

스마트시티 건설현장에 활용된 머신 가이드 시스템의 실무 활용사례 분석 및 개선방안 제시

김성엽¹ · 이원호² · 강인석^{3*}

¹K-water 부산에코델타시티사업단 과장 · ²K-water 부산에코델타시티사업단 차장 · ³경상국립대학교 토목공학과 교수

Analysis of Practical Use Cases and Proposal for Improvements of Machine Guidance System Utilized in Smart City Construction Projects

Kim, Sung Yeop¹, Lee, Won Hyo², Kang, Leen Seok^{3*}

¹Manager, K-water Busanecodeltacity Construction team

²Senior Manager, K-water Busanecodeltacity Construction team

³Professor, Department of Civil Engineering, ERI, Gyeongsang National University

Abstract : The purpose of this study is to analyze the effects of smart construction equipment applied at the construction site of the first smart city in the Korea and derive an application strategy for the utilization of smart construction equipment. To achieve this, authors examined the practical effects and issues of safety systems and construction systems utilizing machine guidance (MG) technology, which is a representative smart construction equipment used in civil engineering construction sites. Both the MG safety system and MG construction system were found to be sufficiently effective in improving construction productivity. However, there are challenges that need to be addressed, such as the approval process for work results using MG systems, system changes due to frequent replacement of on-site equipment, and usability improvements for elderly on-site workers. The study presented some solutions that have been implemented on-site to address these issues. The utilization effects and issues presented in the study were analyzed through direct feedback from workers and managers who have utilized the MG technology on-site for a considerable period of time. These results can be used as preliminary data for the similar construction projects, considering the limited availability of empirical analysis data for equipment automation.

Keywords : Smart Construction, Machine Guidance (MG), MG Safety System, MG Construction System

1. 서론

4차 산업혁명기술은 ICT (Information and Communication Technology) 및 IoT (Internet of Things), 인공지능기술 등에 의한 각기 다른 산업분야 간 융합을 기반으로 한다. 이에 정부에서는 건설산업분야에 IT (Information Technology) 산업을 접목하여 건설산업을 활성화 하기 위한 기술혁신 과제를 선정하고 정책을 수립하는 등 건설산업의 디지털화를 통한 생산성 향상을 이루기 위해 노력하고 있다. 이를 위

하여 4차산업혁명기술을 근간으로 하는 스마트건설(smart construction)기술을 정착하여 생산성을 높이고자 노력하고 있다.

국내의 스마트건설 산업은 BIM (Building Information Modeling), 스마트건설시공장비, 인공지능기술 등의 도입으로 다양한 소프트웨어와 장비들이 개발되어 현장에 급속도로 적용되고 있다. 이러한 스마트건설기술은 도입의 필요성은 강조되고 있지만 실제 건설현장에서 마주할 스마트 건설 기술의 실무적 활용성을 분석한 실증 연구는 사례가 부족한 실정이다.

본 연구는 ICT 융합 스마트 건설기술 중 활발하게 현장 적용이 되고 있는 머신 가이드 시스템(Machine Guidance system; MG)의 사용 효과를 확인하고 사용 중 발생한 문제점과 이를 해결한 사례를 수집 및 분석하여, 향후 건설현장

* **Corresponding author:** Kang, Leenseok, Department of Civil Engineering, ERI, Gyeongsang National University, Korea

E-mail: lskang@gnu.ac.kr

Received April 7, 2023; **revised** July 4, 2023

accepted January 3, 2024

에서 스마트 건설기술의 도입 판단과 발생 가능한 문제점에 대해 기초자료로 활용될 수 있는 연구성과를 도출하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 현재 프로젝트가 진행 중인 스마트시티(smart city) 건설공사 현장에 실제로 적용된 MG안전시스템과 MG시공시스템의 현장 적용 효과와 문제점 및 개선방안을 실증적 적용사례를 통해 분석하고 있다.

2. 선행연구에 대한 고찰

2.1 기술개발 동향

머신 가이던스와 머신 컨트롤 시스템(Machine Control System; MC)이 가장 활발히 적용되어 개발되고 있는 장비는 주로 토공사와 관련된 건설장비가 주를 이루고 있다. 국내에서는 HD현대건설기계, 영신디엔씨 등에서 GNSS(Global Navigation Satellite System, 위성측위시스템)를 기반으로 하는 머신 시스템을 개발하여 기존 건설장비에 부착판매하거나 시스템 자체를 판매하는 상용화 단계에 있다. 그러나 아직까지는 작업의 가이던스를 제공하는 기능에 머물러 있어 무인 자동화 운영이 가능한 완전한 머신 컨트롤 시스템을 상용화하지는 못하고 있고, 개발과정 또는 연구목적으로 현장에 시범적용 중인 사례들이 있다. 반면, 해외에서는 일본의 코마츠사의 굴삭기(Komatsu, 2023)의 경우 설계도면을 입력할 경우 터파기를 무인으로 자동 완료할 수 있는 기술을 보유하고 있고, Caterpillar 사의 배토판의 높이 및 방향을 자동 조절할 수 있는 CAT 3D Grade Dozer(Caterpillar, 2023), Built Robotics(Built, 2023)의 자동화 로더(autonomous track loader) 등은 건설자동화 장비의 선도적 역할을 하고 있다.

최근 국토교통부에서는 MG/MC 기술의 표준적인 시공방법을 담은 표준시방서인 'KCS 10 70 10(머신가이던스 및 머신컨트롤 일반)'을 고시하였으며, 주요내용으로는 토공사뿐 아니라 향후 OSC(Off-Site Construction, 탈현장공법) 공사에도 적용될 수 있도록 용어 정의 및 범위설정, 구성 장비의 최소 성능요구사항 및 장비교정 관련사항, MG/MC 기술 적용시 사전확인·제출물·시공검사기준 등 시공단계에서 주체별로 준수하여야 할 사항 등을 규정하고 있다(Ministry, 2023).

2.2 연구 동향

머신 가이던스 관련 연구들은 주로 생산성 분석, 경제성 분석 및 품질개선에 대해 수행되고 있다. 해외의 경우 미국 Caterpillar 사의 Malaga Demonstration & Learning Center(2006)는 도로건설에 상용으로 판매되고 있는 머신 가이던스 시스템을 적용하여 생산성 향상효과를 분석하였으며, 생

산성은 101% 향상되고 연료를 약 43%절감 가능함을 제시하였다. Townes(2013)은 머신 가이던스 시스템의 테스트를 일반 평지를 대상으로 절토 현장에서 수행하였고, 그 결과 토공작업 시 3D 모델링, GPS, 머신 가이던스를 적용하면 생산성을 50% 까지 높일 수 있고, 측량비용은 75% 까지 절감할 수 있다고 분석하였다. Tanoli(2019)는 장비에 의한 지하 굴착시 지하 유틸리티(utility)의 손상을 방지하기 위한 MG 시스템의 접근 방식을 제시한 바 있고, Yeom(2023)은 굴삭기의 작업 안전성과 효율성을 향상시키기 위해 토목 현장에서 사용할 수 있는 비전 기반 굴삭기 기계 유도 시스템을 개발한 바 있다. Azar(2015)는 MG시스템을 도져(bulldozer)에 적용하였을 때 생산성은 6%~34% 증가하였고, 굴삭기(excavator)에 적용하였을 때 생산성은 19%~23% 증가하였으며, 생산성 변동범위의 차이는 지반조건과 현장조건의 변화에 기인한다고 하였다.

국내 연구의 경우를 보면 Seo(2020)은 단지조성공사의 토공사에 머신가이던스를 굴삭기에 적용할 경우 생산성이 최소 20.5%, 최대 56.9%, 평균 38.3% 증가한 것을 분석하였으며, Lee(2022)는 건설장비 관제시스템에 의한 가설도로의 최적 위치선정 체계에 대하여 연구한 바 있다. Moon(2018)은 머신 가이던스 시스템으로 인해 발생하는 건설 비즈니스 모델을 제시하여 국내 건설장비의 머신가이던스 시스템 도입의 생산성을 분석하였다. Jang(2022)은 도져 장비를 대상으로 건설장비 관제시스템의 요소기술인 건설장비 경로 자동생성 방법론 개발을 시도한 바 있고, Kim(2022)은 건설 기술 개발 측면에서의 장비 무인화를 위한 세부 요소 기술들이 최근 본격적으로 시작되는 스마트 건설 현장의 추가 이익 창출 기회로 이어지고 시너지를 낼수 있음을 확인한 바 있다.

이외에도 Kim(2018) 등 머신 가이던스 시스템에 대한 선행 연구를 분석해 보면 굴삭기와 도져를 중심으로 한 생산성 분석 연구가 주를 이루고 있으며, 생산성 분석을 위한 데이터는 평지의 절토, 도로의 평탄화 등 단위 작업에 대한 정적 비교를 통해 산출한 경우가 대다수임을 확인할 수 있다. 그러나 실제 건설현장에서는 하나의 공종을 수행하는 과정에서 단일 장비를 단순 반복하여 사용하는 경우보다는 다양한 장비의 조합과 빈번한 장비의 교체 투입, 타 공정의 영향 등 다양한 외부 조건이 발생하기 때문에, 단순한 단위 작업을 대상으로 생산성을 분석한 결과만을 고려하여 다양한 건설현장에서 동일한 효과를 나타낼 것으로 기대하는 것은 무리가 있다. 그렇기 때문에 온전한 프로젝트 단위의 공사에 적용된 사례를 대상으로 효과분석을 시행한 연구가 건설현장에서 실무적으로 머신 가이던스 시스템에 대한 도입 검토에 참고할 만한 자료가 될 수 있다.

3. 건설현장의 MG 안전시스템 활용분석

3.1 스마트시티 건설현장의 MG시스템 도입현황

부산에 조성 중인 스마트시티 건설현장은 다양한 스마트 건설기술 도입을 위해 기술형입찰(실시설계 기술제안)을 진행하여 스마트 건설기술이 건설현장에 적극 도입 할 수 있는 여건을 마련하였다. 부산 스마트시티 건설현장에 현재 도입 중이거나 도입이 계획된 스마트 건설기술 중 스마트 건설자동화 분야로 도입된 기술은 머신 가이던스 안전시스템과 머신 가이던스 시공시스템이 대표적이며, 머신 가이던스 안전시스템은 총 12개 공구 중 9개 공구에 도져, 굴삭기, 롤러를 대상으로 도입 중이며, 머신 가이던스 시공시스템은 4개 공구에 굴삭기, 도져, 롤러를 대상으로 적용하여 활용 중이다. 본 연구는 MG 시스템 적용 효과의 비교분석을 위하여 MG기술이 적용된 도져, 굴삭기, 롤러를 사용하여 관로매설 및 성토 공종을 진행한 4개 공구를 대상으로 비교분석을 시행하였다.

3.2 MG 안전시스템의 현장 적용개요

MG 안전시스템은 중장비에 카메라를 네 방향으로 설치하여 360도 관측(around view, 어라운드 뷰)을 통해 사각지역을 해소할 수 있다. 충돌방지 안전센서와 태그를 활용하여 작업반경에 근로자의 접근 시 장비운전자 및 관리자에게 위험신호를 양방향으로 보내 근로자와 건설장비의 충돌 및 협착 등을 선제적으로 방지하는 기술이며, 근거리 통신시스템과 IoT기술이 복합적으로 활용되는 기술이다.

3.3 MG 안전시스템 현장적용 효과 분석

MG 안전시스템은 실제 활용 현장에서 가시적인 성과를 분석하기 어려운 기술로서, 본 연구에서는 정량적 활용성 분석보다는 MG를 도입하여 활용하고 있는 실제 현장의 건설장비 운전원, 협업근로자 및 안전관리자를 대상으로 안전성 향상에 대한 체감효과에 대하여 설문조사와 인터뷰를 시행하여 그 활용성을 분석하였다. <Fig. 1>의 설문조사 결과에서는 MG기술이 안전사고 예방에 효과적이라는 의견이 지배적으로 나타났음을 확인할 수 있다.

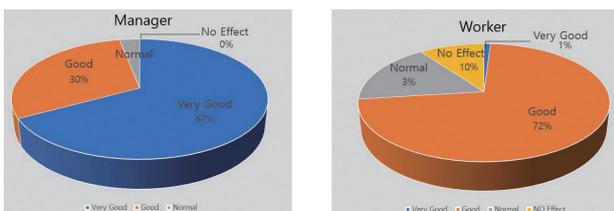


Fig. 1. Survey results of the MG safety system

설문은 근로자 104명(운전원 포함), 관리자 37명을 대상으로 실시하였으며, 관리자 대상 설문조사 결과 효과 없음은 0%로 관리자들은 머신가이던스의 효과 체감도가 높았으나, 근로자의 경우 '보통' 이하가 28%로 나타났다. 설문조사 결과를 바탕으로 상세 인터뷰를 시행한 결과 기술을 직접 활용하는 장비 운전원의 경우 어라운드뷰로 인한 사각지대 해소에 대한 체감효과가 높았음을 확인하였다. 일반 근로자의 경우 기존의 장비 후진시에만 경고음(경고방송)이 일방향으로 안내되던 것과 다르게 충돌방지 안전태그를 사용하여 양방향의 안전 경고음(경보음 및 안내방송)이 발생되어 안전 경각심을 높이는 데 효과적이라는 의견이 높게 나타났다. 반면에 관리자, 운전자, 근로자 모두 시공성에서는 기술적용 전후 큰 차이가 없다는 의견이 다수 확인되었다.

3.4 현장 적용시 발생한 문제점 분석

설문 및 인터뷰 결과에 나타난 대표적인 문제점으로는 운전자의 경우 공정 및 현장 여건에 따라 어라운드뷰의 시야각 조정이 필요한 경우가 발생하는데, 이를 조정하기가 까다롭다는 의견과 <Fig. 2>의 안전태그 경보음 거리를 자유롭게 조정하기 어렵다는 의견이 문제점의 큰 비중을 차지하는 것으로 분석되었다.



Fig. 2. Collision prevention safety tags

또한, 근로자의 경우 안전센서가 충전식이어서 장시간 사용할 경우 방전이 될 우려가 있어 주기적으로 확인하고 충전해야 한다는 불편함과 주위 소음에 따라 경보음을 조절할 수 있는 기능이 없어 불편하다는 의견이 많았다. 관리자의 경우 건설현장의 경우 주기적으로 장비 및 운전자가 교체되기 때문에 기계 탈부착 및 운전자 대상 교육 실시에 어려움을 나타냈으며, 센서 등의 설치 시간과 설치 기술이 필요하기 때문에 일단위로 계약하여 투입되는 장비의 경우 당일 사용이 현실적으로 불가능하다는 문제점을 지적하였다 <Table 1>.

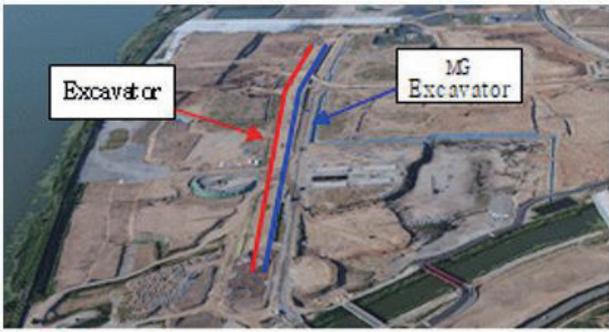
부산의 스마트시티 건설현장에 사용된 MG 시공시스템 적용 장비현황은 <Table 2>와 같다.

Table 2. Current status of MG system at smart city site

	Zone A		Zone B		Zone C		Zone D	
	Plan	Actual	Plan	Actual	Plan	Actual	Plan	Actual
Excavator	1	2	1	1	1	1	1	-
Dozer	-	-	1	-	1	1	1	1
Roller	-	-	1	-	1	1	1	-

A공구의 경우 최초 시범 시공을 위해 굴삭기 1대에 대해 고정적으로 MG 시공시스템을 적용하였으나, 효과를 체감한 원도급사가 자체적으로 MG 1세트를 추가 도입한 경우이며, 이외 공구는 굴삭기, 도저, 롤러를 대상으로 각 1세트씩 도입을 기술제안하여 활용하고 있다.

A공구의 최초 시범시공의 목적은 MG 시공시스템이 도입됐을 경우 실제적인 작업속도 향상정도와 굴착 후 굴착심도, 폭 등의 정확도가 어느정도 보장될 수 있는지를 확인하기 위함이었으며, 시험방법 및 조건은 <Fig. 6>과 같다.



- Field property : Compaction of roadbed (Compactness: over 90%)
- Work type : Pipeline trench excavation
- Operator career : More than 10 years of equipment experience
- Work teams : 2 team of workers with more than 15 years of experience

Fig. 6. Construction field condition of MG test

4.2 MG 시공시스템 현장적용 효과 분석

스마트시티 건설현장에서 MG 시공시스템의 생산성 향상 효과를 확인하기 위하여 3개 공구를 대상으로 MG 시공시스템이 도입된 굴삭기를 활용한 단위 공종의 작업을 선정하여 당초 일반장비를 적용하는 계획대비 효과를 분석하였다. 종합적으로 시험시공 결과 작업속도는 일반장비 대비 약 30% 절감되는 효과를 보였고, 굴착 심도의 경우 설계값과의 오차는 2cm이내의 정확도를 보이는 것으로 확인되었다.

현장에서 MG 시스템을 적용한 굴삭기의 효과를 수치적으

로 객관화 시키기에는 제한이 있었으나, 가능한 수치적인 효과 확인을 위해 3개 공구에 유사한 시공조건을 가지는 관로 터파기 공종에 대하여 MG시스템을 적용한 굴삭기의 투입 효과를 분석하였다. 비교의 기준은 당초 일반굴삭기를 활용하는 것을 조건으로 수립한 시공기간 및 투입비(임대료, 유류비)이며, 이와 비교하여 MG 시공시스템을 도입하였을 때 어느 정도의 효과가 있는지 단순 분석을 시행하였다. 분석 결과는 <Fig. 7>에 표기되어 있다. 평균적으로 시공속도(생산성)는 계획대비 약 30%, 투입비(원가절감)는 약 21% 절감되는 효과를 나타냈다.

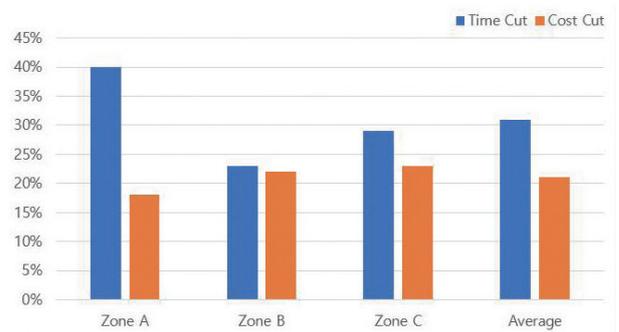


Fig. 7. Analysis results for the effect of MG construction system

A공구의 경우 우수박스의 터파기 공정에 도입된 경우로서 가장 높은 시공속도 향상을 나타냈는데, 이는 측량단계의 단축이 시공속도 향상에 직접적으로 효과를 미친 것으로 판단된다. B공구의 경우 성토된 재하토를 단순 절토 및 상차하는 단순 공정에 도입된 경우로 확인 측량이 많지 않은 공정으로 가장 낮은 시공속도 향상을 보였다. C공구의 경우 관로 공 터파기에 적용된 경우 측량단계가 가장 많은 단계임에도 A공구와 비교하여 상대적으로 적은 시공속도 상승률을 보였는데, 이는 MG 시공시스템 투입시기 지연 등의 문제로 예상만큼의 효과를 나타내지 못한 것으로 분석되었다.

원가절감의 경우 유류비, 장비임대료 등의 절감효과를 나타냈으나, 가장 큰 차이를 만든 요소는 MG 시공시스템 장비 임대료에서 차이를 나타내었다. 각 공구별 MG 장비임대료는 임대기간에 따라 그 차이가 크므로 공구별 장비임대료를 얼마나 저렴하게 하였는가에 따라 원가절감비율이 연동되는 결과를 보였다. 비록 소수의 공구를 대상으로 단순히 시공속도와 투입비만을 활용해 효과를 산출한 결과이지만, 안전관리, 후속 공종과의 연계성 원활화 등의 비정량적인 효과를 복합적으로 고려하면 MG 시공시스템은 실제 건설현장의 생산성 향상에 상당한 긍정적 효과를 미칠 수 있을 것으로 판단된다.

MG안전 및 시공시스템의 현장도입에서 분석된 적용 효

Table 3. Improvement effect of MG system

Analyzed Items	Improvement Effect
Duration	• Improvement of construction speed due to simplified process such as non-execution of survey
Cost	• Cost reduction due to equipment operation period and reduction of fuel cost, etc
Safety	• Increased safety management efficiency due to exclusion of manpower survey and securing operator's view

과를 항목별로 요약하면 <Table 3>과 같다.

4.3 현장 적용시 발생한 문제점 분석

시공 분야에 적용된 MG시스템은 생산성 향상과 원가절감 및 안전관리 측면의 편익이 분명하나, 제도적인 부분과 기술적인 부분 그리고 활용적인 부분에서 각각 문제점과 한계가 발생하였다.

제도적인 부분에서의 문제점은 MG 시공시스템이 적용된 장비로 시공을 한 후 이를 별도 검측 없이 인정하는 부분에 대한 문제가 있다. MG 시공시스템을 활용할 경우 감리원이 검측을 생략할 수 있다는 근거가 되는 시방규정이 없는 상황에서 감리원들은 검측을 생략하는 부분에 있어 상당한 부담감을 표현하였다.

기술적 부분에서는 네트워크망을 활용하는 스마트 건설 기술에서 공통적으로 나타나는 문제로 인터넷 통신 연결에 관한 문제가 MG 시공시스템이 적용된 장비 활용에서도 나타났다. 통신 중계기가 전량 철거가 된 후 착공되면 공구 면적이 종방향으로 가장 넓은 C공구에서는 장비의 GNSS 수신기가 베이스 스테이션의 가시권에 포함되어 있지 않을 경우에 연결이 끊기는 현상이 발생하여 측량 정보를 활용하지 못하는 경우가 발생하였다.

활용성 부분에서는 대부분의 장비 운전자가 고령으로 기계 및 프로그램 조작에 익숙하지 않아 공사내용에 따른 3D 가이드 모델 파일을 적기에 교차하고 활용하는데 어려움이 발생하였다. 특히 C공구와 같이 다양한 터파기 폭과 심도가 발생하는 경우 3D가이드 모델 파일 교체가 하루에 1회 이상 발생하는 경우가 있었고, 이때 고령의 운전자가 이를 수행하지 못해 작업이 중단되는 경우가 많아 공정진행 속도에도 영향을 미친 것으로 확인되었다.

4.4 MG시공시스템의 현장 적용성 개선방향

제도적인 부분에서 발생한 문제점인 MG 시공시스템 적용 후 작업결과를 신뢰하고 검측이 완료된 것으로 인정하는 문제는 시방규정의 개정이 필요한 부분이다. 이는 시방규정을 준수하기 위한 검측을 시행한다면 관계없지만, 매번 검측을 진행한다면 기술의 장점인 시공단계 단축에 따른 효율성이

상대적으로 떨어질 것이기 때문이다. 따라서 제도적으로 스마트 건설기술이 적용되는 현장에서는 시방의 변경에 대한 많은 자율성을 부여하고, 이를 보완할 수 있는 제도적 방안을 조속히 마련하여야 할 것으로 판단된다.

연구에 적용된 스마트시티 건설현장에서는 1회 시범시공을 통해 정확도를 확인하고, 오차범위내의 정확도를 보일 경우 시공된 결과값을 별도 검측없이 인정하는 방식으로 해결할 수 있었다. 그러나 이러한 방식도 스마트건설기술의 적용 사례가 적고, 시범시공의 형태와 범위에 대해 정확한 정의가 없는 등의 한계가 있다. 따라서 기술제작사가 현장에 맞는 해당기술의 운영 매뉴얼과 시방규정을 별도 제작하여 발주자(감리원)에게 제공하는 방식 등을 종합적으로 검토하여 개선해야 할 것이다.

기술적인 부분에서 발생한 문제점인 인터넷 통신 연결 장애는 그 원인이 철거작업에 의한 통신 중계시설 감소와 베이스 스테이션 통신의 강도 한계가 원인이었다. 본 연구 적용 현장인 스마트시티 건설현장의 경우 기존의 구조물을 전체적으로 철거 후 성토를 통해 도시를 조성하는 사업으로 대다수의 통신 중계시설이 공사 초기단계에 철거가 된 실정이었다. 중계시설의 감소에 따라 공사구역내 통신이 원활하게 이루어지지 못하는 상황이었으며, 통신강도가 매우 약하거나 연결자체가 되지 않는 다수의 지역이 발생하였다. 또한 현장 여건상 종방향으로 긴 형태의 작업구역이 발생하여 베이스 스테이션의 가시권에 포함되지 않는 작업구역이 발생하는 것이 문제의 원인으로 분석되었다.

이러한 문제는 스마트시티 건설현장에서는 VRS (Virtual Reference Station) 가상 기준점 네트워크 RTK (Real Time Kinematic)의 방법을 사용하여 해결하였다. VRS는 GPS 상시관측소들로 이루어진 기준국 망을 이용해 계략적인 오차를 분리하고 네트워크 내부 임의 위치에서 관측된 것과 같은 가상지점국을 생성해 가상기준점과 이동국과의 RTK를 통해 정밀한 이동국의 위치를 결정하는 측량방법이다. 이를 활용해 통신이 제한되더라도 측정값 오차를 최소화하여 시공이 가능하도록 개선하였으므로 타 현장조건에서도 적용이 검토될 수 있다. 일부 구역에 대해서는 통신중계기를 추가 설치하려는 노력을 하였으나, 후속 성토공정과와의 간섭이나 추가적인 케이블 매설에 따른 추가비용 발생 금액이 높아 통신중계기의 추가 설치에 용이하지 않다.

기술 활용성 부분에서 발생한 문제의 원인은 대다수의 장비 운전원이 60세 이상 고령 운전자인 것이 근본 원인으로 분석되었다. 운전원이 고령화 됨에 따라 실시간 단위의 측량 정보와 설계정보를 활용하며 굴착 등을 시공하는데 어려움을 느끼는 경우가 많다. 또한, 작업 구간이 변경될 경우 3D 가이드 파일을 신규로 업로드 하여야 하는데 업로드를 시행

하고 장치를 셋업하는데 고령의 운전원은 매우 큰 어려움을 호소하거나 시행하지 못하여 관리자가 대신 업로드 및 셋업을 해주어야 하는 상황이 발생한다. 이는 시공 속도의 저하를 가져오는 문제점으로 분석되었다.

본 연구가 적용된 현장에서 시행한 개선방안은 장비 운전원을 대상으로 MC 시공시스템 사용법의 교육 및 간편 매뉴얼 작성·배포 등의 지속적인 교육을 시행함으로써 일정부분 해결이 가능하였다. 교육자료 및 고령 운전자용 사용 매뉴얼은 개발사의 도움을 받아 현장에서 자체 제작하여 교육을 시행하였으나, 고령 운전자 및 관리자 대상 인터뷰를 진행한 결과 교육의 효과는 크지 않고, 고령 운전원의 경우 교육 자체를 어려워하므로 실질적으로 많은 개선효과를 나타내지 못한 것으로 확인되었다. 따라서 현재도 관리자가 상황에 따라 가이드 파일 업로드 및 셋업을 시행하는 방식으로 운영되는 사례가 많은 점은 한계점으로 분석되었다.

5. 결론

본 연구에서는 스마트시티 건설현장에 도입 중인 스마트 건설기술 중 MG 안전시스템과 MG 시공시스템의 실제 적용 현장에서의 효과와 문제점 등을 분석하여 향후 건설 현장에 적용시 개선방안 등을 제시하였다.

MG 안전시스템의 경우 안전성 향상에 대한 체감정도 조사결과 근로자의 효과 체감도는 78%이상으로 안전경각심을 높이는데 효과가 있는 것으로 파악되었다. 개선해야 할 문제점으로는 고령근로자를 고려한 장비의 개발과 교육프로그램 마련 및 시스템의 충전주기 연장기술과 잦은 중장비 교체 시스템의 설치 편리성확보가 실무적으로 요구됨을 확인하였다.

MG 시공시스템의 경우 단위 공정 대상 공기는 약 30%, 원가는 약 20% 절감되는 효과가 발생하였음을 확인하였으며, 특히 확인 측량이 필요한 공정의 경우에는 활용 효과가 높게 나타났다. 그러나 MG 시공시스템 적용후의 별도 검측 절차의 구성과 현장에서 실무적으로 활용가능한 시방서 마련 및 통신장애지역에 대한 대응기능 등이 해결해야 할 문제점으로 확인되었다.

기존인력 측량과 GNSS 및 ICT 위성측량의 정확도는 5cm 내외로 파악되고 있다. 토목분야의 경우 mm 단위의 정확도가 요구되지 않는 공중에 한하여는 이러한 정확도를 가감하여 MG/MC에 의한 장비의 작업결과를 일정부분 인정하여야 장비의 실무적 활용도를 높일 수 있다.

스마트건설장비 두 종류의 현장 활용시에 공통적으로 현장 기술자의 고령화에 따른 스마트기술의 이해도와 조작 불편함 등이 해소해야 할 사안으로 파악되었다. 이러한 점은

시스템의 교육프로그램 시행으로 일정부분 해소할 수 있지만, 현장에 많은 고령의 장비 운전자가 있음을 고려하면 자동 편리성확보 기술은 실무적으로 속히 해결되어야 할 부분임을 확인하였다.

본 연구에 적용한 스마트시티 현장의 특성상 부지조성공사가 주요 공정인 점에서 토공 MG시스템 적용에 의한 시공속도 증가 등의 효과는 분명하게 파악되었다. 연구에서는 MG시스템을 안전과 시공성 측면에만 중점을 두고 분석하였으므로 기타 스마트건설장비와의 연동관계 등에 대하여는 추가적 연구가 필요하고, 타 공정에 대해서도 시공성과 원가 측면에서 복합적인 분석이 필요하다. 연구에서는 실제 작업이 진행중인 건설 현장에 MG시스템을 상당기간 적용한 성과를 근거로 분석하였으므로, 향후 MG/MC시스템의 현장 적용성을 높이는 실증적 선행 연구로 활용성을 갖을 수 있다.

감사의 글

이 연구의 일부는 2023년도 경상국립대학교 연구년제 연구교수 연구지원비에 의하여 수행되었음

References

- Azar, E.R., Agnew, G., and Parker, A. (2015). "Effectiveness of automated machine guidance technology in productivity improvement: case study." 5th International/11th Construction Specialty Conference, Vancouver British Columbia, pp. 269-1~269-10.
- Built, Robotics, (2023). <<https://www.builtrobotics.com>> (March, 2023).
- Caterpillar (2023). <https://www.cat.com/en_US/products/new/technology/grade/grade/556020365684411.html> (March, 2023).
- Jang, J.W., Hyen, J.O., and Kim, S.K. (2022). "Generation of Dozer Earthwork Plans for C-Map Navigation." *International Journal of Railway*, Korean Society for Railway, 25(4), pp. 241-254.
- Komatsu (2023). <<https://www.komatsu.com/en/products/excavators>> (March, 2023).
- Kim, D.M. (2022). "Technology trend of smart construction equipment." *J. of Drive and Control*, Korean Society of Fluid Power & Construction Equipment, 19(1), pp. 90-94.
- Kim, W.B., Park, S.G., Lee, R.H., and Seo, J.W. (2018). "A case study on the application of machine guidance in construction field." *Journal of the Korean Society of Civil Engineering*, Korean Society of Civil Engineering,

- 38(5), pp. 721-731.
- Lee, D.J., and Kim, S.K. (2022). "Factors of Selecting Temporary Road Positions for the Optimal Path of Earthwork Equipment in Road Constructions." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 23(2). pp. 85-94.
- Malaga Demonstration & Learning Center (2006). Road construction production study, Caterpillar.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2023). "General construction regulations for machine guidance and machine control(Standard Specifications)" Guidelines.
- Moon, S.W., and Kim, S.T. (2020). "Performance Effectiveness Case Study of the Machine Guidance System for Dozer Earthwork Grading Work." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 21(1). pp. 78-86.
- Moon, S.W. (2018). "Effectiveness of a business model for adopting a construction machine guidance system." *Journal of KIBIM, Korean Institute of Building Information Modeling*, 8(1), pp. 24-32.
- Seo, K.J. (2020). "Machine Guidance Effects on Productivity Improvement Depending on Excavation Types." MS Thesis, Pusan National University.
- Tanoli, Wa.A., Sharafat,A., Park, J.M., and Seo, J.W. (2019). "Damage Prevention for underground utilities using machine guidance." *Automation in Construction*, Elsevier, p. 107.
- Townes, D. (2013). "Automated machine guidance with use of 3D models." Techbrief, U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration.
- Yeom, D.J., Yoo, H.S., Kim, J.S., and Kim, Y.S. (2023). "Development of a vision-based machine guidance system for hydraulic excavators." *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 22.

요약 : 본 연구는 국내 최초 스마트시티로 지정된 건설 현장에 적용된 스마트건설장비의 효과를 분석하여 향후 스마트건설장비의 발전 및 활성화 방안을 도출하는데 목적이 있다. 이를 위해 토목공사 현장에 적용되는 대표적 스마트건설장비인 머신가이던스(Machine Guidance; MG)기술에 의한 안전시스템과 시공시스템의 실제적 활용 효과와 문제점을 분석한 후에 개선방안을 제시하였다. MG안전시스템과 MG시공시스템 모두 결과적으로 시공성 개선에 충분히 활용성이 있음을 파악하였고, MG시스템에 의한 작업결과의 승인문제와 잦은 현장 장비교체에 의한 시스템 변경문제, 고령의 현장 근로자의 사용성 개선문제 등이 속히 해소해야 할 과제로 분석되었으며, 연구에서는 이러한 문제에 대해 현장에서 해결할 일부 방안을 제시하였다. 연구에서 제시한 활용효과와 문제점 등은 머신가이던스기술을 현장에 상당기간 실제로 적용한 후에 직접 활용한 근로자와 관리자 등을 통하여 분석하였으므로, 장비자동화를 위한 실증적 분석 자료가 많지 않은 점에서 향후 유사 현장에 적용하기 위한 선행자료로 활용성을 갖을 수 있다.

키워드 : 스마트건설, 머신가이던스, 머신가이던스 안전시스템, 머신가이던스 시공시스템
