

협소 공간 작업을 위한 안전제어 시스템에 관한 연구

A Study for Safety Work Control System in the Narrow Space

조영수 · 김학선 · 송인성 · 정찬세 · 양순용

Y. S. Cho, H. S. Kim, I. S. Song, C. S Jeong and S. Y. Yang

Key Words: Excavator(굴삭기), Teleoperated Excavator(원격 굴삭기), Remote Excavation system(원격굴삭 시스템), Real Time Module(리얼타임 모듈)

Abstract: Field robot represented by excavator can be applied for various working in manufacturing, construction, agriculture etc. Because of the flexibility of its multi-joint mechanism and the high power of hydraulic actuators. Since the excavator operates in the hazardous working circumstance, operators exposed in harmful environment. Therefore, automation system has been investigated to protect from the harmful environment. In this paper, the method to construct the remote control system is proposed. The remote control system is consisted of a manual and auto mode. Manual mode controls a hydraulic cylinder as open loop control. and auto mode controls the end effector of excavator using tracking control system. The efficiency of remote control system was evaluated through the field test.

기호 설명

- θ_1 : 붐 각도
- θ_2 : 암 각도
- θ_3 : 버킷 각도
- L_1 : 붐 길이
- L_2 : 암 길이
- L_3 : 버킷 길이

1. 서론

소형 굴삭기는 작업장으로서의 접근성이 용이하고 유연한 구조의 작업 장치, 크기에 비해 출력이 높아 도심의 다양한 작업에 널리 이용되고 있다.

토목 현장이나 대형 건설 현장에 주로 이용되는 중 대형 굴삭기와는 달리 소형 굴삭기의 작업 현장은 협소하고 장애물 또한 많이 존재하기 때문에 안전사고가 빈번히 일어난다.^{1,2)}

접수일 : 2010년 5월 20일

양순용(책임저자) : 울산대학교 기계자동차공학부

E-mail:soonyy@mailulsan.ac.kr, Tel : 052-259-2820

정찬세,조영수,송인성:울산대학교 기계자동차공학과

김학선: 울산대학교 자동차전박대학원

열악한 작업환경으로 인한 안전사고로부터 운전자를 보호하기 위해 많은 기업과 대학에서 연구가 이루어져왔다. 본 연구에서는 위험한 작업환경으로부터 굴삭기 운전자를 보호하기 위해 TCP/IP 통신을 이용한 원격 굴삭시스템을 구축하였다.

또한 암 끝단을 조작하는 Auto Mode를 구성하여 초심자도 쉽게 굴삭기를 구동하도록 하였다.

구축한 시스템의 성능은 실차 시험을 통해 검증하였다.

2. 원격굴삭 시스템의 구축

원격굴삭시스템은 Server와 Client로 구성되어 있으며Server는 시스템을Monitoring하고 사용자가 원격굴삭시스템으로 사용자의 명령을 보내는 역할을 한다. Client는 Server로부터 오는 신호를 받아 시스템을 구동한다. Server는 전기식 조이스틱에서 출력되는 0~10V의 전압신호를 TCP/IP 통신을 이용하여 Client의 PXI로 신호를 보낸다. PXI는 Server로부터 받은 신호를 EPPR V/V로 공급하며 EPPR V/V는 PXI 신호에 따라 MCV 밸브를 작동시켜 굴삭기 작업장치를 동작시킨다. 작업장치의 움직임을 파악하기 위해 작업장치 링크에 각도센서인 Resolver를 설치하여 작업장치의 위치를 파악하였다. 구

축한 시스템은 Fig.1과 같으며 원격굴삭시스템의 신호흐름은 Fig. 2와 같다.



Fig. 1 Appearance of Tele-operated Excavator

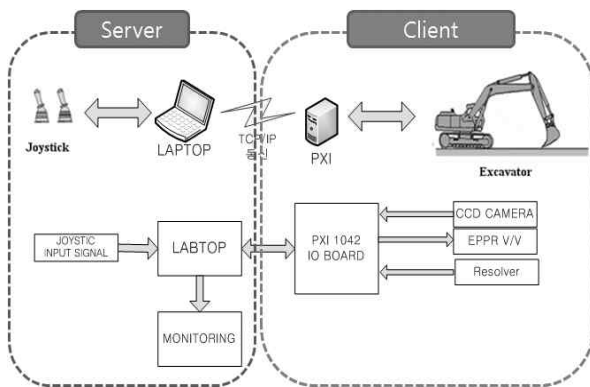


Fig. 2 Signal Flow in the Tele-operated Excavator

3. 구동프로그램 구성

원격굴삭 시스템의 구동프로그램은 기존의 굴삭기와 동일한 방식으로 운전할 수 있는 Manual Mode와 작업장치의 끝단을 제어하는 Auto Mode로 구성되어 있다.⁴⁾ 구동프로그램은 N.I.사의 LabVIEW 8.2를 이용하여 만들었으며 Real-Time Mode에서 구동이 된다. Fig. 3은 Manual Mode 작동 화면이다.

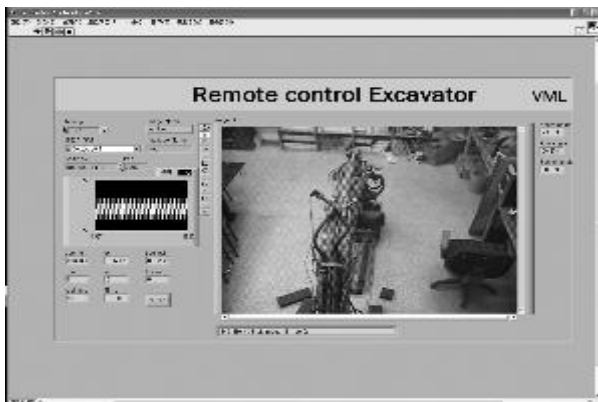


Fig 3 Manual Mode Front Panel

Auto mode 는 역기구학을 이용하여 암 끝단을 조작하는 방법이다.

Fig. 4 는 Auto mode 작동화면이다.

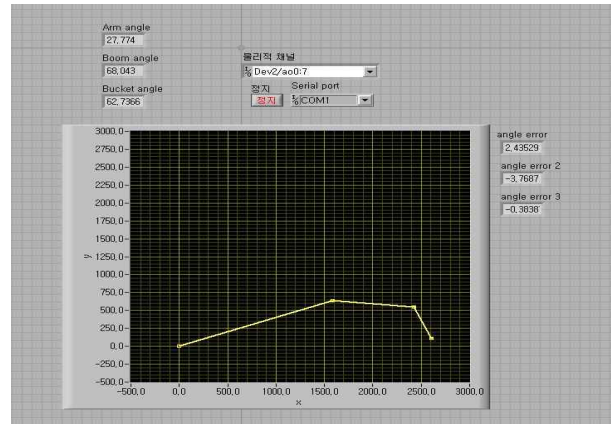


Fig. 4 Auto Mode Front Panel

4. 암 끝단제어

Auto Mode 는 역기구학을 이용하여 암 끝단을 제어하여 수평, 수직으로 조작함으로써 비숙련자라도 목표위치를 보다 쉽게 접근할 수 있다.

버킷 끝단의 위치에 따른 각 작업장치의 변위는 암 끝단의 위치와 버킷과 지면이 이루는 각도를 선정해 줌으로써 이루어지며 이를 Fig. 5에 나타내었다.

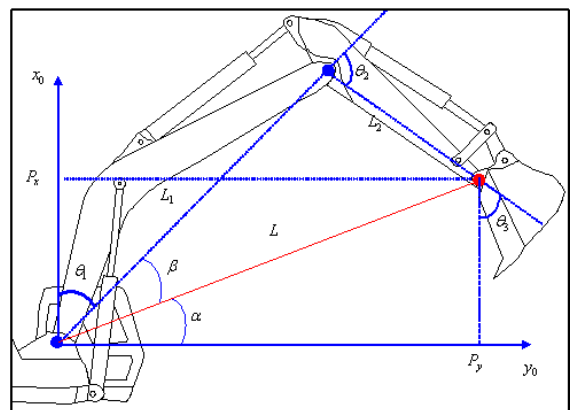


Fig. 5 Inverse Kinematics

붐의 양 단의 링크와 암 끝단 링크가 이루는 삼각형에서 cos 2법칙을 적용하면 다음과 같다.

$$L^2 = L_1^2 + L_2^2 + 2L_1L_2 \cos\theta_2 \tag{1}$$

$$\cos\theta_2 = \frac{L_1^2 + L_2^2 - L^2}{2L_1L_2} \tag{2}$$

$$\sin \theta_2 = \sqrt{1 - \cos^2 \theta_2} \tag{3}$$

$$\theta_2 = a \tan 2(\sin \theta_2, \cos \theta_2) \tag{4}$$

여기서 $L^2 = P_x^2 + P_y^2$, 암 끝단의 위치 $(P_x, P_y, P_z) = (L_2 C_{12} + L_1 C_1, L_2 S_{12} + L_1 S_1, 0)$ 이므로 θ_2 는 입력값으로 표현되었다.³⁾

θ_1 은 그림에서처럼 α, β 로 분리해 생각할 수 있는데 각각은 다음과 같다.

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{P_x}{P_y} \right) \tag{5}$$

$$\cos \beta = \frac{L_1^2 + L^2 - L_2^2}{2L_1L} \tag{6}$$

$$\sin \beta = \sqrt{1 - \cos^2 \beta} \tag{7}$$

$$\beta = a \tan 2(\sin \beta, \cos \beta) \tag{8}$$

$$\theta_1 = 90^\circ - \alpha - \beta \tag{9}$$

θ_3 는 버킷 끝단에서의 회전이 주어졌을 때 구할 수 있는데 이 때의 회전을 γ 라 하면

$$\gamma = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 \tag{10}$$

$$\theta_3 = \gamma - \theta_1 - \theta_2 \tag{11}$$

4. 실험 결과

원격 굴삭시스템을 구성하여 Manual Mode 와 Auto Mode의 동작실험을 수행하였다.

Manual mode 시 bucket은 0°에서 140°로 안으로 접는 동작을 수행하였다.

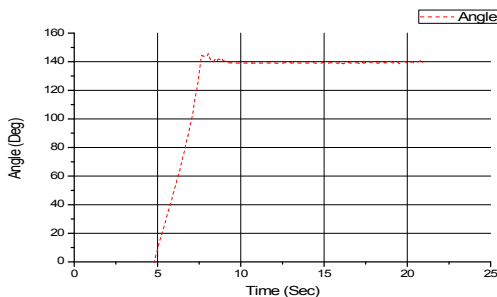


Fig.6 Bucket angle

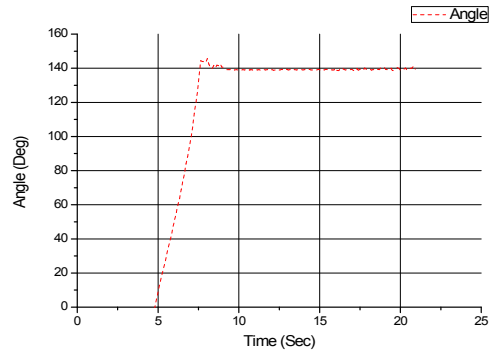


Fig. 7 Bucket Input Signal

버킷이 회전한 각도는 Fig. 6과 같고 그때 입력되는 신호는 Fig. 7과 같다. 암은 35에서 140로 접히는 동작을 실시하였다.

암의 회전 각도는 Fig. 8과 같고 입력신호는 Fig. 9와 같다.

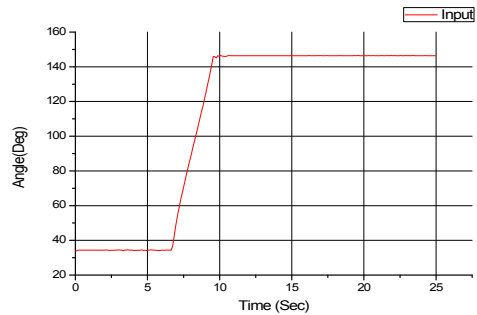


Fig. 8 Arm Angle

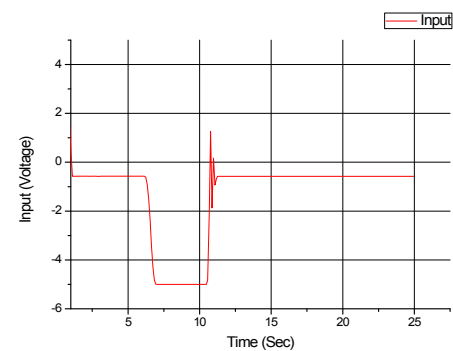


Fig. 9 Arm Input signal

Boom은 80에서 20로 Boom을 굽히는 동작을 수행하였다. Boom의 각은 Fig. 10에 나타내었고 입력신호는 Fig. 11에 나타내었다.

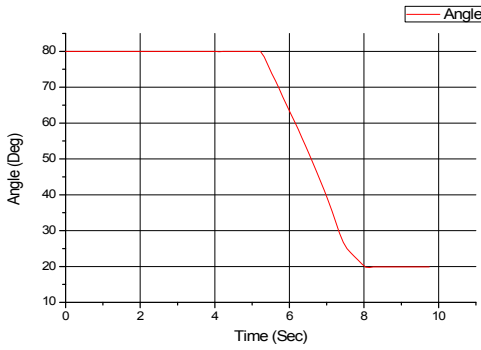


Fig. 10 Boom Angle

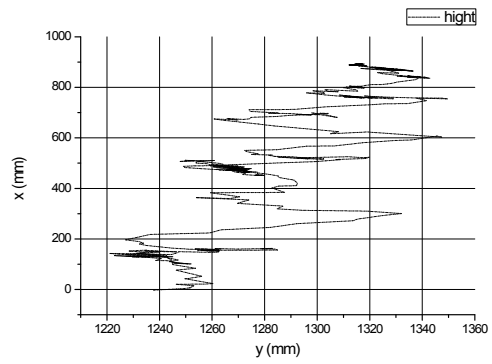


Fig. 13 Vertical Movement

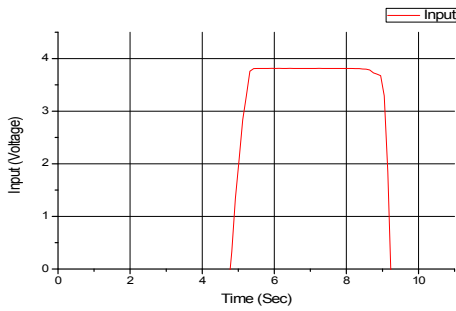


Fig. 11 Boom Input Signal

Auto Mode 구동 실험은 수평으로 1000mm부분에서 1800mm 지점으로 이동하고 수직으로 0mm에서 900mm 지점까지 이동하는 실험을 수행하였다.

작업장치 끝단의 수평이동은 Fig. 12에 나타내었고 수직이동은 Fig. 13에 나타내었다.

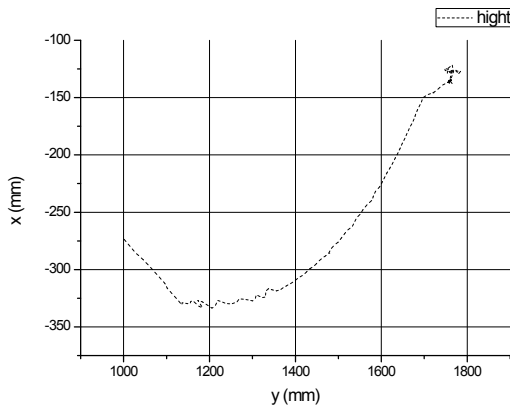


Fig. 12 Horizontal movement

수평이동은 굴삭기의 평탄화 작업을 모사한 것이고 수직이동은 굴삭기가 흙을 퍼서 덤프트럭에 싣는 과정을 모사한 것이다.

5. 결론

리얼 타임모듈을 이용하여 TCP/IP 통신을 이용한 원격 굴삭시스템을 구성하였다.

시스템은 기존의 유압 굴삭기와 동일한 방식으로 각 작업장치의 변위를 조작하는 Manual Mode와 역기구학을 이용하여 작업장치 끝단의 위치를 조작하는 Auto Mode로 구성하였다.

Auto Mode 로 목표지점까지 도달할 때 까지 100mm 내외로 오실레이션을 일으키며 도달하였다.

향후 제어기를 이용하여 궤적제어를 하면 작업현장에서도 사용해도 무리가 없는 시스템이 구축될 것으로 기대되어 진다.

참고 문헌

- 1) 진성민, 권순광, 김재준, 이창돈, 양순용 “필드로봇용 원격 굴삭 시스템에 관한 연구”, 한국정밀 공학회 2008 춘계학술대회 논문집
- 2) 임태형, 한현용, 박성환, 양순용 “원격조작 굴삭 시스템의 Field 적용에 관한 연구 ” 최종보고서 2007
- 3) 임태형 “AMESim을 이용한 유압굴삭기용 Main Control Valve의 해석에 관한 연구”, 울산대학교 석사졸업논문 2002
- 4) 진성민, 이창돈, 양순용 “필드로봇용 원격 굴삭 시스템에 관한 연구”, 한국지능로봇 종합학술대회 논문집 2008