

건설장비 가이드런스 시스템 도입을 위한 비즈니스 모델 효과

Effectiveness of a Business Model for Adopting a Construction Machine Guidance System

문성우¹⁾

Moon, Sung-Woo¹⁾

Received January 15, 2018; Received February 19, 2018 / Accepted February 20, 2018

ABSTRACT: A construction machine guidance system is an assistance system that helps construction equipment operators dig grounds during excavation work at a construction site. This system has long been applied in the overseas countries of the United States, Japan and Europe. However, the system has not been paid much attention in Korea. The objective of this paper is to present a business model for adopting construction machine guidance systems in Korea and evaluate the effectiveness of applying the system to excavation work. The business model in this study shows a new process of applying construction machine guidance system, business stakeholders and revenues, and suggests the benefits to the business stakeholders. A field test of the construction machine guidance system proves that the system can be applied as a tool that can improve the productivity of excavation work. This productivity improvement consequently demonstrates that the business model in this study is a prospective challenge in improving the effectiveness of excavation work at the construction site.

KEYWORDS: Earthwork operation, construction equipment, construction machine guidance system, 3D earthwork BIM, business model, excavation productivity improvement

키 워 드: 토공작업, 건설장비 가이드런스 시스템, 3D 토공 BIM, 비즈니스 모델, 토공 생산성 향상

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 필요성

토공작업은 건설공사를 수행하기 위해서 필요한 공간을 제공하거나, 암거, 상하수도관 등 지하구조물을 설치하기 위해서 수행하는 작업이다. 토공작업은 굴삭기, 도저, 모터 그레이더 등 대형 건설장비를 사용하여 작업을 수행한다. 단지개발과 같이 대규모 공사에서 토공작업은 가장 먼저 추진되는 선행작업이다. 토공작업이 지연되면 전반적인 공사기간이 지연될 수 있으므로 건설공사에 있어서 토공작업은 높은 생산성을 가지고 예정공정에 맞추어서 수행되어야 하는 중요한 역할을 한다.

이와 같은 중요한 역할에 따라서 토공작업은 공사기간과 시공비용에 커다란 영향을 가져온다. 시공사는 현장지형의 특성을 분석하고, 지형특성에 맞는 건설장비 투입에 대한 의사결정을 해야 한다. 건설지형에 따라서 굴삭기, 도저, 페이로더, 덤프트럭 등

투입장비의 유형과 수량을 검토하고, 최적의 조합을 수립하여 토공작업의 효과를 높여야 한다 (Ahn et al. 2016). 또한 전반적인 토공작업을 체계화하여 토공작업에 투입된 장비운영을 최적화하는 노력이 필요하다 (Youn et al. 2016). 건설공사를 공사기간 내에 달성하고 시공비용을 절감하기 위해서 토공작업의 생산성을 높일도록 노력해야 한다.

기존 토공작업의 수행과정을 살펴보면 측량기사가 토공현장의 지형을 측량하고, 측량결과에 따라서 토공작업 위치를 표시한다. 측량기사는 측량 보조원과 같이 토공도면에 따라서 측량위치와 깊이, 폭 등을 측량기를 사용하여 측량한다. 측량된 결과는 말뚝과 띠를 사용하여 토공지역에 표시한다.

토공작업시 과도굴착과 과소굴착을 방지하기 위해서는 측량기사가 수시로 굴삭현황을 측량해야 한다. 과도굴착과 과소굴착은 토공작업에서 생산성을 지연시키는 주요한 문제이기 때문에 건설장비 조종원은 수시로 측량기사에게 도움을 요청해야 하며,

¹⁾ 정회원, 부산대학교 사회환경시스템공학과 교수 (sngwmoon@pusan.ac.kr)

측량기사는 수시로 측량을 실시해야 한다. 이러한 경우 측량기사와 보조원에 대한 인건비가 발생하게 되며, 측량시간 중 굴삭작업을 못하기 때문에 생산성이 떨어지게 된다.

건설장비 가이드런스 시스템은 건설공사에 투입되는 건설장비 조종원에게 현장 토공지형에 대한 정보와 함께 깊이와 폭, 기울기 등 굴삭정보를 제공하는 기능을 수행한다. 건설장비 가이드런스 시스템은 굴삭에 필요한 정보를 제공하기 위해서 수치지도를 활용하여 건설장비의 위치에 따라서 굴삭깊이 등을 계산해야 한다. 또한 건설장비가 작동하는 형상을 3D 토공 BIM 환경에서 표현하기 위해서 IMU (Inertia Measurement Unit) 센서, 각도센서 등을 활용하여 건설장비의 형상정보를 제공한다.

건설장비 가이드런스 시스템은 미국, 일본, 유럽 등 건설 선진국에서는 활발하게 적용되고 있다. Trimble, Topcon, Leica Geosystems 등 해외업체들은 굴삭기, 도저, 모터 그레이더 등 다양한 형태의 건설장비 가이드런스 시스템을 시장에서 판매하고 있다. 건설장비 가이드런스 시스템은 일반적으로 2D와 3D 형태로 제공되고 있으며, 특히 최근에는 3D BIM 기술을 접목하여 개발되고 있다 (Moon and Seo 2017).

일본의 경우 건설기계를 스마트화하기 위해서 정부와 민관이 공동된 인식을 가지고 건설기계 운영 지능화를 위한 노력을 기울이고 있다. 일본정부는 공공공사를 수주하여 수행하는 건설업체들에게 건설장비 가이드런스 시스템뿐만 아니라 드론 등을 통합하여 현장을 운영하도록 가이드라인을 제시하고 있다 (MK News 2015). 건설시공현장을 선진화하려는 일본정부의 노력은 공공공사에서 생산성을 향상시키고, 전반적인 시공기술의 발전을 높이기 위해서 실시되고 있다. 건설기계 제조업체 중 하나인 고마쓰는 스마트 컨스트럭션이라는 목표를 세우고 있다. 이러한 노력의 일환으로 고마쓰는 건설장비 가이드런스 시스템뿐만 아니라 건설기계장비에 인지기술을 적용하고 있다 (Electrical News 2016).

Ahmed et al. (2017) 호주 건설산업에서 토공작업시 자동화 기술도입에 대한 조사를 수행한 바 있다. 본 연구자들의 조사결과에 따르면 호주에서는 일반적인 GPS 활용을 제외하고도 약 12% 내지 15% GPS 기반의 건설장비 가이드런스 시스템을 사용하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 조사결과는 일본에 비하여 소극적인 적용 상태라고 판단될 수 있으나 국내 건설현장 보다는 높은 수준의 인지도를 나타내고 있다.

그러나 국내 건설현장에서는 건설장비 가이드런스 시스템 적용이 되지 않고 있는 것이 현실이다. 국내에서 건설장비 가이드런스 시스템 적용이 미진한 이유는 1) 새로운 기술도입에 대한 거부감이 존재하고 있으며, 2) 건설장비 업자들이 소규모로 영세하고, 3) 시스템 도입에 대한 초기투자비용을 감당하기 어렵기 때문이다. 이와 같은 이유로 국내 건설현장은 현재 건설장비 가이드런스 시스템의 도입이 제한적인 환경을 가지고 있다.

그러나 국내 토공작업과 관련하여 토공작업의 생산성을 높이고, 건설산업의 발전을 위해서 건설장비 가이드런스 시스템 도입 필요성이 높은 실정이다. 국내 건설산업이 침체되고 있는 현실에서 건설산업의 활로를 개척하기 위해서 국내에서는 기술향상과 원가절감 노력을 해야 하고, 해외에서는 첨단기술로 중국, 일본 등 해외건설기업과 경쟁하여 건설사업을 수주해야 한다. 따라서 건설장비 머신 가이드런스 시스템과 같은 첨단 토공작업 기술은 국내 건설산업의 경쟁력을 발전시키기 위해서 핵심기술의 역할을 할 수 있으며 도입이 시급한 실정이다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 목적은 국내 건설현장에서 건설장비 가이드런스 시스템 도입의 문제점을 분석하고, 분석된 결과를 바탕으로 건설장비 가이드런스 시스템 도입을 위한 비즈니스 모델을 제시하는 것이다. 비즈니스 모델에서는 토공작업에 관련하는 참여주체를 포함하여 각 주체에게 발생하는 수익관점에서 혜택을 분석한다. 참여주체 중 발주자는 공공기관 또는 민간을 포함할 수 있으나 본 논문에서는 공공기관으로 한정한다. 결과적으로 건설장비 가이드런스 시스템의 미적용과 적용의 차이점에서 도입의 필요성을 논한다.

연구목적을 달성하기 위해서 본 연구는 5단계로 진행됐다 (Figure 1). 본 연구에서는 첫째, 현재 건설현장 토공작업에서 행해지고 있는 토공작업 프로세스를 분석했으며; 둘째, 3D 토공 BIM 환경에서 구현되는 건설장비 가이드런스 시스템의 기능과 역할을 소개하고; 셋째, 건설장비 가이드런스 시스템 도입을 위한 비즈니스 모델을 수립하고; 넷째, 토공작업에 건설장비 가이드런스 시스템을 적용하여 생산성 향상효과를 검토하며; 다섯째, 건설장비 가이드런스 시스템 도입 시 비용적 효과를 수익모델을 이용하여 분석했다.

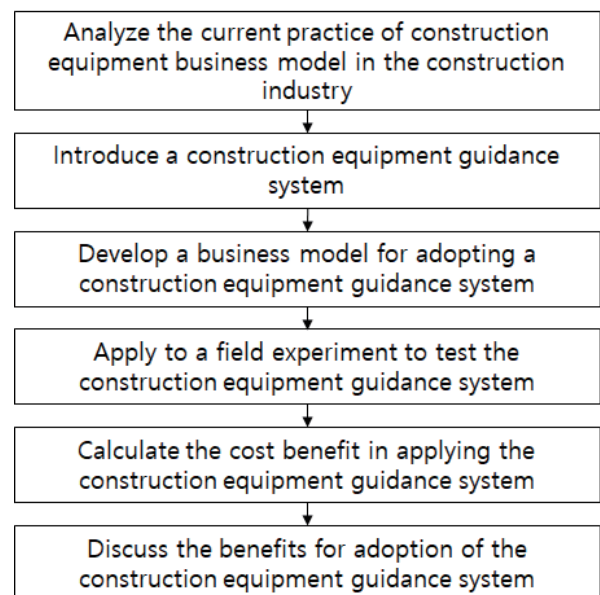


Figure 1. Research process

2. 문헌조사

해외 건설산업 선진국에서는 건설장비 가이드 시스템은 토공작업의 생산성을 높이기 위한 필수적인 기술로 인식하고 있다. Machine Guidance (2012)는 건설장비 가이드 시스템을 이용한 생산성에 대한 조사결과를 발표한 바 있으며, 작업속도 측면에서 고려할 때 50% 이상의 생산성 향상을 가져왔다고 보고했다. 생산성의 향상은 건설장비 조종원이 건설장비 가이드 시스템을 활용하여 토공작업에 대한 작업지시사항을 얻을 수 있어서 나타나게 된다.

건설장비 가이드 시스템을 효과적으로 적용하기 위해서는 시스템 도입과 적용 시 요구사항을 정의하고 시스템에 반영해야 한다. Jonasson et al. (2002)는 건설장비 가이드 시스템 도입에 따른 생산성 향상에 따른 요구사항을 분석했다. 연구자들은 생산성 향상에 따라서 비용절감의 효과가 있다는 연구결과를 도출했으며, 측량비용절감, 운영효율 향상, 작업진로 최적화 등에서 효과를 얻을 수 있다고 분석했다.

건설장비 가이드 시스템 가져오는 생산성 향상 등 효과가 높음에도 불구하고 국내 건설산업에서 건설장비 가이드 시스템에 대한 인식은 미비하였다. 그러나 4차 산업혁명의 일환으로 건설현장에 사물 인터넷 도입 등 첨단 정보통신 기술의 도입 필요성이 커지고, 이에 따라서 건설장비 가이드 시스템에 대한 관심이 높아지고 있다. Construction Specialty Newspaper (2016)는 건설장비 활용성을 높일 수 있는 건설장비 지능화 연구의 효과를 소개하고, 미래지향적인 건설장비 기술도입의 중요성을 보도했다. 건설장비 지능화의 필요성에도 불구하고 건설장비 가이드 시스템에 관련한 연구와 사례는 많지 않지만 최근 가이드 시스템과 관련한 3D 토공 BIM, 관제센터 개발, 장비경로 계획 등에 관한 연구가 진행되고 있다.

Moon et al. (2017)은 건설장비 가이드를 위해서 3D 그래픽 환경에서 운영되는 네비게이터 체계를 연구한 바 있다. 본 연구자들은 개별 건설장비에 대해서 가이드 역할을 하는 네비게이션 뿐만 아니라 다수의 건설장비를 통합적으로 관리할 수 있는 플릿형 네비게이터의 중요성을 연구하고 이에 대한 프로토타입을 제시했다.

플릿형 네비게이터를 효과적으로 운영하기 위해서는 다수의 건설장비를 총괄하여 관리할 수 있는 관제기술의 개발이 필요하다. 이러한 필요성에 따라서 Park and Seo (2015)는 다수의 굴삭기와 도저 등을 모니터링하고 관리할 수 있는 관제 시스템의 중요성을 역설하고 건설장비와 관제센터의 의사소통을 활발히 할 수 있는 기술을 연구했다.

Kim et al. (2015)는 건설장비 가이드 시스템을 효과적으로 운영하기 위해서 필요한 건설장비의 작업계획에 대한 연구를 수

행했다. 본 연구자들은 자동화 건설장비 및 시스템의 생산성을 높이기 위한 방법의 일환으로 가변적인 작업환경에서 건설장비의 효율적인 협업을 위한 시스템을 연구했다. 연구자들은 협업효과를 높이기 위해서 직관적인 토공계획보다는 작업할당을 최적화하는 토공계획 기능을 제공하고, 할당된 작업량을 건설장비 조종원에게 공유함으로써 건설장비의 생산성을 높일 수 있었다.

건설장비 가이드 시스템의 도입은 생산성을 향상시킬 수 있는 역할을 할 뿐만 아니라 사용 유류량을 절감하여 이산화탄소 배출을 감소시킬 수 있다. Lee et al. (2016)은 건설토공현장에 투입된 건설장비의 최적 경로탐색 시스템의 적용성을 테스트하기 위해서 모바일 환경에서 운영되는 시스템 프로토타입을 개발했으며, 프로토타입을 적용하여 운송시간을 단축시키는 연구를 수행했다. 본 연구자들은 지면 종류, 운송장비 무게, 토사 무게, 운송 용량, 타이어 종류 등 생산성 변동요인을 분석하고 건설장비 활동에 대한 경로를 최적화 시킴으로써 유류비 절감과 동시에 이산화탄소의 절감효과를 달성하고자 시도했다.

국내 건설산업의 시장이 위축되고 있는 현실을 감안할 때 국내에서는 생산성을 향상시켜서 원가를 절감하고, 해외에서는 기술우위로 수주확대를 달성해야 한다. 이러한 요구사항을 고려할 때 건설장비 가이드 시스템을 기반으로 하는 스마트 시공기술 개발이 반드시 도입되어야 하는 형편이며, 본 연구에서는 비즈니스 모델을 분석하여 건설장비 가이드 시스템 도입의 효과를 제시한다.

3. 건설장비 가이드 시스템 개요

3.1 시스템 구성

기존 토공작업시에는 측량기사가 굴삭위치를 측량하고, 측량 결과를 토공현장에 표시한다. 반면 건설장비 가이드 시스템은 토공작업에 투입되는 굴삭기, 도저, 모터 그레이더 등 건설장비를 콘트롤하는 굴삭기 조종원에게 굴삭 깊이와 굴삭폭, 그리고 굴삭 기울기 등 굴삭정보를 제공하는 기능을 한다 (Figure 2).

토공현장에서 굴삭정보를 제공하기 위해서는 굴삭위치를 추적할 수 있어야 하며, 굴삭기의 형상을 인식하여 굴삭된 지형과 합성한 후 3D 그래픽 시뮬레이션에서 표현해야 한다.

굴삭기 형상정보를 얻기 위해서는 건설장비의 부재에 센서모듈을 설치해야 한다. 여기에 필요한 센서모듈은 X,Y,Z 축의 각도를 측정하는 IMU 센서, 회전각도를 측정하는 각도센서 등이 있다. 각 센서모듈에서 생성하는 값은 CAN (Controller Area Network) 통신을 통하여 건설장비 가이드 시스템 콘트롤러로 전송된다.

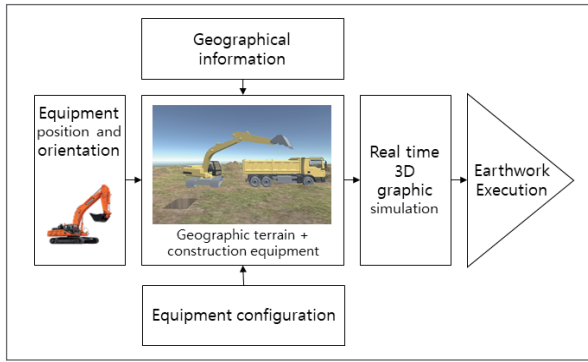


Figure 2. Structure of a construction machine guidance system

3.2 건설장비 가이던스 시스템 모델링

건설장비 가이던스 시스템은 3D 토공 BIM 환경에서 표현된다. 3D 토공 BIM 환경에서 굴삭되는 지형과 굴삭기의 형상을 표현하기 위해서는 토공현장의 지형상태를 표현하는 토공현장 지형 모델링과 건설장비가 가지는 각 부재의 형상을 표현하는 건설장비 모델링이 합성되어야 한다 (Figure 3).

여기서 지형 모델링은 원지반에 대한 원지반고와 굴삭 최종면을 나타내는 계획고를 가지는 수치지도를 활용한다. 지형의 변화를 나타내기 위해서 지형정보를 표시하는 수치지도를 데이터베이스에 저장하고, 굴삭기의 위치정보를 활용하여 현지반고와 계획고를 찾는다. 지형 모델링에 대한 토공계획은 3차원 DEM (Digital Elevation Model)을 통해서 처리된다 (Lee et al. 2010).

건설장비 형상 모델링은 건설장비의 각 부재에 센서모듈을 이용한다. 센서모듈은 건설장비 부재의 움직임에 대한 데이터를 생성하고, 생성된 데이터를 기구학적 (Kinematics) 계산으로 건설장비의 형상정보를 생성한다.

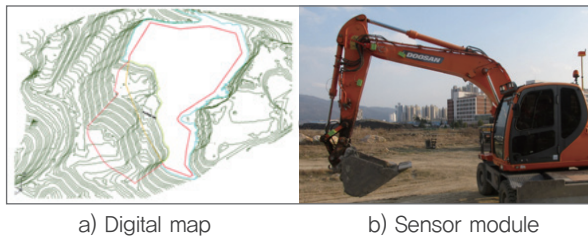


Figure 3. Digital map and sensor modules for system modeling

3.3 위치측정

건설장비 가이던스 시스템에서는 건설장비의 위치가 지속적으로 추적되어야 한다. 건설장비의 위치정보가 확보되면 굴삭기 몸체에 부착된 센서모듈이 제공하는 데이터를 이용하여 굴삭기의 버킷끝단 위치를 추적하게 된다. 현지반고와 계획고는 버킷끝단의 위치정보를 기준으로 수치지도가 저장되어 있는 데이터베이스에서 구하며, 현지반고와 계획고의 차이를 계산하여 굴삭 깊이

를 산정하게 된다.

건설장비의 위치를 추적하기 위해서는 RTK-GPS 장비를 사용한다. Figure 4는 RTK-GPS 위치정보 수신을 위해서 굴삭기에 부착된 2개의 안테나 수신기를 보여준다. GPS 데이터는 위성 데이터를 수신하여 건설장비의 위치정보를 제공하지만 cm 단위의 정확도를 보장할 수 없다. 건설장비 가이던스 시스템을 토공 작업에 적용하기 위해서는 cm 단위의 정확도를 요구하기 때문에 GPS를 보완하기 위해서 RTK 시스템이 연동하여 적용된다. RTK 시스템을 연동함으로써 버킷끝단의 위치정보가 cm 단위로 구할 수 있게 된다.

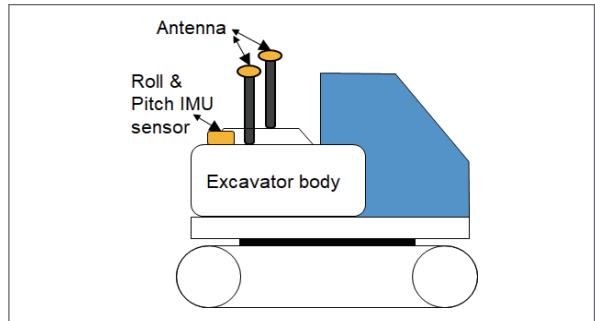


Figure 4. Equipment position tracking

3.4 사용자 화면

건설장비 가이던스 시스템의 사용자 화면은 건설장비 조종원이 참고하는 화면으로서, 토공 작업 시 지반형상과 건설장비 형상을 동시에 보여준다. 사용자 화면은 3D 뷰, 정면 뷰 등으로 구분되어서 3D와 X,Y,Z 단면의 건설장비가 움직이는 형상을 보여준다 (Figure 5). 건설장비 조종원은 사용자 화면의 3D 그래픽 시뮬레이션을 참조하여 현재 작업현황을 시각적으로 확인한다.

건설장비 가이던스 시스템은 3D 토공 BIM이 제공하는 시각적 정보뿐만 아니라 토공작업에 필요한 수치 데이터를 제공한다. 건설장비 조종원은 건설장비 가이던스 시스템의 사용자 화면에서 현재 굴삭기가 위치하는 지점에서 굴삭 깊이와 폭, 그리고 기울기에 대한 수치정보를 얻을 수 있으며, 사용자 화면에 나타나는 수치정보를 활용하여 굴삭을 진행하게 된다.

기존 토공작업 방식에서는 건설장비 조종원이 측량기사가 제공하는 측량정보를 활용했으나, 건설장비 가이던스 시스템을 활용하면 현재 굴삭기가 위치한 지점에서 굴삭에 필요한 토공정보를 활용할 수 있으므로 굴삭작업의 생산성을 높게 된다.



Figure 5. User reference screen

4. 건설장비 가이드نس 시스템 도입 비즈니스 모델

4.1 국내 건설장비 운영현황 및 문제점

국내 건설현장에 투입되는 건설장비는 건설기계관리법 (Ministry of Land, Infrastructure and Transport 2017)에 규정하는 건설기계대여업에 대한 규정에 따라서 운영된다. 건설기계관리법은 불도저, 굴삭기, 트럭 등 27종의 건설기계를 대상 (건설기계관리법 시행령 제2조)으로 한다. 국내 건설장비 시장은 시공사가 자체적으로 건설기계를 구입하여 운영할 경우 초기비용이 커지고, 또한 건설기계를 운용하기 위해서 추가적인 인력을 고용해야 하기 때문에 주로 임대 및 하도급을 주어서 기계화 시공을 하는 형태로 발달하여 왔다. Figure 6은 국내 건설현장에서 이행되고 있는 건설장비의 조달절차를 보여준다.

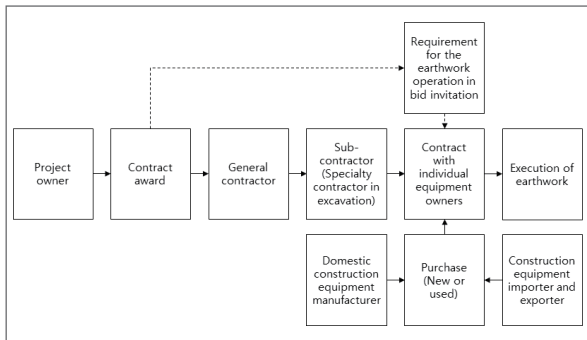


Figure 6. Current procurement process of executing an earthwork operation

한편, 국토교통부에서 발표한 보고에 따르면 건설기계 대여는 건설기계 대여업자가 개인적 인맥 또는 사업관계에 따라서 건설현장을 소개받는 방식으로 이행되는 경우가 많은 것으로 나타나고 있다 (Ministry of Land, Infrastructure and Transport 2003). 이러한 분석을 고려할 때 기계화 시공을 위해서 필요한 체계적인 하도급 시스템이 구축되어 있지 않다는 것을 알 수 있다. 시공사는 사회 보험료를 비롯한 관리비용을 아끼고, 사용자로서 법적 책임을 면하기 위하여 다단계 하도급 시스템을 선호하고 있는 형편이다. 이로 인하여 건설기계 대여업자는 최저가 낙찰제를 통하여 저가수주를 하게 되며, 생산성 향상을 통하여 비용을 절감해야 한다. 이러한 이유로 건설기계대여업체가 건설산업기본법 제34조, 35조, 82조 등에 따른 올바른 형식의 계약을 진행하는 비율이 낮아지게 된다.

이와 같은 국내 건설장비 운영현황 및 문제점을 고려하여 볼 때 건설장비 가이드نس 시스템과 같은 첨단기술도입이 미진하였던 이유는 1) 다단계 하도급적인 구조로 인하여 국내 건설장비 대여업자는 사업주 및 건설회사에 비하여 영세하여 첨단기술에 투자할 수 있는 여력이 적으며; 2) 국내 건설장비 회사들은 굴삭기를 주품목으로 생산하여 다양한 형태의 토공기술개발이 부족하고; 3) 현

장에 투입되는 건설장비가 노후하여 건설장비 조종원을 위한 시스템화가 없으며; 그리고 4) 굴삭기를 제외하고 도저와 모터 그레이더와 같은 장비는 대부분 해외 수입장비에 의존하여 첨단 건설장비에 투자가 이뤄지지 않고 있기 때문이다.

4.2 비즈니스 프로세스 참여자

건설장비 가이드نس 시스템 적용 시 발생하는 비즈니스 프로세스에는 다수의 참여자가 관련한다. 이러한 이유는 건설공사에서 토공작업은 시공 프로세스 상 초기단계에 수행해야 하는 기본적인 작업으로서 공사기간과 시공비용에 커다란 영향을 가져오기 때문이다. 토공작업은 다수의 건설장비가 투입되고 많은 토공물량을 처리해야 하기 때문에 생산성 향상과 이에 따른 비용절감의 요구사항을 가지고 있다.

건설장비 가이드نس 시스템 적용 시 발생하는 비즈니스 프로세스에는 1) 발주자, 2) 시공사, 3) 협력업체, 4) 건설장비 보유자, 그리고 5) 건설장비 가이드نس 시스템 공급자가 참여한다. 먼저, 발주자는 건설장비 가이드نس 시스템 도입을 위한 제도적 가이드라인을 실시하고, 도입촉진을 위한 장려정책을 세운다. 시공사는 공사수주를 위해서 건설장비 가이드نس 시스템을 적용하고 공사별 맞춤형 계획을 수립하여 제출한다. 협력업체는 건설장비 보유자와 협동하여 임대 또는 구매 등 건설장비 가이드نس 시스템 적용을 위한 전략을 세운다. 건설장비 보유자는 교육을 받은 후 건설장비 가이드نس 시스템을 토공작업에 적용한다. 건설장비 가이드نس 시스템 공급자는 협력업체 또는 건설장비 보유자와 계약하여 임대 또는 판매형태로 건설장비 가이드نس 시스템을 공급한다.

4.3 비즈니스 모델수립

비즈니스 모델은 판매 또는 구매하고자 하는 제품 또는 서비스, 그리고 이와 관련한 마케팅을 적용하는 프로세스를 정의하는 것이다 (Hong et al. 2013; Woo et al. 2016). 예를 들어서 2000년대 닷컴기업이 탄생하기 시작한 후 온라인 상에서 새로운 판매를 하고자 하는 비즈니스 방식이 등장하기 시작했다.

비즈니스 모델은 대상 비즈니스에 따라서 다양하게 구성할 수 있다. 다양한 형식 중 하나로 Rajala (2007)은 비즈니스 모델을 1) 제공 (offering), 2) 자원 (resource), 3) 관계 (relation), 그리고 4) 수익모델 (revenue model)로 구성했다. Rajala에 따르면 첫째, 제공은 고객의 니즈를 분석하고 이를 만족시키기 위해서 유형무형의 가치를 시장에 제안 하는 것이며, 상품, 서비스, 솔루션, 콘텐츠 등을 의미한다. 둘째, 자원은 비즈니스 모델을 개발하고 실행하기 위해서 필요한 인력·장비·자재·기술 등 핵심역량을 의미한다. 셋째, 관계는 비즈니스 환경을 구축하고 가치를 창출하기 위해서 필요한 계약과 네트워크, 그리고 물류체인을 의미한다. 마지막, 수

익모델은 비즈니스를 운영할 때 기대하는 수익규모, 수익형태, 수익원천, 가격정책 등 수익을 창출하기 위한 방안을 의미한다.

Table 1은 건설장비 가이드 시스템 도입을 위해서 작성한 비즈니스 모델을 보여준다. 건설장비 가이드 시스템 도입 관점에서 1) 제공은 건설장비 가이드 시스템 도입이 가져오는 토공작업에 대한 파급효과를 의미하며; 2) 자원은 건설장비 가이드 시스템 도입에 필요한 사업규모와 예산능력 등을 의미하며; 3) 관계는 건설장비 가이드 시스템 도입 활성화를 위한 발주자, 시공사, 협력업체 건설장비 보유자, 그리고 건설장비 가이드 시스템 공급자의 관계를 의미하며; 그리고 4) 수익모델은 임대 또는 구매 등 건설장비 가이드 시스템 도입 시 발생하는 비용과 생산성을 비교한 손익을 의미한다.

Table 1. A Business model for construction equipment guidance system

Component	Description
Offering	Impact on the earthwork operations
Resource	Contract amount, budget amount, government support
Relation	project owner, contractor, sub-contractor, equipment owner, system supplier
Revenue model	Purchase of rent

4.4 수익모델

비즈니스 모델에서 수익모델은 새로운 비즈니스 프로세스 도입에 따른 수익과 혜택을 정의한다. 건설장비 가이드 시스템 도입을 위한 비즈니스 프로세스에 참여하는 발주자, 시공사, 협력업체, 건설장비 공급자, 그리고 건설장비 가이드 시스템 공급자는 새로운 비즈니스 모델 적용을 통해서 각자 경제적 수익을 얻을 수 있다 (Table 2).

예를 들어서, 건설장비 가이드 시스템을 적용할 경우 발주자는 단지개발 등 대규모 토공작업에서 선진기술 도입을 통한 토공기술의 과학화를 달성할 수 있고; 시공사는 공사기간 지연 등을 방지하며; 협력업체는 공정목표를 달성하여 토공작업 비용을 줄이고, 건설장비 공급자는 토공작업의 생산성을 높이고; 건설장비 가

Table 2. Expected benefits for the stakeholder

Stakeholder	Revenue
Project owner	Reduce contract amounts
Contractor	Reduce construction budgets
Sub-contractor	Reduce construction costs
Equipment provider	Improve productivity
System supplier	Revenue from selling or renting construction machine guidance systems

이드 시스템 공급자는 시스템 공급 확산에 따라서 임대 또는 판매로 인한 수익뿐만 아니라 기술개발을 달성할 수 있을 것이다. 단, 건설장비 가이드 시스템 도입에 따른 생산성 향상으로 협력업체의 수입이 줄어드는 문제를 해결하기 위해서는 발주자가 생산성 향상에 따른 인센티브를 지불하거나, 토공작업 계약을 수량 단위로 해야 할 것이다.

5. 현장적용 및 샘플사례분석

5.1 현장 테스트 적용

토공작업에서 건설장비 가이드 시스템이 제공하는 생산성 향상효과를 분석하기 위해서 시스템을 토공작업에 투입하여 현장 테스트를 실시했다. 토공작업은 현장 테스트를 단순화하기 위해서 평지를 대상으로 했으며, 건설장비는 굴삭기를 사용했다. 굴삭기 규격은 0.6M³이며, 타이어 식이었다.

Figure 7은 현장 테스트를 위해서 투입된 굴삭기와 굴삭기가 굴삭하는 모습을 보여준다. 굴삭기에는 3개의 IMU 센서모듈이 붐, 암, 그리고 버킷에 부착되어 있으며, 몸체에는 1개의 IMU 센서가 부착되어 있다. 붐, 암, 그리고 버킷 등 굴삭기의 부재에 부착된 센서모듈은 굴삭기가 작동함에 따라서 굴삭기의 형상정보 데이터를 전송했다. 전송된 형상정보 데이터는 건설장비 가이드 시스템에서 기구학적 수식을 사용하여 버킷 끝단의 위치를 실시간으로 계산하여 사용자 화면에 표시했다.

기구학적 계산식에 의해서 도출된 버킷 끝단의 위치를 현지반고와 계획고와 비교하여 굴삭해야 할 굴삭깊이를 산정했다. 굴삭해야 할 굴삭깊이는 사용자 화면에 표시되어서 굴삭기 조종원이 참조함으로써 굴삭기의 현 위치에서 필요한 작업정보를 실시간으로 제공할 수 있었다.



a) Installation of sensor modules b) Ground excavation

Figure 7. Field test for excavation work

5.2 현장 테스트 결과

토공작업에 건설장비 가이드 시스템을 투입하여 현장 테스트를 실시했다. 현장 테스트는 건설장비 가이드 시스템 미적용과 적용 등 두 가지로 구분하여 실시했다. 시스템 미적용시의 생

산성은 표준품셈에서 사용하는 Q 값(시간당 작업량)을 활용했다 (Standardized Item Cost Estimation 2016). 여기서 Q 값은 건설기계 시공능력을 나타내는 산정 기본식이다. 시스템 적용시의 생산성은 건설장비 가이드선 시스템을 적용했을 때의 생산성을 나타낸다. 건설장비 조종원은 건설장비 가이드선 시스템 사용자 화면에 나타나는 작업범위와 깊이를 참고하여 토공작업을 실시했다.

건설장비 가이드선 시스템 미적용과 적용의 두가지 방법에 대하여 생산성을 비교한 결과 적용 시 약 20%~30%의 생산성 향상 효과를 가져왔다. 단, 시스템 미적용의 경우에는 작업시간에 측정시간을 가정하여 더했으며, 작업시간은 워크 샘플링에 의한 관찰을 통하여 측정됐다. 이와 같은 생산성 향상은 1) 측정시간 단축; 2) 재작업 감소; 그리고 3) 굴착횟수 감소 등에서 얻을 수 있었다.

이러한 관찰방법이 건설장비 가이드선 시스템의 생산성에 대한 정밀한 방법은 아니다. 하지만 본 연구의 주제가 생산성 향상이 아니므로 적절한 방법이라고 가정했으며, 본 연구에서 측정된 생산성 향상 효과는 기존 연구자료의 생산성 조사결과에 부합하는 결과이다. 따라서 본 연구에서 제시하는 건설장비 가이드선 시스템 도입 비즈니스 모델의 타당성을 검증하기 위해서 경제성을 분석하여 수익모델을 제시했다.

5.3 경제성 분석

본 연구에서는 사례분석을 위해서 가상의 샘플 건설공사의 토공작업을 설정했으며, 육상에서 0.6m³ 용량의 타이어식 굴삭기 1대가 연질토사 20,000m³ (0~2m)를 터파기하는 토공작업을 가정했다. 건설장비 가이드선 시스템 미적용과 적용의 생산성 효과를 비교분석하기 위해서 건설장비 가이드선 시스템을 토공작업에 투입했을 때 생산성 향상은 30%를 적용했다.

건설장비의 생산성은 표준품셈과 실적공사비 단가집을 기준으로 할 수 있다. 그러나 실적공사비 단가집에는 생산성을 얻기 위해서 어떤 종류의 건설장비를 몇 대 토공작업에 투입했는지에 대한 정보가 나타나지 않고 있다. 따라서 샘플 사례분석은 표준품셈의 건설기계 시공능력 산정 기본식을 사용하여 건설장비 가이드선 시스템의 경제성을 분석했다.

샘플 사례분석에서 표준품셈의 건설기계 시공능력 산정 기본식을 적용한 결과 총 기계경비는 21,460,000원으로 계산됐으며, 그 세부내용은 다음과 같다.

- 기계경비: 89,214원/hr (노무비 30,961원/hr + 재료비 33,064원/hr + 경비 25,189원/hr)

- 생산성에 따른 단위원가:

$Q=83m^3/hr$ 이므로 $89,214원/hr \sim 83m^3/hr \sim = 1,073원/m^3$ (노무비는 372원/m³, 재료비는 398원/m³, 그리고 경비는 303원/m³)

- 총 토공작업 원가:

$1,073원/m^3 \times 20,000m^3 = 21,460,000원$

여기서, 버킷용량 (q)는 0.6m³, 버킷계수는 용이하게 굴착할 수 있는 연한토질로서 1.1, 체적환산계수는 다짐이 없는 상태의 매립토이므로 1.1, 작업효율은 사질토로서 보통상태이므로 0.70, 그리고 1회 사이클 시간은 180도 회전으로 22초를 적용했다.

이와 같이 구한 기계경비를 이용하여 건설장비 가이드선 시스템에 대한 시간당 사용료를 산정했다. Table 3은 건설장비 가이드선 시스템 적용 시 시간당 사용료에 대한 산정결과를 나타내며, 시스템 하드웨어 비용, 시스템 운영비용, 서비스 운영비용 등의 항목으로 구성된다.

Table 3. Hourly rate for system usage (Korean Won/hr)

Cost item	Cost(₩)	Remarks
System hardware	5,276	
System operation	70	Eg) Communication expense
Service operation	2,003	Eg) System operation and maintenance cost
Total	7,349	Purchase of rent

따라서 굴삭기 0.6m³ 타이어식 굴삭기의 시간당 경비는 건설장비 가이드선 시스템 미적용 시 89,214원/hr이며, 건설장비 가이드선 시스템 적용 시에는 89,214원/hr에 건설장비 가이드선 시스템 사용료 7,349원/hr을 추가하여 96,563원/hr이다.

또한 Table 3의 시간당 시스템 사용료를 적용하여 건설장비 가이드선 시스템 미적용과 적용시의 단가를 비교하면 Table 4의 결과를 얻을 수 있다. Table 4에서 건설장비 가이드선 시스템 사용료는 건설장비 가이드선 시스템 적용 시 기타경비에 반영되어 있다.

Table 4. 건설장비 가이드선 시스템 미적용과 적용시의 단가비교 (단, 토량체적환산계수, 작업효율, 사이클 시간 동일적용; 스마트 시공 적용시 생산성 130% 반영)

Machine guidance system	Cost item (₩/m ³)			Sum (₩/m ³)	Difference (₩/m ³)
	Labor	Material	Other expense		
Not applied	372	398	303	1,073	180
Total	286	306	301	893	

Table 4의 결과를 바탕으로 토공작업 원가를 비교하면 터파기 토공량 20,000m³에 대하여 건설장비 가이드선 시스템 미적용 시에는 21,460,000원이 소요되고, 가이드선 시스템 적용 시에는

17,864,173원이 소요된다. 이러한 2개의 결과를 비교하면 가이드런스 시스템 적용 시에는 가이드런스 시스템 미적용 시 대비 17%의 원가를 절감할 수 있다는 것을 보여준다.

또한 굴삭기의 생산성 Q는 $83\text{m}^3/\text{hr}$ 이므로 하루에 6시간, 한달 20일을 작업한다고 가정하면 한달에 작업할 수 있는 토공수량은 $9,960\text{m}^3$ 이다. 이러한 가정이라면 건설장비 가이드런스 시스템 적용이 가져오는 한 달 수익은 토공수량 $9,960\text{m}^3$ 에 $180\text{W}/\text{m}^3$ 을 곱하면 약 180만원임을 알 수 있다. 따라서 매달 $9,960\text{m}^3$ 의 토공작업을 한다고 가정하면 1년에 얻을 수 있는 수익은 21백만원으로 산정된다. 비즈니스 모델에서 시스템 공급자는 이러한 산정 결과를 참고하여 가격을 결정한 후 건설장비 가이드런스 시스템을 공급해야 할 것이다.

5.4 참여주체별 수익모델 분석

건설장비 가이드런스 시스템 미적용과 적용 시의 단가를 비교할 경우 17%의 원가를 절감할 수 있다는 것은 단지개발과 같이 토공작업의 비중이 높은 공사에 있어서 커다란 공사비용을 절감할 수 있다는 것을 의미한다. 이 경우, 발주자는 입찰안내서에 건설장비 가이드런스 시스템의 적용을 규정함으로써 가격경쟁을 유발시킬 수 있다. 시공사는 건설장비 가이드런스 시스템을 도입하도록 협력업체와 계약하여 토공작업과 관련한 공사원가를 낮출 수 있을 것이다.

협력업체 또한 측량기사와 보조자를 투입하지 않거나 최소화함으로써 공사비용을 줄일 수 있다. 건설장비 공급자는 생산성을 향상시켜서 시간당 단가를 낮출 수 있다. 건설장비 가이드런스 시스템 공급자는 시스템 판매촉진과 기술개발을 연계할 수 있을 것이다. 이러한 결과는 건설장비 가이드런스 시스템 도입에 따라서 생산성 향상을 기대할 수 있으며, 토공작업 프로세스의 변화를 이루어서 참여주체가 모두 혜택을 가지는 효과를 볼 수 있다는 것을 보여준다.

6. 결론

건설공사 추진 시 토공작업이 많은 예산을 차지한다는 점을 고려할 때 건설장비 가이드런스 시스템을 도입하여 토공작업의 생산성을 높일 필요성이 크다. 본 연구는 건설장비 가이드런스 시스템 도입을 위한 새로운 비즈니스 모델을 제시했다. 제시된 비즈니스 모델은 토공작업에 관련한 발주자, 시공사, 협력업체, 건설장비 공급자, 그리고 건설장비 가이드런스 시스템 공급자의 관계를 설정하고, 각 참여주체가 가지는 수익모델을 고려함으로써 건설장비 가이드런스 시스템을 효과적으로 도입하기 위한 체계적 프로세스를 제시했다.

건설장비 가이드런스 시스템을 현장 테스트에서 적용한 바에 따르면 건설장비 가이드런스 시스템 미적용과 적용을 비교 검토했을 때 건설장비 가이드런스 시스템 적용 시 약 30%의 생산성 향상을 기대할 수 있는 것으로 나타났다. 30%의 생산성 향상을 기준으로 건설장비 가이드런스 시스템 도입 시 시간당 시스템 사용료를 계산할 수 있었으며, 사례분석에서는 약 15%의 토공작업 비용을 절감할 수 있다는 것을 보여줬다.

본 연구에서는 건설장비 가이드런스 시스템을 0.6m^3 굴삭기에 적용했으나, 향후 연구에서는 다양한 규격의 굴삭기와 도저, 그리고 모터 그레이더 등 건설장비에 적용하여 생산성을 분석할 필요가 있을 것이다. 다양한 건설장비에 적용함으로써 생산성 향상에 대한 정보를 얻을 수 있고, 이러한 정보를 바탕으로 적절한 비즈니스 모델을 수립하여 적용함으로써 건설장비 가이드런스 시스템의 도입을 확산시킬 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 건설기술연구사업의 연구비지원 (17SCIPB07969004000000)에 의해서 수행되었습니다.

References

- Ahmed, N., Hong, A. J., Ku, H. G., Moon, S. K., Moon, S. W. (2017). Technical Review of Automated System Application to Earthworks in Australia, Proceedings of International Symposium on Automation and Robotics 2017, Taipei, Taiwan, pp. 594–601.
- Ahn, S. H., Kim, S. K., Lee, G. H. (2016). Development of a Fleet Management System for Cooperation Among Construction Equipment, Journal of Korean Society of Civil Engineering, 36(3), pp. 573–586.
- Construction Specialty Newspaper. (2016). Advancement at the construction site—construction equipment Alphago (Jun. 20, 2016).
- Electrical News. (2016). Smart Construction Machine with Artificial Intelligence—No Time to Wait(July 7, 2016).
- Hong, D. S., Cho, S. N., Kim, H. G. (2013). An Analysis for Business Model and Success Factors of Smartphone Game, Journal of Korea Entertainment Industry Association, 7(4), pp. 53–61.

- Joasson, S., Dunston, P., Ahmed, K., Hamilton, J. (2002). Factors in Productivity and Unit Cost for Advanced Machine Guidance, *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(5).
- Kim, S. K., Lim, S. Y., Park, J. H. (2015). A Task Planning Model for Human–Machine Cooperative Works in Earthwork Operations, *Proceedings of Korean Society of Civil Engineers*, Saemangeum, Korea.
- Lee, D. E., Kwok, H. S., Son, C. B. (2012). Selecting an Optimal Haul–Routes of Earthmoving Equipment, *Journal of Architectural Institute of Korea*, 28(12), pp. 103–110.
- Lee, J. H., Pyun, M. W., Koo, J. H., Park, J. S. (2010). Earthwork Plan Using the Precise 3D Topographic Data, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science*, 18(1), pp. 63–72.
- Machine Guidance. (2012). Machine Guided Productivity, <http://www.machineguidance.com.au/Machine-Guided-Productivity>(Oct. 21, 2017).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (2003). Managerial Improvement for Construction Participants, Sejong–si, Korea.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (2017). Law on Construction Equipment Management, Sejong–si, Korea.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (2016). Standardized Item Cost Estimation.
- MK News. (2015). Japanes Government Driving Contractors to Apply Advanced Construction Technologies in Public Construction Projects(Nov. 11, 2015).
- Moon, S. W., Yang, B. S., Choi, E. G. (2017). Application of Machine Guidance for Better Utilization of Construction Equipments, *Proceedings of Korean Society of Civil Engineers*, Daegoo, Korea, pp. 1559–1560.
- Moon, S. W., Seo, J. W. (2017). Virtualgraphic Representation of Construction Equipment for Developing a 3D Earthwork BIM, *Journal of Civil Engineering and Management*, 23(8), pp. 977–984.
- Park, J. S., Seo, J. W. (2015). Application of Construction Equipment Fleet Management System through the Case Study of Air and Vessel Traffic Control Technology, *Journal of Korea Society of Civil Engineers* 35(2), pp. 493–500.
- Rajala, R. (2007). Determinants of Business Model Performance in Software Firms (A–357), Helsinki School of Economics, Helsinki, Finland.
- Woo, C. R., Cho, M. J., Choi, H. R., Lee, K. B., Kim, D. H. (2016). The Business Model for the Sharing Economy between SMEs based on Business Model Canvas, *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, 21(5), pp. 41–54.
- Youn, J. I., Lee, S. S., Lee, Y. H., Park, S. H., Seo, J. W. (2016). Development of Earthwork Control System for Efficient Equipment Management in Global Area, *Proceedings of Korean Society of Civil Engineering*, Busan, Korea, pp. 17–18.