

### 3 자유도 강체 진동 시스템의 PID 제어

#### PID control of 3DOF Rigid Vibration System

이종원\* · 윤지현\* · 양인형\* · 이규섭\*\* 오재응†

Jong-Won Lee, Ji-Hyun Yoon, In-Hyung Yang, Jung-Youn Lee and Jae-Eung Oh

#### 1. 서론

반도체 생산공정과 같은 고집적, 초정밀 산업분야가 발달함에 따라 진동 저감에 대한 중요성 또한 높아지고 있다. 제진제 부착과 같은 수동 진동 저감 방법은 저주파 대역에서의 미세 진동 저감 효과를 기대하기 어렵다. 이러한 수동 진동 저감 대책의 한계를 해결하기 위해 발생하는 진동의 역위상을 액츄에이터로 가진하는 능동 진동 제어 기법이 많이 사용된다. 능동 진동 제어를 위한 여러가지 제어기 중에서 PID 제어기는 구조가 간단하고 견실성이 우수하며 현장 운전자에게 익숙하다는 장점 때문에 산업 현장에서 널리 사용되고 있다.

본 논문에서는 상부 가진에 의해 진동이 발생하는 정반을 해석하고 PID 제어를 통하여 진동을 제어하는 시뮬레이션을 수행하였다. 이 때 상부 가진은 한 점의 임펄스 충격을 주었고, 그로 인해 3 자유도를 갖게 된다. 또한 최적의 제어 성능을 보이는 제어 gain 값을 구하였다.

#### 2. 본론

##### 2.1 3DOF 강체 진동 해석

해석대상이 되는 정반은 Fig.1 과 같다. 정반은 강체라 가정하였고, 한 점의 z 축 방향 가진만을 고려하였으므로 3DOF 시스템이다.

이 시스템의 물성치와 운동 방정식은 다음과 같다.

2m×2m×0.25m, 3000kg  
 k = 2530 N/m, c = 0 N·s/m  
 a = b = 0  
 1000N impact

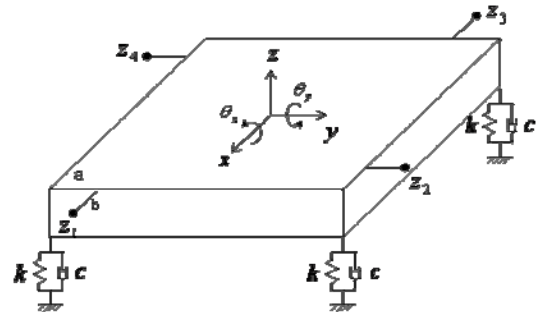


Fig. 1 3DOF 강체 진동 시스템

$$m\ddot{z} + 4c\dot{z} + 4kz = F_z$$

$$I_{xx}\ddot{\theta}_x + cl_1^2\dot{\theta}_x + kl_1^2\theta_x = M_x$$

$$I_{yy}\ddot{\theta}_y + cl_2^2\dot{\theta}_y + kl_2^2\theta_y = M_y$$

위의 운동 방정식을 컴퓨터 시뮬레이션에 용이한 상태공간 방정식으로 변환하면 다음과 같다.

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{Ax} + \mathbf{Bu}$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{Cx} + \mathbf{Du}$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ -\frac{4k}{m} & 0 & 0 & -\frac{4c}{m} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{kl_1^2}{I_{xx}} & 0 & 0 & -\frac{cl_1^2}{I_{xx}} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{kl_2^2}{I_{yy}} & 0 & 0 & -\frac{cl_2^2}{I_{yy}} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{m} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{I_{xx}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{I_{yy}} \end{bmatrix}, \mathbf{u} = \begin{Bmatrix} F_z \\ M_x \\ M_y \end{Bmatrix}$$

† 오재응; 한양대학교 기계공학부

E-mail : jeoh@hanyang.ac.kr

Tel : (02) 2294-8294, Fax : (02) 2299-3153

\* 한양대학교 대학원 기계공학과

\*\*RMS 테크놀러지

$$C = \begin{bmatrix} 1 & -\left(\frac{l_1}{2}-a\right) & -\left(\frac{l_2}{2}+b\right) & 0 & 0 & 0 \\ 1 & \left(\frac{l_1}{2}+b\right) & -\left(\frac{l_2}{2}-a\right) & 0 & 0 & 0 \\ 1 & \left(\frac{l_1}{2}-a\right) & \left(\frac{l_2}{2}+b\right) & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -\left(\frac{l_1}{2}+b\right) & \left(\frac{l_2}{2}-a\right) & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

## 2.2 PID 제어

진동 제어를 위한 Block diagram 은 Fig.2 와 같다.

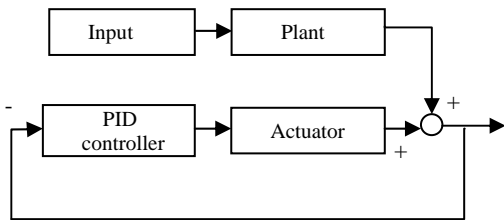


Fig. 2 PID 제어의 Block diagram

임펄스 입력이 Input 에 가해지고 앞 절에서 구한 상태공간 방정식이 Plant 부에 들어가게 된다. 실제계를 고려하면 액츄에이터의 전달함수가 들어가야하지만 본 연구에서는 고려하지 않았다.

## 3. 시뮬레이션

### 3.1 3DOF 강체 진동 시뮬레이션

1000N 의 임펄스 입력에 대한 시스템의 진동을 시뮬레이션의 결과는 Fig.3 과 같다.

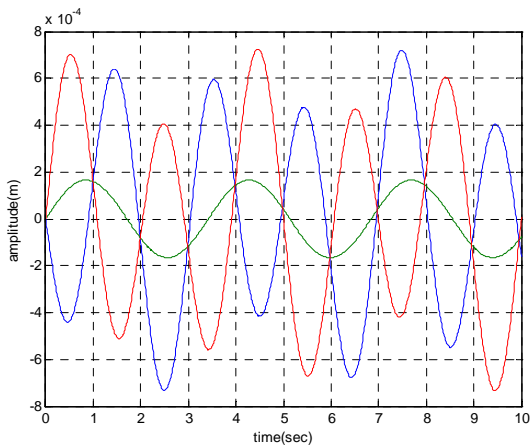


Fig. 3 3DOF 시스템의 진동 시뮬레이션

### 3.2 3DOF 강체 진동의 PID 제어

Fig.4 의 과정과 시행착오법을 통하여 P=105, I=1, D=1000 의 최적 gain 값을 찾았다.

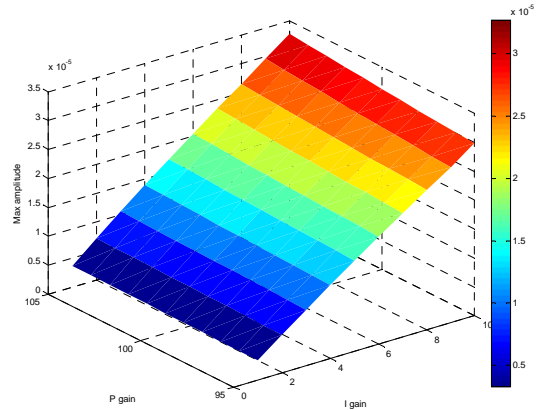


Fig. 4 P, I gain 값에 따른 시스템응답의 최대값

Fig.5 는 위의 gain 값을 적용한 제어 시뮬레이션 결과이다. 99.93%의 진동 제어 효과를 나타내었다.

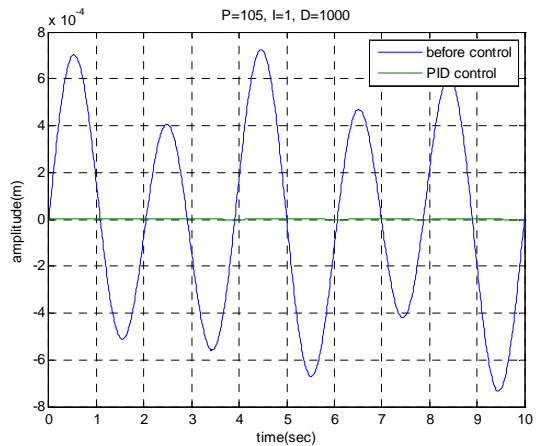


Fig. 5 3DOF 강체 진동의 PID 제어

## 4. 결론

반도체 생산설비의 진동 특성을 알기 위해 3DOF 시스템으로 모델링하였고 이를 상태공간 방정식으로 표현하여 1000N 임펄스 입력에 대한 시스템 응답을 구하였다. 또한 이 결과를 바탕으로 PID 제어를 적용하여 시뮬레이션 하였는데, 최적 PID gain 값을 찾아 적용한 결과 99.93%의 진동 제어 효과를 보임을 알 수 있었다.