

굴삭기 원격 제어를 위한 조종 장치 설계 및 제어 Design and Control of Remote Controller for Excavator

*김동남¹, 오경원², 김남훈³, #홍대희⁴, 김윤기⁵, 홍석희⁶

*D. N. Kim¹, K. Y. Oh², N. H. Kim³, #D. H. Hong(dhhong@korea.ac.kr)⁴, Y. K. Kim⁵, S. H. Hong⁶
^{1,2,3} 고려대학교 기계공학과 대학원, ⁴ 고려대학교 기계공학과, ^{5,6} 내경엔지니어링

Key words : Excavator Control, Remote Controller, Hydraulic Control, Dismantling Process

1. 서론

최근 건물 해체 현장에서 사용되는 장비의 종류에는 여러 가지가 있다. 그 중에서 가장 많이 사용되는 해체 장비로는 크러셔를 장착한 굴삭기를 예로 들 수 있다. 이러한 굴삭기는 유압으로 구동되어 큰 힘을 내기 때문에 건물 해체 시에 매우 위험한 작업을 작업자가 수행해야 한다. 따라서 최근에는 굴삭기를 원격으로 조작하기 위한 연구들이 많이 진행되어 왔다. 원격 제어를 하기 위해서는 기본적으로 굴삭기에 비례제어 밸브를 사용하여 조이스틱이 아닌 전기 신호로 컨트롤할 수 있어야 한다. 따라서 비례제어 밸브를 이용하여 굴삭기 모션 컨트롤을 하는 연구[1]가 많이 진행되었다. 더불어 최근에는 상용화된 햅틱 장치인 Phantom 을 이용하여 굴삭기를 제어하는 연구[2],[3]가 진행되고 있다. 그러나 기존의 연구는 상용화되어 있는 햅틱 장치를 이용하여 원격으로 제어하기 때문에 굴삭기 조작에 적합하지 않은 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 굴삭기의 4 자유도 동작을 직관적으로 조작하기 위한 원격 조종 장치 설계를 목적으로 한다.

2. 원격 조종 장치의 설계

Fig. 1 은 본 논문에서 원격으로 굴삭기를 조종하기 위해 설계한 조종 장치와 이를 통해 제작된 조종 장치의 모습이 다. 굴삭기는 스윙, 붐, 암과 버킷의 4 개 링크로 구성되어 있으므로 조종 장치의 자유도를 4 자유도로 설정한다. 기존 조이스틱과는 달리 본 조종 장치는 운전자의 팔꿈치를 베이스에 얹고 어깨와 팔, 손목을 움직여 굴삭기를 조작하도록 되어 있다. 운전자는 어깨를 전후로 움직여 베이스를 앞뒤로 조작할 수 있으며, 이 동작을 통해 굴삭기의 붐 모션을 제어한다. 다음은 팔을 위아래로 움직이면서 손잡이 전체를 회전하도록 하고 이를 통해 암 모션을 수행한다. 그리고 버킷은 손목을 움직여 조작할 수 있도록 설계하였으며, 마지막으로 스윙 모션은 베이스가 좌우로 회전 가능하도록 되어 있어 이를 통해 굴삭기 스윙을 할 수 있도록 한다. 굴삭기 조작은 조종 장치의 각 링크에 부착된 엔코더 값을 측정하여 위치제어를 수행하도록 구성하였으며, 조종 장치의 움직임에 따른 굴삭기의 모션은 Fig. 2 에 숫자로 요약되어 있다. 굴삭기와 조종 장치에 표시되어 있는 같은 숫자의 움직임이 동일한 방향의 움직임을 제어한다.

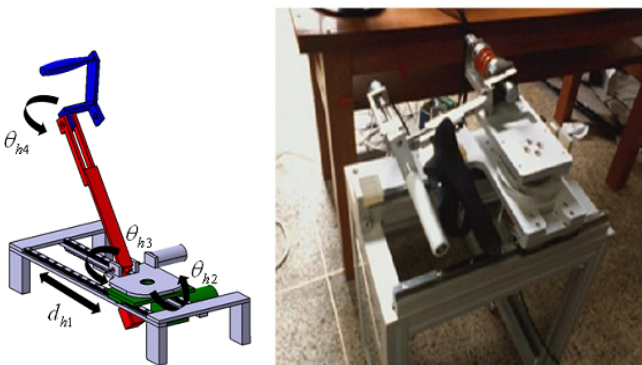


Fig. 1 Design of remote controller (4 degree of freedom)



(a) Motion of excavator



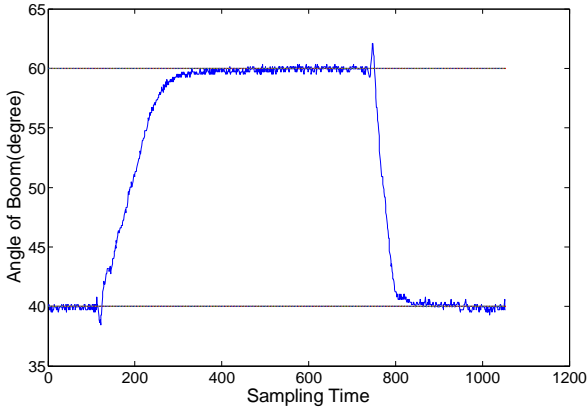
(b) Motion of remote controller

Fig. 2 Relation between excavator and remote controller

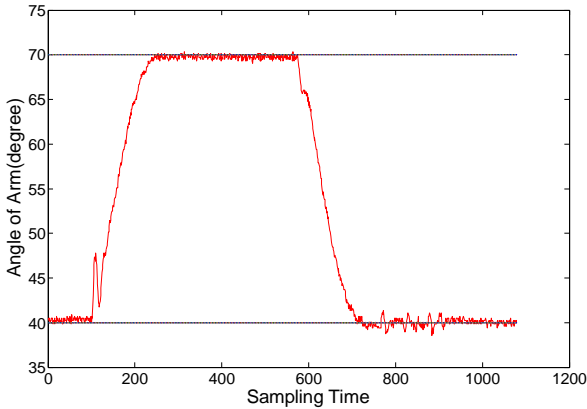
3. 굴삭기 유압 제어

원격 조종 장치에 의하여 굴삭기를 제어하기 위해서는 굴삭기에 비례제어 밸브를 장착하여야 하며, 전류 PWM 신호를 받아 움직이는 비례제어 밸브를 사용하였다. 이를 제어하기 위하여 아날로그 전압 신호를 받아 처리하는 앰프를 함께 구성하였으며, 앰프에 인가되는 전압 신호를 출력하기 위해서 산업용 PC 에 ADLINK 사의 DA 보드(6308V)를 장착하였다. 굴삭기의 각도를 측정하기 위해서는 경사계를 사용하였으며 NI6024E DAQ 보드에서 아날로그 신호를 받아 각도 피드백 제어를 할 수 있도록 구성하였다. 산업용 PC 에 제어를 Visual C++을 이용하여 프로그래밍하였으며, 제어기는 PI 컨트롤을 사용하였다. 경사계 센서의 샘플링 타임은 10ms 미만이며, 제어 신호의 출력 주기는 15ms 이 되도록 프로그램에서 타이머를 사용하였다. 또한 비례제어 밸브 구동에는 데드밴드가 존재하는데 이 데드밴드는 굴삭기의 붐과 암이 지면과 이루는 각도에 따라 차이가 생기는 현상이 발생한다. 따라서 본 연구에서는 실험적으로 데드밴드를 측정하여 PI 제어 신호 값에 보상할 수 있도록 구성하였다. 최종적인 제어 신호는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$\begin{aligned} \text{Control Signal} = & \text{Neutral Signal} + \text{Deadband Compensation} \\ & + \text{Proportional Control Signal} \\ & + \text{Integral Control Signal} \end{aligned}$$



(a) Control of boom angle (Ref. 60 and 40 degree)



(b) Control of boom angle (Ref. 60 and 40 degree)

Fig. 3 Result of angle control with PI controller

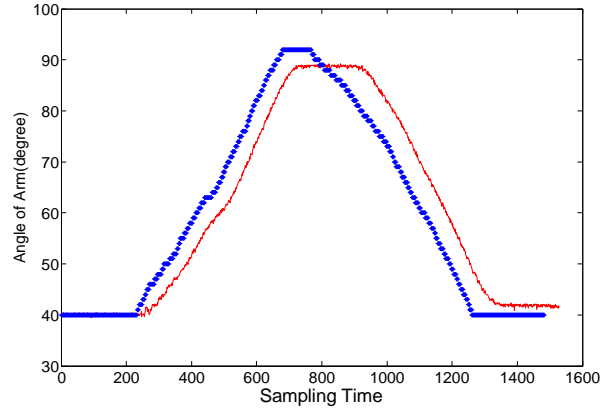
Fig. 3 은 구성된 제어기에 의하여 붐과 암의 제어 결과이다. 붐의 제어 목표치는 60 도와 40 도이며, 암의 제어 목표치는 70 도와 40 도이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 제어 목표치에 근접하여 오차가 1 도 미만으로 생기는 것을 관찰할 수 있다. 특히 붐의 실험 결과에서는 링크의 자중에 의한 이유로 하향 움직임이 상향 움직임보다 더 빠르게 제어 목표치로 가는 것을 확인할 수 있다.

4. 원격 조종 장치와 연동된 굴삭기 모션 컨트롤

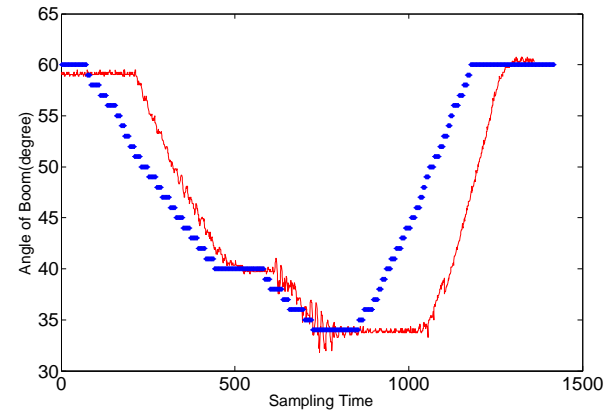
원격 조종 장치에서 엔코더 신호를 받아 그 값을 굴삭기의 각 링크가 움직여야 할 제어 목표치로 설정하여 굴삭기 움직임을 제어하였다. Fig. 4 는 암과 붐 링크를 원격 조종 장치로 움직여 제어한 결과 그래프를 보여주고 있다. 샘플링 주기가 약 8ms 정도이므로 암 제어 결과에서는 약 0.5 초 정도의 딜레이 현상을 보이며 제어 목표치를 따라가고 있다. 붐의 경우에는 하향과 상향에 따라 그 제어 결과가 차이를 보이고 있는데, 그 이유는 암과 붐의 무게 때문에 하향 움직임에서는 빠르게 움직이나 상향에서는 그 딜레이가 더 크게 발생하고 있다. 이러한 문제점은 붐의 하향 동작과 상향 동작 시 PI 컨트롤러의 게인 값에 차이를 두어야 할 것으로 보인다. 뿐만 아니라 암과 붐이 어떤 각도에 있느냐에 따라 그 게인 값 보상이 추가로 필요할 것으로 예상된다. 더불어 빠른 속도로 굴삭기의 링크를 움직이기 위해서는 굴삭기 엔진의 RPM 을 높여 유량을 증가시키고 그에 따른 비례제어 밸브의 deadband 구성을 다시 하여 제어기의 성능을 높일 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 해체 현장에서 가장 많이 쓰이고 있는 굴삭기의 운전자 안전을 위하여 원격으로 조종되는 조종



(a) Angle of excavator arm (thin line) and remote controller (thick line)



(b) Angle of excavator boom (thin line) and remote controller (thick line)

Fig. 4 Control result of remote controller

장치 설계와 제어에 관하여 다루고 있다. 원격 조종을 위한 조종 장치를 4 자유도 장치로 설계하여 테스트용 시제품을 제작하였으며, 이를 통해 조종 장치의 굴삭기 적용까지 수행하였다. 또한 굴삭기의 유압 제어를 위해 비례제어 밸브 시스템을 장착하고 그에 따른 주변 장치를 구성하였다. 굴삭기의 유압 모델은 매우 복잡한 비선형 시스템으로서 그 위치 제어를 구성하기 어려운 문제가 있기 때문에 본 연구를 바탕으로 굴삭기 링크의 각도 상황에 따라 변화되는 PI 제어기 구성의 필요성을 확인하였다. 더불어 추후에는 설계된 4 자유도 원격 조종 장치와 기존 조이스틱을 비교하여 그 조작성 평가를 수행할 계획이다.

후기

본 연구는 국토해양부 건설핵심기술연구개발사업의 연구비 지원(과제번호 "06 건설핵심 B04")과 BK21 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Chiang, M. -H., Huang, C. -C., "Experimental Implementation of Complex Path Tracking Control for Large Robotic Hydraulic Excavators," Int. Adv. Manuf. Technol., 23, 126-132, 2004
2. Frankel, J. G., "Development of a Haptic Backhoe Testbed," A Thesis of Master of Science, School of Mechanical Engineering Georgia Institute of Technology, 2004.
3. Kim, D., Oh, K. W., Hong, D., Park, J. H., Hong, S., "Design and Simulation of A Haptic Device for Excavator with Phantom 1.5," Asian Symposium for Precision Engineering and Nanotechnology, 133-138, 2007.