

# 차량진동저감을 위한 능동 동흡진기 및 제어기술 개발 Development of Active Dynamic Absorber and Control Technology for Vehicle Vibration Reduction

이한동† ·곽문규\*·김정훈\*\*·송윤철\*\*\*·심재호\*\*\*

Han-Dong Lee, Moon K. Kwak, Jeong-Hoon Kim, Yoon-Chul Song and Jae-Ho Shim

## 1. 서론

진동격리 방법에 대한 연구 결과를 살펴보면 다음과 같다. Karnopp[1]는 능동/반능동 진동격리장치에 대해 논하면서 특히 “sky hook” 알고리즘에 대해 자세히 소개하였다. 이 논문에서 진동 격리장치를 지진에 대한 진동 격리대의 설계 방법과 자동차의 능동현가장치, 반능동 감쇠현가장치에 대해 논하고 있다. Leo and Inman[2]은 수동-능동 고립진동시스템에 대한 최적 제어 문제를 다루었으며, Filter et al.[3]은 교란에 대응하는 제어기의 설계 방법에 대해 논하였다.

진동 격리 방법 중 하나로 엔진의 진동을 상쇄하여 차량의 프레임으로 전달되는 진동을 최소화하기 위해 개발된 시스템이 능동 동흡진기이다. 능동 동흡진기는 서브 프레임에 부착되어 엔진에 의해 유발된 기진력에 반대되는 힘을 발생하여 프레임의 진동을 제어한다. 이와 같은 능동 동흡진기를 이용하는 경우 제어 알고리즘이 크게 두 가지로 나뉜다. 피이드 포워드(Feed-Forward)와 피이드 백(Feed-Back) 제어가 그 것이다. Olsson[4]은 자동차의 엔진 진동을 격리시키기 위한 제한 제어기의 설계에 대해 논하였다. 엔진 마운트에 관한 초기 연구로는 McDonal et al.[5]에 의한 연구 결과가 있다. 피이드 포워드 제어기로 고려된 알고리즘은 LMS(Least Mean Square) 알고리즘[6-10]이다. LMS 알고리즘은 좁은 주파수 대역의 외란에 적합하다. LMS 알고리즘에 비해 피이드백 제어 알고리즘은 엔진 마운트의 적용이 많지 않다[11,12].

본 연구에서는 먼저 엔진과 차량 그리고 구동기로 이루어진 시스템에 대한 이론 모델을 유도하고 그 특성을 분석하였다. 또한 구동기의 진동 제어 특성을 조사하기 위해 구동기를 외팔보에 부착하고 진동저감 실험을 수행하였다. 이 시스템에 가진기를 부착하고 특정 주파수로 가진했을 경우 외팔보의 진동을 효과적으로 억제할 수 있는지에 대한 실험도 수행되었다. 실험 결과는 구동기를 이용해 차량의 진동을 저감할 수 있는 가능성을 보여준다.

## 2. 강제 진동 제어 실험

차량이 운행중일 경우 엔진의 진동이 지속적으로 프레임으로 전달되기 때문에 지속적인 외부 교란이 있을 경우에 진동 응답을 효과적으로 억제할 수 있는지에 대한 검증이 필요하다. 이론 모델을 바탕으로 수치계산을 수행하여 PPF 제어기가 지속적인 외부 가진력에 대해 효과적임이 입증되었다. 이론 결과를 바탕으로 Fig.1 과 같은 실험 장치를 구성하고 능동진동제어 실험을 수행하였다. 먼저 외팔보에 가진기를 부착하고 이를 함수발생기를 이용해 30Hz 사인파로 가진하였다. 그 다음 PPF 제어기를 이용해 강제 진동 응답을 억제할 수 있는지의 여부에 대해 실험을 수행하였다.



Fig. 1. Experimental Setup for Forced Vibration Suppression

다음 그림은 30Hz 에 맞추어진 PPF 제어기를 보여주고 있다. 이 제어기를 DS1103 보드에 구현하고 가속도 센서의 신호를 A/D 입력으로 D/A 출력을 구동 앰프의 입력단에 연결하였다. 구동 앰프로는 PWM 방식을 이용한 일반 DC 모터 드라이버를 이용하였다. 제어기를 구동할 경우의 강제 진동 응답은 Fig. 3 과 같이 관찰되었다. 그림에서 진폭이 반

† 교신저자; 동국대 기계로봇에너지공학과  
E-mail : lhd@dongguk.edu  
Tel : (02) 2260-8581, Fax : (02) 2263-9379  
\* 동국대학교 기계공학과  
\*\* ㈜현대자동차, \*\*\* ㈜파브코

정도로 감소됨을 알 수 있다. 이를 통해 피드백 제어기를 이용해 강제 진동 응답을 감소시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.



Fig. 2. Simulink Model for PPF Control

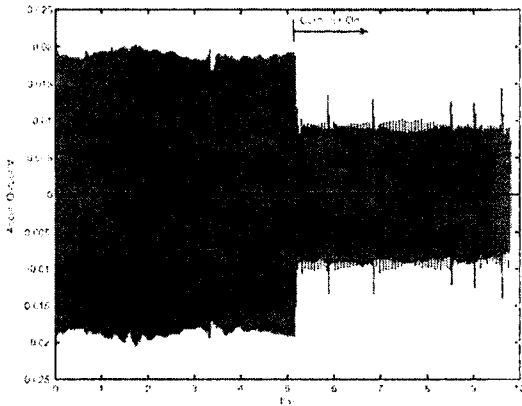


Fig. 3. Vibration Response

### 3. 결 론

본 연구에서는 능동엔진마운트 설계에 필요한 동적 모델링 방법과 제어기 설계에 대해 논하였다. PPF 제어기를 고려해 진동 억제 실험을 수행하고 제작된 구동기를 통해 강제진동 응답을 제어할 수 있음을 확인하였다. 차후 실차 실험을 통해 보다 개선된 제어 알고리즘을 제시할 예정이다.

### 후 기

본 연구는 지식경제부 부품소재기술개발사업 “능동형 엔진 마운팅 시스템 개발” 과제에 일환으로 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

(1) Karnopp, D. 1995, “ Active and Semi-Active Vibration Isolation”, Transaction of the ASME, Special 50th Anniversary Design Issue, Vol 117, pp.177~185.  
 (2) Leo, D. J. and Inman, D. J., 1999, “ A Quadratic Programming Approach to the Design of Active-Passive Vibration Isolation System”, Journal of

Sound and Vibration, Vol. 220, No. 5, pp.807~825.  
 (3) Flint, E., Evert, M., Anderson, E. and Flannery, P., 2000, “ Active/Passive Counter-Force Vibration Control and Isolation Systems”, IEEE, pp.285~298.  
 (4) Olsson, C., 2006, “ Active Automotive Engine Vibration Isolation Using Feedback Control”, Journal of Sound and Vibration, Vol. 294, pp. 162~176.  
 (5) McDonald, A. M., Elliott, S. J. and Stokes, M.A., 1991, “ Active Noise and Vibration Control within the Automobile”, Proceedings of the International Symposium on Active Control of Sound and Vibration, Acoustical Society of Japan, Tokyo.  
 (6) Elliott, S. J., Stothers, I. M. and Nelson, P. A., 1987, “ A Multiple Error LMS Algorithm and Its Application to the Active Control of Sound and Vibration”, IEEE Transaction on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol. 35, No. 10.  
 (7) Widrow, B. and Stearn, S. D., 1985, Adaptive Signal Processing, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.  
 (8) Hillis, A. J., Harrison, A. J. L. and Stoten, D. P., 2005, “ A Comparison of Two Adaptive Algorithms for the Control of Active Engine Mounts”, Journal of Sound and Vibration, Vol. 286, pp.37~54.  
 (9) Ushijima, T. and Kumakawa, T., 1993, “ Active Engine Mount with Piezo-Actuator for Vibration Control”, Society of Automotive Engineers, Paper 930201.  
 (10) Nakaji, Y., Satoh, S., Kimura, T., Hamabe, T., Akatsu, Y. and Kawazoe, H., 1999, “ Development of an Active Control Engine Mount System”, Vehicle System Dynamics, Vol. 32, pp. 185~198.  
 (11) Muller, M., Weltin, U., Law, D., Roberts, M. M. and Siebler, T. W., 1994, “ The Effect of Engine Mounts on the Noise and Vibration Behaviour of Vehicles”, SAE Technical Paper 940607.  
 (12) Watters, B. G., Coleman, R. B., Duckworth, G. L. and Bukman, E. F., 1988, “ A Perspective on an Active Machinery Isolation”, Proceedings of the 27<sup>th</sup> Conference on Decision and Control, Austin, Texas, pp. 2033~2038.  
 (13) Fanson, J. L. and Caughey, T. T., 1990, “ Positive Position Feedback Control for Large Space Structures”, AIAA Journal, Vol. 28, No. 4, pp. 717~724.