

VCM을 이용한 제진장치 개발에 관한 연구

A study on the development of vibration isolator using VCM

김진만* · 남택근† · 이돈출**

Jin-Man Kim*, Taek-Kun Nam† and Don-Chool Lee**

1. 서 론

본 연구에서는 레이저 소형선박의 엔진 및 각종 모터로 구동되는 회전기기 등에 적용 가능한 제진장치의 개발에 관하여 언급하고자 한다. 가진원을 가지고 있는 선박에서 진동을 억제하기 위한 제진장치는 선박의 피로도와 사용자의 거주성과 관련하여 더욱 높은 제진특성이 요구되고 있으며, 진동과 소음의 규제가 엄격한 해양레이저장비의 확산과 더불어 이러한 제진장치의 개발은 더욱 중요한 요소로 작용한다.

본 연구에서는 소형엔진 및 회전기기에 장착하여 진동으로부터 장치를 보호하기 위해 VCM(Voice Coil Motor)를 이용하여 외부의 가진원으로부터 장치로 전달되는 진동을 억제할 수 있는 제진장치를 개발하고 시뮬레이션을 통해 효율적인 제어기 설계를 행하고자 한다.

2. 제진장치의 구성

Fig.1은 본 연구에서 개발하고자하는 능동형 제진장치를 나타낸 것이다.

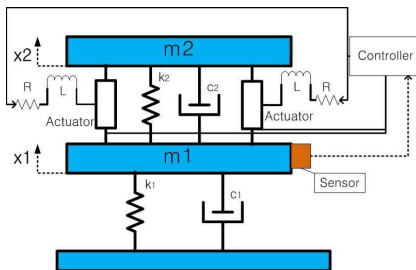


Fig.1 Vibration isolator

† 교신저자; 목포해양대학교 기관시스템공학부
E-mail : tknam@mmu.ac.kr

Tel : 061-240-7225 , Fax : 061-240-7201

* 목포해양대학교 대학원

** 목포해양대학교 기관시스템공학부

제진장치는 두 개의 플레이트(판)로 구성이 되고 하부에서 전달되는 진동성분들이 상부판에 전달이 되지 않도록 하기 위하여 중간에 VCM(voice coil motor)를 설치하여 넓은 주파수대에서 안정적인 제진 성능을 얻고자 하였다. 아울러 판의 움직임에 대한 변위를 계측하기 위해 하부판에 레이저 센서가 부착된다.

3. 제어알고리즘 설계

Fig.1과 같은 제진장치에 대해 라그랑제의 운동방정식을 적용하면 다음과 같이 식 (1)이 얻어진다.

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 + c_1 \dot{x}_1 + c_2 (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + k_1 x_1 + k_2 (x_1 - x_2) &= f \\ m_2 \ddot{x}_2 + c_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + k_2 (x_2 - x_1) &= f \end{aligned} \quad (1)$$

상태변수 $x = (x_1 \dot{x}_1 x_2 \dot{x}_2)^T$, 제어입력 $u = f$ 를 취하면 다음과 같은 상태 방정식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx \end{aligned} \quad (2)$$

본 연구에서는 상태출력벡터를 $C = (1 \ 0 \ 0 \ 0)^T$ 로 가정 즉, x_1 이외에는 상태변수를 얻을 수 없는 상태로 한다. 따라서 전체시스템에 대한 상태관측기(observer)가 필요하게 되고, 루웬버거의 읍저버를 이용하여 상태변수를 계측할 수 있다. 상태관측기

$$\begin{aligned} \dot{\hat{x}} &= (A - K_e C) \hat{x} + K_e y + Bu \\ \hat{x} &= (A - K_e C) \hat{x} + K_e Cx + Bu \end{aligned} \quad (3)$$

에 대해 오차 벡터를 $e = \hat{x} - x$ 로 가정하고 미분하여 정리하면 $\dot{e} = (A - K_e C)e$ 로부터

$$e = e^{(A - K_e C)t} e(0) \quad (4)$$

를 얻을 수 있고, 오차값이 0에 수렴하는 $A - K_e C$ 의 게인 K를 선택하면 된다.

동일차원 읍저버를 통해 얻어진 상태변수를 안정화시키기 위해 LQR제어기법을 적용하여 제어입력을

$$u = -R^{-1} b^T P \hat{x} \quad (5)$$

와 같이 구성할 수 있다. 단, R 은 평가함수의 가중치이며, P 는 리카치방정식의 해를 의미한다.

제어알고리즘의 유용성을 판단하기 위해 제진장치의 파라미터 값을 각각 $m_1 = 5.5[kg], m_2 = 3.5[kg], k_1 = 2 \times 10^2[N/m], k_2 = 1 \times 10^2[N/m]$ 로 설정하고, 상태변수 값을 각각, $X_0 = (1000)^T, \hat{X}_0 = (1111)^T$ 로 하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 2초 이후부터 안정화 제어를 하도록 하고, 제진장치의 계수를 임의로 지정하였다.

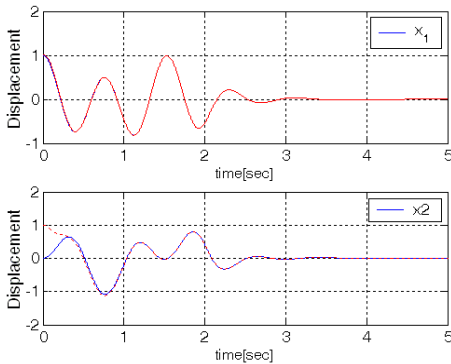


Fig. 2 State variables x_1, x_2

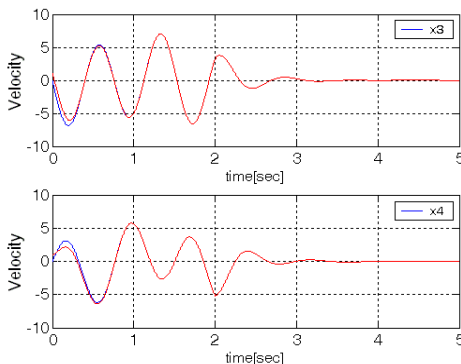


Fig. 3 State variables x_3, x_4

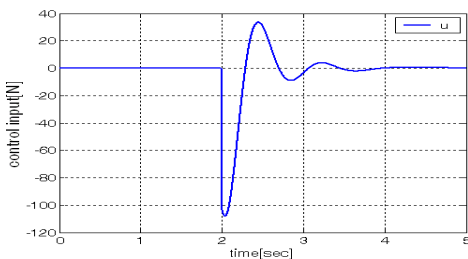


Fig. 4 Control input u

Fig.2~Fig.3은 실제 상태값과 상태관측기를 통해 얻어지는 변수 \hat{x} 값을 나타내고, Fig.4는 이 때의 제어입력 u 를 나타내고 있다. 그럼으로부터 초기의 오차기 있음에도 불구하고 상태관측기를 통해 정상적으로 상태변수값을 얻을 수 있으며, 제어목적으로 하는 안정화 제어가 달성되고 있는 것을 알 수 있다.

Fig.5는 Fig.1을 바탕으로 제작한 제진장치를 나타내고 있으며 수직방향의 힘을 발생시키는 액추에이터로는 VCM을 적용하였다. 현재 시뮬레이션 결과를 바탕으로 실제 장치에 대한 제진 실험을 수행하고 있다.

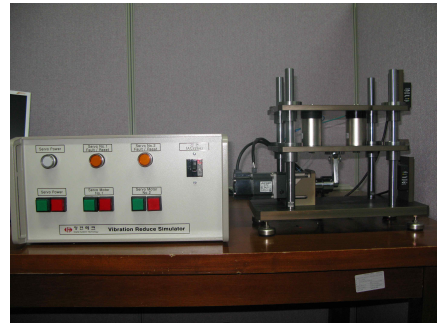


Fig. 5 Experimental system

4. 결론

본 연구에서는 소형선박 및 레저보트의 회전기 등으로부터 발생되는 진동신호를 억제하기 위한 제진장치의 개념설계와 제어기 설계 및 제진장치의 제작을 수행 하였다.

제어기 설계에 있어서는 제진장치에 대한 모델링을 행하고, 도출된 모델을 바탕으로 상태관측기와 LQR을 이용한 안정화 제어기를 설계하였다.

시뮬레이션을 통해 제어기의 유용성을 확인할 수 있었고, VCM을 이용한 제진장치를 구축하였다.

참 고 문 헌

(1)Norman S. Nise, Control system engineering, Wiley.

후 기

이 연구는 국토해양부 호남SG사업 “소형선박을 위한 제진기술개발”과제의 일환으로 수행되었습니다.