

운전자 안전을 고려한 유압굴삭기 원격 조종 시스템 Remote Control System of Excavator for Driver's Safety

*김남훈¹, 오경원¹, 김동남¹, *홍대희², 김윤기³, 홍석희³

¹N. H. Kim¹, K. W. Oh¹, D. Kim¹, *D. Hong(dhhong@korea.ac.kr)², Y. K. Kim³, S. H. Hong³

¹ 고려대학교 기계공학과 대학원, ² 고려대학교 기계공학과, ³ ㈜내경엔지니어링

Key words : Remote Control, Excavator, Joystick Device, Kinematics

1. 서론

주변에 많은 공사 현장에서 주요 공사 장비로 유압굴삭기가 사용되고 있다. 평지에서 공사 현장 같은 경우에는 운전자의 안전에 큰 위협이 없으나, 유압굴삭기는 도로 공사를 위해서는 산중턱을 오르기도 하고, 건물을 해체 하기 위해서는 붕괴위험이 있는 건물 옥상에서 작업이 이루어 지기도 한다. 위와 같은 위험한 작업 현장에서 유압굴삭기는 운전자가 탑승한 채로 운전되고 있다. 굴삭기 운전자가 산중턱에서의 전복위험, 건물 옥상에서의 붕괴위험 등에 노출된 상태로 작업이 이루어 지고 있는 것이다. 이러한 위험으로부터 인적자원인 운전자를 보호하기 위한 굴삭기 조종 시스템을 본 논문에서 제안한다. 또, 유압굴삭기 운전자가 능숙해지기 위해서는 오랜 시간이 걸리는 문제를 해결하기 위해, 누구든지 쉽게 유압굴삭기를 운전할 수 있는 조종장치를 제안한다.

2. 기구학과 굴삭기 조종 시스템

조종장치에 의한 조종이 실제 굴삭기에서 정확하게 작동하는지를 확인 하기 위해 각 링크의 현 위치를 알아야 한다. 각 링크의 현 위치는 Fig. 1 에서 굴삭기 유압실린더의 길이인 C_1C_2 , C_3C_4 , C_5C_6 길이만 변화하고 다른 길이들은 고정된 값이다. 그러므로 유압실린더의 길이만 측정하면, 각 링크의 현 위치가 계산된다. 유압실린더의 길이를 측정하기 위해, 3 개의 유압실린더에는 길이 측정이 가능한 와이어 엔코더를 설치하였고, 와이어 엔코더에서 얻어진 유압실린더 길이를 통해서 각 링크의 현 위치가 삼각 함수를 이용하여 계산된다. [1]

컴퓨터에 설치된 PCI-8136 DAQ 보드에는 6 개의 encoder counter 가 있어서, 조종장치의 세 개의 엔코더로부터 조종장치 각 링크의 각도 변화를 받고, 굴삭기 각 유압실린더에 설치된 와이어 엔코더 3 개로부터 유압실린더의

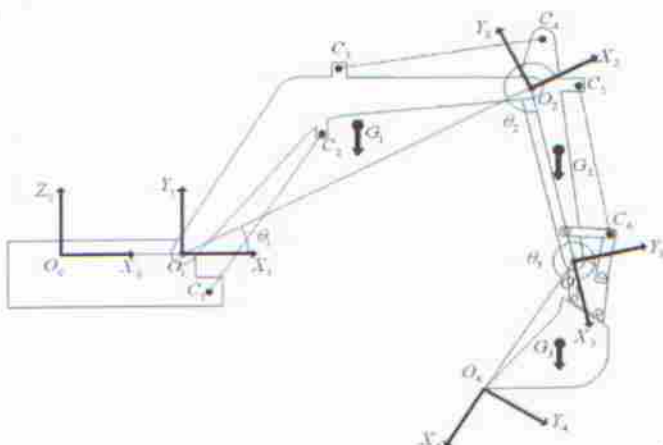


Fig. 1 The kinematics modeling of excavator

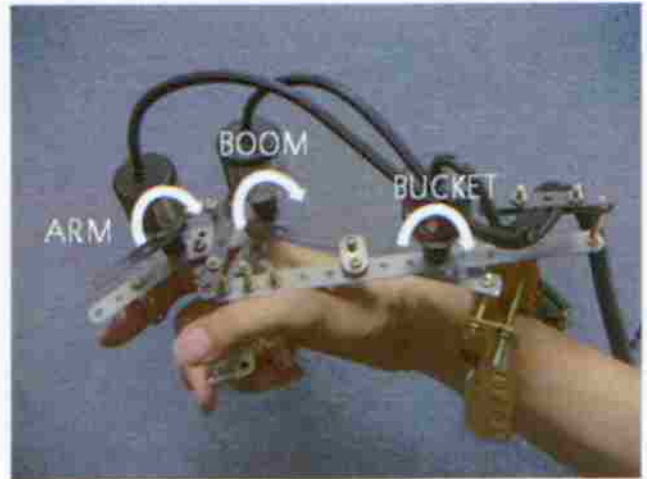


Fig. 2 The wearable joystick device

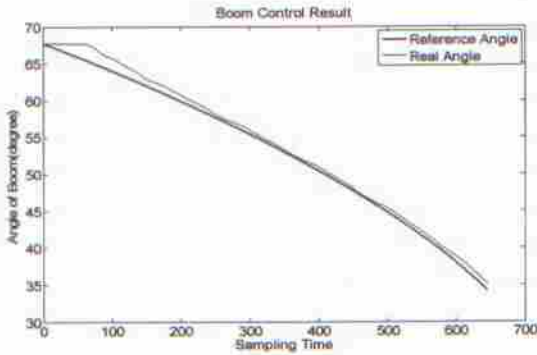
길이 정보를 받는다. 이렇게 수집된 정보는 컴퓨터에서 계산되어 굴삭기에 설치되어 있는 비례제어밸브로 신호를 보낸다. 비례제어밸브는 전류 PWM 방식으로 작동하며, 기계식으로 작동하는 기존의 유압굴삭기를 전기 신호에 의해 작동이 가능 하도록 하기 위해 설치 되었다.[2] 비례제어밸브로 보내진 신호에 의해 유압굴삭기가 작동하며, 유압굴삭기가 조종장치에서 원하는 대로 작동하는지는 앞에서 언급된 와이어 엔코더에서 측정된 길이를 피드백 받아서 확인한다.

3. 조종장치

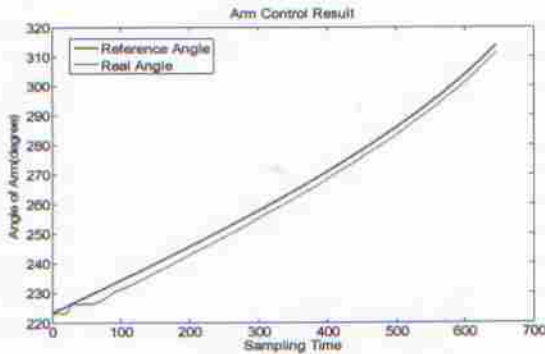
Fig. 2 는 유압굴삭기를 원격 조종하기 위해 제안된 조종장치이다. Fig. 2 에서 보여지고 있는 조종장치는 장갑처럼 손에 장착하여 조종하는 방식이다. 이 조종장치에는 3 개의 엔코더가 각 링크 사이의 관절에 설치되어 각도변화를 측정한다. 여기서 측정된 각도변화는 컴퓨터에서 계산되어 실제 굴삭기를 작동하기 위한 신호를 내보내게 된다.

조종장치의 구성은 인간 팔의 각 관절을 이용하여 만들었다. 팔로 굴삭기 모양을 흉내 내어 땅을 파던 것을 실제 조종장치로 만든 것이다. 각 관절에 엔코더를 장착하여 각 관절의 각도 변화에 의해 실제 굴삭기가 작동하도록 만들었다. 손가락 모양이 유압굴삭기의 붐, 암과 비슷한 모양이라 이 부분을 붐, 암을 조종하는 부분으로 연관시켰다. 손가락 마디의 두 관절을 굴삭기의 붐과 암의 동작과 연결시키고, 손목의 굽힘으로 버킷의 굽힘이 작동한다. 조종장치는 사람의 팔 모양과 굴삭기의 움직임이 비슷하게 움직이게 되어 있어서, 운전자가 직관적으로 조작이 가능하게 된다. 이로 인해 능숙한 운전자뿐만 아니라 기존에 굴삭기를 운전해 본적이 없는 사람도 굴삭기를 쉽고 빠르게 조종 가능하게 해준다.

4. 실험 및 결과

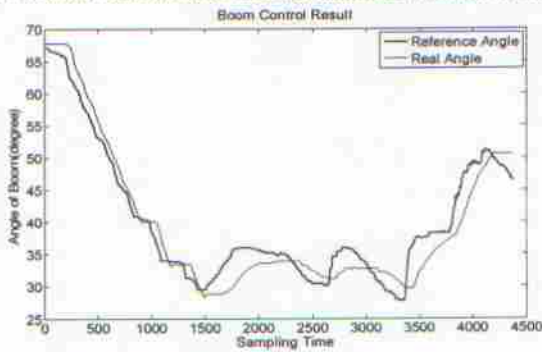


(a) PI control result of boom motion

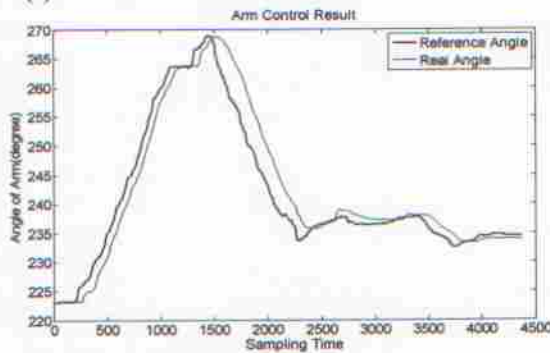


(b) PI control result of arm motion

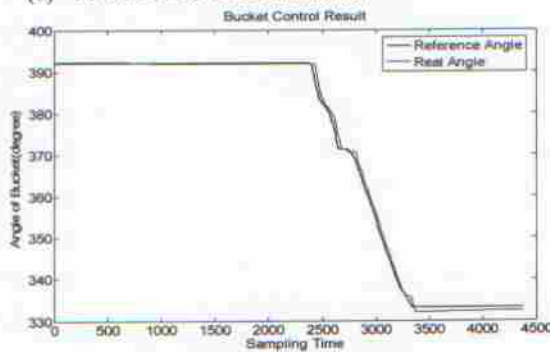
Fig. 3 Control result of each link for horizontal motion of excavator



(a) PI control result of boom motion



(b) PI control result of arm motion



(c) PI control result of bucket motion

Fig. 4 Control result of each link with joystick device

제안된 조종장치가 얼마나 우수한 성능으로 작동하는지 확인하기 위해 실험이 진행되었다. 먼저 첫 번째 실험은 붐, 암 각각의 링크들을 하나씩만 움직이는 것이다. 하나씩만 움직여서 각 링크들이 레퍼런스에 얼마나 잘 도달 하는지를 Fig. 3 에서 확인 할 수 있는 실험이다. Fig. 3 을 보면 붐과 암이 샘플링초반에는 레퍼런스를 따라 가지 못하지만, 시간이 지날수록 레퍼런스를 잘 따라 가며, 오차가 줄어드는 것을 확인 할 수 있다.

Fig. 4 는 조종장치를 이용하여 각각의 링크를 동시에 움직이고 있는 실험결과이다. Fig. 4(c)의 버킷의 경우 조종장치의 신호를 실제 굴삭기 버킷이 잘 따라 가는 것을 확인 할 수 있다. 하지만 이와 대조적으로 비례제어밸브에서 같은 밸브를 사용하는 붐의 경우, 조종장치 신호의 변화에 빠르게 응답 하지 못하는 특징을 보여 주고 있다. 붐만 움직이는 실험인 Fig. 3(a)의 경우에는 샘플링 중반 이후 레퍼런스를 잘 따르는 것을 확인 할 수 있지만, Fig. 4 와 같이 조종장치에서 신호의 변화를 많이 줄 경우에는 레퍼런스를 잘 따라 가지 못했다. 특히 붐을 올리는 동작의 경우에는 붐을 아래방향으로 내리는 동작보다 더 많은 오차를 보여 주고 있다. 같은 비례제어밸브를 사용하지만, 실험에 차이가 있으므로, 붐과 버킷 사이에 밀접한 관계가 있을 수 있다. 어떤 이유든지 현재 오차가 많이 나는 점을 개선 하기 위한 알고리즘 적용이 필요하겠다. 암 동작의 경우에는 붐 동작보다는 더 나은 성능을 보여주었지만, 여전히 개선되어야 한다. 붐과 암의 동작 중 특히 중력방향과 반대 되는 위로 올리는 동작에서 오차가 비교적 크게 생기는 것을 Fig. 4 에서 확인 하였다. 앞으로 이 문제를 개선하는 방향으로 연구가 진행되어야겠다.

5. 결론

본 논문에서는 해체 현장에서 사용되는 유압굴삭기의 운전자 안전과 유압굴삭기 운전에 능숙하지 않은 사람도 쉽게 운전가능하기 위한 원격 조종시스템이 제안 되었다. 그리고 실험을 통해 제안한 조종장치로 유압굴삭기 운전이 가능하다는 것을 보여 주었다. 실험과 결과를 통해서 앞으로 연구를 진행함에 있어, 더 개선해야 할 사항도 확인하였다. 유압굴삭기가 비선형 시스템이기 때문에 기존의 제어 시스템을 적용하기가 어렵지만, 앞에서의 문제점을 개선하여, 빠른 응답 속도를 보여줄 수 있도록 추가 연구를 진행할 계획이다.

후기

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

참고문헌

1. Frankel, J. G., "Development of a Haptic Backhoe Testbed," A Thesis of Master of Science, School of Mechanical Engineering Georgia Institute of Technology, 2004.
2. 오경원, 김동남, 홍대회, 김윤기, 홍석희, "유압굴삭기의 원격 조종을 통한 위한 버킷 위치 제어 시스템 설계," 한국 정밀공학회 추계학술논문집, 435-436, 2008.