

# 지능형 굴삭시스템 개발: 직감형 원격제어 시스템 개념설계

## Introduction to the Intelligent Excavating System: Concept design of Intuitive Operator Control Unit

유 병 갑\* · 이 승 열\*\* · 이 상 호\*\*\* · 유 석 종\* · 유 보 현\*\*\*\* · 장 준 현\*\*\*\*\* · 한 창 수\*\*\*\*\*

Yu, Byung-Gab · Lee, Seung-Yeol · Lee, Sang-Ho · Yu, Seok-Jong · Yu, Bo-Hyun · Jang, June-Hyun · Han, Chang-Soo

---

### ABSTRACT

Civil engineering construction work has always been accompanied by a high proportion of tasks that are either dangerous or unpleasant or both. Enhancing the general working environment and boosting safety levels are critical issues for the industry. In addition to that, the industry has been slow to utilize automation & robot technology, and there is substantial scope for the use of technology to boost efficiency, cut costs and improve quality levels in construction.

In a bid to address this issue, Ministry of Construction & Transportation launched a five-year project in 2006 entitled Development of Intelligent Excavating System. The aim of the project is to use telecommunications and robotics technology to minimize inefficiencies and eliminate the dangerous and unpleasant aspects of the construction process through the development of specific applications such as IT-equipped construction machinery and advanced construction management systems.

In this paper, the project introduces on the research and development content related to multi-disciplinary, a intuitive operator control unit(Robot Technology) included.

**Keywords:** *Automation & Robot technology, Intelligent Excavating System, Intuitive Operator Control Unit.*

---

### 1. 서 론

일반적으로 건축/토목공사는 현장성, 복잡성, 가변성 등의 특성상 항상 위험이 내재되어 있는 힘든 작업으로 고용대비 높은 재해율을 보이는 산업이다. 또한 최근 국내시장의 개방으로 기술력을 바탕으로 한 교부가 가치 창출이 업계의 경쟁력 확보를 위한 지상 목표라 할 수 있다. 그러나 전통적으로 3D업종으로 인식되어

---

\* 학생회원 · 한양대학교 기계공학과 석사과정 Email: rainz@hotmail.com, redmoo80@hotmail.com

\*\* 한양대학교 기계공학과 박사과정 Email: suprasy@paran.com

\*\*\* 한양대학교 메카트로닉스공학과 박사과정 Email: empas@hanyang.ac.kr

\*\*\*\* 한양대학교 메카트로닉스공학과 석사과정 Email: zzigee@hanyang.ac.kr

\*\*\*\*\* 두산인프라코어(주) 중앙연구소 상무 Email: junehyun.jang@doosan.com

\*\*\*\*\* 정희원 · 한양대학교 기계공학과 교수 Email: cshan@hanyang.ac.kr

은 건설 산업은 최근 젊은 기능 인력의 기피현상이 심화되어 숙련된 기능 인력의 확보가 더욱 힘들어지고 있는 현실이다(심규범, 2002). 이러한 숙련공 부족 문제(고령화 포함), 안전상의 문제로 인한 노무 생산성 저하, 임금 상승으로 인한 채산성 악화, 품질의 균일성 확보 및 시공기술 경쟁력 약화는 국내 건설 산업이 해결해야 할 필수 당면과제이다(김영식 등, 2001; 장현승과 우성권, 2003).

이 문제를 해결하기 위한 방안 중에 하나로 건설교통부의 '첨단융합건설기술개발사업'은 건설기술에 IT, BT, NT 등 첨단기술을 융·복합하여 고부가 가치의 차세대 건설기술을 창출하고 건설기술 경쟁력의 우위를 확보하기 위해 추진되었다. 이 사업의 일환으로 본 지능형 굴삭시스템 연구단(The Research group of Intelligent Excavating System, <http://www.ies.or.kr>)은 '첨단기술과 건설기술의 융합, 다학제적 공동연구 및 고부가 가치 신기술 개발'의 3대 추진방향과 '다학제형 융합기술개발 체계구축'의 전략을 가지고 2006년 12월 28일에 출범되었다. 또한 본 연구단은 연구 총괄인 두산 인프라코어(주)를 중심으로 대학(7개 기관), 연구소(2개 기관), 산업체(6개 기관)로 구성된 산·학·연 컨소시엄으로 이루어져 연구협력 프로세스의 효율화를 추구한다. 본 연구단에서 제안하는 '지능형 굴삭 시스템 개발'은 앞에서 언급된 국내 건설 산업의 문제점을 해결하기 위한 최선의 기술적 접근 방법 중에 하나이다. 즉, 토공작업을 효율적으로 자동화 할 수 있는 방안으로서 토공을 위한 설계정보와 지반에 대한 형상정보, 장비의 실시간 위치 자동 인식, 굴삭시스템의 지능화와 직감형 원격 제어 및 자율제어기능을 포함한 지능형 굴삭시스템을 개발할 예정이다.

본 논문에서는 지능형 굴삭시스템을 개발하기 위해 구성된 다학제형 세부 연구내용을 소개하고자 한다. 특히 저자들과 관련된 '직감형 원격제어 시스템'은 작업자와 지능형 굴삭시스템의 원활한 상호작용을 가능하게 하는 MMI(Man Machine Interface)의 통합기술로서, 작업정보를 원거리의 작업자가 직감하여 현장 상황 변화에 적절히 대처할 수 있는 로봇기술(RT)의 한 분야이다.

## 2. 지능형 굴삭시스템 연구단

본 연구단은 건설, 기계, 전자 등 다양한 분야의 연구진으로 구성된 다학제적 연구체계를 기반으로 한 산·학·연 컨소시엄을 구성하여 각 분야별 자료 및 정보 공유와 개발 기술의 신속한 현장 적용이 가능하다. 또한, 여러 분야의 관련자들이 참여한 포럼운동을 통해 그들의 지식과 정보를 연구에 반영함과 동시에 국제 공동연구를 계획에 따라 추진하여 해외시장에 적합한 연구가 될 수 있는 기반을 구축한다.

다음은 연구단에 소속되어 있는 각 세부별로 연구내용을 소개한다.

### 2.1. 제1세부의 연구

현재 토공사는 장비 운전자가 경험 및 직관에 의해 시공하고 있으므로, 눈으로 보이는 공간을 로봇에게 인지시키기 위해 시뮬레이션에서 실제 공간과 동일한 3D 공간으로 표현하는 작업이 불가피하다. 따라서 제1세부 연구에서는 센싱 및 레이저 스캐닝 등의 기술을 통하여 비정형 지반의 형상을 팽평하여 3D Model을 구축하고, 굴삭로봇 주변 장애물을 탐지하여 안전성을 제고하기 위한 시스템의 알고리즘과 프로그램의 개발을 목적으로 한다. 또한 굴삭기 자동화를 위하여 반드시 필요한 기술들을 도입, 응용, 개발하여 국내에서 사용가능하며 현실적으로 기업에게 사업성을 제공하는 자동화 장비를 개발한다. 뿐만 아니라 작업자의 직관에 의한 토공작업 공정은 작업의 생산성과 품질의 저하를 가져올 수 있으므로 토공작업 계획은 단위작업 단계(장비 운전자의 활동 레벨)까지 세분화하고, 지능형 Task Planning System과의 연계를 통하여 토공작업 자동화에 적용 가능한 작업 프로세스 모델링 개발을 함으로써 충분한 작업 계획 수립 능력을 갖추도록 한다. 끝으로 최종단계에서는 전체 개발 시스템의 현장 테스트를 통해 생산성 및 품질을 측정함으로써 토공 현장

적용성을 평가한다.

개발된 지능형 Task Planning System은 타 세부과제의 H/W 및 S/W와 연계하여 토공 작업용 지능형 굴삭 로봇에 적용가능한 자동화 및 지능화 기술을 개발을 도모하며, 가상현실 환경 기반 Task Planning System 개발은 실험실 실험 및 현장 적용 실험을 통해 해당 기술의 성공적 개발 및 적용 사례를 제시한다.



그림 1 제1세부 연구내용

## 2.2. 제2세부의 연구

오늘날 건설로봇(Kangari, 1991; Cusack, 1994; Hiller, 1996; Lee et al., 2006)과 같은 필드로봇 분야에서는 원격제어의 필요성이 증대되어 재난구조로봇, 위험작업로봇, 원자력로봇 등의 분야에서 원천기술 확보가 이루어지고 있으며(Farritor et al., 2001; Hollingum, 1999; Lee et al., 2007), 보다 편리하고 정밀도를 증대시킬 수 있는 구조적/제어적 기술개발이 이루어지고 있다. 따라서 굴삭기의 자동화 및 지능화기술은 토공작업에 있어서 작업의 효율성 및 안전성을 위하여 개발 필요성이 높은 분야이며, 제2세부 연구를 통해 토공작업용 지능형 굴삭시스템에 적합한 기술로 개발된다. 제2세부 연구의 목표는 원격지의 오퍼레이터의 제한된 환경정보 파악에 도움이 되는 센서 퓨전에 의한 가공된 작업환경정보를 제공하여 보다 정확한 지능형 굴삭 로봇의 제어가 가능하도록 하고, 굴삭 로봇에 자율적 환경과약능력을 부가하여 신속한 자율응답이 가능하게 한다.



그림 2 제2세부 연구내용

또한, 굴삭로봇 최적 경로생성기 개발에서 최적 경로 생성기는 자동 굴삭을 할 때 굴삭의 시간적 단축을 가능하게 하고 굴삭기 운전 숙련자와 동일한 능률의 성능을 발휘하게 한다. 모듈화된 최적경로생성 장치는 굴삭의 진동과 먼지에 영향을 받지 않도록 캡슐화 되어야 하고, 각 제어기들과 네트워크로 연결되어 상호간의 고장을 모니터링 하고 오동작에 대한 위험요소들을 제어한다.

### 2.3. 제3세부의 연구

지능형 굴삭시스템은 굴삭기를 지능화, 로봇화하는것으로 굴삭기 동력전달 시스템인 유압시스템의 제어성 향상을 위해 전자비례제어밸브를 사용하여 위치제어 페루프를 구성해야 하므로 전자비례제어 유압시스템 및 유압 액추에이터의 제어 알고리즘 개발을 최종 목표로 한다. 굴삭시스템 본체에 장착되는 주제어기는 기존 굴삭기의 제어장치들과의 연동에 문제가 없어야 하며, 무선통신 모듈, 센서신호 처리모듈, 전자비례제어밸브 구동 모듈들을 구성한다. 또한 이들과의 인터페이스에도 문제가 없는 상태에서 제어 알고리즘을 원활하게 연산 처리할 수 있는 능력이 필요하다. 실제 장비에 장착될 각종 Unit, 센서 계측 시스템 등은 필드 테스트를 통해 필드 환경에 적합한 시스템으로 개선된다. 그리고 로봇의 지능화를 위해 원격지의 오퍼레이터에게 제한된 환경정보 파악에 도움이 되는 실감정보를 제공하여 보다 정확한 로봇 제어가 가능하도록 하고, 로봇에 자율적 환경파악능력을 부가하여 신속한 자율응답이 가능한 직감형 원격제어시스템을 구축한다. 이 시스템에 대해 다음 장에서 자세히 언급하도록 한다.



그림 3 제3세부 연구내용

## 3. 직감형 원격제어시스템 개발

직감형 원격제어시스템(IOCUIntuitive Operator Control Unit)은 제3세부 연구내용 중 굴삭시스템의 H/W, S/W 통합기술 개발에 속한다. 본 연구의 기술개발 요소는 크게 2가지로 나뉜다. 첫 번째 요소는 굴삭시스템의 자동화 기술개발 부분으로 불확실한 환경에서 효율적인 원격제어가 가능한 조작부의 제어기술 개발이다. 두 번째 요소는 로봇의 지능화 기술개발 부분으로 원격지의 작업자의 제한된 환경정보 파악에 도움이 되는 실감정보를 제공하여 보다 정확하고 신속한 굴삭시스템 제어가 가능하게 하는 기술이다. 굴삭기의 캐빈(cabin) 안에서 조종하던 작업자가 원격지에서도 이와 비슷한 환경에서 굴삭기를 제어하기 위한 IOCUI의 구성요소는 다음과 같다. 우선 작업현장의 시각정보를 작업자에게 전달할 수 있는 모니터링 장치가 필요하다.

두 번째로 IOCU에서 작업자의 작업에 관련된 명령을 입력하는 장치가 필요하고, 세 번째로 토공작업 중에 굴삭기의 버킷(bucket)이 지면과 접촉했을 때 발생하는 반력을 IOCU에서 작업자가 감지할 수 있는 장치가 필요하다. 끝으로 작업현장에서의 굴삭기와 원격지의 IOCU 간의 양방향 통신장치가 필요하다. 그림 4는 IOCU의 구성과 신호의 흐름을 나타낸다.

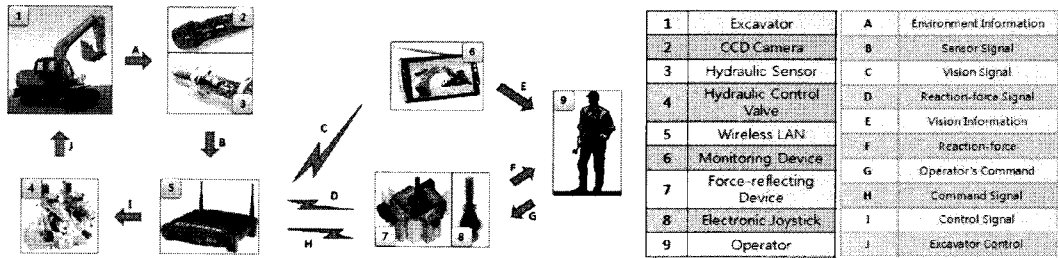


그림 4 직감형 원격제어시스템의 개념도

그림에서 보듯이 같이 먼저 작업자는 굴삭기의 외부 환경 정보를 IOCU의 모니터링 장치와 반력을 감지할 수 있는 조작기를 통해서 작업 환경을 인지하며, 여기에 필요한 신호들은 무선통신 모듈을 통해 실시간으로 전달된다. 이 정보를 수렴한 작업자는 IOCU의 조작기를 통해 작업명령을 역시 무선통신 모듈을 통해 굴삭시스템의 메인 컨트롤 유닛으로 전달된다. 여기서 작업자가 감지된 반력은 굴삭기에서 생성된 센서신호가 굴삭시스템의 메인 컨트롤 유닛 및 무선 통신 모듈을 차례로 거쳐 IOCU에 전달되어 힘반향 조작기(Force-reflecting device)를 통해 생성된다.

원격에서 굴삭시스템을 제어할 때는 크게 버킷을 목표지점으로 이동시키는 작업과 지면과 접촉하면서 실제 굴삭이 이루어지는 작업으로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 전자의 경우를 자유공간(free space) 상의 운동이라 정의하고, 후자의 경우를 제한조건(constrained condition) 상의 운동이라 정의한다(Lee et al., 2007). 자유공간 상의 운동은 기존의 작업방법과 동일하게 반력 없이 작업자의 작업명령을 굴삭시스템에 전달한다. 하지만 제한조건 상의 운동은(버킷이 지면과 접촉했을 때) 작업자가 IOCU의 조작기에 전달한 작업명령(힘)과 굴삭시스템으로부터 발생하는 반력을 고려한 굴삭시스템 액츄에이터의 속도제어가 수행된다. 이때 작업자와 대상체의 물성치를 고려한 임피던스(impedance) 및 컴플라이언스(compliance) 제어를 적용하여 굴삭시스템의 과부하로부터 시스템을 보호하며 원하는 작업경로를 따라 정확한 굴삭작업을 수행할 수 있다.

#### 4. 결론

본 지능형 굴삭시스템 연구단은 현재 건설/토목현장에서 나타나는 숙련공 부족 현상, 고령화 문제, 안전상의 문제 등을 해결하고, 건설기술과 첨단기술을 융합하여 새로운 기술분야 및 시장을 창출하고자 건설교통부로부터 위탁받은 첨단융합건설기술개발사업을 2006년부터 시행하고 있다. 지능형 굴삭시스템을 개발하기 위해 필요한 세부 핵심기술은 다음과 같이 크게 세 가지로 나눌 수 있으며, 각 세부기술들은 서로 유기적으로 결합된다.

- 1) 작업환경 인식기술 및 지능형 Task Planning System 기술
- 2) 작업환경 인식기반 굴삭시스템 제어기술
- 3) 유압시스템의 전자제어기반 굴삭시스템 본체 개발 및 시스템 통합기술

특히, 제3세부 연구내용 중 직감형 원격제어시스템 기술은 굴삭시스템의 H/W, S/W 통합기술의 일환으로 작업자와 지능형 굴삭시스템의 원활한 상호작용을 가능하게 하는 MMI의 통합기술이다. 즉, 작업환경으로부터 수용된 작업정보를 원거리의 작업자가 직감하여 현장 상황변화에 적절히 대처할 수 있는 직감형 원격제어장비와 제어알고리즘의 통합기술을 지칭한다.

본 연구단에서 제안된 지능형 굴삭시스템 개발을 통해 얻을 수 있는 기대효과는 다음과 같다. 우선 시공 측량 과정 제거·축소로 인한 생산성 및 경제성 향상을 가져올 수 있으며, 효과적인 장비 운용계획을 통하여 최적의 작업순서를 파악하고 정확하게 작업을 수행할 수 있도록 하여 효율성 증진 및 비용절감 효과를 가져올 수 있고, 유해·위험 환경에서 장비 조종자를 격리시킴으로써 안전한 토공작업이 가능하게 되며, 끝으로 개발된 측정 및 제어 기술은 타 건설, 기계 자동화 분야의 발전에도 기여할 것으로 예상된다.

## 감사의 글

본 연구는 건설교통부 건설기술혁신사업의 연구비지원(06첨단융합C01)에 의해 수행되었음.

## 참고문헌

- 김영석, 서정희, 오세욱 (2001) 국내 건설 산업의 건설 자동화 및 로보틱스 도입방안에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 17(2), pp.111~120.
- 심규범 (2002) 건설기능인력의 수급실태 및 대응방안, 한국건설산업연구원, 서울, pp2~32.
- 장현승, 우성권 (2003) 건설공사의 기계화·자동화의 효과 및 확대 방안, 한국건설산업연구원, 서울, pp2~15.
- Farritor, S. and Dobowsky, S. (2001) On modular design of field robotic systems, *Autonomous Robots*, 10(1), pp.57~65.
- Hollington, J. (1999) Robots in agriculture, *The Industrial Robot*, 26(6), pp.438~445.
- Manfred Hiller (1996) Modeling, simulation and control design for large and heavy manipulators, *Robotics and autonomous systems*, 19(2), pp.167.
- M. Cusack (1994) Automation and robotics the interdependence of design and construction systems, *Industrial robot*, 21(4), pp.10.
- Roозbeh Kangari (1991) Advanced Robotics in civil engineering and construction, *Fifth international conf.*, ICAR, 1, pp.375.
- Sungyeol Lee, Kyeyoung Lee, Bumseok Park, Changsoo Han (2006) Multidegree-of-freedom manipulator for curtain-wall installation, *Journal of Field Robotics*, 23(5), pp.347~360.
- Sungyeol Lee, Kyeyoung Lee, Sangheon Lee, Jinwoo Kim, Changsoo Han (2007) Human-robot cooperation control for installing heavy construction materials, *Autonomous Robots*, 22(3), pp.305~319.
- Sungyeol Lee, Yongseok Lee, Bumseok Park, Sangheon Lee, Changsoo Han (2006) MFR(Multipurpose Field Robot) for installation heavy construction materials, *Autonomous Robots*, 22(3), pp.265~280.