

특집

차량용 능동 엔진 마운트

공압식 능동형 엔진 마운팅 시스템 개발

박 혈 우*

(계명대학교 지능형자동차대학원)

1. 머리말

자동차에 있어서 엔진은 가장 중요한 역할을 하는 부분임과 동시에 그곳에서 발생하는 소음·진동 등으로 말미암아 승차감의 저하에도 매우 큰 영향을 미치고 있다. 따라서 엔진 마운트는 엔진의 중량을 지지하는 역할 외에, 소음 및 진동을 저감하여 승차감을 향상시키는 역할을 하며, 엔진 중량의 지지, 엔진운동의 제한, 파워트레인 진동절연, 노면에 의한 진동절연 등 다양한 기능으로 시스템의 안정성을 높이고 있다. 이러한 역할은 차량의 피로파괴에 대한 내구성뿐만 아니라 승차감의 향상에도 많은 영향을 미치고 있으며 최근 자동차 개발 추세인 안락함과 정숙성에도 크게 관련되어져 있다.

엔진에서 발생된 진동의 일부는 마운트 방진고무를 통하여 차체로 전달된다. 따라서 차체의 소음 및 진동을 해석하기 위해서는 엔진 마운트에 대한 해석이 필수적이고, 컴퓨터를 이용한 엔진 마운트의 동력학적인 해석과 설계를 통하여 보다 정확하고 신뢰성 높은 연구가 이루어져야 한다. 일반적으로 엔진 마운트의 동특성은 마운트 고무의 강성과 유체·유로 등에 의하여 크게 좌우되므로 이러한 값을 변화시킴으로써 엔진 마

운트의 동특성을 개선할 수 있다. 마운트고무의 특성은 진폭이 큰 저주파수 영역에서는 큰 강성과 감쇠력이 필요하지만 진폭이 작은 고주파수 영역에서는 작은 강성과 감쇠력이 요구된다. 일반적인 상용 고무 엔진 마운트는 높은 강성과 낮은 감쇠력을 갖고 있으며, 이는 가진 진폭과 주파수에는 무관하게 강성과 감쇠력이 거의 일정하기 때문에 상반된 두 가지 요구조건을 동시에 만족시킬 수 없다. 이러한 동특성이 차량의 소음 진동 성능에 영향을 주고 있으므로 주파수와 가진 진폭에 따른 동스프링 상수의 변화는 주의 깊게 관찰되어야 한다. 이 공압식 엔진 마운트는 진공압을 이용하여 마운트 내부에 부압을 형성, 액실의 압력을 변화시킴으로써 진동을 절연하는데 다른 유형의 엔진 마운트보다 큰 절연 성능을 기대할 수 있다.

2. 공압식 능동형 엔진 마운트 개발동향

2000년도를 넘어서며 단순 고무 엔진 마운트에서 능동적인 제어가 가능한 능동형 엔진 마운트 개발로 연구가 활발히 진행되고 있다. 기술의 흐름이 이전에 비해서 급격하게 변화, 발전해가고 있으며 자동차 산업에서도 신기술, 신공법을 적

* E-mail : woowa230@kmu.ac.kr / (053) 580-6487

용한 최신차량이 쏟아져 나오고 있다. 이는 점점 더 높아지는 소비자의 욕구를 충족시키기 위해서는 계속적으로 기술향상이 요구되어지고 있다. 고성능의 파워트레인 개발과 고효율의 파워트레인이 적용되는 해외에서는 능동형 엔진 마운트가 적용되고 있으며 고급차량에는 대부분 능동형 엔진 마운트가 장착되어 양산되고 있다. 아이들 제어용 공압식 능동형 엔진 마운트는 아직 국내 시장에서는 양산화 개발되어 있지 않으며, 해외에서는 공압식 능동형 엔진 마운팅 시스템을 적용중인 현 양산차량으로써 아발론, 하이랜더, 캄리, 렉서스 RS330, ES330, 푸조607 등이 있다.

3. 공압식 능동형 엔진 마운트 작동원리

이 시스템은 엔진이 아이들 진동상태에 있는 경우에만 활성화되며 엔진 구동과 관련된 차량 운전 상태에 대한 신호를 차량 ECU에서 받아 제어기에 입력이 된다. 제어기는 엔진 진동에 의해 발생하는 아이들 진동을 저감하도록 공압 솔레노이드 밸브를 개폐시킨다. 공압기에는 부압 모터로부터 발생된 부압을 공압탱크에서 일정하게 유지시키고 밸브의 개폐에 따라 엔진 마운트 내부에 부압을 형성, 멤브레인을 구동시켜 내

부의 액실 압력을 변화시킨다. 따라서 마운트의 동강성을 낮추어 엔진의 진동을 감쇠하게 된다.

4. 공압식 능동형 엔진 마운트 구성

4.1 엔진 마운트

공압마운트의 구조는 주고무(main rubber), 상부유실(upper chamber), 진동유실(oscillating chamber), 분리기(decoupler), 유로(orifice), 공기실(air chamber), 하부유실(lower chamber)등으로 구성된다. 주고무는 엔진의 정적하중을 지지하고 기본적인 강성을 담당하는 부분이다. 상부유실과 진동유실. 하부유실은 유로에 의해 연결되어 있고 진동유실과 공기실은 분리기에 의해 분리되어진다. 분리기는 작은 변위를 가지는 판(plate)으로서 작은 진폭의 유동을 흡수할 수 있다. 유로는 마운트 내부의 유체 및 유압을 진동유실과 하부유실로 전달하고, 하부유실은 탄성을 이용하여 유체를 저장하는 역할을 한다.

4.2 솔레노이드 밸브

엔진 마운트와 진공탱크의 유로를 개폐하는 역할을 하는 밸브로서 일정크기의 전압이 인가되면 주파수대역을 ON/OFF하여 펄스폭을 제어하는 PWM방식을 취한다. 대기압 연결포트는 항시

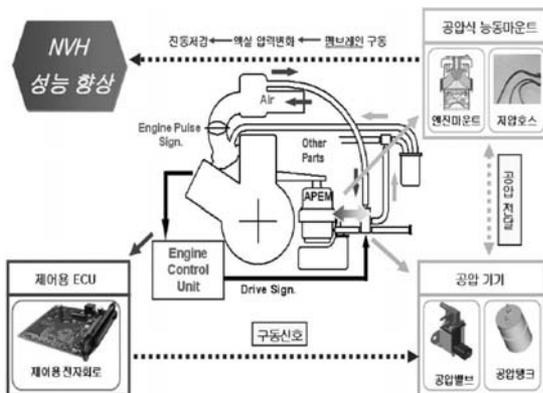


그림 1 공압식 능동형 엔진 마운트 시스템

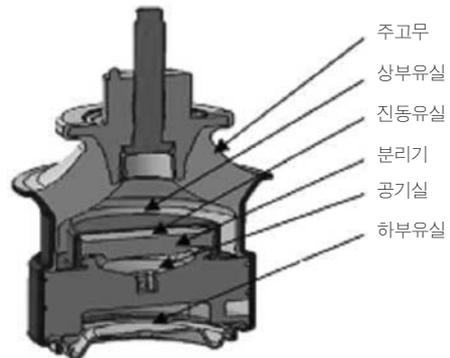


그림 2 공압식 엔진 마운트

외부와 연결이 되어 있으며, 상부의 3개의 포트 중 1개의 포트는 진공탱크와 연결되어 필요한 진공을 연결하여준다. 기타의 포트들은 자동차내의 타 부품들과 연결하기 위한 활용목적의 포트이다.

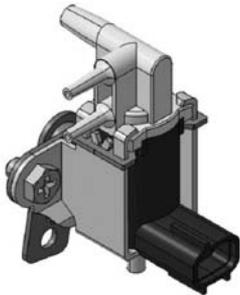


그림 3 공압 솔레노이드 밸브



그림 4 진공탱크

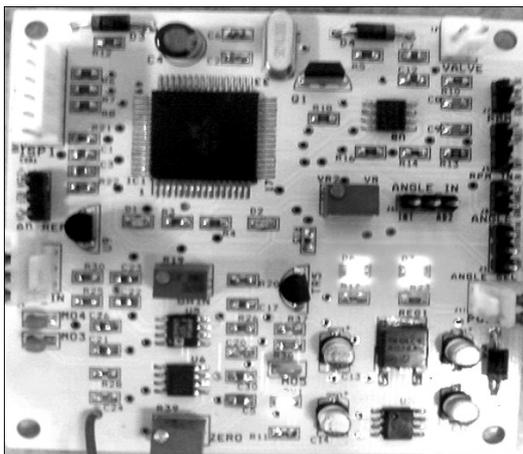


그림 5 제어기

4.3 진공탱크

일정한 진공량을 유지하는 역할을 하는 탱크로서 솔레노이드 밸브와 연결되어 엔진 마운트가 필요로 하는 부압(vacuum pressure)을 저장한다. 상부의 1개의 포트는 진공탱크와 연결되어 진공을 전달하며, 나머지 1개의 포트는 체크밸브가 장착되어있어 유량이 한쪽 방향으로만 흐를 수 있도록 유지한다.

4.4 제어기

공압식 능동형 엔진 마운트 제어기는 에폭시 레진이 함유된 유리 섬유가 여러 겹 쌓여 있는 재질에 전자회로가 인쇄되어 전자 부품이 결합되어진 형상으로 전원이 공급되면 마이크로컨트롤러에 프로그램된 제어로직에 따라 전기 신호를 발생한다.

5. 공압식 능동형 엔진 마운트 해석

5.1 시뮬레이션 해석

공압 엔진 마운트의 동특성을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 정확하게 예측하기 위해서는 공압 시스템과 유압시스템전체를 구성하는 개별 부품에 대한 정확한 수학적 모델식이 필요하다. 이를 얻기 위하여 공압 엔진 마운트의 수학적 모델을 간략히 도시하면 그림 6과 같이 나타낼 수 있다. 수학적 모델과 관련식의 바탕으로 컴퓨터 시뮬레이션을 할 수 있다. Matlab/Simulink 모델링 소프트웨어를 사용하여 이번 연구를 진행하였고, 제어 인자의 따른 엔진 진동 특성을 파악하고 최적의 진동 감쇠를 위한 최적값을 모색해 보았다.

공압 엔진 마운트의 공기실 부압은 솔레노이드 밸브에 의해 일정한 듀티율(duty ratio)와 시간지연(time delay)으로 제어된다. 그림 7은 듀티율 30%, 시간지연이 30%, 진공압 500 mmHg(절대압 기준) 경우에 대한 결과이다. 공압 제어를 한 케

이스(with control)와 제어하지 않은(no control) 신호를 비교해 볼 수 있다. 그림 7에서 솔레노이드 밸브가 개방 되었을 때 전달력이 작아지는 것을 볼 수 있다.

실제 차량의 엔진 공회전 속도에서 최적의 공압 엔진 마운트 제어조건을 찾기 위해 좀 더 세밀한 시뮬레이션 환경을 구축, 시험해 보았다. 시뮬레이션에서의 가진 신호인 변위 신호 주파수는 일반적인 엔진 공회전 속도인 26 Hz를 기준으로 한다. 또한 듀티율의 범위를 30, 35, 40, 45, 50 %로 하고 시간지연은 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 %로 하여 총 49개의 경우로 나누어 시뮬레이

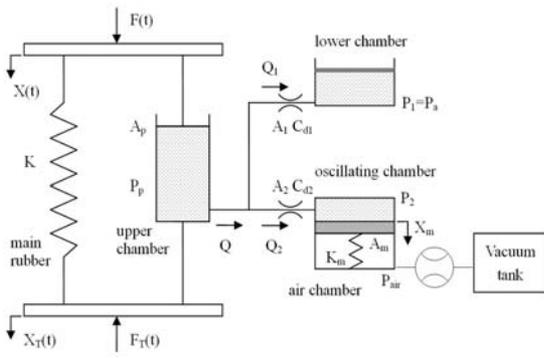


그림 6 공압 엔진 마운트 수학적 모델

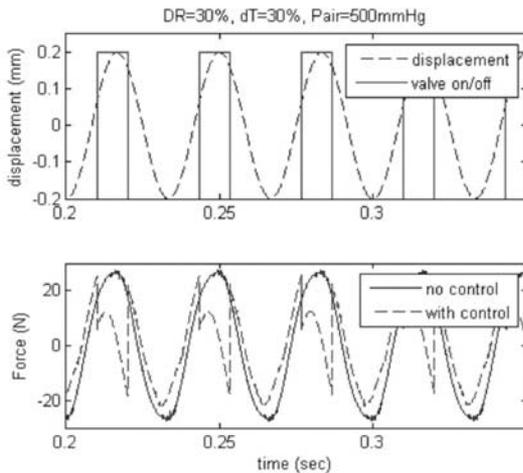


그림 7 시뮬레이션 진동 신호

션을 하였다. 그림 8에서 알 수 있듯이 듀티 45%, 시간지연 20%일 때 저감률이 가장 좋은 것으로 나타났다.

5.2 Neural network 해석

수학적 모델을 바탕으로 한 해석은 고무의 비선형 성질을 선형화 하고 간략화 하기 때문에 정확한 해석이 어렵다. 또한 시스템 파라미터 값과 실차 적용에서의 예상치 못한 간섭에 의해 결과는 어느 정도의 오차가 생기기 마련이다. 때문에 신경망 회로를 이용하여 공압식 엔진 마운트를 해석해 본다. 신경망 회로는 실차 시험의 입력 조건과 출력 데이터를 이용하여 엔진 마운트의 모델을 만들기 때문에 정확한 시스템 해석을 할 수 있는 장점이 있다. 이렇게 만들어진 모델을 가지고 실차 시험에서 적용하기 힘든 더 세밀하

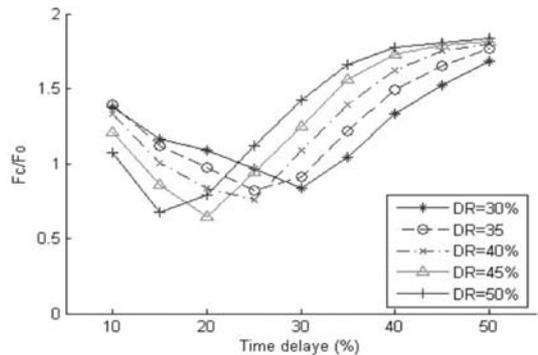


그림 8 26 Hz에서의 저감률

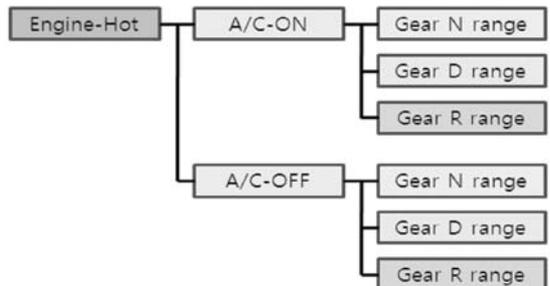


그림 9 공회전 차량 운전조건

고 다양한 시험을 통하여 최적 제어 인자를 모색해 본다.

그림 9와 같이 6가지 공회전 운전조건을 차량 ECU가 받아들여 입력신호로 사용하고, 모드별 최적의 제어입력변수인 전원인가시점과 듀티율을 추정하기 위해 전원인가시점과 듀티율을 변화시키면서 스캔 알고리즘을 구성하여 실차시험을 실시한다. 출력신호는 3축가속도 센서를 서브프레임(subframe), 스티어링휠(steering wheel), 프론트시트레일(front seatrail) 3곳에 부착하여 이를 통해 진동 신호를 얻는다. 그리고 실차시험을 통하여 얻어진 입력값과 출력값을 이용하여 neural network 모델을 만든다.

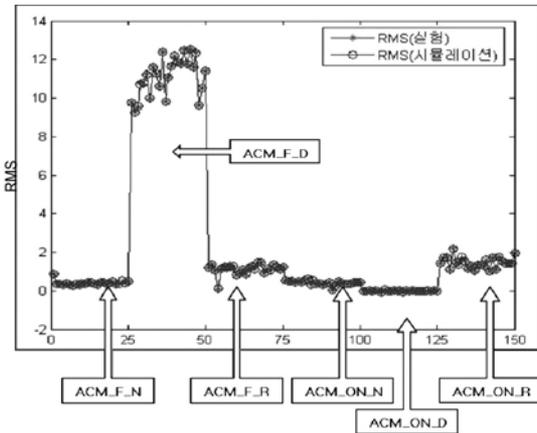


그림 10 Neural network 시뮬레이션

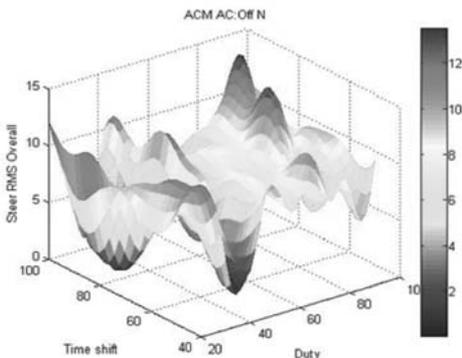


그림 11 A/C off gear N steer

그림 10은 neural network를 이용하여 만든 모델로 시뮬레이션을 한 결과이다. 실차 시험의 진동값(RMS실험)과 시뮬레이션 결과값(RMS시뮬레이션)이 완전히 일치하는 것을 볼 수 있다.

따라서 얻어진 공압식 엔진 마운트에 대한 모델을 가지고 실차 시험에서 적용하기 힘든 세밀하고 다양한 시험을 거쳐 최적 제어 인자인 전원인가시점과 듀티율을 찾아 볼 수 있다. 다음은 시뮬레이션에서 행하여진 6가지 공회전 운전조건의 한 경우인 전원인가시점과 듀티율에 대한 스티어링휠(steer wheel) 진동값(spectrum density)의 3차원 3D그래프이다.

그림 11과 같은 결과로 실차시험에서 확인하지 못한 더 조밀한 구간까지 공압 엔진 마운트의 진동값을 유추해 볼 수 있다. 따라서 최소의 진동을 갖게 하는 공압 엔진 마운트의 제어인자인 전원인가시점과 듀티율을 찾을 수 있다. 시뮬레이션에서 찾은 최적 제어인자가 실제차량에서 동일한 최소 진동을 갖는지를 알아보기 위해서는 반드시 실차시험을 통한 검증이 수반되어야 한다. 이와 같은 절차를 통하여 실차시험과 엔진 마운트의 이론적 해석이 병행되어져 최적의 제어인자를 찾을 수 있다.

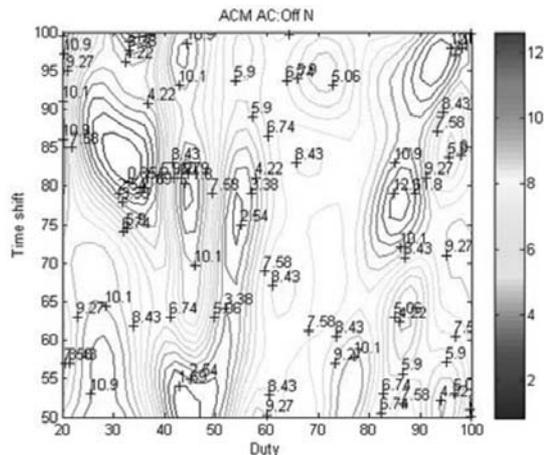


그림 12 A/C off gear N time shift

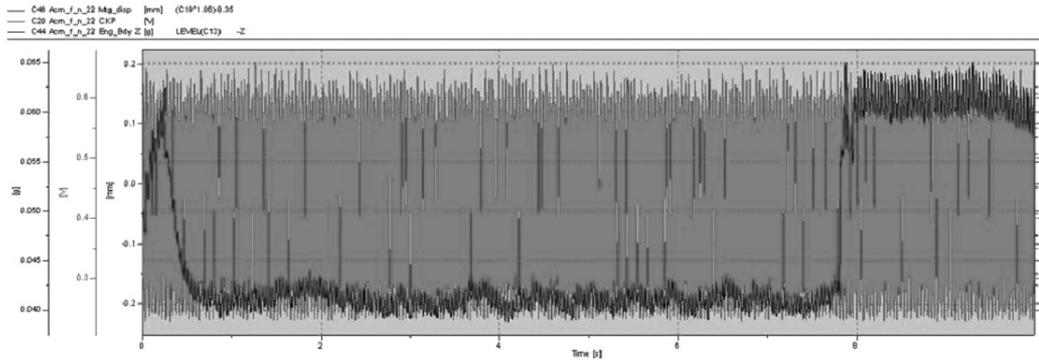


그림 13 실차 진동 신호

6. 실차시험

공압식 엔진 마운트의 모델과 이론적 해석을 거쳐 찾은 최적 제어인자를 가지고 실차 시험에 적용될 스캔 알고리즘을 구성한다. 스캔 알고리즘은 엔진에 6가지 운전조건과 솔레노이드 제어 인자인 전원인가시점과 듀티율로 구성이 되며, 엔진 마운트의 공압을 제어할 제어기에 저장이 된다. 제어기는 스캔 알고리즘에 따라 솔레노이드밸브를 개폐시켜 엔진 마운트에 진공압을 형성 엔진에 의해 발생하는 진동을 효과적으로 저감시킨다. 엔진의 6가지 운전조건을 제어기에 입력하기 위해 차량 ECU로부터 신호를 받는다. 공압식 엔진 마운트를 거쳐 전달되는 진동을 측정하기 위해 차량에 3축가속도 센서를 서브프레임(subframe), 스티어링휠(steering wheel), 프론트 시트레일(front seatrail) 3곳에 장착한다. 이와 같은 실험환경을 구성하여 실차시험을 실시한다. 스캔 알고리즘은 전원인가시점과 듀티율에 따라 각각 케이스로 나누어 순차적으로 실시하였다. 그림 13에서 확인 할 수 있듯이 공압을 제어한 경우와 제어를 하지 않았을 경우를 비교해볼 때 공압 엔진 마운트의 진동 절연 성능이 입증됨을 알 수 있다. 엔진의 6가지 운전조건에 대한 공압 엔진 마운트의 절연 성능을 모두 시험해 보고

이론적 해석과 비교분석 과정을 거친 후 공압 엔진 마운트의 최고성능을 갖는 제어 인자를 찾아 간다.

7. 맺음말

이 글에서는 국내에서 아직 상용화 되지 않은 공압식 능동형 엔진 마운트에 대해 수학적 모델을 만들고 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 그 특성을 분석해 보았다. 또한 해석된 결과를 바탕으로 알고리즘을 구성하여 실차시험을 통해 그 결과를 확인하였다. 공압 엔진 마운트의 진동 저감에는 세 가지 인자가 영향을 주며, 솔레노이드 제어 신호인 전원인가시점과 듀티율, 그리고 진공탱크 압력이 그것이다. 공압식 능동형 엔진 마운트 시스템을 구성하기 위해서는 차량 운전조건에 따라 능동적으로 제어가 되어야 한다. 따라서 제어기가 최적 제어인자를 변경하여 상황에 따른 엔진의 진동을 능동적으로 절연한다. 이와 같은 연구를 통하여 공압식 능동형 엔진 마운트 개발이 성공 한다면, 시기적으로 국내를 비롯한 해외에서도 선두적인 개발 위치를 점유 할 수 있고, 상품성 측면에서도 국내 자동차 산업의 대외 경쟁력을 가질 수 있리라 판단된다. 