<기술논문>

공압식 능동형 엔진마운트 시스템의 TPA 출력변수간의 상관관계 분석

박 혈 우¹⁾ · 이 재 천^{*2)} · 최 재 용³⁾ · 김 정 훈⁴⁾

에이블맥스(주) 기술지원팀¹⁾ · 계명대학교 기계자동차공학과²⁾ · 대흥알엔티 기술연구소³⁾ · 현대자동차 차량시스템개발팀⁴⁾

Correlation Analysis of TPA Output Variables in a Pneumatic Active Engine Mount System

Hyeol-Woo Park¹⁾ · Jae-Cheon Lee^{*2)} · Jae-Yong Choi³⁾ · Jeong-Hoon Kim⁴⁾

¹⁾Technical Support Team, Ablemax Co., 120-17 Samsung-dong, Gangnam-gu, Seoul 135-092, Korea

²⁾Department of Mechanical and Automotive Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

³⁾Technical Center, Daeheung Rubber & Technology Co., Ltd., 607 Jilhye-myeon, Gimhae-si, Gyeongnam 621-884, Korea

⁴⁾Vehicle System Development Team, Hyundai-Kia Motors, 772-1 Jangduk-dong, Hwaseong-si, Gyeonggi 445-706, Korea

(Received 15 October 2010 / Revised 26 June 2011 / Accepted 13 July 2011)

Abstract : A PAEM(Pneumatic Active Engine Mount) system has been developed to improve NVH performance of a SUV in idle state. Control objective to attenuate the vibration of a vehicle should be determined prior to the design of control algorithm. This study presents the correlation analysis of output variables of PAEM system by means of TPA(Transfer Path Analysis) using experimental data obtained by vehicle test. The analysis results show that the vibration of vertical direction is more serious than those of longitudinal and lateral direction of the vehicle, and that the correlation between the vibration of front seat rail and that of steer wheel is highest. In conclusion, the vibrations of front seat rail and steer wheel in vertical direction should be considered as the control objectives of the PAEM.

Key words : PAEM(Pneumatic Active Engine Mount, 공압식 능동형 엔진마운트), TPA(Transfer Path Analysis, 전달경로분석), RMS(Root Mean Square: 제곱 평균 제곱근), Correlation(상관관계), NVH(Noise Vibration and Harshness, 소음진동)

1. 서론

최근 고유가로 인한 연비 향상과 세계 각국의 배기가스 규제로 인해 자동차업계에서는 차체 경량화 및 파워트레인 고효율화의 대한 기술이 활발히 진행되고 있다. 파워트레인의 고효율을 위해서 경량 차체에 디젤 엔진이 많이 사용되어지는데 기존의 엔진마운트 시스템으로는 고효율에 따른 NVH 성능을 만족하기 어렵다. 이에 대한 대책으로 일반 고무마운트(conventional rubber mount), 유압식마운트(hydraulic mount), 스위처블 마운트(switchable mount)

등이 개발되어 소음 및 진동을 저감하고 있으나 고효율 파워트레인의 다양한 운전 조건에서 NVH 특성을 능동적으로 개선하는 데에 한계가 있다.¹⁾ 따라서 다양한 운전 조건에서 능동적으로 마운트의 특성을 변화시킬 수 있는 능동형 엔진마운트 시스템이 더욱 요구되고 있는 상황이다. 일본을 비롯하여 유럽 각국에서는 배출가스 저감과 연비향상을 위하여 끊임없는 노력을 하고 있다.²⁾ 최근에는 고유가라는 전 세계적 이슈로 인하여 고 연비의 차량을 소비자들이 선호하고 있다. 일본에서는 이와 관련하여 고효율 파워트레인 기술 중 하나인 가변실린더시스템(VCM: Variable Cylinder Management)을 적용하

*Corresponding author, E-mail: ljeds@kmu.ac.kr

Table 1 Application state of active engine mount

Region	Maker	Supplier	Type	Refer
Japan	Honda	Tokai	Electronic	Mass product
	Toyota	Vibracoustic	Electronic pneumatic	Mass product
Europe	DCX	Avon	Electro dynamic	Proto type
	Jaguar	Avon	Electro dynamic	Mass product
	Peugeot	Paulstra	Pneumatic	Mass product

면서 그와 더불어 야기되는 진동 및 소음을 전자식 능동 엔진마운트 기술을 적용하여 NVH의 성능을 충족하고 있다. 도요타 자동차에서는 아이들 진동 저감을 위하여 공압식 능동 엔진마운트를 1999년 아발론(Avalon)에 적용하여 양산하고 있으며 최근 렉서스(Lexus) 350에는 혼다와 다른 타입의 전자식 능동 엔진마운트를 개발, 적용하고 있다. 유럽에서는 현재 재규어(Jaguar)와 푸조(Peugeot) 자동차에 전동식 및 공압식 능동 엔진마운트를 양산하여 공급하고 있다.³⁾ Table 1은 능동형 엔진마운트의 해외 개발 현황을 정리한 것이다.

이와 같이 많은 완성차 업체들이 능동형 엔진마운트 시스템을 개발하여 양산 적용하고 있으며 이러한 경향은 국내 자동차업계에도 자연스럽게 나타날 것이므로 능동형 엔진마운트의 개발과 연구가 절실히 필요하다고 생각된다. 능동형 엔진마운트 시스템은 차량 공회전시 엔진으로부터 야기되는 진동을 최대한 줄이는 것을 목표로 한다. 엔진 진동은 차량 구조에 따라 차체를 통해 전달되어 최종적으로 운전자가 진동을 느끼게 되는데 이때 운전자는 차량과 접촉한 조향핸들, 운전석시트, 브레이크, 가속 페달, 부밍(booming) 등을 통해 복합적으로 진동을 느끼게 된다.⁴⁾ 여기서 운전자가 느끼는 진동 중 진동 제어를 위해 어느 한 지점을 목표점으로 선정하는 것은 매우 어려운 결정 사항이다. 사람마다 느끼는 진동이 다르고 선호하는 진동 형태가 매우 주관적이기 때문에 이를 객관화 한다는 것은 쉽지 않다. 본 논문에서는 능동형 엔진마운트 시스템 개발 시 위와 같은 문제점을 해결하기 위해 공압식 능동

형 엔진마운트를 장착하여 실차 시험을 수행하였다. 엔진의 진동 전달 경로에 3축 가속도센서를 부착하고 각각의 진동 데이터를 전달경로분석(TPA: Trasfer Path Analysis)한 후, 각 위치의 센서들 간에 어느 정도 상관성(위치, 센서방향)이 있는 지 모색해 보고자 하였다. 더 나아가 이 상관성을 바탕으로 능동형 엔진마운트 진동 제어 시 어느 지점의 진동을 제어할 때 가장 효과적인 승차감 향상의 목적을 달성 할 수 있는지 제안하고자 한다.

2. 본 론

2.1 공압식 능동형 엔진마운트 시스템

엔진마운트의 기본 역할은 파워트레인을 지지하는 동시에 엔진의 폭발행정으로 인한 진동을 절연하는 것이다. 일반적인 능동 엔진마운트는 기존 유압식마운트 내부에 제어력을 발생시키는 구동기를 포함하며, 구동기와 연결된 가동판의 운동에 의해 마운트의 동특성을 변화시키고 그로 인해 다양한 운전조건(에어컨 on/off, 기어 N/D/R)에서 능동적으로 진동을 절연할 수 있는 구조로 되어있다. 구동기의 타입에 따라 그 작동 범위와 힘의 크기가 달라지는데 현재 개발 중인 능동 엔진마운트는 전자식, 전동식, 그리고 공압식이다.

본 연구의 대상인 공압식 능동형 엔진마운트 시스템은 Fig. 1와 같은 구조를 가진다.⁵⁾ 주 고무(main rubber), 상부액실(upper chamber), 진동실(oscillating chamber), 분리기(de-coupler), 유로(orifice), 공기실(air chamber), 하부액실(lower chamber)등으로 구성된다. 주 고무는 엔진의 정적하중을 지지하고 엔진마운트의 기본적인 강성을 담당한다. 상부액실과 진동실, 하부액실은 2개의 오리피스 유로에 의해 연결되고 진동유실과 공기실은 분리기에 의해 분리된다. 분리기는 작은 변위를 가지는 판(plate)으로서 진동실과 공기실의 압력차에 의해 변형된다. 마운트 내부 오리피스 유로 중 하나는 상부액실과 하부액실을 연결하여 유압을 전달하고, 또 하나의 유로는 상부액실과 진동실 간 유압을 전달한다. 하부액실은 탄성을 이용하여 유체를 저장하는 역할을 한다. 공기실은 솔레노이드밸브(solenoid valve)와 연결되어 있고 이 솔레노이드밸브는 대기압과 진공압을

Fig. 1 Pneumatic active engine mount

Fig. 2 Pneumatic active engine mount system

Fig. 3 Valve signal for duty ratio: 55%, delay time: 80%

교차 인가 하는 역할을 한다. 진공압은 디젤 차량의 진공펌프와 연결된 진공탱크를 이용한다.

Fig. 2는 공압식 능동형 엔진마운트 시스템 개략도를 나타낸다. 공압식 능동형 엔진마운트 시스템의 진동 제어 원리는 이러하다. 차량 운전 상태에 대한 정보(크랭크신호, 캠축신호, 에어컨신호, 기어시프트신호)를 받아 제어 알고리즘의 기준신호로써 제어기에 입력한다. 제어기는 이 신호를 바탕으로 차량의 현 운전조건을 파악하고 프로그램 된 최적 제어맵(control map)을 통해 운전조건에 맞는 솔레

노이드 밸브의 구동 신호를 출력한다. 제어맵에는 실차 시험을 통해 검증한, 운전조건에 따른 최적 제어값이 프로그램 되어 있다.

Fig. 3에서 보듯이, 솔레노이드밸브의 구동신호는 펄스폭변조방식 신호(PWM: Pulse Width Modulation)로서 듀티비(duty ratio)와 전원인가시점(delay time)이 제어변수가 된다. PWM 신호가 하이(high)일 때 솔레노이드밸브는 ON 되어 공압식 능동형 엔진마운트의 공기실을 진공압과 연결하고 PWM신호가 로우(low)일 때는 공기실을 대기압과 연결한다. 엔진의 폭발행정에서 충격이 발생하면 마운트 내부의 압력이 상승하여 분리기로 전달된다. 이에 맞춰 엔진크랭크축 각 펄스(CKP)신호에 의해 제어기는 솔레노이드 구동신호를 출력하고 솔레노이드 밸브가 ON 되면 분리기 아래의 공기실에 진공압이 형성된다. 진동실과 공기실의 압력차에 의해 분리가 변위를 가지고, 진동실의 부피증가에 의한 압력이 감소되므로, 결과적으로 엔진 진동을 감소하게 된다.

2.2 실차시험

본 연구에서는 공압식 능동형 엔진마운트의 실차 시험을 실시하였다. 대상차량은 2,200cc VGT 직렬 4기통 SUV 디젤 차량이며 4점 지지 방식으로 엔진을 지지한다. 후면 롤(rear roll) 엔진마운트 부분에 공압식 능동형 엔진마운트를 장착하여 전체 시스템을 구성하였다. 측정 센서는 3축 가속도 센서 5개와 변위센서 1개를 사용하였다. 3축 가속도 센서는 PCB사의 356A15를 사용하였으며 후면 롤 상단의 엔진부(engine body), 후면 롤 하단의 부 프레임(Sub-frame), 조향핸들(steering wheel), 운전석 내측 1열 시트레일(seat-rail), 2열 시트레일에 장착하였다.

Table 2는 각 위치별 부착된 센서의 모습이다. 변위센서는 Penny&Giles사의 SLS095/20/0K8/R./50 선형전위차계(linear potentiometer)를 사용하여 엔진부와 부 프레임 사이에 부착하였다. 각각의 센서로부터 나온 출력 신호는 LMS사의 PIMENTO를 이용하여 2048Hz의 샘플률(sampling rate)로 수집되었으며, 이는 LMS사의 TESTLAB을 이용하여 처리되었다. 공압식 능동형 엔진 마운트는 공회전 NVH 개선

Table 2 Position of measurement sensors

Position	Sensor	Photo
Engine body	Acceleration sensor + Displace sensor
Sub frame	Acceleration sensor
Steering wheel	Acceleration sensor
Front seat rail	Acceleration sensor
Rear seat rail	acceleration sensor

을 위하여 20~50Hz 범위의 진동을 제어 목표로 하고 있어 본 실차시험은 엔진 공회전 속도인 790rpm으로 고정하여 시험을 실시하였다.

2.3 결과 및 고찰

2.3.1 센서별 진동 크기

각기 다른 지점에서의 센서별 진동 크기를 확인하기 위해 진동 가속도 신호를 실효 값(RMS: Root Mean Square)으로 변환하였다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 각 지점의 센서별 진동의 크기는 엔진부가 가장 크고, 운전석 내측 1열 시트레일이 가장 작게 나타났다. 이러한 결과는 공회전 운전 조건에서 주가진원이 엔진이기 때문에 엔진에서 멀어질수록 진동이 차체에 분산되어 줄어든다는 것을 보여준다. 1열 시트레일과 2열 시트레일 중, 엔진에서 가까운 1열 시트레일의 진동이 더 작게 나타났는데 이것은 1열 시트레일에 앉아있는 실험자의 영향이라 생각된다. 실험자는 운전조건을 바꾸기 위해 운전석 1열 시트레일에 앉은 상태로 시험을 하였다.

Fig. 4 RMS value of acceleration sensors

2.3.2 센서의 축별 진동 크기

각 지점에서의 진동 방향을 확인하고자 3축 가속도 센서의 축별 진동 크기를 비교해 보았다. 차량에 부착된 3축 가속도 센서는 X방향을 종방향(longitudinal), Y방향을 횡방향(lateral), Z방향을 수직방향(vertical)으로 설정하여 부착하였다. 주가진원인 엔진에 부착된 엔진부 센서와 그와 가장 가까운 위치에 있는 부 프레임 센서를 비교 하였다. Fig. 5에

Fig. 5 RMS value of sensor direction

서와 같이 X, Y방향 보다 Z방향의 진동이 크게 나타났다. 이것은 주 가진원인 엔진의 폭발행정으로 인한 수직방향 진동이 가장 크게 전달되고 있음을 보여준다.

2.3.3 센서별 상관관계

본 연구에서는 5가지 센서간의 상관관계분석(correlation analysis)⁶⁾을 실시하였다. 상관관계란 변수와 변수와의 관계로, 둘 또는 그 이상의 변수들에 있어서 한 변수가 변동함에 따라 다른 변수가 어떻게 변동하는지에 대한 연관성 정도, 변동의 크기의 정도와 방향을 말한다. 즉 상관 분석이란 변수가 커지거나 작아질 때, 다른 변수가 어떻게 변하는지를 그 변동의 정도와 방향을 예측하여 알아볼 수 있는 분석 방법이다.

Table 3~5는 센서 X, Y, Z의 축에 따른 센서별 상관관계수(coefficient of correlation)를 나타낸 것이다. 상관관계수가 1에 가까울수록 두 센서간의 상관관계는 크고, 0에 가까울수록 상관관계는 없다.

Table 3~5에서 보는바와 같이 가속도계의 설치 축에 따른 상관관계 크기를 비교해 볼 때 X와 Y축에 비교하여 Z 방향에서 모든 센서간의 상관관계수가 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이와 같은 결과는 차체의 구조와 공간이 측정 센서에 영향을 미치지 만 그 양은 적으며 엔진 폭발행정 진동의 Z 축에 대한 진동이 가장 크게 영향을 주기 때문이라 판단된다. X 축에 대한 상관관계수는 엔진부와 1열 시트레일의 상관관계수가 0.869로 가장 높았으며 조향핸들과 2열 시트레일이 0.288로 가장 작았다. Y 축에 대한 상

Table 3 Correlations of sensor X direction

	Engine body_X	Sub frame_X	Steer wheel_X	Front seat rail_X
Sub_frame_X	0.670			
Steer wheel_X	0.708	0.871		
Frt_seat rail_X	0.869	0.708	0.779	
Rear_seat rail_X	0.339	0.322	0.288	0.359

Table 4 Correlations of sensor Y direction

	Engine body_Y	Sub frame_Y	Steer wheel_Y	Front seat rail_Y
Sub_frame_Y	0.864			
Steer wheel_Y	0.362	0.229		
Frt_seat rail_Y	0.749	0.624	0.618	
Rear_seat rail_Y	0.755	0.741	0.313	0.636

Table 5 Correlations of sensor Z direction

	Engine body_Z	Sub frame_Z	Steer wheel_Z	Front seat rail_Z
Sub_frame_Z	0.878			
Steer wheel_Z	0.938	0.866		
Frt_seat rail_Z	0.899	0.830	0.992	
Rear_seat rail_Z	0.906	0.831	0.987	0.991

Fig. 6 Scatter plot of sub-frame vs steering wheel Correlation value 0.229, Y direction

관계수는 엔진부와 부 프레임의 상관관계수가 0.864로 가장 높았으며 조향핸들과 부 프레임이 0.229로 가장 작았다(Fig. 6 참조). Z 축에 대한 상관관계수는 1열 시트레일과 조향핸들이 상관관계수 0.992로 가장

Fig. 7 Scatter plot of front seatrail vs steering wheel Correlation value 0.992, Z direction

높았으며(Fig. 7 참조), 1열 시트레일과 부 프레임이 0.830로 가장 작았다.

이와 같은 분석 결과는 엔진 공회전 상태에서의 진동 저감을 목표로 하는 공압식 능동형 엔진마운트는 1열 시트레일과 조향핸들의 Z방향의 진동을 우선 제어 하는 것이 가장 효과적임을 나타낸다. 이 결과는, 엔진마운트 효과에 대해 운전자가 느끼는 승차감이 주관적이며 정성계수화 되어 있지 않은 상태에서 완성차업체의 차량시험팀이 1열 시트레일과 조향핸들의 진동을 기준으로 엔진마운트의 성능을 평가하고 있는 현 상황과도 부합된다.

3. 결 론

공압식 능동형 엔진 마운트의 최적 제어를 위해서는 목표 함수, 즉 진동 제어 변수를 먼저 선정해야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 진동경로 상의 여러 지점에 가속도계를 달아 각 센서별 상관계수를 분석하였고 서로 상관관계가 높은 두 곳의 진동을 우선적인 제어 목표로 삼고자 하였다.

VGT 직렬 4기통 SUV 디젤 차량을 대상으로 3축 가속도 센서를 후면 롤 상단의 엔진부, 후면 롤 하단의 부 프레임, 조향핸들, 운전석 내측 1열 시트레일과 2열 시트레일에 각각 장착하여 엔진 공회전 상태에서의 실차시험을 실시하였다. 획득한 데이터를 이용하여 TPA 전달경로분석과 각 센서별 상관관계 분석을 실시하였다. 분석 결과에 대한 결론은 아래와 같다.

1) 각 지점의 센서별 진동의 크기는 엔진부가 가장

크고, 운전석 내측 1열 시트레일이 가장 작게 나타났다.

- 2) 3축 가속도 센서의 축별 진동 크기를 비교해 볼 때 X(종), Y(횡)방향 보다 Z(수직)방향의 진동이 크게 나타났다.
- 3) X, Y, Z 의 축에 따른 상관관계는 Z축이 가장 상관관계가 높았으며 Z축에서의 센서별 상관관계는 1열 시트레일과 조향핸들이 상관계수가 0.992로 가장 높았다.
- 4) 따라서 본 연구에서의 공압식 능동형 엔진마운트는 1열 시트레일과 조향핸들의 Z방향의 진동 제어를 목표하는 것이 효과적임을 알 수 있다. 이는 완성차업체가 1열 시트레일과 조향핸들의 진동을 기준으로 엔진마운트의 성능을 평가하고 있는 현 상황과도 부합된다.

후 기

본 연구는 지식경제부 부품소재기술개발사업 “능동형 엔진마운팅 시스템 개발” 과제의 일환으로 수행되었습니다.

또한 이 연구는 지식경제부·한국산업기술평가원 지정 계명대학교 전자화자동차부품 지역혁신센터의 지원에 의한 것입니다. 지원기관에 감사 را 드립니다.

References

- 1) M. W. Suh, M. N. Shim, M. S. Kim, K. S. Hong and S. B. Lee, “Multidisciplinary Design Optimization of Engine Mount with Considering Drive Line,” SAE, Vol.10, No.3, pp.209-217, 2002.
- 2) H. Matsuoka, T. Mikasa and H. Nemoto, “NV Countermeasure Technology for a Cylinder-on-demand Engine Development of Active Control Engine Mount,” SAE 2004-01-0411, 2004.
- 3) J. H. Kim and J. S. Kim, “Development Trend on the Pneumatic Active Engine Mount System,” Journal of KSNVE, Vol.19, No.3, 2009.
- 4) J. W. Sun, J. T. Lim, I. S. Shin and S. J. You,

- “Study for Lock Up Booming Noise Transfer Path Analysis Using the TPA,” Fall Conference Proceedings, KSNVE, pp.623-624, 2009.
- 5) J. Y. Choi, W. H. Lee, J. H. Kim and D. W. Lee, “Development of Pneumatic Active Engine Mount,” Journal of KSAE, pp.282-283, 2008.
- 6) R. E. Walpole, R. H. Myers and S. L. Myers, Probability and Statistics, 6th Edn., Prentice Hall, New Jersey, pp.394-399, 1998.