

# 반복 학습 제어와 스투어트 플랫폼을 이용한 진동 신호 재현 Replication of Vibration Target Signal using Iterative Learning Control and Stewart Platform

고병식<sup>†</sup>, 박태익\*  
Byeongsik Ko<sup>†</sup>, Taeig Park

## 1. 서 론

내연 기관에 의한 진동 및 노면, 레일 및 공기에 의한 외부 진동을 받는 차량, 철도차량 및 항공기를 포함하는 운송 수단이나 건설기계 같이 운용 중에 내/외부 진동을 받는 제품의 경우 진동에 의한 내구 문제를 포함한 완성 품질 문제가 발생할 수 있다. 이러한 운용 중에 발생하는 진동은 완제품 전체 및 부품의 내구성에 많은 악영향을 끼칠 수 있으므로 제품 개발 단계에서 사전 검증하기 위해서는 제품 개발 프로세스에서 진동 가진 실험을 통한 6 시그마 설계 (DFSS, Design For Six Sigma) 같은 설계 검증 단계가 반드시 필요하다. 이러한 진동 재현을 위해 최근에는 스투어트 플랫폼을 사용하여 3축 병진 진동과 3축 회전 진동을 동시에 구현하는 방식이 도입되고 있다. 최근 차실 내의 소음이 저감됨에 따라 BSR (Buzz, Squeak and Rattle) 소음의 중요성이 부각되었다. 진동 가진 실험을 통한 6 시그마 설계를 위해 완제품만이 아니라 구성 부품 또는 모듈 개발 단계에서의 BSR 소음 실험을 위해서는 유압식보다 상대적으로 소음이 낮은 전자기식 액츄에이터를 사용하는 것이 유리하다. 이러한 저소음 환경에서의 소음 실험을 포함한 6축 방향의 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 6개의 전자기식 액츄에이터로 구성된 스투어트 플랫폼을 이용한 진동 재현 실험을 통하여 반복학습제어의 타당성을 입증하고자 한다.

## 2. 전자기 액츄에이터를 이용한 스투어트 플랫폼

전자기식 선형 액츄에이터로 구성된 스투어트 플랫폼을 이용한 진동 재현을 위해 조인트 유격을 최소화한 판스프링 직교 배열 구조의 조인트를 사용하였다. 개발된 스투어트 플랫폼은 Fig. 1에 나타내었다.

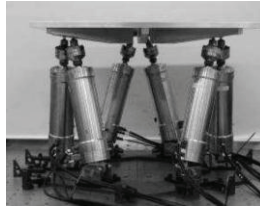


Figure 1 Stewart Platform with Six Electro-Magnetic Actuators

## 3. 반복학습제어 및 6축 스투어트 플랫폼 진동 재현 실험

1984년 Arimoto가 발표한 반복학습제어 알고리즘을 사용하여 모두 C 언어로 구성하였으며 구성 개념도 및 실험 사진을 Fig. 2에 제시하였다. 반복 학습 제어의 타당성을 검증하기 위해 6축 시뮬레이터인 스투어트 플랫폼에 대한 목표 신호를 실제 차량으로 벨지안 도로에서 주행한 후 대상 부품인 CD Changer의 상단 및 좌측에서 각각 3축 방향으로 측정된 진동 신호를 목표 신호로 설정하였다. 도합 6개의 목표 신호를 설정한 후 제어기의 반복 학습 횟수와 RMS 오차를 추적 실험하였다.

반복 학습 제어를 이용한 실험을 수행하였을 때 반복 회수에 따른 RMS 오차의 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 6개의 측정 채널 별로 처음에는 초기 오차가 33.8%~82.5%였으나 3회에는 10.1%~62.0%로 감소하고 10회에는 8.0%~17.1%로 감소됨을 알 수 있었다. 이에 따라 반복 제어 학습을 위한 제어

† 교신저자; 정회원, 인하공업전문대학

E-mail : bsko@inhac.ac.kr

Tel : 032-870-2361, Fax : 032-870-2505

\* (주) 액트

알고리즘이 정상적으로 작동됨을 알 수 있었다. 6개의 가속도 출력 신호 중에서 RMS오차가 상대적으로 큰 가속도 신호인 LH-Z 방향 (CD changer 좌측에 부착된 가속도계의 상하 진동 방향) 신호만을 대상으로 시간 영역 및 주파수 영역에서 분석하였다. 학습 반복 회수의 증가에 따른 출력 신호의 변화를 목표 신호와 대비하여 시간 영역과 주파수 영역에서 나타낸 그래프를 Fig. 4에 나타내었다.

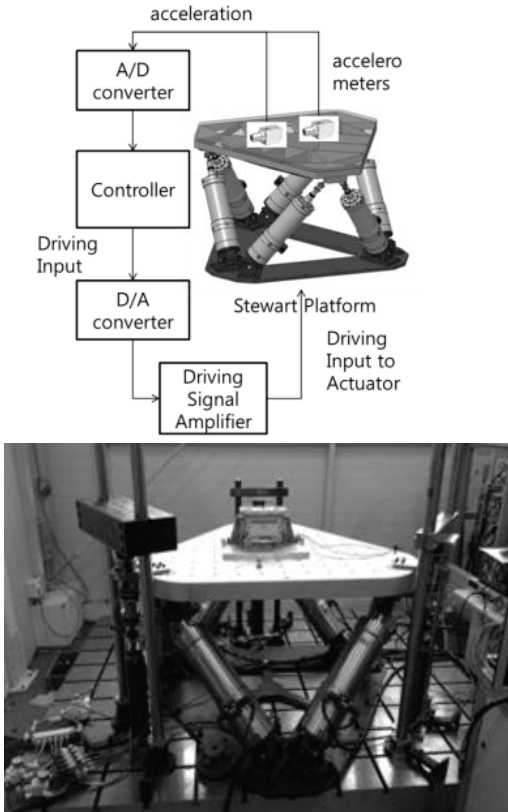


Figure 2 Experimental Scheme and Apparatus for Stewart Platform

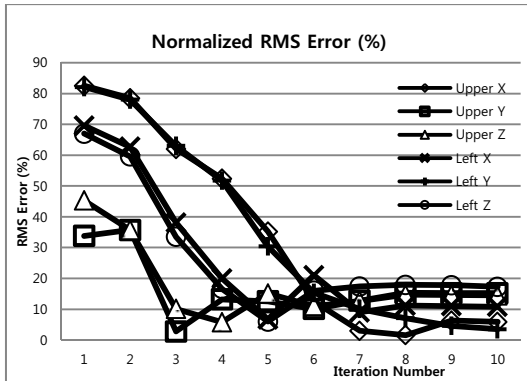


Figure 3 RMS error along Iteration number

각 출력 채널에서의 RMS 오차는 다음과 같이 계산하였다.

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

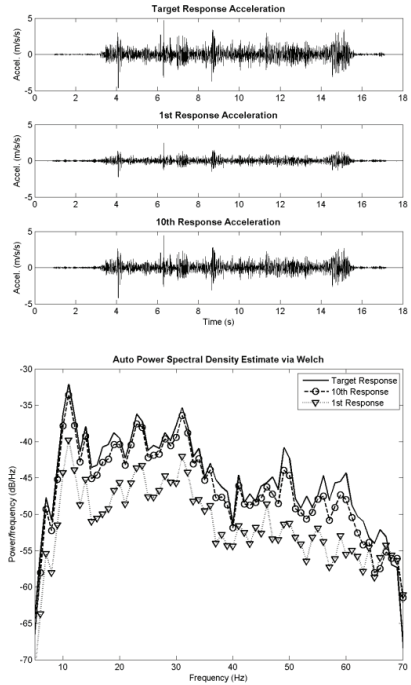


Figure 4 Target Signal and Iterative Responses (Time Domain and Frequency Domain), LH-Z direction

## 5. 결론

이 논문에서는 반복 학습 제어 (Iterative Learning Control)을 사용하여 C 언어로 구성된 제어 기법의 검증을 위해 전자기식 액츄에이터를 이용한 스투어트 플랫폼에 대한 진동 재현 실험을 수행하였다. RMS 오차는 6개의 측정 채널에 따라 1회차 에서는 33.8%~82.5%였지만 10회차 에서는 8.0%~17.1%로 수렴하였다. 이를 통하여 스투어트 플랫폼과 반복 학습 제어를 이용한 다축 진동 신호 재현의 타당성을 입증하였다.

## 후 기

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