

Bondgraph 를 이용한 스피들 시스템 모델링 방법

A method to model a spindle system using a bondgraph

*김종현¹, 김규하¹, #이선규¹

*JongHyun Kim¹, Gyu Ha Kim¹, #Sun-Kyu Lee(skyee@gist.ac.kr)¹

¹광주과학기술원 기전공학부

Key words : Spindle, Electromagnetic actuator, Bondgraph

1. 서론

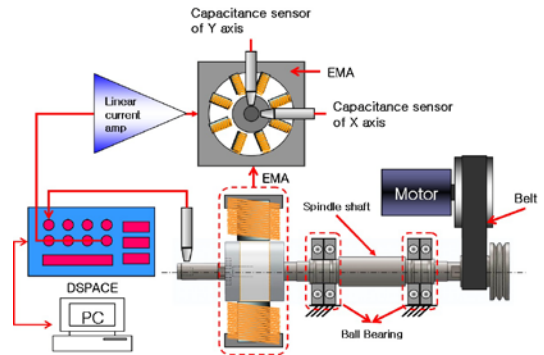
최근 표면에 미세 형상을 새기고자 하는 연구가 많이 진행되고 있다. 그런 미세 형상은 마찰, 광학 등과 같은 특성을 이용한 다양한 분야에 적용된다. [1, 2] 표면에 미세 형상을 만들기 위한 가공 방법에는 기계가공, 레이저, 전자빔, 리소그래피 등이 있고 기계가공에 의한 방법은 비회전 공구의 운동 궤적을 PZT 액츄에이터로 제어하여 미세 형상을 가공한 연구가 진행되고 있다. [3, 4]

본 연구에서는 회전 공구의 운동 궤적을 제어하여 미세 형상을 만들기 위하여 스피들 축 끝에 전자기 가진기를 장착하였다. 뿐만 아니라 스피들의 런아웃을 제어할 수 있다. 스피들 제어 시스템에 적용하기 위한 스피들의 모델을 구하기 위해 Bondgraph 를 적용하였다. 이 방법은 전기적인 부분과 기계적인 요소들을 서로의 물리적인 연결 관계를 고려하여 쉽게 모델링할 수 있다는 장점이 있다.

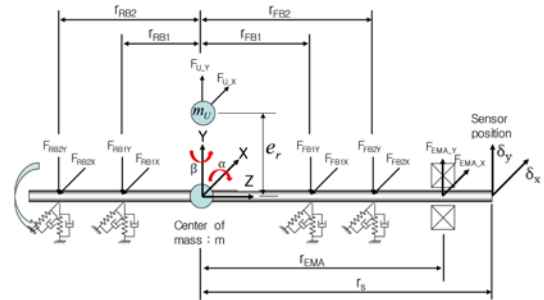
Bondgraph 에 의해서 구해진 모델과 실제 시스템과 비교하기 위해 주파수 응답 특성을 비교하였다.

2. 스피들 시스템

스피들 축은 볼베어링에 의해 지지되어 회전하고 있으며 전자기력은 축 끝에 작용하고 있다. 그리고 변위는 볼베어링의 선형 탄성 영역에서 발생하고 있다. Bondgraph 모델에는 볼베어링, 축, 불평형량, 전자기력, 변위 센서가 포함되어 있다. 모델에서 스피들 축은 rigid body 라고 가정하였다. 그림 1 (a)는 스피들 시스템의 구성도를 나타내고 (b)는 스피들 시스템의 모델을 구하기 위한 각 부분의 관계를 나타내고 있다.



(a) schematic diagram



(b) mechanical model

Fig.1 Structure of spindle system.

$$\begin{aligned}
 m \cdot \ddot{x} &= F_{U_x} + F_{EMA_x} - F_{FB1x} - F_{FB2x} - F_{RB1x} - F_{RB2x} \\
 m \cdot \ddot{y} &= F_{U_y} + F_{EMA_y} - F_{FB1y} - F_{FB2y} - F_{RB1y} - F_{RB2y} \\
 \begin{bmatrix} m & 0 \\ 0 & m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} F_{U_x} \\ F_{U_y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} F_{EMA_x} \\ F_{EMA_y} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} F_{FB1x} \\ F_{FB1y} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} F_{FB2x} \\ F_{FB2y} \end{bmatrix} \\
 &\quad - \begin{bmatrix} F_{RB1x} \\ F_{RB1y} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} F_{RB2x} \\ F_{RB2y} \end{bmatrix} \\
 I \cdot \ddot{\alpha} &= -r_{EMA} \cdot F_{EMA_y} + r_{FB1} \cdot F_{FB1y} + r_{FB2} \cdot F_{FB2y} \\
 &\quad - r_{RB1} \cdot F_{RB1y} - r_{RB2} \cdot F_{RB2y}
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 I \cdot \ddot{\beta} &= r_{EMA} \cdot F_{EMA-X} - r_{FB1} \cdot F_{FB1X} - r_{FB2} \cdot F_{FB2X} \\
 &+ r_{RB1} \cdot F_{RB1X} + r_{RB2} \cdot F_{RB2X} \\
 \begin{bmatrix} I & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\alpha} \\ \ddot{\beta} \end{bmatrix} &= r_{EMA} \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{EMA-X} \\ F_{EMA-Y} \end{bmatrix} \\
 -r_{FB1} \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{FB1X} \\ F_{FB1Y} \end{bmatrix} &- r_{FB2} \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{FB2X} \\ F_{FB2Y} \end{bmatrix} \\
 + r_{RB1} \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{RB1X} \\ F_{RB1Y} \end{bmatrix} &+ r_{RB2} \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{RB2X} \\ F_{RB2Y} \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{2}$$

식(1)과 (2)에서 베어링의 반발력은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} F_{BX} \\ F_{BY} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_x & k_{xy} \\ k_{yx} & k_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_x & c_{xy} \\ c_{yx} & c_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} \tag{3}$$

축에 작용하는 전자기력은 다음과 같다.

$$F_{EMA} = 4 \cdot \cos(\alpha) \cdot \frac{\mu_0 \cdot A_p \cdot N^2 \cdot i_0 \cdot i}{g_0} \tag{4}$$

위의 식에 의해 구해진 Bondgraph 모델은 다음과 같다.

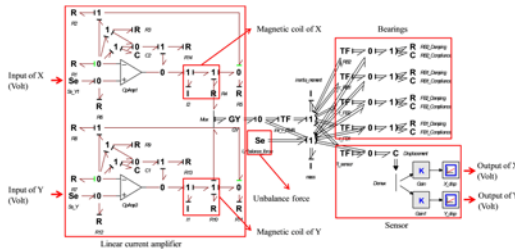


Fig.2 Bondgraph model

3. 결과 비교

Bondgraph 에 의해 얻어진 스피들 시스템의 모델을 실제 시스템과 비교하기 위해 주파수 응답 특성으로 비교하였다. 그림 3의 결과를 보면 실제 시스템의 주파수 응답 특성과 매우 유사함을 확인할 수 있다.

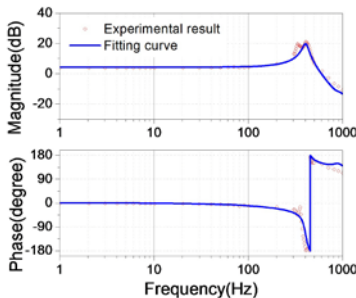


Fig. 3 Frequency response of the spindle system

4. 결론

스핀들 시스템의 모델을 구하기 위해 Bondgraph modeling method 를 적용하였다. 이를 통해 구해진 스피들 시스템의 전달함수의 주파수 응답 특성이 실제 시스템과 동일하게 나타났다. 따라서 스피들 제어 시스템에 적용 가능함을 확인할 수 있었다.

후기

이 논문은 2012년도 정부의 재원으로 한국연구재단(N0.20120006271) 및 지식경제부 기계장비 정밀도 시뮬레이션 플랫폼 기술 개발 과제(No.10033595-2011-13)그리고 광역경제권 연계협력사업(2010-H-003-00030100-2010)의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

1. Bryan associated, Pleasanton, Chris J. Evans, James B. Bryan, "Structured, textured, or engineered surface", National institute of standards and technology, Gaithersburg, USA
2. L. De Chiffre, P. Lonardo, H. truumpold, D.A. Lucca, G. Goch, C.A. Brown, J. Raja and H.N. Hansen, "Quantitative characterization of surface texture", CIRP Annals, Manufacturing Technology, Volume 49, Issue 2, 2000, pp.635-652
3. T C Kwok, C F Cheung, L B Kong, S To, and W B Lee, "Analysis of surface generation in ultra-precision machining with a fast tool servo", Proc. IMechE, Vol.224, Part B: Journal of Engineering manufacture, pp.1351~1367
4. Takeshi Araki, Wei Gao, Satoshi Kiyono, Masasyu Sudoh and Masami Mito, "Generation of large-area microstructured surface by diamond turning with a fast tool servo"