

레이저 센서를 이용한 굴삭기 작업의 장애물 탐지 요소기술 개발

Development of Core Technology for Object Detection in Excavation Work Using Laser Sensor

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

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 the core technology for automated object detection 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. The authors developed detecting algorithm for the objects using laser sensor and verified its performance by several tests. The results of this study would be the basis for developing the automated object detection system.

키워드 : 센싱, 레이저센서, 굴삭기, 자동화, 안전관리

Keywords : Sensing, Laser Sensor, Backhoe Excavator, Automation, Safety Management

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 국내 건설 산업은 수요자의 요구가 다양화되면서 시설물이 첨단화, 복잡화 및 고급화되어 가는 추세로, 이에 대한 기술력의 확보가 경쟁력 향상의 관건이 되고 있다. 또한, 건설시장의 개방으로 기술력을 바탕으로 한 고부가가치의 창출이 건설업계의 경쟁력 확보를 위한 목표가 되었다. 그러나 전통적으로 3D업종으로 인식되어온 건설 산업은 최근 젊은 기능 인력의 건설현장 기피 현상이 심화되면서 숙련된 기능 인력의 확보가 더욱 힘들어지고 있다. 과거 근대화에 큰 역할을 했던 풍부한 건설 기능직 근로자는 이미 고령화 되었고, 사회가 급속도로 발전하면서 미래 건설시장에 주역인 젊은 기능 인력의 건설현장 유입 비율은 현저히 저하되고 있는 등 건설 기능인력 수급의 불균형이 심각한 문제¹⁾로 대두되

고 있으며 각 산업별 업무상 사고 부상자 수도 건설업에서 가장 두드러지게 나타나고 있다. 그 내용은 그림 1과 같다.²⁾

이러한 숙련공 부족 현상, 고령화 문제, 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.

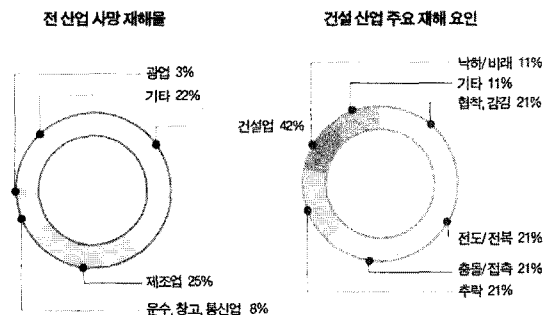


그림 1. 건설 산업 재해 현황

본 연구에서는 토공작업을 효율적으로 할 수 있도록 토공 작업 시에 작업환경의 안전을 위한 굴삭기 주변 장애물 탐지

* 경희대학교 건축공학과 박사과정, 정회원, 주저자
** 경희대학교 건축공학과 석사과정, 정회원
*** 경희대학교 건축공학과 조교수, 정회원, 교신저자 (leejb@khu.ac.kr)

**** 경희대학교 건축공학과 교수, 정회원
본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비지원(06첨단융합C01)에 의해 수행되었음.

본 연구는 경희대학교 대학원의 2007학년도 2차 우수연구논문 장학금으로 지원받아 연구되었음.

1) 통계청, 장래인구추계, 2005
2) 한국산업안전공단, 산업재해분석, 2006

시스템의 요소기술을 개발하고자 한다. 요소기술 개발을 통해 무인 자동화 굴삭기 작업 시에 안전한 토공작업을 가능하도록 하고, 개발된 기술을 자동화 굴삭기의 안전관리 시스템에 적용하여 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 주변 장애물 탐지 요소기술을 개발하는 것으로 연구의 범위를 정한다.

이를 위한 본 연구의 절차 및 방법은 그림 2와 같다. 기 개발된 장비와 요소기술에 대한 문헌 고찰을 한 후 그 결과를 바탕으로 현존하는 요소기술에 대한 조사를 하여 비교·분석한다. 그 중 토공 작업을 위한 굴삭기에 적합한 기술 및 장비를 선정 한 후, 실제 현장실험을 통해 자동화 굴삭기에 적용가능 여부를 판단하고 선정된 요소기술을 검증한다.

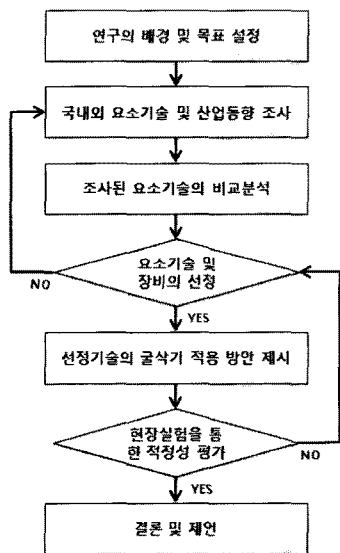


그림 2. 연구의 절차 및 방법

2. 요소기술 현황 및 산업 동향

2.1 요소기술 개발 현황

작업환경 센싱 및 모델링 기술은 다양한 센서를 이용하여 토공 작업환경을 3차원으로 모델링하고, 토공 작업환경 내에 존재하는 지반 형상의 변화와 유동체 등의 위치를 3D 가상현실(Virtual Reality)로 표현한다. 이러한 기술은 3D 레이저

스캐너를 이용하여 토공현장 전반에 대한 현장 모델링을 주기적으로 수행하는 기술이며, 로컬영역 모델링 기술은 센서, 카메라, 플래시 레이더, GPS 등을 활용하여 작업 영역 내의 지반형상 및 트럭 형상을 인지하고, 토공사를 수행하면서 변형되어가는 굴삭로봇 주변 상황을 3차원으로 모델링 하는 기술이다.

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 요소기술 산업동향

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.

국내의 경우 3D 레이저 스캐너를 이용한 3차원 모델링 기술은 중·소규모의 쾌속조형(RP:Rapid Prototyping) 산업을 중심으로 발전되어 왔고, 소수의 중소기업에서는 선진국과 다소 격차는 있지만 부분적으로 원천 기술을 확보하고 있음을 알 수 있다. 반면, 대형 3D 레이저를 이용한 필드 환경의 모델링 기술은 3D 레이저 스캐너 자체 제조 기술이 없고, 고가의 장비인 관계로 전적으로 선진 외국의 기술에 의존하여 왔으나 3D 모델링 기술 구현과 관련된 개발 인력을 바탕으로 많은 연구가 이루어지고 있다.

본 연구에서는 3D 레이저 스캐너, Stereo Vision System, 각종 센서, 카메라, 플래시 레이더, GPS 등을 비교 분석하여 지능형 굴삭기의 장애물 탐지 알고리즘 개발에 활용 가능한 기술을 찾고자 한다. 기술의 주요 비교 항목은 실시간 탐지 및 전 방위 탐지 가능 여부, 장애물에 대한 형상 파악 및 거리 측정 능력, 굴삭기 부착 시 작동 여부, 장비의 경제성 등으로 하여 각 기술을 비교 분석하고자 한다.

3. 장애물 탐지를 위한 요소기술

3.1 요소기술 필요조건

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 거리를 파악할 수 있어야 하며, 360도 전 방위 탐지가 가능해야 한다. 또한 자동화 굴삭기에 부착해야 하는 환경적 특성으로 인해 이동이나 진동이 일어날 경우에도 작동이 이루어질 수 있어야 한다. 굴삭 로봇 주변 장애물 탐지를 통한 안전성 확보기술 개발을 위해서는 지능형 굴삭로봇의 주변을 실시간으로 탐지하여 장애물을 인식 할 수 있는 기술이 필요하다. 이러한 기술을 기반으로 굴삭기 주변 장애물 탐지를 위해서는 아래 표 1에서 보는 바와 같이 여러 가지 조건이 고려되어야 한다.

표 1. 장애물 탐지를 위한 장비 선정의 고려요소

| 경제성 | 하드웨어 가격의 적절성 |
|--------|-----------------------------|
| | 소프트웨어 가격의 적절성 |
| | 굴삭기 장착장비 (Pan/Tilt) 가격의 적절성 |
| 데이터 획득 | 실시간 데이터 획득 |
| 장애물 탐지 | 10m 이상 탐지거리 확보 |
| | 굴삭기 주변 360도 전방위 탐지 |
| | 야간상황 대응 가능 |
| 내구성 | 굴삭기 진동 대응 가능 |
| | 방수 가능 |
| | 건설공사 작업에 적합한 내구성 |

3.2 초음파 센서와 레이저 센서

굴삭 로봇 주변 장애물 탐지를 위한 장비를 선정함에 있어 레이저 스캐너, 스테레오 비전, 인텔리전트 카메라, CCD 카메라, 초음파센서, 레이저센서 등의 장비를 대상으로 실시간 탐지, 360° 전 방위 탐지, 10m 이상의 거리 측정, 이동/진동 시 작동 등의 조건에 따라 기술에 대해 비교·분석을 하였다. 그 내용은 표 2와 같다.

그 결과 초음파 센서와 레이저 센서가 장애물 탐지에 가장 적합한 것으로 나타났다. 선정된 두 센서 중 초음파 센서는 실시간 탐지가 가능하고 넓은 범위의 탐지가 가능하며 레이저 센서에 비해 가격이 저렴하다는 장점이 있으나 바람에 민감하고 악천후 시 오작동의 우려가 높아 토공 현장에서의 원거리

탐지에 어려움이 있다. 반면 레이저 센서는 장비가 고가이기 때문에 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 2. 요소기술들의 적용가능 여부 비교

| 종류 \ 탐지조건 | 실시간 탐지 | 360도 전방위 탐지 (1대기준) | 거리측정 (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 | 가능 |
| | | | 조명 필요 | |
| Intelligent Camera | 가능 | 가능 | 불가능 | 가능 |
| CCD Camera | 가능 | 불가능 | 불가능 | 가능 |
| Sonar Sensor | 가능 | 불가능 | 가능 | 가능 |
| Laser Sensor | 가능 | 가능 | 가능 | 가능 |

3.3 레이저 센서

레이저 센서는 레이저광을 대상 물체에 주사하여 그 반사광을 측정하는 것이 기본 원리이며 크게 삼각법을 이용한 방식과 TOF(Time Of Flight) 방식으로 분류된다.

삼각법을 이용한 방식은 이미 상대적 위치를 알고 있는 특정 지점에 반사 테이프 등을 부착하여 레이저 광원을 주사하고, 그 주사된 반사광의 각도를 측정하는 삼각법의 원리를 이용하여 위치를 측정하는 방식이다. 센서 구성이 쉽고 비교적 저렴하다는 장점이 있으나 TOF 방식에 비해 정확도가 떨어지고 환경에 영향을 많이 받아 제한적으로만 사용되고 있다.

TOF 방식은 특정 방향으로 주사된 레이저광이 반사되어 돌아오는 시간을 측정하여 대상 물체까지의 거리를 계산하는 원리로 비교적 고가이기는 하나 정확도가 높고 환경에 영향을 받지 않고 사용할 수 있다는 장점이 있다. 레일 위의 이동 물체 간 충돌 방지 및 무인자동차의 장애물 탐지에 이용되고 있다. 그 비교 내용은 표 3과 같다.

표 3. 레이저 센서의 특징

| | 삼각법을 이용한 방식 | TOF(Time Of Flight) 방식 |
|-------|--|---|
| 원리 | 상대적 위치를 알고 있는 특정 지점 → 반사 테이프 등을 통해 레이저 광원을 주사 → 반사광의 각도를 측정 → 삼각법의 원리로 위치 측정 | 특정 방향으로 주사한 레이저 광 → 반사되어 돌아오는 시간을 측정하여 대상 물체까지의 거리 계산 |
| 장점 | - 센서 구성이 쉬움 - 비교적 저렴 | - 정확도 높음 - 환경에 영향을 받지 않음 |
| 단점 | - TOF 방식에 비해 정확도 떨어짐 - 환경에 영향을 많이 받아 제한적으로 사용 됨 | - 3각법에 비해 센서 개발이 어려움 - 비교적 고가 |
| 활용 사례 | 선박 등의 대규모 구조물의 형상 측정 등 | 레일위의 이동물체 간 충돌 방지 무인자동차의 장애물 탐지 |

여러 측면을 비교한 결과 불특정 장애물 탐지를 위한 장비로는 환경에 영향을 받지 않고 정확도가 높은 TOF 방식을 사용하는 레이저 센서가 삼각법을 이용한 방식보다 적합하다. TOF 방식 레이저 센서의 원리를 간단히 하면 그림 3과 같다.

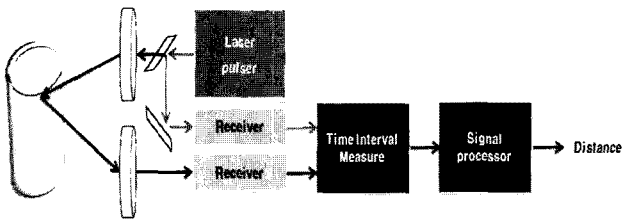


그림 3. 레이저 센서(TOF)의 원리

3.4 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 후쿠요사의 센서와 SICK사의 센서이다.

후쿠요 센서의 경우 주로 실내용으로 사용되고 있으며 가격은 저렴하지만 측정 가능 거리가 짧고 실외에서 사용 시 빛으로 인한 노이즈가 심해 센서의 역할을 하지 못하였다. 그림 4는 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.

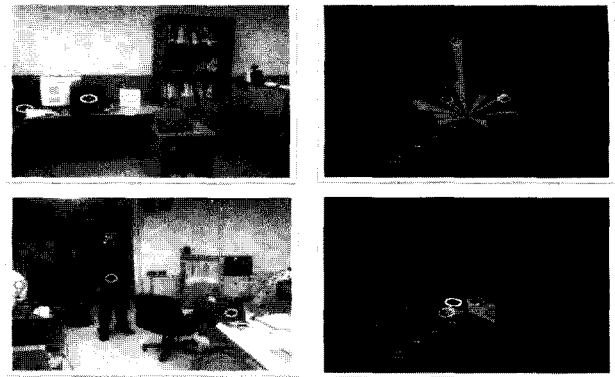


그림 4. 후쿠요 센서의 장애물 탐지

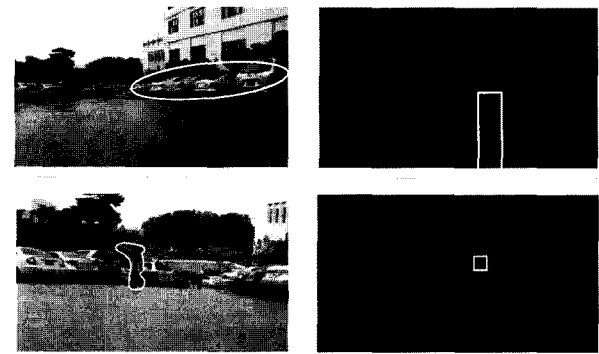


그림 5. SICK 센서의 장애물 탐지

반면 SICK 센서의 경우 가격은 비교적 비싸지만 실외용으로 제작되어 상용화된 것이 있고 이 센서의 경우 실외환경에서도 물체를 센싱하는데 문제가 없는 것으로 실험결과 나타났다. 그림 5는 실외에서 현장 실험을 실시한 결과이다. 원거리 장애물도 탐지가 가능하였고 우천시에도 장애물 센싱에 문제가 없었다. 좌측 사진은 실제 촬영화면이고 우측화면은 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.

선정된 센서의 주요사양은 표 4와 같고, 장애물 탐지 원리는 그림 6과 같다.

표 4. 레이저 센서 주요사양

| | |
|---------------------|--------------------|
| Data Interface | RS-232, RS-422 |
| Max Range | 80m |
| | 180° |
| Distance Resolution | 10mm |
| Angle Resolution | 0.25°/0.5°/1° |
| Supply Voltage | 24 V DC +/- 15% |
| Dimensions(L×W×H) | 196 x 352 x 266 mm |

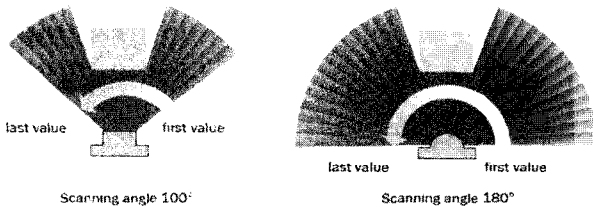


그림 6. 레이저 센서의 장애물 탐지 기본원리

4. 장애물 탐지 요소기술

4.1 요소기술의 굴삭기 적용 방안

선정된 기술을 굴삭기에 적용하기 위해서는 굴삭기 몸체의 1m~1.5m 높이 부분에 레이저 센서를 2~3대 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 대한 내용을 도식화하면 그림 7과 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.

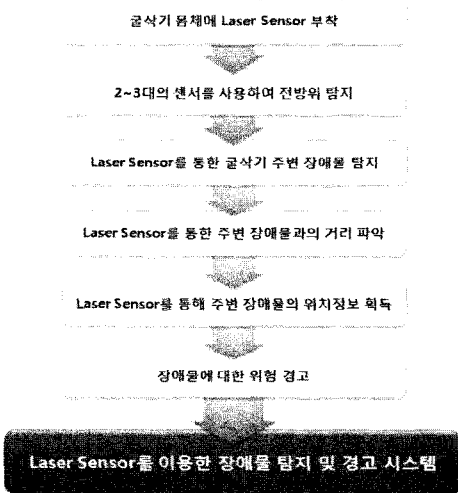


그림 7. 요소기술의 굴삭기 적용 방안

4.2 센서 구동 알고리즘

굴삭로봇의 장애물 탐지를 위한 센서 구동 알고리즘은 그림 8과 같으며 크게 센서와 센서를 제어하는 제어시스템으로 나뉜다. 센서는 SICK사의 LMS-221를 사용하였으며 24V 배터리로 구동된다.

굴삭기가 작업을 준비하는 동시에 센서를 작동시켜 구동 시

의 설정을 맞춘다. 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 출력할 수 있다.

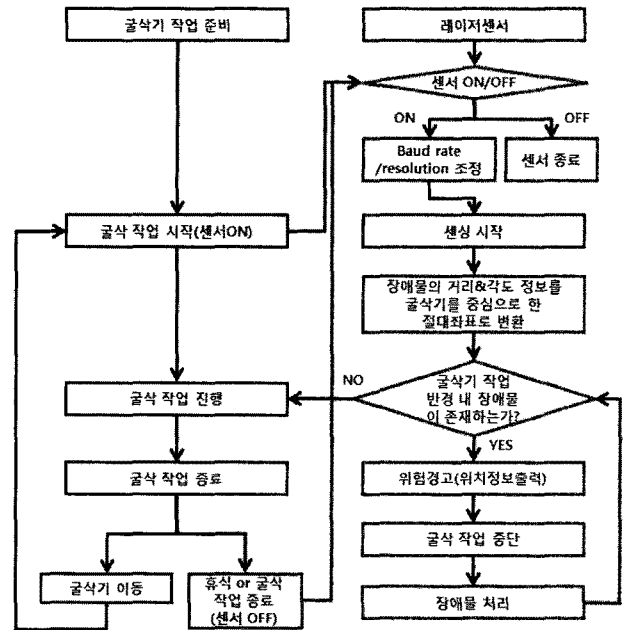


그림 8. 레이저 센서를 이용한 센싱 알고리즘

4.3 현장 실험

총 3차례의 기능실험(functional test)를 실시하였다. 실험 결과 원거리 장애물과 움직이는 물체에 대한 탐지가 가능하고, 토공 현장이나 비가 오는 악천후에도 장애물 탐지가 가능하다는 것을 알 수 있었다.

현장 실험 시 Data Interface는 RS-232를 사용하며 신속한 데이터 획득을 위해 보우비율(baud rate)을 9600으로 설정하였고, 넓은 측정 범위와 높은 해상도(resolution)을 갖기 위해 180°/0.5° 모드(mode)를 이용하였다. 이는 180도 반경을 센싱하고 탐지는 0.5도 간격으로 이루어진다.

그래프의 아래 쪽 중심이 센서의 위치이고 센서를 중심으로 180도 범위를 32m 거리까지 센싱하는 것으로 설정하였다. 장애물이 탐지되지 않을 때는 녹색 선이 반원 모양으로 표시되거나 장애물이 탐지되면 그 위치에 따라 모양이 변하게 된다. 그림 9, 10, 11에서 알 수 있듯이 사진의 자동차 및 사람이 지나가는 부분은 반원의 모양에서 선이 거리에 따라 센서 쪽으로 움직이게 된다.

그림 9는 1차 기능실험 결과이다. 센서의 탐지 가능 여부 및 물체와의 거리 확인, 주변 환경의 모든 물체의 탐지 가능 여부의 확인 결과 사람, 건물, 나무, 돌 등의 주변 물체들을 모

두 탐지하는 것이 가능하다는 것을 확인하였다. 자동차 등의 물체가 탐지되는 부분은 원모양이 움직여 거리가 표시되는 것을 알 수 있다.

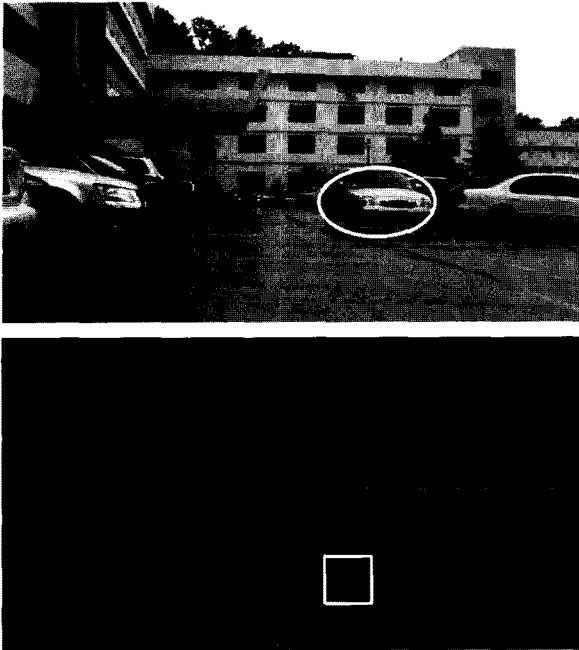


그림 9. 1차 Functional Test

그림 10은 2차 기능실험 결과이다. 2차 실험에서는 우천 시의 작동 여부 및 출력된 데이터와 실제 거리·방위와의 일치 여부를 실측을 통하여 확인하였다. 실험 결과 비, 바람 등의 기후에도 이상 없이 작동하였으며 측정거리 30m 기준으로 최대 20cm의 오차가 발생하였고 방위는 이상 없이 측정되었다.

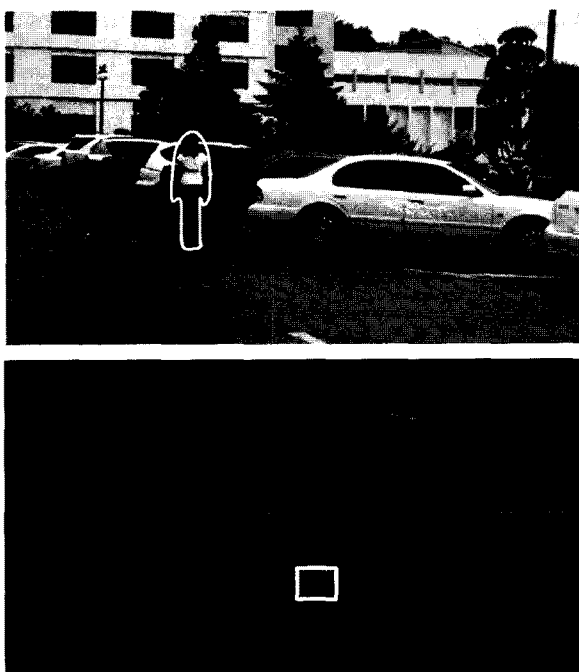


그림 10. 2차 Functional Test

그림 11은 3차 기능실험 결과이다. 3차 실험에서는 열악한 토공 기후 환경에서의 작동 여부를 확인하였다. 실험 결과 바람이 많이 불고 흙먼지가 날리는 토공 현장에서도 이상 없이 작동하였으며 현장 부지에 있는 건설 자재 등의 탐지가 가능함을 확인하였다.

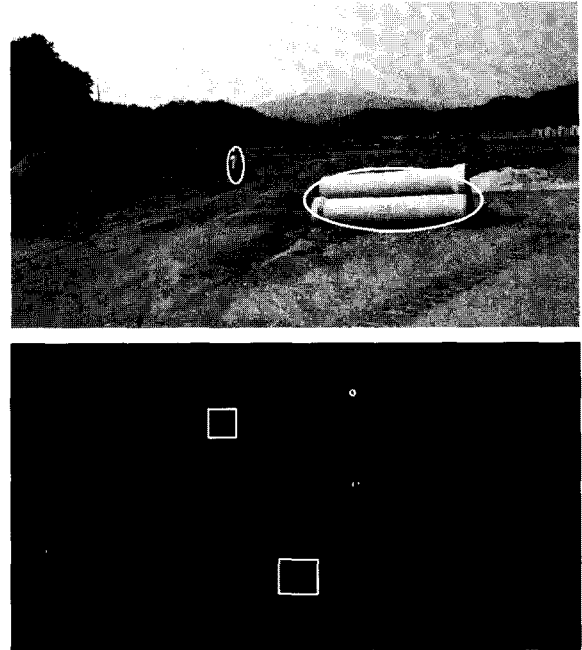


그림 11. 3차 Functional Test

5. 결 론

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 각각의 기술들을 여러 필요조건에 의해 비교·분석을 하였다.
- 2) 실시간 탐지, 거리 측정, 장애물의 형상 파악 등 여러 조건들을 고려한 결과, 레이저 센서 기술의 활용이 가장 적합한 요소기술로 선정하였다.
- 3) 선정된 기술을 이용하여 시스템에 적용시키기 위한 센서 구동 알고리즘을 개발하였고 현장실험을 통하여 개발된 요소기술의 적정성을 검증하였다.

본 연구를 통해 선정된 장애물 탐지 기술과 개발 알고리즘

은 향후 장애물 탐지데이터의 실시간 획득 및 데이터베이스화, 사용자 인터페이스(user interface) 제공을 위한 프로그래밍의 보완을 통하여 자동화 굴삭기 시스템 개발에 있어서 안전성 확보를 위한 원천기술로써 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 기술의 효율적 활용을 위해서는, 굴삭기에 장착 후 현장실험을 통해 개발된 기술의 현장적용성을 검증하여야 한다.

참 고 문 헌

1. 강현중, 이동 객체 감시를 위한 실시간 객체추출 및 추적시스템, 2005
2. 건설재해 예방할 수 있다. ; 저비용, 고효율 재해 예방기법을 중심으로, 노동부, 한국산업안전공단, 1994
3. 고석문, 건설자동화시스템 기술연구, 한국건설기술연구원, 1986
4. 김종필, 건설공사 자동화 방안 연구, 과학기술처, 1992
5. 김영석, 건설자동화를 위한 요소기술과 기술혁신 전략에 관한 연구, 대한토목학회논문집, 24/5D, 2004
6. 산업 안전 보건 연구원, 건설현장 안전정보 시스템 개발 연구 : 아파트, 빌딩 사고사례를 중심으로, 한국산업안전공단, 2001
7. 유황열 외, 센서퓨전을 이용한 지면 형상 인식 알고리즘 개발, RIST 연구논문, 2007
8. 전자엔지니어, 운전자의 주행시 판단 돕는 자동차 비전 시스템, 2006
9. Antohny S Tentz, A Robotic Excavator for Autonomous Truck Loading, The Robotics Institute, Carnegie Mellon University, 2000
10. Shigeru Sarata, Noriho Koyachi, Detection of Dump Truck for Loading Operation by Wheel Loader, ISARC, 2007

(접수 2008. 6. 27, 심사 2008. 7. 3, 게재확정 2008. 7. 10)