

2025년 추계학술발표대회 : 대학생부문

RGB-D 이미지를 이용한 내화뿔칠 로봇의 작업영역 인식 알고리즘 개발을 위한 기초연구

Preliminary Study on the Development of Work Area Detection Algorithm for Fireproofing Spray Robots using RGB-D Images

○이 상 민* 배 강 민* 윤 세 빈** 김 태 훈***

Lee, Sangmin Bae, Kangmin Yoon, Sebeen Kim, Taehoon

키워드 : 내화뿔칠, 철골 구조물, 작업영역 인식, 세그멘테이션, RGB-D

Keywords : Fireproofing Spray, Steel Structure, Work Area Detection, Segmentation, RGB-D

철골 구조물의 내화뿔칠은 건축물의 화재 안정성을 확보하기 위해 필수적으로 수행되어야 하는 공정이지만, 현재는 고소 위치에서 인력이 수행하고 있어 안전사고 위험이 존재하고 품질 편차가 발생한다. 이를 해결하기 위한 로봇 연구가 진행되어 왔으며, Ikeda et al.(2020)은 사전 정의된 작업 영역을 기반으로 자율 이동과 분사를 수행하는 로봇을 개발하여 현장 적용성을 검증한 바 있다. 그러나 이러한 접근은 사전에 맵핑된 작업영역에 의존한다는 한계가 존재한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 RGB-D 이미지를 활용하여 철골 구조물을 실시간으로 인식하고, 내화뿔칠 로봇이 작업영역을 자동으로 인식할 수 있는 알고리즘을 개발하기 위한 예비 연구를 수행하고자 한다.

본 연구에서 제안한 알고리즘은 다음과 같다. 첫 번째 단계에서는 딥러닝 기반 세그멘테이션 모델 중 하나인 YOLOv11을 이용해 RGB 이미지에서 철골보와 철골기둥 영역을 인식한다. 데이터셋은 웹 크롤링, 가상환경 모델링, 실물 모형(mock-up) 제작을 통해 300장 이상의 RGB 이미지로 구성하였다. 다음 단계에서는 노이즈, 불완전한 경계, 깊이 이미지의 빈값 등을 보정하기 위하여 다양한 후처리 과정(Post-processing)을 통해 정밀한 작업영역을 추출한다. YOLOv11 모델로 생성된 마스크는 잡음과 불완전한 경계를 포함하므로, 마스크 확장(dilation) 후 깊이 분포 분석을 통해 5~95 퍼센타일 구간 내의 유효 픽셀만 유지하였다. 이어서 연결요소 분석을 통해 가장 큰 구조물

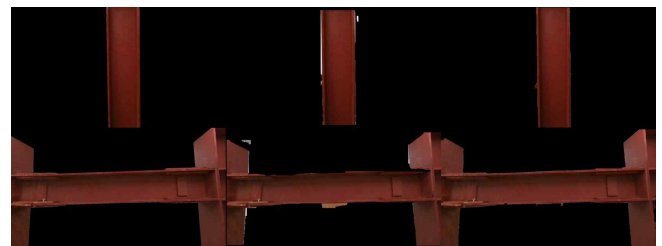
영역을 선택하고 binary fill holes 기법으로 내부 빈 공간을 보정하였다. 추가적으로 RGB 영상을 HSV 색공간으로 변환하여 마스크 내에서 평균 색상과 일치하지 않는 픽셀을 제거하여 배경 잡음을 줄였다.

동일한 학습데이터셋을 이용해 기본 YOLOv11 모델과 제안한 알고리즘의 세그멘테이션 성능을 테스트하였다. 그 결과, YOLOv11 대비 평균 IoU(Intersection over Union)가 약 87.7%에서 91.0%로 3.3%p 개선되었다(표1). 이러한 결과는 제안한 알고리즘이 작업영역 인식의 정확도를 높였음을 의미한다.

표1. 성능 테스트 결과

모델	클래스	IoU	mIoU
YOLOv11	보	0.8537	0.8767
	기둥	0.8999	
Ours	보	0.8807	0.9099
	기둥	0.9339	

한편, 정성적 비교 결과(그림1) 제안 알고리즘은 기본 YOLOv11 모델에 비해 불필요한 배경이 제거되고 구조물 경계가 더욱 뚜렷하게 표현되어 실제 구조물 형태를 정확히 반영함을 확인할 수 있었다.



(a) Ground Truth

(b) YOLOv11

(c) Ours

그림1. 정성적 결과

향후 연구에서는 본 연구의 제안 알고리즘을 고도화하여, 내화뿔칠 시공 중 영역과 완료 영역을 구별하고, 웹과 플랜지 등 세부 부재도 식별 가능한 알고리즘을 개발할 예정이다.

* 서울과학기술대학교 건축학부 건축공학전공 학사과정

** 서울과학기술대학교 건축과 박사과정

*** 서울과학기술대학교 건축학부 건축공학전공 조교수

(Corresponding author : Department of Architectural Engineering, Seoul National University of Science and Technology, kimth@seoultech.ac.kr)

본 연구는 국토교통부 건설현장 다목적 고소작업을 위한 로봇 플랫폼 및 XR기반 인간-로봇 협업기술 개발 사업의 연구비지원(RS-2025-11802969, 과제번호:2610000450)에 의해 수행되었습니다.