

착용형 로봇의 중량물 핸들링을 위한 유압 액추에이터 힘제어 연구 A study on the force control of a Hydraulic actuator for Exoskeletons Robot Suit

*#김효곤¹, 이종원², 장재호¹, 한창수³, 박상덕¹

*H. G. Kim¹(kimhg@kitech.re.kr), #J. W. Lee², J. H. Jang¹, C. S. Han³, S. D. Park¹

¹ 한국생산기술연구원 로봇기술연구부, ²과학기술연합대학원대학교 지능형로봇공학과, ³한양대학교 기계공학과

Key words : Robot Suit, Exoskeleton, Force control

1. Introduction

인체의 잠재력을 확장하기 위해 인공장치를 이용하는 생체공학은 오랜 역사를 가지고 있다. 예를 들어 아라비아인에 의해 개발된 안경 역시 인공장치에 의한 인체 기능의 보완 혹은 확장이라고 할 수 있다. 현재 로봇기술의 발달과 함께 기계장치가 인체와 결합하는 로봇 슈트 연구가 진행되고 있다 [1].

로봇 슈트의 대표적인 연구로 미국 버클리 대학 기계공학과 H. Kazerooni 교수 팀이 로봇 슈트인 BLEEX(Berkeley Lower Extremity Exoskeleton)를 1990년도부터 지속적으로 연구하고 있다. 이 로봇은 군사용으로 개발되었고 8개의 선형 유압액추에이터를 사용하여 인간의 하지 힘을 증폭한다. SARCOS 사의 WEAR (Wearable Energetically Autonomous Robot) 역시 군사용으로 개발되었으며 6개의 회전형 유압액추에이터를 사용하여 인간의 하지 힘을 증폭한다.

유압 시스템은 부피 대비 큰 힘을 내는 장점을 가지고 있으므로 로봇 슈트에 적용하면 인간의 힘을 크게 증폭할 수 있다. 그러나 마찰, 오일의 온도에 따른 압축성 변화, 그리고 유압 밸브의 동특성 등 유압 시스템이 갖는 비선형성으로 인해 정교한 제어가 쉽지 않다. 이 유압 시스템의 정밀한 제어 방법으로 힘 제어 방법이 많이 사용되며, 이것의 적용을 위해서는 힘 센서가 요구된다.

본 연구에서는 로봇슈트의 유압액추에이터를 정밀 제어하기 위해 유압 동역학과 힘제어 모델링을 수행하고 1축 실험 장치를 제작하여 적용함으로써 성능을 검토하였다.

2. Valve and Actuator Model

서보 밸브는 Fig. 1과 같이 액추에이터로 유량을 제어하는 역할을 한다. 이러한 서보밸브는 솔레노이드 코일과 몸체, 스펴로 크게 이루어져 있다. 솔레노이드 코일의 전류량을 조절함에 따라 스펴이 움직여 A, B 액추에이터 포트가 공급(Supply), 탱크측(Return) 포트에 연결되는 열림량이 조절되어 각 포트에 흐르는 유량의 변화가 생긴다.



Fig. 1 Servo Valve

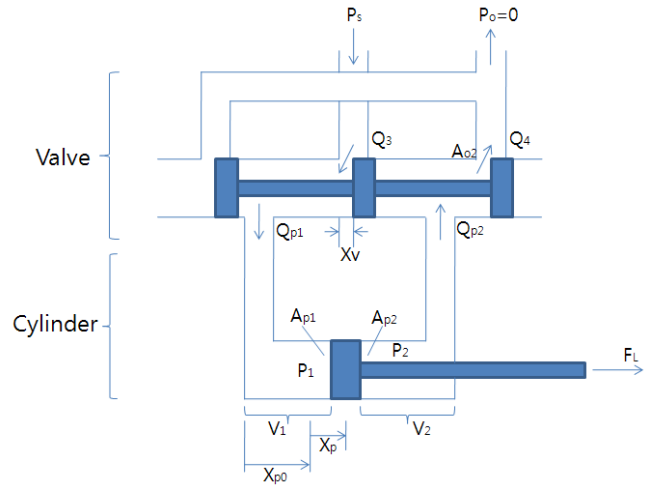


Fig. 2 Valve and cylinder model

Fig. 2는 밸브와 복동 단로드 실린더의 모델이다. 서보밸브에서 각 포트에 흐르는 유량의 제어 방정식은 식(1)과 같다 [2][3].

$$Q_L = C_d A_o(x_v) \sqrt{\frac{1}{\rho} (P_s - \frac{|x_v|}{x_v} P_L)} \quad (1)$$

여기서, Q_L 는 서보 밸브에서 액추에이터로 흐르는 유량 [m^3/sec], P_s 는 펌프의 공급유량 [kgf/m^2], C_o 는 밸브 오리피스 계수이다.

입력 전류와 스펴 위치의 관계식은 식 (2)와 같다 [4].

$$\frac{dx_v}{dt} = \frac{1}{\tau} (k_{sp} i - x_v) \quad (2)$$

식 (1)과 (2)식을 이용하여 입력전류에 대한 액추에이터 출력 힘의 관계식을 구할 수 있다.

3. Body Model

Fig. 3은 액추에이터 실험을 위해 파워슈트의 구조를 적용한 1축 실험 장치의 기하학적 요소를 나타낸다.

동역학 방정식은 식(3)으로 표현 할 수 있다.

$$\ddot{q} = \frac{1}{J} (h(q)(F_L + F_f) - mgr \sin(q)) \quad (3)$$

여기서, q 는 조인트 각도, m 은 시스템 중량, r 은 질량중심 위치, J 는 조인트에 대한 시스템 관성, F_L 은 액추에이터 출력 토크, $h(q)$ 는 액추에이터 모멘트암, F_f 는 액추에이터 마찰력이다.

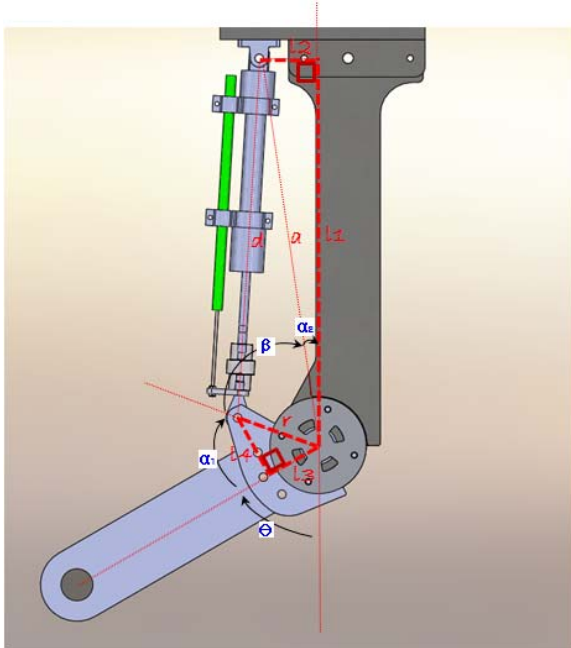


Fig. 3 Pendulum Geometric Parameters

θ 는 식(4)로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \alpha_1 &= \tan^{-1}(l_4/l_3) \\
 \alpha_2 &= \tan^{-1}(l_2/l_1) \\
 \beta &= \cos^{-1}\left(\frac{a^2 + r^2 - d^2}{2ar}\right) \\
 \therefore \theta &= 180^\circ - \alpha_1 - \alpha_2 - \beta
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

4. Force Control Experiment

Fig.4는 힘제어 실험을 위한 실험 장치이다.



Fig. 4 One Joint System for Force Control Experiment

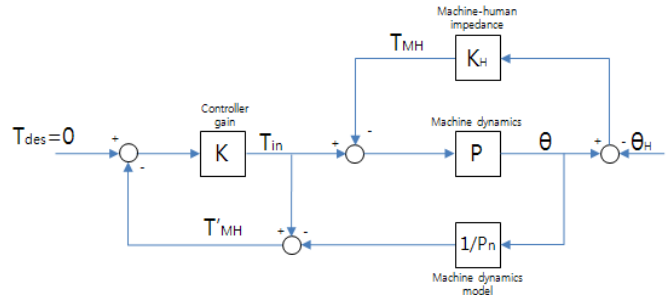


Fig. 5 Torque control block diagram

조인트 안에 엔코더를 삽입하였고 액추에이터 로드 엔드 단에 힘센서를 장착하였다. 그리고 링크 끝단에 힘센서를 장착하여 사람이 링크에 가하는 힘을 측정한다. Fig. 5는 토크 제어 블록 선도이다. 실험 장치에 적용하여 힘추정성을 확인하였다.

5. Conclusion

유압 시스템은 부피 대비 큰 힘을 내는 장점을 가지고 있으므로 로봇 슈트에 적용하면 인간의 힘을 크게 증폭할 수 있다. 그러나 마찰·오일의 온도에 따른 압축성 변화, 그리고 유압 밸브의 동특성 등 유압 시스템이 갖는 비선형성으로 인해 정교한 제어가 쉽지 않다. 이 유압 시스템의 정밀한 제어 방법으로 힘 제어 방법이 많이 사용되며, 이것의 적용을 위해서는 힘 센서가 요구된다.

본 연구에서는 로봇슈트의 유압액추에이터를 정밀 제어하기 위해 유압 동역학과 힘제어 모델링을 수행하고 1축 실험 장치를 제작하여 적용함으로써 성능을 검토하였다.

Acknowledgements

본 연구는 한국생산기술연구원 SEED형 연구사업(Super Soldier/Labor 구현을 위한 고출력 외골격 로봇 슈트)의 지원을 받아 수행한 연구입니다.

References

1. 월간로봇, 예지사, 1월호, 24-25, 2009
2. Andrew Alleyne, Rui Liu, "A simplified approach to force control for electro-hydraulic systems," Control Engineering Practice 8, 1347~1356, 2000.
3. Alleyne, A. Hedrick, J. K., "Nonlinear Adaptive Control of Adaptive Suspensions", IEEE Transactions on Control Systems Technology, 3(1), pp94-101, 1995
4. Thayer W.J., Moog Technical Bulletin 103, Transfer Functions for Moog Servovalves, Moog Inc. Controls Division, East Aurora NY14052, Dec. 1958, Rev. Jan. 1999