

자동화 굴삭기의 주변 장애물 탐지 알고리즘 개발에 관한 기초연구

A Study on Object Detection Algorithm for Intelligent Excavator

소 지 윤*○ 김 민 응** 이 준 복***
Soh, Ji-Yune Kim, Min-Woong Lee, Jun-Bok

요 약

현재 건설 산업에서 나타나고 있는 숙련공 부족 현상, 기술자의 고령화 문제, 안전상의 문제 등을 해결하기 위한 대안으로 자동화 건설기계들의 개발 요구가 점점 높아지고 있다. 이러한 요구에 따라 본 연구에서는 효율적인 토공작업을 가능하도록 하고 안전성을 보장할 수 있는 안전관리시스템 개발의 선행연구로서 굴삭기 주변 장애물 탐지를 위한 개념 알고리즘을 개발하여 그 적용방안을 제안하고자 한다. 또한 이를 통해 자동화 굴삭기 개발에 있어 기반기술을 개발하고, 더욱 안전한 건설 환경 조성에 일조할 수 있을 것으로 사료된다.

키워드: 센싱, 굴삭기, 자동화, 안전관리

1. 서 론

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. 그러나 전통적으로 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 문제, 안전상의 문제로 인한 노무 생산성 저하, 임금상승으로 인한 채산성 악화, 품질의 균일성 및 안

전성 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 시에 작업환경의 안전을 위한 굴삭기 주변 장애물 탐지 시스템의 알고리즘을 개발하고자 한다. 장애물 탐지 알고리즘 개발을 통해 무인 자동화 굴삭기 작업 시에 안전한 토공작업을 가능하도록 하고, 개발된 알고리즘을 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 알고리즘을 개발하는 것으로 연구의 범위를 정한다.

이를 위해 본 연구의 절차와 방법은 그림 1과 같다. 기 개발된 장비와 요소기술에 대한 문헌 고찰을 한 후 그 결과를 바탕으로 현존하는 요소기술에 대한 조사를 하여 비교·분석 한다. 그 중 토공 작업을 위한 굴삭기에 적합한

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

** 일반회원, 경희대학교 건축공학과 석사과정
1kmw1@hanmail.net

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

본 연구는 건설교통부 건설기술혁신사업의 연구비지원(06첨단 융합C01)에 의해 수행되었음.

1) 보건사회연구원, 인구추계, 2006

2) 한국산업안전공단, 산업재해분석, 2006

기술 및 장비를 선정 한 후, 이를 활용하여 자동화 굴삭기에 적용하기 위한 장애물 탐지 알고리즘을 개발한다.

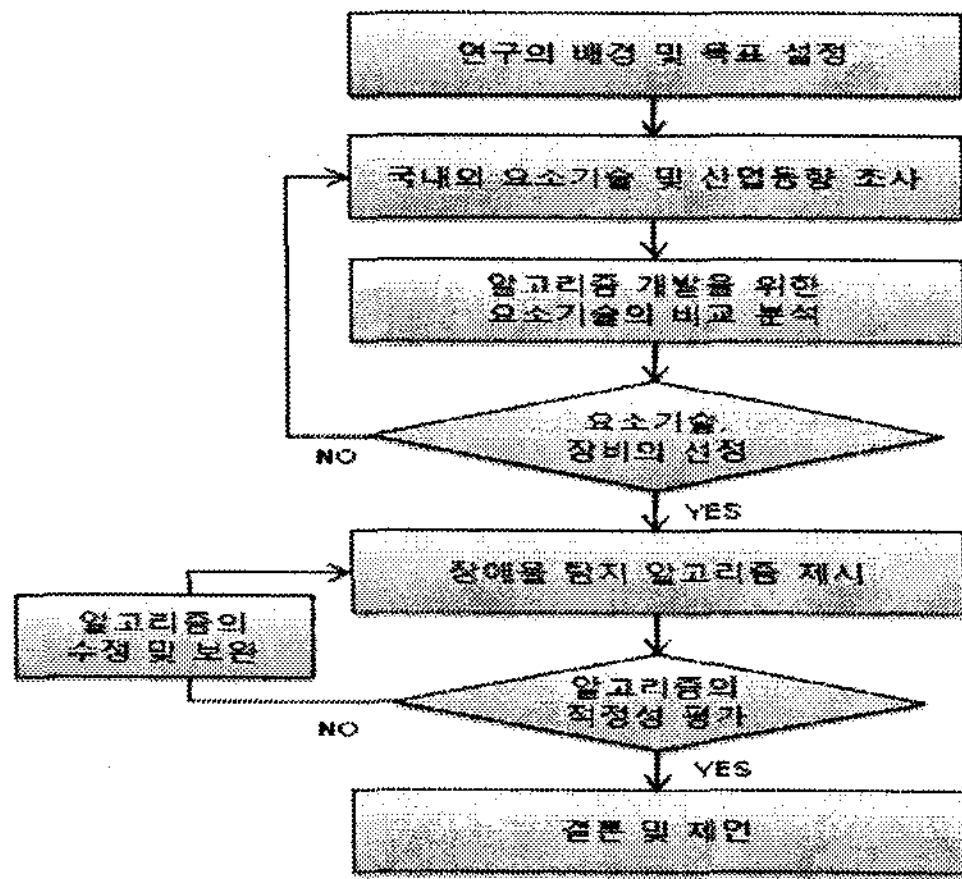


그림 1. 연구의 절차 및 방법

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 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.

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 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 장애물의 형상을 파악할 수 있어야 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

표 1. 요소기술들의 적용가능 여부 비교

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

Sonar Sensor와 Vision System을 동시에 적용한 기술이 경제적인 면이나, 여러 기술면에서 가장 적합한 것으로 판단되었다.

3.2 Sonar Sensor

3.2.1 기본 원리

초음파란 주파수가 높은 음파를 말하며, 음파는 공기 중이나 수중 또는 고체 속을 전달하는 기계적 진동이다. 초음파를 발신하여 그것이 반사하여 되돌아올 때까지의 시간을 구하여 반사물체까지의 거리를 탐지할 수 있다. 공기 중의 음속은 340m/s 이므로 소리가 1mm를 왕복하는데 요하는 시간은 6μs 이다. 따라서 이 정도의 정밀도로 시간을 측정하면 센서와 벽 사이의 거리를 구할 수 있다.

초음파는 주파수가 높을수록 센서의 크기를 적게 할 수가 있으며 그 지향성도 예민하게 되지만 공기 중에서 초음파의 감쇠는 주파수에 대체적으로 비례하기 때문에 높은 주파수를 사용하면 수신한 후에 크게 증폭할 필요가 생긴다. 이러한 초음파 센서의 원리는 그림 2에서 보는 바와 같다.

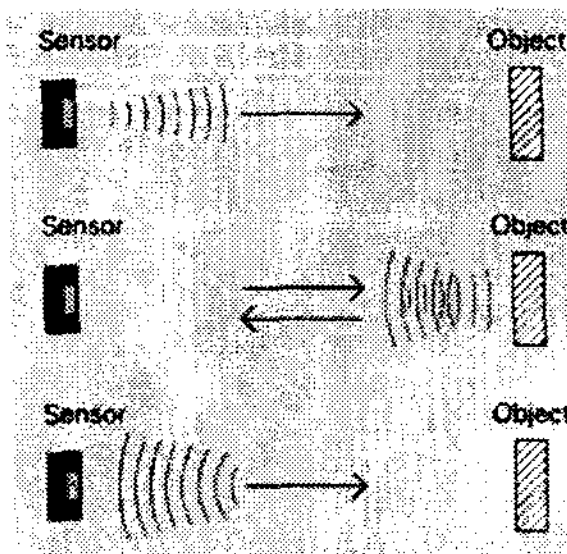


그림 2. Sonar Sensor의 원리

3.2.2 요소기술 활용 범위

① 물체 감지 장치

초음파는 음파의 일종으로 사람의 가청주파수(20Hz~20kHz) 밖의 높은 주파수를 가지고 있어 예전부터 산업용 및 군사용으로 많이 활용되고 있는 기술 분야이다.

투명한 것을 감지할 수 없는 광센서와는 달리 초음파 센서는 투명한 것이라도 감지할 수 있다. 또한 적외선 센서와 다르게 온도의 차이가 없어도 감지가 가능하다. 요소기술의 활용 사례는 다음과 같다.

- 측심기 : 펄스 반사법으로 바다의 깊이를 측정하여 해면 부근에서 밑으로 향하여 초음파를 발사하고 해저로부터 반사파를 검출하여 그사이의 전달 거리를 측정
- 파고계 : 측심기와 반대로 수중에서 수면까지의 거리 측정
- 어군 탐지기 : 반사되어 돌아오는 초음파를 포착하여 어군 탐지
- 액티브 소나(SONAR) : 항해에 음파를 이용하는 장치로서, 어군 탐지기과 마찬가지로 초음파를 발사하고 그 반사파를 받아 주위에 있는 대상물의 거리, 방향, 형상, 이동 속도 등의 정보를 얻어 그 음속의 정

보로 전달 매질의 종류나 온도 또는 압력 등을 알 수 있음

- 초음파 진단법 : 생체에 초음파 펄스를 발사하여 반사되어 오는 파를 기록하여 생체 내부의 상태를 탐지
- 음속의 측정 : 초음파 송수파기를 일정한 간격을 두고 서로 대향시켜 배치하여, 송파기에서 초음파 펄스를 발사한 다음 수파기에 도달하기까지의 전달시간(time of flight)을 측정하면 그 사이의 음속을 알 수 있음

② 거리 측정 장치

일반적인 초음파 센서의 용도는 거리를 측정하는 용도로 많이 사용되고 있으며 BPA³⁾ 시스템은 이와 같은 거리 측정기술을 자동차에 응용한 경우이다. 이와 유사한 기술 활용 사례는 다음과 같다.

- 수위계 : 탱크, 하천 등의 액면 계측의 자동화
- 적설계 : 설면 등의 무인관측
- 차량 검출장치 : 자동차를 감지하여 교통신호의 제어, 도로의 정체상황 등을 감시
- 카메라용 거리계 : 오토포커스를 위해 사용

4. 요소기술의 굴삭기 적용 알고리즘 제시

4.1 요소기술의 굴삭기 적용 방안

Sonar Sensor와 Vision System을 혼용하는 방법으로 해당 기술을 굴삭기에 적용하기 위해서는 굴삭기 몸체와 암 부위에 Sonar Sensor를 부착하여 장애물에 대한 탐지 및 장애물과의 거리 파악이 가능하도록 하고, 2~4대의 카메라를 사용하여 Vision System을 구축하여 굴삭기 주변에 장애물이 접근할 경우, 장애물의 형상을 파악하고 장애물에 대한 위치 정보를 획득하도록 한다. 이러한 시스템을 이용하여 굴삭기 운전자에게 장애물에 대한 위험을 경고할 수 있다. 이에 대한 내용을 도식화하면 그림 3과 같다. 이와

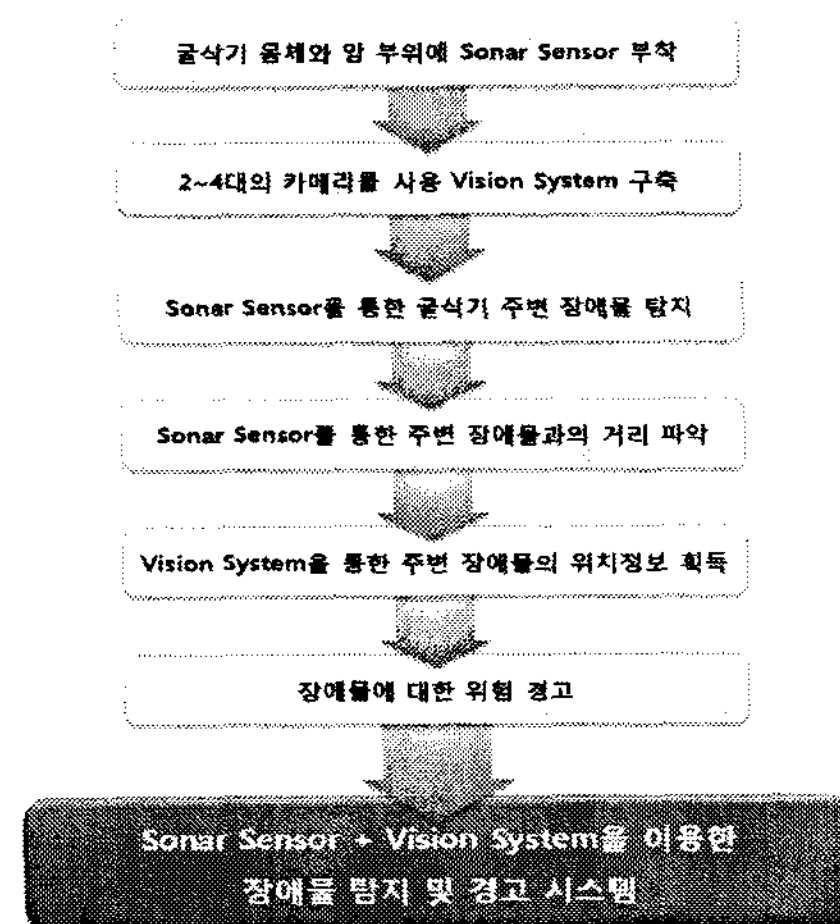


그림 3. 요소기술의 굴삭기 적용 방안
같은 시스템을 이용하면 경제적으로 경쟁력이 있고, 정보처

3) BPA(Back Parking Aid) : 주차시 어려움을 해결하고 운전자의 편의를 도모하기 위한 기술

리를 위한 복잡한 소프트웨어가 불필요하다는 장점이 있으나 장애물과 상차트럭의 구별인식이 어렵고, 1대의 장비로 360도 전방위 탐지가 불가능하다는 단점이 있다.

4.2 장애물 탐지를 위한 알고리즘 제시

Sonar Sensor와 Vision System을 이용하여 두 기술을 접목시켜 굴삭기 주변의 장애물 탐지와 거리파악이 가능하도록 하는 장애물 탐지 기술을 자동화 굴삭기에 적용하기 위한 알고리즘을 개발하였다. 굴삭기 작업 준비 단계에서 센서 및 비전 시스템을 활성화 시키고, 굴삭 작업 시작 전에 먼저 Sonar Sensor를 통한 주변 장애물 탐지 및 Vision System을 통한 주변 모니터링이 시작된다. 굴삭 작업이 시작된 직후에는 굴삭기 작업 반경을 시스템에 입력하고, 작업 반경을 기준으로 주변 장애물을 탐지한다. 장애물이 있을 경우 위험 경고를 해주어 작업을 중단하고 장애물 처리 후에 작업을 계속 진행 할 수 있도록 한다. 그 내용을 순서도로 나타내면 그림 4와 같다.

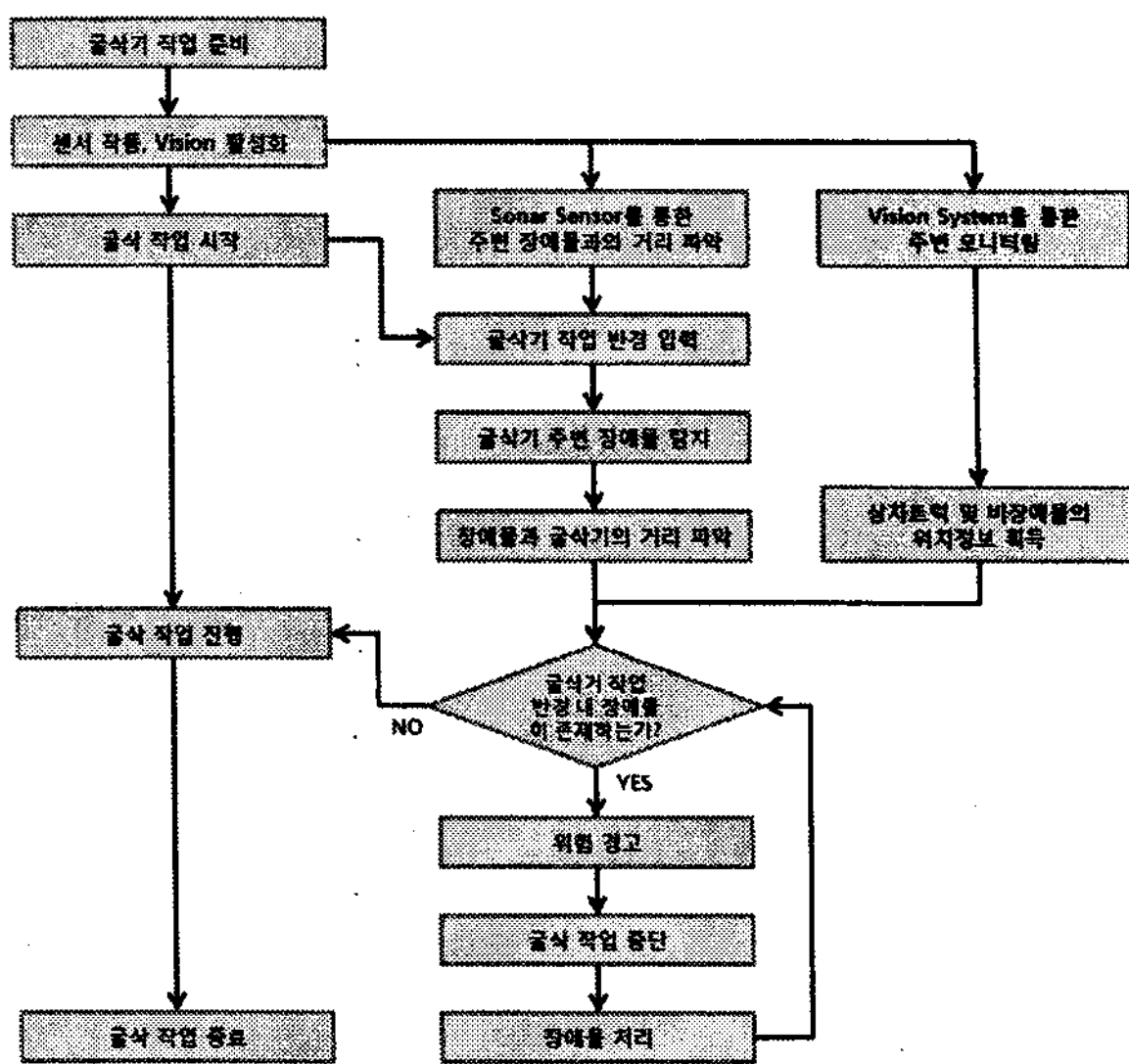


그림 4. 장애물 탐지 알고리즘 개념도

5. 결론

본 논문에서는 자동화 굴삭기 시스템에 적용하기 위한 안전관리 시스템 개발의 선행연구로서 장애물 탐지 알고리즘을 개발하기 위한 연구를 수행하였고, 그 결론은 다음과 같다.

- 1) 장애물 탐지를 위한 요소기술들을 조사하여 레이저 스캐너, 스테레오 비전, 소나 센서, 레이저 센서 등 각각의 기술들을 여러 필요조건에 의한 비교·분석을 하였다.
- 2) 실시간 탐지, 거리 측정, 장애물의 형상 파악 등 여러 조건들을 고려한 결과, Sonar Sensor와 Vision System의 혼용이 가장 적합할 것으로 판단되어 자동화 굴삭기의 안전관리 시스템에 적용할 요소기술로 선정하였다.
- 3) 두 가지 기술을 함께 시스템에 적용시키기 위하여 2~4대의 카메라를 이용한 Vision System 구축을 바탕으로 시스템 적용을 위한 장애물 탐지 알고리즘을 개발하였다.

본 연구를 통해 선정된 장애물 탐지 기술과 개발 알고리즘은 향후 자동화 굴삭기 시스템 개발에 있어서 안전성 확보를 위한 원천기술로써 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 이러한 기술의 효율적 활용을 위해서는, 굴삭기 장착을 위한 현장 실험과 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. 김영석, "건설자동화를 위한 요소기술과 기술혁신 전략에 관한 연구", 대한토목학회논문집, 24/5D, pp, 2004
5. 전자엔지니어, "운전자의 주행시 판단 돕는 자동차 비전 시스템", 2006
6. Anthony S Tentz, "A Robotic Excavator for Autonomous Truck Loading", The Robotics Institute, Carnegie Mellon University, 2000

Abstract

The construction industry is an inevitable part of modern development. Now-a-days, the construction industry experiencing several issues related with the maintenance of productivity, quality and labor. Hence there is an immediate requirement for the development of technologies enabling the automated construction equipment. The new technologies should also assure the sufficient safety and efficiency. In the present investigation, an attempts have been made for the development of object sensing algorithm and safety control system for intelligent excavating system. we have analyzed some elemental technologies for sensing objects and also proposed a technology for safety control system as well. The proposed technology will highly influence the safe working performance of construction industry in the positive sense.

Keywords : sensing, excavator, automation, safety control