

반복학습제어를 이용한 단축 가진기의 진동 신호 재현 Replication of Vibration Target Signal using Iterative Learning Control

고병식[†], 박태익^{*}

Byeongsik Ko[†], Taeig Park^{*}

Key Words : Iterative Learning Control (반복학습제어), Electro-Magnetic Actuator (전자기식 액츄에이터), RMS (Root Mean Square) Error, Auto Power Spectral Density

1. 서 론

자동차, 철도차량, 건설기계 및 항공기의 운용 중에 발생하는 진동은 시스템 전체 및 부품의 내구성에 많은 악영향을 끼치고 있다. 따라서 완제품을 개발하는 데 있어서 이러한 진동에 의한 영향을 파악하기 위해 진동 가진 실험이 제품개발단계에서 반드시 필요하다. 이러한 진동 가진 실험을 위해서는 차량의 실제 주행조건에서 야기되는 진동을 가능한 정확히 재현해야 한다. 이러한 진동 재현을 위해 유압식에 비해 상대적으로 작동 소음이 적은 전자기식 액츄에이터의 사용빈도가 높아지고 있다. 또한 최근 충돌안전법규 강화에 따른 차체의 강성이 증가함에 따른 차실 내의 소음이 저감됨에 따라 과거에는 음향차폐 (masking) 되었던 BSR (Buzz, Squeak and Rattle)의 중요성이 부각되었다. 이러한 BSR 실험을 위해서는 유압식보다 상대적으로 소음이 낮은 전자기식 액츄에이터를 사용하는 것이 유리하다. 이러한 다양한 조건의 진동 재현을 하기 위한 방식으로서 반복학습제어 (Iterative Learning Control)을 사용하여 원하는 목표 가진 신호 (Target Signal)를 가능한 한 정확하게 재현하고자 한다. 이를 위해 단축(single axis) 액츄에이터를 이용한 진동 재현 실험을 통하여 반복학습제어의 타당성을 입증하고자 한다.

2. 전자기식 액츄에이터

[†] 교신저자: 정회원, 인하공업전문대학
E-mail : bsko@inhac.ac.kr
Tel :032-870-2361, Fax : 032-870-2505

^{*} (주) 액트

전자기식 선형 액츄에이터는 누유에 의한 환경오염이 없고, 고속 응답성 및 정밀한 속도, 위치제어가 가능하다. 그리고 전자기식 구동방식으로 인하여 소음이 거의 없고 소형 경량화가 가능하며 단순한 동력전달 구조로 높은 에너지 효율의 장점을 가진다. 기본적으로는 네오듬계 영구자석을 사용한 운동자와 다층 코일과 코일 절연 분리재로 구성된 고정자로 구성된다. 본 논문에서의 전자기식 선형 액츄에이터는 단상의 전원으로 구동된다. 본 실험에 사용한 액츄에이터는 Fig. 1에 나타내었다.

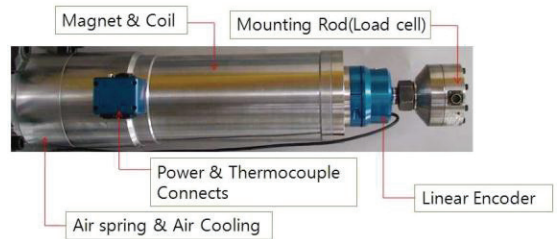


Figure 1 Linear Electro-Magnetic Actuator Assembly

3. 반복학습제어 및 단축 진동 재현 실험

1984년 Arimoto가 국제 학회에 발표한 반복학습 제어는 유한한 시간 구간에 대하여 원하는 목표 신호와 실제 출력 사이에 발생한 오차를 이용하여 다음 시행시의 입력을 수정해주는 과정을 반복적으로 시행함으로써 시스템의 원하는 목표 신호를 정확하게 추종하게 하는 입력을 구해내는 제어 기법이다.

반복 학습 제어 알고리즘은 모두 C 언어로 이를 위한 구성 개념도 및 실험 사진을 Fig. 2에 제시하였다. 반복 학습 제어의 타당성을 검증하기 위해 단축 액츄에이터에 대한 목표 신호를 설정한 후 제어기의 반복 학습 횟수와 RMS 오차를 추적 실험하였다. 단축 액츄에이터에 대한 목표 응답 신호는 다음

과 같이 임의로 설정하였다.

$$y = \sin(2\pi f_1 t) + 0.3\sin(2\pi f_2 t) \quad (1)$$

여기에서 $f_1 = 73 \text{ Hz}$ and $f_2 = 114 \text{ Hz}$.

또한 RMS 오차는 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{RMS Error} = \sqrt{\frac{e_1^2 + e_2^2 + \dots + e_N^2}{r_1^2 + r_2^2 + \dots + r_N^2}} \quad (2)$$

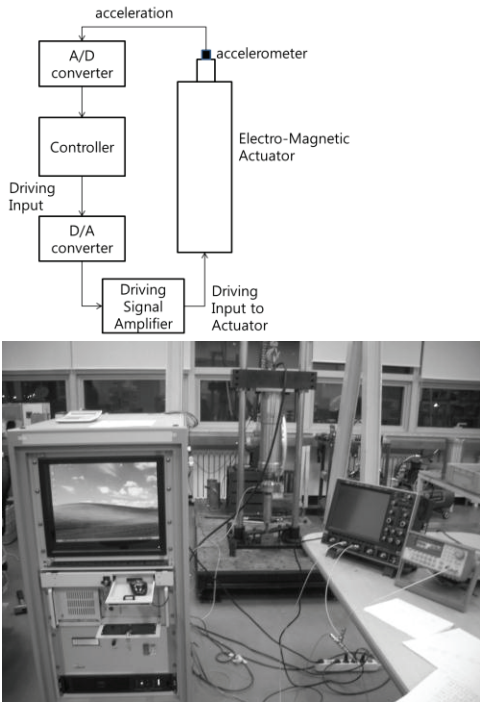


Figure 2 Experimental Scheme and Apparatus for single axis actuator

반복 학습 제어를 이용한 실험을 수행하였을 때 반복 회수에 따른 RMS 오차의 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 처음에는 초기 오차가 52%였으나 3회에는 3%로 감소하고 5회에는 0.5%로 감소됨을 알 수 있었다. 이에 따라 반복 제어 학습을 위한 제어알고리즘이 정상적으로 작동됨을 알 수 있었다.

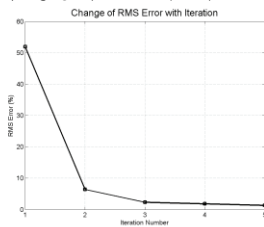


Figure 3 RMS error along Iteration number

학습 반복 회수의 증가에 따른 출력 신호의 변화

를 목표 신호와 대비하여 시간 영역과 주파수 영역에서 나타낸 그래프를 Fig. 4에 나타내었다. 1회 반복을 위한 시간은 20초로 설정하였으며 5회 학습 반복 후에 목표 신호와 매우 유사한 결과가 나타났음을 알 수 있다. 또한 목표신호와 1차 출력 신호 및 5차 출력 신호의 Auto Power Spectral Density를 비교 분석 시에도 5차 출력 신호의 경우 목표신호와 거의 차이가 없음을 알 수 있었다. 따라서 단축 액추에이터를 이용한 목표 신호 재현을 위하여 사용된 반복 학습 제어기는 매우 좋은 결과를 나타냄을 알 수 있었다.

5. 결론

이 논문에서는 반복 학습 제어 (Iterative Learning Control)을 사용하여 목표 가진 신호 (Target Signal)를 재현하였다. 진동 가진을 하기 위해 전자기식 액추에이터를 사용하였다. 진동 재현을 하기 위한 제어 방식은 반복 학습 제어 기법을 이용하였다. C 언어로 구성된 제어 기법의 검증을 위해 단축(single axis) 액추에이터를 이용한 진동 재현 실험을 수행하였다. RMS 오차는 1차에서 52%였지만 5차에서는 0.5%로 수렴하였다. 이를 통하여 반복학습제어의 타당성을 입증하였다.

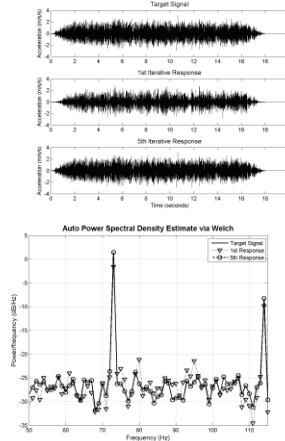


Figure 4 Target Signal and Iterative Response (Time Domain and Frequency Domain)

후 기

본 연구는 지식경제부 첨단연구장비 경쟁력향상 사업 “다축 진동시스템 평가장비 개발” 과제의 일환으로 수행되었습니다.