

# 지능형 굴삭시스템 개발

## - 연구단 소개 -

### Development of Intelligent Excavating System

#### - Introduction of research center -

서 종 원\*, 박 창 우\*\*, 장 달 식\*\*\*  
Seo, Jong-Won, Park Chang-Woo, Jang Dal-Sik

#### 요 약

현재 건설산업 현장에서 나타나는 숙련공 부족 현상, 고령화 문제, 안전상의 문제로 인한 노무 생산성 저하, 임금 상승으로 인한 채산성 악화, 품질 확보의 어려움 및 시공기술 경쟁력의 약화는 국내 건설산업이 해결해야 할 필수적인 당면과제이다. 한편 위험·유해한 작업환경에서 운용되는 토공장비나 매립지에서의 다짐 및 복토공사, 지뢰 및 폭탄 등에 의한 폭발의 위험이 있는 장소에서의 토공작업, 극한지 공사와 같은 환경에서의 공사수요도 점차 늘어가고 있다. 이와 같은 상황에서 토공의 생산성, 품질 및 안전도를 확보하기 위해서는 지능화된 자동화 장비를 이용하여 효율적으로 작업을 수행할 수 있도록 해야 할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 지능형 굴삭시스템의 개발을 통하여 작업현장의 안전성을 제고하고 품질, 생산성 및 채산성을 향상시키고 선진외국에 비해 보다 진보되고도 경제성 확보가 가능한 건설 자동화 기술의 구현과 기술개발을 통해 국내 건설산업에 있어 새로운 Market Sector의 창출하고자 한다.

키워드: 지능제어, 건설자동화, 전자유압, 굴삭로봇

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

우리나라의 노동 생산성은 1970년대에서 1990년대까지 산업전반에 걸쳐 상위의 위치를 유지해 오고 있지만, 전반적으로 타 국가들과의 격차가 좁혀지지 않는 양상이 나타나고 있으며 그 대표적인 분야 중 하나가 바로 건설산업인 것으로 나타나고 있다. 건설 산업의 생산성은 주로 작업자의 숙련도에 의존하고 있기 때문에 향상속도가 느리며, 또한 현장성, 복잡성, 가변성, 중량물 취급 등의 특성으로 인해 안전사고의 위험이 항상 내재되어 있는 산업으로서 고용인원 대비 높은 재해율을 보이고 있다(장현승 외 2003).

전통적으로 3D업종으로 인식되어온 건설산업은 최근 젊은 기능인력의 건설현장 기피 현상이 심화되면서 숙련된 기능 인력의 확보가 힘들어졌으며 과거 근대화에 크게 이

바지 하였던 풍부한 건설 기능직 근로자는 이미 고령화 되고 있으며 미래 건설시장에 주역인 젊은 기능 인력의 건설 현장 유입 비율은 현저히 저하되고 있는 등 건설 기능인력 수급의 불균형이 심각한 문제로 대두되고 있다(김영석 외 2001).

이러한 숙련공 부족 현상뿐만 아니라 안전상의 문제로 인한 노무 생산성 저하, 임금상승으로 인한 채산성 악화, 품질의 균일성 및 안전성 확보의 어려움과 시공 기술경쟁력의 약화는 국내 건설 산업이 해결해야 할 당면과제이다. 이러한 당면과제 해결을 위한 기술적 접근방식으로 건설산업의 자동화는 최선의 해결방안으로 볼 수 있다. 특히 여러 건설작업 중 토공작업은 도로, 공항, 단지조성등과 같이 대부분의 토목 및 건축 공사에 필요한 가장 기본적인 작업으로 주로 기계화 시공으로 공사를 수행하고 있어 건설로봇 적용이 가장 적합하다. 본 과제에서는 토공작업을 효율적으로 자동화 할 수 있는 방안으로서 토공을 위한 설계정보와 원지반에 대한 형상정보, 그리고 장비의 실시간 위치를 자동으로 파악하게 하고, 장비조종 및 제어기능을 지능화하여 굴삭시스템을 개발하고자 한다.

본 과제에서 추진하는 토공 자동화 장비가 성공적으로 개발 되었을 경우 다음의 효과를 기대할 수 있다. 첫째, 시공측량 과정 제거/축소로 인한 생산성 및 경제성 향상을 가져올 수 있으며, 둘째, 효과적인 장비 운용계획을 통하여

\* 종신회원, 한양대학교 토목공학과 조교수  
[iseo@hanyang.ac.kr](mailto:iseo@hanyang.ac.kr)

\*\* 비회원, 전자부품연구원 선임연구원  
[drcwpark@keti.re.kr](mailto:drcwpark@keti.re.kr)

\*\*\* 비회원, 두산인프라코어(주) 중앙연구소 부장  
[dalsik.jang@doosan.com](mailto:dalsik.jang@doosan.com)

본 연구는 건설교통부 첨단융합건설기술개발사업의 연구비 지원(06첨단융합C01)에 의해 수행되었습니다.

최적의 작업순차를 파악하고, 정확하게 작업을 수행할 수 있도록 하여 생산성 증진 및 비용절감 효과를 가져 올 것이고, 셋째, 유해/위험 환경에서 장비 조종자를 격리시킴으로써 안전한 토공작업이 가능케 할 것이다. 마지막으로 본 연구를 통해 개발된 측정 및 제어 기술은 기타 건설장비의 건설자동화 분야에도 응용할 수 있을 것이다.

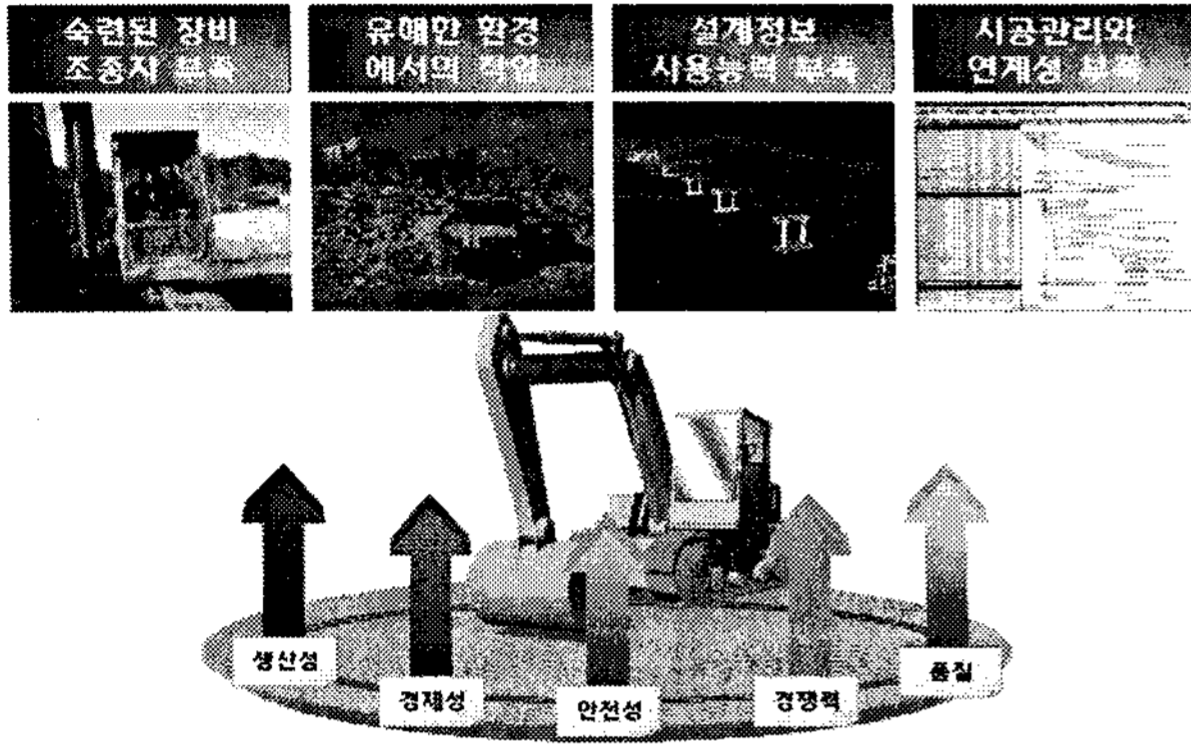


그림 1. 토공 자동화 필요성 및 기대효과

## 1.2 연구의 내용 및 범위

본 연구개발의 최종 목표는 작업 영역에 있어 시공 상황에 따라 지속적으로 변화되는 비정형(amorphous)의 지반형상을 주기적으로 맵핑하여 그 결과를 계획 도면과 비교·검토함으로써 토공작업의 계획을 세우고, 토공 작업량 및 작업 진척도 등을 추출할 수 있는 지능형 Task Planning System 기술, 위험·유해 지역에서 작업 환경을 인식하고 계획된 Task에 따라 인간의 도움 없이 자율적 또는 지능적 Monitoring에 기반한 Tele-Operation에 의해 제어되는 환경인식기반 굴삭로봇의 지능제어 기술, 마지막으로 굴삭로봇의 지능적 제어를 위해 유압시스템의 전자화 및 시스템 제어 기술들의 Integration을 통한 지능형 굴삭시스템의 개발을 최종 목표로 한다. 위의 연구개발 최종 목표의 개요를 그림 2에 표현하였다.



그림 2. 연구 개발 최종 목표

## 2. 세부과제별 연구의 목표 및 내용

본 연구개발의 최종 목표는 지능형 굴삭시스템 개발을 위하여 지능형 Task Planning System 개발 및 응용 기술 개발, 작업환경 인식기반 지능형 제어기술 개발, 작업특성을 고려한 지능형 굴삭시스템 개발 및 시스템 통합을 목표로 하며, 세부적인 연구개발 목표와 상관관계는 그림 3과 같다.

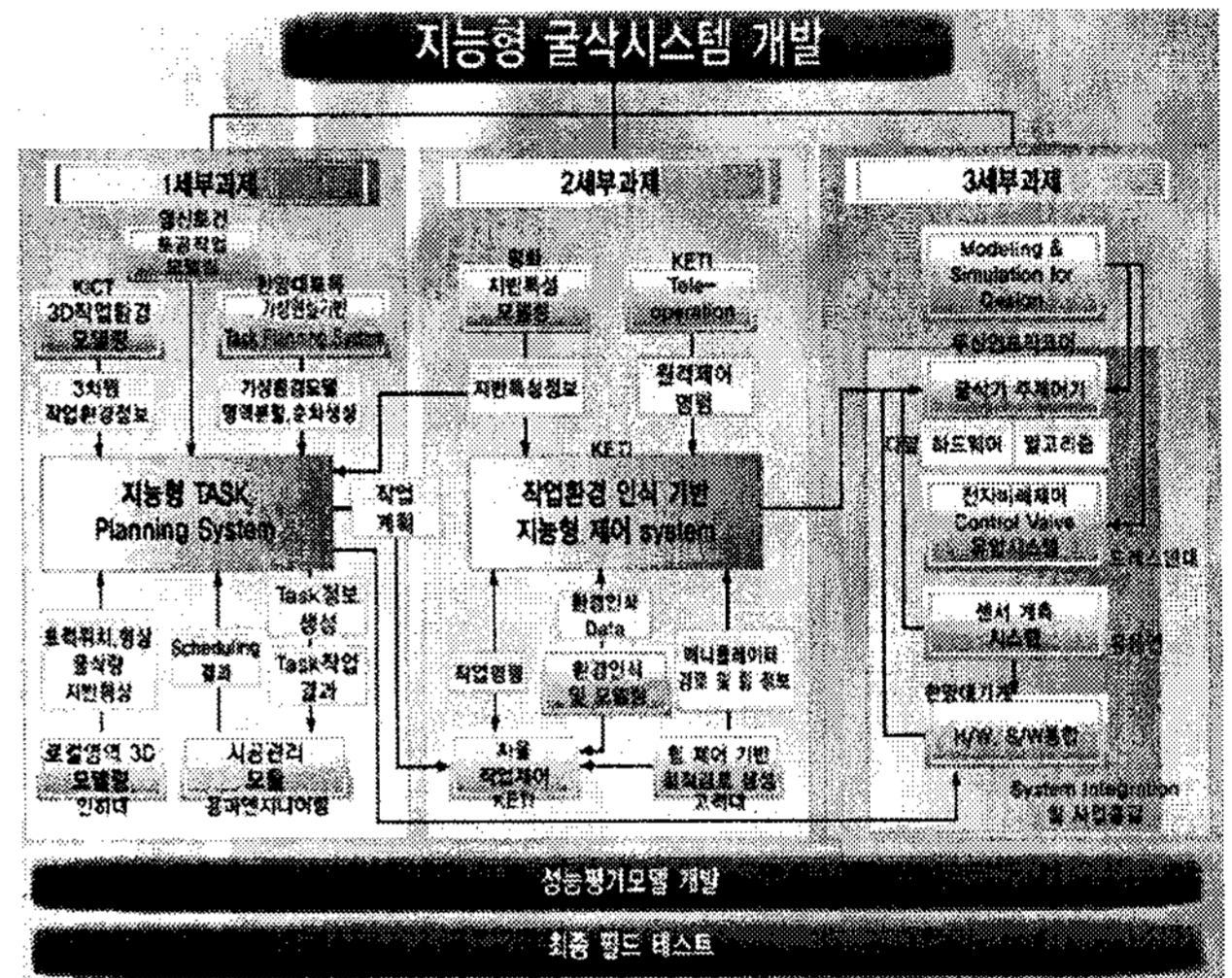


그림 3. 세부 과제간 목표 및 상관관계

## 2.1 지능형 Task Planning System 개발 및 응용

토공 작업의 생산성과 품질은 작업계획의 합리성에 의해 크게 좌우되므로, 지능형 Task Planning System 개발을 위해서는 장비조종자의 경험에 의존하는 기존의 방식에서 탈피하여 지형 및 지반 특성에 적합한 최적 작업 계획 수립이 필요하며, 이를 위해 작업영역 분할 및 순차생성, 최적 플랫폼 위치 선정과 같은 작업계획의 의사결정 알고리즘이 요구되어진다. 이러한 의사결정 알고리즘 구축을 위해서는 토공 작업자 및 감독자의 노하우를 Task Planning System에 반영하여 최적 토공작업 계획을 수행하도록 숙련된 토공작업자의 노하우 분석을 위한 기존 토공 작업의 현황 및 특성 조사와 작업 구분 및 작업 영향 요소에 따른 상황별 최적 시나리오 작성을 위한 토공 작업 프로세스 모델링이 구축되어야 한다. 또한 지능형 굴삭시스템의 작업계획을 위해서는 작업대상이 되는 작업환경의 월드모델(World Model)의 구축이 필요하며, 이를 위해 실제 작업현장과 동일하게 구현할 수 있는 가상환경을 구축하고 작업의 진행에 따라 월드 모델을 실시간으로 업데이트 할 수 있어야 하며 이러한 가상환경을 기반으로 영역분할, 최적 플랫폼 위치선정 및 작업 순차생성을 통해 최적의 토공작업계획을 수립할 수 있어야 한다(Singsh 1994, Seo 외 2000, Stone 2000, Makkonen 2004).

본 연구에서는 이러한 내용들을 통합하기 위하여 그림 4와 같이 "지능형 Task Planning System 개발 및 응용"을 목표로 하는 세부과제로 구성하였다. 지능형 Task Planning System은 지능형 굴삭 시스템의 두뇌라고 할 수

있는 부분으로서 토공 현장 레벨에서의 굴삭로봇의 이동 경로 등을 결정지어 작업의 효율성을 극대화시키기 위한 Intelligent Job Task Planning이다.

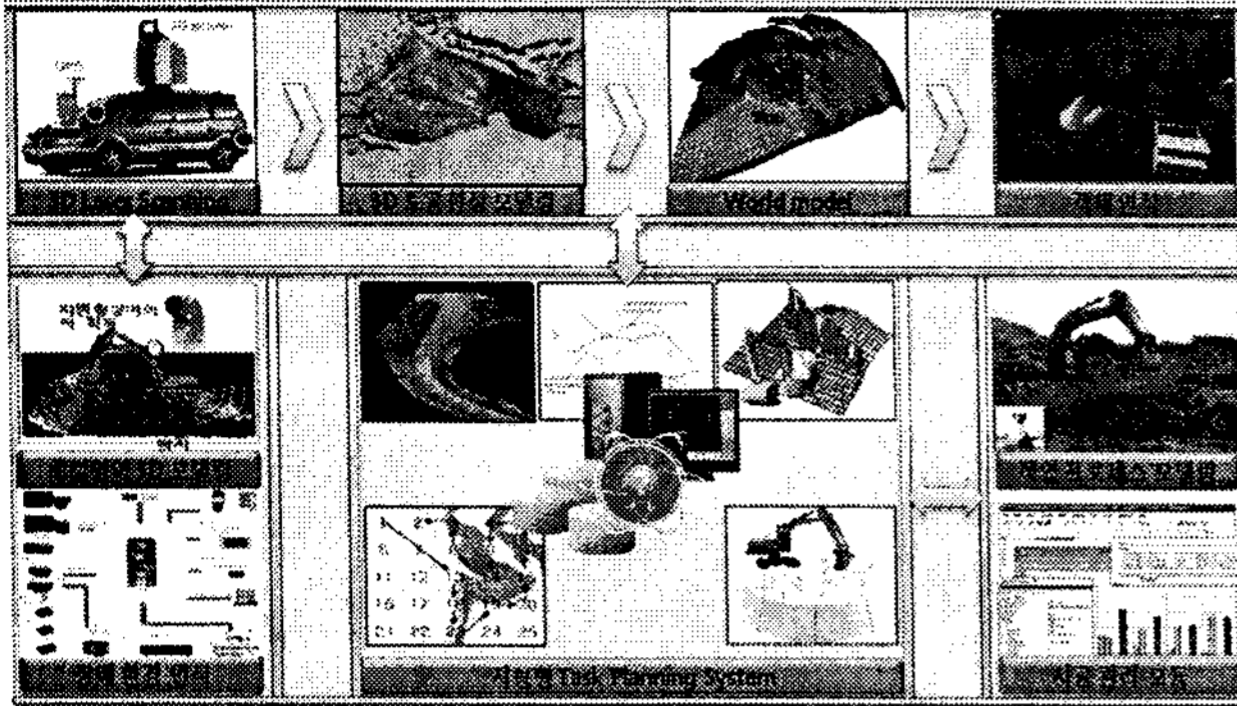


그림 4. 지능형 Task Planning System 개요

굴삭로봇의 작업계획(task planning) 수립을 위해서는 굴삭로봇이 주변 지형을 인식하고, 그에 적합한 작업을 수행하도록 하는 것이 가장 중요하므로, 비정형 지반 형상 인식 기술을 통합한 로컬영역 모델링 기술은 무인 시공을 위해 가장 기본적으로 갖추어져야 하는 원천 기술이며, 현재 토공사는 장비 운전자가 육안에 의해 경험 및 직관으로 판단하여 시공하고 있으므로, 눈으로 보이는 공간을 로봇에게 인지시키기 위해 컴퓨터 내에서 실제 공간과 동일한 3D 공간으로 표현하는 작업이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 센싱 및 레이저 스캐닝 등의 기술을 통하여 비정형 지반의 형상을 맵핑하여 3D Model을 구축하고 상차할 트럭과 굴삭기 주변 장애물을 탐지하여 자동화 작업을 가능케 하고 안전성을 제고하기 위한 시스템의 알고리즘과 프로그램을 개발한다. 또한 굴삭로봇의 원격제어 및 자율작업제어를 통한 굴삭 작업 실적을 토공 시공 관리 데이터베이스로 활용하여 공사 관리 실적을 관리하고 주기적으로 작업실적을 측정하여 계획과 비교 분석하는 한편 성과측정 결과를 바탕으로 토공작업현황을 관리할 수 있는 토공 시공 관리시스템을 구축한다.

굴삭로봇 작업 계획 수립의 주요 원천 기술 중 하나인 3차원 지반 지형 맵핑, 트럭 및 굴삭로봇 주변 장애물을 회피하는 원천기술을 제시함으로써 시공관리의 효율성을 제고하여 향후 무인 시공현장 실현에 기여할 것이며, 최종적으로 개발된 통합 시스템을 이용하여 현장에서 실제 작업을 수행해 봄으로써 토공 작업의 생산성 및 품질을 측정하여 Task Planning System의 계획 수립 적절성 및 개발 시스템의 토공 현장 적용성을 평가한다. 이를 통해 지능형 굴삭 시스템의 대상 작업별, 작업 모드별 활용 방안을 제시한다. 지능형 Task Planning System 개발 및 응용 기술개발을 위해 다음의 요소기술개발이 요구되어 진다.

- 3D 레이저 스캐닝 기반 작업환경 모델링 기술개발
- 디지털 이미지 데이터와 3D레이저 스캐닝을 융합한

- 개체인식
  - 토공 시공 데이터 관리 모듈 개발
  - 굴삭기 자동화 장비의 성능평가 모델 개발
  - 지반형상 맵핑을 통한 토공 물량 자동 산출 알고리즘의 개발
  - 최종 필드 테스트를 통한 장비의 검증

## 2.2 작업환경 인식기반 지능형 제어기술

굴삭로봇의 자율작업제어를 위해 그림 5와 같은 기술개발을 수행하며 각 요소기술의 정립을 통해 개발된 제품의 통합 및 시스템 최적화를 이루고 개발된 제어시스템을 전자화되어진 굴삭로봇에 적용하며 이의 현장적용테스트를 통한 디버깅과 현장 신뢰성 향상 기술을 개발하고자 한다.

우선 굴삭로봇의 자율작업제어를 위한 지능형 제어기술을 개발하기 위해서는 센서 integration 및 환경인식 알고리즘을 통한 굴삭기 주변의 작업환경인식이 필요하다. 작업환경 인식을 통해 굴삭로봇 자체가 자율적으로 작업을 선정하여 환경인식 센서의 피드백을 이용하여 환경에 적응하면서 정해진 작업을 인간의 도움 없이 수행할 수 있으며 원격조종 시에는 원격조종자의 조작 편의성을 증대시킬 수 있도록 한다. 또한 지능형 Task Planning System에서 수립된 작업계획에 따라 굴삭로봇을 제어하기 위해서는 굴삭로봇의 작업환경 및 지반 특성을 인식하고 작업환경에 적합한 작업을 수행하기 위해 굴삭로봇 매니플레이터의 최적경로를 실시간으로 생성할 수 있는 최적경로 생성 및 힘반향 제어 시스템이 요구된다. 이와 같은 매니플레이터의 최적경로는 굴삭로봇의 작업효율 및 시간, 수명, 연료절약에 있어서 중요한 역할을 한다.



그림 5. 작업환경 인식기반 지능형 제어 기술개발 요소

작업환경 인식기반 지능형 제어기술 개발을 위해 다음의 요소기술개발이 요구되어 진다.

- 지능형 굴삭작업용 로봇틱 제어기술개발
- 지능형 굴삭제어용 환경인식 기술개발
- 굴삭로봇 최적 경로생성 및 힘반향 기술개발

- 지반특성 모델링 기술개발

### 2.3 작업 특성을 고려한 지능형 굴삭시스템 개발 및 시스템 통합

굴삭로봇 제어명령에 대한 정확한 추종 제어를 할 수 있도록 굴삭로봇 및 제어시스템을 개발하기 위해서는 전자비례제어밸브를 이용한 제어밸브 시스템 및 유압시스템의 개발과 유압 Actuator에 대한 정확한 위치 제어를 할 수 있는 제어 알고리즘 및 제어기가 구축되어야 한다(Gu 2004). 또한 지능형 Task Planning System과 작업환경 인식 제어 기술 개발의 연구 결과 및 서브시스템들이 잘 통합될 수 있도록 조정하여 최종적으로는 “지능형 굴삭 시스템”의 요건들을 충족하는 굴삭 시스템을 제작/시연하는 것을 목표로 한다.

본 연구에서는 그림 6과 같이 지능형 굴삭시스템의 개발 요소간 통합과 기계제어 알고리즘 및 하드웨어 구축을 위하여 “작업 특성을 고려한 지능형 굴삭시스템 개발 및 시스템 통합”을 목표로 세부과제를 구성하였다.

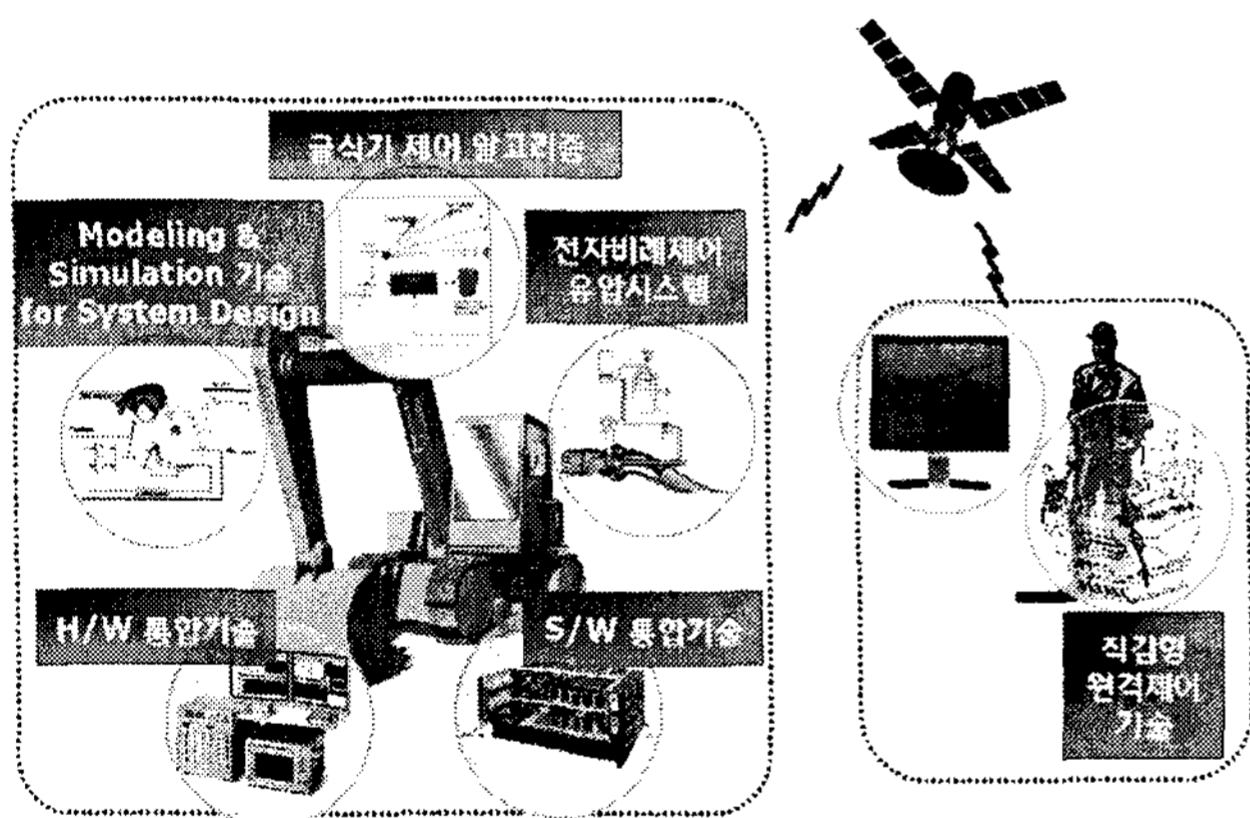


그림 6 굴삭시스템 개발 개요 및 시스템 통합

개발될 굴삭시스템은 전자유압비례제어 밸브를 사용한 Control Valve를 장착하고, 각종 센서 피드백을 통해, 2세부 과제에서 개발된 시스템이 지령한 명령을 정확하게 추종하며, 직감형 원격제어를 통해 굴삭로봇 조종환경과 동일한 조작 환경을 통한 작업 및 자율작업이 가능한 시스템이다. 또한, 세부 과제별로 개발되는 각각의 시스템들은 하나의 유기적인 시스템으로 통합되어야 자율작업을 수행하는 굴삭시스템이 될 수 있으므로, 각각의 시스템들의 성공적인 통합이 요구되어 진다.

지능형 굴삭 시스템 위해 다음의 요소기술개발이 요구되어 진다.

- 전자유압기술
- Control Valve 및 유압회로 설계 기술
- 굴삭로봇 시스템 모델링 및 시뮬레이션 기술
- 굴삭로봇 제어기 제어알고리즘 설계 기술

- 굴삭로봇 제어기 하드웨어 및 주변 장치 설계 기술
- 센서 시스템 개발 및 응용 기술
- 직감형 원격제어 알고리즘 및 디바이스 설계 기술

### 3. 1차년도 주요 연구추진 결과

#### 3.1 지능형 Task Planning System 개발 및 응용

지능형 굴삭 시스템의 작업계획 수립을 위해서는 작업 대상이 되는 작업환경의 월드모델을 구축하고 월드모델의 데이터를 기반으로 하여 실제 토공작업의 프로세스가 반영된 지능적인 작업계획이 수립되어야 한다. 또한 토공작업의 진행에 따른 월드모델 데이터의 실시간 업데이트를 통해 계획데이터와 실제데이터를 비교·관리하여 지능형 굴삭 시스템의 시공관리를 수행하며 이를 통해 지능형 굴삭시스템의 성능평가 모델이 수립되어야 한다. 이를 위해 1차 년도에서는 지능형 Task Planning System 개발을 위해 그림 7과 같은 연구 추진체계를 구축하여 연구를 진행하였다.

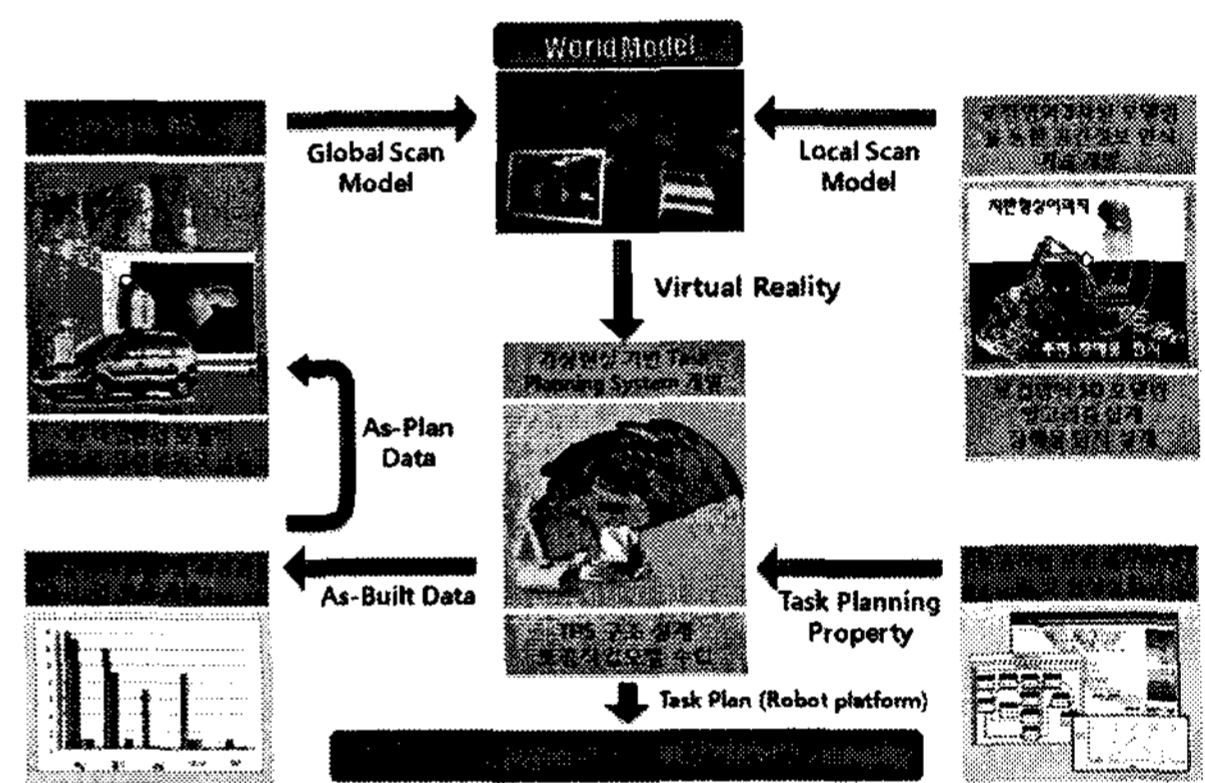


그림 7 지능형 Task Planning System 개발 연구추진체계

지능형 Task Planning System 개발에 있어서 작업환경을 효율적으로 분석하고, 계획의 대상인 토사 이동과 로봇 운용의 연계성을 확보하기 위해서 계획 대상 및 계획 환경을 명확히 구분할 필요가 있다. 계획 환경은 크게 글로벌 영역과 로컬 영역으로 구분할 수 있으며 글로벌 영역은 실제 작업이 수행되는 토공사 전반에 걸친 현장 단위의 작업 영역을 의미하며, 레이저스캐너를 이용하여 3차원 정보를 생성하고, 설계 도면과의 비교를 통해 작업영역과 작업영역의 작업량 정보를 생성한다. 로컬 영역은 굴삭로봇이 한 지역에 플랫폼을 구축한 후 작업을 수행할 수 있는 로봇의 작업범위로 굴삭로봇 이동에 따라 로컬영역 센싱이 수행되며 변화된 지반형상은 월드모델에 업데이트할 수 있도록 한다. 작업계획의 대상으로는 작업을 수행하는 굴삭 로봇과 작업 대상물인 토사로 구분할 수 있으며 본 지능형 Task Planning System에서는 토사의 이동계획을 중심으로 영역 분할 및 순차를 생성하며, 글로벌 영역 내 이동 경로를 제공한다. 계획 환경과 계획 대상으로 구분하여 각 영역별 작

업계획 시스템의 개발 모듈을 정리하면 다음 표 1과 같다.

표 1. 작업계획 대상 및 환경에 따른 개발 모듈

구분	토사 대상	굴삭로봇 대상
글로벌 영역	-작업환경 구성모듈 -토공량산정 및 작업성질 결정 모듈 -로컬영역 선정 모듈 -로컬영역간 작업순차생성 모듈	-최적플랫폼 선정모듈 -플랫폼 이동계획수립모듈
로컬 영역	-영역 내 작업영역분할 모듈 -토사이동 순차계획 모듈	-굴삭로봇 제어모듈 (작업계획 시스템에서 포함하지 않음)

1차년도 연구에서는 3D 스캐너를 이용한 토공 현장 전체의 글로벌 작업환경 모델링 개념 설계와 굴삭로봇 주변의 실시간으로 변화되는 지반형상을 주기적으로 맵핑하여 월드모델에 반영할 수 있는 로컬영역 3차원 모델링 알고리즘을 설계하여 월드모델 구축을 위한 3차원 작업환경 모델링의 개념설계 및 프레임워크를 구축하였다. 그림 8은 월드모델 구축을 위한 글로벌 작업환경 모델링 프로세스이며 그림 9는 로컬영역 3차원 모델링 프로세스이다.

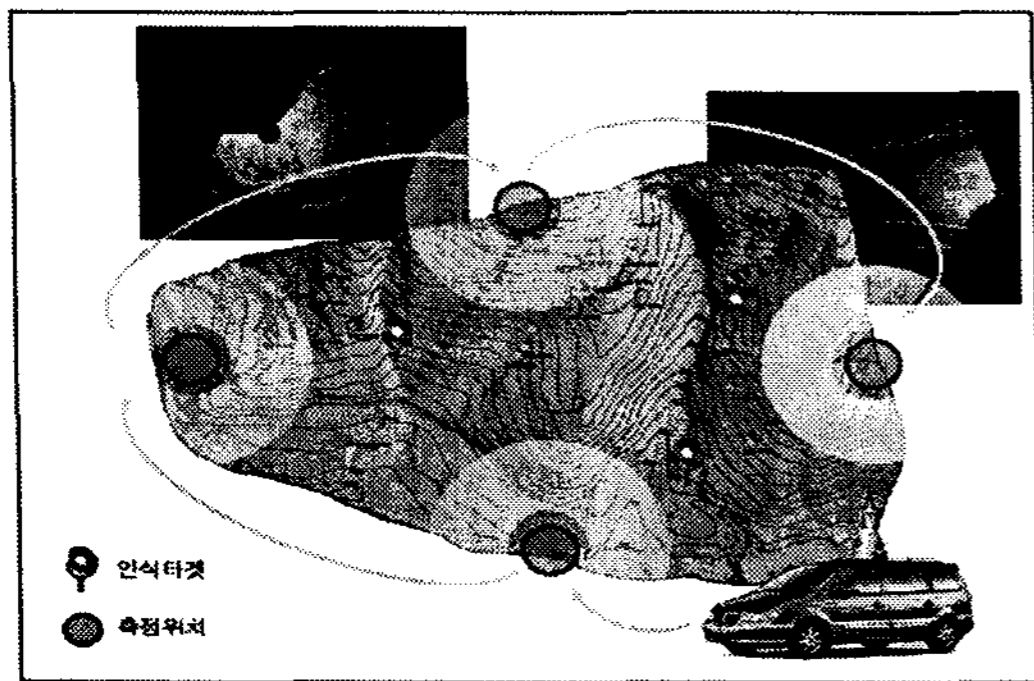


그림 8 글로벌 작업환경 모델링 프로세스

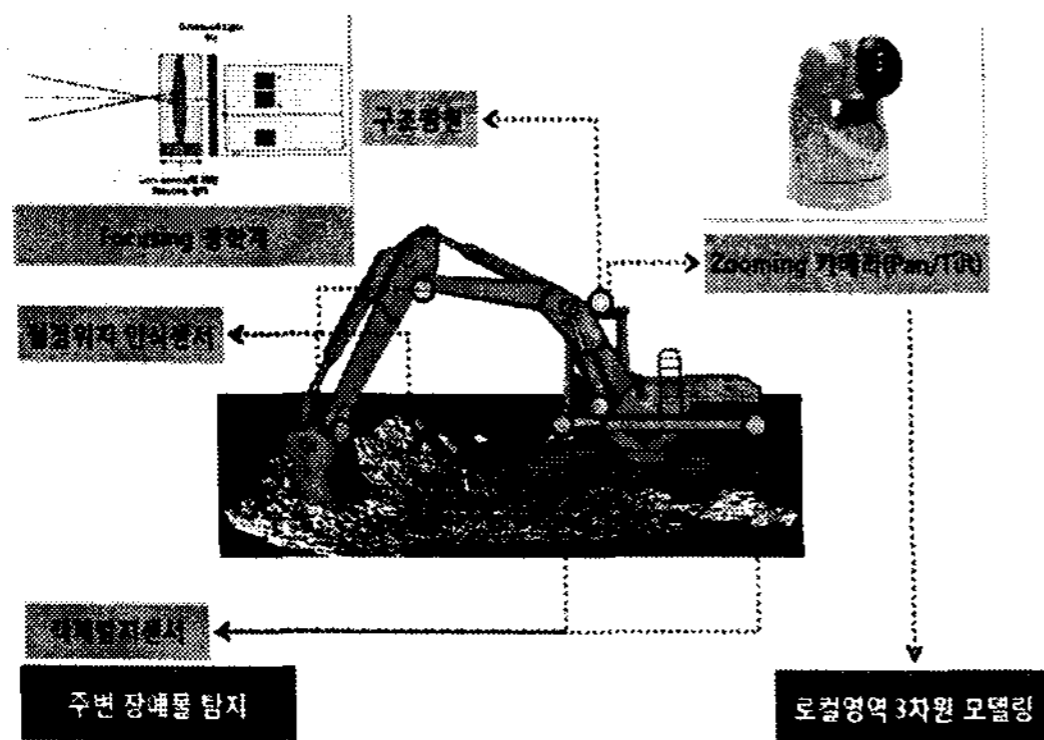


그림 9 로컬영역 3차원 모델링 프로세스

글로벌 및 로컬영역의 모델링을 통해 구축된 3차원 작업환경의 월드모델 및 지형 분석 데이터 파일 등의 정보를 인식하고 판단하여 가상현실 기반의 작업영역 분할, 작업

순차생성, 기준 플랫폼생성 및 플랫폼 간 이동계획을 수립하는 작업계획 시스템을 구축하기 위해서는 숙련된 작업자의 노하우가 반영된 토공작업계획의 의사결정 알고리즘 구축이 필요하며 이를 위해 실제 작업현장의 작업영향요소 조사, 공종별 특성조사 및 조종원 및 관리자의 특성을 파악하여 토공작업의 프로세스 분석을 수행하였다. 그림 10은 Task Planning System에 의해 수립되는 글로벌 영역 및 로컬영역의 작업계획과 로봇 제어 시스템과의 연계를 보여준다.

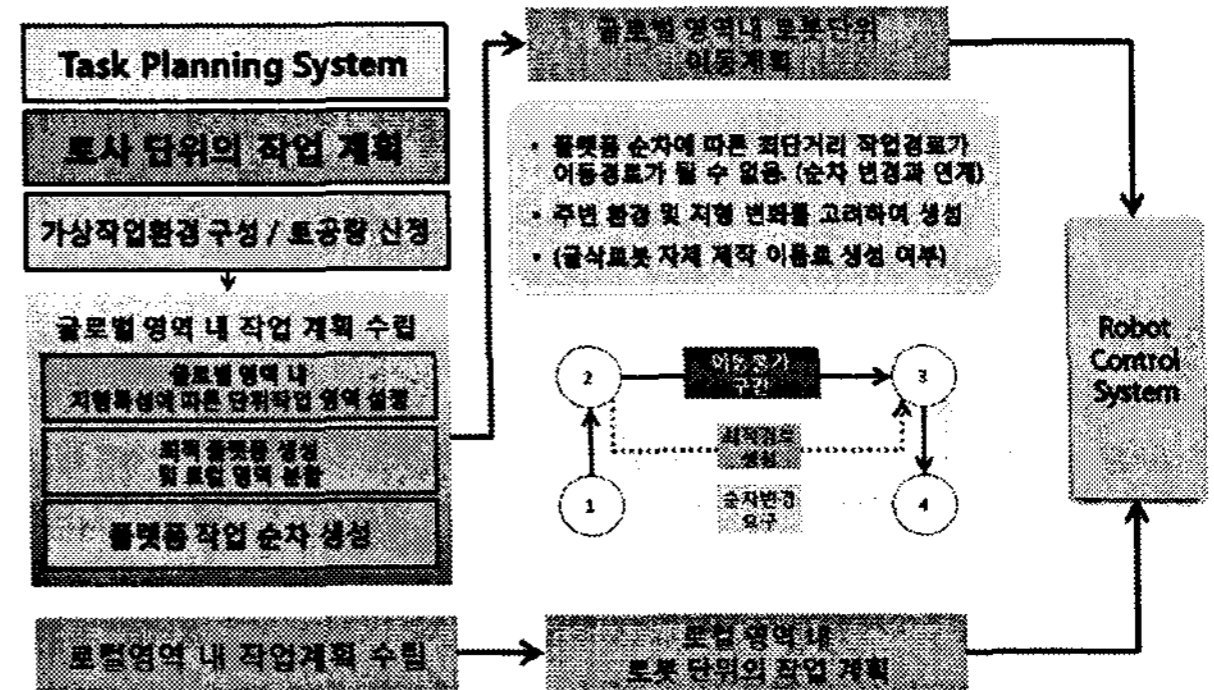


그림 10 Task Planning System 구조

### 3.2 작업환경 인식기반 지능형 제어기술 개발

지능형 Task Planning System에서 수립된 작업계획에 따라 굴삭로봇을 제어하기 위해서는 굴삭로봇 주변의 작업환경 및 지반 특성을 인식하고 작업환경에 적합한 작업을 수행하기 위해 굴삭로봇 매니플레이터의 최적경로를 실시간으로 생성해야한다. 이를 위해 1차 년도에서는 작업환경 인식기반 지능형 제어기술 개발을 위해 그림 11과 같은 연구 추진체계를 구축하여 연구를 진행하였다.



그림 11 작업환경 인식기반 지능형 제어기술 개발 연구추진체계

최적경로 생성 및 힘반향 기술을 기반으로 한 굴삭작업용 로봇 제어기술 개발을 위해서 실제 굴삭기의 3D 모델링 및 Simulator를 통해 Command 메커니즘에 대응하는 굴삭기의 대응동작을 분석하였으며 대응동작에 따른 굴삭로봇의 기구학적 동작 Range 및 기구학 해석을 위한 Parameter 분석을 수행하였다. 그림 12는 굴삭로봇의 기구

학 해석·검증을 위한 굴삭로봇 3D 모델과 굴삭로봇 시뮬레이터를 나타낸 것이다. 굴삭기 매니플레이터의 최적 경로 생성을 위해서 버킷의 체적 구속조건과 토크 구속조건을 적용하여 굴삭 경로를 생성하였으며 숙련된 작업자의 작업 경로를 카메라 모션캡처를 통해 획득하여 숙련자의 작업방식을 모방하여 경로를 수정할 수 있도록 최적경로 생성 알고리즘을 구축하였다.

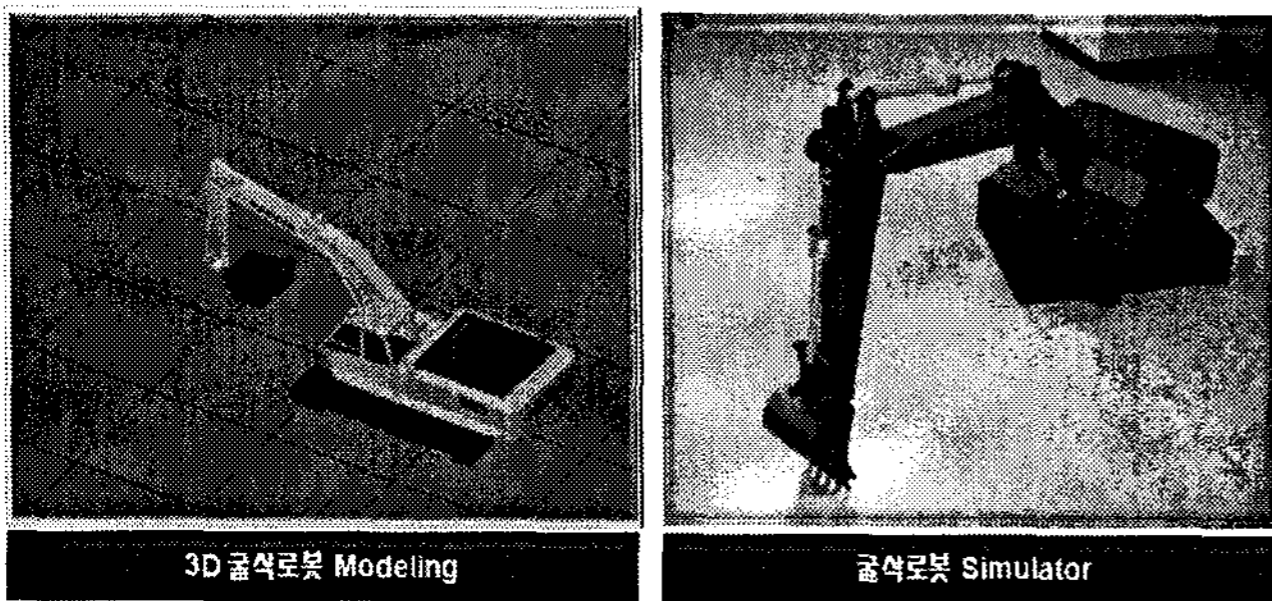


그림 12 굴삭로봇 3D모델 및 굴삭로봇 시뮬레이터

또한 다양한 작업환경에서의 지반 특성별 굴삭경로를 도출하기 위해 지반특성별 자료를 분석하여 지반 특성에 따른 지반 저항력 예측모델을 개발하였다. 그림 13은 굴삭작업 지반 저항력 예측을 위한 단순 Wedge 모델을 나타내고 있다.

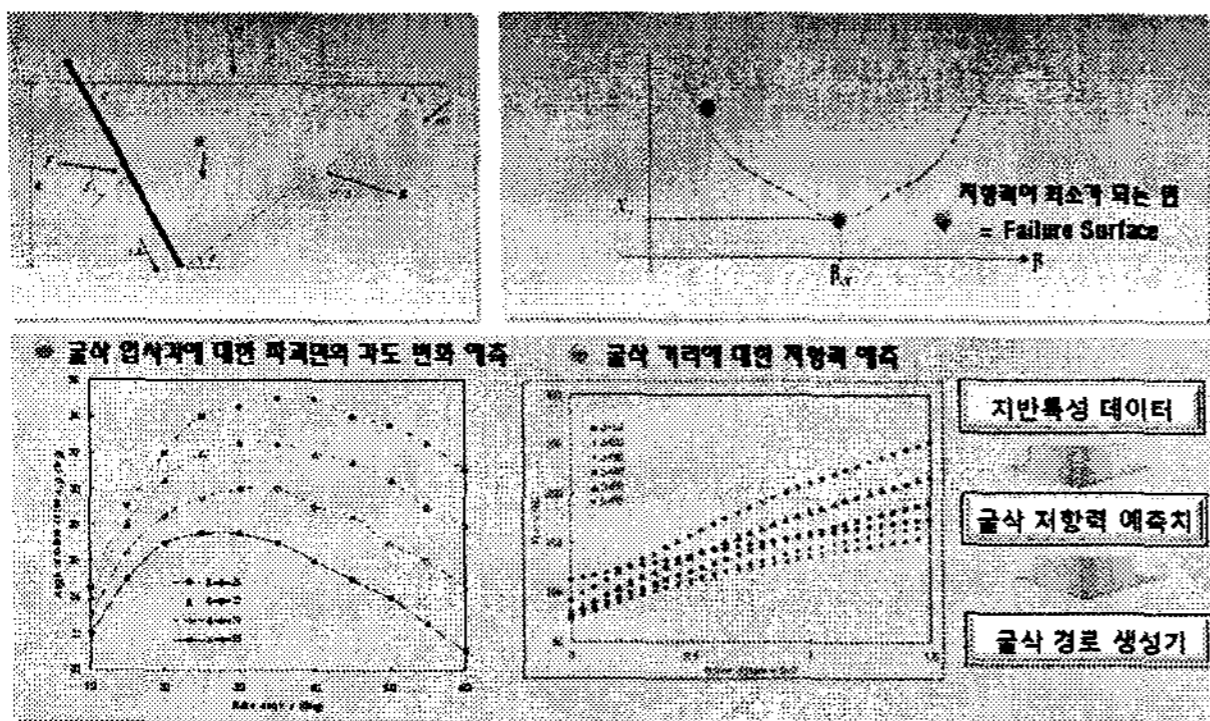


그림 13 굴삭작업 지반저항력 예측을 위한 Wedge모델

굴삭 작업환경 모니터링을 위해서 조작자가 실제 굴삭기 내부에서 조작하는 것과 동일하게 느낄 수 있도록 작업환경 모니터링용 GUI(Graphical User Interface)를 구축하였으며 모니터링 데이터 획득을 위한 모니터링 센서 선정과 플랫폼과의 센싱 인터페이스 기술을 개발하였다. 그림 14는 작업환경 모니터링 GUI를 보여준다.

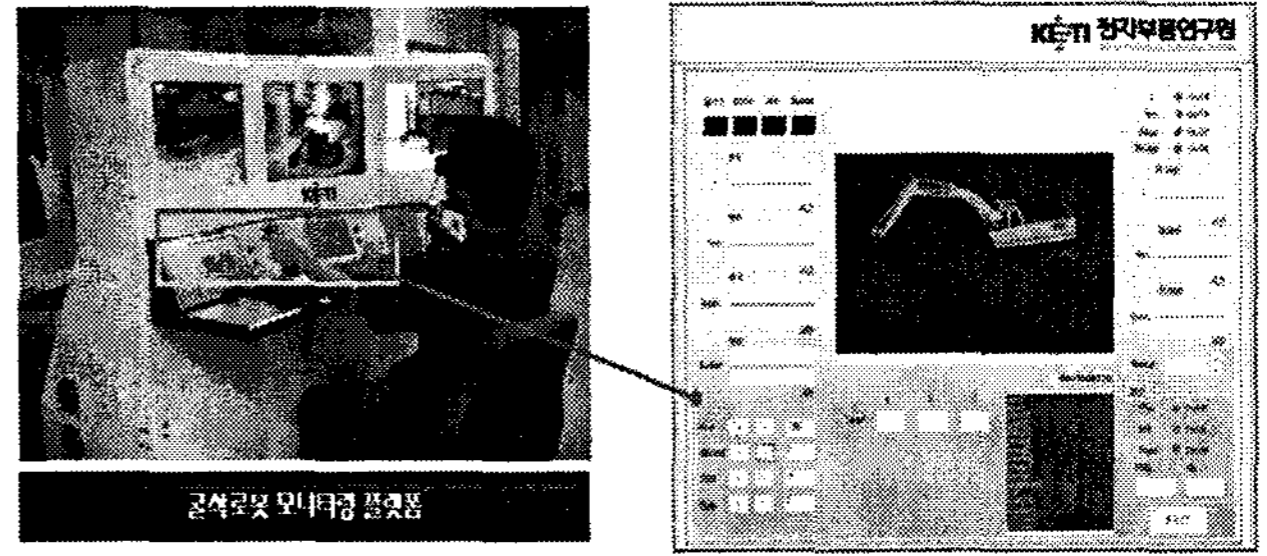


그림 14 작업환경 모니터링 GUI

### 3.3 작업특성을 고려한 지능형 굴삭시스템 개발 및 시스템 통합

굴삭로봇 제어명령에 대한 정확한 추종 제어를 할 수 있도록 굴삭로봇 및 제어시스템을 개발하기 위해서는 전자비례제어밸브를 이용한 제어밸브 시스템 및 유압시스템의 개발과 유압 Actuator에 대한 정확한 위치 제어를 할 수 있는 제어 알고리즘 및 제어기가 구축되어야 한다. 이를 위해 1차년도에서는 지능형 굴삭 로봇의 주 제어기내 CPU Board를 설계하기 위해 우선 CPU Chip의 선정으로 인한 CPU Board 내부 인터페이스 소자들의 구성 및 동작방법 등의 정립이 필요하며 이를 위해 그림 15와 같은 CPU Board의 개념도를 작성하였으며 지능형 굴삭로봇의 주 제어기의 시스템 구성도와 지능형 굴삭 로봇의 사용 환경 및 I/F신호를 고려하여 그에 따른 CPU Chip의 선정 조건을 결정하고 그에 맞는 제품을 선택하여 CPU 보드를 제작하였다.

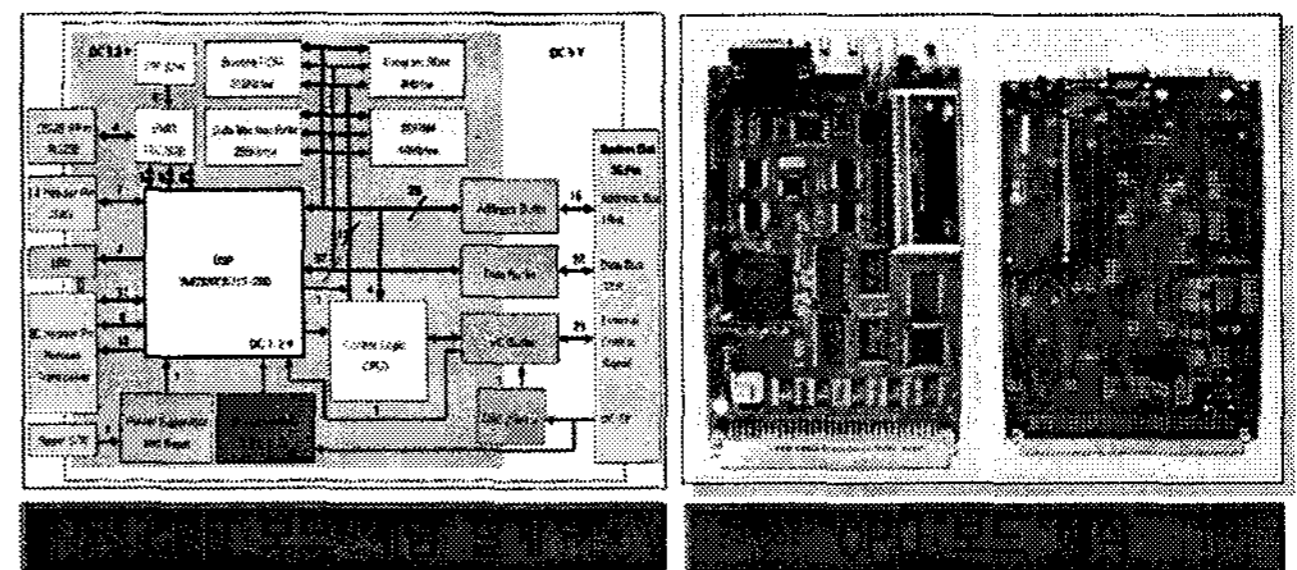


그림 15 주제어기 하드웨어 개념 설계 및 CPU보드 제작

또한 원격제어를 위한 직각형 디바이스 개념설계를 위해서 기존 굴삭기 운전자를 대상으로 한 설문조사를 통해 작업자의 요구사항을 분석한 뒤, 원격제어 디바이스의 기능적 요구사항을 도출하였다. 도출된 기능적 요구사항의 중요도를 산정한 후 개념설계를 위한 주요 설계/제한 인자를 정립하였다. 그림 16은 인터뷰 및 설문조사를 통한 작업자의 needs를 분석한 결과이다. 설문조사를 통해 도출된 기능적 요구사항을 Process mapping과 Cause & Effort Matrix 방법을 사용하여 요구사항의 중요도를 산정하여 직각형 원격제어 디바이스의 개념설계를 수행하였다.

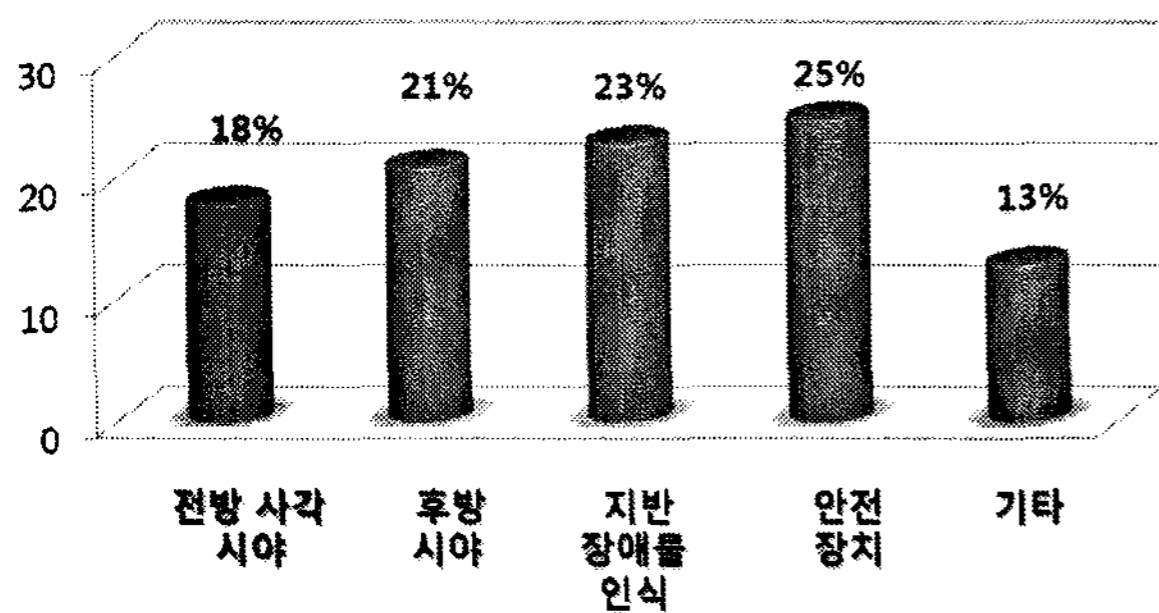


그림 16 작업자의 요구사항

직감형 디바이스는 운용방법에 따라 굴삭기 캐빈과 흡사한 환경에서 굴삭기를 조종하는 ICS 디바이스와 굴삭기 밖에서 조종하는 IOCU 디바이스로 구분되며 본 연구에서는 2가지 원격제어 디바이스에 대한 개념설계를 수행하였다. 그림 17과 18은 ICS 디바이스와 IOCU 디바이스의 개념모델을 나타낸 것이다.

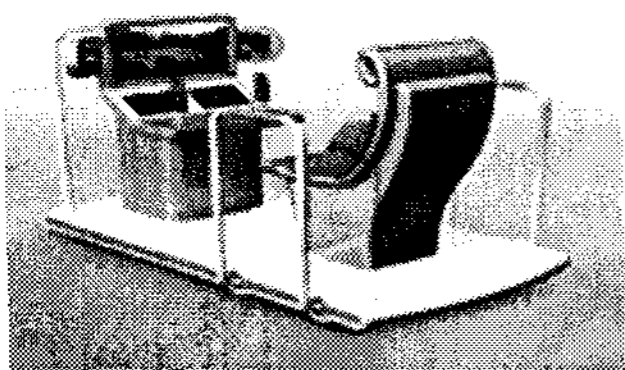


그림 17 ICS 디바이스 개념

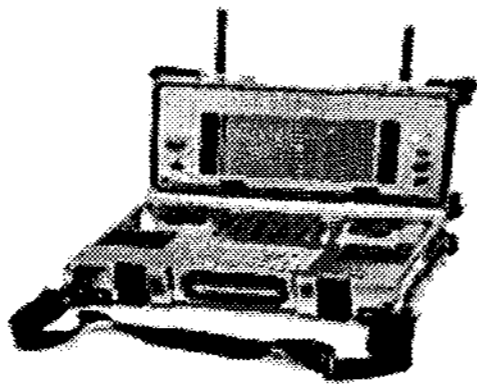


그림 18 IOCU 디바이스 개념

## 4. 차년도 계획 및 기대효과

### 4.1 차년도 계획

지능형 굴삭 시스템 개발을 위해 1차년도 연구로 지능형 굴삭 시스템 개발의 관련연구의 기초조사 및 프로세스 분석을 통한 시스템 개발을 위한 요소기술 도출 및 개념설계를 실시하였으며, 2차 년도에는 도출된 요소기술 및 개념설계를 바탕으로 지능형 굴삭시스템의 요소기술 개발 및 시스템 설계를 수행하여 3차 년도에 개발된 요소기술 간의 통합을 통해 프로토타입을 구축할 예정이다. 4차 년도에는 개발된 기술의 토공작업 유형별 원격조종 테스트를 실시하여 시스템의 문제점 분석 및 개선사항을 도출하여 최종적으로 5차 년도에는 지능형 굴삭 시스템의 자율시스템을 구축할 예정이며, 토공작업 현장에서의 시범적용을 수행하여 개발 시스템의 실용화를 목표로 한다.

### 4.2 최종성과물 기대효과

본 연구단의 최종결과물로 예상되는 지능형 굴삭로봇은 가상현실 환경에 근거한 Task Planning System 개발 및 원격관리 시스템 개발을 통해 작업인력 감소에 의한 공사비 절감과 단순 노동인력 대체를 통한 안전한 작업환경을

확보할 수 있을 것이며, 상차 트럭 및 작업자 등 굴삭로봇 주변 장애물을 탐지하여 안정성을 제고할 것으로 판단된다. 또한 원격조정 굴삭로봇을 개발함으로써 토공 관련 공사, 쓰레기 및 산업폐기물 매립 작업, 비무장지대내의 작업, 원전폐기물 처리 등 유해한 작업환경에서 작업의 안전도 및 품질을 향상시킬 수 있을 것이다.

## 5. 결론

현재 건설산업 현장에서 나타나는 숙련공 부족현상, 고령화, 안전사고 등의 문제로 인한 노무 생산성 저하, 임금상으로 인한 채산성악화, 품질의 균일성 및 안전성 확보의 어려움, 시공기술 경쟁력 약화는 국내 건설산업이 해결해야 할 당면과제이며, 이러한 당면과제의 해결을 위한 기술적 접근방식으로 건설산업의 자동화는 최선의 해결방안으로 볼 수 있다. 특히 매립지 다짐 및 복토공사, 지뢰 및 폭탄 매설장소의 토공작업 등과 같이 위험 혹은 유해한 작업환경에서 운용되는 토공장비의 경우 생산성과 품질을 확보하기 위해 지능화된 자동화 장비가 우선적으로 요구된다. 이에 본 연구에서는 보편적으로 사용되는 토공장비인 굴삭기에 국한하여 장비의 지능형 시스템 개발을 목표로 연구를 진행하였으며, 이러한 목표를 이루기 위해 세부적으로 '지능형 Task Planning System 개발 및 응용', '작업환경 인식기반 지능형 제어기술 개발' 및 '작업특성을 고려한 지능형 굴삭시스템 개발 및 시스템 통합' 등 세 개의 세부과제로 구분하여 요소기술 및 시스템을 개발하도록 하였다. 본 연구단의 세부과제를 통해 도출된 연구결과는 지능형 굴삭 시스템으로 통합되어 최종적인 굴삭 시스템을 구성할 것이며, 통합된 지능형 굴삭시스템은 작업현장의 안전성 제고, 품질 및 생산성 향상을 통하여 국내 건설기술력 향상을 위한 혁신적 변화를 가져올 것으로 예상된다. 또한 자동화 시스템의 개발을 위한 기반 기술인 센싱, GPS 및 레이저를 활용한 측량기술, 원격조정 및 지능제어 기술, 무선 정보통신기술은 도저, 그레이더와 같은 기타 건설장비에도 적용이 용이하여 건설산업 전반에 걸쳐 관련 건설 장비의 자동화 초석 마련 및 건설업 경쟁력 제고에 기여하여 할 수 있을 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 김영석 외, "국내 건설 산업의 건설 자동화 및 로봇틱스 도입방안에 관한 연구", 대한건축학회 논문집 17권2호, 대한건축학회, 2001
2. 장현승 외, "건설공사의 기계화·자동화의 효과 및 확대 방안", 건설산업동향, pp.3, 한국건설산업연구원, 2003
3. Jun Gu(2004). "Proportional-Integral-Plus(PIP) gain scheduling control of an intelligent excavator" IAARC, Robotics for challenging situations and environments; Robotics 2000, 2004, pp.280-285
4. Sanjiv Singsh(1994). "Developing Plans for Robotic Excavators" ASCE, Robotics for challenging environments, 1994, pp. 88-96

5. Seo, J., Haas, C., Sreenivasan, S., and Saidi, S. (2000). "Graphical Control Interface for Construction and Maintenance Equipment", May/Jun., Vol. 126. ASCE Journal of Construction Engrg. and Management.
6. Stone, W. C.(2000). "Automated Earthmoving Status Determination" ASCE, 2000, pp.111-119
7. Tomi Makkonen(2004). "Automation of an excavator based on 3D CAD model and GPS measurement" IAARC, Automation and robotics in construction; ISARC 2004, 2004, pp.268-273

---

### Abstract

Nowadays, the construction industry is suffering from the decrease of labor productivity caused by the lack of skilled workers and the aging labor forces. The hazardous work conditions and safety problems still exist at the construction sites. The earthwork operation is not the exception. The number of skilled earthwork equipment operators has been rapidly reduced and the equipment needs to be operated in dangerous / hazardous work sites. Thus, through the development of intelligent excavating system, Intelligent Excavating System(I.E.S) research team tries to enhance the safety of work environment, productivity, quality, and payability of the earthwork operation. It is also expected that this research contributes to the development of fundamental construction automation technologies and to the creation a new market sector.

**Keyword** : Intelligent Control, Construction Automation, Electro-Hydraulics, Excavator Robot

---