

탄소저감형 건설장비 운영기반 스마트 시공 시스템

(건설관제 센터기반 스마트 토공 기술)

기획보고서

2014. 04.

주관연구기관 / 한양대학교 산학협력단

위탁연구기관 / 부산대학교 산학협력단

국 토 교 통 부

국토교통과학기술진흥원

제출문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

귀 진흥원과 계약체결한 “탄소저감형 건설장비 운영기반 스마트 시공 시스템 (수정안: 건설장비 관제센터 기반 스마트 토공 기술)기획연구”를 완료하고 보고서로 제출합니다.

2014. 04.

한양대학교 산학협력단장 최덕균

참여 연구원

- 연구 책임자
 - 한양대학교 서종원 교수
- 위탁 연구 책임자
 - 부산대학교 문성우 교수
- 참여 연구원
 - 한양대학교 박사과정 김정환
 - 부산대학교 박사과정 최은기
 - 한양대학교 석사과정 장준현
 - 한양대학교 석사과정 정태형
 - 한양대학교 석사과정 민지홍
 - 한양대학교 석사과정 허영란
 - 한양대학교 석사과정 김솔
 - 부산대학교 석사과정 서강위
 - 부산대학교 석사과정 추신

자문 위원

- 한양대학교 한창수 교수
- 중앙대학교 김경주 교수
- 인하대학교 김영석 교수
- 인하대학교 우성권 교수
- 인하대학교 신도형 교수
- 인하대학교 김영석 교수
- 홍익대학교 손재호 교수
- 동국대학교 김상범 교수
- 세종대학교 김한수 교수
- 성균관대학교 권순욱 교수
- 경북대학교 이동은 교수
- 경북대학교 김병수 교수
- 건설기술연구원 채명진 수석연구원
- 대림산업 박종범 부장

요 약 문

I. 제목

탄소저감형 건설장비 운영기반 스마트 시공 시스템

(수정안: 건설장비 관제센터 기반 스마트 토공 기술)

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1) 연구개발 목적

- 건설장비 관제센터 기반 스마트 토공 기술위한 기술 전략을 수립하여 해당 핵심기술의 발전 정도를 예측·검토함으로써 핵심기술 분야의 미래 비전을 도출하고, 이를 달성하기 위한 기술적 대안의 단계별 기술개발 이정표를 제시하여 창조 건설 산업의 국제 경쟁력 확보 및 재도약을 위한 기반 조성함.
- 다수의 건설 장비의 효과적인 통제와 지속적인 피드백, 건설 장비 네비게이터 시스템의 기술 고도화를 통하여 국내 건설 산업의 생산성, 품질, 경제성 향상을 도모하여 국내 건설 산업의 이미지를 제고함과 동시에 시공 기술력을 확보하여 글로벌 건설 시장에서의 경쟁력을 강화함.
- 현장에 투입되는 다수의 다양한 장비가 효율적이고 안전하게 작업할 수 있도록 하며, 각종 시공 정보를 센터-건설장비간에 지속적으로 오갈 수 있는 스마트 플릿 관제 센터를 운영함으로써 시공생산성과 향상과 에너지 사용량의 혁신적 수준의 저감 성과를 확보함과 동시에 열악한 작업환경의 개선과 안전성을 확보함.
- 위와 같은 목적을 달성하기 위하여 다음과 같은 최종목표를 제시함.
 - 건설 기계 장비의 생산성 및 에너지 효율성을 비약적으로 향상시킬 수 있는 건설장비 관제 시스템 개발을 위한 추진과제 발굴 및 기획.
 - 건설장비의 플릿형 작업계획 및 스마트 장비 운용을 위한 건설 장비 네비게이터 기반 가이드 시스템의 다중 장비 시스템과의 통합 기술 개발을 위한 추진과제 발굴 및 기획.

2) 연구개발의 필요성

- 설계 정보 및 장비 운용자로의 전달 체계의 미비
 - 장비 조종자와 시공 관리자는 단 1일 1-2회 설계 검토 및 내용 전달/숙지.
 - 대규모 토공사 시공 중에 장비-관리자, 장비-장비간의 커뮤니케이션 미흡, 지속적인 작업정보 피드백이 없어 현장 생산성이 매우 낮으며 잘못된 시공이 빈번하게 발생.
 - 시공 계획 수립방식도 현장 관리자의 경험에 의존적, 주관적이기 때문에 인적 오류(Human error)로 인한 안전사고가 자주 일어남.
- 측량 방식의 한계, 시공 작업을 가이드할 수 있는 시스템의 미비, 비숙련공의 미숙한 조종 실력
 - 시공 도중의 측량으로 인하여 작업이 중단되고, 다수 장비군의 협업을 고려한 작업실행이 이루어지지 않음.
 - 측량기사 및 장비운영 보조원의 현장노출을 원천적으로 배제하여 안전사고를 미연에 방지하여야함.
 - 현재에도 기준틀(뿔말)이나 락카 스프레이와 같은 매우 구시대적 마커(Marker)에 의존하여 시공함.
 - 지속적으로 늘고 있는 비숙련공의 비중과 숙련도 향상의 어려움. 이는 곧, 안전과 품질에 막대한 영향을 끼침.
 - 이를 획기적으로 개선할 시스템화된 토공 기술의 개발 필요성이 대두됨.
- 건설산업의 트렌드: 시스템화, 고난이도/고정밀 작업의 요구
 - 토공 특성상 다수의 다양한 장비가 동시다발적으로 작업을 수행하므로 생산성/효율성 관리가 매우 어려움.
 - 전체 장비군에 대한 효율적 운영으로 현장 전체에 대한 시스템 생산성을 향상해야 진정한 원가절감을 이룰수 있으나 이에 대한 대처가 부재함.
 - 이를 제고하기 위하여 건설장비 네비게이터 기술이 선진국으로부터 개발되어 상용화 되었으며, 시스템적 접근방법인 Fleet Management(통합 관제 센터) 기술이 출현하였음.
 - 지장물을 비롯한 기존 시설물과의 공간적 간섭, 이로 인한 건설장비의 고난이도/고위험/고정밀 작업이 빈번함.
 - 장비 조종자에게 안전, 품질에 관련된 안내/도움(Guidance) 정보를 지

속적으로 제공해야 효율적이고 생산적인 작업을 수행할 수 있게됨.

○ 기타

- 장비군에 대한 관제기술 및 가이드기술을 통하여 건설현장에서 운용되는 장비의 높은 에너지 소비량을 효과적으로 억제할 수 있음.
- 재작업, 재시공, 공회전의 감소, 생산성 증대와 같은 건설 비용 저감과 관련된 뛰어난 기대효과를 거둘 수 있음.
- 일본, 미국 등 선진국은 건설장비 가이드 기술 사용의 제도화가 마련되어 시장이 확대 중에 있는 기술임.
- 본 기술은 토공건설회사의 생산성 향상, 공기업 및 종합건설사의 원가 절감을 위하여 필요한 당면과제임.

III. 연구개발의 내용 및 범위

○ 국내외 동향 분석 제시

- 건설장비 ICT기술, 통신, 제어 기술과 관련된 국내 및 해외 선진국의 정책분석을 실시하여 기획과제의 필요성을 부각함.
- 국내외 관련 기술 시장현황을 제시하여 관련 기술들의 전망을 제시함.
- 특허, 논문, 기개발된 기술 분석을 통해 국내 관련 기술 수준을 살펴보고, 차별성을 제시함.

○ 연구개발과제 구성 및 추진전략 제시

- 기획 연구의 비전을 제시하고, 개발 기술의 최종목표 및 비전 연구의 범위를 제시함으로써 핵심적이고 특화된 시스템에 대한 연구 개발이 될 수 있도록 함.
- 기술의 현황 및 기술개발에 따른 미래상을 제시하고, 연구개발과제를 세분화하여 구성 및 추진 전략을 제시함.
- 사업화 및 활용방안을 제시하고, 차별화 전략을 구축함.

○ 소요 예산 · 인력 및 RFP 작성

- 연구 내용 및 일정에 따른 세부과제별 · 연차별 소요예산을 제시함.

- 설정된 연구 목표와 내용, 추진전략 등을 바탕으로 과제 공모를 위한 RFP를 작성함.

IV. 연구개발결과

○ 국내외 동향 분석 제시

- 우리나라를 포함한 세계 각국은 건설 생산성, 특히 건설 기계 장비의 효율화 정책을 시행하고 있으며, 건설업은 생산성이 낮고 에너지 사용으로 인한 온실가스 배출이 매우 높은 산업으로 이를 개선하기 위한 정책도 많이 추진 및 계획되고 있음.
- 국내외 건설장비의 기술 및 연구의 발전 방향이 건설장비 관제 시스템과 가이드(네비게이터) 시스템을 이용한 에너지 효율과 원가 절감을 목표로 하고 있고, 건설장비의 수요가 증가하고 있으므로 국내 시장성뿐만 아니라 해외 시장성도 매우 높다고 판단됨.
- 국내 건설장비 개발에 대한 투자와 건설 장비 가이드(머신 가이드) 및 관제 센터(Fleet Management) 각각의 기술력은 타 선진국에 비해 많이 뒤쳐져 있으므로 국내에서도 정부 주도 및 지원 하에 기반 기술 개발을 통한 기술 경쟁력 확보가 시급함.

○ 주요 연구개발 목표 및 내용

- 기계운용 고효율화 - 에너지 사용량 및 탄소배출량 30% 저감
(스마트 측량기술 및 정보화 시공을 통한 에너지 효율화, 비효율적/주관적인 판단에 의한 시공 계획의 시스템적 개선, 비숙련공의 미숙한 장비운영과 이로 인한 저생산성 및 잦은 재시공의 문제 해결기술)
- 건설 비용절감 - 토공원가 15% 절감
(고효율화를 통한 유류사용 절감, 간접비 절감, 측량/제어 프로세스 자동화, 시스템 관제를 통한 현장 전체의 생산성 향상 기술)

○ 연구개발 기간 및 예산

- 기간 : 1차 연구개발 2014년 ~ 2017년 (총 3년 6개월)
2차 실증사업 2017년 ~ 2018년 (총 1년 6개월)
- 예산 : 135.5억 원

V. 연구개발결과의 활용계획

- 본 기획과제를 통하여 건설장비 관제센터 기반 스마트 토공 기술의 연구 공모시 최적의 연구 추진 내용 및 전략과 연구단(사업단) 컨소시엄의 원활한 구성 전략을 제공함.
- 건설장비 관제센터 기반 스마트 토공 기술의 발전 로드맵 및 분야별 가이드라인을 제시하며 이를 활용하여 연구개발의 효율성을 제고함.
- 경제적, 기술적 타당성 분석을 통하여 연구 개발의 추진 당위성을 확보할 수 있으며 추진 단계별 최적의 예산 산정 및 배정으로 효율적 과제 수행을 가능케 함.
- 그동안 부각되지 못하였던 건설 시공 분야의 관제 기술과 ICT 융합/창조 기술의 홍보 효과를 기대할 수 있으며 건설 스마트 시공 시스템의 제도화 및 시장 개척에 필요한 기반 지식을 제공할 것임.

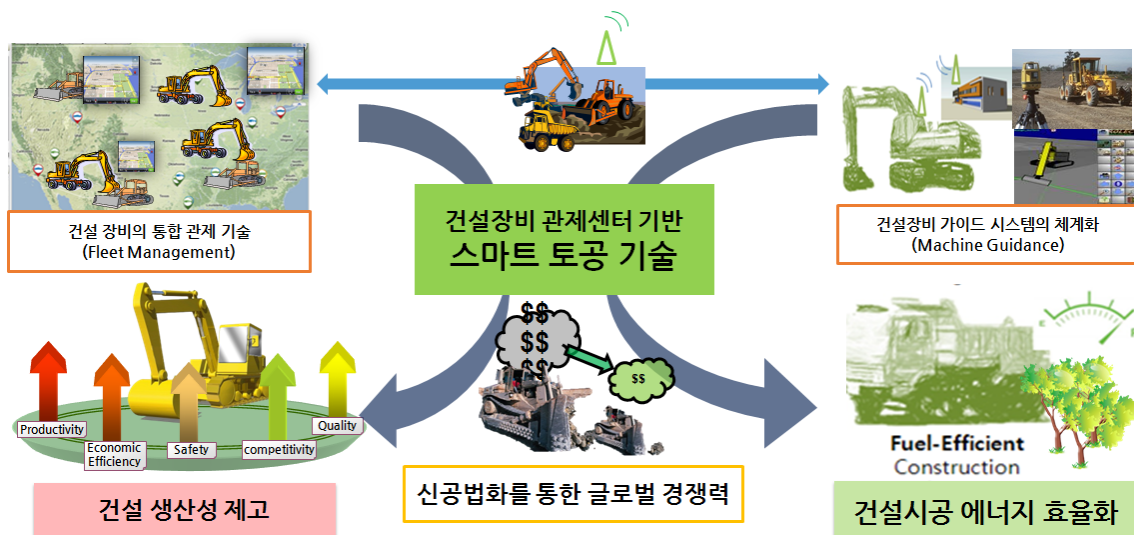
목 차

1. 기술의 정의 및 필요성	1
가. 연구개요	1
나. 기술의 정의	2
다. 과제 추진 필요성	3
2. 국내외 동향 및 환경 분석	9
가. 국내외 정책동향	9
나. 국내외 시장현황 및 전망	16
다. 기술동향 분석	20
라. 종합분석	47
3. 연구개발과제 구성 및 추진전략	50
가. 비전 및 목표	50
나. 기술개발에 따른 미래상	61
다. 연구개발과제 구성	62
라. 과제별 · 연차별 기술로드맵 및 성과로드맵	68
마. 성과의 활용방안	73
4. 사전타당성 검토	80
가. 정책적 타당성	80
나. 기술적 타당성	81
다. 경제적 타당성	89
라. 정부지원 타당성	93
마. 종합평가 및 결론	94
5. 인력투입계획 및 소요예산 산정	96
가. 세부과제별 인력투입계획	97
나. 세부과제별 소요예산	98
다. 비목별 소요예산	101
6. 과제 제안요구서	103
7. 참고문헌	114

1. 기술의 정의 및 필요성

가. 연구개요

- 대규모 토공사 시공 중에 장비-관리자, 장비-장비간의 커뮤니케이션 미흡하여 현장 생산성이 매우 낮으며 잘못된 시공이 빈번하게 발생함. 또한 시공 도중의 측량으로 인하여 작업이 중단되고, 다수 장비군(群)의 협업을 고려한 작업실행이 이루어지지 않아 이를 개선할 시스템화된 토공 기술의 개발이 필요함.
- 즉, 다수의 건설장비가 투입되는 대규모 토공사 프로젝트에서 건설장비의 정보화 및 운영 효율화를 통하여 시공 품질 및 생산성/경제성 향상시킬 수 있는 새로운 기술의 개발이 필요함.
- 이러한 문제를 해결하고자 본 연구에서는 규모가 큰 토공사(택지, 도로, 공항, 항만 등)에서 건설 기계장비(굴삭기, 불도저, 그레이더, 덤프트럭, 롤러, 로더 등)의 운영 및 작업을 정보화 및 효율화하는 건설장비 관제시스템의 도입과 그 방법을 기획하는 것이 주요 목표이며 이를 표현하면 다음의 그림 1과 같음.



[그림 1] 건설장비 관제센터 기반 스마트 토공 기술

나. 기술의 정의

- 본 연구에서 제안하고 하는 핵심기술인 ‘건설장비 관제센터 기반 스마트 토공 기술’은 다음과 같이 정의될 수 있음.
- 규모가 큰 토공사에서 높은 업무 비중을 차지하고 있는 건설 기계장비 (불도저, 그레이더, 덤프트럭, 롤러, 패이버 등의 블레이드형 장비)의 운영 및 작업을 지능화 및 효율화함으로써 에너지 효율을 높이고 건설 생산성을 향상시킴.
- 본 기술은 다음과 같은 2가지 기술로 나뉨.

① 건설장비 통합 관제센터

- 모든 건설장비의 작업상황을 실시간으로 파악하고, 다수의 장비간 통신 및 제어를 수행함으로써 건설장비의 불필요한 움직임을 최소화하고, 연료사용을 효율적으로 관리하도록 지원하는 건설장비 관제시스템
- 공사 현장에 투입되는 다수/다종의 건설 장비의 조합이 동시에 효과적으로 작업을 할 수 있도록 하는 최적의 플릿 작업 계획 생성 시스템
- 3D 스캐너(LiDAR¹⁾), GPS/GNSS, 영상센서, 추적/상황 인식 센서 등 다양한 스마트 센서를 통해 작업환경 및 장비군 상황 전반을 실시간으로 감지 하는 기술
- 진행 상황(계획 vs. 작업)을 신속·정확하게 측정할 수 있는 기술
- 기계 장비 간 또는 기계 장비와 현장 관리 시스템과 양방향 통신이 가능하여 상호간 정보를 자유롭게 송수신 할 수 있는 기술
- 건설 장비가 사용하는 에너지 사용량을 지속적으로 모니터링 하고 생산성을 유지하면서 연료 사용량을 최소화할 수 있는 방안을 지속적으로 제공하는 관제 센터내(內) 에너지 관리 서브 모듈 및 시스템

¹⁾ LiDAR(Light Detection and Ranging)장비는 레이더(Radar)와 동일한 원리를 이용해 사물에 직접적인 접촉 없이 원하는 정보를 취득하는 능동형 원격탐사(Remote Sensing)의 한 종류로, 정보를 취득하고자 하는 목표물에 레이저(Laser)를 쏘아 목표물로부터 반사되어 돌아오는 전자파의 시차와 에너지변화를 감지해 원하는 정보를 취득함.

② 건설장비 가이드 기술 시스템화

- 자동차의 네비게이터와 같이 건설기계를 위한 네비게이터 기술을 고도화/상품화/공법화 하고, 건설장비 관제 센터와 연계하여 기계장비가 작업 여건, 상황변화에 실시간/능동적으로 대처하여 안전하고 실감적인 (증강현실, BIM과 융합하여)작업을 수행할 수 있도록 매니플레이터 제어를 효과적(지능적)으로 이루어지게 되는 기술
- 건설장비 네비게이터 시스템을 이용하여 건설 기계장비 조종자가 현장 관리자 및 엔지니어 그리고 디지털화한 설계 및 현장정보를 통하여 작업에 관한 피드백 정보를 수신 받아 정확한 장비운용이 가능케 하는 기술
- 관제기술 및 가이드스 기술이 장비에 용이하게 적용될 수 있도록 기존 토공장비를 커스터마이징 하는 기술 및 도저, 그레이더 등 블레이드 방식의 장비의 블레이드 자동제어 기술
- 토공법화를 위한 시스템 운영 기법과 방침 등

다. 과제 추진 필요성

가) 산업 · 경제적 측면

- 현재 건설 시공 프로세스에서는 건설 기계 장비의 시공 의존도가 날로 높아지고 있으며, 다양한 건설장비가 투입/운영되고 있으나 장비간의 커뮤니케이션 및 작업 정보 제공의 부족, 비숙련공의 시공 오류, 측량의 오차 누적으로 인한 생산성 저하와 각종 안전사고 발생이 건설 산업 전반의 문제로 지적받고 있음.
- ICT 기술을 적용하여 고효율 건설장비 운용을 통한 시공관리 자동화 시스템 국산화 가능 및 특수공법 형태로 기술 구체화가 가능하며 건설장비 스마트 시공 시스템 분야는 국내외적으로 기술개발 초기단계로서 원천기술 확보시 해외시장 선점이 가능함.
- 미국과 유럽, 일본을 중심으로 건설현장의 장비를 통합관리 할 수 있는 시스템을 구축하는 연구가 이미 오래전부터 진행되어 건설현장의 장비의 불필요한 움직임을 최소화 시키고, 장비운전자의 장비운용형태를 분석하여 연료사용을 효율적으로 관리하도록 지원하는 건설장비 관제시스템 서비스 (Construction Fleet Management Solution)와 장비 네비게이터를 제공하는 전문회사가 상당 수 존재하고 있음.

- 일본 Sokkia 社の 경우 장비 네비게이터(Machine Guidance)와 같은 스마트 시공법을 사용했을 경우 그림 2과 같이 고속도로 램프구간 시공을 위하여 장비를 연간 800시간 가동하는 것으로 가정하였을 때 작업시간 128시간 감소, 연료감소량 3,072 ℓ (16% 절감)로 공사비, 공기측면에서 월등한 효과를 보이며 이 기술이 확대 적용될 경우 건설생산성 증진 관련 파급효과는 매우 클 것으로 기대할 수 있음(출처 : Sokkia, IT 자동화시공 종합 카탈로그, 2010).

➤ 고속도로 램프구간 시공 예



[그림 2] 스마트 시공 관련 기술 개발 시 원가절감/에너지 효율성 효과

- Sokkia 社에서는 2010년 국토교통성 북해도 개발국에서 발주한 도시중앙원락도로 개량공사(공사금액 : 5억 5398만엔)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.
- 공사측량 및 검사측량 : 기준틀 설치 감소, 측량사 감소, 인건비 감소, 시공오류 감소 등으로 인해 측량비용 75% 감소
- 그 외에 결과들은 다음 표와 같음.

<표 1> Sokkia 社の 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 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 있음을 알 수 있음.
- 미국의 통계 조사에 따르면 건설 기계 장비를 이용한 Fleet Tracking과 같은 스마트 시공이 가능한 건설현장에 적용 된다면 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).
- 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”).
- Trimble 社에서는 에스파냐 남부 말라가주(州)에서 시행한 도로 건설 사업에서 관련 기술들을 적용하여 시공하였으며 결과는 다음 표와 같음.

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’

- 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 실용화 하였을 때 기대할 수 있는 공사비용 절감액은 매우 클 것임.
- 위의 결과를 정리하여 보면, 장비 네비게이터는 외국의 경우 상용화 단계를 지나 성장기에 들어갔으나, 플릿 매니지먼트의 경우는 선진외국도 기술 도입기로 판단할 수 있으며, 두 기술을 효과적으로 접목하여 시너지를 내면 신시장 개척이 가능할 것으로 판단됨.
- 중국과 캐나다, 호주 다양한 국가에서 최근 관련기술에 대한 개발이 진행되고 있으며, 특히 중국의 경우 글로벌 건설강국 도약을 목표로 건설 선진국과의 기술 제휴를 통해 노동집약형 공중에서 벗어나 고기술집약형 공중으로 전환하고 있어 가격과 더불어 기술력까지 갖추어가고 있음.

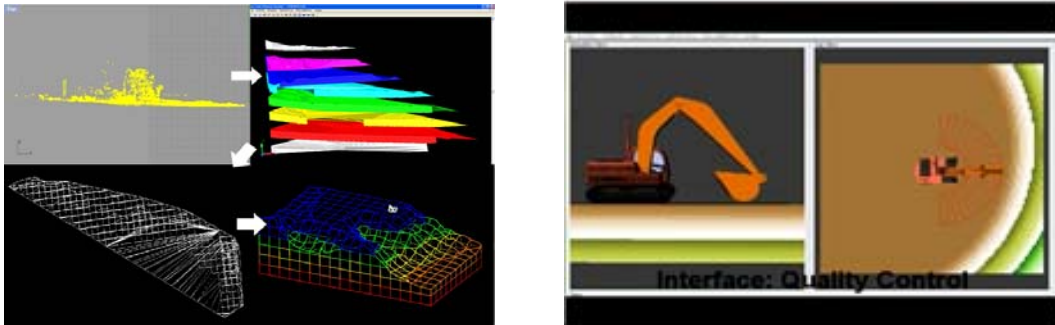
- 우리나라의 건설기업들은 전 세계적인 불황으로 국내 건설시장이 침체되어 있을 뿐만 아니라, 해외 건설시장으로 진출도 점차 어려워지고 있어 새로운 건설기술개발에 대한 투자와 의지가 감소하고 있음. 따라서 건설기술의 세계적 경쟁력을 확보하기 위해서는 신속히 정부차원의 지원이 필요함.
- 건설 공사는 현장성, 복잡성, 가변성, 중량물 취급 등 특성상 안전사고의 위험이 항상 내재되어 있는 산업으로서 고용대비 높은 재해율을 보이고 있으며, 건설공사의 전체적인 작업 프로세스 모델의 개선과 건설장비의 지능화는 이러한 문제의 해결을 위한 최선의 기술적 접근 방법임.
- 점차 해외건설공사로의 진출 및 그 비중이 점차 확대 될 것이라는 시장 전망에 따라 전략적인 해외 건설 수주를 위하여 선진 시공 기술을 개발하고 토착화 하여 해외건설 경쟁력을 키울 수 있는 핵심 연구과제가 될 것임.

나) 기술적 측면

- 본 과제에 특성에 원천기술 확보 및 핵심기초 공학 분야의 연구개발 필요성이 포함되어 있는 바 국가과학기술 위원회에서 추진하고 있는 정책인 가속화되고 있는 기술발전, 국제화 등 국내외 다양한 환경변화에 따라 미래사회 니즈와 기술변화를 반영한 과학기술정책과에 부합함.
- 본 과제 따른 기술예측은 미래의 경제·사회와 과학기술의 변화를 전망하여 미래의 창조적 과학기술 대안 제공하여 기술개발분야인 국가 중점개발기술 발굴과 중점개발기술 확보 전략수립중점개발기술 확보 전략수립이 가능함.
- 토목, 건축과 관련된 건설현장은 어느 3D 업종들과 마찬가지로 숙련된 기능공의 부재로 인한 어려움을 겪고 있음. 토공 및 포장공 등의 생산성과 품질은 장비 운전자의 숙련도에 많이 좌우됨. 능숙한 장비운전자의 부재로 인하여 생길 수 있는 생산성과 품질에 대한 저하와 안전사고를 방지하며, 또한 측량 작업 혹은 장비 조종 상의 실수로 인한 재시공을 방지하기 위해 조종이 간편하고, 장비조종을 위한 조종자의 각종 의사결정에 대한 지원기능을 가진 정보화/자동화 기반의 스마트 시공 시스템의 개발이 시급함.
- 첨단기술을 이용한 최적 작업계획 및 모니터링, 기존 작업측량 과정을 진보시킨 자동화 부품에 의한 건설장비의 효율적 운용은 생산성 향상 및 에너지 절감을 가능케 하여, 공사비의 절감을 이룰 수 있으며 이는 곧 막대한 탄소배출 저감효과 또한 기대할 수 있음을 의미함.
- 이러한 점을 고려하여 해결하기 위하여, 건설장비 관제 시스템(현장에 투입되는 모든 건설장비의 위치, 데이터 취득, 작업가이드스 및 모니터링, 스마트

진단, 리포팅이 가능한 관리 시스템) 개념의 적용과 장비 조종자의 의사결정을 지원할 수 있는 스마트 건설장비 네비게이터 시스템의 개발이 필요함.

- 그림 3에 표현된 지능형 굴삭시스템 등을 포함한, 현재까지 추진되었던 많은 건설장비 지능화 관련 R&D 성과들의 후속 연계성 부족으로 인한 사업화 및 제도화로의 발전이 이루어지지 않고 있음. 특히 국토해양부 지원과제로 개발된 지능형 굴삭시스템과 같은 건설장비 지능화 프로젝트의 성과의 활용을 위해서는 사용하기 쉽고 탈부착이 가능하면서도 다수장비(Fleet) 제어와 BIM 및 클라우드 기반의 데이터 공유 및 스마트 리포팅 기능을 갖춘 스마트 토공 기술의 개발이 반드시 요구되는 실정임.



[그림 3] 좌측부터 (a) 지능형 굴삭시스템 계획생성 과정,
(b) 굴삭 시스템의 조종자인터페이스(HMI) 화면

- 또한 고도의 기술력을 갖춘 미국 및 유럽 등 선진국과, 가격경쟁력과 더불어 기술력까지 더해가고 있는 중국이 치열하게 다투고 있는 해외건설 시장에서 우리나라가 경쟁력을 갖추기 위해서는 환경 친화적인 첨단시공 기술 및 관리방법을 도입해야함.

다) 사회·환경적 측면

- 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.
- 또한 건설기술혁신사업으로 추진되던 건설장비 관련 과제 종료와 더불어 기존 수행된 연구과제에서 파생되는 실용 가능한 연구 결과들을 계속 발전시키고, 향후 사업화 등을 달성하기 위하여 후속 연계 과제의 필요성이

제기되어 왔으며, 2013-2017 건설교통기술 연구 개발사업 중장기 계획의 비전인 Green Growth Leader 에 부합하는 과제로서 2013년 연구개발 시의성이 요구되는 바, 과제추진을 위한 기획 연구를 수행하였음.

- 한편, 전 지구적인 문제로 떠오른 지구온난화(Global Warming) 문제는 단순한 환경문제를 넘어 경제, 사회, 정치적 이슈로 확대되고 있으며, 특히 지구온난화지수(Global Warming Potential : GWP)는 낮지만 배출량이 온실가스 중 80%를 차지하는 이산화탄소 배출권을 둘러싼 경제문제는 국가적인 이슈이며 그 영향력은 전 산업계에 미치고 있음(김병수, 2011).
- 또한 건설 시공과정에서 가장 많은 공기오염물질을 배출하고 있는 프로세스는 건설 기계 장비의 운용 단계이며, 국내에서 배출되는 연간 공기오염물질 중에서 건설장비가 배출하는 오염물질(CO₂, NO₂)은 6.8%를 차지하고 있음(전상은, 2011).
- 위의 사실을 종합하여 보면, 국가기술지도의 기반주력산업 가치 창출에서의 건설 정보화 기술과 첨단 인프라 건설 기술에 속하여 높은 수준의 건설 시공 원가절감과 에너지 및 탄소 저감 효과와 더불어 기존 재래식 건설 시공 프로세스를 혁신하고 대외 경쟁력을 확보하는 주요 성과를 보일 것임.

2. 국내외 동향 및 환경 분석

가. 국내외 정책동향

1) 국내 정책동향

가) 건설 시공 및 건설 기계 부문 국내 정책동향

- 국내 시공관리 및 안전사고 방지 대책을 위한 정책은 다음과 같음.
 - 건설안전정보시스템은 국토해양부에서 그 동안 건설현장에서 발생한 사고나 사고 저감을 위한 노하우가 업체들 간에 공유되지 않아서 같은 유형의 사고가 재발되고 있는 것을 개선하기 위해 실시함. 이 시스템은 “건설안전 사고사례 DB”, “우수사례 소개”, “건설공사 시공평가” 등의 메뉴로 구성되어 있음.
 - 건설산업의 선진화 및 고부가가치 창출을 위하여 건설사업의 지식정보화가 필요하며, 건설산업의 경쟁력 강화 및 건설사업의 효율성 제고하기 위해서, 건설사업의 기획·설계·시공·유지관리 등 전 과정에서 발생하는 정보를 발주청, 관련업체 등이 전산망을 활용하여 교환·공유하기 위한 통합 정보화 체계인 건설사업정보화(건설CALS) 도입
 - 건설공사지원통합정보체계의 활용을 촉진하고 건설정보의 공유 및 상호 교류를 촉진하기 위하여 건설공사의 제반 단계에서 발생하는 건설정보를 체계적으로 분류하기 위해 건설정보분류체계 적용기준 도입
- 과거에는 건설업이 한국의 경제성장에 상당한 기여를 해 국가 차원에서 예산, 정책 차원의 활발한 지원이 있었으나, 국내 총생산에 기여하는 건설업의 비중이 1990년 이후 매년 감소추세에 있음. 전통적으로 건설 산업은 강한 보수성을 보이고 있음.
- 새로운 시도에 대한 소극적인 자세를 취하여 건설업체의 성장이 주로 기술력에 기초하기 보다는 경영방침 및 사업 추진력에 의해 이루어진 것이 사실임. 이러한 이유에 기인한 기술개발을 위한 인식의 부족과 투자의 부족으로 인하여 건설업이 타 산업에 비하여 경쟁력이 많이 뒤떨어져 있으며, 시대의 새로운 요구에 부응하고 있지 못한 실정임(김성근 외 2명, 2004).
- 현재 지식경제부에서는 ‘건설기계 종합 지원센터’를 추진하고 있음. ‘건설기계 종합 지원센터’에서는 그린건설기계 종합지원사업을 바탕으로

건설기계에 대해 연구개발, 인력양성, 표준화 등 통합지원체계를 구축하고 있음. 이는 본 과제인 건설장비 관제센터 운영기반 스마트 토공 기술의 머신가이던스 및 장비관제 기술 개발취지에 부합하는 사업으로서 연비측정 시스템 표준화 및 친환경화 장비/부품 개발 분야에서 지식경제부의 그린건설기계 종합지원사업의 활용 및 연계를 통해 건설기계의 친환경화에 도움이 될 것으로 예상됨. 하지만, 건설장비자체의 개선이 주목적인 정부지원사업으로서 장비운용의 고효율화를 도모하는 본 과제와는 성격이 상이함.

나) 건설시장의 생산성 정책 프로그램

○ 페이퍼 컴퍼니 및 부실업체 퇴출-우량업체 육성

- 종합건설업체 11,000개, 전문건설업체 47,000개 사에 달하여 공급과잉 상태로 평가되며 특히 전문 건설업체 수는 최근 5년간 1만개사 이상 증가했음. 입찰 단계에서 스크리닝이 어려운 실정에서 등록 요건 강화 및 면밀한 사후관리를 통하여 등록 단계에서 스크리닝 강화 필요.

○ 건설사업정보화(CALS)기본계획에 따라 건설사업의 생산성과 건설업체 기술역량 강화에 목표를 두고 건설정보표준개발, 시스템고도화 및 기술정보 확대 등을 위한 4대 중점과제, 20개 세부시행과제(47억 투자)가 마련되어 추진

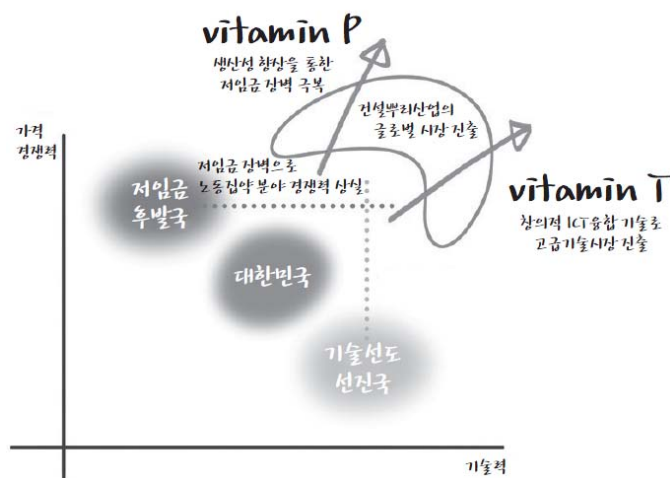
- 설계 등에 3차원형상정보모델(BIM)의 활용을 위해 BIM표준 및 성과품 검사도구의 개발이 추진되며, BIM은 설계변경 최소화 및 시공오류 방지 등에 활용도가 커 미국·일본 등 건설 선진국에서 본격 도입, 활용중
- 건설·ENG업체의 기술역량 강화를 위해 건설기술정보시스템(CODIL)의 국내외 건설 정책, 설계 및 사업관리 등에 관한 정보 DB를 지속 확충하고 사용기능도 개선할 계획으로 사용자 의견반영을 위한 별도의 컨설팅도 함께 추진.
- 건설 CALS 및 건설기술정보시스템의 구축·운영으로 건설사업의 생산성과 효율성이 크게 높아졌으나, 시스템 전반이 노후되어 큰 틀의 개선이 필요.
- 건설현장에서는 숙련공의 고갈이 심각한 상황인데, 외국인 근로자 활용을 통하여 임시방편 식으로 운영하고 있으나, 근본적으로 양질의 기능인력 수급대책이 강구되어야함.
- 기술인력은 과잉 상태에 있는 것으로 평가되나 해외공사를 뒷받침할 기술인력은 오히려 부족한 상황이며, 품질관리나 안전관리, 환경관리, 공정관리 측면에서는 특정화된 전문인력 양성 필요.

○ 지역별 특성 산업클러스터 육성

- 설계 등에 3차원형상정보모델(BIM)의 활용을 위해 BIM표준 및 성과품 검사도구의 개발이 추진되며, BIM은 설계변경 최소화 및 시공오류 방지 등에 활용도가 커 미국·일본 등 건설 선진국에서 본격 도입, 활용중임.

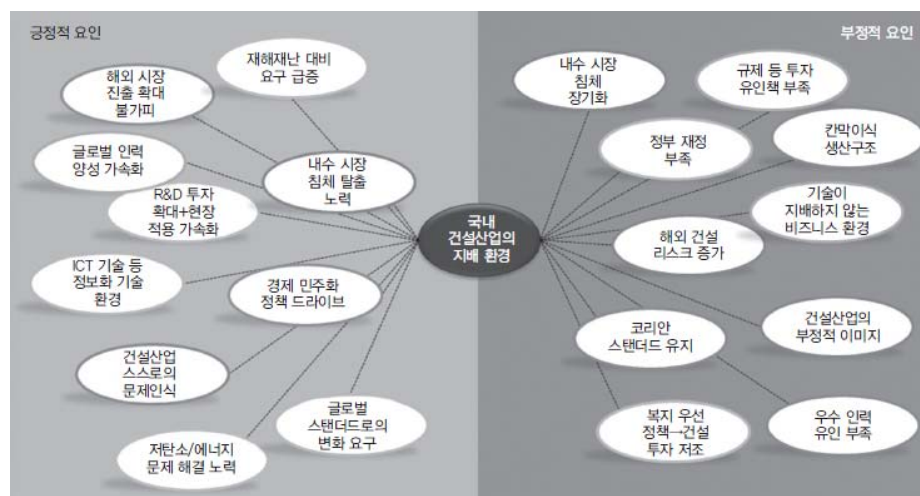
다) 창조 건설 기술

- 창조경제 정책은 건설 산업의 재도약을 위한 패러다임 전환의 방향 제시. 창조경제가 지향하는 바들이 건설 산업 안에서 성공적으로 실천된다면 기술집약적 건설강소기업들을 중심으로 한 고부가가치 건설 산업이 실현될 것으로 기대됨.
- 건설 산업은 타 산업에 비하여 ICT 융합이 크게 뒤져있으며 최근 들어 건설 분야에서 화두가 되고 있는 3D BIM 기반 설계 및 시공은 기계, 조선, 자동차 산업 등에서는 이미 일반화되어있는 기술이지만 건설 분야에서는 아직 초기/도입 단계에 있으며, 향후 건설 산업의 기술력을 좌우할 중심 기술중 하나임. ICT 융합기술은 건설 분야의 획기적인 기술 혁신을 예고하고 있음.
- 아래 사진은 창조경제에서 추진하고 있는 비타민 프로젝트를 전문건설기술에 접목한 사례로서 기술선진국에 막혀 있는 기술집약적 설계, 엔지니어링 분야에서 창의적 ICT 융합 기술을 개발하여 기술 장벽을 극복하는 노력이 필요. 노동집약적 보편 기술 분야의 저임금 장벽은 ICT 융합을 통하여 생산성을 임금 격차 이상으로 향상시킨다면 보편적 기술 분야에서도 세계시장 장악이 가능함.



[그림 4. 비타민 P, T를 통한 창조 경제, 출처: 미래창조과학부]

- 건설 분야 건설기업들은 기술의 참신성이 없고 연구개발 역량이 부족하다는 이유로 연구개발 지원에서 배제되어 왔지만 창조경제가 지향하는 중소기업 주역화, 중소기업의 글로벌 진출 강화, 전통산업과 ICT융합 등이 그대로 건설 산업에 적용될 경우 전문건설 기업들에게도 많은 지원이 가능.
- 2012년 우리나라 해외수주는 650억 달러로 역대 최대를 기록하였지만 해외 수주의 외형적 성장에도 불구하고 전문건설기업들의 해외 진출은 2000년대 중반 이후 곤두박질치고 있으며, 기술집약적 고급기술 분야는 기술선진국에 밀리고 노동집약적 보편기술 분야는 중국 및 동남아 등의 장벽에 막힌 결과.
- 현재의 기술개발의 체계를 R&D와 현장 적용을 동시에 추진하는 방식으로 혁신해야함. 또한 공공의 기술개발 분야는 건설기업이 직접 하지 못하는 부문으로 투자를 확대할 필요가 있으며 중복투자는 가급적 지양해야함.
- 실질적 성과를 위한 기획과 후속조치, 사업화 등 소프트·비즈니스 영역의 R&D도 강화해야 할 것이며 나열식 학문·학제적 접근이 아니라 실제적 융합이 될 수 있는 아이디어의 발굴이 필요함.



[그림 5] 창조경제형 건설산업에 영향을 주는 긍정 및 부정적 요인, 출처: 미래창조과학부

2) 국외 정책동향

- 본 연구에서 제안하고자 하는 건설장비 관제 센터와 스마트 토공 기술을 통한 고효율화 및 저에너지 건설 시공 시스템에 관한 국외 정책은 건설 장비에 관한 정책과 온실가스 저감을 위한 정책으로 구분되며 일본, 유럽, 미국의 사례를 통하여 정책을 소개하도록 함.

○ 일본

- 일본의 국토교통성(Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism)에서는 “ICT aided Construction” 정책의 일환으로 Machine control 건설 장비에 대한 활성화 정책을 펼치고 있음.
- 대규모 건설 프로젝트에서의 ICT aided Construction에 대한 목표와 표준화 정책을 2010년까지, 소규모 건설 프로젝트의 경우 2012년까지 마련하는 것을 목표로 하고 정책 추진중임.
- 최근 국토교통성에서 발행한 “Guideline for ICT-aided construction management in earth compaction utilizing GPS/TS “으로 인해 점차 스마트 건설장비 시공 시스템의 관심이 높아지고 있는 실정임.
- 한편, 일본의 국토교통성은 교토협약상의 온실가스 저감 목표를 달성하기 위해 2010 회계연도 동안 건물부문에서 3,800만 톤, 하수도부문에서 90만 톤, 그리고 에너지 고효율장비 사용 부문에서 20만 톤의 이산화탄소 저감 목표 설정하였음.
- 일본은 2008년 글로벌 금융 위기 하에서 그린뉴딜 개념을 도입하여 환경산업 육성을 통한 적극적인 경기부양을 추진하였으며 환경성이 발표된 「녹색 경제사회를 위한 혁신 보고서」에 그 기본골격이 담겨 있음.
- 기본골격은 ① 환경부문의 공공지출을 통한 새로운 수요창출, ② 환경 관련 산업의 장려, ③ 환경관련 기술의 개발, ④ 환경 중심의 지역공동체 활성화, ⑤ 환경관련 소비의 장려, ⑥ 환경관련 정책에 대한 국제적 공조 등임(김민철, I. Shinichi, 2010).
- 친환경 제품 보급 확대를 위해 하이브리드 굴삭기 구입 시 보조금·세제 지원, 노후 건설기계의 엔진을 클린디젤 또는 하이브리드 엔진으로 개조 시 자금을 지원하여 친환경 건설기계 산업의 경쟁력 확보하고 있음.

○ 유럽

- 유럽연합의 CECE(Committee for European Construction Equipment)는 건설 기계 장비 산업관련 기관 및 산업체의 연합체로서, 균형적인 표준화 정책과 규정을 제정하고 있음.
- CECE에서 제시하는 에너지 효율화 건설 장비의 기술들은 다음과 같음²⁾.
 - Eco-modes: 엔진 속도를 최소화 하는 기술 (연료절감: over 20%)
 - Eco-Driving: 건설 장비 조종자의 운영 효율화 기술 (연료절감:

²⁾ CECE Brochure: “Constructing a Brighter Future”

5-25% + 이산화탄소 500톤 저감)

- Machine control and guidance products: 디지털 데이터와 캐빈내에 설치된 가이드스 모듈을 통해 도저의 블레이드 제어 및 GPS, 초음파, 레이저 센서등을 이용한 고정밀 시공작업을 적용하여 생산성 극대화
- New Drive Concepts: 하이브리드 기술, 동적 에너지를 전기 에너지로 전환하여 저장하여 디젤 엔진의 peak 로드시 에너지 서포트 (연료절감 : 25% 이내)
- 한편, 에너지 고효율화 관련 유럽의 기술을 살펴보면, ‘탄소저감형 건설재료 기술개발 기획보고서’에 따르면 영국은 다음과 같은 정책이 수행되어지고 있음.

정책 사례	주요 내용
Climate Change Bill	▪ 관련특별법 : 2050년까지 1990년 대비 온실가스 배출량 80% 감축
기후변화법 (Climate Change Act)	▪ 탄소예산 도입 → 배출목표 달성방안 ▪ 기업보고서에 계획으로 반영 ▪ 1회용 봉투 사용금지
에너지법 (Energy Act)	▪ 원자력 발전시설 개발을 보완 ▪ 신·재생에너지 확대 ▪ 탄소 포집 및 스마트 등 신기술 적용지원 ▪ 에너지 분산 정책 ▪ EU 입법 및 에너지 감소정책
계획법 (Planning Act)	▪ 주택의 에너지 효율 문제 ▪ 대규모 에너지 기반시설사업 가속화 ▪ 단열재 설치 등 주택 에너지 절약프로그램(68 GBP)
계획정책지침 (PPS : Planning Policy Statement)	▪ 공간계획에 대한 국가정책 지침 제공 ▪ 개발계획과정에 저탄소 고려 ▪ 지방정부의 계획이 국가정책 및 지역정책의 방향에 적용되도록 제도적 보완장치 ▪ PPS1(기후변화대응체계 수립지침), PPS13(교통), PPS22(재생가능에너지) 등
Climate Change Levy	▪ 탄소세 또는 기후변화부담금 도입

- 독일의 에너지 고효율화 관련 정책사례는 다음과 같음.

정책사례	주요내용
1차 대책	▪ 신·재생에너지 ▪ 난방수요의 14%를 재생에너지로 공급 → 신규재생에너지 사용 의무화, 기존건물 보조금 증액 ▪ 건물에 대한 에너지 효율화 요건 강화
2차 대책	▪ 기반시설구축 ▪ 신축주택 및 기존주택의 에너지 효율 30% 개선 ▪ 심야 저장 난방기구의 이용 배제 ▪ Smart Metering 도입 ▪ 임대용 자산 난방비 배분 → 공동소비 비율 축소
재정 지원	▪ 건물에너지 효율화 위해 30억 유로 투입
환경세(Eco-Tax)	▪ 친환경 조세개혁 도입에 관한 법률 제정

- 미국

- 현재 NJDOT(New Jersey Department of Transportation)등에서는 이미 에너지 및 시공효율성 제고를 위하여 Fleet Management를 수행하고 있으며, 정부차원에서 일정기간이 지나 노후화된 장비를 엔진 교체하여 탄소 배출량을 줄일 수 있도록 하는 정책을 수행하고 있음(AASHITO, 2004).
- 미국 교통부에서는 AMG(Automated Machine Guidance) 기술에 대하여 다음과 같은 기준을 제시하고 있음(표 2).

<표 2> 미국 교통부의 Machine Guidance 기술 적용의 선택 기준

AMG 기술 적용의 최적 조건	AMG 기술 적용의 한계
▪ 큰 규모의 토공사 및 포장공사 ▪ 평면선형기반 공사 ▪ 수치 지형 모델(DTM : Digital Terrain Model)기반으로 설계된 공사	▪ 좁고 긴 지역의 공사 ▪ DTM 설계를 기반으로 하지 않은 공사 ▪ 구조물 관련 공사 ▪ 각종 장애물로 인해 위성위치 측정 시스템(GNSS : Global Positioning System)을 적용할 수 없는 지역의 공사

(출처 : GUIDELINES for IMPLEMENTING AUTOMATED MACHINE GUIDANCE, 2009)

- 미국 AMG에서 제안하는 적용 가능 공종은 대단위의 토공사 및 포장공사, 혹은 대량의 건설장비가 투입되거나 다양한 건설장비가 투입되어 장비간

협업이 많은 공사로 한정하고 있음. 이러한 공종에 투입가능한 자동화 건설 시공 장비로는 대표적으로 도저, 굴삭기, 로우더, 모터그레이더, 롤러, 지게차, 덤프트럭, 피니셔 등이 있음.

- 한편, 1980년대에 설립된 환경과 개발에 관한 세계위원회(WCED : World Commission on Environment and Development)에서 1987년 인류사회의 발전을 위한 개념으로서 “지속가능한 발전(Sustainable Development)”을 제시한 이래 국제 사회에서 다양한 기관 및 정책이 설립되었음.
- 미국에서는 2003년부터 추진해오고 있는 Clean Air Program 정책 수행과정에서 차량의 배기가스 관리 및 탄소 배출량이 많은 노후화된 엔진의 교체를 위하여 Fleet Management를 활용하고 있음.

나. 국내외 시장현황 및 전망

1) 국내 시장현황

- 최근 국내외 건설현장에서의 숙련공 부족 문제, 3D 산업에서 첨단 산업 분야로의 변화가 절실히 요구되고 건설 산업의 이미지 제고 및 미래 건설 산업에서의 국제 경쟁력 확보 등을 위한 하나의 기술적 접근 방법으로써 건설지능화·자동화 분야에 관한 관심이 지속적으로 증대되고 있으므로 향후 건설자동화 관련 연구개발 투자는 지속적으로 증가할 것으로 예상됨.
- 이미 오래 전부터 품질, 안전성 확보, 노무 생산성 향상, 생산비용 절감, 시공기술 경쟁력 확보에 대한 기술적 해결 방법으로써 건설공사 기술의 고도화와 합리화가 요구되고 있으며 그 해결수단으로써 첨단 기술을 이용한 건설장비 분야가 주목을 받고 있음. 국내사회 간접 건설공사의 지속적인 공사물량 증가와 주택 시장의 수급 확보 방안으로 미루어 볼 때 국내 건설 자동화 실현에 대한 시장은 충분한 수요를 가지고 있는 것으로 판단됨.
- 그러나 현재까지 건설장비 연구개발의 많은 영역이 여전히 미개척 분야로 남아 있는 상태임. 또한, 이미 수행된 건설장비 지능화의 경우 미래의 성공 및 사업화 가능성은 제시하고 있으나 철저한 성능 분석 및 현장 적용성 검증을 통한 실용화라는 과제가 남아있음(이정호, 2006).
- 본 기획연구의 주 대상 공종인 토공사는 도로, 공항, 단지조성등과 같이 대부분의 토목 및 건축 공사에 필요한 가장 기본적인 작업으로 주로 기계화 시공으로 공사를 수행하고 있음. 현재 토공 공사의 시장 규모는 2000

년 이후 지속적으로 증가하고 있는 상황임.

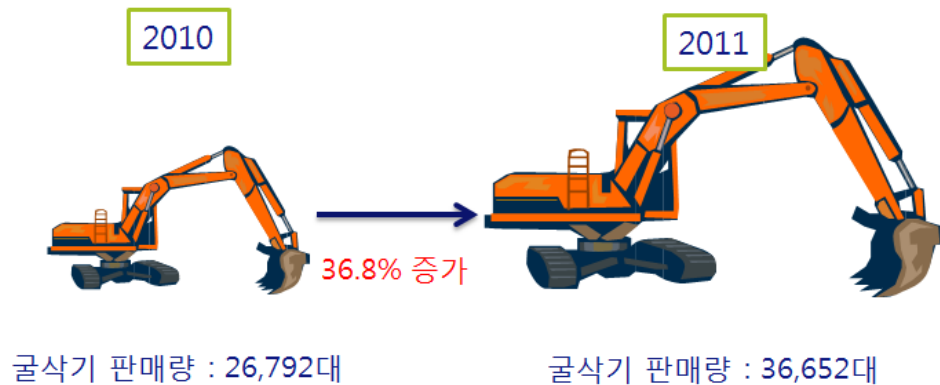
- 머신 가이드스와 같은 건설진보 기술의 시장규모를 간접적으로 예측해보면, 토공 시장의 전체 규모를 분석하고 3D 가이드스 시스템의 시장점유율을 예측하여 3D 가이드스 시스템의 시장 규모를 예측할 수 있음. 토공 공사의 시장 규모는 2000년 이후 지속적으로 증가하여, 2001년 6조 4,000억 원에서 2003년 8조 2,300억 원으로 확대됨. 회귀분석 실시 결과(추세 및 물가상승 포함) 토공 공사의 시장 규모는 연구 종료 시점인 2017년에는 16조 4,000억 원, 종료 5년 후인 2022년에는 22조 3,000억 원 규모로 확대될 것으로 예상됨. 2017년에 전체 토공 시장의 15%에 본 시스템을 활용한다고 가정할 경우 시장은 약 2조 2,000억 원 예상됨.
- 하지만 머신가이드스 기술은 상용화 후 성장기 초기 단계의 기술로, 선진국간의 기술 경쟁이 치열해지고 있는 바 장비군 관계기술과의 접목과 같은 융합기술을 통하여 대외 경쟁력을 확보해야 후발 주자로서 마켓쉐어 및 리드가 가능하다고 판단됨.
- 본 기획과제 기술의 간접적인 파급효과를 누릴 수 있는 건설기계시장을 살펴보면 국토해양부 건설 기계등록현황 자료(표 3)에 의하면 2011년 기준으로 건설장비 등록대수가 약 38만대임. 이 중 굴삭기, 불도저, 롤러, 덤프트럭이 전체의 약 49%를 차지하고 있음.

<표 3> 2011년 기준 건설장비 등록대수

종 류	수 량	비 율
굴삭기	118,721 대	31.40 %
덤프트럭	55,384 대	14.60 %
롤러	6,183 대	1.60 %
불도저	4,262 대	1.13 %
소 계	378,489 대	48.73 %

(출처 : 국토해양부 건설 기계등록현황)

- 2011년 9월 누계 건설 기계 장비 완제품 총 생산 및 총 판매는 76,005 대 및 77,834 대로 전년 대비 각각 35.3%, 41.0% 증가하였고, 총 내수 및 총 수출은 20,529 대 및 57,305 대로 전년 대비 각각 1.5%, 69.9% 증가하였음. 이를 통해 국내 건설 기계 장비의 시공 의존도가 높아지고 있음을 알 수 있음.



[그림 6] 2010~2011년도 굴삭기 판매량 증가

(출처 : 한국건설기계산업협회 ‘건설기계산업 동향’, 2011)

- 에너지 효율화를 통한 효과는 원가절감과 더불어 친환경분야에서 파급효과를 누릴 수 있으며, 관련 정책으로는 2008년 9월에는 지식경제부 주관 하에 온실가스 감축사업 투자, 탄소 배출권 거래 및 관련된 종합 금융서비스를 제공하는 국내 최초의 탄소 전문 투자회사가 설립되었고, 2008년 10월에는 탄소 배출권 거래를 위한 국내 인프라 형성의 일환으로 환경부 및 KRX간 MOU 체결 등 국내 탄소 배출권거래소 구축을 추진 중임.
- 2008년 9월 국내 최초로 CDM 사업 발굴 및 컨설팅과 탄소 배출권 거래를 전문으로 하는 투자전문회사인 ‘한국탄소금융주식회사(KCF : Korean Carbon Finance)’가 설립됨.
- 전 세계적으로 10여개의 탄소 배출권거래소가 운영되고 있으며, 국내는 2008년 10월 환경부와 한국증권선물거래소가 ‘탄소 배출권거래소 설립·운영에 관한 MOU’를 체결한 상황임.

2) 국외 시장현황

- 세계 건설시장 규모는 약 8조 달러로 추정되며, 연평균 4.5% 성장하여 2020년 시장규모는 12.7조 달러로 예상됨(정만태, 2012).
- 주요국가의 토공장비 정보화 및 건설자동화 기계 관련 시장규모는 표 4와 같음.

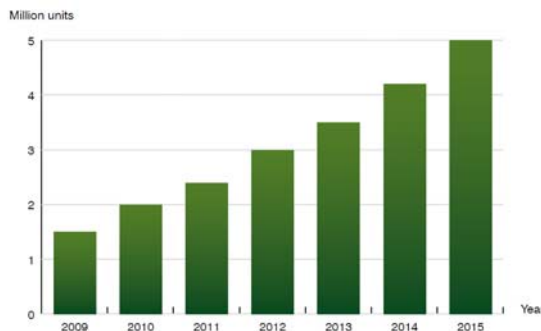
<표 4> 주요국가의 시장규모

(단위 : 억 원)

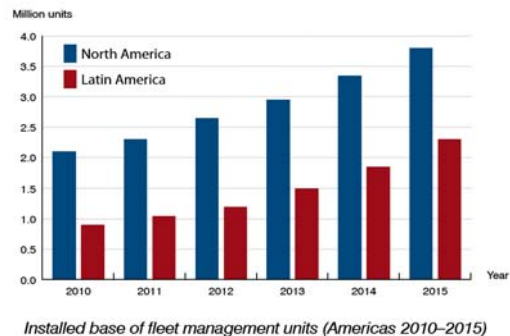
구 분		연도별 시장 규모														
		2001년			2002년			2003년			2004년			2005년		
		수입	수출	소계	수입	수출	소계	수입	수출	소계	수입	수출	소계	수입	수출	소계
토공 지능화 장비 및 시스템	미국	920	4,500	5,420	1,400	6,700	8,100	1,008	9,400	10,408	2,300	15,000	17,300	3,200	26,700	29,900
	독일	210	450	660	320	650	970	530	780	1,310	610	910	1,520	890	1,200	2,090
	일본	180	230	410	250	410	660	320	530	850	450	710	1,160	530	930	1,460

산출근거 : WUFSA 2006(유럽 무역 통계 세계판)

- Berg Insight의 예측에 따르면 유럽의 Fleet Management³⁾ 시스템 시장은 연간 20.7%씩 확대되어 2010년 현재 관리하고 있는 차량 200만대에서 2015년 500만대 정도가 이용할 것으로 예상됨. 이러한 증가에 따라, 현재 상업용 차량의 약 6.9%가 Fleet Management를 활용하는데 반해, 2015년에는 상업용 차량 시장의 약 17.6%가 Fleet Management를 활용할 것으로 예측하였음(그림 7).
- 북아메리카의 Fleet Management 시장은 연간 12.6%로 확대되어 2010년에 210만대에서 2015년 약 380만대에 달하는 차량들이 Fleet Management system을 활용할 것으로 예상하고 있으며, 이와 마찬가지로, 라틴아메리카의 Fleet Management 이용도 점점 증가할 것으로 추정되어 2010년 90만대의 Fleet Management 이용 차량 수는 2015년 230만대로 연간 20.6%씩 성장 할 것으로 예측하고 있음(그림 8).



[그림 7] 2009-2015년 유럽의 Fleet Management 예측 (Berg Insight, 2010)



[그림 8] 2010-2015년 미 대륙의 Fleet Management 예측 (Berg Insight, 2010)

³⁾ Fleet Management : 움직이는 형태의 모든 차량, 혹은 건설 장비의 효율적인 정보 전달과 통신을 위한 관제 시스템으로, 차량과 같은 움직이는 운송 수단에 대한 관리를 하기 위하여 위치 및 경로 정보를 제공함. 때때로 통제 수단이 되기도 하며, 주로 차량 운송 업무를 많이 하는 회사에 사용됨.

- 이처럼 아메리카, 유럽 대륙 등 전 세계에서 Fleet Management 시장은 가파르게 성장해 가고 있으며, 따라서 본 과제에서 적용하고자하는 스마트 시공 시스템의 한 분야인 Fleet Management의 기술을 원천기술로 개발한다면 향후 점점 확대 되가는 차량용 Fleet Management 시장과 같이 건설장비용 Fleet Management도 높은 활용 효과를 얻을 것으로 기대됨.

다. 기술동향 분석

1) 관련 기술개발 동향

가) 국내 기술 및 산업 동향

- 본 연구의 목표기술인 ‘건설장비 관제센터 운영기반 스마트 토공 기술’과 관련된 기술개발 동향은 크게 건설기계 및 시공관리 부문과 친환경건설 부문으로 나눌 수 있음.
- 건설자동화 및 시공관리 부문의 국내 기술 및 산업 동향은 다음과 같음.
 - 건설교통기술평가원에서 지원받은 미래형 실시간 SICS(Spatial Information Control System)연구에 따르면, 현장 관제 시스템과 관련된 기술로서 실시간 현장관리를 위한 4D CAD에서의 공사 진척 정보 수집을 자동화하기 위해 RFID, 디지털 카메라 등의 센서를 이용한 연구가 진행되었으나 자재의 정보에 초점이 맞추어져 있고 건설장비의 실시간 모니터링은 이루어지지 않았음(그림 9).



[그림 9] 실시간 모니터링 및 공정 관리 통합 시스템 (김경환 등, 2009)

- 디지털 카메라, 가상현실 제작 툴인 World Up, 3차원 논 프리즘 측량기를 활용하여 3D CAD를 기반으로 하는 VR(Virtual Reality) 화상과 현장사진을 비교함으로써 공사 관리자가 실제 진척 상황과 설계도의 차이점을 시각적으로 판단하여 이를 공정 관리에 활용할 수 있도록 하는 가상건설현장 시스템(VCS : Virtual Reality Construction Site)을 제안함(김형은, 2005).



[그림 10] VR 화상과 현장사진의 비교 (김형은, 2005)

- 국내에서 수행된 토공 건설장비 관련 정보화 시공 기술 연구 사례는 2006년부터 2011년까지 수행된 국토해양부 연구과제 “지능형 굴삭시스템 개발” (그림 11)이 대표적이며 이 연구에서는 굴삭기의 완전자동화를 목표로 지능형 작업 계획 생성 기술과 이동형 컨트롤 스테이션 및 전자 유압 기술 등이 적용되어 굴삭로봇의 작업 계획, 이동, 굴착, 상차 등의 핵심 기술을 자동화하였음.



(a) 자동화 굴삭기 본체



(b)원격 컨트롤 스테이션

[그림 11] 지능형 굴삭시스템 개발

- 현대중공업에서 개발한 건설장비 원격시스템은 위성통신을 이용해 세계 곳곳에서 작업 중인 굴삭기의 현장 가동상황을 원격지에서 파악, 장비의 산채와 이력을 분석함으로써, 최적의 장비 관리가 가능한 첨단 정보시스템(모델명 : Hi-mate)임. 이 시스템은 가동 중인 장비의 정보를 실시간으로 현대중공업의 메인 서버로 수집·분석하여 소모성 부품을 적기에 공급하고 연료 소모량을 파악해 연비를 향상시키는 등 장비를 최적의 상태로 유지시켜주며, 또한 GPS와 전자지도를 활용한 위치추적 기능은 물론 엔진 시동제한 기능도 갖춰 도난 및 불법 사용을 감시 할 수 있음. 특히, 장비 내부의 유압, 전장 및 엔진 계통에 각종 이상이 생길 경우, 실시간 정보를 받아 신속한 A/S가 가능하며, 가동 정보를 지속적으로 분석해 차세대 신제품 개발에 반영하는 등 품질 향상에도 기여할 수 있음.



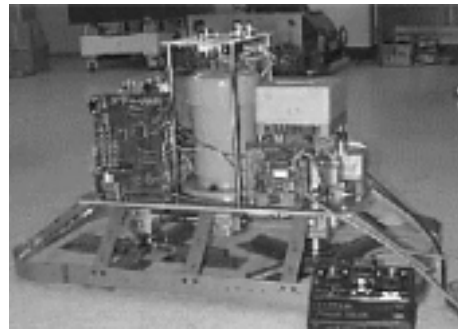
[그림 12] 현대중공업의 Hi-mat(출처: 기계저널, 2009)

- 건설자동화 측면의 국내 기술개발 추진 현황으로는 1980년대 후반부터 한국건설기술연구원에서 건설자동화 및 정보화의 필요성 및 적용대상 공

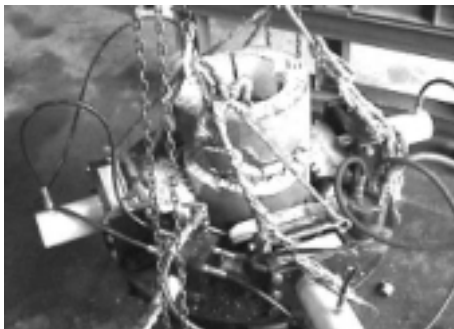
사선정을 위한 이론적인 연구를 수행함. 이를 토대로 진동롤러의 반자동화, 타워크레인의 반자동화와 관련된 연구 등이 수행됨. 최근에는 콘크리트 미장 자동화 기계의 개발 및 교량유지관리를 위한 교량하부 안전 점검용 자동화 기계, 흡관매설 자동화 기계, 도로면 유지보수를 위한 크랙실링 자동화 기계가 연구 개발되었으며, 기성 콘크리트 파일의 두부정리를 위한 자동화기계와 원격조종 콘크리트 표면절삭 자동화 기계 또한 개발되었음.



(a) 흡관 매설 자동화 장비



(b) 미장 자동화 장비



(c) 크랙실러 자동화 장비



(d) 두부정리 자동화 장비

[그림 13] 국내의 자동화 기계

- 그러나 현재까지 수행된 대부분의 건설자동화 연구는 정부 투자를 통해 산·학·연 협동 연구를 통해 개발이 이루어져 왔으며, 대형건설업체의 경우 자체기술에 대한 연구개발보다는 주로 해외에서 개발된 기계를 현장에 도입하고 있는 실정임(이정호, 2006).
- 건설 산업에서 탄소저감 신기술을 건축물 에너지관리 시스템 분야에서 활발히 진행되었으며, 이를 정리하면 다음과 같음.
 - 현대건설은 국내 최초로 스마트 그리드 기술을 적용한 에너지 실시간 모니터링 속도계 ‘에너지 클락(Energy Clock)’을 개발 하였고, 가정에서 소비되는 에너지의 사용량을 실시간으로 모니터링이 가능하게 함. 에너지 클락은 가정에서 소비되는 에너지의 사용량을 실시간으로 모니

터링이 가능하고, 이에 따라 에너지 사용 기기별·시기별 사용량에 대한 실시간 측정은 물론 추정 요금까지 가정에서 손쉽게 인식할 수 있어, 에너지 절감을 유도하는데 큰 효과가 있을 것으로 보임. 특히 기존 전력계량기 원격검침 전력정보의 전송속도를 100배 이상 향상시켜 1~2초 내에 실시간 검측이 가능토록 했음.



[그림 14] 현대건설 ‘에너지 클락’

- 건물 에너지관리시스템은 BEMS(Building Energy Management System)이라고 불리며 건물 내 실별, 동별 전기, 가스, 기름 등 에너지 관리 설비의 각종 정보를 실시간 수집, 분석해 에너지 사용효율을 개선함으로써 그 절감분을 빌딩 소유주와 분배하는 형태의 사업임. 건물 내 에너지 사용량, 설비운전현황, 실내 환경 및 탄소 배출량 등을 모니터링하여 최적운영 시뮬레이션 보고서를 작성한 후 실제 설비제어와 절감량 측정에 이르는 전 과정을 포함하며, BEMS의 개념 및 이론은 탄소 저감을 위한 건설 장비 운용에도 유용할 것이라 판단됨.
- 건설 기계 자체의 에너지 효율화를 위한 장비 엔진의 Hybrid(전기-디젤)화가 이루어지고 있으나 본 기획과제에서 추진하는 스마트 시공기술적인 측면의 장비운영기법에 대한 개발노력 및 상용화실정은 매우 미진함.



구분	전기 (kw/h)	가스 (Nm³)	탄소 배출 절감량 (kgCO2/년)
2009년	2,469,101	126,423	1,329
2010년	2,450,389	123,981	1,315
2011년	2,401,441	123,659	1,294
2012년	2,368,998	122,276	1,277

[그림 15] BEMS 사용 후 꾸준히 전기사용량, 탄소 배출량 감소

- 최근 국내에서 건설장비별 에너지 효율성 및 환경 부하를 측정하기 위하여 다양한 장비 조합에 따르는 생애주기 분석을 통하여 탄소 배출량을 평가하는 연구가 수행된 바 있으며(박형근, 2011), 그 외 탄소 배출 모니터링 관련 국내 연구현황은 다음 표와 같음.

연구자	소속	연구기관	내용	연도
최형림 외	동아대학교	지식경제부 지방기술혁신사업	Green Port 구현을 위한 물류장비 탄소 배출 모니터링 시스템	2010
이동은 외	경북대학교	한국연구재단	건설 프로젝트 일정정보를 활용한 이산화탄소 배출량 산출 시스템	2012
			프로젝트 자원투입 정보를 활용한 탄소 배출량 산출 시스템	2010
강성중 외	건국대학교	한국연구재단	사용자 인터랙션을 통한 탄소 배출량 산정을 위한 정보디자인	2010
김병수	경북대학교	한국연구재단	토공장비조합에 따른 공사기간 및 이산화탄소 배출량의 상관성 분석	2011
			이산화탄소 배출량을 고려한 토공 장비조합의 선정	2011
노상영 외	한양대학교	한양대학교 친환경건축 연구센터	공동주택 개보수에 따른 건축자재의 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량 분석	2007
김정용 외	한양대학교	한양대학교 친환경건축 연구센터	에너지소비량 및 이산화탄소 배출량 분석을 통한 건축 바닥 컴포넌트의 친환경 성능 평가에 관한 연구	2008
정영선 외	한국건설기술연구원 외	건축환경 및 친환경 자재기술 표준화 사업의 지원	건축물 생애과정에서의 이산화탄소 배출량 계산 프로세스에 관한 연구	2011
이재용 외	경운대학교		에너지자원 : 탄소 배출량 산정을 위한 GIS 적용연구	2010
한승원	서울시립대학교	한국과학재단	시공단계 공법에 따른 투입자원과 이산화탄소 배출량에 관한 연구	2011

○ 소결

- 대부분의 국내 연구 및 기술은 현장관리, 공사 진척 정보 수집, 유지관리 단계에서 주로 개발되어 왔으며, 시공단계에서 건설 장비를 초점으로 한 연구는 국토해양부 지원과제인 ‘지능형 굴삭시스템’ 연구가 대표적임.
- 무인조종이 가능한 자동굴삭기. 하지만 굴삭기 1대만의 자동화를 통하여 건설현장 전체의 생산성을 높이는 데는 한계가 있으며 극지 등의 특수한 환경에서 사용될 수 있는 기술임.
- 굴삭기 자체에 대한 사업화/상용화 보다는 세부과제들에서 나온 요소기술들의 성과를 창출하였음
- 앞에서 살펴본바와 같이 국내 건설장비 가이드 시스템(머신 가이드스) 관련기술은 최근에 들어 1개의 업체가 외국의 제품을 도입해 사용한

경우를 제외하고는 사례가 전무한 상태이며, 해외 선진국에 비해 원천 기술력 또한 매우 부족한 실정임.

- 건설장비 관제 센터(Fleet Management) 관련 기술은 물류 분야에서 사용해왔기 때문에 일정부분 기술력은 있으나, 건설장비에 도입된바 없고 에너지 효율화 개념으로의 접근 사례는 전무함.
- 에너지 사용/탄소 배출량 측정 및 모니터링 관련 연구는 다양하게 이루어지고 있으나 토공사 현장의 에너지 사용량 및 탄소배출량을 감소시킬 수 있는 방안에 관련된 연구는 부족한 실정임.

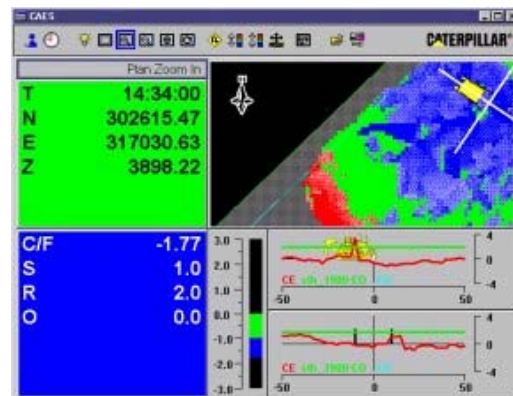
나) 국외 기술 및 산업 동향

○ Trimble 社 : 토공자동화 시스템 (미국)

- 그래픽을 이용한 머신 가이드의 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 토공 작업 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.



[그림 16] 토공자동화를 위한 HMI



[그림 17] 그래픽 HMI 스크린

○ Trimble 社 : CS900 on a Motor Grader with Dual GPS

- 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.



[그림 18] GCS900 on a Motor Grader with Dual GPS

○ Trimble 社 : GeoManager (Fleet Solutions)

- 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



[그림 19] GeoManager 1



[그림 20] GeoManager 2

○ Sokkia 社 : 3D-MC(Machine Control) GNSS(Global Navigation Satellite System) 굴삭기 (그림 21)

- 정지 작업에서 배토 판의 높이 자동제어가 가능함.
- 고저차가 큰 현장이나 복잡한 형태의 현장에서도 실시간으로 절토량, 성토량을 확인하며 작업이 가능.
- 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.

○ Sokkia 社 : 3D-MC mmGPS 모터그레이더 (그림 22)

- 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.



[그림 21] 3D-MC GNSS 굴삭기



[그림 22] 3D-MC mmGPS 모터그레이더

○ PROLEC 社 : 3D Machine Guidance grade control systems (그림 23)

- 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.

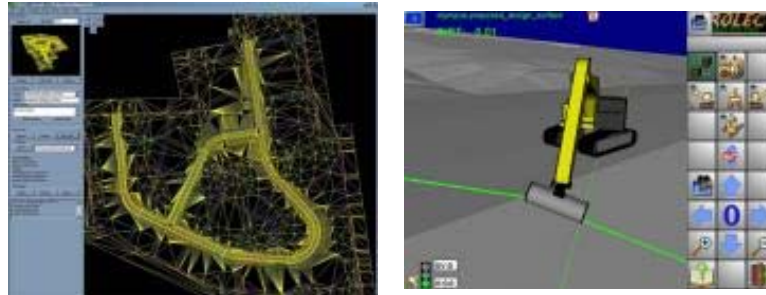


[그림 23] Prolec 社 머신 가이드런스

○ PROLEC 社 : Digmaster Pro - 3D (그림 24)

- 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 있게 되어있고, 작업자가 쉽게 사용 할 수 있도록 아이콘을 기반으로 한 인터페이스를 갖추었으며, 모든 데이터는 실시간으로 전송됨.

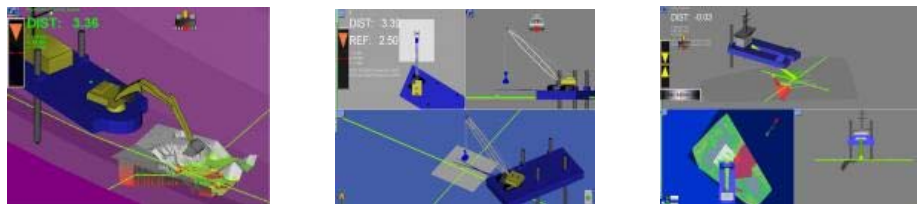
- 이 시스템을 적용시 정확도 향상과 공기 단축, 안전성 증가 및 연료 사용량 감소 등이 있음. Digmaster Pro의 용도는 일반 토공사 및 현장 준비, 도로건설, 트렌치 공사, 수로 공사 등이 있음.



[그림 24] Digmaster의 장비 인터페이스

○ PROLEC 社 : PCX-PRO (그림 25)

- 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 유리한 시스템임.



[그림 25] PCX-PRO 인터페이스

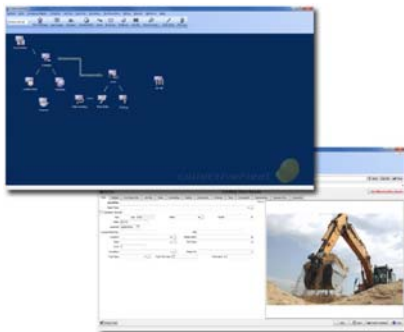
○ Volvo 社 : Caretrack (그림 26)

- GPS를 통하여 24시간 장비를 관리 감독할 수 있으므로 현장간의 거리가 광범위한 미국의 경우, 타 현장의 장비를 보다 효과적으로 관리하기 위한 방안으로 Fleet management가 사용되고 있으며, 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

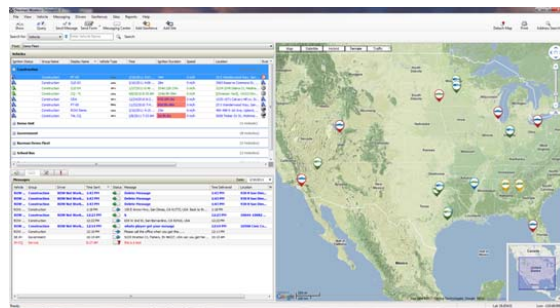
연료 상황까지 파악을 통해 오랜 기간 장비를 이용할 수 있도록 수명을 예측하는 서비스를 제공하고 있음.

○ NAVMAN WIRELESS 社 : OnlineAVL2 (그림 27)

- 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.
- 아래 그림과 같이 지도상에 차량의 작동 여부, 위치, 속도 등을 실시간으로 알 수 있으며, 메시지 전달 및 스케줄 확인 가능함.



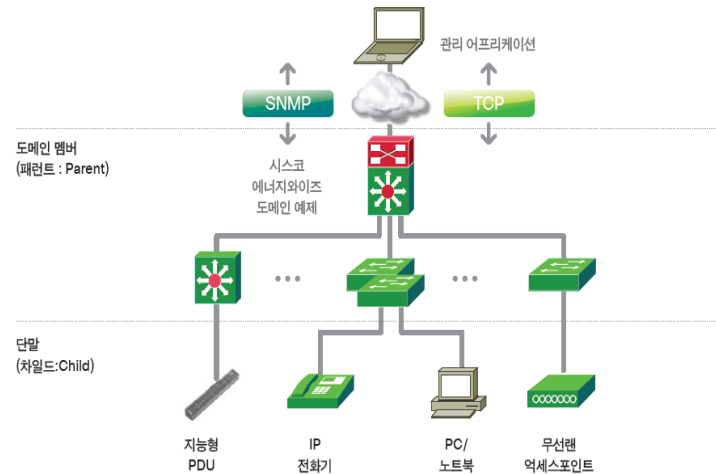
[그림 26] Volvo 社 의 Caretrack



[그림 27] NAVMAN WIRELESS 社의 OnlineAVL2

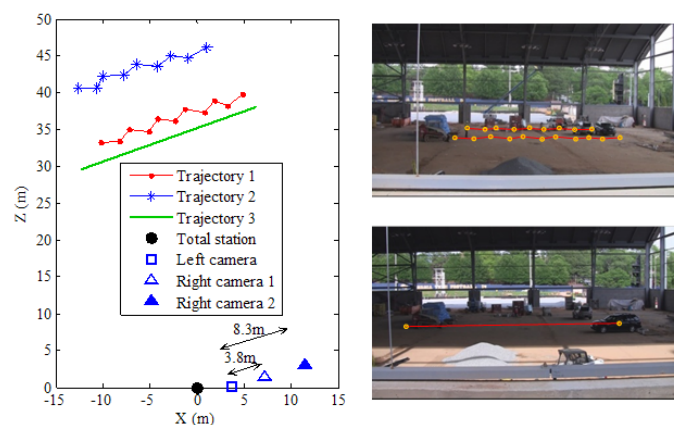
- SAP와 시스코는 기업의 탄소 배출량을 감시하고 절감하는데 도움을 제공하는 툴과 서비스를 제공하고 있으며, SAP는 탄소 측정 서비스를 제공하는 클리어 스탠다드(Clear Standards)를 지난 2009년에 인수했고 시스코는 에너지 사용량과 요구조건을 추적하고 감시하기 위한 에너지 와이즈(Energy Wise) 제품군을 제공함. 에너지 와이즈는 도메인 멤버에 해당되는 스위치 및 라우터 장비에 적용된 에너지 제어 정책에 따라, 연결된 단말 장치의 에너지를 자동적으로 제어 가능함. 또한, 통합 관리 애플리케이션을 통해 손쉽게 운영하고 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.



[그림 28] 에너지 와이즈의 시스템 구성도(출처: www.cisco.com)

- 미국 조지아텍에서 개발한 실시간 위치 추적 시스템은 다양한 종류의 건설 관리 업무에 사용될 수 있음. 예를 들어, 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.



[그림 29] Georgia Tech. 건설현장 내 자원 추적 기술

- 고효율/고생산성 건설을 위한 머신 가이던스 등의 효율적 건설장비 운영 관련 기술 및 서비스를 제공하는 국내외 기업별 현황은 다음 표 5와 같음.

<표 5> 기업별 현황

업체명(국적)	업체별 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)	- 건설장비 제작 기업 - 무인 토공 시스템 개발하여 상용화	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 양반 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 3차원으로 추적 관리하고 롤링 장소와 롤링 회수를 종합적으로 관리함.	정보화 시공
POC (일본)	대형 중장비를 이용한 토목공사에 무선 LAN을 도입함. 즉, 원격조작 무인시공을 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 굴삭시스템 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

업체명(국적)	업체별 능력	중점 분야
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	소프트웨 어 개발
Mitsubishi (일본)	다자유도 Manipulation 설계 및 제어기술	메커니즘 및 제어
Mapinfo (미국)	Mapping 관련 소프트웨어 개발	소프트웨 어 개발
Tuck(독일)	다양한 센서기술 개발	센서 개발
iRobot(미국)	센서기반의 로봇 주행 지능제어 기술	지능제어
Sensible Tech.(미국)	실감형 다자유도 조작기 및 SDK기술	메커니즘 설계

○ 국외 기업들의 머신가이던스 관련 연구개발 동향은 다음과 같음.

연구기관	연구개발 결과	연구개발 내용
소키아 (일본)	굴삭기유도시스템 (3D-Xi)	GPS 2대의 측위와 4 개의 경사센서를 이용한 계측에 의해, 현장에서 버킷의 끝단 위치를 모니터하여 설계 데이터에 따른 시공 상황(성/절토)을 시각적으로 유도하는 시스템
소키아 (일본)	아스팔트피니셔 자동컨트롤 시스템 (TA-1)	초음파센서 및 경사센서를 이용하여 아스팔트 포장공사를 자동으로 높이와 구배를 제어할 수 있는 시스템
소키아 (일본)	3차원 컨트롤러 시스템 (3D-MC2)	GPS와 관성센서를 이용하여 자동으로 로더의 작업위치와 작업량을 운전자가 확인할 수 있는 정보화시공 시스템
오바야시구미 (일본)	고정밀 성토다짐관리 시스템 (COMPACT)	GPS를 이용해 롤링을 행한 진동 롤러의 주행 위치나 작업 상황을 3 차원으로 추적 관리하고 롤링 장소와 롤링 회수를 종합적으로 관리함.
Trimble (미국)	로더 정보화시공시스템	GPS 시스템을 이용하여 위치정보를 실시간으로 업데이트해주며, 장비 내에 설치된 MMI (Man-Machine-Interface)의 모니터 상에 CAD 설계정보와 오버랩하여 보여 줌.
Prolec (미국)	3차원 머신 가이던스 시스템 (Digmaster Pro-3D)	GNSS와 정밀 센서를 이용하여 굴삭기의 버킷과 블레이드의 정밀한 제어를 바탕으로 디지털 지형도와 오버랩하여 HMI에 보여 줌.
Leica Geosystems (미국)	3D 레이저 스캐닝 기반 시스템	레이저 스캐닝 기술을 이용하여 TPS, 레이저 측량계, 레이저 스캐너, 레이저 트래커 등을 필드를 대상개발 하였으며, 주요 사업 분야는 항공기 제작, 토목, 공장 자동화 분야 등임.

- 에너지 효율화 및 탄소 배출 모니터링 관련 국외 연구 현황은 다음과 같음.

연구내용	연구자	비고
아스팔트 공사, 철강 산업, 도로교통분야 등에서 CO ₂ 배출량의 감축을 목표로 CO ₂ 배출량을 측정 및 추정하는 연구	Andre, M., Joumard, R., Vidon, R., Tassel, P., Perret, P.	2006
	Fairbairn, E. M. Ferreira, I. A. Cordeiro, G. C. Silvos, M. M. Toledo Filho, R. D. Ribeiro, F. L.	2010
	Gao, Y., Checkel, M.D.	2007
	Ikaga, T., Murakami, S., Kato, S., Shiraishi, Y.	2010
	Lu, I. J., Lewis, C., Lin, S. J.	2009
	Malick, R., Bergendahl, J.	2009
에너지계획, 오일산업, 건축분야에서 CO ₂ 배출량을 고려한 투자가치를 최적화하는 연구	Chikada, T., Inoue, T., Kuwahara, M.	1999
	Ordorica-Garcia, G., Elkamel, A., Douglas, P. L., Croiset, E., Gupta, M.	2008
	Sirikitputtisak, T., Mirzaesmeeli, H., Douglas, P. L., Croiset, E., Wilkamel, A., Gupta, M.	2009
계획단계에서 CO ₂ 배출량 감소를 목적으로 한 Design 및 Management 관련 연구	Caetani, M. A., Gheratof, D. F., Yoneyama, T.	2008
	Ishikawa, K., Steinberg, M.	1996
	Knudsrup, M. A., Ring Hansen, H. T., Brunsgaard, C.	2009

(출처: 토공장비조합에 따른 공사기간 및 이산화탄소 배출량의 상관성 분석, 김병수, 2011)

2) 특허동향분석

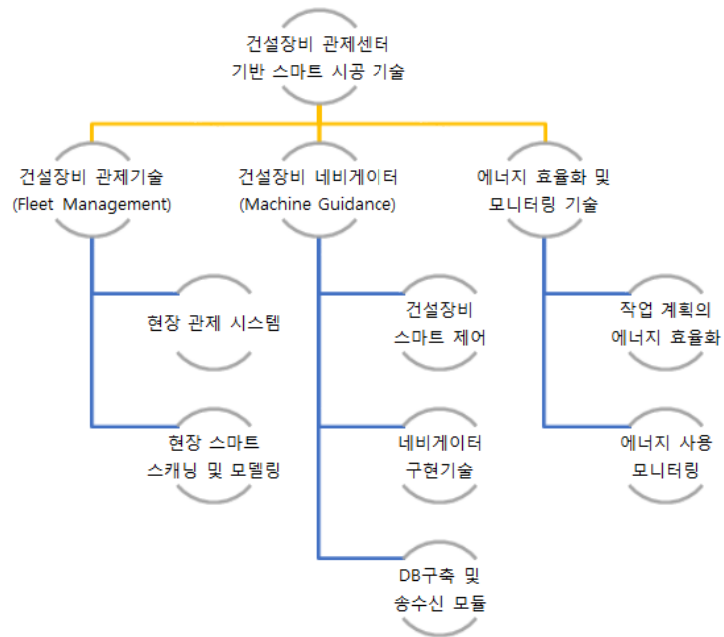
- 본 특허동향분석은 기획연구 대상과제인 건설장비 관제센터 기반 스마트 토공 시스템 분야에 포함되는 7개의 소분류를 대상으로 하였으며, 객관적 데이터인 특허 정보로서 이를 뒷받침할 수 있도록 하였음.
- 따라서 정량 분석 이외에 특허 장벽 등 심층 분석을 통해 소분류 레벨에서 우리나라의 기술 경쟁력 현황, 연구개발 진입 가능성 등 국가 R&D 투자의 우선순위를 선정할 수 있는 분석에 중점을 두었음.
- 이러한 분석 목표 하에 국가과학기술정보센터(<http://patent.ndsl.kr/>)를 통해 검색하였으며, 1974년부터 2012년 4월까지 출원 공개된 한국, 일본, 유럽 및 미국 특허를 분석 대상으로 하였으며, 특허 검색 후 관련 없는 특허를 제외한 결과 2236건이 최종 분석 대상으로 추출되었음(표 6).

<표 6> 국가별 분석 대상 특허 건수

자료 구분	국가	분석대상 특허건수
공개특허 (출원일 기준)	한국	161
	일본	1028
	유럽	148
	미국	692
	국제	207
합계		2236

가) 분석 범위

- 전 세계 유수의 건설업체들은 글로벌시대의 경기변동에 대응하여 포트폴리 오시장을 개척하고 시대의 흐름을 읽어 미래를 대처해 나가고자 기술 개발에 역점을 두고 있으며, 불경기시에 기술투자는 영생하는 방법임을 인식하고 환경 친화적이며 인공지능적인 건설 기계 개발을 위한 자료를 조사 분석하고 미래에 방향을 제시코자 하며, 세계적인 환경중시 영향에 따라 일본, 미국을 중심으로 하이브리드 및 연료전지 건설 기계 및 대형 중장비가 개발상용화 추진되고 있음.
- 친환경적인 개발은 온실가스 배출량의 저감을 위한 경로 생성 기술이 요구되고, 건설장비 제어 기술로는 지능형 인식을 통한 자동작업 제어와 네비게이터 기술 및 통신기술과 병행하여 현장 관제를 통해 효율적인 기술로 지속적인 특허와 기술 확보가 진행되고 있는 현황임.
- 따라서 기술 분석범위는 건설 시공 관리 관제 센터, 건설장비 머신 가이드스, 에너지 효율화 및 탄소 배출량 측정으로 중분류하고 세부기술로는 건설장비 머신 네비게이터 관련 기술로 3개, 건설장비 관제 센터 관련 기술로 2개, 탄소 저감 및 에너지 효율화 관련 기술로 2개를 선정하여 한국, 미국, 일본, 유럽 등을 중심으로 특허분류를 선택 분석하였음.
- 건설장비 관제센터 기반 스마트 시공 기술분류 및 범위는 건설 시공 관리 관제 센터, 건설장비 머신 가이드스, 탄소 저감 및 모니터링으로 건설장비 머신 가이드스 분야에서는 건설장비 스마트 제어, 네비게이터 구현 기술, DB 구축 및 송수신 모듈로 세분화 하였으며, 건설 시공 관리 관제 센터에서는 현장 관제 시스템과 현장 스마트 측량으로, 탄소 저감 및 모니터링에서는 저탄소 작업 계획 생성과 탄소 배출량 모니터링으로 분류하였음.



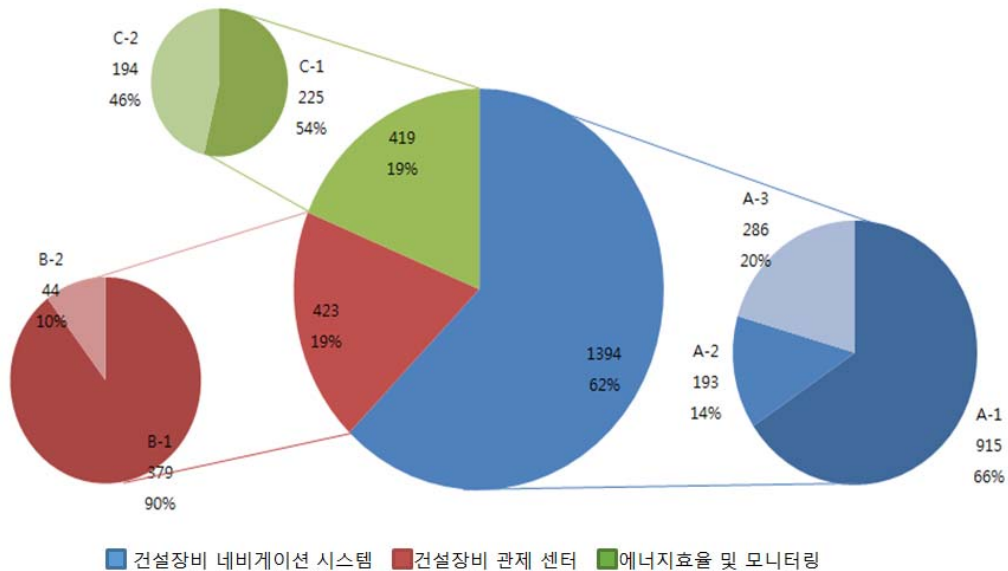
[그림 30] 분석 대상 기술 체계도

<표 7> 분석 대상 기술 분류 및 기술 범위

중분류	분류 기호	소분류	분류 기호	검색개요 (기술범위)
건설장비 네비게이터 (Machine Guidance)	A	건설장비 스마트 제어	A-1	블레이드 제어, 버킷 제어...
		네비게이터 구현 기술	A-2	인터페이스, AR/VR 기술...
		DB 구축 및 송수신 모듈	A-3	데이터베이스 구축, 송수신 모듈...
건설장비 관제센터 (Fleet Managmenet)	B	현장 관제 시스템	B-1	연대 차량 관리, ERP 연계...
		현장 스마트 스캐닝 및 모델링	B-2	측량 및 검측 무인화...
에너지 효율화 및 모니터링	C	작업계획의 에너지 효율화	C-1	최적 경로 생성...
		에너지 사용 모니터링	C-2	배출량 인식, 실시간 분석...

나) 주요 국가 및 기업 주력 분야 도출

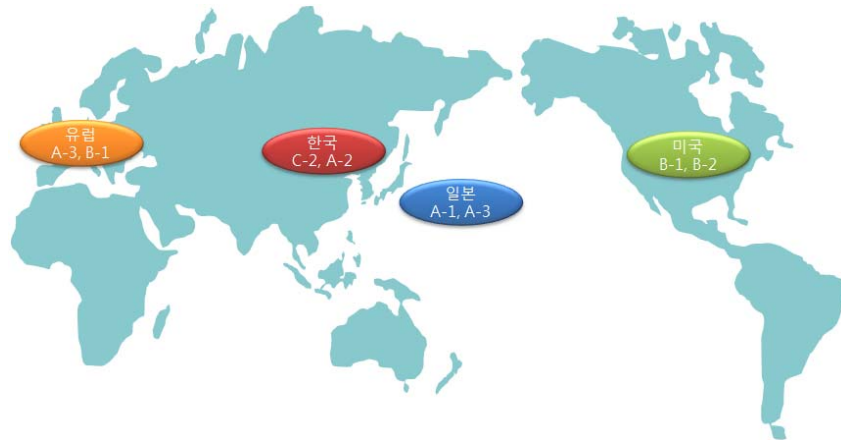
○ 세부기술별 특허 분포



[그림 31] 세부기술별 특허분포

- 중분류별 출원 점유율은 건설장비 네비게이터 분야가 총 1,394건으로 약 62%, 그 다음 건설장비 관제 센터 분야가 423건으로 약 19%의 비중을, 에너지 효율 및 모니터링 분야가 419건으로 약 19%의 비중을 차지하고 있음.
- 건설장비 네비게이터 분야의 경우, 건설장비 스마트 제어(A-1) 분야가 915건(66%)로 가장 많고, 그 다음 DB 구축 및 송수신 모듈(A-3) 분야(286건, 20%), 네비게이터 구현 기술(A-2) 분야(193건, 14%)의 순서임.
- 건설장비 관제 센터 분야의 경우 현장 관제 시스템(B-1) 분야가 379건(90%)로 가장 많고, 그 다음 현장 스마트 측량(B-2) 분야(44건, 10%)가 많았음.
- 에너지 효율화 및 모니터링 분야의 경우 플릿 작업 계획 생성(C-1) 분야가 225건(54%)로 가장 많고, 그 다음 에너지 효율 및 모니터링(C-2) 분야(194건, 46%)가 많았음.

○ 주요 국가의 역점 기술 분야



[그림 32] 주요 국가 및 분야별 분포도

- 주요 국가별 역점 기술 분야를 분석해보면 미국은 건설 시공 관리를 위한 기술인 현장 관제 시스템과 현장 스마트 측량 분야에서의 출원이 활발히 진행되고 있음.
- 유럽에서는 건설장비의 제어를 위한 기술인 DB 구축 및 데이터 송수신 모듈과 건설 시공 관리를 위한 기술인 현장 관제 시스템 등의 연구가 가장 활발히 진행되고 있음.
- 일본에서의 역점 기술 분야는 전반적으로 건설장비의 제어를 위한 기술에 대해 연구가 진행되고 있음.
- 한국에서는 녹색 성장에 맞추어 탄소 배출량 모니터링 기술을 위한 연구와 네비게이터 구현을 위한 기술 연구가 진행되고 있음.
- 건설장비에 대한 기술 분야는 장비 스마트 제어 및 데이터 구축 및 송수신 기술 등으로, 일본이 가장 많은 출원건수를 보유하고 있으며, 지속적인 출원을 하고 있음.

○ 특허활동지수⁴⁾ 분석

- 주요 국가의 특허활동지수를 분석한 결과, 한국의 경우 에너지 효율 및 모니터링(C-2), 네비게이터 구현 기술(A-2) 분야가 다른 분야에 비해

⁴⁾ 특허활동지수(Activity Index): 상대적 집중도를 살펴보기 위한 지표로서, 그 값이 1보다 큰 경우에는 상대적 특허활동이 활발함을 나타내며 구하는 방법은 아래와 같음.

$$A.I. = \frac{(\text{특정기술분야의특정출원인건수})/(\text{특정기술분야전체건수})}{(\text{특정출원인총건수})/(\text{전체총건수})}$$

매우 활발한 활동을 보이고 있음.

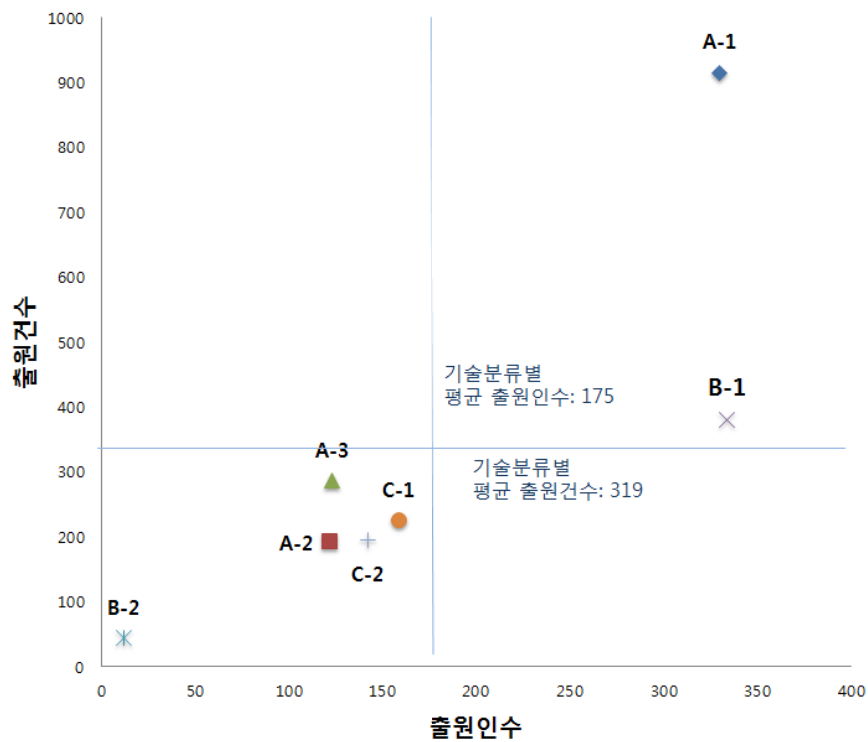
- 미국의 경우 현장 관제 시스템(B-1), 현장 스마트 측량(B-2), 탄소 배출량 모니터링(C-2) 분야가 다른 분야에 비해 활동이 활발한 것으로 나타났다.
- 일본의 경우 건설장비 스마트 제어(A-1), DB 구축 및 송수신 모듈(A-3) 분야가 다른 분야에 비해 활동이 활발한 것으로 나타났다.
- 유럽의 경우 DB 구축 및 송수신 모듈(A-3), 현장 관제 시스템(B-1) 분야가 다른 분야에 비해 활동이 활발한 것으로 보임.

<표 8> 주요 국가의 특허 활동 지수

국가 소분류	한국		미국		일본		유럽		국제	
	AI	건수	AI	건수	AI	건수	AI	건수	AI	건수
A-1	1.02	67	0.34	95	1.47	619	1.09	66	0.80	68
A-2	1.30	18	0.87	52	1.07	95	0.70	9	1.06	19
A-3	0.58	12	0.56	50	1.26	166	1.43	27	1.17	31
B-1	0.07	2	2.40	281	0.01	2	1.24	31	1.80	63
B-2	0.00	0	1.91	26	0.89	18	0.00	0	0.00	0
C-1	0.19	3	1.15	80	1.03	107	0.94	14	1.01	21
C-2	4.22	59	1.80	108	0.24	21	0.08	1	0.28	5

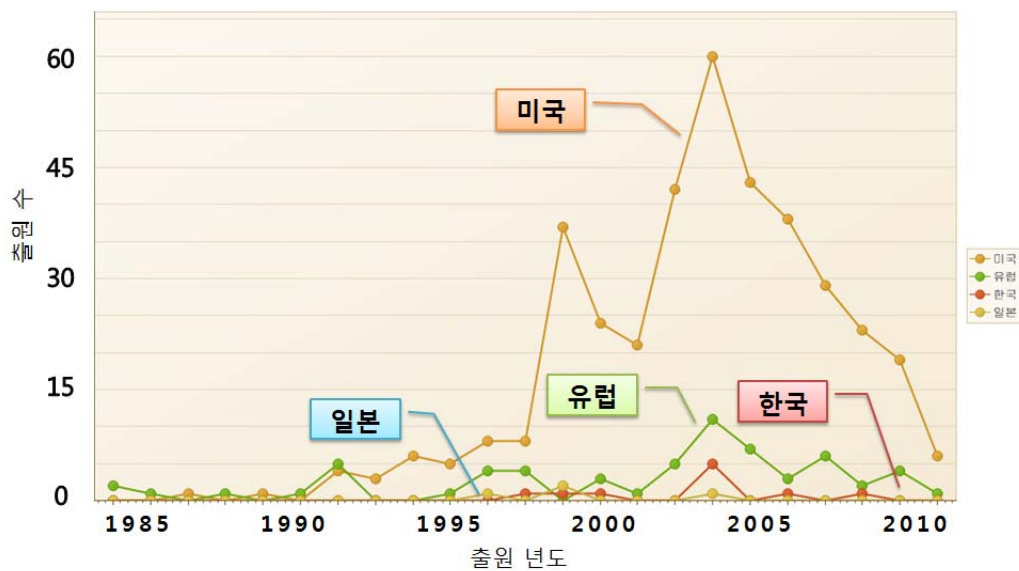
○ 세부과제의 출원인수 및 특허건수 현황

- 전체 소분류 각각의 출원인수와 특허건수를 비교한 결과 건설장비 스마트 제어(A-1) 분야는 출원 인구나 출원건수 모두 압도적으로 많으며, 이는 다양한 주체에 의해 다양한 연구개발이 이루어진 분야임을 나타냄.
- 반면, 3사분면에 있는 네비게이터 구현 기술(A-2), DB 구축 및 송수신 모듈(A-3), 현장 스마트 측량(B-2), 플릿 작업 계획 생성(C-1), 에너지 효율 및 모니터링(C-2) 등은 출원인수, 출원건수 모두 적어 제한적인 주체에 의해 제한적으로 또는 신규로 연구개발이 이루어지고 있는 분야임을 나타냄.

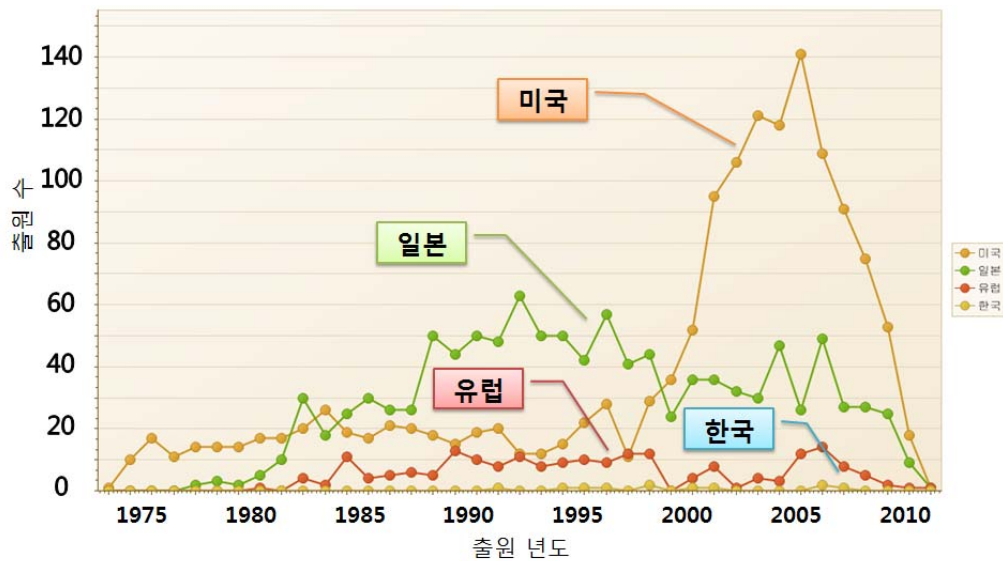


[그림 33] 세부기술별 출원인수 및 특허 건수 현황

- 시공생산성제고 및 에너지 고효율화를 위한 건설장비 관제 시스템과 네비게이터 관련 최근 10년 동안의 국내·외 특허 동향은 다음과 같음.



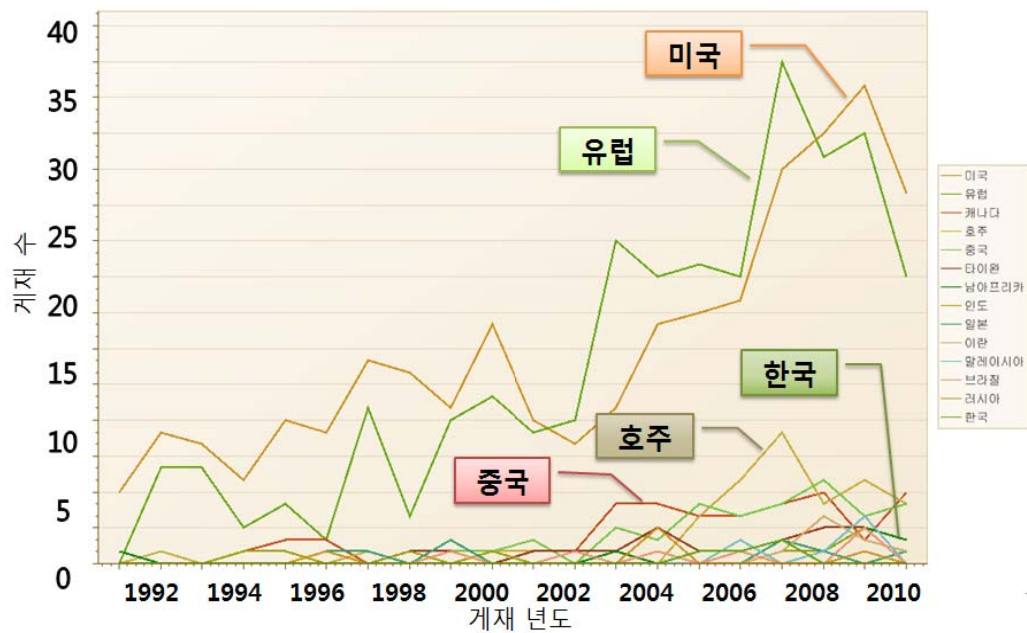
[그림 34] 건설장비 관제시스템 특허동향



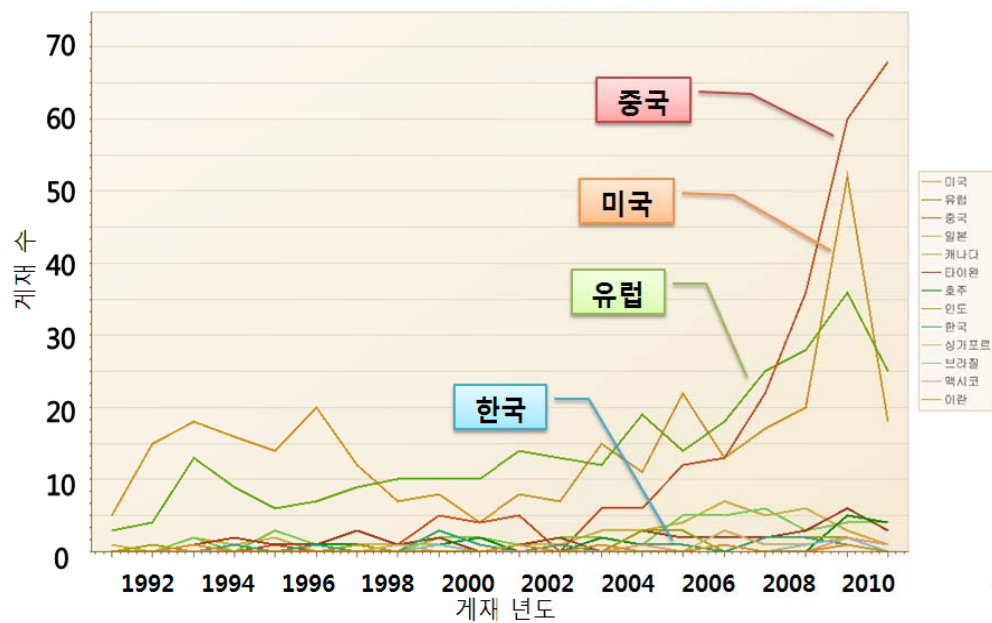
[그림 35] 건설장비 네비게이터 특허동향

- 건설장비 관제 시스템 및 건설장비 네비게이터와 관련된 국외 특허동향을 살펴보면, 미국과 일본이 관련기술의 특허 보유가 상대적으로 많음. 관련 기술 특허보유가 가장 많은 미국은 2000년부터 급속하게 건설장비 관제 시스템 및 네비게이터 관련 기술들이 개발되어 특허출원이 되었고, 2005년 이후 지속적으로 특허출원이 감소하는 경향을 보여주고 있음.
- 일본의 경우 1980년대부터 건설장비 관제 시스템보다는 장비 네비게이터를 중심으로 개발을 진행하여 2000년대 초반까지 미국 보다 많은 특허를 보유하였으나, 건설장비 네비게이터를 통합 관리하는 건설장비 관제시스템 개발이 부진하여 최근 점차 특허출원이 감소하고 있는 추세임.
- 유럽의 경우 건설장비 관제 시스템과 장비 네비게이터 관련 기술 특허 보유수가 미국이나 일본에 비해 상대적으로 적은 경향을 보여주고 있음.
- 한국은 건설장비 관제시스템과 장비 네비게이터에 대한 특허 보유가 거의 없음. 다만, 건설장비 자동화에 대한 국가적인 연구 개발 사업으로 인해 건설장비 네비게이터 관련 특허 출원이 일부 존재함.

3) 논문동향분석



[그림 36] 건설장비 관제 시스템 논문동향

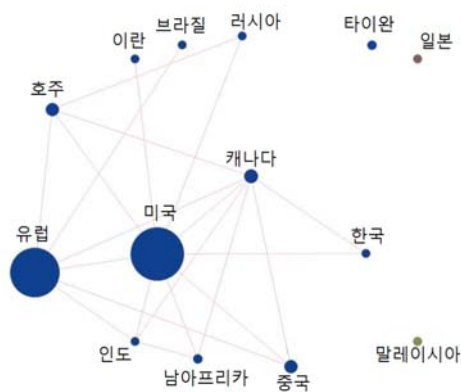


[그림 37] 건설장비 네비게이터 논문동향

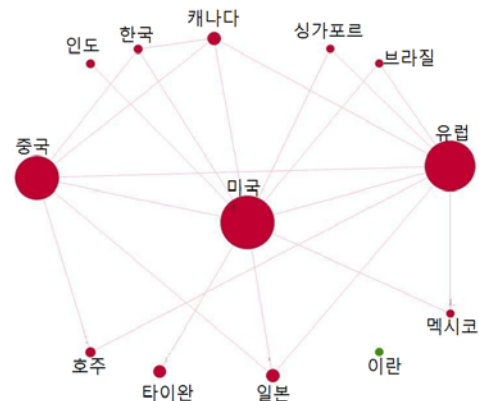
- 최근 20년간 건설장비 관제 시스템 및 건설장비 네비게이터 개발과 관련된 연구논문의 동향을 살펴보면 미국과 유럽의 관련 기술 개발연구가 가장 활발함을 볼 수 있음. 건설장비 관제 시스템의 경우 미국과 유럽의 논문의

수가 지속적으로 증가하는 추세이고 대부분의 연구가 미국과 유럽에서 이루어지고 있는 경향을 보이고 있음.

- 반면, 건설장비 네비게이터의 경우 2007년까지 미국과 유럽의 논문이 지배적 이었으나 이후 중국의 논문이 가파르게 증가함을 볼 수 있는데, 중국은 급속도로 발전하고 있는 경제현황과 더불어 대규모 토목공사의 수가 증가하고 있으며, 이에 따라 토목공사에 투입되는 건설장비들의 효율적인 사용을 위해 건설장비 네비게이터 연구가 많이 진행되고 있기 때문으로 사료됨.
- 한국은 미국과 유럽, 중국에 비해 상대적으로 논문의 수가 적으며 최근까지도 큰 변화 없이 지속되고 있음.



[그림 38] 건설장비 관제시스템 논문 네트워크분석



[그림 39] 건설장비 네비게이터 논문 네트워크분석

- 최근까지 건설장비 관제 시스템 관련 연구동향을 네트워크 분석을 통해 살펴보면, 미국과 유럽을 선두로 중국, 캐나다, 호주 등의 국가와 공동 및 협력 연구가 진행됨을 알 수 있음. 중국의 경우 미국, 유럽과 같은 선두 국가와 긴밀한 관계를 가지고 연구를 진행하고 있는 반면, 한국의 경우 선두국인 미국과 함께 연구가 진행된 사례만 있음.
- 건설장비 가이드 시스템(네비게이터)관련 연구동향을 네트워크분석을 통해 살펴보면, 미국, 유럽, 중국을 중심으로 연구가 진행됨을 알 수 있음. 미국의 경우 대부분의 주요 국가들과 공동 연구를 진행한 경험을 가지고 있으며, 중국 또한 다양한 국가와 함께 장비 네비게이터 관련 연구를 진행하였음.
- 한국은 건설장비 관제 시스템 및 장비 네비게이터 관련 연구 경험이 많이 부족하며 특허와 논문 보유 현황 또한, 매우 미비한 실정임.

4) 기존 기술과의 차별성

- 본 개발 기술에 대한 국내 및 해외 기술 수준은 다음의 표 9와 같이 정리할 수 있음.

<표 9> 국내 및 해외 기술 수준

목표 기술	기술 보유		저	-	중	-	고	비 고
자동화 수준 (비자동화-완전자동화)	국내	지능형 굴삭 시스템						완전자동화 (연구개발)
		Hi-mat(현대중공업)						-
		두산인프라코어						-
	해외	Trimble/Caterpillar						머신 가이드스 기반 하드웨어 자동 제어 기술 개발
		Sokkia						
		Prolec						
건설장비 가이드스 기술 (네비게이터)	국내	지능형 굴삭 시스템						완전 자동화 기술로 가이드스 기술 부재
		Hi-mat(현대중공업)						-
		두산인프라코어						-
	해외	Trimble/Caterpillar						건설 네비게이터 기술의 상용화
		Sokkia						
		Prolec						
건설 장비 관제 시스템 (Fleet 기술)	국내	지능형 굴삭 시스템						단일장비에 대한 자동화
		Hi-mat(현대중공업)						GPS 기반 자산관리 가능
		두산인프라코어						GPS 기반 자산관리 가능
	해외	Trimble/Caterpillar						자산관리 및 시공정보 실시간 파악 기능
		Sokkia						
		Prolec						
건설 환경부하/ 탄소저감 기술	국내	연구개발 및 특허기술						국내 특허 및 연구개발 수준은 선진기술 대비 60-70% 수준
	해외	연구개발 및 특허기술						특허 및 논문, 기술수준 분석 참조

- 기존의 건설장비 관제(Fleet Management) 기술은 물류시스템에서 많이 사용되고 있으며, 탄소 배출 측정 기술도 연료 소모량에 근거하여 계산됨. 하지만 공사현장과 같은 비도로(off-road)에서 다양한 작업 조건이 요구되는 건설장비에 적용하기에는 부적합함으로, 건설장비의 다양한 작업조건

을 만족할 수 있는 시스템 개발함.

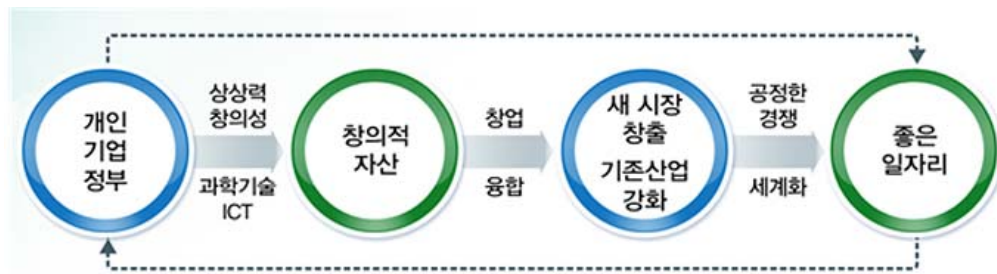


[그림 40] 건설장비의 다양한 작업 조건

- 현재 건설장비 관제기술과 가이드 시스템(머신 가이드 시스템 기술)과 융합되어 사용되고 있지 않으므로 이 부분을 중점적으로 개발하여 차별화를 이루어야함. 이중에서 가장 문제가 되는 부분은 건설 장비 네비게이터, 관제 시스템이 따로 운영되고 있다는 점 이므로, 기존의 머신 가이드 시스템 기술과 Fleet Management 기술은 별개의 기술로써 개별적으로 발전되어 왔으나, 이를 통합하고 보다 생산성 증대와 성능 개선, 에너지 효율화 측면에 초점을 맞춘 S/W 및 H/W를 제공할 것임.
- 현재 해외 건설장비 네비게이터 및 관제 시스템 기술 현황을 분석한 결과, 시스템을 이루는 각각의 요소기술들이 서로 분절되어 운영되고 있음. 일부 사례의 경우(Sokkia Sitelink™) 건설장비 네비게이터의 정보가 통합되어 운영되는 사례가 있으나 시스템이 매우 무겁고 현지화를 위한 커스터마이징 툴이 제공되지 않아 실용화에 어려움을 겪고 있는 실정임.
- 높은 신뢰도를 가지는 3차원 레이저 스캐닝 및 센서 데이터에 기초하여 실시간으로 업데이트 되는 실제 작업 상황과, 원거리의 동일한 컴퓨터 내의 가상 작업환경을 바탕으로 지능형 토공 건설장비가 최적의 토공작업 계획을 수행할 수 있도록 장비 조종자 및 엔지니어의 의사결정을 지원하는 기술을 개발하고, 더불어 최초로 건설장비와 의사결정 지원 시스템과 연계되는 시스템을 개발하여야 함.
- 현재 해외 선진국의 머신 가이드 시스템 기술은 3차원 컴퓨터 그래픽 인터페이스를 기반으로 VR기반으로 개발되어 왔음. 이를 증강현실(AR)기술 도입을 기반으로 하여 부품의 내구성 극대화 및 장비 조종자의 이해도를 높여 건설장비 네비게이터 현장 적용성을 확보 할 수 있음.
- 에너지 사용량의 실시간 파악 과 효율적 시공계획 알고리즘 개발을 통한 차별성을 확보함.

라. 종합분석

- 창조경제 건설에 ICT의 역할이 극대화되기 위해서는 ICT 부문의 패러다임 변화를 적극 활용하여야 함.
- 우리나라는 건설 부문 플랫폼 경쟁환경에의 진입이 지체되어, 이미 글로벌 시장을 선점 당하였음. 또한 시공 SW부문의 상대적 취약, 중국 등 후발주자의 추격, 정보사회의 규범 정립, 사이버 보안, ICT 인프라, ICT 분야 R&D 및 지식재산권 관리 선진화 등 다양한 도전과제에 직면하고 있음.
- 이에, 본 연구와 같은 ICT기반의 관리 기술을 설정·추진함으로써 ICT 부문의 제도약과 창조경제 건설에 기여하여야 할 것임.



[그림 41] 창조경제 생태계

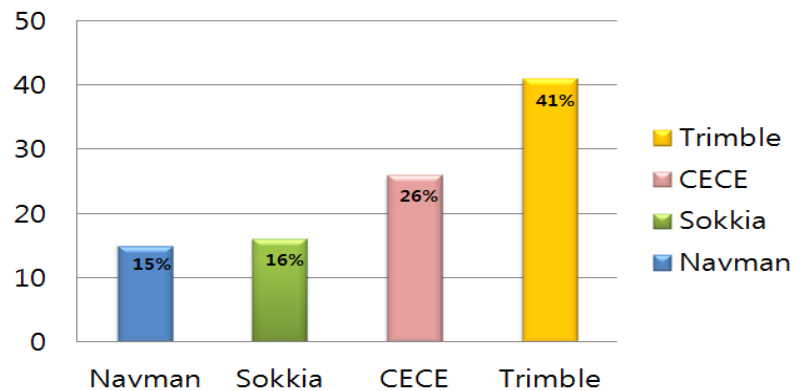
- 건설업은 세계 에너지 소비의 약 30%, 이산화탄소 배출의 40%를 차지하고 있지만 현재 진행되고 있는 건설부문 에너지 효율은 단열성능 강화, 신재생에너지 사용 등 대상 구조물과 이의 운영과 관련된 에너지 소비의 절감을 중심으로 추진되어 왔으며, 실제 건설장비 및 시공현장의 에너지 고효율화 및 친환경성 제고를 위한 노력은 미미한 실정임.
- 국내외 건설장비의 기술 및 연구의 발전 방향이 에너지 사용량/원가 절감을 목표로 하고 있고, 건설장비의 수요가 증가하고 있으므로 국내 시장성뿐만 아니라 해외 시장성도 매우 높다고 판단됨.
- 우리나라의 건설기업들은 전 세계적인 불황으로 국내 건설시장이 침체되어 있을 뿐만 아니라, 해외 건설시장으로 진출도 점차 어려워지고 있어 새로운 건설기술개발에 대한 투자와 의지가 감소하고 있음. 따라서 건설기술의 세계적 경쟁력을 확보하기 위해서는 신속히 정부차원의 지원이 필요함.
- 국내 가이드 시스템(머신 가이드스) 기술은 해외 선진국에 비해 원천기술이 매우 부족한 실정이며 플릿 관제 기술은 물류 분야에서 사용되었으나, 건설장비에 도입된바 없음. 또한 건설장비의 가이드 시스템과의 통합을 목표로 한 기술 개발도 미미한 실정임.

- 해외 선진국에서는 관련 기술을 개발 및 실용화한 상태이며, 본 개발기술에 대한 국내 기술수준과 국외 기술 수준은 다음의 표 10과 같이 평가 될 수 있음.

<표 10> 국내기술 수준 및 국외기술수준

항 목	국내 기술 수준	선진 기술 수준	비고 (국내기술수준)
건설 네비게이팅 기술	60%	100%	국내기술사업화 2014년도 착수
건설 장비 관제 기술	50%	100%	연구개발 수준

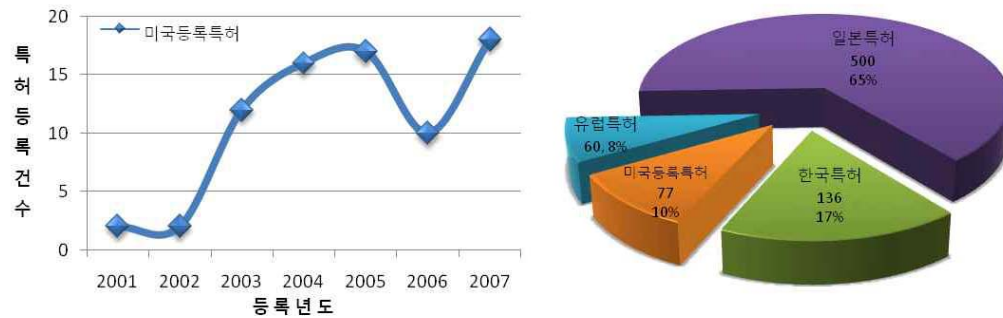
- 보고된 자료에 의하면 다음 그림과 같은 건설장비 에너지 사용량 절감 효과를 보이고 있음.



- 상기 그래프는 다음의 해외 선진국에서 제한적으로 적용한 공중 및 장비에 관한 것임.

- Navman : Fleet management(건설장비 관제 기술)
- Sokkia : 머신 가이드스(건설장비 네비게이터 기술), 고속도로 램프구간 시공 사례
- CECE : Eco-Modes(건설장비 관제 기술), Eco-Driving(운영 효율화 기술), Machine Control and Guidance Product(건설장비 네비게이터 기술)
- Trimble : 머신 가이드스(건설장비 네비게이터 기술), 도로 건설 사례,그레이더 및 굴삭기

- 국내의 건설장비 개발에 대한 투자와 머신 가이드스 및 건설장비 통합 관제 센터(Fleet Management) 각각의 기술력은 타 선진국에 비해 많이 뒤쳐져 있음을 특허 및 논문 동향으로 알 수 있음.



[그림 42] 국내 탄소저감형 건설장비 특허 동향

- 이를 극복하기 위해, 건설장비 가이드 시스템과 관제 기술을 에너지 사용과 원가 절감을 목표로 통합시킨 솔루션을 개발하고 의사결정 기능 및 클라우드 컴퓨팅 기반 탈·부착형 H/W 개발을 통한 차별성이 필요함.

3. 연구개발과제 구성 및 추진전략

가. 비전 및 목표

1) 연구의 비전 및 목표

- 건설장비 관제센터 기반 스마트 토공 기술의 비전은 다음과 같음.
 - 건설부문 창조경제의 핵심 동력
 - ICT기반 정보화 시공 및 관리 기술을 통한 원가 경쟁력, 글로벌 경쟁력 확보

<표 11> 연구개발 목표치 설정

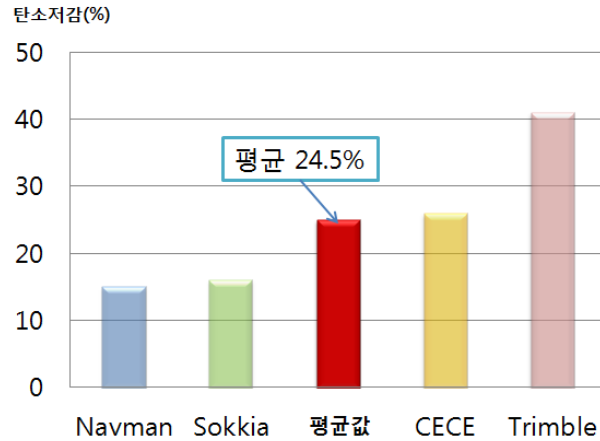
구 분	목표치	적용기술	비 고
에너지 사용량 및 탄소 배출량	30 % (27%~33%)	■ 건설 기계 장비의 유류 사용, 불필요한 작업의 억제 및 다중 장비 토공 계획 수립을 통한 작업 효율화 증대 등	최소/최대치는 목표의 $\pm 10\%$ 적용
토공원가 절감	15 % (13%~17%)	■ 건설장비의 네비게이터 기반 머신 컨트롤 기술 ■ 건설 기계 장비의 Fleet Management 기반 건설장비 관제 시스템 기술	최소/최대치는 목표의 $\pm 10\%$ 적용

- 건설장비 관제센터 기반 스마트 토공 기술은 앞서 살펴본 2가지 핵심 기술인 건설장비 및 스마트 제어 기술과 다수 건설장비의 효율적 제어를 위한 관제 시스템과 건설장비 가이드 시스템을 축으로 건설 시공 단계에서 발생하는 에너지 사용량과 탄소배출량을 평균 30% 저감하고 토공사의 원가를 평균 15% 절감하는 것을 목표로 함.
- 탄소배출량 저감과 건설장비 운용비용 절감은 다음과 같이 다섯 가지의 핵심적인 항목과 분류 및 평가 기준에 준하여 평가되어야 함.

<표 12> 탄소배출량 저감 및 건설장비 비용의 평가기준

항 목	에너지 사용량 및 탄소 배출량	토공 원가 절감	평가 기준	비 고
건설 장비 유류 사용 저감	○	○	유류 소모량 측정/유류비 절감	유류 사용과 탄소배출은 정비례
생산성 증대 및 공기 단축		○	직접비 절감 비용	측량 시간 단축 및 시공 효율화
현장 관리 효율화		○	투입 인력 및 관리 효율성 평가	
건설 장비 자산 가치		○	장비 사용 수명 추정	
탄소 배출량 측정	○		신기술 적용 전/후의 배출량 차이	연비 향상

- 건설 기계장비의 가이드 시스템 기술을 이용하여 국내 건설 산업의 생산성, 품질, 경제성 향상을 도모하여 국내 건설 산업의 이미지를 제고함과 동시에 국제 경쟁력을 강화함.
 - 현장에 투입되는 다수의 다양한 장비가 효율적이고 안전하게 작업할 수 있도록 하며, 각종 시공 정보를 Reporting 하는 건설장비 관제센터를 운영함으로써 시공효율의 향상, 에너지 사용의 혁신적 수준의 저감 성과를 확보함과 동시에 열악한 작업환경의 개선과 안전성을 확보함.
 - 건설장비의 에너지 사용량을 실시간으로 측정, 모니터링하며 건설장비 및 시공 프로세스 효율화를 통한 에너지 사용(유류 사용)을 평균 30% 저감 및 건설장비 운용시 발생하는 토공사 원가를 평균 15% 절감
- 위에서 제시한 탄소배출량 평균 30% 저감, 토공원가 평균 15% 절감에 대한 산출 근거는 다음과 같음.
- 앞서 살펴본 해외 선진국의 기술 수준과 동향에 따르면, 아래 그림과 같이 평균적으로 24.5% 정도의 에너지 사용 절감 효과를 보이고 있으며 플릿 시스템화 기술을 접목하여 추가적인 에너지 절감 효과를 기대할 수 있음. 이러한 객관적인 성과를 종합해 볼 때, 본 연구개발과제의 에너지 절감 및 탄소 배출량 30% 저감 목표를 제시하였음.
 - 국내에서 청정기술개발체제(Clean Development Mechanism: CDM)에 합의한 이후 2008년부터 2012년까지 국가전체의 배출총량을 1990년 수준보다 평균 5.2%로 감축하는 목표를 지정한 사례를 비추어 볼 때, 30% 절감은 매우 큰 의미를 가짐.



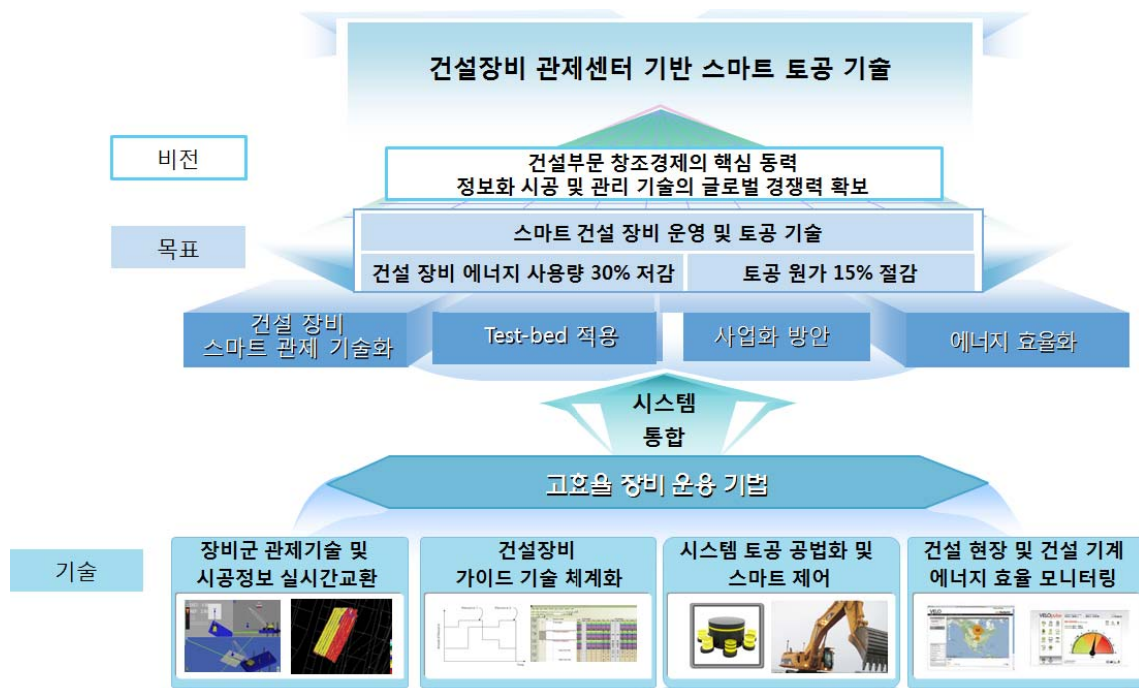
- Trimble 社의 굴삭기, Sokkia 社의 불도저 및 롤러의 머신 가이드스 적용 사례와 GPS 기반 머신 가이드스 장비의 생산 효율성과 비용간의 상관관계를 분석한 연구에 기반하여(Jonasson, 2002), 건설장비 관제 센터 기반 스마트 토공 시스템 적용시 기대할 수 있는 건설장비 운영비용 절감 효과를 표 13과 같이 산출할 수 있음⁵⁾.

<표 13> 생산성 증가에 따른 비용절감 평균

구 분	Trimble 社 굴삭기	Trimble 社 그래이더	Sokkia 社 불도저	Sokkia 社 롤러	평 균
생산성증가(%)	29%	107%	10%	20%	41.5%
비용절감(%)	11.9%	43.9%	4.1%	8.2%	17%

- 장비운용관련 비용 평균 비용 17% 절감 결과를 볼 때 전체 토공 원가 절감 목표 15%는 기존 통계자료보다 상향치 이며 적절하다고 볼 수 있으며, ‘토공 원가 절감’은 본 기술을 활용한 공사에서 건설장비 및 작업의 생산성 증가에 따른 전체 장비비, 인건비, 연료비, 측량비, 탄소저감에 따른 환경 효과 등 발생하는 모든 비용 절감을 고려하여 전체 토공사 비용에서 절감 가능한 부분을 고려한 것임.

⁵⁾ 재래식(Conventional) vs. 머신 가이드스(GPS 기반) 건설장비의 생산성(Productivity)과 일위대가(Unit Cost) 데이터 참조.



[그림 43] 건설장비 관제센터 기반 스마트 토공 시스템의 비전 및 목표

2) 기획연구의 최종목표

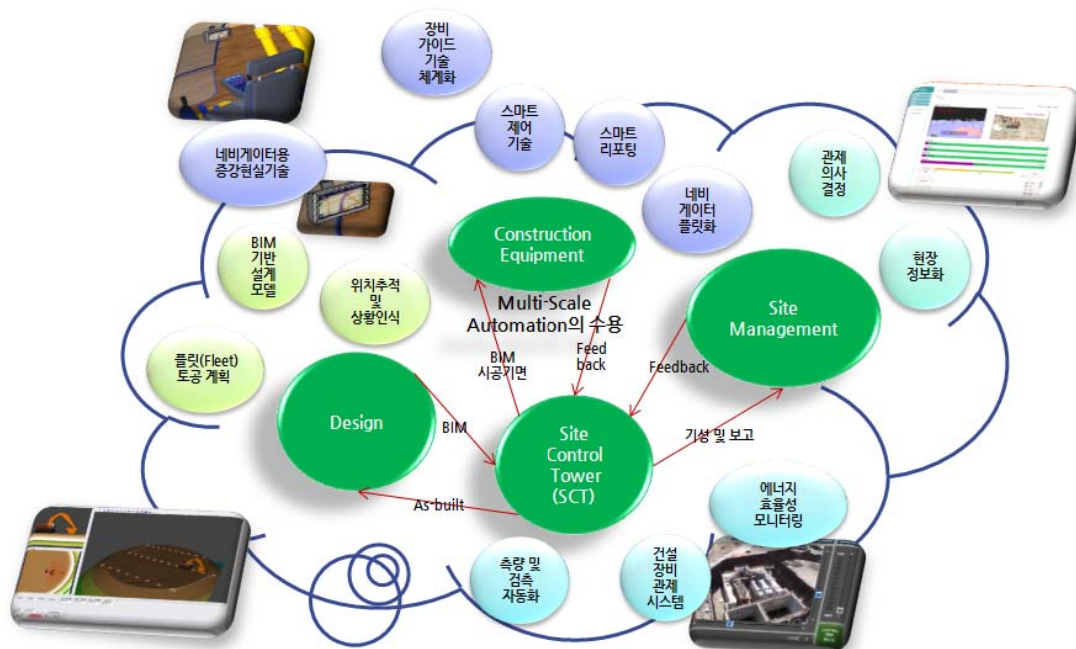
- 본 기획연구의 목표는 건설장비 관제센터 기반 스마트 시공 기술개발을 위한 기술 전략을 수립하여 해당 핵심기술의 발전 정도를 예측·검토함으로써 핵심기술 분야의 미래 비전을 도출하고, 이를 달성하기 위한 기술적 대안의 단계별 기술개발 이정표를 제시하여 건설 산업의 국제 경쟁력 확보 및 재도약을 위한 기반 조성함.
- 건설 기계 장비의 생산성 및 에너지 효율성을 비약적으로 향상시킬 수 있는 건설 장비 관제 센터 기반 스마트 토공 기술 개발을 위한 추진과제 발굴 및 기획
- 건설장비의 자동화 작업계획 및 스마트 장비 운용을 위한 건설장비 네비게이터를 장비군 관제기술에 적합하게 만들어 주는 건설 장비군 가이드 기술 고도화를 위한 기술 개발을 위한 추진과제 발굴 및 기획

3) 연구 개발을 위한 목표 및 세부 연구내용

○ 연구 개발목표는

- 건설장비 통합 관제 센터 개발
- 건설장비 가이드 기술 시스템화

○ 이에 따른 세부 요소 기술은 다음의 그림 44와 같으며, 표 14에 연구 개발목표와 세부요소기술에 대한 설명을 포함하였음.



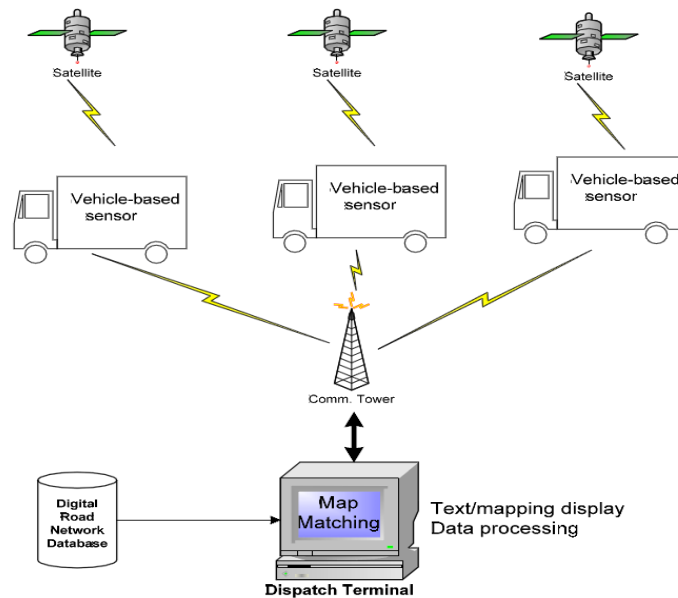
[그림 44] 건설장비 관제센터 기반 스마트 토공 시스템의 요소 기술들

<표 14> 연구 개발목표와 세부요소기술

연구 개발 목표	▪ ‘건설장비 통합 관제 센터’ 개발 ▪ ‘건설장비 가이드 기술 시스템화’ 개발
세부 요소 기술	▪ 건설장비 통합 컨트롤 센터와 건설장비 추적/상황인식 프로그램 ▪ GNSS기반 플릿형 송-수신 프로그램 및 시스템 ▪ 플릿 작업계획 알고리즘 및 시뮬레이션 프로그램 ▪ 작업현장 스마트 스캐닝 및 모델링 하드웨어 및 소프트웨어 ▪ 작업 정보 및 에너지 효율화 관리를 위한 통합 데이터베이스 ▪ 건설장비 통합 관제 시스템과 네비게이터 시스템을 위한 소규모 현장테스트 ▪ 관제 시스템 운영 및 작업 수행용 매뉴얼/지침 ▪ 고효율 스마트 네비게이터의 플릿화 커스터마이징 프로그램 ▪ 건설장비 안전 가이드 시스템 시제품 ▪ AR기반 작업정보 실감형 표현 기술 ▪ 네비게이터와 연계된 건설장비 자동 제어 모듈 (블레이드형) ▪ AR 및 플릿 네비게이터 기반 탈부착형 MMI 유닛 ▪ 건설장비 가이드 기술 매뉴얼 및 신기술/신공법 보고서

- 모든 건설장비의 작업상황을 실시간으로 파악하고, 다수의 장비간 통신 및 제어를 수행함으로써 건설장비의 불필요한 움직임을 최소화하고, 연료사용을 효율적으로 관리하도록 지원하는 건설장비 관제시스템 개발
- 건설장비 통합 관제 센터 개발은 건설장비에 위치 추적, 장비 운용 상태 파악 및 진단과 보고(Report) 기능을 갖추어 장비의 소모품 교체와 같은 자산관리 측면뿐만 아니라 생산성 측정과 같은 공사 진도 관리에도 사용할 수 있음.
- 건설장비 관제센터는 건설 장비를 보다 빠르고 신속하게 원하는 장소로 보내기 위하여 개발된 것으로, 실시간 현장상황을 파악하여 최적의 루트 및 작업공정을 제공하는 기술이며, Map Matching을 위한 컴퓨터 소프트웨어, 커뮤니케이션 시스템, 장비 위치정보 활용기술 등을 통해 장비를 효율적, 효과적으로 운영하는 관리 방법을 말함. 이러한 건설장비 관제센터활용을 통하여 얻을 수 있으며 효과는 다음과 같음.
 - 최단거리에 있는 장비를 검색하여 현장에서 필요한 장비를 빠르게 조달
 - 장비 이동에 있어서 최적의 경로를 제공하여 이동거리 감소
 - 장비의 이동, 확보에 최소시간이 걸리므로 공사 기간 단축
 - 운휴 장비가 없도록 중앙관리가 가능하여 직접적인 장비 운영비 절감
 - 장소 이동 간 정체 시간 감소를 통해 장비의 활용성 향상

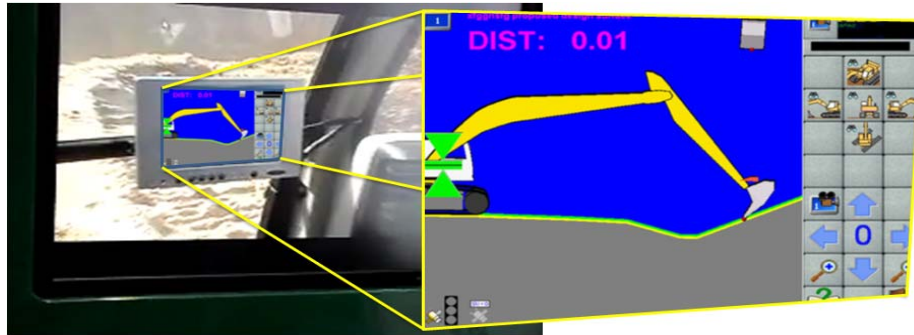
- 모든 장비를 통합 관리 할 수 있으므로 전략적인 의사 결정이 가능
- 장비 운영비 감소로 인해 총 관리 비용 절감
- 위와 같은 건설장비 이용의 효율성 증가를 통한 에너지 소비 저감 효과



[그림 45] Fleet Management System 개념도 (출처: M. A. Quddus, 2006)

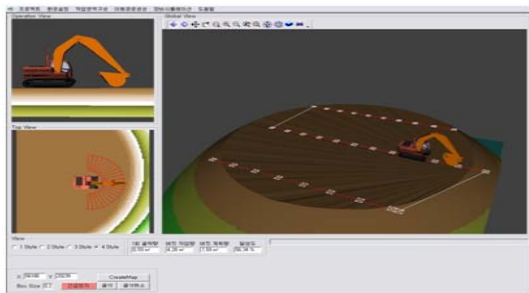
- 건설장비 통합 관제시스템을 위하여 다음 세부기술이 필요함.
 - 통합형 건설장비 관제 시스템 개발
 - 플릿(Fleet)형 작업계획 시스템 개발
 - 건설작업현장 스마트 스캐닝 및 모델링 기술 개발
 - 에너지 효율 관리 시스템 개발
- 건설장비 가이드 기술 시스템화 기술개발은 일반적으로 머신 가이드런스 (Machine Guidance)라고 불리는 장비 네비게이터 기술을 장비군 관제에 적합하게 다수의 장비에 HMI(Human Machine Interface : 장비·조종자 인터페이스)를 부착하여 조종자가 시공측량 및 기준틀 없이, 전체 현장의 상황을 고려하여 현장 생산성을 높이며 고정밀 작업이 가능하도록 하는 기술임(그림 46).
- 건설장비 가이드 기술 시스템화를 위하여 다음 세부기술이 필요함.
 - 네비게이터 플릿화 및 시스템 토공기법 구체화

- 작업환경 인식기반 안전 가이드스 기술 개발
- 건설장비 네비게이터용 AR(증강현실) 기술 개발
- 가이드스 기술기반 장비 커스터마이징 및 자동제어 기술 개발



[그림 46] 기존의 2차원 건설장비 네비게이터(Prolec 社 머신 가이드스)

- 위의 기술들을 종합 및 개선하여 본 보고서에서 기획하고자 하는 건설장비 관제센터 기반 스마트 토공 시스템의 개요는 다음 그림 47과 같음.



(a) 건설장비 관제 시스템

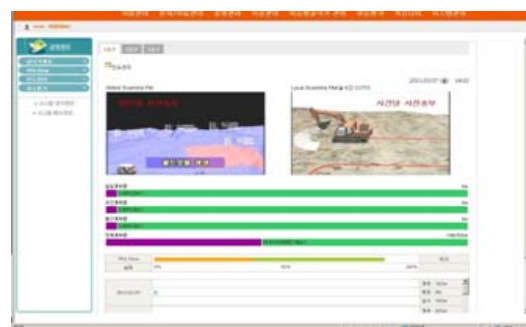


(b) 건설장비 네비게이터 기술고도화

(출처: 국토해양부, 2011)



(c) 건설 장비 관제 시스템 (영상기반)

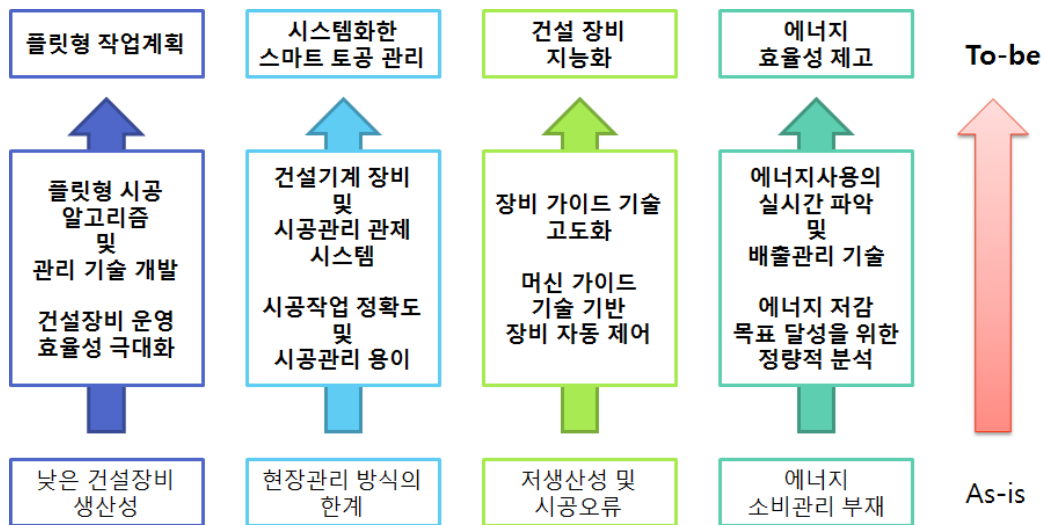


(d) Site Control Tower의 프로젝트 관리 기술

(출처: 국토해양부, 2011)

[그림 47] 건설장비 관제센터 기반 스마트 토공 기술 개요도

- 본 연구에서는 현재 해외 선진국이 추진하고 있는 ‘건설장비 관제센터와 운용 기술’ 과 ‘건설장비 가이드 시스템화’ 기술의 세부요소기술들을 효과적으로 종합 및 융합한 건설장비 관제센터 기반 스마트 토공 기술의 루션을 제공하고자 함.
- 본 연구에서는 기존 연구 수행과제에서 실현치 못하였던 실용화 및 검증을 위한 스마트 시공 기술 구현을 위하여 다음과 같은 목표를 설정함.



[그림 48] 개발기술의 As-is vs To-be

4) 연구의 범위

- 건설기계를 용도에 따라 분류하면 다음과 같음(표 15).

<표 15> 건설기계의 용도별 분류

용도별	품 목
▪ 토공·기초기계	▪ 도저, 굴삭기, 휠로우더, 백호우, 로우더, 스킵 스티어 로우더, 크스레이퍼, 모터그레이더 등
▪ 운반·하역기계	▪ 지게차, 덤프트럭, 크레인, 콘크리트 믹서트럭, 콘크리트 펌프카, 콘크리트믹서트레일러, 기중기차 등
▪ 포장기계	▪ 롤러, 노상안전기, 콘크리트 피니셔, 콘크리트살포기, 아스팔트피니셔, 아스팔트살포기, 골재살포기, 노면파쇄기 등
▪ 기타기계	▪ 콘크리트 뱃칭 플랜트, 아스팔트믹싱플랜트, 쇄석기, 천공기, 향타 및 향발기, 사리채취기, 공기압축기, 콘크리트펌프 등

- 본 연구의 개발 및 적용 대상 건설기계는 블레이드형 토공기계(도저, 로우

더, 모터그레이더), 운반기계(덤프트럭)를 포함하며, 개발 기술별로 분류하면 표 16과 같음.

<표 16> 개발 기술별 건설기계 분류

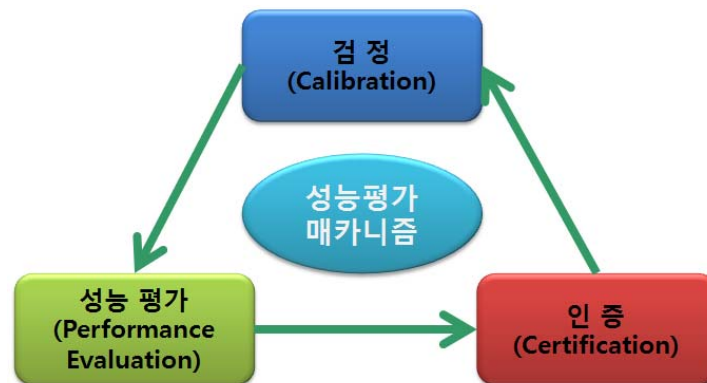
개발 기술	대상 품목
■ 건설장비 관제센터	■ 도저, 로우더, 모터그레이더, 덤프트럭, 롤러
■ 건설장비 가이드 시스템	■ 도저, 로우더, 모터그레이더, 롤러

- 본 과제에서는 위의 미국 교통부와 일본 국토교통성 등의 가이드라인의 기준을 참고하여 개발 기술에 대한 공종 범위를 다음과 같이 제시함.

- 대단위 토공사
- 대량의 건설장비가 투입되거나, 다양한 건설장비가 투입되어 장비 간 협업이 많은 공사
- 대표적인 예로 택지개발 · 도로 · 항만 등의 대형 공사

5) 테스트 베드 구축

- 건설장비 관제센터 운용을 위한 테스트 베드는 건설 토공 현장과 동일한 환경을 조성하는 곳에서의 실험 및 실제와 동일한 효과를 가지며, 예측이 가능한 시험환경이 필요함.
- 또한, 다음과정을 통해 실험결과가 정밀하고, 공정한 검정표준마련의 기초 자료를 다음과 같이 제공하여야 함.
 - 첫 번째 단계인 ‘검정’은 장비의 변수 설정 및 조정을 일정수준으로 맞추기 위해 장비의 하드웨어 특성을 결정하기 위해 수행됨.
 - 두 번째 단계인 ‘성능평가’는 성능 판단 및 평가이며, 이것은 장비와 자료처리 소프트웨어가 사용자의 특정 요구사항을 얼마나 효율적으로 충족시켜 주는가를 결정하는데 필요함.
 - 마지막 단계인 ‘인증’은 장비 실험과 측정표준에 의한 측정 결과인 합격 및 불합격을 포함함.



- 다음은 테스트 베드를 위한 지역선정 고려사항임.
 - 본 연구를 위한 테스트 베드의 우선 고려사항은 대상 공사의 특성 및 설치 부지의 크기임.
 - 기술적용을 위한 다양한 지질 및 지형의 토공현장과 건설장비 적용을 위한 넓은 부지 필요함.
 - 다중/다중 장비의 투입이 필요하므로 복합 공사(도로, 건축 등) 형태가 바람직 할 것임.

- 다음은 건설장비 관제센터 기반 토공 기술의 성능 검증 및 평가를 위한 구성 시설임.
 - 실내시설 : 실내시설은 플릿형 작업계획 및 현장스마트 측량을 정확히 평가하기 위해 토공현장 중심으로 설계가 이루어져야 할 것이며, 그리고 실내시설의 크기와 유형은 일정하지 않으므로, 본 연구에 참여하는 민간 기업이 보유하고 실내시설 및 시공현장 적용도 고려 가능하고, 이를 통한 예산 절감 효과와 보다 정확한 장비 성능평가로 업무효율성에도 크게 기여 가능 할 것으로 예상됨.
 - 실외시설 : 다중/복합형 건설장비 작업경로 적용과 스마트 지형 스캔 장비 사용을 위한 다양한 지형을 가진 넓은 부지가 필요함. 실외시설은 주로 데이터 송수신 및 플릿(관제) 센터, 스마트 머신 가이던스 기술의 현장적용을 위해 현실을 고려한 실질적인 환경에서 구축되어야 함. 또한 다양한 환경별, 계절별 평가가 강하게 설계되어야 할 것임.

나. 기술개발에 따른 미래상

1) 현황 및 미래상

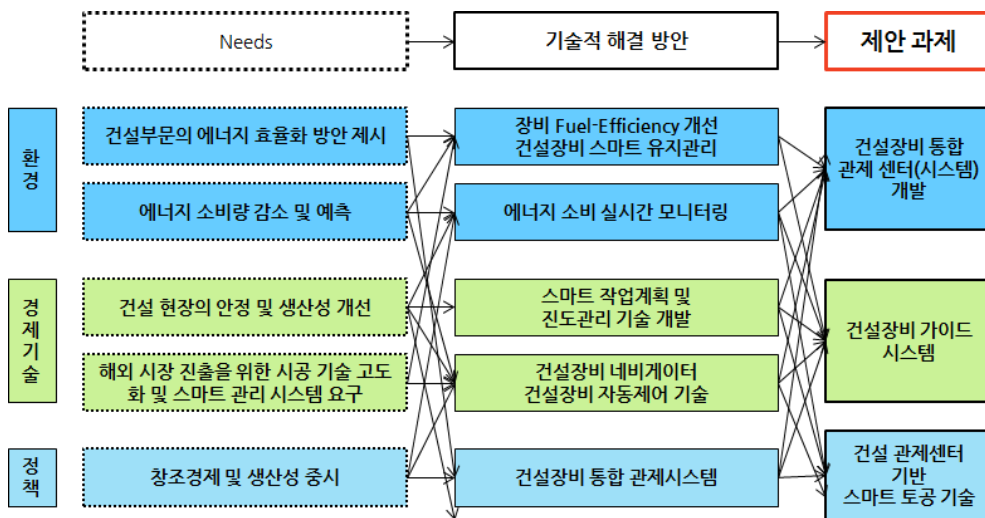
가) 기존 핵심기술의 현주소

- 시공현장에서 화석연료/에너지 사용량이 가장 큰 배출 중 가장 큰 비중을 차지하는 건설장비에 의한 에너지 사용량 저감과 플릿 시스템 개발과 관련된 기술개발 그리고 이에 따는 생산성 제고 및 공사원가 절감이 이루어지지 않고 있으며, 이는 환경보호 측면하고도 직결되는 문제임.
- 현재 국외 건설 기계 장비의 기술적 이슈는 가이드 시스템의 시장 개척 및 확보이지만 국내 시장은 단순히 완성장비의 제조 및 판매에 그치고 있으며, 해외에서는 건설장비 실시간 관리, 가이드 시스템을 상용화하여 건설장비의 운영 효율화를 통한 원가절감을 시행하고 있음. 그러나 이 기술들을 통합하면 매우 큰 시너지를 낼 수 있음에도 불구하고, 통합 시스템에 관한 연구 및 개발은 부족한 실정임(그림 49).



[그림 49] 현재 핵심 기술의 진단

- 현재까지 추진되었던 많은 건설장비 지능화 관련 R&D 성과들의 후속 연계성의 부족으로 인한 사업화 및 제도화로의 발전이 이루어지지 않고 있으며, 핵심 기술 중 일부는 기술력을 가지고 있으나 이를 통합하여 운영할 수 있는 시스템에 관한 니즈는 꾸준히 발생하고 있음.



[그림 50] 미래니즈 및 Issue Tree

2) 기술개발에 따른 미래상

- 재래식 측량에서 벗어나, 작업환경 인식 기반 지능형 제어 및 스마트 센서 기술을 도입한 머신 가이드 시스템 기술로 인해 시공측량 과정을 없애거나 간소화하고, 시공오차를 감소시킴으로써 생산성 증대와 건설장비 연료절감 탄소 배출 감소를 이룰 것임.
- 관제 센터 기반 건설 관제 시스템은 모든 자원의 흐름을 사전계획하고 모니터링 함으로써, 장비의 비효율적 이동 및 작업을 줄이고, 장비의 작업 진행 속도, 아이들링 타임, 연료 소비 상황 등을 최적화하며, 공사가 진행됨에 따라 발생하는 기성고/진도율/장비현황/자원투입현황/인력 현황 등의 정보를 데이터베이스와 연계하여 설계/운영할 수 있어 현장관리자와 시공관리자의 연계성이 높아질 것임.
- 본 개발기술은 일반적인 시공기술을 포괄하는 종합건설업체(General Contractor)와 더불어 토공사업을 전문으로 하는 전문건설업체에서 적극 활용될 수 있으며, 기술의 운영 주체는 토공이 원도급사 직영시공일 경우 원도급사에서 담당하고, 토공전문업체가 공사에 참여하는 경우 토공전문업체가 주체가 되어 원도급사와 협력체계를 구축하는 것이 바람직 함.

다. 연구개발과제 구성

1) 연구개발과제 구성

가) 건설장비 통합 관제 센터 (1세부)

- 1세부의 목표는 ‘건설장비 통합 관제 센터’ 구축으로 다음과 같은 세세부 내용을 포함함.

1세부	건설장비 통합 관제 센터	
	세세부명	내 용
1세세부	통합형 건설장비 관제 시스템 개발	- 다중 장비군 작업 피드백 인터페이스 개발 - 위치추적 및 상황인식 프로그램 개발 - GNSS기반 플릿형 송-수신 시스템 개발 - 관제 의사결정 솔루션 개발 - 관제시스템 현장테스트 및 검증
2세세부	플릿(Fleet)형 작업계획 시스템 개발	- 플릿형 작업 계획 알고리즘 개발 - 플릿형 건설장비 작업 경로 생성 시스템 개발 - 건설 장비간 스마트 협업계획 시스템 개발 - 플릿형 작업계획 시뮬레이터 개발
3세세부	건설작업현장 스마트 스캐닝 및 모델링 기술 개발	- 스마트 지형 스캔 플랫폼 개발 - 지형 Model Generator 개발 - 스마트 Geo 의사지원 플랫폼 개발 - 지형외 Site 형상 및 지반물성 DB 연계 통합 플랫폼 개발
4세세부	에너지효율 관리시스템 개발	- 건설현장 에너지 소비 관련 데이터베이스 구축 - 에너지 소비 자동집계 및 스마트 리포팅 시스템 개발 - 작업 효율성 모니터링 및 평가 기술 개발 - 시나리오별 에너지 소비 만회 대책 개발

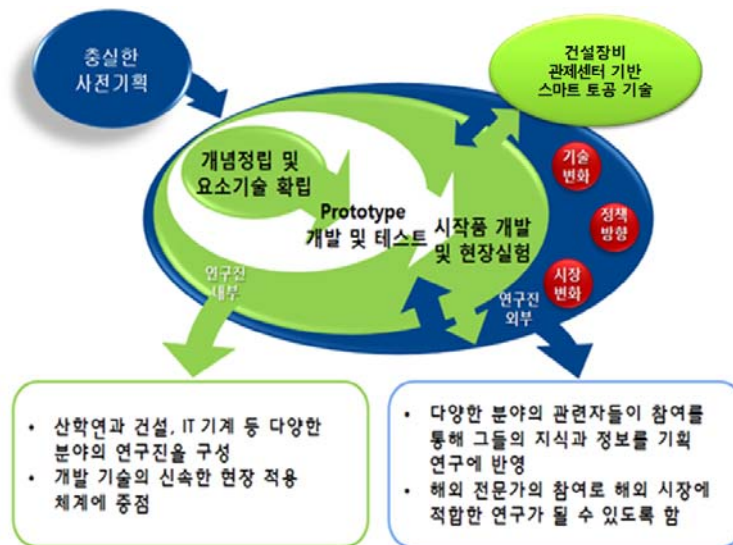
나) 건설장비 가이드 기술 시스템화 (2세부)

- 2세부의 목표는 ‘건설장비 가이드 기술 시스템화’ 개발로 다음과 같은 세세부 내용을 포함함.

2세부	건설장비 가이드 기술 시스템화	
	세세부명	내 용
1세세부	네비게이터 플릿화 및 시스템 토공기법 구체화	- 가이드 시스템을 위한 BIM 기술 개발 - 건설장비군 작업특성분석 및 정보 모델링 - 네비게이터의 플릿화 커스터마이징 프로그램 - 시스템 토공을 위한 프로세스 리엔지니어링 및 작업 매뉴얼작성 - 플릿형 가이드시스템 현장 테스트 및 검증
2세세부	작업환경 인식기반 안전 가이드 기술 개발	- 안전 가이드를 위한 작업환경 획득 기술 개발 - 실시간 작업환경 안전 모델링 기술 개발 - 3차원 모델 위험요소 탐지 분석 기술 개발 - 관제센터-안전시스템 인터페이스 개발
3세세부	건설장비 네비게이터 용 AR 기술 개발	- Task-Technology Fit을 위한 건설장비 운영의 Task 및 시각적 정보 분석시스템 개발 - 시각적 정보 콘텐츠와 미디어 포맷의 최적화를 위한 인간공학 연구 - AR Tracker 개발 및 Depth Cue 연구 - 프로토타입 제작 및 현장 테스트
4세세부	가이드 기술기반 장비 커스터마이징 및 자동제어 기술 개발	- 가이드 기술 친화형 건설장비 부품 커스터마이징 - 장비 액추에이터(Actuator)의 머신 가이드 기술 기반 자동제어기술 개발 (블레이드 타입) - AR 및 플릿 네비게이터 기반 탈부착형 MMI (Man Machine Interface) 유닛개발 - 프로토타입 제작 및 현장 테스트

2) 추진 전략

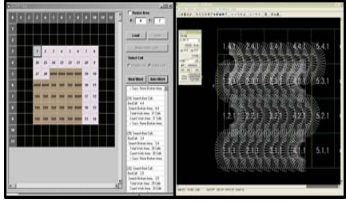
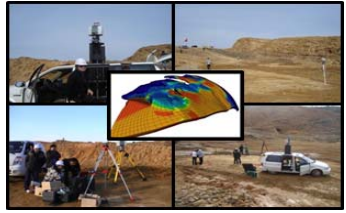
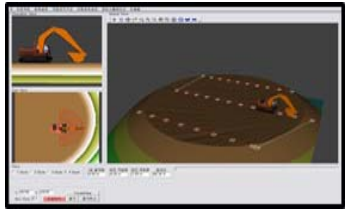
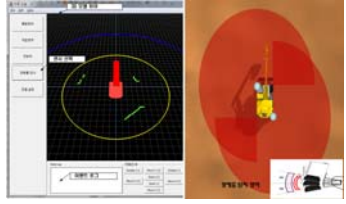
- 본 기획연구는 건설장비 중에서도 가장 활용도, 시장성이 높은 토공 장비를 대상으로 하여 추진하며, 두 가지 핵심 요소 기술(건설장비 관제 시스템, 건설장비 가이드 기술 시스템화)의 개발 시 상호기술간의 융합 및 접목을 고려하여 추진하여야 함. 또한 모든 기술의 개발에 있어 다른 장비로의 확장 가능성을 염두에 두고 개발하여 향후 타 장비의 자동화의 기반기술로 활용이 가능하도록 추진함.



[그림 51] 연구 추진전략

- 관련 전문가들의 적극적 활용을 통하여 단계별 의사결정을 위한 자문을 실시함으로써 성공적 수행을 하고자 하는 전략을 수립. 특히 2011년 종료된 지능형 굴삭시스템 과제는 본 연구가 기획하는 바와 밀접한 관련이 있으므로, 관련 연구기관 컨소시엄 또는 자문하여 과제 성공률을 높임.
- 컨소시엄 구성시, 건설회사 (중합 및 토공 전문업체) 및 발주처를 참여시킴으로써 Test-bed 구축 및 연구 결과에 대한 검증·평가를 용이하게 하고, 연구개발과 실증단계를 구분하여 연구 효율성 증가를 고려함.
- 국토해양부 R&D과제로 개발된(주관-두산인프라코어) 기술 중 본 과제의 유사하거나 활용 가능한 기술을 정리하면 표 17과 같음.
- 실제 현장과 유사한 상황에서의 현장 테스트를 통하여 개발된 건설장비의 시공관리 자동화 시스템의 토공 현장 적용성을 다양한 유형의 작업에 대해 검증하고 자동화 장비 및 관리 시스템 성능 평가를 실시함.

<표 17> 지능형 굴삭 시스템(IES)과 기획 과제의 유사기술

IES 대표 기술	기획 과제 유사기술	관련 기술 그림(IES)
지능형 Task Planning System 개발	1세부 플릿형 작업계획 ▪ 굴삭장비의 최적 이동경로 계획	
	1세부 현장 스마트 스캐닝 및 모델링 기술 ▪ 이동형 3D 스캐너 ▪ Terrain Alignment 기술	
작업환경 인식기반 지능형 제어기술 개발	2세부 네비게이터 플릿화 및 시스템 토공기법 구체화 ▪ 인터페이스 구성 ▪ Display 구성	
	2-2세부 작업환경 인식기반 안전 가이드نس 기술 개발 ▪ 안전 센서 ▪ 인지 및 경보 기능	
작업특성을 고려한 지능형 굴삭시스템 개발 및 시스템 통합	2-4세부 가이드نس 기술기반 장비 커스터마이징 및 자동제어 기술 개발 ▪ 유압 제어 기능 ▪ Value/Control 기능	

- SWOT 분석
- SO전략 (Strength-Opportunity) : 강점 극대화, 기회 활용
 - 고도의 건설 시공 기술력과 탄소 저감에 대한 솔루션을 결합하여 건설 분야의 새로운 고부가가치를 만들 수 있는 시장을 창출하고 건설 스마트 시공 현장 실현을 앞당김.
 - 산·학·연 중심의 건설 탄소 저감 분야에 대한 투자 증가와 함께 국내 기업의 자구적인 연구개발의 활성화 추세를 극대화시킴으로써 국내 자동화 관련 과학 기술 분야의 발전을 가속화시킴.
- ST전략 (Strength-Threat) : 강점 극대화, 위협 최소화
 - 세계 최고 수준의 IT 인프라를 적극 활용하고, 선진국의 자동화 개발사례를 분석하여 연구 개발을 벤치마킹함으로써 무인 시공 현장 실현을 위한 기술개발의 시행착오의 기간을 단축하고, 단기간 내에 진보된 기술력을 확보함.
 - 산·학·연의 관심 증대와 투자 확대를 유도하여 관련 기술 개발을 활성화시킴으로써 주요 선진국에 비해 제한된 기술 개발 투자 재원을 가지고 있는 국내 환경을 극복함.
 - 건설 분야의 생산성 및 안전성에 대한 중요성이 증가함에 따라 건설 자동화 및 무인 시공 현장 실현에 대한 관심 또한 증대되므로 기업의 자구적인 연구 개발이 활성화되도록 정부 연구 지원 확대.
- WO전략 (Weakness-Opportunity) : 약점 보완, 기회 활용
 - 선진국의 핵심 기술을 도입하여 국내 환경에 적합한 기술로 발전시키기 위한 연구개발을 활성화하여 이를 통해 단기간에 독자적인 기술력 확보.
 - 스마트 시공기술 실현을 위해 요구되는 기계, 전기, 컴퓨터 등을 포함한 복합기술과 관련한 전문 인력을 양성함으로써 건설 분야의 새로운 고부가가치 창출 극대화.
- WT전략 (Weakness-Threat) : 약점 보완, 위협 최소화
 - 첨단 기술개발에 대한 긍정적인 사고로의 전환과 함께 국내 연구개발 사업에 대한 지속적인 재원 투자 및 체계 보완을 통해 선진국에 비해 제한

된 연구개발 투자 재원을 가지고 있는 국내 환경의 위협 요인을 감소시키고, 향후 선진국과의 기술 격차의 심화를 방지.

- 건설장비 관제센터 기반 스마트 토공 시스템 실현을 위해 요구되는 복합 기술을 개발하기 위하여 타 전문가 집단 간의 상호 연계성을 높이고, 관련 분야 간의 표준화를 지향함으로써 핵심 기술 요소 기술 개발의 효율성을 높임.
- 선진국의 진보된 기술을 도입함과 동시에 독자적인 기술능력을 확보하기 위한 장기적인 노력을 기울여 국제적인 건설 및 자동화 분야의 기술 혁신 가속화에 합류.

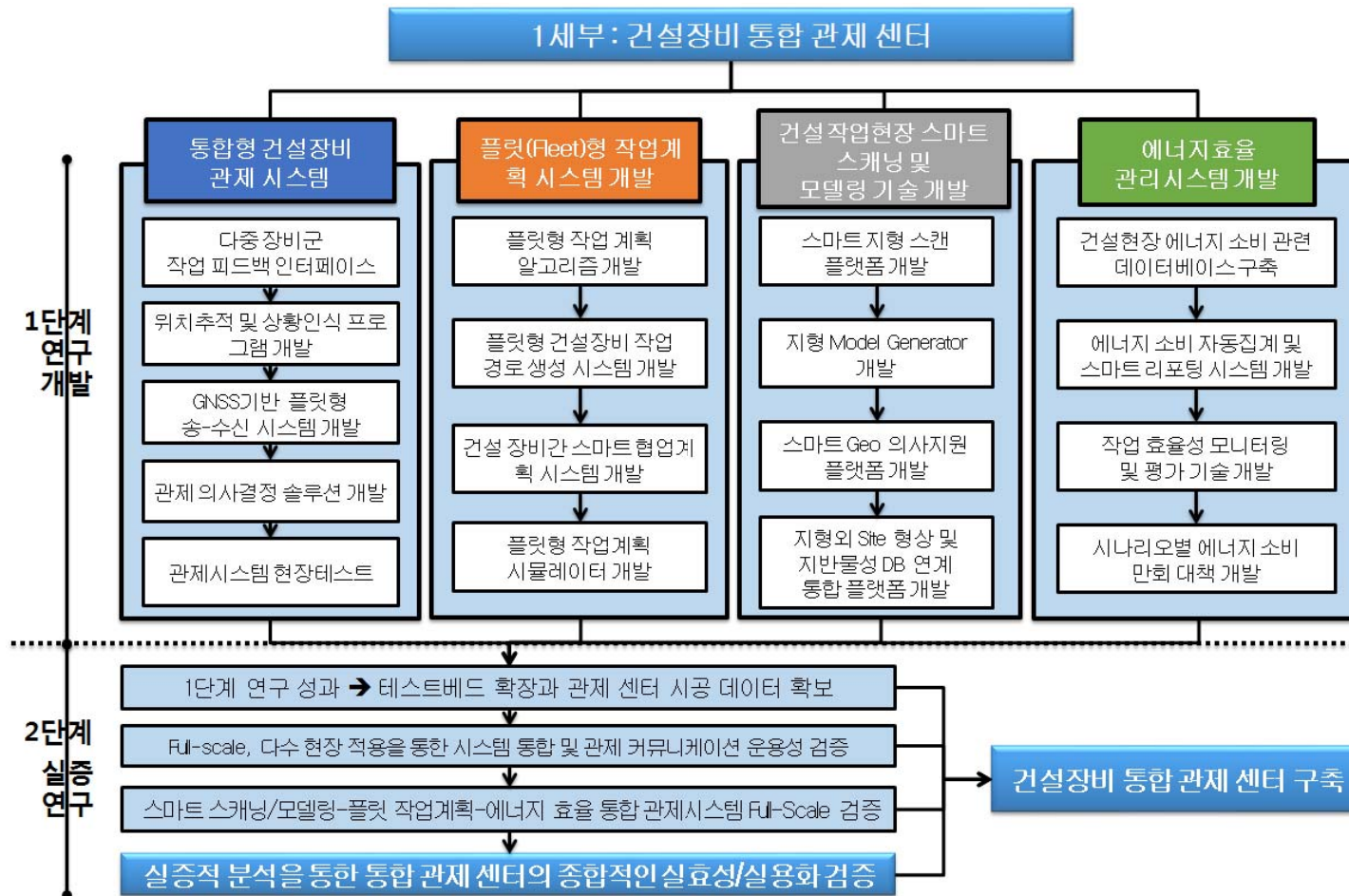
내 부 요 인	강점	약점
	■ 건설장비의 탄소 저감에 대한 산·학·연·관의 관심 증대 및 정부의 최근 R&D 투자 확대 ■ 세계 최고 수준의 정보통신 인프라 및 유비쿼터스 기술 구현을 위한 제반 환경 구축 ■ 국가의 미래 성장 동력 중 정보통신분야 (ICT), 로봇기술(RT), 친환경(ET) 및 분야 포함 ■ 저출산으로 인한 인력 부족으로 미래 건설 산업에 있어 건설 생산성 증가를 위한 머신 가이드스 시장의 니즈, Market size 및 Marketability 양호	■ 신기술·신공법 개발에 관한 국내 건설기업의 전통적 보수성 및 핵심 건설기술에 대한 높은 해외 기술 의존도 ■ 건설기술 분야의 무역수지 역조현상 심화 ■ 건설장비운영 및 친환경 기술개발 분야의 전문 인력 부족 ■ 미래 국가유망기술로서 건설 자동화 및 생산성 증대 기술개발에 관한 마스터플랜/기술로드맵 부재 ■ 설계와 시공정보의 통합을 위한 엔지니어링 기술 및 표준화 체계 미흡
외 부 환 경	기회	위협
	■ 실용화에 기반을 둔 국토교통부의 지속적인 R&D 투자 확대로 인해 건설로봇의 연구개발을 위한 건설한 기반환경 조성 ■ 건설 기계 기술개발 분야의 후발주자로서 선진 외국의 시행착오 (Trials and Errors)에 관한 벤치마킹 가능 ■ 기업 이미지 제고 및 건설 산업 이미지를 첨단 산업 분야로 upgrade 하고자 의지 심화 ■ 미래 건설 산업에 있어 고부가가치 창출이 가능한 새로운 Market Sector로서 건설 기계의 탄소저감 및 스마트 제어 기술개발의 중요성 인식	■ 정부 및 업계의 단기적 투자 성향 ■ 학제간(건설/기계/전기/전자) 공동연구 및 전문분야별 협업체제 미흡 ■ 매우 동적이고 가변적인 건설 ■ 세계경제 위기로 인한 탄소배출권 시장의 침체 우려 ■ 작업환경으로 인한 건설 자동화 기술개발의 어려움 ■ 건설 기계 장비 및 친환경 기술 성능에 대한 숙련공의 부정적 인식 ■ 국내 건설업체의 보수성 및 유관 업체의 영세성으로 인한 개발 의지 부족

라. 과제별 · 연차별 기술로드맵 및 성과로드맵

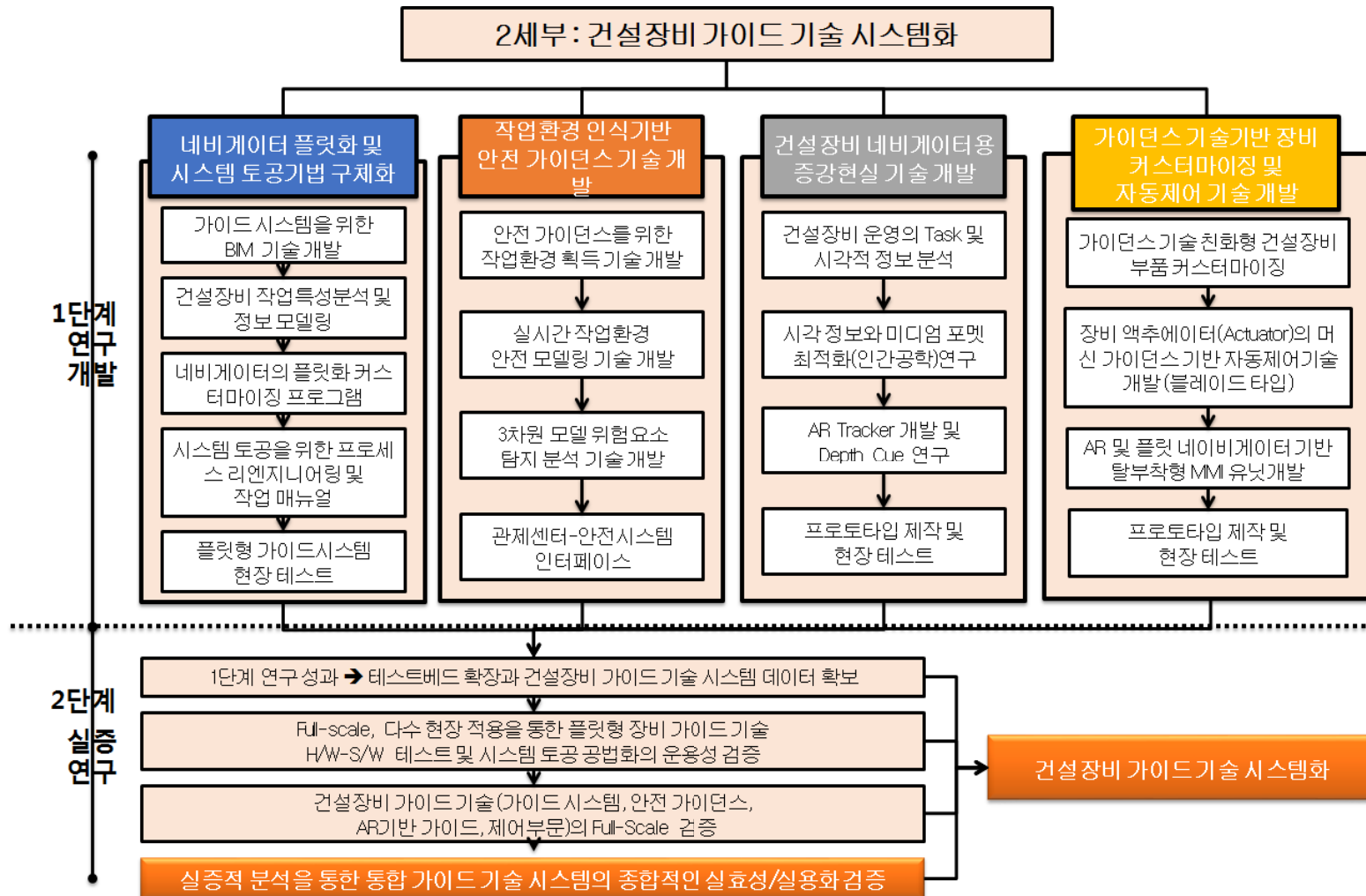
1) 세부별 기술로드맵

- 기술 개발 체계는 크게 2개의 단계로 구분하여 추진하도록 구성하였음.
- 1단계에서는 건설장비 관제센터 기반 스마트 토공 기술의 연구 개발을 수행한 후 파일럿(Pilot) 현장 테스트를 수행하며 통합 관제 센터 운용성과 가이드 기술 시스템화의 성능을 평가함. 1단계 연구 개발에 소요되는 기간은 3.5년으로 예상되며 마지막 차년도의 파일럿 현장 테스트는 적정 규모의 실제 건설 공사 현장을 테스트 베드로 하여 진행하며 6개월 이상 수행토록 해야 함.
- 2단계에서는 기술의 실증적(Empirical) 검증을 위한 단계이며 1단계에서 수행한 테스트 베드의 규모를 확장하며, 본 기술을 여러 공종의 건설 현장에 접목하여야 함(예: 택지, 도로, 공항 등). 실증적 데이터를 1.5년에 걸쳐 지속적으로 축적함으로써 본 기술의 목표 달성 여부 검증과 실효성, 실용화 추진 가능성과 등을 종합적으로 평가 및 검증하며 공법으로서의 구체화를 이루어내야 함. 모든 성과 기준의 달성도를 집중적으로 평가하며 실증 분석을 통한 연구개발 목표인 에너지 절감과 토공원가 절감 효과를 도출 해야 함.

○ 1세부 기술 로드맵



○ 2세부 기술로드맵



2) 연차별 성과로드맵

연차	연차별 세부 연구목표	
1차년도	1세부	▪ 건설장비 작업계획 수립의 효율성 효과 15% 이상(시뮬레이션을 통한 검증) ▪ 건설장비 관제센터 기반 스마트 토공 시스템의 타당성 분석 90% 이상 완료 ▪ 건설장비군 제어에 대한 이론 정립 및 개념 설계 ▪ 작업현장 스캐닝 및 디지털 지형 모델(DTM)의 정확도 90% 이상 확보
	2세부	▪ 네비게이터 센서 및 단말기, 작업 환경 모델링, 통신 모듈, AR/VR 등 기술 선정 완료 ▪ BIM, AR, GIS 요소 기술 기초 설계 완료
2차년도	1세부	▪ Entity간의 프로토콜 개발(송수신 데이터 인식을 90% 이상) ▪ 에너지 효율 관리 피드백의 전송과 작업 전후 비교 ▪ 지형 모델 Generator 및 모델링 기술 정확도 90%이상 확보
	2세부	▪ 머신컨트롤 H/W 프로토타입 개발 완료 ▪ 네비게이터 BIM 기술 및 안전시스템 구축 완료 ▪ 자동 제어 기술 및 작업정보 모델링 기술 완료
3차년도	1,2 세부 통합	▪ 건설장비 관제 센터 H/W 개발 및 S/W와의 연계율 90% 이상 확보 ▪ 스마트 네비게이터의 Sub-System 통합 및 보완 ▪ 세부별 1차 프로토타입 완성 및 완성도 70% 이상 확보 ▪ 각 세부 기술간 데이터 송수신 방안 확립 및 모듈 구축 및 정확도 95% 이상 확보 ▪ 관제 센터와 네비게이터의 연동 시스템 완료(연동율 95% 이상) ▪ 각 세부 프로토타입 통합 및 테스트를 통한 검증작업 5회 이상 실시 ▪ 건설장비 관제센터 기반 스마트 토공 시스템 프로토타입 개발 및 완성도 95% 이상 확보 ▪ 에너지 소비 측정 및 공사 생산성 측정을 통한 모듈별 기능 검증 및 기존 목표 수치 90%이상 도달 ▪ 건설장비 관제센터 기반 스마트 토공 시스템 완성(목표 달성을 100% 이상) ▪ 현장 테스트 및 최적화 작업 3회 이상 실시
4차년도 (2단계 실증연구)	1,2 세부 통합	▪ 실증분석을 통한 에너지 사용량 및 탄소 배출량 절감 30% 내역서 ▪ 실증분석을 통한 토공원가 15% 절감 내역서 ▪ 건설장비 관제 센터 H/W 개발 및 S/W와의 연계율 100% 확보 ▪ 네비게이터의 작업 정보 정확도 100% 확보 ▪ 관제 센터와 네비게이터의 연동 시스템 완료(연동율 100% 이상) ▪ 에너지 소비 측정 및 공사 생산성 측정을 통한 모듈별 기능 검증 및 기존 목표 수치 100% 확보 ▪ 다중, 다수의 복합 건설장비 관제센터 기반 스마트 토공 시스템 완성(목표 달성을 100% 이상현장 3개 이상)

- 1세부 TRM 및 연차별 성과 목표