

굴삭기의 장애물 탐지용 틸트 모듈 개발

Development of Tilt Module for Object Detection of Excavator

최창훈¹

소지윤¹

이준복^{2*}

한충희²

Choi, Chang-Hoon¹

Soh, Ji-Yune¹

Lee, Jun-Bok^{2*}

Han, Choong-Hee²

Graduate School, Kyung Hee University, Giheung-Gu, Suwon, 446-701, Korea ¹

Department of Architectural Engineering, Kyung Hee University, Giheung-Gu, Suwon, 446-701, Korea ²

Abstract

The construction industry has achieved many benefits through the mechanization of the construction. However, due to accidents for construction machinery, the mortality rate has increased rapidly. Thus, the objective of this study is to develop of tilt modules for object detection system of excavator. The modified laser sensor that increase the efficiency of object detection system was tested. Based on these results, tilt modules were developed through the conceptual design and detailed design. Then, this tilt modules can be applied to the safety management system of excavator and using this tilt modules will be able to improve the efficiency of the system.

Keywords : excavator, object detection, laser sensor, safety management, tilt module

1. 서 론

1.1 연구의 목적

국내 건설 산업이 점차 대형화, 첨단화, 고급화 및 복잡화 되어 가면서 이에 대한 기술력 확보가 경쟁력 향상의 관건이 되고 있다[1]. 또한 공기단축, 공사비 절감, 노동력 절감 등을 위하여 기계화시공을 통한 건설기술의 향상을 도모하려고 한다[2]. 하지만 Figure 1처럼 타산업보다 건설 산업의 기인물로 인한 근로자 위험노출 수준이 심각해졌다[3].

또한 지속적인 안전관리가 이루어지고 있지만 그 효과가 미비하거나 제대로 이루어지지 않고 있는 실정이다. Table 1과 같이 2007년에 대비 2008년 사고율과 부상자 수가 증가하였고 사고사망자수는 사고율과 부상자 수에 비해 대폭 증가했다[3]. 따라서 안전사고 저감을 위한 시스템을 제시하여 노무 생산성 향상 및 안전성 확보하는 것이 시급하다.

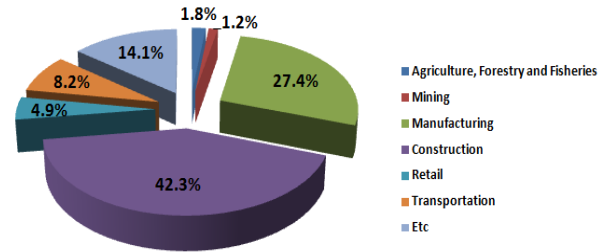


Figure 1. Casualty in total industry(2008)

Table 1. Causality in construction industry(2008)

	2008. 1 ~ 12	2007. 1 ~ 12	Percentage change (%)
Total	20,473	19,050	7.5
Injury	19,804	18,496	7.1
Mortality	669	554	20.8

또한 현재 건설기계로 인한 사고의 안전관리 관련 연구 [4, 5]가 진행 되었지만 건설 산업 환경의 낙후로 건설현장에서의 안전사고가 많이 발생하기 때문에 안전관리에 대한 연구가 절실히 필요하다.

Received : February 22, 2011

Revision received : May 12, 2011

Accepted : May 17, 2011

* Corresponding author : Lee, Jun-Bok

[Tel: 82-31-201-3250, E-mail: leejb@khu.ac.kr]

©2011 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

굴삭기는 건설현장에서 가장 많이 사용되는 건설기기 중 안전사고율 및 사고사망률이 높다[6]. 고용노동부의 2006년부터 2008년까지의 산업재해 현황분석 책자에 의하면 건설기계로 인한 안전사고가 지게차 18건, 로울러 8건, 불도저 3건, 로우더 2건인 것에 비해 굴삭기로 인한 안전사고는 35건으로 타 건설기계보다 재해 발생률이 높았다.

따라서 본 연구에서는 이전 연구의 틸트 모듈 프로토타입을 바탕으로 굴삭기 사각지대의 예방적 안전관리를 위해 굴삭기 주변 로컬영역의 장애물 탐지 시스템에 활용 가능한 틸트 모듈을 개발하고자 한다. 제시될 시스템을 적용하여 굴삭기로 인해 발생하는 안전사고 저감 및 굴삭기의 보다 더 효율적인 운영 및 관리가 가능할 것으로 사료된다.

1.2 연구의 방법 및 범위

굴삭기로 인한 안전사고 중 전체의 77%를 낙하·비레, 충돌·접촉, 협착·감김이 차지한다. 이 3가지 패턴의 안전사고를 분석해 본 결과 Figure 2와 같은 안전사고 원인을 도출할 수 있었다. 여기서 굴삭기 작업반경 내 근로자가 출입하거나 작업지휘자 및 유도자 미배치로 인해 안전사고가 발생한 경우는 안전관리시스템을 활용하여 사고를 저감할 수 있다.

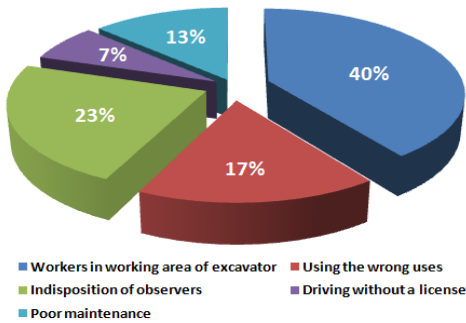


Figure 2. Reasons of safety accidents for excavator

따라서 본 연구는 이전 연구를 통해 제시된 장애물 탐지 시스템의 발전 형태로서 굴삭기 주변 로컬영역의 장애물을 탐지하는 시스템에 활용되는 레이저 센서의 틸트 모듈 개발로 제한한다.

연구의 절차 및 방법은 보다 원활한 시스템 운용을 위해 변경된 센서의 면밀한 분석을 통한 분석 데이터와 틸트 모듈 프로토타입을 바탕으로 틸트 모듈을 설계한다.

2. 장애물 탐지 시스템

2.1 장애물 탐지 시스템

굴삭기의 장애물 탐지 시스템의 구성은 Figure 3과 같이 센싱, 제어, 전원의 3파트로 분류되었다[7]. 기존 시스템은 2대의 센서가 탐지한 신호를 컨버터를 통해 변환하여 제어 PC로 전송하고 제어 PC의 장애물 탐지 소프트웨어를 사용하여 데이터를 처리한다. 처리된 데이터를 바탕으로 장애물 유무를 판단하고 장애물 탐지 시 장애물의 거리에 따라 경고 신호나 긴급정지 신호를 보낸다.

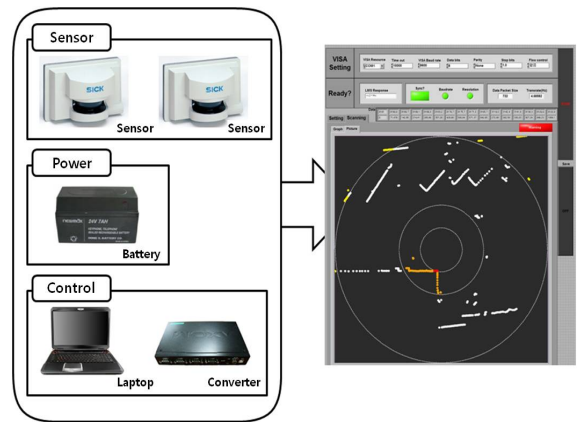


Figure 3. Object detection system

2.2 시스템 변경 사항 - 레이저 센서

선행연구[8]에서 장애물 탐지 시스템은 레이저 센서 LMS221 2대로 전방위 탐지가 가능하였다. 그러나 Figure 4의 (a)와 같이 LMS221은 센싱 범위가 180도이므로 굴삭기를 사각지대 없이 완벽하게 전방위 탐지하기 위해서 4대의 센서가 필요하다. 이에 반해 Figure 4의 (b)와 같이 LMS151은 센싱 범위가 270도로 2대의 센서로 굴삭기 전방위 탐지가 가능하다.



(a) Object detection area(LMS221) (b) Object detection area(LMS151)

Figure 4. Object detection area(LMS221& LMS151)

또한 Table 2와 같이 기존 시스템에 사용된 레이저 센서 LMS221은 부피가 크며 중량이 무겁고 사용전력량이 많은 반면 변경한 레이저 센서 LMS151은 LMS221에 비해 비교적 부피가 작으며 중량이 가볍고 사용전력량이 적은 편이다.

Table 2. Comparison LMS221 with LMS151

	LMS221	LMS151
Size	196 x 352 x 266 mm	162 x 202 x 106 mm
Weight	9kg	1.1kg
Operating Current	6A	0.5A

과한 중량은 특히 틸트 모듈의 모터에 과부하를 줄 수 있는 영향요소이며 사용전력량은 굴삭기 배터리에 과부하를 줄 수 있는 영향요소이다. 이에 따라 시스템의 효율을 높이기 위해 레이저 센서를 LMS221에서 LMS151로 변경하였다.

2.3 LMS151 성능 테스트

LMS151은 실외용으로 제작된 만큼 이동 시 발생하는 진동에도 이상 없이 작동 가능하였으며 충격을 견딜 수 있는 내구성을 지니고 있다. LMS151 성능 테스트는 Figure 5와 같이 이동 장애물이 없는 경우와 Figure 6과 같이 이동 장애물이 있는 경우로 진행하였다. 실험 결과 장애물 탐지에 오류는 없었으며 장애물 탐지 오차범위가 반경 12m 안에서 $\pm 40\text{mm}$ 였다. 따라서 이전 연구[7]에서 언급한 굴삭기 작업 범위(반경 7m) 내 장애물 탐지에 활용함에 있어 문제가 없을 것으로 사료된다.



Figure 5. Performance test of LMS151(1)

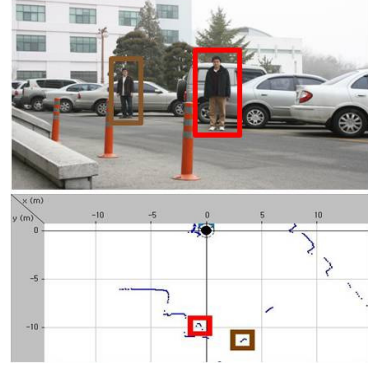


Figure 6. Performance test of LMS151(2)

3. 틸트 모듈 제작 및 설치

3.1 틸트 모듈 개념 설계

Figure 7의 (a)는 선행연구[7]의 LMS221에 대한 프로토타입 설계안이다. 이를 바탕으로 Figure 7의 (b)와 같이 변경된 센서 LMS151에 대한 개념 설계안을 도출하였다. 이는 LMS151의 브라켓을 활용하여 센서를 고정시키고 브라켓 하단부 좌우측에 틸트 모듈을 연결하는 방식으로 고안되었다.



(a) Conceptual design(LMS221) (b) Conceptual design(LMS151)

Figure 7. Conceptual design of tilt modules

3.2 틸트 모듈 실시 설계

3.2.1 1차 실시 설계

개념 설계안을 바탕으로 실시 설계 진행 도중 개념 설계안의 두가지 문제점이 도출되었다. 레이저 센서의 브라켓으로 인해 자중이 필요이상으로 늘어난다는 것이 첫 번째 문제점이고, 브라켓 하단부에 틸트 모듈이 연결되어 레이저 센서의 센싱축과 틸트 모듈의 회전축이 어긋나게 되는 것이 두 번째 문제점이다.

상기 두가지 문제점을 보완하기위해 센서를 고정하는 브라켓을 간소화하여 중량을 줄였고 틸트 모듈의 회전축과 레

이저 센서의 센싱축을 일치시켜 Figure 8와 같은 1차 실시 설계안을 도출하였다.

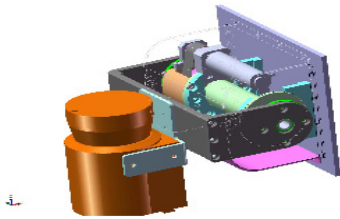


Figure 8. 1st detailed design of tilt module

3.2.2 2차 실시 설계

1차 실시 설계에서는 틸트 제어를 보다 더 정밀하게 할 수 있는 팬벨트를 사용하여 설계되었다. 하지만 팬벨트 구동을 위해 모터가 Figure 8과 같이 가로로 설치되어 Figure 9와 같이 틸트 장비의 폭이 넓어져 장애물 탐지 시 틸트 모듈이 탐지되어 장애물로 인식되는 문제점이 발생하였다.

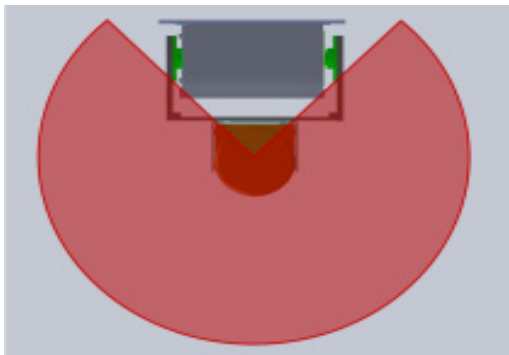


Figure 9. Object detection area of 1st detailed design

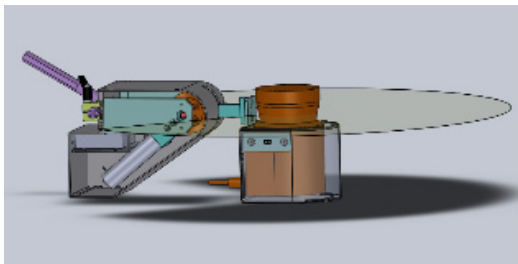


Figure 10. 2nd detailed design of tilt module

따라서 2차 실시 설계에서는 Figure 10과 같이 틸트 모듈의 폭을 줄이기 위해 모터를 세로로 세우고 원형 기어를 사용하여 제어하는 방식으로 설계안을 수정하였다.

3.2.3 최종 실시 설계

본 연구에서는 선행 연구에서 설정된 상하 각 30도, 총 60도 틸트 각도를 모듈의 돌출 길이 등의 문제로 사각지대를 재검토하였다. 그 결과 틸트 각도를 상하 각 60도, 총 120도로 재설정하였다.

하지만 최대로 틸트다운 될 경우 레이저 센서 하단부가 캐터필러에 충돌하는 문제점이 발생하여 Figure 11과 12와 같이 레이저 센서를 뒤집어 설치하는 방안으로 최종 실시 설계안을 도출하였다.

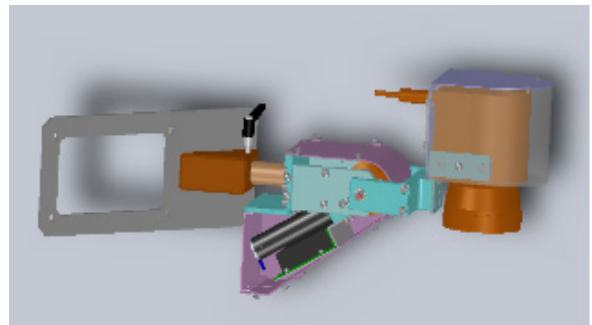


Figure 11. Final detailed design of tilt module(front)

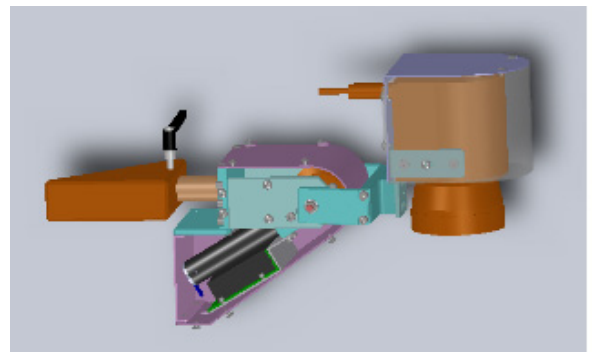


Figure 12. Final detailed design of tilt module(back)

3.3 틸트 모듈 제작

틸트는 Figure 13과 같은 틸팅 매커니즘으로 작동된다. 컨트롤러에서 틸트 모터로 틸트업 운동명령이 전송되고 명령을 받은 모터는 회전을 하게 된다. 이때 엔코더에서 틸트 모터의 회전수를 체크하여 컨트롤러로 피드백 신호를 보내고 틸트 모터가 설정한 각도까지 틸트되는 회전수에 도달하면 컨트롤러는 틸트 모터로 정지신호 및 틸트다운 신호를 보낸다.

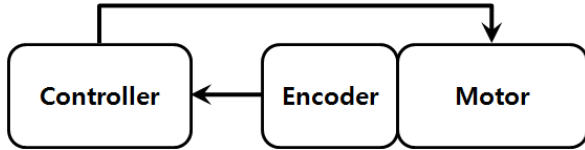


Figure 13. Tilting mechanism

Figure 14는 틸트 모듈에 사용된 모터, 엔코더, 컨트롤러다. 틸트 모듈의 소모전력은 300W이며 모터는 모듈의 부피를 줄이기 위해 소형이지만 토크치가 높은(28.8mNm) 모터를 사용하였다. 또한 엔코더는 80 KHz, 500 couter/turn를 사용하여 0.72도 단위로 정밀제어가 가능하며 컨트롤러 유닛은 1 axis로 제어하는 point to point control unit으로 메인 컨트롤러와는 CAN Bus 통신을 사용하는 모델이다.

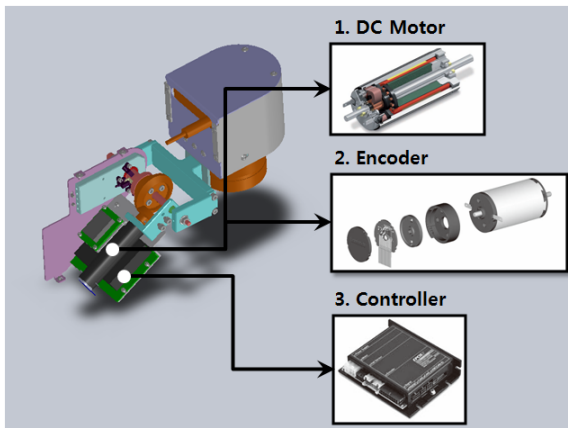


Figure 14. Control part of tilt module

Figure 15는 상기 내용들을 반영하여 제작 완료된 틸트 모듈이다. Figure 15의 (a)는 전방 틸트 모듈이고 (b)는 후방 틸트 모듈로 후방 틸트 모듈의 마운트와 연결되는 연결부를 살펴보면 전방 틸트 모듈보다 약 20cm 긴 것을 확인할 수 있다.

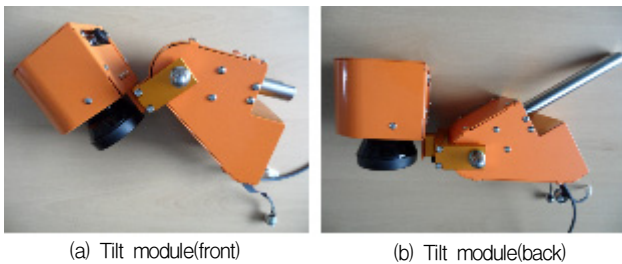


Figure 15. Tilt module units

이는 굴삭기 카운터 웨이트 부분이 굴곡져 있어 연결부가 짧을 경우 Figure 16의 (a)와 같이 굴삭기 캐빈이 장애물로 인식되는 문제점이 발생하기 때문에 후방 틸트 모듈의 연결부의 길이가 전방 틸트 모듈보다 길게 제작되었다.

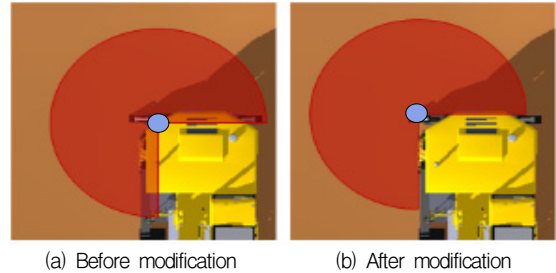


Figure 16. Concept diagram of object detection(back)

3.4 틸트 모듈 설치

전방 틸트 모듈의 마운트는 굴삭기 라이트 덮개의 볼트를 이용하여 Figure 17의 (a)와 같이 볼트 접합으로 설치되었으나, 후방 틸트 모듈의 마운트는 굴삭기 카운터 웨이트 부분이 통관으로 제작되어 볼트 접합을 할 수 없는 관계로 Figure 17의 (b)와 같이 용접 접합으로 설치되었다.

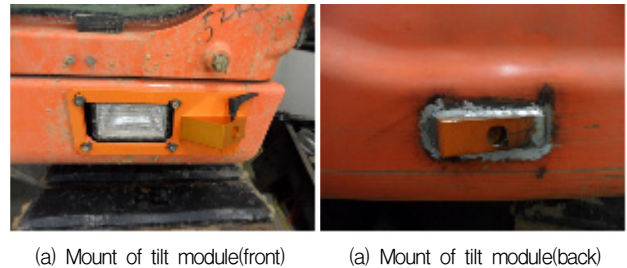


Figure 17. Mount of tilt module

Figure 18은 상기 전·후방 틸트 모듈 마운트에 제작 완료된 틸트 모듈을 부착한 모습이다.

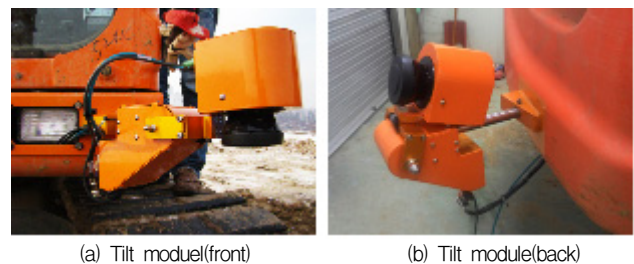


Figure 18. Installed tilt module

4. 데이터 처리 알고리즘

본 연구의 데이터 처리 프로세스 알고리즘은 기존 연구 [8]의 알고리즘을 사용하며, 이는 Figure 19와 같이 레이저 센서 2대의 센싱 raw 데이터에서 장애물 탐지에 필요한 데이터를 추출하여 필터링으로 error를 제거하고 좌표계로 데이터를 변환하여 장애물의 위치를 출력하고 긴급정지명령어를 판단한다.

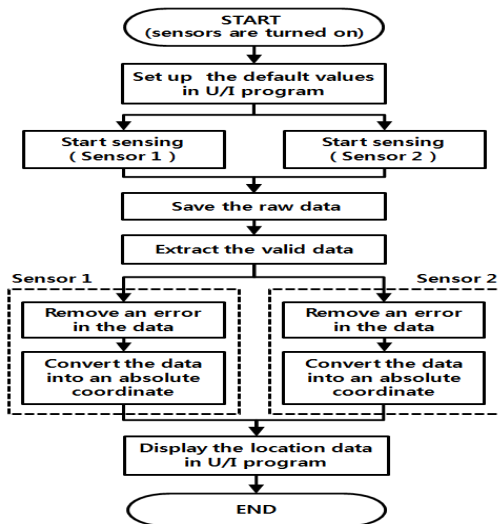


Figure 19. Data process algorithm

Figure 20은 장애물 좌표 계산의 개념도다. Figure 20과 같이 센서의 Row data는 장애물이 센싱되었을 때의 각도(θ)와 센서와 장애물 사이의 거리(γ)만을 포함한다. Row data를 바탕으로 장애물의 x좌표는 $\gamma \cos \theta$, y좌표는 $\gamma \sin \theta$ 를 사용하여 변환 계산되어 저장 및 출력된다.

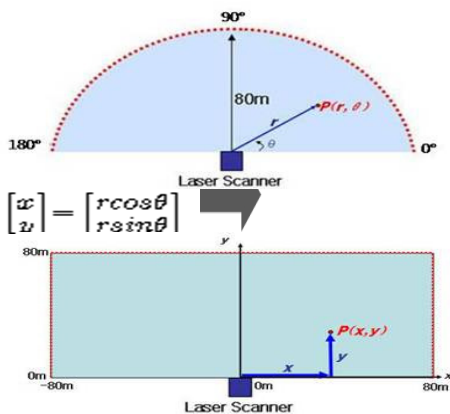


Figure 20. Calculation of coordinate

5. 현장 실험

굴삭기에 tilt module을 장착 후 성능테스트를 실시하였다. 성능테스트는 선행 연구[7]에서 언급했던 작업자가 옹크리고 작업하는 경우를 가정하여 실시하였다.

Figure 21과 Figure 22는 전방 틸트 모듈의 성능테스트다. Figure 21과 같이 센서가 지면과 수평을 이루고 있을 때는 옹크린 작업자가 탐지되지 않았지만 Figure 22와 같이 tilt down 시에는 작업자가 탐지되었으며 경고신호 또한 정상적으로 작동하였다.



Figure 21. Performance test Front tilt module(1)



Figure 22. Performance test Front tilt module(2)

Figure 23과 Figure 24는 후방 틸트 모듈의 성능테스트로 전방 틸트 모듈의 성능테스트와 같은 결과를 보였다. Figure 23과 같이 센서가 지면과 수평을 이루고 있을 때는 옹크린 작업자가 탐지되지 않았지만 Figure 24와 같이 tilt down 시에는 작업자가 탐지되었으며 경고신호 또한 정상적으로 작동하였다.



Figure 23. Performance test of Back tilt module(1)



Figure 24. Performance test of Back tilt module(2)

6. 결 론

본 연구에서는 선행 연구의 틸트 모듈 프로토타입을 바탕으로 변경된 장애물 탐지 시스템의 레이저 센서에 적용할 틸트 모듈을 개발하였다. 이를 위해 변경된 센서의 성능 실험을 통해 시스템 적용에 이상유무를 검토하였으며 개념 설계 및 실시 설계를 통해 틸트 모듈을 개발하였다. 개발된 틸트 모듈은 현장 실험을 통해 성능테스트를 실시하였다.

향후 본 연구의 결과를 바탕으로 틸트 모듈이 적용된 장애물 탐지 시스템의 소프트웨어를 디버깅하고 하드웨어를 안정화 연구를 진행할 것이다. 이를 장애물 탐지 시스템에 활용하면 장애물 탐지 효율을 높일 수 있으며, 타 건설기계에 확대, 적용하면 건설안전사고를 저감하는데 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

요 약

건설산업은 기계화 시공을 통해 많은 이점을 이뤘지만 건설기계로 인한 안전사고율의 증가로 사고사망률 또한 급속도로 증가하였다. 따라서 본 연구는 건설 작업 시 작업환경의 안전 확보를 위한 굴삭기 로컬영역 장애물 탐지 시스템에 활용할 틸트 모듈 개발을 목적으로 진행하였다. 본 연구

에서는 장애물 탐지 시스템의 효율을 높이기 위해 변경된 레이저 센서의 성능테스트를 진행하였으며 이를 바탕으로 개념 설계, 실시 설계를 통해 틸트 모듈을 개발하였다. 이는 굴삭기의 안전관리 시스템에 적용 가능하며 이를 활용하여 시스템의 효율을 높일 수 있을 것이다.

키워드 : 굴삭기, 장애물 탐지, 레이저 센서, 안전관리, 틸트 모듈

Acknowledgement

This research was supported by a grant(06CIT-C01) from Construction Technology Innovation Program funded by Ministry of Land, Transport & Maritime Affairs of Korean government.

References

1. Myung NY, A Study on Object Detection Technologies of Construction Equipments for Safety Improvement [Master' s Thesis], Yongin (Korea): Kyung Hee University; 2010. 60 p. Korean.
2. Soh JY, Kim MW, Lee JB, Han CH, [Development of core technology for object detection in excavation work using laser sensor]. Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2008 Aug;8(4):71-7. Korean.
3. Task Force on Korea Occupational Safety & Health Agency, Accident investigation report 2008. Incheon (Korea): Korea Occupational Safety & Health Agency; 2009 Oct. 27 p. Korean.
4. Lee YS, Gang YT, Kim JS, Kim CE, [The Study on the Accidents analysis and preventive measures from a excavator]. Journal of the Korean Safety Management and Science, 2010 Sep;12(3):81-91. Korean.
5. Kim AY, A Study on Mobile Crane Interactive Selection and Stability Evaluation [Master' s Thesis], Yongin (Korea): Kyung Hee University; 2008. 52 p. Korean.
6. Seo JM, Kim SK, [The Study on Measures for Reducing Safety Accidents of Excavator], Korean Journal of Construction Engineering and Management, 2007 Jun;8(3):127-33. Korean.
7. Choi CH, Development of technology to detect object for safety management system of excavator [Master' s Thesis], Yongin (Korea): Kyung Hee University; 2011. 41 p. Korean.
8. Soh JY, Lee JB, Han CH, [Development of Omnidirectional Object Detecting Technology for Safer Excavator]. Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2010 Aug;10(4):105-12.