

오차센서 위치에 따른 빔의 능동진동제어 경향

Performance tendency of active vibration control on a cantilever beam with variation of sensing point

*권오철¹, 윤지현¹, 강진철¹, 이정윤², #오재응³

*O. C. Kwon¹, J. H. Yoon¹, J. C. Kang¹, J. Y. Lee², #J. E. Oh(jeoh@hanyang.ac.kr)³

¹ 한양대학교 대학원 기계공학과, ² 경기대학교 기계시스템디자인공학부, ³ 한양대학교 기계공학부

Key words : Active Vibration Control, DSP, LMS, Filtered-x LMS algorithm

1. 서론

구조물에 대한 저주파의 진동은 운송 수단, 가전제품, 군용 장비, 항공 장비와 같은 종류의 경량 유연 구조물에 있어서 지속적인 문제점으로 부각되어 왔다. 특히 거대 우주 구조물에 적용되는 경량의 대형 구조물들은 매우 큰 부피와 구조적인 경감쇠 등으로 기계적으로 매우 유연한데 이런 구조물들은 유연성으로 인하여 외력에 대한 구조 응답의 진폭이 커지며 일단 진동이 시작되면 낮은 고유 진동수로 장시간 진동이 지속되므로 성능과 정숙성에 좋지 않은 영향을 미친다. 이런 바람직하지 않은 진동을 제어하기 위하여 많은 연구가 진행되고 있는데 구조물에 감쇠를 증가시키고 질량이나 강성을 부가하는 기존의 수동적 방법은 제어 효율 면에서 단점을 갖게 되므로 이에 대한 능동 진동 제어 방법이 최근 활발히 연구되고 있다. 그리고 최근에 능동 제어의 알고리즘으로 뉴턴이나 퍼지 등의 지능형 제어나 디지털신호처리를 사용하고 최소평균자승(LMS) 알고리즘을 이용한 제어연구가 활발히 진행되고 있다. Gibbs 와 Fuller 가 LMS 알고리즘을 사용하여 정현파 외란 입력이 가해질 때의 유연한 빔의 진동 파워 흐름의 능동제어를 실험적으로 연구하였고 Burris 와 Fuller 가 Filtered-X LMS (FXLMS) 알고리즘을 이용하여 정현파의 외란 입력에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 및 실험을 수행하였지만 구조물의 오차센서 위치에 따른 연구는 진행된 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 FXLMS 알고리즘을 이용하여 유연보에 대해서 오차센서 위치를 변화시키며 제어 성능의 경향에 대해서 알아보았다.

2. FXLMS 알고리즘

FXLMS 알고리즘의 블록선도는 Fig. 1 과 같다.

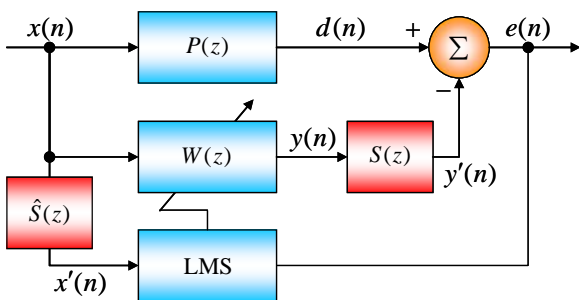


Fig.1 Block diagram of FXLMS algorithm

오차 센서와 제어 액추에이터 사이에 있는 부가경로 전달함수 $S(z)$ 는 오프라인으로 모델링 되도록 하며 그 예측치는 $\hat{S}(z)$ 로 표시한다. 주 가진원으로부터의 원하지 않는 신호는 참조신호 센서에 의해 관측된다. 이 참조신호 $x(n)$ 은 적응 필터 $W(z)$ 와 부가경로 전달함수 $S(z)$ 를 통과하여 오차신호 $e(n)$ 을 최소화하기 위한 제어신호 $y'(n)$ 을 발생시키기 위해서 사용된다. 참조신호 $x(n)$ 은 또한 적응 필터 $W(z)$ 의 계수를 갱신하기 위해 사용되는 부가경로가 보상된 참조신호 $x'(n)$ 을 얻기 위해서 부가경로 전달함수의 예측치 $\hat{S}(z)$ 에 의해 필터링 된다. 부가경로 전달함수

예측치 $\hat{S}(z)$ 와 함께 적응필터 $W(z)$ 는 유한응답필터로 구현된다. 시간 n 에서의 오차신호 $e(n)$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$e(n) = d(n) - y'(n) = d(n) - s(n) * y(n) \\ = d(n) - s(n) * [w^T(n)x(n)] \quad (1)$$

$s(n)$ 은 시간 n 에서의 부가경로 전달함수 $S(z)$ 의 임펄스응답이다. 시간 n 에서 참조신호 $x(n)$ 의 벡터와 적응필터 $W(z)$ 의 계수 벡터는 다음과 같다.

$$x(n) = [x(n) \ x(n-1) \ \dots \ x(n-L+1)] \quad (2)$$

$$w(n) = [w_0(n) \ w_1(n) \ \dots \ w_{L-1}(n)] \quad (3)$$

L 은 적응필터 $W(z)$ 의 차수이다. 적응필터의 목적은 순간 평균자승오차(instantaneous mean square error)인 $\xi^2(n) = e^2(n)$ 을 최소화시키는 것이며, 이 목적을 실현시키기 위한 steepest descent algorithm 은 다음과 같이 정의된다.

$$w(n+1) = w(n) - \frac{\mu}{2} \nabla \xi^2(n) \quad (4)$$

$\nabla \xi^2(n)$ 는 시간 n 에서의 평균자승오차 gradient 의 순간 추정치이며 다음과 같다.

$$\nabla \xi^2(n) = \nabla e^2(n) = 2[\nabla e(n)]e(n) \\ = 2[-s(n) * x(n)]e(n) = -2x'(n)e(n) \quad (5)$$

식(5)를 식(4)에 대입하면 FXLMS 알고리즘을 구할 수 있으며 다음과 같다.

$$w(n+1) = w(n) + \mu x'(n)e(n) \quad (6)$$

μ 는 수렴계수이며, 적응필터 $W(z)$ 가 안정적으로 수렴하려면 μ 는 다음과 같은 조건을 만족해야 한다.

$$0 < \mu < \frac{2}{LP_x}, \quad P_x = E[x^2(n)] \quad (7)$$

여기서, P_x 는 참조신호의 파워이다.

3. 제어계의 구성

FXLMS 알고리즘을 적용하기 위해서 그림 2 와 같은 실험장치를 구성하였다.

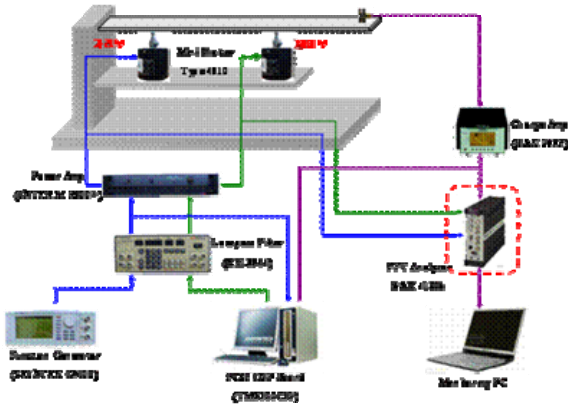


Fig.2 Experimental setup for active vibration control

능동진동 제어에 사용된 참조신호는 정현파 신호이며 빔의 1 차 고유진동수를 고려하여 30Hz 로 설정하였다. Function generator 에서 출력된 시그널이 500Hz 미만의 Low-pass Filter 를 거쳐서 Power Amplifier 에 입력되고 시그널을 원하는 크기로 증폭시켜준다. 증폭된 시그널은 가진부인 Mini Shaker 에 입력되게 되어 빔을 가진 시킨다.

제어기를 작동시키게 되면 가속도센서를 통해서 PC32DSP Board 에 입력된 에러 시그널의 크기를 0 으로 만들어주기 위한 알고리즘이 작동하게 되며 이를 위해 PC32DSP Board 에서 제어 신호를 출력하게 된다. 출력된 제어 신호는 Low-Pass Filter, Power Amplifier 를 거쳐 제어 부인 Mini Shaker 반대 위상으로 작동시키게 된다.

4. 오차센서 위치에 따른 제어경향

상기 능동진동제어 시스템의 최적 오차센서위치를 알아보기 위해서 오차센서의 위치를 빔의 고정단으로부터 250mm ~ 450mm 지점까지 25mm 간격으로 변경하여 능동진동제어 실험을 수행하였다. 여기서 사용된 참조신호는 30Hz 이고 이는 빔의 고유진동수를 고려하여 선정하였다.

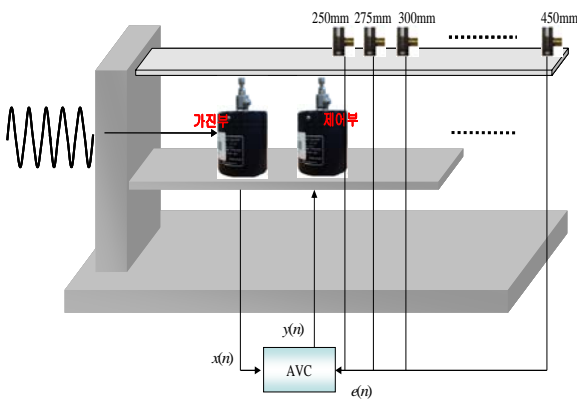


Fig.3 A method of Experiment based on sensing points

오차센서 위치를 변화에 따른 능동진동제어를 수행하여 시간영역에서 제어 전·후의 크기, 수렴 시작과 완료 시간을 측정하였고 이렇게 측정된 값을 바탕으로 제어%와 수렴시간을 계산하였다. 또한, 주파수 영역에서 측정된 값은 제어 전후의 1,2,3 차 피크레벨과 overall 레벨이다.

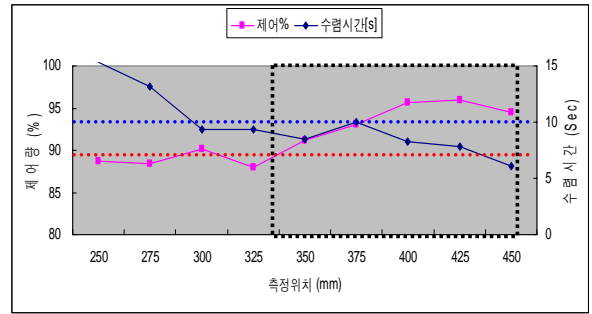


Fig.4 Effective range of AVC system

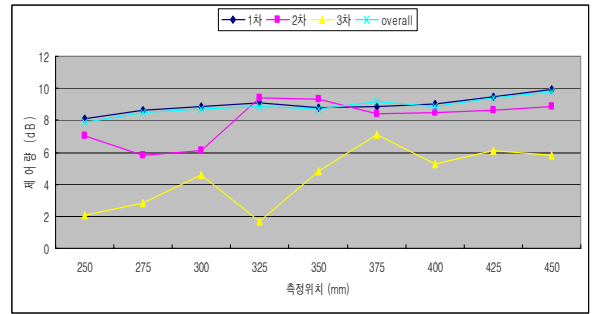


Fig.5 Reduction level of vibration based on sensing points

제어 %를 확인한 결과 최고 96.0% 최저 87.9%의 저감 효과가 있었고 수렴시간은 최소 6.1 초 최대 15.3 초까지 소요되었다. 따라서 90%이상 제어되고 수렴시간이 10 초 이하인 구간은 350mm ~ 끝단까지임을 알 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 능동진동제어 시스템의 진동제어 경향을 알아보기 위해서 외팔보를 이용한 능동제어 시스템을 구성하여 오차센서의 측정위치를 변화시키며 능동진동제어 실험을 수행하였다. 이를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 시간영역에서의 제어%와 수렴시간은 센서위치가 고정단에서 멀어질수록 더 큰 제어 효과를 가지는 경향을 나타냄을 알 수 있었다.
- 2) 주파수 영역에서 overall 레벨 저감량은 주로 1 차 고유진동수에 영향을 받아 1 차 고유진동수 저감곡선과 같이 움직이는 것을 알 수 있었다.
- 3) 위 두 결론을 종합하면 오차센서의 위치는 진동레벨이 가장 큰 지점에 부착해야 함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Kuo, S. M. and Morgan, D. R., 1996, Active Noise Control Systems, Algorithms and DSP implementations, John Wiley & Sons, New York.
2. Kuo, S. M., Panahi, I., Chung, K. M., Horner, T., Nadeski M. and Chyan J., Design of Active Noise Control Systems with the TMS320 Family, Texas Instruments.
3. Widrow, B. and Stearns, S. D., 1985, ADAPTIVE SIGNAL PROCESSING, Prentice-Hall, Englewood Cliffs. N.J.
4. 홍진석, 1996, "Filtered-x LMS 알고리즘을 이용한 유연한 보의 능동 진동 제어," 한양대학교 석사학위논문.