

굴착기 무인 조종을 위한 장착형 조작기 설계 Design of Installation Type Manipulator for Hydraulic Excavator

*박형준¹, 류병갑¹, 강민성², #한창수¹

*Hyung-Jun Park¹, Byung-Gab Ryu¹, Min-Sung Kang², #Chang-Soo Han(cshan@hanyang.ac.kr)¹
¹ 한양대학교 기계공학과, ² 한양대학교 메카트로닉스공학과

Key words : Hydraulic Excavator, Installation Type Manipulator, Transmission Mechanism

1. 서론

경사지나 연약지반, 건물 철거 작업현장, 자연재해 지역, 폐기물 매립지역 등의 위험하고 유해한 환경에서 운용되는 건설 장비의 경우 조종자도 마찬가지로 위험에 노출되므로 작업에 있어 한계가 있다. 이러한 위험한 환경에서의 건설 장비를 운용함에 있어 무인 원격 조종 기술은 반드시 필요하다. 기존의 원격 조작 시스템은 복잡한 기계 시스템을 이용하였다. 이에 따라 장비 무게가 무겁고 원래의 장비보다 커서 이동성이 매우 떨어지며, 진동에 취약하다[1].

Table 1 Type of the remote control system of construction machine

유형	변환형 로봇	장착형 로봇
개념	기계 자체를 원격 조종 시스템으로 변환한다.	기존의 건설 장비에 장착하여 원격 조종한다.
장점	<ul style="list-style-type: none"> 유압시스템의 전자제어를 통해 제어 성능이 좋다. 	<ul style="list-style-type: none"> 변환형 로봇이 갖는 단점을 해결할 수 있다.
단점	<ul style="list-style-type: none"> 현장에서의 이동이 불편하다. 기존의 시스템보다 크고, 유형과 대수의 제한이 있다. 개발 비용이 높다. 	<ul style="list-style-type: none"> 변환형 로봇에 비해 제어 성능이 떨어진다.

이러한 건설 장비의 원격 조종 시스템의 연구와 개발은 크게 Table 1 과 같이 두 가지 방법으로 나눌 수 있다. 변환형 로봇 시스템의 단점을 보완하고자 장착형 로봇 시스템이 개발되고 있는데, 그 예로 Fig. 1 과 같이 공압 실린더와 공압 액츄에이터를 사용하여 구동시키는 로봇암 형태의 “Robo Q[2]”, “Pneumatic robot system”, 그리고 휴머노이드 형태의 로봇 “HRP-1(s)[3]” 등이 개발되고 있다. 그러나, “Robo Q”나 “Pneumatic robot system”과 같은 로봇암 형태의 시스템은 중량이 크고, 장착하는데 많은 시간이 소요된다. 또한, 시스템을 구동시키기 위해 필요한 여러 가지 부수적인 장비들이 탑재되어야 하므로 휴대성이 떨어지는 단점도 있다. “HRP-1(s)”의 경우 연구 개발이 진행 중이나 작업 목적에 비해 높은 사양의 로봇을 개발하여 비용이 매우 높다.

굴착기는 건설 기계에서 가장 다양한 분야에 쓰이고 있는 중요한 시스템이다. 따라서 본 연구에서는 앞서 제시한 시스템에 대한 단점을 보완하여 휴대성이 용이하고, 장착 시간을 단축시킬 수 있는 유압 굴착기를 위한 무인 조종 장착형 조작기를 제안한다.

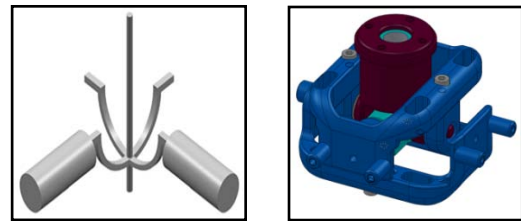
2. 장착형 조작기의 설계 인자

본 연구에서 설계한 장착형 조작기는 굴착기 레버와 동일한 자유도를 확보하여 굴착기를 구동시킬 수 있으며, 굴착기 레버의 동작범위를 만족시킬 수 있도록 구현하였다. 또한, 굴착기 레버의 회전각도와 조작기에 사용되는 볼-조인트와의 기구적인 관계를 통해 조작기의 위치를 결정하였다.



(a) Robo Q (b) Pneumatic Robot System (c) HRP-1(s)

Fig. 1 Case of installation type robot



(a) Single-yoke type (b) Multi-yoke type

Fig. 2 Type of transmission mechanism

2.1 전달 메커니즘(Transmission Mechanism)

실제 굴착기가 6-D.O.F 이상의 제어 레버를 가지고 있으나, 하나의 단위 움직임에는 통상 2~3 개 이하의 액츄에이터가 동시에 움직이므로, 조작기는 4-D.O.F 를 확보하면 된다.

일반적으로 전달 메커니즘은 연결형과 분리형으로 분류할 수 있고, 분리형은 다시 직접 전달 메커니즘과 간접 전달 메커니즘으로 분류된다[4]. Fig. 2 (a)와 같은 단일 이음쇠 형태는 구조가 간단한 장점이 있으나, 중심 이음쇠가 움직일 때, 두 연결부가 서로 접촉하는 단점을 가진다. 조작기를 통하여 굴착기 레버의 동작을 자유롭게 구현하기 위하여 본 연구에서는 Fig. 2 (b)와 같은 다중 이음쇠 형태의 전달 메커니즘을 채택하였다. 이러한 형태의 메커니즘은 두 연결부의 접촉을 제거함으로써 간섭을 완화시키고, 두 연결부 사이의 마찰을 감소할 수 있는 이점이 있다.

2.2 조작기의 위치 선정

조작기의 최적의 위치를 찾기 위하여 Fig. 3 과 같이 조작기와 볼-조인트, 굴착기 레버간의 기구적인 관계를 통하여 굴착기 레버와 조작기의 위치를 선정하였다. 이 시스템의 특징은 굴착기 레버의 회전축과 조작기의 구동 회전축을 동일선상에 일치시키면, 조작기의 구동 축은 볼-조인트와의 거리가 작을수록 정밀도가 높은 반면에 볼-조인트의 측면에서는 조작기와의 거리가 클수록 정밀도가 높게 된다. 따라서, 이와 같은 상반된 조건에서 최대의 정밀도를 가질 수 있도록 다음과 같은 기구학적인 관계를 이용했다.

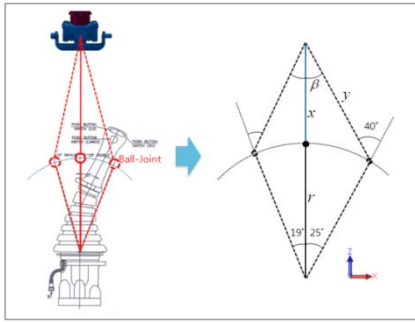


Fig. 3 Dynamic model of ball-joint mechanism

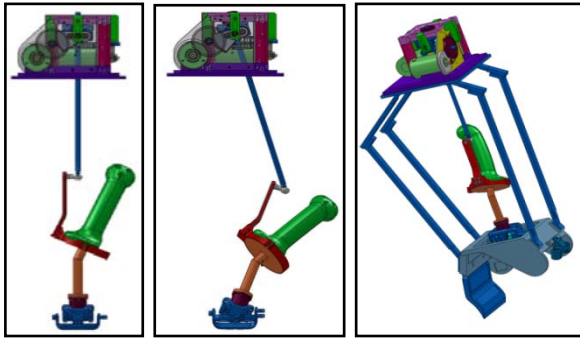


Fig. 4 Design of installation type manipulator

굴착기 레버의 회전각은 “single 19°”, “double 25°” 이며, 볼-조인트의 회전각은 ±40°이다. 굴착기 레버의 회전축과 볼-조인트 사이의 거리를 r 이라 하고, 레버가 최대 20° 움직일 때, 볼-조인트도 최대 40° 회전한다고 하면, Fig. 3 과 같이 기하학적인 관계에 의해 $\beta=15^\circ$ 이고, 다음과 같은 관계식을 구할 수 있다.

$$\frac{r}{\sin 15^\circ} = \frac{x+r}{\sin 140^\circ} = \frac{y}{\sin 25^\circ} \quad (1)$$

(1)식을 통해 볼-조인트와 조작기 회전축과의 거리 x, y 를 구할 수 있으며, 볼-조인트 링크의 구동시 병진거리를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} x &= 1.484r \\ y &= 1.633r \\ \text{Let, } y &= x + \Delta x \\ \Delta x &= 0.149r \end{aligned} \quad (2)$$

조작기와 레버의 회전축 사이의 거리를 L 이라 하고, 굴착기 레버와 볼-조인트의 움직임 공간을 간섭하지 않기 위한 여유거리를 α 라고 하면,

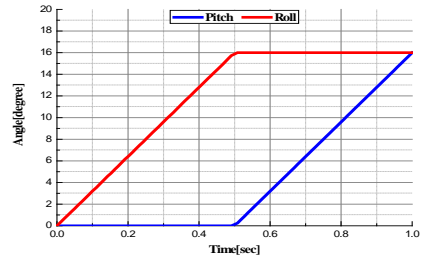
$$L = r + x + \alpha \quad (3)$$

따라서, 식 (1), (2), (3)을 통해 최대의 정밀도를 얻을 수 있는 조작기의 위치를 선정할 수 있다.

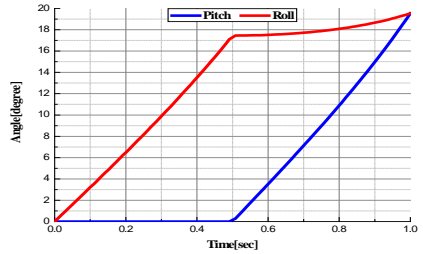
3. 장착형 조작기의 설계 및 시뮬레이션

장착형 조작기를 설계 하기 위해 가장 중요하게 고려한 것은 휴대성을 용이하게 하고, 장착시간을 단축시키며 개발 비용을 절감하는 것이다. 전달 메커니즘과 조작기의 위치 선정과 같은 인자를 통해 설계한 장착형 조작기는 Fig. 4 와 같다.

이 장치는 굴착기 조종석 내의 컨트롤 스테이션에 거치하여 굴착기 레버를 조작할 수 있도록 설계하였다. 조작기를 컨트롤 스테이션에 바로 거치함으로써, 컨트롤 스테이션의 움직임에 영향을 받지 않으며 장착시간을 단축할 수 있는 장점이 있다.



(a) Angle of manipulator link



(b) Angle of lever

Fig. 5 Result of simulation for ball-joint mechanism

본 연구에서 설계한 장착형 조작기의 볼-조인트 메커니즘을 동역학 해석 툴을 이용하여 검증하였다. 조작기 링크의 회전각도에 대한 굴착기 레버의 회전각도는 Fig. 5 와 같다. 앞 절에서 제시한 기구학적인 관계를 통해 레버의 회전축과 조작기의 구동축 사이의 거리를 425[mm]로 하여 회전각도를 산출하였다.

4. 결론

본 연구에서는 건설 현장에서 가장 활용도가 높은 유압형 굴착기의 안전사고를 방지하기 위한 장착형 무인 원격 조작기를 제안하였으며, 설계하였다. 이 시스템은 기존의 시스템의 단점을 보완하여 휴대가 용이하고, 장착시간을 단축하며, 제작비용을 절감할 수 있다. 또한 다중 이음쇠 형태의 전달 메커니즘을 통해 연결부의 간섭과 마찰을 최소화시켰으며, 볼-조인트 메커니즘을 통해 굴착기 레버를 조작할 수 있는 메커니즘을 구현하였다.

향후 실험을 통해 설계한 조작기를 실제 제작하여 유압식 굴착기에 장착하여 성능평가를 진행할 예정이다. 또한, 본 연구에서 진행되지 않은 원격에서 굴착기를 이동시키는 모바일 기능의 폐달에 대한 장착형 조작기를 설계하여 굴착기의 전반적인 무인 원격 시스템을 개발할 것이다.

후기

본 연구는 건설교통부 건설기술혁신사업의 연구비지원(06 첨단융합 C01)및 과학기술부 우수연구센터육성사업인 한양대학교 친환경연구센터의 지원(R11-2005-056-03003-0)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. TAKAHIRO SASAKI, KENJI KAWASHIMA, "Development of a remote control system for construction machinery for rescue activities with a pneumatic robot," Advanced Robotics, Vol. 20, No. 2, pp. 213-232(2006)
2. Minamoto, "Development of a portable tele-operated robot for the manipulation of a backhoe shovel for the restoration of disaster stricken sites," SPIE(1999)
3. H.Hasunuma et al., "A tele-operated Humanoid Robot Drives a Lift Truck," Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.2246-2252(2002)
4. WEI-CHING LIN, KUU-YOUNG YOUNG, "Design of Force-Reflection Joystick System for VR-Based Simulation," Journal of Information Science and Engineering 23, pp. 1421-1436(2007)