



많은 경우에 사보변심의 동특성을 묘사하기 위하여 2차모형이 사용된다.

사보변심의 위치와 사보변의 틀음구동기에 대한 입구전류사이의 관계는

$$x_v(s)/i(s) = G_{sv}(s). \quad (2)$$

조종되는 흐름량  $Q_1$ 과  $Q_2$ 를 결정하는 방정식은 다음의 형태들로 쓸수 있다.

$$Q_1 = \text{sign}(p_s - p_1)C_v wx_v \sqrt{2|p_s - p_1|/\rho}, \quad Q_2 = -\text{sign}(p_2)C_v wx_v \sqrt{2|p_2|/\rho}, \quad x_v \geq 0 \quad (3)$$

$$Q_1 = \text{sign}(p_1)C_v wx_v \sqrt{2|p_1|/\rho}, \quad Q_2 = -\text{sign}(p_s - p_2)C_v wx_v \sqrt{2|p_s - p_2|/\rho}, \quad x_v < 0 \quad (4)$$

여기서  $w$ 는 구멍면적의 경사도,  $C_v$ 는 변의 류출결수,  $\rho$ 는 유압유의 밀도,  $p_1$ 과  $p_2$ 는 유압실린더의 실들에서 유압,  $\text{sign}(\cdot)$ 은 부호함수이다. 기름통압력  $p_0$ 은 령으로 본다.

$w$ 와  $C_v$ 의 구체적값을 모르고 일부 정격값들만을 알 때 다음의 식들이 리용된다.

$$Q_1 = \text{sign}(p_s - p_1)K_{qi}G_{sv}i\sqrt{|p_s - p_1|}, \quad Q_2 = -\text{sign}(p_2)K_{qi}G_{sv}i\sqrt{|p_2|}, \quad x_v \geq 0 \quad (5)$$

$$Q_1 = -\text{sign}(p_1)K_{qi}G_{sv}i\sqrt{|p_1|}, \quad Q_2 = \text{sign}(p_s - p_2)K_{qi}G_{sv}i\sqrt{|p_s - p_2|}, \quad x_v < 0 \quad (6)$$

여기서  $K_{qi} = Q_s/(I_s\sqrt{p_s})$ ,  $Q_s = Q_n\sqrt{p_s/p_n}$ 이며  $K_{qi}$ 는 흐름량결수,  $G_{sv}$ 는 사보변의 동특성을 반영하는 동적증폭결수,  $Q_n$ 은 정격압력에서의 정격흐름량,  $Q_s$ 는 실제공급압력에서의 정격흐름량이다.

$p_s$ 가 10MPa 이므로  $Q_s$ 는 17.251 6L/min이고  $K_{qi}$ 는  $2.27 \cdot 10^{-6}(\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{A} \cdot \sqrt{\text{Pa}}))$ 이다.

유압실린더의 실들에서 압력은 다음의 방정식들로 결정된다.

$$Q_1 = C_{ep}p_1 + C_{ip}(p_1 - p_2) + \frac{V_1}{\beta_e} \frac{dp_1}{dt} + \frac{dV_1}{dt}, \quad Q_2 = C_{ip}(p_1 - p_2) - C_{ep}p_2 - \frac{dV_2}{dt} - \frac{V_2}{\beta_e} \frac{dp_2}{dt}$$

$$V_1 = V_{10} + A_1 y, \quad V_2 = V_{20} + A_2 y$$

웃식들에 들어있는 기호들은 그림 2에서와 같다.

그림 2에서  $y$ 는 실린더의 위치를 나타내며  $F_B$ 와  $F_L$ 은 각각 련결되는 부분으로부터의 반작용력,  $A_1$ 과  $A_2$ 는 각각 대없는 실과 대있는 실의 유효자름면면적을 나타낸다.  $C_{ep}$ 는 외부루설결수,  $C_{ip}$ 는 내부루설결수,  $\beta_e$ 는 유효용적모듈이다.  $V_1$ 과  $V_2$ 는 보통 사보변과 구동기사이의 관에 있는 기름의 체적을 포함한다.

그러나 관의 길이가 비교적 길 때 관기름의 동특성은 따로 룬의되여야 한다.

실린더중간위치에서 실들의 초기체적, 긴 관에 대하여 관기름의 동특성이 따로 고려될 때  $V_{10} = A_1 L/2$ ,  $V_{20} = A_2 L/2$ 로 된다. 여기서  $L$ 은 실린더의 대의 길이이다.

피스톤이 짐과 련결되지 않았을 때 피스톤의 운동방정식은 다음과 같다.

$$m\ddot{y} = F_p, \quad F_p = p_1 A_1 - p_2 A_2 - K_{fri}\dot{y}$$

여기서  $K_{fri}$ 는 피스톤과 실린더본체사이의 마찰결수이다.

위치수감기의 동특성은 다음의 전달함수로 묘사되는 비례분조로 본다.

$$G_c(s) = K_f = 0.1 (\text{V/mm})$$

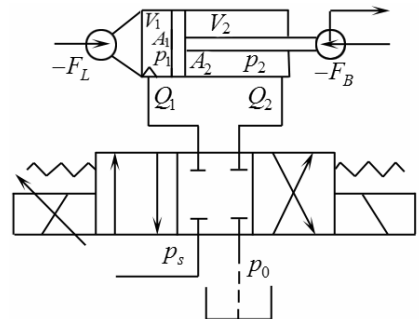


그림 2. 한피스톤대유압실린더의 도식

## 2. 사보변특성의 결정

결정방법에 대한 개요 유압체계의 측정 및 조종실험의 목적으로 컴퓨터측정조종체계가 구성된다. 장치체계는 주컴퓨터체계와 USB결합부를 가지는 다기능자료채집장치 USB1903과 다른 요소들로 이루어진다. USB1903은 16B분해능의 8통로 AD (250kS/s의 최대표본화 속도, 입구전류범위 0~20mA), 16B분해능의 2통로 DA, 8통로 DI와 8통로 DO를 가진다.

전위차계로부터의 전류신호의 입구와 사보증폭기에로의 전압신호출구는 USB1903을 통하여 수행된다. 측정, 조종을 위한 프로그램은 VISUAL C++를 리용하여 작성되었다.

현장조건에서 사보변의 실제흐름량과 흐름량특성과라매터를 결정하기 위한 방법의 기본출발점은 유압유의 비압축성으로부터 유압체계의 계단입구에 대한 실린더변위의 정상상태부분이 유압사보변의 실제흐름량특성을 반영할수 있다는것이다.

우선 유압체계에 대하여 계단응답실험을 진행한다.

실험에서는 계단전압신호를 사보증폭기에 출력하며 전위차계의 신호를 측정하고 그것을 기록한다. 체계성질을 가능한것 완전히 얻기 위하여 최대표본화속도를 사용한다.

유압실린더변위수감부의 출력신호를 측정하기 위하여 62.5kS/s의 표본화속도를 사용하였으며 사보증폭기에로의 계단입구의 진폭들은 1, 2, 4, 6, 8V로 설정하였다.

측정자료는 MATLAB로 처리한다.

측정되는 신호의 특징을 보면 62.5kHz로서 속도가 상당히 높으나 자료는 여전히 주파수가 표본화속도보다 높은 고주파신호성분을 포함한다. 스펙트르해석에 의하여 계의 최대주파수의 범위가 300~500Hz로서 그리 높지 않으므로 표본수저하와 평균화로 자료를 처리한다. 반복적인 연구를 통하여 측정자료는 1 250Hz의 표본화속도를 가지도록 하였다.

처리한 신호에 대한 실례는 그림 3과 같다.

사보변특성을 결정하는데서 계단응답의 웨블레트분해가 아주 유용하다.

계단응답자료의 다준위웨블레트분해에 대한 실례는 그림 4와 같다.

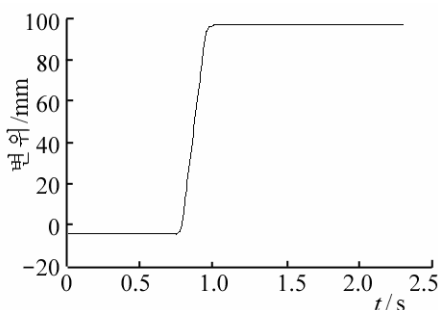


그림 3. 표본수저하와 평균화후에 진폭 2V의 계단입구신호에 대한 변위응답신호

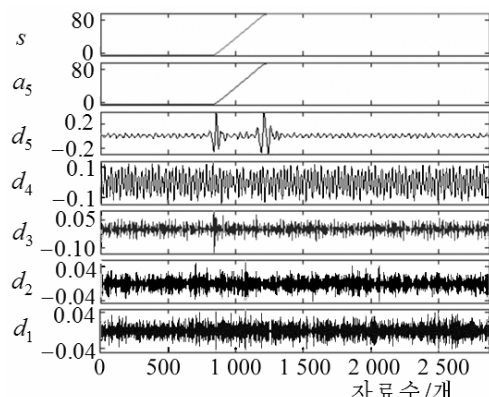


그림 4. 2V (10mA)의 입력에 대한 계단 응답의 웨블레트분해

다우베치(Daubechies) 웨블레트족의 웨블레트  $db_4$ 가 주웨블레트로 선택된다.

세부성분들가운데서  $d_5$ 만이 피스톤운동의 시작과 끝에서의 진폭의 명백한 변화를 가지므로 그 진폭변화가 사보변과 판로의 동특성을 반영한다고 가정할수 있다.

사보변의 실제흐름량의 결정 여기서는 실린더변위의 수값미분과 미분된 신호의 웨블레트 잡음제거처리에 기초하여 사보변 흐름량특성의 결정문제를 본다.

모든 사보변들은 정격흐름량특성을 가지나 실천응용에서 정격흐름량특성과 실제흐름량특성사이에 차이가 있다. 모의와 조종규칙설계의 정확성을 개선하기 위하여 사보변의 흐름량특성을 동정할 필요가 있다. 방법의 기본출발점은 실린더변위의 시간과형을 수값미분하고 실린더실의 자름면면적을 곱하면 사보변의 흐름량특성이 얻어질수 있다는것이다.

계단응답에 기초한 순간흐름량과 평균흐름량특성의 결정은 다음과 같이 할수 있다.

순간흐름량은 실린더변위의 수값미분으로부터 실린더속도를 계산한 다음 그것에 실린더실의 자름면면적을 곱하여 얻는다. 평균흐름량은 계단응답곡선의 정상상태부분의 두 점을 선택하고 피스톤의 평균속도를 계산하며 다음 그것을 실린더실의 자름면면적으로 곱하여 얻는다.

처음 평균흐름량을 본다. 평균흐름의 결정은 다준위웨블레트분해의 근사성분에 기초한다. 근사성분이 사보변과 관의 과도과정과 유압실린더의 강제진동의 영향을 제거하여 얻어지므로 흐름특성을 결정하는데서 근사성분을 사용하는것은 물리적의미에 맞는다.

평균흐름계산에서의 계산점선택실례는 그림 5, 순간흐름량계산실례는 그림 6과 같다.

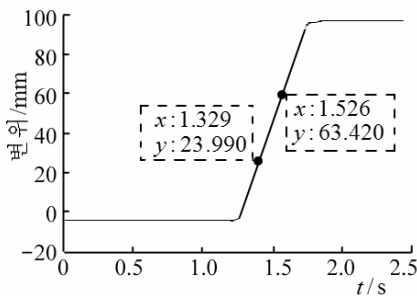


그림 5. 계산점들을 선택하는 실례

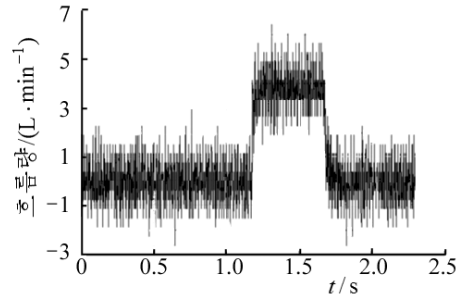


그림 6. 러파전 순간흐름량곡선의 실례

그림 6에서 보는바와 같이 흐름량의 수값을 알아보기 어렵다. 이와 관련하여 러파가 필요하다. 러파의 효과적인 방법은 웨블레트잡음제거이다.

웨블레트분해에 기초한 잡음제거에는 두가지 방법 즉 변위자료에 대하여 잡음제거를 하고 수값미분을 하여 흐름량을 얻는것과 변위자료에 대하여 수값미분을 하고 흐름량을 얻은 다음 웨블레트처리를 하고 최종적인 흐름량특성을 얻는것이 있다.

두 방법으로 얻은 흐름량특성은 각각 그림 7, 8과 같다.

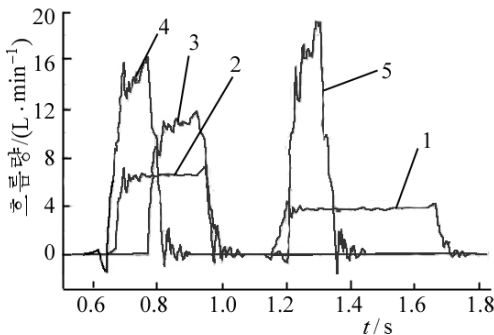


그림 7. 사보변의 흐름량특성(잡음제거후 미분)  
1-5는 각각 계단입구의 진폭이 1, 2, 4, 6, 8V일 때

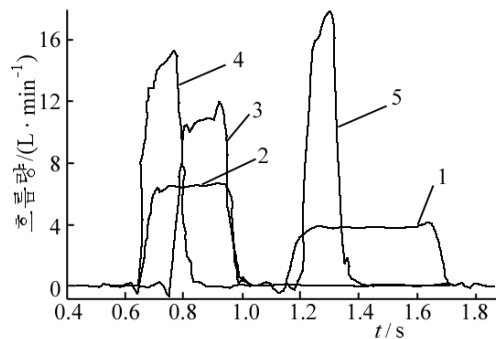


그림 8. 사보변의 흐름량특성(미분후 잡음제거)  
1-5는 그림 7에서와 같음

그림 7, 8에서 보는바와 같이 둘째 방법을 통하여 얻어지는 자료가 더 원활하다.

사실 미분후에 웨블레트처리를 진행하는것이 더 직관적이며 효과적이라고 할수 있다.

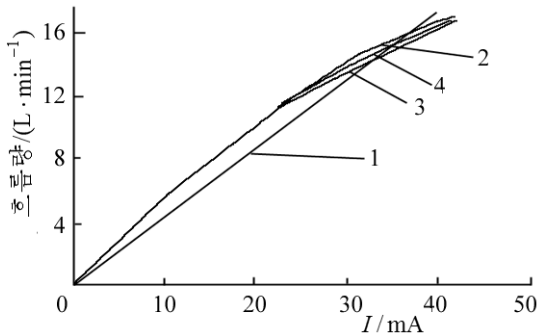


그림 9. 사보변의 전류와 흐름량사이의 관계

1-정격흐름량, 2, 3, 4-세가지 측정흐름량

얻어진 흐름량특성은 그림 9와 같다.

리력효과로 하여 입구전류가 0일 때 사보변의 실제흐름량은 0이 아니다.

그림 9에서 보는바와 같이 작은 입구전류에서의 흐름량들은 서로 거의 완전히 일치하며 큰 입구전류에서 흐름량들사이의 차이들은 매우 작으며 얻어진 흐름량곡선은 아주 원활하다는것을 알수 있다.

정격흐름은 유압실린더에서 실압력이 0이라는 가정밑에서 얻어진것이다. 그러나 그 흐름량들은 실제흐름량보다 더 작다. 실험곡선

의 경사도는  $10.84/22.4=0.48(\text{L}/(\text{min} \cdot \text{mA}))$ , 정격특성의 경사도는  $8.69/20=0.43(\text{L}/(\text{min} \cdot \text{mA}))$ 이며 실험적으로 얻은 흐름량특성의 경사도는 정격특성값의 111.54%이다.

사보변흐름량특성식의 파라메터의 결정 사보변흐름량특성식의 파라메터의 결정은 웨블레트분해성분과 유압체계의 동적모형에 기초하여 실현된다. 실제흐름량특성은 사보변의 흐름량에 대한 초보적인 평가에만 리용될수 있으며 사보변흐름량특성의 모의에는 직접 사용될수 없다. 사보변흐름량특성에 관한 식을 얻으려면 사보변의 입구와 실제흐름량사이의 관계를 알아야 할뿐아니라 실린더실에서의 압력값을 알아야 한다. 유압실린더실에서의 압력은 직접적측정에 의하여 얻어질수 있으나 실린더실압력을 측정하는것은 쉽지 않다. 모의가 실린더실압력값들을 아는 좋은 방법으로 될수 있다.[1] 더우기 MATLAB의 응답최량화를 사용함으로써 사보변의 흐름량특성식의 파라메터값들이 직접 얻어질수 있다.

최량화되는 파라메터는 식 (5)의 흐름량결수  $K_{qi}$  이다. 응답최량화를 위한 기준은 유압실린더피스톤의 계단입구에 대한 변위인데 그것은 사전에 웨블레트분해에 의하여 얻는 근사성분이다. 우리가 얻으려는 파라메터가 동적증폭결수를 1로 놓아 얻어지는 흐름량특성식의 흐름량결수이므로 최량화에 잡음 및 사보변과 관의 과도과정의 영향이 없는 근사성분을 리용하는것은 기준에 대한 합리적인 선택으로 된다. 또한 실험자료로부터 최량화를 위한 출발시간점을 선택할 때 불확정성들이 얼마간 있으나 우리가 얻으려는것이 경사직선형의 정적흐름량특성이므로 출발점을 선택하는데서 불확정성이 허용될뿐아니라 그것은 동정에 불합리한 부분을 피하게 한다.

흐름량특성량  $K_{qi}$  자체는 최량화파라메터로서 수값적으로 작으므로( $10^{-6}$  정도의 크기)  $10^6$ 으로 곱한 파라메터( $K_{qir}$ 로 표시)를 최량화에 리용한다.

사보변흐름량특성량동정에 SIMULINK모형을 리용한다.

SIMULINK모형은 사보변의 과도특성을 고려하지 않는다.

최량화를 위한 기준자료가 사보변과도과정의 영향이 제거된것이므로 SIMULINK모형을 사용하는것은 문제가 될것이 없으며 론리적이고 합리적이다.

최량화결과의 실례는 그림 10과 같다.

아래곡선은 정격흐름특성에 대응한다. 최량화를 통하여 얻어진 모든 곡선들은 실험곡선과 잘 일치하며 그것은 방법의 적용성과 실용성을 보여준다.

최량화에 의하여 얻어지는 흐름량특성량들은 정격량에 비하여 약간 크다.

실험곡선의 경사도는 정격곡선의 111.54%이나 유압실린더의 실제압력을 고려할 때 흐름량특성량의 실제평균값은 정격흐름량의 130%이다.

본문에서는 현장에 설치된 유압조종체계에서 흐름량계와 실린더실의 압력을 측정하는 압력계가 없이도 유압사보변의 실제흐름량과 흐름량결정식의 파라미터를 결정하기 위한 방법론을 제기하고 해결하였다.

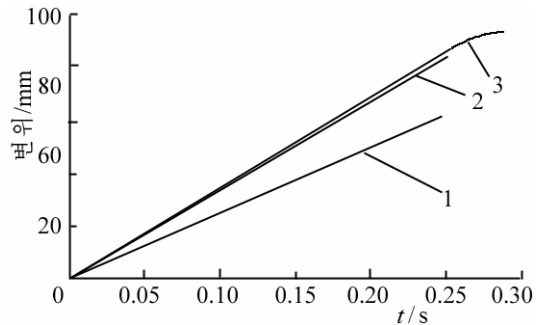


그림 10. 최량화결과의 실례

1—정격특성, 2—실험자료, 3—최량결과

## 맺 는 말

유압조종체계에서 유압사보변에 대한 계단입력밀에서 유압실린더의 변위를 측정하고 그것에 대한 웨블레트분해와 잡음제거, 수값미분에 기초하여 실제흐름량을 결정하는 세가지 방법을 제기하였으며 세가지 방법으로 얻어진 결과는 아주 근사하였다.

실린더실들의 압력을 측정하지 않고도 실험적으로 얻어진 실린더의 계단응답신호에 대한 웨블레트분해를 통하여 과도특성이 제거된 자료를 얻고 그것을 기준신호로 하는 응답최량화를 리용하여 실린더실들의 압력을 동정하는것과 동시에 흐름량특성식의 파라미터값을 결정하는 방법을 제기하고 계산실험을 통하여 방법의 가능성을 확인하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] E. Kilic et al.; Mechatronics, **22**, 7, 997, 2012.
- [2] X. L. Guo et al.; Journal of Hydrodynamics, **20**, 4, 433, 2008.
- [3] H. A. Preisig et al.; Conceptual Remarks Systems & Control Letters, **61**, 10, 41, 2012.
- [4] X. Xu et al.; Mechanical Systems and Signal Processing, **26**, 91, 2012.
- [5] W. L. Jiang et al.; Journal of Sensor Technique, **9**, 243, 2002.

주체105(2016)년 1월 5일 원고접수

## **Identification of Flow Characteristics of Servo Valve of Hydraulic Servo System**

*Yun Chang Jin, Kim Kuk Chol*

This paper deals with problem for determining the real flow and parameter of flow equation of servo valve without measurement data of pressure gauge and flowmeter in field condition. It can be realized on the basis of step response data of hydraulic cylinder, their numerical differentiation, wavelet decomposition and denoising, and parameter identification.

Real flow curves are each other alike from different methods; the identified parameters are also each other alike under different input conditions. This fact shows the reliability of the method.

Key words: electro-hydraulic servo system, servo valve