

토공작업 건설장비 정보 인터페이스를 위한 정보 모델링

문성우* · 조경수**

Moon, Sungwoo*, Cho, Kyeongsu**

Information Modeling for Construction Equipment Interface in Earthwork

ABSTRACT

Earthwork is executed to provide a space for facility structures, and plays an important role in the construction operation. Contractors usually put a combination of construction vehicles to execute the earthwork operation. These construction vehicles need to interface with each other for productivity improvement. The objective of this study is to prototype an earthwork supportive system for information interface between construction vehicles. The study is conducted in a sequence of 1) analysis of information interface during earthwork; 2) data modeling of earthwork attributes; and 3) development of a prototype for the earthwork supportive system. The output screen images of the prototype show that the earthwork supportive system can improve communication between construction vehicles by facilitating information interface during earthwork.

Key words : Construction equipment, Information interface, Construction equipment attribute, Data modeling

초 록

건설공사에서 토공작업은 구조물이 시공될 공간을 만드는 중요한 역할을 한다. 토공작업을 위해서는 다수의 장비조합이 필요하다. 이러한 장비들은 토공작업에 투입되어서 상호간에 협업을 통해서 성토 또는 절토와 운반의 역할을 수행한다. 본 연구의 목적은 토공작업에 투입된 건설장비 간 정보 인터페이스를 활성화하기 위해서 필요한 프로토타입을 개발하는 것이다. 연구목적을 달성하기 위해서 본 연구에서는 토공작업에 투입된 건설장비 간 정보 인터페이스를 분석하고, 속성정보를 사용하여 데이터 모델링했으며, 모델링 결과를 기반으로 건설장비 협업체계를 지원하기 위한 건설정보 인터페이스 프로토타입을 제시했다. 프로토타입 결과를 살펴보면 일반적인 토공작업시 처리되는 일반적인 정보뿐만 아니라 장비와 장비간 정보 인터페이스를 표현하여 작업효율을 높일 수 있다는 것을 보여준다.

검색어 : 건설장비, 정보연계, 건설장비 속성정보, 데이터 모델링

1. 서론

1.1 연구의 배경

건설공사에서 토공작업은 구조물이 시공될 공간을 만드는 중요한 역할을 한다. 대규모 토공작업에는 환경적 조건과 작업방법에 따라서 다수 및 다종의 건설장비가 투입되며, 건설장비는 작업 프로세스가 진행됨에 따라서 건설장비는 빈번하게 변화하는 현장조건에 맞추어 작업을 한다.

장기간에 걸쳐서 수행되는 건설공사에 있어서 건설장비의 최적조합과 운영은 건설공사의 비용 및 작업효율과 생산성 측면에서

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

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

Received March 19, 2015/ revised March 25, 2015/ accepted March 26, 2015

커다란 영향을 가져온다. 따라서 건설장비 관리자는 건설장비 투입에 대한 적절한 계획을 사전에 작성한 후 토공작업을 수행해야 한다.

토공작업에 투입되는 건설장비는 개별적으로 부여된 기능을 수행하는 동안 함께 운영되는 기타 건설장비와 효과적으로 정보를 교환해야 한다. 토공작업은 다수 및 다종의 건설장비간 협업체계를 중심으로 수행되며, 건설장비 간 정보 인터페이스가 적절하게 이뤄져야 생산성을 높일 수 있다. 즉, 토공작업 프로세스는 건설장비 간 정보 인터페이스를 활성화하여 토공작업에 필요한 공통된 정보를 교환하고 원활하게 작업이 수행될 수 있도록 계획되어야 한다. 건설장비 간 원활한 정보처리하는 토공작업 중 발생하는 현장여건 변화에 능동적으로 대응할 수 있으며, 작업방법을 유동적으로 변경할 수 있도록 지원한다.

건설장비 간 정보 인터페이스는 작업자와 작업자 또는 건설장비와 건설장비 간에 있어서 지속적이고 효율적인 정보교환이 되도록 하며, 토공작업 시 발생하는 의사결정을 지원하기 위한 수단으로 적용될 수 있다. 이러한 건설장비 간 정보 인터페이스는 예측이 어려운 현장여건 속에서 안전하게 토공작업을 수행할 수 있게 하고, 작업효율의 향상과 함께 생산성을 극대화할 수 있다.

토공작업에서 작업자 간 또는 건설장비 간 정보 인터페이스가 효과적으로 이뤄지기 위해서는 투입되는 토공장비의 종류 및 특성에 따라서 공통된 정보를 분석하고, 이러한 공통정보가 건설장비간 소통될 수 있도록 지원해야 한다. 건설장비 간 정보 인터페이스는 건설장비간 협업체계를 유지하게 함으로써 토공작업의 생산성을 향상시킬 수 있다.

1.2 연구의 목적 및 방법

본 연구는 토공작업시 발생하는 건설장비 간 정보 인터페이스를 분석하고, 이에 대한 인터페이스 정보모델을 수립함으로써 건설장비의 협업체계를 강화하는 것을 목적으로 한다. 건설장비 간 인터페이스 정보에 대한 체계적인 관리는 토공작업 수행의 작업능률을 올리고 건설장비 협업체계 운영에 필요한 지원기반을 제공할 것이다.

연구목적을 달성하기 위해서 본 연구에서는 건설장비의 관리속성 모델수립을 통하여 건설장비 간 정보 인터페이스 환경을 개발했다. 본 연구는 다음과 같이 네 단계로 진행했다.

첫째, 건설장비의 운영특성을 작업에 따라서 구분하고, 각 건설장비간 인터페이스의 특성을 파악했다. 둘째, 건설장비의 조종기능을 파악하여 조종원과 건설장비 간의 정보 인터페이스를 위한 관리속성을 분석했다. 셋째, 건설장비 간 정보 인터페이스에 대한 데이터 모델링과 속성값에 대한 데이터베이스를 개발했다. 마지막으로 넷째, 개발된 데이터베이스를 적용한 건설장비 간 정보 인터페이스의 프로토타입을 개발했다(Fig. 1).

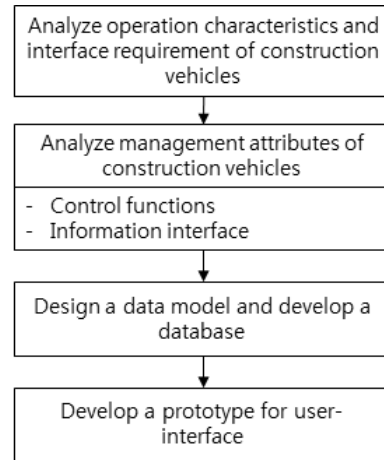


Fig. 1. Research Process

본 논문은 특히 건설사업에서 건설장비가 투입되는 비중이 가장 높은 토공작업인 굴착, 정지, 운반을 기준으로 건설장비의 운영특성과 정보 인터페이스를 분석했다.

2. 관련연구

최근 대규모화, 시스템화, 고정밀화되고 있는 건설산업의 트렌드에 따라서 건설사업에 투입되는 건설장비의 수요는 증가하고 있으며, 이러한 트렌드의 흐름으로 인하여 건설장비의 에너지 효율 및 생산성의 향상을 목표로 자동화에 대한 연구가 다양하게 진행되고 있다.

특히 장비조종원의 작업능률을 향상시키기 위해서 건설장비의 자동화에 대한 연구는 장비조종원이 요구하는 정보의 축적과 활용을 기반으로 진행 중이며, 단일 건설장비뿐만 아니라 여러장비의 협업운영시 연계된 데이터 처리에도 많은 관심을 기울이고 있다.

몇 가지 연구사례를 살펴보면, Lee et al.(2013)는 건설 자동화 장비를 현장에 도입하고 개발하기 위해서 우선적으로 관리해야 하는 요인을 분석하고 실제 현장작업자의 요구조건을 반영하여 자동화 건설 장비의 수준을 향상시킬 수 있는 가능성을 확인하였으며, Kim(2014)은 개별 에이전트들의 협력과 조정을 통해서 문제를 해결하는 목적지향적 인공지능 시스템을 개발하여, 협업 시스템의 시뮬레이션을 실시하고 각 에이전트의 고유정보와 취득정보의 공유 및 조정과 협업기능의 동작을 분석했다.

건설장비 운영시 정보관리의 중요성을 인식하고 건설장비 운영을 위한 데이터베이스에 관한 연구가 진행됐다. Seo et al.(2006)은 건설장비의 운영정보를 분석하기 위해서 건설현장에서 생성되는 정보를 장비운영, 운영주기, 현장조건 등으로 분류하여 데이터베이스화하고, 축적된 정보를 활용하여 장비운영 및 조합계획, 운행주기

(Cycle Times) 등을 추정함으로써, 장비운영 데이터의 특성분석 및 시뮬레이션을 통해 계획된 건설장비의 작업시간과 실제 현장 작업시간의 연관성을 검증했다.

Kwon et al.(2012)은 건설장비의 작업효율을 측정하기 위해서 장비의 동작에 따른 데이터를 이용하여 작업 패턴을 분석하고, 분석된 데이터를 워크 샘플링 기법을 실시하여 작업의 효율성을 측정했다. 그리고 데이터의 수집 및 데이터베이스화를 통해서 건설 장비 운영 및 작업프로세스의 개선과 작업효율성 향상방안을 검토했다.

또한 Gobindan Kannan(2000)은 토공작업의 계획에 대한 현장 데이터의 수집 및 분석의 중요성을 강조하며 계획장비를 설치한 차량을 이용하여 모델링 프로세스 지원을 위한 연속적인 데이터를 수집했다. 이를 위해서 데이터 수집의 개념을 확장하여 작업조건이 반영된 경험 데이터베이스를 구축하고, 경험 데이터베이스의 개념 설명을 위한 필드데이터 및 시각화 기법을 제시했다.

시뮬레이션은 건설장비 특성을 분석하기 위한 중요한 기법으로 연구에 적용됐다. Won et al.(2007)은 건설프로세스의 토공작업에서 장비별 특성과 항목별 요인들의 인과지도(Casual Loop Diagram)를 작성하여 토공작업 중 다양한 데이터가 변화하는 과정에서 각 데이터별 연계성을 확인하고, 시스템 다이내믹스를 이용한 토공 장비 조합모형을 시뮬레이션하여 각 데이터들의 변화를 분석했다.

M. J. Mawdesley(2002)는 토공작업을 분류하여 각 작업별 특성을 분석하고 계획하는 모델을 개발했다. 그리고 작업활동 세트화를 통해서 토공작업의 프로세스를 단순화하고 효과적으로 의사결정 및 중복되는 오류를 제거하는데 적용하였으며, 시뮬레이션을 통해서 실제 건설사업에 적용 가능한 작업활동 세트를 개발했다.

Reza Akhavian(2013)은 건설장비군 운영시 시뮬레이션 자동 생성 및 모델 개선을 위해서 다양한 필드 데이터 처리방법을 제안했다. 그리고 로더와 덤프트럭의 실제 작업운영 데이터를 통합하고 시뮬레이션 및 체계적인 결과모델링의 개선방법에 적용함으로써, 작업전문가의 주관적인 판단과 가정으로 이뤄졌던 건설장비군 운영 시뮬레이션에 명확하고 신뢰성 있는 현실기반 시뮬레이션 모델링을 개발했다.

이와 같은 연구에 있어서 주목해야 할 점은 건설장비간 정보 인터페이스이다. 다수의 장비가 협업하여 진행되는 토공작업을 고려했을 때 효과적인 건설장비 운영을 위해서는 건설장비간 정보 인터페이스에 관한 연구가 요구된다.

3. 건설장비 구성

3.1 운영특성

건설장비는 건설현장에서 수행되는 토공작업에서 인력을 대체

하여 공기를 단축시키고, 시공성을 향상 시키는 중요한 역할을 한다. 일반적으로 건설현장에서는 다양한 건설장비를 조합하여 굴착, 정지, 운반 등의 작업에 투입된다.

굴착작업은 토사나 암석 등으로 이뤄진 지반을 파내어 건물기초와 지하구조물 등을 위한 공간을 조성하는 작업이다. 굴착작업에 투입되는 건설장비의 형태는 굴착량, 장비의 이동경로, 운반수단의 배치 및 수량 등을 결정하는 중요한 요소이다. 그리고 굴삭기의 작업량은 버킷 용량, 버킷 계수, 체적 환산 계수, 작업 효율, 1회 사이클 시간 등에 의하여 결정된다. 굴착작업은 토사의 굴착 후 적재 및 운반, 성토, 다짐, 정지작업 등으로 연계되기 때문에 덤프 및 불도저 등 기타 건설장비와의 협업으로 수행된다.

정지작업은 성토 및 절토작업을 통해서 이뤄지며, 지반을 평탄화하여 지반표면을 계획한 높이만큼 변경하는 작업이다. 정지작업에 사용되는 불도저는 트랙터 전면의 블레이드와 후면의 리퍼를 사용하여 굴착, 운반, 성토, 다짐 등 기본작업을 수행하고, 정지, 벌개, 제근, 리퍼 등 부속작업을 수행한다. 불도저의 작업량은 1회 굴착압도량, 블레이드의 용량, 경사계수, 토량환산계수, 작업효율, 사이클 시간 등에 의하여 결정된다.

운반작업은 건설현장의 굴착 또는 정지작업 과정에서 발생한 토사를 운반하는 작업이다. 덤프트럭의 작업량은 1회 적재량, 체적 환산계수, 작업효율, 사이클 시간, 덤프트럭의 최대 적재무게, 체적 변화율 등에 따라서 결정된다. 사이클 시간은 덤프트럭의 작업량을 결정하는데 매우 중요한 요소로써 적재시간, 왕복시간, 적하시간 등에 의하여 결정된다. 운반작업의 효율을 향상하기 위해서는 적재 시간, 왕복시간, 적하시간 등을 고려하고, 건설장비를 적절하게 운영하여 운반작업의 사이클 시간을 단축해야 한다.

3.2 건설장비 협업체계

건설장비의 조종기능은 건설장비의 작업수행능력을 나타낸다. 장비조종원은 주어진 조종기능을 사용하여 운반, 굴착, 적재, 정지, 다짐 등의 작업을 수행한다. 장비조종원은 장비운영시 자신의 장비뿐만 아니라 타 장비와의 연계기능을 고려하여 작업을 수행한다. 이러한 협업과정은 개별 건설장비에 주어진 기능을 취합하고, 굴착, 정지, 운반 등 토공작업에 필요한 전반적인 기능을 제공한다.

즉, 건설장비들은 각각 독립적인 조종기능을 가지고 있지만 각기 다른 용량과 능력을 사용하여 작업을 수행하기 때문에 건설장비 간 협업체계는 매우 중요한 역할을 한다. 건설장비의 협업체계를 어떻게 효율적으로 구성하는가에 따라서 건설현장에 투입되는 장비종류와 수량이 결정되므로 협업체계 구성에 대한 계획이 중요하다.

건설장비의 협업체계에서는 다수의 다양한 장비가 동시다발적으로 작업을 수행하며, 건설장비 간 동작패턴, 작업교대, 위치이동이 반복적으로 일어난다. 협업체계 하에서 장비 조종원은 작업공정

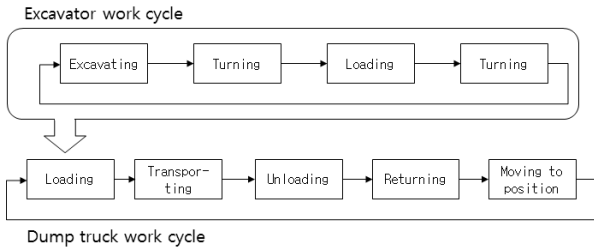


Fig. 2. Work Cycle Between Excavator and Dump Truck

을 단순화하여 작업효율을 높이고, 단위시간에 수행되는 작업량을 향상시켜야 한다. 장비조종원은 장비운영에 필요한 안전, 생산성 등에 관한 정보를 활용하여 장비를 효율적으로 조종해야 하며, 또한 협업체계 하에서 운영되는 기타 건설장비와의 협력을 유지해야 할 필요가 있다.

Fig. 2는 토공작업에서 발생하는 굴착-적재-운반작업의 작업순서를 나타낸다. 이와 같은 작업순서는 연계작업으로 구성되며, 굴착-적재작업은 굴삭기, 운반장비는 덤프트럭 등의 건설장비가 투입되어서 개별적인 작업을 수행하게 된다.

굴삭기-블도자-덤프트럭의 협업작업 시에는 굴삭기의 버킷용량과 블도저 블레이드의 용량, 덤프트럭의 적재용량은 작업 생산성을 결정하는 중요한 요소이며, 작업수행 중 작업의 진행정도를 파악하기 위해서 실제 굴착량 및 굴착 압도량, 적재 횟수, 사이클 시간 등에 대한 정보가 교환되어야 한다.

토공작업 시 이뤄지는 협업체계에서는 장비 조종원의 능력에 의존하여 토공작업이 진행되지만 협업체계 하에서는 건설장비 간 효율적인 협력이 이뤄져야 한다. 건설장비 간 협력이 효율적으로 이뤄지기 위해서는 건설장비의 협업체계에서 필요한 정보 인터페이스를 분석해야 하며, 장비 간 교환되는 작업정보, 작업량, 작업진척도 등에 대한 정보교환 환경이 제공되어야 한다.

4. 건설장비의 관리속성

4.1 건설장비 간 정보 인터페이스

건설장비의 협업체계를 유지하기 위해서는 토공작업 현장 및 건설장비 간 필요한 정보가 장비조종원에게 효율적으로 전달되어야 한다. 건설장비의 효율적 운영을 위해서 필요한 정보 인터페이스는 현장정보, 작업시간, 작업능력, 작업환경 등에 대한 정보를 포함하여 작업진행 중 발생하는 정보를 신속하게 장비 조종원에게 전달하는 기능을 가진다. 건설장비 간 정보 인터페이스는 토공작업의 진척도에 따라서 건설장비의 작업량을 파악하고, 계획된 작업량과 실제 작업량이 상이할 경우 장비의 투입대수 변경 및 작업시간을 연장할 수 있도록 지시함으로써 토공작업의 생산성을 향상시킨다. 이와 같이 건설장비 간 정보 인터페이스는 건설장비와 장비조종

원 간 정보를 전달하기 위한 수단이다. 다양한 건설장비를 조합한 협업작업 수행 시 장비 간 정보 인터페이스는 각 건설장비의 작업 사이클에서 작업시작시간 및 완료시간, 장비대기시간 등 개별장비와 상호 연관정보를 장비조종원에게 제공한다. 건설장비 간 정보 인터페이스는 건설장비의 지속적이고 원활한 협업 프로세스를 제공하고 작업의 효율성을 향상시키며, 토공작업의 시간을 단축시킬 수 있다. 장비조종원은 인터페이스를 통해서 전달되는 정보를 파악하고, 작업진행 속도를 조절하는 등 필요한 의사결정을 통해서 건설장비를 효과적으로 운영하게 된다.

4.2 건설장비 속성분석

건설장비 운영 시 건설장비 간 정보 인터페이스를 위해서는 건설장비의 속성을 분석하고, 속성정보관리를 위한 방안이 제시되어야 한다. 현장정보, 작업정보, 건설장비 특성정보 등 토공작업과 관련한 정보는 건설장비간 작업 시 요구되는 인터페이스를 구성하기 위해 필요하다. 속성정보에 대한 관리는 건설장비의 협업체계에서 개별장비의 기능향상뿐만 아니라 협업체계에 투입되는 건설장비 간 협력을 강화시킨다.

Table 1은 건설장비의 속성정보를 나타낸다. 표에서 속성정보는 삭기(Excavator)와 덤프트럭(Dump truck)에 대하여 나타냈으며, 각 건설장비에 대한 현장정보(Site information), 작업량정보(Work amount information), 그리고 건설장비 정보(Construction equipment information)으로 구분됐다.

여기서 현장정보는 토공작업이 발생하는 현장상태를 나타내는 정보이다. 현장정보는 프로젝트 계획시 측량 및 설계에 따라서 판단되는 정보로써, 건설장비, 작업일수 및 기상조건 등을 고려하여 토공 프로세스의 작업량 및 작업시간에 대한 공적계획을 수행하기 위해 결정된다. 현장정보에서 굴삭기의 경우에는 계획토공량, 토공 작업면적, 계획고 등이 포함되며, 덤프트럭의 경우에는 운반거리, 운반위치, 운반횟수 등이 포함된다.

작업량 정보는 건설장비가 처리하는 토공량을 나타내는 정보이다. 작업량 정보는 작업량 산정에 영향을 주는 요소들로 주로 장비에 대한 작업량, 투입대수 또는 작업횟수, 1회 사이클 시간의 관계로부터 결정되며, 실제 현장에서 작업시 발생하는 정보로 구성된다. 굴삭기의 경우에는 굴착량, 싸이클 시간 등이 포함되고, 덤프트럭인 경우에는 운반량, 운반거리, 적재토량 등이 포함된다.

건설장비 정보는 개별장비가 가지고 있는 특성정보를 나타내는 정보이다. 건설장비 특성정보는 장비가 가지고 있는 고유한 정보로서 장비자체 및 장비에 부착된 작업장치의 용량과 성능으로 생성되어 작업량 결정에 많은 영향을 준다. 굴삭기의 경우에는 버킷용량, 붐과 암의 길이 등이 포함되며, 덤프트럭의 경우에는 적재가능량, 운반속도 등이 포함된다.

Table 1. Construction Equipment Work Attributes

Construction equipment	Work	Work type		
		Site information	Work amount information	Construction equipment information
Excavator	Excavation, loading	Planned excavating volume (m ³)	Excavating soil volume (m ³)	Bucket capacity (m ³)
		Planned excavating range (m ²)	Cycle time (sec)	Boom length (mm)
Dump truck	Transportation	Planned excavating height (m)	Excavating number	Arm length (mm)
		Soil volume (m ³)	Excavating time	Maximum working radius (mm)
			Loading time	Maximum working height (mm)
			Loading soil volume	Maximum working depth (mm)
			Inputting number	Turning speed (rpm)
			Accumulated excavating volume (m ³)	Bucket Turning angle (°)
				Maximum driving speed (km/h)
				Maximum excavating force (ton)
				Maximum hauling capacity (ton)
Dump truck	Transportation	Planned transporting area (m ³)	Transporting soil volume (m ³)	Loading capacity (m ³)
		Transporting position	Transporting distance (m)	Average driving speed (km/h)
		Transporting number	Loading soil volume (m ³)	Maximum driving speed (km/h)
		Driving route	Cycle time (min)	Maximum loading volume (kg)
		Soil volume (m ³)	Loading time (sec)	Dumping angle (°)
			Turnaround time (sec)	Cover box existence or not
			Unloading time (sec)	
			Waiting time (sec)	
			Box cover system setting/dismantling time (sec)	
			Accumulated loading volume (m ³)	
	Inputting number			

5. 정보 인터페이스 프로토타이핑

5.1 건설장비 간 데이터 연계과정

건설장비 및 장비조종원의 데이터 연계과정은 UML 다이어그램으로 나타내질 수 있다. Fig. 3은 굴삭기, 불도저, 덤프트럭의 협업진행시 각 건설장비의 작업단계를 제시하고 작업시 호환되는 작업관계를 유스케이스 다이어그램(Use-Case Diagram)으로 제시한 것이다. 굴삭기-덤프트럭의 굴착-적재-운반작업 시 굴삭기의 적재에 대한 정보는 덤프트럭의 적재량과 연계되며, 불도저-덤프트럭의 운반-정지작업 시 덤프트럭 운반 후 적하된 토사량은 불도저의 정지작업량으로 연계되어 건설장비간 협업 시 데이터가 연관되어 있음을 보여준다.

5.2 건설장비 관리속성 데이터 모델링

협업 시 연계되는 정보는 Fig. 4와 같이 클래스 다이어그램(Class Diagram)을 통해서 공통적인 정보로 분류된다. 클래스 다이어그램은 건설장비가 가지는 속성정보를 분류하고, 이중 공통정보를 처리함으로써 데이터 처리의 속도를 높일 수 있게 한다. 본 연구에서는 공통속성 정보를 추출함으로써 건설장비 간 정보 인터페이스를 구현시키는 틀로 활용됐다.

토공작업시 생성되는 정보에 대하여 투입되는 건설장비를 클래스 이름으로 표현하며, 투입되는 해당 장비에 생성되는 정보를

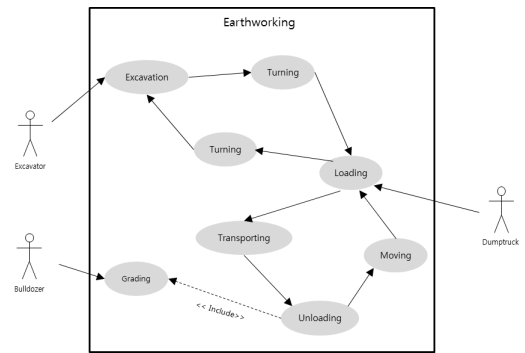


Fig. 3. Construction Equipment Earthwork Use-case Diagram

객체로 표현했다. 최상위 클래스는 건설장비로서 굴삭기-불도저-덤프트럭의 작업정보 중 모든 장비에 공통적으로 포함되는 정보를 포함한다. 이와 같은 공통정보의 예를 들면 계획토공량, 계획작업시간, 토공량 등이 있다.

차상위 클래스에는 굴삭기-덤프트럭과 불도저-덤프트럭의 협업시 인터페이스에 공통적으로 포함되는 정보로 분류했다. 이와 같은 공통정보의 예를 들면 굴삭기-덤프트럭의 경우 굴착토공량, 적재토공량 등이 있다. 공통정보에 포함되지 않은 나머지 정보는 개별장비에만 포함되는 정보이며, 개별장비의 운영에 적용된다.

이와 같은 클래스 구성은 건설장비 간 정보 인터페이스를 모델링하기 위한 체계를 나타내며, 정보의 활용도를 높여서 건설장비의

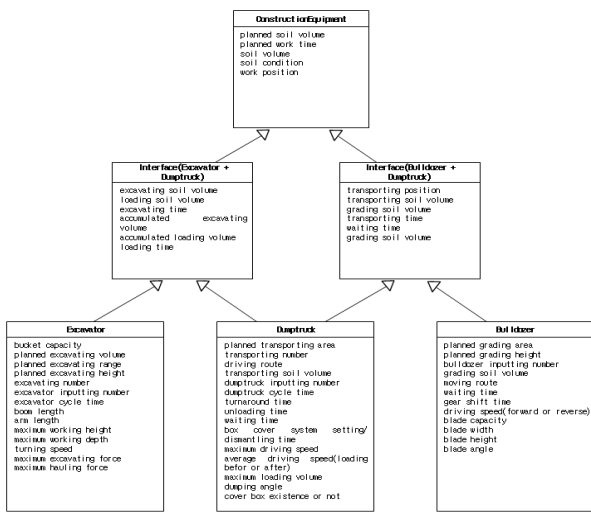


Fig. 4. Construction Equipment Class Diagram

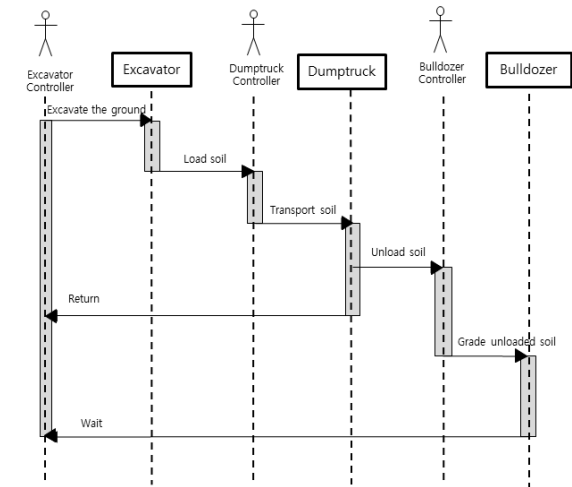


Fig. 5. Construction Equipment Earthwork Sequence Diagram

협업체계를 강화할 수 있도록 돕는다.

Fig. 5는 시퀀스 다이어그램(Sequence Diagram)으로써 건설장비 간 정보의 흐름을 보여준다. 본 시퀀스 다이어그램에서는 건설장비 협업 시 장비 및 장비조종원의 작업진행을 제시하기 위해서 건설장비에 대하여 장비조종원을 작업 수행의 주체로 배치하고, 협업 시 건설장비의 작업흐름에 따라 토공작업간 데이터 연계과정을 제시했다.

5.3 데이터베이스 개발

각 건설장비의 관리속성 데이터를 연계하고 협업지원이 가능한 구조화된 데이터를 저장하기 위해서 ERD(Entity-Relation Diagram)를 작성하여 각 건설장비 별 관리속성 데이터의 구조 및 제약 조건들을 분석했다. 건설장비의 관리속성은 운영특성에 따라서

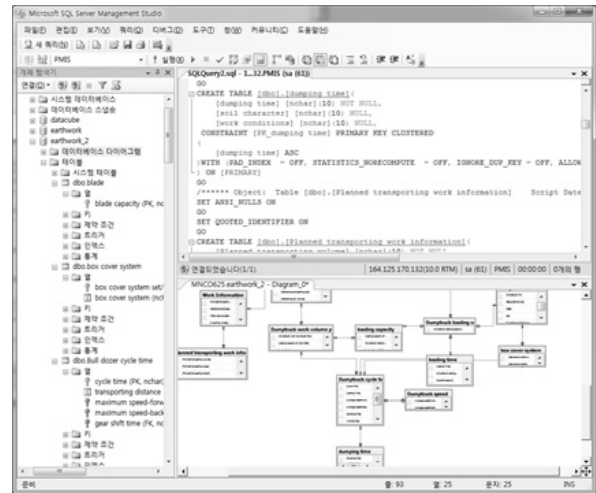


Fig. 6. SQL Database for Information Interface

분류된 구성요소를 기반으로 토공작업에 필요한 엔티티로 구분한다. 데이터베이스에 저장되는 건설장비의 관리속성과 엔티티는 1:n의 관계로 표시하였으며 모든 속성정보는 건설장비 간 정보 인터페이스를 통해서 장비조종원에게 제공되어 협업업무를 지원한다.

각 엔티티는 작업용량, 작업시간 등과 같이 고유의 관리속성에 대한 속성정보를 한 개 또는 그 이상 가지고 있으며, 엔티티 및 속성은 건설장비의 작업에 연계되어 있다. 연계된 데이터는 건설장비 협업 시 상호운용 가능하며 데이터 모델링을 통해서 건설장비 간 정보 인터페이스에 구현되어진다.

건설장비 ERD는 건설장비와 관련된 작업의 정보를 표시하고 정보에 대한 세부 속성정보를 제시하며, 장비에 대한 정보가 연계되어 몇몇의 공유된 정보는 상관관계에 있음을 보여준다. 이는 굴삭기, 불도저, 덤프트럭의 개별작업과 굴삭기-덤프트럭 및 불도저-덤프트럭 협업 시 정보의 연관관계를 시각화할 수 있으며, 건설장비의 현장, 작업량 및 장비정보를 기준으로 정보와 함께 속성관계를 나타낸다.

ERD 관계의 예를 들어서 설명하면, 굴삭기-덤프트럭의 협업시 적재작업 중 굴삭기의 버킷용량과 덤프트럭의 적재용량과 연계되어 있다. 또한 전체계획된 작업량은 건설장비의 총 누적 작업량과 연관되어 있으며, 이로부터 건설장비의 협업이 진행됨에 따라서 시간당 작업량 사이클 시간, 투입대수와 같은 작업량에 대한 정보가 피드백되고 결정되어진다.

Fig. 6은 Microsoft SQL Server Management Studio 프로그램을 적용하여 개발된 건설장비의 주요 속성값에 대한 데이터베이스를 보여준다. 데이터베이스는 건설장비를 관리 및 운영하는데 필수적인 속성데이터를 중심으로 협업기반의 업무프로세스를 지원하도록 설계되었으며, 토공작업을 실시하는 과정에서 건설장비로 지속적인 데이터의 갱신과 저장 가능한 구조를 가진다.

6. 프로토타이핑

건설장비의 관리속성은 각각의 객체별로 데이터베이스에 저장되며, 저장된 관리속성은 건설장비 간 정보 인터페이스를 통해서 디스플레이 된다. 데이터베이스에 저장된 데이터는 현장에서 다수의 건설장비를 운용하는 협업작업 시 작업자와 건설장비 간 또는 건설장비와 건설장비 간 원활한 커뮤니케이션을 지원하며, 작업효율성 향상에 기여할 수 있다. 속성별 데이터는 장비조종원, 현장작업자, 건설장비 종류, 작업시간 및 대기시간 등의 정보를 포함하고 있으며, 토공작업시 건설장비별로 필요한 정보를 활용할 수 있다.

건설장비 간 정보 인터페이스는 협업 시 발생하는 정보를 각 건설장비의 화면에 표시하여 기능을 구현했다. 기존의 건설장비 간 정보 인터페이스에 대한 연구는 개별장비에 대한 작업화면 구현으로 작업현장 정보나 작업량 및 작업시간, 장비정보를 제공하여 장비조종원이 토공작업시 수행하는 조종작업을 지원했다.

Fig. 7(a)에서 굴삭기의 경우, 계획굴착량으로부터 굴착시간과 버킷용량, 현재 굴착량을 표시하고, Fig. 7(b)의 덤프트럭 화면은 개별작업에 대한 정보를 보여주며, 운반량에 대한 적재용량, 적재시간 등의 토사운반을 위한 정보를 제공한다.

반면 본 논문에서 제시된 건설장비 간 정보 인터페이스는 건설장비 간 교환되는 정보 인터페이스를 강화하기 위해서 장비간 공통정보를 제공한다. Fig. 8은 건설장비 협업작업에 대한 건설장비의

작업정보 제공을 지원하기 위한 화면을 보여준다.

먼저 상단에는 건설작업에 투입되는 굴삭기, 불도저, 덤프트럭이 공통적으로 공유할 수 있는 작업에 대한 정보 및 계획 작업량과 작업시간, 지형정보가 포함되어 있고, 하단 좌측과 우측에는 작업을 수행하는 장비에 대한 정보가 제시되어 있다. 좌측에는 현재 장비조종원이 탑승하여 작업을 수행하는 장비에 대한 정보로써 건설장비의 개별정보를 표시하며, 우측에는 협업시 투입되는 건설장비들이 공통적으로 공유하는 작업량, 작업시간, 대기시간 등의 정보를 시각화했다.

굴삭기덤프트럭의 경우 버킷용량 및 적재함 용량을 함께 공유함으로써 작업토사의 이동량을 파악하며, 시간에 대한 정보를 통해서 적재 및 대기시간을 제시했다. 불도저-덤프트럭의 경우, 블레이드 용량과 적재함용량을 공유하며 적하되는 토량에 대한 정지토량을 알 수 있도록 구축했다. 그리고 건설장비 정보뿐만 아니라 작업에 대한 진행정도를 교환하기 위해서 남은 작업량과 진척도를 함께 표시함으로써 작업상황에 대한 이해를 높였다.

현재 건설장비 간 정보 인터페이스 프로토타입의 데이터 입력은 현장에 상주하는 관리자 또는 장비조종원이 인터넷 환경에서 수작업으로 입력하게 되어 있다. 이와 같은 수작업 입력은 본 프로토타입의 실용화를 위해서 한계점으로 작용한다. 그러나 국토교통부에서 진행하고 있는 스마트 시공기술이 정착되면 건설장비의 모션수집 및 운영시스템을 바탕으로 건설장비 간 정보 인터페이스에 필요한 데이터를 자동으로 입력할 수 있을 것이다. 데이터 입력의 문제점을 해결할 경우 건설장비 간 정보 인터페이스 환경은 각 건설장비간 생성되는 작업정보를 공유하도록 지원하고, 건설장비 운영시 협업 프로세스를 최적화한다.

7. 결론

본 연구에서는 건설작업 중 토공작업에 투입되는 건설장비 간 정보 인터페이스를 구현하기 위한 방안을 제시했다. 이러한 연구결과는 토공작업 시 장비간의 협업체계를 강화하고, 향후 개발되는 건설장비군 운영시스템(Fleet Management System)에 적용하기 위한 기초연구로 활용될 수 있을 것이다. 대규모 건설현장에서는 다수 및 다종의 건설장비를 투입하여 협업작업을 수행해야 한다는 점을 고려했을 때 건설장비간 생성되는 많은 정보를 공유하고, 재활용함으로써 건설장비간 원활하게 정보를 교환하고, 건설장비 작업의 혼란을 방지하며, 따라서 토공작업의 생산성을 향상시킬 것이다.

건설장비 정보 인터페이스를 위한 프로토타입은 이러한 협업체계의 요구사항을 반영하여 개발됐다. 본 프로토타입은 건설장비의 조합으로 연계되는 속성정보를 효과적으로 처리 및 운영할 수

Excavator				Dump truck			
Work	Excavation	Construction Equipment	Excavator	Work	Transporting	Construction Equipment	Dump truck
Planned Excavating Volume		Maximum Excavating Height		Planned Loading Volume		Transporting Number	
Excavating Volume		Maximum Excavating Depth		Loading Volume		Transporting Distance	
Bucket Volume		Maximum Excavating radius		Loading Capacity		Maximum Driving Speed	
Excavating Time		Maximum Excavation Force		Loading Time		Average Driving Speed	
		Turning Speed		Turnaround Time		Dump Angle	

(a) Display for the Excavator (b) Display for Dump Truck

Fig. 7. Information Display for Construction Equipment

Interface - Excavator				Interface - Dump truck			
Work	Excavation - Loading	Construction Equipment	Excavator - Dump truck	Work	Excavation - Loading	Construction Equipment	Excavator - Dump truck
Planned Work Volume		Planned Work Time		Planned Work Volume		Planned Work Time	
Work Site Information	Position	H	A	Work Site Information	Position	H	A
Excavator		Excavator-Dump truck Common Information		Dump truck		Excavator-Dump truck Common Information	
Bucket Volume		Excavating Soil Volume		Loading Capacity		Excavating Soil Volume	
Maximum Excavating Height		Loading Soil Volume		Loading Time		Loading Soil Volume	
Maximum Excavating Depth		Accumulated Excavating Volume		Turnaround Time		Accumulated Excavating Volume	
Maximum Excavating radius		Accumulated Loading Volume		Transporting Number		Accumulated Loading Volume	
Turning Speed		Excavating Loading Time		Average Driving Speed		Excavating Loading Time	
Cycle Time		Remaining Amount of Work		Dump Angle		Remaining Amount of Work	
Inputting Number		Working Progress(%)		Cycle Time		Working Progress(%)	
				Inputting Number			

(a) Display for the Excavator (b) Display for Dump Truck

Fig. 8. Information Interface between Excavator and Dump Truck

있으며, 작업현장에서의 즉각적인 상황판단을 가능하게 한다. 그리고 장비조종기능 및 건설장비 간 정보 인터페이스 기능 지원을 통해서 건설장비 작업시 장비조종의 용이성을 확보하며, 이동경로 및 작업시간을 보여줌으로써 장비간 원활한 작업수행을 유도했다.

본 연구에서 제시된 프로토타입은 건설장비군의 협업시 지속적으로 교환되는 정보와 전체작업 계획량으로부터 각 장비의 작업량, 작업시간, 작업투입 시간 등의 정보를 효과적으로 운영하고 디스플레이할 수 있다는 것을 보여줬다. 본 프로토타입은 협업시 생성되는 정보로부터 장비조종원과 작업관리자가 현장정보, 작업환경 및 진행상황을 즉각적으로 판단하고, 건설장비 조종시 공유되는 정보를 활용하기 위한 효과적인 도구로 발전할 수 있을 것이다. 향후 건설장비 간 정보 인터페이스는 건설장비 스마트 기능과 연계되어서 개발될 수 있으며, 건설장비의 효과적인 협업 프로세스 구축에 크게 기여할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 건설기술연구사업의 연구비지원(14SCIP-B079690-01)에 의하여 수행되었습니다.

References

- Akhavian, R. and Behzadan, A. (2013). "Knowledge-based simulation modeling of construction fleet operations using multimodal-process data mining." *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 139, No. 11, pp. 1-11.
- Choi, J. H., Lee, D. H., Kim, S. H. and Kim, S. K. (2010). "Factors affecting selection & combination of earthwork equipments." *Proceedings of Korea Institute of Building Construction*, Vol. 10, No. 1, pp. 201-205.
- Goviadan, K. and Michael, V. (2000). "Development of an experience database for truck loading operations." *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 126, No. 3, pp. 201-209.
- Hwang, Y. J., Won, S. K., Han, C. H. and Kim, S. K. (2006). "A earth-volume estimate model by system dynamics." *Proceedings of Korea Institute of Construction Engineering and Management*, pp. 467-470.
- 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.
- 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.
- Lee, C. J., Lee, G. and Sim, J. K. (2013). "Analysis of the technology adoption impact factors for automated construction equipment." *Journal of Korea Institute of Construction Engineering and Management*, Vol. 14, No. 2, pp. 56-64.
- Mawdesley, M. J., Al-Jibouri, S. H. S., Askew, W. H. and Patterson, D. E. (2002). "A model for the automated generation of earthwork planning activities." *Construction Innovation*, Vol. 2, No. 2, pp. 249-268.
- 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 Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 26, No. 4D, pp. 661-670.
- Korea Institute fo Construction Technology (KICT) (2015). *Standard of construction estimate* (in Korean).
- Won, S. K., Kim, S. K. and Han, C. H. (2007). "A combination model of earthwork equipment using system dynamics." *Journal of Korea Institute of Construction Engineering and Management*, Vol. 8, No. 4, pp. 194-202.