

# 지능형 굴삭시스템 개발 - 2차년도 연구내용 -

## Development of Intelligent Excavating System

- Introduction of research progress -

서종원\*, 김영욱\*\*, 장달식\*\*\*, 이승수\*\*\*\*  
Seo, Jong-Won, Kim, Young-Wook, Jang, Dal-Sik, Lee, Seung-Soo

### 요 약

현재, 전 세계적으로 건설 산업의 문제점으로 인식되고 있는 낮은 생산성, 숙련공 부족, 인력의 부족, 높은 재해율 등을 해결하기 위한 방법으로 낙후된 건설 생산시스템의 첨단 기술화를 위한 건설 자동화연구가 활발히 진행되고 있다. 국내에서도 1980년대부터 건설자동화 연구가 진행되고 있으며 기계화 및 반자동화를 통한 생력화를 위한 연구가 주로 진행되었다. 그러나 최근 IT기술의 비약적 발전과 함께 건설 로봇의 개발에 대한 관심이 집중되고 있으며 2006년 말부터 국토해양부의 건설기술혁신사업의 일환으로 토공사자동화를 위한 지능형 굴삭시스템이 개발되고 있다. 본 논문에서는 지능형 굴삭시스템의 최종 개발 목표와 2차년도 까지 진행된 연구내용에 대하여 소개하고자 한다.

키워드: 건설자동화, 지능형 굴삭 시스템, Task Planning System, 토공사, 굴삭 로봇

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

2006년 대한 상공회의소가 경제협력개발기구(OECD) 자료를 분석한 결과 우리나라의 시간당 노동 생산성은 10.4달러로 OECD 평균인 27달러의 38.6%에 불과한 것으로 조사되었다. 특히 건설업의 경우 타 산업과 달리 일회성 사업의 지속적인 수주를 전제로 하는 고용 구조와 현장 노동자의 대부분이 일용직 근로자로 구성되며 높은 노동 의존성으로 인해 비효율적인 구조를 근본적으로 안고 있는 산업적 특성 때문에 타 산업에 비하여 노동 생산성이 더욱 떨어진다는 점을 감안하면 심각한 수치이다. 게다가 3D 업종으로 인식되어 인력난이 점점 심각해지고 있으며 정부는 이를 해결 하기위하여 외국인 근로자의 도입을 확대 실시하고 있으나 이는 비숙련공을 통한 작업으로 열악한 환경을 대상으로 하는 건설 산업의 특징과 맞물려 건설 산업의 재해

율 또한 떨어질 기미를 보이고 있지 않다. 이러한 문제점의 근본적 원인중 하나는 국내 건설 산업의 생산시스템이 비효율적이고 낙후되어있음을 말해준다. 현재 제조업 분야 등 대부분 산업은 첨단 기술을 활용한 정보화와 지식화 그리고 첨단화를 위한 많은 노력이 경주되고 있으며 이를 통하여 높은 생산성의 향상을 보이고 있다. 예로써 국내 조선 산업의 경우 투자 확대 및 기술 경쟁력 강화 등을 통한 생산성 제고로 1998년 이후 미국의 노동 생산성을 능가하고 현재에도 꾸준히 증가하여 세계 굴지의 자리에 위치하고 있다는 점은 의미하는 바가 크다.

따라서 국내 건설 산업의 문제점을 해결하기위하여 1980년대부터 건설 생산시스템을 첨단 기술화시키기 위한 건설 자동화연구가 활발하게 진행되고 있다. 초기의 연구는 장비를 활용한 기계화 시공 및 기존의 장비에 자동 제어 장치 및 센서를 부착하여 사용자가 더욱 쉽게 작업을 할 수 있도록 부가적인 기능을 부여한 자동화 연구가 대부분 이었다. 그러나 IT기술의 비약적인 발전과 함께 자동화에 대한 지식이 확대 되고 필요성이 더욱 부각 되면서 자동화 로봇 개발에 대한 관심이 집중되고 있으며 현재, 대표적인 예로써 2006년 말부터 국토해양부의 건설기술혁신사업의 일환으로 토공사자동화를 위한 지능형 굴삭시스템이 개발되고 있다.

건설공사는 수많은 공종으로 구성되며, 그 중 토공사는 건설공종 중 대표적인 공종으로서 자연지형에 시설물을 시공하기 위한 기초지반 형성 작업으로 굴착, 신기, 운반, 쌓

\* 중신회원, 한양대학교 토목공학과 부교수

[jseo@hanyang.ac.kr](mailto:jseo@hanyang.ac.kr)

\*\* 비회원, 전자부품연구원 책임연구원

[kimyo@keti.re.kr](mailto:kimyo@keti.re.kr)

\*\*\* 비회원, 두산인프라코어(주) 중앙연구소 부장

[dalsik.jang@doosan.com](mailto:dalsik.jang@doosan.com)

\*\*\*\* 정회원, 한양대학교 토목공학과 석사과정

[rokhonor99@hanmail.net](mailto:rokhonor99@hanmail.net)

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

기, 다지기 등 흙을 대상으로 하는 모든 작업을 말한다. 토공사의 공사비 비중은 매우 커서 전체 공사비의 약 20%정도를 차지하며, 특히 운반 작업의 경우 전체 사업비의 6%, 전체 토공사비의 30%가량을 차지한다(박현용 외 2007). 따라서 건설 산업의 지능형 굴삭시스템 개발을 통한 자동화 토공 로봇의 개발은 건설 산업의 생산성을 크게 향상시킬 것이며 인력난과 유해한 토공 환경으로부터 작업자를 보호할 수 있을 것이다. 다음 그림 1은 지능형 굴삭시스템의 연구개발 필요성 및 기대효과에 대한 그림이다.

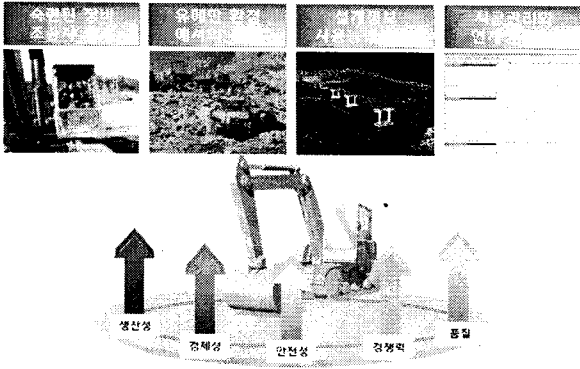


그림 1. 지능형 굴삭시스템 개발의 필요성 및 기대효과

## 1.2 연구의 내용 및 범위

지능형 굴삭시스템 개발은 두산인프라코어(주)의 주관 아래 한양대, 건설기술연구원, 전자부품연구원, 고려대, 인하대 등 총 15개의 산·학·연으로 구성돼 있으며 3개의 세부핵심기술을 기준으로 3개의 세부로 역할을 분담하고 총 5차년의 연구개발 과정을 거쳐 개발을 하게 된다. 지능형 굴삭시스템 개발의 세부 핵심기술 및 추진체계에 대한 내용은 다음 그림 2와 같다.

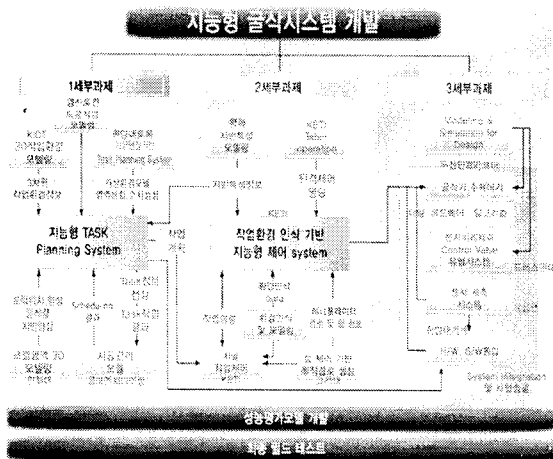


그림 2. 세부 핵심기술 및 연구 추진 체계

현재, 지능형 굴삭시스템 개발은 3차년도 연구가 진행 중이며 2차년도의 연구는 1차년도 연구 내용인 요소기술

분석, 알고리즘 및 구조설계 내용을 바탕으로 시스템 개발이 시작되었으며 4차년도 까지 각 세부 간 긴밀한 기술적 협력을 바탕으로 개발이 지속되며 시스템의 성능 평가 및 보완을 거쳐 5차년도의 연구를 마지막으로 2011년 말에 지능형 굴삭시스템의 개발이 완료될 것이다.

본 논문에서는 지능형 굴삭시스템 개발에 대한 세부과제 별 연구의 목표 및 내용에 대하여 간략하게 정리하고 2차년도 까지 각 세부별로 진행된 연구내용에 대하여 소개하는 것으로 범위를 한정하였다.

## 2. 세부과제별 연구의 목표 및 내용

본 연구개발의 최종 목표는 건설 산업의 주요 공종인 토공사에 대하여 생산성 향상, 인력 및 숙련공의 부족 해결, 유해한 환경으로부터의 작업자 보호 및 품질 향상을 위한 굴삭로봇 기반 첨단 토공자동화 시스템 구축에 있다. 이러한 시스템이 개발되기 위하여 크게 3가지 세부핵심기술이 필요하다. 지능형 Task Planning System 개발 및 응용 기술, 작업환경 인식기반 지능형 제어기술, 작업특성을 고려한 지능형 굴삭시스템 개발 및 시스템 통합 기술이며, 각 기술간 실시간 데이터의 교환과 호환성이 고려되어 개발이 되어야한다. 지능형 굴삭시스템의 연구단은 3가지 세부핵심기술을 기반으로 과제를 분할하여 연구가 진행 중이며 각 세부별 과제의 내용은 다음과 같다.

### 2.1 지능형 Task Planning System 개발 및 응용

지능형 Task Planning System 개발의 최종 목표는 작업 영역에 있어 상황에 따라 변화되는 비정형 지반형상을 주기적으로 맵핑하여 그 결과를 바탕으로 작업의 효율성과 안전성을 기반으로 한 실시간 지능적 작업 계획을 수립하고 작업 후, 계획 도면과 비교·검토함으로써 토공 작업량을 추출 및 품질제어를 실시하여, 안전성 및 생산성을 확보할 수 있는 원천기술을 개발하는 것이다. 다음 그림 3은 Task Planning System을 개발하기 위한 세부요소기술 및 구성에 대한 개요이다.

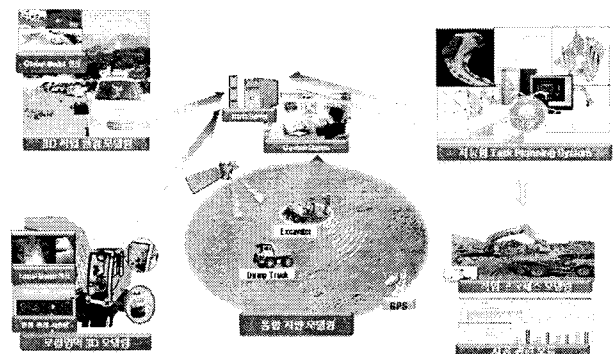


그림 3. Task Planning System 개발 개요

토공작업 시 숙련된 작업자 및 감독관의 휴리스틱스(heuristics)를 모듈 설계에 반영하여 시행착오를 최소화시키고 효율성 및 안전성을 최대한 고려하였으며 최적 토공작업 계획을 수행하도록 기존 토공 작업의 현황 및 특성을 조사하고, 작업 구분 및 작업 영향 요소에 따른 상황별 최적 시나리오를 작성하여 토공 작업 프로세스 모델링을 구축하게 된다.

또한, Task Planning System은 굴삭로봇의 작업계획(task planning) 수립을 위해서 굴삭로봇이 주변 지형을 인식하고, 그에 적합한 작업을 수행하도록 하는 것이 가장 중요하므로, 비정형 지반 형상 인식 기술을 통합한 로컬영역 모델링 기술을 적용하였으며 이 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 작업 실적을 측정하여 계획과 비교 분석하는 한편 성과측정 결과를 바탕으로 토공작업현황을 관리할 수 있는 토공 시공 관리시스템을 구축한다.

## 2.2 작업환경 인식기반 지능형 제어기술

작업환경 인식기반 지능형 제어기술개발의 최종목표는 굴삭로봇의 원격제어 및 자율작업을 위해 센서 integration 및 인식 알고리즘을 통한 굴삭 작업환경을 인식하고, 이를 사용자에게 전달하여, 원격조작자의 조작 편의성을 증대시키며, 굴삭로봇 자체가 자율적으로 작업을 선정하여, 환경인식 센서의 피드백을 이용하여, 환경에 적응하면서 정해진 작업을 인간의 도움 없이 수행하는 굴삭로봇의 개발하는 것이다.

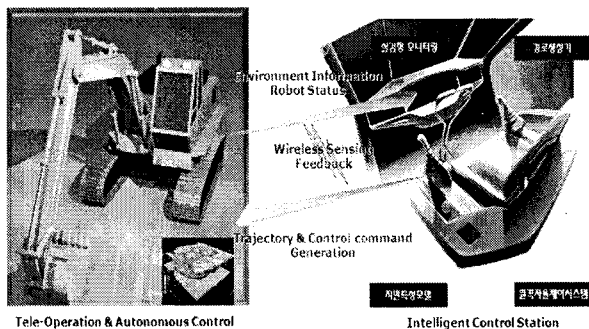


그림 4. 작업환경 인식기반 지능형 제어 기술개발 개요

굴삭로봇의 원격제어 및 자율작업제어를 위해 각 세부

기술의 정립을 통해 개발된 제품의 통합 및 시스템 최적화를 이루고, 개발된 제어시스템을 전자화되어진 굴삭로봇에 적용하며, 현장적용테스트를 통한 디버깅과 현장 신뢰성 향상 기술을 개발하고 있다. 또한 굴삭로봇을 현장에서 응용하여 Soil Properties 분석 기술 및 굴삭시 지반 파괴거동 분석기술과 Soil-Tool Interaction Model 기술을 개발한다. 굴삭로봇에 장착되는 하나의 독립된 기기로서 글로벌 작업 플랜으로부터 지시된 작업을 수행하기위한 굴삭로봇 매니플레이터의 최적경로를 실시간 생성하며, 이는 작업시간, 굴삭기의 수명, 연료절약에 있어서 중요한 역할을 하게 된다. 또한 힘 반향 유연화 모듈의 감시체계에 의해 경고된 경로에 대해서는 새로운 최적 경로를 실시간으로 생성하는 기술을 개발 하고 있다. 굴삭로봇 최적 경로 생성기가 링크되어 가동되고 상호간의 실시간 데이터를 교환 하게 되고. 비상시에 새로운 경로생성을 요구하는 인터럽트를 발생시킬 수 있는 권한을 가지며, 로컬 작업을 감시하는 역할을 하게 된다. 또한 글로벌 작업플랜에 의해 미리 생성된 경로가 실제 현장 작업과 오차가 클 경우, 힘 반향 제어 모듈에 의해 또 다른 최적경로와 유연화 된 경로 생성할 수 있는 기술을 개발하고 있다.

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

작업 특성을 고려한 지능형 굴삭시스템 개발 및 시스템 통합은 굴삭로봇 상위시스템에서 지령된 자세 제어 명령에 대해 정확한 추종제어를 할 수 있도록 하는 굴삭로봇 및 제어시스템을 개발하고 상기의 굴삭로봇 제어 시스템을 개발함에 있어서, 전자비례제어밸브를 이용하여 굴삭로봇 제어밸브시스템 및 유압시스템 개발, 굴삭로봇의 유압 Actuator에 대해 정확한 위치 제어를 할 수 있는 제어 알고리즘 및 제어기 하드웨어를 개발하는 것을 목표로 한다.

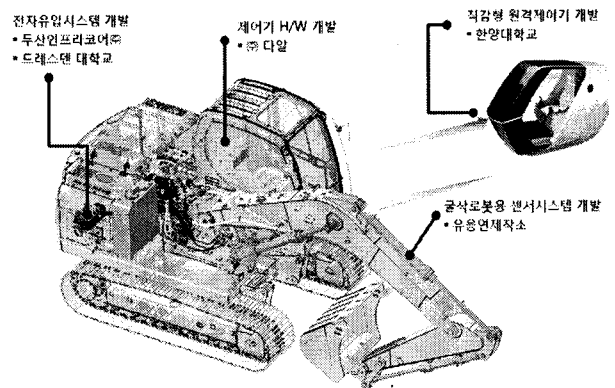


그림 5. 작업환경 인식기반 지능형 제어 기술개발 개요

또한, 각 세부 과제의 연구 결과 및 서브시스템들이 잘 통합될 수 있도록 조정하여, 최종적으로는 RFP에서 요구한 “지능형 굴삭 시스템”의 요건들을 충족하는 굴삭 시스템을 제작/시연하는 것을 목표로 한다.

작업환경 인식기반 지능형 제어기술개발의 최종목표는

굴삭로봇의 원격제어 및 자율작업을 위해 센서 integration 및 인식 알고리즘을 통한 굴삭 작업환경을 인식하고, 이를 사용자에게 전달하여, 원격조작자의 조작 편의성을 증대시키며, 굴삭로봇 자체가 자율적으로 작업을 선정하여, 환경인식 센서의 피드백을 이용하여, 환경에 적응하면서 정해진 작업을 인간의 도움 없이 수행하는 굴삭로봇의 개발이다. 다음으로 굴삭로봇의 원격제어 및 자율작업제어를 위해 다음과 같은 기술개발을 수행하며, 각 세부기술의 정립을 통해 개발된 제품의 통합 및 시스템 최적화를 이루고, 개발된 제어시스템을 전자화되어진 굴삭로봇에 적용하며, 이의 현장 적용테스트를 통한 디버깅과 현장 신뢰성 향상 기술을 개발한다. 또한 굴삭로봇을 현장에서 응용하여 Soil Properties 분석 기술을 개발하고, 굴삭 시 지반 파괴거동 분석기술을 개발하며, Soil-Tool Interaction Model 기술을 개발한다.

굴삭로봇에 장착되는 하나의 독립된 기기로써 글로벌 작업플랜으로부터 지시된 작업을 수행하기 위한 굴삭로봇 매니플레이터의 최적경로를 실시간 생성하며, 이는 작업시간, 굴삭기의 수명, 연료절약에 있어서 중요한 역할을 하게 된다. 또한 힘 반향 유연화 모듈의 감시체계에 의해 경고된 경로에 대해서는 새로운 최적 경로를 실시간으로 생성하는 기술을 개발하면 굴삭로봇 최적 경로 생성기가 링크되어 가동되며 상호간의 실시간 데이터를 교환한다. 또한 비상시에 새로운 경로생성을 요구하는 인터럽트를 발생시킬 수 있는 권한을 가지며, 로컬 작업을 감시하는 역할을 한다. 또한 글로벌 작업플랜에 의해 미리 생성된 경로가 실제 현장 작업과 오차가 클 경우, 힘반향 제어 모듈에 의해 또 다른 최적경로와 유연화 된 경로 생성할 수 있는 기술을 개발하고 있다.

### 3. 2차년도 주요 연구추진 결과

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

지능형굴삭시스템의 획득된 지형 정보로부터 작업계획수립을 위한 지능형 Task Planning System 기술은 센서 데이터에 기초하여 실시간으로 업데이트 되는 실제 작업 상황과 동일한 컴퓨터 내의 가상 작업환경을 바탕으로 하여 최적의 토공작업 계획을 수행할 수 있도록 토공작업 및 감독자의 지식을 부여하는 기술로서 3D 작업환경 모델링 시스템 개발, 로컬영역 3차원 모델링을 통한 공간정보 인식기술 개발, 가상현실 기반 Task Planning System 개발, 성능평가 모델 및 시공관리 모듈 개발, 토공작업 프로세스 모델링 및 현장실험으로 구성 되어있으며 지능형 Task Planning System 개발을 위하여 그림 6과 같은 연구 추진체계를 구축하여 연구를 진행하였다.

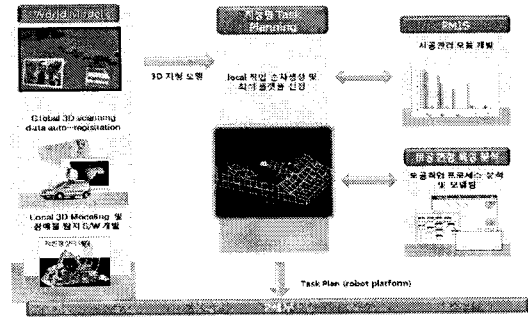


그림 6. 2차년도 1세부 연구 추진체계

작업의 영역은 크게 글로벌 영역과 단위작업영역, 로컬 영역으로 구분할 수 있으며 전체 지형에 대한 전반적 작업 현장 단위를 의미하며, 단위작업영역은 글로벌 영역 분할 모듈을 통해 Global 지형이 레이어로 분할이 되면 해당 레이어에 대하여 작업의 방향성 및 연속성을 고려한 작업 영역을 의미하며, 로컬영역은 굴삭기가 고정되어 한번 위치하여 작업을 하는 규격화된 영역을 말한다.

3D 스캐너를 이용하여 토공 작업환경 전체에 대한 글로벌 스캐닝을 수행하고, 로컬 스캐닝을 수행함으로써 실측에 의한 3차원 가상현실 모델인 월드모델이 구축되게 된다. 이 월드모델의 가상현실 데이터를 기반으로 구체적이고 지능적인 Task Plan을 수립하여 그 다음 단계인 작업환경 인식 기반 지능형 제어기술로 전송된다. 토공작업의 프로세스 모델링을 통해 Task Planning 수립에 기초자료를 제공하며, 토공 시공관리 모듈 개발을 통해 계획데이터와 실적 데이터를 관리하고 지능형 굴삭 시스템의 최종 성능평가 모델을 수립하게 된다. 2차년도 연구에서는 토공현장의 3차원 작업환경 모델링의 개념을 설계하고 framework을 구축하였다. 이를 위하여 3D레이저를 장착한 차량을 제작하고 User Interface를 개발하여 3D Auto Registration 모듈을 개발하였으며 최적의 스캔 지점 탐색을 위한 현장 실험이 수행되었다.

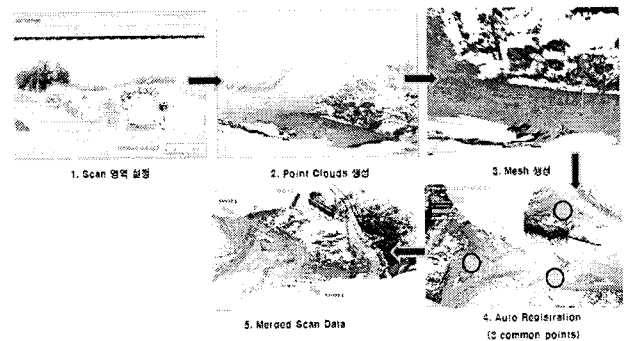


그림 7. 3D Auto Registration 모듈 개발

또한 로컬 영역의 지반형상을 3D로 모델링하여 CAD 도면과의 비교를 통해 토공 작업량을 추출하는 기술과 굴삭 로봇 주변에 접근하는 장애물의 탐지 및 회피를 위한 안전관리 시스템을 개발하였다. 지능형 굴삭 로봇에 스테레오 비전 센서와 레이저 측정 센서를 사용하였고 이 데이터

는 2세부과제의 컨트롤 스테이션으로 전송되어 각각 로컬 3D 모델링 시스템과 안전관리 시스템으로 표현된다.

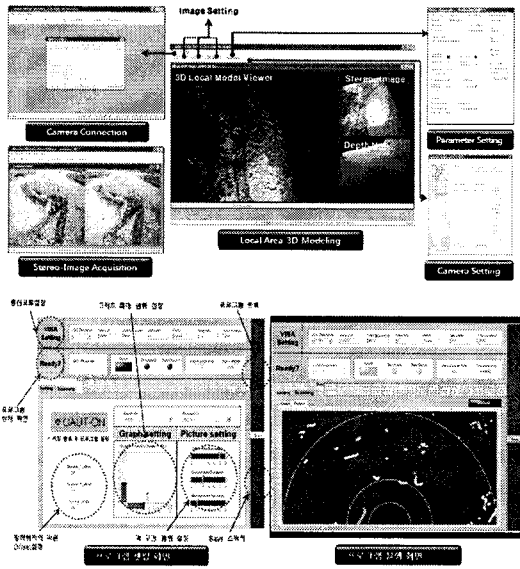


그림 8. 로컬영역 3D 모델링 SW개발 및 고객 참여를 통한 안전관리 시스템 개발

전송받은 월드 모델 및 지형 분석 데이터 파일 등 정보를 인식 하고 판단하여 설계 데이터와 실제 지형 모델과의 비교를 통한 분석 실시 후 토량 배분 계획 수립을 하고 그 내용을 바탕으로 영역 분할 및 순차 생성, 플랫폼 생성, 이동 경로 계획을 수립하였으며 국내외 기술 동향 조사 및 분석을 통하여 핵심 요소 기술을 도출하여 Task Planning System 구조를 설계하였으며 개발 Task Planning System의 구조의 검증에 위하여 Microstation을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 아래 그림 9는 전체지형에 대하여 글로벌 분할, 단위작업영역분할, 로컬영역 분할되는 과정 및 작업 프로세스에 대하여 Microstation을 이용하여 시뮬레이션을 수행하여 검증하는 모습을 보여준다.

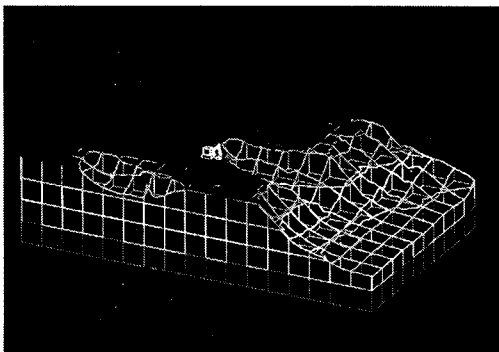


그림 9. Microstation을 이용한 Task Planning System모듈의 검증

영역 분할, 작업순차생성, 최적의 플랫폼 위치선정에 대한 모듈개발과 함께 추가적인 성과로서 개발 모듈과 함께 연동하여 기능을 발휘하는 Task Planning Simulator를 개

발 하였다. 글로벌 센싱 및 로컬 센싱을 통하여 전달 받는 환경인식정보를 통합하여 생성된 월드모델(World Model)을 기반으로 Task Planning System의 각 모듈이 수행되어 작업계획이 생성되는 과정과 수립된 작업계획을 바탕으로 굴삭작업이 실시되는 모습을 VR기반 실시간 모니터링 시스템을 구성하는 시뮬레이터이다. 아래 그림은 전송받은 글로벌영역의 데이터와 로컬영역의 데이터가 어디에 위치하게 되는지 Task Planning Simulator 사용자가 보게 될 모니터링 시스템의 설계 화면을 나타낸다.

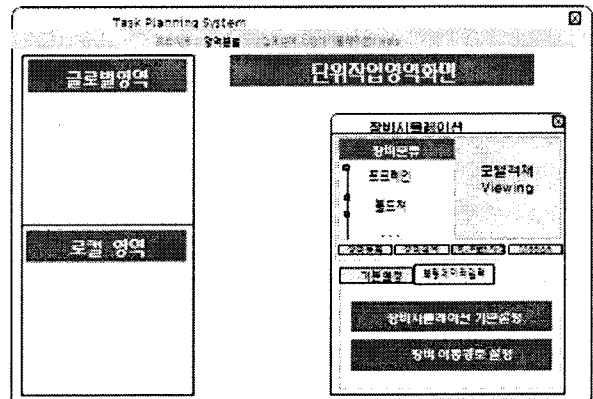


그림 10. Task Planning Simulator의 화면 구성

Task Planning System의 기능 수행 및 시뮬레이션을 통한 모니터링 시스템을 구현하며 실시간 컨트롤 타워와의 연계를 통하여 시공 및 공정관리에 필요한 데이터의 공유를 통하여 정확한 공정을 이행하도록 한다. 장비시뮬레이션은 Task Planning Simulator를 통한 시뮬레이션 과정에 있어서 개발 모듈에 대한 검증을 통하여 작업이 어떻게 이루어지는지 시각화 되는 과정을 나타내어 준다.

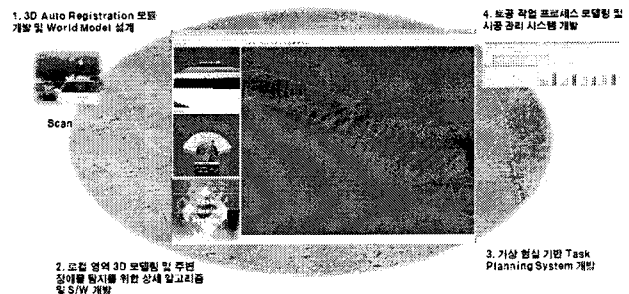


그림 11. 각 데이터를 통합한 Task Planning Simulator의 장비시뮬레이션

### 3.2 작업환경 인식기반 지능형 제어기술 개발

작업환경 인식기반 지능형 제어기술은 유해하거나 위험한 작업환경에서 운용되는 토공작업에서의 장비조종자에 대한 위험 노출정도를 제어하기 위하여 장비 주변을 항상 주시하며 작업을 해야 함에 따라 일어날 수 있는 상황변화에 적절한 대응의 필요로 인하여 변화가 거의 없는 작업

환경에서 미리 정해진 프로그램에 따라 반복적인 작업을 수행 할 수 없으므로 상황변화에 능동적으로 대처할 수 있도록 하는 기술이다. 이를 위해 2차년도에서는 다음 그림 12와 같은 연구 추진 체계를 구성하여 작업환경 인식기반 지능형 제어기술의 연구개발을 진행하였다.



그림 12.. 작업환경 인식기반 지능형 제어기술 개발의 연구추진체계

2차년도의 작업환경 인식기반 지능형 제어기술의 연구는 굴삭작업의 로봇틱 제어 기술과 굴삭제어용 환경인식 기술, 최적경로 생성 기술 그리고 힘반향 제어 기술을 기반으로 하여 Tele-Operate되거나 자동화되는 굴삭로봇의 환경정보와 운용상태정보를 무선 센싱 피드백 커뮤니케이션을 통하여 지능형 컨트롤 스테이션으로 전송하게 되며 이때, 컨트롤 스테이션 내부에서는 실감형 모니터링, 경로생성기, 지반특성모델링, 그리고 원격자율시스템이 이루어지게 되며 이러한 굴삭 궤도/제어 명령 생성 데이터가 다시 굴삭로봇으로 전송된다.

장애물 회피 모델 개발 및 기초 굴삭 이론 기반 구축을 연구 목표로 삼아 토양 내외의 장애물 회피/제거 알고리즘을 개발하고 이를 통합한 장애물 회피 통합 알고리즘과 Soil Wedge의 파괴거동 최적화연구를 진행하였다. 이를 위하여 환경 인식 센서 데이터 수집 및 각종 인터페이스 보드 개발 함으로서 환경정보인식용 sensor interface 기술을 개발하였다. 개발과정은 그림 13과 같다.

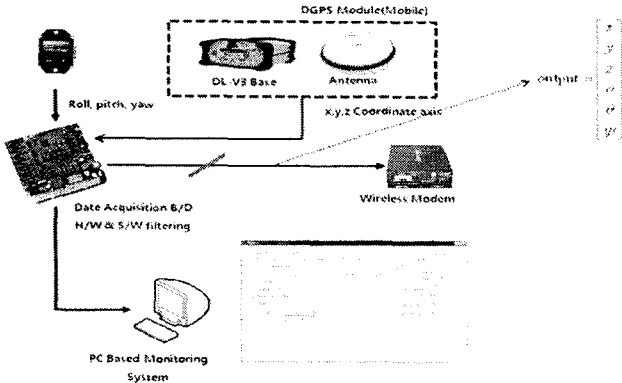


그림 13. 환경정보인식용 Sensor Interface 기술개발

굴삭로봇 Attribute 추정을 위한 센싱 모듈 개발을 위하여 굴삭 로봇 자세 연동 테스트와 방수 테스트를 실시하여 Attribute 추정 GUI(Graphic user Interface)를 개발하였다. 이를 위하여 굴삭로봇 Attribute 추정 센서를 검토 선정하고 센서 신호처리 알고리즘을 개발 및 B/D를 설계 하였으며 무선 송수신 시스템 하드웨어 선정 및 굴삭 로봇 Attribute 추정을 위한 다중 센서 interface 통합 신호처리 B/D를 개발하고 다중 센서 데이터 무선 네트워크 송수신 시스템과 장애물 회피 알고리즘 개발을 완료하였다. 개발 과정은 그림 14와 같다.

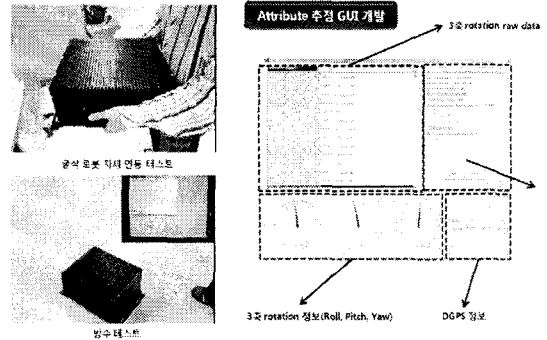


그림 14. 굴삭로봇 Attribute 추정을 위한 센싱 모듈 개발 과정

장비조종자가 실제 굴삭기 내부에서 조작하는 것과 동일한 조작감을 가질 수 있게 하기 위하여 실제 굴삭기로부터의 조종석을 바탕으로 굴삭로봇 원격제어 및 자율제어용 control station의 개념설계 및 모델링을 수행하였다. 해당 control station은 서버급 컴퓨터 3대와 입체영상 모니터 1기, 모노영상 모니터2기를 탑재하였고 DC배터리로 인한 동작이 가능하며 AC전원으로의 작업 실행 가능 및 충전기능을 갖추었으며 고성능 필드용 무선 모뎀을 탑재한다.

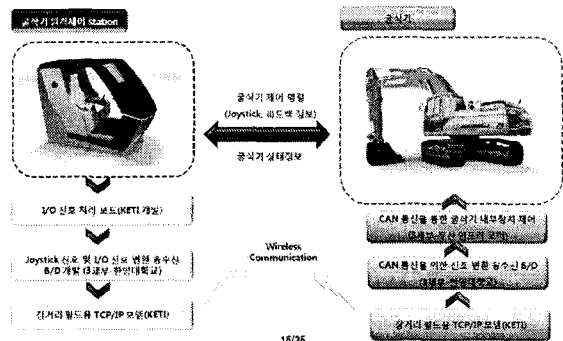


그림 15. 굴삭로봇 원격제어 및 자율제어용 control station 관련 개념설계

굴삭기의 순기구학, 붐과 암의 조인트 이동범위를 만족하고 장애물회피를 가능하게 하는 회기뉴럴 네트워크 이론을 적용한 장애물 회피 알고리즘을 개발하였다. 이는 장애물과 굴삭기간의 최소거리 측정을 통하여 위험 상황을 감

지하고 장애물을 회피함과 동시에 연속적인 굴삭작업을 하는 것을 목적으로 한다. 또한 조인트 구속조건을 부여하여 해의 범위 구속을 통해 singularity 문제를 해결하고 실린더의 이동 범위에 따른 제약을 통한 굴삭기 오작동 방지를 목적으로 한다. 그림 16은 회기뉴럴 네트워크 이론을 적용한 장애물 회피 알고리즘의 시뮬레이션을 통한 검증을 나타낸다.

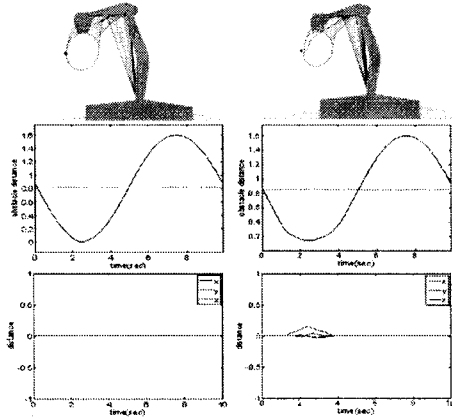


그림 16. 시뮬레이션을 통한 장애물 회피 알고리즘 검증

### 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 전자유압 시스템의 개발과 유압 Actuator에 대한 정확한 위치제어를 할 수 있는 제어 알고리즘 및 제어기가 구축되어야 한다. 이를 위해 2차년도에서는 지능형 굴삭 로봇의 전자유압 시스템 개발을 위해 전기신호로 펌프의 토출 유량을 제어하는 전자펌프와 전기신호로 컨트롤 밸브의 유량 분배를 제어하는 전자컨트롤 밸브를 제작 하였다.

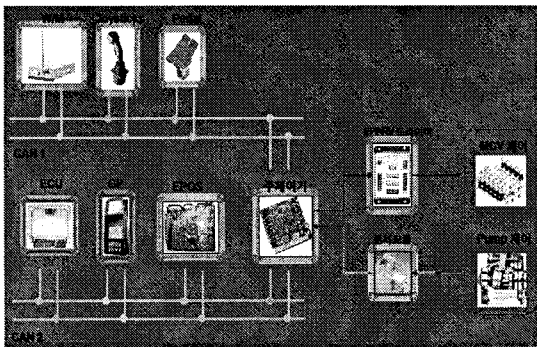


그림 17. 컨트롤러의 구성

또한 전자유압 시스템 컨트롤러의 구성요소를 제작하였다. 전자유압 시스템 컨트롤러는 작업자가 원하는 굴삭기

의 작업형태지령을 수신하는 W/M, Joysticks, Pedal(CAN1)과 굴삭기의 상태정보를 수신하는 장치인 EPOS(CAN2), 이 상태정보를 표시하는 장치인 GP(CAN2) 그리고 작업자가 원하는 작업을 굴삭기가 수행 가능하도록 제어하는 MCV, Pump제어장치로 구성되어 있다. 엔진과 펌프간 마력을 매칭해 주는 마력 제어시스템인 EPOS는 엔진 출력을 최대로 활용하고 엔진의 stall을 방지하는 역할을 하며 작업 모드에 따른 엔진 출력을 조종하고 펌프 소요 마력을 EPPRV로 제어한다. 주제어기는 외부 디바이스와 CPU간 Digital신호의 송수신이 가능하도록 신호를 저장 및 변환하고 외부 센서로부터 입력되어 오는 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하여 CPU에 전달하며, CAN 통신라인에 접속되어 있는 다른 모듈과의 통신, CPU가 외부장치를 구동할 수 있도록 디지털 신호를 아날로그로 신호로 변환하는 역할을 한다. 주제어기의 CPU는 MCV Spool과 Pump 사판각과 굴삭기의 Position을 제어하는 기능을 한다. 이와 함께 전자펌프 및 컨트롤 밸브에 장착된 센서의 신호 컨디셔너인 전자유압 시스템 센서모듈과 PWM신호의 Dither Freq 및 Amplitude를 수동 조절하는 EPPRV 구동 드라이버 모듈을 제작하였다.

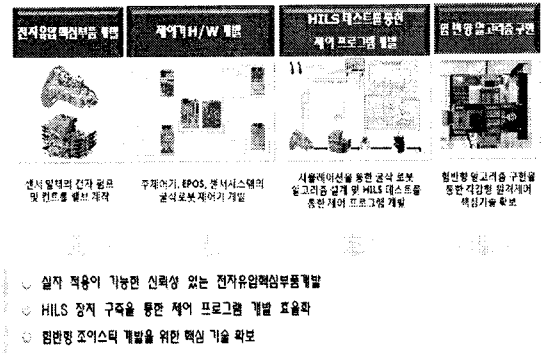


그림 18. 굴삭로봇용 핵심 HW/SW개발

그리고 전자유압 시스템 구동 알고리즘과 위치제어 알고리즘을 개발하여 굴삭 로봇 제어기 소프트웨어인 제어 로직 시험 프로그램(LabVIEW)과 제어기 하드웨어인 I/O 및 CAN보드와 1차 주제어기의 프로토타입을 개발하였다.

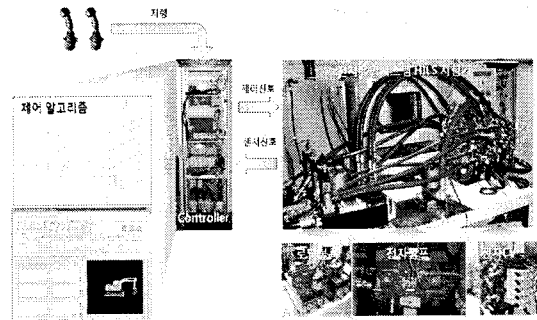


그림 19. 굴삭로봇용 전자 유압 시스템 개발 및 HILS테스트

전자유압 시스템 HILS(Hardware In the Loop Simulation)테스트를 통해 전자유압 시스템 굴삭기에 장착하지 않고 유압벤치에서 시뮬레이션 구축으로 작업환경을 실시간 구현하여 전자유압시스템의 하드웨어 및 소프트웨어개발의 시행착오를 최소화 하였으며, 굴삭기의 원격 제어시 보다 직감적으로 구현하기 위해 노면 반력 및 땅 속의 반력에 대한 힘 반향 알고리즘을 활용한 D.O.F 실험 장치를 개발하였다. 이는 주변 장애물과 접촉이 일어나는 경우 환경의 특성에 따라 작업자가 느끼는 반력(접촉력)의 크기를 비교하는 목적을 가지고 있다.

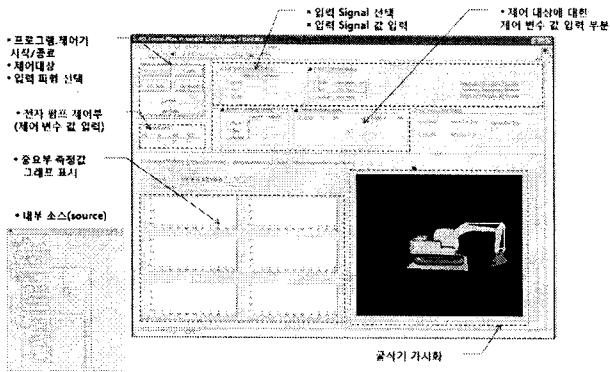


그림 20. 제어로직 시험 프로그램 개발

직감형 원격제어 알고리즘 및 무선통신 모듈의 개발을 위하여 전자유압 굴삭기를 제어하기 위한 원격 스테이션과의 연계 및 통신 지연 문제를 최소화 하는 시스템으로 각각의 제어 유닛에 CAN 통신 모듈을 달아 안정성을 높이고 각각의 기능에 대해 모듈화를 하였다. 다음 그림은 무선통신 모듈 하드웨어 개발로 전체 시스템 구성을 나타내고 있다. 다음 차년도와 연계하여 다양한 목적을 가지는 무선통신 모듈을 개발 진행 중에 있으며 현재 무선 통신 모듈에 전문가 시스템을 추후 도입하여 보다 지능적인 통신 모듈 S/W를 개발할 예정이다.

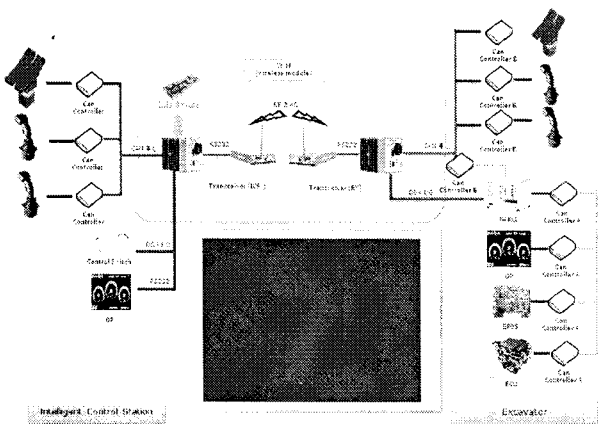


그림 21. 무선통신 모듈 하드웨어의 시스템 구성

개발된 기술의 토공작업 유형별 원격조종 테스트를 실시

하여 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. 결론

현재 건설산업 현장에서 나타나는 숙련공 부족현상, 고령화, 안전사고 등의 문제로 인한 노무 생산성 저하, 임금상승으로 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. 서종원 외(2007), "지능형 굴삭시스템 개발 -연구단 소개-", 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 한국건설관리학회, PP. 197-204
2. 장현승 외, "건설공사의 기계화·자동화의 효과 및 확대방안", 건설산업동향, pp.3, 한국건설산업연구원, 2003
3. Jun Gu(2004). "Proportional-Integral-Plus(PI) 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

Recently, one of the solutions for the problems of construction industry such as low productivity, lack of experts, insufficiency of manpower, high percentage of calamity and so forth, construction automation which let underdeveloped construction production system be a ultramodern technology is under research. Internal study of construction automation has been initiated since 1980s focusing on robotics and semi-automation for reduction of labor. Therefore development of construction robots is being concentrated with the high development of information technology and Intelligent Excavating System(IES) project had been launched by ministry of land, transportation, and maritime affairs as one way of construction technology revolution business. This study introduces the final goal and the research progress until second year of IES.

**Keyword :** Automation in construction, Intelligent Excavating System, Task Planning System, earth work, Excavating robot

---