

굴삭기 파라미터 추정을 통한 힘 반향 햅틱 장치 설계 Design of a Force-Feedback Haptic Device with Estimation of Excavator Parameter

*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, Haptic Device, Parameter Estimation

1. 서론

굴삭기는 건물 해체현장과 건축현장 등 다양한 현장에서 쓰여지고 있다. 이러한 현장에서 굴삭기는 운전자의 안전이 보장되지 않는 경사면이나 붕괴위험이 있는 건물 등 위험한 환경에서 작업을 한다. 본 연구에서는 위험한 현장 환경에서 일을 하는 운전자의 안전을 보장하기 위해, 햅틱 원격 조종장치를 제안한다.

햅틱 조종장치는 원거리에서 원격 조종하고 있는 운전자가 위험한 현장의 느낌을 분명하게 느낄 수 있도록 전달해야 한다. 이를 위해 로봇형 굴삭기가 필요하고 굴삭기에 전자 제어 시스템을 적용한 연구가 진행되어 왔다.[1] 전자 제어 시스템의 제어 정확성을 높이기 위해 로봇형 굴삭기의 각 링크의 무게와 무게 중심의 위치와 같은 파라미터 값이 필요하다. 하지만 굴삭기 파라미터의 정확한 값은 알 수가 없기 때문에 이를 실험을 통해서 추정하는 연구가 진행되어 왔다.[2]

본 논문에서는 굴삭기 파라미터 추정을 통한 힘 반향 햅틱 장치 설계에 대해 다룬다. 2 장에서는 실험을 위한 시스템에 대해 다루고, 3 장에서는 굴삭기 파라미터 값을 추정하기 위한 실험과 결과에 대해 다루며, 4 장에서는 햅틱 장치에 대해 다루며, 마지막으로 5 장에서는 결론을 다룬다.

2. 굴삭기 시스템 구축

실험에 사용한 굴삭기는 Fig. 1의 두산 인프라코어의 SOLAR 015 모델이다. 전자신호로 굴삭기를 작동 시키기 위해 유압 시스템에 비례제어 밸브를 설치 하였다. 비례제어 밸브의 작동은 앰프로 나오는 전류신호로 작동한다. 앰프는 산업용컴퓨터에서 나오는 전압 신호를 PWM 전류신호로 바꿔 밸브로 보낸다.

굴삭기의 붐, 암, 버킷의 자세를 알기 위해 굴삭기 각

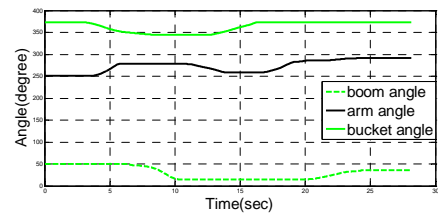


Fig. 1 Excavator system for experiment

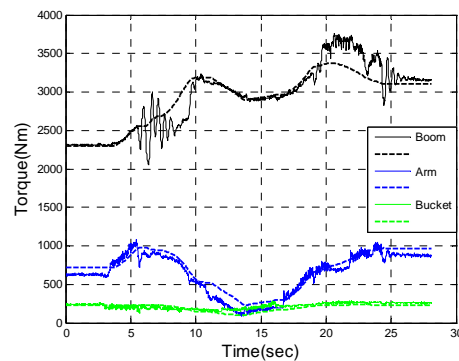
실린더에 와이어 엔코더를 설치하여 실린더 길이 변화와 기구학 해석으로 굴삭기 각 링크들의 각도를 확인 한다. 그리고 굴삭기 각 유압실린더 입출구에 압력센서를 설치하여, 총 여섯 곳에서 압력 값을 측정한다. 산업용컴퓨터에는 ADLINK사의 PCI-8136 DAQ가 설치되어 앰프로 전압 신호를 내보내고, 와이어 엔코더로부터 값을 얻는다. 또, 산업용컴퓨터에는 NI사의 PCI-6024E를 설치하여 압력센서로부터 압력 값을 얻는다.

3. 굴삭기 파라미터 추정

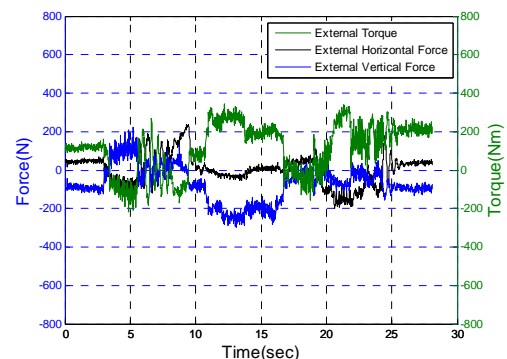
굴삭기의 움직임을 원활하게 제어하기 위해 굴삭기의 파라미터 값이 필요하다. 하지만 대부분의 파라미터 값은 알려져 있지 않아서 실험을 통해서 추정을 해야만 한다.



(a) Angle of each link



(b) Torque of each joint



(c) Estimation of external force and torque at bucket tip

Fig. 2 Result of noload experiment

굴삭기에 힘을 가하지 않은 상태에서 Fig. 2(a)와 같이 붐, 암, 버킷을 움직이면서 실험을 한다. Fig. 2(b)의 실선 그래프는 각 조인트에 생기는 토크를 각 실린더에서 발생한 힘으로 계산하여 측정된 값이다. 또한 점선은 추정된 파라미터로부터 계산된 토크를 나타내고있다. 추정된 파라미터를 이용해 Fig. 2(c)에서는 버킷 끝점에 작용하는 힘과 토크를 나타낸다. 버킷 끝점에 작용하는 힘과 토크가 거의 0 값인 것을 확인 가능하다. 이를 통해서 위에서 추정된 파라미터 값의 정확성을 유추 할 수 있다.

4. 파라미터 추정을 통한 힘 반향 햅틱장치

Fig. 3은 버킷 끝에 46kg의 추를 달아 놓고 붐을 올리는 동작을 하면서 실험한 그래프이다. Fig. 3(a)에서 각 링크의 점선은 추정된 파라미터를 사용하여 계산에 의해 그려진 그래프이고, 실선은 압력센서 측정을 통한 실험에 의해 그려진 그래프이다. 버킷에 어떤 힘도 작용하지 않으면 실선은 점선과 같은 형태로 움직여야 하지만, 버킷에 힘이

작용하면서, 각각의 조인트에 토크의 변화가 생기게 된다. 버킷과 암 조인트에는 토크의 영향이 적지만, 힘이 실리는 위치와 멀리 떨어진 붐 조인트에는 큰 영향을 주는 것을 Fig. 3(a)를 통해서 확인 할 수 있다. 이 두 그래프의 차이로 Fig. 3(b)와 같이 실제 버킷 끝점에 작용하는 힘의 크기와 토크를 추정한다. 실제 버킷 끝점에 작용하는 힘의 크기는 지면과 수직인 방향으로 460N 이고, 파라미터 추정에 의한 실험 데이터는 지면과 수직인 방향으로 600N의 크기를 보여 준다. 앞으로 오차를 보완하고 굴삭기 파라미터 추정을 보다 더 정확하게 하기 위해 마찰과 속도 등을 고려해야 할 것이다.

Fig. 4는 햅틱 조종장치로 운전자의 편의를 위해 굴삭기의 붐, 암, 버킷의 형태와 유사한 형태로 설계하였다. 각 조인트 모터에 부착되어 있는 엔코더를 이용하여 굴삭기를 운전한다. 팔꿈치로 붐을 조작하고, 손목으로 암을 조작하고, 검지 손가락으로 버킷을 조작한다. 운전자가 원거리에서 조종장치를 이용하여 굴삭기를 운전 할 경우에 비전 정보 만으로는 현장 정보를 얻는데 한계가 있을 수 있다. 따라서 비전 정보 뿐만 아니라 굴삭기 실린더에 설치된 와이어 엔코더를 통해서 각 링크의 자세 정보를 피드백 받고, 이 논문에서 추정된 굴삭기 파라미터를 이용하여 Fig. 3(b)와 같은 굴삭기 끝점에서 받는 힘, 조인트 토크도 피드백 받는다. 이를 햅틱장치 각 조인트에 설치된 모터로 토크의 크기와 힘의 방향을 운전자에게 알려준다.

햅틱 장치의 파라미터 값이 모든 굴삭기의 파라미터 값에 맞게 설계 될 수 없다. 모든 굴삭기에 적용하기 위해서는 사용하는 굴삭기 각각의 파라미터 값이 Fig. 2와 같이 추정을 통해 구해지고 굴삭기의 특성을 바탕으로 컴퓨터 프로그램 상에서 보상이 이루어 져야 한다. 실험을 통한 로봇형 굴삭기의 파라미터 추정 값과 햅틱장치 파라미터와의 차이를 프로그램 보상과정을 거쳐서 햅틱 장치에 적용한다.

5. 결론

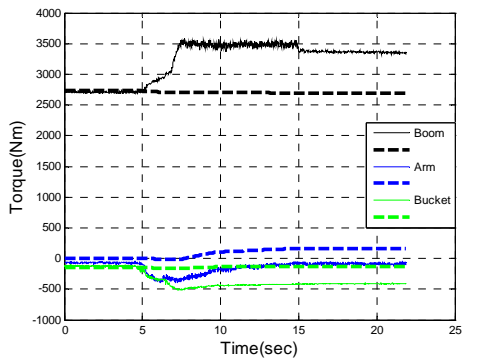
본 논문에서는 파라미터 추정을 통한 햅틱 장치 설계를 다루고 있다. 굴삭기 파라미터 추정 후, 굴삭기에 가해진 힘 또한 추정한다. 추정된 힘은 햅틱 장치로 굴삭기를 운전하고 있는 운전자에게 힘 반향 정보를 알려준다. 이는 원거리에서 굴삭기를 운전하는 운전자에게 굴삭기에 설치되어 있는 비전 정보뿐만 아니라 그 외 현장의 다양한 정보를 주는 효과를 준다. 이 연구를 통해 굴삭기의 원거리작업으로 작업 능률이 떨어 지는 점을 보완할 수 있을 것이다.

후기

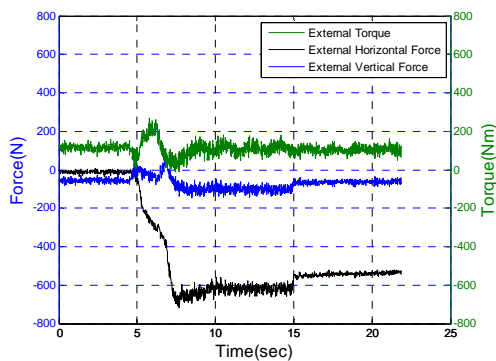
본 연구는 국토해양부 건설핵심기술연구개발사업의 연구비지원(과제번호 "06 건설핵심 B04")과 BK21 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 오경원, 김동남, 홍대회, 김윤기, 홍석희, "유압굴삭기의 원격 조종을 통한 위한 버킷 위치 제어 시스템 설계," 한국 정밀공학회 춘계학술논문집, 435-436, 2008.
2. Shahram Tafazoli, Perter D. Lawrence, and S. E. Salcudean, "Identification of Inertial and Friction Parameters for Excavator Arms" in Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Automat., 1999, Vol. 15, No.5



(a) Torque of each joint



(b) Estimation of external force and torque at bucket tip

Fig. 3 Result of load experiment

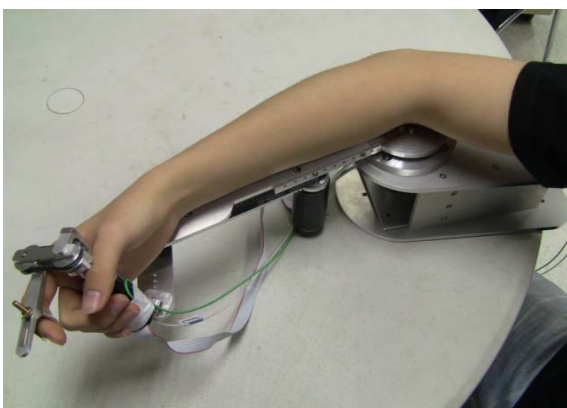


Fig. 4 Haptic device for excavater