

# 엔진 RPM 연동 다중 입출력 PPF 제어를 이용한 차량의 능동진동제어 실험

Active Vibration Control Experiment on Vehicle by Engine RPM linked MIMO PPF Controller

양동호\* · kwak문규† · 김정훈\*\* · 박운환\*\*\* · 심호석\*\*\*

Dong-Ho Yang, Moon K. Kwak, Jeong-Hoon Kim, Woon-Han Park, Ho-Seok Sim

## 1. 서론

자동차의 승차감 개선을 위해 보다 높은 수준의 진동 억제 방법이 요구되고 있다. 특히 기존의 수동형 엔진 마운트로써는 더 이상의 진동 억제 효과를 기대하기 어렵게 됨에 따라 새로운 개념의 능동 엔진 마운트가 도입되게 되었다. 기존의 엔진마운트 설계 방식은 엔진의 진동을 자동차 메인 프레임으로부터 격리하는 방식으로 설계되었으며 이를 위해 고무 또는 하이드로 마운트가 사용되고 있다. 고무로 제작된 엔진 마운트는 고 주파수 대역의 진동을 억제하는데 효과적이지만 엔진에 의하여 발생하는 낮은 주파수 대역의 진동을 억제하는데는 한계가 있다. 이를 해결하기 위해 새로운 능동형 엔진 마운트에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. Konrad Kowalczyk는 자동차 프레임에 Voice-coil 형태의 액츄에이터를 부착하고 Adaptive Controller 를 이용하여 엔진에서 전달되는 신호의 180 도 위상으로 제어력을 가해지도록 만들어 능동진동제어를 수행하였다. 본 연구에서는 자동차의 서브 프레임에 부착이 가능한 일종의 동조질량 감쇠기인 Active Linear Actuator(ALA)로 불리는 진동식 액츄에이터를 이용하여 자동차의 능동진동제어를 수행하였다.

능동진동제어 이론은 크게 피드백 제어와 피드포워드 제어로 나뉜다. 피드백 제어 이론으로는 Proportional-integral-derivative(PID), lead-lag compensation, Linear Quadratic Gaussian(LQG), H2,H $\infty$  등을 예로 들 수 있다. 이들 이론을 사용하는 경우 구조물의 감쇠가 증가하는 효과를 가져오게 된다. 따라서 공진시의 진폭을 감소할 수 있는 효과가 있다. 피드포워드 제어는 제어 대상 외부 교란

에 대한 정확한 정보를 담고 있는 참조신호를 필요로 한다. 따라서 주 진동원인을 알 수 없거나 많은 수의 참조신호를 사용해야 할 경우에는 피드포워드 제어보다는 피드백 제어시스템이 효과적이다. 피드백 제어기 중 구조물의 능동진동제어기로 가장 많이 사용된 제어기는 양변위피드백제어(Positive Position Feedback Control, PFFC)이다. PFFC는 구조물의 감쇠를 증가시키는 효과도 있지만 외부 기진력의 진동수에 PFFC의 필터 주파수를 동조시킬 경우 강제진동응답을 감소시킬 수 있는 능력이 있음이 알려져 있다. 자동차 엔진에 의해 발생하는 기진력은 기본적으로 엔진 RPM과 관련이 있기 때문에 본 연구에서는 PFFC를 확장하여 필터 주파수가 실시간으로 엔진 RPM과 관련이 있는 진동수로 적용되어 작용하는 적응 PFFC를 개발하여 차량의 능동진동제어에 적용하고 실험을 수행하여 효과도를 분석하였다.

## 2. 적응 PPF 제어 알고리즘

차량이 운행 중일 경우 엔진의 진동이 지속적으로 프레임으로 전달된다. 따라서 프레임의 진동은 엔진 실린더의 운동, 즉 차량의 RPM 신호와 밀접하게 관련된다. 따라서 프레임에 가해지는 기진력의 형태는 엔진 RPM에 따라 바뀌게 된다. 이렇게 기진력의 진동수가 바뀌는 경우에 대해서는 고정된 필터 진동수를 가지는 PFFC는 더이상 효과적이지 못하다.

† 교신저자; 동국대학교 기계·로봇·에너지공학과  
E-mail : kwakm@dongguk.edu  
Tel : (02) 2260-3705, Fax : (02) 2263-9379  
\* 동국대학교 기계·로봇·에너지공학과  
\*\* 현대기아자동차 연구개발총괄본부  
\*\*\* (주) 파브코

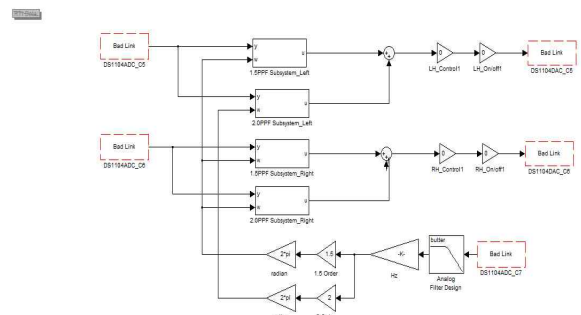


Fig. 1. Simulink Block for Adaptive PPF Control

본 연구에서는 변화하는 기진력 진동수에 대처하기 위해 기존의 PPF 제어 알고리즘을 수정하여 기진력 진동수에 따라 필터 진동수가 변화하는 알고리즘을 완성하였다. 적응 PPF 제어 알고리즘을 Simulink 블록선도로 표현하면 그림 1 과 같다.

### 3. 차량 능동 진동 제어 실험

앞에서 작성한 적응 PPF 를 dSpace 사의 DS1104 보드를 이용해 구현하였다. 가속도 센서를 이용해 서브 프레임의 진동을 계측하고 이 신호를 A/D 입력단자에 연결하였다. 제어 알고리즘을 이용해 계산된 값을 D/A 로 출력하고 이 신호를 아날로그 파워 앰프의 입력단에 연결하였다. 아날로그 앰프의 출력은 ALA 로 전달된다.

다음 그림들은 서브프레임의 왼쪽에 부착된 가속도계의 신호와 제어 전과 후에 대한 Power Spectrum 을 2000 RPM 과 3000RPM 에 대해 보여주고 있다.

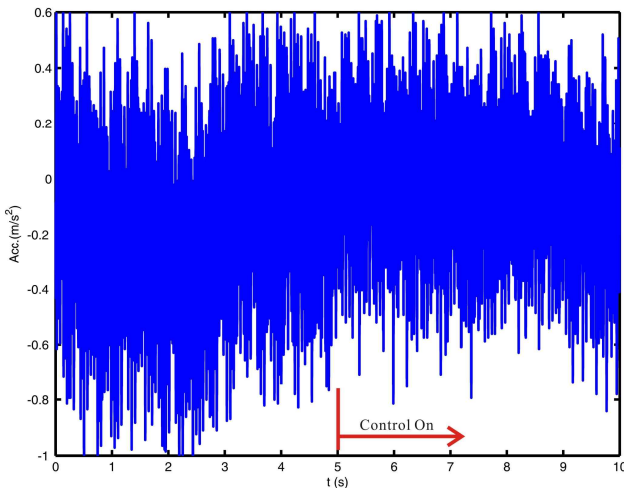


Fig. 2. Time Response at 2000RPM

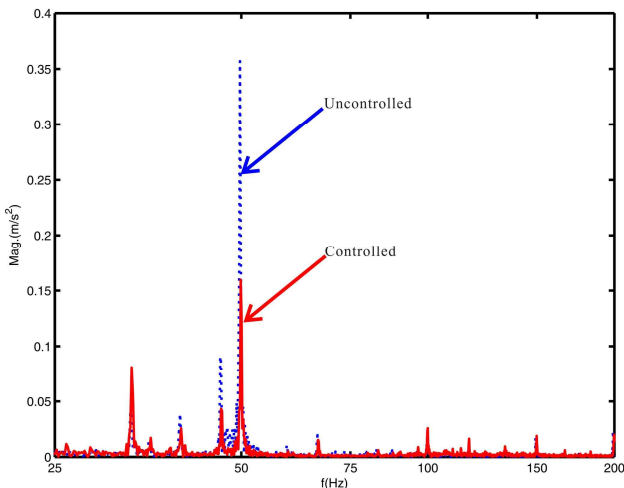


Fig. 3. Spectral Analysis at 2000rpm

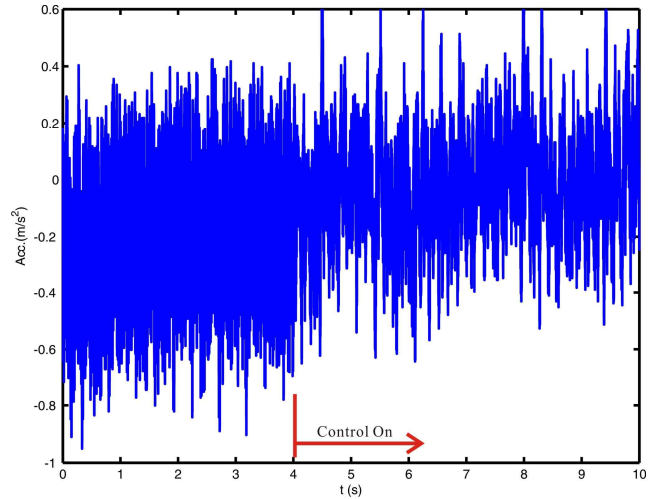


Fig. 4. Time Response at 3000rpm

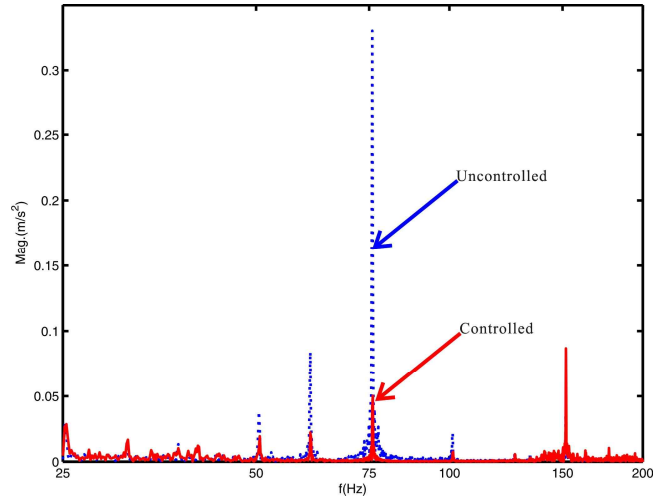


Fig. 5. Spectral Analysis at 3000rpm

위 그림으로부터 적응 PPF 제어기가 RPM 변화에 능동적으로 대처함을 확인할 수 있다. 또한 엔진 RPM 에 따른 1.5 차와 2 차 진동 모두 제어 됨을 확인할 수 있다.

### 4. 결 론

본 연구에서는 엔진의 RPM 에 따라 변화하는 기진력에 대응하기 위해 적응 PPF 제어기를 설계하고 이를 실차에 적용하여 그 타당성을 조사하였다. 샤시 다이내모에서 수행된 실험 결과는 본 연구에서 개발된 적응 PPF 제어기가 효과적으로 사용될 수 있음을 보여준다. 차후 실제 주행도로에서 실험을 수행하고 실험결과를 제시할 예정이다.

### 후 기

본 연구는 지식경제부 부품소재기술개발사업 "능동형 엔진 마운팅 시스템 개발" 과제의 일환으로 수행되었습니다.