

분말 재료의 비균일 포설 부피 추정 방법 및 장치



이규만 경북대학교 로봇 및 스마트시스템공학과 조교수, klee400@knu.ac.kr
김남영 경북대학교 로봇 및 스마트시스템공학과 석사과정, namyoung@knu.ac.kr
Kuruppu Arachchige, Sasanka 경북대학교 로봇 및 스마트시스템공학과 석사과정, sasa.kuruppuarachchi@gmail.com

1. 서론

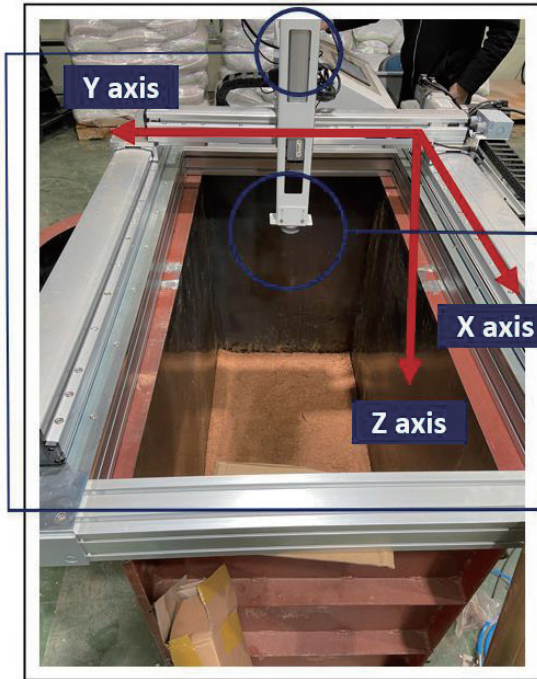
최근 건설산업은 로보틱스 분야를 포함한 4차 산업혁명의 원천기술과의 긴밀한 협력을 통해 고도의 성장을 이루고 있다. 건설 자동화 및 지능화를 통해 기존의 노동집약적인 생산 방식을 자동화 시스템으로 전환함으로써 비용을 획기적으로 절감하고자 하는 것이다.

본 고에서는 거푸집 내에 포설된 분말 재료의 비균일 포설 부위를 탐지하는, 표면 평활도 측정 방식을 자동화 시스템으로 전환하는 방법에 대해 소개한다. 다양한 건설응용 분야 (예: 콘크리트 표면, 아스콘 포장, 방수 및 도장 두께 등)에서 분말 재료가 비균일적으로 포설된 부위가 존재하면 포설 과정에서 오차가 누적되는 문제가 발생한다. 이를 해결하고자 포설을 균일하게 실행하기 위해서는 비균일하게 포설되거나 다져진 위치를 사전에 탐지하고 그 부피를 정확히 추정해야 한다. 종래에는 사람이 직접 육안으로 거푸집 내에 포설된 분말재료의 비균일 포설 부위를 탐지해야했기 때문에 노동집약적인 측면이 높아 시간이 많이 걸리고, 사용자의 숙련도에 따라 정확도의 차이가 많이 나는 문제가 있었다. 이러한 문제점을 해결하기 위해, 3D 스캐닝 기법을 통해 데이터를 획득하고, 획득한 3D 데이터에 컴퓨터 비전 기술 기반 기법들을 적용함으로써 보다 신속하고 정확하게 비균일 포설 위치 및 부피를 추정할 수 있는 방법 및 장치를 설명한다. 2장에서는 시스템 구성 및 설계에 대해 소개하고, 3장에서

는 본 연구팀이 제안하는 위치 및 부피 추정 알고리즘을 설명한다. 마지막으로, 4장에서는 본 연구를 통해 얻은 결과를 분석하면서 본 고를 마무리하고자 한다.

2. 시스템 구성 및 설계

본 연구팀이 제안하는 분말 재료의 비균일 포설 위치 및 부피 추정을 위해, 3D 비전 센서 및 임베디드 컴퓨터를 3축 제어 로봇(즉, 갠트리 로봇)에 부착하여 하드웨어 시스템을 구축한다. <그림 1>은 시스템 구성 및 설계를 나타내며, 전체 시스템은 Mechanical System, Sensing System, 그리고 Computing System으로 구성되어 있다. Mechanical System은 갠트리 로봇의 기계적 하드웨어 뿐만 아니라, 산업용 PLC (Programmable Logic Controller)제어를 기반으로 갠트리 로봇을 제어하는 전자기적 소프트웨어 프로그램이 내장되어 있다. 즉, 로봇의 3축 위치 제어 및 피드백 제어가 가능하고, 호밍, 비상정지 등의 기능을 수행한다. Sensing System은 분말 재료를 3D 스캐닝하기 위한 LiDAR 카메라이며 갠트리 로봇의 끝점에 rigid하게 부착되어 있다. 앞서 언급한 Mechanical System에 의해 이 비전 센서가 거푸집 내 정해진 위치로 정확하게 이동하여 분말 재료의 포설 상태를 3D 스캐닝한다. 마지막으로, Computing System은 임베디드 컴퓨터에서 ROS (Robot Operating System)를 기반으로 갠트리 로봇 Mechanical System과 통신하며 유도제어



Mechanical System

Gantry robot 제어 프로그램

- ROS(Robot Operating System) 기반
- 호밍, 위치 제어 및 피드백 제어 가능
- 비상정지 가능

Sensing System

비전 센서(Intel RealSense L515)

- Gantry robot 제어 프로그램을 통해 원하는 위치로 정밀하게 이동 가능

Computing System

임베디드 컴퓨터 (NVIDIA Jetson NX)

- ROS를 기반으로 Gantry robot과 연결되어 Gantry robot을 제어
- 비전 센서에서 획득한 Point cloud data를 Processing

그림 1. 시스템 구성 및 설계

명령을 보낸다. 또한, Sensing System에서 획득한 포인트 클라우드 데이터를 후처리하고 위치 및 부피 추정 알고리즘을 연산하는 부분이다.

3. 위치 및 부피 추정 알고리즘

본 장에서는 2장에서 설명한 시스템 구성 중 Computing System에 해당되는 위치 및 부피 추정 알고리즘에 대해 설명한다. <그림 2>는 본 연구팀에서 제안하는 방법의 순서도를 나타내며, 제안하는 알고리즘은 위치 결정 단계와 부피 추정 단계로 나누어져 있다. 보다 구체적으로, 위치 결정 단계는 ① 갠트리 로봇 이동하면서 3D 스캔 데이터 수집, ② 수집된 스캔 데이터의 병합(Registration), ③ 노이즈 제거 및 ④ 비균일 포셜 위치 결정의 4단계로 구성될 수 있고, 부피 추정 단계는 ① 계층적 클러스터링 통해 스캔 위치 재결정, ② 재결정된 위치로 갠트리 로봇 이동하여 상기 위치 결정 단계 반복 및 ③ 비균일 포셜 부피 추정의 3단계로 구성된다.

먼저, 위치 결정 단계에서는 스캐닝하고자 하는 타겟 영역의 크기와 타겟 영역을 스캔하는 카메라의 시야각에 기초하여 초기 스캔 위치를 결정하고, 그 위치들로 갠트리 로봇을 이동하면서 타겟 영역 전체에 대한 3D 스캔 데이터를 획득한

[도 2]

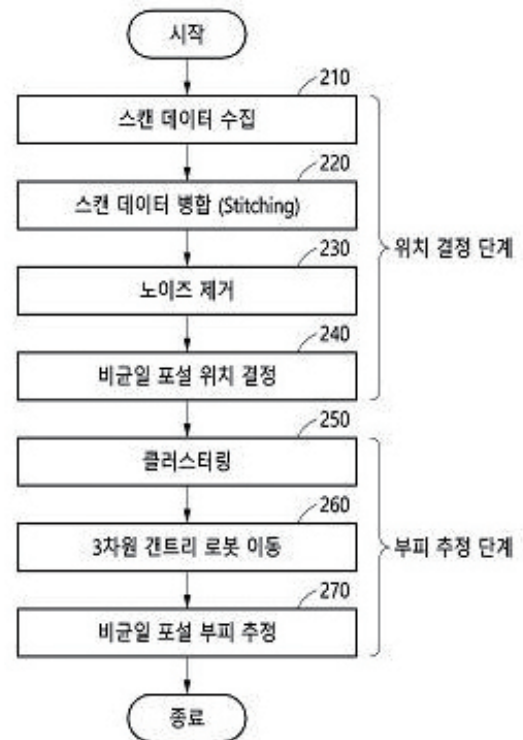


그림 2. 위치 및 부피 추정 알고리즘 순서도

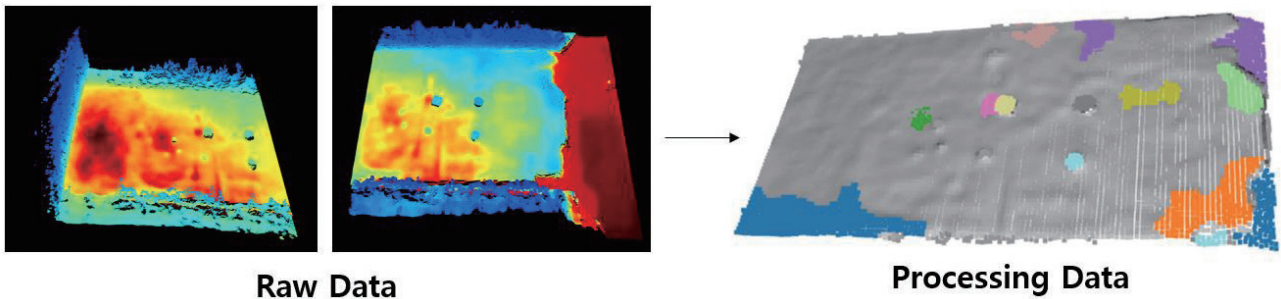
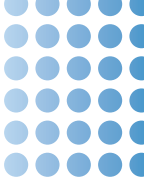


그림 3. 제안하는 방법 적용 결과

다. 이후, 획득된 스캔 데이터(즉, 카메라 좌표계에서 획득된 포인트 클라우드 데이터)를 갠트리 로봇의 고정 원점을 기준으로 하는 글로벌 좌표계로 좌표변환하여 수집된 스캔 데이터 전체를 병합한다. 또한, 위치 및 부피 추정의 정확도 향상을 위해 병합된 스캔 데이터들 중 가장자리(즉, 거푸집 벽면)에 위치한 포인트들을 노이즈로 제거함으로써 스캔 데이터를 필터링한다. 마지막으로, 스캔 데이터의 포인트들 상호간의 거리에 기초하여 결정된 평면 모델을 통해, 타겟 영역에 존재하는 대략적인 초기 비균일 포설 위치를 결정한다.

부피 추정 단계에서는 먼저, 초기 비균일 포설 위치에서 식별되는 이상치들을 계층적 클러스터링함으로써 LiDAR 카메라의 스캔 위치를 재결정한다. 즉, 3D 스캐닝 과정은 먼 거리(즉, depth)보다 가까운 거리에서 더욱 정밀한 측정이 가능하므로, 위치 결정 단계에서 결정된 비균일 포설 위치에 더 근접하여 측정하고자 한다. 이 때, 초기 비균일 포설 추정 위치에서 비균일 포설의 면적과 스캔하는 카메라의 시야각에 기초하여 재스캔 높이를 결정한다. 마지막으로, 재결정된 스캔 위치에서 획득한 새로운 데이터에 상기 위치 결정단계를 다시 적용하여 최종 비균일 포설 위치를 결정하고, 결정된 최종 위치에 대한 비균일 포설 부피를 추정한다. 부피 추정은 획득한 포인트 클라우드 데이터에 Ball Pivoting 기법을 적용하여 표면을 재구성하고, 재구성된 표면과 분말 재료의 평면 사이의 부피를 계산하는 방식을 이용한다. 제안한 알고리즘을 적용한 결과 예시를 <그림 3>에 나타낸다.

<표 1>은 제안하는 방법을 통해 비균일 포설의 부피를 추정한 결과를 나타낸다. 정확한(Truth) 부피를 알고 있는 임의의 3가지 모형을 거푸집 내에 두어 총 10번의 검증을 수행한다. 10번의 시행 중 가장 부피를 잘 추정한 값에 대해서는 최대 2% 미만의 오차를 보인다. <표 1>을 통해, 부피가 작은 비균일 포설에 대해서도 매우 강건하게 부피 추정이 가능함을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 고에서는 표면 평활도 측정 방법의 자동화를 위해 비균일 포설 부위의 위치 및 부피를 추정하는 방법에 대해 제안한다. 제안한 시스템 구성 및 알고리즘을 통해 비균일 포설 부위의 위치 및 부피 추정이 신뢰성 높게 가능함을 실험 검증하고, 이를 통해 기존의 노동집약적인 표면 평활도 측정 방법의 자동화를 실현한다. 또한, 시공 중 평활도를 측정하고 즉시 보정하는 다양한 건설응용 분야에 적용 가능하다는 점에서, 제안한 방법이 높은 확장성 및 범용성을 가진다는 것을 알 수 있으며, 향후 건설 자동화 분야에서의 긍정적인 전망을 기대할 수 있다.

표 1. 비균일 포설 부피 추정 결과

정확한 부피 (Truth)	848,718 mm ³	25,120 mm ³	8,373 mm ³
Best Estimated (Our approach)	864,142 mm ³	25,155 mm ³	8,436 mm ³
Error	1.82 %	0.14 %	0.75 %