

굴삭기 크러셔 조종을 위한 햅틱 장치 설계 Design of A Haptic Device for Crusher Attachment of Excavator

오경원¹, *김동남², #홍대희³, 박종협⁴

K.W. Oh¹, *D.N. Kim², #D.H. Hong(dhhong@korea.ac.kr)³, J.H. Park⁴

^{1,2} 고려대학교 기계공학과 대학원, ³ 고려대학교 기계공학과, ⁴ ㈜ 내경엔지니어링

Key words : Haptic Device, Dismantling Process, Crusher, Excavator

1. 서론

현대 사회의 건설 현장을 살펴 보면 건물이 낡거나 새로 건물을 지을 토지가 부족하여 재건축 하는 모습을 쉽게 찾아 볼 수 있다. 이때 주로 사용되는 해체 공법으로는 여러 가지가 있지만 굴삭기에 크러셔 장착을 하는 방법이 가장 많이 사용되고 있다. 그러나 이러한 경우 운전자가 직접 탑승하여 굴삭기를 조종 하기 때문에 운전자가 안전사고에 노출되기 쉽다. 그러나 이러한 단점은 원격조종을 이용한 해체작업으로 이를 보완할 수 있기 때문에 Frankel⁽¹⁾과 Hirabayashi⁽²⁾에 의해 굴삭기 원격 조종 장치가 개발 되어 왔고 계속 연구 중에 있다.

본 논문에서는 해체 장비에서 많이 사용되는 크러셔 조종 장치를 다루고자 한다. 이 장치는 크러셔의 구동만 가능하기 때문에 다른 기본적인 굴삭기 원격 조종 장치와 함께 사용됨을 기본으로 한다. 이 장치는 사용자가 쉽게 이해하고 사용할 수 있도록 기본적인 크러셔의 형태와 매우 유사하게 설계되었다. 또한 해체 작업을 하는 동안 조종자가 크러셔에 작용하는 반력을 파악할 수 있도록 힘 반향 제어에 관해 다루고 기구학 해석을 통해 장치의 작동 원리를 설명하며 MATLAB 을 통한 시뮬레이션을 수행하였다.

2. 굴삭기 크러셔 구조

해체 현장의 여러 제약 조건으로 인해 대부분의 작업이 중장비를 통해 이루어지기 때문에 굴삭기에 장착된 크러셔는 작업 과정에서 매우 중요한 역할을 한다. 크러셔는 크기와 종류에 따라 철근을 자르기도 하고 콘크리트를 부수는 역할을 한다. 본 논문에서 다루는 크러셔는 해체 현장에서 가장 많이 볼 수 있는 가장 기본적인 형태에 대해서 다룬다. 굴삭기에 부착할 수 있는 크러셔의 구조는 매우 다양하지만 가장 많이 사용되는 크러셔의 구조는 Fig. 1 과 같다. 굴삭기에 부착된 크러셔는 집게 모양으로 생겼으며 굴삭기 운전자의 조종에 따라 크러셔 양 옆에 부착되어 있는 유압실린더의 작동을 통해서 절거하고자 하는 대상을 집거나 놓는 구동을 한다. 크러셔의 집게 부분의 바깥 부분은 콘크리트와 같은 부재의 절거와 해체에 유리하게 뚝니 모양으로 되어 있고 집게 부분의 안쪽 부분은 해체되는 콘크리트 안의 철골 구조를 절단하는데 용이한 구조를 가지고 있다.



Fig. 1 Crusher attachment of excavator

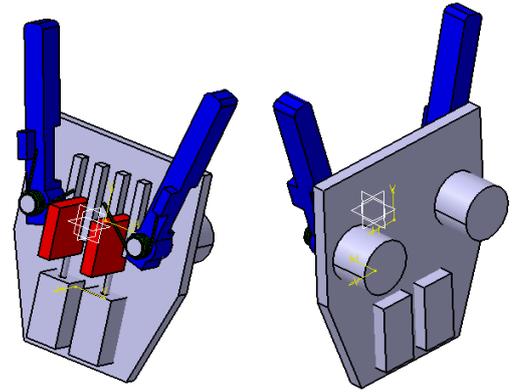


Fig. 2 Design of haptic device

3. 햅틱 장치 디자인 개념도

햅틱 장치의 양쪽 핸들 부분을 안쪽으로 이동시키면 크러셔의 집게 부분이 안쪽으로 움직이고 핸들을 바깥으로 이동시키면 집게 부분이 바깥쪽으로 벌어지는 동작을 한다. 설계된 햅틱 장치는 Fig. 2 와 같은 형태이며 내부에는 토션스프링과 원형가변저항, 서보모터가 장착 되어 있다. 만약 크러셔가 물체를 집지 않고 단순히 집게를 움직이는 동작만 한다면 핸들을 안쪽으로 조작했을 경우 토션스프링의 형태를 유지하면서 서보모터와 연결 되어 있는 보조링크를 아래로 움직이게 되고 반대의 동작을 하는 경우에도 토션스프링의 형태는 유지된 상태로 초기 위치로 돌아오게 된다. 여기서 핸들의 회전에 따라 집게의 구동이 결정되고 가변저항 값의 변화에 따라 이를 제어하게 된다. 실제 작업을 하는 경우 크러셔에 반력이 작용할 때 핸들을 움직였을 경우 서보모터가 보조링크를 밀어 올리는 작용을 하고 토션스프링의 각도가 변화하면서 동작을 한다. 이 경우 힘의 반력이 크지 않다면 핸들과 연결된 토션스프링이 보조링크를 아래로 내리면서 크러셔의 작동을 조종하고 각도 변화를 통한 토션스프링의 모멘트 증가로 조종자가 크러셔에 반력이 작용한다는 것을 감지 하게 된다. 만약 작업이 힘들 정도의 큰 반력이 크러셔에 작용하게 된다면 서보모터가 보조링크를 위로 이동시켜 토션스프링에 의한 보조링크의 이동을 막아 크러셔를 보호하고 조종자에게 힘 반향을 느끼게 하여 보다 안전하고 효율적인 해체 작업을 할 수 있도록 설계하였다.

4. 햅틱 장치 기구학 해석

햅틱 장치를 물체를 집지 않고 조종한다면 Fig. 3 에서 토션스프링의 각도 $(\alpha + \beta)$ 는 일정하게 유지되면서 점 o 를 중심으로 토션스프링의 회전에 따라 b 의 값이 변한다. 만약 해체 작업 시 크러셔에 매우 큰 반력이 작용하였을 경우에는 핸들을 조종해 β 값을 변화를 시키더라도 b 의 값이 일정하게 유지된다. 장치를 작동시킬 때 b 값은 α 값과 α, β 의 관계, 토션스프링의 모멘트 값을 통해 제어가 가능하다. 여기서 각도 α 와 발생하는 토션스프링의 스프링 상수와 입력각에 따른 토션스프링의 모멘트는 다음 식을 통해 구해진다.⁽³⁾

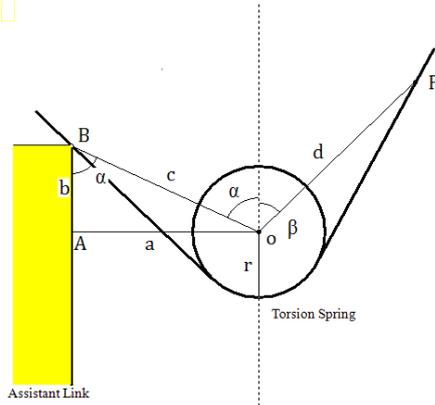


Fig. 3 Kinematics of haptic device

(E: Young's modulus, d_s : 선경, N_t : 스프링 회전 수)

$$\alpha = \text{atan}\left(\frac{a}{b}\right) \quad (1)$$

$$k_t = E \times d_s^4 \div \{3667 \times r \times N_t + 389(c + d)\} \quad (2)$$

$$M = k_t \times \Delta\beta \quad (3)$$

5. 시뮬레이션

앞에서 언급한 기구학 해석과 토션스프링의 초기 설계 값들을 바탕으로 다음과 같은 경우에 입력각(β)과 보조링크의 높이(b), 토션스프링의 모멘트(M) 관계를 다음과 같은 경우에 대해 MATLAB을 통해 시뮬레이션 하였다.

1. 물체를 집지 않고 크러셔 작동만 했을 경우
2. 초기 상태에 물체를 집고 있어 반력이 가해지는 경우
3. 물체를 집는 과정에서 반력이 가해지는 경우

첫 번째 경우 Fig. 4를 통하여 알 수 있듯이 물체를 집지 않고 크러셔의 작동만 이루어졌을 경우 입력각이 변하지만 토션스프링의 각도($\alpha + \beta$)는 일정하게 유지되면서 모멘트는 발생하지 않고 보조링크만 아래로 이동하게 된다.

두 번째 경우는 처음부터 크러셔에 반력이 가해지기 때문에 Fig. 5를 보면 핸들의 조종을 통해 입력각이 변하지만 햅틱 장치 안의 보조링크는 움직이지 않고 토션스프링에 의한 모멘트만 증가하는 것을 알 수 있다.

세 번째 경우를 살펴보면 다음과 같다. Fig. 6는 처음에는 물체는 집히지 않고 크러셔만 움직이다가 물체를 집는 순간 입력각에 대한 보조링크의 높이와 토션스프링의 모멘트 관계를 나타낸다. 그림을 보면 알 수 있듯이 물체를 집기 전엔 Fig. 4와 비슷하게 진행된다가 입력각이 15° 정도 되었을 때 물체를 집으면서 반력이 생겨 보조링크는 움직이지 않고 토션스프링에 의한 모멘트가 증가하게 된다.

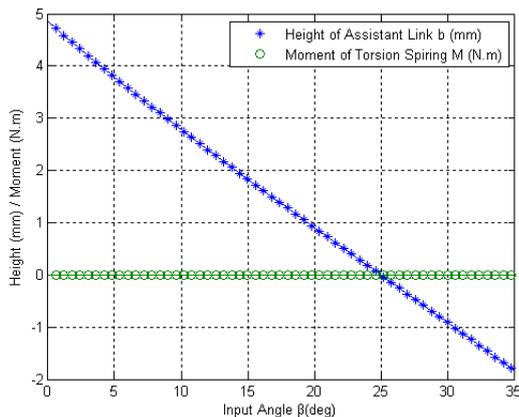


Fig. 4 Case 1 : Moment graph of haptic handle without gripping the object

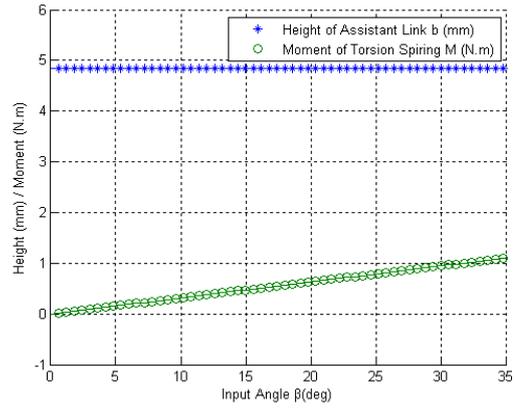


Fig. 5 Case 2 : Moment graph of haptic handle with initial reaction force

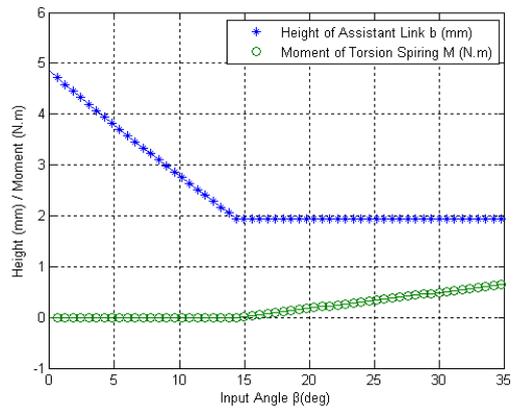


Fig. 6 Case 3 : Moment graph of haptic handle while gripping the object

6. 결론

본 논문에서는 해체 작업에서 가장 많이 사용하는 크러셔 장비의 원격 조종을 통하여 운전자의 안전과 편의를 위한 햅틱 장치를 고안하였다. 장치의 기구학 해석을 통해 제어하고자 하는 대상의 움직임을 시뮬레이션을 통해 살펴 보았으며 크러셔와 비슷한 형상의 설계로 운전자로 하여금 쉽게 조종할 수 있게 하였고, 토션스프링을 통해 힘 반향을 조종자가 느낄 수 있도록 설계하였다.

향후 토션스프링이 보조링크를 누를 때 발생하는 탄성 오차와 정확한 가변저항 값의 설계를 통해 서보모터의 구동에 대한 분석을 필요로 한다. 더 나아가 크러셔의 모델링을 통한 장치의 구동을 확인해보고 실제로 제작하여 제어하는 연구를 추가적으로 수행해야 할 것이다.

후기

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

참고문헌

1. J. G. Frankel, "Development of a Haptic Backhoe Testbed", A Thesis of Master of Science, School of Mechanical Engineering Georgia Institute of Technology, 2004.
2. T. Hirabayashi, J. Akizono, T. Yamamoto, H. Sakai, H. Yano, "Teleoperation of construction machines with haptic information for underwater applications", Automation in Construction, 15, 563~570, 2006.
3. Carlson, Harold, "Spring designer's handbook", New York : M. Dekker, c1978.