

유압식 구동장치의 서보밸브 오프셋 보정 방법에 관한 실험적 연구

An Experimental Research of Servo Valve Offset Correction Method of Hydraulic Actuator

반준혁^{1*}

Joon Hyeok Ban

Received: 10 Apr. 2019, Revised: 24 Apr. 2019, Accepted: 23 May 2019

Key Words : Hydraulic Actuator(유압식 구동장치), Offset Correction(오프셋 보정), Actuator Position Error(구동장치 위치오차), Servo Valve Offset(서보밸브 오프셋)

Abstract: Despite the development of electronic components and microprocessors, hydraulic actuators are still being applied in various applications. In some applications, there is a desire to apply a hydraulic actuator with a relatively small position error to the system. Various studies have been conducted to reduce the position error of hydraulic actuators. In this paper, the position error of the hydraulic actuator when the hydraulic oil pressure is supplied is defined as the offset generated by the servo valve, and the method for correcting the servo valve offset has been studied. A method for compensating the servo valve offset was proposed and it was verified through experiments that the position error of the hydraulic actuator was reduced. We also compared the servo valve offset correction method and controller using the PID control and disturbance observer used to reduce the position error of the hydraulic actuator. No-load test and load test were performed to confirm the performance of the servo valve offset correction method. The results of the study were compared with those obtained by using the disturbance observer and PID control.

1. 서 론

구동장치는 크게 유압식, 전기식, 공압식으로 분류할 수 있다. 최근에는 고전압, 고전류를 사용할 수 있는 전자 소자가 개발되고, 마이크로프로세서의 성능이 향상됨에 따라 상대적으로 큰 힘과 빠른 반응 속도를 요구하는 시스템에서도 전기식 구동장치를 많이 사용하고 있다. 하지만 공간과 무게에 제약조건이 있고, 짧은 시간 동안 구동장치를 사용하는 시스템에서는 유압식 구동장치가 무게와 공간 배치의 효율성이 큰 것이 사실이다. 특히 국방 분야에서는 부

하조건에서 빠른 응답특성이 필요한 시스템에 유압식 구동장치를 꾸준히 적용하고 있으며, 유압식 구동장치가 적용되는 시스템의 정확한 위치 및 자세제어를 위해 매우 작은 위치오차를 갖는 유압식 구동장치를 요구하고 있다.

유압식 구동장치에서 위치오차를 유발하는 원인으로는 동작부의 마찰이나 제작 공차 등 여러 가지 요인이 있을 수 있지만, 유압식 구동장치의 주요 부품인 서보밸브의 제어 과정에서 발생하는 오차가 가장 큰 영향을 미친다고 볼 수 있다. 서보밸브의 영점(null) 상태에서 스톱의 위치가 정확히 중립에 있지 않으면 유압식 구동장치의 실린더로 전달되는 유량에 비대칭성이 나타나게 되며, 이 유량의 비대칭성에 의해 유압식 구동장치의 위치오차가 발생하게 된다. 따라서 위치오차를 감소시킬 수 있는 제어 방법을 사용하지 않으면 Fig. 1과 같이 위치오차를 가진 채로 작동하는 유압식 구동장치의 위치응답 그래프를 쉽게 관찰할 수 있다.

* Corresponding author: bjh2002w@add.re.kr

1 The 1st Research and Development Institute, Agency for Defense and Development, Daejeon 34186 Korea
Copyright © 2019, KSFC

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

유압식 구동장치의 위치오차를 줄이기 위해 슬라이딩모드, 외란관측기, PID 제어 등 다양한 제어 방법을 활용하는 연구가 진행되어 왔다.¹⁻⁶⁾ 하지만 위치오차를 줄이기 위한 다양한 제어 방법들 중 일부는 복잡도가 높아 실제 제어기에 구현하기 어렵거나, 연산량이 증가로 인해 제어기가 적용되는 마이크로프로세서의 점유율이 높아져 제어루프의 안정성을 저하시킬 수 있다. 또한, 시뮬레이션 단계에서는 정상적인 제어성능을 나타내었으나 실제로 제어기에 적용되었을 때 모델링에 반영하기 힘든 서보밸브의 데드존 특성 등에 의해서 위치오차를 줄이지 못하고 유압식 구동장치의 위치응답의 진동이 발생하기도 한다.⁷⁾

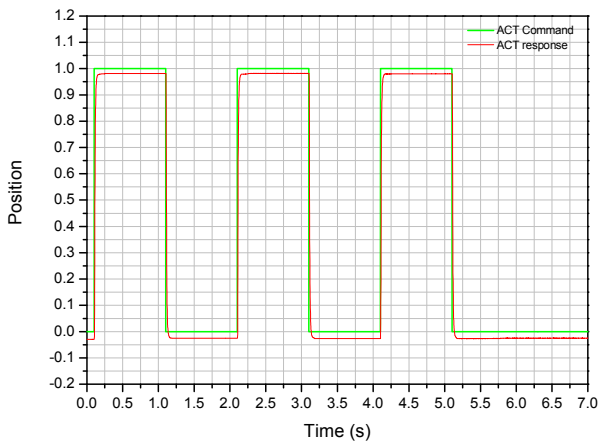


Fig. 1 Example of position error of hydraulic actuator

본 논문에서 사용된 구동장치는 사용 압력이 매우 높기 때문에 앞서 언급된 위치오차를 유발하는 다양한 요인들 중 동작부의 마찰 등의 기계적 요인의 영향은 상대적으로 매우 적다. 따라서 Fig. 1과 같이 양 방향이 아닌 한 쪽 방향으로만 위치오차가 발생한 요인은 서보밸브의 특성이라 할 수 있으며, 본 논문에서는 유압식 구동장치의 주요 부품인 서보밸브를 제어하는 과정에서 Fig. 1과 같은 형태로 나타나는 위치오차를 서보밸브의 오프셋으로 규정하였다. 이를 바탕으로 유압식 구동장치에 유압유의 압력이 형성되어 동력이 공급되었을 때 발생하는 위치오차를 활용하여 서보밸브의 오프셋을 최초 1회 보정하는 방법에 대한 실험적 연구를 수행하였다. 실험에는 서보밸브 오프셋 보정 방법이 적용된 PD제어기를 사용하였으며, 외란관측기와 PID제어를 적용한 제어기를 사용하여 수행한 실험결과와 비교를 통해 위치오차 개선 성능을 확인하였다.

2. 서보밸브 오프셋 보정 방법

서보밸브 오프셋 보정 방법의 순서도는 Fig. 2와 같다. 서보밸브 오프셋 보정이 시작되면 먼저 공급되는 유압유의 압력(P_H)이 유압유의 동작 압력(P_{OH})의 일정 비율($0.5 < \epsilon < 1.0$) 이상의 값인지 확인한다. 여기서 비율 값 ϵ 은 실험을 통해 결정할 수 있다. 그 후 최초 1회만 서보밸브 오프셋 보정을 수행하기 위해서 오프셋 보정이 수행되었는지 확인하는 절차를 진행하게 된다. 유압유의 압력의 동작 유압유 압력의 일정 비율 이상의 값이고, 서보밸브 오프셋 보정을 수행하지 않은 상태이면 오프셋 데이터를 수집하는 단계로 넘어가게 된다. 만약 이미 서보밸브 오프셋 보정을 수행했다면 더 이상의 절차를 진행되지 않고 서보밸브 오프셋 보정 루프를 종료하게 된다.

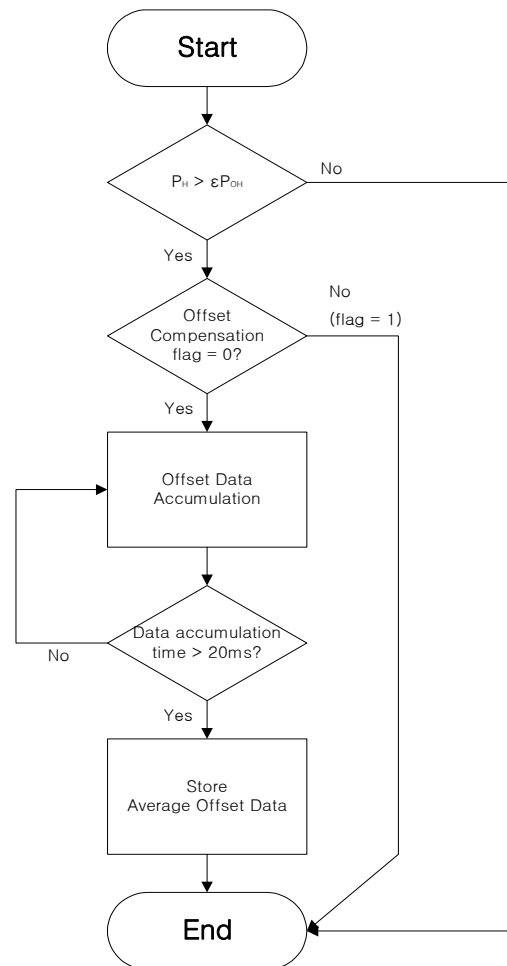


Fig. 2 Flow chart of servo valve offset correction method

서보밸브 오프셋을 보정하기 위한 데이터로 유압식 구동장치의 위치오차를 사용하며, 서보밸브 오프

셋 보정 절차의 시작 조건을 만족하면 20ms 동안 유압식 구동장치의 위치오차를 수집하여 평균값을 획득한다. 유압식 구동장치의 위치감지기에서 출력되는 신호의 흔들림이나 AD변환 과정에서 발생할 수 있는 디지털 값의 변화에 의해 실제 위치오차와는 다른 값이 획득되는 것을 방지하기 위하여 20ms 동안 획득된 위치오차의 평균값을 서보밸브 오프셋 보정 값으로 사용하였으며, 적용된 제어기에서는 16개의 위치오차의 평균값을 구하게 된다. 유압유 압력이 공급되는 시점에서 실제 유압식 구동장치의 사용 시작 시점까지의 시간적 여유가 있다면 좀 더 긴 시간동안 유압식 구동장치의 위치오차 값을 계측하여 정확한 서보밸브 오프셋 보정 값을 획득할 수 있다. 획득된 서보밸브 오프셋 보정 값은 별도의 변수에 저장되어 서보밸브 제어 명령에 적용되며, 제어기의 전원이 차단되기 전까지 유지된다. 또한, 제어기의 전원이 차단되었다가 다시 인가되면 값은 초기화되게 된다.

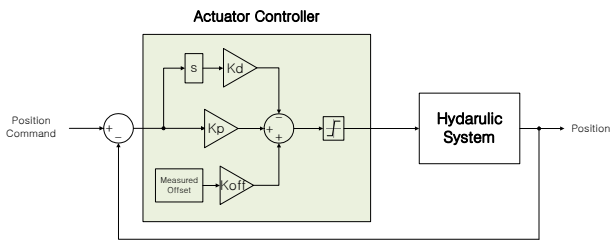


Fig. 3 Block diagram of controller with servo valve offset correction method

서보밸브 오프셋 보정 방법이 적용된 제어기의 블록 다이어그램은 Fig. 3과 같다. 유압식 구동장치를 제어하기 위해 PD제어 방식을 사용하였으며, 획득된 서보밸브 오프셋 값에 이득값 K_{off} 를 곱한 제어명령 보정 값을 PD제어 방식에 의해 계산된 서보밸브 제어 명령 값에 더하여 최종 제어 값이 출력된다. U 는 서보밸브 제어 명령, K_p 는 P제어기 이득 값, K_d 는 D제어기 이득 값, E 는 명령 대비 위치의 차이, P_{off} 은 획득된 서보밸브 오프셋 값이며, 서보밸브에 인가되는 최종 제어명령 값은 다음과 같다.

$$U = K_p E - K_d \frac{dE}{dt} + K_{off} P_{off} \quad (1)$$

서보밸브 오프셋 보정 방법에 의해 유압식 구동장치의 오프셋이 보정되는 그래프를 Fig. 4에 나타내었다. 실험에 사용된 유압식 구동장치에는 Star Hydraulics 社의 series 200 서보밸브가 적용되었으며, 데이터시트에서 확인할 수 있는 오프셋을 유발하는

매개변수는 Table 1과 같다. 서보밸브 오프셋 보정 방법에 의한 위치오차 보정이 정상적으로 수행된다는 것을 입증하기 위해 총 4개의 유압식 구동장치를 사용하여 실험을 진행하였으며, 객관적인 데이터 비교를 위해 정규화 하였다.

Fig. 4의 그래프에서 유압유의 압력이 형성된 후 서보밸브 오프셋에 의한 위치오차가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 유압유의 압력이 일정 비율 이상 형성된 후 약 300ms 이후에 서보밸브 오프셋 보정이 수행되어 획득한 오프셋 값이 제어 명령에 반영되면서 유압식 구동장치의 위치오차가 감소함을 확인할 수 있었으며, 반복적인 실험을 통해 선정된 오프셋 보정 명령의 이득 값은 0.5이다.

Table 1 Star series 200 parameters

Hysteresis	$\leq 3.0\%$ without dither
Threshold	$\leq 1.0\%$ without dither
Null shift	$\leq 2.0\% \Delta T 40^\circ C$

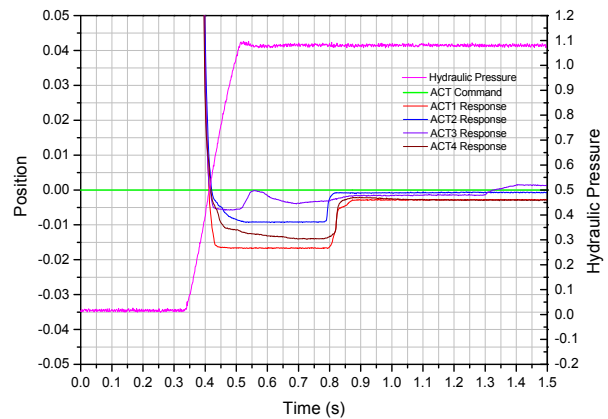


Fig. 4 Offset correction graph by servo valve offset correction method

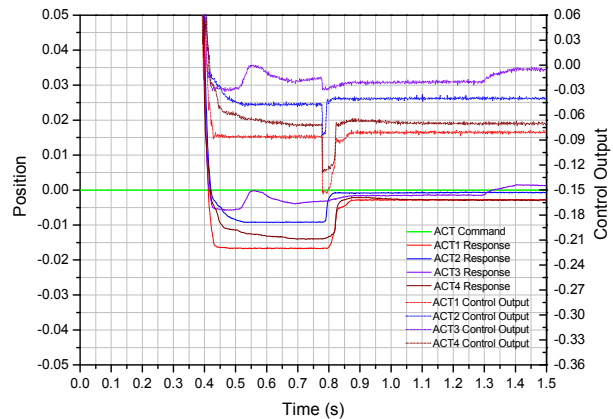


Fig. 5 Graph of position feedback and control output

Fig. 5는 유압식 구동장치의 위치 값과 제어기에서 계산된 서보밸브 제어 명령 값을 나타낸 그래프이다. 그래프에서 서보밸브 오프셋 보정이 완료되기 전과 후의 서보밸브 제어 명령 값의 차이가 존재함을 확인할 수 있으며, 이를 통해 획득한 서보밸브 오프셋 값이 서보밸브 제어 명령에 정상적으로 적용되었음을 확인하였다.

3. 실험 비교 대상

본 논문에서 연구한 서보밸브 오프셋 보정 방법의 위치오차 개선 성능 비교를 위해 외란관측기와 PID 제어를 각각 적용한 제어기를 사용하여 동일한 조건에서 실험을 수행하였다. 위치오차 개선 성능 비교를 위해서 적용한 외란관측기와 PID제어가 적용된 제어기는 다음과 같다.

3.1 외란관측기

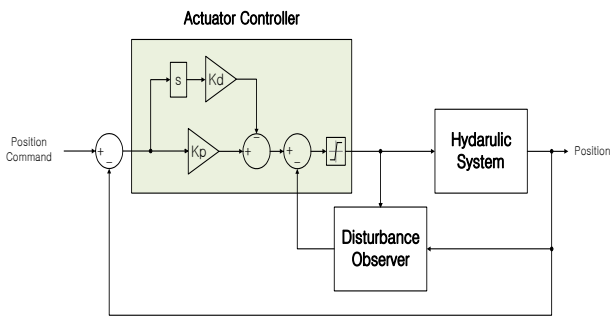


Fig. 6 Block diagram of controller with disturbance observer

외란관측기는 유압식 구동장치의 제어에서 발생하는 위치오차를 외란에 의한 것이라 규정하고, 외란 추정하여 위치오차를 감소시키는 제어방식이다. 외란관측기를 설계하기 위한 수학적 모델은 다음과 같으며, x_v 는 스톱의 위치, d 는 서보밸브 오프셋, K_q 는 서보밸브의 유량 이득, K_c 는 유량압력계수, v_p 는 피스톤의 속도, A_p 는 피스톤의 면적, P_L 은 부하 압력, F_d 은 구동장치에 작용하는 외력, d_T 는 외란이다.

서보밸브는 매우 빠르며, 스프링에 의한 유량의 영향을 무시한다고 가정하면 유압구동장치의 지배방정식은 다음과 같다.

$$x_v + d = K_v u \tag{2}$$

$$K_q x_v - K_c P_L = A_p v_p \tag{3}$$

유압식 구동장치의 운동방정식은 (4)와 같으며, 부하 압력에 관한 식은 (5)와 같다.

$$m \dot{v}_p = A_p P_L + F_d \tag{4}$$

$$P_L = -\frac{A_p}{K_c} v_p + \frac{K_q K_v}{K_c} u - \frac{K_q}{K_c} d \tag{5}$$

위의 수식들을 정리하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\dot{v}_p = a_0 v_p + b_0 u + d_T \tag{6}$$

$$a_0 = -\frac{A_p^2}{m K_c}, b_0 = \frac{A_p K_q K_v}{m K_c}$$

$$d_T = (a - a_0) v_p + (b - b_0) u - \frac{A_p K_q}{m K_c} d + \frac{F_d}{m} + d_e$$

주어진 모델을 사용하여 외란관측기를 설계한 결과는 식 (7), (8)과 같다. \hat{d}_T 는 외란의 추정치이며, L 은 외란관측기 이득 값이다.

$$z = \hat{d}_T - L v_p \tag{7}$$

$$\dot{z} = -L z - L(a_0 v_p + b_0 u + L v_p) \tag{8}$$

실제 시스템에 인가되는 외란과 외란관측기에서 추정된 외란의 오차 e_d 는 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$e_d = d_T - \hat{d}_T \tag{9}$$

식 (10)을 라플라스 변환하여 나타내면 식 (11)을 얻을 수 있다. 따라서 외란관측기의 이득 L 이 적절한 값으로 설정되면 $\hat{D}_T \approx D_T$ 가 된다.

$$\dot{e}_d = -e_d + \dot{d}_T \tag{10}$$

$$\hat{D}_T = \frac{L}{S+L} D_T \tag{11}$$

외란관측기의 제어 출력 값은 식 (12)와 같은 형태이며, 이를 식 (6)에 대입하면 외란을 제거하는 A 값은 $1/b_0$ 가 된다.

$$U = K_p E - K_d \frac{dE}{dt} - A \hat{d}_T \tag{12}$$

따라서 외란관측기의 제어 출력 값은 다음과 같다.

$$U_{DO} = K_p E - K_d \frac{dE}{dt} - \frac{\hat{d}_T}{b_0} \quad (13)$$

3.2 PID제어

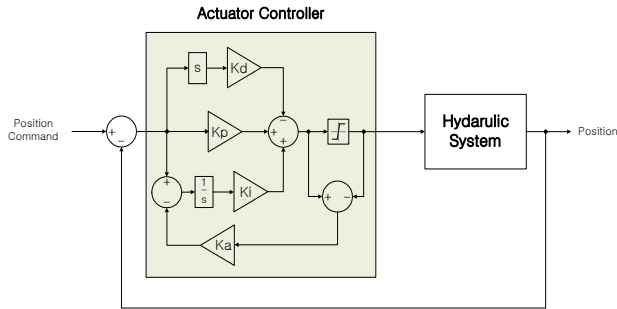


Fig. 7 Block diagram of controller with PID control

PID제어는 간단하면서도 신뢰성이 높은 제어방식이다. 적분기를 통해 위치오차를 계속해서 추적하여 위치오차를 감소시키지만 적분기에서 값을 누적하기 때문에 누적되는 값의 포화를 막아주지 않으면 제어 불능 상태에 빠지기도 한다. 따라서 적분기의 포화를 막기 위해 안티와인드업 방식을 적용하게 된다. 성능 비교를 위해 사용된 제어기에서도 안티와인드업을 적용하여 적분기가 포화되는 것을 방지하였으며, PID제어를 적용한 제어기에서 서보밸브에 인가되는 최종 제어명령 값은 다음과 같다.⁸⁻⁹⁾

$$U = K_p E - K_d \frac{dE}{dt} + K_i \int_0^t (E - K_a E_V) dt \quad (12)$$

4. 실험결과

본 논문에서 연구한 서보밸브 오프셋 보정 방법이 적용된 제어기와 외란관측기가 적용된 제어기, PID제어가 적용된 제어기에 대하여 실험을 통한 위치오차 개선 성능 비교를 수행하였다. 실험은 유압식 구동장치에 부하가 인가되지 않는 무부하시험과 유압식 구동장치가 적용되는 시스템에서 요구하는 부하가 인가되는 부하시험을 각각 진행하였으며, 무부하시험을 통해 제어 성능을 확인한 후 부하시험을 실시하였다. 무부하시험은 총 4개의 유압식 구동장치를 사용하여 3가지 방식에 대해서 실험을 수행하였다. 부하시험의 경우 무부하시험에서 유압식 구동장치가 정상적으로 제어되지 않았던 외란관측기를 제외한 2가지 방식에 대해서 수행하였으며, 시험대 여건에 의

해 1개의 유압식 구동장치를 사용하여 실험을 진행하였다. 실험에 사용된 유압식 구동장치는 2.8kN의 구동력을 갖도록 설계 되었으며, 자세한 실험결과는 다음과 같다.

4.1 무부하시험 결과

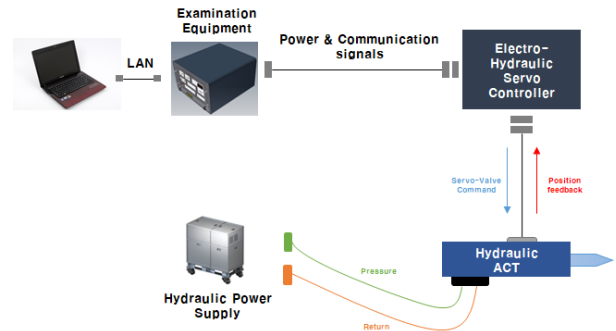


Fig. 8 No-load test configuration diagram

무부하시험의 시험구성은 Fig. 8과 같다. 실험용 노트북과 점검장비는 LAN을 통해 연결되며, 노트북에서 점검프로그램을 통해 점검장비에서 유압식 구동장치를 제어하는 제어기로 전달되는 명령과 제어기에서 측정된 데이터를 확인할 수 있다. 점검장비는 유압식 구동장치를 제어하는 제어기에 제어에 필요한 전원을 공급하고, 제어기와 통신하여 명령과 측정 데이터를 송/수신한다. 제어기는 점검장비로부터 구동명령이 전달되면 유압식 구동장치의 위치를 제어하고, 유압식 구동장치의 움직임에 필요한 동력은 유압동력원을 통해 전달된다.

외란관측기를 사용한 무부하시험 결과는 Fig. 9에 나타내었다. 외란관측기를 사용하는 경우 유압식 구동장치의 위치오차를 감소시키는 성능은 우수한 것을 확인할 수 있으나, 유압식 구동장치의 위치가 '0'인 구간에서는 4개의 유압식 구동장치의 위치 값이 정상상태를 유지하지 못하고 계속 진동하는 것을 확인할 수 있다. 또한, 위치 명령이 '1'인 구간에서도 역시 일부 유압식 구동장치의 위치 값이 진동하는 현상을 확인할 수 있었다. 이는 서보밸브에 존재하는 데드존의 영향으로 서보밸브에 전달되는 제어명령이 일정 수준을 넘지 않으면 서보밸브가 구동하지 않다가 추정된 외란이 커짐에 따라 서보밸브에 인가되는 제어명령이 일정 수준을 넘는 순간 서보밸브가 갑자기 움직이면서 원하지 않는 위치까지 이동하는 것으로 볼 수 있다. 실험을 진행하는 중에 외란관측기의 이득 값을 변경해 보았으나 진동현상이 완화될수록 위치오차가 증가하여 외란관측기의 역할을 제대로 수행하지 못하는 것을 확인하였다.

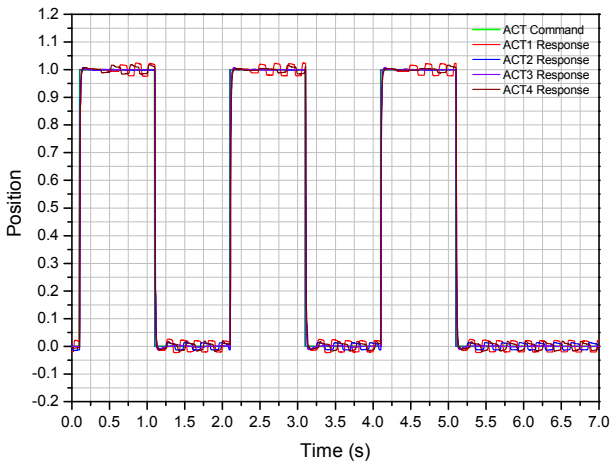


Fig. 9 No-load test results of disturbance observer

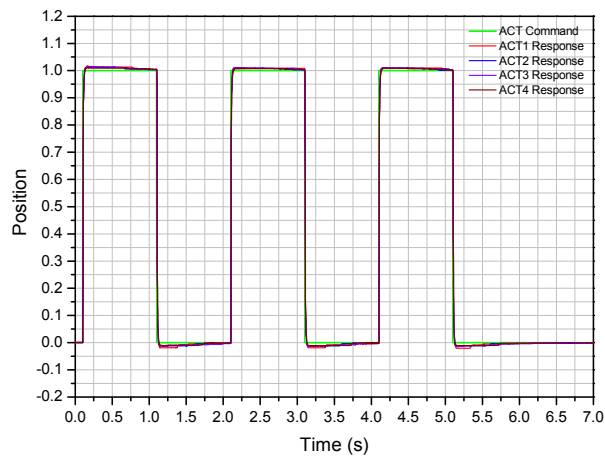


Fig. 10 No-load test results of PID control

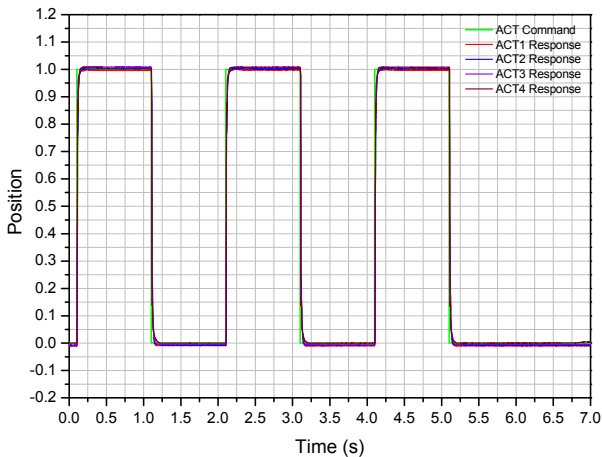


Fig. 11 No-load test results of servo valve offset correction method

PID제어를 사용한 무부하시험 결과는 Fig. 10과 같다. 그래프를 통해 적분기가 동작하면서 계단과 응답 후에 발생한 위치오차가 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 위치오차가 더 빠르게 줄이기 위해서 적분기의

이득 값을 조정해 본 결과, 오버슈트가 발생하거나 외란관측기와 동일한 진동현상이 발생하였다. 따라서 외란관측기와 같은 진동현상이 발생하지 않는 적분기 이득 값을 선정하여 무부하시험에서 요구 성능을 만족하도록 하였다.

서보밸브 오프셋 보정 방법이 적용된 무부하시험 결과는 Fig. 11과 같다. 서보밸브의 오프셋이 보정된 이후에는 PD제어만 수행하며, 그래프를 통해 오프셋 보정 이후 위치오차는 발생하지 않고 안정적으로 유압식 구동장치가 제어되고 있음을 확인할 수 있었다.

무부하시험을 통해 서보밸브 오프셋 보정 방법이 적용된 제어기가 외란관측기가 적용된 제어기에 비해 안정적으로 유압식 구동장치의 제어를 수행함을 확인하였다. 또한 PID제어가 적용된 제어기에 비해서도 제어 성능이 떨어지지 않는 것을 확인하였다.

4.2 부하시험 결과

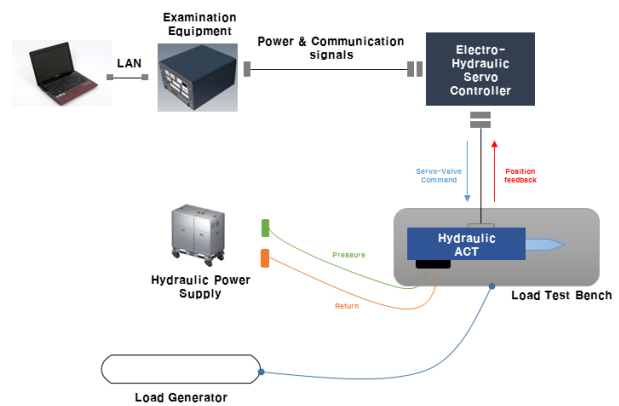


Fig. 12 Load-test configuration diagram

부하시험의 시험구성은 Fig. 12와 같다. 부하시험대에 유압식 구동장치가 장착되며, 부하시험대에서 시스템의 부하를 모사한다. 나머지 시험구성은 무부하시험과 동일하다. 실시하는 부하시험의 특성상 유압식 구동장치가 정상적으로 제어되지 않을 경우, 안전문제가 발생할 수 있기 때문에 무부하시험에서 진동현상이 발생하였던 외란관측기는 부하시험 대상에서 제외하였다. 따라서 부하시험은 PID제어가 적용된 제어기와 서보밸브 오프셋 보정 방법이 적용된 제어기에 대해서만 수행하였다.

유압식 구동장치가 적용되는 시스템의 부하는 유압식 구동장치의 전체 구동거리의 50% 지점에서 부하 방향의 역전이 발생한다. 따라서 유압식 구동장치가 최소 길이에서 최대 길이로 구동하는 동안 최대 길이의 50%에 해당하는 지점 이전까지는 부하가 유

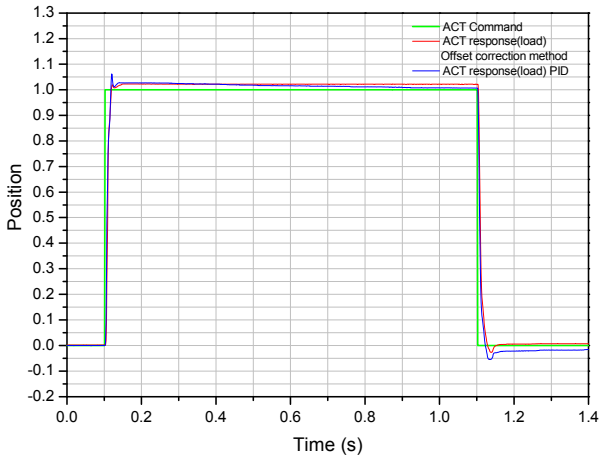


Fig. 13 Load-test results of each controller

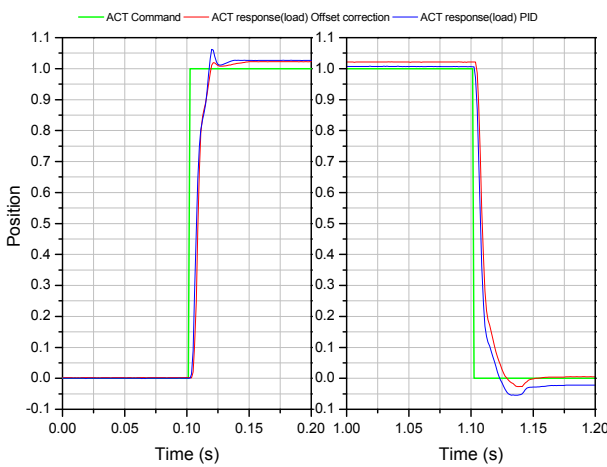


Fig. 14 Response speed comparison graph

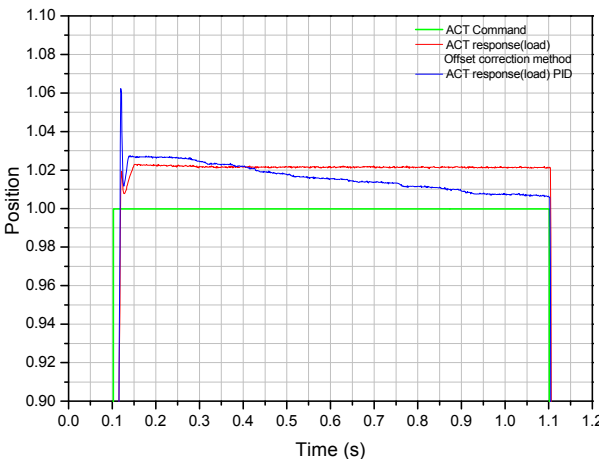


Fig. 15 Position error comparison graph

압식 구동장치의 움직임을 방해하는 형태로 가해지며, 그 이후부터는 유압식 구동장치의 움직임을 도와주는 형태로 전달된다. 이러한 시스템의 특성 때문에 유압식 구동장치가 구동할 때 오버슈트가 발생할 수 있다.

Fig. 13에서는 서보밸브 오프셋 보정 방법이 적용된 제어기와 PID제어를 사용하는 제어기의 부하시험 결과를 나타내었다. 결과 그래프를 통해 유압식 구동장치의 움직임이 유사함을 확인할 수 있으며, 두 가지 제어 방법 모두 오버슈트가 발생하는 것을 볼 수 있다.

Fig. 14의 응답속도 비교 그래프를 통해 두 가지 방식의 응답속도를 상세히 비교해 보면, 유압식 구동장치의 길이가 늘어나는 방향과 줄어드는 방향에서 거의 동일한 응답속도를 보여주는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 15는 위치오차 비교 그래프이다. 계단과 명령에 의해 최대길이 위치로 유압식 구동장치가 구동했을 때, PID제어가 적용된 유압식 구동장치는 약 6% 정도의 오버슈트가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이는 부하 방향의 역전이 일어났을 때, PID제어의 경우 적분기의 누적 값에 의해 발행하는 현상이다. PID제어가 사용된 제어기는 오버슈트가 발생한 후 위치오차를 서서히 감소시키는 것을 확인할 수 있다. 반면에 서보밸브 오프셋 보정 방법의 적용된 제어기는 누적 값에 의한 영향이 없기 때문에 2% 정도의 오버슈트만 발생한다. 위치오차가 발생한 이후에 위치오차를 감소시킬만한 수단이 없기 때문에 유압식 구동장치의 위치가 그대로 유지되는 것을 확인할 수 있다. 계단과 명령에 의해 최소 길이로 구동했을 경우에도 마찬가지로의 결과를 나타내었다. 위치오차의 경우, 두 가지 제어기 모두 시스템에서 요구하는 위치오차 범위는 만족하는 것을 확인하였다.

해당 유압식 구동장치가 적용되는 시스템은 구동장치가 최대길이 이상 작동할 경우, 구동장치 길이 방향에 있는 구조물과의 간섭이 발생할 가능성이 존재한다. 따라서 응답속도와 위치오차만큼 오버슈트의 발생량을 줄이는 것이 중요하다. PID제어를 적용한 제어기에 비해 유압유 압력이 공급된 후 최초 1회만 오프셋 보정을 수행하는 서보밸브 오프셋 보정 방법이 적용된 제어기가 시스템에 더 적합하다는 것을 부하시험을 통해 확인하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 유압식 구동장치에 유압유 압력이 처음 인가되었을 때 발생하는 위치오차를 서보밸브의 오프셋에 의한 것이라고 규정하고, 서보밸브 오프셋을 보정하는 방법에 대한 실험적 연구를 수행하였다.

유압유 압력이 인가된 후 20ms동안 위치오차 평균 값을 획득하여 0.5의 이득 값을 곱한 오프셋 보정 명

령 값을 적용하였을 때 유압식 구동장치의 위치오차가 감소하는 것을 실험을 통해 확인하였다. 무부하시험과 부하시험을 통해 오프셋 보정 방법이 적용된 제어기의 위치오차 개선 성능을 확인하였으며, 외란 관측기와 PID제어 방법을 적용한 제어기로 동일한 실험을 수행하여 위치오차 개선 성능을 비교하였다.

실험결과를 통해 오프셋 보정 방법이 적용된 제어기가 구현이 쉽고, 연산량이 작은데 비해 위치오차를 개선하는 성능이 외란관측기나 PID제어를 적용한 제어기의 위치오차 개선 성능에 뒤떨어지지 않는다는 것을 확인하였다. 또한, 실제 시스템이 적용되는 환경 내에서 오버슈트 발생량이 개선되는 것을 확인하였다.

본 연구를 통해 비교적 간단하게 위치오차를 제거할 수 있는 오프셋 보정 방법의 실효성을 확인하였으며, 향후 모델링을 통한 시뮬레이션 모델을 개발하여 검증을 추가 수행할 예정이다.

References

- 1) K.-H. Eom, S.-H. Kang and J.-H. Lee, "PID Control Method with Modified Integral Parameter," Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea - System and Control, Vol.41, No.6, pp.11-16, 2004.
- 2) G. H. Jung, "Improvement of Steady State Response Using PI+Double Integral Controller", Journal of Drive and Control, Vol.13, No.3, pp.24-31, 2016.
- 3) I. Iwan, S. W. Ji, H. H. Kim, I. Y. Lee, S. H. Kim, and H. C. Lee, "Performance Improvement of Electro-hydraulic Servo-valves by Applying Sliding Mode Control," KSFC Conference, pp.63-69, 2017.
- 4) S. Kurode, P. G. Desai and A. Shiralkar, "Modeling of electro-hydraulic servo valve and Robust Position Control using Sliding Mode Technique," Proceedings of the 1st International and 16th National Conference on Machines and Mechanisms (iNaCoMM2013), IIT Roorkee, India, pp.607-614, 2013.
- 5) G. H. Jun and K. K. Ahn, "Extended-State-Observer-Based Nonlinear Servo Control of An Electro-Hydrostatic Actuator," Journal of Drive and Control, Vol. 14, No.4, pp.61-70, 2017.
- 6) T. W. Ha et al., "Position control of an Electro-Hydrostatic Rotary Actuator using adaptive PID control", Journal of Drive and Control, Vol.14, No.4, pp.37-44, 2017.
- 7) S. Sakaino and T. Tsuji, "Integration of Disturbance Observer and Feedback Modulator for Dead Zone Compensation of Hydraulic Actuator," Proceedings of IECON 2014 - 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Dallas, pp.2786-2791, 2014.
- 8) J. J. D'azzo and C. H. Houpis, Linear Control System Analysis and Design, Mcgraw-Hill, New York, 1995.
- 9) H. T. Choi and H. J. Yeo, Automatic Control System, Hongrung Publishing Company, Seoul, 2006.