 연구주체의 장은 연구실 안전 환경과 관련된 주요사항을 협의하기 위하여 연구실안전관리위원회를 구성·운영할 수 있다.
④ 연구실안전관리위원회에서 협의하여야 할 사항은 다음 각호와 같다.

1. 제1항의 규정에 따른 안전관리규정의 작성 또는 변경
2. 제8조의 규정에 따른 안전점검계획의 수립

3. 제9조의 규정에 따른 정밀안전진단 계획의 수립
4. 그 밖의 연구실 안전환경 증진에 관한 주요사항

⑤ 연구실안전관리위원회에는 당해 대학·연구기관 등의 연구활동종사자가 2분의 1이상 포함되어야 한다.

⑥ 연구주체의 장은 연구실안전관리위원으로서 정당한 활동을 수행한 것을 이유로 당해 위원에 대하여 불이익한 처우를 하여서는 아니된다.

⑦ 제1항의 규정에 따른 안전관리규정을 작성하여야 할 연구실의 종류·규모와 제3항 및 제4항의 규정에 따른 연구실안전관리위원회의 구성·운영에 관한 세부기준 등은 과학기술부령으로 정한다.

제7조 (안전점검 및 정밀안전진단 지침) ① 과학기술부장관은 대통령령이 정하는 바에 따라 연구실의 안전점검 및 정밀안전진단의 실시내용·방법·절차 등에 관한 안전점검지침 및 정밀안전진단지침 을 작성하여 이를 관보에 고시하여야 한다.

② 과학기술부장관은 제1항의 규정에 따른 지침을 작성하는 경우에는 미리 관계중앙행정기관의 장과 협의하여야 한다.

제8조 (안전점검의 실시) ① 연구주체의 장은 연구실의 기능 및 안전을 유지관리하기 위하여 제7조의 규정에 따른 안전점검지침에 따라 소관 연구실에 관한 안전점검을 실시하여야 한다.

② 제1항의 규정에 따른 안전점검의 실시시기, 안전점검을 실시할 수 있는 자의 자격 등에 관하여 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

③ 연구주체의 장은 안전점검을 직접 실시하거나 대통령령이 정하는 일정 요건을 갖춘 전문기관으로 하여금 대행하게 할 수 있다.

제9조 (정밀안전진단의 실시) ① 연구주체의 장은 제8조의 규정에 따른 안전점검을 실시한 결과 연구실의 재해예방과 안전성 확보 등을 위하여 필요하다고 인정하는 경우에는 제7조의 규정에 따 른 정밀안전진단지침에 따라 정밀안전진단을 실시하여야 한다. 다만, 대통령령이 정하는 연구실로서 유해·위험물질 및 시설·장비를 취급하는 등 유해 또는 위험한 작업을 필요로 하는 연구 실은 정기적으로 정밀안전진단을 실시하여야 한다.

② 제1항의 규정에 따른 정밀안전진단의 실시시기, 정밀안전진단을 실시할 수 있는 자의 자격 등에 관하여 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

③ 연구주체의 장은 정밀안전진단을 직접 실시하거나 대통령령에서 정하는 일정 요건을 갖춘 전문기관으로 하여금 대행하게 할 수 있다.

○ 한국건설기술연구원

1. 연구실 안전조치 내역

가. 연구실 안전점검(정기)

시기 : 연간 1회 이상, 대상 : 기술연구소

조치사항 : 안전진단 실시 후 반드시 진단결과에 의거 가스, 전기시설 등 보완

나. 연구활동 종사자 건강검진

시기 : 연간 1회, 대상 : 기술연구소 연구활동 종사자

2. 연구실 안전교육 내역

가. 연구실 안전교육(정기)

시기 : 연간 1회 이상, 대상:기술연구소 연구활동 종사자,

내용 : 정밀안전진단 점검 결과 및 가스안전 등

나. 교육훈련

입사 시 연구실 안전관리 교육 실시

사내 그룹웨어 및 개별 메일을 이용하여 수시로 공지사항 전달 및 교육자료 발성

○ 경북대학교 산학협력단

1) 연구실 안전 점검 체계 및 실시

• 본 연구실은 이화학실험을 수행하지 않는 C등급 실험실임. 연구실안전법 제5조에 의거 연구주체의 장은 연구실 안전환경을 확보함. 연구실 안전점검 체계 및 실시는 이를 위해 상위 책임자를 다음과 같이 선임함.

• 연구실 일상점검 실시

- 대상: 이화학실험을 수행하지 않는 설계, 컴퓨터 관련 실험실(관리위험 C등급에 해당). 연구개발 활동에 사용되는 기계·기구·전기 등의 보관상태 및 보호 장비의 관리실태 등을 육안으로 실시. 연구특성상 기계·기구·전기에 대한 세부항목에 대하여 관리.
- 실시: 연구개발활동 시작 전 매일 1회 실시.

2) 연구 활동 종사자 건강검진 실시

• 교육과학기술부 '건강관리 실무매뉴얼' 에 따라 본 연구실은 안전 관리등급 C등급으로 검진대상에 해당하지 않으므로 정기건강검진에 대해서는 필수적인 요소가 아님. 하지만 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램 등의 개발을 담당하는 연구실의 특성상 연구활동 종사자의 자세 불량 등으로 발생할 수 있는 건강상의 문제가 발생할 수 있음. 따라서 연구주체의 장이 주기적인 건강검진(매년 1회)을 지원 및 권유.

3) 교육 훈련

• 개요: 본 연구에서 활용 되는 주요 기자재 및 고가장비의 도난 및 파손에 대한 관리교육

• 교육대상: 교수, 대학원생, 실험조교, 교내종사자, 소속연구원, 실험참여 학부생

• 교육 방식:

- 고가 장비: 기자재/고가 장비 구입처의 종사자가 직접 시험 운영 및 정비를 실시하고 취급주의사항을 설명하여 추후 연구실 내에서 기자재 활용 시, 기자재 파손이나 폭발로 인한 안전사고가 발생하지 않도록 미연에 방지.
- 기자재 취급 정·부 관리자책임제도: 주요 물품 혹은 고가 장비의 경우 연구책임 관리자가 "정" 관리자이며, 취급난이도가 낮은 기자재의 경우 선임 연구 활동자가 "정" 을 후임 연구 활동자가 "부" 책임을 짐.
- 신입연구자: 본교 신입연구자의 입학 시, 당해 상반기, 하반기별 기자재 및 고가 장비의 취급주의 및 사용설명을 1회 실시하며 사용법을 충분히 습득하기 전까지는 선임연구자의 동반하에 기자재 취급을 허용하도록 하여 안전사고 발생 위험율을 낮춤.

4) 의료공제

• 본교에서 자체적으로 운영하는 '학생의료공제회비' 는 학생이 학업과정 중 질병, 부상 등에의해 진료를 받을 때 적절히 급여를 제공하여 경제적 부담을 덜어주는 학생복지 제도로써 공제회비를 낸 재학생과 대학원생들을 대상으로 시행 중.

5) 추가 이행 계획

관리대상	안전관리시행
1) 실험실 공기질 관리, 환기	유해물질농도 측정관리, 환기대책수립
2) 실험실 기자재 및 PC 개선	노후 PC 및 기자재등 장비 교체 시행
3) 실험실 기자재 및 PC 관리지침 작성	기자재 관리를 위한 세부항목별 고유정보기록 시행
4) 케이블 및 전선 안전관리	케이블 감김방지물 등의 안전기기 설치
5) 과부하 및 과열 안전관리	온도감지 시스템 및 냉각기기 설치

나. 유전자변형생물체(LMO) 연구시설 및 수입 신고 현황

○ 해당사항 없음

2. 2세부-건설장비 가이드 기술 시스템화

○ 부산대학교 산학협력단

1) 연구실 안전점검

본 연구진은 미래창조과학부 고시 제2013-109호에 따라서 매일 실험전과 퇴실 전 일상점검을 실시했으며, 연간 2회 (7월과12월 (학기 종료 후 15일 이내-부산대학교 실험실습실안전관리규정 제10조)) 자체점검을 아래와 같이 실시했다.

항 목	내 용
점검시행 기관 및 담당자	연구실안전정보망 관리대상 연구실 및 각 연구실 안전관리자 정-부
점검목적	연구개발활동에 사용되는 기계·기구·전기·가스 등의 실험기자재와 약품·병원체 등 실험재료의 이상 유무와 보호장비의 관리실태 등을 점검
점검내용	일반사항, 산업위생, 화공·소방·전기·기계·가스·생물안전, 폐액관리 등
점검 후 조치사항	자체적으로 시정 가능한 것은 자체처리하며, 자체처리가 불가능한 것은 시설과에서 공사 시행

2) 정밀안전진단

본 연구진은 미래창조과학부 고시 제2013-109호에 따라서 외부 전문기관의 협조를 받아서 2년에 1회 연구실 정밀진단을 아래와 같이 받았다.

항 목	내 용
점검시행 기관 및 담당자	연안법 시행령 제11조의 요건을 갖춘 전문업체 및 시설과 담당자
점검목적	연구실에 대한 정밀한 안전점검
점검내용	일반사항, 산업위생, 화공·소방·전기·기계·가스·생물안전, 폐액관리 등
점검 후 조치사항	자체적으로 시정 가능한 것은 자체처리하며, 자체처리가 불가능한 것은 시설과에서 공사 시행

3) 교육훈련

참여연구원 교육훈련은 아래와 같이 집합교육을 통하여 실시했다.

항 목	내 용
교육대상	연구활동종사자 (대학원생, 과학기술분야[예술대 일부 포함] 조교, 연구원 등)
교육일정	3월(1차)과 4월(2차) 중 2차례에 걸쳐서 시행
교육내용	건설 분야 실험실 안전수행지침
교육평가	PASS 또는 FAIL로 구분
미이수자에 대한 조치	“연구실안전정보망”에서 사이버교육 이수할 수 있도록 안내

○ 중앙대학교 산학협력단

가. 연구실 안전조치 이행계획

- 연구실의 안전조치 이행계획은 다음과 같은 안전 관리 조직도에 의해 참여연구원에 대한 안전 관리를 목적으로 연구실 안전 점검 체계 및 안전교육을 실시함.

<연구실의 안전관리 조직도>

- 연구실 안전 점검 체계는 연구실 안전담당자 (담당 교수)의 책임 하에 참여연구원들이 연구 개발 활동에 사용되는 기자재에 대한 관리실태 및 안전용품의 보관 상태를 육안으로 점검하고 기록하는 일상점검과 매년 전문기관으로부터의 정기안전점검을 통하여 연구실에서 발생할 수 있는 안전사고를 미리 예방하고, 또한 안전용품의 상태를 점검하여 안전사고에 대비할 수 있도록 구축함.
- 연구실의 안전교육은 다음과 같이 연구실에서 연구 활동에 참여하고 있는 참여연구원들을 대상으로 연구실 안전 환경 조성에 관한 법률 제18조 (교육· 훈련 등)에 의해 실시되고 있음. 안전교육은 매 학기당 6시간의 온라인 안전교육을 실시하였으며, 실시한 과목은 아래의 표에 기재된 바와 같음.

과목	차시명	비고
연구실 안전일반	연구실안전	
	연구실안전 수칙 및 사고 시 행동요령	
연구실내 위험요인	전기안전	
	건설안전	
	컴퓨터안전	
소방안전	소방안전	
	화재 시 행동요령 (소화기, 소화전 사용법)	
사고사례	사고사례	

<연구실의 안전교육 과목>

- 온라인 안전교육만으로는 안전사고를 예방하기 위한 지식 확보에는 부족하다고 판단되어, 매달 추가적인 오프라인 안전교육을 통해 진행하여 안전사고를 예방할 수 있는 지식을 확보함.
- 현재까지 본 연구실에서 발생되었던 안전사고는 전무하나, 이번 국가연구 개발사업 수행 시, 발생할 수 있는 안전사고에 대비하여 연구실 환경개선 공사, 전문화된 안전교육 실시, 연구실 안전용품의 교체 등을 추가 이행함.
- 또한 연구실에서는 참여연구원들을 대상으로 (사)교육시설재난공제회의 보험에 가입하여 보험 가입을 통해 상해사망, 상해 및 후유장애, 부상에 대해서 상해 등급별로 보상금을 지급받을 수 있도록 함. 이러한 추가 이행 계획을 통해 연구실의 안전 환경을 구축함.

○ 인하대학교 산학협력단

1) 기술적 위험 요소 분석

가) 연구실 안전점검(연구실 안전환경 관리규정) (기관차원)

- 정밀안전진단 : 2년에 1회 외부 용역기관에 의뢰 실시
- 정기안전점검 : 1년에 1회 교내 전담부서(시설팀/안전방재실)에서 실시(연구실별 시행)
- 일상점검 : 1일에 1회 연구실 안전점검 후 일지 작성(연구실안전환경관리 시행세칙)

* 안전점검 실시내역(정기안전점검)

구 분	점검 년 월	점검대상 연구실	점검실	미점검실	비 고
정기안전점검	2011.11~12	210(A등급)	210	-	정밀안전진단 지적 사항 조치 확인
정기안전점검	2012.10~11	324(전체)	298	26	정기안전점검 실시 불안전 상태 개선요청
정기안전점검	2014.01~02	256	255	1	정밀안전진단 지적 사항 조치 확인
정기안전점검	2014.05~06	323(전체)	321	2	정기안전점검 실시 불안전 상태 개선요청
정기안전점검	2014.10~11	161	161	-	정기안전점검 지적 사항 조치 확인(2등급 이하)
정기안전점검	2016. 5~6	311	311	-	정기안전점검 실시 및 불안전 상태 개선요청

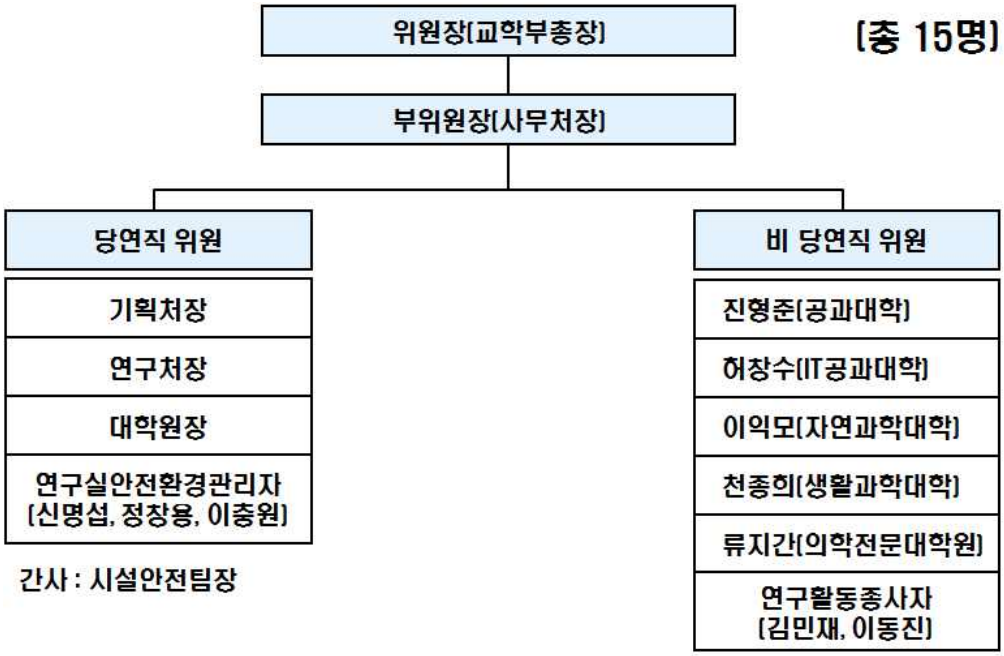
* 안전점검 실시내역(정밀안전진단)

구분	점검년월	점검실수						비 고
			1등급	2등급	3등급	4등급	5등급	
정밀안전진단	2008.02	242	31	79	122	10	-	
정밀안전진단	2009.06	267	15	93	143	16	-	
정밀안전진단	2011.08	271	67	156	46	2	-	
정밀안전진단	2013.11	311	53	132	127	-	-	
정밀안전진단	2015.05	316	33	251	32	-	-	
정밀안전진단	2017 예정	313	-	-	-	-	-	

2) 안전 관리 대책

가) 연구실 안전관리 조직(연구실별 조직표 작성 비치)

- 연구주체의 장 : 인하대학교 총장
- 연구실책임자 : 연구업무 및 연구활동종사자를 직접 지휘 · 감독하는 권한을 가진 부속 기관장
- 안전관리자 : 연구실의 안전관리를 담당하는 자(실별 책임자 또는 지도교수)
- 연구활동종사자 : 실험 및 연구활동에 종사하는 자(학부생, 대학원생, 연구원)
- 안전환경관리자 : 연구주체의 장을 보좌하고 전체 연구실 안전환경관리를 담당하는 자
- 안전관리 위원회(위원장 1인, 위원회 14명, 간사1명)



나) 연구활동종사자 상해보험 가입(학교차원 가입)

- 법적기준 : 사망/후유장애(1급)시 1인당 1억원, 상해 1인당 2천만원
- 대상인원 : 11,025명(대학원생 : 1,600명, 학부생 : 9,425명)
- 보험가입기간 : 2017-01-01 - 2018-01-01 (365일)
- 보험가입금액 : 34,662,200원
- 보험가입회사 : (사)교육시설재난공제회

다) 연구활동종사자 건강검진(학교차원 실시)

- 건강검진 대상 : 산업안전보건법 시행규칙 별표 제12조2항의 유해물질 취급 상주 연구활동종사자
- 건강검진 주기 : 1년에 1회 실시
- 건강검진 기관 : 인하대병원 산업의학과
- 건강검진 종류 : 유해 물질별 특수검진 실시(일반건강검진과 특수건강검진 격년 실시)

* 건강검진 실시내역

구분	검진 년월	검진대상자	검진인원	검진율 [%]	검진대상 기준	비 고
특수검진	2012. 06	300	209	70%	공기질 취약 연구실 연구원	산업안전보건법
일반검진	2013. 11	599	381	64%	정밀안전진단 후 대상연구실 선정	국민건강보험법
특수검진	2014. 11	682	544	80%	특수건강검진 대상물질 조사표 작성 후 해당 실험실 연구활동종사자	산업안전보건법
일반검진	2015. 11	872	545	63%	정밀안전진단 후 대상연구실 선정	국민건강보험법
특수검진	2016. 11	714	515	68%	특수건강검진 대상물질 조사표 작성 후 해당 실험실 연구활동종사자	산업안전보건법

라) 연구활동종사자 안전교육(학교차원 실시)

- 정기교육 : 온라인 교육(반기별 6시간 이상, 교내 안전관리 홈페이지 http://safety.inha.ac.kr 에서 교육 실시)
- 신규채용에 따른 교육(대학생, 대학원생) : 2시간 이상(집체 교육 또는 온라인 교육)
- 특별안전교육 : 사고발생 연구실 연구활동종사자 대상 교육(1시간 이상)

* 연구활동종사자 안전교육 현황

년 도		정기교육 (법정시간 : 월 1시간이상)			신규 종사자 교육 (법정시간 : 2시간 이상)			특별 안전교육 (사고발생 학과 및 교육요청 학과등)				평균 이수율
		대상자	이수자	이수율	대상자	이수자	이수율	횟수	대상자	이수자	이수율	
2015년	1학기	987	851	86%	322	296	92%	4	149	149	100%	89%
	2학기	1,163	917	77%	158	140	89%	3	353	308	87%	82%
2016년	1학기	1,142	871	76%	296	271	92%	-	-	-	-	79%
	2학기	진행중	진행중	진행중	174	157	90%	2	129	127	98%	

* 연구활동종사자 중 학부생은 실험 수업 전 실험 조교가 10분간 안전교육 실시(교육일지 작성)로 정기교육 대체

마) 연구실 안전확보 계획(연구실별 시행)

- 비상연락망, 연구실 안전수칙 부착 및 안전보호구 비치
- 안전을 위한 장비구입 및 시설 투자

* 2017학년도 예산 집행 계획

항 목	금액	내 용
1. 상해보험	61,000	- 연구활동종사자 상해보험
2. 건강검진	50,000	- 연구활동종사자 일반건강검진 실시 (대상자 약 1,000명 * 5만원)
3. 안전교육	10,000	- 1,2학기 집체 교육 : 6,000,000원 - 기타 안전교육비 : 4,000,000원
4. 정밀안전진단	40,000	- 2년에 1회 실시 (2017년도 실시)
5. 안전점검		
- 교내 전문가 점검단	4,000	- 교내 전문가 점검단2회/년 실시(자문료 등)
6. 안전시설 및 용품구매		
- 흄후드 풍속개선	30,000	- 산업안전보건법에 의거하여 0.4m/s 이하 연구실 풍속 개선 (15개소 x 2,000,000원 = 30,000,000원)
- 방폭캐비넷 구매	20,000	- 인화성물질 취급 연구실에 방폭 캐비닛 설치 (10개소 x 2,000,000원 = 20,000,000원)
- 환기형시약장 등 안전용품 구매	41,000	- 공기질 취약 연구실에 환기형시약장 설치 (10개소 x 4,100,000원 = 41,000,000원)
- 기타 안전용품구매	39,000	- 소화기, 방독면, 폐액통, 화재감지기, 전도방지장치 등 구매
7. 연구실 안전환경 개선사업		
- 연구실 환경 개선 공사	50,000	- 연구실 공간분리 및 환경개선 공사 - 정밀안전점검 지적사항 개선
- 우수연구실노후기기 지원 사업	100,000	- 전체 연구실 대상으로 신청을 받아 노후기기를 개선 - 안전점검 점수, 개선율, 안전교육 이수율 등으로 평가 (20개소 x 5,000,000원= 100,000,000원)
- 우수 연구실 리모델링 지원 사업	70,000	-노후가 심하고 안전사고의 위험이 높은 실험실 개선공사 (3개소 x 35,000,000원 = 약 70,000,000원)
- 전문가 안전점검 개선사업	35,000	-교내 전문가점검단 점검결과에 따른 개선사업 (7개소 x 5,000,000원 = 35,000,000원)
계	550,000	

제10장. 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)
1	논문	Interaction Analysis for Vision-based Activity Identification of Earthmoving Excavators and Dump Trucks	한양대학교 산학협력단	참여자	Automation in Construction	2.919	2018.03.01	단독	SCIE
2	논문	Optimal cut-fill pairing and sequencing method in earthwork operation	한양대학교 산학협력단	참여자	Automation in Construction	2.919	2018.03.01	단독	SCIE
3	논문	Eco-economic excavator configuration method	한양대학교 산학협력단	참여자	Automation in Construction	2.919	2017.11.15	단독	SCIE
4	논문	Modular data communication methods for a robotic excavators	한양대학교 산학협력단	교신저자	Automation in Construction	2.919	2018.02.02	단독	SCIE
5	논문	Utilization analysis methodology for fleet telematics of heavy earthwork equipment	한양대학교 산학협력단	교신저자	Automation in Construction	2.919	Accepted (2018.02.23.)	단독	SCIE
6	논문	VIRTUAL GRAPHIC REPRESENTATION OF CONSTRUCTION EQUIPMENT FOR DEVELOPING A 3D EARTHWORK BIM	한양대학교 산학협력단	교신저자	Journal of Civil Engineering and Management	1.53	2017.12.01	단독	SCIE

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)
7	논문	3D Earthwork BIM Design Methodology for Road Project	한양대학교 산학협력단	교신 저자	Journal of KIBIM	-	2017.03	단독	비SCI
8	논문	Analysis of Accuracy Factor for 3D Reconstruction using 2D Image Obtained from Unmanned Aerial Vehicle (UAV)	한양대학교 산학협력단	참여 자	33rd International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2016)	-	2016.07.18	단독	비SCI
9	논문	Optical marker-based end effector pose estimation for articulated excavators	한양대학교 산학협력단	참여 자	Automation in Construction	1.81	2016.02.06.	단독	SCIE
10	논문	다짐공사에 대한 롤러의 효율적 품질관리 방안 연구	한양대학교 산학협력단	교신 저자	대한토목학회논문집	-	2017.06.01	단독	비SCI
11	논문	Vision-based activity analysis framework considering interactive operation of construction equipment	한양대학교 산학협력단	제1/ 교신	Computing in Civil Engineering 2017	-	2017.06	중복	SCI
12	특허	덤프트럭 운반 경로 도출 방법 및 장치	한양대학교 산학협력단	-	대한민국	100	2017.12.29.	-	10-2017-0184434

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)
13	특허	건설현장 맞춤형 이미지 분석기술을 활용한 중장비/근로자 인식 및 추적 방법 및 시스템	한양대학교 산학협력단	발명자	대한민국	100	2017.10.13.	-	10-1788225
14	특허	토공사 설계모델 증강현실 구현 방법 및 시스템	한양대학교 산학협력단	발명자	대한민국	100	2017.08.23	-	10-1767027 0000
15	특허	토공사를 위한 증강현실 기술 및 장치	한양대학교 산학협력단	발명자	대한민국	-	2017.01.03	-	10-2017-00 00588
16	특허	AR기반 토공사 건설 관제를 위한 시스템 및 장치	한양대학교 산학협력단	발명자	대한민국	-	2016.05.01	-	10-2016-00 66235
17	특허	GPS를 활용한 건설장비 관제 시스템 및 그 방법	한양대학교 산학협력단	발명자	대한민국	-	2015.03.23	-	10-2015-00 40081
18	특허	단지공사 토공 운반로 도출 방법, 운반로 자료 생성 장치 및 그 방법	한양대학교 산학협력단	발명자	대한민국	-	2015.03.20	-	10-2015-00 38571
19	SW	덤프트럭 이동경로 탐색 프로그램	한양대학교 산학협력단	-	대한민국	-	2018.01.03.	-	C-2018-000 260
20	SW	다중지오이미지 기반 포인트 클라우드 생성 및 신속 데이터 가공 소프트웨어	한양대학교 산학협력단	-	대한민국	-	2017.12.11.	-	C-2017-033 066
21	SW	건설현장 특성을 고려한 3D 모델링 기반 카메라 배치 시뮬레이션 소프트웨어	한양대학교 산학협력단	-	대한민국	-	2017.07.25.	-	C-2017-027 607

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)
22	SW	덤프트럭 운반횟수 산정 프로그램	한양대학교 산학협력단	-	대한민국	-	2017.2.27	-	C-2017-005352
23	SW	토공장비 생산성 분석 프로그램	한양대학교 산학협력단	-	대한민국	-	2017.2.27	-	C-2017-005351
24	SW	엔엠이에이(NMEA) 데이터 수신 프로그램	한양대학교 산학협력단	-	대한민국	-	2017.2.27	-	C-2017-005350
25	SW	모바일 기반 토공 운반장비 네비게이터 프로그램	한양대학교 산학협력단	-	대한민국	-	2017.2.27	-	C-2017-005349
26	SW	관제용 글로벌 맵 정보 취득 시스템	한양대학교 산학협력단	-	대한민국	-	2017.2.14	-	C-2017-005015
27	SW	토공작업 특성을 고려한 건설장비의 작업분석 소프트웨어	한양대학교 산학협력단	-	대한민국	-	2017.1.25	-	C-2017-002248
28	SW	GIS기반 건설장비 위치추적 프로그램	한양대학교 산학협력단	-	대한민국	-	2016.6.2	-	C-2016-013275
29	SW	토공사 3차원 설계 프로그램	한양대학교 산학협력단	-	대한민국	-	2016.6.2	-	C-2016-013276
30	SW	BIM기반 토공장비 시각화 프로그램	한양대학교 산학협력단	-	대한민국	-	2016.6.2	-	C-2016-013274

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)
31	SW	인식과 추적의 상호보완 및 온라인 학습을 활용한 건설현장 작업자/중장비 추적 소프트웨어	한양대학교 산학협력단	-	대한민국	-	2016.5.31	-	C-2016-013070
32	SW	Flexible Civil BIM	한양대학교 산학협력단	-	대한민국	-	2015.2.10	-	C-2015-003321
33	학술	Development of Web-GIS based Fleet Telematics System for Heavy Equipment	한양대학교 산학협력단	-	International Symposium on Smart Operation of Heavy Equipment	-	2017.02.14	단독	-
34	학술	Parametric Modeling Technique Based Typical Sections Design for 3D Earthwork BIM	한양대학교 산학협력단	-	International Symposium on Smart Operation of Heavy Equipment	-	2017.02.14	단독	-
35	학술	Interaction Analysis for Vision-based Activity Identification of Construction Equipment	한양대학교 산학협력단	-	International Symposium on Smart Operation of Heavy Equipment	-	2017.02.14	단독	-
36	학술	A Study on Comparison and Utilization of Hybrid Point Cloud Data for Earthwork Project Using Laser Scanner and UAV based Image Processing	한양대학교 산학협력단	-	International Symposium on Smart Operation of Heavy Equipment	-	2017.02.14	단독	-

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)
37	학술	Methodology of Earthwork BIM Modeling & Un-excavated Volume Calculation of Road Project	한양대 학교 산학협 력단	-	2016 한국건설관 리학회 정기학술발 표대회	-	2016.11.11	단독	-
38	학술	건설장비의 상호작용을 고려한 영상기반 작업분석 방법론 개발에 관한 예비적 연구	한양대 학교 산학협 력단	-	2016 한국건설관 리학회 정기학술발 표대회	-	2016.11.11	단독	-
39	학술	영상모니터링을 위한 카메라 배치 설계에 관한 연구	한양대 학교 산학협 력단	--	2016 한국건설관 리학회 정기학술발 표대회	-	2016.11.11	단독	-
40	학술	토공사에 최적화된 3차원 BIM 설계 시스템 개발에 관한 연구	한양대 학교 산학협 력단	-	2016 대한토목학 회 정기학술발 표대회	-	2016.10.20	단독	-
41	학술	굴삭기 머신가이던스를 활용한 토공작업 테스트 및 성능평가	한양대 학교 산학협 력단	-	2016 대한토목학 회 정기학술발 표대회	-	2016.10.20	단독	-
42	학술	Earth Work Bim for Machine Guidance	한양대 학교 산학협 력단	-	2016 대한토목학 회 정기학술발 표대회	-	2016.10.20	-	-
43	학술	광역 현장의 효율적인 토공장비관리를 위한 GIS-Web기반 토공관제시스템 개발	한양대 학교 산학협 력단	-	2016 대한토목학 회 정기학술발 표대회	-	2016.10.20	-	-
44	학술	BIM기반 건설장비 모니터링 시스템용 좌표 변환에 관한 연구	한양대 학교 산학협 력단	-	2016 대한토목학 회 정기학술발 표대회	-	2016.10.20	-	-

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)
45	학술	로컬영역에서의 토공장비 관제 모니터링을 위한 VR 시뮬레이터 개발	한양대학교 산학협력단	-	2016 대한토목학회 정기학술발표대회	-	2016.10.20	단독	-
46	학술	토공 BIM 설계 시스템을 활용한 부지정지 사업의 설계적용사례에 관한 연구	한양대학교 산학협력단	-	2016 대한토목학회 정기학술발표대회	-	2016.10.20	단독	-
47	학술	자동 영상모니터링을 위한 카메라 네트워크 설계에 관한 기초 연구	한양대학교 산학협력단	-	2016 대한토목학회 정기학술대회	-	2016.10.14	단독	-
48	성과 홍보	‘ICT 활용 건설장비 관제 스마트 시공기술’ 시연 눈길 끌다	한양대학교 산학협력단	-	건설기술신문	-	2018.02.12	-	-
49	성과 홍보	측량오차 인한 시공오류 과굴착 줄인다	한양대학교 산학협력단	-	건설기술신문	-	2017.2.24	-	-
50	성과 홍보	‘ICT 기반 토공관제 기술연구단’, 국제 심포지엄 개최	한양대학교 산학협력단	-	건설기술신문	-	2017.2.24	-	-
51	성과 홍보	International Workshop on "Smart Operation of Heavy Equipment"	한양대학교 산학협력단	-	Symposium 개최	-	2017.2.14	-	-
52	성과 홍보	건설 장비 관제 및 스마트 시공 기술 개발 연구단	한양대학교 산학협력단	-	KSCE 2016 CONVENTION CIVIL EXPO	-	2016.10.20.~ 2016.10.21	-	-

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)
53	논문	건설장비 플릿관리 시스템개선에 관한 연구	서울과학기술대학교	교신저자	토목학회지 ISSN 1015-6348	-	2017.12	단독	비SCI
54	논문	토공 협업시스템의 적용성 개선에 관한 연구	서울과학기술대학교	-	토목학회 학술대회	-	2017.10.20	단독	우수논문상
55	논문	건설장비 최적운영시스템을 적용한 실시간 토공작업에 관한 연구	서울과학기술대학교	-	토목학회 학술대회	-	2017.10.20	단독	비SCI
56	논문	Development of a Cooperative Management System for Intelligent Earthwork Operations	서울과학기술대학교	-	ISARC 2017	-	2017.06.28	단독	SCI
57	논문	효율적인 토공작업을 위한 건설장비 운영시스템 개발	서울과학기술대학교	-	대한토목학회 논문집	-	2017.02	단독	비SCI
58	SW 등록	토공작업을 위한 건설장비 플릿관리 시스템	서울과학기술대학교	-	한국저작권위원회	-	2017.11.27. (C-2017-029979)	-	-
59	학술	Development of a fleet management system for effective earthwork operations	서울과학기술대학교	-	International Symposium on Smart Operation of Heavy Equipment	-	2017.02.14	단독	-
60	학술	건설장비 운영 효율화를 위한 자원할당 시스템개발	서울과학기술대학교	-	2016 한국건설관리학회 정기학술발표대회	-	2016.11.11	단독	-
61	학술	플릿(Fleet)형 협업 시뮬레이터 모듈 개발에 관한 연구	서울과학기술대학교	-	2016 대한토목학회 정기학술발표대회	-	2016.10.20	단독	-

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)
62	논문	3차원 스캐너의 토공현장 적용을 위한 정밀도 및 생산성 분석	한국건설기술연구원	교신저자	대한민국	100	2015.10.01	단독	비SCI
63	특허	지반정보 분석 장치 및 방법	한국건설기술연구원	-	대한민국	100	2016.10.19	-	-
64	특허	3D 스캐너를 이용한 토공량 산정 시스템 및 방법	한국건설기술연구원	-	대한민국	100	2015.08.18	-	-
65	SW	3D-TPP(3차원 건설현장지반 플랫폼(3차))	한국건설기술연구원	-	대한민국	100	2018.01.03	-	-
66	SW	3D-TPP(쓰리디 티피피-히스토리관리)	한국건설기술연구원	-	대한민국	100	2018.01.03	-	-
67	SW	3차원 지형지반 분석 시스템 자동모듈 (3D-TPP Auto)	한국건설기술연구원	-	대한민국	-	2017.2.27	-	-
68	SW	3차원 지형지반 분석 시스템(3D-TPP)	한국건설기술연구원	-	대한민국	100	2016.06.09	-	-
69	학술	Productivity analysis for the 3D digitization of earthwork sites based on scanning conditions	한국건설기술연구원	-	International Symposium on Smart Operation of Heavy Equipment	-	2017.02.14	단독	-
70	학술	스마트 스캔플랫폼과 연계한 3차원 지형지반 분석시스템 개발 및 적용	한국건설기술연구원	-	2016 대한토목학회 정기학술발표대회	-	2016.10.20	단독	-
71	학술	건설자동화 국외연구동향 조사를 위한 텍스트마이닝 분석	한국건설기술연구원	-	2016 대한토목학회 정기학술발표대회	-	2016.10.20	단독	-

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)
72	학술	Empirical Development of 3D Terrain Processing Platform for Autonomous Excavation System	한국건설기술연구원	-	Civil Engineering Conference in the Asian Region CECAR7	-	2016.09.01	단독	-
73	성과 홍보	토공지형 디지털 구현기술 및 제도화 방향	한국건설기술연구원	-	한국건설관리학회지 (Vol.18 No.1 pp.9-13) 특집	-	2017.2	-	-
74	논문	Optimal cut-fill pairing and sequencing method in earthwork operation	경북대학교	참여자	Automation in Construction	2.919	2017.12.07	단독	SCIE
75	논문	Eco-economic excavator configuration method	경북대학교	참여자	Automation in Construction	2.919	2017.11.15	단독	SCIE
76	논문	DOZER WORKABILITY ESTIMATION METHOD FOR ECONOMIC DOZING	경북대학교	-	Journal of Construction Engineering and Management	1.735	2016.09.09	단독	SCIE
77	논문	STOCHASTIC DOZER PRODUCTIVITY ESTIMATION METHOD	경북대학교	-	KSCE Journal of Civil Engineering	0.812	2016.07.31	단독	SCIE
78	특허	굴삭기 조합정보 제공시스템 및 굴삭기 최적 조합 설정방법	경북대학교	-	대한민국	-	2017.08.30	-	-
79	학술	Dozer Workability Estimation Method for Economic Dozing	경북대학교	-	대한민국	-	2017.02.14	단독	-

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)
80	학술	도저 생산성 연산기법 비교연구	경북대 학교	-	대한민국	-	2016.10.04	단독	-
81	학술	혼합정수선형모델 및 유전알고리즘을 활용한 최적 토량배분계획 방법론	경북대 학교	-	대한민국	-	2016.10.04	단독	-
82	학술	시간-이윤 최적관계를 고려한 굴삭기 구성 전략	경북대 학교	-	대한민국	-	2016.10.04	단독	-
83	학술	경제적 도징을 위한 최적기어단수 선정 방법	경북대 학교	-	대한민국	-	2016.10.20	단독	-
84	논문	Virtual graphic representation of construction equipment for developing a 3D earthwork BIM	부산대 학교	주저 자	Journal of Civil Engineering and Management	1.546	2017.11.01	단독사사	SCIE/
85	논문	3D 토공 BIM 시스템 데이터베이스 구축을 위한 속성 데이터 관리	부산대 학교	주저 자	한국BIM 학회 논문지	-	2016.12.01	단독사사	학술등재
86	논문	3D 토공 BIM 시스템 데이터베이스 구축을 위한 속성 데이터 관리	부산대 학교	주저 자	한국BIM 학회 논문지	-	2016.12.01	단독사사	학술등재
87	특허	가이던스를 위한 토공작업 음성정보 제공 시스템 및 그 방법	부산대 학교	1인	한국	-	2017.12.29	출원	-

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)
88	특허	굴삭기의 기구학적 생성 에너지를 이용한 가이던스 센서 및 기타 센서 전력공급 발전 시스템	부산대 학교	4인	한국	-	2017.02.23	출원	-
89	특허	토공공사 수행시 굴삭기의 형상정보를 실시간 제공하는 굴삭기 3D 토공 BIM 시스템	부산대 학교	1인	국제 PCT	-	2017.01.20	등록	-
90	특허	비콘과 수신기를 이용한 건설장비 위치추적시스템 및 그 방법	부산대 학교	1인	국제 PCT	-	2017.01.20	등록	-
91	특허	토공공사 수행시 굴삭기의 형상정보를 실시간 제공하는 굴삭기 3D 토공 BIM 시스템	부산대 학교	1인	한국	-	2017.01.06	등록	-
92	특허	비콘과 수신기를 이용한 건설장비 위치추적시스템 및 그 방법	부산대 학교	1인	한국	-	2017.01.06	등록	-
93	특허	굴삭기용 진동저감장치	한양대 학교에 리카산 학협력 단	7인	한국	-	2016.08.23	등록	10-1651969 0000
94	특허	탈부착이 가능한 유압실린더의 변위 측정장치	한양대 학교에 리카산 학협력 단	7인	한국	-	2018.01.23	등록	10-1822873 0000

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)
95	소프트웨어	영상 센서 기반 작업자 근접 탐지 시각화 프로그램	중앙대학교	-	대한민국	-	2015.11.09	-	-
96	특허	작업 현장 영상 데이터 내의 작업자 인식 방법	중앙대학교	-	대한민국	-	2016.10.17	-	-
97	소프트웨어	단일 영상센서를 이용한 설정 높이 이상의 근거리 물체 실시간 감지 시스템	중앙대학교	-	대한민국	-	2017.02.21	-	-
98	소프트웨어	안전 가이던스 시스템 서버 프로그램 v1.0.0.16	중앙대학교	-	대한민국	-	2017.12.15	-	-
99	소프트웨어	패턴 매칭 기반 안전 보호 장구 판별 프로그램	중앙대학교	-	대한민국	-	2018.01.23	-	-
100	논문	Development of a 3D local terrain modeling system of intelligent excavation robot	인하대학교 산학협력단	교신저자	KSCE Journal of Civil Engineering	0.812	2017. 03. 31	단독	SCIE
101	논문	굴삭기 AR 시스템을 위한 이미지 프로세싱 기반 가상 이미지 중첩 기술	인하대학교 산학협력단	교신저자	한국건설관리학회논문집	-	2017.03.31	단독	비SCI
102	논문	건설장비 어라운드 뷰 모니터링(AVM) 시스템의 파일럿 타입 개발	인하대학교 산학협력단	교신저자	한국건설관리학회	-	2016. 05. 31	단독	비SCI
103	특허	AVM 기반의 굴삭기 작업 정보 모니터링 장치 및 그 방법	인하대학교 산학협력단	-	대한민국	-	2017. 10. 12	-	등록

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)
104	특허	굴삭기 버킷위치와 현재 굴삭면 간 연직거리 지형도 시스템 및 연직거리 계산방법	인하대학교	-	대한민국	-	2017.08.17	-	등록
105	저작권	태블릿 기반 굴삭기 버킷 위치 디스플레이 소프트웨어	두산인프라코어 주식회사	-	대한민국	-	2017.12.26	-	-
106	특허	건설장비 정보의 디스플레이 장치, 제어장치 및 디스플레이 방법	두산인프라코어 주식회사	-	대한민국	-	2017.02.13	-	-
107	특허	건설장비의 정보 표시방법 및 장치	두산인프라코어 주식회사	-	대한민국	-	2017.02.03	-	-
108	논문	굴삭기의 버킷 끝단 위치 인식에 관한 연구	두산인프라코어 주식회사	-	대한민국	-	2016.01.11	-	-
109	특허	건설기계의 가이던스용 웨어러블 디바이스 및 이를 이용한 작업정보 표시 방법	두산인프라코어 주식회사	-	대한민국	-	2015.07.03	-	-

제11장. 향후 연구개발 활용계획(안)

1. 건설장비자동화기술 연구사업(2단계 연구과제) 개요

□ 연구제목

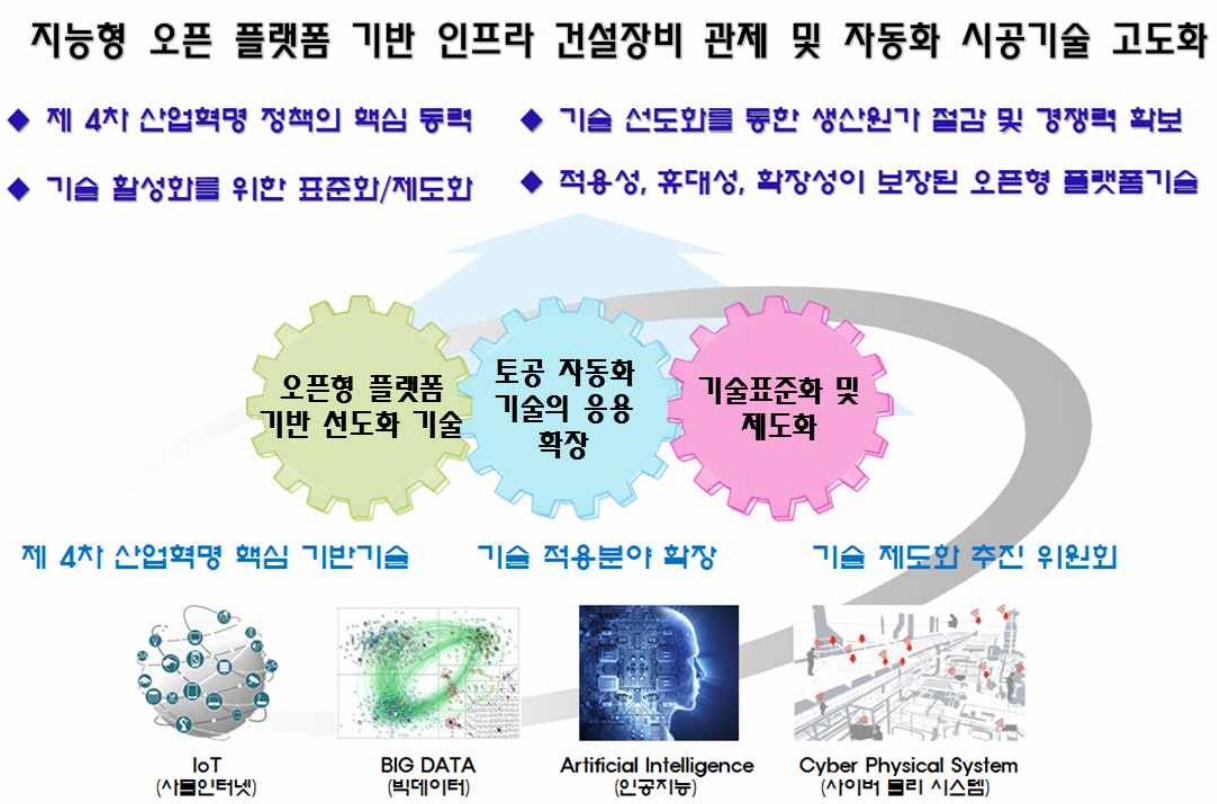
- 지능형 오픈 플랫폼 기반 인프라 건설장비 관제 및 자동화 시공기술 고도화

□ 목적

- 사물인터넷(IoT), 빅데이터, 인공지능, 사이버물리시스템 등을 기반으로 “언제(Anytime)”, “어디서라도(Anywhere)”, “어느조건이든(Anydevice)” 손쉽게 이동설치가 가능한 “지능형 오픈플랫폼 기반 건설자동화 기술”을 개발하여 대규모 복합 토공사(Large Scale, 500,000㎥이상 부대공 포함)를 대상으로 성능 검증 및 실증 후, 국내외 건설시장에 보급

□ 지원 규모 및 지원범위

- 지원규모: ’19년 1개 30억원 / 신규 1개 30억원
- 지원범위: 대학, 출연(연), 기업연구소 등에 전부 또는 일부 출연(참여기업이 있는 경우 Matching)



<지능형 오픈 플랫폼 기반 인프라 건설장비 관제 및 자동화 시공기술 고도화 기본 개념(안)>

2. 건설장비자동화기술 연구사업 추진배경

□ 외국 및 민간의 사례

- GeoManager(Fleet Solutions, 미국 Trimble사)

  - Fleet Productivity : 실시간 위치정보 및 운송 관리, 운전자와 엔지니어의 직접 통신
  - Fuel Reduction : 차량의 지나친 과속 및 공회전 관리, 차량 유지보수 스케줄관리
  - Driver Safety : 차량 과속 최소화, 위험지역 궤도차량 관리, 긴급 상황 알림
  - Environmental Impact : 과속 및 공회전, 경로 편차와 같은 탄소 방출의 원인 활동을 감소
  - Asset Utilization : 장비 고장의 위험을 낮추어 부품의 마모를 감소, 자산 사용보고를 자동화
  - Business Intelligence : 운전자와 기술자의 의사소통 개선 및 정확한 추적으로 초과근무 비용 절감



<GeoManager,Trimble>

- 머신가이던스 및 정보화시공관련 기술들은 기존에 토공에서 가장 많이 사용되는 도저 및 굴삭기를 대상으로 많이 수행되어 왔으나 최근, 그레이더, 로라다짐기, 페이버, 오거천공기 등 다양한 장비로 확대되고 있는 추세임. 또한 3D 머신가이던스로의 발전을 위해 각 장비별 특성과 여건을 반영한 BIM기반 설계소프트웨어 혹은 서비스와 관련된 업종이 상업화되고 있음

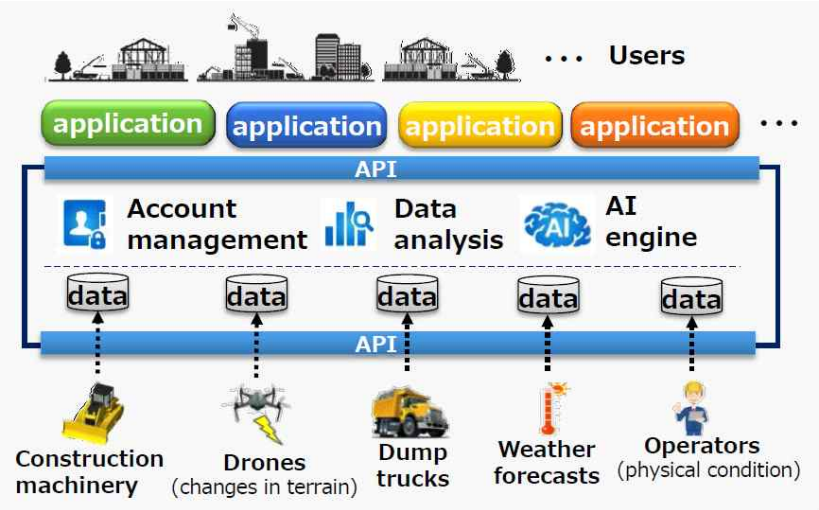


<건설장비별 머신가이던스 시제품 (Leica社)>

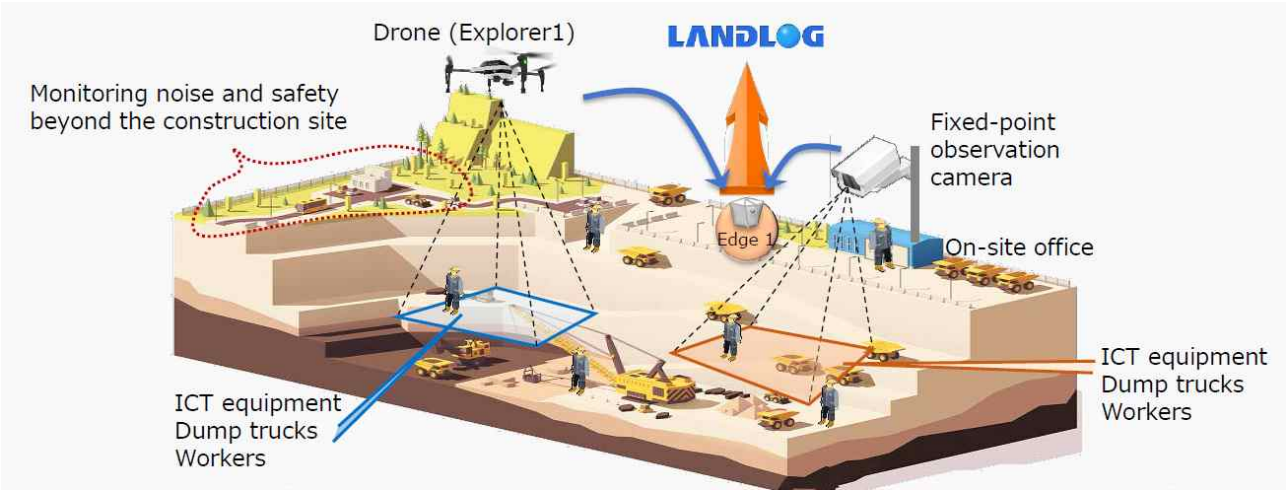
- 최근 일본의 경우, 2017년 10월 KOMATSU 社, NTT docomo 社, SAP 社, OPTiM 社가 IoT를 사용하여 건설 생산 공정을 가속화하는 개방형 플랫폼인 「LANDLOG」 합작회사를 설립함
  - LANDLOG는 토지 조사, 측정, 설계, 운영 및 유지 보수를 비롯하여 건설 프로세스에서 얻은 모든 Jobsite 데이터를 수집하고 처리하는 개방형 IoT 플랫폼임. 즉 현장 지형, 시공 장비, 재료 및 차량 등과 같은 시공 생산 데이터를 축적하여 현장 생산성을 높이기 위해 보다 유용한 형식을 클라우드형으로 운용·제공하는 시스템임
  - KOMATSU 社는 지형 변화에 대한 3D 측정기술 및 건설 공사에 관여하는 사람·기계 등의 움직임을 가시화하는 노하우를 제공함. docomo 社는 LTE, LPWA, 5G 등 무선 통신 관련 기술 및 서비스 제공하며, SAP 社는 플랫폼 운용, OPTiM 社 AI·IoT 및 Cloud IoT OS의 활용 등에 관한 노하우 제공함
  - 2018년 3월 1일 LANDLOG 社의 언론보도에 따르면, LANDLOG를 애플리케이션 개발 제공 업체에 공개하였음. 애플리케이션 제공자들은 LANDLOG에서 다양한 솔루션 애플리케이션을 개발하고 제공할

수 있으며 이러한 API를 통해 얻은 정보와 플랫폼에서 공개된 기본 API를 사용할 수 있음. 향후 다음 솔루션 애플리케이션을 출시할 예정임

① Smart glass for construction job sites「G-eye」 (Atos Co.,Ltd.)
② Construction management application「Building more」 (Kageyama Construction Co., Ltd.
③ ICT solutions to construction job sites「SMART CONSTRUCTION」 (Komatsu Ltd.)
④ Dump truck efficiency application「TRUCK VISION」 (Komatsu Ltd.)



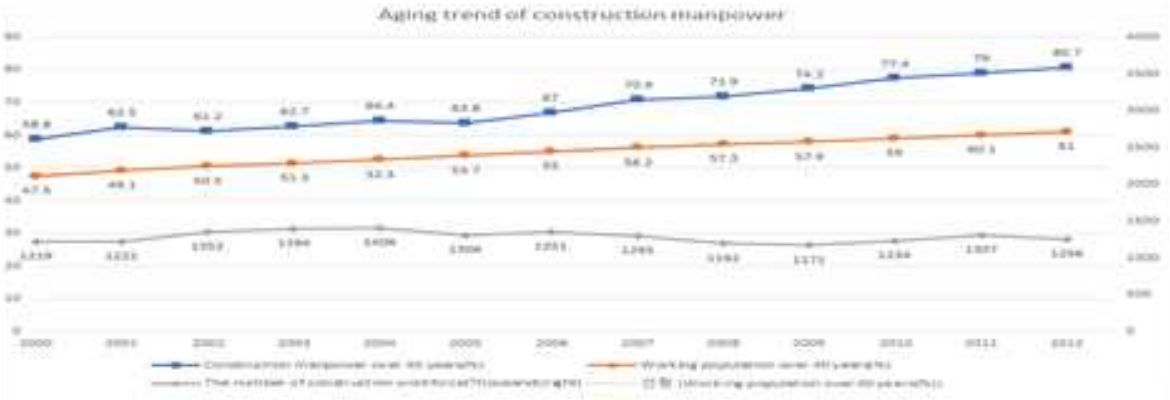
<LANDLOG 기본개념 (출처: docomo 社)>



<LANDLOG를 활용한 건설현장 개념도 (출처: docomo 社)>

□ 국내 건설산업 경쟁력 악화

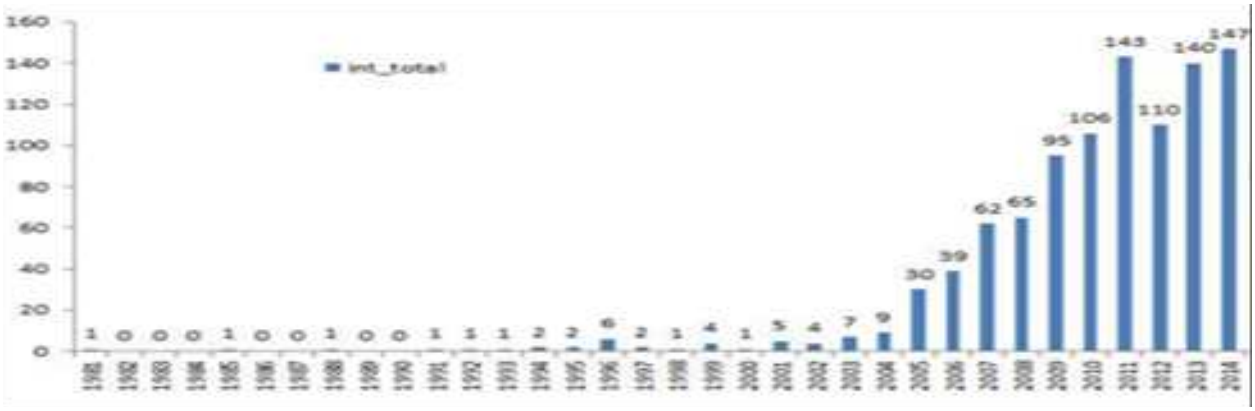
- 건설산업은 노무비가 전체 원가의 30~40%를 차지하며, 타 산업에 비해 숙련공에 대한 의존도가 높은 노동집약적인 산업이기 때문에 숙련공 부족은 건설 산업의 경쟁력을 약화시키는 주된 요인
- 건설 산업은 특성상 대다수의 청년층에게 3D라는 인식이 강하여 신규 노동자의 유입이 타 산업에 비해서 적고, 나쁜 작업환경 등으로 인해 안전사고 발생율이 높아 국내 청년층들의 건설 산업 기피 현상은 더욱 심화
- ’00년대부터 ’12년까지 건설 기능인력의 나이는 꾸준히 상승하였음



<건설기능인력 추세(2010~2012)>

□ 국내 건설기술력 부족

- 국내 가이드 시스템(머신가이던스) 기술은 해외 선진국에 비해 원천기술이 매우 부족한 실정이며, 플릿 관제 기술은 건설장비에 도입된 바 없었음. 또한 건설장비의 가이드 시스템과의 통합을 목표로 한 기술 개발도 미미한 실정임
- 머신가이던스 및 건설장비 통합 관제 등 첨단 건설기술의 해외논문이 ‘05년을 시작으로 최근까지 급격하게 증가하고 있음



<머신가이던스 및 건설장비 통합관제 관련 해외 논문 추이>

□ 국내외 정책 현황 및 문재인 정부 정책기조와의 부합성

- **(일본)** 정부주도로 정보화 시공(토공)에 대한 장기적인 기술개발 및 활성화 정책을 추진('17년 국토교통성 장관주재 정보화시공(토공) 확산을 위한 "i-Construction" 컨소시움 구성 및 추진중)
- **(미국)** 각 DOT(도로국)에서 도로토공에 AMG(Automated Machine Guidance) 시스템의 보급 및 활용을 위한 구체적 가이드라인 제시(USDOT, '16)
- **(유럽)** 유럽연합의 CECE(Committee for European Construction Equipment)에서는 건설 생산성을 극대화하고 품질을 향상시키기 위한 기술로 권장 (작업시간 50% 단축, 연료소비 43%감축)
- **(대한민국)** 문재인 정부의 핵심정책기조로 "4차 산업혁명의 플랫폼 구축을 통한 고부가가치 창출 미래형 신산업을 발굴/육성(ICT기반 글로벌 경쟁력을 갖춘 소프트웨어 및 플랫폼 역량 강화 목표)" 강조
- 국토교통부는 ' 17. 4월 "국토교통 4차 산업혁명 대응 전략"에서 향후 중점 추진 과제로서 "AI, 빅데이터, 무인비행체, 로봇, 사물인터넷" 등의 첨단 ICT기술을 바탕으로 국토교통 산업의 지능화·고도화 진행을 목표로, 향후 관련 R&D 투자 확대 및 인력 양성 추진 표명

□ 선행 과제인 "ICT를 활용한 건설장비 관제 및 스마트시공 기술개발"과의 연계성

- 선행 과제는 크게 두 가지로 나눌 수 있는데, 첫 번째는 토공사를 대상으로 4차산업 혁명의 핵심 기술인 드론 및 BIM 등을 활용한 측량 및 설계, Eco-operation, 로컬 네트워크를 활용한 현장관제, 건설중장비 협업 시스템 관리 등 건설장비 통합관제 기술개발이며, 두 번째는 머신가이던스, Around View System(AVM) 등 건설장비 가이드 기술을 시스템화하는 것임
- 선행 과제에서는 연구개발 결과품을 현장에 일부 적용하여 연구결과의 효용성을 입증하였음

  - 한양대학교 에리카캠퍼스 야외행사장 조성공사 → 건설장비 관제 및 스마트 시공기술을 적용한 결과 토공사에서 건설장비의 생산성은 42%향상, 건설장비 운용비는 22.8% 감소
  - 용산 오염토 치환공사 → 건설장비 관제 및 스마트시공기술을 적용한 결과 토공사에서 건설장비의 생산성은 38.3%향상, 건설장비 운용비는 27.4% 감소
  - 전남 곡성 옥과 00주상복합 조성공사 → 건설장비 관제 및 스마트시공기술을 적용한 결과 토공사에서 건설장비의 생산성은 33.6%향상, 건설장비 운용비는 36% 감소

- 선행 과제에서는 토공사를 대상으로 건설기술과 ICT기술을 성공적으로 접목하여 현장적용을 통해 기술의 효용성을 입증하였다면, 2단계 연구과제에서는 선행 연구를 바탕으로 건설장비 관제기술을 클라우드 컴퓨팅 기술을 접목하여 지능형 오픈 플랫폼화하고, 자동화 시공기술의 대상을 대규모 복합 토공사 (500,000㎥이상 포장 등 부대공 포함) 등으로 그 범위를 확장

2. 건설장비자동화기술 연구사업 내용

□ 건설장비 관제 오픈플랫폼 개발 및 Smart Local Network 기반 IoT 체계 구축

- 다양한 형태의 머신가이던스 제품군과 커뮤니케이션이 가능한 지능형 오픈 플랫폼 기반 관제센터 기술개발
- 클라우드 컴퓨팅에 근거한 원지반 데이터 처리 및 모델링, 대규모 복합토공(단지형 터파기, 흙쌓기, 매립, 기초, 관거를 포함한 부대공) BIM 설계정보 및 작업계획 업데이트 등 모든 업무를 일괄하여 능동적으로 처리하는 원스톱 서비스(One stop service)가 가능한 지능형 오픈 플랫폼 기반 Clouding BIM기술 개발
- 광역 현장의 장비군 관제를 자율적으로 실시간 판단·대처·예방할 수 있는 지능형 관제 시스템 개발
- 국내 도로/교통 빅데이터를 활용한 실시간 건설운반장비의 최적 이동경로정보를 제공할 수 있는 C-Map 네비게이션 개발
- 장착 및 해체가 용이하고 신속한 캘리브레이션이 보장된 무선 IoT기반 머신가이던스 시스템 패키지 개발
- GPS 수신 장애지역에서 토공장비의 신뢰적인 위치정보를 산출 가능한 Wi-fi Positioning System 기술개발 및 통합
- 현장내 무선통신 장애지역에서 신속·정확한 데이터 통신이 보장되는 무선 네트워크 고도화 기술 개발

□ 천공장비(오거(Auger) 및 파일드라이버(Pile driver))와 포장 장비용 관제기술 및 자동화 시공기술 개발

- 대규모 복합 토공사 자동화 현장시공을 위한 천공 및 포장 BIM 모듈 개발 및 기존 토공 BIM 모듈과의 통합
- Web-GIS기반 모니터링 및 품질관리를 위한 기존 관제 시스템 업그레이드
- 정밀 품질시공을 위한 Robotic Total Station기반 장비 포지셔닝 기술 개발
- 무선 IoT기반 휴대형 머신가이던스 패키지 및 신속 캘리브레이션기술 개발
- 머신컨트롤 기술의 응용 확장을 통해 포장장비의 자동화 및 관제센터와의 연계를 통한 리모트 컨트롤 기술 개발

□ 인프라 시설물 구축을 위한 모바일 크레인 장비 관제기술 및 자동화 시공기술 개발

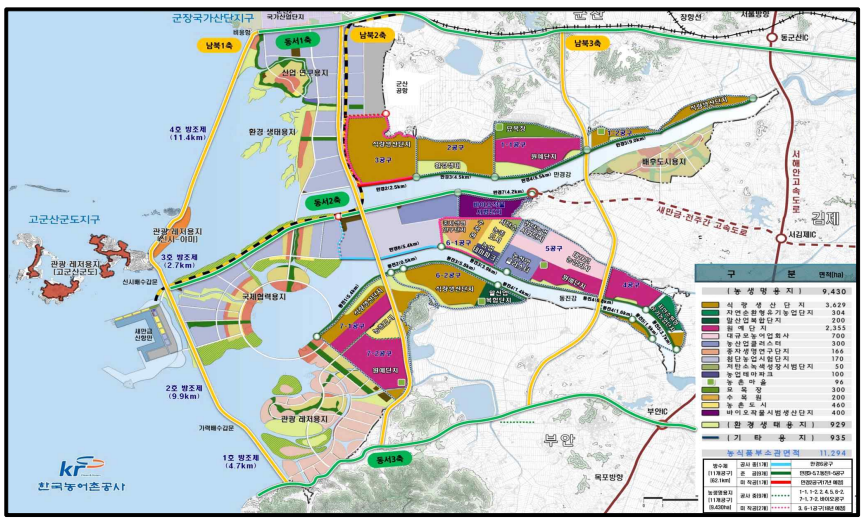
- 상하수도 관거 및 토공 가시설 시공 자동화를 위한 시공단계 BIM기술 개발
- RTK-GPS 및 Wi-Fi 기반 모바일 크레인 자동화 기술 개발
- 크레인 머신가이던스와 건설장비 관제센터와의 커넥팅을 통한 크레인 VR관제 시스템 개발
- 장비에 부착된 센서를 통해 장비상태 진단 프로세싱 기술 및 진단상태에 따른 장비 동작제어 기술 개발

□ 건설장비 관제 및 자동화 기술 표준화 및 현장적용

- 스마트시티로 선정된 부산 에코델타시티 및 새만금 매립을 대상으로 ICT 건설장비 관제 및 스마트 시공기술을 적용하여 대규모 복합 토공 현장 실증 고려중



<부산 에코델타시티>



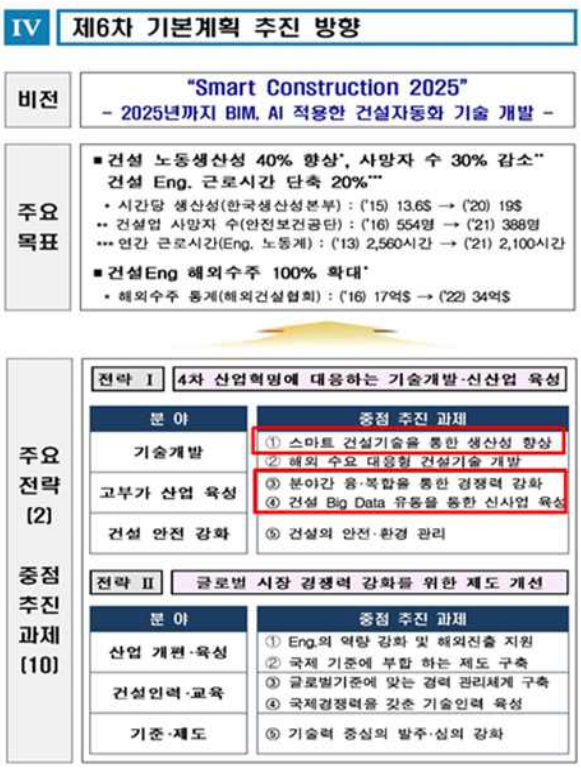
<새만금 매립 사업>

- 기술이전을 통한 대규모(500,000㎥ 이상 부대공 포함) 복합 토공사 현장 기술 적용 및 심층적 성과(생산성, 안전성 및 경제성) 검증
- 국내외 측지형 평면직각좌표계 보정 알고리즘 개발 및 관련 프로세스 정립
- 지능형 오픈플랫폼 기반 토공장비 관제 및 자동화 시공기술의 통합 사용자 매뉴얼 작성 및 교육/홍보 전략 수립
- 법적 제도화 추진을 위한 전략적 위원회 창설 및 운영
- 세부기술 및 통합시스템에 대한 기술 표준화 추진
- 정부 및 지자체와의 협력을 통한 공공부문 건설사업에 적용 확대 및 법적 제도화 마련
- 기술 사업화 전략 수립을 통한 고부가가치 창출 미래형 신산업을 발굴/육성 및 일자리(정보화기술기반 중장비 파일럿) 창출, 청년층의 건설사업 진입 증대

3. 건설장비자동화기술 연구사업 특이사항 및 기대효과

□ 정부정책, 법정계획 및 부처방침

- 국토교통부 제6차 건설기술진흥기본계획(2018~2022)
  - 국토교통부는 건설기술의 중요성은 꾸준히 강조되지만 기술 혁신과 글로벌 경쟁력 강화를 위해 아직 갈 길이 먼 상황이라고 평가하며 주된 요인으로 4차 산업혁명 기술활용 전략 및 정보의 호환성 부족 및 청년기술인력 유입 저조 및 미래 환경변화 대응 역량 부족 등을 선정함
  - 이런 문제점을 해결하고 4차 산업혁명 기술을 융합한 기술 개발을 통한 생산성·안전성 혁신, 건설 Eng의 글로벌 경쟁력 강화로 신성장 동력 육성 추진하기 위해서 제6차 건설기술진흥기본계획을 발표
  - 제6차 기본계획의 비전은 “Smart Construction 2025”로 2025년까지 BIM, AI 적용한 건설자동화 기술 개발이고 4차 산업혁명에 대응하는 기술개발·신사업 육성과 글로벌 시장 경쟁력 강화를 위한 제도 개선 두 가지 주요 전략으로 이루어져 있음
  - 전략 1 “4차 산업혁명에 대응하는 기술개발·신사업 육성”의 중점 추진과제 5가지 중 3가지에 해당하는 “스마트 건설기술을 통한 생산성 향상”, “분야 간 융·복합을 통합 경쟁력 강화” 및 “건설 Big Data 유통을 통한 신사업 육성”은 본 사업과 매우 밀접한 관계를 갖고 있음



<제6차 건설기술진흥기본계획(2018~2022)>

□ 본 연구사업의 시급성

- 최근(2018.3.1.) 건설장비 운용 및 정보화 시공을 위한 오픈 플랫폼(LANDLOG)이 일본에서 출시되었음. 오픈 플랫폼의 특성상 기존 플랫폼의 점유 기간이 길어질수록 신제품의 시장 진입이 어려워짐. 그러므로 본 과제에서 기존 ICT 관제기술을 바탕으로 오픈 플랫폼의 개발을 촉진해야 할 필요가 있음
- 일본의 경우, ICT 토공의 전면실시에 맞추어 매뉴얼, 시방서, 기준 등을 마련하여 관련기술들이 현장에서 활용될 수 있도록 하였음. 새로운 기술 및 공법을 현장에 적용하기 위해 16개에 달하는 기준, 시방서, 매뉴얼 등을 재개정하였으며, 2017년부터 ICT 토공 실시에 있어, 발주시 종합평가 및 준공시 공사성적에 가산점을 주어 ICT시공 확산을 촉진하고 있음. 이와 같이 신기술의 현장 투입을 위한 법적·제도적 지원 체계가 현장 실증을 통하여 우선적으로 마련되어야 ICT 토공을 포함한 추후 다른 대상 시설물(도로, 철도, 터널, 고속도로)에 대한 건설 자동화 공법 현장 활용이 가능하게 됨

<일본 i-construction 발주현황>

ㅇ 발주자 지정형, 시공자 희망 I형 확대적용
- 발주자 지정형: ICT시공을 전제로 한 발주방식
- 시공자 희망 I형: 종합평가에서 ICT시공에 가점 적용하는 발주방식 (20,000m^2 → 10,000m^2)

ㅇ 2016년 584건, 2017년 772건의 ICT토공 실시

ㅇ 2017년부터 적용공종 확대
- 도로포장공사(26건), 준설공사(24건)에도 ICT토공 실시

ㅇ i-construction 보급을 위한 연수진행
- 발주자 대상 356회, 시공업체 대상 281회

ㅇ ‘i-construction 대상’ 시상을 통해 우수사례 발굴 및 보급

- 미국의 경우, 인센티브 및 지원을 통한 민간주도 건설산업을 지속하고 있음. 민간 주도로 구축된 표준 시방서 및 코드 체계 개발 및 보유하고 있으며, 자금 지원 및 인센티브 제도를 기반으로 민간 주도의 기술 혁신을 촉진하고 있음. 또한 발주 프로세스의 효율화에 기반하여 민간 업체의 참여가 용이하도록 지원

□ 사업의 차별성 및 연계성

- 기존 기술개발사업과의 연계성
  - 현재 추진 중인 기술개발사업은 기존의 건설장비 자동화 기술과 시공관리 기술의 통합적 발전을 통한 생산성의 향상과 원가 절감을 위한 상용화 기술 개발로서 각 세부별 연구간 내부적 연계효과가 우수하며, 기술개발 완료시 토목 및 건설 산업뿐 아니라 교통, 물류분야의 Fleet Management, 4차 산업혁명 기술 저변 확대 등 과 같은 타 산업 분야에서도 상당한 규모의 연계효과가 발생할 것으로 분석됨
  - 관제 시스템, 네비게이터 시스템화 및 BIM기반 자동화 건설장비 개발은 기존의 빅데이터, IoT, BIM, 증강현실, 가상현실 등의 4차 산업혁명의 핵심기술을 활용한 건설장비 이동경로 및 자동화 연구과제의 고도화를 통해 수행 할 수 있음

□ 성과활용 또는 실용화 계획

- 지능형 오픈플랫폼 기반 관제-가이드 기술을 접목한 인프라 공사 신공법을 통해 새로운 산업 분야의 창출이 가능하며 특허등록 및 원천기술의 확보를 통해 국내시장 및 해외시장 개척이 기대됨
- 건축/토목/플랜트 등 인프라 공사가 요구되는 모든 공종에 적용 가능하며, 관련 기술이 성공적으로 개발될 경우 국내 건설 관리, 건설 시공기술 분야의 새로운 수요 창출을 통해 신산업으로서의 역할을 할 것으로 기대됨
- 본 기술을 발전시켜 토공사뿐만 아니라 차세대 건설 전 과정에 걸쳐 관제, 자동화 기술을 통합하는 새로운 기반을 조성 할 수 있을 것으로 기대됨
- 지능형 오픈 플랫폼 기반 Cloud BIM 기술을 현장에 적용하여 공사 참여자들이 공사정보를 능동적으로 업데

이트 할 수 있어, 공사 참여자들이 의사결정을 합리적이고 효과적으로 결정할 수 있음

- 실용화 계획에 있어서 사업화와 제품화 두 가지 계획
  - (사업화) 건설업체와 협력하여 생산성 향상 및 안전성 제고를 위한 컨설팅 수행 및 기술지원. 토공, 포장, 천공 등 건설 자동화 시스템이 적용된 건설장비의 판매 및 임대를 통한 수익창출, 건설 자동화 시스템을 개인에게 임대하여 지능형 오픈 플랫폼 기반 인프라 건설장비 관제 및 자동화 시공기술 확산
  - (제품화) 지능형 오픈 플랫폼 기반 인프라 건설장비 관제기술의 경우 지능형 프로그램, cloud BIM, C-Map 네비게이션, 무선 IoT기반 머신가이던스 시스템 패키지 등을 개별 기술별로 제품 출시 및 상용화 가능. 또한 건설자동화 장비의 경우 중장비 제조업체와 협력하여 출고시 옵션형태로 사용화 가능

□ 기대효과

- (기술적) 드론/스캐너기반 측량, 관제기술, 머신가이던스 기술 등이 각 기술별로 개발되고 보급이 되고 있음. 건설장비 관제 오픈플랫폼은 위와 같은 기술들을 통합하여 막대한 시너지 효과를 이룰 수 있으며, 본 사업을 통해 개발된 오픈 플랫폼은 SK T-map 서비스나 Google Map 서비스가 다양한 제조회사에서 제작된 스마트 폰에 사용되듯이, 테블릿 PC를 비롯한 타 Machine Guidance 제품군과의 호환성까지 갖추게 됨
- (사회적·경제적) 오픈 플랫폼 기반 관제기술 및 스마트 시공기술은 신규 인력의 진입에 있어서 건설 산업의 진입 장벽을 크게 낮출 수 있음. 기존의 건설장비는 장비기사의 경험적 노하우에 의해서 조종되며 장비기사들 간의 실력차 및 그에 따른 임금격차가 심각하였음. 이 때문에 장비기사들의 연령 역시 고령화 되어 가고 있는 추세. 하지만 스마트 시공기술의 개발 및 확산을 통해 건설 기능 인력의 연령대를 낮추고 인적자원을 풍부하게 할 수 있으며, 관제기술의 적용으로 안전사고 예방 가능함
  - 일본의 경우, 정보화(스마트)시공 기술의 초기 도입과정에서 비용부담에 따른 영세한 토공업자들의 반발이 있었으나, 정보화(스마트)시공기술의 충분한 현장 적용 및 성능검증을 통해 타당성을 확보한 뒤, 정부의 꾸준한 제도적 뒷받침과 활성화 노력(자금지원 및 저금리 대출 등)을 통해 지금은 기술이 보편화되어 적용되고 있음(Yabuki, 2017)

제12장. 참고 문헌

1. 이수민, 이승수, 유상훈, 서종원. (2017). “다짐공사에 대한 롤러의 효율적 품질관리 방안 연구.” 대한토목학회논문집, 37(3), pp. 621-627.

2. Randall, T. (2011). “Construction engineering requirements for integrating laser scanning technology and building information modeling.” *Journal of construction engineering and management*, 137(10), pp. 797-805.

3. J.S. Bohn, J. Teizer, Benefits of Barriers of Construction Project Monitoring Using High-Resolution Automated Cameras, J. Constr. Eng. Manag. 136 (6) (2010) 632-640, http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000164.

4. T. Cheng, J. Teizer, G.C. Migliaccio, U.C. Gatti, Automated task-level activity analysis through fusion of real time location sensors and worker’s thoracic posture data, Autom. Constr. 29 (2013) 24-39, http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2012. 08.003.

5. Ahmed, E., Kim, K.-H., Shon, Z.-H., Song, S.-K., 2015. Long-term trend of airborne particulate matter in Seoul, Korea from 2004 to 2013. Atmos. Environ. 101, 125e133.

6. Argüelles, M., Benavides, C., Junquera, B., 2006. The impact of economic activity in Asturias on greenhouse gas emissions: consequences for environmental policy within the Kyoto Protocol framework. J. Environ. Manag. 81, 249e264.

7. J.S. Bohn, J. Teizer, Benefits of Barriers of Construction Project Monitoring Using High-Resolution Automated Cameras, J. Constr. Eng. Manag. 136 (6) (2010) 632-640, http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000164.

8. T. Cheng, J. Teizer, G.C. Migliaccio, U.C. Gatti, Automated task-level activity analysis through fusion of real time location sensors and worker’s thoracic posture data, Autom. Constr. 29 (2013) 24-39, http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2012. 08.003.

9. D.W. Halpin, L.S. Riggs, Planning and Analysis of Construction Operations, John Wiley & Sons, 1992.

10. R.L. Peurifoy, C.J. Schexnayder, A. Shapira, Construction Planning, Equipment, and Methods, 7th Ed., McGraw-Hill, New York, 2009.

11. B. Esmaeili, M.R. Hallowell, B. Rajagopalan, Attribute-based safety risk assessment. I: analysis at the fundamental level, J. Constr. Eng. Manag. 141 (2015) 4015021, http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000980.

12. V. Sousa, N.M. Almeida, L.A. Dias, Risk-based management of occupational safety and health in the construction industry - part 1: background knowledge, Saf. Sci. 66 (2014) 75-86, http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2014.02.008.

13. A.L. Sharrard, H.S. Matthews, Michael Roth, Environmental implications of construction site energy use and electricity generation, J. Constr. Eng. Manag. 133 (11) (2007) 846-854.

14. ISO 6165, Earth-moving Machinery - Basic Types - Identification and Terms and Definitions, International Organization and Standardization, 2012.

15. Azar, E. R.; Feng, C.; Kamat, V. R. 2015. Feasibility of inplane articulation monitoring of excavator arm using planar marker tracking, *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)* 20: 213-229.

16. Azhar, S. 2011. Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry, *Leadership and Management in Engineering* 11(3): 241-252. https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127

17. Arevalo, I., 2011. Quantifying Drilling Vibration Challenges: Vibration Risk Index Offers Tool for Preventing Drillstring Failure. Pennwell, Tulsa, OK, ETATS ?UNIS.

18. Augustine, C., Tester, J.W., Anderson, B., Petty, S., Livesay, B., 2006. A comparison of geothermal with oil and gas well drilling costs. In: Proceedings of the 31 st Workshop on Geothermal Reservoir Engineering. Curran Associates Inc. New York, New York,. pp. 5-19.

19. Aruga, K., Sessions, J., Akay, A. E. (2005). Application of an airborne laser scanner to forest road design with accurate earthwork volumes. Journal of Forest Research. 10(2), pp. 113-123.

20. Bonenberg, W., Wei, X. (2015). Green BIM in sustainable infrastructure. Procedia Manufacturing. 3, pp. 1654-1659.

21. A. Shapira, G. Lucko, C.J. Schexnayder, Cranes for building construction projects, J. Constr. Eng. Manag. 133 (2007) 690-700, http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733- 9364(2007)133:9(690).

22. Bureau of Labor Statistics (BLS), Census of Fatal Occupational Injuries, U.S. Department of Labor, Bureau of Labor Statistics, News, http://www.bls.gov/iif/oshcfoi1.htm, (2016) .

23. AXIS Communications. (2017). "AXIS Design Tool." Available at http://www.axis.com/products/video/design_tool/v2/, Accessed on Jan 23 2018.

24. Cheng, C.-F., Rashidi, A., Davenport, M. A., and Anderson, D. V. (2017). "Activity analysis of construction equipment using audio signals and support vector machines." *Automation in Construction*, 81, pp. 240-253.

25. Fang, Q., Li, H., Luo, X., Ding, L., Luo, H., Rose, T. M., and An, W. (2018). "Detecting non-hardhat-use by a deep learning method from far-field surveillance videos." *Automation in Construction*, 85, pp. 1-9.

26. Hasanzadeh, S., Esmaeili, B., and Dodd, M. D. (2017). "Measuring the Impacts of Safety Knowledge on Construction Workers' Attentional Allocation and Hazard Detection Using Remote Eye-Tracking Technology." *Journal of Management in Engineering*, 33(5), pp. 04017024-1-17.

27. Kim, H., Ahn, C. R., Engelhaupt, D., and Lee, S. (2018). "Application of dynamic time warping to the recognition of mixed equipment activities in cycle time measurement." *Automation in Construction*, 87, pp. 225-234.

28. TLD Vision. (2017). "TLD2.2." Available at http://www.tldvision.com/, Accessed on Jan 23

2018.

29. Reconstruct. (2018). “Visual Data Analytics Platform for Construction.” Available at https://www.reconstructinc.com/, Accessed on Jan 23 2018.

30. X. Xiong, A. Adan, B. Akinci, D. Huber, (2013), Automatic creation of semantically rich 3D building models from laser scanner data, Automation in Construction, 31, 325-337

31. Slattery, Kerry T and Dianne K. Slattery, (2013), Modeling earth surfaces for highway earthwork computation using terrestrial laser scanning. International Journal of Construction Education and Research 9.2, 132-146.

32. J.B. Koo, (2015), The study on recording method for buried cultural property using photo scanning technique. Journal of Digital Contents Society, 16.5, 835-847

33. S.K. Nouwakpo, M. A. Weltz, K. McGwire, (2016), Assessing the performance of structure-from-motion photogrammetry and terrestrial LiDAR for Reconstructing soil surface microtophography of naturally vegetated plots, Earth Surf. Process. Landforms 41, 308-322

34. S. Siebert & J. Teizer, (2014), Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. Automation in Construction, 41, 1-14

35. M. H. Park, S. G. Kim, & S. Y. Choi, (2013), The study about building method of geospatial informations at construction sites by unmanned aircraft system (UAS). Korean Association of Cadastre Information, 15.1, 145-156

36. A. Lucieer, S. de Jong, & D. Turner, (2013), Mapping landslide displacements using Structure from Motion (SfM) and image correlation of multi-temporal UAV photography. Progress in Physical Geography, 0309133313515293

37. H.K. Lee, K.Y. Jung, Applicability evaluation of earth volume calculation using unmanned aerial image. Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology 5.5 (2015) 497-504

38. P.J. Zarco-Tejada, R. Diaz-Varela, V. Angileri & P. Loudjani, (2014), Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods. European journal of agronomy, 55, 89-99

39. T. McLeod, C. Samson, M. Labrie, K. Shehata, J. Mah, P. Lai & J. H. Elder, (2013), Using video acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) to measure fracture orientation in an open-pit mine. Geomatica, 67.3, 173-180.

40. S.H. Woo, G.J. Ha, D.R. Lee, J.H. Ha, M.S. Ha, (2015), A study on BIM based reliability of RC measurements using 3D photo scan. The Conference of Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, 37-38

41. Z. Xu, L. Wu, Y. Shen, F. Li, Q. Wang, R. Wang, (2014), Tridimensional Reconstruction Applied to Cultural Heritage with the Use of Camera-Equipped UAV and Terrestrial Laser Scanner, Remote Sens, 6.11, 10413-10434

42. D. Mader, R. Blaskow, P. Westfeld, ; Maas. H-G, (2015), UAV-based acquisition of 3D point cloud - a comparison of a low-cost laser scanner and SfM-tools, The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, suppl. W3; Gottingen XL.3, 335-341

43. Y.D. Rajendra, S.C. Mehrotra, K.V. Kale, R.R. Manza, R.K. Dhumal, A.D. Nagne, A.D. Vibhute, (2014), Evaluation of Partially Overlapping 3D Point Cloud's Registration by using ICP variant and CloudCompare. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 40.8, 891

44. B. Joshua, C. F. Igwe, I. A. Adekunle, (2016), Modelling and Assessment of Coastal Changes at Golspie Beach, Scotland, UK; An Integration of Terrestrial Laser Scanning and Digital Photogrammetric Techniques, for an Effective Coastal Land use Management. International Journal of Scientific Research in Science and Technology, 2.3, 361-371

45. A. Prokop, P. Schön, F. Singer, G. Pulfer, M. Naaim, E. Thibert, A. Soruco, (2015), Merging terrestrial laser scanning technology with photogrammetric and total station data for the determination of avalanche modeling parameters. Cold Regions Science and Technology, 110, 223-230.

46. S. M. Sepasgozar, S. Shirowzhan, (2016), Challenges and Opportunities for Implementation of Laser Scanners in Building Construction. International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC), 33, 18-21,

47. J. Chen, Y. Cho, Real-time 3D Mobile Mapping for the Built Environment. International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC), 33 (2016) 18-21, 2016

48. P. Kim, Y. Cho, (2017), An Automatic Robust Point Cloud Registration on Construction Sites." Proceedings of the 2017 International Workshop on Computing for Civil Engineering (IWCCE), 25-27

49. C. H. Hugenholtz, J. Walker, O. Brown, S. Myshak, (2014), Earthwork volumetrics with an unmanned aerial vehicle and softcopy photogrammetry. Journal of Surveying Engineering, 141(1), 06014003

50. Ahn, S. H., Kim, S. K., Lee, K. W. (2016). "Development of a fleet management system for cooperation among construction equipment" Journal of Korean Society of Civil Engineers, Vol. 36(3), pp. 573-586. (in Korean)

51. US Department of Energy (2015). "Berkeley Lab Promotes Low-Corbon Cities in China." Energy Analysis & Environmental Impacts Division News, http://eaei.lbl.gov/

52. Easa, S. M. (1992). "Estimating earchwork volumes of curved roadways: Mathematical Model." Journal of Transportation Engineering, ASCE, Vol. 118, No. 6, pp. 834-849.

53. Easa, S. M. (1993). "Smooth boundary approximation for directly computing irregular area." Journal of Surveying Engineering, ASCE, Vol. 119, No. 3, pp. 86-101.

54. Easa, S. M. (1998). "Smooth surface approximation for computing pit excavation volume." Journal of Surveying Engineering, ASCE, Vol. 124, No. 3, pp. 125-133.

55. Ahn, S.H., Kim, S.K., and Lee, K.H. (2016). "Development of a Fleet Management System for Cooperation Among Construction Equipment" *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 36, No. 3, pp. 573-586 (in Korean).

56. Kim, S. K. (2014). "A multi-agent based cooperation system for an intelligent earthwork" Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 34, No. 5, pp. 1609-1623 (in Korean).

57. Baek, H. G., Kang, S. H., Seo, J. W.,(2015). “An Earthwork Districting Model for Large Construction Project” *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 35(3), pp. 715-723 (in Korean)

58. Kim, S. K., Seo, J. W., and Russell, J. S., (2012) “Intellgent Navigntion Strategis for Automated Earthwork System” Automation in Construction, Vol. 21(1) pp. 132-147 (in Korean) Burdett, R. L., and Kozan, E. (2014). An integrated approach for earthwork allocation, sequencing and routing. European Journal of Operational Research, 238(3), 741-759.

59. Li, D., and Lu, M. (2016). Automated Generation of Work Breakdown Structure and Project Network Model for Earthworks Project Planning: A Flow Network-Based Optimization Approach. Journal of Construction Engineering and Management, 143(1), 04016086.

60. 조기용, 서명국, 남성호. (2016). “지능형 건설기계 기술동향과 산업전망.” 한국산업기술평가관리원

61. 김석, (2017). “토공지형 디지털 구현기술 및 제도화 방향.” 18(1). 한국건설관리학회지, 18(1), pp. 9-13.

62. 김낙인, 김석, (2017). “건설산업의 변화를 고려한 건설기계 기술개발 방향.” PD Issue Report, 17(12). pp. 41-73.

63. 조재용, (2017). “4차 산업혁명에 따른 일본 건설산업의 대응 전략 및 시사점.” 대한건설정책연구원.

64. Mckinsey. (2016). Global Institute Report.

65. World Economic Forum. (2016). Shaping the Future of Construction: A Breakthrough in Mindset and Technology.

66. 지상우, 윤헌중, 배현철. (2012). “차량 유비쿼터스 시스템 (CUbiS) 개발”. 한국자동차공학회 부문종합 학술대회, 851-855.

67. 유승준, 신은영, 주현진. (2013). “TPMS 에 의한 CO_2 및 연비 효과 검토”. 한국자동차공학회 학술대회 및 전시회, 432-436.

68. 조승현, 박광오, 이동욱, 이윤택, 이성욱. (2013). “내리막길 Fuel Cut 기능을 활용한 CO_2 배출 절감에 대한 실험적 연구”. 한국자동차공학회 부문종합 학술대회, 547-552.

69. Muresan, B., Capony, A., Goriaux, M., Pillot, D., Higelin, P., Proust, C., & Jullien, A. (2015). “Key factors controlling the real exhaust emissions from earthwork machines” *Transportation research part D: Transport and Environment*, 41, pp. 271-287.

70. Ahmed, N., Hong, A.J., Ku, H.G., Moon, S.K. Moon, S.W. (2017). Technical Review of Automated System Application to Earthworks in Australia, Proceedings of International Symposium on Automation and Robotics 2017, Taipei, Taiwan, pp. 594-601.

71. Sungwoo Moon and Jongwon Seo (2017). “Virtual graphic representation of construction equipment for developing a 3D earthwork BIM.” Journal of Civil Engineering and Management, 23(8), 977-984

72. Randall, T. (2011). “Construction engineering requirements for integrating laser scanning technology and building information modeling.” *Journal of construction engineering and management*, 137(10), pp. 797-805.

73. Bugler, M., Ogunmakin, G., Teizer, J., Vela, P. & Borrmann, A. (2014). A Comprehensive Methodology for Vision-Based Progress and Activity Estimation of Excavation Processes for Productivity Assessment. EG-ICE Workshop on Intelligent Computing in Engineering. 2014, Cardiff, Wales, 1-10.

74. Heikkila, R. and Jaakkola, M. (2003). Intelligent Road Construction Site - Development of Automation into Total Working Process of Finnish Road Construction. 2003 Proceedings of the 20th ISARC, Eindhoven, Holland, 265-269.

75. Kirchbach K., Aziz, Z. Tezel, A. (2015). Earthworks Control Automation. Report for Highways England. http://eprints.hud.ac.uk/id/eprint/29094/1/Earthworks%20Control%20Automation.pdf accessed 5 October 2017.

76. Navon, R. and Shpatnitsky, Y. (2005). A Model for Automated Monitoring of Road Construction. Construction Management and Economics (November 2005) 23, 941-951.

77. Siebert S. and Teizer, J. (2014). Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. Automation in Construction 41 (2014) 1-14.

78. 산업안전보건연구원 (2014). "업무상사고 사망재해원인분석", 안전보건공단, 울산광역시, 대한민국

79. 산재예방정책과 (2013). "산업안전보건기준에 관한 규칙", 고용노동부, 세종특별자치시, 대한민국

80. (사)한국대기환경학회/(사)한국건설환경협회 (2014). "[사업별・공정별] 비산먼지 관리 매뉴얼", 환경부, 세종특별자치시, 대한민국

81. 홍명수 (2008), "휴대폰 카메라 렌즈에 세상을 담다", 현장과학교육. 2(2), 145-146.

82. Dale, J. (2010). https://www.youtube.com/watch?v=bdTpW2ERcQo. (2015년 3월).

83. Dollar, P., Appel, R., Belongie, S., and Perona, P. (2014). "Fast Feature Pyramids for Object Detection", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence/ 35(8), 1532-1545.

84. Du, S., Shehata, M., and Badawy, W. (2011). "Hard Hat Detection in Video Sequences Based on Face Features, Motion and Color Information." Proceeding of Third International Conference on IEEE Computer Research and Development. Shanghai, China.

85. EuroCarNews.com. (2015). http://www.eurocarnews.com/29/0/0/13861/volvo-v40-pedestrian-detection-with-auto-brake/gallery-detail.html. (2015년 3월).

86. Ford Flex. (2013). https://www.youtube.com/watch?v=QDOhLk8kxt0. (2015년 3월).

87. Fruin, J. (1971). "Pedestrian Planning and Design", Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, New York, NY.

88. Gong, J., and Caldas, C.H. (2011). "An Object Recognition, Tracking, and Contextual Reasoning-Based Video Interpretation Method for Rapid Productivity Analysis of Construction Operations." Automation in Construction. 20, 1211-1226.

89. Gualdi, G., Prati, A., and Cucchiara, R. (2010). "Perspective and Appearance Context for People Surveillance in Open Areas." Proceeding of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Francisco, SA.

90. Guildi, G., Prati, A., and Cucchiara, R. (2011). "Contextual Information and Covariance Descriptors for People Surveillance: An Application for Safety of Construction Workers" Journal on Image and Video Processing. 2011.

91. Joongang Auto Media Co., Ltd (2012). http://www.autoview.co.kr/content/article.asp?num_code=46443. (2015년 3월).

92. LeddarTech (2015). http://leddartech.com/. (2015년 3월).

93. Lee, S., and Hong, M. (2014). "Implementation of Man-Hours Measurement System for Construction Work Crews by Image Processing Technology." Applied Mathematics and Computation. 8(3), 1287-1293.

94. Min, R., and Dugelay, J.-L. (2011). "Cap Detection for Moving People in Entrance Surveillance." Proceedings of the Ninteenth ACM International Conference on Multimedia. New York, NY.

95. Motor Authority. (2015). http://www.motorauthority.com/news/1072826_cadillac-xts-getting-sensor-fusion-driver-assistance-package-video. (2015년 3월).

96. Motorgraph. (2014). http://www.motorgraph.com/news/articleView.html?idxno=4925. (2015년 3월).

97. National Institute for Occupational Safety and Health, http://www.cdc.gov/niosh/topics/highwayworkzones/bad/hydraulicexc/cat325b.html. (2015년 3월)

98. Navin, F. and Wheeler, R. (1969). "Pedestrian Flow Characteristics" Traffic Engineering. 39, 30-36.

99. Park, M.-W., and Brilakis, I. (2012). "Construction Worker Detection in Video Frames for Initializing Vision Trackers." Automation in Construction. 28, 15-25.

100. Pauls, J. (1987). "Calculating Evacuation Times for Tall Buildings" Fire Safety Journal. 12, 213-236.

101. Point Grey Research, Inc. (2015). http://www.ptgrey.com/gige-vision-cameras. (2015년 3월).

102. Shrestha, K. "Framework Development for Construction Safety Visualization." B.S. Thesis, University of Nevada, Reno, NV.

103. Shrestha, P., Yfantis, E., and Shrestha, K. (2011). "Construction Safety Visualization." Proceedings of Forth International Multi-Conference on Engineering and Technological Innovation. Orlando, FL.

104. The Hankook-ilbo. (2015). http://www.hankookilbo.com/v/b2201019f56341079b8b097ccf9ff9b1. (2015년 3월).

105. Tregenza, P. (1976). "The Design of Interior Circulation" Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY.

106. Weerasinghe, I.P.T., and Janaka Y.R. (2009). "Automated Data Acquisition System to Assess Construction Worker Performance." Proceedings of the 2009 Construction Research Congress. Seattle, WA.

107. Weerasinghe, I.P.T., and Janaka Y.R. (2010). "Automated Multiple Objects Tracking System (AMOTS)." Proceedings of the 2010 Construction Research Congress. Alberta, Canada.

108. Weerasinghe, I.P.T., Janaka Y.R., Boyd. J.E., and Habib, A.F. (2012). "Application of Microsoft Kinect Sensor for Tracking Construction Workers." Proceedings of the 2012 Construction Research Congress. West Lafayette, IN.

109. Young, S. (1999). "Evaluation of Pedestrian Walking Speeds in Airport Terminals" Journal of the Transportation Research Board. 1674, 20-26

110. Ziff Davis, LLC. (2015). http://www.extremetech.com/extreme/192863-ford-and-honda-stop-collisions-before-they-happen-with-pedestrian-detection. (2015년 3월)

111. 이순철, 황윤숙, 오주석. (2008). “작업부하가 화물차운전자의 피로에 미치는 영향” 한국심리학회지, 21(2), pp. 367-381.

112. HS Yoo, YS Kim. (2017). “Development of a 3D local terrain modeling system of intelligent excavation robot.” *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21(3), pp. 565-546.

113. 일본 국토교통성 (2013), “建設ロボット技術の開発・活用に向けて(건설 로봇의 활용을 위한 기술·개발)”

114. A. Vladeanu and G. Vladeanu, "THE CONTROL OF THE BUCKET POSITION AT THE HYDRAULIC EXCAVATORS WITH BACKHOE ATTACHMENT", *SISOM 2011 and Session of the Commission of Acoustics, Bucharest*, 25-26 May, 2011.

115. Y. Shimano, Y. Kami and K. Shimokaze, "Development of PC210LCi-10/PC200i-10 Machine Control Hydraulic Excavator", *Komatsu Technical Report*, Vol.60, No.167, 2014.

116. A. J. Koivo, “Kinematics of Excavators (Backhoes) for Transferring Surface Material”, *Journal of Aerospace Engineering*, Vol. 7, No.1, pp.17-32, 1994.

117. B. P. Patel and J. M. Prajapati, “Kinematics of Mini Hydraulic Backhoe Excavator-Part: I”, *Int. J. Mech. Eng. & Rob. Res. 2013*, Vol. 2, No. 1, pp. 166-182, 2013.

118. C. F. Hofstra, A. J. M. van Hemmen, S. A. Miedema and J. van Hulsteyn, “Describing the position of backhoe dredge buckets”, *Texas A&M 32nd Annual Dredging Seminar, Warwick, Rhode Island*, 25-28 June, 2000.

119. C. S. Lee et al., "A Study on Gravitycompensated Controller to Reduce Position Error of Interlligent Excavator", *KSFC Fall Conference*, pp. 90~94, 2009.

120. 국토연구원 주택토지연구본부(2017).「4차 산업혁명 대비 건설산업·인프라 경쟁력 진단 및 미래 발전 전략 수립 연구」관련 프랑스 출장 복명서, pp. 14.

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 건설기술연구사업의 연구보고서입니다.

2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.