모터입력전압 감소에 따른 반공진 및 공진주파수 민감도 변화

The Change of Sensitivity of Anti-resonant and Resonant Frequencies due to the reduction of Motor Input Voltage

*#백주현[1], 김진천[2]

*#J. H. Baek(jhbaekb@lignex1.com)[1], J. C. Kim[2]

[1] LIG넥스원㈜ 연구개발본부, [2]LIG넥스원㈜ 연구개발본부

Key words : Backlash, Sensitivity, Motor Input Voltage

1. 서론

본 연구에서는 백래시가 존재하는 기어감속서보시스템에서 주파수응답특성을 구할 때 모터입력전압의 크기를 감소시키면 주파수응답특성에서 나타나는 반공진 및 공진주파수의 민감도가 증가하여, 작은 양의 백래시 크기에도 큰 반공진 및 공진주파수 변화가 나타날 수 있음을 보여주는 데 목적이 있다.

본 연구에서 사용된 주파수응답특성은 모터입력전압에 대한 모터각속도응답으로 정의되며, 본 연구결과는 향후 토크센서나 가속도계를 사용하지 않고 기어감속서보시스템 내 백래시 크기 및 변화를 검출하는 연구에 유용하게 활용될 수 있을 것이라고 생각한다.

해석과 실험의 편의를 위해 1 단 기어 감속기를 갖는 서보시스템을 고려하였다.

2. 이론적 분석

Fig. 1 은 본 연구에서 고려된 1 단 기어감속 서보시스템으로 기어와 피니언의 축간거리 조정을 통해 백래시 크기를 조절하는 장치이다. 고려된 시스템은 태코제너레이터가 일체화된 영구자석 필드형 DC 모터에 의해 구동된다.

Bigley[(1)]에 의하면 기어감속서보시스템의 주파수응답특성에서 나타나는 반공진 및 공진주파수는 부하의 회전관성모멘트, 모터의 회전관성모멘트, 감속비 및 시스템의 유효등가비틀림강성 값에 따라 결정되며, 이 중 유효등가비틀림강성은 다음 식(1)과 같이 표현된다고 한다.

$$k_{eq,effect} = G_D(\delta, \theta_{d,\max})\, k_{eq} \qquad (1)$$

여기서, $k_{eq,effect}$ 는 시스템의 유효등가비틀림강성, $G_D(\delta, \theta_{d,\max})$ 는 백래시 모델의 기술함수 이득, k_{eq} 는 시스템 기어구동부의 등가비틀림강성, δ 는 피니언과 기어 사이에 존재하는 백래시 크기이고, $\theta_{d,\max}$ 는 각 전달오차의 진폭크기이다.

데드존 모델을 사용한 백래시 모델의 기술함수 이득값 $G_D(\delta, \theta_{d,\max})$ 은 식(2)과 같으며[(2)], 백래시 모델의 이득값은 백래시 크기뿐만 아니라 각 전달오차 크기에 따라 결정됨을 알 수 있다.

$$G_D(\delta, \theta_{d,\max}) = 1 - \frac{2}{\pi}\left[\sin^{-1}\left(\frac{\delta}{\theta_{d,\max}}\right) + \frac{\delta}{\theta_{d,\max}}\sqrt{1-\left(\frac{\delta}{\theta_{d,\max}}\right)^2} \right] \qquad (2)$$

여기서, δ 는 피니언과 기어 사이에 존재하는 백래시 크기의 1/2 이고, $\theta_{d,\max}$ 는 각 전달오차의 진폭크기이다.

Fig. 2 는 각 전달오차 $\theta_{d,max}$ 가 상대적으로 작은 경우 식(2)의 이득값 변화를 자세히 관찰하기 위한 그림으로 식(2)를 $\theta_{d,max}/\delta$에 대해 표현하였다.

Fig. 2 에서 점 A는 각 전달오차 진폭크기가 2.4°이고 백래시 크기가 0.2° 일 때 $\theta_{d,max}/\delta$의 값이 12 가 되어 0.9 의 이득 값을 갖는다. 만일 이 상태에서 백래시 크기가 0.3° 로 0.1° 증가한다면 $\theta_{d,max}/\delta$ 값은 8 이 되어 백래시 이득 값이 0.84 로 감소하게 된다.

결국 0.1° 의 백래시 증가에 대해 0.06 의 이득값 감소가 발생하며, 이 이득값의 감소로 인해 식(1)에 나타낸

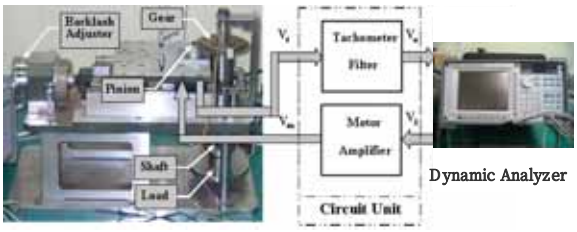


Fig. 1 Schematic diagram of a considered system

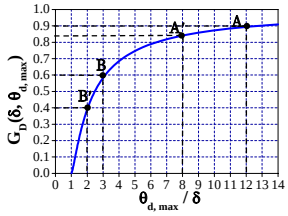


Fig. 2 The gain of backlash model to $\theta_{d,max}/\delta$

바와 같이 유효등가비틀림강성 값이 작아지고 결국 시스템의 반공진 및 공진주파수가 감소하게 된다. 그러나, 이 경우 백래시 크기 증가에 대한 이득 값의 변화가 작아 이득 값의 변화로 나타나는 반공진 및 공진주파수의 변화량도 작게 나타난다.

그러나, 점 B의 경우는 각 전달오차 진폭크기가 점 A 보다 작은 0.6°이고 백래시 크기는 점 A와 동일한 0.2°라 할 때, $\theta_{d,max}/\delta$의 값은 3 이 되며 0.6 의 이득 값을 갖게 된다. 만일 이 상태에서 앞과 마찬가지로 백래시 크기만이 0.3° 로 0.1° 증가한다면 $\theta_{d,max}/\delta$ 값은 2 가 되어 0.4 의 이득 값을 갖는 점 B′ 으로 이동하게 된다.

이 경우 0.1°의 백래시 증가에 대해 점 A 의 3.3 배인 0.2 의 이득 값의 감소가 발생하게 된다. 그러므로, 백래시 증가량이 같더라도 각 전달오차의 크기에 따라 백래시 이득의 감소량은 크게 달라 질 수 있음을 알 수 있으며, 각 전달오차 크기를 적절히 감소시키면 백래시 증가에 대한 반공진 및 공진주파수의 감소량을 크게 발생시킬 수 있다는 것을 알 수 있다.

다시 말해 기어감속서보시스템의 백래시에 대한 반공진 및 공진주파수의 변화량은 각 전달오차의 크기가 작아짐에 따라 커질 수 있음을 의미하며, 본 시스템과 같이 영구자석형 DC 모터를 사용하는 시스템의 각 전달오차는 모터입력전압의 크기에 따라 조절될 수 있으므로 모터입력전압의 크기를 감소시키므로 써 백래시에 대한 반공진 및 공진주파수의 변화량을 높일 수 있게 된다

3. 시뮬레이션 및 실험

모터입력전압의 크기를 낮추므로 써 백래시에 대한 반공진 및 공진주파수의 변화량이 커지는 것을 확인하기 위하여 시뮬레이션과 실험을 수행하였다.

시뮬레이션는 모터전압증폭기 입력전압, V_i, 에 대한 태코제너레이터 필터의 시간영역응답, V_o, 을 Matlab Simulink

를 사용하여 얻은 후 주파수 분석을 통해 주파수응답특성을 구하였다. 실험결과는 Fig.1 에 나타낸 실험장치를 이용하여 구하였다.

Fig. 3 과 Fig. 4 는 각각 시뮬레이션과 실험을 통해 얻은 주파수응답특성으로 시뮬레이션에 사용된 매개변수 값이 실제 실험장치의 매개변수 값과 달라 정량적인 값에는 차이가 있지만, 모터입력전압의 크기가 작은 Fig. 3(b)와 Fig. 4(b)가 모터입력전압이 큰 Fig. 3(a) 와 Fig. 4(a) 보다 큰 반공진 및 공진주파수 감소폭을 갖음을 볼 수 있다.

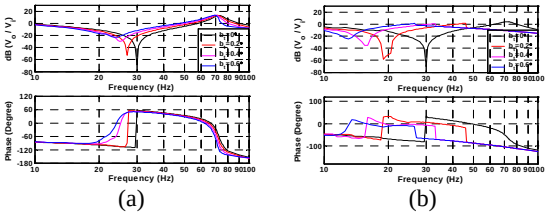
Fig. 5 와 Fig. 6 역시 각각 시뮬레이션과 실험을 통해 얻은 결과로 모터입력전압의 크기가 작아짐에 따라 백래시에 대한 반공진 및 공진주파수의 감소량이 점점 커짐을 볼 수 있으며, 전반적인 그래프 형태가 Fig. 2 의 그래프 형태와 유사함을 알 수 있다.

실험으로 얻어진 공진주파수의 변화를 나타내는 Fig. 6(b)의 그래프 형태가 다소 해석적이지 못한 경향을 보이는 원인으로는 공진 시 발생하는 시스템 진동이 모터각속도 측정에 영향을 주어 발생한 것으로 추정된다. Fig. 6(b)가 비록 해석적이지 못한 그래프 형태를 갖으나 모터입력전압의 크기 감소에 따라 반공진 및 공진주파수가 전반적으로 감소하는 형태를 보이며, 또한, 급격히 감소하는 구간이 존재함을 확인할 수 있다.

Fig. 7 과 Fig. 8 은 Fig.5 와 Fig. 6 의 그래프를 모터입력전압에 대해 미분한 결과로 모터입력전압이 작아짐에 따라 반공진 및 공진주파수가 작아지는 감소율 즉, 민감도 변화를 나타낸다.

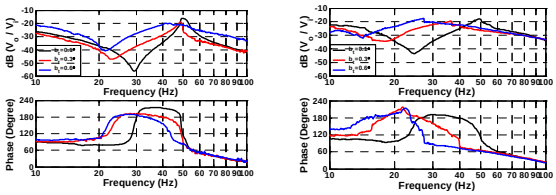
Fig. 7 과 Fig. 8 을 보면 모터입력전압이 작아짐에 따라 반공진 및 공진주파수의 민감도가 점점 더 커짐을 보여준다. 실험에서 얻은 공진주파수의 민감도를 나타내는 Fig. 8(b)는 공진 시 시스템 진동으로 인해 오차를 갖고 측정된 Fig. 6(b)를 미분하여 얻은 결과이므로 Fig. 6(b)와 마찬가지로 해석적이지 못한 민감도 변화를 보여주나 모터입력전압의 크기 감소에 따라 전반적으로 커지는 경향을 보여 준다.

다시말해 기어감속 서보시스템에 있어서 시스템의 주파수응답특성을 구할 때 모터입력전압의 크기를 크게 낮추면 얻어지는 주파수응답선도에서 나타나는 반공진 및 공진주파수는 작은 백래시 크기에도 큰 반공진 및 공진주파수의 변화를 보이게 되므로 이 결과를 통해 향후 기어감속 서보시스템에 존재하는 백래시의 크기 및 변화를 검출할 수 있을 것이다.



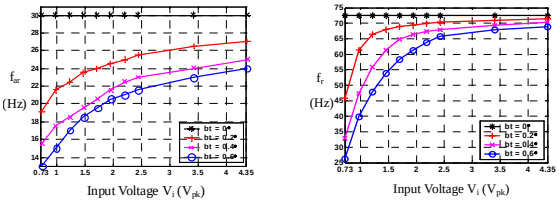
(a) (b)

Fig. 3 The Bode diagram V_o / V_i obtained from simulation (a) $V_i = 4.35V_{pk}$ (b) $V_i = 0.73V_{pk}$



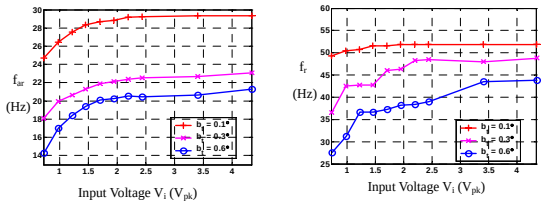
(a) (b)

Fig. 4 The Bode diagram V_o / V_i obtained from experiment (a) $V_i = 4.35V_{pk}$ (b) $V_i = 0.73V_{pk}$



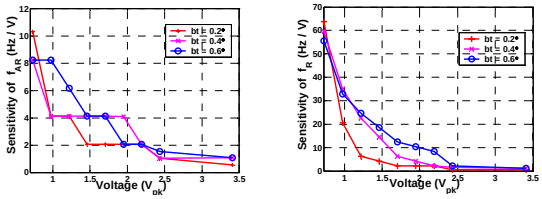
(a) (b)

Fig. 5 Changes of (a) anti-resonant frequency and (b) resonant frequency obtained from simulation



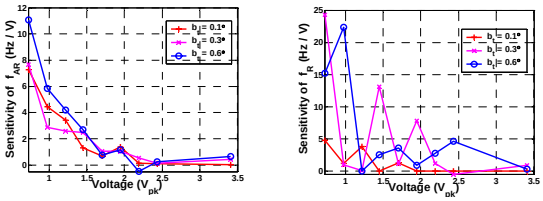
(a) (b)

Fig. 6 Changes of (a) anti-resonant frequency and (b) resonant frequency obtained from experiment



(a) (b)

Fig. 7 Changes of Sensitivity of (a) anti-resonant frequency and (b) resonant frequency obtained from simulation



(a) (b)

Fig. 8 Changes of Sensitivity of (a) anti-resonant frequency and (b) resonant frequency obtained from experiment

4. 결론

본 연구에서는 기어감속 서보시스템에서 모터입력전압의 크기를 감소시키면 주파수응답선도에서 나타나는 반공진 및 공진주파수의 민감도가 크게 증가하여 작은 양의 백래시 크기에도 큰 반공진 및 공진주파수 변화가 발생할 수 있음을 보여 주었다. 이 결과는 향후 기어감속시스템의 백래시 크기 및 변화량 검출방법에 대한 연구에 있어서 유용하게 활용될 수 있을 것이라고 생각한다.

참고문헌

1. Bigley, W. J., “Wideband Base Motion Isolation Control via the State Equalization Technique,” Optical Engineering, **32**, 2805-2811, 1993.
2. Slotine, J. J., and Li, W., Applied Nonlinear Control, Prentice-Hall, 175-177, 1991.