

Research Paper

건축물 골조공사용 먹매김 자동화 시스템 개발방향 연구

Development Directions for Automated Layout System of Building Structures

임현수¹ · 조규만² · 김태훈^{3*}

Lim, Hyunsu¹ · Cho, Kyuman² · Kim, Taehoon^{3*}

¹Assistant Professor, Department of Architecture, Soonchunhyang University, Asan-si, Chungcheongnam-do, 25601, Korea

²Professor, Department of Architectural Engineering, Chosun University, Dong-Gu, Gwnagju, 61452, Korea

³Associate Professor, Department of Architectural Engineering, Chosun University, Dong-Gu, Gwnagju, 61452, Korea

*Corresponding author

Kim, Taehoon

Tel : 82-62-230-7145

E-mail : thoonkim@chosun.ac.kr

Received : August 10, 2021

Revised : August 24, 2021

Accepted : August 24, 2021

ABSTRACT

In building construction, the layout operation is performed to accurately construct the building components in their planned locations, and requires a high level of accuracy and precision. With increases in building size and a lack of skilled laborers, this work has seen an increasing demand for productivity and quality improvements through robot-based construction automation. In particular, the layout work for building structures has a higher need for automation. On this background, this study suggests a direction for the development of an automated layout system of building structures. 5 technical factors and 17 sub-factors were derived based on reviews of existing similar systems, and an evaluation of their importance was carried out through an expert survey. As a result, it was found that the most important factors were driving and marking systems for coping with poor driving and working conditions. In terms of sub-factors, control techniques to secure precision and technologies to automate the overall layout process showed high importance. These findings will contribute to the development of more practical and efficient automation systems.

Keywords : construction automation, structure layout, construction robotics

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 국내 건설산업은 스마트 건설기술의 활용을 통한 생산성 혁신 및 지식·첨단 산업으로의 패러다임 전환을 추진하고 있으며, 이 중 건설 로봇을 통한 자동화 기술의 도입은 하나의 주된 축을 이루고 있다. 제1차 국토교통과학기술 연구개발총합계획[1]에서는 자율구동 건설 장비·로봇 기술을 포함한 건설 자동화 분야를 8대 혁신성장동력 중 하나로 선정하였으며, 국토교통부[2]는 20대 유망기술 중 하나로 디지털 설계정보를 기반으로 하는 미래형 건설로봇 기술인 스마트 건설 로봇을 선정하였다.

건축공사에 있어 먹매김 공정은 건물의 구성요소를 계획된 위치에 정확히 형성하기 위한 기준이 되므로 정밀성이 크게 요구되며, 건축물 규모 증가 및 숙련공 부족 추세에서 자동화 기술 도입을 통한 생산성 및 품질 향상 요구가 높게 나타나고 있다[3]. 인력에 의한 기존 먹매김 작업방식은 작업자의 숙련도에 따라 먹 위치 측정 및 먹줄을 튕기는 과정에서 정확도가 현저히 떨어지거나 일정하지 않은 한계가 있다. 또한, 먹매김 프로세스의 정보들이 디지털화되지 못하고 먹도면, 검측 보고서 작성 등의 변환 과정에서 정보 손실 및 오류 발생, 그에 따른 후속 공정으로의 정보 미연계 및 생산성 저하의 문제점을 내포



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

하고 있다. 이에 최근 떡매김 작업의 정밀도와 생산성 향상을 위한 자동화 시스템 개발이 일부 해외 건설사 및 건설자동화 회사를 통해 진행되고 있으며, 특히 가장 선행되는 구조체 떡매김 작업의 중요도 및 자동화 필요성은 더욱 크다고 할 수 있다.

이러한 배경하에서, 본 연구는 현재 개발이 진행 중인 유사 시스템의 주요 내용을 살펴보고, 건축물 골조공사용 떡매김에 적합한 시공 자동화 시스템 개발 방향을 제시하고자 한다. 본 연구 결과는 향후 보다 효율적인 자동화 시스템 개발을 위한 기초자료로서 활용될 수 있을 것이다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구에서의 떡매김 자동화 시스템은 건축물의 골조공사를 위한 바닥 떡매김 공정을 대상으로 하며, 건설로봇을 활용한 자동화 방식으로 한정한다. 현재 떡매김 자동화는 크게 이동 로봇을 통한 떡매김 수행방식과 레이저 투사 시스템을 이용한 떡매김 선가이드 방식으로 이루어지고 있다. 하지만 후자의 경우 한 번에 투사 가능한 범위가 상대적으로 좁으며, 가이드 선만을 한시적으로 제공한다는 측면에서 한계를 지닌다. 이에 본 연구에서는 스스로 위치를 인식하며 이동 및 떡매김 작업 수행이 가능한 건설 로봇 기반의 자동화 시스템을 개발 대상으로 한다.

본 연구의 수행을 위해 우선 문헌조사를 바탕으로 기존 유사 시스템의 목적 및 구성기술을 파악하고, 이를 토대로 골조공사용 떡매김 시공 자동화 시스템의 필요 요소기술을 도출한다. 이후 대상 시스템에 대한 충분한 이해와 지식을 갖춘 전문가를 대상으로, AHP(Analytic hierarchy process) 방법을 이용하여 각 요소기술의 중요도 평가를 수행한다. 이를 통해 보다 실용적이고 효율적인 골조공사용 떡매김 시공자동화 시스템의 개발 방향을 제시하도록 한다.

2. 떡매김 시공자동화 시스템 고찰

2.1 시스템 개요

건축물의 골조공사에서 떡매김 공정은 골조의 형상 및 치수를 정확하게 만들기 위한 기준선을 만들기 때문에 정밀도 확보가 매우 중요하며, 가장 선행되어야 하는 주공정에 해당한다. 이에 떡매김 시공자동화 시스템은 기존의 인력 시공으로부터 발생가능한 떡매김 정밀도 저하 및 작업 생산성을 향상시키는 것을 주목적으로 개발된다.

기존에 개발이 진행되고 있는 떡매김 자동화 시스템은 스스로 위치를 인식하며 주행 및 떡매김이 가능한 이동형 로봇을 통해 떡매김 인력을 대체하는 방식을 활용하고 있다. 측량장비를 통해 현장에서 기준점을 설정한 후 떡매김 로봇에 위치정보를 보내 필요한 위치에 로봇이 먹을 그려주는 시스템이다. 로봇이 떡작업을 대체하므로 인력절감의 효과가 있으며, 근로시간 외에도 무인작업이 가능하므로 생산성 향상의 효과가 크다. 무엇보다도 기존의 작업자의 숙련도와 컨디션에 의해 편차가 크게 나타났던 먹선 오차가 크게 줄어들어 높은 정밀도의 기준선 작업이 지속적으로 될 수 있는 것이 가장 큰 장점이다.

이에 2010년대 이후 본격적으로 미국과 일본을 중심으로 떡매김 시공자동화 시스템 개발이 추진되어 왔으나, 실제 현장에서 사용할 수 있는 단계까지 개발된 시스템은 아직까지 수개 정도에 불과하다. 건설 프로젝트의 특성상 매번 다른 현장에 다양한 변수들이 발생하므로 대부분의 개발 시스템이 프로토타입에서 개발이 중단된 경우가 많다. 현재 현장테스트 단계까지 온 시스템은 상용화를 위해 사용목적이나 환경을 명확하게 제한하여 개발된 시스템들이다. 이에 현장 테스트까지 진행된 시스템들의 목적 및 구성기술을 분석하고, 이를 토대로 본 연구에서의 골조공사용 떡매김 시공자동화 시스템의 개발 방향을 도출하고자 한다.

2.2 시스템 사례분석

본 연구는 상용화에 가장 근접한 먹매김 자동화 시스템 3개를 비교분석 하였다. 일본의 Takenaka사[4], Hitachi사[5]와 미국의 Dusty robotics사[6]의 시스템을 선정하였으며 분석결과는 Table 1과 같다. 이 시스템들은 공통적으로 먹매김 공사의 생산성 향상과 먹작업의 정밀도 향상을 목표로 시스템을 개발하였다. 모든 시스템이 측량장비인 토탈 스테이션(Total station)과 주행이 가능한 먹매김로봇으로 구성되어 있으며 대상공정은 건식벽체나 액세스플로어로 실내환경에서 운영되는 시스템이다.

Table 1. Existing systems for automated layout operation

	Category	Takenaka	Hitachi	Dusty robotics
System overview	Adopted equipment	Total station-Marking robot	Total station-Marking robot	Total station-Marking robot
	Applicable scope	Dry wall Access floor	Dry wall Access floor	Dry wall
Driving system	Driving unit	Three wheel drive	Four wheel drive	Three wheel drive
	Location control	Laser+encoder	Laser	Laser+acceleration sensor
	Moving control	Path control	Path control	autonomous driving
Marking system	Marking type	Line, Text, Symbol	Line, Text, Symbol	Line, Text, Symbol
	Marking device	Inkjet printing	Inkjet printing	Inkjet printing
	Marking control	Orthogonal robot	Orthogonal robot	Single-axis robot
	Marking work	Stop and mark	Stop and mark	Marking on the move
System precision	Test environment	Laboratory	On-site	On-site
	Marking accuracy	Within 3mm	Within 3mm	Within 2mm
	Inspection system	-	Laser tracker	-

시스템별로 대상공정은 비슷하나 먹매김 방식에 따라 주행시스템과 마킹시스템의 차이를 나타낸다. 일본의 시스템은 지점을 마킹하는 방식으로 진행된다. 벽체의 단부, 러너의 위치, 액세스플로어의 헤드 위치 등 지점의 위치를 마킹하고 해당정보를 기입한다. 반면 미국의 시스템은 건식벽체 선을 도면과 동일하게 연속선을 마킹한다. 이에 일본 시스템의 주행방식은 마킹 지점까지 이동하여 작업을 하며 미국 시스템은 이동과 동시에 연속선을 마킹하는 방식으로 작업한다. 연속으로 이동과 동시에 마킹하기 위해서는 로봇의 정밀한 주행이 요구되며 이는 센서를 통한 로봇주행에 정밀한 제어가 요구된다. 반면 정지상태에서 마킹방식은 노즐을 이동하여 마킹하므로 상대적으로 주행이 정밀하지 않더라도 마킹부에서 제어가 가능하다. 이는 두 시스템의 목적에서도 차이가 나는데, Takenaka 사의 시스템은 경량화, 빠른 작업속도를 목적으로 하고 있으며, Dusty robotics 사는 정밀한 먹작업을 통한 재작업 감소를 목적으로 하고 있다. 이에 두 시스템의 마킹방식에 차이와 이로 인해 하드웨어 및 시스템 재원의 차이를 나타내고 있다.

마킹시스템은 모든 시스템인 잉크젯 프린팅 방식을 사용하며 노즐을 이동하여 선, 문자, 기호를 마킹할 수 있다. 정지상태에서 마킹하는 시스템은 직교로봇을 사용하여 마킹위치를 제어하며 이동과 동시에 마킹하는 시스템은 내부에 단축(single-axis)시스템을 사용하여 제어한다. 모든 시스템이 3mm 이내의 오차를 목표로 하고 있으며, 해당 오차범위를 넘어가면 실용성이 없다고 판단하고 있다. 대부분의 시스템이 현장에서 테스트를 수행하고 있으며 오차범위를 지속적으로 줄여나가고 있다. 그러나 현장에서 사용하기에는 로봇운영을 위한 환경을 위해 준비작업이 많은 문제와 토탈스테이션과 거리에 따른 오차를 제어하는 문제를 해결해야 한다.

3. 먹매김 자동화 시스템 요소기술

3.1 시스템 구성요소

앞선 사례분석을 토대로 전반적인 먹매김 시공 자동화를 위하여 시공 프로세스별로 구성요소를 분류하였다. 우선 먹매김을 하기 위한 사전 준비단계에서는 도면정보를 생성하고 로봇에 전달하기 위한 도면화 기술(A)이 요구된다. 다음으로, 먹매김 작업 단계에서는 도면정보와 좌표정보를 통해 실제 먹매김을 수행하는 먹매김 로봇 기술이 요구되며, 이는 크게 로봇시스템 운영을 위한 구동 플랫폼(B), 이동을 수행하는 주행부(C), 건물에 프린팅을 수행하는 마킹부(D)로 구분할 수 있다. 마지막으로, 먹매김 이후 검측 단계에서는 마킹오차를 자동으로 검측하고 관리하기 위한 검측관리 기술(E)이 요구된다. 이에 본 연구에서는 Table 2와 같이 크게 5가지 구성기술로 먹매김 시공 자동화 시스템을 분류하고, 개발방향을 수립하기 위한 세부 기술요소를 도출하였다.

Table 2. Technical factors for automated layout system

Process		Technical factors	Definition
Preparation	(A)	Automated mapping system	System for layout drawing generation and information linkage with marking robot
	(B)	Robot operating platform	Operating system for the marking robot to run in a working environment
Layout	(C)	Driving system	Positioning system to allow the robot to move itself to the position to work
	(D)	Marking system	System for performing precise marking operation
Inspection	(E)	Inspection management system	System for progress monitoring and inspection of marking errors

3.2 도면화 기술

먹매김 도면화 기술은 사전 준비작업 단계에서 먹매김 작업을 위해 필요한 마킹의 위치, 종류 등의 정보를 기존 도면으로부터 추출, 도면화하고 필요 정보를 먹매김 로봇에 전달해주는 기술을 의미한다. 토달 스테이션은 기준점과 로봇위치의 절대 좌표를 측정하여 로봇에 전달하며 로봇은 좌표를 먹매김 도면과 연동하여 이동할 위치 및 마킹의 종류를 인식하여 먹매김을 수행한다. 이때 먹매김 로봇이 작업을 수행할 수 있도록 골조도면에서 먹매김 도면으로 변환하는 기술이 요구되며, 로봇의 마킹순서 및 이동경로를 생성해주는 제어기술이 요구된다.

이에 먹매김 도면화 기술은 골조도면으로부터 먹도면을 생성하기 위한 먹도면 모델링 자동화 기술(A1), 도면 좌표를 현장과 일치시키기 위한 도면-현장 캘리브레이션(Calibration) 기술(A2), 현장에서의 골조 시공오차를 분석하여 도면에 반영하기 위한 골조오차 보정기술(A3), 로봇의 작업순서 및 이동경로를 최적으로 생성하기 위한 로봇 이동경로 제어기술(A4) 등이 요소기술로 활용된다.

3.3 로봇 구동플랫폼 기술

먹매김 로봇 구동플랫폼 기술이란, 로봇이 작업환경에 대응하여 원활하게 구동, 운영되도록 하기 위한 기본적인 시스템 기술을 의미한다. 로봇의 작업목적 및 운영환경에 부합하여 원활하게 구동되기 위해서는 우선 로봇의 무게 및 동력을 지지하고 작업에 적합한 형태를 구현하는 로봇 프레임 기술(B1)이 필요하며, 이와 함께 작업환경으로부터 내부기기 보호에 적합한 방수/방진성능 확보 기술(B2)이 요구된다. 또한 먹매김 로봇의 작업시간과 운영, 유지관리 용이성을 고려하여 적합한 용량과 방식을 갖는 전원공급 기술(B3)이 필요하다. 마지막으로 먹매김 로봇은 작업자가 조정하는 것이 아닌 스스로 주행하므로 무인 환경에서 로봇의 이상 여부 및 작동 가능시간 등을 확인할 수 있는 로봇 상태 모니터링 기술(B4)이 요구된다.

3.4 로봇 주행부 기술

떡매김 로봇 주행부 기술은 로봇이 작업할 위치로 스스로 이동할 수 있도록 현장 내부에서 주행하기 위한 포지셔닝 기술이다. 이동을 위해 로봇은 자체의 위치좌표와 회전각도를 정확히 알아야 원하는 지점으로 이동이 가능하다. 또한 주위에 장애물이 있을 경우 이를 회피해야 하고 경사나 굴곡이 있을 경우 인식하여 움직임을 보정해야 한다.

이에 로봇이 원하는 지점과 방향으로 정확하게 이동하기 위해서는 로봇의 위치 및 회전 제어기술(C1)이 요구되며, 일반적으로 토달 스테이션을 이용하여 로봇의 위치좌표를 측정하고 로봇의 방향 인식은 추가적인 기술을 활용한다. 먼저 측량을 위한 프리즘을 이동시키며 로봇의 회전각을 측정하는 방법으로, 프리즘을 로봇 내부에서 직교로 이동시키면서 두 지점 이상 측정하여 로봇의 방향을 인식하는 원리이다. 다음으로는 로봇에 자이로 센서(Gyro sensor)와 같은 방향을 인식할 수 있는 센서를 설치하는 방법이 활용될 수 있다.

다음으로는 떡매김 로봇의 이동경로상 장애물의 인식, 회피 기술(C2)이 필요하며, 일반적으로 두 가지 방법이 사용된다. 우선 장애물 위치를 사전에 도면상에 입력하고, 이를 회피할 수 있는 경로를 생성하여 운영하는 방법이 있다. 다음으로는 적외선, 초음파, 레이저 센서 등을 통해 장애물을 인식하고 이를 자율적으로 회피하여 이동하는 방법이 있다. 전자의 경우 초기 단계에 시간이 투입되나 로봇에 별도의 센서가 요구되지 않으며, 후자의 경우 자율적인 회피주행이 가능하나 로봇의 적절한 위치에 장애물 인식 센서를 부착하고 별도의 회피 알고리즘을 구현하여야 한다.

마지막으로 주행부의 요철 및 회전 대응 기술(C3)이 요구된다. 골조공사용 떡매김 로봇은 작업환경의 특성상 주행 중 어느 정도의 바닥 굴곡이나 경사에 대응하여 안정적인 주행이 가능해야 하며, 비교적 좁은 공간에서도 회전이 가능해야 한다. 이에 바뀌는 일정한 요철을 흡수할 수 있는 기능이 요구되며, 좁은 공간에서 회전할 수 있도록 적합한 형태와 종류의 바뀌를 배치해야 한다.

3.5 로봇 마킹부 기술

떡매김의 정확도를 높이기 위해서는 구동부 제어와 함께 정밀한 마킹부 제어를 위한 마킹 메커니즘도 함께 요구된다. 로봇이 마킹을 위한 정확한 위치에 놓이는 과정에서 구동부를 정밀하게 제어하더라도 이동하는 로봇을 mm 단위로 제어하기 쉽지 않기 때문에 모든 떡매김 로봇은 구동부 제어와 함께 마킹부를 함께 제어한다. 대부분의 떡매김 로봇은 잉크젯 프린팅 방식을 사용하는데 마킹부 제어는 프린팅의 노즐을 이동하는 방식으로 제어한다. 이에 프린팅 노즐의 위치 제어기술(D1)이 요구되며, 이 때 해당 위치에 가서 구동부 정지 후 노즐을 이동하거나 로봇 이동과 동시에 노즐의 이동을 제어하면서 프린팅하는 방식이 사용된다.

프린팅 기술은 앞서 서술한 바와 같이 일반적으로 잉크젯 방식을 사용하여 연속된 선뿐 아니라 분절된 선과 기호, 간단한 텍스트까지 프린팅하고 있다. 프린팅하는 대상의 종류에 따라 도트(dot)의 종류와 제어방식이 달라지기 때문에 대상에 따른 프린팅 제어기술(D2)이 필요하다. 또한 프린팅의 대상이 되는 바닥면의 재질과 상태에 따른 마킹품질 제어기술(D3)이 요구된다. 본 연구의 대상인 골조공사시 바닥면의 경우 마킹부 주변 바닥 마감 상태가 비교적 고르지 못함에 따라 부위에 따라 노즐의 분사 높이가 달라져 번짐이나 마킹위치 오차가 발생할 수 있으므로 이를 효율적으로 제어하여 분사할 수 있는 기술이 함께 요구된다.

3.6 떡매김 검측관리 기술

정확한 위치에 떡선이 마킹되었는지 확인하는 검측작업은 후속공정 전에 반드시 수행되어야 하는 작업으로 떡매김 공사의 자동화를 위해서는 검측관리의 자동화 기술도 필요하다. 대부분의 떡매김 자동화 연구는 떡매김 수행작업에 중점을 두

기 때문에 아직까지 검측관리를 자동화하는 기술은 미흡한 실정이다. 먹선이 매겨졌는지 확인하기 위한 노즐의 상태나 프린팅 유무를 확인할 수 있는 마킹상태 모니터링 기술(E1)이 필요하며, 먹선이 도면상 표시된 위치에 정확히 매겨졌는지 확인하기 위한 먹선의 위치검측 기술(E2)이 필요하다. 또한 디지털화된 먹매김 검측결과를 감리에 보고하고 승인을 받기위한 검측보고 자동화 기술(E3)도 요구된다. 이러한 기술들은 불필요한 현장이동을 줄이고 디지털화된 정확한 정보를 통해 효율적인 먹매김 검측관리가 가능하게 한다. Table 3은 앞서 기술한 먹매김 시공 자동화 시스템의 5가지 구성기술에 따른 세부 기술요소 분류를 나타낸 것이다.

Table 3. Sub-factors for automated layout system

Technical factors		Sub-factors	
(A)	Automated mapping system	(A1)	Automated modelling for layout drawing
		(A2)	Site calibration
		(A3)	Analysis and correction of construction errors
		(A4)	Moving path optimization
(B)	Robot operating platform	(B1)	Robot frame
		(B2)	Power supply
		(B3)	Protection from water and dust ingress
		(B4)	Robot status monitoring
(C)	Driving system	(C1)	Robot position and rotation control
		(C2)	Obstacle avoidance
		(C3)	Driving unit for coping with rough conditions
(D)	Marking system	(D1)	Location control of marking unit
		(D2)	Printing control
		(D3)	Marking quality control
(E)	Inspection management system	(E1)	Marking progress monitoring
		(E2)	Marking error inspection
		(E3)	Automated inspection reporting

4. 기술요소별 중요도 평가

4.1 골조공사 먹매김 공정

골조공사 먹매김은 골조의 위치와 거푸집을 세울 위치를 표시하는 공정으로 콘크리트 양생이후 바로 수행된다. 골조공사 먹매김은 옥외에서 수행되고 정비되지 않은 바닥면 위에 마킹해야 하는 점이 실내벽체 먹매김과 다르다. 또한 이음철근이나 슬리브와 같이 장애물이 많은 환경에서 수행해야 하며 최선형 공정으로 골조에 시공오차가 발생하더라도 즉각적으로 수정해야 한다.

골조공사의 먹매김은 마감공사용 먹매김 로봇과 비교하여 보다 어려운 환경에서 다른 목적으로 수행되기 때문에 시스템에 요구되는 기술의 중요도가 다르다. 이에 골조공사 먹매김 자동화를 위해 요구되는 요소기술의 중요도 평가를 통해 우선순위를 설정하여 개발의 방향을 설정하는 것이 필요하다.

4.2 요소기술 중요도 평가

골조공사용 먹매김 자동화 시스템 요소기술의 중요도 평가를 위해 본 연구는 AHP를 이용하여 요소기술의 정량적 평가

를 실시하였다. Table 3에서 제시된 구성기술 및 세부 기술요소에 대하여 9점 척도로 쌍대비교를 실시하였다. 평가는 건설 자동화 연구경력 10년 이상의 전문가 5인으로 구성된 전문가 집단을 통해 수행되었다. 골조공사 먹매김 자동화 시스템을 위한 요소기술 중요도 평가의 결과는 Table 4와 같다.

Table 4. Importance of technical factors and sub-factors

Technical factors		Sub-factors		
ID	Score	ID	Score	Rank
(A)	0.0435	(A1)	0.003	17
		(A2)	0.008	15
		(A3)	0.017	11
		(A4)	0.017	12
(B)	0.1552	(B1)	0.092	4
		(B2)	0.034	9
		(B3)	0.015	13
		(B4)	0.015	14
(C)	0.3679	(C1)	0.233	2
		(C2)	0.039	8
		(C3)	0.096	3
(D)	0.3679	(D1)	0.274	1
		(D2)	0.044	6
		(D3)	0.049	5
(E)	0.0655	(E1)	0.019	10
		(E2)	0.042	7
		(E3)	0.005	16

구성기술의 중요도 평가결과는 실제 먹매김 작업을 수행하는 먹매김 로봇 기술들이 가장 중요도가 높은 핵심기술로 나타났다. 로봇기술(B~D)은 전체 기술 중요도에 약 90%를 차지하고 있으며, 이중 주행부와 마킹부의 기술이 70%를 차지할 정도로 중요도가 매우 높게 나타났다. 이는 골조공사 먹매김에 있어 도면화 및 검측관리 기술보다 로봇을 골조공사 환경에서 운영하는 것이 기존에 먹매김 자동화 기술과 큰 차이가 나기 때문에 로봇에 관련된 운영과 주행, 마킹 기술이 골조환경에 적합하게 개발되는 것이 중요하게 나타난 것으로 판단된다. 특히 옥외 환경과 고르지 못한 주행면 및 마킹 환경에 대응하기 위한 주행부 및 마킹부 기술이 먹매김 자동화 시스템 개발을 위해 가장 중요한 구성기술로 파악되었다.

세부 요소기술로는 정밀도를 확보하기 위한 제어 기술들이 매우 큰 중요도를 나타냈다. 가장 높은 중요도를 나타낸 기술은 노즐의 위치제어기술(D1)이며, 다음으로는 로봇 위치/방향 제어기술(C1)로 나타났다. 두 기술의 중요도는 정확한 위치에 마킹을 할 수 있게 제어하는 기술로 다른 요소기술의 중요도보다 월등히 높은 중요도를 나타냈으며, 이는 기준선을 제공하는 먹매김 공정의 특성상 정밀한 품질을 확보하는 것이 가장 중요한 요소임을 나타내고 있다. 해당 기술은 기존의 먹매김 로봇기술에도 가장 중요한 요소로 나타나고 있으며, 주행로봇의 마킹오차를 mm단위 이내로 맞추는 기술이 기술개발에 있어 매우 필요하고 중요한 요소로 파악되었다.

다음으로 중요도가 높은 요소기술들은 골조공사 환경에 대응할 수 있는 기술들로 나타났다. 회전/요철 대응 주행기술(C3)과 마킹품질 제어기술(D3)은 고르지 못한 주행면과 골조배치에 따른 좁은 공간도 안정적으로 주행하여 일정한 마감 품질을 유지할 수 있게 하는 기술로 골조공사 환경에서 운영하기 위해 매우 중요한 기술로 나타났다. 또한, 로봇프레임 기술

(B1)은 작업환경에 적합하게 로봇의 형태 및 무게를 결정하는 기술로, 상대적으로 높지 않은 중요도를 나타내는 구성기술에 속해있음에도 불구하고 높은 중요도를 나타내고 있다. 이는 골조공사 환경에서 로봇의 원활한 구동을 위해서는 장애물이 많은 공간을 원활히 이동할 수 있는 형태와 좁은 공간에서도 마킹할 수 있는 마킹부의 형태 및 제어가 매우 중요함을 파악할 수 있다.

다음으로 중요도가 높은 요소 중 주목할 만한 요소로 먹선위치 검측기술(E2)이 있다. 해당기술 역시 상대적으로 낮은 중요도를 나타내는 구성기술에 속해 있음에도 상대적으로 높은 중요도를 나타내고 있다. 먹선위치 검측기술은 기존 먹매김 자동화 시스템에는 없는 기술로 먹매김 이후 검측단계에서 정밀도를 파악하는 기술이다. 이는 먹매김 로봇이 수행하는 작업뿐만 아니라 작업수행과 함께 진행되는 프로세스의 자동화 기술 또한 매우 중요하다는 것을 나타낸다. 먹매김을 자동화 하더라도 이후 검측을 작업자 측정을 통한 수기로 기록한다면 정보의 단절이나 관리효율성 저하와 같은 문제가 나타난다. 이에 먹매김 전체의 프로세스를 모두 자동화 할 수 있는 기술 또한 매우 중요함을 파악할 수 있다.

4.3 골조공사용 먹매김 시공자동화 시스템 개발방향

본 연구의 중요도 평가결과 골조공사 먹매김 자동화시스템의 개발을 위해서는 정밀한 품질제어기술, 골조환경 대응기술, 프로세스 자동화 기술이 매우 중요한 것으로 나타났다. 해당 기술들은 개발을 위한 중요도가 매우 높은 분야로 개발방향 설정 시 우선적으로 고려되어야 될 기술들로 판단된다.

정밀 품질제어는 마킹오차를 최소화하는 기술로 로봇의 좌표와 노즐의 좌표를 정밀하게 제어하는 기술이 요구된다. 이는 마킹을 하는 방법에 따라 제어가 달라지므로 주행과 마킹을 동시에 수행할지 여부를 결정해야 한다. 골조공사의 환경은 주행제어가 실내보다 어렵고 다양한 외부변수들이 존재하기 때문에 먹매김 로봇은 이동 후에 마킹을 수행하는 것이 더 적합하다고 판단된다. 또한 주행 중 마킹을 위해서는 가속도 센서나 라이더와 같은 주행기술이 요구되나 로봇에 다수의 기술이 추가될수록 로봇 전원과 크기 문제가 생기며 경제성 확보도 어려울 수 있다. 이에 정밀한 제어를 할 수 있도록 마킹 지점들을 이동하면서 정지상태에서 마킹부를 제어하여 프린팅을 하는 것이 보다 효율적이고 경제적인 시스템을 구현할 수 있는 방향으로 판단된다.

골조환경 대응기술은 고르지 못한 바닥면에서 주행과 마킹에 품질을 확보하는 기술이 요구된다. 요철이 있는 면을 주행하기 위해서는 바퀴의 타입과 수를 조정하는 기술이 필요하다. 무한궤도형이 요철면에서도 안정적인 주행이 가능하나 회전이 어렵고 좁은 공간에서 작업이 어렵다. 이에 기존 시스템에서 사용하는 3륜 형태의 바퀴를 사용하는 것이 적합하며, 골조면 대응을 위한 충격흡수장치(shock absorber) 등을 설치하는 것이 필요하다 판단된다. 또한 마킹 품질 확보를 위해 분사노즐을 일정하게 유지시켜줘야 하는데, 바닥면의 높낮이에 따라 노즐의 높이도 대응할 수 있는 기술도 필요하다.

프로세스 자동화 기술은 먹매김 도면화부터 검측보고까지 먹매김 공정의 전 프로세스를 하나의 플랫폼에서 자동화할 수 있게 하는 기술이다. 기존 시스템은 도면 모델링과 로봇수행에 대한 기술들까지 개발했으나 검측에 대한 자동화는 미비하다. 또한 로봇은 기준점 없이 먹매김을 수행하므로 검측을 위해서는 기준점 없이 측정이 가능한 새로운 방식이 요구된다. 이에 마킹된 먹선의 오차를 자동으로 측정하는 기술과 정보를 플랫폼에 전송하여 자동으로 검측보고를 할 수 있는 기술이 함께 필요하다고 판단된다.

5. 결론

본 연구는 먹매김 자동화 시스템 개발의 선행연구로, 기존 먹매김 방식의 생산성 향상 및 정밀도 확보를 위해 골조공사 환경에 적합한 자동화 시스템의 개발방향을 제시하였다. 현재 개발되고 있는 먹매김 자동화 시스템의 사례분석을 통해 시스

템의 기술을 분석하였고, 해당기술을 구성기술별로 분류하여 자동화 시스템에 필요한 세부 요소기술들을 도출하였다. 다음으로 중요도 평가를 통해 개발을 위한 우선도가 높은 기술들을 분석하여 개발방향을 제시하였다.

분석 결과 골조공사 먹매김 자동화 시스템의 개발을 위해서는 정밀한 품질제어 기술과 골조환경에 대응한 운영기술, 먹매김 공정 모든 단계의 프로세스 자동화 기술이 매우 중요한 요소로 나타났다. 해당 기술들은 개발을 위해 우선적으로 고려되어야 할 기술들로 먹매김의 품질 확보와 골조환경에서의 원활한 운영을 위해 반드시 필요한 기술로 판단된다.

본 연구결과는 향후 먹매김 자동화 시스템 설계의 기초자료로 활용될 것이며, 향후 본 연구에서 제시한 개발방향을 기반으로 하여 먹매김 자동화 시스템의 보다 구체적인 기술재원과 기술요소별 설계를 진행할 예정이다.

요약

건축공사에서 먹매김 공정은 건물의 구성요소를 계획된 위치에 정확히 형성하기 위한 기준이 되므로 높은 정밀도가 요구된다. 최근의 건축물 규모 증가 및 숙련공 부족 추세에서 먹매김 공사는 로봇 기반의 자동화 기술 도입을 통한 생산성 및 품질 향상 요구가 크게 나타나고 있으며, 특히 가장 선행되는 골조공사 먹매김 작업의 중요도 및 자동화 필요성은 더욱 크다고 할 수 있다. 이러한 배경에서 본 연구는 건축물 골조공사용 먹매김에 적합한 시공 자동화 시스템 개발 방향을 제시하고자 한다. 기존 유사 기술 고찰을 토대로 하여 5가지 구성기술과 17개의 세부 기술요소를 도출하였으며, 전문가 설문을 통한 중요도 평가를 수행하였다. 설문 결과, 열악한 주행 및 작업 환경에 대응하기 위한 주행부 및 마킹부 기술이 가장 중요한 구성기술로 파악되었으며, 이러한 환경에서 정밀도를 확보하기 위한 제어기술과 전반적인 프로세스의 자동화기술의 중요성이 높게 나타났다. 본 연구 결과는 향후 보다 실용적이고 효율적인 자동화 시스템 개발에 기여할 것이다.


키워드 : 건설자동화, 골조공사 먹매김, 건설로봇


Funding

This work is supported by the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement(KAIA) grant funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport (Grant 21CTAP-C163790-01) and by research fund from Soonchunhyang University.

ORCID

Hyunsu Lim,  <http://orcid.org/0000-0002-3364-5118>

Kyuman Cho,  <http://orcid.org/0000-0001-5008-110X>

Taehoon Kim,  <http://orcid.org/0000-0002-2869-0061>

References

1. Ministry of Land, Infrastructure and Transport. Land, Infrastructure and Transport Technology R&D master plan('18-'27). Sejong (Korea); Ministry of Land, Infrastructure and Transport. 2018.
2. MOLIT News[Internet]. Sejong(Korea); Ministry of Land, Infrastructure and Transport. 2020 - [cited 2021 August 9]. Available from: https://www.molit.go.kr/USR/NEWS/m_71/dtl.jsp?lcmspage=1&id=95083857

3. Brosque C, Skeie G, Orn J, Jacobson J, Lau T, Fischer M. Comparison of construction robots and traditional methods for drilling, drywall, and layout tasks. 2020 International congress on human-computer interaction, optimization and robotic applications (HORA). 2020 June 26-28; Ankara, Turkey. Artvin (Turkey): Artvin Coruh University and IEEE Turkey Section; 2020. p. 1-14. <https://doi.org/10.1109/HORA49412.2020.9152871>
4. Takehiro T, Kazuyuki M, Mikita M. Improvement of automated mobile marking robot system using reflectorless three-dimensional measuring instrument. 36th International Symposium on Automation and Robotics in Construction. 2019 May 21-24; Banff, Canada. Edinburgh (United Kingdom): The International Association for Automation and Robotics in Construction; 2019. p. 756-63. <https://doi.org/10.22260/ISARC2019/0102>
5. Takashi K, Kouji S, Joji O. Marking robot in cooperation with three-dimensional measuring instruments. 35th International Symposium on Automation and Robotics in Construction. 2018 July 20-25; Berlin, Germany. Edinburgh (United Kingdom): The International Association for Automation and Robotics in Construction; 2018. p. 292-9. <https://doi.org/10.22260/ISARC2018/0042>
6. BIM-driven robot layout [Internet]. Mountain view(United States); Dustyrobotics. 2021 [cited 2021 August 9]. Available from: <https://www.dustyrobotics.com/>