

## 서보밸브의 주파수 응답 신호에 관한 연구

### A Study on the Frequency Response Signals of a Servo Valve

윤홍식<sup>1,2</sup> · 김성동<sup>1\*</sup>

Hongsik Yun<sup>1,2</sup> and SungDong Kim<sup>1\*</sup>

Received: 01 Feb. 2021, Accepted: 11 Feb. 2021

**Key Words** : Servo Valve(서보밸브), Frequency Response(주파수 응답), Bandwidth Frequency(대역폭 주파수), Metering Cylinder(미터링 실린더)

**Abstract**: The flow signal or spool position signal is used to determine the dynamic characteristics of directional control valves. Alternatively, the signal of spool position or flow can be replaced with the velocity of a low friction, low inertia actuator. In this study, the frequency response of the servo valve equipped with a spool position transducer is measured with a metering cylinder. The input signal, spool displacement, load pressure, and velocity of the metering cylinder are measured, and the theoretical results from the transfer function analysis are verified. The superposition rule for magnitude ratio and phase angle was found to be always applicable among any signal type, and it was found that the load pressure signal is not appropriate for use as the signal for measuring the frequency response of a servo valve. It was confirmed that the frequency response of a servo valve using metering cylinder was similar to the results from a spool displacement signal. The metering cylinder used for measuring the frequency response of a servo valve should be designed to have sufficiently greater bandwidth frequency than the bandwidth frequency of the servo valve.

#### 기호 설명

$i$  : valve input current, A

$x_v$  : spool displacement of valve, m

$P_L$  : load pressure of valve, bar

$v_p$  : velocity of metering cylinder piston, m/s

#### 1. 서론

유압 서보밸브는 지령신호를 추종하는 유체출력을

공급하여 유압작동기의 위치, 속도, 힘을 고정밀, 고 응답으로 제어하는데 사용되는 밸브이며, 일반 산업 기계, 로봇, 항공기, 제철 등의 다양한 분야에서 정확성, 신속성을 요구하는 유압 제어시스템의 핵심 부품으로 사용된다. 유압 서보밸브는 유압 제어시스템의 성능을 좌우하는 요소로 사용되지만, 고가, 초정밀의 전기 부품과 기계 부품으로 구성되어 있어 유압유속의 먼지나 오염물질 등에 의해 쉽게 고장이 발생한다. 서보밸브의 성능저하와 고장은 산업현장에서 막대한 손실을 초래할 수 있으므로 성능에 대한 유지 및 관리가 중요하게 인식되며, 현재까지 서보밸브의 성능 진단, 정적 특성, 동적 특성에 관한 많은 연구가 진행되고 있다.<sup>1-4)</sup>

서보밸브를 포함하는 방향제어밸브의 동적 특성인 스텝 응답과 주파수 응답을 측정하는 방법은 ISO-10770-1<sup>5)</sup> 규격에 표준화되어 있으며, Fig. 1에 방향제어밸브의 시험회로를 구성할 수 있는 대표 회로를 나타내었다. 방향제어밸브를 시험하는 회로는 셋 오프(shut-off) 밸브 S1-S9의 조작에 의해서 구성되는

\* Corresponding author: sdkim@kumoh.ac.kr

1 Department of Mechanical System Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gyeongbuk 39177, Korea

2 Department of Automation System, Korea Polytechnics, Gyeongbuk 39257, Korea

Copyright © 2021, 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.

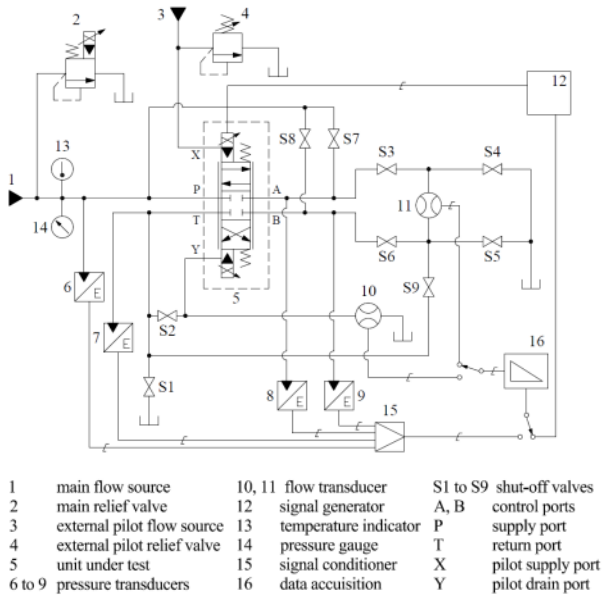


Fig. 1 Test circuit for four-port directional flow-control valve<sup>5)</sup>

데, 동적 특성을 측정하기 위해서는 섷오프 밸브 S1, S3, S6을 개방하고 그 외의 섷오프 밸브를 단아서 구성한다.

ISO-10770-1에 의하면 방향제어밸브의 동적 특성을 측정하기 위해서 유량센서 또는 스펙트럼센서를 이용하며, 다른 방법으로는 미터링 실린더로 호칭되는 저마찰, 저관성의 액추에이터와 속도센서로 대체할 수 있다. 유량센서를 이용하는 경우에는 유량센서의 대역폭 주파수가 최대 시험 주파수보다 최소 3배 이상이 되어야 하므로, 기어모터나 터빈 구조의 상용화된 유량센서는 높은 대역폭 주파수를 가지는 서보밸브의 동적 특성을 측정하는 목적으로 적용하기 어렵다. 스펙트럼센서를 이용하는 방법은 스펙트럼센서를 내장하고 있는 밸브에 제한적이라는 단점이 있다. 미터링 실린더의 피스톤 속도신호를 이용하는 방법은 시험장치의 설치가 어렵고, 주파수 응답을 측정하는 과정에서 서보밸브 스펙트럼의 영점 오차에 의해 유압실린더가 중간에서 벗어나는 것을 방지하는 위치 제어시스템이 필요하다는 단점이 있다. 하지만 스펙트럼센서를 내장하지 않고, 높은 대역폭 주파수를 가지는 서보밸브의 동적 특성 측정에는 유량센서를 적용하기 어렵기 때문에 미터링 실린더를 이용한 방법이 유용하다.

서보밸브의 시험방법을 표준화한 다른 규격으로는 미국 자동차기술협회 SAE(Society of Automotive Engineers)의 ARP4493<sup>6)</sup>, ARP490F<sup>7)</sup>와 한국산업규격인 KS B 6515<sup>8)</sup>가 있다. ISO-10770-1과 비교하면

ARP4493, ARP490F, KS B 6515에서 서보밸브의 동적 특성은 유량센서를 사용하지 않고 유압실린더의 속도신호를 이용하여 측정된다. ARP4493에 의하면 유압실린더를 이용할 수 없는 경우에 직동형 서보밸브 DDV(Direct Drive Servovalve)의 동적 특성은 스펙트럼센서에 의해서 측정될 수 있다.

본 연구에서는 스펙트럼센서가 장착된 직동형 서보밸브를 대상으로 하여, 미터링 실린더와 속도센서를 설치하고 주파수 응답 측정실험을 진행한다. 입출력 관계가 비선형이며 신호들이 동적으로 복잡하게 얽혀져 있는 ‘서보밸브-미터링 실린더 시스템’에서 주파수 응답 신호들 사이에 진폭비와 위상각에 대한 중첩의 원리가 성립되는지 실험적으로 검증하고, 주파수 응답 중첩원리를 적용하여 서보밸브의 주파수 응답을 측정하는데 최적의 신호인 스펙트럼신호와 대안의 신호인 미터링 실린더 속도신호 사이의 관계를 분석하는 것이 본 연구의 목적이다. 또한, 스펙트럼센서를 내장하지 않은 서보밸브의 주파수 응답을 측정함에 있어서, 유량센서의 신호 또는 미터링 실린더의 속도신호를 이용하는 대신에 시험장치 구성이 용이한 압력센서의 신호를 이용할 수 있는지 알아보기 위하여 주파수 응답 측정 신호들의 거동을 분석한다.

## 2. 주파수 응답 중첩원리

일반적인 동적 거동의 시스템에서 입력신호를 식 (1)의 정현파 신호로 인가하면, 출력신호는 입력신호와 동일한 주파수를 가지지만 위상각과 크기에 차이를 가지게 되어 식 (2)와 같이 표현된다. 입력신호와 출력신호는 복소함수로 나타낼 수 있으며, 복소함수로 나타낸 입력신호와 출력신호의 비는 주파수 전달함수로 호칭된다.

$$x = A_x e^{j\omega t} \tag{1}$$

$$y = A_y e^{j(\omega t + \phi_{xy})} \tag{2}$$

Fig. 2는 주파수 전달함수가 직렬로 구성된 시스템의 블록선도를 나타낸 것이다.

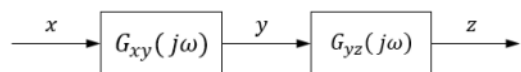


Fig. 2 Serial configuration of frequency transfer function

Fig. 2의 세 가지 이상의 복소함수  $x, y, z$  사이에는 식 (3)의 연쇄법칙(chain rule)이 성립한다.

$$\frac{z}{x} = \frac{y}{x} \cdot \frac{z}{y} \quad (3)$$

식 (3)을 주파수 전달함수  $G(j\omega)$ 로 표현하면 식 (4), (5)와 같이 유도된다.

$$G_{xz}(j\omega) = G_{xy}(j\omega) \cdot G_{yz}(j\omega) \quad (4)$$

$$\begin{aligned} A_{xz}e^{j\phi_{xz}} &= A_{xy}e^{j\phi_{xy}} \cdot A_{yz}e^{j\phi_{yz}} \\ &= A_{xy}A_{yz} \cdot e^{j(\phi_{xy} + \phi_{yz})} \end{aligned} \quad (5)$$

식 (5)의  $A_{xz}$ 는  $x$  신호에 대한  $z$  신호의 진폭비를 의미하며,  $\phi_{xz}$ 는  $x$  신호에 대한  $z$  신호의 위상각을 의미한다. 식 (5)에서 진폭비에 로그를 적용하여 데시벨(dB) 단위로 변환하면 식(6)과 같이 중첩원리가 성립한다. 또한 위상각에 대해서도 식 (7)과 같이 중첩원리가 성립한다.

$$A_{xz\_dB} = A_{xy\_dB} + A_{yz\_dB} \quad (6)$$

$$\phi_{xz} = \phi_{xy} + \phi_{yz} \quad (7)$$

식 (6), (7)의 주파수 응답 중첩원리는 입출력 신호의 크기에 대한 선형성 여부와 각각의 신호들 사이에 거동이 서로 영향을 미치는 간섭 여부에 상관없이 성립하며, 식 (8)과 같이 두 개의 입력신호  $x_1, x_2$  와 각각의 입력에 대한 두 개의 출력신호  $y_1, y_2$  사이에 성립하는 선형시스템에서의 중첩원리와는 다른 의미이다.

$$(y_1 + y_2) = a(x_1 + x_2) \quad (8)$$

주파수 응답 중첩원리는 Fig. 2에서 나타난 직렬 구조 외에도 Fig. 3에서 보여주는 복합 구조를 가지는 시스템에도 적용될 수 있다. 여기서 직렬 구조는  $x$ 와  $y$  사이의 거동이  $y$ 와  $z$  사이의 거동에 간섭하지 않고 완전히 분리된 거동을 의미하며, 복합 구조는 입력신호에 대하여 두 가지 이상의 출력신호가 서로 간섭하여 각각의 신호 사이의 거동을 Fig. 2와 같이 분리할 수 없는 경우를 의미한다. 하지만 Fig. 3

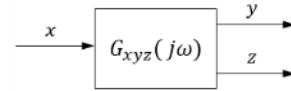


Fig. 3 Dynamically coupled configuration

의 복합 구조의 신호들 사이에도 식 (6), (7)의 주파수 응답 중첩원리는 적용되기 때문에, Fig. 2와 같은 직렬 구조로 간주하여 신호들 사이의 거동을 분석할 수 있다.

### 3. 주파수 응답 중첩원리의 실험적 검증

Fig. 4에 미터링 실린더와 속도센서를 이용하여 서보밸브의 주파수 응답을 측정하는 시스템을 나타내었다. 식 (6), (7)의 주파수 응답 중첩원리가 성립한다는 사실을 Fig. 4에 나타난 ‘서보밸브-미터링 실린더 시스템’의 주파수 응답 신호들을 이용하여 실험적으로 검증하고, 신호들의 특성을 분석하였다.

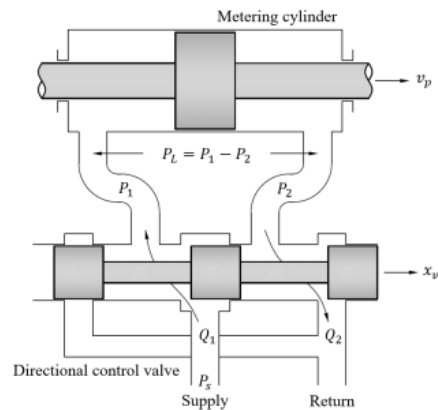


Fig. 4 Schematic view to measure the frequency response using metering cylinder

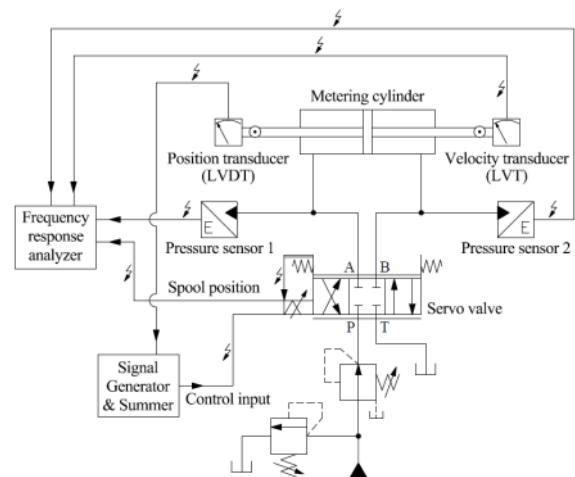
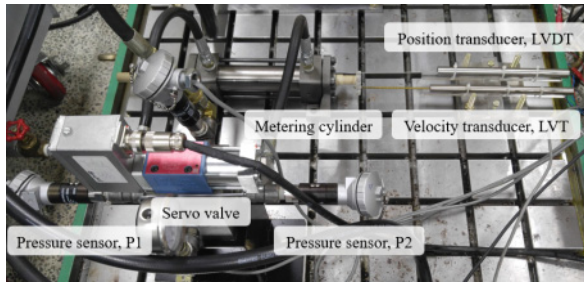
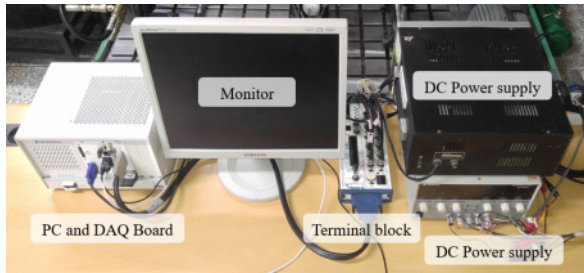


Fig. 5 Frequency response test circuit



(a) Hydraulic device



(b) Data acquisition device

Fig. 6 Frequency response test equipment

Fig. 5, Fig. 6에 서보밸브의 주파수 응답을 측정하기 위한 회로와 실험 장치의 구성을 나타내었다. 스플변위센서가 장착된 직동형 서보밸브의 A, B 포트에 압력센서 P1, P2를 설치하고, 부하압력은 압력센서의 차압인  $P1 - P2$  값을 측정하였다. 미터링 실린더에 속도센서를 설치하여 속도를 측정하며, 위치센서를 이용하여 실린더가 중간 위치에서 벗어나지 않도록 위치제어 시스템을 구성하였다. 실험에서 공급압력은 70 bar로 설정하고, 진폭이 입력 최대값의  $\pm 50\%$ 인 정현파의 주파수를 1 Hz에서 500 Hz까지 증가시키며 주파수 응답신호를 측정하였다. 측정되는 신호들은 5000 samples/sec의 속도로 데이터를 수집하였다.

Fig. 7은 ‘서보밸브-미터링 실린더 시스템’의 주파수 응답 측정결과에서 제어입력  $i$ 에 대한 실린더의 피스톤 속도  $v_p$ 의 주파수 응답을 나타낸 것이다.

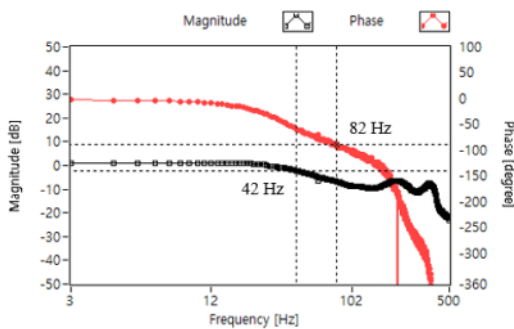


Fig. 7 Frequency response of  $i - v_p$

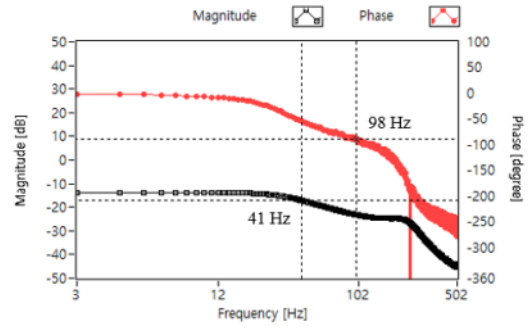


Fig. 8 Frequency response of  $i - x_v$

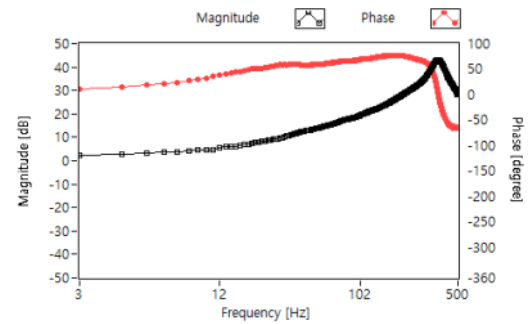


Fig. 9 Frequency response of  $x_v - P_L$

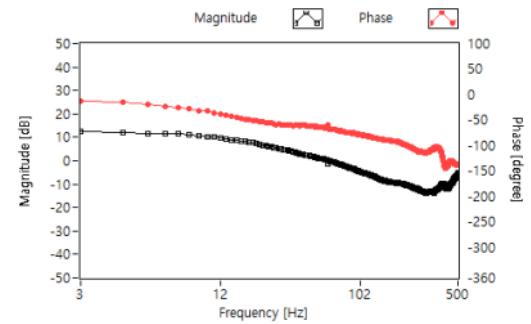


Fig. 10 Frequency response of  $P_L - v_p$

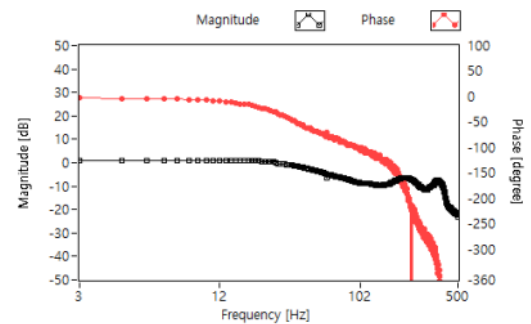


Fig. 11 Superposition result of signals

Fig. 8-10은 제어입력  $i$ 에 대한 스플변위  $x_v$ ,  $x_v$ 에 대한 밸브의 부하압력  $P_L$ ,  $P_L$ 에 대한 실린더의 피스톤 속도  $v_p$ 의 주파수 응답신호이며, 이 신호들을 중첩시킨 결과를 Fig. 11에 나타내었다.

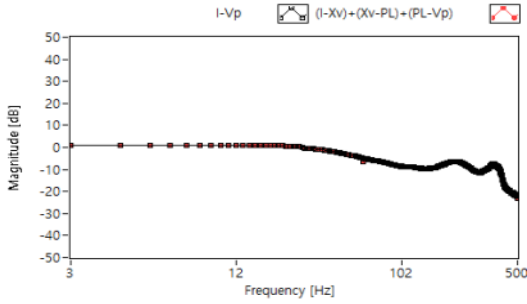


Fig. 12 Comparison of magnitude ratio

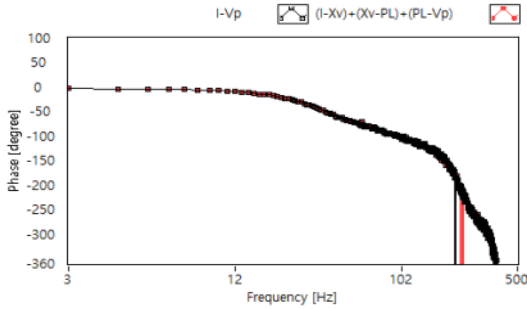


Fig. 13 Comparison of phase angle

Fig. 7에 나타난 ‘서보밸브-미터링 실린더 시스템’의 주파수 응답과 Fig. 11의 주파수 응답 신호들을 중첩시킨 결과에서 진폭비를 비교하여 Fig. 12에 나타내고, 위상각을 비교하여 Fig. 13에 나타내었다. 제어입력에 대한 스폴변위  $i - x_v$ , 스폴변위에 대한 부하압력  $x_v - P_L$ , 부하압력에 대한 미터링 실린더의 피스톤 속도  $P_L - v_p$ 의 주파수 응답을 중첩시킨 결과는 제어입력에 대한 미터링 실린더의 피스톤 속도  $i - v_p$ 의 주파수 응답을 측정된 결과와 정확히 일치하여 식 (6), (7)의 주파수 응답의 중첩원리가 성립한다는 것을 확인하였다.

#### 4. ‘서보밸브-미터링 실린더 시스템’의 신호 분석

Fig. 4-6의 ‘서보밸브-미터링 실린더 시스템’은 입력과 출력이 비선형 관계의 시스템이며, 미터링 실린더의 피스톤 속도신호와 부하압력신호가 동적으로 얽혀져 있는 시스템으로 알려져 있다.<sup>9)</sup> 서보밸브-미터링 실린더 시스템이 입출력 비선형이며 동적 복잡구조의 시스템이라고 하더라도, 식 (6), (7)의 주파수 응답 중첩원리가 적용된다. 본 연구에서는 서보밸브-미터링 실린더 시스템의 동적 거동을 Fig. 14에 나타낸 것과 같이 직렬 구조로 간주하고 주파수 응답 중첩원리를 적용하여 각 신호들의 상관관계와 특성을 분석한다.

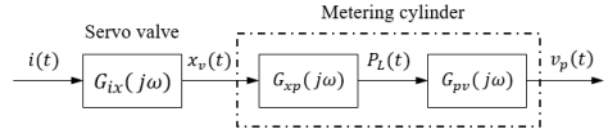


Fig. 14 Block diagram of serial structure transfer functions

Fig. 14의 구성에서 서보밸브 자체의 동적 거동의 출력신호는 서보밸브의 스폴변위  $x_v$ 이다. 그러므로 서보밸브의 주파수 응답을 측정하는 목적이라면 Fig. 8과 같이 제어입력  $i$ 에 대한 스폴변위  $x_v$ 의 신호를 이용하는 것이 바람직하다. 그렇지만 서보밸브에 스폴변위센서가 내장되어 있지 않은 경우에는 별도의 측정방법을 고려해야 하며, 일반적으로 미터링 실린더 시스템을 구성하여 미터링 실린더 피스톤의 속도 신호를 이용한다.

Fig. 7의 제어입력  $i$ 에 대한 미터링 실린더의 피스톤 속도  $v_p$ 의 주파수 응답이 Fig. 8의  $i$ 에 대한 밸브의 스폴변위  $x_v$ 의 주파수 응답과 유사한 양상을 보인다. 두 그림에서 -90도 위상각 대역폭 주파수는  $i - v_p$ 에서 82 Hz,  $i - x_v$ 에서 98 Hz로 차이를 보이지만, -3dB 진폭비 대역폭 주파수는  $i - v_p$ 에서 42 Hz,  $i - x_v$ 에서 41 Hz로 유사하여 미터링 실린더를 이용한 서보밸브의 동적 특성 측정결과가 유효한 것을 확인할 수 있다. 하지만 Fig. 7과 Fig. 8에서 200 Hz 이상의 높은 주파수 영역에서는 주파수 응답이 서로 큰 차이를 보이고 있다. 이러한 차이는 주파수 응답 중첩원리로부터 밸브의 스폴변위  $x_v$ 에 대한 미터링 실린더의 피스톤 속도  $v_p$ 의 주파수 응답이 중첩됨에 따른 것임을 알 수 있다.

Fig. 15는 스폴변위신호에 대한 미터링 실린더의 피스톤 속도  $x_v - v_p$ 의 주파수 응답을 보여준다. 주파수가 200 Hz 이하의 영역에서  $v_p/x_v$ 의 진폭비가

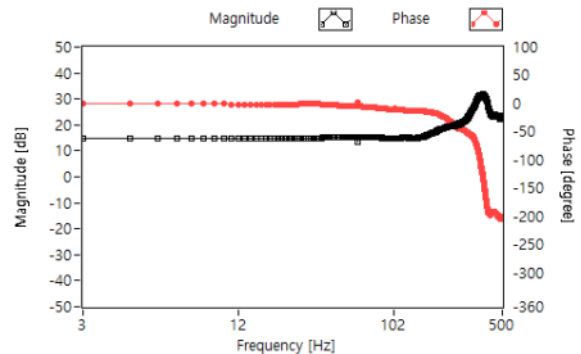


Fig. 15 Frequency response of  $x_v - v_p$

일정하고 위상 지연각이 0도 임에 반하여, 200 Hz 이상의 높은 영역에서는 진폭비가 변화하며 위상 지연각이 급격히 변화하고 있다. 그러므로 서보밸브의 스폴변위  $x_v$ 에 대한 미터링 실린더의 피스톤 속도  $v_p$ 의 진폭비와 위상각이 급격히 변화하는 특정 주파수는 측정대상이 되는 서보밸브의 대역폭 주파수에 비해 구별될 수 있는 수준으로 높게 설계되어야 할 것이다.

서보밸브의 주파수 응답을 측정하는 신호로 미터링 실린더의 피스톤 속도 신호를 이용해야 하는지에 대한 의문점과 함께 밸브의 부하압력신호를 이용할 수 없는 것인지에 대한 분석을 고려해볼 수 있다. Fig. 8에서 보여주는  $i - x_v$  주파수 응답에 Fig. 9의  $x_v - P_L$  주파수 응답을 더하면 Fig. 16에 나타낸 것과 같은 제어입력  $i$ 에 대한 부하압력  $P_L$ 의  $i - P_L$  주파수 응답이 된다.  $x_v - P_L$  주파수 응답의 진폭비 값이 본 연구에서 사용된 서보밸브의 대역폭 주파수보다 낮은 수십 Hz의 주파수 영역에서 일정하지 않으므로,  $i - x_v$ 의 일정한 진폭비 값을 더하더라도  $i - P_L$  주파수 응답의 진폭비는 일정하지 않게 된다. 위상각에 대해서도 유사한 추론을 할 수 있는데, 서보밸브의 대역폭 주파수보다 낮은 주파수 영역에서  $x_v - P_L$ 의 위상각이 0보다 큰 앞섬 위상각(phase lead)이며, 주파수가 증가함에 따라 양의 위상각도 증가한다.

주파수가 증가함에 따라 진폭비가 증가하고 양의 위상각이 증가하는 거동은 입력신호의 미분값이 출력신호가 되는 미분 거동으로 생각할 수 있으며<sup>10)</sup>, 이러한 미분 거동이  $x_v - P_L$  사이의 거동에서 지배적인 거동으로 볼 수 있으므로, 서보밸브의 주파수 응답을 측정하기 위한 별도의 신호로 미분 거동을 하는 부하압력신호를 이용하기는 어렵다.

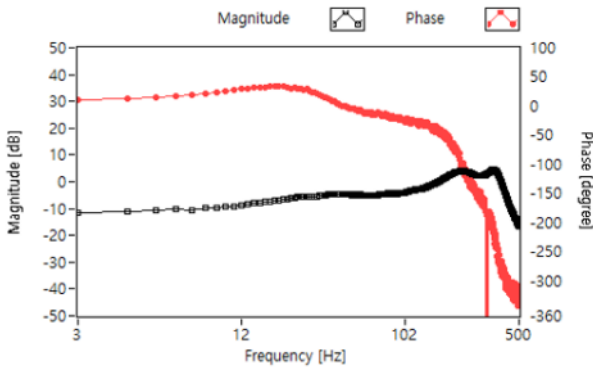


Fig. 16 Frequency response of  $i - P_L$

Fig. 9의  $x_v - P_L$  주파수 응답에 Fig. 10의  $P_L - v_p$  주파수 응답을 더하면 주파수 응답 중첩원리에 의하여 Fig. 15와 같은  $x_v - v_p$ 의 주파수 응답이 된다. Fig. 9의  $x_v - P_L$  주파수 응답은 미분 거동이 지배적인 거동이고, Fig. 10의  $P_L - v_p$  주파수 응답은 주파수가 증가함에 따라 진폭비가 감소하며 위상각이 음의 값으로 위상 지연이 커지는 적분 거동이라고 할 수 있다.<sup>10)</sup>  $x_v - P_L$ 의 미분 거동에  $P_L - v_p$ 의 적분 거동이 유사한 크기로 중첩됨에 따라  $x_v - v_p$ 의 주파수 응답은 미터링 실린더의 대역폭 주파수 범위에서 진폭비 값이 일정하며, 위상각이 0의 값을 보인다. 따라서 서보밸브의 주파수 응답 측정을 위한 신호로 스폴변위신호를 이용할 수 없는 경우에는 미터링 실린더의 피스톤 속도신호를 이용해야 한다.

### 5. 결 론

다양한 측정신호의 주파수 응답 사이의 관계를 연구하고 ‘서보밸브-미터링 실린더 시스템’의 측정신호들의 특성과 상관관계를 분석한 결과는 다음과 같이 요약된다.

- 1) 세 가지 이상의 주파수 응답 신호들 사이에 주파수 응답 중첩원리가 성립한다.
- 2) 서보밸브의 스폴변위신호를 측정할 수 있는 경우에는 스폴변위신호가 서보밸브의 주파수 응답을 측정하는 최적의 신호이다.
- 3) 서보밸브의 스폴변위신호를 측정할 수 없는 경우에는 미터링 실린더의 속도신호가 서보밸브의 주파수 응답을 측정하는 용도로 사용될 수 있다.
- 4) 서보밸브의 주파수 응답을 측정하는 미터링 실린더는 서보밸브의 대역폭 주파수에 비해 높은 대역폭 주파수를 가지도록 설계되어야 한다.
- 5) 서보밸브의 부하압력신호는 서보밸브의 주파수 응답을 측정하는 용도로 사용되기 어렵다.
- 6) 서보밸브의 스폴변위신호에 대한 부하압력신호 사이의 거동은 미분 거동이 주된 거동이며, 부하압력에 대한 미터링 실린더의 속도신호 사이의 거동은 적분 거동이 주된 거동이다.

### 후 기

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비 지원에 의하여 수행되었습니다. (과제번호 : 2020-0128-0001)

## 이해관계(CONFLICT OF INTEREST)

저자는 이 논문과 관련하여 이해관계 충돌의 여지가 없음을 명시합니다.

## References

- 1) J. S. Seo et al., "A Study on the Frequency Response Characteristics of High Response Flow Control Servo Valve," Korea Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol.15, No.6, pp.480-488, 2003.
- 2) K. H. Kim et al., "In-Process Diagnosis of Servovalve Wear Using Leakage Flow Measurement," Transactions of the Korea Fluid Power Systems Society, Vol.1, No.2, pp.1-7, 2004.
- 3) S. D. Kim, S. H. Son and Y. B. Ham, "Effect of Spool-Sleeve Geometry on Static Pressure Characteristics of Servo Valves," Journal of Drive and Control, Vol.13, No.1, pp.34-42, 2016.
- 4) S. D. Kim, S. H. Jeon and J. S. Yun, "A Study on the Phase Bandwidth Frequency of a Directional Control Valve based on the Metering Orifice," Journal of Drive and Control, Vol.15, No.1, pp.1-9, 2018.
- 5) ISO 10770-1, 2nd ed., Hydraulic fluid power - Electrically modulated hydraulic control valves - Part 1 : Test methods for four-port directional flow-control valves, 2009.
- 6) ARP4493, Aerospace - Direct Drive Servovalves, SAE International, 2007.
- 7) ARP490F, Electrohydraulic Servovalves, SAE International, 2008.
- 8) KS B 6515, Test Methods for Electro-hydraulic Servo Valves, 2006.
- 9) H. E. Merritt, Hydraulic Control System, John Wiley & Sons, New York, 1967.
- 10) K. Ogata, Modern Control Engineering, 4th ed., Prentice Hall, New Jersey, 2002.
- 11) Moog Inc, "Direct Drive Analog Control Servo Valves D633 Size 03 D634 Size 05," 2020.
- 12) S. D. Kim and J. E. Lee, "A Study on the Frequency Responses of Directional Control Valves," Proceedings of 2018 Spring Conference on Drive and Control, pp.111-112, 2018.
- 13) H. S. Yun and S. D. Kim, "Analysis on Frequency Response Signals of a Servo Valve," Proceedings of 2020 Autumn Conference on Drive and Control, pp.26-27, 2020.