



# THEME 03

## 최신 IT 기반 지능형 굴착 시스템의 개발 현황

장 달 식 | 두산인프라코어 기술본부 상무 | e-mail : dalsik.jang@doosan.com

이 글에서는 두산인프라코어(주)를 중심으로 15개 국내외 기관이 참여하여 토목 및 전자 그리고 기계기술의 융합을 통해 개발한 세계 최초의 지능형 무인 굴착 시스템을 소개하고자 한다.

사람들은 꿈을 꾸었다, 컴퓨터에 명령어를 입력하고 해외로 여행을 떠나 한 동안의 휴가를 즐긴 뒤 돌아오면 지능을 가진 건설장비가 정해진 공간에서 토목 설계안대로 공사를 완료해 줄 수 있는 시스템을! 물론 기계산업의 경우 무인공장이 실현된 지가 이미 오래되었지만, 토목의 경우 이를 실현한다는 것은 시기를 알 수 없는 먼 미래의 이야기로 알고 있었다.

그러나 건설 현장 노동인력의 고령화와 이 분야 작업자들의 시공 기술력의 부족 그리고 안전에 대한 사회적 인식의 강화 등이 전자화를 통한 자동화와 효율화를 요구하게 되었는데, 세계적으로 선도하고 있는 IT 기술을 기반으로 로봇 기술과 토목기술의 융합이 이를 가능하게 하였다.

### 세 가지 기술 분야의 연구과제

본 연구의 시작은 기계 전공자들의 미래형 로봇굴착기에 대한 의지보다, 토목 전공자들의 토목기술에 첨단기술들을 접목하고자 하는 열망에서 시작되었다. “막노동”으로 오해를 받고 있는 토목 현장에도 이미 많은 첨단기술이 들어와 있고, 이를 좀 더 체계적으로 다른 분야 즉 전자와 기계분야의 전문가들과 협업에 의한 새로운 장을 여는 것이 요구되고 있다. 그 첫 번째 것은 “3D 객체 인식기술 개발 및 전체적인 모델 (World Model) 통합 프로그램 개발”이다.

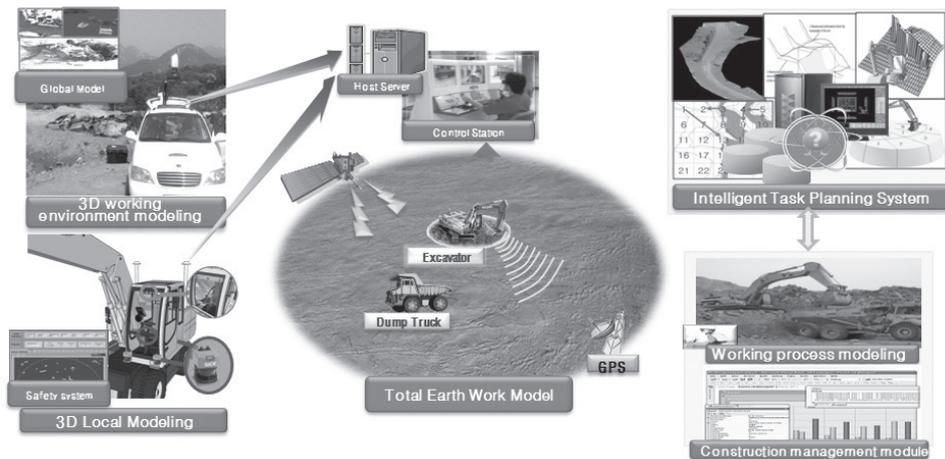


그림 1 첫 번째 그룹인 토목기술 그룹의 업무

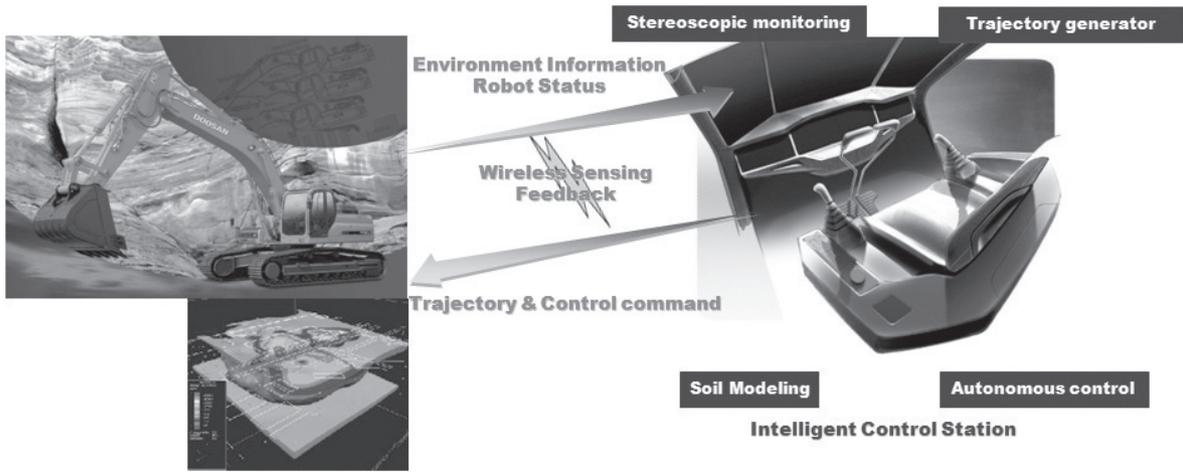


그림 2 두 번째 그룹인 제어기술 그룹의 업무

이동 차량에 설치된 레이저 스캐너가 촬영한 이미  
지로부터 3차원의 데이터를 추출하고, 여러 개의 조합  
을 통하여 전체적인 모델을 만드는 프로그램의 개발  
이다.

이 전체적인 모델을 기본으로 하고 굴착기의 작업  
에 따라 변경되는 국부적인 변화를 컴퓨터가 인식하  
여 처리하는 ‘로컬영역의 작업량 산출을 위한 알고리  
즘 및 S/W 개발’이 두 번째 과제가 된다. 이외에도 굴  
착로봇 주변 로컬영역의 전 방위 장애물 테스트와 로  
컬 영역 3차원 모델링 및 장애물 탐지를 위한 H/W 구  
축 및 시스템 통합 등 장애물관련 과제가 있으며, 가상  
현실 기반 작업 계획 시스템(Task Planning System)  
개발을 통해 공사비용 추정 및 최적의 작업방법을 도  
출할 수 있다. 여기서 도출된 최적 경로를 근간으로  
하여 로봇 굴착기의 거시적 작업지령이 만들어지면  
다음부터는 로봇 제어를 전문으로 하는 전자제어 기  
술전문가 집단이 상세한 굴착기 액츄에이터의 제어명  
령을 만들어낸다.

이 두 번째 그룹의 주요 임무는 ‘지능형 굴착로봇  
원격제어 기술 개발’이다. 일차적으로 굴착기의 모든  
정보는 스테이션의 컴퓨터와 공유가 되며 이를 통해

로봇 굴착기의 모든 정보가 무선 통신망을 통해 주 컴  
퓨터에 전달된다. 계획된 작업이 수행된 이후 차이가  
발생할 경우, 이 데이터를 사용하여 가상공간에서 수  
정된 명령이 주어지게 된다. 기본적으로 스테이션은  
원격제어가 가능한 시스템으로 구성되어 있다. 가상  
터미널을 통해 굴착기 안에서 작업자가 볼 수 있는 이  
미지를 동일하게 인식할 수 있다. 하지만 굴착기의 진  
동이나 움직임은 전달되지 않고 정보만 전달된다. 여  
기서 전달되지 않는 것들을 시뮬레이터 개발을 통해  
재현을 시켰다. 이 시뮬레이터를 부천에 있는 전자부  
품연구소에 설치하고 인터넷을 통해 한양대학교 안산  
캠퍼스에 있는 로봇 굴착기를 연결시켜 원거리 원격  
작업 수행이 가능함을 입증하였다.

세 번째 그룹은 기계기술 전문가 집단으로 두산인  
프라코어가 주축이 되어 기술개발이 진행되었다. 이  
그룹의 주요 미션은 지능형 굴착로봇 본체 및 시스템  
을 제작하고 주어진 작업 지령에 추종하여 무인굴착  
을 실현하는 것이다. 현재 인프라코어에서 양산 중인  
굴착기의 경우 대부분 유압 조이스틱에서 생성되는  
신호압력이 메인 컨트롤밸브의 스프링을 밀고 이 동작  
에서 생성되는 신호압이 펌프를 제어하는 소위

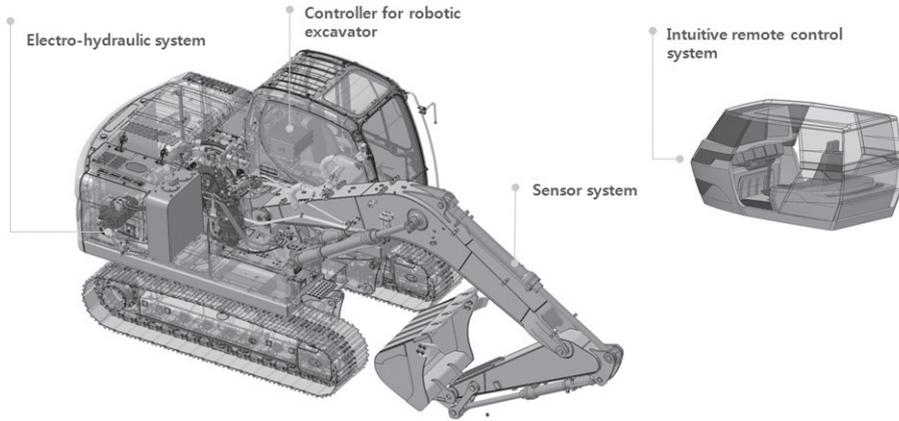


그림 3 세 번째 그룹인 기계기술 그룹의 업무

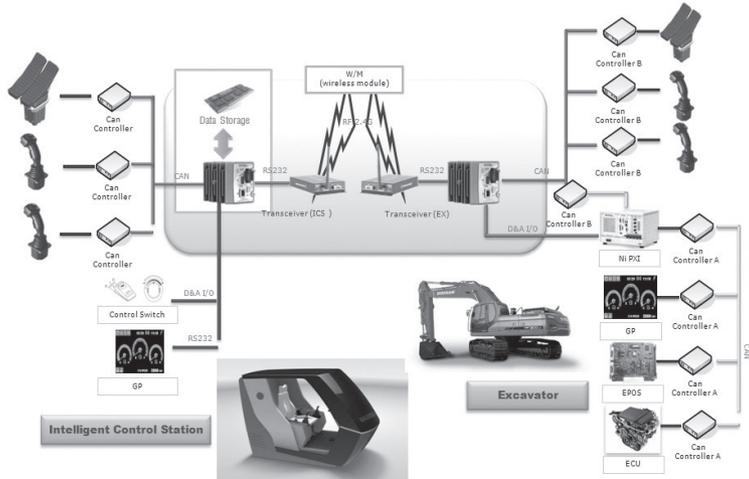


그림 4 원격제어 시스템

NFC(Negative Flow Control) 방식이 주종을 이루고 있다. 전자제어가 가능한 로봇 굴착기를 만들기 위해 기존의 유압식 굴착기에 각종의 전자와 유압 인터페이스와 센서 그리고 컨트롤러가 장착되었다. 먼저 유압 조이스틱은 홀 효과 방식의 무한 수명을 보장하는 센서가 장착된 전자식 조이스틱으로 대체되었고, 여기서 생성되는 신호 전압을 메인 컨트롤러가 읽어 펌프와 컨트롤밸브에 지령할 명령을 생성한다. 이 전기의 신호를 유압신호로 변환시켜주는 핵심부품이 전자 비례감압밸브이다. 이것은 마치 전자에서 보면 신호 발생기(Function Generator)와 같은 역할을 하는, 다

시 말해 유압신호 발생기이다. 이 부품을 통해 작업자의 명령에 따라 요구되는 액츄에이터가 작동되기 위해 해당하는 밸브를 열어주고 펌프에서 요구되는 유량을 토출시키게 한다. 각 액츄에이터에는 센서가 달려있고 차량 자체에는 위치를 알려주는 DGPS 센서와 자세를 알려주는 자이로센서가 장착되어 있다.

로봇 굴착기 즉 지능형 굴착기를 만들기 위해서는 다음 세 단계로 진행된다. 첫째 전자화된 유인(有人) 장비이다. 기존의 기계-유압시스템을 전자로 변경하여 성능을 확인하는 단계이다. 여기서 굴착기에 요구되는 기본속도 및 작업성은 물론 감각적인 성능까지 튜닝이 된다. 이 단계가 검증

되면 원격제어 굴착기를 개발한다. 원격 굴착기는 스테이션에 굴착기와 동일한 환경을 만들어 주고 작업자는 마치 굴착기에 있는 것처럼 느끼게 한다. 물론 시간지연과 진동 및 자세의 피드백이 없어 완벽하게 재현이 안 되고 효율도 80% 정도로 떨어진다. 그러나 이런 단점에도 불구하고 위험한 장소의 작업이나 자동 작업에 의한 기술개선을 총 작업 효율을 높일 수 있다.

자동화는 기술도 중요하지만 강건하면서도 가격이 저렴한 센서의 개발이 그 실용화를 좌우한다고 볼 수 있다.

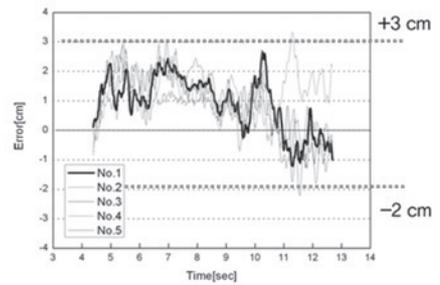
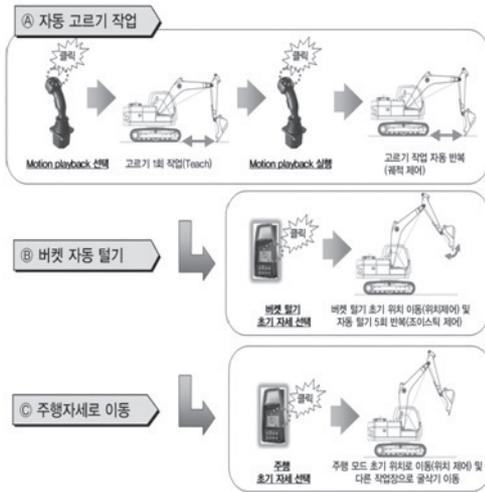


그림 5 상용화가 가능한 실용적인 기술 모듈들

### 개발 기술의 의미

본 연구과제는 100억 원 이상의 국비에 이를 상회하는 민간 비용이 투입된 꿈의 프로젝트였다. 특히 두산인프라코어를 주관사로 하여 건설기계평가원, 전자부품연구원, 한양대학교, 고려대학교, 경희대학교, 서울과학기술대학교, 인하대학교, 독일 드레스덴대학교 등의 기관과 유웅연, 동서컨트롤, 영신디엔씨, 용마엔지니어링 토목, 전자, 기계, IT 등 다양한 전문가 집단이 참여한 일획을 긋는 과제였다.

본 프로젝트를 통하여 다양한 기술발전이 이루어졌다.

첫째 토목기술 분야를 보면, 3차원 레이저 스캐너를 이용하여 토공 현장의 장애물을 인식하는 기술을 보면 이는 레이저 스캐닝 기술의 수준을 한 단계 업그레이드 할 수 있는 것인데 이는 최근의 핫 이슈 분야이다. 작업자의 현장경험을 바탕으로 한 휴리스틱스 지

능형 작업 계획 시스템(Task Planning System)의 개발을 통하여 현실적인 토공 작업 자동화 계획 시스템을 개발하였다. 또한 지능형 작업 계획 시스템의 최적 경로생성 알고리즘은 타 분야에서 최적의 작업경로 탐색을 위한 시제품(Prototype)을 제공할 수 있게 되었다. 로컬영역 3D 모델링과 글로벌 영역 3D 모델링의 통합을 통한 전체 모델(World Model) 맵을 생성하는 시스템은 세계 최초로 시도된 분야이다.

둘째 전자 제어 분야는 상업용 굴착기를 원격으로 조종할 수 있는 원격제어 굴착 시스템에 직접적으로 이용이 가능한 시스템을 개발하였으며, 자동 시공 현장에서 토공 작업을 무인화 굴착 시스템으로써 적용이 가능할 것으로 예상된다. 또한 굴착기의 힘반향 제어기술을 이용하여 효율적인 원격/자율 굴착작업 기술로 활용이 예상되고 있다.

셋째 기계 분야의 결과는 먼저 부품의 개발이다. 차량장착용 고밀집형(Compact) 제어가 개발되었고,

직감형 힘반향 조이스틱이 개발되었으며 컨트롤러의 H/W 설계 및 제작 기술이 확보되었다. 제어 측면에서는 굴착기 제어신호 및 모니터링과 신호 무선 통신 기술이 개발되었고 에너지 효율을 높이는 운용 프로그램이 개발되었다. 차량으로 보면 고효율의 전자유압굴착기가 개발되었는데 이는 토목과 전자 기술 통합을 통한 굴착로봇 본체 개발을 의미한다.

### 앞으로의 연구 방향

그러나 본 과제에서 개발된 장비의 가격이 아직 시장에서 수용하기에는 큰 벽이 존재한다. 이 장비가 시

**인간의 꿈을 실현하기 위해 토목과 전자제어 그리고 기계기술이 융합되어 지능을 가진 굴착시스템을 개발함으로써 세계 최초로 꿈의 굴착기를 실현했으며 이를 통해 다양한 부가적인 기술이 개발되었다.**

장에 진입하기 위한 가격 합리화의 노력도 필요하지만, 개발된 기술의 부분적인 응용이 이 시점에서는 현명한 선택이다. 단순하게 전자화가 된 굴착기는 매우 손쉽게 원격제어가 가능하다. 사람이 컨트롤러를 메고 가까운 거리에서 작동하는 것이 가능하고, 화상 통신 시스템을

추가하면 원격 작업도 가능하다. 여기에 각 액츄에터에 센서를 붙이게 되면, 소위 “티이치 앤 플레이백 (Teach & Playback)” 이 가능해진다. 본 이러한 개발 기술과 경험을 기반으로 하여 실용적인 기술 모듈이 적용되어 공사현장에서 환경과 인간을 보호하며 작업 성능이 우수한 전자화된 건설장비의 개발이 진행되고 있다.



### 기계용어해설

#### 고장력강(High Strength Steel)

탄소량을 0.2% 이하로 하여 용접성이 좋고, 니켈, 몰리브덴, 크롬, 바나듐 등을 미량 첨가하여 항장력을 강하게 한 것.

#### 플라스마 추진(Plasma Propulsion)

플라스마를 대전압이 걸린 전극간에 방전시켜 에너지를 발생시키고, 동시에 자장을 작용시켜 이를 가속화하여 그 반동으로 추력을 얻는 로켓 엔진.

#### 베링본(Berringbone)

관이나 가닥으로 되어 있는 소재에서 압연 방향으로 일정 각도를 이루고, 광택이 있는 부분과 없는 부분이 서로 엇갈리게 되어 그 조합이 나타내는 모양.

#### 버니어 엔진(Vernier Engine)

장거리 탄도 미사일의 최종단계 추진 로켓이 다 타고 난 후 속도를 조정함과 동시에 진로 오차를 정확히 수정하기 위한 보조 로켓엔진.

#### 라우에 반점(Laue's Spot)

단결정의 작은 조각에 금속판의 세공을 통한 연속 X선을 비쳤을 때, 수cm 떨어진 위치의 사진건판 위에 나타나는 흑점.

#### 인출선(引出線(Leader Line))

제도에서 치수, 기호, 가공법 등을 그림으로 나타내기 위하여 해당 장소에서 수평 방향으로 60° 정도 경사선 직선.