

# PPF 제어기를 이용한 외팔보의 능동진동제어 성능개선

## Active Vibration Control Performance Enhancement of Cantilever Beam Using PPF Control

신 창 주 \* · 홍 진 숙† · 정 의 봉 \*\*

Changjoo Shin, Chinsuk Hong and Wei Bong Jeong

### 1. 서 론

비행기의 날개, 로봇 발 그리고 우주 정거장의 태양전지판등 다양한 곳에 사용되는 외팔보는 구조물의 특성상 외란에 대하여 구조 취약성을 가진다. 능동진동제어를 통해 외란에 대하여 강인한 외팔보를 제시하고자 한다. 본 연구에서 외팔보의 능동진동제어를 위해 DVFB 와 PPF 제어기를 동시에 적용하였다.

### 2. 구조물의 단순 모델링

외팔보를 Fig. 1과 같이 3자유도 단순 모델로 표현하였다.  $x_1, x_2$ 의 위치에 구조물의 응답을 측정하기 위하여 센서를 부착하였고 같은 위치에 actuator를 부착하여 제어력을 부여할 수 있도록 하였다. 3자유도 단순모델에 적용된 물성치는 표 1과 같다.

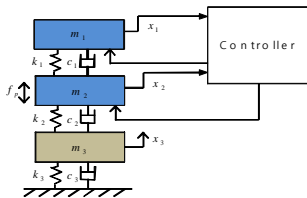


Fig. 1. 3자유도 단순 모델

표 1. 구조물에 적용된 물성치

Parameter	Value	Unit
$m_1=m_2=m_3$	1	kg
$c_1=c_2=c_3$	0.1	Ns/m
$k_1=k_2=k_3$	100	N/m

### 3. 제어기 모델링

능동진동제어에서 광대역으로 매우 효과적인 제어 방법으로 Direct Velocity Feedback(DVFB) 제어가 있다. DVFB 기법을 사용하더라도 특정 모드에 대하여 제어가 잘되지 않는 경우가 있다. 특정한 모드를 제어하기 위하여 본 연구에서 Positive Position Feedback(PPF) 제어기를 접목하였다.

#### 3.1 Direct Velocity Feedback Control

상태 공간에서 정의한 Direct Velocity Feedback 제어 지배 방정식은 식(1)과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{z} &= Az + Bu \\ y &= C_{ob}z + Id \\ u &= -G_0y \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $z$ 는 구조물의 상태,  $A$ 는 제어 대상 구조물의 시스템 행렬,  $B$ 는 제어력 인가 행렬,  $u$ 는 제어력,  $y$ 는 센서로부터 출력된 구조물의 응답,  $C_{ob}$ 는 구조물의 응답으로부터 센서의 출력을 도출하는 변환행렬,  $d$ 는 외란에 의해 발생하는 진동 그리고  $G_0$ 는 컨트롤 게인이다. DVFB 컨트롤러의 입력은 센서로부터 측정된 속도이다.

#### 3.2 Positive Position Feedback Control

상태 공간에서 정의한 Positive Position Feedback (PPF) 제어 지배 방정식은 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} \dot{z} &= Az + Bu \\ y &= Cz \\ \dot{q} &= A_cq + B_cy \\ u &= C_cq \end{aligned} \quad (2)$$

여기서  $z$ 는 구조물의 상태,  $A$ 는 제어 대상 구조물의 시스템 행렬,  $B$ 는 제어력 인가 행렬,  $u$ 는 제어력,  $y$ 는

† 교신저자; 울산과학기술대학교 디지털기계공학부  
E-mail : cshong@mail.uc.ac.kr  
Tel : (052) 279-3134, Fax : (052) 279-3137

\* 부산대학교 대학원 기계공학부

\*\* 부산대학교 기계공학부

센서로부터 출력된 구조물의 응답,  $C$ 는 구조물의 응답으로부터 센서의 출력을 도출하는 변환행렬,  $g$ 는 컨트롤러의 상태,  $A_c$ 는 컨트롤러의 시스템 행렬,  $B_c$ 는 제어 대상 구조물의 상태를 통해 인가되는 컨트롤러의 제어력 인가 행렬 그리고  $C_c$ 는 컨트롤러의 상태를 구조물에 입력할 제어력으로 바꾸어주는 변환행렬이다. PPF 컨트롤러의 입력은 센서로부터 측정된 변위이다.

#### 4. 시뮬레이션 결과

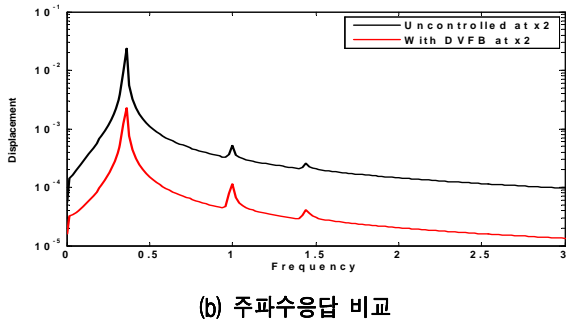
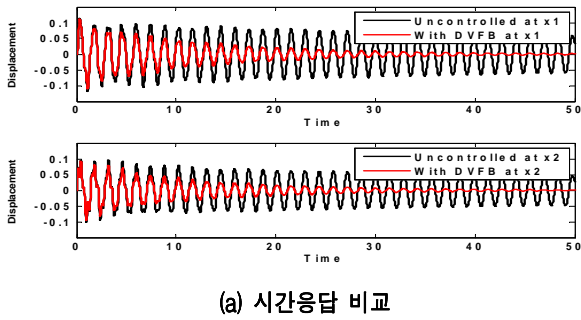


Fig. 2. DVFB 제어기 적용 유무에 따른 응답 비교

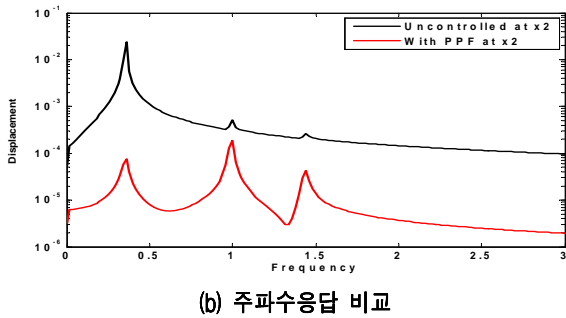
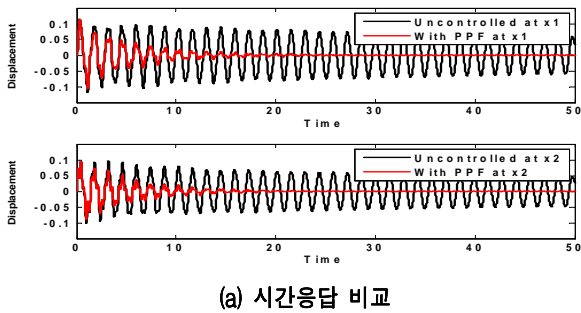
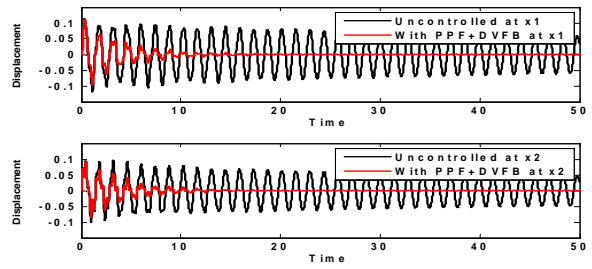


Fig. 3. PPF 제어기 적용 유무에 따른 응답 비교



(a) 시간응답 비교

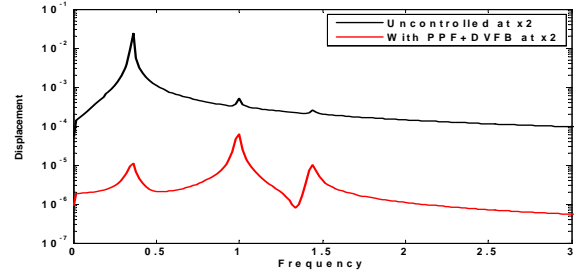


Fig. 4. PPF 및 DVFB 제어기 동시 적용 유무에 따른 응답 비교

모든 조건에 대하여 외란은 구조물의  $x_2$  위치에서 임펄스를 인가하였다. 주파수응답은  $x_2$  위치에서 정상상태의 시간응답 신호를 FFT를 취하여 비교하였다.

DVFB 제어기를 적용하면 빠른 시간 내에 또한 전 주파수 대역에 대하여 진동제어가 되는 것을 Fig. 2.에서 확인할 수 있다.

PPF 제어기를 적용하면 DVFB에 비하여 잔여 진동이 보이는 것을 Fig. 3.에서 확인할 수 있다. 이것은 진동기여도가 높은 1, 3차 모드에 대하여 PPF 컨트롤러를 설계하였기 때문이다.

Fig. 4.와 같이 PPF와 DVFB 제어기를 동시에 적용한 결과 각각의 제어기만을 설치하였을 때보다 빠른 시간에 진동제어가 되는 것과 구조 진동의 주요 원인인 1, 3차 모드의 진동 감소됨을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구는 외팔보의 능동진동제어를 고찰하였다. 전 주파수 대역에 대하여 효과적인 능동진동제어를 적용할 수 있는 DVFB를 수행하였다. DVFB 제어 후에도 지배적인 1차 모드를 PPF 제어를 통하여 진동저감을 수행하였다. DVFB와 PPF를 동시에 적용하여 전주파수 대역에 대하여 효과적인 진동제어를 할 수 있었으며 진동기여도가 높은 특정 모드는 PPF를 이용하여 진동저감이 가능한 것을 확인하였다.