

## 토공작업의 데이터 교환 개선을 위한 스마트 글래스 활용

문성우\* · 문창곤\*\*

Moon, Sungwoo\*, Moon, Changgon\*\*

### Utilization of a Smart Glass for Improving Data Interface During the Earthwork Operation

#### ABSTRACT

Earthwork is to level or excavate the ground to provide a space for installing structures. A large number of construction equipment such as excavators, dozers, and dump trucks are put into the earthwork operation. The equipment operators need to constantly communicate with each other during the operation. In the earthwork operation, therefore, the process should be analyzed on the equipment operation to improve the effectiveness of communication. The objective of this study is to understand the earthwork process, and improve the effectiveness of data interface by adopting the smart glass technology. In the study, the general process of earthwork is modeled using a process diagram. The data that is generated during the process is modeled using a class diagram. A database is developed to store and reuse the data. The smart glass technology is adopted to develop a data interface during the earthwork operation. The result of the prototype showed that the technology can improve the data interface during excavation overcoming the shortcomings of hand or sound signals.

**Key words** : Earthwork, Infomation interface, Construction operation process, Smart glass

#### 초 록

토공작업은 자연지반을 정지하거나 터파기를 통해서 구조물을 설치하기 위한 공간을 제공한다. 대규모 건설공사의 경우 토공작업은 굴삭기, 도저, 덤프트럭 등 대형장비가 투입되며, 장비와 장비간 그리고 토공작업에 투입되는 관리자간 인터페이스(interface)가 발생된다. 따라서 토공작업의 효과를 높이기 위해서는 건설장비 조종원간 커뮤니케이션(communication)이 필요하며, 토공작업의 프로세스를 분석하여 커뮤니케이션을 향상시켜야 한다. 본 연구는 건설공사의 토공작업 프로세스를 분석하고, 스마트 글래스 기술을 적용하여 커뮤니케이션 효과를 높이는 것을 목적으로 한다. 본 연구에서는 프로세스 다이어그램을 사용하여 토공작업을 모델링 했으며, 토공작업 프로세스 상에서 생성되는 데이터에 대한 클래스 다이어그램을 작성했다. 또한 토공작업에서 생성되는 데이터를 저장하고 재사용하기 위해서 데이터베이스가 구축되었다. 최종적으로 스마트 글래스 기술을 적용하여 토공작업 중 데이터 인터페이스 효과를 높이기 위한 프로토타입이 개발됐다. 프로토타입 개발 결과 스마트 글래스는 수신호, 경적소리 등 단순한 데이터 전달방식을 벗어나서 토공작업에 참여하는 관리자와 건설장비 조종원간 지속적인 의사소통이 가능하게 할 것으로 평가된다.

**검색어** : 토공작업, 정보 인터페이스, 건설장비 운영 프로세스, 스마트 글래스

\* 중신회원·부산대학교 사회환경시스템공학부 교수, 공학박사 (Pusan National University · sngwmoon@pusan.ac.kr)

\*\* 정회원·교신저자·부산대학교 사회환경시스템공학과, 석사과정 (Corresponding Author · Pusan National University · lunarplant@pusan.ac.kr)

Received June 14, 2016/ revised August 17, 2016/ accepted December 3, 2016

# 1. 서론

## 1.1 배경

건설공사 시공과정에서 토공작업은 토목 또는 건축 구조물을 설치하기 위해서 자연지반의 흙 또는 암을 제거하거나 이동시켜서 정지하는 일련의 과정을 의미하며, 이러한 터파기와 정지작업을 통해서 구조물을 설치하기 위한 공간을 확보한다. 토공작업은 건설공사의 초기단계에서 수행되며, 토공작업이 지연될 경우 전체 공사에 가져오는 공기지연과 원가상승 등 원인이 된다. 전체공사의 비용측면에서 많은 영향을 가져오므로 과학적으로 관리하여 건설관리 효과를 높여야 한다.

대규모 건설공사의 경우 토공작업은 굴삭기, 도저, 덤프트럭 등 대형장비가 투입된다. 건설장비는 토공작업을 수행하는 가장 중요한 역할을 한다. 따라서 건설현장에서는 다양한 형식의 건설장비가 투입되며, 투입되는 건설장비는 건설장비의 특성에 따라서 주어진 기능을 수행한다. 예를 들어서 굴삭기는 지반 터파기와 상차에 적용되며, 도저는 흙을 단거리에 이동시키거나 모으는 기능을 수행한다. 덤프트럭은 굴삭기를 이용하여 상차된 흙을 공사현장의 다른 지역으로 운반하거나 또는 사도장으로 이동하여 제거하는 기능을 수행한다.

다양한 건설장비가 일정 건설현장 내·외에 투입되어 작업을 진행하는 과정에서 건설장비 간 커뮤니케이션(communication) 및 작업정보 제공의 부족, 비숙련공의 시공 오류, 측량의 오차 누적 등 토공작업의 생산성을 저하시키며, 토공작업 중 작업자의 안전사고와 장비간 충돌 등 안전사고의 위험을 가져올 수 있다. 대부분의 건설공사에 요구되는 토공공사의 경우를 살펴보면 시공 중 장비와 장비 그리고 장비와 관리자 간 커뮤니케이션이 부족하여 건설현장 내의 생산성이 매우 낮으며 시공상의 오류가 발생된다. 토공작업에 많은 수의 건설장비가 투입되는 경우에는 특히 건설현장 내에서의 혼잡도가 가중되기 때문에 건설공정의 생산성을 저하시키는 결과를 가져오게 된다(Kim and Kim, 2009).

토공작업 중 커뮤니케이션의 효과를 높이기 위해서는 토공 프로세스에서 생성되는 장비간의 데이터를 분석하여 데이터 인터페이스(interface)를 향상시켜야 한다. 토공작업에서는 장비와 장비간 그리고 작업에 투입되는 관리자간에 지속적으로 데이터 인터페이스가 발생하는 바 건설장비의 운영에 대한 프로세스를 개선하여 장비와 장비간, 그리고 장비와 관리자간 데이터 인터페이스가 원활히 이뤄져야 한다. 예를 들어서 대규모 토공작업 시 복잡한 건설현장 여건은 시공과정에서 측량과 같은 유관 작업과의 인터페이스 부족으로 인하여 작업이 중단될 수 있으며, 또한 다수의 건설장비 간 협업 부족으로 인하여 건설시공 프로세스가 원활하게 이뤄지지 않게 된다. 이와 같은 경우 첨단 정보통신기술을 도입하여 데이터

인터페이스를 향상시키는 시도가 필요하다.

## 1.2 연구목적 및 방법

본 연구는 건설공사의 토공작업 프로세스를 분석하고, 스마트 글래스 기술을 적용하여 커뮤니케이션 효과를 높이는 것을 목적으로 한다. 연구목적을 달성하기 위해서 본 연구에서는 토공작업 프로세스를 분석하고, 토공작업 프로세스 상에서 굴삭기, 덤프트럭 등 건설장비가 투입될 때 건설장비간 데이터 인터페이스를 정의하여 인터페이스 상에서 발생하는 정보전달 체계가 분석됐다. 새로운 토공작업 프로세스는 문헌조사와 전문가와의 인터뷰를 통하여 구성했으며, 토공작업 프로세스 상에서 발생하는 데이터를 도출했다. 본 연구에서는 특히 스마트 글래스 기술을 도입하여 토공작업 프로세스 상에서 기존과 대비되는 개선 정보전달체계를 구현했다. 연구범위는 건설현장에서 가장 많이 적용되는 굴착과 운반을 기준으로 했으며, 관리자와 굴삭기, 그리고 덤프트럭 등 세 가지 주체를 대상으로 포함했다.

본 연구는 1) 토공작업에 대한 이해; 2) 건설장비 운영 프로세스 분석; 3) 건설장비 간 인터페이스 분석; 4) 건설장비 간 인터페이스 데이터 도출; 5) 스마트 글래스 기반 데이터 인터페이스 프로토타이핑 개발 등 다음과 같이 여섯 단계로 진행했다.

첫째, 토공작업에 대한 이해에서는 건설공사에서 토공작업의 역할과 중요도를 분석했다. 둘째, 건설장비 운영 프로세스 분석에서는 토공작업에 투입되는 굴삭기, 덤프트럭 등 개별 건설장비의 운영특성을 분석하고, 이후 굴삭기와 덤프트럭의 조합으로 운영되는 토공작업에서 건설장비가 상호 작용하는 전체 프로세스를 구성했다. 셋째, 건설장비 간 인터페이스 분석에서는 굴삭기, 덤프트럭 등 건설장비의 조합으로 운영되는 토공작업 프로세스에서 각 건설장비와 건설장비가 상호작용하는 인터페이스 특성을 분석했다. 넷째, 건설장비 간 인터페이스 데이터 도출에서는 건설장비간 인터

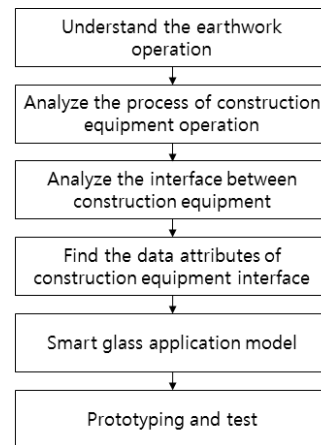


Fig. 1. Research Procedure

페이스 시 송신과 수신되는 데이터 종류와 특성, 그리고 속성값을 도출했다. 다섯째, 스마트 글래스 기반 데이터 인터페이스 모델 개발에서는 건설장비 간 데이터 송수신을 효과적으로 처리하기 위한 스마트 글래스 기반 데이터 송수신 환경에 대한 프로토타입을 개발했다. 마지막으로, 프로토타입을 개발하여 데이터 인터페이스를 테스트했다(Fig. 1).

## 2. 기존연구

### 2.1 토공 프로세스

Kwon et al. (2012)은 장비 동작 데이터를 통해 작업 패턴을 분석하고, 분석된 데이터를 워크샘플링(Work sampling)기법을 실시하여 건설장비의 효율 및 작업의 효율성을 측정했다. 그리고 장비 동작 패턴 데이터의 수집 및 데이터베이스화를 통해서 작업프로세스의 개선과 작업효율성 향상의 가능성을 확인하였다. Lee et al. (2008)는 건설장비 중 굴삭기 자동화를 위해서 각 작업 단계에 숙련된 작업자와 감독관의 휴리스틱스를 정리하고 적용하는 시스템을 개발하여 작업의 효율성과 안전성을 향상시켰으며, 향후 숙련된 작업자의 휴리스틱스(Heuristics) 데이터를 체계적이고 신뢰성있게 정리하여 적용하면 다른 건설 장비의 자동화 개발에 있어 시행착오를 최소화 할 수 있을 것으로 평가했다.

건설장비들의 협업작업의 효율성을 향상시키는 방안의 하나로 작업 프로세스의 개선과 생산성 향상을 위한 연구가 진행되었다. Kim (2014)은 다수 및 다종의 건설장비들이 협업작업을 수행할 수 있도록 멀티에이전트(Multi agent) 개념을 적용하여 각 에이전트 간 협력 및 조정을 위한 프레임워크(Framework)를 제시하였으며, 멀티에이전트 시스템을 통한 시뮬레이션 분석을 통해 생산성과 효율성에서 좋은 성과를 보임으로써 현장 적용성이 높은 자동화 시스템을 구축했다.

Kim et al. (2015b)은 토공작업 계획에 있어서 실제 현장의 지반 정보와 경로, 장비 스펙을 고려하여 Task Package (TP)를 구성하고, TP들의 작업수행을 스케줄링하고 TP들의 작업량을 고려하여 건설장비를 재배치하는 모델을 개발했으며, 이러한 과정을 통하여 토공 생산성 향상의 가능성을 확인하였다. Kim et al. (2015a)은 다수의 건설장비를 플릿 구성하고 토공작업 구역의 작업량에 따라 실시간으로 건설장비의 구성을 조정하고, 건설장비 군들 간의 자원을 재배분하는 건설장비 운영 방법론을 제안하였다. 제시된 방법론을 적용한 플릿관리의 시나리오 케이스 연구를 통해서 건설장비의 가동률과 생산성 향상 등 건설장비의 운영 프로세스를 개선했다.

Moon and Cho (2015)는 토공작업에 투입되는 건설장비 간의 정보 인터페이스와 장비의 속성정보를 분석하고 데이터를 모델링

하여, 다수 및 다종의 건설장비간 생성되는 많은 정보를 장비정보 인터페이스를 통해서 원활히 공유함으로써 작업의 혼란을 방지하고 생산성을 향상시킴으로써 건설장비의 효과적인 협업프로세스 구축에 기여할 것으로 기대했다. Seo et al. (2006)는 현장에서 생성되는 장비운영, 운영주기, 현장조건 데이터를 수집하고 데이터베이스화 하였으며, 장비운영 및 조합계획, 운영주기 등 데이터 시뮬레이션을 활용하여 계획된 작업시간과 실제 현장작업시간의 연관성을 검증함으로써 효율적인 건설장비 운영 프로세스를 수립 및 비교하는 도구로 사용될 수 있는 가능성을 확인했다.

### 2.2 스마트 글래스 적용사례

Wang et al. (2008)은 Head Mounted Display (HMD) 장비와 멀티마커(Multi Marker)를 이용하여 현실세계와 가상현실을 혼합한 Mixed Reality (MR)/Augmented Reality (AR)을 표현했다. 본 연구자들은 이러한 연구를 통하여 MR과 AR을 설계 검토 협력 시 2D 도면을 이용하는 것보다는 3D 도면과 MR 시스템을 이용하여 시각화된 정보를 제공하는 것이 협업의 결과물과 만족도에 있어서 유용함과 그 잠재력을 증명했다.

Kim et al. (2013)은 철근공사를 3D 모델링하여 HMD의 내장된 카메라를 통해서 관측할 수 있게 했으며, 가상의 3D 이미지와 실제 현장에 마커를 설치하여 배근되어진 철근의 배근상태를 검측하는 철근공사 배근검측 프로세스를 제안했다. 현장에서의 효과를 분석하기 위해서 기존 2D 도면을 바탕으로 한 검측수행과 AR HMD를 통해서 철근배근 검측시간을 측정하고 비교분석한 결과 철근배근의 시간을 단축하여 생산성을 높일 수 있다고 평가됐다. 또한 Kim et al. (2012)은 증강현실을 기반으로 네트워크 통신을 통해 의사결정자들로부터 동적으로 공사 계획을 변경하여 프로젝트에 최적화된 프로세스와 건설 장비 운영 시나리오를 수립할 수 있는 양방향 상호작용 모델을 개발하여 계획단계에서 상당한 잠재력을 확인했다.

건설현장 이외에 Woo (2014)는 조선소라는 거대한 작업공간에서 작업자들의 Health, Safety and Environments (HSE) 확보를 위하여 스마트 글래스에 다양한 센서와 추가적인 센서를 탑재하여 작업자에 대한 다양한 정보를 획득했다. 본 연구자는 획득한 정보를 이용하여 작업자들의 안전 및 건강에 대한 관리의 고도화와 작업현장의 유해요인 제거 뿐 아니라 생산성 향상의 가능성을 확인했다.

기존연구에 대한 조사결과는 건설현장에서 스마트 글래스 적용 사례는 제한적임을 보여준다. 그러나 스마트 글래스가 가지는 기능을 고려했을 때 스마트 글래스 적용사례는 증가할 것으로 판단된다. 본 논문에서 제시하는 연구는 스마트 글래스를 특히 건설현장 토공작업에 적용한다는 차별성을 가지고 있다. 토공작업은 현장에서 다수의 건설장비 간 협업을 통하여 진행되는 점을 고려할 때

스마트 글래스를 적용하면 관리자, 장비조종원간 토공작업 중 데이터 교환 효과가 향상될 것으로 판단된다.

### 3. 스마트 글래스 기반 토공 프로세스

스마트 글래스(Smart Glass)는 정보관리를 위한 새로운 Information and Communication Technology (ICT) 환경을 제공한다. 스마트 글래스는 안경으로 착용하는 데이터 커뮤니케이션 기능을 제공한다는 특징을 가지고 있으며, 다양한 형태로 사용자에게 제공되고 있다. 특히, 구글에서 제공하는 구글 글래스는 모니터 역할의 프리즘을 사용하여 데이터와 사진, 동영상 등을 이용할 수 있다는 특징을 가지고 있으며, Wi-Fi나 블루투스(Bluetooth)통신으로 전송되는 데이터를 바로 전달 받는다. 사용자는 안정형태로 제공되는 환경에서 작업을 중단할 필요없이 손쉽게 데이터를 검색할 수 있다.

스마트 글래스는 정보전달을 위해서 다양한 기능을 제공한다 (Google, 2012). 구글 글래스를 기준으로 고려할 때 스마트 글래스가 제공하는 기능에는 1) 카메라 2) 비디오, 3) 검색, 4) 음성입력 그리고 5) 뷰파인더(Viewfinder) 등 5가지가 있다. 첫째, 사진기능은 현장에 있는 사물을 찍어서 데이터베이스로 전송하고 공유한다. 둘째, 비디오기능은 현장에서 발생하는 상황을 비디오로 찍어서 데이터베이스로 전송하고 공유한다. 셋째, 검색기능은 구글검색 기능을 이용하여 현장에서 필요한 정보를 바로 검색하도록 한다. 넷째, 음성입력기능은 무선으로 전화를 걸고 수신하며 대화하도록 지원한다. 다섯째, 뷰파인더 기능은 GPS 위치정보를 활용하여 설계도서의 계획을 현장에 있는 사물과 중첩시켜서 시공관리에 필요한 정보를 제공한다.

이와 같이 스마트 글래스가 제공하는 기능은 건설관리 기능을 보완할 수 있으며, 토공작업시 건설장비 간 데이터 인터페이스를 위해서 활용될 수 있다. 예를 들어서 건설장비 조종원은 장비조종 레버를 잡고 장비를 움직여야 한다. 스마트 글래스와 같이 손을 쓰지 않아도 바로 장비 인터페이스를 제공하는 스마트 글래스는 건설장비 정보 인터페이스를 위해서 적절한 대안이다. 이와 같은 환경에서 굴삭기 조종원은 스마트 글래스의 기능을 이용하여 장비 조종 중에도 관리자와 굴삭기, 덤프트럭 등 같은 토공작업 프로세스에 투입된 장비 조종원들과 끊임없이 정보교환을 할 수 있게 된다.

뿐만 아니라 스마트 글래스는 컴퓨터 PC 환경과 다르게 마우스와 키보드를 쓰지 않고도 다양한 정보검색과 활용이 가능하다. 예를 들어서 스마트 글래스 프레임 테를 터치하거나, 두들기거나, 또는 앞으로 뒤로 쓴다거나 하여 스마트 글래스 화면을 이동시킬 수 있다. 이러한 스마트 글래스의 사용자 환경을 통해서 토공작업 데이터 인터페이스에 필요한 메뉴체계를 상위와 하위로 구성하고 필요한 메뉴로 이동할 수 있다. 또한 무선전화 기능을 이용하여

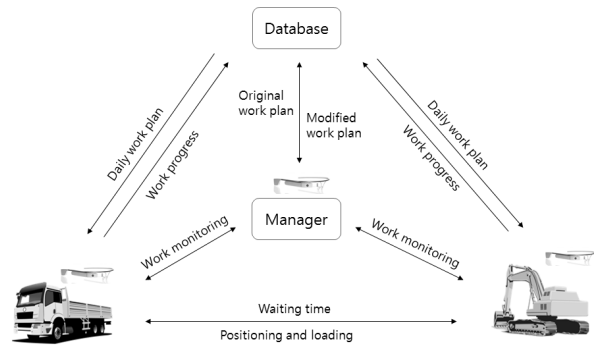


Fig. 2. A Smart Glass-Based Earthwork Process

토공작업 프로세스에 투입된 다른 건설장비 조종원과 대화 등 커뮤니케이션을 할 수 있다.

Fig. 2는 스마트 글래스를 사용하여 제시되는 건설장비 정보 인터페이스를 위한 환경을 나타낸다. 본 건설장비 정보 인터페이스를 위한 스마트 글래스 환경은 상기 기술한 사진, 비디오, 검색, 대화 등 네 가지 기능을 가진다. 스마트 글래스의 프리즘에는 건설장비 운영에 대한 정보가 나타난다. 건설장비 운영정보에는 작업횟수, 토공량 등 당일 작업내용이 나타난다. 굴삭기와 덤프트럭 등 건설장비 간 토공작업 프로세스 상에서 필요시 건설장비에 있는 경적소리를 이용하여 “뽕뽕” 하는 대신 상호간에 스마트 글래스 화면을 통해 작업의 계획의 변동, 진행상황, 대기시간 등 정보를 확인할 수 있으며, 작업 참여자 간 통화를 할 수 있으므로 효과적으로 상호 커뮤니케이션이 가능하다.

현장 적용을 위해서는 원활한 데이터 송수신을 위한 네트워크 환경이 구축되어야 한다. 네트워크 환경을 통하여 건설장비 조종원에게 스마트 글래스를 통해 작업자에게 보여지는 정보에만 시선이 집중되지 않도록 디스플레이 위치와 가독성의 조정 등 작업을 최적화 해야 한다.

## 4. 토공작업 프로세스 분석

### 4.1 개별 건설장비 운영 프로세스

토공작업 프로세스에서는 관리자와 굴삭기, 덤프트럭 등 개별장비 간 협업하여 주어진 작업을 수행하게 된다. 관리자는 토공작업에 대한 전반적 계획을 수립하고 관리하며, 굴삭기 조종원은 굴삭기 등 관리자의 지시에 따라서 절토작업을 수행하며, 덤프트럭 조종원은 사토장 등 관리자의 지시와 굴삭기 조종원과 협업하여 토공작업에 참여한다.

#### 4.1.1 관리자

토공작업 프로세스 상에서 관리자는 토공작업계획 수립뿐만

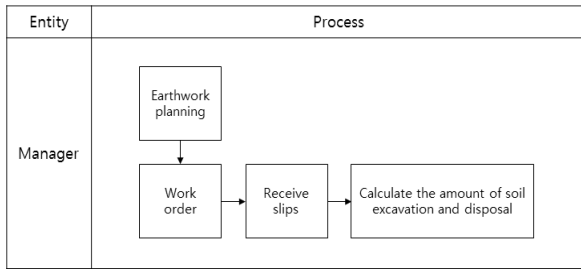


Fig. 3. Process for Managers

아니라 작업진행상황 체크와 작업내용 전달 등 기능을 수행한다. 예를 들어서, 관리자는 덤프트럭의 운행횟수를 검토하며, 또한 레벨측량을 실시하여 절토와 성토가 토공계획고에 따라서 진행되고 있는지를 확인하고 확인된 결과를 굴삭기 조종원에게 전달한다. Fig. 3은 토공작업 중 관리자 프로세스를 보여준다. 관리자는 토공계획을 세우고, 토공계획 결과에 따라서 백호, 덤프트럭 등에 작업지시를 내린다. 작업지시를 내림과 동시에 관리자는 개별 건설장비들이 작업계획에 따라서 주어진 작업을 처리하는지 모니터링한다. 모니터링 과정에서 덤프트럭 조종원은 상차된 흙을 사토장에 버린 후 증빙자료를 관리자에게 제출한다. 관리자는 제출된 자료를 통하여 당일 토공작업량을 계산하고, 계획대비 실적을 분석한다. 뿐만 아니라 굴삭기 토공작업 중에는 레벨 등 측량기를 사용하여 현재 지반고와 계획 지반고, 그리고 실 작업고를 비교하여 절토와 성토가 계획에 따라서 진행되는가를 확인하고, 측량결과를 수시로 굴삭기 조종원에게 알려준다.

4.1.2 굴삭기

토공작업 프로세스 상에서 굴삭기는 지표면을 정지하거나 지반을 굴착하고 발생한 흙을 덤프트럭으로 상차한다. 굴삭기의 굴착과 상차는 굴삭기 몸체에 부착된 붐(Boom), 암(Arm), 그리고 버킷(Bucket)을 사용하여 이뤄진다. 조종원은 버킷을 정교하게 조종하여 계획고에 따라서 정확히 토공작업을 수행해야 한다. 또한 덤프트럭 조종원과 협조하여 절토된 흙을 덤프트럭에 상차한다. Fig. 4는 토공작업 중 굴삭기 프로세스를 보여준다. 굴삭기 조종원은 작업지시에 따라서 지반현황을 분석한 후 굴삭기가 위치한 지반을 수평으로 정지한다. 이후 굴삭기가 위치한 지반 아래의 흙을 절토하고 회전하여 덤프트럭에 상차시킨다. 상차가 끝난 후에는 운전석 경적을 사용하여 상차가 끝났다는 것을 덤프트럭 조종원에게 알려준다.

4.1.3 덤프트럭

토공작업 프로세스 상에서 덤프트럭은 굴삭기가 상차한 흙을 사토장으로 운반하여 버린다. 토공작업 프로세스 상에서 한 대의

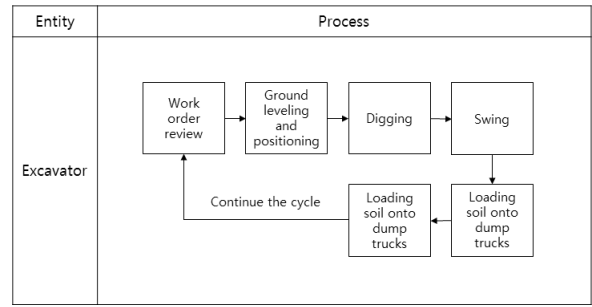


Fig. 4. Process for Excavator Operators

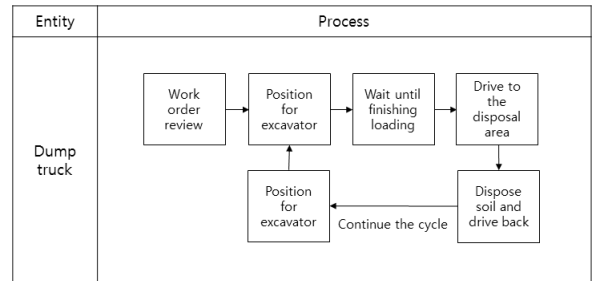


Fig. 5. Process for Dump Truck Operators

굴삭기에 다수의 덤프트럭이 조합하게 되며, 덤프트럭의 수는 상차 시간과 사토장까지의 사토거리에 따라서 결정된다. Fig. 5는 토공작업 중 덤프트럭 프로세스를 보여준다. 덤프트럭 조종원은 사토장 위치 등 작업지시를 받은 후 굴삭기의 작업이 끝날 때까지 대기한다. 덤프트럭이 정위치를 하기 위해서 후진할 때 굴삭기 조종원은 적당한 위치에서 경적을 사용하여 덤프트럭 조종원에게 정지하라고 신호를 보낸다. 굴삭기의 상차작업이 끝나면 굴삭기 조종원의 정지신호에 따라서 상차작업의 종료를 인지한 후 사토장까지 이동하여 흙을 버린 후 토공현장으로 다시 돌아온다.

4.2 기존 건설장비 연계 프로세스

토공작업을 효율적으로 운영하고 생산성을 높이기 위해서는 관리자, 굴삭기, 그리고 덤프트럭 등 토공작업 프로세스에 투입되는 주체들은 상호 긴밀한 협조관계를 통하여 작업을 수행해야 한다. Fig. 6은 토공작업 프로세스에 투입되는 관리자, 굴삭기, 그리고 덤프트럭 간 상호관계의 흐름을 보여준다. Fig. 6의 다이어그램을 살펴보면 관리자, 굴삭기, 그리고 덤프트럭 간 데이터 인터페이스 관계를 알 수 있다.

토공작업 건설장비 운영 인터페이스 관점에서 각 주체간 데이터 인터페이스를 살펴보면 첫째, 관리자는 굴삭기와 덤프트럭의 조종원에게 당일 작업지시를 알린다. 둘째, 굴삭기 조종원은 관리자 그리고 덤프트럭 조종원과 커뮤니케이션 한다. 관리자로 부터 굴착고 또는 성토고에 대한 정보를 수신하고, 절토 또는 성토가 계획에

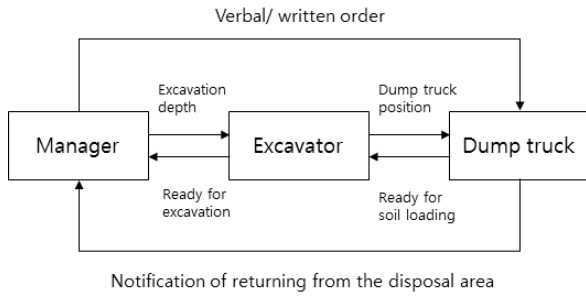


Fig. 6. Integration Process for Earthwork Operations

따라서 진행되고 있는지 확인 받는다. 덤프트럭 조종원과는 덤프트럭 위치 그리고 상차작업 종료 등에 관한 정보를 커뮤니케이션한다. 셋째, 덤프트럭 조종원은 굴삭기 조종원의 요청에 따라서 덤프트럭을 위치시키고, 상차종료 후 관리자의 지시에 따라서 상차된 흙을 사토장으로 운반하여 버린다. 사토가 끝난 후 토공현장으로 돌아오면 사토에 대한 증빙자료를 관리자에게 제출한다.

### 4.3 기존 건설장비 데이터 인터페이스 유형 및 방법

Fig. 6에서 보여주는 바와 같이 토공작업 프로세스 상에 투입되는 관리자, 굴삭기, 그리고 덤프트럭 등 조종원 간에는 지속적으로 데이터 인터페이스가 발생된다. Table 1은 토공작업에서 발생하는 데이터 유형과 데이터 전달방법을 보여준다. 현재 데이터 인터페이스 방법을 살펴보면 종이문서, 경적, 수신호 등으로 이뤄진다. 토공현장은 자연환경에서 수행되고, 소음과 진동 등으로 데이터 송수신이 원활하게 이뤄지기 어려운 여건이다. 따라서 토공작업의 효율성을 높이고 생산성을 향상시키기 위해서는 새로운 데이터 전달방법이 필요하다.

본 연구에서는 기존 데이터 인터페이스 방법을 개선하기 위한

방법으로 스마트 글래스 기반의 데이터 인터페이스 방법을 제시한다. 스마트 글래스와 같은 첨단 ICT 환경의 도입으로 토공작업 프로세스 상에 투입되는 관리자, 도저, 굴삭기, 그리고 덤프트럭 등 조종원 간 커뮤니케이션을 활성화함으로써 단순한 데이터 전달뿐만 아니라 지속적인 상호협조체계가 가능하도록 할 것이다.

## 5. 스마트 글래스 기반 데이터 인터페이스

### 5.1 데이터 모델링

데이터 모델링은 Table 1에 정리된 데이터를 데이터베이스화하기 위해서 작성됐다. 본 논문에서는 Universal Modeling Language (UML)를 사용하여 데이터의 구성과 관계를 나타냈다. Fig. 8은 관리자와 건설장비 간 데이터 인터페이스 프로토타이핑을 위해서 작성된 클래스 다이어그램을 보여준다. 클래스 다이어그램은 건설장비가 가지는 속성정보를 분류하고, 이중 공통정보를 처리함으로써 데이터 처리의 속도를 높일 수 있게 한다. 본 연구에서는 공통속성정보를 추출함으로써 건설장비 간 정보 인터페이스를 구현시키는 틀로 활용됐다. 클래스 다이어그램은 관리자와 건설장비 간 데이터 인터페이스 시 발생하는 데이터의 속성정보를 분류하고, 이러한 데이터 중 공통 데이터를 상위 분류하여 처리함으로써 데이터베이스 처리를 빠르게 할 수 있다.

클래스 다이어그램에서 각 클래스는 관리자, 굴삭기, 그리고 덤프트럭의 이름이 부여됐으며, 각 클래스는 관리자, 굴삭기, 그리고 덤프트럭의 객체를 나타낸다. 클래스에서 상위 클래스는 이름, 작업날짜, 작업지역 등 각 객체의 공통된 속성정보를 나타낸다. 하위 클래스는 각 개별 클래스가 가지는 고유의 속성정보를 나타낸다. 예를 들어서 관리자는 지시사항, 관리대상 등의 속성정보를 가지며, 굴삭기는 굴착횟수, 관련 덤프트럭 번호 등의 속성정보를

Table 1. Current Method of Communication between Manager and Equipment Operators

Send	Receive	Type of information	Current medium
Manager	Excavator operator	Daily work plan Actual ground level Planned ground level Excavated ground level	Verbal direction Hand signal Written slip
Manager	Dump truck operator	Daily work plan Location of a soil disposal area Excavator assigned for soil loading	Verbal direction Hand signal Written slip
Excavator operator	Manager	Start of excavation work Finish of excavation work	Honking
Excavator operator	Dump truck operator	Signal of positioning dump trucks Signal of finishing soil loading	Honking
Dump truck operator	Manager	Slip for indicating soil disposal	Written slip
Dump truck operator	Excavator operator	Returning from a soil disposal area	Honking

가지고, 덤프트럭은 덤프트럭 번호, 운반횟수 등의 속성정보를 가진다. 클래스 다이어그램은 데이터를 상위과 하위 클래스로 구분함으로써 데이터 처리를 효율적으로 관리하도록 하며, 토공작업 중 데이터를 효과적으로 인터페이스한다.

토공작업 프로세스 상에서 발생하는 데이터는 관리자와 건설장비 간 커뮤니케이션 향상을 위해서 필요하며, 토공작업 프로세스에 참여하는 주체간 공유함으로써 토공작업의 효과를 향상시킬 수 있다. 데이터베이스는 데이터 인터페이스에서 발생하는 데이터를 데이터베이스화하여 저장하고 공유함으로써 커뮤니케이션 향상과 특정시점까지의 토공량, 운방량 등 정보관리에 활용될 수 있다. Microsoft SQL 데이터베이스와 같은 관계형 데이터베이스 상의 관계는 토공작업에서 발생하는 속성 데이터를 지속적으로 업데이트하고 저장하는 기능을 가지며, 축적된 데이터를 사용하여 토공작업이 종료된 후 토공작업이 효과적으로 수행됐는지를 분석할 수 있는 자료의 역할을 한다.

Fig. 7은 Microsoft SQL 데이터베이스 상에서 구현된 ERD (Entity-Relation Diagram)을 보여주며, 데이터 종류, 속성, 그리고 데이터 간 관계를 보여준다. ERD에서 볼 수 있는 바와 같이 각 엔티티는 1:N의 관계를 가지며, 1:N의 관계를 사용하여 엔티티 간의 관계를 명확히 설정했다.

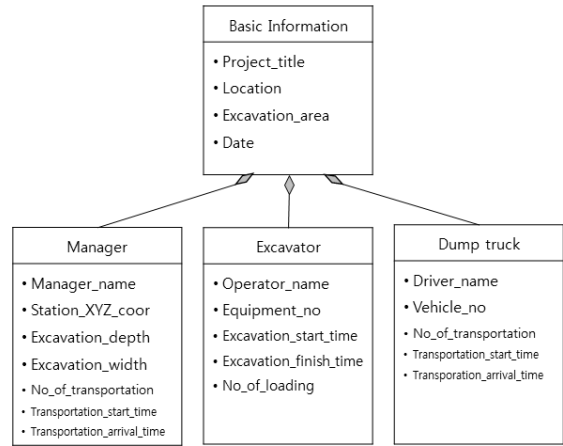


Fig. 7. Class Diagram for Data Interface

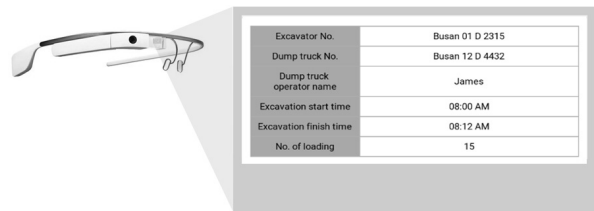


Fig. 8. Image of the Smart Glass Application for Data Interface

## 5.2 스마트 글래스 사용자 화면

본 논문에서 제시된 건설장비 간 데이터 인터페이스 프로토타입은 토공작업 프로세스 상에서 발생하는 데이터 전달체계를 체계화하기 위해서 개발됐다. Fig. 8은 토공작업 프로세스 상에서 관리자와 건설장비 조종원 간 데이터 인터페이스를 지원하기 위해서 개발된 스마트 글래스 사용자 환경을 보여준다. 토공작업 중 발생하는 데이터는 데이터베이스에 저장되며, 저장된 데이터는 관리자와 굴삭기, 덤프트럭 등 건설장비 조종원간 공유가 가능하여 토공작업에 대한 전반적인 이해도를 높여서 건설장비 간 협업효과를 얻을 수 있다.

데이터베이스에 저장된 데이터는 스마트 글래스를 통하여 디스플레이 되어 토공작업에 참여하는 관리자와 건설장비 조종원간 커뮤니케이션을 향상시키는 효과를 가진다. 스마트 글래스를 기반으로 하는 데이터 인터페이스는 토공작업 시 글래스 화면에 표시되는 정보를 이용하여 처리된다. 굴삭기와 덤프트럭 등 건설장비 조종원은 건설장비 운전 중 눈을 전방으로부터 움직일 필요없이 즉각적으로 데이터 인터페이스에 필요한 데이터를 참조할 수 있다. 또한 건설장비 조종원은 스마트 글래스를 터치하여 정보를 전달하거나 음성대화를 통하여 데이터 인터페이스에 필요한 정보를 전달한다. 속성별 데이터는 건설장비 조종원, 현장 작업자, 건설장비 종류, 작업시간, 대기시간 등의 정보를 포함하고 있으며, 토공작업

Table 2. Effect of the Prototyping

Category	Description
Readability	Can visually represent the information for construction operators
Rapidity	Can deliver the real-time information on the progress of earthwork
Reliability	Can summary the progress status on during earthwork
Data usefulness	Can utilize the data stored in a database for an earthwork operation

시 건설장비별로 필요한 정보를 송수신하여 활용할 수 있다.

본 논문의 목적은 토공작업 프로세스 상에서 발생하는 데이터를 분석하고 데이터베이스화하는 것이며, 데이터베이스에 저장된 데이터를 조회하기 위해서 스마트 글래스를 적용하는 과정을 프로토타이핑 하는 것이다. 프로토타입 모델 개발 후 데이터 조회에 대한 효과를 가독성(readability), 신속성(rapidity), 신뢰성(reliability), 그리고 데이터 유용성(data usefulness) 관점에서 정리한 결과는 Table 2와 같다.

## 6. 결론

본 연구에서는 토공작업 프로세스 상에서 발생하는 관리자와

굴삭기, 덤프트럭 등 장비 조종원 간 데이터 인터페이스 향상을 위한 방안을 제시했다. 본 연구에서는 첨단 ICT 기술인 스마트 글래스 기술을 적용했으며, 스마트 글래스가 제공하는 데이터 접근의 간편성을 활용하여 토공작업 상에서 발생하는 데이터 인터페이스의 효과를 향상시켰다. 스마트 글래스 환경에서 데이터 인터페이스 방안을 제시하기 위해서 본 논문은 토공작업 프로세스 다이어그램을 작성하여 데이터 인터페이스 발생시점을 분석하고, 데이터 유형을 분류했다. 스마트 글래스 환경에서 데이터 인터페이스 프로토타입 환경을 개발하기 위해서 클래스 다이어그램을 작성하고 데이터베이스를 개발했으며, 사용자 환경의 예시를 제공했다.

연구결과 토공작업 프로세스 상에서 스마트 글래스 데이터 인터페이스 환경은 다음과 같이 3가지 관점에서 토공작업의 효율성을 높일 것으로 평가된다. 첫째, 관리자와 굴삭기, 그리고 덤프트럭 등 관리자와 건설장비 조종원 간, 또는 건설장비 조종원과 건설장비 조종원 간 의사소통을 지속적으로 할 수 있으므로 문서에 의한 작업지시를 대체할 수 있다. 둘째, 굴삭기와 덤프트럭 등 기존에 사용하고 있는 수신호, 경적소리 등 단순한 데이터 전달방식을 벗어나서 정확하고 지속적인 의사소통이 가능하게 한다. 셋째, 수신호나 경적소리 같이 일차원적인 의사전달이 아니라 쌍방향 의사전달체계를 도입하게 됨으로써 토공작업의 전반적인 진행상황에 대하여 정보를 공유할 수 있다.

본 연구에서 제시한 스마트 글래스 기반 건설장비 간 데이터 인터페이스 프로토타입은 관리자와 굴삭기, 그리고 덤프트럭 간 데이터 인터페이스를 중심으로 했다는 한계점을 가진다. 그러나 건설현장에서 대규모 토공작업에는 도저, 페이로더 등 다양한 건설장비 형태가 추가되고, 굴삭기와 덤프트럭의 경우 일대다가 아니라 다대다의 관계가 형성된다. 따라서 본 연구의 스마트 글래스 기반 건설장비 간 데이터 인터페이스 프로토타입은 향후 확대되어서 다수의 건설장비군을 포함하는 데이터 전달체제로 발전해야 한다. 그러나 현재 연구시점에서 토공작업의 데이터 교환 개선을 위한 스마트 글래스는 프로토타입 수준이며, 향후 지속적으로 연구개발을 통하여 실제 토공작업 현장에 적용하여 현장적용 사례와 함께 데이터 인터페이스 향상을 평가해야 할 것이다. 이러한 경우 스마트 글래스 기반 데이터 인터페이스는 토공작업 프로세스의 효과를 향상시키고 건설장비 생산성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통과학기술진흥원 건설기술연구사업의 연구비지원(16SCIP-B079690-03)에 의하여 수행되었습니다.

## References

- Google (2012). Google Glass Help : Explore Glass Available at: <https://support.google.com/glass> (Accessed: September 19, 2016).
- Kim, B. G., Kim, C. Y. and Kim, H. K. (2012). "Interactive modeler for construction equipment operation using augmented reality." *Journal of Computing in Civil Engineering*, ASCE, Vol. 26, No. 3, pp. 331-341.
- Kim, K. M. and Kim, K. J. (2009). "Evaluation on efficiency of construction equipment using multi-agent based simulation system." *Proceedings of the Korea Institute of Construction Engineering and Management Conference*, pp. 61-66 (in Korean).
- Kim, S. K. (2014). "A multi-agent based cooperation system for an intelligent earthwork." *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 34, No. 5, pp. 1609-1623 (in Korean).
- Kim, S. K., Kim, G. Y. and Park, J. H. (2015a). "An approach for solid modeling and equipment fleet management towards low-carbon earthwork." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 35, No. 2, pp. 501-514 (in Korean).
- Kim, S. K., Lim, S. Y. and Park, J. H. (2015b). "A task planning model for human-machine cooperative works in earthwork operations." *KSCE 2015 Convention, Guasni, Gseo*, pp. 51-52.
- Kim, S. Y., Kim, H. S., Moon, H. S. and Kang, L. S. (2013). "Field applicability of augmented reality technology by marker mapping for construction project : Focused on Measurement Process of Rebar Work." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 33, No. 6, pp. 2509-2518 (in Korean).
- Kwon, J. B., Cho, D. G., Cho, H. H. and Kang, K. I. (2012). "Automatic measurement of construction equipment efficiency using a 11-Axis composite sensor." *Proceedings of the Spring Conference on Korea Institute of Building Construction*, Vol. 12, No. 1, pp. 59-60 (in Korean).
- Lee, S. S., Kim, J. H., Kang, S. H. and Seo, J. W. (2008). "Development of task planning system for intelligent excavating system applying heuristics." *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 28, No. 6D, pp. 859-869 (in Korean).
- Moon, S. W. and Cho, J. S. (2015). "Information modeling for construction equipment interface in earthwork." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 35, No. 3, pp. 699-706 (in Korean).
- Seo, H. B., Jung, W. J., Kim, K. M. and Kim, K. J. (2006). "An analysis on the data distribution of construction equipment operations -A Case on Muck Hauling System-." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers D*, Vol. 26, No. 4D, pp. 661-670 (in Korean).
- Wang, X. and Dunston, P. S. (2008). "User perspectives on mixed reality tabletop visualization for face-to-face collaborative design review." *Automation in Construction*, Vol. 17, No. 4, pp. 399-412.
- Woo, J. H. (2014). "Research on the HSE application with smart device and biometrics." *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, Vol. 19, No. 2, pp. 157-168 (in Korean).