

입력크기 변화에 따른 외팔보의 능동진동제어 경향

Performance tendency of active vibration control on a cantilever beam with variation of input amplitude

권오철*· 양인형*· 윤지현*· 이정윤**· 오재응†

O-cheol Kwon, In-hyung Yang, Ji-hyun Yoon, Jung-youn Lee, Jae-eung Oh

Key Words : Active Vibration Control(능동진동제어), DSP(디지털신호처리기), LMS(최소자승법), Filtered-x LMS algorithm

ABSTRACT

This paper presents the active control of flexible beam vibration. The beam was excited by a steady-state point force by mini shaker and the control was performed by mini shaker. To perform active control, least-mean-square (LMS) algorithm was used because it can easily obtain the complex transfer function in real-time. So an adaptive controller based on Filtered-X LMS algorithm was used and the controller was defined by minimizing the square of the response at a location of error sensor. In order to fine out performance tendency, input amplitude was changed in several cases and active vibration control was performed.

음을 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 입력크기에 대한 연구는 진행된 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 FXLMS 알고리즘을 이용하여 유연보에 대해서 입력크기 변화에 따른 제어 성능에 경향에 대해서 알아보았다.

기호설명

- $x(n)$: 참조신호
- $y(n)$: 제어신호
- $d(n)$: 제어대상신호
- $e(n)$: 오차신호
- $S(z)$: 부가경로전달함수
- $x'(n)$: 필터링된 참조신호

1. 서론

구조물에 대한 저주파의 진동은 운송 수단, 가전 제품, 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 추가하는 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 디지털 신호처리를 사용하고 최소평균자승 (LMS) 알고리

2. FXLMS 알고리즘

FXLMS 알고리즘의 블록선도는 Fig. 1 과 같다.

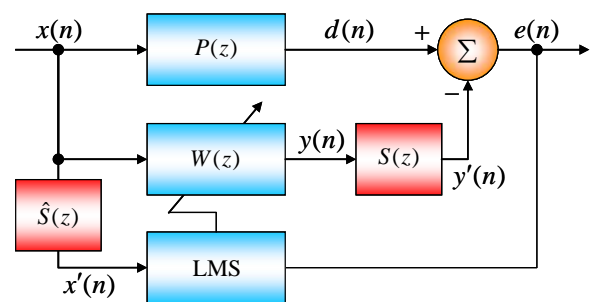


Fig. 1 Block diagram of FXLMS algorithm

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 적응필터 $W(z)$ 의 계

† 교신저자; 한양대학교 기계공학부
E-mail : jeoh@hanyang.ac.kr
Tel : (02) 2294-8294, Fax : (02) 2299-3153
* 한양대학교 대학원 기계공학과
** 경기대학교 기계시스템디자인공학과

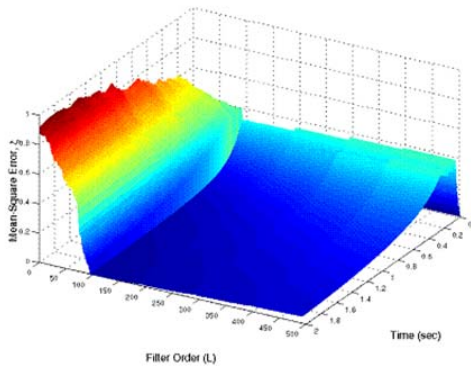


Fig. 3 Filter order vs. MSE for LMS algorithm

시뮬레이션 결과, 평균자승오차는 필터차수 L 이 100 보다 크면서 LMS 알고리즘의 반복횟수가 많아 질수록 작아지는 것을 알 수 있었다. 그러나 필터차수 L 이 너무 커지면 DSP 의 연산량이 많아지고 그 로인해 수렴속도가 그만큼 느려지는 현상을 초래하 게 된다. 따라서 DSP 연산속도를 고려하여 필터차수 는 100 차로 한정하였다.

4. 입력크기에 따른 제어경향

상기 능동진동제어 시스템의 최적의 입력크기를 알아보기 위해서 가진부에서 입력되에 오차센서에 측정된 크기를 5mV ~ 50mV 까지 5mV 단위로 변경 해가며 실험하였다.

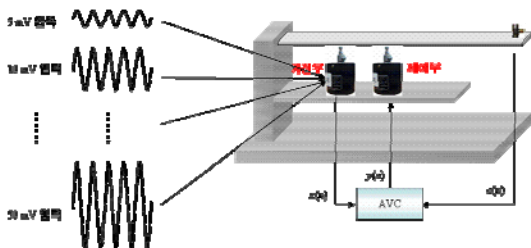
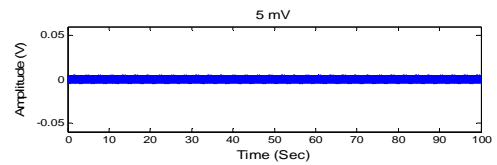
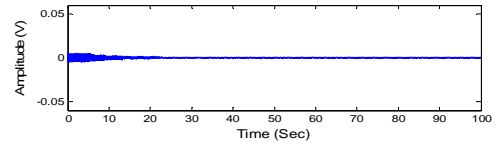


Fig. 4 Filter order vs. MSE for LMS algorithm

입력 크기를 5mV ~ 50mV 까지 5mV 단위로 변화 시켜 실험한 대표 결과를 그림 5 ~ 그림 7에 나타내 었다. 나머지 결과는 표 1 과 표 2 에 정리하였다.

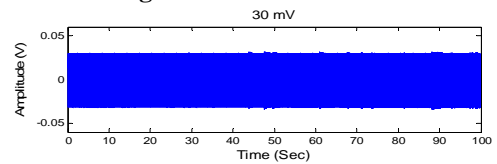


(a) Error signal

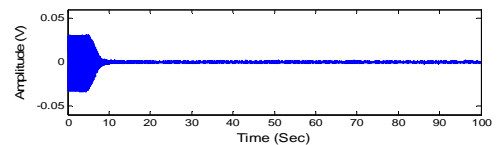


(b) Error spectra

Fig. 5 AVC results for 5mV



(a) Error signal



(b) Error spectra

Fig. 6 AVC results for 30mV

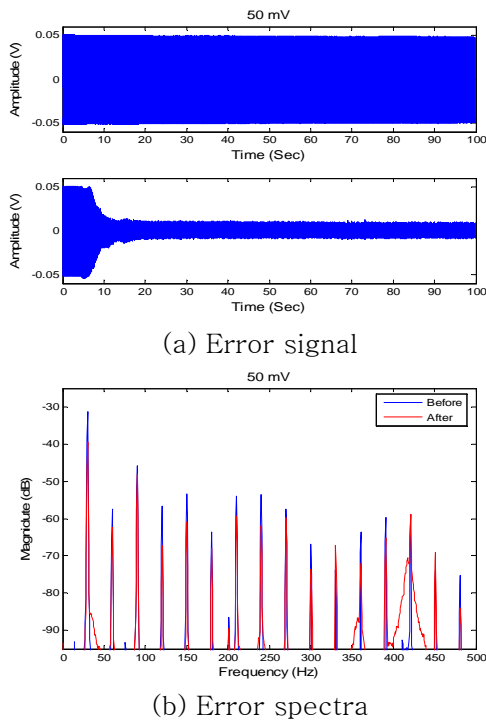


Fig. 7 AVC results for 50mV

그림 5 와 같이 입력의 크기가 작은 경우에는 수렴시간이 현저히 느려지고 입력이 7 와 같이 큰 경우에는 수렴후의 잔류 진동이 너무 큰 것으로 나타났다.

Table 1 Experimental results based on input amplitude – Time domain

| 입력크기 [mV] | 제어 전 [mV] | 제어 후 [mV] | 제어량 [mV] | 제어% | 수렴시작 시간 [s] | 수렴완료시간 [s] | 수렴시간 |
|-----------|-----------|-----------|----------|------|-------------|------------|------|
| 5 | 5 | 0.35 | 4.65 | 93.0 | 4.5 | 34.5 | 30 |
| 10 | 11 | 0.4 | 10.6 | 96.4 | 6 | 16.5 | 10.5 |
| 15 | 15 | 0.653 | 14.347 | 95.6 | 5.8 | 11.5 | 5.7 |
| 20 | 20.5 | 1.26 | 19.24 | 93.9 | 5.2 | 14.5 | 9.3 |
| 25 | 25.6 | 1.22 | 24.38 | 95.2 | 5.4 | 14.8 | 9.4 |
| 30 | 31.3 | 2.44 | 28.86 | 92.2 | 5 | 10.5 | 5.5 |
| 35 | 35.1 | 3.53 | 31.57 | 89.9 | 5.6 | 11.7 | 6.1 |
| 40 | 38.3 | 4.4 | 33.9 | 88.5 | 4.7 | 8.8 | 4.1 |
| 45 | 46.6 | 8.53 | 38.07 | 81.7 | 5.1 | 8 | 2.9 |
| 50 | 49.1 | 9.4 | 39.7 | 80.9 | 4.6 | 13.9 | 9.3 |

Table 2 Experimental results based on input amplitude – Frequency domain

| 입력크기 [mV] | 기준크기 [dB] | | | | 수렴크기 [dB] | | | | 제어량 [dB] | | | |
|-----------|-----------|-------|-------|---------|-----------|-------|-------|---------|----------|------|-----|---------|
| | 1차 | 2차 | 3차 | overall | 1차 | 2차 | 3차 | overall | 1차 | 2차 | 3차 | overall |
| 5 | -49.7 | -65.7 | -66.7 | -49.7 | -42 | -67.7 | -57.8 | 8.2 | 6.3 | 1 | | 8.1 |
| 10 | -42.9 | -60.7 | -72.5 | -42.8 | -51.5 | -66.6 | -73.4 | -51.5 | 8.6 | 5.9 | 6.9 | 8.7 |
| 15 | -40 | -79 | -67.7 | -40 | -49.2 | -64.2 | -75 | -49.1 | 9.2 | 5.2 | 7.3 | 9.1 |
| 20 | -36.9 | -77.4 | -64.5 | -36.9 | -45.9 | -62.4 | -71.7 | -45.8 | 9 | 5 | 7.2 | 8.9 |
| 25 | -35 | -67.2 | -61.4 | -34.9 | -44.1 | -76.3 | -69.4 | -43.9 | 9.1 | 9.1 | 8 | 9 |
| 30 | -33.8 | -63.7 | -59.2 | -33.7 | -43.4 | -73.8 | -67.4 | -43 | 9.6 | 10.1 | 8.2 | 9.3 |
| 35 | -32.7 | -58.7 | -57.7 | -32.6 | -46.1 | -70.5 | -61 | -45.6 | 13.4 | 10.8 | 3.3 | 13 |
| 40 | -31.5 | -57.7 | -58.2 | -31.4 | -43.3 | -67.6 | -59.8 | -43 | 11.8 | 9.9 | 1.6 | 11.6 |
| 45 | -30.9 | -53.1 | -49.9 | -30.7 | -42.1 | -63.4 | -51.7 | -41.1 | 11.2 | 10.3 | 1.8 | 10.4 |
| 50 | -31.3 | -57.4 | -45.7 | -30.9 | -39.4 | -62.3 | -48.1 | -38.4 | 8.1 | 4.9 | 2.4 | 7.5 |

수렴시간은 최소 2.9s, 최대 30 초까지 소요되었으

며 제어%는 최소 80.9%, 최대 96.4%까지 제어되었다. 이를 살펴보면 0mV ~ 45mV 까지 입력이 커질 때 수렴시간은 점점 짧아 지는 경향을 나타내었고 50mV ~ 10mV 까지 입력의 크기가 작아짐에 따라 제어%가 점점 늘어나는 경향을 나타내었다.

입력의 크기가 5mV 인 경우 수렴시간이 가장 길었고 수렴시간은 무려 30s 가 소요되었고 45mV 인 경우 2.9s 가 가장 빠른 수렴 시간을 가졌다. 하지만 시간 영역에서의 제어%를 살펴본 결과 수렴시간이 가장 빠른 45mV 경우에는 81.7%의 제어%를 가진 반면 수렴시간이 가장 느린 5mV 에서는 93%의 제어%를 얻을 수 있었다. 이와 같은 결과로 수렴시간과 제어%는 효과적인 구간이 서로 다를 수 있으며 수렴시간이 짧으면서 제어% 역시 어느 정도 보장되는 상기 능동진동제어시스템에 대한 신뢰성 구간을 설정하여야 한다.

수렴시간이 10s 이내이면서 제어% 역시 90%이상을 보장하는 범위를 능동진동제어 시스템의 신뢰성 구간이라고 설정하였고 그 결과는 그림 8 와 같다.

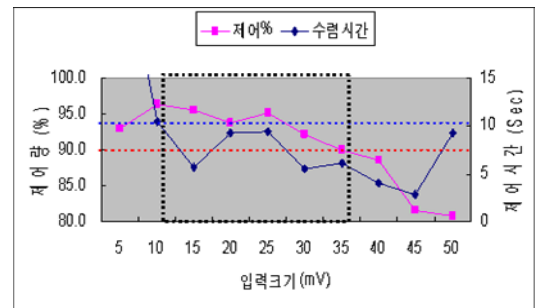


Fig. 8 Effective range of AVC system

이 결과를 바탕으로 제어에 신뢰성이 보장되는 효과적인 능동진동제어 구간은 15mV ~ 35mV 범위임을 알 수 있었으며 주파수 영역의 진동 저감량 역시 8.9(dB) ~ 13(dB)로 많은 저감을 나타냈다.

5. 결론

본 연구에서는 능동진동제어 시스템의 효과적인 진동제어 구간을 알아보기 위해서 외팔보를 이용한 능동제어 시스템을 구성하여 가진부의 입력 크기를 변화시키며 능동진동제어 실험을 수행하였다. 이를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 수렴시간과 시간영역에서의 제어%는 입력에 따른 성능 만족 구간이 다를 수 있었다.
- 2) 일정 크기까지 입력의 크기가 커지면 수렴시간을 짧아지고 입력의 크기가 일정 크기까지 작아지면 제어%는 높아짐을 알 수 있었다.
- 3) 수렴시간과 제어%의 두 요소를 동시에 만족시키기 위해서는 두 요소의 제어 성능 기준치를 마련하여 제어 성능만족 구간을 설정 하여야 함을 알 수

있었다.

후 기

본 연구는 한국부품소재산업진흥원의 2007 부품소재 기술개발사업의 연구비로 진행되었음에 감사드립니다.

참 고 문 헌

(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.