

# 한다리로봇의 유압사보체계의 모형화와 조종

윤 창 진

한다리로봇은 구조가 단순하고 보행상태가 단일하므로 그것에 대한 연구는 다리식 로봇의 보행과 운동형식을 이해하는 중요한 수단으로 된다.

한다리로봇은 신축형다리로봇과 관절형다리로봇으로 나누는데 신축형다리로봇은 본체, 다리, 2개의 비대칭유압실린더로 이루어진 유압체계와 공기압체계로 구성된다. 여기서 유압체계는 비행상태에서 다리를 조종하고 지지상태에서 본체자세를 조종한다.

변조종비대칭전기유압사보체계는 고도의 비선형성과 파라미터불확정성을 가지는 시변체계이다.

최근 비선형성과 불확정성을 가지는 유압구동체계에는 정량반결합조종, 변구조조종, 반결합선형화, 모호조종, 신경망조종 등 여러가지 조종방략들이 적용되고있다. 그러나 PID조종은 전통적이면서도 실천적인 조종알고리즘이며 적어도 더 선진적인 조종알고리즘을 연구하기 위한 기준으로, 출발점으로 된다.[4]

논문에서는 한다리로봇의 유압체계를 모형화하고 그것의 조종체계를 설계하고 모의하였으며 비선형동정모형[1, 2]을 리용하여 PID조종체계의 파라미터를 결정하고 모의와 실험을 결합하여 모형의 파라미터를 동정하였다.

## 1. 실험체계구성과 수학적모형화

유압실험체계의 구성과 체계구성요소들의 파라미터는 선행연구[1]에서와 같다.

조종입구를 구동기피스톤과 련관시키는 수학적모형은 사보증폭기와 변심의 동특성, 변조종통로를 지나는 비선형흐름, 류체의 압축성과 실린더운동의 동특성에 의존한다.[3]

계의 수학적모형은 선행연구[1]에서와 같으며 보충적인 일부 관계식들은 본체와 다리의 회전운동에 대한 방정식이다.

지지상태에서 다리를 정지한것으로 보면 본체의 운동은 다음의 방정식으로 묘사된다.

$$J_B \ddot{\gamma} = F_B \ell_1 \sin \eta - D_\gamma \dot{\gamma}, \quad w_1^2 = \ell_1^2 + \ell_2^2 - 2\ell_1 \ell_2 \cos \gamma, \quad F_B = p_1 A_1 - p_2 A_2 - K_{fri} \dot{w}_1$$

$$\gamma = \arccos \left( \frac{w_1^2 - \ell_1^2 - \ell_2^2}{-2\ell_1 \ell_2} \right), \quad \eta = \arccos \left( \frac{\ell_1^2 - \ell_2^2 - w_2^2}{-2\ell_1 w_1} \right)$$

$$J_B = 0.55 \text{ kg} \cdot \text{m}^2, \quad w_{10} = 0.380, \quad \ell_1 = 0.407 \text{ m}, \quad \ell_2 = 0.122 \text{ m}, \quad \alpha = 20^\circ$$

여기서  $D_\gamma$ 는 본체와 다리사이의 회전운동에 대한 마찰계수이고  $w_{10}$ 은  $w_1$ 의 초기값으로서 피스톤의 중간위치에 대응된다.

비행상태에서 본체를 정지한것으로 보면 다리의 운동도 우와 류사한 방정식으로 표시될 수 있다.

## 2. 한다리로봇의 유압조종체계설계요구와 조종파라미터의 영향

한다리로봇의 유압체계조종성능에 대하여서는 과도응답성능, 유압실린더의 힘들과 응답시간이 한다리로봇의 매 운동단계의 시간에 의하여 제한된다는 것과 한다리로봇에 대한 힘이 고려되어야 한다.

유압실린더의 힘이 허용할만 한 한계내에 있으며 체계응답시간을 가능한껏 작게 하는 적당한 조종파라미터를 찾는것이 우리의 목적이다.

다리의 미끄럼과 세기의 관점에서 유압실린더의 허용힘에 대한 예비적평가를 할수 있다.

다리의 미끄럼을 고려할 때 기준으로서 연직다리와 수평본체상태의 자세를 선택한다.

다리의 미끄럼을 결정하는 중요한 파라미터는 지면과 다리사이의 마찰계수와 지면에 대한 다리의 연직힘이다. 마찰계수는 근사적으로 0.5~0.7(평균 0.6)로 선택한다.

연직힘의 예비적평가는 공기압체계의 모의에 의하여 얻어질수 있다.

모의를 통하여 결정된 공기압체계실린더조립품의 운동특성을 보면 지지상태시간은 0.14~0.18s, 다리압축행정은 0.12~0.18m, 발끝에서 실린더밑까지의 초기거리는 0.466m, 압축행정끝에서의 거리는 0.286~0.346m, 압축행정의 끝에서 옷실과 아래실의 차압은 0.85~1.58MPa이다.

공기압실린더실의 가로자름면직경이 40mm이고 피스톤대의 직경이 16mm이므로 옷실과 아래실의 압력강하는 다리를 통하여 지면에 1 068~1 986N의 힘을 준다.

마찰계수가 0.6임을 고려하면 연직힘에 의하여 발생하는 마찰력은 640~1 192N이다.

유압실린더힘의 최대허용값은 모멘트균형방정식에 의하여 얻을수 있다.

실험을 위한 초기조종파라미터결정을 위하여 P, PD, PDF(려파기를 가지는)와 PID조종에 대한 모의를 진행하였다.

유압실린더구동장치를 가지는 본체회전운동에 대한 모의모형은 동정된 파라미터를 가지는 비선형모형이며 이때 첫 단계에서는  $D\dot{y}$ 가 상대적으로 작다고 보고 령으로 놓는다.

조종법칙은 다음과 같다.

$$G_P(s) = K_{\text{feed}}P, \quad G_{PD}(s) = K_{\text{feed}}P(1 + Ds)$$

$$G_{PDF}(s) = K_{\text{feed}}P\left(1 + D\frac{N}{1 + N/s}\right), \quad G_{PID}(s) = K_{\text{feed}}P\left(1 + I\frac{1}{s} + D\frac{N}{1 + N/s}\right)$$

여기서  $K_{\text{feed}} = 0.2$ 이며  $K_{\text{feed}}$ 는 짐이 없는 유압실린더의 조종과 비교를 위하여 도입된다.

처음에 파라미터 P는 과도응답성능과 유압실린더힘의 관점에서 0.5~0.7로 선택된다. 그러한 조종파라미터밑에서 40mm의 설정입구에 대하여 힘이 2 000N이하이고 조절시간은 0.1s이하이나 비교적 큰 과조절이 있다.(이때  $P=0.7$ 에 대하여 19.3%이다.)

PD조종을 계의 과조절을 줄이기 위하여 리용할수 있다.( $P=0.7$ ,  $D=0.01$ 에 대하여 과조절이 없다.)

PD조종을 리용할 때 유압실린더힘들이 줄어드나 그것은 부방향에 대하여서만이고 그 크기도 제한된다.

PD조종의 실천응용을 위하여 려파가 도입되어야 한다.

모의결과로부터 려파파라메터  $N$  은 120~240범위에서 선택할수 있다는것을 알수 있다. 한편 려파의 도입은 유압실린더힘의 증가를 일으킬수 있다.

또한 적분분조의 도입은 유압실린더의 힘을 증가시키는데 파라메터  $I$  가 1/5~1의 범위에 있을 때 유압실린더의 힘은 337N만큼 증가한다.

적분분조의 도입이 유압실린더힘을 증가시키고 한다리로보트의 유압실린더에 대하여 조종정확도의 요구가 그리 높지 않을것이므로 려파기를 가지는 PD조종을 적용한다.

유압체제에 대한 제단입구실험으로부터  $N$  을  $2 \cdot \pi \cdot 25$  로 선택한다.

### 3. 실험과 모의를 결합한 감쇠파라메터동정과 조종체계모의

조종파라메터를  $P=0.6$ ,  $D=0.01$ ,  $N=2 \cdot \pi \cdot 25$  로 하고 한다리로보트의 두 유압실린더에 대하여 다리를 고정하고 본체를 이동시키면서 예비적실험을 진행하였다.

실험과 모의의 비교결과는 그림 1과 같다.

그림 1에서 보는바와 같이 실험과 모의사이에 비교적 큰 차이가 있다.

사보증폭기, 유압변과 유압실린더의 특성들과 본체관성이 동정되어 비교적 정확하다고 볼수 있으므로 실험과 모의사이의 차이는 주로 모의모형과 감쇠결수  $D_{\gamma}$  의 문제에 기인한것으로 보아야 한다. 이 원인은  $D_{\gamma}$  에 의한것이고  $D_{\gamma}$  의 값범위는 100~200이라는것을 알수 있다.(그림 2)

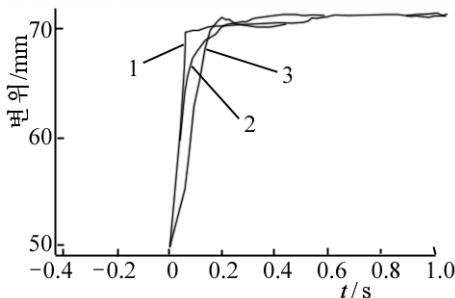


그림 1. 실험과 모의사이의 비교  
1은 모의실험자료, 2, 3은 각각 유압실린더 1, 2에 대한 실험자료

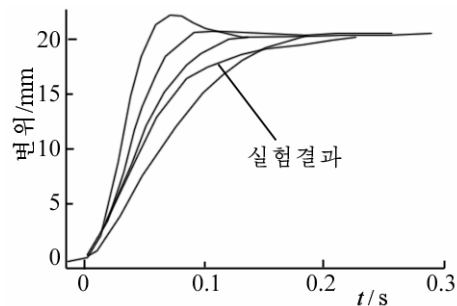


그림 2. 유압실린더 1에서의 각이한 감쇠결수들에 대한 모의들과 실험결과의 비교

감쇠결수가 150밀에서 유압실린더구동장치를 가지는 본체회전운동에 대한 모의결과로부터 파라메터  $P$  가 1.2로 증가할 때 즉 2배 증가할 때 상승시간은 0.09s(지치상태의 최대시간의 절반)로 줄어들수 있다는것을 알수 있다.  $P$  의 증가된 값에 대한 모의결과들은  $P$  가 2배 증가할 때 힘은 20%만큼 증가한다는것을 보여준다.

증가된 파라메터에 대한 실험결과는 그림 3과 같다.

그림 3에서 보는바와 같이 실험결과들이 서로 류사하나 일정한 차이를 가진다는것을 알수 있다.

감쇠파라메터의 부정확성을 이 차이의 원인으로 볼수 있으므로 일련의 모의들을 진행하고 실험과 비교하였는데 그 한가지 실험은 그림 4와 같다.

$P=0.9$ , 1.0일 때 파라메터  $D$  는 100~125범위에 놓인다. 모든 경우에 실험과 모의는 아주 가까우며 모의모형과 동정방법이 믿음직하다는것을 보여준다.

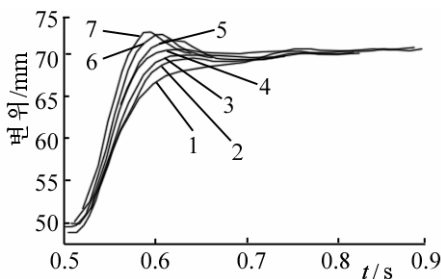


그림 3. 각이한 파라미터들에 대한 실험결과들의 비교

1-7은 각각  $P = 0.6 \sim 1.2$  일 때

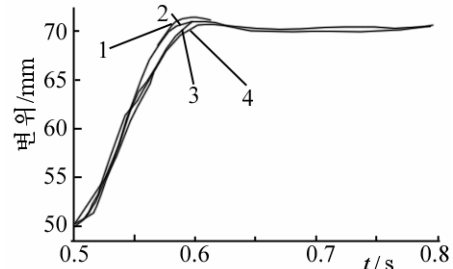


그림 4.  $P = 0.9$  일 때 감쇠계수들에 대한 모의와 실험결과들의 비교

1, 2-각각  $D_f = 100$  일 때의 실험과 모의결과

3, 4-각각  $D_f = 125$  일 때의 실험과 모의결과

## 맺는 말

우리는 한다리로봇조종체계설계에 대한 요구를 정식화하고 특성량들을 결정하였으며 조종파라미터들이 계의 응답특성에 미치는 영향을 밝혔다.

또한 동정된 모형에 기초한 모의와 실험을 결합하여 한다리로봇유압체계에 대하여 회전운동의 감쇠파라미터와 PD조종파라미터값을 결정하였다.

모의와 실험결과는 비교적 잘 일치하며 조종응답은 비교적 좋은 시간응답특성을 가진다. 이것은 동정방법과 동정된 모형의 믿음성이 좋고 조종체계가 원만하게 설계되었다는 것을 보여준다.

## 참고 문헌

- [1] 김일성종합대학학보(자연과학), 62, 5, 18, 주체105(2016).
- [2] 김일성종합대학학보(자연과학), 62, 6, 17, 주체105(2016).
- [3] A. Sayyad et al.; A Review Robotica, 25, 5, 587, 2007.
- [4] A. A. Ayman; Intelligent Control and Automation, 2, 69, 2011.

주체105(2016)년 12월 5일 원고접수

## Modeling and Control of Hydraulic Servo System of One-Legged Robot

Yun Chang Jin

This paper deals with modeling and control of hydraulic system of the one-legged robot. In this study damping parameter for modeling the rotational motion of one-legged robot with hydraulic drives and the control parameters are determined by combination of the simulation on the model with identified parameters and experiment. Satisfactory coincidence of simulation and experiment, good response of controlled system indicate that proposed identification method and simulation model are reliable, and control system has good performance.

Key words: one-legged robot, electro-hydraulic servo system