# 토공사에서의 재해 방지를 위한 지능형 굴삭 시스템의 계획생성과정

# Intelligent excavating system planning process for disaster prevention in earth work

이승수* · 서종원**
Lee, Seung Soo · Seo Jong Won

Abstract

Since most of the industries have adopted automation system, the industrial disaster has been declined sharply. Also automation system has offered many benefits such as productivity and assured quality. However, the construction industry is still relying on man power and because of this there are many victims occurring due to the industrial disaster. Construction industry has to overcome uncertainty of incidents and changing natural surroundings to actualize automation. Therefore, the efficient working plan and intelligent decision making process are needed to run more developed techniques and automations. Specially to decline the rate of industrial accidents occurred in basic construction in earth work, the automation via excavator is necessary and also the development of planning process system is too. This research is to establish Task Planning System to prevent disaster which is used for planning automated earth work.

*key words* : Automation system, industrial disaster, Task Planning System, Heuristics.

## 1. 서 론

현재 우리나라의 전 산업 사망 재해 율을 살펴보면 건설업이 전 산업부문의 42%를 차지하고 있다. 특히 건설 산업의 주요 재해 요인을 살펴보면 전도/전복, 충돌/접촉 및 추락 등 후진국 형 재해가 여전히 비중 있게 발생하고 있으며 대부분 장비에 의한 재해이다(그림 1.).

이는 국내 건설현장이 지나친 저가 발주로 인해 산업안전의 여건이 조성되지 않고 있기 때문이다. 저가에 공사를 수주하게 되면 실공사비를 낮추기 위해 무리한 공기단축을 시도하거나 불법체류자를 투입하게 되며 이는 산업재해의 주원인이다. 특히 불법 체류자는 비숙련공으로서 작업 시 각종 위험에의 노출에 대처하는 능력이 부족하며 건설 품질에도 영향을 미친다. 이러한 건설 산업의 문제점을 해결하기 위해서 건설교통부는 2006년 1월 1일 건설 산업 기본법의 개정으로 건설 산업 재해발생에 대한 처벌을 강화하였지만 별다른 효과를 얻지 못하고 있다.

이러한 건설 산업에서의 재해를 줄이는 근본적인 대책은 건설자동화이다. 건설 자동화로 위험한 환경 요소에 노출을 줄이고 균질한 품질을 얻을 수 있으며 인력의 부족현상 및 장비에 의한 후진국 형 재해를 방지할 수 있다. 건설 자동화 중 특히 건설 시공의 가장 기초 공사인 토공사에 대한 자동화가 절실히 요구되고 있으며 토공사의 자동화는 무수한 가변적인 상황에서의 대처 및 다양한 지형에서 적용될 수 있어야 하므로 아직

* 한양대학교 토목공학과 · 석사과정 · E-mail : rokhonor99@hanmail.net.
** 정회원 · 한양대학교 토목공학과 · 조교수 · 공학박사 · P.E. · 교신저자.

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

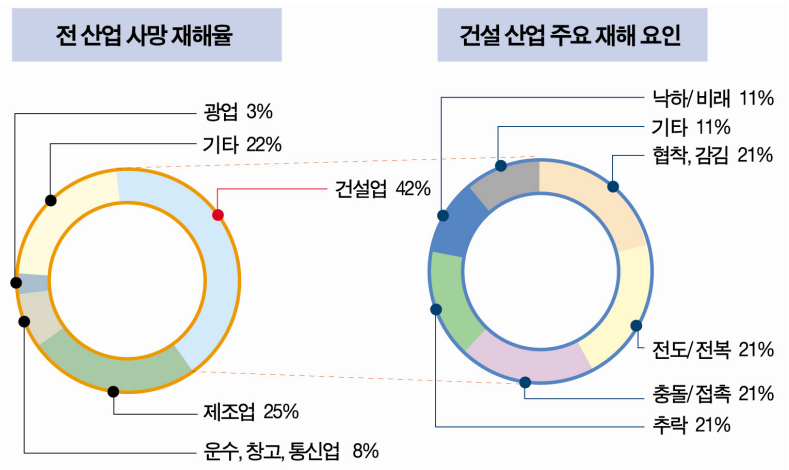


그림 1. 건설 산업 재해 현황 (통계청, 2005)

자동화 초기 단계라 할 수 있다. 현재 세계 선진국에서 토공 자동화에 대한 관심을 가지고 끊임없는 연구를 진행 중이며 자동화 기술 선진국으로 가기 위해서 꼭 풀어야할 과제이다.

본 연구는 토공사에서의 자동화를 이루기 위한 작업계획시스템인 지능형 Task Planning System의 구조에 대하여 설명하고 재해를 방지하기위한 계획수립에 대한 방법론을 제시해 본다.

## 2. 연구범위 및 제한사항

본 연구에서 제시하는 Task Planning System은 지능형 굴삭시스템에서 입력된 정보를 통한 작업 계획 수립을 하며 각 세부 기능을 가진 통합 모듈로서 기능을 수행한다. 설계된 Task Planning System에 대하여 간략하게 설명하고 토공사에서 재해 방지를 위하여 설계된 구조를 중점으로 보여주기로 한다. 앞으로 설계된 구조는 C++에 의하여 프로그래밍 되어 하나의 통합 모듈이 되어야 할 것이며 지능적 판단을 수행하기 위하여 로직을 이용해야한다. 따라서 본 연구는 설계단계까지의 Task Planning System을 기준으로 연구범위를 제한하여 설명하고자한다.

## 3. 재해 방지를 위한 지능형 굴삭시스템의 설계

다음에 제시될 Task Planning System의 구성 요소는 토공사의 자동화를 위해 설계되었으며 작업의 효율성, 재해 방지를 위한 안전성의 확보와 생산성 및 경제성의 향상을 고려하여 설계되었다. 이러한 토공사에서 자동화된 시스템을 구축하기 위해선 지형의 정보를 인식하기 위한 센싱 기술, 지형 모델링을 위한 컴퓨터 그래픽 기술, 무선 제어 장치, GPS를 통한 위치 인식, 자동화 시스템에 적합한 로봇 장비 및 인간의 두뇌에 해당하는 지능적으로 작업의 계획을 생성하고 작업 내용을 판단하는 작업계획시스템 등 정보통신기술(IT)과 로봇기술(RT)이 건설기술(CT)에 적용되어 구성되어야한다(그림 2.). 재해 방지를 위한 안전성의 확보를 위해서 굴삭기는 실시간 주변 환경을 인식할 수 있는 센서 및 전도 및 굴삭기 본체의 안전성을 확보하기 위한 균형 센서 및 붐과 암의 각도 조절을 위한 자율제어장치 및 각도 센서, 버킷의 동선을 측정하기 위한 거리 센서 등 수많은 요소기술들이 갖추어져야한다. 특히 토공작업의 특성상 작업 현장 내 이동하는 건설 기계장비, 굴삭기가 위치할 지반의 붕괴 위험, 낭떠러지로 인한 전도의 위험, 주변 지장물 및 장애물에 의한 무수한 재해의 위험이 있으므로 토공사 작업의 주 장비인 굴삭기는 모든 첨단 요소 기술을 복합하여 불확실한 사건의 발생에 대하여 대응을 할 수 있는 능력을 갖추어야한다.

다음은 Task Planning System의 설계 구조를 살펴보고 안전한 작업을 위하여 적용된 방법론에 대하여 살펴보겠다.

그림 2. 지능형 굴삭시스템을 위한 요소기술.

### 3.1. Task Planning System의 Process

Task Planning System은 작업 계획 생성을 위하여 Global 센싱을 통한 지형의 정보로부터 토공 작업환경을 3차원으로 모델링하고 토공 작업환경 내에 존재하는 지반의 변화와 유동체, 지장물 등의 위치를 3D 가상현실로 표현하게 된다. 이로부터 작업 현장내의 환경을 실제와 같이 인식하며 이를 바탕으로 작업의 전반적인 계획 및 실시간 대응 계획을 세우게 된다. 다음 (그림 3.) 은 Task Planning System의 구조 체계 및 수행 프로세스를 보여준다.

그림 3. 지능형 Task Planning System Process

Task Planning System은 작업 계획을 세우기 위하여  지형으로 부터의 정보를 인식하고 설계 데이터와 실제 지형과의 비교 분석을 통하여 토량 유용 계획을 세우며 작업의 목표점을 인지한다. 작업의 효율적이며 세부 계획을 세우기 위하여 영역의 분할을 계획하고 글로벌 지형을 분할하여 작업 단위영역인 로컬 영역을 생성한다. 또한 로컬 영역은 플랫폼 작업 단위 영역으로 분할되며 이는 굴삭기가 위치하여 작업 계획을 수립하는 기본 단위가 된다. 영역 분할 시 각 설정된 조건에 따른 분할이 실시되며 이는 지능적인 판단 과정으로 수행되게 된다. 분할된 영역은 순차가 부여 되어 굴삭기 플랫폼 작업 단위 영역의 순서가 결정되며 이는 굴삭기 작업의 이동경로 및 전체적인 동선을 구성하게 된다. 플랫폼 별 순차가 부여 되면 굴삭기는 지정된 플랫폼으로 이동하기 위한 이동 경로 계획을 수립하게 되며 최단 이동거리 및 안전성 평가를 통하여 계획된다. 실제 Task Planning System의 시행착오를 줄이고 효율적인 작업계획을 생성하기 위하여 숙련된 작업자의 경험적 지식을 반영하여 설계 되었으며 이는 재해 방지를 위한 자동화를 위한 최적의 시스템을 구축할 것이다.

### 3.2. 재해 방지를 위한 작업 계획

토공사에서 발생하는 재해는 주로 굴삭기운전자의 부주의로 인한 전도, 충돌, 협착 및 토사, 적재물, 구조물, 건축물, 가설물 등이 허물어져 발생하는 붕괴사고가 발생한다. 이런 재해를 방지 하기위하여 Task Planning System의 계획 생성 시 재해 방지를 위한 숙련된 작업자의 노하우 및 작업 안전 수칙을 최대한 반영하여 계획을 수립하게 하여야 한다. 굴삭기의 플랫폼 위치 선정 시 절벽 및 낭떠러지 주변을 피하고 지반의 강도가 확보된 영역에 위치하여 지반의 슬라이딩에 의한 굴삭기의 전도·전복이 발생하지 않게 하여야

하며 지정된 플랫폼은 전후좌우 경사를 만족 하도록 다짐 및 절토 작업을 실시 한 후에 위치하여야 한다. 또한 굴삭기가 지정된 경로로 이동하는 경우 실시간으로 주변의 지장물 및 장애물 등 물체를 파악하여 대응하는 능력을 가출 물체 인식 센서 구축 및 센싱에 의한 지형의 사물의 인식이 앞서 이루어져야 한다. 특히 굴삭기는 후진을 통하여 작업을 실시하며 이를 기본으로 한 작업계획이 생성되므로 굴삭기 후면에 대한 협착 및 충돌을 방지하여야 하고 버킷의 작업 시 주변 물체의 움직임 및 정밀한 굴삭 작업으로 충돌의 위험을 없애야 한다. 또한 지능형 굴삭 시스템은 무인 자동화 시스템으로서 스스로 굴삭기 작업 시 본체의 균형을 유지하는 능력을 갖추어야 한다. 특히 숙련된 운전자의 휴리스틱스 즉, 작업 시 굴삭기의 움직임 및 지반의 변화와 안정된 균형유지 및 재해 방지를 위한 경험적 지식을 계획 단계에서 반영하고 활용한다면 재해 발생이 훨씬 적게 일어날 것이다.

토공사 내에서 빈번히 발생하는 재해와 이를 방지하기위하여 적용한 휴리스틱스를 정리해보면 다음과 같다 (표 1.)

표 1. 토공사 시 재해 유형별 적용되는 휴리스틱스(Heuristics)

| 재 해 | 휴리스틱스 (Heuristics) |
|---|---|
| 전도/전복 | • 지정된 플랫폼에서 작업 시 토사의 붕괴를 막기 위하여 지반의 강도를 확보하고 플랫폼 반경 2m정도 굴삭작업을 실시하지 않는다.<br>• 굴삭기 이동 시 지형의 형태에 따른 굴삭기의 균형 유지 및 지반과의 접지력을 최대로 하여 이동을 용이하게 하고 이동경사는 35%이하로 한다.<br>• 굴착 중 안정성 확보를 위하여 플랫폼의 전후경사 5%, 좌우경사 3% 이하로 유지한다. |
| 충돌/접촉 | • 굴삭기의 이동 중 이동 장애물이 작업 반경 내 접근 시에는 굴삭기의 이동을 중지하고, 이동 장애물이 굴삭기의 작업반경내 이탈 후 이동한다.<br>• 굴삭기의 작업은 후진을 하며 작업 하고 장비의 특성상 사각지대가 많은 만큼 항상 주위 환경의 인식을 필요로 한다. |
| 붕괴/도괴 | • 절토 작업은 지반고가 높은 지형부터 낮은 지형으로 단계별로 굴삭을 실시한다.<br>• 굴삭기가 트랙상부 굴삭 시 트랙 하부를 선 굴착하여 트랙 하부로 토사를 붕락토록 유도하고, 트랙 하단 보다 높게 붕락된 토사는 버킷 바닥면으로 붕락된 흙을 배토시켜 굴삭기의 이동로를 확보토록하며 굴착한다. |

이와 같이 작업 계획 생성 및 작업 수행 시 재해 방지를 위한 적절한 휴리스틱스(heuristics)를 적용하고 요소기술을 활용하면 재해의 방지를 최소화 시킬 수 있을 것이다.

## 4. 결 론

본 연구는 토공사의 자동화를 위한 지능형 굴삭 시스템의 계획 생성 시스템인 Task Planning System에 대한 간단한 수행과정과 토공사에서 발생하는 수많은 재해를 방지하기위한 경험적 지식을 계획 생성 단계에서 미리 반영하고 굴삭기 본체에 적용된 환경 인지 능력 및 자율 제어 능력을 통한 재해 방지에 대한 방법론을 연구하였다. 즉, 자동화를 통하여 유해한 환경에서의 작업으로부터 인간을 보호하는 한편 자동화 과정에서 발생 할 수 있는 재해에 대해서도 방지 하는데 목적이 있다.

앞으로 우리는 건설 산업의 재해 방지를 위하여 건설 자동화에 대한 끊임없는 연구를 계속하여야 할 것이며 이는 재해 방지의 목적뿐만 아니라 생산성 및 작업 효율성의 향상, 부족한 인력의 대체, 품질의 향상 및 경제적 이득의 효과를 가져 올 것이다

## 참고문헌

1. 서종원외(2007). “지능형 굴삭시스템 개발 -연구단 소개-”, 2007 정기학술발표대회논문집 pp. 197-204
2. 두산인프라코어 외, “지능형 굴삭기 개발”, 첨단융합건설기술개발사업 연구계획서, 건설교통부, 2006