

자동화 굴삭기 작업을 위한 레이저 센서의 장애물 탐지 알고리즘 개발

Development of Object Detection Algorithm Using Laser Sensor for Intelligent Excavation Work

소지윤* 김민웅** 이준복*** 한충희****
Soh, Ji-Yune Kim, Min-Woong Lee, Junbok Han, Choong Hee

요약

현재 건설 산업에서 나타나고 있는 숙련공 부족 현상, 기술자의 고령화 문제, 안전상의 문제 등을 해결하기 위한 대안으로 자동화 건설기계들의 개발 요구가 점점 높아지고 있다. 특히 토공작업은 매우 기계 의존적인 작업이기 때문에 자동화된 굴삭기 개발과 관련된 연구가 많이 이루어지고 있다. 자동화 굴삭시스템을 개발하는 데 있어서는 안전을 확보하는 것이 중요하다. 그래서 본 연구의 주제는 자동화 굴삭시스템의 안전성을 어떻게 향상시키는 기술을 개발하는 데에 있다. 또한 본 연구의 목적은 굴삭 작업에 있어서 자동화 굴삭기의 객체 탐지를 위한 알고리즘을 개발하여 소프트웨어에 적용하는 것이다. 선행연구를 통해 여러 가지 센싱 기술들의 성능에 대해 조사 및 분석을 실시하였으며, 최적의 레이저 센서를 선정하여 성능의 적정성을 입증하기 위한 실험을 실시하였다. 사용자 인터페이스 프로그램을 위한 객체탐지 알고리즘을 개발하였고, 이는 자동화 굴삭 시스템의 안전관리 시스템 개발의 원천기술로써 활용될 수 있을 것이다.

키워드: 센싱, 레이저 센서, 굴삭기, 자동화, 안전관리

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 국내 건설 산업은 수요자의 요구가 다양화되면서 시설물이 첨단화, 복잡화 및 고급화되어 가는 추세이나 3D업종으로 인식되어온 건설 산업은 최근 젊은 기능 인력의 건설현장 기피 현상이 심화되면서 숙련된 기능 인력의 확보가 더욱 힘들어지고 있다. 또한 그로 인한 건설 기능인력 수급의 불균형이 심각한 문제¹⁾로 대두되고 있으며 각 산업별 업무상 사고 부상자 수도 건설업에서 가장 두드러지게 나타나고 있다.²⁾ 이러한 숙련공 부족 현상, 고령화 문

제, 안전상의 문제로 인한 노무 생산성 저하, 임금상승으로 인한 채산성 악화, 품질의 균일성 및 안전성 확보의 어려움 및 시공기술 경쟁력의 약화는 국내 건설 산업이 해결해야 할 필수적인 당면과제이며, 자동화 건설기계의 개발은 그러한 당면과제의 해결을 위한 최선의 기술적 접근방법이라 할 수 있다.

본 연구에서는 토공작업을 효율적으로 할 수 있도록 토공작업 시 작업환경의 안전을 위한 굴삭기 주변 장애물 탐지 시스템의 소프트웨어를 위한 알고리즘을 개발하고자 한다. 선행연구를 통해 여러 가지 센싱 기술들의 성능에 대해 조사 및 분석을 실시하였으며, 최적의 레이저 센서를 선정하였다. 개발된 알고리즘을 자동화 굴삭기의 안전관리 시스템에 적용함으로써 건설기계의 효율적 운영 및 관리가 가능할 것으로 사료된다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 자동화 건설기계에 관한 연구가 초기 단계임을 감안하여 굴삭기의 자동화 목표를 원격조정까지로 제한하였으며, 기술적 문제로 사면에서의 작업은 배제하고 평지 작업만을 고려하였다. 이런 점을 바탕으로 토공 작업에서 자동화 굴삭기의 안전관리 시스템을 위한 장애물 탐지 알고리즘을 개발하는 것으로 연구의 범위를 정한다.

이를 위해 본 연구의 절차와 방법은 그림 1과 같다. 기

* 일반회원, 경희대학교 건축공학과 박사과정
kellysoh@khu.ac.kr

** 일반회원, 경희대학교 건축공학과 석사과정
lkmw1@hanmail.net

*** 중신회원, 경희대학교 건축공학과 교수, 공학박사(교신저자)
leejb@khu.ac.kr

**** 중신회원, 경희대학교 건축공학과 교수, 공학박사
chhan@khu.ac.kr

본 연구는 건설교통부 건설기술혁신사업의 연구비지원(06첨단융합C01)에 의해 수행되었음.

1) 보건사회연구원, 인구추계, 2006

2) 한국산업안전공단, 산업재해분석, 2006

개발된 장비와 요소기술에 대한 조사를 하여 비교·분석하고 그 중 토공 작업을 위한 굴삭기에 적합한 기술 및 장비를 선정 한 후, 이를 활용하여 자동화 굴삭기의 안전관리 시스템에 적용하기 위한 장애물 탐지 알고리즘을 개발한다.

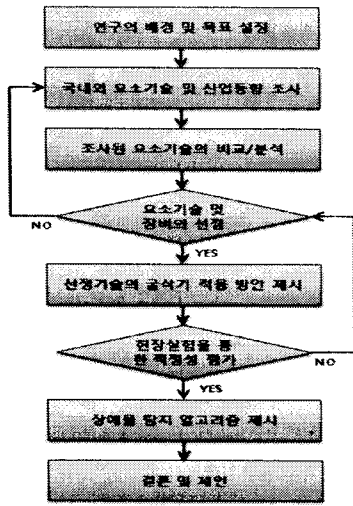


그림 1. 연구의 절차와 방법

2. 요소기술 현황 및 산업 동향

2.1 요소기술 개발 현황

3D 레이저 스캐닝 기반 작업환경 모델링 기술은 국내에서는 제조업 및 기계 산업을 대상으로 하는 소형 3D 레이저 시장을 중심으로 기술개발이 활발하게 이루어져 왔으나 필드 환경을 대상으로 하는 대형 3D 레이저 스캐닝 기술은 전적으로 수입에 의존하고 있으며 기술개발 또한 전무한 실정이다. 대형 레이저 스캐닝 기술은 현재 국내 연구기관을 중심으로 문화재의 3D 실측이나 터널, 항만, 교량 등의 대형 구조물에 적용한 사례가 있으나 현재로서는 응용분야의 발굴 단계에 머물러 있으며, 토공 시공 단계에서 적용한 사례는 아직 없는 것으로 파악되었다.

2.2 요소기술의 산업 동향

필드환경을 대상으로 하는 대형 3D 레이저 스캐너는 미국과 유럽(독일, 오스트리아)이 주요 기술 보유국이며, 일본과 한국은 주로 중소규모의 3D 레이저 스캐너 분야에서만 두각을 나타내고 있다. 3D 레이저 스캐너 시장에서 가장 수요가 높다고 할 수 있는 자동차 산업이나 기계 산업의 경우 전 세계적으로 매우 치열한 경쟁을 보이고 있으며, 대형 3D 레이저 스캐닝 시장은 플랜트 공사를 중심으로 활성화 되어 있는 실정이다.

3. 장애물 탐지를 위한 요소기술

3.1 요소기술 선정

자동화 굴삭기에 적용하기 위한 여러 조건을 바탕으로

각각의 요소기술들에 적용가능여부를 조사하여 그 내용을 비교하였다. 안전관리시스템에 적용하기 위한 장애물 탐지 기술의 필요조건으로 우선, 실시간 탐지가 가능해야 하고, 장애물과의 거리 측정 및 회피를 용이하게 할 수 있도록 굴삭기와 장애물 간의 거리측정이 가능해야 한다. 또한 자동화 굴삭기에 부착해야 하는 환경적 특성으로 인해 이동이나 진동이 일어날 경우에도 작동이 이루어 질 수 있어야 한다. 표 1에서 보는 바와 같이 여러 기술들에 대한 비교 결과 초음파 센서와 레이저 센서가 장애물 탐지에 가장 적합한 것으로 나타났다. 선정된 두 센서 중 초음파 센서는 바람에 민감하고 악천후 시 오작동의 우려가 높아 토공 현장에서의 원거리 탐지에 어려움이 있는 반면 레이저 센서는 경제성은 다소 떨어지나 데이터의 처리속도가 빠르고, 원거리 탐지가 가능하며 무엇보다 토공 현장에서의 탐지가 가능하다는 장점이 있다. 여러 가지 조건들을 비교하여 최종적으로 레이저 센서를 굴삭 로봇 주변 장애물 탐지를 위한 장비로 선정하였다.

표 1. 요소기술들의 적용가능 여부 비교

	실시간 탐지	360도 전방위 탐지 (1대기준)	거리 측정 (10m이상)	이동/진동 시 작동
Laser Scan (Triangular)	불가능	불가능	가능	불가능
Laser Scan (TOF)	불가능	가능	가능	불가능
Stereo Vision (Pattern matching)	가능	불가능	가능	가능
Stereo Vision (Shape from Shading) (Structured Light)	가능	불가능	가능 조명 필요	가능
Intelligent Camera	가능	가능	불가능	가능
CCD Camera	가능	불가능	불가능	가능
Sonar Sensor	가능	불가능	가능	가능
Laser Sensor	가능	불가능	가능	가능

3.2 레이저 센서의 선정

이동로봇의 경우에는 특정한 방향 뿐 만 아니라 마치 관제탑에서 레이더를 회전시켜 넓은 대상영역 내의 항공기의 위치를 측정하는 것과 같은 방식으로 센서를 회전시킴으로써 대상영역을 확대하는 원리를 가진 스캔센서가 널리 쓰이고 있다. 그러한 방식의 장비들이 상용화되어 있으며 그 중 가장 많이 쓰이고 있는 것이 후쿠야사의 센서와 SICK사의 센서이다.

후쿠야 센서의 경우 주로 실내용으로 사용되고 있으며 가격은 저렴하지만 측정 가능 거리가 짧고 실외에서 사용 시 빛으로 인한 노이즈가 심해 센서의 역할을 하지 못하였다. 그림 2는 실제 실험 사진으로 왼쪽 촬영 사진에서 표시된 부분 중 오른쪽 센서 측정 사진에서 감지하지 못하는 부분이 나타난 것을 알 수 있다. 또한 내구성이 매우 약하여 굴삭기에 장착 시 센서 손상이 우려되고, 원거리 측정

시 신뢰성 있는 데이터를 얻을 수 없다.

반면 SICK 센서의 경우 가격은 비교적 비싸지만 실외용으로 제작되어 상용화된 것이 있고 이 센서의 경우 실외 환경에서도 물체를 센싱하는데 문제가 없는 것으로 실험결과 나타났다. 그림 3은 실외에서 현장 실험을 실시한 결과이다. 원거리 장애물도 탐지가 가능하였고 우천시에도 장애물 센싱에 문제가 없었다. 좌측 사진은 실제 촬영화면이고 우측 화면은 레이저 센서 설치 위치를 중심으로 장애물이 있는 방향에 따라 선이 움직이는 것으로 장애물의 이동을 알 수 있는 모니터 화면이다.

두 개의 센서에 대해 경제성, 안정성, 응용사례 등을 비교한 결과 독일 SICK사의 레이저 센서를 최종 선정하였다.

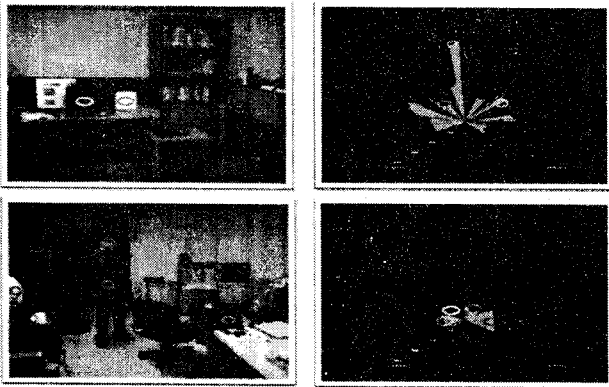


그림 2. 후쿠요 센서의 장애물 탐지

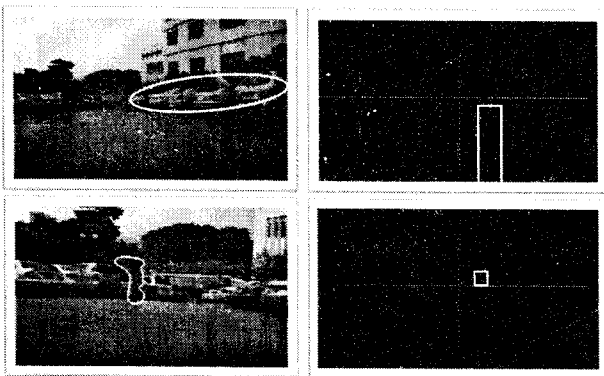


그림 3. SICK 센서의 장애물 탐지

4. 요소기술의 굴삭기 적용 알고리즘 제시

4.1 요소기술의 굴삭기 적용 방안

선정된 기술을 굴삭기에 적용하기 위해서는 굴삭기 몸체의 1m~1.5m 높이 부분에 레이저 센서를 부착하여 장애물에 대한 탐지 및 장애물의 위치파악이 가능하도록 한다. 또한 굴삭작업 도중 굴삭기 주변에 움직이는 장애물이 위험거리 안에 들어오면 경고를 주고 위치정보를 획득할 수 있도록 하여 굴삭작업의 위험요소를 제거할 수 있다. 이에 대

한 내용을 도식화하면 그림 4와 같다. 레이저 센서를 사용하면 실시간 탐지가 가능하여 장애물의 신속한 처리가 가능하고 원거리 장애물까지 탐지가 가능하다는 장점이 있으나 레이저 센서 1대로는 라인 스캔만 가능하기 때문에 스캔 지점을 통과하지 않는 장애물이 있을 경우 탐지가 불가능하다는 단점이 있다.

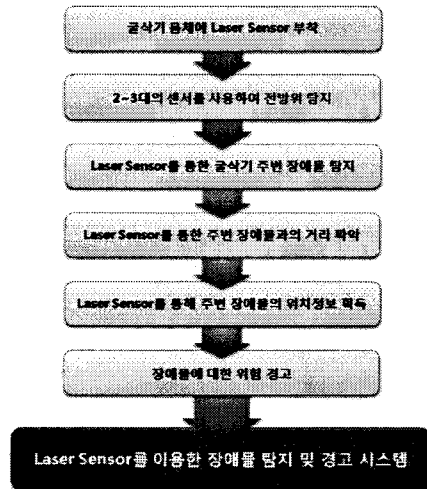


그림 4. 요소기술의 굴삭기 적용 방안

4.2 장애물 탐지 알고리즘 제시

굴삭로봇의 장애물 탐지를 위한 센서 구동 알고리즘은 그림 5와 같다. 센서는 SICK사의 LMS-221를 사용하였다.

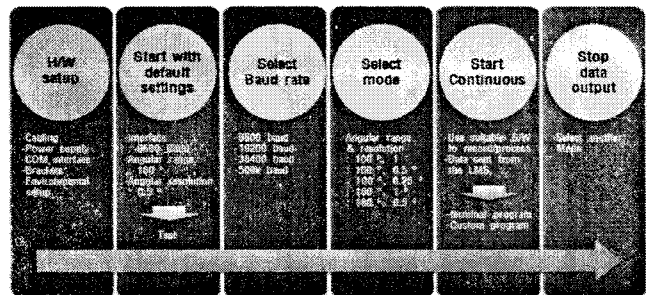


그림 5. 센서 구동 알고리즘

굴삭기가 작업을 준비하는 동시에 전원을 공급해서 센서를 작동시키면 자동으로 설정된 값으로 구동 테스트가 이루어진다. 측정 속도와 각도, 그 각도의 분할 값을 설정하면 센서가 장애물 탐지를 시작하고, 동시에 소프트웨어도 작동을 시작한다. 설정 값은 변경할 수 있다.

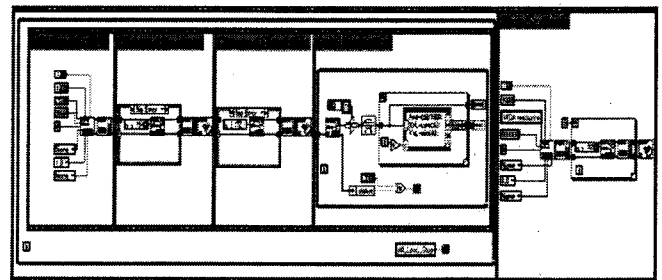


그림 6. 알고리즘 기본구조

센서 및 소프트웨어 구동 시 장애물 탐지 및 사용자 인터페이스 제공을 위한 알고리즘의 기본구조는 그림 6과 같다.

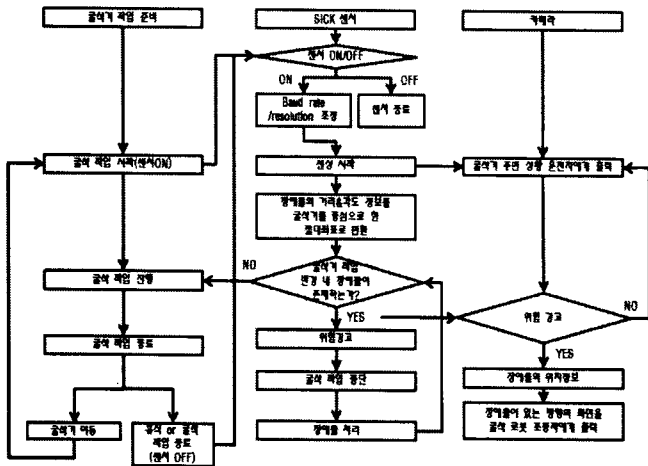


그림 7. 장애물 탐지 알고리즘

굴삭작업을 시작하면서 센서도 센싱을 시작하고, 굴삭기가 굴삭작업을 진행하는 동안 작업 반경 내 장애물이 존재하는지를 계속적으로 확인할 수 있도록 한다. 센서가 장애물을 발견할 경우 위험경고를 보냄과 동시에 굴삭작업을 중단하고 장애물을 파악할 수 있도록 한다. 또한 장애물이 탐지되면 그 위치정보를 출력하여 장애물을 확인할 수 있다. 그 내용을 순서대로 나타내면 그림 7과 같다.

5. 결론

본 논문에서는 자동화 굴삭기 시스템에 적용하기 위한 안전관리 시스템 개발의 선행연구로써 토공현장에 적용 가능한 장애물 탐지 요소기술을 개발하기 위한 연구를 수행하였고, 그 결론은 다음과 같다.

1) 장애물 탐지를 위한 요소기술들을 조사하여 레이저 스캐너, 스테레오 비전, 초음파 센서, 레이저 센서 등 각각

의 기술들을 여러 필요조건에 의해 비교·분석을 하였다.

2) 실시간 탐지, 거리 측정, 장애물의 형상 파악 등 여러 조건들을 고려하여 레이저 센서 기술의 활용을 가장 적합한 요소기술로 선정하였고, 현장실험을 통해 그 적정성을 입증하였다..

3) 선정된 기술을 이용하여 시스템에 적용시키기 위한 센서 구동 알고리즘을 개발하였고, 이를 바탕으로 사용자 인터페이스 제공을 위한 프로그램의 장애물 탐지 알고리즘을 개발하였다.

본 연구를 통해 선정된 장애물 탐지 기술과 개발 알고리즘은 향후 장애물 탐지데이터의 실시간 획득 및 데이터베이스화, 사용자 인터페이스(user interface) 제공을 위한 프로그램의 원천기술로써 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 기술의 효율적 활용을 위해서는, 굴삭기에 장착을 위한 추가 현장실험 및 시스템 호환을 위한 프로그램 개발이 함께 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. 강현중, "이동 객체 감시를 위한 실시간 객체추출 및 추적시스템", 2005
2. 고석문, "건설자동화시스템 기술연구", 한국건설기술연구원, 1986
3. 김종필, "건설공사 자동화 방안 연구", 과학기술처, 1992
4. 김영식, "건설자동화를 위한 요소기술과 기술혁신 전략에 관한 연구", 대한토목학회논문집, 24/5D, pp, 2004
5. 유황열 외, "센서퓨전을 이용한 지면 형상 인식 알고리즘 개발", RIST 연구논문, 2007
6. 전자엔지니어, "운전자의 주행시 판단 돕는 자동차 비전 시스템", 2006
7. Antohny S Tenz, "A Robotic Excavator for Autonomous Truck Loading", The Robotics Institute, Carnegie Mellon University, 2000
8. Shigeru Sarata, Noriho Koyachi, "Detection of Dump Truck for Loading Operation by Wheel Loader", ISARC, 2007

Abstract

Earthwork is very equipment-intensive task and researches related to automated excavation have been conducted. There is an issue to secure the safety for an automated excavating system. Therefore, this paper focuses on how to improve safety for semi- or fully-automated backhoe excavation. The primary objective of this research is to develop object detection algorithm for automated safety system in excavation work. In order to satisfy the research objective, a diverse sensing technologies are investigated and analysed in terms of functions, durability, and reliability and verified its performance by several tests. The authors developed the objects detecting algorithm for user interface program using laser sensor. The results of this study would be the basis for developing the automated object detection system.

Keywords : sensing, laser sensor, excavator, automation, safety control