

# 스위칭 기법을 이용한 빔의 다중모드 진동제어

## Multi-mode Vibration Control of Cantilever Beam using Switching method

정재홍\* · 성태홍\*\* · 오일권†

Jae-Hong Jung\*, Tai-Hong Cheng\*\* and Il-Kwon Oh †

### 1. 서 론

제진 시스템에 활발히 적용되고 있는 전자기 변환기는 작동기나 센서와 같은 중요한 에너지 변환기로서 많은 응용분야에서 사용되고 있다. Fung, R. F 등<sup>(1)</sup>의 연구 결과를 통해 끝 단에 질량 체가 부착되어 있는 외팔보의 진동 제어를 위해 전자기기를 이용한 작동기가 개발되었다. 이 전자기 변환기를 이용한 작동기는 단일 자유 도를 갖는 구조물의 진동 감쇠 장치로 사용되었다. 압전재와 외부 회로를 이용하여 진동하는 유연 구조물의 효과적 진동제어가 수행됨을 Hagood N. W 등<sup>(2)</sup>의 연구 결과를 통해 확인되었다. 이 진동제어 방법은 semi-active control 기법을 이용하여 유연 구조물의 단일 모드 진동제어 기법을 확립하였다. Behrens 등<sup>(3)</sup>의 연구는 전자기 외부회로를 이용하여 2차 기계적 시스템에서 단일 모드 진동제어를 처음으로 제안하였다. 이 제안된 기술은 유연 구조물이 기계적 공진과 전기적 임피던스가 커플링되어 기계적 운동에너지를 소진시키는 방식을 이용하여 진동제어를 한다. 또한 Tsuyoshi<sup>(4)</sup> 등의 연구 결과를 통해 voice coil 모터와 외부 공진 회로로 구성 된 전자기 외부 회로 감쇠 기법이 제안되었다. 이 기법은 다중모드 진동제어까지 확장이 가능하며 외부 센서가 불필요한 switching 기법을 적용하였을 때 좀더 우수한 성능의 진동제어가 가능할 것이다. 본 논문에서는 switching 기법 중 Synchronized switching 기법 적용하여 다중모드 진동제어를 하고자 한다. 이를 위해 Figure 1 은 제안된 switching 외부 회로 감쇠 시스템의 도식적으로 보여주고 있다.

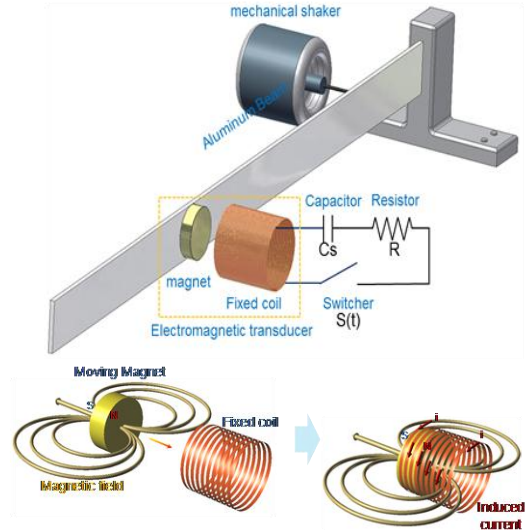


Figure 1. Schematic drawing of the proposed switching shunt damper.

### 2. 전자기 Synchronized Switching Damper

#### 2.1 Switching mechanism

유연구조물의 진동제어를 위해 Receding Horizon Optimal Control (RHOC) 기반의 synchronized switching 기법을 사용하였다. 이 메커니즘에 따르면 빔의 변위가 최대 이거나 속도가 0이 되기 전  $T_d = \pi\sqrt{L_c C_s} / 2$  에 의해 스위치가 닫히게 된다. 그 후 코일신호에 의해 유도된 전류 신호가 0이 되면  $T_d$  값에 의해 스위치는 열리게 된다. 이러한 switching 메커니즘을 구체화 시켜 나타내면 식 (1)에 의해 표현된다.

$$S(t) = \begin{cases} 1 & \text{if } t \geq T_i - T_d \quad \wedge \quad I_z \neq 0 \\ 0 & \text{if else} \end{cases} \quad (1)$$

여기서  $T_i$  는 빔의 속도와 코일의 전압의 곱이 0이 되는 시간을 의미한다.  $T_d$  는 지연된 시간을 의미하며 이 값에 의해 switching 신호의 폭이 결정된다.

† 교신저자; 한국과학기술원 기계, 항공 시스템 공학부

E-mail : ikoh@kaist.ac.kr

Tel : 042) 530-1520 , Fax : 042) 530-1510

\* 전남대학교 기계공학과

\*\* 중국은주대학교 기계·전기공과대학

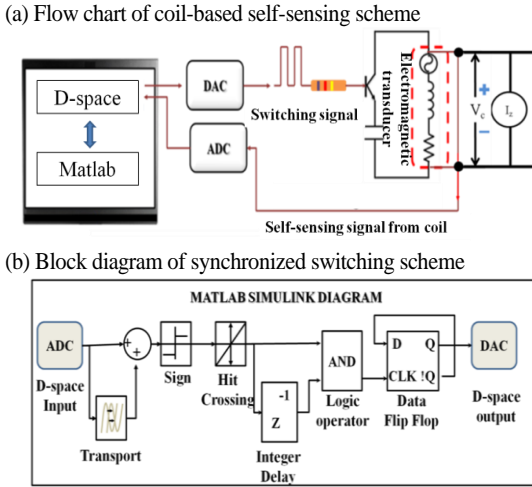


Figure 2 Schematic diagram of synchronized switching scheme with coil based self-sensing concept

Figure 2는 코일에서의 신호를 self-sensing 한 synchronized switching 기법을 보여주고 있다. 이 기법에 적용된 전자기 변환기는 빔의 기계적 에너지를 전기적 에너지로 소산시키기 위해 적용되었을 뿐만 아니라 이 전자기 변환기에서 발생하는 전기적 신호는 빔의 속도와 같은 위상의 신호로 나오게 되며 산술적인 적분을 통해 자체적으로 빔의 변위를 예측할 수 있다. 이 신호는 peak detector를 통해 switching 신호를 생성한다. 이는 코일의 신호와 시간 지연된 코일 신호를 사용하여 peak 값을 코일 신호의 유한차분 법에 의해 찾아내고 flip flop 과정을 통해 스위치를 닫는 신호를 생성한다. 그 후에 시간 지연된 코일의 신호는 스위치를 여는 신호를 생성한다.

## 2.2 실험 및 결과

Synchronized switching 기법이 실험적으로 적용된 것을 Figure 3을 통해 확인할 수 있다

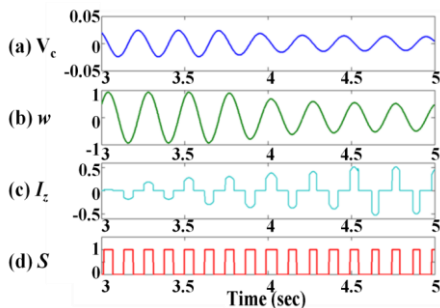


Figure 3 Experimentally measured (a) coil voltage (b) tip displacement, (c) induced current and (d) switching signal.

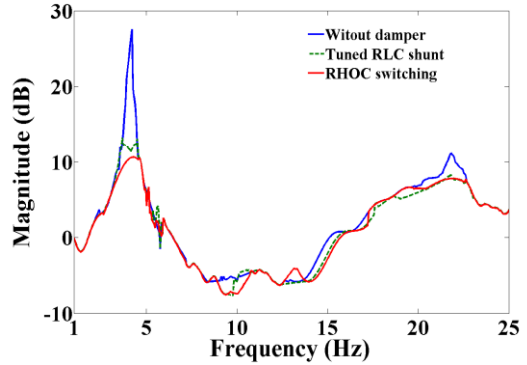


Figure 4 Frequency response functions of cantilever beam with and without control using switching method.

Figure 4는 Synchronized switching 감쇠, tuned LC shunt 감쇠 와 감쇠기가 없을 때의 주파수 응답 함수를 보여준다. RHOC기반의 synchronized switching기법의 외부분기회로를 이용한 진동제어 방법이 기존의 RLC 외부분기회로를 이용한 방법보다 우수한 진동제어가 가능함을 확인하였다. 이때 1차 공진 모드에서 16dB 만큼의 진동 감쇠효과를 확인하였고 2차 공진모드에서 4dB 만큼의 진동감쇠효과를 확인할 수 있었다.

## 3. 결 론

본 연구에서는 유연 구조물의 진동제어를 위해 switching 기법을 통한 진동제어를 수행하였다. self-sensing 방법을 이용하여 제안된 RHOC 기반의 synchronized switching shunt damping을 적용하였을 경우 RLC Shunt damping 기법 적용하였을 때 보다 우수한 진동 감쇠 효과를 확인 하였다. 이는 외부 분기 회로의 증설 없이 단일 회로를 이용하여 구조물의 다중 모드 진동제어가 가능 하며, switching에 의해 회로내의 파라미터를 변경하지 않고도 능동적으로 진동제어가 가능함을 확인 하였다.

## 후 기

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2010-0018423).