

BIM 기반 지능형 굴삭시스템

BIM Based Intelligent Excavation System

김정환* Kim, Jeong-Hwan / 서종원** Seo, Jong-Won

요약

토공사는 타공종에 비하여 건설공사에서 차지하는 비용 및 공사기간의 비중이 높다. 이에 따라 토공사는 건설공사의 생산성에 높은 영향을 미치게 되는데, 종래의 토공사 시스템에서는 숙련된 굴삭조종자의 휴리스틱스에 의한 토공사 계획 및 토공작업을 수행하는 노동집약적 프로세스를 고수하고 있어 생산성을 높이기 힘든 상황이다. 이러한 당면과제를 극복하고자 본 논문에서는 BIM 기반의 지능형 굴삭시스템을 소개하며 굴삭 작업 계획 생성 시스템, 원격조종 및 자율 굴삭 작업에 필수적인 Human-Machine Interface(HMI), 웹기반 Project Management Information System(PMIS)이 개발되는 과정에서 적용된 BIM 요소기술에 대하여 검토하고, 적용된 결과를 제시하고자 한다.

키워드 : 굴삭 시스템, BIM, Human-Machine Interface, Project Management Information System

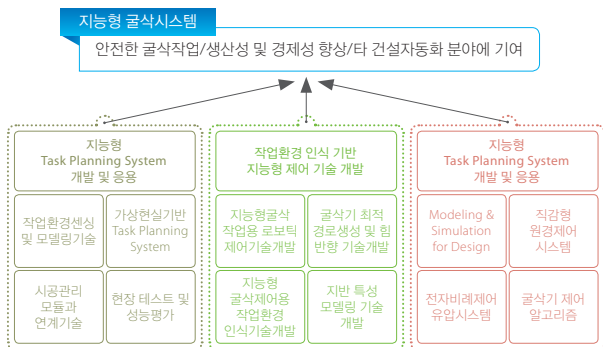
1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

토공사는 타공종에 비하여 건설공사에서 차지하는 비용 및 공사기간의 비중이 높다. 토공사의 공사비의 비중은 약 20% 내외이며, 토공사 중 운반 작업의 경우 전체 사업비의 6%를 차지하고 있다(박현용 외 2007). 즉 토공사의 영향력은 전체 사업의 성패를 결정지을 정도로 크다고 볼 수 있다. 그러나 이러한 높은 중요성에도 불구하고 토공 작업의 대부분은 굴삭기, 덤프트럭, 불도저, 로우더와 같은 건설기계장비에 크게 의존하고 있는 상황으로써, 토공사에 투입되는 건설기계 장비조종사의 숙련도와 토공 관리자의 토공 계획의 적정성과 현장 적합도에 따라 전체 생산성이 크게 변동되는 노동집약적 프로세스에서 벗어나지 못하는 실정이다. 게다가 토목, 건축, 플랜트 등 건설업의 노동현장은 어느 3D 업종들과 마찬가지로 숙련공의 부족현상을 겪고 있으며 향후 건설업의 노동인구는 점차 줄어들고 동시에 노후화 될 것으로 예측하고 있다. 그리고 최근 복잡/다양화 되고 있는 건설현장에서의 작업 난이도의 증가와 건설업 자체의 가변성 및 중량물 취급과 같은 특성으로 기인하여 안전사고의 위험성이 항상 내재되어 있어 타 산업에 비하여 높은 재해율을 보이고 있는 실정이다(장현승 외 2003). 특히 매립지에서의 다짐 및 복토공사, 수중작업, 화산지형이나 군사 시설 지역등과 같은 작업환경이 극도로 열악하고 유해한 환경에서의 작업은 장비 조종자를 위험에 노출시키고 있다.

이러한 총체적인 토공사의 문제점을 해결하기 위한 방안으로 최근 건설 자동화에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 특히 토공사의 경우 능숙한 장비 운전자의 부재로 발생할 수 있는 안전사고, 생산성

과 품질저하 및 장비조작 실수로 인한 재시공을 방지하고자 조종이 간편하고 장비 조종을 위한 조종자의 의사결정에 대한 지원기능을 갖춘 자동화 시스템이 요구되는데, 최근 급속도로 발전되어온 컴퓨터 기술, 위치정보(GPS, GIS)기술, 레이저 측량 기술, 각종 자세 제어 센서, 원격 조종 및 지능 제어 기술, 무선 통신 기술등의 원천기술의 활용으로써 현재 토공사의 당면과제에 대한 기술적 해결이 가능할 것이다. 현재 진행중인 지능형 굴삭 시스템(Intelligent Excavation System, IES)연구는 이러한 노력의 일환으로 진행중에 있으며 다음의 그림 1과 같이 지능형 굴삭 작업계획 생성 시스템, 작업환경 인식기반 제어 기술 시스템, 지능형 굴삭시스템 개발과 통합으로 이루어진다.



[그림 1] 지능형 굴삭시스템 개발 개념도

지능형 굴삭시스템에서는 Building Information Modelling(BIM) 요소 기술을 도입하여 작업계획 생성과 장비 조종 지원 및 자율

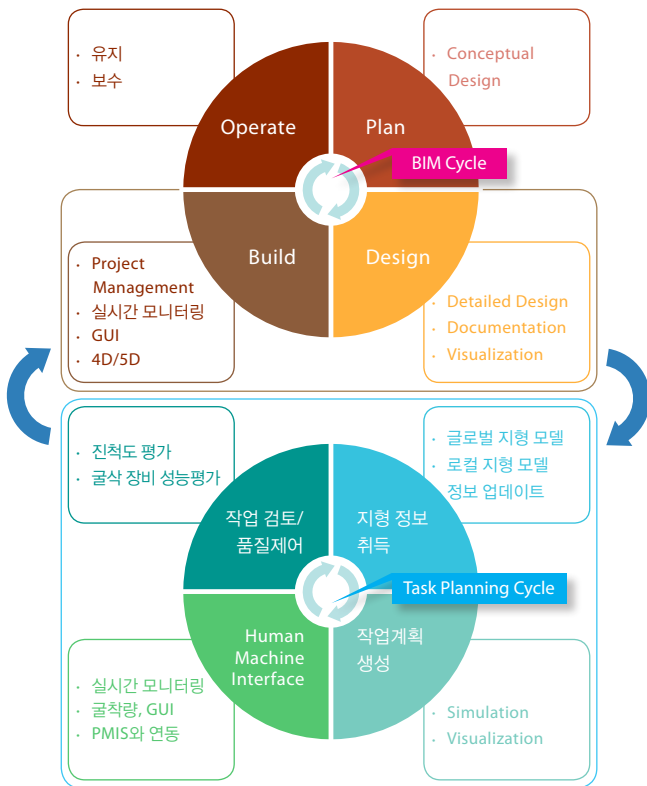
* 정희원, 한양대학교 건설환경공학과 박사과정 hang_gliding@naver.com

** 정희원, 한양대학교 건설환경공학과 부교수, 교신저자 · PE. jseo@hanyang.ac.kr

(Autonomous) 굴삭을 가능케 하고 있다. 특히 장비 조종 지원 인터페이스와 웹기반 Project Management Information System(PMIS)은 BIM의 실시간 모니터링 및 업데이트 기술의 적용으로 높은 건설 프로젝트 관리 효율성을 얻을 것으로 기대된다. 이러한 지능형 굴삭시스템을 토공사에 적용함으로써 효율적인 공사를 수행함으로써 공사 전체의 생산성 증대 효과를 기대할 수 있을 것이다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위는 앞서 살펴본 바와 같이 지능형 굴삭 시스템에서는 크게 3가지 연구 주제로 정리될 수 있다. 먼저 지능형 Task Planning System에서는 LiDAR(Light Detection and Ranging) 기술을 적용하여 높은 신뢰도를 가지는 토공 현장 지형의 지오메트리를 취득하고 설계정보(e.g. 시공기면 등)를 입력하게 되며 데이터베이스 형태로 서버에 저장된다. 이 지형 데이터베이스를 바탕으로 운용하게 될 굴삭기의 종류 및 굴삭기의 붐, 암, 버킷 옵션정보와 토질 속성값을 이용, 지형분할 및 셀분할과 같은 작업영역을 설정하고 이동경로, 굴삭기가 위치하는 지점(플랫폼) 및 굴삭구역등의 토공 현장내에서 장비가 수행하게 되는 총체적 굴삭 작업 계획을 생성하는 것과 더불어 지형 데이터베이스 업데이트 및 장애물 감지, PMIS를 통합하는 것을 연구의 범위로 한다. 그리고 다른 2가지 연구 주제에 대하여, 굴삭 작업 계획을 바탕으로 컨트롤 스테이션과 굴삭기 사이의 무선 통신 모듈, 위치 정보 및 자세정보 수신, 굴삭기의 유압 시스템의 전자제어가 연구된다.



[그림 2] BIM 기반 작업계획 생성 개념도

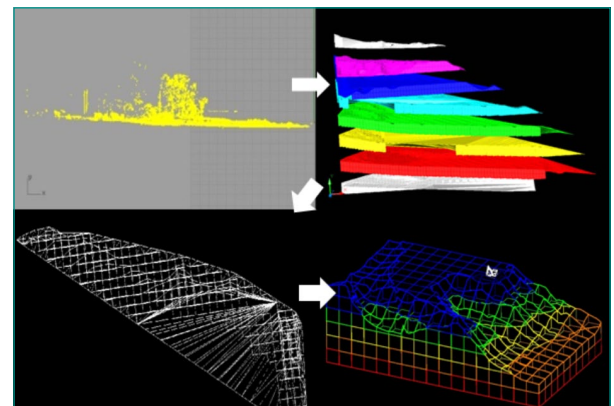
이러한 시스템들이 모두 통합이 되어 자동화된 굴삭 시스템을 개발하

게 될 것이며, 그 중에서 본 논문에서는 지능형 굴삭 작업계획 생성 시스템과 통합과정에서의 인터페이스에 초점을 두어 BIM 요소 기술을 어떠한 방법으로 적용할 수 있는지 검토하고 이를 통해 도출된 다양한 기법 적용 가능성을 제시한다 (그림 2). 또한 지능형 굴삭시스템에서 적용된 BIM 기술들을 검토하여 본다. 적용된 연구 세부 사항은 다음과 같다.

- ▶ 지능형 Task Planning System
 - 3차원 지형 모델링 및 지형 분할
 - 굴삭 작업 계획 생성
- ▶ 지능형 굴삭 시스템 통합
 - 굴삭 시스템의 Human-Machine Interface(HMI)
 - Web-based PMIS와 연동

2. BIM 기반 지능형 Task Planning System

지능형 굴삭시스템에서는 획득된 지형정보를 기반으로 작업계획을 수립을 하게 되며, 지능형 Task Planning System에서는 LiDAR 기술을 적용하여 취득된 디지털 지형 모델(Digital Terrain Model)을 사용하고 있다. 또한 지형 모델을 데이터베이스에 저장하여, 굴삭기의 캐빈(Cabin)상단에 부착된 주변지형정보 취득을 위한 로컬 스캐너로부터 발생하는 정보를 쉽게 업데이트 할 수 있도록 구성하고 있다. 이러한 지형 정보 관리 시스템을 기초로 하여 컴퓨터내에서 가상의 작업환경을 디스플레이할 수 있으며, 또한 그림 3에서 보는바와 같이 자유자재로 지형 네트워크 모델을 분할하여 각각의 레이어, 경계구역 모델을 객체화 하고 데이터베이스에 저장함으로써 지능형 Task Planning System을 구현하였으며, 이러한 방식은 BIM에서의 모델 콤포넌트 라이브러리 구현 기술과 유사하다고 할 수 있다.



[그림 3] Task Planning System의 지형 객체화 과정

지능형 굴삭시스템의 토공 현장 지형 관리는 데이터베이스에서 이루어지며, BIM에서의 모델 콤포넌트의 파라미터 설정과 같이 지형의 다양한 속성정보, 즉 메타데이터(Metadata)도 함께 관리된다. 메타데이터에는 현장 식별자, 전송 장비 종류, 전송 장비 식별자, 전송 시간 등의 정보가 들어있게 된다. 이를 바탕으로 Task Planning System에서는 그림 4에서와 같이 지형 모델의 정보를 Microsoft Access를 이용,

로컬 DB를 구축하여 작업계획 생성을 위한 지형 통합 정보를 저장/출력하고 있다.

| LayerID | x | y | z | layer | subid | color | handle | NUM |
|-----------------|------------|-------|-------|-------|---------|-------|--------|-----|
| L_CurrentDB | ly_0001_01 | 49900 | 20100 | 12744 | ly_0001 | 01 | | 2 |
| L_V_조형기상 | ly_0001_01 | 49300 | 25300 | 12753 | ly_0001 | 01 | | 2 |
| L_V_조형기상2 | ly_0001_01 | 49500 | 19800 | 12749 | ly_0001 | 01 | | 2 |
| L_MinUP/out0 | ly_0001_01 | 49600 | 19800 | 12740 | ly_0001 | 01 | | 2 |
| L_SILC/외세 | ly_0001_01 | 49700 | 19800 | 12730 | ly_0001 | 01 | | 2 |
| L_LandLevel | ly_0001_01 | 49700 | 19900 | 12742 | ly_0001 | 01 | | 2 |
| L_ColorHt_SS | ly_0001_01 | 49800 | 19900 | 12732 | ly_0001 | 01 | | 2 |
| L_ColorHt_SS | ly_0001_01 | 49400 | 19700 | 12745 | ly_0001 | 01 | | 2 |
| L_ColorCode | ly_0001_01 | 49900 | 20000 | 12733 | ly_0001 | 01 | | 2 |
| L_ColorTable | ly_0001_01 | 49400 | 19600 | 12732 | ly_0001 | 01 | | 2 |
| L_LocationModel | ly_0001_01 | 50000 | 20100 | 12733 | ly_0001 | 01 | | 2 |
| L_Layer_Type | ly_0001_01 | 50000 | 20200 | 12748 | ly_0001 | 01 | | 2 |
| L_LayerBound | ly_0001_01 | 50100 | 20200 | 12732 | ly_0001 | 01 | | 2 |
| L_LayerCell | ly_0001_01 | 50100 | 20300 | 12742 | ly_0001 | 01 | | 2 |
| L_LayerCRound | ly_0001_01 | 50200 | 20400 | 12740 | ly_0001 | 01 | | 2 |
| L_LayerHole | ly_0001_01 | 50300 | 20400 | 12753 | ly_0001 | 01 | | 2 |
| L_LayerPoint | ly_0001_01 | 50200 | 20500 | 12749 | ly_0001 | 01 | | 2 |
| L_LayerSplit | ly_0001_01 | 49800 | 20000 | 12743 | ly_0001 | 01 | | 2 |
| L_LayerView | ly_0001_01 | 48600 | 19300 | 12745 | ly_0001 | 01 | | 2 |
| L_LayerPoint | ly_0001_01 | 48000 | 19100 | 12737 | ly_0001 | 01 | | 2 |
| L_LayerPoint | ly_0001_01 | 48100 | 19100 | 12735 | ly_0001 | 01 | | 2 |
| L_LayerPoint | ly_0001_01 | 48100 | 19200 | 12750 | ly_0001 | 01 | | 2 |
| L_LayerPoint | ly_0001_01 | 48200 | 19200 | 12747 | ly_0001 | 01 | | 2 |
| L_LayerPoint | ly_0001_01 | 48300 | 19200 | 12748 | ly_0001 | 01 | | 2 |
| L_LayerPoint | ly_0001_01 | 48400 | 19200 | 12740 | ly_0001 | 01 | | 2 |
| L_LayerPoint | ly_0001_01 | 49500 | 19700 | 12737 | ly_0001 | 01 | | 2 |
| L_LayerPoint | ly_0001_01 | 48500 | 19300 | 12750 | ly_0001 | 01 | | 2 |
| L_LayerPoint | ly_0001_01 | 50400 | 20700 | 12741 | ly_0001 | 01 | | 2 |
| L_LayerPoint | ly_0001_01 | 48700 | 19300 | 12740 | ly_0001 | 01 | | 2 |
| L_LayerPoint | ly_0001_01 | 48800 | 19400 | 12749 | ly_0001 | 01 | | 2 |
| L_LayerPoint | ly_0001_01 | 48900 | 19400 | 12743 | ly_0001 | 01 | | 2 |

그림 4) 객체별 지형정보 데이터베이스

본 연구에서는 Task Planning System 개발 언어 플랫폼으로 Visual Basic을 적용하여 개발하였으며, 별도의 프로그램으로 구동되도록 설계되었다. 로컬 DB에 저장된 지형 정보를 읽어 들이게 되며, 벡터스(Vertex)간에 네트워크를 생성하여 Surface 모델링을 수행하게 된다(그림 5).

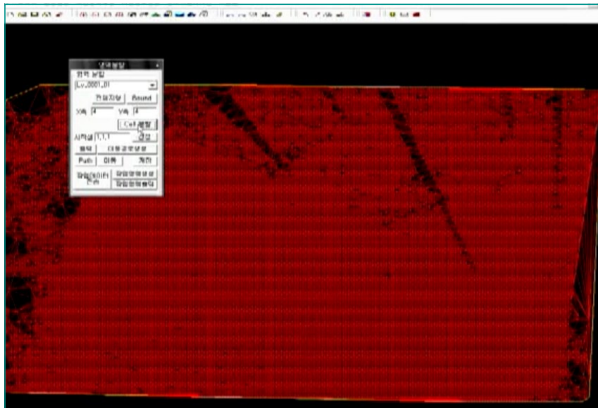


그림 5) Task Planning System에서의 지형 모델

지형 모델을 읽어들은 후, 지형 객체를 생성하기 위하여 다양한 지형 분할 과정을 거치게 된다. 그 동안 작업 계획 생성을 위한 지형 분할 알고리즘 및 프로세스에 대한 연구는 많이 수행되어 왔다(이승수 외, 2008, Kim et al. 2009). 본 연구에서 개발한 지형 분할 및 객체화 프로세스는 크게 다음으로 구성된다.

- 1) 수평 분할 (매스단위 설정을 위한)
- 2) 매스단위 영역 지정
- 3) 수평 재분할 (레이어 생성을 위한)

상기 프로세스를 거쳐 매스단위 내부에 수평 지형 레이어가 생성이 된다(이승수 외 2008). 분할된 각각의 수평 레이어는 지형의 경계 인식 과정을 거쳐 객체로 저장되고 지형 모델을 구성하는 콤포넌트로써

Task Planning System의 로컬 DB상에 저장되게 된다. 저장된 지형 객체는 굴삭시스템의 장비 조종자와 굴삭기간의 인터페이스 디스플레이에 활용될 수 있도록 객체별 시각화가 이루어질 것이며 다른 소프트웨어와의 호환성을 확보할 수 있으므로 다른 BIM 솔루션과의 연동을 통한 시뮬레이션 모델로서도 활용되어질 수 있으므로 활용 가치는 매우 크다고 할 수 있다.

Task Planning System의 지형 분할 프로세스에 뒤이어 레이어 경계선을 기반 굴삭장비의 이동경로 및 굴삭 영역 생성 프로세스를 진행하게 된다. 효율적인 토공작업을 위한 경로계획에 관한 선행연구는 김성근 외 (2007)의 플랫폼 이동 모델, A.E.F. Ryserson과 Q. Zhang (2007)의 커버리지 이동 경로에 관한 연구, Jung 외 (2007), Sylvia 외 (2004)의 모바일 로봇의 이동 경로 생성등이 있다. 본 연구에서는 작업셀을 기초로 굴삭작업계획을 생성하게 되는데 다음의 3단계의 프로세스를 거치게 된다.

- 1) Complete Coverage Path Planning 알고리즘 기반 셀간 순차 생성 (김정환 외, 2010)
- 2) 플랫폼 및 작업 영역 배열
- 3) 장애물 및 굴삭 작업을 고려한 이동 경로 생성 (김성근, 2007)

그림 6과 7에서 보는 바와 같이 셀간 순차 및 이동 경로를 생성하도록 시스템이 구성되며 이러한 과정을 거쳐 생성되는 작업계획은 TPS에 저장된 후 서버에 저장되어 굴삭기 제어부로 전송되게 된다.

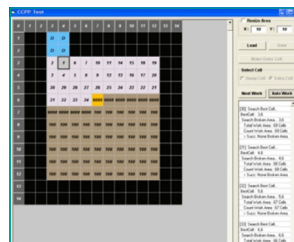


그림 6) 셀 분할 및 셀간 순차 생성

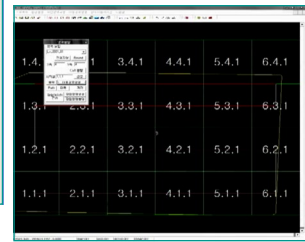


그림 7) 장비의 이동 경로 생성

3. BIM 기반 굴삭시스템의 HMI 및 웹 기반 PMIS와의 통합

지능형 굴삭 시스템에서의 통합은 앞서 살펴본 바와 같이 Task Planning System의 최종 Output인 굴삭기의 이동 경로, 플랫폼 지점 및 굴삭 영역을 굴삭기의 구동을 담당하는 트랙과 굴삭을 위한 선회, 붐, 암, 버킷의 제어를 담당하는 유압계의 조종하는 시스템으로 전송하는 것으로서 이루어진다. 그리고 원격조종시 장비 조종자의 효과적인 굴삭을 돕기 위한 가상현실 기반 Human-Machine Interface(HMI)를 구현하는 것 또한 매우 필수적인 통합 과제이다.

그림 8에서 보는 바와 같이, 지능형 굴삭 시스템은 건설현장내에서 어디든 이동할 수 있도록 이동형 컨트롤 스테이션을 개발하여 자동화 굴삭기와 무선으로 통신할 수 있도록 구성하였다.

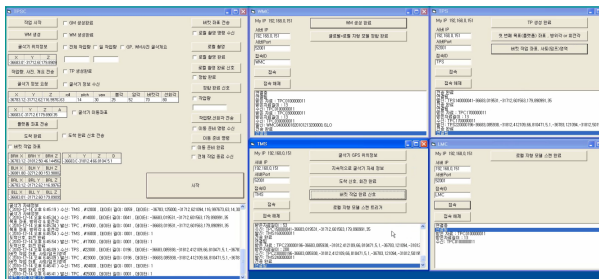
장비 조종자는 그림 8의 ①에서 직각형 조이스틱을 이용하여 ②의 메인 디스플레이 창의 CCTV 화면을 보고 원격조종을 수행하며 서브 디스플레이 창에서 각종 추가 정보를 확인할 수 있다. 장비 조종자와 기



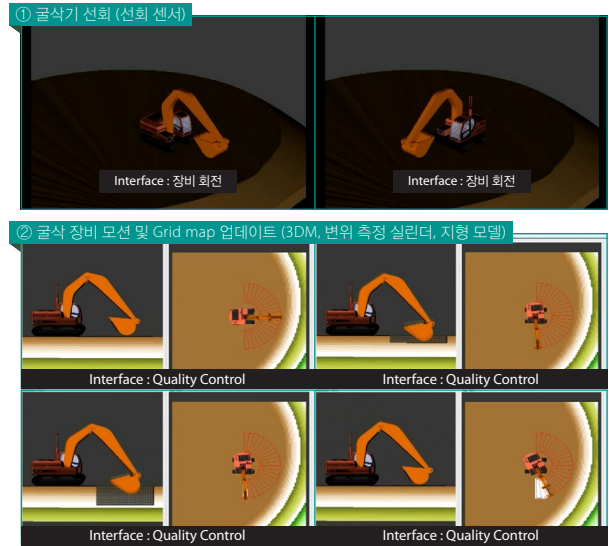
[그림 8] 이동형 컨트롤 스테이션 및 자동화 굴삭기

계사이의 효율적인 인터페이스 개발을 위하여 BIM 기반으로 객체화 된 지형 콤포넨트와 굴삭기를 동기화하여 디스플레이 함으로써 원격 조종 환경에서 장비 조종자가 알아야 할 정보를 제공하고 그 결과를 조종자가 피드백하는 Human-Machine Interface (HMI)의 개발이 요구된다. 이를 위하여 가상환경, 즉 본 연구에서 취득된 지형 모델위에 3차원 굴삭기의 모델을 다음의 정보를 이용하여 매칭시키게 된다. 1) 굴삭기에 장착된 GPS(X, Y, Z), 2) 굴삭기 캐빈내에 장착된 굴삭기의 3DM 자이로 센서(Roll, Pitch, Yaw), 3) 변위측정 센서가 내장되어 있는 유압실린더(Boom, Arm, Bucket의 각도), 4) 굴삭기의 몸체를 회전 정도를 측정하는 선회측정 센서, 총 4개의 스마트 센서가 필요하다. 그리고 지형 DB가 보관되어 있는 호스트(Host) 서버와 접근 권한을 가지는 클라이언트 (e.g. 로컬 스캐닝 시스템, Task Planning System)가 설정되어 있어 지형모델을 원하는 주기에 맞추어 업데이트 할 수 있도록 하여 컨트롤 스테이션(Slave)에서도 굴삭기 조종석(Master)에서와 거의 유사한 가상작업환경을 갖추도록 하드웨어 아키텍처를 설계하였다.

하드웨어와 더불어 각각의 소프트웨어에서는 스마트센서 정보 및 통신 역할을 담당하여 필요로 하는 시스템으로 데이터를 전송하고 있다. Task Planning System Controller(TPSC)에서 작업계획과 관련된 시스템간의 통신을 담당하고 있으며 그림 9와 같이 시그널과 로그, 현재 진행상황을 확인할 수 있다. 이를 기반으로 개발된 HMI의 구성은 그림 10과 같고, 선회, 이동 및 굴착은 1초 단위로 갱신되며, 지형정보 업데이트는 한 굴착 작업영역 레이어에 대한 작업이 종료될 때마다



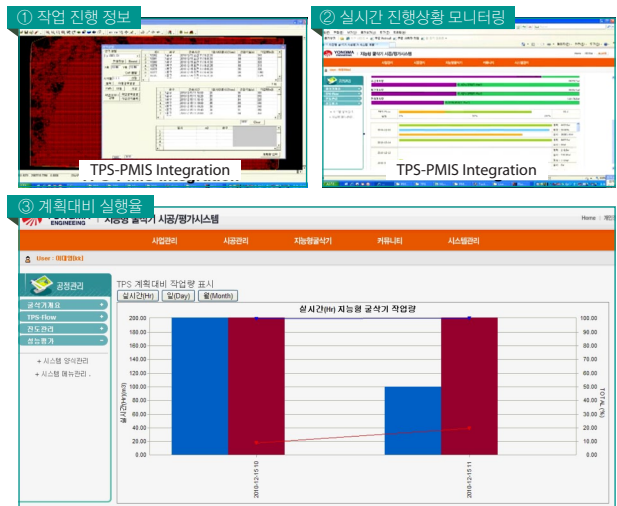
[그림 9] TPS 컨트롤러 및 클라이언트



[그림 10] 굴삭 시스템의 HMI 화면

업데이트 된다.

이와 더불어 각각의 설계 콤포넨트들과 일정 및 비용등과 연계되어 현장 관리자가 공사 실행율을 파악하고 분석하는 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 DB 내로 갱신함으로써 실시간 진행상황을 파악할 수 있고, Task Planning System에서 생성되는 계획작업량 대비 진척도를 평가할 수 있다(그림 11).



[그림 11] Web-based PMIS와 TPS 연동

이로써 장비 조종자의 안전하고 효과적인 굴삭작업을 가능케하고 현장관리자로 하여금 즉각적인 현장 상황 대응이 가능해 질 것이다.

4. 결론

현재 건설 산업의 자동화를 위하여 다양한 기술이 적용된 연구개발이 진행 중이다. 그 중 최근 건설 전(全)분야에 걸쳐 각광을 받고 있는 BIM 기술은 현재 완성단계에 접어들었으며, 적용되는 하드웨어, 미들웨어, 소프트웨어들은 상당한 기술력을 갖추고 있고 타 시스템이나 모듈과의 상호 연계성이 매우 뛰어나다는 강점을 지니고 있다고 평가되고 있다.

본 논문에서는 이러한 BIM의 확장성을 이용하여 지능형 굴삭시스템 개발이라는 건설 자동화 프로젝트에서 작업계획 생성시 지형 모델 객체화, 3D 모델링, 장비 조종자를 위한 HMI 설계와 구성, 웹 기반 PMIS와의 시스템 통합에 BIM의 개념과 요소 기술을 적용하여 연구개발을 수행하였다. 제안된 방법과 결과로 미루어, BIM의 활용성 및 요소 기술 연계성이 점차 건설 자동화 분야로도 확장될 수 있는 잠재력을 가지고 있다고 판단되며, BIM과 건설자동화의 연계를 통한 BIM 및 건설 자동화 시장의 가치를 한 단계 높임과 동시에 건설 산업의 발전을 도모할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업에 의하여 지원되었음 (과제번호: 06첨단융합01).

참고문헌

- 김성근, 옥종호 (2007), "지능형 굴삭기를 위한 플랫폼 이동 모델", 대한토목학회 논문집, 제 27권, 제6D호, pp.767-774.
- 김정환, 윤종호, 장홍열, 백현기, 서종원 (2010), "덤프트럭의 접근을 고려한 굴삭로봇의 작업영역 커버리지 계획", 2010 대한토목학회 정기학술대회 논문집, 대한토목학회, pp.342-345.
- 박현용, 태용호, 우성권 (2007), "운반작업의 영향요소분석을 통한 덤프트럭의 운반속도 산정방법에 관한 연구", 한국건설관리학회논문집, 제8권, 제3호 pp.97-105.
- 이승수, 김정환, 강상혁, 서종원 (2008), "휴리스틱스(Heuristics)를 활용한 지능형 굴삭 시스템의 Task Planning System 개발", 대한토목학회, 제 28권, 제6D호, pp.1-11.

Fujita (2002), Unmanned Construction, Fujita Research, Encino, CA, USA.

J. Turner (2008), Excavation Systems Planning, Design, and Safety, McGraw-Hill Professional.

Kang, J. W., Kim, S. J., Chung, M. J., (2007), "Path planning for complete and efficient coverage operation of mobile robots", International Conference on Mechatronics and Automation, Proceeding of the 2007 IEEE, pp. 2126-2131.

Kim, S. K., Russell, J. S. (2003), "Framework for an intelligent earthwork system: Part I. System architecture", Automation in Construction, 12(1) pp.1-13.

Ryerson, A. and Zhang, Q. (2007), "Vehicle path planing for complete field coverage using genetic algorithms", Agricultural Engineering International: the CIGR E-journal, 9, pp.1-11.

Wong, S. C., MacDonald, B.A. (2004) "Complete coverage by mobile robots using slice decomposition based on natural landmarks", Trends in Artificial Intelligence, 3157, pp. 683-692.

Abstract

Earthwork is important in terms of construction time and duration, and highly related to the construction productivity. However, current earthwork system has stick to labor intensive process depending on skilled operator's heuristic decision making, so it is hard to improve overall productivity. To overcome this drawback, this paper presents a BIM based Intelligent Excavation System(IES). The BIM technology is applied in the excavation task planning system, Human-Machine Interface for remote-control/autonomous work environment, and web-based Project Management Information System(PMIS) in the IES integration process, and the results are addressed

Keywords : Intelligent Excavation System, BIM, Human-Machine Interface, Project Management Information System