

# BIM 기반 토공 장비 계획 및 운영 자동화 시스템

## BIM Based Automated Planning and Operation System for Earthwork Equipment

김 정 환\* · 장 준 현\*\* · 민 지 홍\*\*\* · 서 중 원\*\*\*\*

Kim, Jeong-Hwan · Jang, Jun-Hyun · Min, Ji-Hong · Seo, Jong-Won

### 요 약

건설공사에서 토공사가 차지하는 비중은 타공종에 비하여 높다. 즉 건설공사의 생산성을 향상시키기 위하여 토공사를 중점적으로 관리하는 일은 매우 중요하다고 할 수 있다. 그러나 현재의 토공 시스템은 굴삭 조종자와 현장 계획 관리자의 경험적 지식에만 의지하여 토공 계획을 수립하고 있는 실정이며, 또한 노동 집약적 토공작업의 한계를 벗어나지 못하는 현실로 인하여 토공사를 관리함에 어려움이 있다. 이러한 당면 과제를 극복하고자 BIM 기반의 토공 시스템에 대하여 소개하고자 한다. 본 논문에서는 굴삭 장비와 연계하는 토공 계획과 운영 자동화 시스템에 대하여 주로 다루게 된다. 굴삭 작업 계획 생성 시스템, 장비 조종 인터페이스, 웹 기반 Project Management Information System(PMIS)이 개발되는 과정에서 적용된 BIM 요소기술에 대하여 살펴본다.

**keywords** : BIM, 토공사, 건설 자동화, HMI, PMIS

### 1. 서 론

토공사의 공사비의 비중은 약 20% 내외이며, 토공사중 운반 작업의 경우 전체 사업비의 6%를 차지하고 있다(박현용 외 2007). 이처럼 토공사는 건설 프로젝트의 성공을 위하여 반드시 최대한의 관리가 요구되는 공종이다. 그러나 이러한 높은 중요성에도 불구하고 대부분 토공 건설기계장비에 크게 의존하고 있고 있는 한계가 있으며 토공사에 투입되는 건설기계 장비조종사의 숙련도 및 토공 관리자의 토공 계획의 적정성과 현장 적합도에 따라 전체 생산성이 크게 변동되는 노동집약적 프로세스에서 벗어나지 못하는 실정이다.

이러한 총체적인 토공사의 문제점을 해결하기 위한 방안으로 최근 건설 자동화에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 건설기술의 첨단화, 정보화의 일환으로써 국토해양부에서는 2006년부터 토공자동화를 위한 지능형굴삭시스템이 개발되고 있다. Building Information Modelling(BIM) 요소 기술을 도입하여 다음의 그림 1과 같이 지능형 굴삭 작업계획 생성 시스템, 작업환경 인식기반 제어기술 시스템, 지능형 굴삭시스템 개발과 통합으로 이루어진다.

\* 한양대학교 건설환경공학과 박사과정 kimjh0418@gmail.com

\*\* 한양대학교 건설환경공학과 석사과정 silverzzun@naver.com

\*\*\* 한양대학교 건설환경공학과 석사과정 tmlmsp@gmail.com

\*\*\*\* 정희원 · 한양대학교 건설환경공학과 부교수 jseo@hanyang.ac.kr

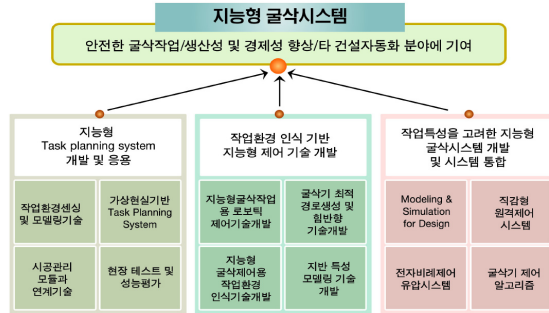


그림 1. 지능형 굴삭시스템 개발 개념도

## 2. BIM 기반의 토공계획 수립

토공 계획을 수립하기 위하여 본 연구에서는 지능형 Task Planning System을 개발하였다. 먼저 레이저 스캐너를 통하여 토공 현장의 디지털 지형 모델(Digital Terrain Model)을 확보하고 지형 모델을 데이터베이스에 저장하여, 굴삭 장비에 부착된 로컬 레이저 스캐너로부터 굴삭함에 따라 변하는 주변 지형 정보를 쉽게 업데이트 할 수 있도록 구성하고 있다.

이러한 지형 정보 관리 시스템을 기초로 하여 그림 2와 같이 컴퓨터 내에서 작업 계획을 수립하고 가상환경에서 편집 할 수 있으며 이를 디스플레이 할 수 있다. BIM에서의 모델 콤포넌트의 파라미터 설정과 같이 지형의 메타데이터(Metadata)도 함께 관리된다. 메타데이터에는 현장 식별자, 전송 장비 종류, 전송 장비 식별자, 전송 시간 등의 정보가 들어있어 그림 3과 같이 DB에서 확인할 수 있도록 구성되어 있다.

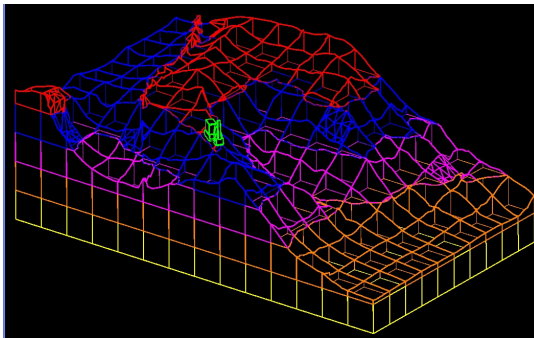


그림 2. Task Planning을 위한 지형 분할

이름	id	x	y	z	type	subID	color	handle	NUM
Layer000	49900	20000	12794	0.0001	01		2.6CFE		182
Layer001	49900	25300	12753	0.0001	01		2.6CFE		90
Layer002	49900	19800	12790	0.0001	01		2.6CFE		188
Layer003	49900	19800	12780	0.0001	01		2.6CFE		187
Layer004	49900	19800	12790	0.0001	01		2.6CFE		186
Layer005	49700	19900	12782	0.0001	01		2.6CFE		185
Layer006	49900	19900	12732	0.0001	01		2.6CFE		184
Layer007	49400	19700	12785	0.0001	01		2.6CFE		183
Layer008	49900	20000	12733	0.0001	01		2.6CFE		182
Layer009	49400	19600	12732	0.0001	01		2.6CFE		181
Layer010	50000	20200	12743	0.0001	01		2.6CFE		179
Layer011	50200	20200	12732	0.0001	01		2.6CFE		178
Layer012	50300	20300	12742	0.0001	01		2.6CFE		177
Layer013	50200	20400	12740	0.0001	01		2.6CFE		176
Layer014	50300	20400	12751	0.0001	01		2.6CFE		175
Layer015	50200	20500	12740	0.0001	01		2.6CFE		174
Layer016	49800	20000	12743	0.0001	01		2.6CFE		183
Layer017	48000	19100	12737	0.0001	01		2.6CFE		209
Layer018	48100	19100	12735	0.0001	01		2.6CFE		208
Layer019	48200	19200	12750	0.0001	01		2.6CFE		207
Layer020	48200	19200	12747	0.0001	01		2.6CFE		206
Layer021	48300	19300	12743	0.0001	01		2.6CFE		205
Layer022	48400	19300	12740	0.0001	01		2.6CFE		204
Layer023	48500	19300	12737	0.0001	01		2.6CFE		189
Layer024	48500	19300	12750	0.0001	01		2.6CFE		202
Layer025	48600	19300	12748	0.0001	01		2.6CFE		172
Layer026	48700	19300	12740	0.0001	01		2.6CFE		200
Layer027	48800	19400	12740	0.0001	01		2.6CFE		199
Layer028	48900	19400	12743	0.0001	01		2.6CFE		198
Layer029	49000	19400	12736	0.0001	01		2.6CFE		197
Layer030	49000	19500	12750	0.0001	01		2.6CFE		196
Layer031	49000	19500	12733	0.0001	01		2.6CFE		194
Layer032	49100	19600	12741	0.0001	01		2.6CFE		193
Layer033	49100	19600	12733	0.0001	01		2.6CFE		203
Layer034	49700	25000	12753	0.0001	01		2.6CFE		98

그림 3. 객체별 지형정보 데이터베이스

지형 모델을 로딩하여 지형의 수평분할과 레이어에 대한 객체화 프로세스를 진행하게 되며 전체적인 토공사의 공구분할의 개념인 매스단위 분할을 거쳐, 재수평분할된 하나의 지형 레이어 또는 객체에 대한 바운더리 인식을 거치면(이승수 외 2008) 지형 모델을 구성하는 콤포넌트로서 Task Planning System의 로컬 DB 상에 저장된다. 저장된 지형 객체는 시각화 및 가상 환경에서 관리자가 토공 계획을 확인 할 수 있으며, 타 소프트웨어와 또는 타 BIM 솔루션과의 연동을 통한 시뮬레이션 모델로써도 활용되어질 수 있어 활용가치는 매우 크다고 할 수 있다.

Task Planning System의 지형 분할 프로세스에 뒤이어 굴삭 장비의 이동 경로 생성을 위한 셀 분할 과정을 거치게 된다. 그림 4와 같이 Complete Coverage Path Planning 알고리즘 기반으로 셀 간 순차를 생성하

고(김정환 외, 2010), 장애물 및 굴착 작업을 고려하여 이동 경로를 생성한다(김성근, 2007). 이러한 과정을 거쳐 생성되는 작업계획은 로컬 DB에 저장되고 굴삭 장비를 제어하는 파트로 전송되게 된다.

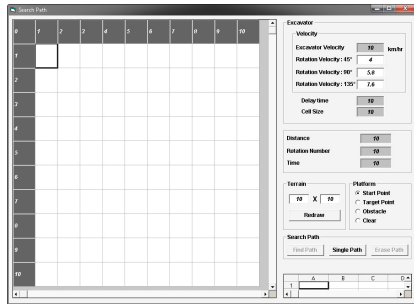


그림 4. 이동 경로 생성

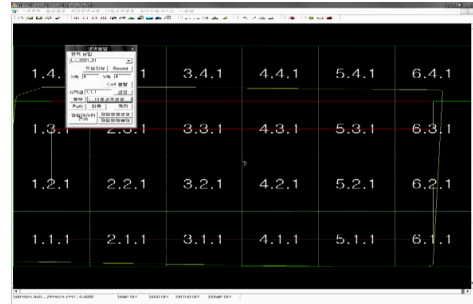


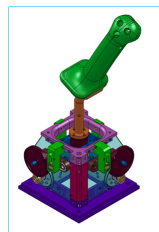
그림 5. 장비의 이동 경로생성

### 3. BIM 기반 토공 진도관리 시스템

장비 조종자는 그림 7-①의 직감형 조이스틱을 이용하여 ②의 메인 디스플레이 창의 CCTV 화면을 보고 원격조종을 수행하며 서브 디스플레이 창에서 각종 추가 정보를 확인할 수 있다. 이때에 장비 조종자와 기계 사이의 효율적인 피드백을 위해 Human-Machine Interface (HMI)의 개발이 요구되는데, 이를 위하여 본 연구에서 취득된 지형 모델위에 GPS, 3DM자이로 센서, 유압실린더 변위측정 센서, 선회측정센서를 이용, 3차원 굴삭기 모델과 매칭시켜 인터페이스를 구성하였다.

하드웨어와 더불어 스마트센서 정보의 통신 역할을 담당하여 필요로 하는 시스템으로 데이터를 전송하는 소프트웨어인 Task Planning System Controller(TPSC)에서는 그림 7와 같이 시그널과 로그, 현재 진행상황을 확인할 수 있다. 선회, 이동 및 굴착은 1초 단위로 갱신되며, 지형정보 업데이트는 한 굴착 작업영역 레이어에 대한 작업이 종료될 때마다 업데이트 된다.

또한 작업 계획 콤포넌트들과 일정 및 비용등과 연계되어 현장 관리자가 공사 실행을 파악하고 분석하기 위해 시공단계의 BIM 기반 Performance Monitoring 요소 기술을 지능형 굴삭시스템에 확장/적용함으로써 웹 기반 실시간 프로젝트 관리 정보 시스템(PMIS)을 구현하였다. 지형 정보로부터 획득되는 굴착량을 PMIS 서버의 DB내로 갱신함으로써 실시간 진행상황을 파악할 수 있고, Task Planning System에서 생성되는 계획작업량 대비 진척도를 평가할 수 있다.



① 직감형 조이스틱



② 컨트롤 스테이션 디스플레이 화면



③ 컨트롤 스테이션

그림 6. 이동형 컨트롤 스테이션 및 자동화 굴삭기

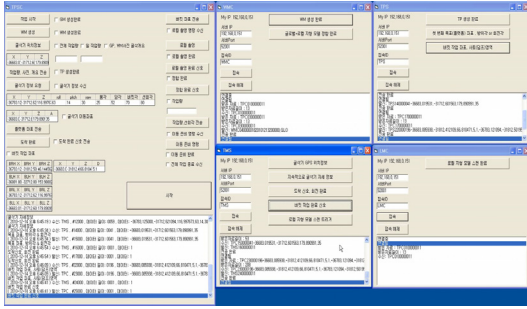


그림 7. TPSC 인터페이스



그림 8. PMIS의 굴삭 성능평가

#### 4. 결론

지능형 굴삭시스템에서는 Building Information Modelling(BIM) 요소 기술을 도입하여 1) 작업계획 생성과정에 시각화 및 객체화, 2)장비 조종 지원 및 자율(Autonomous) 굴삭을 가능케 하고 있다. 본 연구는 BIM과 IT기술이 접목된 건설 자동화 기술의 융합을 위한 기초적인 사례로 평가될 수 있으며 이러한 지능형 굴삭시스템을 토공사에 적용하여 효율적인 공사를 수행함으로써 공사 전체의 생산성 증대 효과를 기대할 수 있을 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비지원(06첨단융합C01)에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

김성근, 옥종호 (2007), 지능형 굴삭기를 위한 플랫폼 이동 모델, **대한토목학회 논문집**, 27(6D), pp.767-774,  
 김정환, 윤중호, 장홍열, 백현기, 서종원 (2010), 덤프트럭의 접근을 고려한 굴삭로봇의 작업영역 커버리지 계획, **대한토목학회 정기학술대회**, pp.342-345  
 박현용 외 (2007), 운반작업의 영향요소분석을 통한 덤프트럭의 운반속도 산정방법에 관한 연구, **한국건축공학회 학술발표대회**  
 이승수, 김정환, 강상혁, 서종원 (2008) 휴리스틱스(Heuristics)를 활용한 지능형 굴삭 시스템의 Task Planning System 개발, **대한토목학회**, 28(6D)호, pp.1-11